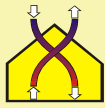




**Universität
Siegen**



FG Bauphysik & Solarenergie
Ltg.: Prof. Dr.-Ing. F.D. Heidt

Solaroptimiertes Bauen, Teilkonzept 3

Wissenschaftliches Begleitprojekt zum Bau eines solar optimierten Mehrzweckgebäudes der G.I.T. in Siegen

Auftraggeber: BMWA
Projektträger: Projektträger Jülich
Projektnummer: 0335006 Q
Förderzeitraum: Januar 1998 – Juni 2006
Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie,
Fachbereich Physik Universität Siegen
Walter-Flex-Str. 3
57072 Siegen

Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. F. D. Heidt.
Bearbeitung: Dipl.-Ing. Mario Müller

Siegen, im Januar 2006

Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie

Fachbereich Physik, Universität Siegen

Walter-Flex-Str. 3, 57072 Siegen

Telefon +49 271 740 3817

Telefax +49 271 740 3820

E-mail: heidt@physik.uni-siegen.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	19
2	Kurzfassung	21
3	Das Förderkonzept.....	25
4	Projektbeteiligte.....	27
5	Objektbeschreibung	29
5.1	Gebäudekenndaten	35
5.2	Energetisches Konzept und technische Gebäudeausrüstung.....	37
6	Projektziele der Evaluierung.....	45
6.1	Energetisches Konzept	45
6.2	Lüftungskonzept.....	45
6.3	Effizienz der Anlagenkomponenten	47
6.4	Tageslichtkonzept	48
7	Datenerfassung und Auswertung	49
7.1	Beschreibung der Datenerfassung.....	49
	Datenverarbeitung	52
8	Energetisches Konzept	55
8.1	Energiebilanzen	55
8.2	Erstellen eines validierten Simulationsmodells	62
8.3	Ursachen für die Nichteinhaltung der Planungsziele.....	67
8.3.1	Nicht gedämmte Heizungsrohre.....	67
8.3.2	Fehler in der Gebäudeleittechnik	71
8.4	Integration der Wärmepumpen in die Heizungsanlage	83
8.5	Primärenergiebedarf des korrigierten Gebäudemodells im Vergleich mit den Angaben aus dem Pflichtenheft.	86
8.6	Auswertung 2005	91
9	Quantitative Beurteilung der energieeinsparenden Anlagenkomponenten.....	97
9.1	Erdwärmetauscher	97
9.2	Plattenwärmetauscher	108
9.3	Nachtlüftung.....	113
10	Technisch –Wissenschaftliche Qualitätssicherung.....	123
10.1	Luftdichtheit (n_{50} -Wert).....	123

10.2	Lüftungseffektivität	124
10.3	Kontrolle der Volumenströme der Abluftanlage in den Büros	128
10.4	Thermische Qualität der Gebäudehülle	129
10.5	Schalldämmung der Bürotrennwände	132
10.6	Licht.....	133
10.7	Beleuchtungsniveaus der Büros bei externer Verschattung.....	142
10.8	Temperaturschichtung an den Büroarbeitsplätzen.....	144
10.9	Radongehalt in der Zuluft aus dem Erdwärmetauscher	146
10.10	CO ₂ -Gehalt als Indikator für die Raumlufqualität	149
11	Nutzerbefragungen.....	153
11.1	Befragung über die Periode „Sommer 2003“	153
11.2	Befragung über die Periode „Winter 2004“.....	157
12	Veröffentlichungen.....	161
13	Quellenverzeichnis	163
14	Anhang	165
14.1	Pflichtenhefte.....	165
14.2	Bezeichnungen der Räume in den Büroflügeln	168
14.3	Wetterdaten.....	170
14.4	Überhitzungsstunden (T>26°C) der Büroräume	179
14.5	Raumlufqualität (CO ₂ -Gehalt).....	181
14.6	Fragebogen Sommer 2003.....	183
14.7	Fragebogen Winter 2004.....	196

Abbildungsverzeichnis

Bild 5.1:	Süd – West Ansicht des Artur-Woll-Hauses	29
Bild 5.2:	Schematischer Grundriss: Erdgeschoss des Artur-Woll-Hauses. Das Gästehaus befindet sich in dem schraffierten Bereich.	30
Bild 5.3:	Nord – Ost Ansicht des Artur-Woll-Hauses, Gästehaus und Nordbau	30
Bild 5.4:	Schematischer Grundriss: Erdgeschoss Büroflügel Süd	31
Bild 5.5:	1. Obergeschoss des Ausstellungsbereichs. Treppenaufgang mit Ausstellungsfläche	31
Bild 5.6:	Bürraum mit Deckensegel.	32
Bild 5.7:	Schematische Innenansicht des Fensterpaneels der Büroräume.	33
Bild 5.8:	Vertikalschnitt des Fensterpaneels der Büroräume.....	33
Bild 5.9:	Zuluftöffnungen der Büroräume	34
Bild 5.10:	Schematische Darstellung der Energieströme in das und innerhalb des Artur-Woll-Hauses.	38
Bild 5.11:	Schematische Darstellung des Heizungssystems. (VL/RL=Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizkreise, LNE=Luftnacherhitzer)	39
Bild 5.12:	Schematische Darstellung des Lüftungskonzeptes. (EWT=Erdwärmetauscher, WRG=Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung).	40
Bild 5.13:	Schematische Darstellung der Raumluftrömung in einem Büro während der Heizperiode.	41
Bild 5.14:	Deckensegel mit integrierten Beleuchtungseinrichtungen.....	42
Bild 5.15:	Von unten nach oben schließender externer Sonnenschutz der Büroräume.	43
Bild 5.16:	Außenansicht des externen Sonnenschutzes der Büroräume.	43
Bild 5.17:	Statischer Sonnenschutz des Ausstellungsbereichs.	44
Bild 6.1:	Schematische Darstellung der Lüftung eines Seminarraums.....	46
Bild 6.2:	Ausbringung der Zuluft über zentralen Auslass in einem Produktionsraum.	46
Bild 7.1:	Schematische Darstellung der installierten Messtechnik. LT: Lufttemperatur; LF: Luftfeuchte; VS: Luftvolumenstrom; TempEWT: Luft-, Innenwand- und Außenwandtemperaturen im Erdwärmetauscher; TempPuffer: Temperatur der Pufferspeicher; Strom: Stromzähler;	51
Bild 8.1:	Wöchentliche Heizwärmelieferung des Gasbrennwertkessels an das Artur-Woll-Haus (ohne Gästehaus) für das Jahr 2003.....	56

Bild 8.2:	Wöchentliche Heizwärmelieferung des Gasbrennwertkessels an das Artur-Woll-Haus (ohne Gästehaus) für das Jahr 2004.	57
Bild 8.3:	Jahresheizwärmebedarf der Gebäudebereiche für 2003 und 2004.	57
Bild 8.4:	Strombedarf der Büroflügel für 2003 und 2004 (ohne Lüftung).	58
Bild 8.5:	Durchschnittliche wöchentliche Belegungsstunden der Büroräume für 2003 und 2004.	59
Bild 8.6:	Tageslinie des elektrischen Strombedarfs des Gesamtgebäudes und der Summe aus den Teilbereichen für den 28.02.2004.	61
Bild 8.7:	Zoneneinteilung des Erdgeschosses.	64
Bild 8.8:	Zoneneinteilung des 1. Obergeschosses.	65
Bild 8.9:	Zoneneinteilung des 2. Obergeschosses.	65
Bild 8.10:	Vergleich des Primärenergiebedarfs von 2004 mit dem des validierten Gebäudemodells.	66
Bild 8.11:	Hydraulische Einbindung der Deckensegel in den Heizkreislauf.	68
Bild 8.12:	Ergebnisse der Simulation der wöchentlichen Wärmeabgabe der ungedämmten Heizungsrohre und der Deckensegel.	69
Bild 8.13:	Vergleich des Heizwärmebedarfs der Büroflügel bei nicht gedämmten und bei gedämmten Heizungsrohren. Die Werte wurden mit dem validierten Simulationsmodell ermittelt.	70
Bild 8.14:	Vergleich des Primärenergiebedarfs des Gesamtgebäudes bei nicht gedämmten und bei gedämmten Heizungsrohren. Die Werte wurden mit dem validierten Simulationsmodell ermittelt. Die rote Linie markiert die Planungsvorgabe (100 kWh/(m ² a)).	71
Bild 8.15:	Stündlich gemittelter Anteil der Büroräume in der Lüftungsstufe 3 („Nachtlüftung“) im Jahr 2003.	72
Bild 8.16:	Stündlich gemittelter Anteil der Büroräume in der Lüftungsstufe 3 („Nachtlüftung“) im Jahr 2004.	73
Bild 8.17:	Etagenweise Jahresmittelwerte der Raumluffttemperaturen der 3 Büroflügel für die Jahre 2003 und 2004.	74
Bild 8.18:	Stündlich gemittelter Anteil der Büroräume in der Lüftungsstufe 3 („Nachtlüftung“) im Jahr 2005.	75
Bild 8.19:	Aktivierungsgrad der Nachtlüftung. Betrachtungszeitraum ist jeweils das gesamte Jahr (2005 bis zum 11.11.).	76
Bild 8.20:	Aktivierungsgrad der Nachtlüftung. Betrachtungszeitraum ist der Nachtlüftungszeitraum der Jahre 2003 bis 2005.	77
Bild 8.21:	Wochen- und Jahressummen des Strombedarfs der Lüftungsanlage der Büros für 2003 und 2004.	79
Bild 8.22:	Wochen- und Jahressummen des Lüftungswärmeverlustes der Büros für 2003 und 2004.	79

Bild 8.23:	Primärenergiebedarf des Simulationsmodells mit gedämmten Rohren im Vergleich mit dem Modell mit korrigierter Nachlüftungsfunktion (vgl. Bild 8.14).....	80
Bild 8.24:	Temperaturverläufe der Außenluft und der Zuluft nach dem Erdwärmetauscher für den Zeitbereich vom 30.01.2004 bis zum 6.02.2004.	81
Bild 8.25:	Volumenströme durch den Erdwärmetauscher im Zeitbereich vom 30.01.2004 bis zum 6.02.2004.....	82
Bild 8.26:	Primärenergiebedarf gemäß der Simulationen mit korrigierter Nachlüftungsfunktion und korrigierter Regelung des Erdwärmetauschers.	82
Bild 8.27:	Schematische Darstellung der hydraulischen Einbindung der Wärmepumpen gemäß falscher Planung und Ausführung.....	83
Bild 8.28:	Schematische Darstellung der korrigierten Einbindung der Wärmepumpen in die Heizungsanlage. Hydraulische Trennung des Kreislaufs WP–Pufferspeicher–Büros mit einem maximalen Temperaturniveau von 52 °C vom restlichen Gebäude, das mit höheren Temperaturen versorgt werden muss.	84
Bild 8.29:	Aus Simulationen berechneter Primärenergiebedarf, nachdem die Einbindung der Wärmepumpen in den Heizkreislauf gemäß Bild 8.28 korrigiert wurde (siehe Bild 8.26).....	85
Bild 8.30:	Belegungsprofil der Büros, der Laborräume und des Ausstellungsbereichs.	86
Bild 8.31:	Belegungsprofil der Seminarräume.....	86
Bild 8.32:	Vergleich des Heizwärmebedarfs der einzelnen Gebäudebereiche anhand des korrigierten validierten Simulationsmodells in der Nutzung Pflichtenheft und der Nutzung des Jahres 2004.	87
Bild 8.33:	Mittlere wöchentliche Belegungsstunden der Büros in allen drei Flügeln für die Jahre 2003 bis 2005 (bis KW 28).	88
Bild 8.34:	Vergleich des mit dem korrigierten validierten Simulationsmodell berechneten Primärenergiebedarfs für eine Nutzung gemäß Pflichtenheft mit der realen Nutzung im Jahr 2004.....	90
Bild 8.35:	Gliederung des Heizwärmebedarfs in die einzelnen Gebäudebereiche. Die Abweichung zwischen der Summe der Teilbereiche und dem Gesamtgebäude ist durch die Ungenauigkeiten (ca. 10%) der verwendeten Wärmemengenzähler begründet.....	91
Bild 8.36:	Jahressummen des Strombedarfs der Gebäudebereiche, des Gesamtgebäudes und der Lüftungsanlage. Die in der Gesamtbilanz fehlenden rund 57 MWh/a entfallen auf die durch die Teilmessungen nicht erfasste Anlagentechnik.	92

Bild 8.37:	Wochensummen des Strombedarfs der Büroräume für das Jahr 2005 aufgeteilt in die Bereiche Beleuchtung, Lüftung und Geräte.	93
Bild 9.1:	Lageplan des Erdwärmetauschers.	97
Bild 9.2:	Temperaturverläufe der Luft nach dem Erdwärmetauscher, der Außenluft und des ungestörten Erdreiches während des Betrachtungszeitraums 15.02 bis 19.02.2004.	99
Bild 9.3:	Stündliche Effizienzgrade des Erdwärmetauschers im Heizbetrieb während des Betrachtungszeitraums 15.02. bis 19.02.2004. Die rote Linie kennzeichnet den Jahresmittelwert von 0,65.	100
Bild 9.4:	Stündliche Effizienzgrade des Erdwärmetauschers im Kühlbetrieb während des Sommers 2004 (1.4. bis 30.9). Die rote Linie kennzeichnet den Mittelwert von 0,54.	101
Bild 9.5:	Stündliche Effizienzgrade des Erdwärmetauschers im Kühlbetrieb während des Sommers 2005 (1.4. bis 30.9). Die rote Linie kennzeichnet den Mittelwert von 0,58.	101
Bild 9.6:	Summen der Volumenströme durch den Erdwärmetauscher, gegliedert in die einzelnen Gebäudebereiche für die Wintermonate 2004 (1.1.–31. 3./1.10.–31. 12.2004) und 2005 (1.1.–31. 3./1. 10.–11.11.2005).	102
Bild 9.7:	Summen der Volumenströme durch den Erdwärmetauscher, gegliedert in die einzelnen Gebäudebereiche für die Sommermonate 2004 und 2005 (1.4. – 30. 9.).	102
Bild 9.8:	Temperaturverläufe der Außenluft, der Zuluft nach dem Erdwärmetauscher und des ungestörten Erdreichs für das Jahr 2004.	104
Bild 9.9:	Temperaturverläufe der Außenluft, der Zuluft nach dem Erdwärmetauscher und des ungestörten Erdreichs für das Jahr 2005 (1.1. bis 11.11.2005).	104
Bild 9.10:	Temperaturverläufe im Erdreich entlang des Erdwärmetauschers in 10 cm Abstand zur äußeren Rohrwand und im ungestörten Erdreich für das Jahr 2003.	105
Bild 9.11:	Temperaturverläufe im Erdreich entlang des Erdwärmetauschers in 10 cm Abstand zur äußeren Rohrwand und im ungestörten Erdreich für das Jahr 2004.	106
Bild 9.12:	Temperaturverläufe im Erdreich entlang des Erdwärmetauschers in 10 cm Abstand zur äußeren Rohrwand und im ungestörten Erdreich für das Jahr 2005 (1.1. bis 11.11.2005).	106
Bild 9.13:	Schematische Darstellung der Plattenwärmetauscher der Seminar- und Laborräume. LNE = Luftnacherhitzer.	108
Bild 9.14:	Wochensummen der zurückgewonnenen Wärmemenge, der Wärmeabgabe des Luftnacherhitzers und des Stromverbrauchs	

	der Lüftungsanlage im Bereich der Seminarräume für das Jahr 2004.	111
Bild 9.15:	Wochensummen der zurückgewonnenen Wärmemenge, der Wärmeabgabe des Luftnacherhitzers und des Stromverbrauchs der Lüftungsanlage der Seminarräume für das Jahr 2005 (1.1. bis 11.11.2005).	111
Bild 9.16:	Wochensummen der zurückgewonnenen Wärmemenge, der Wärmeabgabe des Luftnacherhitzers und des Stromverbrauchs der Lüftungsanlage der Laborräume für das Jahr 2004.	112
Bild 9.17:	Wochensummen der zurückgewonnenen Wärmemenge, der Wärmeabgabe des Luftnacherhitzers und des Stromverbrauchs der Lüftungsanlage der Laborräume für das Jahr 2005 (1.1. bis 11.11.2005).	113
Bild 9.18:	Verlauf der mittleren Raumluffttemperatur der Büroräume und der Außenlufttemperatur, sowie der aus den Büroräumen mittels Nachlüftung abgeführten Wärmemengen im Zeitraum vom 15.04. bis zum 30.09.2003.	114
Bild 9.19:	Verlauf der mittleren Raumluffttemperatur der Büroräume und der Außenlufttemperatur, sowie der aus den Büroräumen mittels Nachlüftung abgeführten Wärmemengen im Zeitraum vom 15.04. bis zum 30.09.2004.	115
Bild 9.20:	Verlauf der mittleren Raumluffttemperatur der Büroräume und der Außenlufttemperatur, sowie der aus den Büroräumen mittels Nachlüftung abgeführten Wärmemengen im Zeitraum vom 15.04. bis zum 30.09.2005.	115
Bild 9.21:	Außenluft- und Raumluffttemperaturen des Büros C202 während einer Hitzeperiode im Jahr 2003. Zeitraum 7.8. bis 13.8.2003.	118
Bild 9.22:	Vergleich der Überhitzungsstunden ($T > 26^{\circ}\text{C}$) des Büros C202 bzw. der Zone 211 und des Mittelwerts aller Büroräume. Die Werte wurden aus den Messungen und den Simulationen am korrigierten validierten Modell für die Jahre 2003 und 2004 ermittelt.	119
Bild 10.1:	Schematischer Grundriss des Raums D102. Die Zahlenwerte stellen die während einer Spurengas-Messung ermittelten lokalen Luftalter in h dar. Das Büro verfügt über ein Luftvolumen von 51 m^3 . Der Abluftvolumenstrom beträgt in der Lüftungsstufe 1: $V=42 \text{ m}^3/\text{h}$. Das durchschnittliche Luftalter beträgt 0,69 h und die Lüftungseffektivität $\eta=0,88$	124
Bild 10.2:	Schematischer Längsschnitt des Raums D102. Die Zahlenwerte stellen die während einer Spurengas-Messung ermittelten lokalen Luftalter in h dar. Das Büro verfügt über ein Luftvolumen von 51 m^3 . Der Abluftvolumenstrom beträgt in der Lüftungsstufe 1: $V=42 \text{ m}^3/\text{h}$. Das durchschnittliche Luftalter beträgt 0,69 h und die Lüftungseffektivität $\eta=0,88$	125

Bild 10.3:	Schematischer Grundriss des Raums D102. Die Zahlenwerte stellen die während einer Spurengas-Messung ermittelten lokalen Luftalter in h dar. Das Büro verfügt über ein Luftvolumen von 51 m ³ . Der Abluftvolumenstrom beträgt in der Lüftungsstufe 2: V=85 m ³ /h. Das durchschnittliche Luftalter beträgt 0,39 h und die Lüftungseffektivität $\eta=0,76$	126
Bild 10.4:	Schematischer Längsschnitt des Raums D102. Die Zahlenwerte stellen die während einer Spurengas-Messung ermittelten lokalen Luftalter in h dar. Das Büro verfügt über ein Luftvolumen von 51 m ³ . Der Abluftvolumenstrom beträgt in der Lüftungsstufe 2: V=85 m ³ /h. Das durchschnittliche Luftalter beträgt 0,39 h und die Lüftungseffektivität $\eta=0,76$	126
Bild 10.5:	Schematischer Grundriss des Raums D102. Die Zahlenwerte stellen die während einer Spurengas-Messung ermittelten lokalen Luftalter in h dar. Das Büro verfügt über ein Luftvolumen von 51 m ³ . Der Abluftvolumenstrom beträgt in der Lüftungsstufe 3: V=189 m ³ /h. Das durchschnittliche Luftalter beträgt 0,22 h und die Lüftungseffektivität $\eta=0,602$	127
Bild 10.6:	Schematischer Längsschnitt des Raums D102. Die Zahlenwerte stellen die während einer Spurengas-Messung ermittelten lokalen Luftalter in h dar. Das Büro verfügt über ein Luftvolumen von 51 m ³ . Der Abluftvolumenstrom beträgt in der Lüftungsstufe 3: V=189 m ³ /h. Das durchschnittliche Luftalter beträgt 0,22 h und die Lüftungseffektivität $\eta=0,602$	127
Bild 10.7:	Südfassade des 2.OG des Westflügels. Die Außentemperatur betrug 2°C, die Innentemperaturen lagen bei 24°C. Die Emissionszahl der Edelstahldach- und Fassadenflächen beträgt 0,18 (Messzeitpunkt 18.02.04).....	129
Bild 10.8:	Westfassade des Erdgeschosses im Westflügel. Die Außentemperatur betrug 2°C, die Innentemperaturen lagen bei 24°C (Messzeitpunkt 18.02.04).	130
Bild 10.9:	Nordfassade des Seminar- und Produktionsbereichs. Die Außentemperatur betrug 2°C, die Innentemperaturen lagen bei 24°C. Die Emissionszahl der Edelstahldachflächen beträgt 0,18 (Messzeitpunkt 18.02.04).	130
Bild 10.10:	Glassfassade der Ausstellung zwischen den Büroflügeln Süd und West. Die Außentemperatur betrug 2°C, die Innentemperaturen lagen bei 24°C. Die Emissionszahl der Edelstahldach- und Fassadenflächen beträgt 0,18 (Messzeitpunkt 18.02.04).	131
Bild 10.11:	Detailaufnahme eines Bürofensters im Erdgeschoss des Westflügels. Die Außentemperatur betrug -4,5°C, die Innentemperaturen lagen bei 24°C (Messzeitpunkt 04.03.04).....	131
Bild 10.12:	Schematischer Versuchsaufbau der Schallmessung zur Bestimmung des bewerteten Bauschalldämm-Maßes.....	132

Bild 10.13:	Grundriss des 1. OG des Artur-Woll-Hauses. In den markierten Büros wurden die Lichtmessungen durchgeführt.	134
Bild 10.14:	Schematischer Grundriss des Büros B 104 im 1. OG des Südflügels. Die beiden Messreihen (Messpositionen 1 bis 14) sind markiert. Alle Abmessungen sind in mm angegeben.	135
Bild 10.15:	Verlauf des Tageslichtquotienten entlang der in Bild 10.14 dargestellten Messreihen im Vergleich mit der aus der Planung stammenden Simulation.	137
Bild 10.16:	Schematischer Grundriss des Büros D 109 im 1. OG des Südflügels. Die Messpositionen 1 bis 6 sind markiert. L1, L2 sind Leuchtstoffröhren mit je 49 W. Alle Maße sind in cm angegeben.	138
Bild 10.17:	Schematische Darstellung und Abmessungen des Arbeitsplatzes im Raum D 109 und des Rasters (20 * 20 cm) für die Messungen der Beleuchtungsstärke.	139
Bild 10.18:	Farbrasterdarstellung der Messwerte auf der Arbeitsfläche. Alle Werte sind in der Einheit Lux angegeben.	139
Bild 10.19:	Grundriss des Flurs im 1. OG des Ostflügels. Die Messpositionen und die Positionen der Lampen sind eingezeichnet. Die Lampen L1 und L2 befinden sich in einer Höhe von 1,9 m über dem Boden. Die Lampe L3 befindet sich im Treppenaufgang auf Bodenhöhe.	140
Bild 10.20:	Verteilung der Beleuchtungsstärke entlang der Messpositionen 1–10 aus Bild 10.19. Die Position der künstlichen Beleuchtungseinrichtungen (L1, L2 und L3) ist gekennzeichnet. Die Messebene lag 2 cm über dem Flurboden.	141
Bild 10.21:	Summe des Strombedarfs für Beleuchtung innerhalb des jeweiligen solaren Strahlungsbandes (20 W/m ²) im Raum C004 im Jahr 2004.	141
Bild 10.22:	Lamellenstellung der externen Verschattungseinrichtung mit Angabe der Maße und Winkel [25]	142
Bild 10.23:	Beleuchtungsstärken im Raum B102 entlang der Raumlängsachse. Die Höhe der Messebene lag 0,85 m über dem Boden. In den Raum gelangte durch das Fenster direkte und diffuse Solarstrahlung. Die Messung wurde am 30.08.2005 um 7:45 Uhr durchgeführt.	143
Bild 10.24:	Schematische Ansicht des Büros B006. Die Messpositionen 0 – 8 sind markiert.	144
Bild 10.25:	Temperaturverläufe der PT100 – Sensoren an den Messpositionen 0 – 8 gemäß Bild 10.24 und der Außenluft am 8. und 9. März 2004. Zu Beginn der Messreihe wurde die Lüftung auf Stufe 1 eingestellt. Nach 7 Stunden Messzeit wurde die Lüftungsstufe 2 aktiviert.	145

Bild 10.26:	Der Nebelversuch wurde am 27.04.2004 zwischen 12:30 Uhr und 13:00 Uhr im Büro des Hausmeisters bei einer Innentemperatur von 24°C und einer Außentemperatur von 19,5°C durchgeführt. Die Photographien wurden beide ca. 5 sec nach Beginn der Nebelausbringung aufgenommen.....	146
Bild 10.27	Lageplan der Messstellen der Radonmessung der Bodenluft am 13.01.2001 auf dem Baugelände des Artur-Woll-Hauses.....	147
Bild 10.28:	Kurvenverlauf der Radonkonzentration der Luft im Einlassbauwerk nach dem Erdwärmetauscher im Messzeitraum vom 29.07. bis zum 9.08.2004. Innerhalb der ersten fünf Messtage wurde permanent Luft aus dem Erdwärmetauscher entnommen. Während der restlichen Messdauer nur tagsüber.	148
Bild 10.29:	Stündlicher Verlauf des CO ₂ -Gehalts der Raumluft des Büros C004 für das Jahr 2004. Die rote Linie markiert einen anderweitig festgelegten Grenzwert von 1010 ppm, der aus Gründen des thermischen Komforts nicht überschritten werden sollte.....	149
Bild 10.30:	Stündlicher Verlauf des CO ₂ -Gehalts der Raumluft im Büro C202 für das Jahr 2004. Die rote Linie markiert den Grenzwert von 1010 ppm.....	150
Bild 10.31:	Stündliche Belegung des Büros C004 im Jahr 2004 (0=Nicht belegt, 1=belegt)......	151
Bild 10.32:	Stündliche Belegung des Büros C202 im Jahr 2004 (0=Nicht belegt, 1=belegt)......	151
Bild A.1:	Pflichtenheft Tageslicht / Kunstlicht.	165
Bild A.2:	Pflichtenheft Nutzung.....	166
Bild A.3:	Pflichtenheft Heizung.....	167
Bild A.4:	Raumbezeichnungen der Büros im Erdgeschoss.....	168
Bild A.5:	Raumbezeichnungen der Büros im 1.Obergeschoss.....	168
Bild A.6:	Raumbezeichnungen der Büros im 2.Obergeschoss.....	169
Bild A.7:	Monatssummen der Heizgradtage (19/12) für den Zeitraum 1.1.2003 bis 11.11.2005.	170
Bild A.8:	Summenhäufigkeitskurven der Außenlufttemperatur der Jahre 2003 bis 2005 (1.1 – 11.11.2005). Für die Temperatur T _{Bezug} =12°C ergab sich im Jahr 2003 eine Summenhäufigkeit von 52 %. Dies bedeutet, dass für 52% des Jahres die Außenlufttemperaturen kleiner oder gleich 12°C waren.	171
Bild A.9:	Überhitzungsstunden T>26°C der Außentemperatur der Jahre 2003 bis 2005 (1.1 – 11.11.2005).....	172
Bild A.10:	Tagesmittelwerte der Außenlufttemperaturen für das Jahr 2003.....	173
Bild A.11:	Tagesmittelwerte der horizontalen Globalstrahlung für das Jahr 2003.....	173

Bild A.12:	Tagesmittelwerte der relativen Außenluftfeuchte für das Jahr 2003.....	174
Bild A.13:	Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeiten für das Jahr 2003.....	174
Bild A.14:	Tagesmittelwerte der Außenlufttemperaturen für das Jahr 2004.	175
Bild A.15:	Tagesmittelwerte der horizontalen Globalstrahlung für das Jahr 2004.....	175
Bild A.16:	Tagesmittelwerte der relativen Außenluftfeuchte für das Jahr 2004.....	176
Bild A.17:	Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeiten für das Jahr 2004.....	176
Bild A.18:	Tagesmittelwerte der Außenlufttemperaturen für das Jahr 2005.	177
Bild A.19:	Tagesmittelwerte der horizontalen Globalstrahlung für das Jahr 2005.....	177
Bild A.20:	Tagesmittelwerte der relativen Außenluftfeuchte für das Jahr 2005.....	178
Bild A.21:	Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeiten für das Jahr 2005.....	178
Bild A.22:	Jahressummen der Überhitzungsstunden ($T > 26^{\circ}\text{C}$) repräsentativer Büroräume im Südflügel für das Jahr 2003.....	179
Bild A.23:	Jahressummen der Überhitzungsstunden ($T > 26^{\circ}\text{C}$) repräsentativer Büroräume im Südflügel für das Jahr 2004.....	179
Bild A.24:	Jahressummen der Überhitzungsstunden ($T > 26^{\circ}\text{C}$) repräsentativer Büroräume im Südflügel für das Jahr 2005. Der Raum C007 wurde 2005 intensiv als Konferenz- und Präsentationsraum genutzt.	180
Bild A.25:	Stündlicher Verlauf des CO_2 -Gehalts der Raumlufte des Büros C004 für das Jahr 2003.....	181
Bild A.26:	Stündlicher Verlauf des CO_2 -Gehalts der Raumlufte des Büros C202 für das Jahr 2003.....	181
Bild A.27:	Stündlicher Verlauf des CO_2 -Gehalts der Raumlufte des Büros C004 für das Jahr 2005.....	182
Bild A.28:	Stündlicher Verlauf des CO_2 -Gehalts der Raumlufte des Büros C202 für das Jahr 2005.....	182

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Vergleich der Planungsrichtlinien mit den Messergebnissen der Jahre 2003 bis 2005 (1.1. – 11.11.) und mit den Ergebnissen der Simulation am korrigierten validierten Gebäudemodell mit den Wetterdaten von 2004. *Primärenergiefaktoren entsprechend EnEV, **Emissionswerte entsprechend GEMIS 4.3 [1].	22
Tabelle 2.2:	Arbeitszahlen des Erdwärmetauschers für die Jahre 2004 und 2005 (1.1. bis 11.11.2005).	23
Tabelle 2.3:	Rückwärmehzahlen der Plattenwärmetauscher des Seminar- und Laborbereichs für die Jahre 2004 und 2005 (1.1. bis 11.11.2005).	23
Tabelle 5.1:	Geometrische Gebäudekenndaten des Artur-Woll-Hauses gemäß DIN 277, Teil 1 und Teil 2.	35
Tabelle 5.2:	Fassadenflächen aufgeteilt nach den Himmelsrichtungen.	35
Tabelle 5.3:	Fensterflächenanteile aufgeteilt nach den Himmelsrichtungen.	36
Tabelle 5.4:	Hauptnutzflächen der Büroflügel.	36
Tabelle 5.5:	Fensterflächenanteile der Büroflügel.	36
Tabelle 5.6:	Baukosten der Kostengruppen KG 300 und KG 400.	36
Tabelle 5.7:	Wärmeschutztechnische Kennwerte der Bauteile	37
Tabelle 5.8:	Technische Daten der installierten Heizungsanlage	39
Tabelle 5.9:	Maximale Volumenströme der Lüftungsanlagen.	41
Tabelle 5.10:	Planungswerte der Volumenströme in den Lüftungsstufen der Lüftungsanlage der Büroflügel.	42
Tabelle 7.1:	Messgrößen und eingesetzte Messsensorik am Artur-Woll-Haus	50
Tabelle 8.1:	Gemessener Heizwärmebedarf der Jahre 2003 und 2004.	55
Tabelle 8.2:	Heizgradtagszahlen (19/12) gemäß DIN 4108/6 für die Jahre 2003 und 2004 am Standort Siegen.	55
Tabelle 8.3:	Heizgradtagbereinigter Heizwärmebedarf der Jahre 2003 und 2004.	55
Tabelle 8.4:	Jährlicher Strombedarf für Beleuchtung und Geräte der Büroflügel für die Jahre 2003 und 2004. Der flächenspezifische Bedarf wurde auf die NGF der Büroflügel bezogen (1697 m ²).	59
Tabelle 8.5:	Jahressummen des Strombedarfs der Gebäudebereiche und des Gesamtgebäudes für die Jahre 2003 und 2004.	60
Tabelle 8.6:	Jahressummen des Strombedarfs für Lüftung der Gebäudebereiche und des Gesamtgebäudes für die Jahre 2003 und 2004.	60
Tabelle 8.7:	Jahressummen des Strombedarfs der Gebäudebereiche und des Gesamtgebäudes inkl. Lüftung für die Jahre 2003 und 2004.	60

Tabelle 8.8:	Übersicht über die elektrischen Verbraucher, die nicht mit den Strommengen-zählern der Teilbereiche erfasst werden (UV=Unterverteilung, NSHV=Niederspannungshauptverteilung).....	62
Tabelle 8.9:	Jahressummen der abgegebenen Wärmemengen der Heizungsrohre und der Deckensegel für 2004.....	69
Tabelle 8.10:	Planungsempfehlungen für die Einstellungen in der Gebäudeleittechnik zum Betrieb der Nachtlüftung.....	72
Tabelle 8.11:	Parameter und Regelungseinstellungen der Funktion Nachtlüftung in 2005.....	74
Tabelle 8.12:	Übersicht über den Anteil des Aktivierungsgrads der Bilder 7.18 und 7.19, der außerhalb des Nachtlüftungszeitraums gemäß Planung liegt. Ergänzend sind die entsprechenden Summen der „Stufe 3“-Stunden angegeben.....	77
Tabelle 8.13:	Vergleich der Aktivierungshäufigkeiten der Nachtlüftung und des Strombedarfs für die Lüftung der Büroräume	78
Tabelle 8.14:	Vergleich der Lüftungswärmeverluste der Büroflügel für 2004 mit den Ergebnissen der Simulationen am validierten Gebäudemodell, dem Modell mit korrigierter Lüftungsregelung und den Messwerten 2005.....	80
Tabelle 8.15:	Übersicht über die internen Gewinne für die Simulationsvarianten Nutzung 2004 und Pflichtenheft.....	89
Tabelle 8.16:	Jährlicher Strombedarf der Büroflügel für die Bereiche Beleuchtung, Lüftung und Geräte.....	93
Tabelle 8.17:	Anforderungen hinsichtlich des Strombedarfs für Beleuchtung, Lüftung und Klimatisierung nach der Norm SIA 380/4 [10] für Einzel- und Gruppenbüros mit normaler Nutzung.....	94
Tabelle 8.18:	Vergleich der planungsrelevanten Kenngrößen aus den Messwerten für das Jahr 2005 mit den Grenzwerten des Förderkonzeptes. *Primärenergie-faktoren entsprechend EnEV [11], **Emissionswerte entsprechend GEMIS 4.3 [1].....	94
Tabelle 8.19:	Regelungsparameter und Auswertungsergebnisse der Funktion Nachtlüftung für das Jahr 2005.....	95
Tabelle 8.20:	Zusammenstellung der Leistungswerte des Erdwärmetauschers für das Jahr 2005.....	95
Tabelle 8.21:	Zusammenstellung der aus den Messwerten gewonnenen Auswertungsergebnisse der Plattenwärmetauscher für den Heizbetrieb (Oktober – April).....	96
Tabelle 9.1:	Kenndaten des Erdwärmetauschers.....	98
Tabelle 9.2:	Zusammenstellung der Leistungswerte des Erdwärmetauschers für die Jahre 2004 und 2005 (1.1. bis 11.11.2005).	103

Tabelle 9.3:	Überhitzungsstunden der Seminarräume für die Jahre 2003 - 2005 (1.1. bis 11.11.2005).....	107
Tabelle 9.4:	Zusammenstellung der Auslegungskennwerte der Plattenwärmetauscher für die Seminar- und Laborräume	108
Tabelle 9.5:	Zusammenstellung der aus den Messwerten für 2004 und 2005 (1.1. bis 11.11.2005) gewonnenen Kennwerte des Plattenwärmetauschers der Seminarräume für den Heizbetrieb (Oktober – April)	109
Tabelle 9.6:	Zusammenstellung der aus den Messwerten für 2004 und 2005 (1.1. bis 11.11.2005) gewonnenen Kennwerte des Plattenwärmetauschers der Laborräume für den Heizbetrieb (Oktober – April).	109
Tabelle 9.7:	Zusammenstellung der Auswertung der Nachtlüftung für die Jahre 2003 bis 2005. Dargestellt sind die Daten während der Sommerzeiträume für die Uhrzeiten 22.00 bis 6.00, in denen die Nachtlüftungsfunktion aktiviert war.	116
Tabelle 9.8:	Parameter der Gebäudeleittechnik zum Betrieb der Nachtlüftung für die Simulationen der Jahre 2003 und 2004.	117
Tabelle 9.9:	Simulationsergebnisse mit dem korrigierten validierten Gebäudemodell für die Wetterdaten der Jahre 2003 und 2004. Dargestellt sind die aus den Büroräumen abgeführte Wärmemenge, der hierzu aufgewandte Stromverbrauch und die Nutzungszahl.....	117
Tabelle 9.10:	Auswertung der Messdaten 2005 hinsichtlich der Nachtlüftungsfunktion. Dargestellt sind die aus den Büroräumen abgeführte Wärmemenge, der hierzu aufgewandte Stromverbrauch und die Nutzungszahl, sowie die Überhitzungsstunden des Raumes C202 und der Mittelwert aller Büroflügel.	120
Tabelle 10.1:	Luftwechselzahlen der Gebäudeteile und volumengewichteter Mittelwert des Gesamtgebäudes.	123
Tabelle 10.2:	Vergleich der gemessenen Volumenströme je Deckensegel mit den Werten aus der Planung	128
Tabelle 10.3:	Messwerte zur Bestimmung des Tageslichtquotienten im Raum B 104.	136
Tabelle 10.4:	Messergebnisse der Beleuchtungsstärkemessung im Raum D 109 am 18.08.03.....	138
Tabelle 10.5	Radonkonzentrationen der Bodenluft an den in Bild 10.27 aufgeführten Messpositionen.....	147
Tabelle 10.6	Klassierung der Raumluftqualität nach dem CO ₂ -Gehalt und Angabe des erforderlichen Außenluftvolumenstroms pro Person.....	149

Tabelle 12.1: Heizgradtagszahlen (19/12) gemäß DIN 4108/6 für die Jahre
2003, 2004 und 2005 (1.1. – 11.11.) am Standort Siegen. 170

1 Einleitung

Die verschiedenen Forschungsprogramme der vergangenen Jahre, die als Zielsetzung die energetischen Optimierung von Gebäuden zum Inhalt hatten, widmeten sich überwiegend den Wohngebäuden. Die Zusammensetzung des Primärenergiebedarfs der Wohngebäude unterscheidet sich jedoch von demjenigen der Nicht-Wohngebäude. Während der Primärenergiebedarf der Wohngebäude überwiegend vom Heizenergiebedarf dominiert wird, teilt sich er sich bei den Nicht-Wohngebäuden, wie z.B. bei Bürogebäuden, gleichmäßig auf die Bereiche Strombedarf für Beleuchtung, Strombedarf für Lüftung und Klimatisierung und den Heizenergiebedarf auf. Inwieweit sich die bisher gewonnenen Erkenntnisse aus den zurückliegenden Forschungsprogrammen auf die sich in den Energieverbrauchsstrukturen unterscheidenden Nichtwohngebäuden übertragen werden können, ist die Aufgabe dieses Forschungsprojekts.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unterstützt im Rahmen seines Förderkonzeptes „SolarBau -Teilkonzept 3“ die Planung und das Monitoring von energieeffizienten und solaroptimierten Gewerbebauten. In diesem Rahmen wurde von der Gesellschaft für Innovation und Transfer (G.I.T.) das Mehrzweckgebäude Artur-Woll-Haus in Nachbarschaft zur Universität Siegen gefördert. Die Gesellschafter der G.I.T. sind die Universität Siegen und die Sparkasse Siegen. Das neue Gebäude mit ca. 3264 m² Netto-Grundfläche ist für 164 Nutzer ausgelegt. Die Konzeption des Gebäudes ist Ergebnis einer öffentlichen Ausschreibung. Die Architekten (Rauls & Partner, Amsterdam) gewannen mit ihrem Entwurf den Wettbewerb. Der Architekt wurde als Generalplaner beauftragt.

In der Phase 1 des Forschungsprojekts wurden von der Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH, Universität Stuttgart IKE/LHR zahlreiche Simulationen zur Optimierung des Energie- und Tageslichtkonzepts durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in einem Schlussbericht „G.I.T. Siegen – Bericht der energetischen Optimierung“ zusammengefasst, der die Grundlage der Planung darstellte. Während dieser Projektphase war das Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie als Berater für den Bauherrn tätig.

Die Phase 2, das Monitoring des fertiggestellten Gebäudes, wurde vom Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie der Universität Siegen vorbereitet und durchgeführt. Die Analyse der gewonnenen Messdaten, sowie die Durchführung zahlreicher bauphysikalischer Messungen im Artur-Woll-Hauses deckten gravierende Fehleinstellungen in der Gebäudeleittechnik und Mängel in der Planung auf. Durch Simulationen mit einem validierten thermischen Gebäudemodell konnte schließlich gezeigt werden, dass das Gebäude nach Beseitigung der aufgedeckten Fehleinstellungen und Mängel die Zielwerte des Forschungsprojekts erreichen kann.

In diesem Endbericht werden dargestellt:

- Beschreibung des Neubauzustand des Gebäudes und der energetisch relevanten Systeme.
- Vorstellung des Konzepts der messtechnischen Untersuchung inkl. der eingesetzten Sensoren.
- Untersuchung und Bewertung der Performance der Anlagentechnik und der energetischen Konzepte. Hierbei werden schwerpunktmäßig Erdwärmetauschers, Nachtlüftung und der Wärmerückgewinnung betrachtet.
- Beschreibung der festgestellten Mängel, die zur Überschreitung der Zielwerte des Forschungsprojekts führten.
- Erstellung eines validierten thermischen Gebäudemodells. Dieses Modell soll an Hand von Simulationen zeigen, ob die Behebung der festgestellten Mängel und Fehleinstellungen in der Gebäudeleittechnik zu einem Gebäude führen wird, das den Anforderungen des Forschungsprojekts genügen kann.

Die Messdatenerfassung erstreckte sich vom 1. Januar 2003 bis zum 11. November 2005. Alle flächenspezifischen Angaben werden auf die Energiebezugsfläche bezogen.

2 Kurzfassung

Ziel des Projektes war die Errichtung und das anschließende Monitoring eines energetisch und solar optimierten Mehrzweckgebäudes mit komfortablen Arbeitsplatzbedingungen hinsichtlich des Tages- und Kunstlichts sowie des Raumklima. Diese Qualität sollte mit einer schlanken Gebäudetechnik und einer hohen Energieeffizienz erreicht werden. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein umfangreiches Energiekonzept unter Einbeziehung von Simulationswerkzeugen erarbeitet, das die Bereiche Wärmeschutz, Raumklima, Tageslicht und Gebäudetechnik abdeckt.

Über den Zeitraum des Monitoring-Projektteils - Januar 2003 bis November 2005 - wurde die Einhaltung der Zielvorgaben überprüft. Bei der Analyse der Messdaten 2003 wurde festgestellt, dass der Primärenergiebedarf des Artur-Woll-Hauses weit über den Richtwerten des Förderkonzeptes lagen. Mit der detaillierten Untersuchung der Gebäudebereiche und der Durchführung zahlreicher bauphysikalischer Messungen konnten die Ursachen für diese Überschreitungen gefunden werden. Folgende Fehleinstellungen in der Gebäudeleittechnik und Planungsfehler im Lüftungs- und Heizungskonzept wurden gefunden:

- Regelung des Nachtlüftungsbetriebs
- Regelung des Betriebs der Erdwärmetauscher
- Auslegung der Lüftungsanlage für die Nachtlüftung
- Integration der Wärmepumpen in das Heizungskonzept
- Nicht gedämmte Heizungsrohre

Im Laufe des Jahres 2004 wurden diese Mängel und Fehleinstellungen aufgedeckt und konnten teilweise noch innerhalb des Monitoringzeitraums beseitigt werden. Um den Einfluss der bis zum Ende des Monitorings nicht beseitigten Mängel energetisch abschätzen zu können und um eine Aussage treffen zu können, ob das Gebäude die Richtlinien des Förderkonzeptes einhalten können, wurde anhand der Messdaten 2004 ein validiertes thermisches Simulationsmodell erstellt. In diesem Modell wurden die oben angeführten Mängel abgebildet. Durch die Beseitigung dieser Mängel innerhalb des Simulationsmodells kann nun eine zuverlässige Aussage darüber getroffen werden, ob das Artur-Woll-Haus nach der Beseitigung der letzten Mängel die Grenzwerte einhalten wird. Zu Beginn des Jahres 2005 wurden die Fehleinstellungen in der Gebäudeleittechnik behoben. Im Folgenden sind die Ergebnisse des Monitorings zusammengefasst. Die Variante „korrigiert“ bezieht sich auf die Simulationsergebnisse des korrigierten validierten Simulationsmodells unter Annahme der Klimadaten von 2004. Die Ergebnisse für das Jahr 2005 setzen sich stets aus den Messdaten des 1.1 – 11.11.2005 zusammen. Die zweite Heizperiode ist somit nur teilweise erfasst worden.

Energiebilanz

In Tabelle 2.1 werden die Ziel- und Planungswerte der Verbräuche von 2003 bis 2005 den entsprechenden Simulationsergebnissen gegenübergestellt.

Messgröße	Einheiten	Solarbau: Monitor	Messdaten			Simulierte Daten (Wetter 2004)
			2003	2004	2005	
Endenergie für Heizung und Warmwasser	(kWh/(m ² a))	≤ 40	127,5	111,6	34,4	47,2
Endenergie Wärme + elektrische Energie für technische Gebäudeausrüstung	(kWh/(m ² a))	≤ 70	153,2	130,2	43,3	60,8
Primärenergie gesamt	(kWh/(m ² a))	≤ 100	336,8	198,5	70,61	101,7
CO ₂ – Emissionen*	kg/(m ² a))	≤ 23	53,3	46,6	14,4	19,7

Tabelle 2.1: Vergleich der Planungsrichtlinien mit den Messergebnissen der Jahre 2003 bis 2005 (1.1. – 11.11.) und mit den Ergebnissen der Simulation am korrigierten validierten Gebäudemodell mit den Wetterdaten von 2004. *Primärenergiefaktoren entsprechend EnEV, **Emissionswerte entsprechend GEMIS 4.3 [1].

In den Jahren 2003 und 2004 verfehlte das Artur-Woll-Haus alle Grenzwerte der Planungsrichtlinien. Die Ursache für die große Diskrepanz im Primärenergiebedarf der Jahre 2003 und 2004 daran, dass der Gasbrennwertkessel 2003 lediglich mit einem mittleren jährlichen Wirkungsgrad von 0,54 arbeitete. Dies lag wiederum an einer falschen Betriebsweise in diesem Jahr. Der stufenweise modulierfähige Brennwertkessel wurde lediglich in der ersten Stufe betrieben. In den beiden Folgejahren lag die Effektivität im freien modulierenden Betrieb bei 0,86. Gemäß den Ergebnissen des korrigierten validierten Simulationsmodells für die Klimadaten des Jahres 2004 würde das Gebäude lediglich den Grenzwert bezüglich des Endenergiebedarfs für die Heizung mit 47,2 kWh/(m²a) nicht einhalten können. Dies kann mit den aufgrund der geringen Belegungszahlen reduzierten internen Gewinnen erklärt werden. Die Messwerte des Jahres 2005 bestätigen die Prognose der Simulationsergebnisse. Zu Messende am 11. November 2005 betrug der Primärenergiebedarf lediglich 70 % des erlaubten Grenzwerts, bezogen auf die CO₂-Emissionen nicht einmal 65%. Im Jahr 2005 sollte das Artur-Woll-Haus somit alle Anforderung des Forschungsprojektes erfüllen können.

Nachtlüftung

Die maschinelle Nachtlüftung der Büroflügel minderte die Raumlufthtemperaturen der Büros in den Sommermonaten, konnte jedoch den thermischen Komfort der Nutzer nicht jederzeit sicherstellen. In einem sehr heißen Sommer, wie in 2003, ist die Nachtlüftung nicht in der Lage, zu verhindern, dass die Raumlufthtemperaturen der Büroräume soweit ansteigen, dass für die Nutzer unkomfortable Bedingungen über viele Stunden eintreten. Insbesondere in den Büros im 2.OG traten Temperaturen über 26°C an bis zu 213 h auf. Bei korrekter Funktionsweise des Gebäudes wäre dies sogar an 230 h der Fall gewesen, was die Simulationen am korrigierten validier-

ten Simulationsmodell gezeigt haben. Im Mittel wiesen die Büroflügel 105 Überhitzungsstunden ($T > 26^{\circ}\text{C}$) auf. Bei korrekter Betriebsweise hätten sich 150 Überhitzungsstunden ergeben.

In den beiden Folgejahren 2004 und 2005, die durchschnittliche Sommer aufwiesen, war die Nachtlüftung bei korrekter Betriebsweise in der Lage, den thermischen Komfort der Nutzer während der Sommermonate zu gewährleisten.

Erdwärmetauscher

Der Erdwärmetauscher konditioniert die Zuluft für den Nordbau vor. Er ist den Raumluftgeräten des Seminars und der Laborräume vorgeschaltet und war über die Dauer des Monitorings zuverlässig in der Lage, die ihm zugeordnete Funktion als Defroster zu erfüllen. Die folgende Tabelle zeigt die Arbeitszahlen des Erdwärmetauschers für den Heiz- und den Kühlbetrieb der Jahre 2004 und 2005.

Arbeitszahl	2004	2005
Heizen (-)	0,65	0,76
Kühlen (-)	0,54	0,58

Tabelle 2.2: Arbeitszahlen des Erdwärmetauschers für die Jahre 2004 und 2005 (1.1. bis 11.11.2005).

In den Sommermonaten war der Erdwärmetauscher stets in der Lage, den thermischen Komfort der Nutzer im Seminar- und Laborbereich sicherzustellen.

Plattenwärmetauscher

Die in den Raumluftgeräten des Seminar- und Laborbereichs integrierten Plattenwärmetauscher liegen hinsichtlich der erzielten Rückwärmezahlen im Einbauzustand leicht über den Herstellervorgaben (siehe Tabelle 2.3).

	Rückwärmezahl (-)	
	Seminar	Labor
Herstellervorgaben	0,55	0,54
2004	0,59	0,62
2005	0,56	0,63

Tabelle 2.3: Rückwärmezahlen der Plattenwärmetauscher des Seminar- und Laborbereichs für die Jahre 2004 und 2005 (1.1. bis 11.11.2005).

Beleuchtungskonzept

Die während des Monitorings durchgeführten Messungen der Beleuchtungsstärken in den Büros zeigen, dass das in der Planung ausgearbeitete Beleuchtungskonzept die von DIN 5034 und DIN 5035 gestellten Anforderungen für fensternahe Arbeitsplätze mit und ohne künstliche Beleuchtung erfüllt. Ebenso wird der Mindestwert des Tageslichtquotienten in halber Raumtiefe eingehalten. Der Strombedarf für die künstliche Beleuchtung ist direkt abhängig von der Globalstrahlung. Je höher die Globalstrahlung, desto geringer ist der Strombedarf.

Gebäuderegulung

Dieses Projekt hat gezeigt, dass eine große Notwendigkeit besteht, die Regelung der Gebäudetechnik nach Inbetriebnahme eines Gebäudes intensiv zu überprüfen. Bei der Einrichtung der Gebäudeleittechnik werden immer Fehler auftreten, welche erst durch gezielte Überprüfungen gefunden und beseitigt werden können. Beim Artur-Woll-Haus konnten mit Hilfe der detaillierten Datenerfassung mehrere schwerwiegende Fehler beseitigt werden. Erst nach der Beseitigung der Fehlereinstellungen werden die Zielwerte des Förderkonzeptes eingehalten, wie die Auswertungen der Messdaten für das Jahr 2005 zeigen.

3 Das Förderkonzept

Das nachhaltige bzw. energiesparende Bauen wird zukünftig immer bedeutsamer. Deshalb wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) das Förderkonzept „Solar optimiertes Bauen“ (kurz: „SolarBau“) ins Leben gerufen, mit dem die energetische Effizienz unter Berücksichtigung der Nutzung von Solarenergie im Bauwesen weiterentwickelt und gefördert werden soll. Zielsetzungen des Förderkonzeptes:

- Weiterentwicklung von Technologien für höhere Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien in Gebäuden.
- Erarbeitung praxistauglicher Planungswerkzeuge mit denen das Expertenwissen einem größeren Kreis von Architekten und Fachingenieuren zugänglich gemacht werden kann.
- Errichtung von forschungsintensiven Demonstrationsgebäuden mit Vorbildfunktion, die zur technischen Erprobung und weiteren Verbesserung dienen.

Geplant waren ca. 25 Demonstrationsgebäude. Der Gebäudetyp „Nichtwohnbauten“ bildete hierbei einen neuen Forschungsschwerpunkt des Bundes, da im Vergleich zu Wohnbauten bisher in diesem Bereich nur wenige Forschungsergebnisse vorliegen.

Das Forschungsprogramm gliedert sich in 3 Teilkonzepte:

- Teilkonzept 1: Passive Solarsysteme und Komponenten
- Teilkonzept 2: Solarunterstützte Heizungs- und Lüftungssysteme
- Teilkonzept 3: Solaroptimierte Gebäude mit minimalem Energiebedarf

Im Teilkonzept 3 werden forschungsintensive Demonstrationsgebäude (aus dem „Nichtwohnungsbau“) gefördert. Es umfasst zwei Phasen:

- Phase I: Planung, Optimierung, Bau
Planung, energetische Simulation und Optimierung, Bauausführung, Dokumentation
- Phase II: Evaluierung
Testmessungen, Anpassungen, Abnahme, erste Messphase, Systemoptimierung, zweite Messphase, Projektauswertung, Dokumentation, Abschlussbericht, Öffentlichkeitsarbeit.

Für das Förderprojekt gelten die folgenden Zielwerte:

- Nutzenergie für Heizung und Warmwasserbereitung < 40 kWh/m²a
- Summe aus Nutzenergie für die Beheizung und elektrischer Energie für die technische Gebäudeausrüstung < 70 kWh/m²a
- Summe der Primärenergie < 100 kWh/m²a
- Summe der CO₂ Emissionen < 23 kg/m²a

Als Energiebezugsfläche gilt die beheizte Nettogrundfläche. Die primäre Aufgabenstellung innerhalb des Förderprogramms besteht in der Ausarbeitung detaillierter baulicher und technischer Lösungen, welche für das energiesparende Bauen zielführend sind und architektonisch überzeugend umgesetzt werden können. Für jedes Projekt soll die optimale Energie-Strategie entwickelt werden, die den Gesamtenergieeinsatz bei guter Behaglichkeit minimiert. Bereits während der Planung sollen die Gebäude mit Hilfe von Simulationen in mehreren Varianten ganzheitlich optimiert werden und nach Energiebedarf und Betriebskosten bewertet werden. Die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten realisierten energetisch effizienten und hinsichtlich der thermischen Komforts verbesserten Gebäudekonzepte werden während der Nutzungsphase an Hand vergleichender Messungen überprüft und optimiert. Das „Solar optimierte Mehrzweckgebäude der GIT-Siegen“ wurde innerhalb des Teilkonzeptes 3: „Solaroptimierte Gebäude mit minimalem Energiebedarf“ gefördert.

4 Projektbeteiligte

Phase 1: Planung, Optimierung

Antragssteller und Bauherr:	Gesellschaft für Innovation und Transfer G.I.T., Siegen
Berater des Bauherrn:	Fachbereich Bauphysik & Solarenergie, Siegen
Projektsteuerung:	BAUWERT Projekt Consult GmbH, Dillenburg.
Generalplaner und Architekt:	Rau & Partners, NL-Amsterdam.
Generalplanmanagement und Gesamtbauleitung:	Haack+Klauke+Schlüter Ingenieurgesellschaft mbH, Holzminden.
Energie- und Tageslichtkonzept:	Forschungsgesellschaft HLK Stuttgart mbH, Uni- versität Stuttgart IKE/LHR.
Planungsplattform:	Institut für industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe.
Tragwerksplanung:	abt Adviesbureau Bouw, NL-Arnheim.
Fachingenieur TGA:	Gertec, Essen
Landschaftsarchitektur:	Frau Marianne Schubert

Phase 2: Monitoring

Universität Siegen, Fachgebiet Physik,
Fachbereich Bauphysik & Solarenergie,
Prof. F.D. Heidt, Dipl. –Ing. M. Müller

Im Auftrag des:	Bundesministeriums für Wirtschaft und Technolo- gie.
Projektträger:	Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich (PTJ), Jülich.
Förderkennzeichen:	0335006Q.
Zeitraum:	Januar 1998 – Juni 2006.

5 Objektbeschreibung

Das solar optimierte Mehrzweckgebäude der GIT-Siegen entstand in direkter Nachbarschaft zur Universität Siegen auf dem Gelände eines ehemaligen Heizkraftwerks. Die Architekten Rau & Partner aus Amsterdam wurden vom Bauherrn aufgrund eines Wettbewerbs ausgewählt. Das Gebäude erhielt im Rahmen der Einweihungsfeier zu Ehren des Gründungsrektors der Universität Siegen die Bezeichnung Artur-Woll-Haus. Die ersten Mieter bezogen das Gebäude im November 2002.



Bild 5.1: Süd – West Ansicht des Artur-Woll-Hauses

Die äußere Erscheinung des Gebäudes wird durch die drei fingerartigen Büroflügel und die abgerundete Form der Außenwände geprägt. Diese sind zudem gegenüber der Vertikalen um $3^\circ - 6^\circ$ nach außen geneigt. Der mittlere Büroflügel verläuft in Nord Süd- Richtung, die beiden äußeren Flügel sind jeweils um $17,5^\circ$ relativ zur Südausrichtung gedreht (Bild 5.2). Nach Norden schließt der Ausstellungsbereich an die Büroflügel an. Er dient zur Erschließung des Gebäudes und verbindet die Büroflügel mit dem ellipsoiden Nordbau. Im Erdgeschoss des Nordbaus ist der Labor- und Produktionsbereich untergebracht und im 1. Obergeschoss befinden sich die Seminarräume (Bild 5.3).

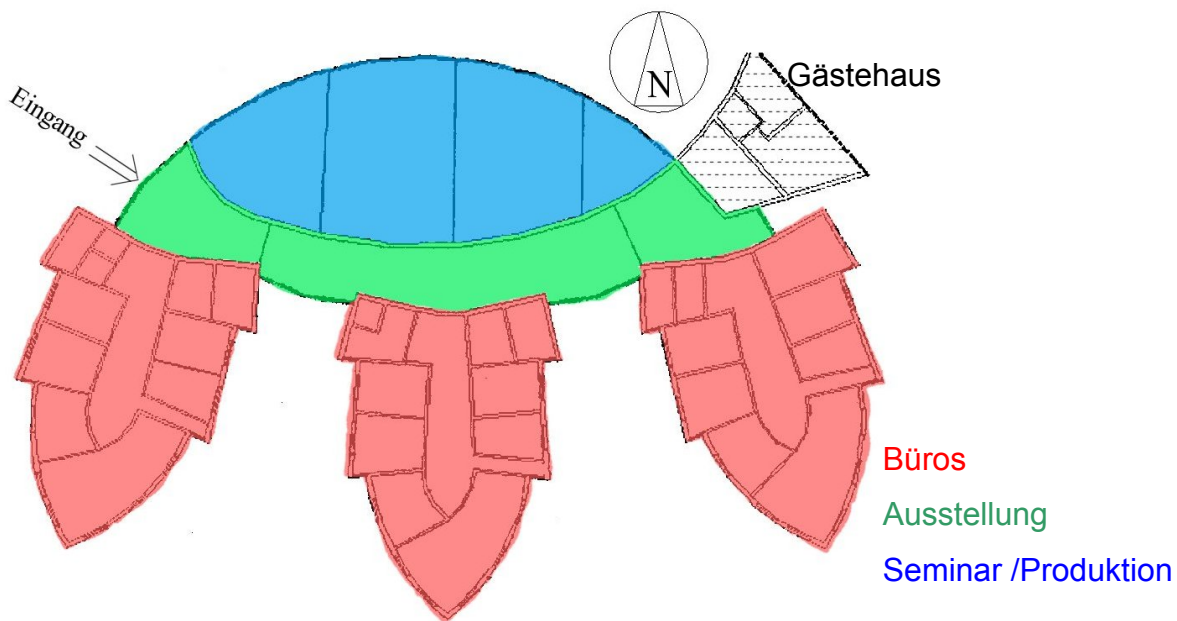


Bild 5.2: Schematischer Grundriss: Erdgeschoss des Artur-Woll-Hauses. Das Gästehaus befindet sich in dem schraffierten Bereich.

In östlicher Richtung ist das Gästehaus der Universität Siegen an den Ausstellungsbereich angegliedert. Der Haupteingang des Artur-Woll-Hauses befindet sich an der Westfassade. Die Büroflügel und der Ausstellungsbereich verfügen über drei Geschosse. Der Nordbau ist zweigeschossig und das Gästehaus ist fünfgeschossig ausgeführt. Das Gästehaus ist nicht Bestandteil des Forschungsprojekts. In den drei Büroflügeln sind 67 Büroräume mit insgesamt 164 Arbeitsplätzen untergebracht. Die Büroräume sind jeweils entlang der Außenfassaden um einen zentralen Flur angeordnet (Bild 5.4).



Bild 5.3: Nord – Ost Ansicht des Artur-Woll-Hauses, Gästehaus und Nordbau

Bei der Grundrissgestaltung wurde, um die Tageslichtversorgung der Räume zu optimieren, großer Wert auf geringe Raumtiefen gelegt. Alle Büroarbeitsplätze sind fensternah angeordnet. Die sanitären Einrichtungen sind etagenweise im Kopfbereich des Südflügels untergebracht.

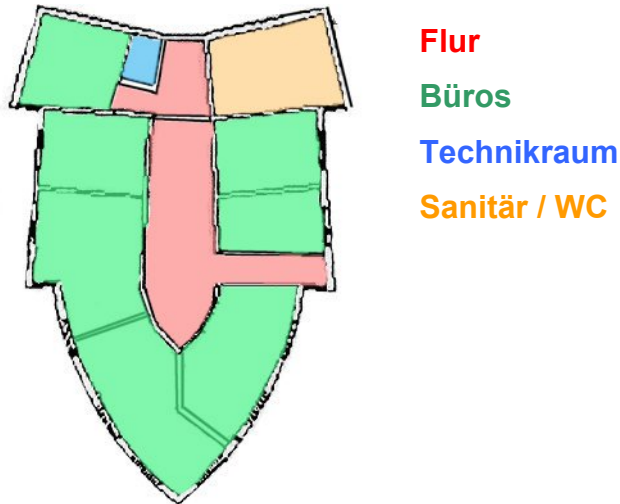


Bild 5.4: Schematischer Grundriss: Erdgeschoss Büroflügel Süd

Der Nordbau verfügt im Erdgeschoss über vier Labor- bzw. Produktionsräume und im ersten Obergeschoss über einen großen Seminarbereich, der durch zwei mobile Trennwände flexibel in bis zu drei separate Räume unterteilt werden kann. Die maximale Belegungszahl des Seminars liegt bei 199 Personen.

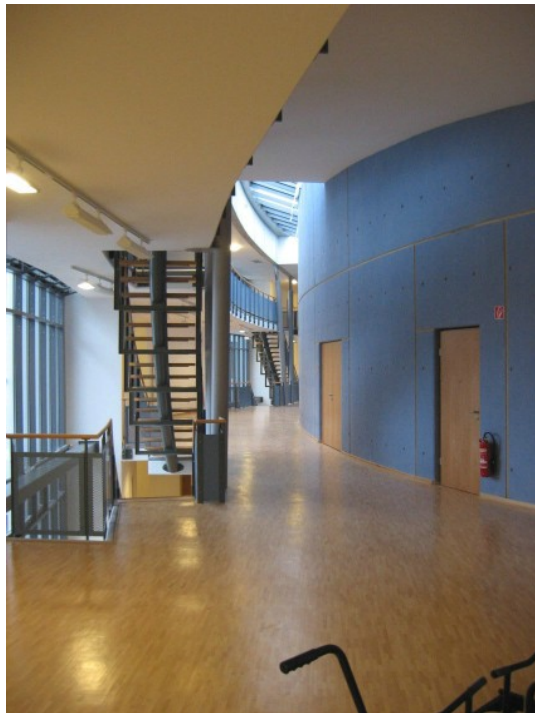


Bild 5.5: 1. Obergeschoss des Ausstellungsbereichs. Treppenaufgang mit Ausstellungsfläche

Der Ausstellungsbereich stellt neben der Funktion der Gebäudeerschließung Raum für kleine Ausstellungen und Präsentationen zur Verfügung (Bild 5.5). Im Gegensatz zu üblichen Bürobauten wurde beim Artur-Woll-Haus bewusst auf eine Klimaanlage verzichtet. Statt dessen verfügt das Gebäude über einen sehr guten Wärmeschutz, eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft der Büroflügel durch zwei Luft-Wasser Wärmepumpen, eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung für den Nordbau und einen Erdwärmetauscher (EWT) zur Vorkonditionierung der Zuluft für den Nordbau und die Ausstellung. Für komfortable Bedingungen im Sommer sorgen außenliegende Verschattungseinrichtungen, die sehr gut gedämmte Außenhülle, eine Nachtlüftung und der EWT. Die Büroräume werden über die multifunktionalen „Deckensegel“ beheizt. Die Zuluft wird beim Überströmen dieser ca. 5,3 m² großen statischen, von der Decke abgehängten Heizflächen erwärmt (Bild 5.6).



Bild 5.6: Büroraum mit Deckensegel.

Von den beiden in die Deckensegel eingelassenen Leuchtstoffröhren werden jeweils die fensternahen durch Helligkeitssensoren gedimmt. Die ebenfalls integrierten schallabsorbierenden Elemente dienen zur Verbesserung der Raumakustik. Die Bild 5.7 und Bild 5.8 zeigen ein Fensterpaneel in der Innenansicht und in einem vertikalen Schnitt. Jedem dieser Paneele ist eine Arbeitsplatzeinheit bestehend aus einem Deckensegel und zwei Arbeitsplätzen zugeordnet.

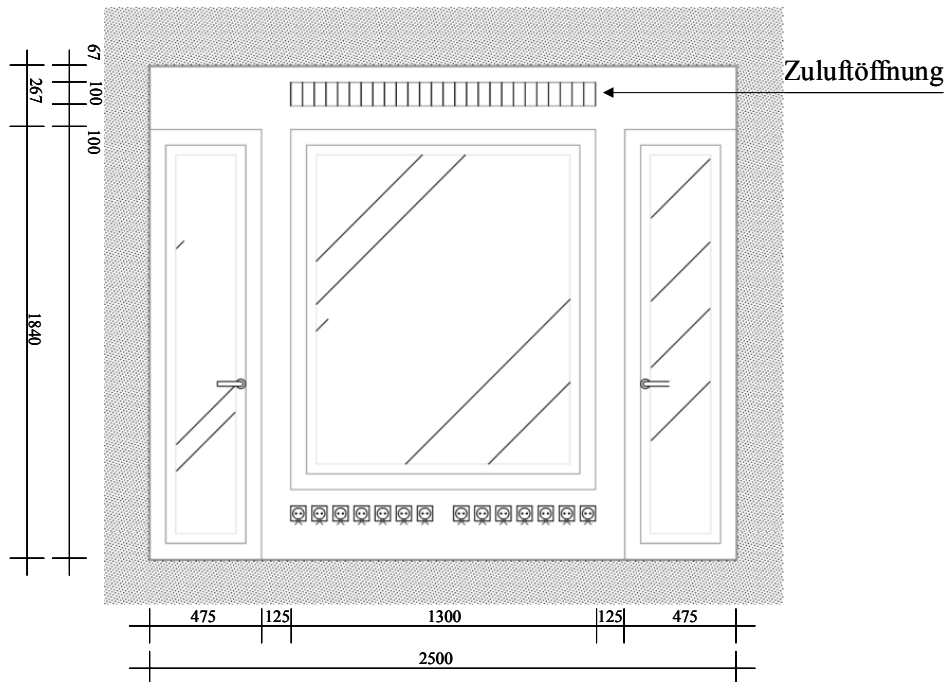


Bild 5.7: Schematische Innenansicht des Fensterpaneels der Büroräume.

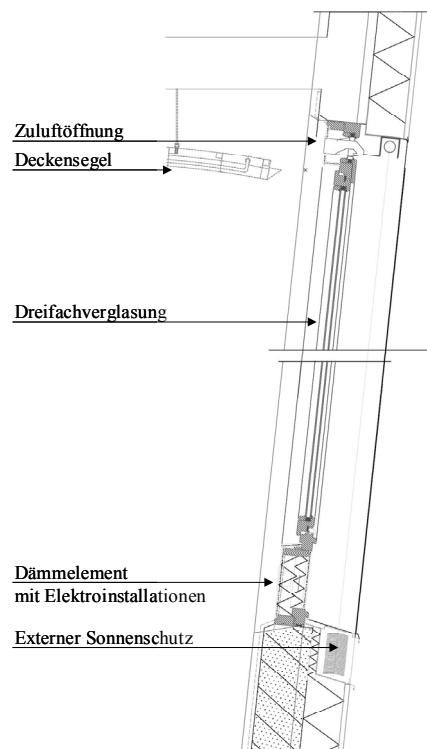


Bild 5.8: Vertikalschnitt des Fensterpaneels der Büroräume.

Die Paneele verfügen jeweils über zwei schmalere Fensterflügel, die links und rechts neben einem größeren, nicht zu öffnenden Fenster angeordnet sind. Die Fenster sind in Dreifachverglasung mit Argonfüllung ausgeführt.



Bild 5.9: Zuluftöffnungen der Büroräume

Über diesem zentralen Fenster befinden sich die Zuluftöffnungen (Bild 5.9). Darunter sind Elektroinstallationen in das Paneel integriert. Der von unten nach oben schließende externe Sonnenschutz (Bild 5.16) ist im geöffneten Zustand im unterhalb des Fensters befestigten Jalousienkasten untergebracht.

5.1 Gebäudekenndaten

Die folgende Tabelle 5.1 zeigt die geometrischen Gebäudekenndaten gemäß der DIN 277 Teil 1 und Teil 2 [2].

Netto-Rauminhalt (NRI)	14.840	m ³
Brutto-Grundfläche (BGF)	3.591	m ²
Netto-Grundfläche (NGF)	3.264	m ²
Hauptnutzflächen (HNF)		
	Büros	1.697 m ²
	Seminarräume	250 m ²
	Labor / Produktion	244 m ²
	Ausstellungsbereich	294 m ²
	Gesamt	2.485 m ²
Nebennutzflächen (NNF)	77	m ²
Verkehrsfläche (VF)	570	m ²
Funktionsfläche (FF)	172	m ²
A/V - Verhältnis (m ⁻¹)	0,37	(m ⁻¹)

Tabelle 5.1: Geometrische Gebäudekenndaten des Artur-Woll-Hauses gemäß DIN 277, Teil 1 und Teil 2.

Die Fassadenflächen sind in Tabelle 5.2 und die Fensterflächenanteile je Himmelsrichtung sind in Tabelle 5.3 aufgelistet.

Himmelsrichtung	Fläche (m ²)
Nord	131
Süd	343
Ost	771
West	805

Tabelle 5.2: Fassadenflächen aufgeteilt nach den Himmelsrichtungen.

Himmelsrichtung	Anteil (%)
Nord	44
Süd	69
Ost	34
West	36

Tabelle 5.3: Fensterflächenanteile aufgeteilt nach den Himmelsrichtungen.

Die Hauptnutzflächen der Büroflügel können aus Tabelle 5.4 und deren Fensterflächenanteile aus Tabelle 5.5 entnommen werden.

Hauptnutzfläche Büroflügel		
Ostflügel	582	m ²
Westflügel	536	m ²
Südflügel	478	m ²

Tabelle 5.4: Hauptnutzflächen der Büroflügel.

Fensterflächenanteile Büroflügel		
Osten	31	%
Westen	31	%
Süden	24	%

Tabelle 5.5: Fensterflächenanteile der Büroflügel.

Die Baukosten - aufgegliedert in die Kostengruppen KG 300 und KG 400 - sind in Tabelle 5.6 dargestellt.

Kostengruppen	Baukosten
KG 300	1.616 €/m ²
KG 400	445 €/m ²

Tabelle 5.6: Baukosten der Kostengruppen KG 300 und KG 400.

5.2 Energetisches Konzept und technische Gebäudeausrüstung

Während der Planungsphase wurde für das Gebäude ein Jahresheizwärmebedarf von 47,4 kWh/m²a (nach WschVo`95) ermittelt. Der maximal zulässige Wert von 94,8 kWh/(m²a) wurde somit um ca. 50% unterschritten. Das Gebäude erfüllt deswegen die Anforderungen, die für ein Niedrigenergiehaus zugrundegelegt werden. Grund für den geringen Heizwärmebedarf ist u.a. eine sehr gute Dämmung der Gebäudehülle. Die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Außenbauteile sind in Tabelle 5.7 aufgeführt. Der mittlere U-Wert der Außenhülle beträgt 0,36 W/(m²K). Ein weiterer Grund für den niedrigen Heizwärmebedarf ist die in das Artur-Woll-Haus integrierte energieeffiziente Gebäudetechnik.

Bauteil	U-Wert (W/(m ² K))
Seminar / Produktion	
Außenwand	0,23
Dach	0,15
Grundfläche	0,26
Fenster	0,87
Ausstellung	
Außenwand	0,23
Glasfassaden	1,10
Büroflügel	
Außenwand	0,23
Dach	0,15
Grundfläche	0,25
Fenster	0,87
Dachfenster	1,10
Keller	
Wand gegen Erdreich	0,27
Grundfläche	0,25
Mittlerer U-Wert der Außenhülle	0,36

Tabelle 5.7: Wärmeschutztechnische Kennwerte der Bauteile

Die Energieströme in das und innerhalb des Gebäudes sind in Bild 5.10 dargestellt. In das Artur-Woll-Haus fließt neben den Endenergieströmen „Netzstrom“ und „Erdgas“ ein Wärmestrom „Umgebungswärme / -kälte“ aufgrund der mechanischen und natürlichen Belüftung des Gebäudes. Je nachdem, ob sich das Gebäude im Heiz-

oder Sommerbetrieb befindet, stellt der Wärmestrom eine Wärmequelle oder eine Wärmesenke dar. Aus dem Gebäude heraus fließt der Energiestrom „Abwärme“. Dieser setzt sich aus den Transmissions- und den Lüftungswärmeverlusten zusammen.

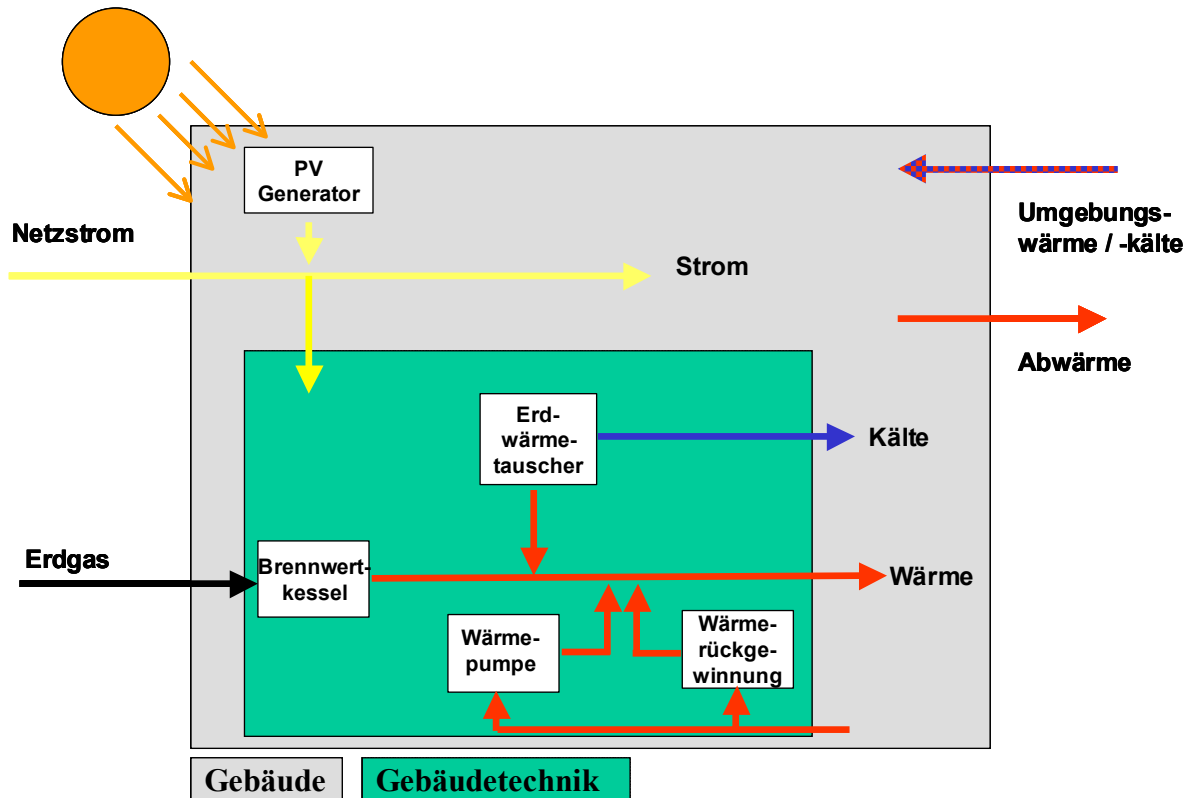


Bild 5.10: Schematische Darstellung der Energieströme in das und innerhalb des Artur-Woll-Hauses.

Heizung

Das Heizsystem wird in Bild 5.11 schematisch beschrieben. Das Gebäude verfügt über zwei Alternativen zur Bereitstellung der angeforderten Wärme. Die Hauptlast der drei Büroflügel soll vorrangig durch die zwei Luft-Wasser Wärmepumpen gedeckt werden. Der verbleibende Heizwärmebedarf, sowie derjenige der übrigen Gebäudeteile wird von einem Gasbrennwertkessel erzeugt.

Die Wärmepumpen gewinnen die Abwärme teilweise aus der Abluft der Büroflügel zurück und übergeben diese an den Heizungskreislauf. Die zurückgewonnene Wärme wird entweder direkt zur Beheizung der Büroflügel genutzt oder an die beiden Pufferspeicher (2 x 2000 l) übergeben. Diese sollen solche Zeiten überbrücken, in denen der Abluftvolumenstrom aus den Büros nicht groß genug ist, um die Wärmepumpen zu betreiben oder der Wärmebedarf höher ist, als die momentan von den Wärmepumpen abgegebene Wärmeleistung. Dies trifft z.B. auf die frühen Morgenstunden zu, wenn das Gebäude aus der Nachtabsenkung in den Tagbetrieb gefahren wird.

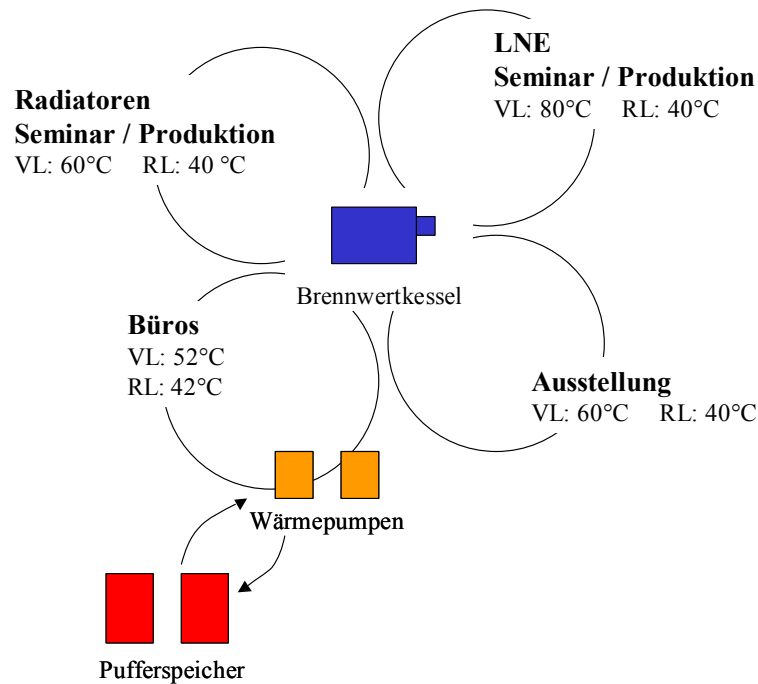


Bild 5.11: Schematische Darstellung des Heizungssystems. (VL/RL=Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizkreise, LNE=Luftnacherhitzer)

In diesen Zeiten sind erst wenige Büros belegt und folglich nur geringe Abluftmengen vorhanden. In Tabelle 5.8 sind die technischen Daten der Heizungsanlage dargestellt. Die Wärmeübergabe an die Raumluft erfolgt in den Büros über die Deckensegel, die als statische Heizflächen fungieren, in der Ausstellung über Konvektoren und im Seminar- und Produktionsbereich über eine Luftnacherhitzung der Zuluft nach den Plattenwärmetauschern und Radiatoren in den einzelnen Räumen bzw. Raumzonen.

Gasbrennwertkessel		
Heizleistung	220	kW
Luft-Wasser Wärmepumpen		
Heizleistung	2 x 12	kW
Elektrische Leistung	2 x 5	KW
max. Volumenstrom	2 x 3500	m ³ /h
Pufferspeicher		
Inhalt	2 x 2000	l

Tabelle 5.8: Technische Daten der installierten Heizungsanlage

Warmwasserbereitung

Die Warmwasserbereitung erfolgt über elektrische Untertischgeräte. Diese dezentrale Lösung wurde gewählt, da Warmwasser lediglich in den Küchennischen des Südflügels und in der Behindertentoilette des Westflügels benötigt wird. Die gezapften Mengen sind somit sehr gering und werden in der weiteren Betrachtung nicht gesondert aufgeführt.

Lüftung

Das Gebäude verfügt über drei unterschiedliche Lüftungskonzepte (Bild 5.12). Ausstellungsbereich und Nordteil werden über einen Erdwärmetauscher mit vortemperierter (im Winter erwärmter, im Sommer gekühlter) Zuluft versorgt. Der Nordteil verfügt zudem über eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. Die Büros sind mit einer Abluftanlage mit Wärmepumpen ausgestattet, die auch für die Abluft der Ausstellung herangezogen wird. Die Frischluft gelangt direkt von außen über die Zuluftklappen in den Büroräume.

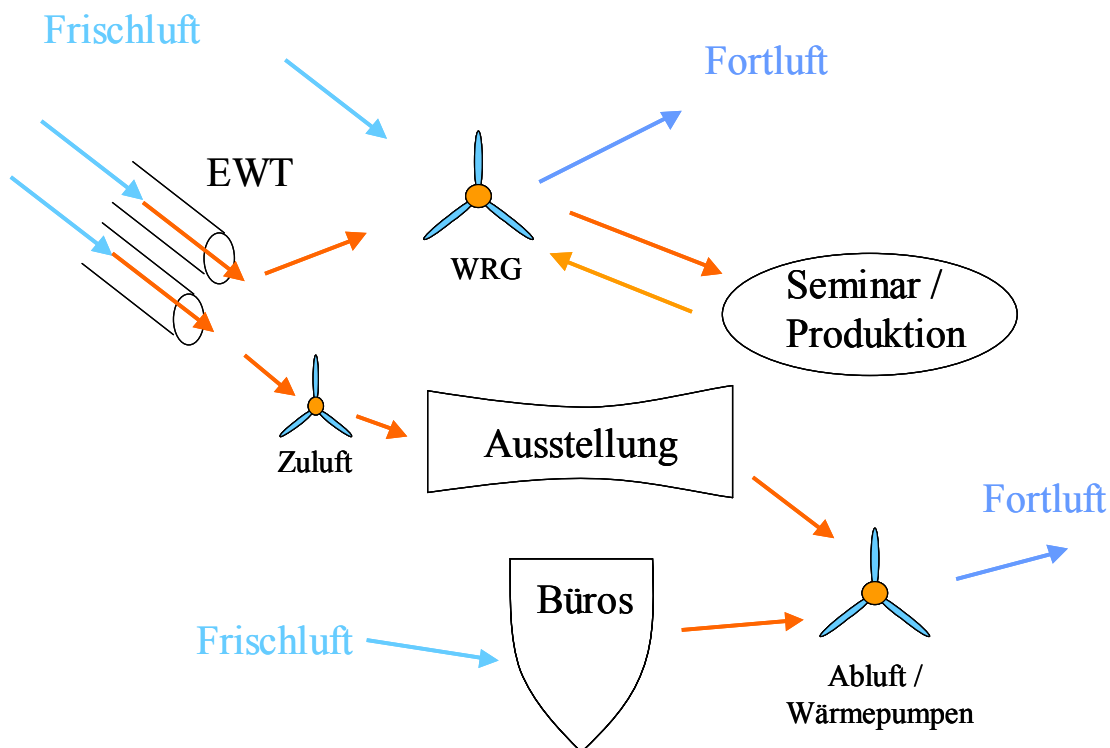


Bild 5.12: Schematische Darstellung des Lüftungskonzeptes. (EWT=Erdwärmetauscher, WRG=Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung).

In Tabelle 5.9 sind die maximalen Volumenströme aufgeführt, mit denen die einzelnen Bereiche versorgt werden können.

Gebäudeteil	Volumenstrom (m ³ /h)
Seminar	6000
Produktion	2000
Ausstellung	2000
Büroflügel	3 x 8500

Tabelle 5.9: Maximale Volumenströme der Lüftungsanlagen

Die Luftführung in den Büroräumen ist in Bild 5.13 schematisch dargestellt. Die Frischluft strömt durch oberhalb der Fenster angeordnete Zuluftklappen in das Gebäude ein. Sie überströmt das Deckensegel, an dem sie während der Heizperiode erwärmt wird. Nach dem Überstreichen verteilt sich die Luft in einer Strömungswalze im Raum, bevor sie an der Abluftöffnung oberhalb der Türen abgesaugt wird.

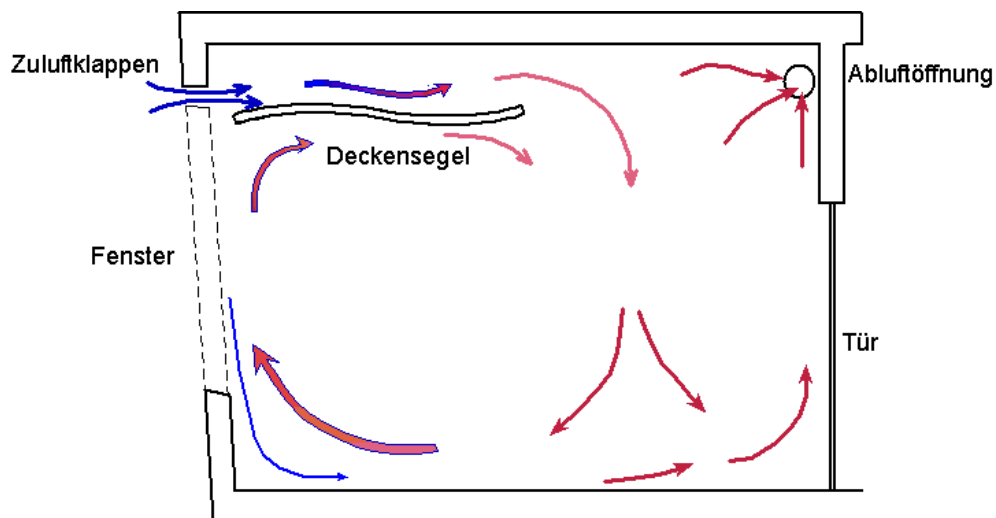


Bild 5.13: Schematische Darstellung der Raumluftrichtung in einem Büro während der Heizperiode.

Die Abluftanlage verfügt über drei Betriebsstufen. Stufe 1 wird durch den Präsenzmelder in den Büroräumen aktiviert. Sie entspricht der Belegung von einer Person je Arbeitsplatzeinheit. Tritt eine weitere Person in denselben Raum, so muss diese den Anwesenheitstaster der Einzelraumregelung betätigen, um die Lüftungsstufe 2 einzuschalten. Lüftungsstufe 3 wird von der Gebäudeleittechnik im Sommer bei Kühlbedarf während der Nacht eingeregelt. In Tabelle 5.10 sind die Lüftungsstufen mit den in der Planung festgelegten Volumenströmen aufgelistet.

Lüftungsstufen	Volumenstrom (m³/h) je Deckensegel
Stufe 1 (einfache Belegung)	45
Stufe 2 (doppelte Belegung)	90
Stufe 3 (Nachtlüftung)	300

Tabelle 5.10: Planungswerte der Volumenströme in den Lüftungsstufen der Lüftungsanlage der Büroflügel.

Lüftungswärmeverluste werden durch die dichte Bauweise und die Wärmerückgewinnungssysteme minimiert.

Beleuchtung

Der Grundriss der Büros wurde so angelegt, dass die Arbeitsplätze fensternah angeordnet sind und so die Tageslichtversorgung optimiert ist. Die künstliche Beleuchtung in Form zweier 49 Watt Leuchtstoffröhren ist in die Deckensegel integriert (Bild 5.14). Dabei wird die fensternahe Leuchtstoffröhre über einen Helligkeitssensor automatisch gedimmt.



Bild 5.14: Deckensegel mit integrierten Beleuchtungseinrichtungen

Neben der fensternahen Anordnung der Arbeitsplätze spielt der von unten nach oben schließende externe Sonnenschutz eine wichtige Rolle bei der Tageslichtoptimierung. Bei direkter Sonneneinstrahlung wird der Sonnenschutz soweit nach oben gefahren, bis die Nutzer blendfrei arbeiten können. Gleichzeitig gelangt durch den oberen noch freien Bereich genügend Tageslicht in den Büroraum, um eine ausreichende Beleuchtung sicherzustellen (Bild 5.15).



Bild 5.15: Von unten nach oben schließender externer Sonnenschutz der Büroräume.

Sonnenschutz

Die Büroräume sind mit einem von unten nach oben schließenden externen Sonnenschutz ausgestattet (Bild 5.16). Diese Jalousien dienen sowohl der Verringerung des solaren Energieeintrags in die Büros, als auch dem Blendschutz der Nutzer. Durch eingestellte Grenzwerte der Windgeschwindigkeit und Außentemperatur, bei deren Überschreitung die Sonnenschutzvorrichtungen automatisch heruntergefahren werden, sind die Jalousien gegen Wind- und Frostschäden gesichert. Die Fassaden können für jede Himmelsrichtung separat angesteuert werden.



Bild 5.16: Außenansicht des externen Sonnenschutzes der Büroräume.

Ein Zeitprogramm unterscheidet zwischen An- und Abwesenheit im Büro. Für die Anwesenheit sind Grenzwerte der Helligkeitsschwelle zum Aktivieren und Deaktivieren des Sonnenschutzes einzustellen. Die Sensoren zur Messung der Helligkeit befinden sich auf dem Dach des Ausstellungsbereichs. Die Einstellungen der Gebäudeleittechnik (GLT) können durch manuelle Betätigung des Sonnenschutzes überstimmt werden. Der Ausstellungsbereich verfügt mit seinen großen nach Süden ausgerichteten Glasfassaden, über eine in Dachhöhe angebrachte horizontale statische Verschattung (Bild 5.17). Der nach Norden orientierte Seminar- und Produktionsbereich wird mit innenliegenden Lamellenstoren bei Bedarf manuell verschattet.



Bild 5.17: Statischer Sonnenschutz des Ausstellungsbereichs.

6 Projektziele der Evaluierung

6.1 Energetisches Konzept

Energiebilanz

Energiebilanzen des Gebäudes können mit Hilfe der gewonnenen Messdaten erstellt werden. Die installierte Messtechnik erfasst folgende Energieströme: Heizenergie, elektrische Verbraucher, maschinell bedingte Lüftungsverluste, Wärmeabgabe der Abluftwärmepumpen, Wärmeströme im EWT. Die Energiebilanzen werden den Ergebnissen der thermischen Gebäudesimulationen gegenübergestellt. Mit den Messwerten wird dann ein validiertes Simulationsmodell erstellt.

Temperaturverhalten

Durch die Abstimmung von Verglasung, Gebäudemassen, Sonnenschutz, Nachtlüftung und Kunstlichtsteuerung mit Hilfe thermischer Simulationsrechnungen wurde versucht, ein angenehmes Raumklima mit minimalem Energieaufwand sicherzustellen. Inwieweit dieses Ziel in der Praxis erreicht wird, wird mit Hilfe der Messungen überprüft. Der Verlauf der Raumlufttemperaturen in den einzelnen Bereichen muss hier im Zusammenhang mit internen Lasten, Sonneneinstrahlungen bzw. Sonnenschutz und Lüftung betrachtet werden.

6.2 Lüftungskonzept

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Der Produktions- und Seminarbereich im Nordteil des Gebäudes wird jeweils über eine zentrale Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung und Luftnacherhitzung versorgt. Die Frischluft kann zudem mit einem Erdwärmetauscher vorkonditioniert werden. Die Zuluft zum Seminar wird auf Deckenhöhe über Weitwurfdüsen in die Räume eingebracht (Bild 6.1).

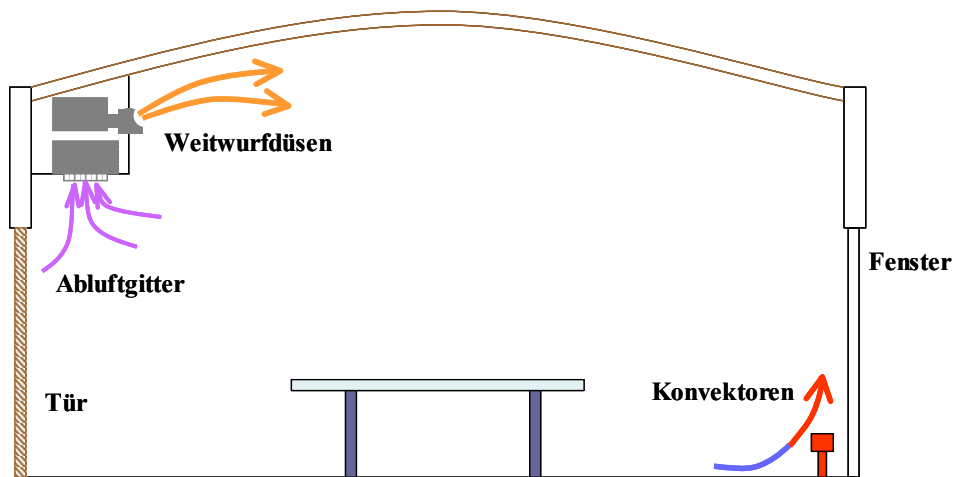


Bild 6.1: Schematische Darstellung der Lüftung eines Seminarraums.

Das Absaugen der Raumluft erfolgt in den Räumen jeweils durch Abluftgitter über den Türen. Die Auslegung der Lüftungsanlage orientierte sich an einer maximalen Belegungszahl für alle drei Seminarräume von 199 Personen. Dies ergibt bei einem Frischluftbedarf von 30 m³/h pro Person einen erforderlichen maximalen Volumenstrom von ca. 6000 m³/h.



Bild 6.2: Ausbringung der Zuluft über zentralen Auslass in einem Produktionsraum.

In den Produktionsräumen wird die Zuluft über eine zentrale Zuluftöffnung in Raummitte unter der Decke eingebracht (Bild 6.2). Die Abluft wird über mehrere Öffnungen in einem unterhalb der Decke entlang der Innenwand verlaufenden Lüftungskanal abgesaugt. Die Auslegung der Lüftungsanlage der Produktionsräume richtete sich nicht nach den Belegungszahlen, sondern nach produktionstechnisch erforderlichen Mindestluftwechseln. Je Raum können bis zu 660 m³/h abgesaugt werden. Dies er-

gibt einen maximalen Volumenstrom der Anlage von 2000 m³/h. Die durchschnittlichen Belegungszahlen je Produktionsraum liegen bei 1-3 Personen.

Abluftanlage Büroflügel

Die Büroflügel sind mit einer zentralen Abluftanlage ausgestattet. Die Zuluft strömt in den Büroräumen über Zuluftöffnungen in den Außenwänden oberhalb der Fenster nach. Abhängig von der Belegung der Büros wird die Abluftanlage in den Lüftungsstufen 1 oder 2 betrieben. Die Stufe 1 wird durch einen automatischen Präsenzmelder aktiviert. In dieser Stufe sollen die Räume mit 45 m³/h versorgt werden. Betritt eine weitere Person den Raum muss diese den Anwesenheitstaster der Einzelraumregelung betätigen. Dies aktiviert die Lüftungsstufe 2 mit 90 m³/h. Die Abluft wird an den Abluftöffnungen oberhalb der Türen abgesaugt und während des Heizbetriebs den beiden Luft-Wasser Wärmepumpen in der Lüftungszentrale im 2. OG zugeführt. Die Lüftungsstufen und die Lüftungseffizienz, sowie der thermische Komfort in den Büros wurden untersucht.

Nachtlüftung

Im Sommer können die Büroräume durch eine erhöhte Lüftung mit der Stufe 3 (300 m³/h) während der Nacht heruntergekühlt werden. Die Funktion und Effizienz der Nachtlüftung wurden überprüft und bewertet. Hierzu wurden in den einzelnen Bereichen die Temperaturverläufe, die Volumenströme und der Stromverbrauch aufgezeichnet.

6.3 Effizienz der Anlagenkomponenten

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Bei den Lüftungsanlagen des Seminars und des Produktionsbereichs werden jeweils die Temperaturen, die Volumenströme und die Feuchten der Zu- und Abluft gemessen. Zudem wird der Wärmebedarf der Luftnacherhitzung und der Strombedarf der RLT-Geräte erfasst. Hieraus werden dann die Arbeitszahlen der Wärmerückgewinnung ermittelt.

Erdwärmetauscher

Die Zuluft zum Nordteil und Ausstellungsbereich des Artur-Woll-Hauses wird mit einem Erdwärmetauscher (EWT) vorkonditioniert. Zwei 63 m lange Betonrohre mit einem Durchmesser von 1 m kühlen die Zuluft im Sommer und erwärmen sie im Winter. Entlang eines Rohres sind im Abstand von 15 m Sensoren zur Messung der Lufttemperaturen, sowie der Rohrrinnen- und Rohraußenwandtemperaturen angebracht. In ca. 2 m Entfernung vom Ansaugbauwerk wird die Temperatur des ungestörten Erdreichs in rund 4 m Tiefe gemessen. Die Effektivität sowie die Heiz- und Kühlleistungen des EWT werden bestimmt.

Gasbrennwertkessel

Der Heizwärmebedarf wird von einem Gasbrennwertkessel mit einer maximalen Heizleistung von 220 kW gedeckt. Die Vor- und Rücklauftemperaturen, sowie die abgegebene Wärmemenge und die verbrauchte Gasmenge werden erfasst. Hieraus wird der Wirkungsgrad des Brennwertgeräts ermittelt.

Wärmepumpen

Mittels zweier Luft-Wasser Wärmepumpen soll ein Teil der in der Abluft der Büroflügel und der Ausstellung enthaltenen Wärmeenergie zurückgewonnen werden. Die zurückgewonnene Wärmemenge wird anschließend an zwei Pufferspeicher mit je 2000 Liter Speichervolumen übergeben. Die Arbeitszahl sowie die zurückgewonnene Wärmemenge werden bestimmt.

6.4 Tageslichtkonzept

Tageslichtversorgung

Die Büroräume verfügen über einen durchschnittlichen Fensterflächenanteil von 31 %. Die Arbeitsplätze wurden in den Büroräumen fensternah angeordnet. Die von unten nach oben schließenden Jalousien sollen eine ausreichende natürliche Beleuchtung auch bei teilweise geschlossenen Jalousien gewährleisten. Die Qualität der Tageslichtversorgung wurden durch Messungen des Tageslichtquotienten und der Beleuchtungsstärken in einem Büro überprüft.

Kunstlichtkonzept

Die Büros sind mit energiesparenden Beleuchtungseinrichtungen ausgerüstet. Die installierte elektrische Leistung beläuft sich auf durchschnittlich 6 W/m². Die fensternahen Leuchtstoffröhren werden über Helligkeitssensoren gedimmt. Der Stromverbrauch für die Beleuchtung wird durch Stromzähler erfasst.

7 Datenerfassung und Auswertung

Zur Evaluierung des Artur-Woll-Hauses wurde vom Fachgebiet Bauphysik & Solar-energie der Universität Siegen in der Planungsphase ein umfangreiches Messkonzept erarbeitet und in der Bauphase umgesetzt. Die Messdatenerfassung begann zeitgleich mit dem Bezug des Gebäudes durch die ersten Mieter Ende 2002 und erfolgte kontinuierlich bis zur Verfassung dieses Berichts. Eine nahezu lückenlose Aufnahme der Messwerte steht somit für den Zeitraum 01.01.2003 bis 11.11.2005 für Auswertungen zur Verfügung.

7.1 Beschreibung der Datenerfassung

Ziel der Entwicklung des Messkonzepts war, die in der Gebäudeleittechnik anlaufenden Messdaten und Regelungswerte zu erfassen und die für eine Evaluierung des Gebäudes erforderlichen Daten auszulesen. Zusätzlich zu diesen 790 Messdaten und Regelungswerten wurden 223 Sensoren im Gebäude installiert. Somit standen für die Evaluierung insgesamt 1013 viertelstündliche Messwerte zur Verfügung. Alle Messdaten werden von einem zentralen Mess-PC des Fachgebiets gesammelt und abgespeichert. Die Messdaten umfassen folgende Gebäudedaten:

- Temperaturen,
- Luftfeuchten,
- Globalstrahlung,
- Luftvolumenströme,
- Strombedarfe,
- Wärmemengen,
- CO₂-Gehalt,
- Klappenstellungen,
- Präsenzmelder,
- externe Verschattung,
- Betriebsmeldungen der Anlagenkomponenten,
- Lüftungsstufen.

Gebäudeleittechnik

Die Regelung der Gebäudetechnik und die Messdatenerfassung des Artur-Woll-Hauses erfolgt mit dem Gebäudemanagementsystem - DDC PLUS - der Fa. SAIA-Burgess Electronics [3]. Das System ist modular aufgebaut und in fünf Unterstationen gegliedert. Von den Unterstationen werden jeweils verschiedene Gebäudebereiche und Anlagenteile gemäß der folgenden Auflistung versorgt.

Unterstation im Lüftungskeller:

- Lüftungsanlagen Seminar und Produktion
- Zuluftanlage Ausstellungsbereich
- Betrieb Erdwärmetauscher
- Gasbrennwertkessel
- Heizkreise

Unterstationen der Büroflügel:

- Einzelraumregelung
- Lüftung
- Heizung

Unterstation in der Lüftungszentrale 2. OG:

- Wärmepumpen
- Abluftanlage der Büroflügel
- Abluftanlage der Sanitärräume

Der externe Sonnenschutz wird mit einer eigenständigen Steuerung, der Dinimatic 150 der Fa. Dinilux GmbH [4] betrieben.

Die Daten der Gebäudeleittechnik werden über eine Ethernet-Schnittstelle vom Messrechner des Fachgebiets viertelstündlich ausgelesen und in einer Datei abgelegt.

Messsensorik

Bei der Erfassung und Verarbeitung der aufgenommenen Gebäudedaten kommen sowohl handelsübliche Sensoren und Datenlogger als auch speziell am Fachgebiet entwickelte Messsysteme zum Einsatz. In Tabelle 7.1 sind die Messsensorik und die erfassten Messgrößen aufgelistet.

Messwert	Sensor
Temperatur	Pt100
Feuchte	Mela FKC 2/2, CKC 2/2
Luftvolumenstrom	Airflow Volumenstrom-Messkreuze X8 / X16, Differenzdruck-Messdosen Setra D267MR, Halstrup- Walcher PU/PI
CO ₂	TSI Q-STAT Model 8700, Sauter EGQ 220
Strom	SWHM 43 71.42, SWHM 12.22 11
Wärmemenge	Wärmezähler Spanner-Pollux Pollustat
Luftdruck	Motorola MPX4100A
Solarstrahlung	Pyranometer KIPP & ZONEN CM11

Tabelle 7.1: Messgrößen und eingesetzte Messsensorik am Artur-Woll-Haus

Die Messwerte der über das Gebäude verteilten Sensoren werden über ein Datenbussystem aus insgesamt 7 Almemo - Datenloggern der Firma Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH [5] ausgelesen und auf dem zentralen PC durch die Software DataControl 4.2.2 /V5 der Firma K-Soft Haustechnik-Management [6] gesammelt und in Tagesdateien archiviert. Die 21 Wärmemengenzähler der Firma Spanner-Pollux [7] werden über einen M-Bus und die Software DokomCS der Firma Sensus Metering Systems [8] ausgelesen und die Messwerte in Viertelstundendateien abgespeichert.

Ergänzt wird die kommerzielle Messtechnik durch vom Fachgebiet entwickelte Messelektronik zum Loggen der Impulse der Stromzähler und zur Erfassung der Regelungsparameter der Steuerung des externen Sonnenschutzes. Auch diese Mess- und Regelungswerte werden auf dem zentralen PC in Tagesdateien gesammelt. Der schematische Aufbau der vom Fachgebiet installierten Messtechnik ist in Bild 7.1 dargestellt.

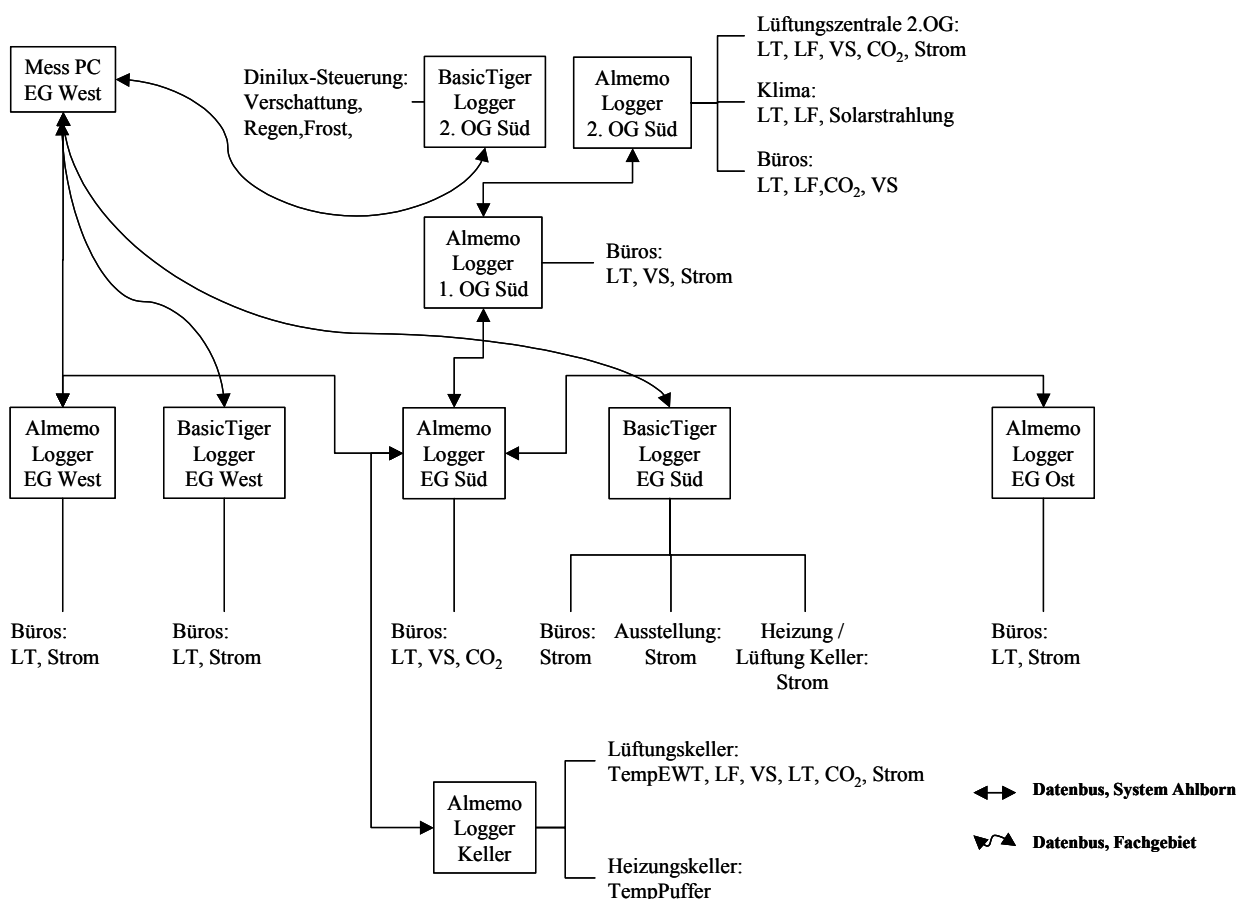


Bild 7.1: Schematische Darstellung der installierten Messtechnik. LT: Lufttemperatur; LF: Luftfeuchte; VS: Luftvolumenstrom; TempEWT: Luft-, Innenwand- und Außenwandtemperaturen im Erdwärmetauscher; TempPuffer: Temperatur der Pufferspeicher; Strom: Stromzähler;

Wetterdaten

Die lokalen Wetterdaten werden direkt am Gebäude erfasst. Dies sind im Einzelnen folgende Größen:

- Globalstrahlung,
- Außenluftfeuchte,
- Außenlufttemperatur,
- Windgeschwindigkeit,

Zusätzlich werden die Zustandsmeldungen Regen und Frost mit erfasst. Die Werte werden viertelstündlich ausgelesen und auf dem zentralen PC in Tagesdateien gespeichert.

Sondermessungen

Während der Messphase wurden in verschiedenen Gebäudebereichen Kurzzeitmessungen durchgeführt. Diese dienten unter anderem zur Ermittlung folgender Parameter:

- Infiltration,
- Lüftungseffektivität,
- Temperaturgradient in den Büros,
- Volumenströme der drei Lüftungsstufen der Büroflügel,
- Bauschalldämmmaß der Bürotrennwände,
- Tageslichtquotient,
- Beleuchtungsstärke,
- Raumluftrömung.

Datenverarbeitung

Die Verarbeitung und Auswertung der viertelstündlichen Messwerte erfolgte mit am Fachgebiet entwickelter Software.

Übertragung

Die von dem Mess- und Ausleseprogrammen auf dem zentralen PC abgespeicherten Viertelstunden- und Tagesdateien werden mit Hilfe eines in Delphi 5.0 geschriebenen Programms über das Internet auf den Server des Fachgebiets übertragen. Kopien der Dateien verbleiben als Backup auf dem Messrechner am Artur-Woll-Haus.

Datenbank

Die Viertelstunden- und Tagesdateien werden mit verschiedenen in Delphi 5.0 entwickelten Tools weiter verarbeitet. Zunächst werden die Messwerte in zwei Datenbanken abgelegt. Die erste Datenbank umfasst die von der GLT ausgelesenen Messdaten und Regelungswerte, die zweite die durch die Messtechnik des Fachgebiets erfassten Daten. Nach der Erstellung beider Datenbanken werden diese durch ein weiteres Tool auf Lücken und auf fehlerhafte Messwerte untersucht und bei Bedarf korrigiert bzw. ergänzt.

Auswertung

Die Auswertung der Datenbank erfolgt ebenfalls durch ein in Delphi 5.0 geschriebenes Programm. Hiermit können unter anderem folgende Gebäude- und Anlagenkenngrößen ermittelt werden:

- Heizwärmebedarf für einzelne Gebäudebereiche und das Gesamtgebäude,
- Lüftungswärmeverluste,
- Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung in Seminar und Produktion,
- Effizienz des Erdwärmetauschers,
- Heiz- und Kühlleistung des Erdwärmetauschers,
- Effizienz der Nachtlüftung ,
- Kühlleistung der Nachtlüftung,
- Strombedarf für Beleuchtung und Geräte in den Büros.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden in Textdateien abgespeichert, die anschließend mit Tabellenkalkulations-Software geöffnet und in Diagramme umgesetzt werden können.

8 Energetisches Konzept

Für die Auswertungen wurden die Messdaten des Zeitraums Januar 2003 bis November 2005 herangezogen.

8.1 Energiebilanzen

Heizwärmebedarf

Die den Planungen zugrundeliegenden Vorgaben für den Energiebedarf wurden in Kapitel 3 vorgestellt. Beim Heizwärmebedarf soll ein Wert von 40 kWh/(m²a) nicht überschritten werden. Die Messwerte der Jahre 2003 bzw. 2004 (Tabelle 8.1) bzw. die gemäß der Heizgradtagzahlen (Tabelle 8.2) bereinigten Werte (Tabelle 8.3) überschreiten den Sollwert um den Faktor 3 – 4.

Jahr	Heizwärmebedarf (kWh/(m ² a))
2003	123
2004	113

Tabelle 8.1: Gemessener Heizwärmebedarf der Jahre 2003 und 2004.

Heizgradtage 19/12 (Kd)	
DIN 4108/6	3300
Siegen 2003	2472
Siegen 2004	3304

Tabelle 8.2: Heizgradtagzahlen (19/12) gemäß DIN 4108/6 für die Jahre 2003 und 2004 am Standort Siegen.

Jahr	Heizwärmebedarf bereinigt (kWh/(m ² a))
2003	164
2004	113

Tabelle 8.3: Heizgradtagbereinigter Heizwärmebedarf der Jahre 2003 und 2004.

Die Ursachen für diese gravierende Überschreitung der Planwerte konnte nach intensiver Analyse der Messwerte und der Erstellung eines validierten thermischen Simulationsmodells gefunden werden. Die Ursachen werden detailliert in Kapitel 8.3 beschrieben. In Bild 8.1 und Bild 8.2 sind die wöchentlichen Summenwerte der vom Gasbrennwertkessel an das Artur-Woll-Haus gelieferten Wärmemengen für die Jahre 2003 und 2004 dargestellt. Besonders auffällig ist die Tatsache, dass sogar während

des sehr heißen Sommers 2003 das Artur-Woll-Haus ohne Unterbrechung mit Heizwärme versorgt wurde, obwohl in dieser Zeit die Tagesmitteltemperaturen immer über 16 °C lagen. Die Gliederung der Wärmelieferung in die einzelnen Gebäudebereiche ergibt sich gemäß Bild 8.3. Ein Vergleich der Werte aus den beiden Jahren zeigt, dass trotz des deutlich kühleren Wetters in 2004 weniger Heizwärme verbraucht wurde als in 2003. Die Ursache hierfür ist wohl größtenteils im erhöhten Wärmebedarf in 2003 zur Entfeuchtung der Bausubstanz des Neubaus zu suchen. Bis zur KW 15 liegt die Kurve für das Jahr 2003 über derjenigen des Folgejahres.

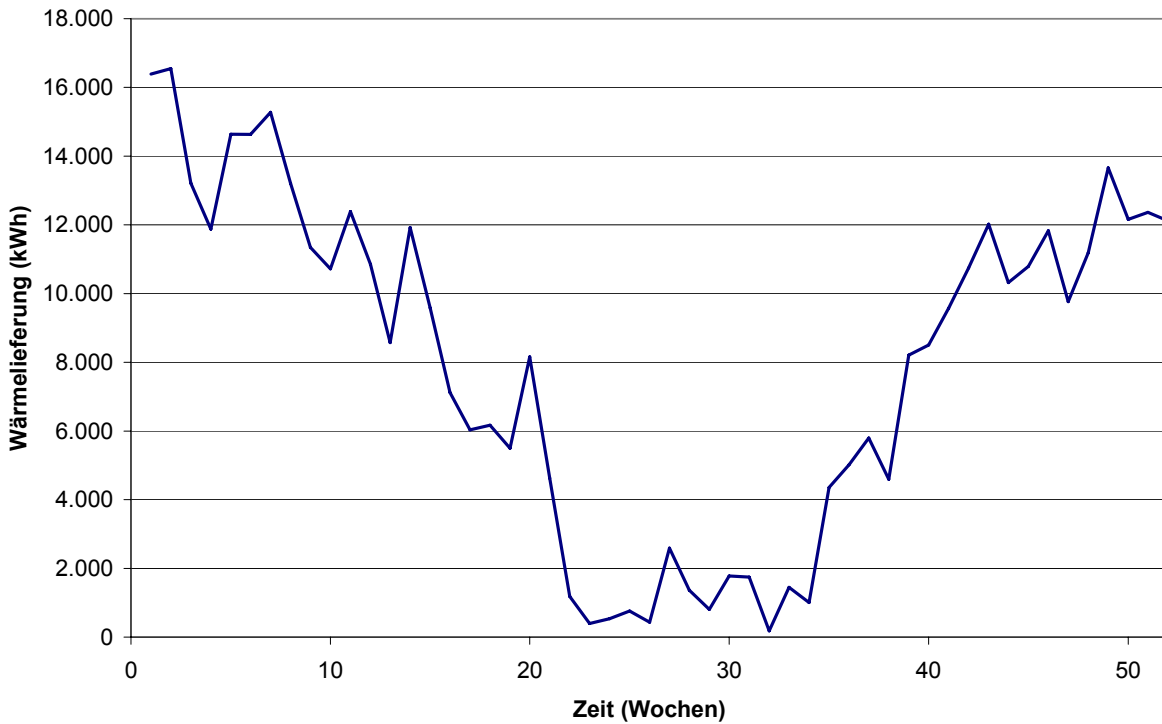


Bild 8.1: Wöchentliche Heizwärmelieferung des Gasbrennwertkessels an das Artur-Woll-Haus (ohne Gästehaus) für das Jahr 2003.

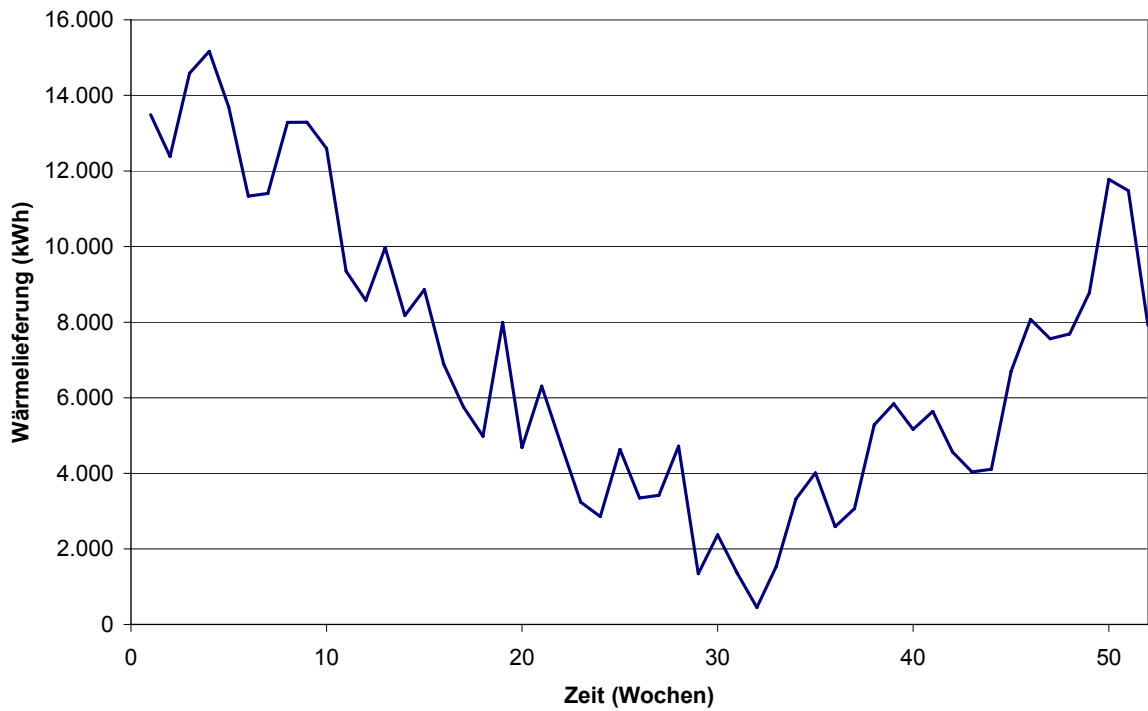


Bild 8.2: Wöchentliche Heizwärmelieferung des Gasbrennwertkessels an das Artur-Woll-Haus (ohne Gästehaus) für das Jahr 2004.

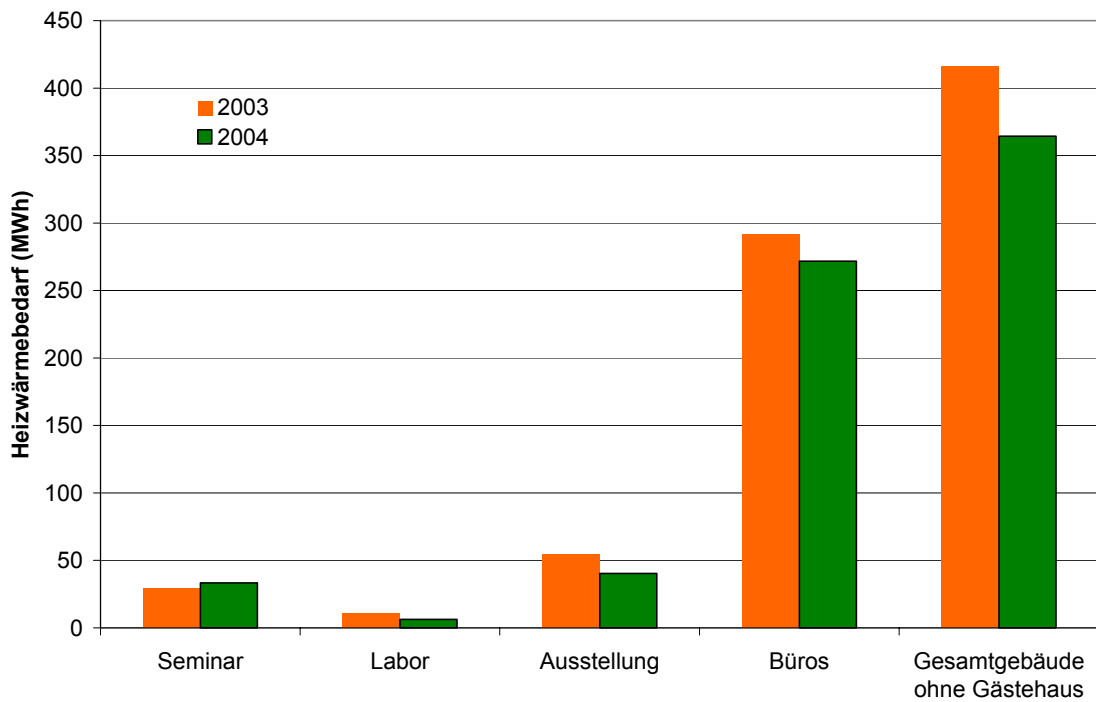


Bild 8.3: Jahresheizwärmebedarf der Gebäudebereiche für 2003 und 2004.

Strombedarf

Zur detaillierten Bewertung des Stromverbrauchs im Artur-Woll-Haus wurden in folgende Stromkreise Strommengenähler eingebaut.

- Beleuchtung Büroflügel (in 13 ausgewählten Büros),
- Geräte Büroflügel (in 13 ausgewählten Büros),
- etagenweiser Gesamtstrombedarf der Büroflügel,
- Abluftanlage Büros,
- RLT- Geräte von Seminar und Produktion,
- Beleuchtung Ausstellung,
- Produktionsräume,
- Seminarbereich,
- Gesamtstrombedarf des Gebäudes,
- Abluftwärmepumpen.

Der Strombedarf für die Beleuchtung wurde nur in den Büroflügeln separat erfasst. Der Beleuchtungsstrombedarf der Büros der drei Büroflügel wurde aus den Daten der 13 mit Strommengenählern bestückten Büroräume extrapoliert. Die Wochenwerte des Strombedarfs für Beleuchtung und Geräte für die Jahre 2003 und 2004 können Bild 8.4 entnommen werden.



Bild 8.4: Strombedarf der Büroflügel für 2003 und 2004 (ohne Lüftung).

Der 2004 durchwegs höhere Strombedarf für Geräte und der im Mittel höhere Strombedarf für Beleuchtung spiegelt die kontinuierlich gestiegenen Belegungszahlen der Büroflügel des Artur-Woll-Hauses wieder. Die mittleren wöchentlichen Belegungsstunden der Büroräume sind in Bild 8.5 wiedergegeben. Diese betragen in 2003 im Mittel 13 h/Woche und in 2004 15 h/Woche.

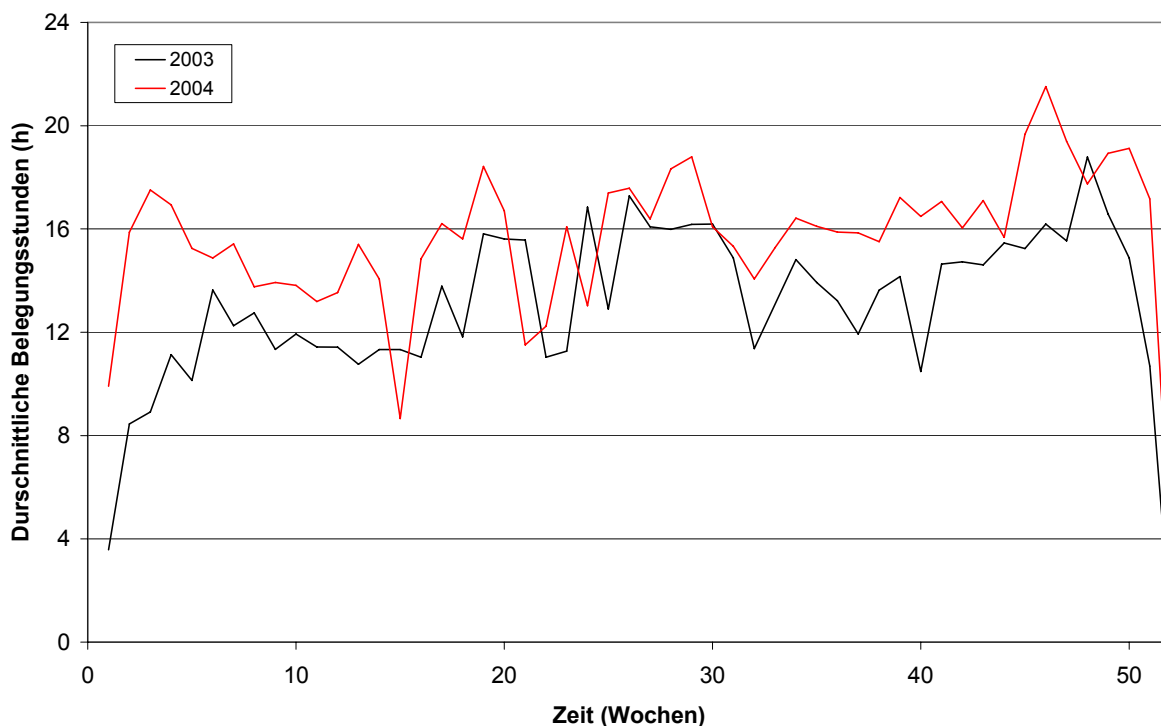


Bild 8.5: Durchschnittliche wöchentliche Belegungsstunden der Büroräume für 2003 und 2004.

Die Jahressummen des Strombedarfs für Beleuchtung und Geräte sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

	Strombedarf 2003		Strombedarf 2004	
	(MWh/a)	(kWh/(m ² a))	(MWh/a)	(kWh/(m ² a))
Beleuchtung	5,84	3,44	7,16	4,21
Geräte	44,17	26,02	62,31	36,71

Tabelle 8.4: Jährlicher Strombedarf für Beleuchtung und Geräte der Büroflügel für die Jahre 2003 und 2004. Der flächenspezifische Bedarf wurde auf die NGF der Büroflügel bezogen (1697 m²).

In Tabelle 8.5 sind die jährlichen Stromverbrauchswerte der einzelnen Gebäudebereiche und des Gesamtgebäudes aufgelistet. Deutlich zu erkennen ist, dass die Summe der Verbrauchswerte, die den einzelnen mit Strommengenählern bestückten Gebäude- und Anlagenbereichen direkt zugewiesen werden können, nur einen Teil des Gesamtstrombedarfs darstellen. In 2003 waren dies nur ca. 30 % des Gesamtstrombedarfs. Dieser Anteil erhöhte sich in 2004 auf ca. 53 %.

Bereich	Strombedarf 2003 (MWh/a)	Strombedarf 2004 (MkWh/a)
Büros	50,0	69,5
Seminar	1,3	1,5
Labor	1,0	26,1
Ausstellung	1,5	1,4
Summe der Teilbereiche	53,8	98,5
Gesamtgebäude	176,3	182,8

Tabelle 8.5: Jahressummen des Strombedarfs der Gebäudebereiche und des Gesamtgebäudes für die Jahre 2003 und 2004.

Erweitert man die Zusammenstellung des Strombedarfs für die Gebäudeteile mit dem jeweiligen Lüftungsstrombedarf der Tabelle 8.6, so ergeben sich die Werte aus Tabelle 8.7.

Bereich	Strombedarf 2003 (MWh/a)	Strombedarf 2004 (MWh/a)
Büros	59,9	35
Seminar	4,9	6,6
Labor	7,4	3,0
Ausstellung	6,5	1,6
Gesamtgebäude	78,7	46,2

Tabelle 8.6: Jahressummen des Strombedarfs für Lüftung der Gebäudebereiche und des Gesamtgebäudes für die Jahre 2003 und 2004.

Bereich	Strombedarf 2003 (MWh/a)	Strombedarf 2004 (MWh/a)
Büros	109,9	104,5
Seminar	6,2	8,1
Labor	8,4	29,1
Ausstellung	8,0	3,2
Summe der Teilbereiche	132,5	144,9
Gesamtgebäude	176,3	182,8

Tabelle 8.7: Jahressummen des Strombedarfs der Gebäudebereiche und des Gesamtgebäudes inkl. Lüftung für die Jahre 2003 und 2004.

Der direkt zuweisbare Strombedarf beläuft sich somit für 2003 auf 75,2 % des Gesamtverbrauchs und für 2004 auf 79,3 %. Der Anteil der Lüftung am Gesamtverbrauch betrug 2003 45,2 % und 2004 26,3 %. Diese inakzeptabel hohen Werte

deuten auf einen gravierenden Fehler im Betrieb der Lüftungsanlagen hin. Im nächsten Kapitel werden die Ursachen für diesen hohen Verbrauch erläutert und mit Simulationen am validierten Gebäudemodell verglichen. Um die Herkunft der verbleibenden ca. 20 bis 25 % des bisher nicht direkt zugewiesenen Strombedarfs zu belegen, wurden in Bild 8.6 die zeitlichen Verläufe des Strombedarfs des Gesamtgebäudes und der Summe der Teilbereiche des 28. Februar 2004 beispielhaft dargestellt.

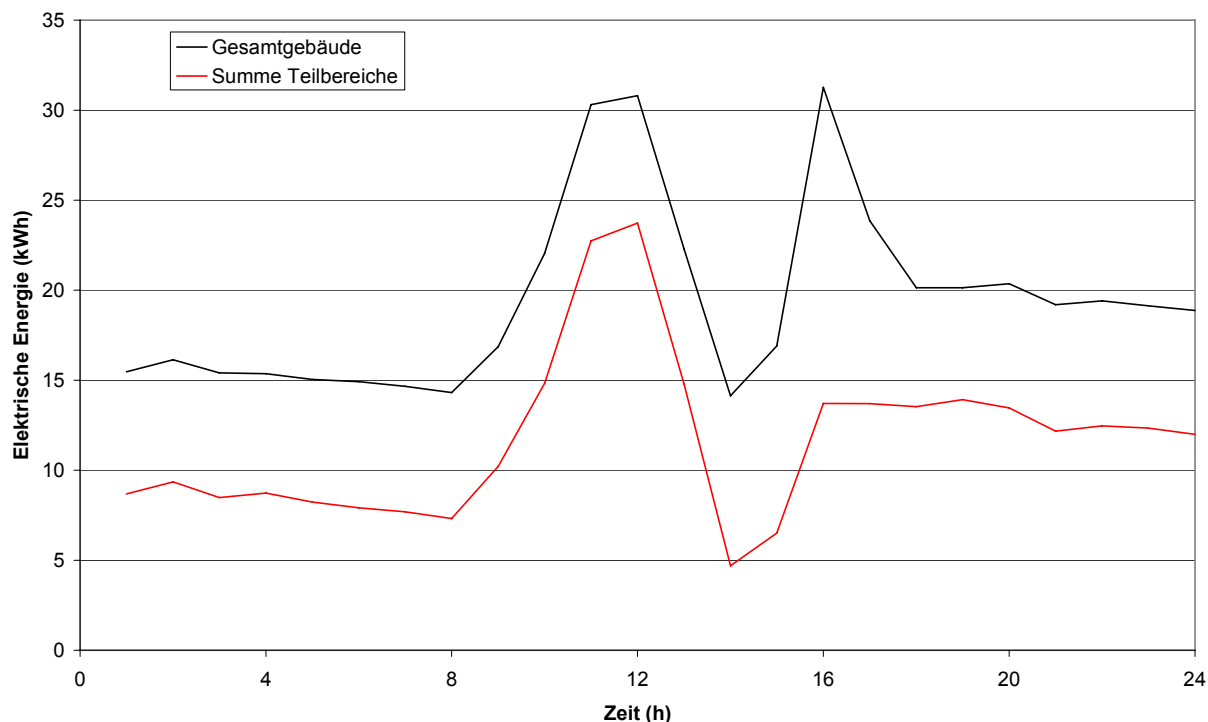


Bild 8.6: Tageslinie des elektrischen Strombedarfs des Gesamtgebäudes und der Summe aus den Teilbereichen für den 28.02.2004.

Die Kurven differieren um einen nahezu konstanten Betrag von etwa 6 kW Leistung. Dieser Wert bleibt auch für das gesamte Jahr 2004 bestehen. Um diese Leistungsaufnahme diskreten Verbrauchern zuordnen zu können, wurden alle elektrischen Verbraucher im Artur-Woll-Haus registriert, die in den Strommengenmessungen der Teilbereiche nicht erfasst sind. Die Summe der Leistungsaufnahme der in Tabelle 8.8 aufgelisteten Verbraucher entspricht in etwa der Differenz der Tageslinien aus Bild 8.6. Somit kann nun der gemessene Gesamtverbrauch den einzelnen direkt gemessenen Gebäude- und Anlagenbereichen bzw. den in obiger Liste aufgeführten Verbrauchern zugeordnet werden.

Verbraucher	Anzahl	Anschluss- Leistung (in W)	Wertung (1 : immer an)	Leistung (in Watt)
Kommunikationsschränke	9	100	1	900
Kommunikationszentrale	1	300	1	300
Messrechner	1	100	1	100
Serverraum Labor	1	1.000	1	1.000
GLT Schrank Keller	1	1.000	1	1.000
Notbeleuchtung	15	20	1	300
Fluchtwegbeleuchtung	20	20	1	400
Außenbeleuchtung	20	30	0,3	180
Aufzug	1	5.000	0,01	50
GLT Schränke Flügel	3	100	1	300
UV Schränke	13	60	1	780
Rechner in UV-Raum	1	120	1	120
Dinilux Steuerung	1	50	1	50
NSHV	1	200	1	200
Regelung PV Anlage	1	30	1	30
Heizkessel	1	100	0,7	70
Messtechnik Uni	1	400	1	400
Summe				6.100

Tabelle 8.8: Übersicht über die elektrischen Verbraucher, die nicht mit den Strommengenählern der Teilbereiche erfasst werden (UV=Unterverteilung, NSHV=Niederspannungshauptverteilung).

8.2 Erstellen eines validierten Simulationsmodells

Die Suche nach den Mängeln in der Bauausführung und den Fehlern in der Gebäudeleittechnik erforderte neben einer detaillierten Analyse der Messwerte die Erstellung eines Simulationsmodells, das den Ist-Zustand von 2004 abbildet. Das validierte Modell wurde aus dem während der Planungsphase erstellten Gebäudemodell entwickelt. Im Laufe des Validierungsprozesses mussten unter anderem folgende Größen angepasst werden:

- Belegungsprofile,
- Interne Gewinne,
- Volumenströme der drei Lüftungsstufen in den Büros,
- Regelung der Nachtlüftung,
- Regelung des Erdwärmetauschers,
- Verschattungssteuerung,
- Solltemperaturen.

Die entsprechenden Größen wurden den Messungen der zuständigen Parameter und Regelungswerte entnommen. Zum Teil wurde die Simulationen auch solange an eine Größe angepasst, bis die Simulation den Messwert hinreichend genau abbildete.

Der Vergleich der Simulationsergebnisse des validierten Modells mit einem Modell, das den Planungsstand gemäß Pflichtenheft abbildet, trug zur Identifizierung der Fehler und Mängel bei. Ebenfalls ermöglichte das validierte Modell einzuschätzen, ob das Beheben der Mängel zu einem Gebäude führen wird, das den Anforderungen des Förderkonzeptes genügt.

Beschreibung des Modells

Die Simulationen wurden mit der Simulationssoftware TRNSYS 16 durchgeführt. TRNSYS ist eine dynamische thermische Gebäudesimulation, die auf einem Mehrzonenmodell basiert. Die abgebildeten Gebäude können in bis zu 25 thermische Zonen gegliedert werden. Der Umstand, dass das Artur-Woll-Haus über mehr als 25 Räume verfügt, machte notwendig, Räume mit ähnlichen Randbedingungen zu einer Zone zusammenzufassen. Da die beiden äußeren Büroflügel nahezu identische Grundrisse aufweisen wie der mittlere und gegenüber diesem in der Südausrichtung lediglich um $17,5^\circ$ verdreht sind, wurde in der Modellierung nur der mittlere Büroflügel abgebildet. Der Energiebedarf dieses Gebäudeteils wurde anschließend mit dem Faktor 3 multipliziert. Die ähnliche Nutzung der vier Produktionsräume im Erdgeschoss ermöglichte deren Zusammenfassung zu einer thermischen Zone. Analog bilden die drei Seminarräume im 1.Obergeschoss ebenfalls eine Zone.

Insgesamt ergeben sich so für das Simulationsmodell 20 thermische Zonen, die wie folgt den einzelnen Gebäudeteilen zugeordnet werden:

- südlicher Büroflügel, Erdgeschoss:
Büroräume: Zonen E11, E12, E13 und E14
Büroflur: Zone E10
- südlicher Büroflügel, 1. Obergeschoss:
Büroräume: Zonen 111, 112 und 113
Sanitärraum: Zone 161
Büroflur: Zone 110
- südlicher Büroflügel, 2. Obergeschoss:
Büroräume: Zonen 211, 212 und 213
Büroflur: Zone 210
- Ausstellungsbereich:
Erdgeschoss: Zone E60
1. Obergeschoss: Zone 160
2. Obergeschoss: Zone 260

- Produktionsbereich:
Zone E40
- Seminarraum:
 1. Obergeschoss: Zone 140
 2. Obergeschoss: Zone 240

In den folgenden drei Abbildungen ist die Zoneneinteilung nach Stockwerken getrennt dargestellt.

Die in jedem Stockwerk des Südflügels enthaltenen Sanitärräume wurden nur im ersten Obergeschoss als eigene Zone (Zone 161) in der Simulation berücksichtigt und der hierfür bestimmte Heizwärmebedarf wurde den beiden anderen Stockwerken mit einem Gewichtungsfaktor von 1,2 zugeschlagen. Dieser Faktor berücksichtigt die aufgrund der deutlich größeren Außenflächenanteile im EG und 2.OG zu erwartenden höheren Transmissionsverluste.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des validierten Simulationsmodells mit den Messdaten des Jahres 2004 verglichen. Dazu wurde analog zum Simulationsmodell repräsentativ der mittlere Büroflügel herangezogen und dessen Verbrauchswerte mit dem Faktor 3 multipliziert.

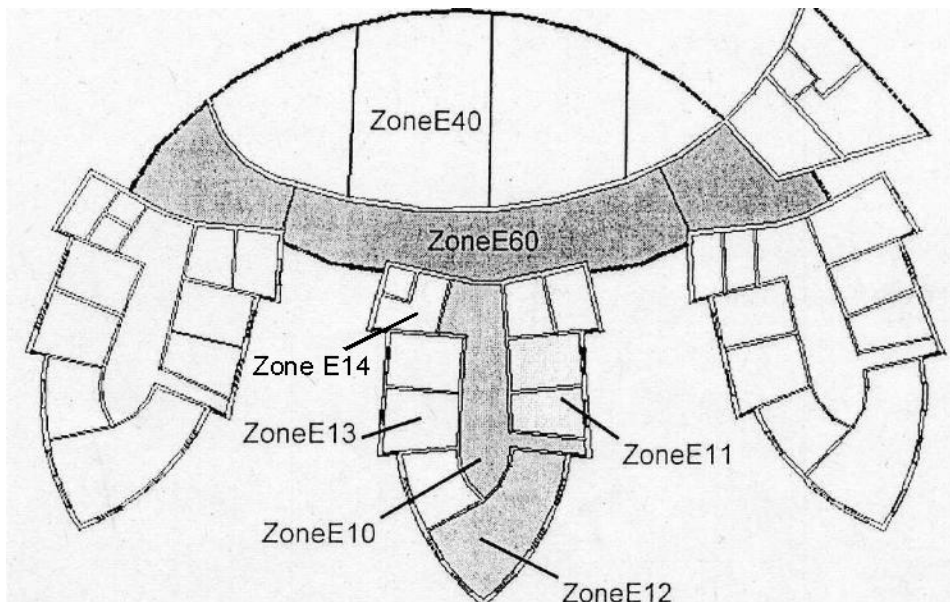


Bild 8.7: Zoneneinteilung des Erdgeschosses

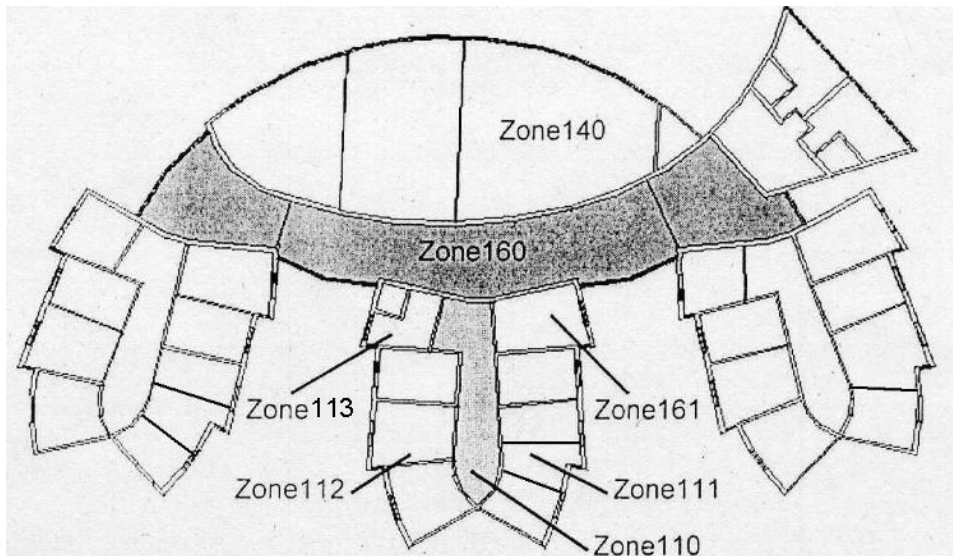


Bild 8.8: Zoneneinteilung des 1. Obergeschosses

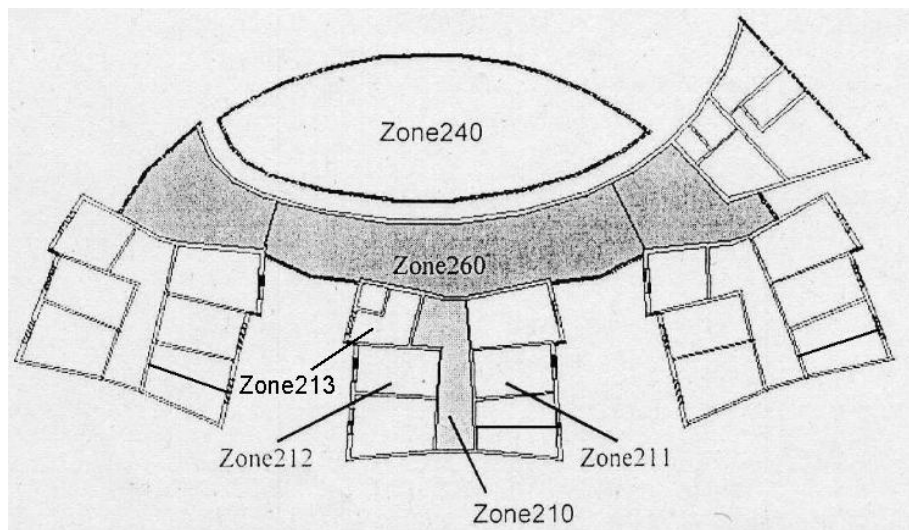


Bild 8.9: Zoneneinteilung des 2. Obergeschosses

Primärenergiebedarf

Der in den Förderrichtlinien vorgeschriebene Primärenergiebedarf des Gebäudes setzt sich aus den Anteilen Heizung, Lüftung und Beleuchtung zusammen. Die Primärenergiefaktoren zur Bewertung der Energieträger betragen $f_P=3$ für Strom und $f_P=1,1$ für Gas. Der mittlere Wirkungsgrad des Gasbrennwertkessels liegt für die Jahre 2004 und 2005 bei $\eta=0,86$.

Der maximal zulässige Primärenergiebedarf beträgt $100 \text{ kWh} / (\text{m}^2\text{a})$. In Bild 8.10 ist der Primärenergiebedarf des Gebäudes für das Jahr 2004 den Simulationsergebnissen des validierten Gebäudemodells gegenübergestellt.

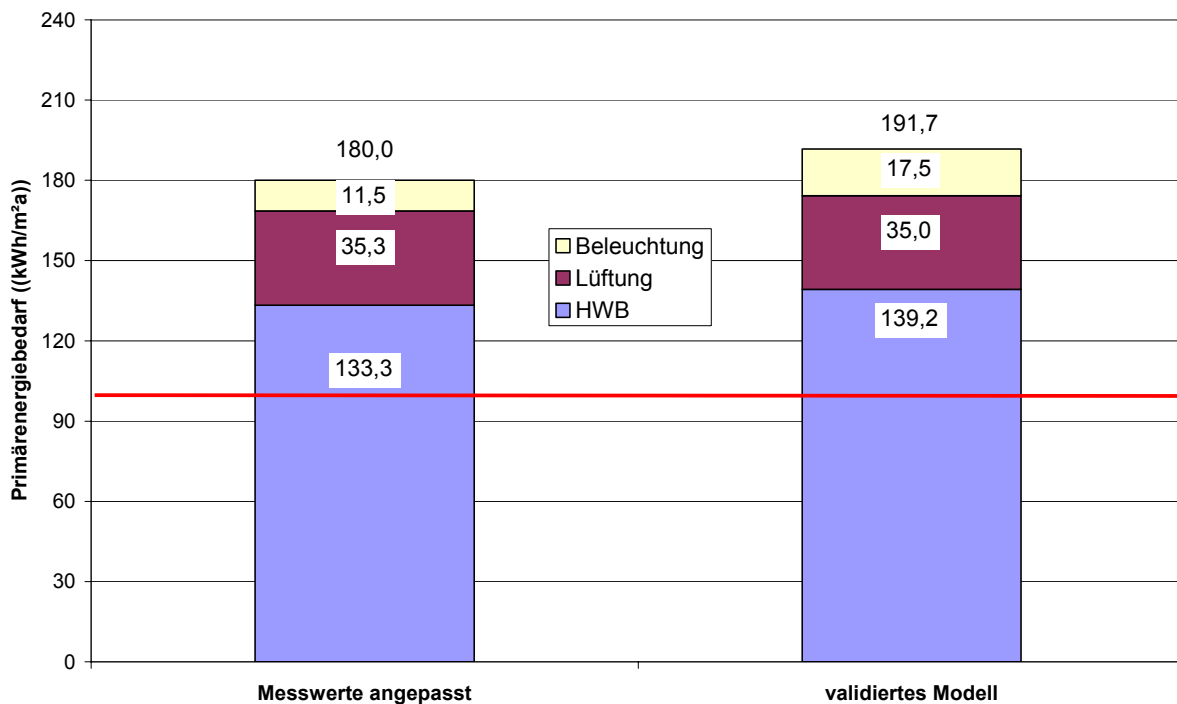


Bild 8.10: Vergleich des Primärenergiebedarfs von 2004 mit dem des validierten Gebäudemodells.

Die Abweichungen zwischen den Simulationsergebnissen und Messwerten beträgt für den Gesamtprimärenergiebedarf lediglich 6,5 %. Die größte Abweichung einer Einzelkomponente ergibt sich für den Energiebedarf für Beleuchtung mit 15 %. Diese große Abweichung liegt zum einen daran, dass bei der Messung der Beleuchtung in den Büroflügeln der Strombedarf der Flurbeleuchtungseinrichtungen nicht erfasst werden konnte. Im Simulationsmodell wird dieser Anteil jedoch mit einbezogen. Zum anderen wurden, wie oben beschrieben, die Messergebnisse für den Stromverbrauch der Beleuchtung aus den Werten für 7 Einzelbüros auf alle Büros hochgerechnet. Die Flure verfügen über eine installierte Beleuchtungsleistung von 5 W/m^2 . Hieraus ergibt sich bei durchschnittlich 50 h Betriebszeit je Woche während 50 Wochen im Jahr und einer Fläche von 360 m^2 in den drei Büroflügeln ein Primärenergieanteil am Gesamtgebäude von $4,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Bezieht man diesen Verbrauch in den Vergleich mit ein,

so liegt der Beleuchtungsanteil des validierten Modells nur noch um 11 % über den Messwerten des Vergleichsjahres.

Der in den Förderrichtlinien festgeschriebene Grenzwert für den Primärenergiebedarf wird 2004 um ca. 80% überschritten. Im Zuge der Validierung des Simulationsmodells konnten die Ursachen für den deutlich erhöhten Energiebedarf des Gebäudes gefunden werden. Die Behebung der Fehler und deren energetische Konsequenzen konnten ebenfalls mit Hilfe des validierten Modells simuliert und bestimmt werden. Die identifizierten Ursachen werden im nächsten Kapitel vorgestellt.

8.3 Ursachen für die Nichteinhaltung der Planungsziele

Bei der Auswertung der Messergebnisse der Jahre 2003 und 2004 wurden Abweichungen von der geplanten Betriebsweise und ein dramatischer Mehrverbrauch beim Heizwärme- und Strombedarf festgestellt. Eine gründliche Analyse der Messwerte zeigte sowohl planerische Mängel als auch Defizite in der Bauausführung auf. Die energetisch relevanten Mängel werden in diesem Kapitel beschrieben. Anhand des validierten Simulationsmodells wird bestimmt, welche Auswirkungen diese im Einzelnen auf den Primärenergiebedarf haben.

8.3.1 Nicht gedämmte Heizungsrohre

Aus architektonischen Gründen sollte die Systemtechnik für den Nutzer sichtbar im Gebäude angebracht werden. Die Heizungsrohre (Vor- und Rücklauf) wurden zu diesem Zwecke ungedämmt unterhalb der Bürodecken an den Außenfassaden entlanggeführt. An diesen Rohre sind dann die Deckensegel entsprechend Bild 8.11 angeschlossen. Damit nun ohne Verzögerung bei einer Heizwärmeanforderung aus einem Büro das entsprechende Deckensegel mit ausreichend heißem Wasser durchflossen werden kann, muß die Vorlauftemperatur in den Rohren auf der benötigten Höhe gehalten werden. Die Vorlauftemperaturen lagen im Jahr 2004 außerhalb der Zeiten der Nachtabenkung der Heizung bei Werten zwischen 55 und 70 °C.

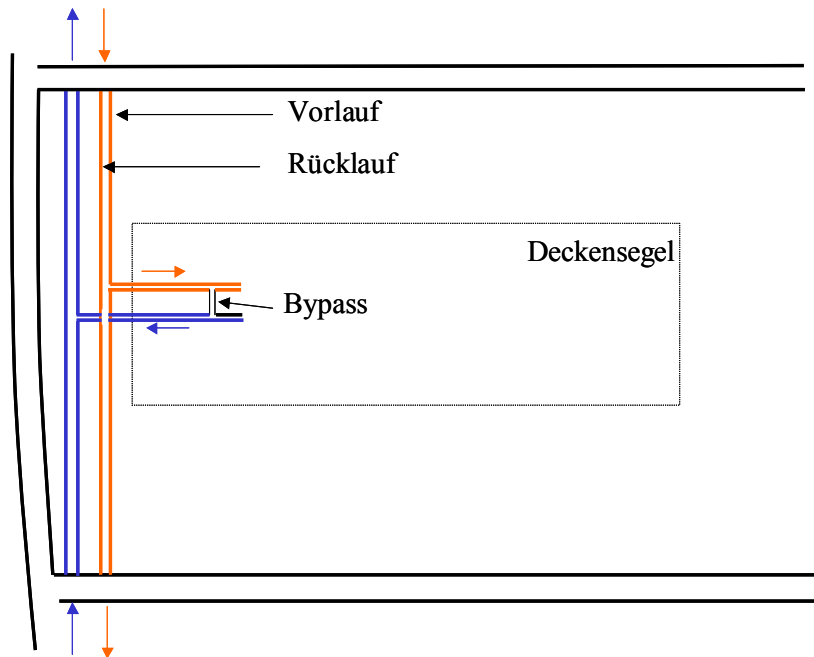


Bild 8.11: Hydraulische Einbindung der Deckensegel in den Heizkreislauf.

Die nicht gedämmte Ausführung der Heizungsrohre bewirkt nun, dass die Rohre permanent an die Büroräume ihre Wärme abgeben und diese unabhängig vom Heizwärmebedarf beheizen. Dies geschieht zu jeder Tages- und Nachtzeit, im Winter wie im Sommer. Die Analyse der Ventilstellungen an den Bypässen der Deckensegel sowie Simulationen mit den Wärme abgebenden Heizungsrohren zeigte, dass die Deckensegel selbst nur an wenigen Stunden im Jahr zum Beheizen der Räume herangezogen wurden. In Bild 8.12 ist die wöchentliche Wärmeabgabe der Heizungsrohre und der Deckensegel für das Jahr 2004 aufgetragen.

Die Wärmeabgabe der Heizungsrohre wurde in dem Simulationsmodell mit folgender Beziehung abgebildet.

$$Q_R = \frac{2 \pi l \cdot 2 \cdot (T_{Rohr} - T_{Raum})}{\frac{1}{\alpha_i \cdot r_i} + \frac{1}{\lambda_{Cu}} \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right) + \frac{1}{\alpha_a \cdot r_a}} \quad \text{in } W$$

- T_{Rohr} : Gemittelte Vor- und Rücklauftemperatur (K)
- T_{Raum} : Raumlufttemperatur (K)
- α_i : innerer Wärmeübergangskoeffizient (W/(m²K))
- r_i : innerer Rohrradius (m)
- λ_{Cu} : Wärmeleitfähigkeit von Kupfer (W/(mK))
- α_a : äußerer Wärmeübergangskoeffizient (W/(m²K))
- r_a : äußerer Rohrradius (m)

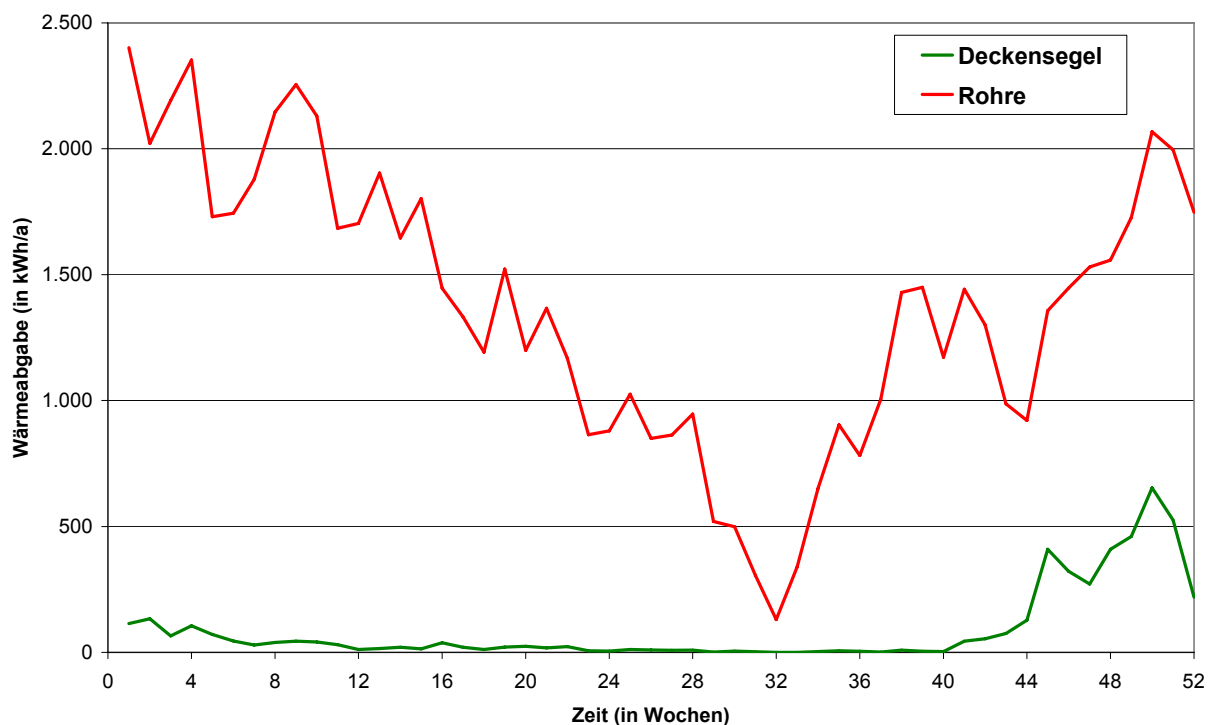


Bild 8.12: Ergebnisse der Simulation der wöchentlichen Wärmeabgabe der ungedämmten Heizungsrohre und der Deckensegel.

Betrachtet man die Jahressummen der abgegebenen Wärmemengen in Tabelle 8.9 so ist ersichtlich, dass lediglich 6,1 % der in die Büroräume eingebrachten Heizwärme von den planmäßigen Heizflächen abgegeben werden. Der Rest von 93,9 % wird in Form einer nicht bedarfsgerechten Heizung über die ungedämmten Heizungsrohre in die Räume eingetragen.

Wärmeabgabe 2004 (KWh/a)	
Heizungsrohre	71.910
Deckensegel	4.646

Tabelle 8.9: Jahressummen der abgegebenen Wärmemengen der Heizungsrohre und der Deckensegel für 2004.

Im Mittel waren die Deckensegel im Jahr 2004 lediglich 213 h im Heizbetrieb. Diese permanent an die Räume abgegebene Wärmemenge erhöht im Winter den Heizwärmebedarf und verschärft im Sommer die Überhitzungsproblematik. Anhand des validierten Simulationsmodells kann nun abgeschätzt werden um welchen Betrag sich der Heizwärmebedarf der Büroflügel durch eine nachträgliche Dämmung der Heizungsrohre ändern wird. Der Heizwärmebedarf mit und ohne gedämmte Heizungsrohre kann Bild 8.13 entnommen werden. Die simulierten Werte zeigen, dass sich der Heizwärmebedarf in den Büros um 105,7 MWh/a (=32,4 kWh/(m²a)) auf 46,6 MWh/a (=14,3 kWh/(m²a)) reduziert. Dies entspricht einer primärenergetischen Ein-

sparung von 13.520 m³ Gas bzw. einer jährlichen finanziellen Einsparung von ca. 5.500 Euro bei einem für 2004 gemittelten Gaspreis von 4,5 ct / kWh. Dieser Problematik wurde 2005 zunächst damit begegnet, dass die Vorlauftemperaturen der Heizkreise für die Büros generell reduziert wurden. In Zeiten, in denen kein Heizbedarf besteht, wurden die Vorlauftemperaturen noch weiter abgesenkt.

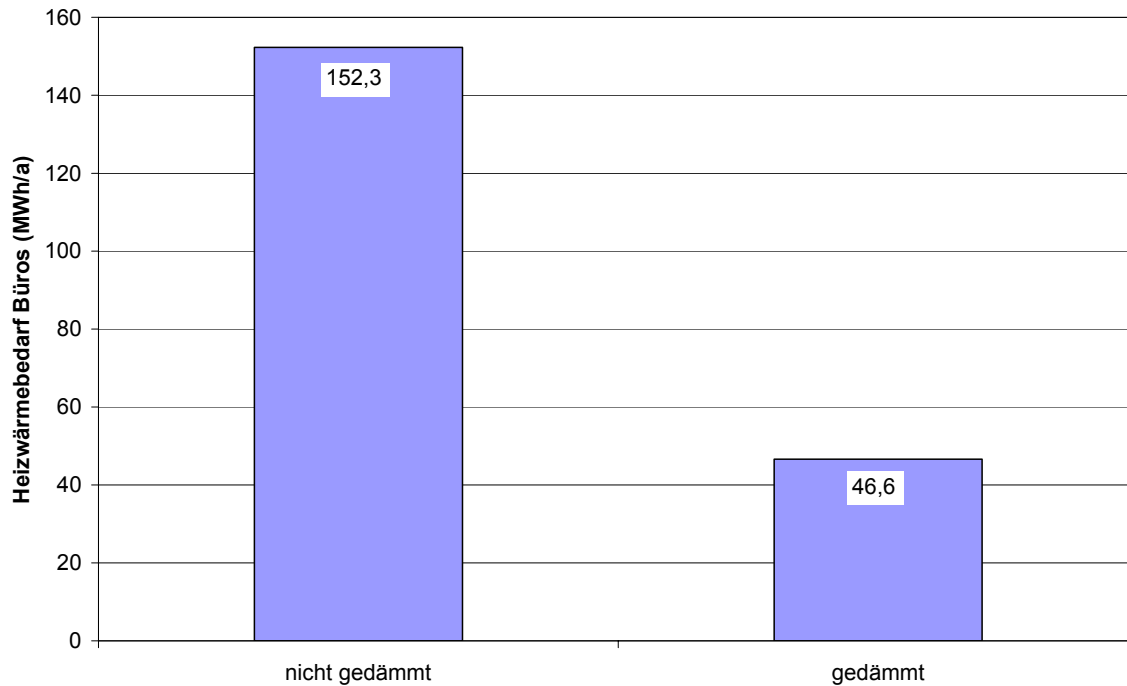


Bild 8.13: Vergleich des Heizwärmebedarfs der Büroflügel bei nicht gedämmten und bei gedämmten Heizungsrohren. Die Werte wurden mit dem validierten Simulationsmodell ermittelt.

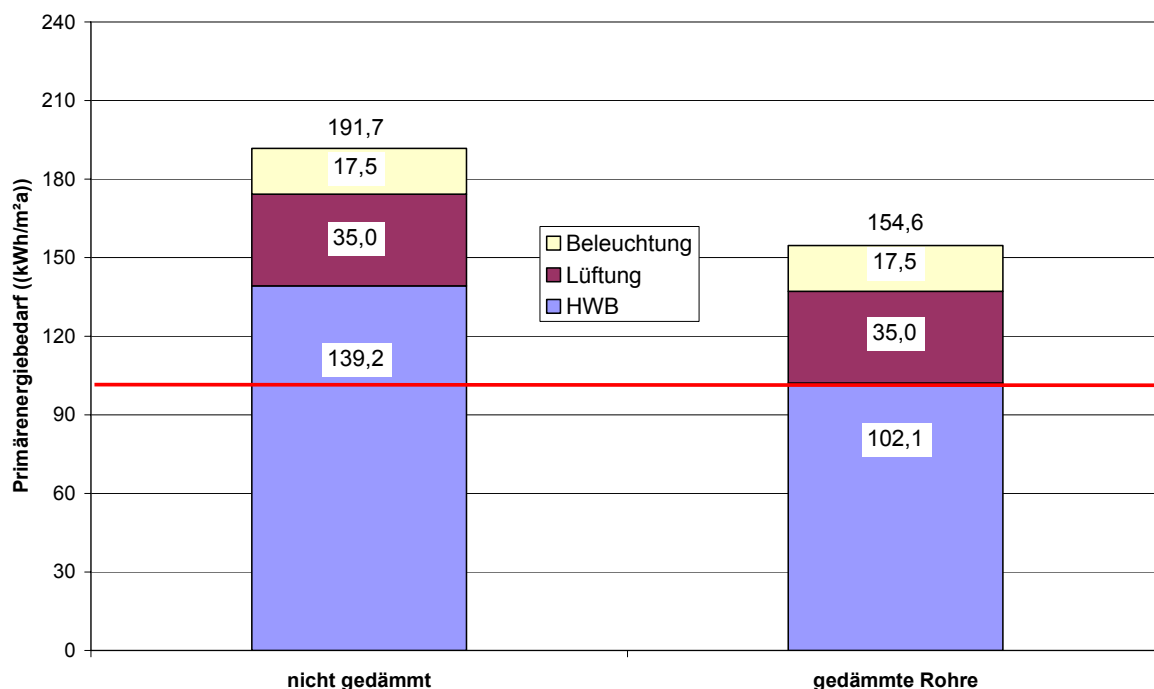


Bild 8.14: Vergleich des Primärenergiebedarfs des Gesamtgebäudes bei nicht gedämmten und bei gedämmten Heizungsrohren. Die Werte wurden mit dem validierten Simulationsmodell ermittelt. Die rote Linie markiert die Planungsvorgabe (100 kWh/(m²a)).

Der Primärenergiebedarf des Gesamtgebäudes (Bild 8.14) reduziert sich damit um 37,0 kWh/(m²a) bzw. 120,8 MWh/a auf einen Wert von 154,6 kWh/(m²a) bzw. 504,9 MWh/a.

8.3.2 Fehler in der Gebäudeleittechnik

Zur Klärung der großen Abweichungen zwischen den Messwerten von 2003 und 2004 sowie den Planungszielen des Forschungsprojekts wurden die einzelnen Gebäudebereiche detailliert untersucht. Während dieser Untersuchung konnten diverse fehlerhafte Einstellungen in der Gebäudeleittechnik festgestellt werden.

Nachtlüftung

Mittels einer Nachtlüftung soll die während des Sommers tagsüber in die Gebäudemasse eingetragene Wärme durch eine erhöhte Lüftung (Lüftungsstufe 3) während der Nacht nach außen abgegeben werden. Mit dieser Strategie soll verhindert werden, dass sich das Gebäude von Tag zu Tag weiter aufheizt. Durch die nächtliche Auskühlung der Gebäudemasse können die Temperaturspitzen des folgenden Tages abgedämpft werden. Während der Planung wurden hierzu verschiedene Regelungsstrategien anhand von thermischen Gebäudesimulationen durchgeführt [9]. Die Er-

gebnisse dieser Betrachtungen führten zu den in Tabelle 8.10 aufgeführten Auslegungsempfehlungen.

Während der Analyse der Messergebnisse von 2003 und 2004 wurde festgestellt, dass die Funktion „Nachtlüftung“ falsch in der Gebäudeleittechnik hinterlegt worden war. Wie in Bild 8.15 ersichtlich ist, ist die Nachtlüftung über das gesamte Jahr 2003 hinweg aktiv gewesen.

Parameter	Planungswert
Tägliche Betriebszeiten	0:00 – 6:00
Wöchentliche Betriebszeiten	Mo. – Fr.
Jährliche Betriebszeiten	Sommer
Einschalttemperatur (°C)	23
Abschalttemperatur (°C)	20
Volumenstrom (m³/h)	300

Tabelle 8.10: Planungsempfehlungen für die Einstellungen in der Gebäudeleittechnik zum Betrieb der Nachtlüftung.

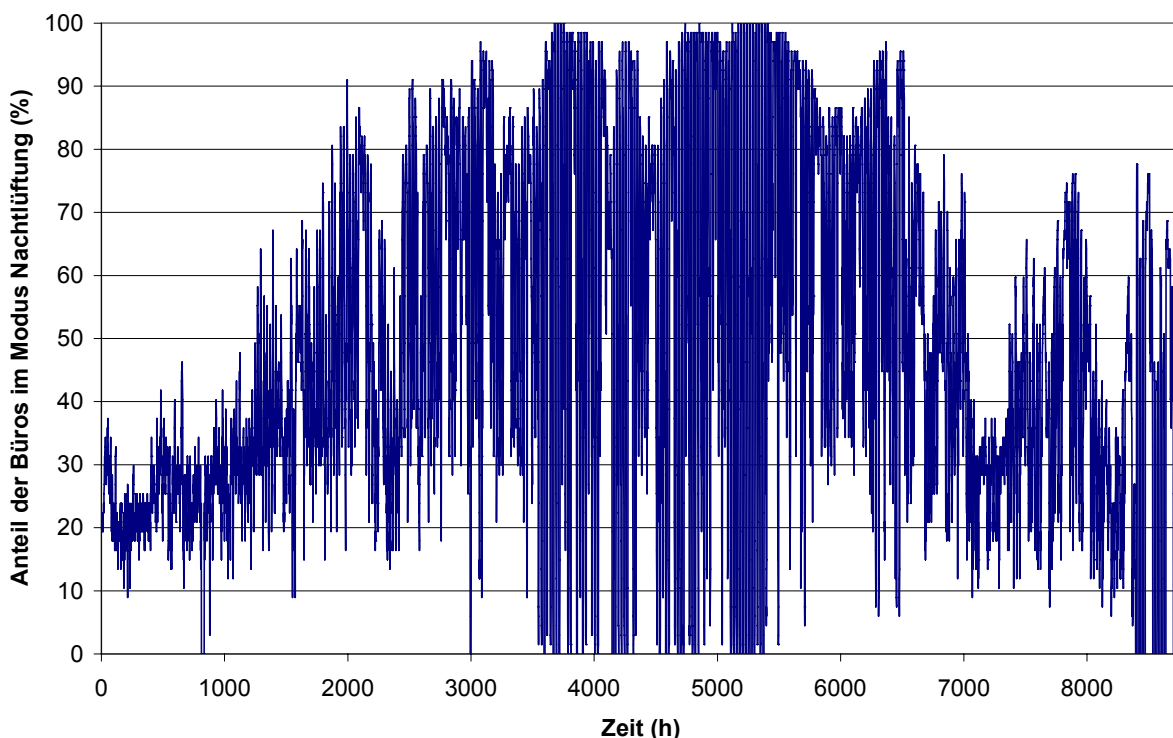


Bild 8.15: Stündlich gemittelter Anteil der Büroräume in der Lüftungsstufe 3 („Nachtlüftung“) im Jahr 2003.

Die 2003 implementierte Regelung aktivierte die Lüftungsstufe 3 bei Raumtemperaturen über 22 °C und bei Abwesenheit des Nutzers, unabhängig von der Tageszeit, dem Wochentag und der Jahreszeit. Diese Regelung bewirkte zusammen mit den durch die ungedämmten Heizungsrohre ganzjährig auf Raumlufttemperaturen über 22 °C beheizten Räume einen „Dauerbetrieb“. Nachdem diese Fehler vom Fachge-

biet an die zuständigen Stellen der Universität Siegen herangetragen und die korrekte Funktionsweise der „Nachtlüftung“ dargelegt worden war, wurde die Programmierung durch den Hersteller überarbeitet. Die daraus resultierende Aktivierungshäufigkeit der Lüftungsstufe 3 für 2004 ist in Bild 8.16 dargestellt.

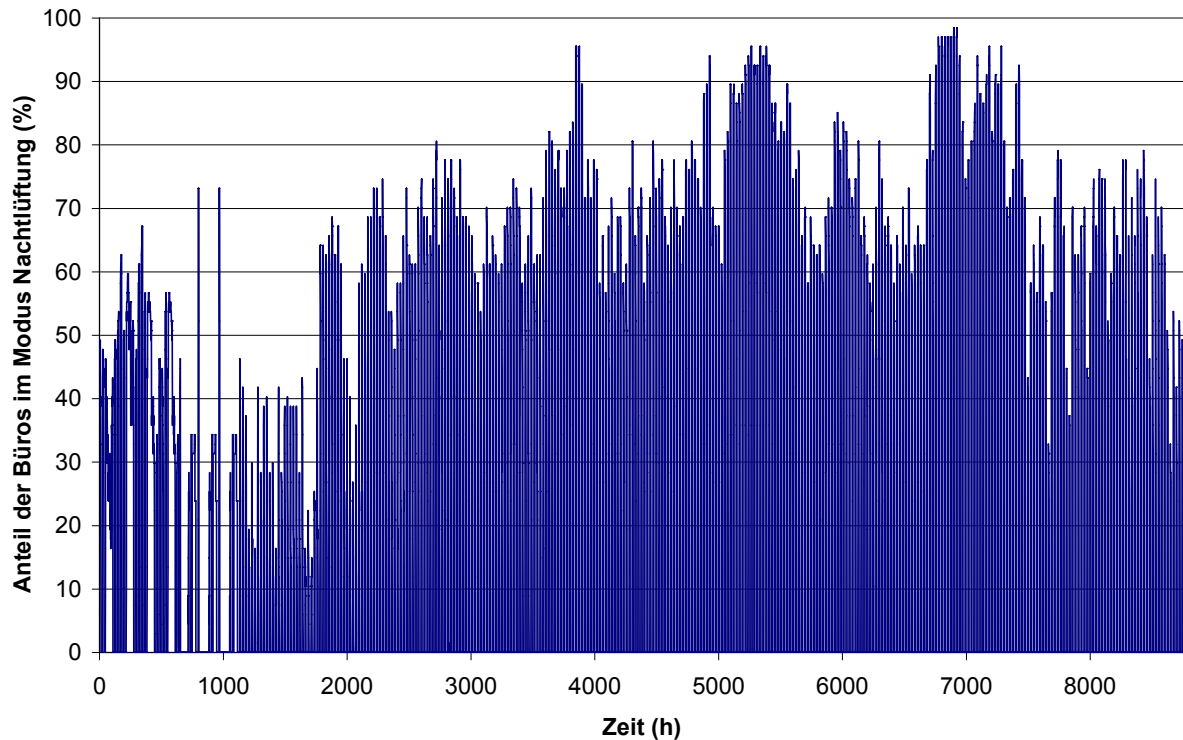


Bild 8.16: Stündlich gemittelter Anteil der Büroräume in der Lüftungsstufe 3 („Nachtlüftung“) im Jahr 2004.

Wie dem Bild entnommen werden kann, wurden bei der Überarbeitung nicht alle Fehleinstellungen beseitigt. 2004 wurde lediglich eine Beschränkung der Betriebszeiten auf die Tageszeiten von 19.00 bis 7.00 eingeführt. Die wöchentliche und die jährlichen Betriebszeiten blieben unverändert. Die ungedämmten Heizungsrohre mit den gleichzeitig hohen Vorlauftemperaturen führten 2004 ebenfalls dazu, dass die Einschalttemperaturen in den Büros fast immer überschritten waren. Bild 8.17 zeigt die etagenweisen Jahresmittelwerte der Raumlufttemperaturen der 3 Büroflügel.

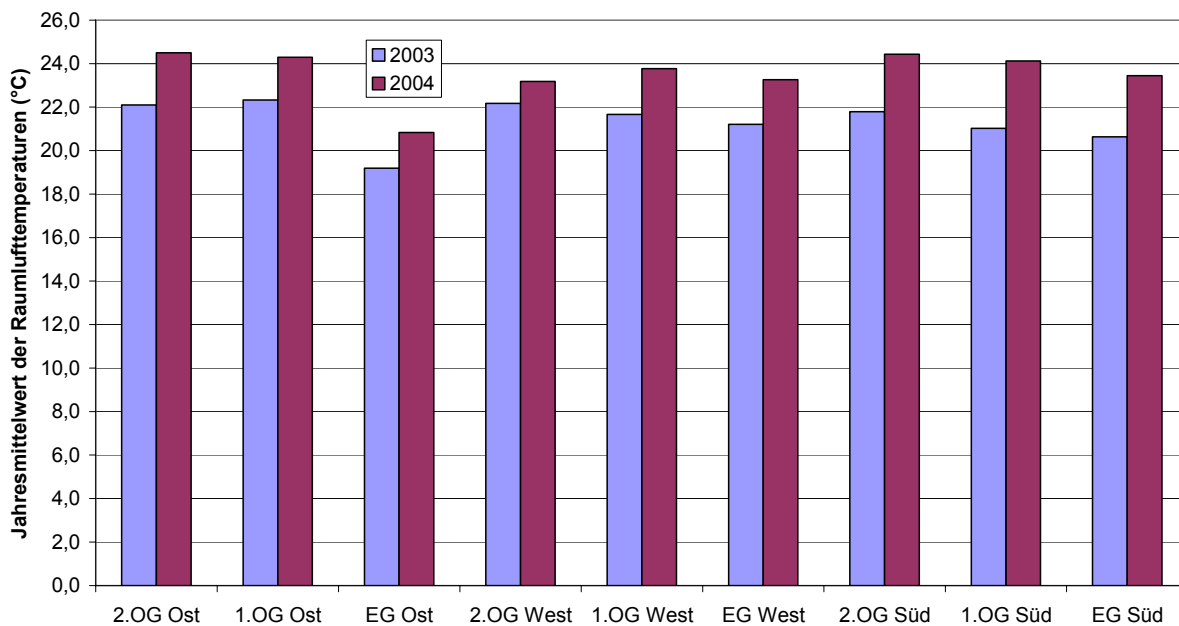


Bild 8.17: Etagenweise Jahresmittelwerte der Raumlufttemperaturen der 3 Büroflügel für die Jahre 2003 und 2004.

Im Januar 2005 schließlich wurde die Funktion Nachtlüftung besser an die Planungsdaten angepasst. Die implementierten Parameter sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Parameter	Stand 2005
Tägliche Betriebszeiten	22:00 – 6:00
Wöchentliche Betriebszeiten	Jeder Tag
Jährliche Betriebszeiten	Sommer
Einschalttemperatur (°C)	22
Abschalttemperatur (°C)	20
Volumenstrom (m ³ /h)	200

Tabelle 8.11: Parameter und Regelungseinstellungen der Funktion Nachtlüftung in 2005.

Die täglichen Betriebszeiten wurden in Gegensatz zur Planung um 2 Stunden verlängert um eine verbesserte Kühlwirkung zu erzielen. Die wöchentlichen Betriebszeiten wurden nicht verändert. Hierdurch werden die Betriebsstunden der Lüftungsstufe 3 weiterhin durch die Einschaltung an den Wochenenden zu hoch liegen. Die jährlichen Betriebszeiten wurden auf den Sommerzeitraum eingeschränkt. Die Einschalttemperatur wurde mit 22°C beibehalten. Die nun implementierten Werte stellen einen Kompromiss dar zwischen den Empfehlungen des Monitoring Teams, die sich auf die Planungsziele stützen, und den Ängsten des Betreibers aufgrund der in den vergangenen Jahren zu warmen Büros. Die Angaben für den während der Nachtlüftung im Mittel je Arbeitsplatzeinheit aus den Büroräumen abgeführten Volumenstrom gründet zum einen auf die Messergebnisse des Abschnitts 9.3 und zum anderen auf die Anpassungen, die bei der Erstellung des validierten Simulationsmodells an die Messwerte 2004 vorgenommen wurden. Bei dem Volumenstrom von 200 m³/h zeigte sich, dass die Temperaturverläufe der

dass die Temperaturverläufe der Raumluffttemperaturen in den Büros und die stündlich aus den Büroflügeln abgesaugten Luftvolumenströme die beste Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation zeigten. Weiterhin wurde für zwei Büros, die von den Mietern als Serverräume genutzt werden, eine Sonderregelung implementiert. Diese beiden Räume können auch außerhalb des Sommers während der Nacht in der Lüftungsstufe 3 betrieben werden. Der stündlich gemittelte Verlauf des Anteils der Büroräume im Nachtlüftungsbetrieb ist in Bild 8.18 für das Jahr 2005 (1.1. bis 11.11.) eingezeichnet.

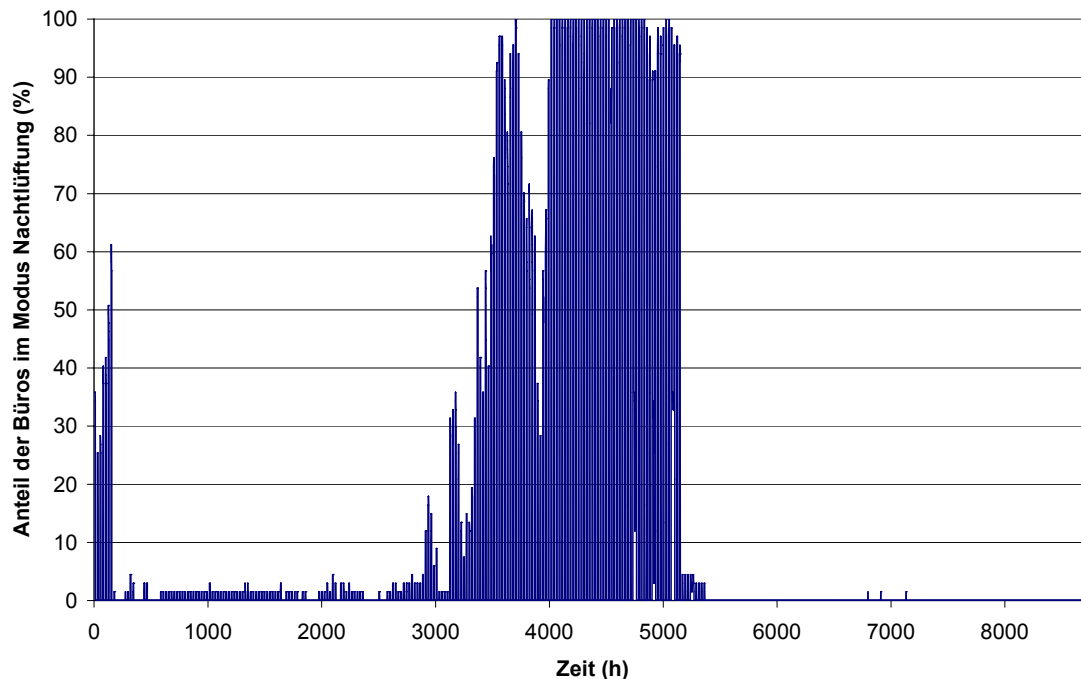


Bild 8.18: Stündlich gemittelter Anteil der Büroräume in der Lüftungsstufe 3 („Nachtlüftung“) im Jahr 2005.

Etwa zur Stunde 125 (6. Januar) wurden die Parameter der Gebäuderegulung überarbeitet. Der sich auf rund 3 % belaufende Anteil der Büros in Nachtlüftung, der bis zur Stunde 2800 dem Diagramm entnommen werden kann, repräsentiert den Betrieb der beiden Serverräume in der Lüftungsstufe 3.

Durch Einführung der Größe „Stufe 3“-Stunden lässt sich die Funktion Nachtlüftung über die Messdauer besser vergleichen. Eine „Stufe 3“-Stunde entspricht einem Büro, das für eine Stunde mit Lüftungsstufe 3 belüftet wurde. Zählt man alle Stunden zusammen, während derer im Sommerzeitraum Nachtlüftung gemäß der Planungsvorgaben stattfinden kann und summiert diese über alle Büros, so erhält man die größtmögliche Zahl an „Stufe 3“-Stunden, die für alle drei Büroflügel erreicht werden kann, sofern die Regelung der Nachtlüftung den Planungswerten entsprechen würde.

Dieser Wert berechnet sich zu:

$$\text{„Stufe 3“-Stunden}_{\text{Max}} = \text{Anzahl Büros} * \text{Tage}_{\text{NL}} * \text{Stunden}_{\text{NL}} = 63.784 \text{ h}$$

mit:

„Stufe 3“-Stunden_{Max} : Planmäßiger Größtwert der „Stufe 3“-Stunden
Tage_{NL} : Anzahl der anrechenbaren Tage im Sommer (119 d)
Stunden_{NL} : Anzahl möglicher Betriebsstunden je Nacht (8 h)

Werden nun die für die einzelnen Jahre ermittelten „Stufe 3“-Stunden auf den Größtwert bezogen, so ergibt dies den Aktivierungsgrad (%), der für den Fall eines korrekten Betriebs des Gebäudes maximal 100 % werden kann. In den Bildern 7.18 und 7.19 sind die „Stufe 3“-Stunden für die Jahre 2003 – 2005 für unterschiedliche Betrachtungszeiträume dargestellt. Als Betrachtungszeiträume werden in diesem Zusammenhang diejenigen Zeiträume verstanden, über welche die „Stufe 3“-Stunden aufsummiert wurden.

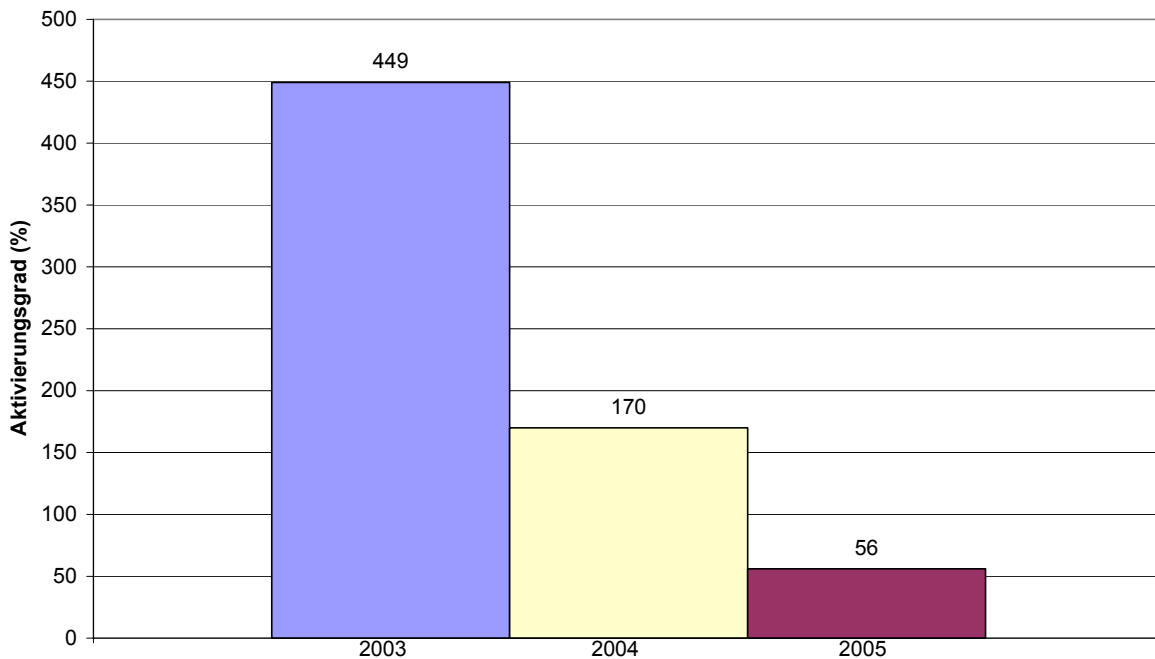


Bild 8.19: Aktivierungsgrad der Nachtlüftung. Betrachtungszeitraum ist jeweils das gesamte Jahr (2005 bis zum 11.11.).

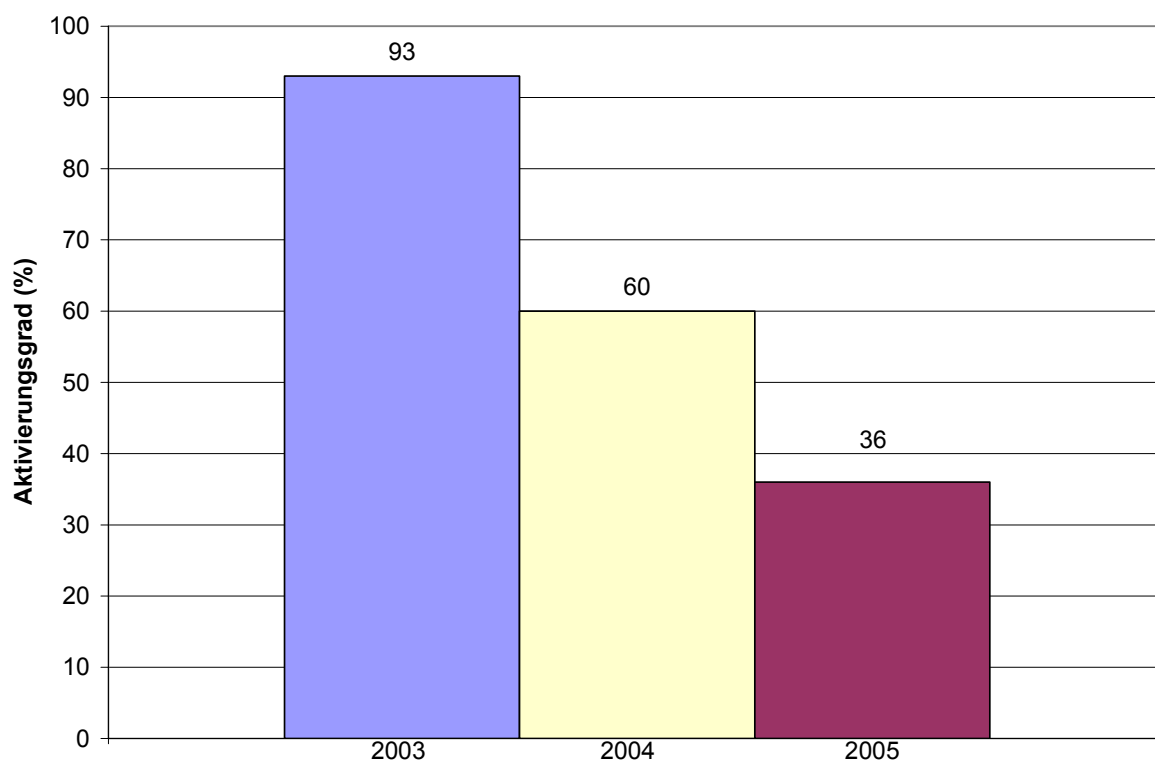


Bild 8.20: Aktivierungsgrad der Nachtlüftung. Betrachtungszeitraum ist der Nachtlüftungszeitraum der Jahre 2003 bis 2005.

Folgende Tabelle gibt Aufschluss über die Anteile der in den Balkendiagrammen aufgeführten Aktivierungsgrade, die außerhalb der in der Planung festgelegten Nachtlüftungszeiten (Tageszeiten 22.00 – 6.00 der Sommerzeiträume) liegen. Ergänzend sind die entsprechenden Summen der „Stufe 3“-Stunden angegeben.

Jahr	Aktivierungsgrad außerhalb der Nachtlüftungszeiträume (%)	Summe der „Stufe 3“ Stunden außerhalb der Nachtlüftungszeiträume (h)
2003	356	226.758
2004	110	70.533
2005	20	12.625

Tabelle 8.12: Übersicht über den Anteil des Aktivierungsgrads der Bilder 7.18 und 7.19, der außerhalb des Nachtlüftungszeitraums gemäß Planung liegt. Ergänzend sind die entsprechenden Summen der „Stufe 3“-Stunden angegeben.

Die Korrekturen, die zu Beginn des Jahres 2004 in der Gebäuderegulung durchgeführt wurde haben die Anzahl der „Stufe 3“-Stunden außerhalb der Nachtlüftungszeiträume zwar drastisch reduziert, sind mit 70.533 jedoch immer noch inakzeptabel hoch. Die erneuten Korrekturen, die Anfang Januar 2005 durchgeführt wurden redu-

zierten diese Stundenzahl um weitere 57.908 h. Werden nun noch die Stunden abgezogen, während derer die Stufe 3 unnötigerweise an den Wochenenden 2005 in Betrieb war, reduziert sich der Restbetrag um weitere 10.505 h auf 2.120 h. Diese Stundenzahl entfällt komplett auf die zusätzliche Kühlung der beiden Serverräume außerhalb des Nachtlüftungszeitraums gemäß der Planung.

2005 entfallen somit noch 10.204 „Stufe 3“-Stunden auf den Nachtlüftungszeitraum. Anhand des validierten Simulationsmodells wurden bei korrigierter Nachtlüftungsregelung die „Stufe 3“-Stunden und der Aktivierungsgrad der Bürolüftung für die Jahre 2004 und 2005 berechnet. Tabelle 8.13 zeigt die Ergebnisse der Simulationen. Zum Vergleich sind die Messwerte des Jahres 2005 mit aufgeführt.

	„Stufe 3“- Stunden (h)	Aktivierungs- grad (%)
Simulation 2004 (ab 22 °C, alle Wochentage)	7.120	11,4
Simulation 2005 (ab 22 °C, alle Wochentage)	8.823	13,8
Simulation 2005 (gemäß Planung)	2.794	4,4
Messwerte 2005	10.204	16

Tabelle 8.13: Vergleich der Aktivierungshäufigkeiten der Nachtlüftung und des Strombedarfs für die Lüftung der Büroräume .

Diese Simulationen zeigen, dass die „Stufe 3“-Stunden bei korrigierten Regelungseinstellungen gegenüber den Messwerten von 2004 um rund 100.000 h reduziert werden können. Dies ergäbe einen Aktivierungsgrad von 11,4 %. Die Belastbarkeit der Aussagen der Simulationen wird beim Vergleich der Messwerte des Jahres 2005 (1.1. bis 11.11.) mit den Simulationswerten für das Jahr 2005 deutlich. 2005 lag die mittlere Aktivierungshäufigkeit der Lüftungsstufe 3 mit 16 % nur leicht über der für 2005 simulierten Häufigkeit von 13,8 %. Werden von den 2005 gemessenen „Stufe 3“-Stunden diejenigen Stunden subtrahiert, die in 2004 auf die beiden Serverräume entfielen, ergibt sich eine Jahressumme von 8.084 h. Dies entspräche einem Aktivierungsgrad von 12,7 %.

Die in diesem Kapitel aufgezeigten Fehler im Betrieb der Nachtlüftung führten in den Jahren 2003 und 2004 zu einem stark überhöhten Strombedarf der Lüftungsanlage. Bild 8.21 zeigt die Wochensummen des Strombedarfs der Lüftungsanlage in den Büros.

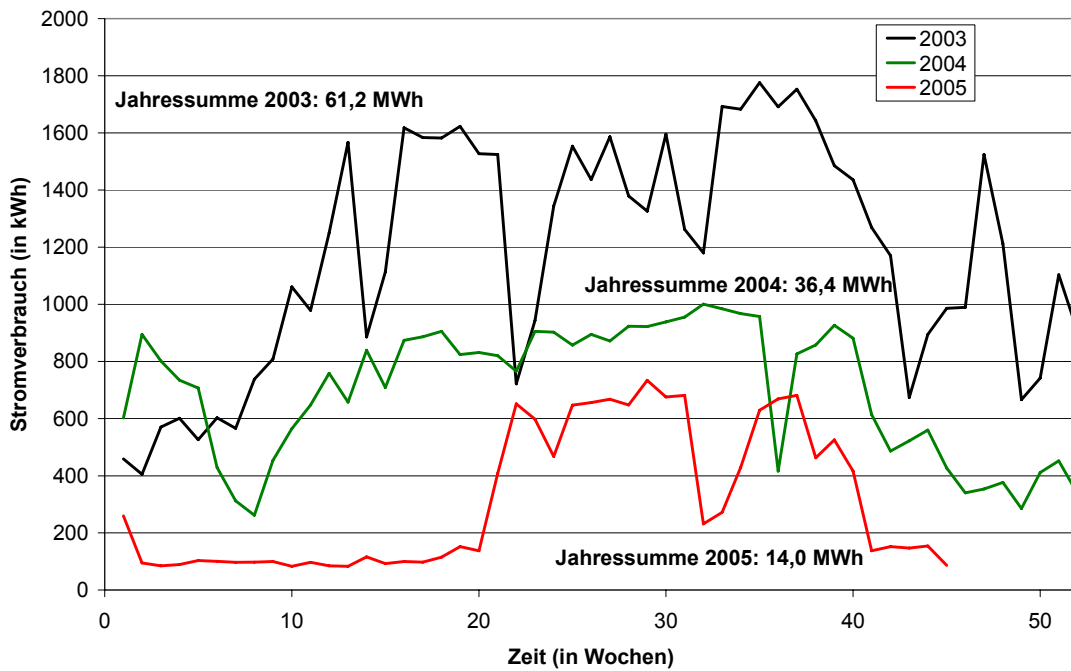


Bild 8.21: Wochen- und Jahressummen des Strombedarfs der Lüftungsanlage der Büros für 2003 und 2004.

Die Jahressumme für 2003 betrug 61,2 MWh. Dieser Betrag wurde durch die Änderungen in der Gebäuderegulierung Anfang 2004 nahezu halbiert. Die Jahressumme 2004 betrug 36,4 MWh. Die Anfang 2005 implementierte Regelung reduzierte den Stromverbrauch gegenüber 2004 um 62 % auf 14,0 MWh.

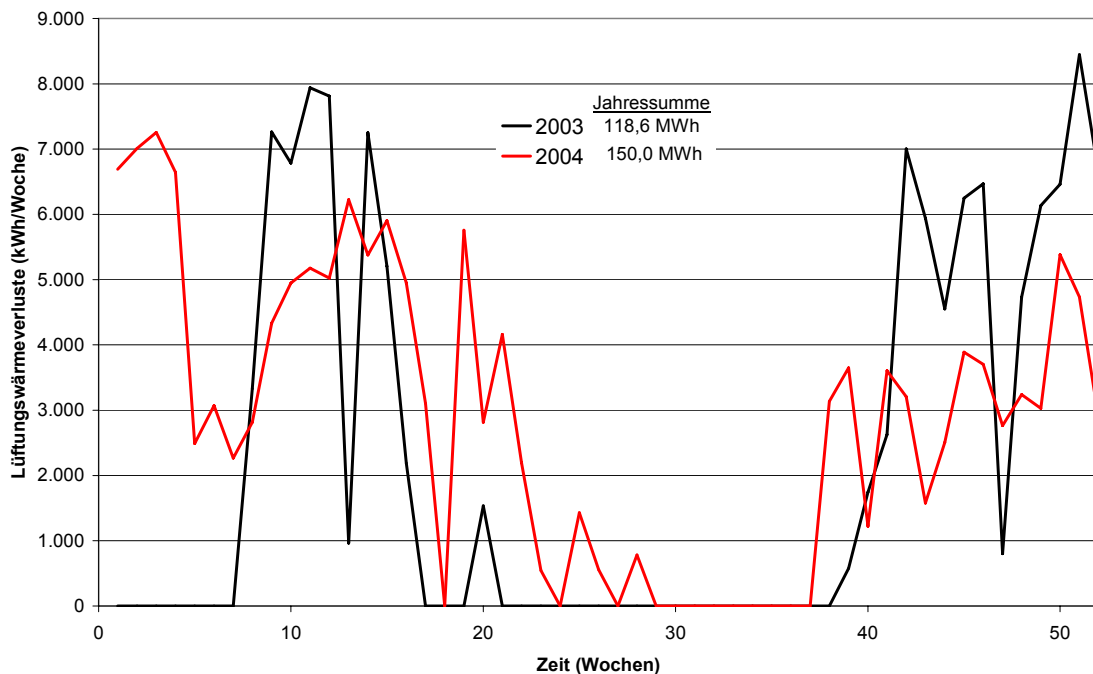


Bild 8.22: Wochen- und Jahressummen des Lüftungswärmeverlustes der Büros für 2003 und 2004.

Der fehlerhafte Betrieb der Nachtlüftung resultierte ebenfalls in stark überhöhten Lüftungswärmeverlusten. In Bild 8.22 sind die wöchentlichen Wärmeverluste aufgrund der Bürolüftung abgebildet. Die jährliche Summe lag im Jahr 2003 bei 118,6 MWh (= 36,3 kWh/(m²a)) und für das Jahr 2004 bei 150 MWh (= 45,9 kWh/(m²a)). In Tabelle 8.14 werden die Lüftungswärmeverluste des Jahres 2004, des validierten Simulationsmodells und des Modells mit korrigierter Nachtlüftung gegenübergestellt.

	Lüftungswärmeverlust (MWh/a)	Lüftungswärmeverlust (kWh/(m ² a))
Messwerte 2004	150,0	45,9
Validiertes Modell (2004)	139,5	42,7
Simulation mit korrigierter Regelung (2004)	40,1	12,3
Messwerte 2005	25,5	7,8

Tabelle 8.14: Vergleich der Lüftungswärmeverluste der Büroflügel für 2004 mit den Ergebnissen der Simulationen am validierten Gebäudemodell, dem Modell mit korrigierter Lüftungsregelung und den Messwerten 2005.

Die Ergebnisse des validierten Modells stimmen gut mit den Messwerten für das Jahr 2004 überein. Werden die Fehleinstellungen in der Lüftungsregelung hinsichtlich der Nachtlüftung behoben, würde sich der Lüftungswärmeverlust um 71 % verringern. Diese Prognose wurde durch die Messwerte des Jahres 2005 erneut gestützt. Aufgrund des wärmeren Wetters in 2005 liegt die Jahressumme (1.1. bis 11.11. 2005) mit 25,5 MWh sogar noch unter dem simulierten Wert für 2004.

Die Reduktionen im Strombedarf und den Lüftungswärmeverlusten der Abluftanlage der Büroflügel verringern den Primärenergiebedarf des Gebäudes gegenüber dem Modell mit gedämmten Heizungsrohren gemäß Bild 8.23.

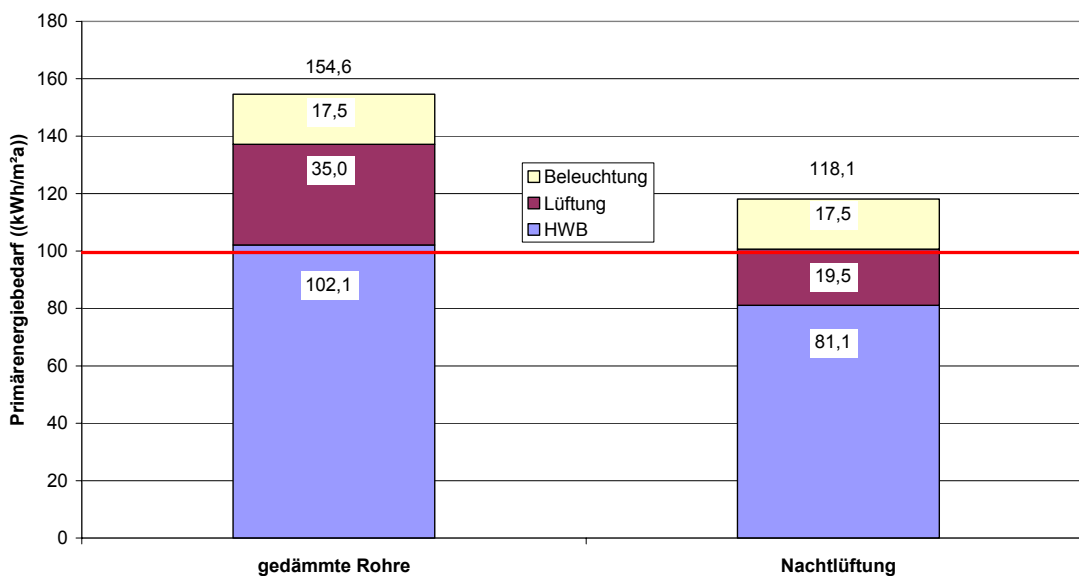


Bild 8.23: Primärenergiebedarf des Simulationsmodells mit gedämmten Rohren im Vergleich mit dem Modell mit korrigierter Nachtlüftungsfunktion (vgl. Bild 8.14).

Der Anteil der Raumwärmebereitstellung am Primärenergiebedarf nimmt parallel zu den reduzierten Lüftungswärmeverluste um $21 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, der Anteil des Strombedarfs für Lüftung um $15,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ab. Der Gesamtbedarf liegt nun mit $118,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ nur noch um etwa 18 % oberhalb des in den Planungsvorgaben festgeschriebenen Grenzwertes von $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Regelung Erdwärmetauscher

In der Regelung des Erdwärmetauschers, der den nördlichen Gebäudeteil und die Ausstellung mit vorkonditionierter Luft versorgt, wurden weitere Fehleinstellungen festgestellt. Unabhängig davon, ob die Temperatur der Außenluft oder die Zuluft aus dem Erdwärmetauscher die energetisch günstigere wäre, wurde stets die Luft aus dem Erdwärmetauscher entnommen. Dies resultierte in einer weiteren Erhöhung des Heizwärmebedarfs in diesen beiden Gebäudebereichen. In Bild 8.24 ist beispielhaft der Temperaturverlauf für einen Zeitraum dargestellt, in dem die Außenlufttemperatur über der Lufttemperatur nach dem Erdwärmetauscher lag. Bild 8.25 zeigt die Volumenströme, welche im selben Zeitraum aus dem Erdwärmetauscher entnommen worden sind.

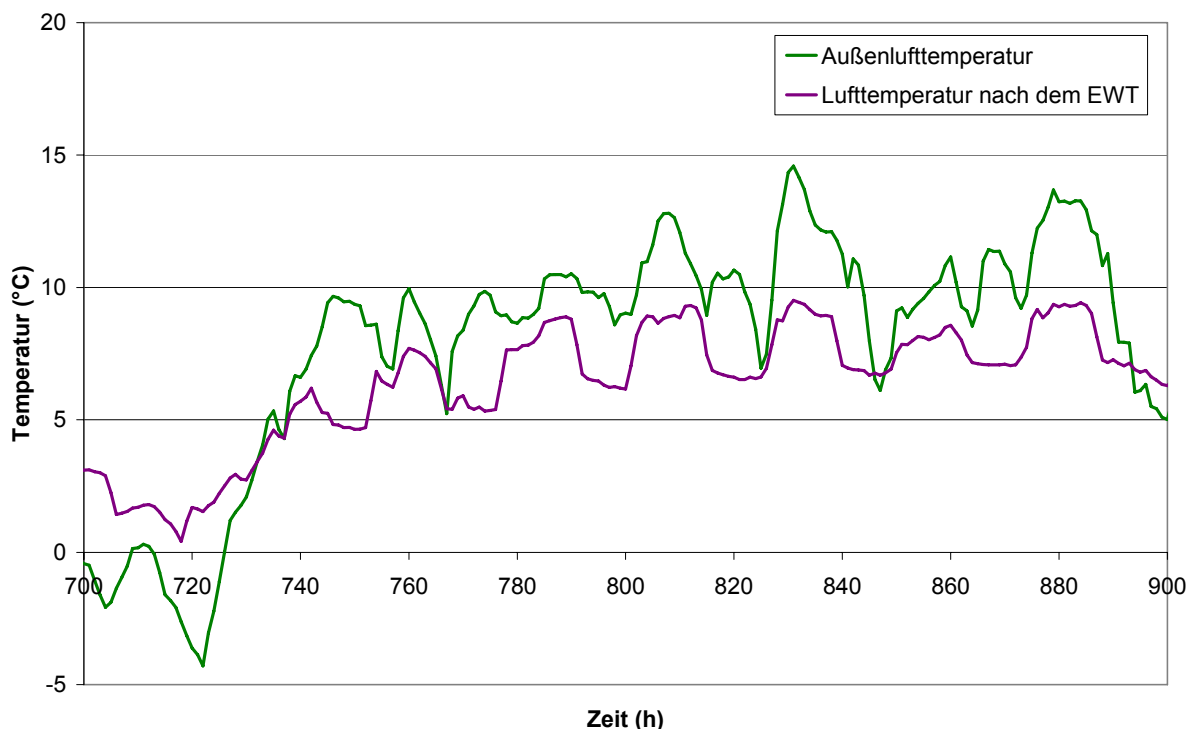


Bild 8.24: Temperaturverläufe der Außenluft und der Zuluft nach dem Erdwärmetauscher für den Zeitbereich vom 30.01.2004 bis zum 6.02.2004.

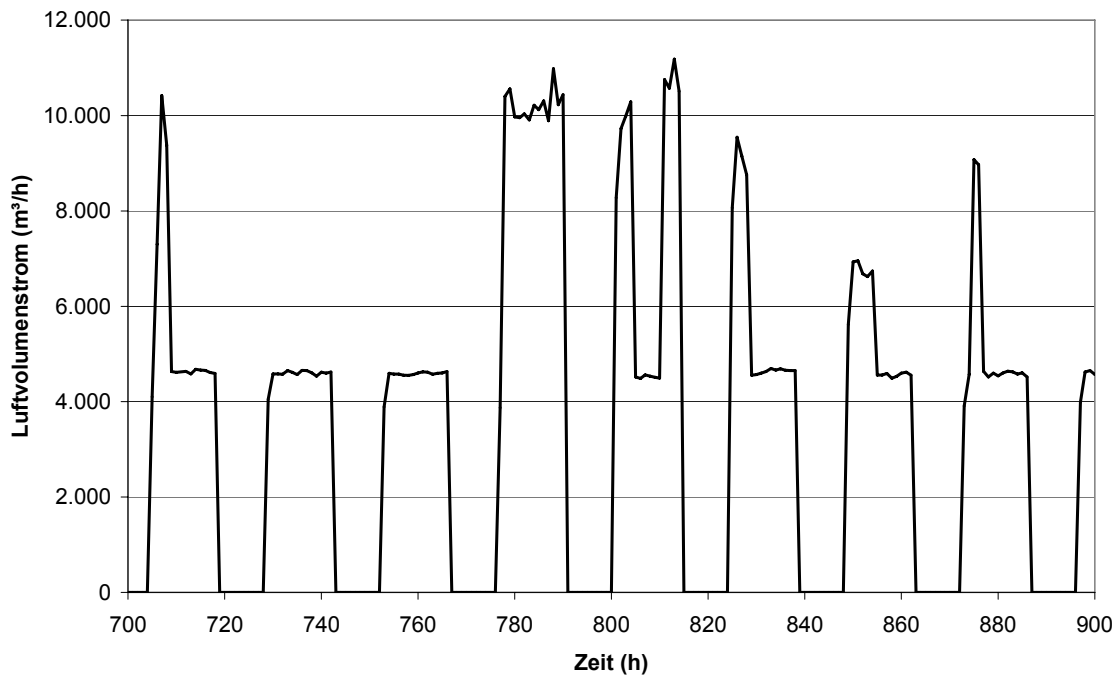


Bild 8.25: Volumenströme durch den Erdwärmetauscher im Zeitbereich vom 30.01.2004 bis zum 6.02.2004.

Ein Vergleich der beiden Diagramme zeigt, dass zwischen der Stunde 740 und 900 die Außenlufttemperatur höher war als die Temperatur der Zuluft aus dem Erdwärmetauscher. Bild 8.25 zeigt jedoch, dass die Zuluft aus dem EWT entnommen wurde.

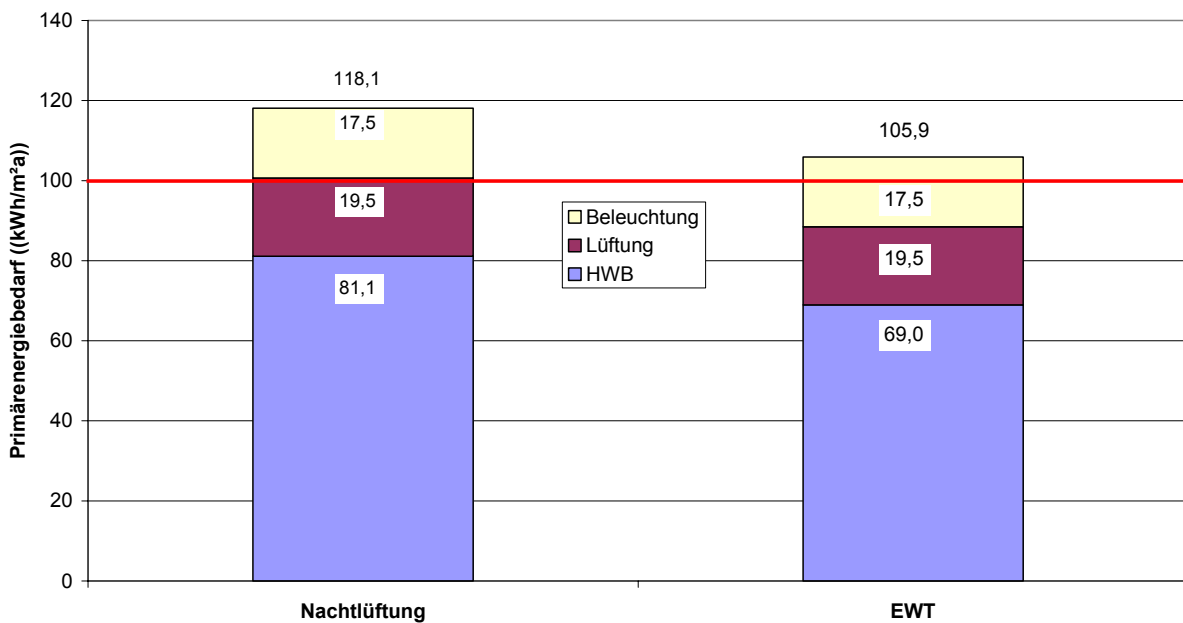


Bild 8.26: Primärenergiebedarf gemäß der Simulationen mit korrigierter Nachtlüftungsfunktion und korrigierter Regelung des Erdwärmetauschers.

Die Behebung dieses Fehlers im validierten Gebäudemodell ergab eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs des Gesamtgebäudes von 10,64 kWh(m²a) gegenüber dem Modell mit korrigierter Nachlüftungsfunktion. Dies veranschaulicht auch Bild 8.26. Die Fehleinstellungen in der Regelung des Erdwärmetauschers hatte auf die sommerliche Performance der Gebäudebereiche keinen feststellbaren Einfluss. Der Luft aus dem Erdwärmetauscher wurde stets der Vorrang erteilt. Diejenigen Zeiten, während derer im Sommer die Außenlufttemperatur bei einer Belegung der Räume unterhalb derer der Zuluft aus dem Erdwärmetauscher liegen, reduzieren das optimal erreichbare Kühlpotential nur unwesentlich.

8.4 Integration der Wärmepumpen in die Heizungsanlage

Die Wärmepumpen wurden bereits während der Ausführungsplanung nicht korrekt in den Heizungskreislauf eingebunden. Die hydraulische Anbindung der Pufferspeicher, in welche die Wärmepumpen die aus der Abluft der Büroräume zurückgewonnene Wärme einspeisen, war in der Konzeption der Heizungsanlage nicht korrekt durchdacht worden. Der Rücklauf zu den Pufferspeichern war mit dem Rücklauf aus dem Gebäude verbunden worden. Die Rücklauftemperaturen liegen dabei stets über 50°C. Somit werden die Pufferspeicher ebenfalls auf Temperaturen oberhalb von 50 °C gehalten. Die Wärmepumpen sind aber nur in der Lage, das Arbeitsmedium auf 45 bis 50°C zu erwärmen. Bei höheren Temperaturen werden die Wärmepumpen abgeschaltet, um eine unwirtschaftliche Betriebsweise zu vermeiden. Bild 8.27 zeigt eine schematische Darstellung der hydraulischen Einbindung der Wärmepumpen.

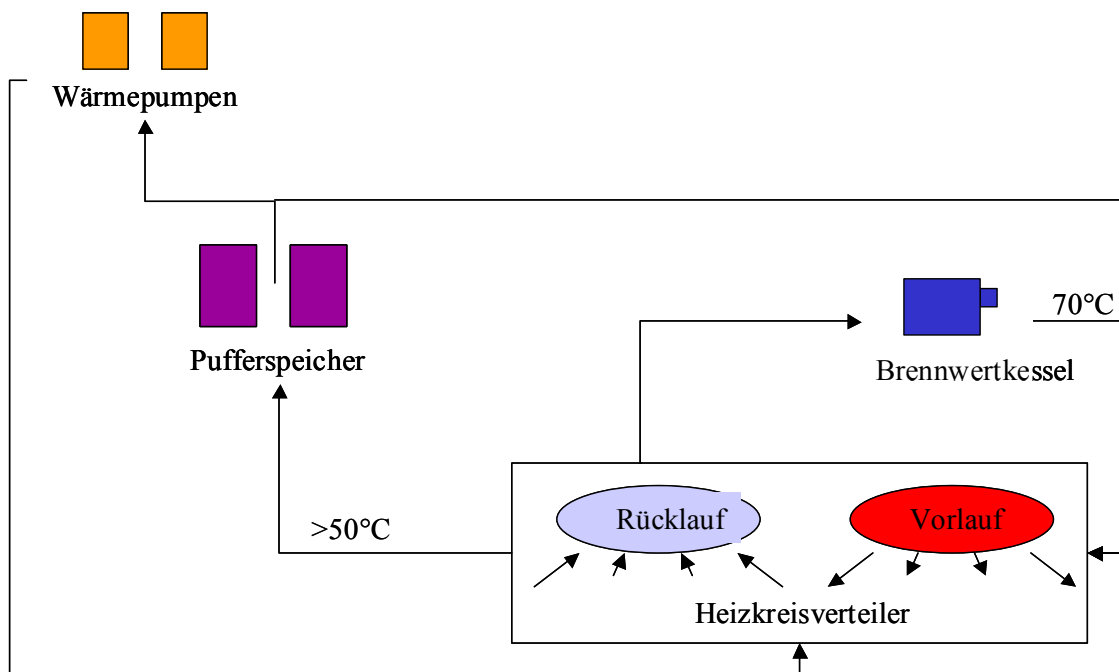


Bild 8.27: Schematische Darstellung der hydraulischen Einbindung der Wärmepumpen gemäß falscher Planung und Ausführung.

Um eine sinnvolle Betriebsweise der Wärmepumpen zu erreichen, müsste die Rücklauf­temperatur zu den Pufferspeichern auf deutlich unter 50°C gesenkt werden. Dies ist aufgrund der installierten Heiztechnik nur durch eine Trennung des Heizkreises der Büros von dem des Restgebäudes möglich. Nur dieser Heizkreis kann mit niedrigen Vorlauf­temperaturen (max. 52°C) betrieben werden, was geringere Rücklauf­temperaturen (max. 42°C) zu Folge hat. Die Wärmeübergabepunkte der Ausstellung und des Nordbaus benötigen Vorlauf­temperaturen von 70°C, was Rücklauf­temperaturen von über 50°C zur Folge hat. Eine Trennung dieser Heizkreise und eine Ein­bindung der Pufferspeicher in den Heizkreis für die Büros ermöglicht dann eine ener­getisch sinnvolle Betriebsweise der Wärmepumpen. Der Gasbrennwertkessel wird über einen Wärmetauscher in Form eines Nachheizregisters in diesen Heizkreis ein­gebunden. Liefern die Wärmepumpen oder die Pufferspeicher nicht die von den Büros angeforderte Vorlauf­temperatur, so hebt der Gasbrennwertkessel den Vorlauf auf die benötigte Temperatur an. Die verbesserte Ein­bindung der Wärmepumpen in das Heizungssystem ist in Bild 8.28 dargestellt. Berechnungen an dem angepassten vali­dierten Simulationsmodell zeigen auf, dass die Wärmepumpen bei richtiger Integri­ation in die Heizungsanlage einen Beitrag von 21,8 MWh/a (= 6,6 kWh/(m²a)) in 2004 hätten leisten können.

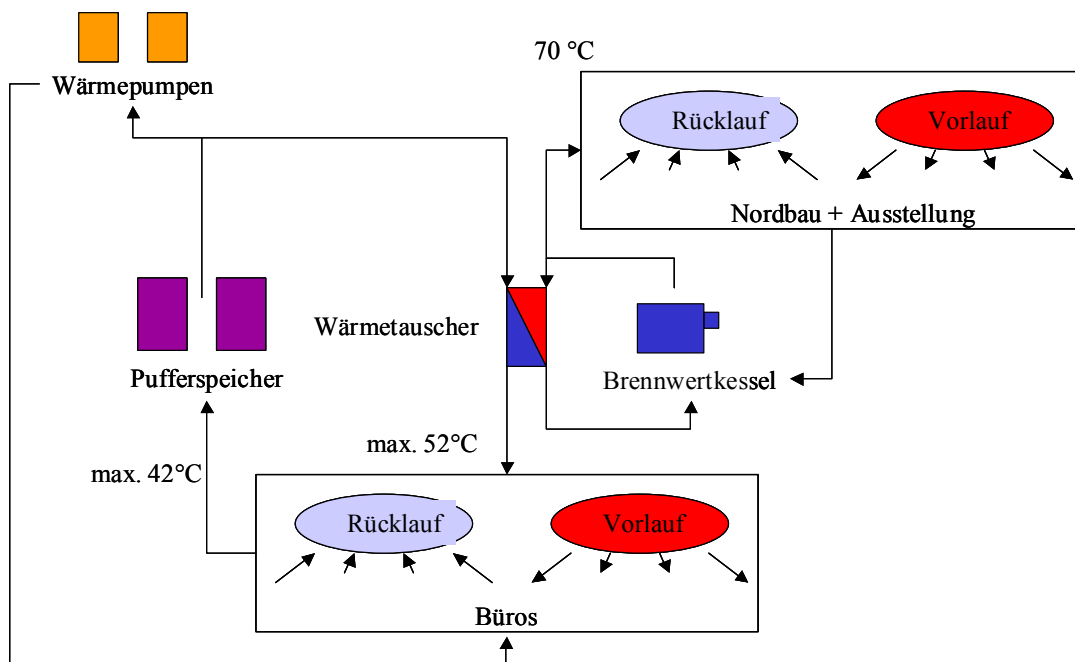


Bild 8.28: Schematische Darstellung der korrigierten Einbindung der Wärmepumpen in die Heizungsanlage. Hydraulische Trennung des Kreis­laufs WP–Pufferspeicher–Büros mit einem maximalen Temperaturniveau von 52 °C vom restlichen Gebäude, das mit höheren Temperaturen versorgt werden muss.

Mit diesem Beitrag ergibt sich der Primärenergiebedarf des Gesamtgebäudes gemäß Bild 8.29 zu 101,1 kWh/(m²a) (siehe Bild 8.29).

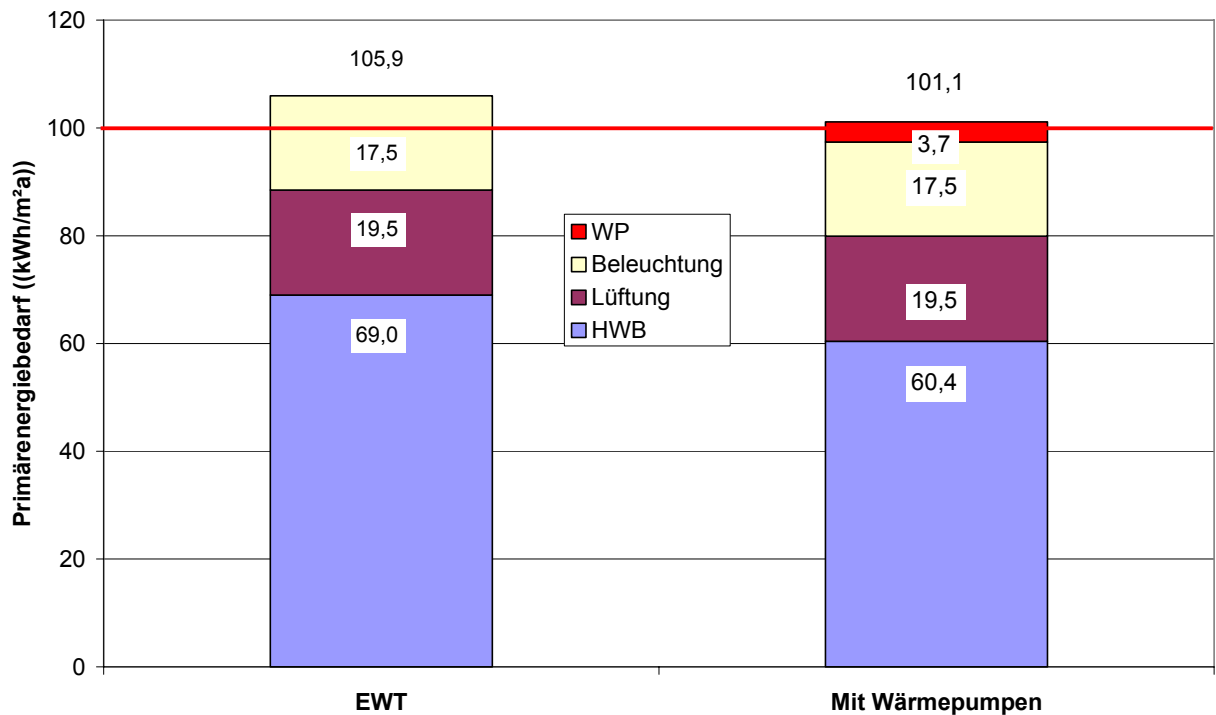


Bild 8.29: Aus Simulationen berechneter Primärenergiebedarf, nachdem die Einbindung der Wärmepumpen in den Heizkreislauf gemäß Bild 8.28 korrigiert wurde (siehe Bild 8.26).

Somit hätte das Gebäude im Jahr 2004 mit korrigierten Regelungseinstellungen und einer optimierten Einbindung der Wärmepumpen in den Heizkreislauf den Grenzwert der Planung nur unwesentlich überschritten. Zieht man weiterhin in Betracht, dass die Belegung des Gebäudes mit durchschnittlich 15 h/Woche in den Büros nicht einmal der halben Belegung der Planung entspricht, kann der Zielwert als erreicht betrachtet werden. Bei einer höheren Belegungszahl steigen die internen Gewinne entsprechend an und der Heizwärmebedarf wird reduziert. Dieser Umstand wird im nächsten Kapitel beleuchtet, in dem untersucht wird, wie sich das korrigierte validierte Simulationsmodell mit den Nutzungsparametern der Pflichtenhefte verhält.

8.5 Primärenergiebedarf des korrigierten Gebäudemodells im Vergleich mit den Angaben aus dem Pflichtenheft.

In diesem Abschnitt wird vorgestellt, wie sich das Gebäude verhalten würde, nachdem alle in den Abschnitten 7.3 und 7.4 beschriebenen Mängel bei einer Nutzung gemäß der Pflichtenhefte beseitigt worden wären.

Die Pflichtenhefte sind in tabellarischer Form im Anhang Abschnitt 14.1 abgebildet. Sie setzen sich aus den Teilbereichen Nutzung, Heizung und Tageslicht/Kunstlicht zusammen. Die Belegungsprofile für die einzelnen Nutzungsbereiche sind in den folgenden Bildern abgebildet.

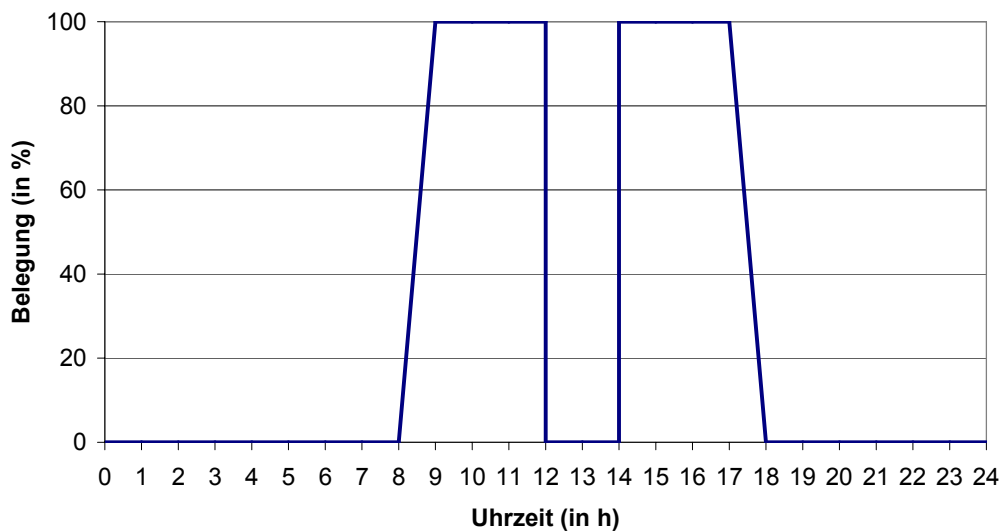


Bild 8.30: Belegungsprofil der Büros, der Laborräume und des Ausstellungs-bereichs.

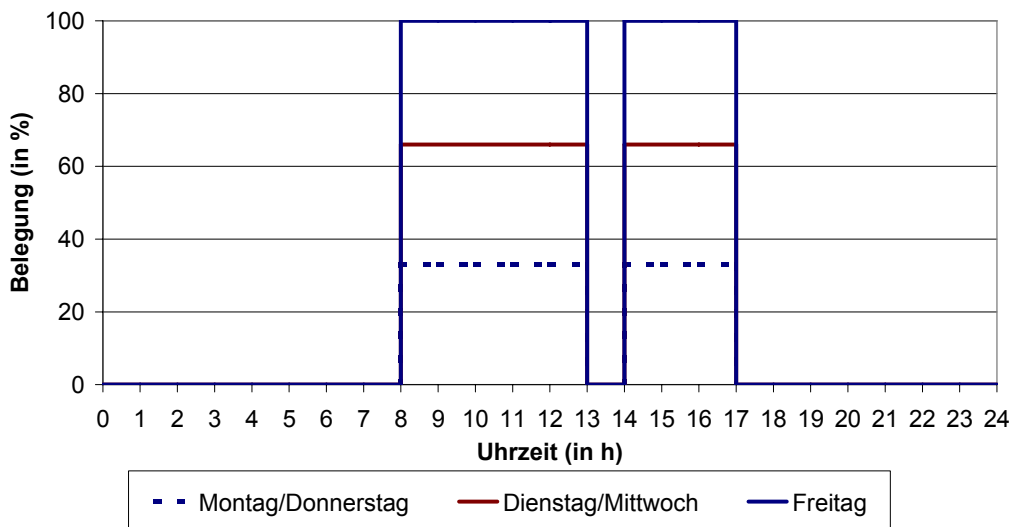


Bild 8.31: Belegungsprofil der Seminarräume.

Die Büros, die Laborräume und der Ausstellungsbereich werden nach demselben Nutzungsprofil betrieben. Die ersten Nutzer beginnen mit ihrer Arbeit um 8.00 Uhr. Ab 9.00 Uhr sind alle Arbeitsplätze belegt. Von 12.00 Uhr bis 14.00 findet eine Mittagspause statt. Der Arbeitstag endet um 17.00. Bis 18.00 haben alle Nutzer dieser Bereiche das Gebäude verlassen. Diese Nutzung wird für die gesamte Arbeitswoche angenommen. Im Seminarbereich wird zusätzlich im Profil noch innerhalb der Arbeitswoche unterschieden. Montags und Donnerstags ist der Seminarbereich zu einem Drittel, Dienstags und Mittwochs zu zwei Dritteln und Freitags vollständig belegt. Der Tagesgang ist auch im Seminarbereich für jeden Tag der Arbeitswoche identisch. Werden die Zusammensetzung des Heizwärmebedarfs des Gebäudes in der Nutzungsvariante Pflichtenheft mit der des korrigierten validierten Simulationsmodells in der Nutzung 2004 verglichen, so ergibt sich Bild 8.32.

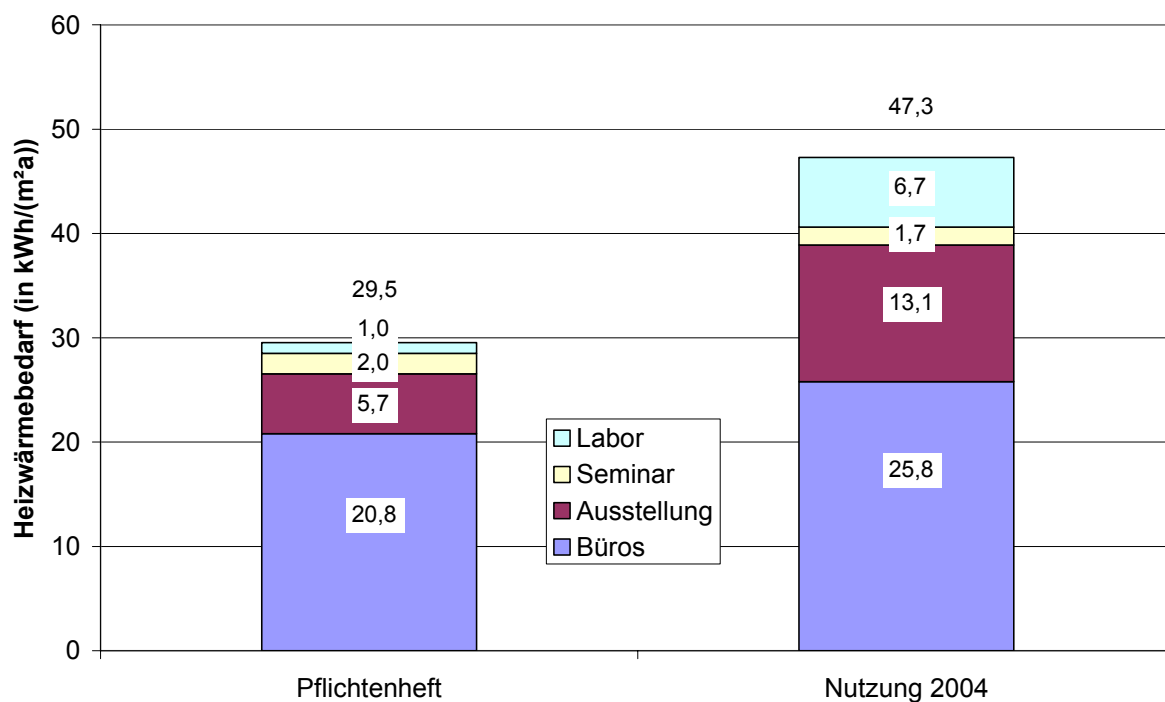


Bild 8.32: Vergleich des Heizwärmebedarfs der einzelnen Gebäudebereiche anhand des korrigierten validierten Simulationsmodells in der Nutzung Pflichtenheft und der Nutzung des Jahres 2004.

Bei dieser Aufschlüsselung des Heizwärmebedarfs in die Gebäudebereiche fällt zum einen auf, dass der Großteil des Heizwärmebedarfs auf die Büros mit 71 % in der Nutzung gemäß Pflichtenheft und mit 55 % in der Nutzung 2004 entfällt. Dies spiegelt den hohen Anteil der Büros (62 %) an der Hauptnutzfläche des Gebäudes wieder. Zum anderen wird deutlich, dass das validierte Simulationsmodell für diese beiden Nutzungsvarianten einen sich um über 60 % voneinander unterscheidenden Heizwärmebedarf für das Gesamtgebäude berechnet. Dieser beträchtliche Unterschied im Simulationsergebnis ist vor allem auf die durch die unterschiedlichen Nutzungen differierenden internen Gewinne zurückzuführen. Bild 8.33 zeigt die mittleren wöchentlichen Belegungsstunden der Büros für die Jahre 2003 bis 2005. Die Werte

für 2005 umfassen die ersten 28 Kalenderwochen. Nach diesem Zeitpunkt war die Datenübernahme aus der Gebäudeleittechnik für diesen Anlagenbereich gestört.

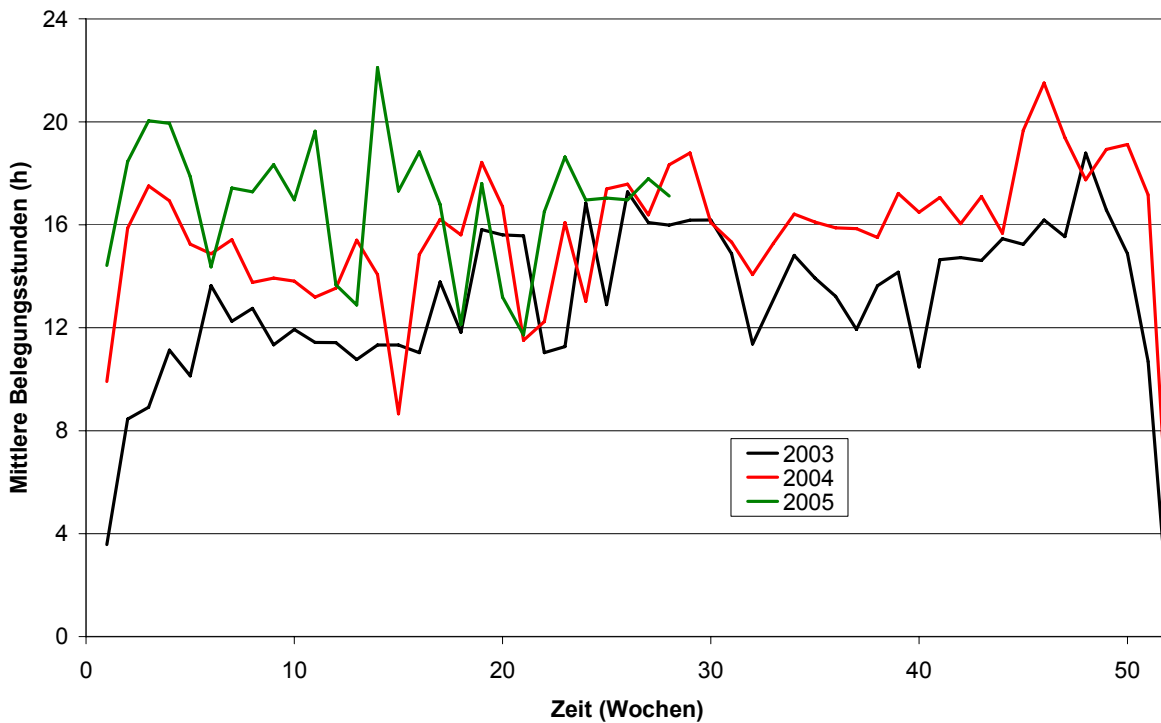


Bild 8.33: Mittlere wöchentliche Belegungsstunden der Büros in allen drei Flügeln für die Jahre 2003 bis 2005 (bis KW 28).

Die Belegungsstunden nehmen von durchschnittlich 4 h je Woche und Büro bei Messbeginn auf einen Wert von rund 17 h Mitte 2004 zu. Danach schwanken die Wochenwerte um einen Mittelwert von 16,9 h. 2004 wies eine mittlere Stundenzahl von 15,6 auf. Dieser Wert liegt noch unterhalb von 20 h, die bei einer halben Belegung erzielt werden würde.

In Tabelle 8.15 sind die internen Gewinne für Beleuchtung, Personen und Geräte der beiden Nutzungsarten gegenübergestellt. Beim Vergleich der internen Gewinne der beiden Nutzungsarten wird deutlich, dass in der Nutzung gemäß Pflichtenheft die Belegungszahlen deutlich höher angenommen worden waren, als sie in 2004 tatsächlich angetroffen wurden. Die Belegungen sind in der Planungsphase für die Büroflügel ungefähr doppelt so hoch, in den Labors um das 1,6 – 7-fache und in den Seminarräume um das 6 – 24-fache höher angesetzt worden.

	Pflichtenheft	Nutzung 2004
	Interne Gewinne (W/m ²)	Interne Gewinne (W/m ²)
Büros		
Beleuchtung	6	6
Personen	11,4	5,7
Geräte bei Belegung	15	9,2
Geräte bei Nichtbelegung	0	1,4
Laborräume		
Beleuchtung	11	3,3 – 10
Personen	11,4	1,6 – 7,1
Geräte bei Belegung	15	1,6 - 7,1
Geräte bei Nichtbelegung	0	6
Seminarräume		
Beleuchtung	11	10
Personen	19,7 – 58,8	0,8 – 9,6
Geräte bei Belegung	2,2	0
Ausstellungsbereich		
Beleuchtung	5	1,5
Personen	0,17	0,41

Tabelle 8.15: Übersicht über die internen Gewinne für die Simulationsvarianten Nutzung 2004 und Pflichtenheft.

Ebenso wurde der Beitrag der Geräte in den Büros und in den Laborräumen bei Belegung zu hoch angenommen. Nicht angesetzt wurde hingegen eine Gerätegrundlast bei Nichtbelegung. Diese setzt sich in den Büros aus dem Standby-Verbrauch verschiedener Bürogeräte zusammen und belief sich auf 1,4 W/m². In den Laborräumen kommen zu diesem Standby-Verbrauch noch Lasten von Analysegeräten hinzu, die auch bei Abwesenheit betrieben worden sind. Aus den Messwerten ergab sich hierbei ein Mittelwert von 6 W/m². Der Anteil aus der Beleuchtung differierte im Jahr 2004 lediglich in den Laborräumen und in der Ausstellung von den im Pflichtenheft angesetzten Werten. Der geringere Wert in den Messdaten 2004 für die Labore und die Ausstellung gründet sich auf die deutlich reduzierten Belegungszahlen. Im folgenden Diagramm ist der Primärenergieverbrauch der beiden Varianten dargestellt.

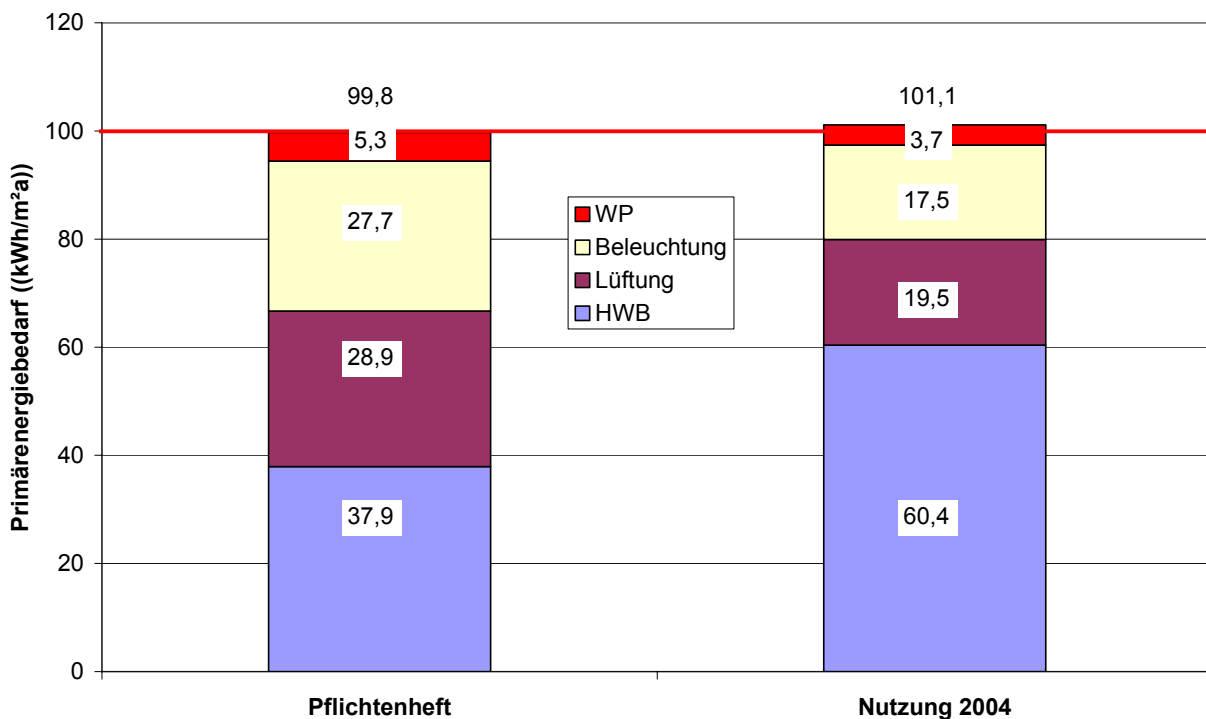


Bild 8.34: Vergleich des mit dem korrigierten validierten Simulationsmodell berechneten Primärenergiebedarfs für eine Nutzung gemäß Pflichtenheft mit der realen Nutzung im Jahr 2004.

Beide Nutzungsvarianten liegen praktisch auf dem im Forschungsprojekt festgeschriebenen Grenzwert von 100 kWh/(m²a). Mit der Nutzung „Pflichtenheft“ liegt das validierte Simulationsmodell knapp unterhalb des Grenzwertes, mit der Nutzung wie im Jahr 2004 liegt es knapp darüber. Dieser Vergleich zeigt, dass der in der Planung prognostizierte Primärenergiebedarf sehr gut mit eines bestimmungsgemäß eingeregeltten Gebäudes übereinstimmt. Selbst große Variationen in der Nutzung werden vom Gebäude primärenergetisch neutral behandelt. Eine veränderte Nutzung wirkt sich aber gravierend auf die Zusammensetzung des Primärenergiebedarfs aus. So liegt der Anteil des Heizwärmebedarfs in der Nutzung gemäß Pflichtenheft um 38 % unterhalb dessen in der Nutzung 2004. Dem entgegen liegen die Anteile für Lüftung, Beleuchtung und Wärmepumpen um 40% – 70 % Prozent unter den Planwerten aus dem validierten Modell.

Somit kann festgehalten werden, dass das Artur-Woll-Haus - nachdem die Mängel in der Heiz-, Lüftungs- und Regelungstechnik beseitigt sein werden - sowohl im derzeitigen als auch im planmäßigen Nutzungszustand die Planungsziele hinsichtlich des Primärenergiebedarfs einhalten wird. Bei der derzeitigen Nutzung wird jedoch der Grenzwert für den Heizwärmebedarf mit 60,4 kWh/(m²a) um 50 % verfehlt.

8.6 Auswertung 2005

Zu Beginn des Jahres 2005 wurden die Fehleinstellungen in der Gebäudeleittechnik hinsichtlich der Nachtlüftung und des Betriebs des Erdwärmetauschers beseitigt. Aufgrund des Eingriffs in die Arbeitsabläufe der Nutzer wird die nachträglich Dämmung der Heizungsrohre nur allmählich durchgeführt. Der Einfluss der Wärmeabgabe durch die Heizungsrohre auf den Heizenergiebedarf wurde jedoch durch eine Anpassung der Vorlauftemperaturen zu den Deckensegeln an die Außentemperaturen (und somit an die Heizanforderungen) verringert. Die Umbauarbeiten an der Heizungsanlage zur korrekten Einbindung der Wärmepumpen konnten aufgrund eines bis zur Jahresmitte 2005 vor Gericht anhängigen Verfahrens bis zum Zeitpunkt der Berichtserstellung nicht durchgeführt werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertungen für den Zeitraum zwischen dem 1. Januar und 11. November 2005 zusammengefasst.

Heizwärmebedarf

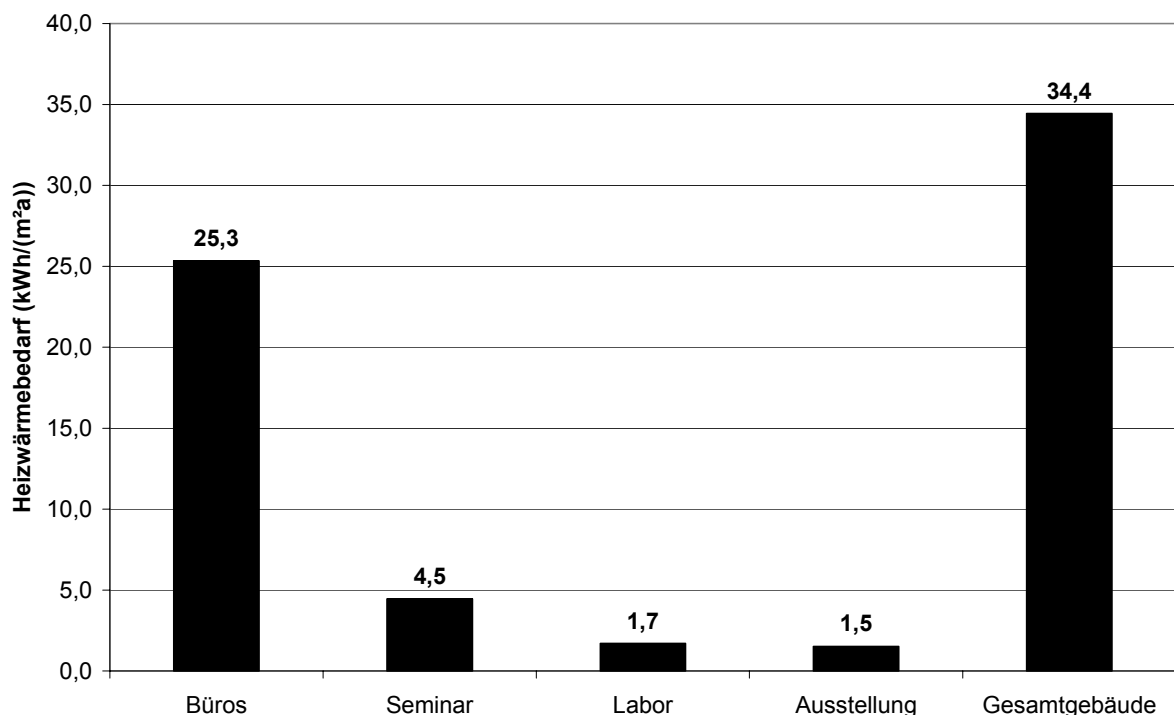


Bild 8.35: Gliederung des Heizwärmebedarfs in die einzelnen Gebäudebereiche. Die Abweichung zwischen der Summe der Teilbereiche und dem Gesamtgebäude ist durch die Ungenauigkeiten (ca. 10%) der verwendeten Wärmemengenzähler begründet.

Der Heizenergiebedarf des Gesamtgebäudes lag bis zum Ende des Auswertungszeitraums (11. November) mit 34,4 kWh/(m²a) noch deutlich unterhalb des Grenzwertes von 40 kWh/(m²a). Für das gesamte Jahr 2005 kann deshalb angenommen werden, dass der Heizenergiebedarf unterhalb des Grenzwerts bleiben wird. Auf die Bü-

ros entfallen 73,5 % des Heizenergiebedarfs, auf die restlichen Gebäudebereiche 26,5 %.

Strombedarf

Bild 8.36 zeigt den Strombedarf der einzelnen Gebäudebereiche (Beleuchtung und Geräte), des Gesamtgebäudes und der Lüftungsanlage.

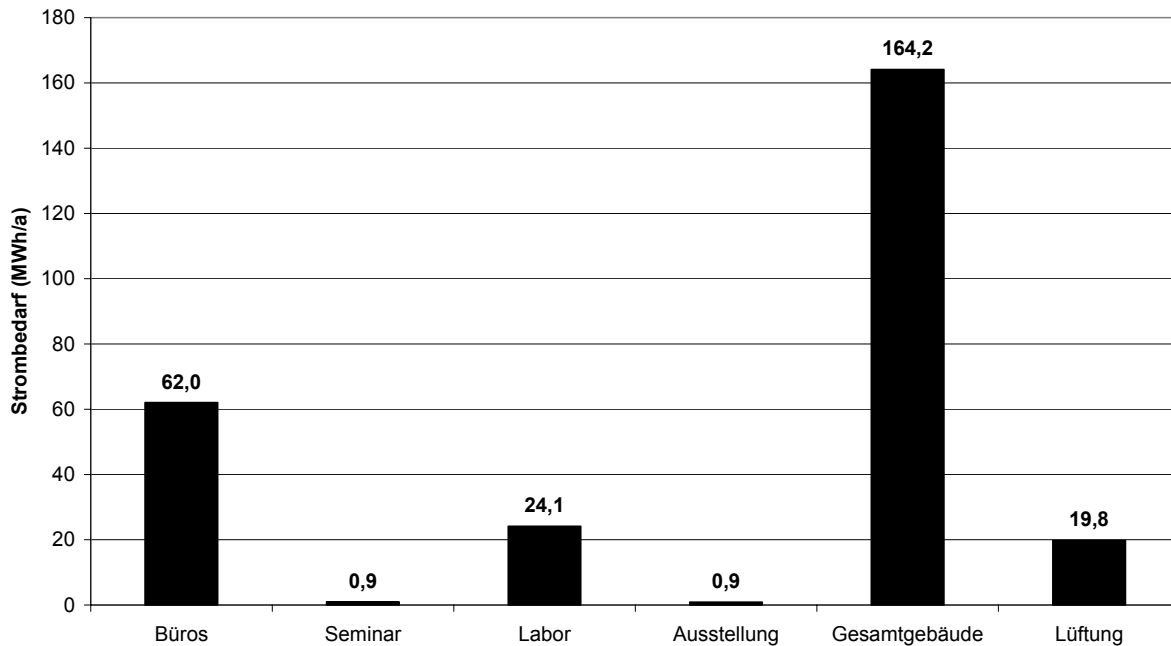


Bild 8.36: Jahressummen des Strombedarfs der Gebäudebereiche, des Gesamtgebäudes und der Lüftungsanlage. Die in der Gesamtbilanz fehlenden rund 57 MWh/a entfallen auf die durch die Teilmessungen nicht erfasste Anlagentechnik.

37 % des Strombedarfs entfallen auf die Beleuchtung und die Geräte der Büros, 12 % auf die Lüftungsanlage. 93 % des Strombedarfs des Nordbaus (Seminar, Labor und Ausstellung) entfallen auf die Laborräume.

In Bild 8.37 sind die wöchentlichen Summen des Strombedarfs der Büroräume aufgeteilt in die Bereiche Beleuchtung, Lüftung und Geräte dargestellt. Der wöchentliche Strombedarf für die künstliche Beleuchtung liegt im Winter bei ca. 200 kWh und während des übrigen Jahres bei ca. 100 kWh. Außerhalb der Sommermonate bewegt sich der Strombedarf der Abluftanlage auf dem Niveau der künstlichen Beleuchtung. Im Nachtlüftungsbetrieb steigt der Strombedarf auf den rund 6-fachen Wert an. Die entsprechenden Jahressummen sind in Tabelle 8.16 aufgeführt.

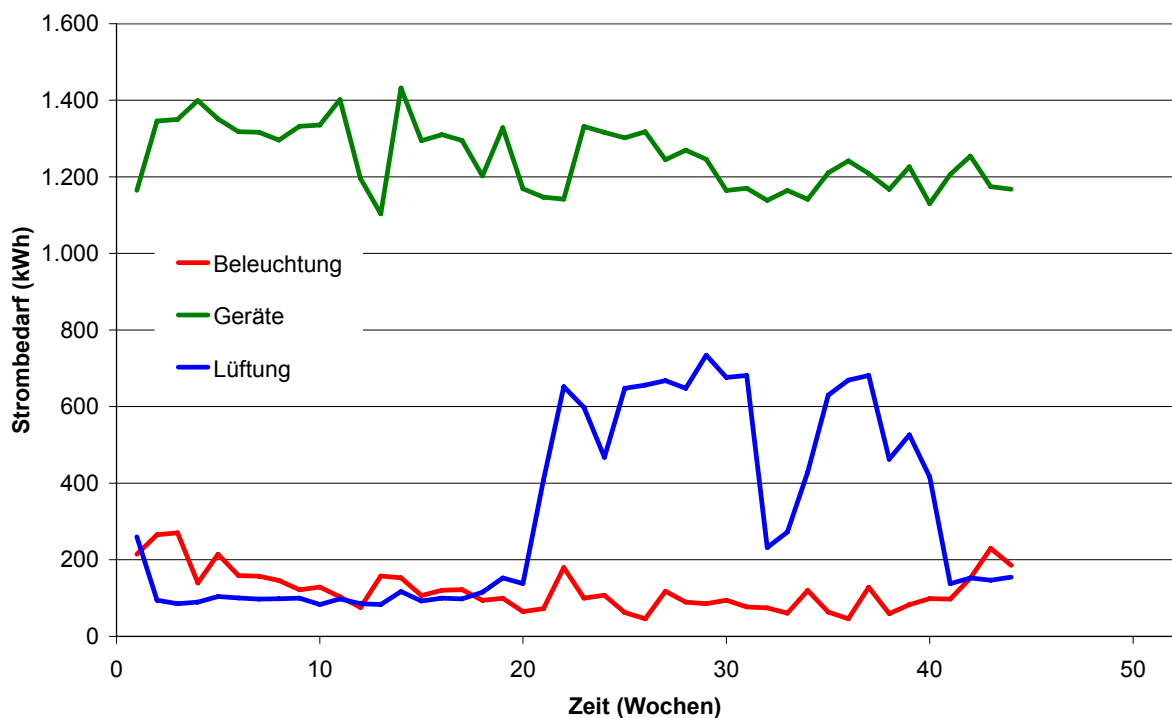


Bild 8.37: Wochensummen des Strombedarfs der Büroräume für das Jahr 2005 aufgeteilt in die Bereiche Beleuchtung, Lüftung und Geräte.

Stromkreis	jährlicher Strombedarf (MWh/a)	flächenspezifischer Strombedarf (kWh/(m ² a))
Beleuchtung	5,34	3,1
Lüftung	13,9	8,2
Geräte	55,0	32,4
Gesamt	74,3	43,7

Tabelle 8.16: Jährlicher Strombedarf der Büroflügel für die Bereiche Beleuchtung, Lüftung und Geräte.

Die Schweizer Norm SIA 380/4 fordert für Einzel- und Gruppenbüros mit normaler Nutzung die in Tabelle 8.17 aufgelisteten Grenz- und Zielwerte. Das Artur-Woll-Haus unterschreitet deutlich den Zielwert hinsichtlich des Strombedarfs für die Beleuchtung, überschreitet jedoch den Grenzwert für Lüftung und Klimatisierung um 64 %. Da im Jahr 2005 die Nachtlüftung während der Sommermonate noch an jedem Wochentag in Betrieb war (d.h. auch an den Wochenenden) kann davon ausgegangen werden, dass sich der hohe spezifische Strombedarf für die Lüftung und Klimatisierung bei einer Beschränkung auf die in der Planung vorgesehene Betriebszeit während der Arbeitstage noch verringern wird.

Stromkreis	Anforderungen nach SIA 380/4* (kWh/(m ² a))	
	Zielwerte	Grenzwerte
Beleuchtung	5,5	15
Lüftung und Klimatisierung	3,4	5,0

Tabelle 8.17: Anforderungen hinsichtlich des Strombedarfs für Beleuchtung, Lüftung und Klimatisierung nach der Norm SIA 380/4 [10] für Einzel- und Gruppenbüros mit normaler Nutzung.

Zusammenfassung hinsichtlich des Energiebedarfs

In der Tabelle 8.18 werden die Messergebnisse des Jahres 2005 mit den Anforderungen der Richtlinien des Förderkonzeptes hinsichtlich des Endenergie- und des Primärenergiebedarfs verglichen.

Messgröße	2005	Solarbau:Monitor
Endenergie für Heizung und Warmwasser (kWh/(m ² a))	34,4	≤ 40
Endenergie Wärme + elektrische Energie für technische Gebäudeausrüstung (kWh/(m ² a))	43,3	≤ 70
Primärenergiebedarf* (kWh/(m ² a))	70,61	≤ 100
CO ₂ – Emissionen** (kg/(m ² a))	14,4	≤ 23

Tabelle 8.18: Vergleich der planungsrelevanten Kenngrößen aus den Messwerten für das Jahre 2005 mit den Grenzwerten des Förderkonzeptes. *Primärenergie-faktoren entsprechend EnEV [11], **Emissionswerte entsprechend GEMIS 4.3 [1].

Extrapoliert man die Werte der Tabelle auf das gesamte Jahr 2005, so kann davon ausgegangen werden, dass die Grenzwerte des Förderkonzeptes eingehalten werden.

Nachtlüftung

Die Regelungsparameter und die Auswertungsergebnisse der Nachtlüftungsfunktion sind in Tabelle 8.19 aufgeführt.

Parameter	Werte
Tägliche Betriebszeiten	22:00 – 6:00
Wöchentliche Betriebszeiten	Jeder Tag
Jährliche Betriebszeiten	Sommerzeitraum
Einschalttemperatur (°C)	22
Abschalttemperatur (°C)	20
Mittlerer Volumenstrom (m ³ /h)	200
Abgeführte Wärmemenge (kWh/a)	21.166
Strombedarf der Abluftanlage (kWh/a)	5.165
Leistungszahl (-)	4,1

Tabelle 8.19: Regelungsparameter und Auswertungsergebnisse der Funktion Nachtlüftung für das Jahr 2005.

Der Qualität des thermischen Komforts der Nutzer an ihren Arbeitsplätzen ist in Abschnitt 9.3 beschrieben. Die Überhitzungsstunden der detailliert vermessenen Büroräume des Südflügels sind im Bild A.24 im Abschnitt 14.4 des Anhangs illustriert.

Erdwärmetauscher

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Auswertung der Messdaten des Erdwärmetauschers zusammen.

Leistungswerte	2005
Heizleistung (kWh/a)	174
Kühlleistung (kWh/a)	3425
Arbeitszahl Heizen (-)	0,76
Arbeitszahl Kühlen (-)	0,58

Tabelle 8.20: Zusammenstellung der Leistungswerte des Erdwärmetauschers für das Jahr 2005.

Im für das Jahr 2005 erfassten Zeitraum konnten mit dem Erdwärmetauscher rund 3,5 MWh Endenergie bzw. 10,4 MWh Primärenergie eingespart werden. Hierbei wurde angenommen, dass die eingesparte Heizenergie vom Gasbrennwertkessel hätte aufgebracht werden müssen und die Kühlenergie durch eine mit elektrischem Strom betriebene Klimaanlage.

Plattenwärmetauscher

Die Performance der beiden in den raumlufttechnischen Geräten des Seminar- und Laborbereichs integrierten Plattenwärmetauscher ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Auswertungsergebnisse	Labor Seminar	
Mittlere Rückwärmezahl (-)	0,63	0,56
Mittleres Rückgewinnungs-Ventilator-Leistungsverhältnis RVL (-)	4,3	2,4
Mittlere stündliche zurückgewonnene Wärmemenge (kWh/h)	1,52	11,03
In der Heizperiode zurückgewonnene Wärmemenge (kWh)	2651	6873
Mittlere geförderte Luftmenge (m ³ /h)	762	3632
Gesamte geförderte Luftmenge (1000 m ³)	1477	2444
Gesamte Wärmelieferung der Luftnacherhitzer (kWh)	1826	9585

Tabelle 8.21: Zusammenstellung der aus den Messwerten gewonnenen Auswertungsergebnisse der Plattenwärmetauscher für den Heizbetrieb (Oktober – April).

Das RLT-Gerät des Laborbereichs erzielt einen über die Messdauer ein RVL von 4,3 und arbeitet somit sehr effizient. Im Gegensatz dazu erreicht das RLT-Gerät des Seminarbereichs lediglich einen Wert von 2,4 ist somit hinsichtlich einer primärenergetischen Betrachtung nicht effizient. Die Rückwärmezahlen liegen oberhalb der von den Herstellern angegebenen Werten bei 0,55 für den Seminarbereich und bei 0,54 für die Laborräume.

9 Quantitative Beurteilung der energieeinsparenden Anlagenkomponenten

9.1 Erdwärmetauscher

Der Erdwärmetauscher (EWT) besteht aus zwei 63 m langen Betonrohren mit je 1 m Rohrdurchmesser. Beide Rohre sind unter dem Parkplatz verlegt, der sich nördlich des Gebäudes befindet. Die Lage des EWT ist in Bild 9.1 schematisch dargestellt.

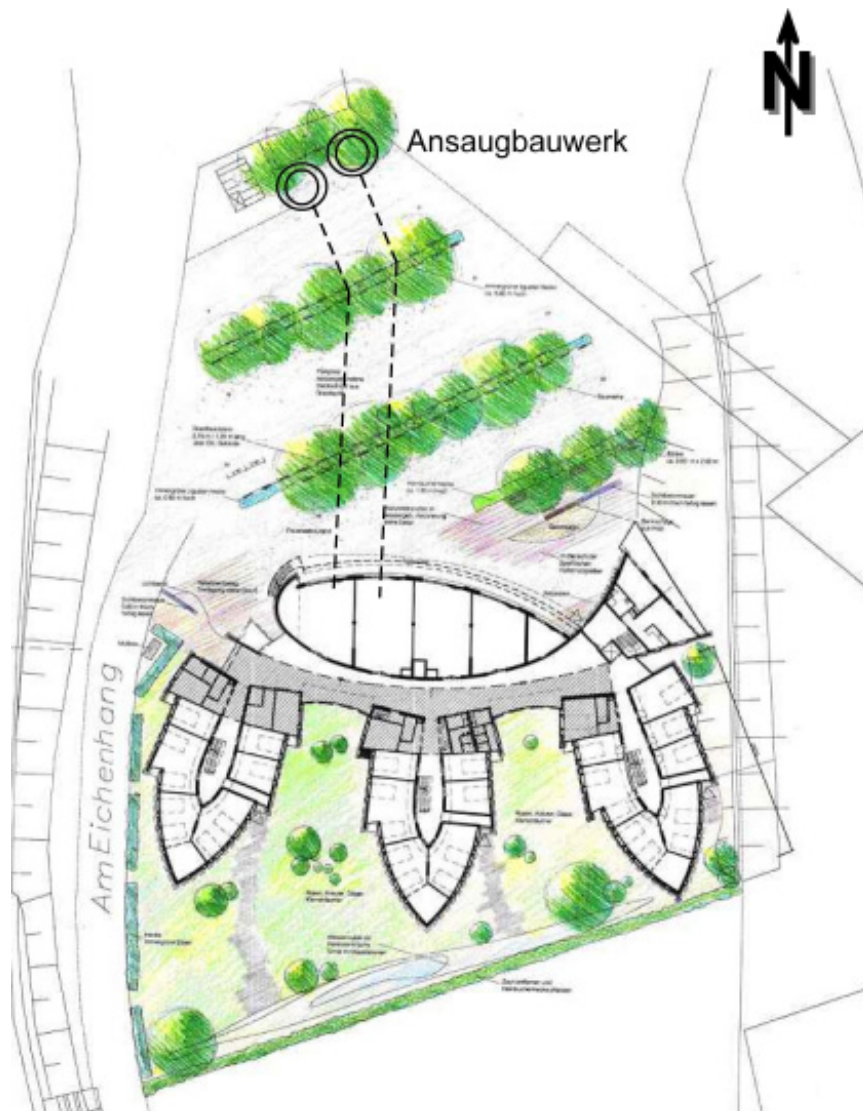


Bild 9.1: Lageplan des Erdwärmetauschers.

Die Kenndaten des EWT sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Kenndaten	
Länge (m)	63
Durchmesser (mm)	1000
Röhrenanzahl	2
Max. Volumenstrom (m ³ /h)	10.000
Gefälle (%)	3

Tabelle 9.1: Kenndaten des Erdwärmetauschers.

Zur Bestimmung der Effizienz des Erdwärmetauschers werden die Temperaturen der Außenluft T_A , der Luft nach dem EWT T_{nEWT} und die des ungestörten Erdreichs T_{Erd} herangezogen. Der Effizienzgrad für den Heizbetrieb berechnet sich nach der Beziehung:

$$\eta_{EWT,Heizen} = \frac{T_{nEWT} - T_A}{T_{Erd} - T_A} \quad (-)$$

Für den Kühlbetrieb im Sommer gilt die Beziehung:

$$\eta_{EWT,Kühlen} = \frac{T_A - T_{nEWT}}{T_A - T_{Erd}} \quad (-)$$

Aufgrund der bis Anfang 2005 fehlerhaften Lüftungsregelung für den Erdwärmetauscher wurden zur Bewertung der Effizienz dieser Anlagenkomponente lediglich diejenigen Zeiträume in Betracht gezogen, während derer der Einsatz des Erdwärmetauschers energetisch sinnvoll war. Bild 9.2 zeigt beispielhaft die Temperaturverläufe der Luft nach dem Erdwärmetauscher, der Außenluft und des ungestörten Erdreiches während des Zeitraums vom 15.02 bis zum 19.02.2004.

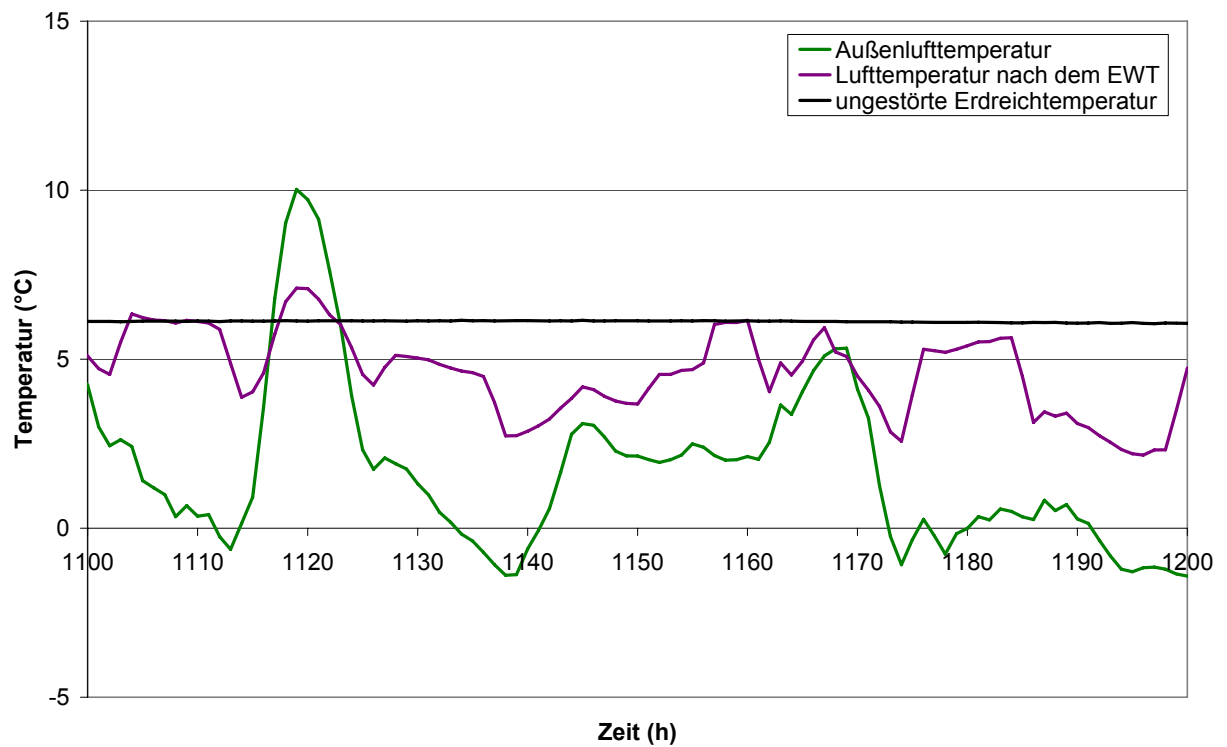


Bild 9.2: Temperaturverläufe der Luft nach dem Erdwärmetauscher, der Außenluft und des ungestörten Erdreiches während des Betrachtungszeitraums 15.02 bis 19.02.2004.

Im betrachteten Zeitraum übersteigt die Temperaturkurve der Außenluft zweimal diejenige der Luft nach dem Erdwärmetauscher. Diese beiden energetisch ungünstigen Zeiträume wurden nicht zur Bestimmung des Effizienzgrades für den Heizbetrieb herangezogen. Zeiten, während derer die Lufttemperatur nach dem Erdwärmetauscher die des ungestörten Erdreiches erreicht bzw. diese übersteigt, gleichzeitig aber die Außenlufttemperatur unterhalb der des ungestörten Erdreiches liegt, treten auf, wenn der Erdwärmetauscher nicht in Betrieb ist.

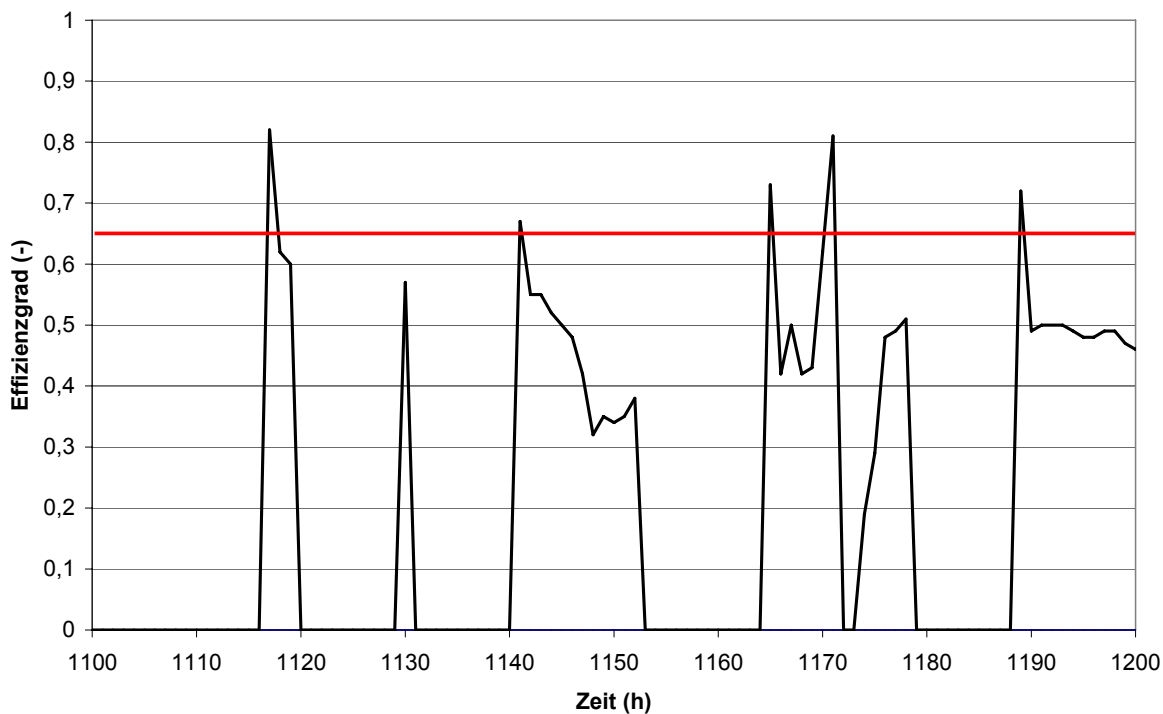


Bild 9.3: Stündliche Effizienzgrade des Erdwärmetauschers im Heizbetrieb während des Betrachtungszeitraums 15.02. bis 19.02.2004. Die rote Linie kennzeichnet den Jahresmittelwert von 0,65.

Bei Nichtbetrieb wird die Ansaugkammer durch die Abwärme des Gebäudes erwärmt. Dieser Einfluss ist bei durchströmtem Erdwärmetauscher aufgrund des geringen Luftvolumens der Ansaugkammer vernachlässigbar. Bild 9.3 zeigt die Effizienzgrade des Erdwärmetauschers im o.g. Zeitraum (15.02. - 19.02.2004). Die rote Linie markiert den Jahresmittelwert von 2004. Der Effizienzgrad im Heizbetrieb betrug im Jahr 2004 im Mittel 0,65 und in 2005 (1.1. bis 11.11.2005) 0,76. Die folgenden beiden Diagramme zeigen die Verläufe des Effizienzgrades für den Kühlbetrieb im Sommer für die Jahre 2004 und 2005.

Die mittleren Effizienzgrade des EWT im Kühlbetrieb betragen im Jahr 2004 0,54 und im Jahr 2005 0,58. Die während des Heizbetriebs 2004 und 2005 geförderten Volumenströme, aufgeteilt in die Bereiche Seminar, Labor und Ausstellung, sind in Bild 9.6 dargestellt. Bild 9.7 zeigt die Volumenströme im Kühlbetrieb für 2004 und 2005. Das Lüftungsgerät, das den Ausstellungsbereich versorgt, ist seit dem Frühjahr 2004 defekt und wurde bis zur Erstellung dieses Berichts nicht wieder regulär in Betrieb genommen. Die Anlage befand sich während des Jahres 2005 lediglich innerhalb eines kurzen Zeitraums von 20 Tagen im Sommer zeitweise in Betrieb.

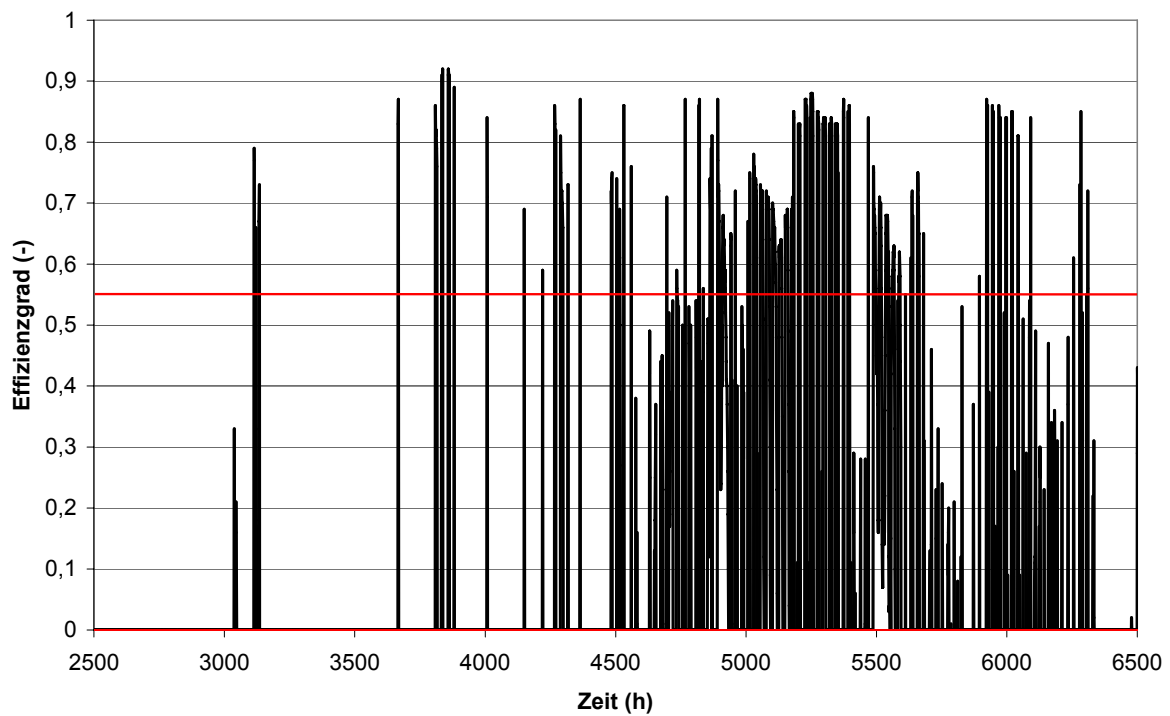


Bild 9.4: Stündliche Effizienzgrade des Erdwärmetauschers im Kühlbetrieb während des Sommers 2004 (1.4. bis 30.9). Die rote Linie kennzeichnet den Mittelwert von 0,54.

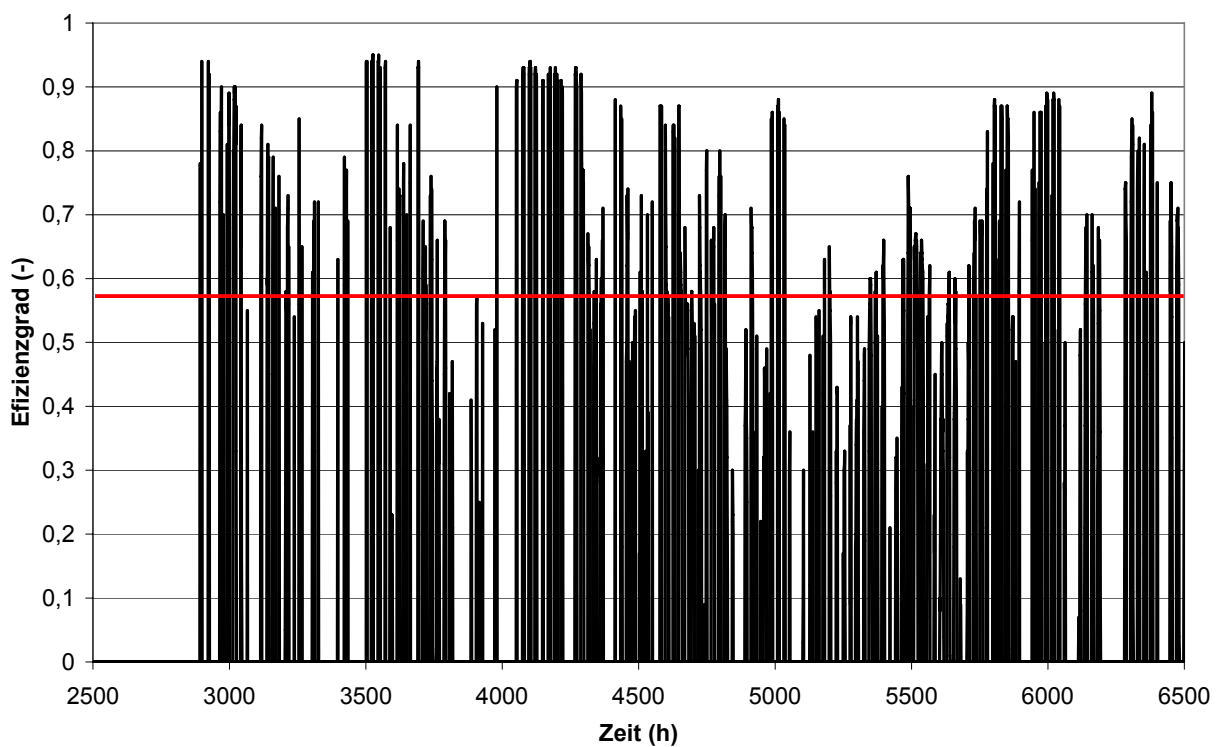


Bild 9.5: Stündliche Effizienzgrade des Erdwärmetauschers im Kühlbetrieb während des Sommers 2005 (1.4. bis 30.9). Die rote Linie kennzeichnet den Mittelwert von 0,58.

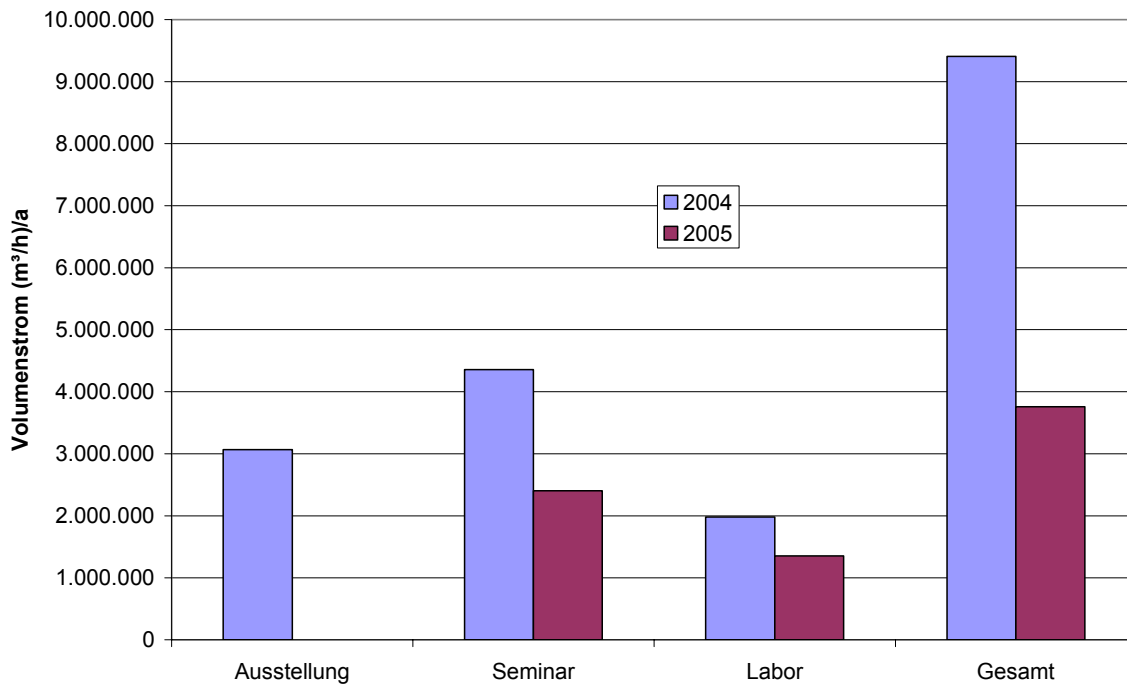


Bild 9.6: Summen der Volumenströme durch den Erdwärmetauscher, gegliedert in die einzelnen Gebäudebereiche für die Wintermonate 2004 (1.1.–31. 3./1.10.–31. 12.2004) und 2005 (1.1.–31. 3./1. 10.–11.11.2005).

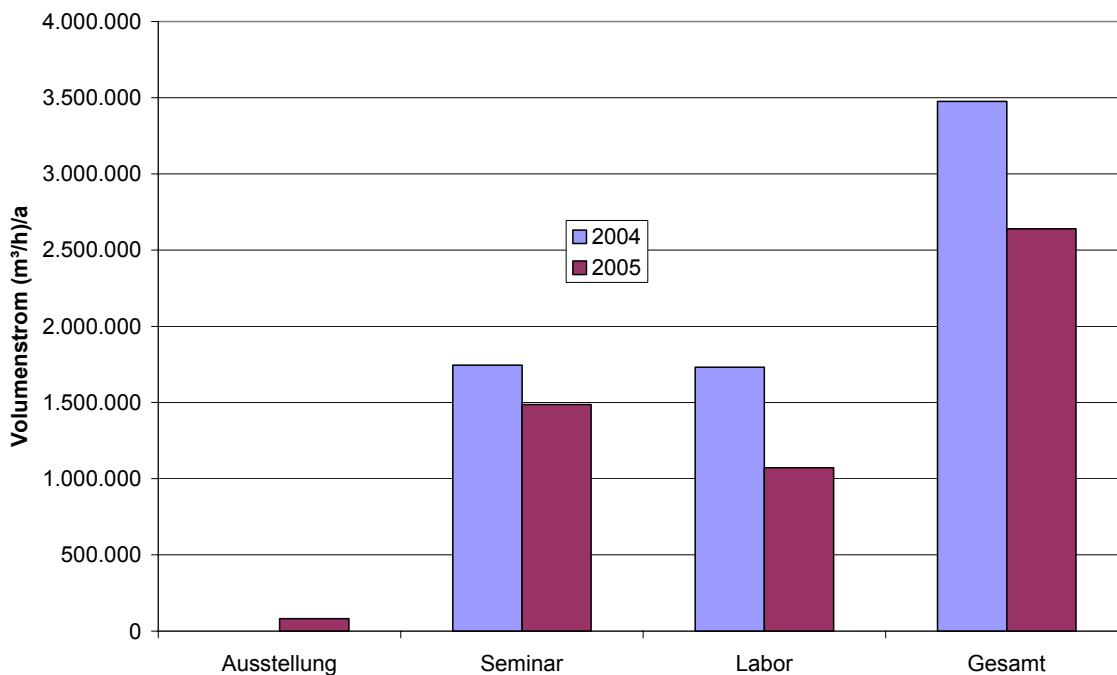


Bild 9.7: Summen der Volumenströme durch den Erdwärmetauscher, gegliedert in die einzelnen Gebäudebereiche für die Sommermonate 2004 und 2005 (1.4. – 30. 9.).

Die Summen der Volumenströme reduzierten sich 2005 nach Beseitigung der Mängel in der Gebäuderegulierung gegenüber dem Jahr 2004 trotz einer geringfügig intensiveren Nutzung des Gebäudes.

Die deutlich höheren Volumenströme in 2004 verbunden mit den niedrigeren Außenlufttemperaturen (Vergleich von Bild 9.8 mit Bild 9.9) und dem kürzeren Bewertungszeitraum in 2005 ergab eine nahezu fünfmal größere Heizleistung des Erdwärmetauschers in 2004 (siehe Tabelle 9.2). Der gesamte Ertrag an Heizenergie des Erdwärmetauschers betrug 2004 864 kWh/a und im Jahr 2005 (1.1. bis 11.11.2005) 174 kWh/a. Dieser Wert dürfte sich bei der vollständigen Betrachtung des Jahres 2005 auf ca. 300 kWh/a erhöhen. Die bisherigen Messwerte berücksichtigen nur den Beginn der zweiten Heizzeit in 2005. Die höheren sommerlichen Außenlufttemperaturen sowie die höhere Belegung in 2005 ergeben eine gegenüber 2004 mehr als doppelt so große Kühlleistung. Die Performancewerte des Erdwärmetauschers sind in Tabelle 9.2 zusammengefasst.

Leistungswerte	2004	2005
Heizleistung (kWh/a)	864	174
Kühlleistung (kWh/a)	1646	3425
Arbeitszahl Heizen (-)	0,65	0,76
Arbeitszahl Kühlen (-)	0,54	0,58

Tabelle 9.2: Zusammenstellung der Leistungswerte des Erdwärmetauschers für die Jahre 2004 und 2005 (1.1. bis 11.11.2005).

In den folgenden Diagrammen (Bild 9.8 und Bild 9.9) sind die Temperaturverläufe der Außenluft, der Zuluft nach dem Erdwärmetauscher und die des ungestörten Erdreichs für die Jahre 2004 und 2005 abgebildet.

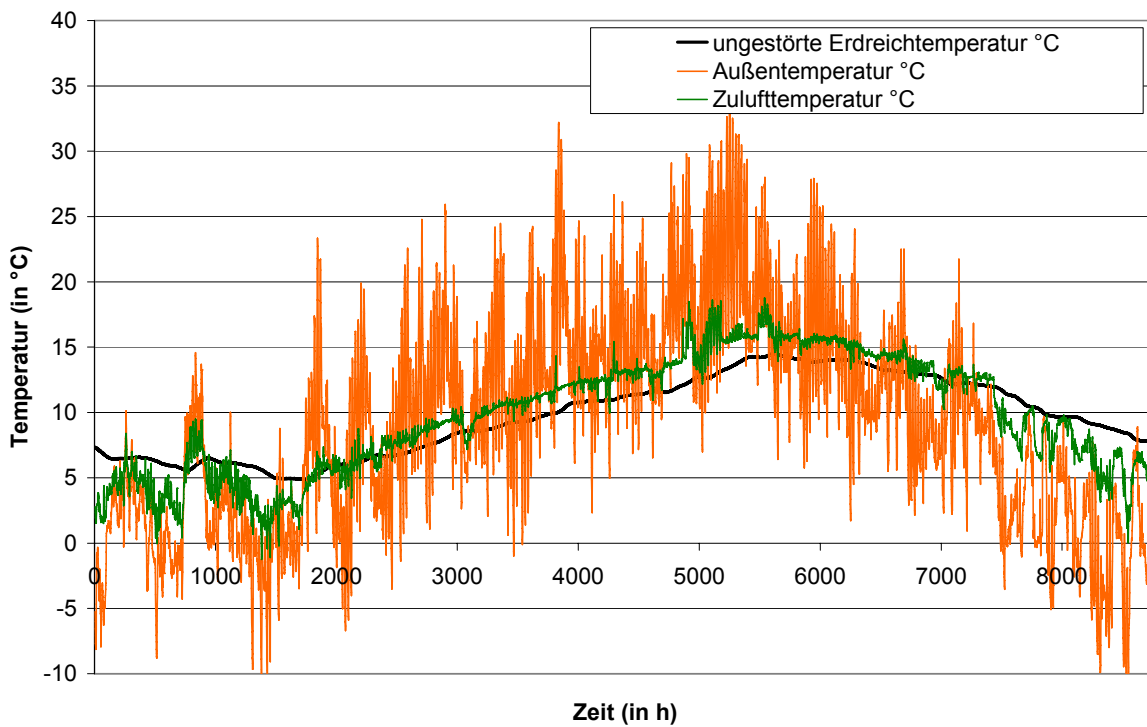


Bild 9.8: Temperaturverläufe der Außenluft, der Zuluft nach dem Erdwärmehaustauscher und des ungestörten Erdreichs für das Jahr 2004.

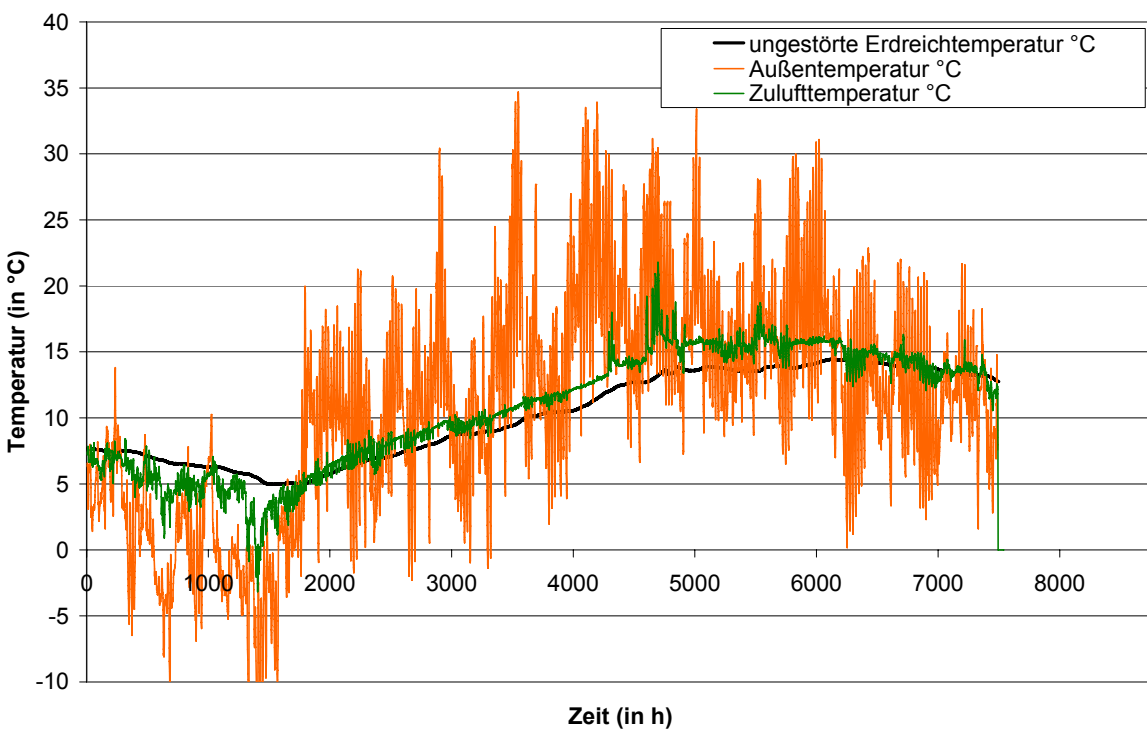


Bild 9.9: Temperaturverläufe der Außenluft, der Zuluft nach dem Erdwärmehaustauscher und des ungestörten Erdreichs für das Jahr 2005 (1.1. bis 11.11.2005).

Wie den obigen Diagrammen entnommen werden kann, lag die Zulufttemperatur in den Jahren 2004 und 2005 nur jeweils für wenige Stunden unterhalb von 0°C. Somit konnte der Erdwärmetauscher die Aufgabe, den Vereisungsschutz des anschließenden Plattenwärmetauschers zu gewährleisten, innerhalb der letzten beiden Jahre gut erfüllen.

Die Temperaturverläufe des unmittelbar an den Erdwärmetauscher angrenzenden Erdreichs entlang seiner Längsachse im Abstand von ca. 20 cm von der äußeren Rohrwand sind in Bild 9.10 bis Bild 9.12 zusammen mit den Verläufen der Temperatur des ungestörten Erdreichs für die Jahre 2003 bis 2005 dargestellt.

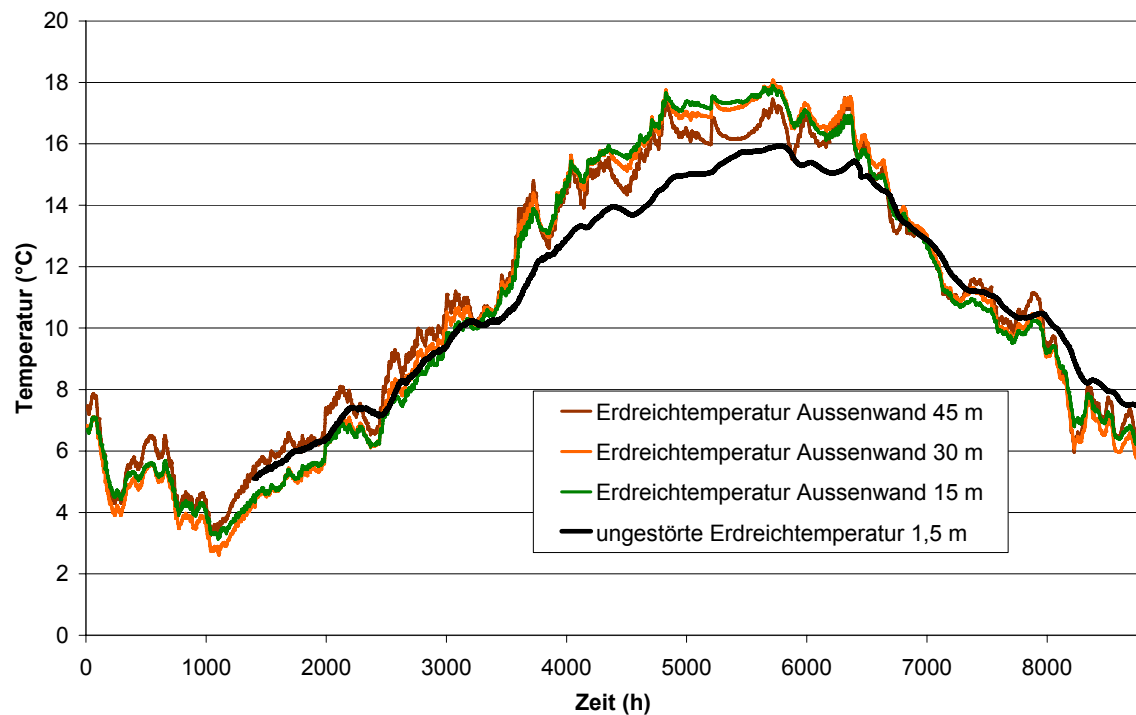


Bild 9.10: Temperaturverläufe im Erdreich entlang des Erdwärmetauschers in 10 cm Abstand zur äußeren Rohrwand und im ungestörten Erdreich für das Jahr 2003.

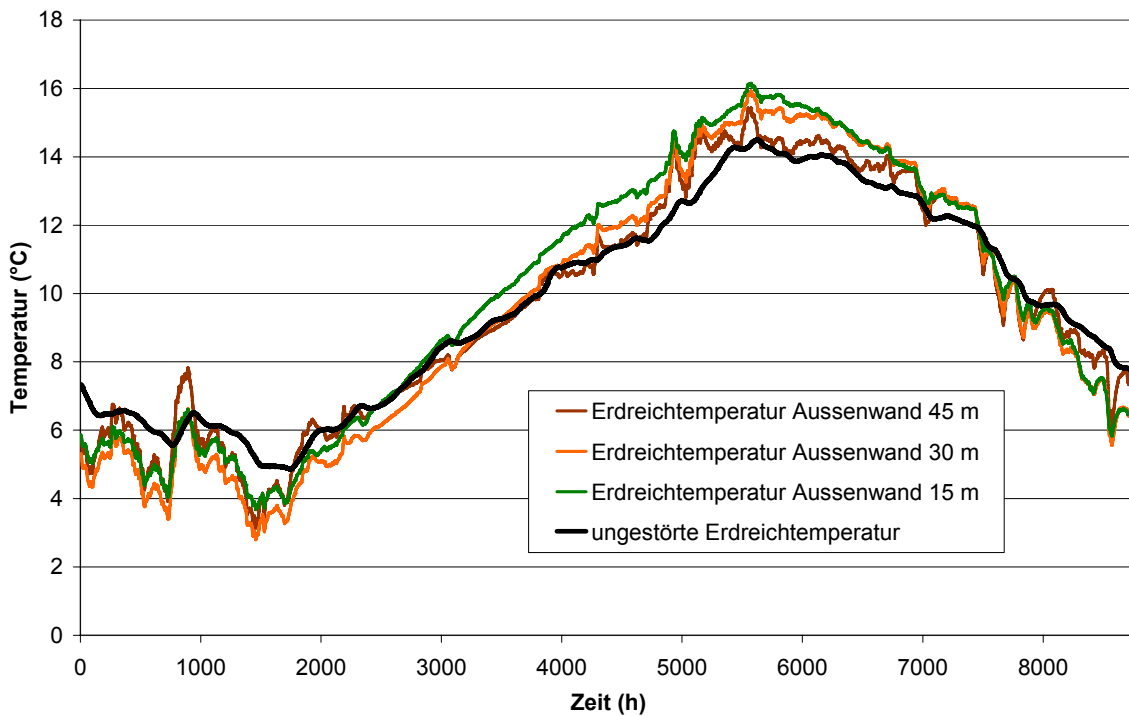


Bild 9.11: Temperaturverläufe im Erdreich entlang des Erdwärmetauschers in 10 cm Abstand zur äußeren Rohrwand und im ungestörten Erdreich für das Jahr 2004.

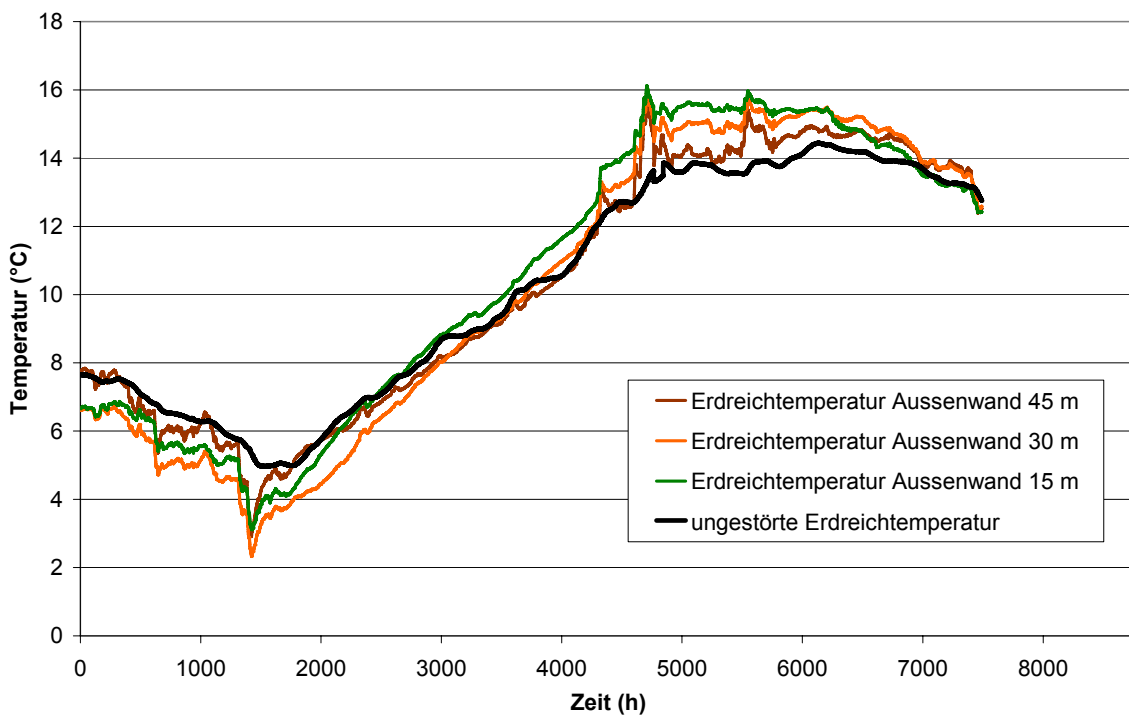


Bild 9.12: Temperaturverläufe im Erdreich entlang des Erdwärmetauschers in 10 cm Abstand zur äußeren Rohrwand und im ungestörten Erdreich für das Jahr 2005 (1.1. bis 11.11.2005).

Der Erdwärmetauscher kühlt im Winter das ihn umgebende Erdreich um 2 – 3 °C unter die Temperatur des ungestörten Erdreichs ab und heizt es im Sommer um ca. 2 °C über diese Temperatur auf. Wie dem Vergleich der Verläufe über die drei Jahre entnommen werden kann, ist keine sich längerfristig aufschaukelnde Aufheizung oder Auskühlung des Erdbodens zu erwarten. Der Einfluss des Erdwärmetauschers auf das ihn umgebende Erdreich hat somit rein saisonalen Charakter. Die im Winter entnommene Wärmemenge wird im anschließenden Sommer wieder in den Erdboden eingespeist.

Hinsichtlich des thermischen Komforts der Nutzer während der Sommermonate erfüllte der Erdwärmetauscher ebenfalls die Anforderungen. Die folgende Tabelle zeigt die Überhitzungsstunden ($T > 26^\circ\text{C}$) der Gebäudebereiche des Nordbaus für die Jahre 2003 – 2005.

Zeitraum	Überhitzungsstunden $T > 26^\circ\text{C}$ (h)		
	Seminar	Labor	Ausstellung
2003	66	7	10
2004	4	106	0
2005	8	15	0

Tabelle 9.3: Überhitzungsstunden der Seminarräume für die Jahre 2003 - 2005 (1.1. bis 11.11.2005).

Die Vorkonditionierung der Zuluft durch den Erdwärmetauscher sorgte während der gesamten Dauer des Monitoring stets für komfortable Bedingungen. Lediglich im sehr heißen Sommer 2003 traten geringfügig Überhitzungsstunden im Seminarbereich auf. Die 106 Überhitzungsstunden des Labors im vergleichsweise kühlen Sommers 2004 können nur auf produktionstechnisch bedingte erhöhte Raumtemperaturen zurückgeführt werden. In einem der Laborräume wurde im Sommer 2004 ein Reinraum errichtet, der über eine separate Klimaanlage verfügt.

9.2 Plattenwärmetauscher

Das Gebäude verfügt über zwei raumluftechnische Anlagen mit integrierten Plattenwärmetauschern (PWT), die zum einen die Seminarräume und zum anderen die Laborräume versorgen. Beide PWT sind nach dem Kreuzstromprinzip gemäß Bild 9.13 aufgebaut.

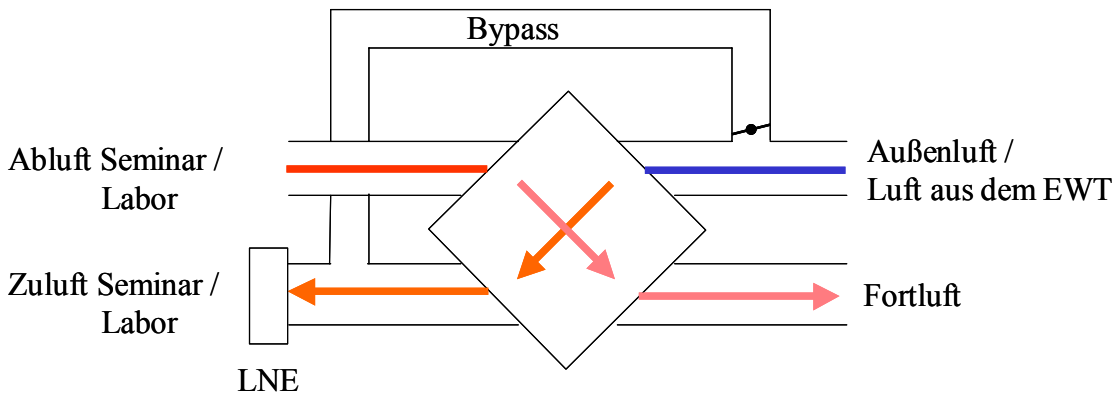


Bild 9.13: Schematische Darstellung der Plattenwärmetauscher der Seminar- und Laborräume. LNE = Luftnacherhitzer.

Die in der Planung festgeschriebenen Auslegungswerte der PWT sind in Tabelle 9.4 aufgelistet.

Kennwerte	Seminar	Labor
Max. Volumenstrom (m ³ /h)	6000	2000
Elektrische Anschlussleistung der Ventilatoren (kW)	3,7	1,3
Wärmeleistung der Luftnacherhitzer (kW)	42,5	14,3
Rückwärmezahl (-)	0,55	0,54
Rückwärmeleistung (kW)	38,7	12,2

Tabelle 9.4: Zusammenstellung der Auslegungswerte der Plattenwärmetauscher für die Seminar- und Laborräume .

Beide Wärmetauscher sind im Strömungsweg der Frischluft nach dem Erdwärmetauscher angeordnet. Der EWT übernimmt im Winter die Funktion eines Defrosters. Beide Plattenwärmetauscher verfügen über einen Bypass, der aktiviert wird, wenn eine Erwärmung der Zuluft durch Wärmerückgewinnung energetisch nicht sinnvoll oder erwünscht ist. Dies ist beispielsweise im Sommer der Fall. Hier soll die vom Erdwärmetauscher vorgekühlte Luft nicht wieder von der warmen Abluft aus den Seminar- oder Laborräumen angewärmt werden. Dies würde das vorhandene Kühlpotential reduzieren und in den angeschlossenen Gebäudebereichen zu höheren Raumlufttemperaturen führen.

In den folgenden Tabellen sind die aus den Messwerten der Jahre 2004 und 2005 gewonnenen Kennwerte der beiden PWT aufgeführt.

Kennwerte PWT Seminar	2004	2005
Mittlere Rückwärmezahl (-)	0,59	0,56
Mittleres Rückgewinnungs-Ventilator-Leistungsverhältnis RVL	3,1	2,4
Mittlere stündliche zurückgewonnene Wärmemenge (kWh/h)	9,37	11,03
In der Heizperiode zurückgewonnene Wärmemenge (kWh)	12.350	6.873
Mittlere geförderte Luftmenge (m ³ /h)	3.088	3.632
Gesamte geförderte Luftmenge (1000 m ³)	4.315	2.444
Gesamte Wärmelieferung des Luftnacherhitzers (kWh)	21.368	9.585

Tabelle 9.5: Zusammenstellung der aus den Messwerten für 2004 und 2005 (1.1. bis 11.11.2005) gewonnenen Kennwerte des Plattenwärmetauschers der Seminarräume für den Heizbetrieb (Oktober – April) .

Die Wärmebereitstellung für den Seminarbereich erfolgte während der Dauer des Monitorings zu 36 – 41 % durch den Wärmetauscher und zu 59 – 64 % durch den Luftnacherhitzer.

Kennwerte PWT Labor	2004	2005
Mittlere Rückwärmezahl (-)	0,62	0,63
Mittleres Rückgewinnungs-Ventilator-Leistungsverhältnis RVL	4,8	4,3
Mittlere stündliche zurückgewonnene Wärmemenge (kWh/h)	1,54	1,52
In der Heizperiode zurückgewonnene Wärmemenge (kWh)	2.905	2.651
Mittlere geförderte Luftmenge (m ³ /h)	728	762
Gesamte geförderte Luftmenge (1000 m ³)	1.674	1.477
Gesamte Wärmelieferung des Luftnacherhitzers (kWh)	3.372	1.826

Tabelle 9.6: Zusammenstellung der aus den Messwerten für 2004 und 2005 (1.1. bis 11.11.2005) gewonnenen Kennwerte des Plattenwärmetauschers der Laborräume für den Heizbetrieb (Oktober – April).

Im Laborbereich verteilt sich die Wärmebereitstellung zu 46 – 59 % auf den Wärmetauscher und zu 41 – 54 % auf den Luftnacherhitzer. Die Bestimmung der Rückwärmezahlen η_R der PWT erfolgte nach folgender Beziehung:

$$\eta_R = \frac{Q_{Abluft} - Q_{Fortluft}}{Q_{Abluft} - Q_{Frischluff}} \quad (-)$$

Mit:

Q_{Abluft}	:	Wärmeinhalt der Abluft (kWh),
$Q_{Fortluft}$:	Wärmeinhalt der Fortluft (kWh),
$Q_{Frischluff}$:	Wärmeinhalt der Frischluft (kWh).

Die über die Messdauer gemittelte Rückwärmezahlen der PWT liegen für den Seminarbereich bei ca. 0,58 und für die Laborräume bei ca. 0,62. Diese Wert liegt um 5 % bzw. 15 % über den in Tabelle 9.2 aufgeführten Herstellerangaben. Der Messwert wurde unter den realen Einbaubedingungen ermittelt. Hierdurch kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Bewertung durch einbaubedingte bzw. interne Leckagen des Lüftungsgeräts beeinflusst wurde.

Das Rückgewinnungs-Ventilator-Leistungsverhältnis RVL ist der Quotient aus der zurückgewonnenen Wärmeenergie zu der vom raumluftechnischen Gerät (RLT-Gerät) aufgenommenen elektrischen Leistung. Das RVL sollte, damit ein primärenergetisch bewerteter effizienter Einsatz gegeben ist, mindestens einen Wert von 2,7 aufweisen. Dieser errechnet sich aus den Primärenergiekennwerten für Strom und Gas. Nur wenn dieser Wert erreicht oder überschritten wird, spart das Wärmerückgewinnungssystem Primärenergie ein. Das RLT-Gerät des Laborbereichs erzielt einen über die Messdauer gemittelten RVL von 4,6 und arbeitet somit sehr effizient. Im Gegensatz dazu erreicht das RLT-Gerät des Seminarbereichs diesen Mindestwert kaum. Aufgrund der geringen Nutzungsdauern des Seminars kann zu diesem Zeitpunkt jedoch keine abschließende Beurteilung über die Effizienz dieses Gerätes angestellt werden.

In Bild 9.14 und Bild 9.15 sind die wöchentlichen Summen der Wärmemengen des PWT im Seminarbereich für die Jahre 2004 und 2005 dargestellt, wie sie vom Luftnacherhitzer an die Zuluft übergeben bzw. aus der Abluft zurückgewonnen wurden. Zudem wurde der Strombedarf des Lüftungsgeräts mit in die Diagramme aufgenommen.

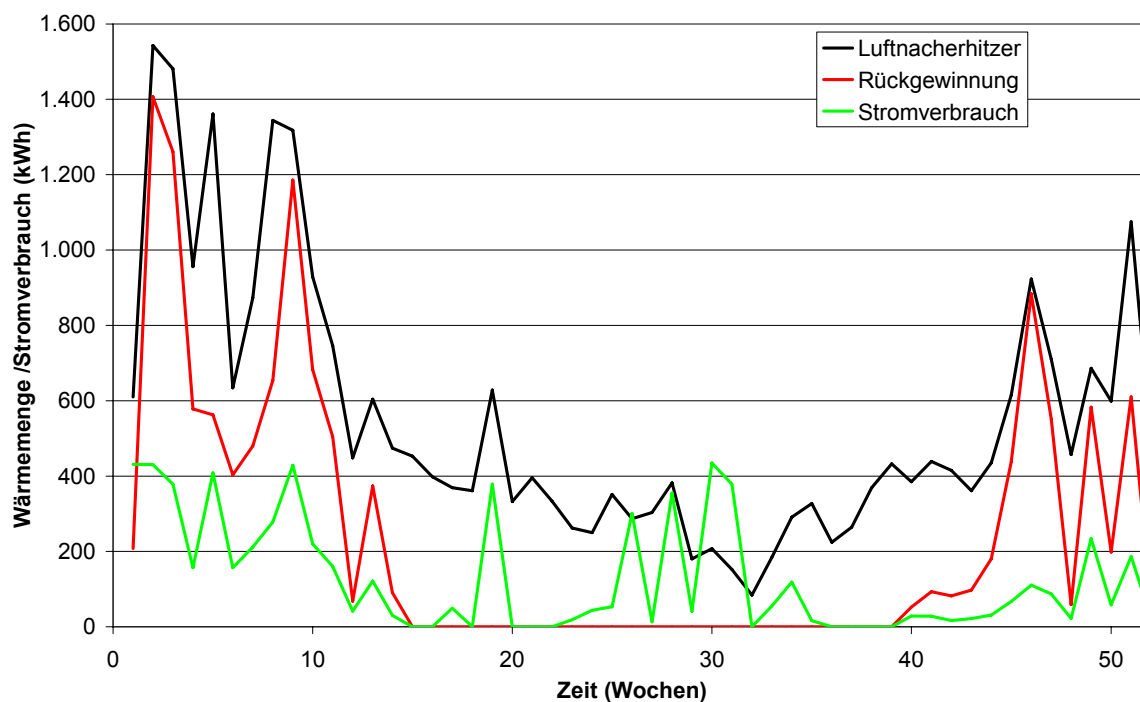


Bild 9.14: Wochensummen der zurückgewonnenen Wärmemenge, der Wärmeabgabe des Luftnacherhitzers und des Stromverbrauchs der Lüftungsanlage im Bereich der Seminarräume für das Jahr 2004.

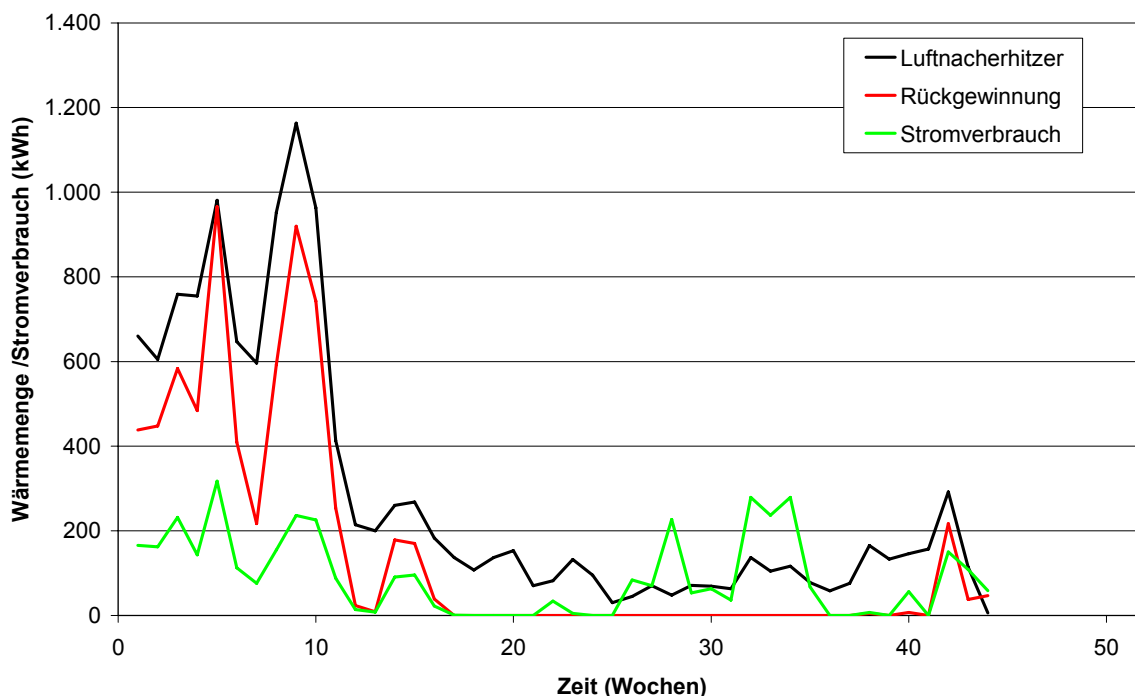


Bild 9.15: Wochensummen der zurückgewonnenen Wärmemenge, der Wärmeabgabe des Luftnacherhitzers und des Stromverbrauchs der Lüftungsanlage der Seminarräume für das Jahr 2005 (1.1. bis 11.11.2005).

Der Vergleich des Verlaufs der wöchentlichen Summen der Wärmemengen spiegelt die oben angesprochenen prozentualen Anteile an der Bereitstellung von Heizwärme wieder. Außerhalb des Heizbetriebs fällt für das Jahr 2004 auf, dass auch hier ein konstanter Betrag von 200 bis 300 kWh/Woche über den Luftnacherhitzer abgegeben wurde. Dieser Mangel wurde im Laufe des Jahres 2004 aufgedeckt und analysiert. Die Ursache für diesen unnötigen Verbrauch ist zum einen, dass die Umwälzpumpe des Heizkreislaufrs für den Luftnacherhitzer ganzjährig in Betrieb war und somit die LNE ständig mit warmem Heizungswasser durchflossen wurden. Zum andern war der Vorlauf dieses Heizkreises mit ca. 60°C auf für den Sommerbetrieb unverhältnismäßig hohen Temperaturen eingestellt. Nach Reduzierung der Vorlauftemperaturen auf unter 40°C in den Sommermonaten reduzierte sich die vom LNE abgegebene Wärmemenge außerhalb der Heizperiode im Jahre 2005 auf einen Grundbetrag von rund 30 – 50 kWh/Woche.

Dies bedeutet zwar eine Reduzierung um rund 80 %, doch ist selbst dieser Restbetrag nicht akzeptabel, da immer noch zu Zeiten Heizenergie verbraucht wurde, in denen kein Heizwärmebedarf bestand. Hier besteht noch weiterer Optimierungsbedarf in der Gebäuderegulung.

Die nächsten beiden Bilder zeigen die Wärmemengen und Strombedarfskurven für den PWT des Laborbereichs.

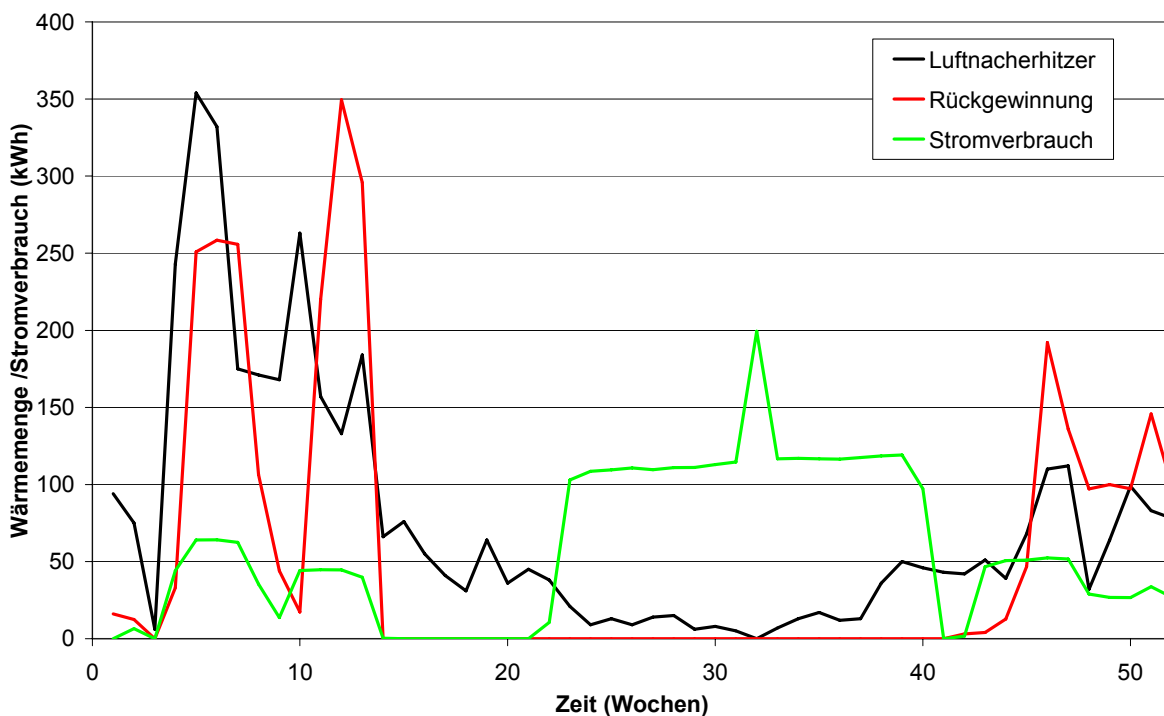


Bild 9.16: Wochensummen der zurückgewonnenen Wärmemenge, der Wärmeabgabe des Luftnacherhitzers und des Stromverbrauchs der Lüftungsanlage der Laborräume für das Jahr 2004.

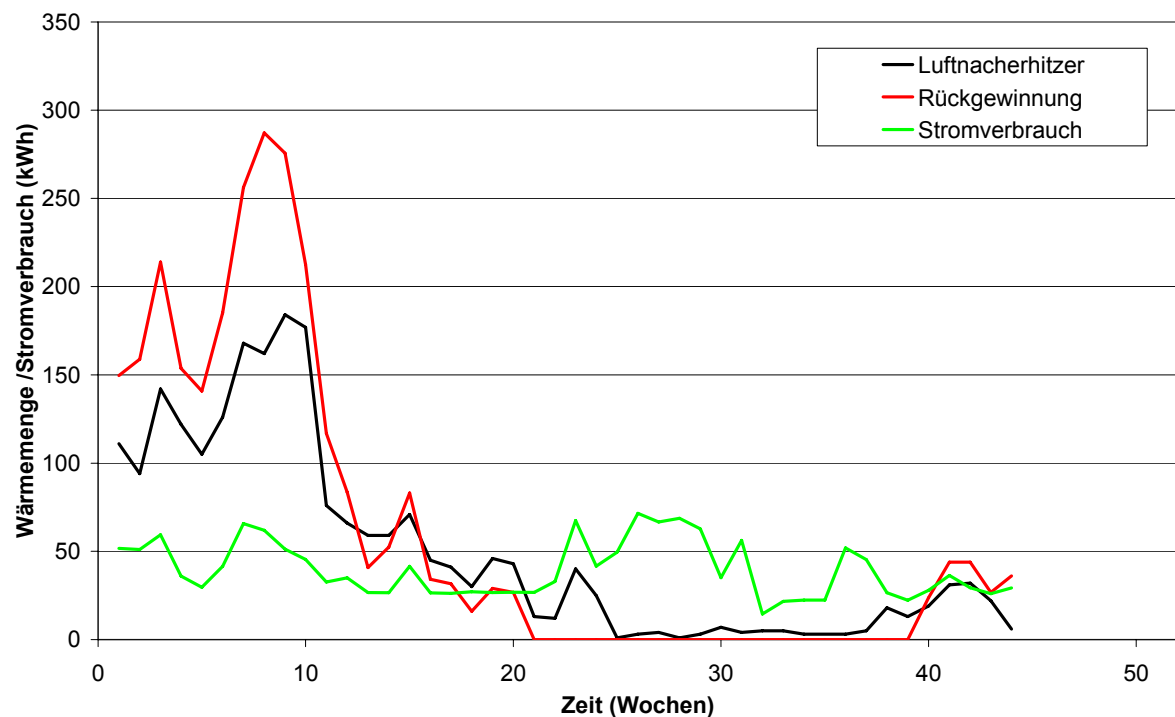


Bild 9.17: Wochensummen der zurückgewonnenen Wärmemenge, der Wärmeabgabe des Luftnacherhitzers und des Stromverbrauchs der Lüftungsanlage der Laborräume für das Jahr 2005 (1.1. bis 11.11.2005).

Die für die Seminarräume gewonnenen Resultate treffen auch auf die Auswertung des Laborbereichs zu. Aufgrund der deutlich geringeren Luftvolumenströme für diesen Teilbereich sind jedoch auch die während des Sommers über den LNE abgegebenen Wärmemengen kleiner. Zu erwähnen ist der Zeitbereich während der KW 22 bis 42 des Jahres 2004. Aufgrund einer Fehlfunktion in der Gebäuderegulierung war in dieser Zeit die Lüftungsanlage des Laborbereichs ununterbrochen in Betrieb, weshalb ein sehr hoher Strombedarf der Anlage vorliegt.

9.3 Nachtlüftung

Eine Planungsvorgabe war, dass zum Betrieb des Artur-Woll-Hauses möglichst keine Klimaanlage eingesetzt werden darf. Um dies zu ermöglichen wurde während der Planung großer Wert darauf gelegt, dass die ins Gebäude einfließenden Wärmelasten gering gehalten werden. Hierzu wurden umfangreiche Simulationen am HLK Stuttgart [9] durchgeführt. In diesen Studien wurde der Einfluss der Fenstergrößen, der Verglasung und der externen Verschattungseinrichtungen, der Tageslichtversorgung und der künstlichen Beleuchtung auf den thermischen Diskomfort in den Büroräumen untersucht. Die fensternahe Anordnung der Arbeitsplätze, der von unten nach oben schließende Sonnenschutz und die energiesparende künstliche Beleuchtung, sowie die im Folgenden untersuchte Nachtlüftungsfunktion sind ein Ergebnis dieser Optimierungen in der Planungsphase. Die Funktion Nachtlüftung dient der

Kühlung der Büroräume während der Sommermonate. Bei Bedarf werden diese während der Nachtstunden mit einem erhöhter Luftvolumenstrom (Luftwechsel $n = 3 - 4 \text{ h}^{-1}$) durchlüftet. Die kühle Nachtluft soll hierbei die tagsüber in der Gebäudemasse eingespeicherte Energie abführen und die Räume vorkühlen, um die Temperaturspitzen am folgenden Tag abzumildern. Zur Bewertung der Performance der Nachtlüftungsfunktion wurden der in der Nacht geförderte Luftvolumenstrom, der Strombedarf der Abluftanlage und die Raumlufftemperaturen in verschiedenen Büros gemessen. Grundlage der Auswertung der Nachtlüftung sind die Sommerzeiträume vom 15.04. bis zum 30.09. der jeweiligen Jahre. In den Diagrammen Bild 9.18 bis Bild 9.20 sind die während der Nachtlüftung aus den Büroräumen abgeführten Wärmemengen, die Außenluft- und die mittleren Raumlufftemperaturen in den Sommerzeiträumen der Jahre 2003 bis 2005 dargestellt.

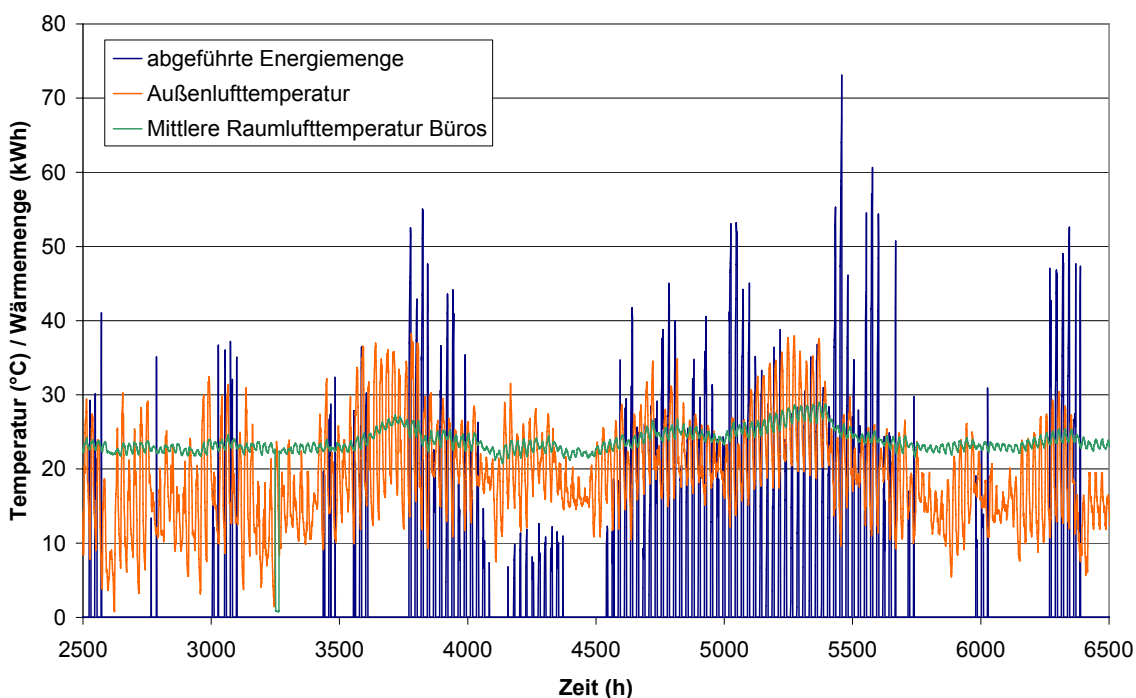


Bild 9.18: Verlauf der mittleren Raumlufftemperatur der Büroräume und der Außenlufttemperatur, sowie der aus den Büroräumen mittels Nachtlüftung abgeführten Wärmemengen im Zeitraum vom 15.04. bis zum 30.09.2003.

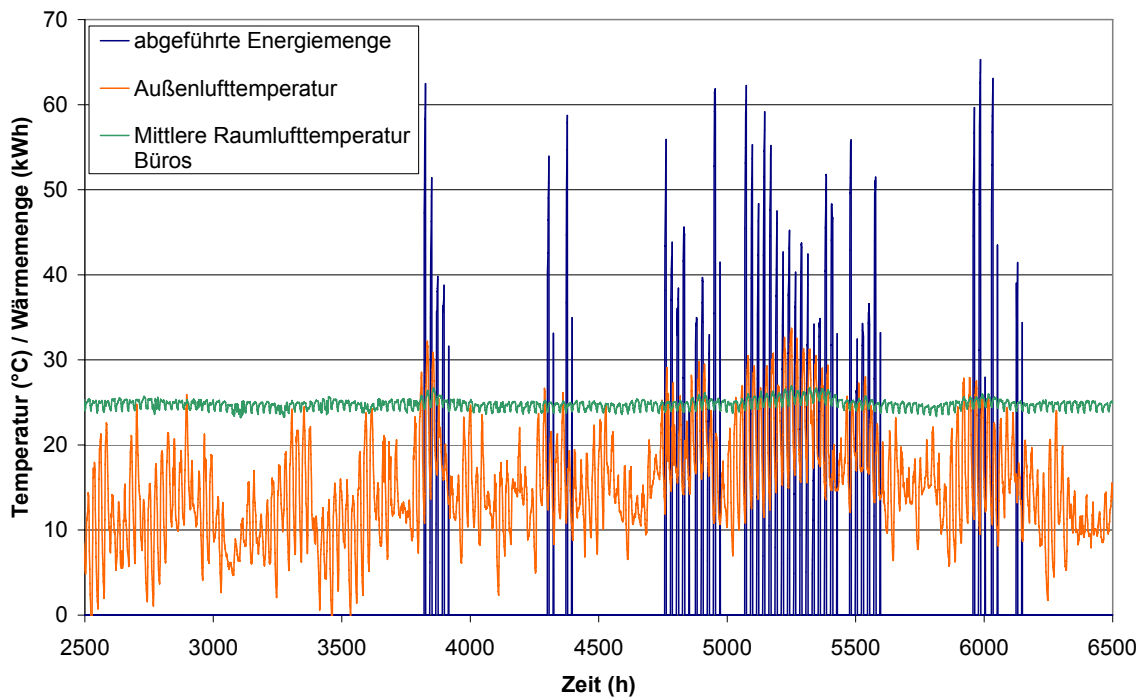


Bild 9.19: Verlauf der mittleren Raumlufthtemperatur der Büroräume und der Außenlufttemperatur, sowie der aus den Büroräumen mittels Nachtlüftung abgeführten Wärmemengen im Zeitraum vom 15.04. bis zum 30.09.2004.

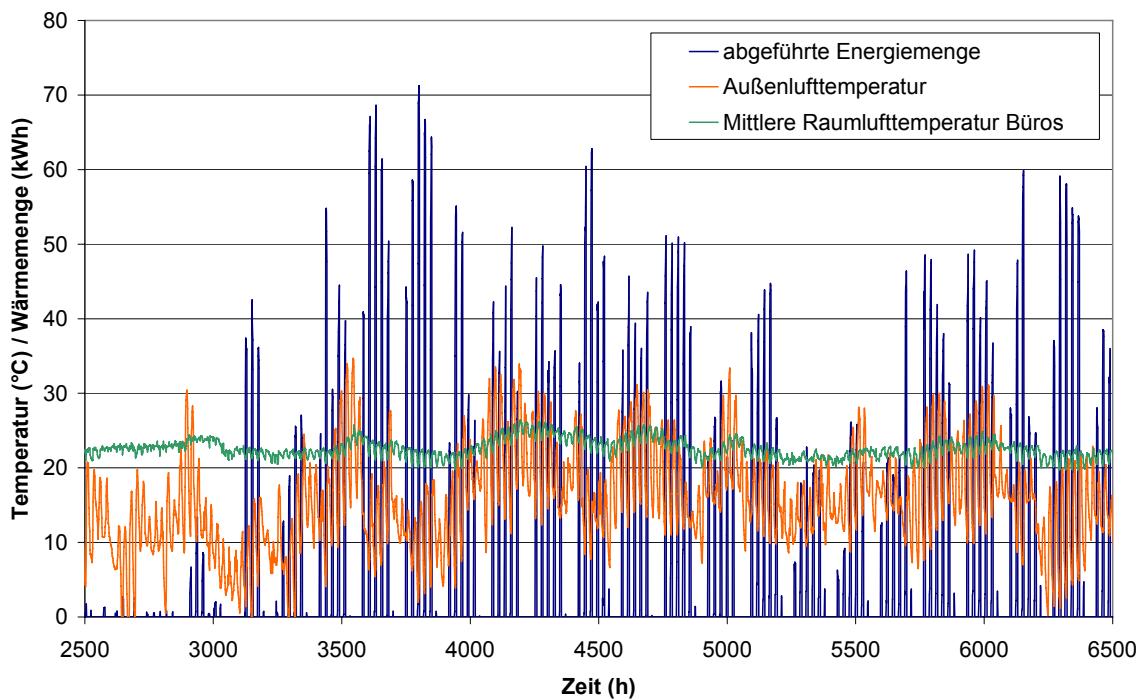


Bild 9.20: Verlauf der mittleren Raumlufthtemperatur der Büroräume und der Außenlufttemperatur, sowie der aus den Büroräumen mittels Nachtlüftung abgeführten Wärmemengen im Zeitraum vom 15.04. bis zum 30.09.2005.

Wie im Abschnitt 7.3.2 bereits dargelegt wurde, war die Funktion Nachtlüftung während der Jahre 2003 und 2004 fehlerhaft in der Gebäuderegulierung umgesetzt. 2003 war die Nachtlüftungsfunktion so implementiert, dass die Lüftungsanlage immer bei Abwesenheit des Nutzers in diesen Betriebszustand wechselte, unabhängig von der Tageszeit oder dem Wochentag. Die energetische Relevanz hinsichtlich des Strom- und Heizwärmebedarf wurden bereits im Abschnitt 7.3.2 erläutert. Im Folgenden wird auf die Effektivität der Nachtlüftung und den thermischen Komfort der Nutzer eingegangen. Die klimatischen Randbedingungen der Jahre 2003 bis 2005 (1.1. bis 11.11.2005) sind im Anhang Abschnitt 14.3 aufgeführt.

In Tabelle 9.7 sind die jährlichen aus den Büros abgeführten Wärmemengen zusammen mit dem Strombedarf der Lüftungsanlage und der Nutzungszahl aufgezählt. Die Nutzungszahl wird nach folgender Beziehung bestimmt:

$$\eta_{NL} = \frac{Q_{Ab}}{E_{Anlage}} \quad (-)$$

mit

η_{NL} : Nutzungszahl der Nachtlüftung (-),
 Q_{Ab} : Abgeführte Wärmemenge (kWh/a),
 E_{Anlage} : Strombedarf der Abluftanlage (kWh/a).

Jahr	Abgeführte Wärmemenge (kWh/a)	Strombedarf der Abluftanlage (kWh/a)	Nutzungszahl (-)
2003	50.635	14.437	3,51
2004	66.638	12.087	5,51
2005	21.166	5.165	4,1

Tabelle 9.7: Zusammenstellung der Auswertung der Nachtlüftung für die Jahre 2003 bis 2005. Dargestellt sind die Daten während der Sommerzeiträume für die Uhrzeiten 22.00 bis 6.00, in denen die Nachtlüftungsfunktion aktiviert war.

Mithilfe des korrigierten validierten Gebäudemodells kann nun eine Aussage darüber getroffen werden, wie die Funktion Nachtlüftung bei sinnvollen Regelungseinstellungen während der Jahre 2003 und 2004 ihren Dienst versehen hätte.

Führt man die Berechnungen mit den Wetterdaten von 2003 und 2004 und den Regelungseinstellungen gemäß Tabelle 8.10 durch, so ergeben sich die Werte gemäß Tabelle 9.9. Die hier verwendeten Regelungseinstellungen entsprechen bis auf die um 2 h verlängerte tägliche Betriebszeit und die aufgrund der falsch dimensionierten Lüftungsanlage reduzierten Volumenströme den Planungskennwerten der Tabelle 7.9.

Parameter	Planungswert
Tägliche Betriebszeiten	22:00 – 6:00
Wöchentliche Betriebszeiten	Mo. – Fr.
Jährliche Betriebszeiten	Sommer
Einschalttemperatur (°C)	23
Abschalttemperatur (°C)	20
Volumenstrom (m ³ /h)	200

Tabelle 9.8: Parameter der Gebäudeleittechnik zum Betrieb der Nachtlüftung für die Simulationen der Jahre 2003 und 2004.

Jahr	Abgeführte Wärmemenge (kWh/a)	Strombedarf der Abluftanlage (kWh/a)	Nutzungszahl (-)
2003	12.219	4.381	2,79
2004	2.148	648	3,33

Tabelle 9.9: Simulationsergebnisse mit dem korrigierten validierten Gebäudemodell für die Wetterdaten der Jahre 2003 und 2004. Dargestellt sind die aus den Büroräumen abgeführte Wärmemenge, der hierzu aufgewandte Stromverbrauch und die Nutzungszahl.

Der Stromverbrauch für die Nachtlüftung verringert sich im Jahr 2003 um 10,06 MWh und 2004 um 11,44 MWh. Die Auswirkungen der verbesserten Regelung auf die Nutzungszahlen der Nachtlüftung wird im Folgenden kurz dargestellt. Die Nachtlüftung wird nun nur noch in den Büroräumen aktiviert, deren Lufttemperaturen über 23°C liegen. Diese treten in denjenigen Simulationen, in welchen die Heizungsrohre gedämmt ausgeführt sind, nur an Tagen mit Außenlufttemperaturspitzen deutlich oberhalb von 26°C Überwärmungen auf. Während solcher Hitzeperioden sinken jedoch die Nachttemperaturen in unserem Klima selten unter 20°C. Im folgenden Diagramm sind beispielhaft die Außenlufttemperatur und die Raumlufthtemperatur des Büros C202 im 2.OG während einer Hitzeperiode des Jahres 2003 abgebildet.

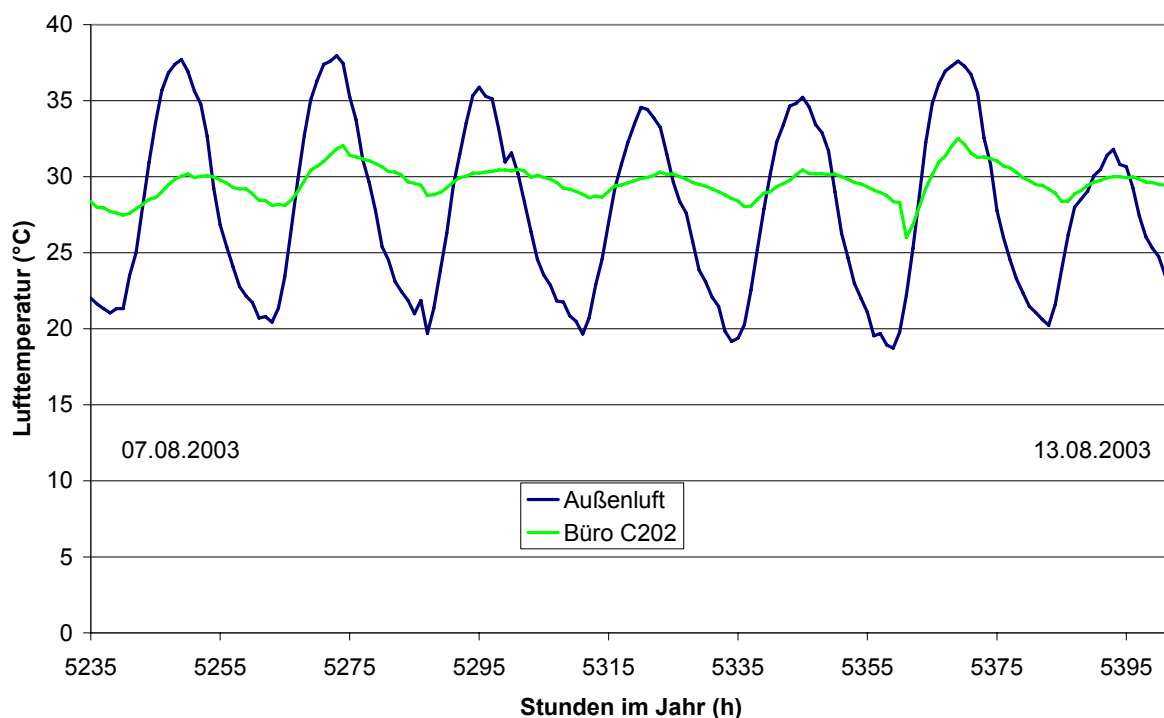


Bild 9.21: Außenluft- und Raumlufttemperaturen des Büros C202 während einer Hitzeperiode im Jahr 2003. Zeitraum 7.8. bis 13.8.2003.

Das Büro C202 wies mit 213 h die größte Anzahl an Überhitzungsstunden im Jahr 2003 auf. Wird nun aufgrund der zu hohen Raumtemperaturen die Nachtlüftung aktiviert steht aufgrund der gleichzeitig hohen nächtlichen Außenlufttemperaturen nur eine geringe Temperaturdifferenz zur Verfügung. Dies reduziert die Effektivität der Nachtlüftung erheblich. Mit der verbesserten Regelung hätte die Nutzungszahl 2003 mit 2,79 sogar unterhalb der Nutzungszahl einer Klimaanlage gelegen, die im Allgemeinen 3 bis 4 beträgt. Bild 9.22 zeigt die Auswirkungen auf die Anzahl der Überhitzungsstunden und damit auf den thermischen Komfort der Nutzer. Für die Zone 211, der das oben betrachtete Büro C202 zugeordnet werden kann, ergibt sich trotz des fehlenden Wärmeeintrags durch die nun gedämmten Heizungsrohre aufgrund der verringerten Betriebszeiten und des sehr heißen Sommers eine Erhöhung der Überhitzungsstunden ($T > 26^{\circ}\text{C}$) um 17 auf 230 Stunden. Im Mittel weisen alle Büros im Jahr 2003 Überhitzungsstunden in der Höhe von 155 h auf. Die Messdaten 2003 lieferten hier einen Wert von 105 h. Eine ausschließliche Bewertung hinsichtlich des Kriteriums Überhitzungsstunden würde ergeben, dass der Komfort bei verbesserter Regelung 2003 eine Verschlechterung erfahren hätte. In der hier dargestellten Auswertung für die Raumlufttemperaturen fließen auch die Zeiten außerhalb der für die Nachtlüftung definierten Betriebszeiten von 22.00 bis 6.00 Uhr ein, während derer im Jahr 2003 die Lüftungsanlage ebenfalls in der Lüftungsstufe 3 lief. Vor allem in den Morgenstunden zwischen 6.00 Uhr und dem Eintreffen des Nutzers konnte die Lüftungsanlage weiterhin Wärme aus den Büros abführen. Dies kompensierte somit nicht nur den zusätzlichen Wärmeeintrag über die Heizungsrohre, sondern konnte die gemessenen Temperaturspitzen gegenüber den Simulierten verringern. Dieser Effekt wird durch die geringe Belegung des Gebäudes in 2003 noch unterstützt. 2004

hingegen wäre eine deutliche Verbesserung des thermischen Komforts erzielt worden. Die Nachtlüftungsfunktion war 2004 bereits auf die Tageszeiten 19:00 – 6:00 begrenzt worden.

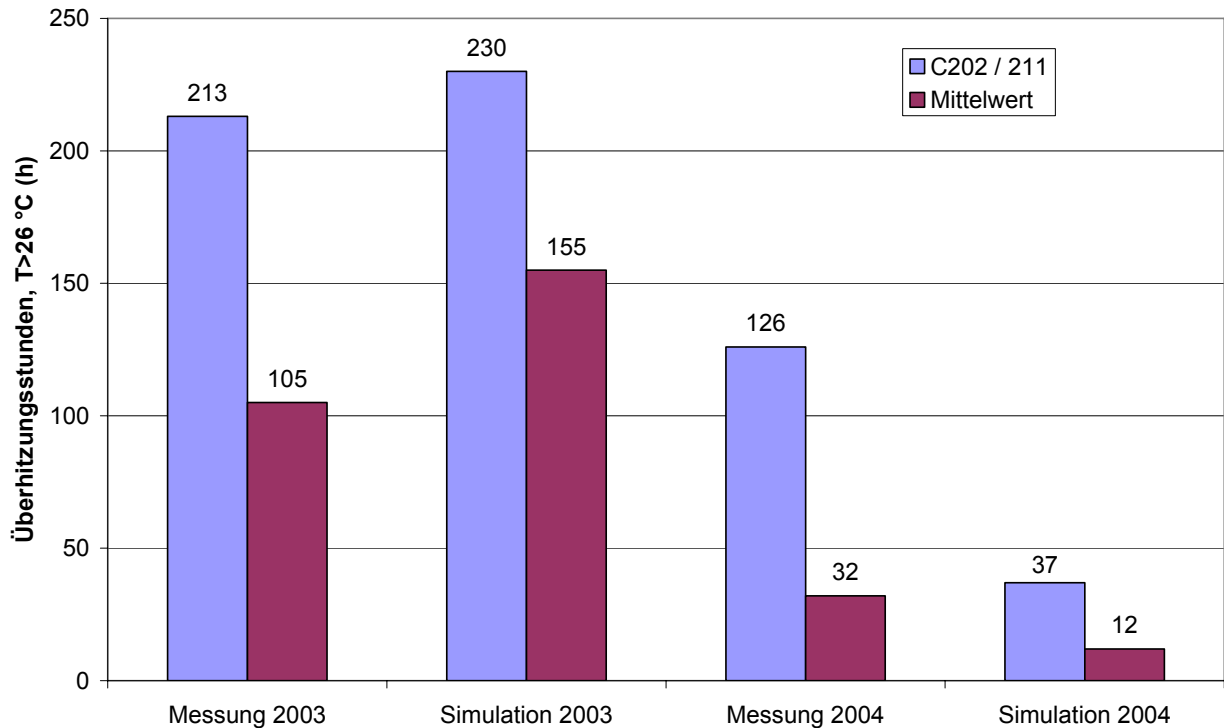


Bild 9.22: Vergleich der Überhitzungsstunden ($T > 26^{\circ}\text{C}$) des Büros C202 bzw. der Zone 211 und des Mittelwerts aller Büroräume. Die Werte wurden aus den Messungen und den Simulationen am korrigierten validierten Modell für die Jahre 2003 und 2004 ermittelt.

Die Überhitzungsstunden der übrigen untersuchten Büroräume sind im Anhang im Abschnitt 14.4 aufgeführt. Für die Jahre 2003 und 2004 ist eine abschließende Beurteilung der Nachtlüftung hinsichtlich des thermischen Komfort nicht möglich, da die Büroräume durch die nicht gedämmten Heizungsrohre auch während der Sommermonate beheizt wurden.

Die Auswertung der Nachtlüftungsfunktion für das Jahr 2005 ergibt die in Tabelle 9.10 aufgeführten Ergebnisse. Zu Beginn des Jahres 2005 waren die Korrekturen und Anpassungen in der Nachtlüftungsregelung ausgeführt worden.

Kennwerte	Messergebnisse 2005
Abgeführte Wärmemenge (kWh/a)	30.147
Strombedarf der Abluftanlage (kWh/a)	8.427
Nutzungszahl (-)	3,6
Überhitzungsstunden C202	25
Mittlere Überhitzungsstunden der Büroflügel (h)	9,2

Tabelle 9.10: Auswertung der Messdaten 2005 hinsichtlich der Nachtlüftungsfunktion. Dargestellt sind die aus den Büroräumen abgeführte Wärmemenge, der hierzu aufgewandte Stromverbrauch und die Nutzungszahl, sowie die Überhitzungsstunden des Raumes C202 und der Mittelwert aller Büroflügel.

Die aus den Messdaten 2005 abgeleiteten Jahressummen der abgeführten Wärmemengen und des Strombedarfs liegen um das 15-fache über den für 2004 simulierten Werten. Ein Hauptgrund hierfür liegt neben den höheren Durchschnittstemperaturen an den wöchentlichen Betriebszeiten. 2005 wurde im Gegensatz zu den Simulationen auch an den Wochenenden gelüftet. Die Nutzungszahl liegt mit 3,6 im Bereich einer handelsüblichen Klimaanlage. Der thermische Komfort der Nutzer kann für das Jahr 2005 als gegeben angesehen werden. Die größte Anzahl an Überhitzungsstunden wurde in dem Raum C202 im Dachgeschoss des Südflügels gemessen. Jedoch wird ein Wert von 25 Überhitzungsstunden als für den Nutzer akzeptabel erachtet.

Zieht man lediglich die Nutzungszahlen und die trotz Nachtlüftung noch vorhandenen Überhitzungsstunden als Bewertungskriterium heran, so folgt, dass der Betrieb einer konventionellen Klimaanlage primärenergetisch sinnvoller wäre. Abgesehen von diesem rein energiebezogenen Aspekt muss jedoch ebenfalls die Kostenseite betrachtet werden. Da die Nachtlüftung auf die ohnehin vorhandene Lüftungsanlage zurückgreift, werden die laufenden Kosten dieser Betriebsweise durch den Stromverbrauch dominiert. Die Investitionskosten werden durch die größer dimensionierte Lüftungsanlage und die laufenden Kosten durch den erhöhten Wartungsaufwand aufgrund der erhöhten Betriebsstunden nur geringfügig erhöht. Eine Klimaanlage würde hingegen die Investitionskosten durch ihren Anschaffungspreis und das aufwendigere Luftkanalsystem deutlich erhöhen. Die laufenden Kosten bewegen sich auf dem gleichen Niveau wie die der Nachtlüftung.

Wäre bei der Planung einer Kühlmaßnahme für das Artur-Woll-Haus der thermische Komfort der Nutzer im Vordergrund gestanden, so hätte auf eine Klimaanlage eingesetzt werden müssen. Dominieren hingegen die ökonomischen Gesichtspunkte und wird in Jahren mit hohen Außenlufttemperaturen auch ein über längere Perioden andauernder Diskomfort der Nutzer akzeptiert, so ist die im Artur-Woll-Haus realisierte Kühlung durch Nachtlüftung einsetzbar.

Wie die Berechnungen am korrigierten validierten Simulationsmodell für die Wetterdaten des Jahres 2003 zeigen, ist die Nachtlüftung in einem sehr heißen Sommer nicht dazu in der Lage, den thermischen Komfort der Nutzer sicherzustellen. In „normalen“ Jahren (2004 und 2005) kann sie hingegen den thermischen Komfort der Nutzer gewährleisten.

10 Technisch –Wissenschaftliche Qualitätssicherung

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden zur Sicherstellung der bautechnischen Ausführung und des Nutzerkomforts zahlreiche Messungen durchgeführt.

10.1 Luftdichtheit (n_{50} -Wert)

Für Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage schreibt die DIN 4108 Teil 7 [12] eine maximale Luftwechselzahl von $n_{50}=1,5 \text{ h}^{-1}$ vor. Das Passivhaus-Institut fordert für Passivhäuser eine Luftwechselzahl von $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$. Hierdurch sollen die korrekte Funktionsweise der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ermöglicht und Lüftungswärmeverluste aufgrund von Infiltration minimiert werden.

Der n_{50} -Wert wird durch einen Blower-Door Test bestimmt. Hierbei wird in dem Gebäude, bzw. in dem zu vermessenden Gebäudeteil mit einem Ventilator ein Unter- bzw. Überdruck erzeugt, in dem Luft aus diesem heraus oder in diesen hinein gefördert wird. Der bei 50 Pascal Druckunterschied geförderte Luftvolumenstrom wird auf das belüftete und beheizte Luftvolumen des Prüfobjekts bezogen. Die Messungen wurden gemäß der DIN EN 13829 [13] durchgeführt.

Aufgrund des großen Volumens und der Geometrie wurde das Gebäude in vier Abschnitte unterteilt, deren Luftdichtheit separat bestimmt wurde. Bei der abschnittsweisen Messung eines Gebäudes beinhaltet der gemessenen Luftvolumenstrom auch die Luftströmungen zwischen den angrenzenden Gebäudeteilen. Dementsprechend stellt der aus den Teilmessungen berechnete mittlere n_{50} – Wert einen oberen Grenzwert dar.

Tabelle 10.1 zeigt die n_{50} – Werte der einzelnen Gebäudeteile und den sich hieraus ergebenden mittleren n_{50} – Wert für das Gesamtgebäude. Der Mittelwert erfüllt die Anforderungen nach DIN 4108 Teil 7. Nicht erfüllt wird jedoch die strengere Anforderung des Passivhaus-Instituts.

Gebäudeteil	n_{50} -Wert (h^{-1})
Westflügel	1,1
Ostflügel	0,69
Südflügel	0,96
Seminar, Produktion und Ausstellung	1,59
Luftvolumen-gewichteter Mittelwert für das Gesamtgebäude	1,22

Tabelle 10.1: Luftwechselzahlen der Gebäudeteile und volumengewichteter Mittelwert des Gesamtgebäudes.

10.2 Lüftungseffektivität

Die Lüftungseffektivität hat direkten Einfluss auf die Raumluftqualität der Büroräume und somit auf die Nutzerzufriedenheit. In den folgenden Untersuchungen sollte bestimmt werden, wie gut die Büroräume belüftet sind. Hierzu wurden die lokalen Luftalter an repräsentativen Stellen in einem Büro ermittelt. Die Bewertung des lokalen Luftalters ermöglicht eine Aussage darüber, ob die einzelnen Raumbereiche gleichmäßig durchlüftet werden, oder ob Zonen in den Büros vorhanden, sind die schlecht mit Frischluft versorgt werden. Dies würde sich in einem hohen lokalen Luftalter bemerkbar machen. Die Messungen wurde gemäß der in der VDI-Richtlinie 4300 [14] beschriebenen Abklingmethode durchgeführt. Die Messungen fanden im Zeitraum vom 29.09. 2005 bis zum 1.10.2005 bei Außenlufttemperaturen von 11° – 15°C statt. Das Deckensegel war während der Messdauer nicht im Heizbetrieb.

Zur Bestimmung der Lüftungseffektivität in den Büroräumen wurden repräsentativ in einem Büro Spurengasmessungen bei den drei Lüftungsstufen vorgenommen. Zur Bestimmung der Spurengaskonzentrationen in der Raumluft wurde das Analysegerät Unor 6N der Firma Maihak eingesetzt [15]. Zu Messbeginn wurden in dem Raum jeweils konstante Konzentrationen des Spurengases N₂O ausgebracht. Das Abklingverhalten der Gaskonzentration wurde anschließend gemessen und ausgewertet. Hierzu wurden an mehreren Messstellen im Raum Gasproben in zeitlichen abständen von 6 Minuten entnommen und mittels des Gasanalysators die momentanen Konzentrationen ermittelt. Die Messwerte wurden über ein Notebook ausgelesen und ausgewertet. Aus der Abklingkurve der Spurengaskonzentration über die Messzeit werden die lokalen Luftalter an den Messstellen und die Lüftungseffektivität des Gesamtraums bestimmt.

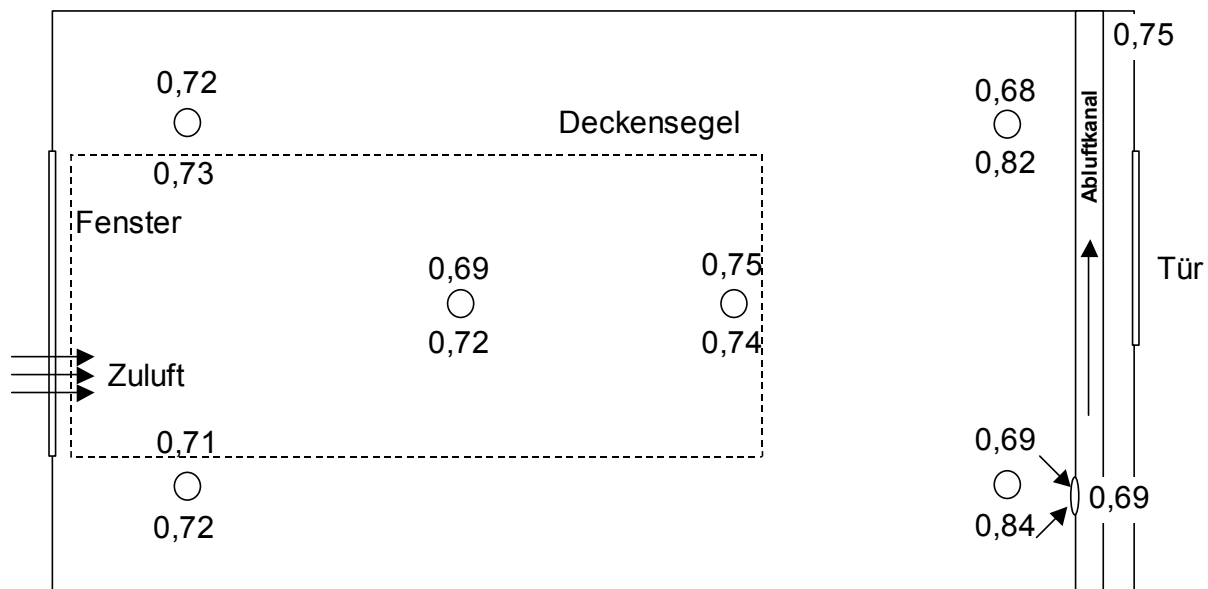


Bild 10.1: Schematischer Grundriss des Raums D102. Die Zahlenwerte stellen die während einer Spurengas-Messung ermittelten lokalen Luftalter in h dar. Das Büro verfügt über ein Luftvolumen von 51 m³. Der Abluftvolumenstrom beträgt in der Lüftungsstufe 1: V=42 m³/h. Das durchschnittliche Luftalter beträgt 0,69 h und die Lüftungseffektivität $\eta=0,88$.

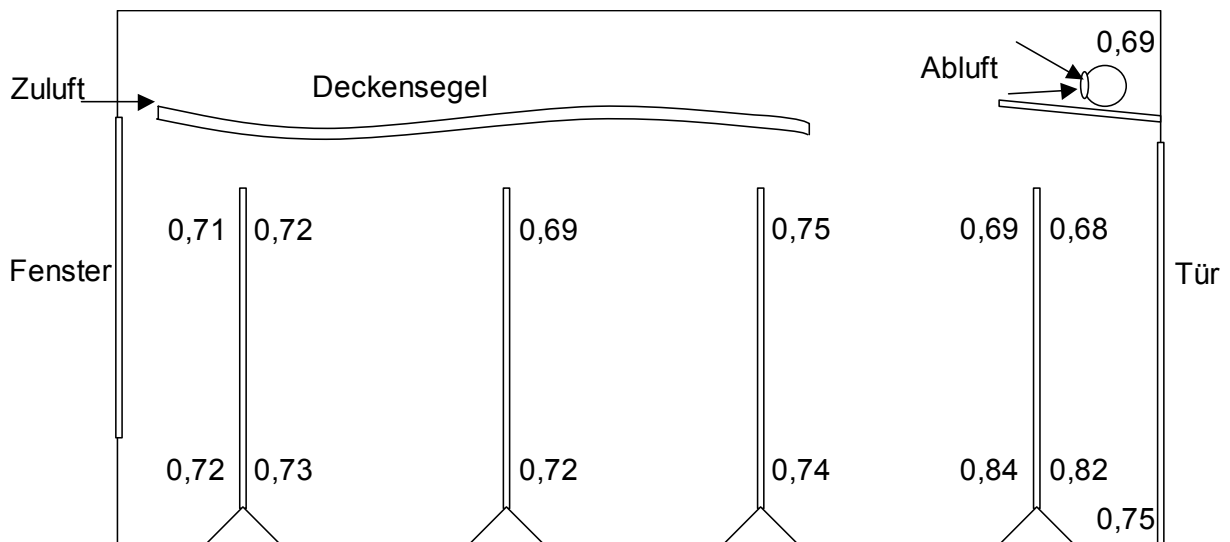


Bild 10.2: Schematischer Längsschnitt des Raums D102. Die Zahlenwerte stellen die während einer Spurengas-Messung ermittelten lokalen Luftalter in h dar. Das Büro verfügt über ein Luftvolumen von 51 m³. Der Abluftvolumenstrom beträgt in der Lüftungsstufe 1: V=42 m³/h. Das durchschnittliche Luftalter beträgt 0,69 h und die Lüftungseffektivität $\eta=0,88$.

Bild 10.1 zeigt einen schematischen Grundriss des Messraums D102 im 1. OG des Ostflügels. Der Raum verfügt über einen rechteckigen Grundriss mit einer Grundfläche von 16,2 m². Ein Längsschnitt durch den Messraum ist in Bild 10.2 dargestellt. Während dieser Messung war die Lüftungsstufe 1 aktiviert. Die in der Abbildung dargestellten Zahlenwerte sind die lokalen Luftalter an den jeweiligen Messpunkten. Die Luftentnahmeschläuche wurden an Ständern befestigt. Das durchschnittliche Luftalter des Büros beträgt 0,69 h. Unter Berücksichtigung des Raumvolumens von 51 m³ und des Abluftvolumenstroms von 42 m³/h ergibt sich die Luftwechselzahl zu $n = 0,8 \text{ h}^{-1}$ und die Lüftungseffektivität zu $\eta = 0,88$. Eine Effektivität von 0,5 charakterisiert eine Mischströmung, ein Wert von 1,0 entspräche einer Kolbenströmung.

Die zweite Messung wurde bei aktivierter Lüftungsstufe 2 durchgeführt. Die Messergebnisse sind in Bild 10.3 und Bild 10.4 dargestellt.

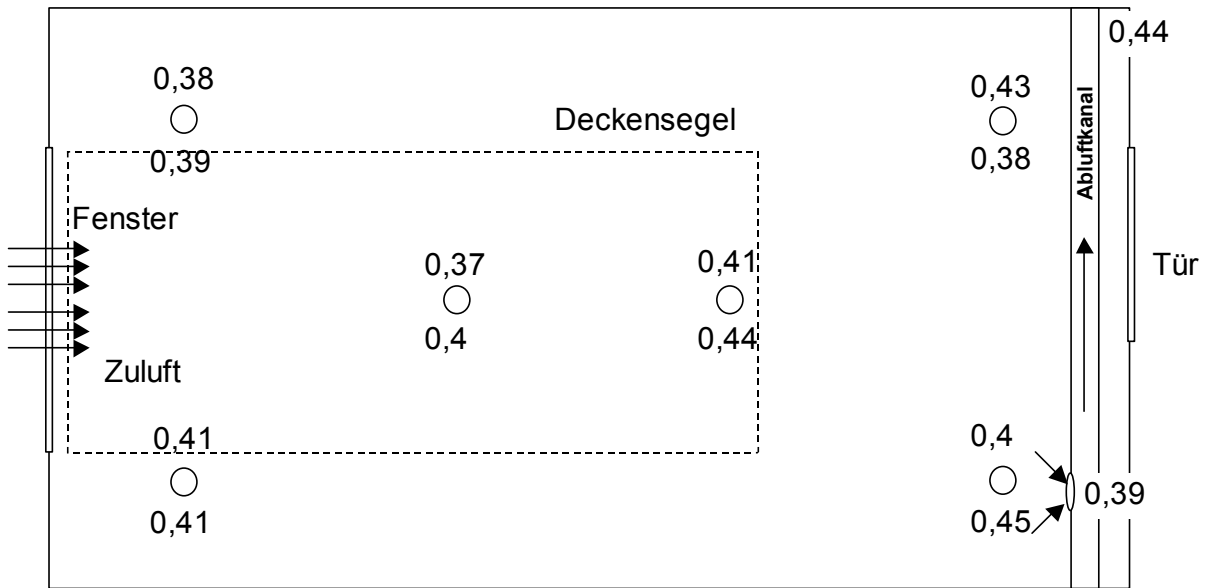


Bild 10.3: Schematischer Grundriss des Raums D102. Die Zahlenwerte stellen die während einer Spurengas-Messung ermittelten lokalen Luftalter in h dar. Das Büro verfügt über ein Luftvolumen von 51 m^3 . Der Abluftvolumenstrom beträgt in der Lüftungsstufe 2: $V=85 \text{ m}^3/\text{h}$. Das durchschnittliche Luftalter beträgt $0,39 \text{ h}$ und die Lüftungseffektivität $\eta=0,76$.

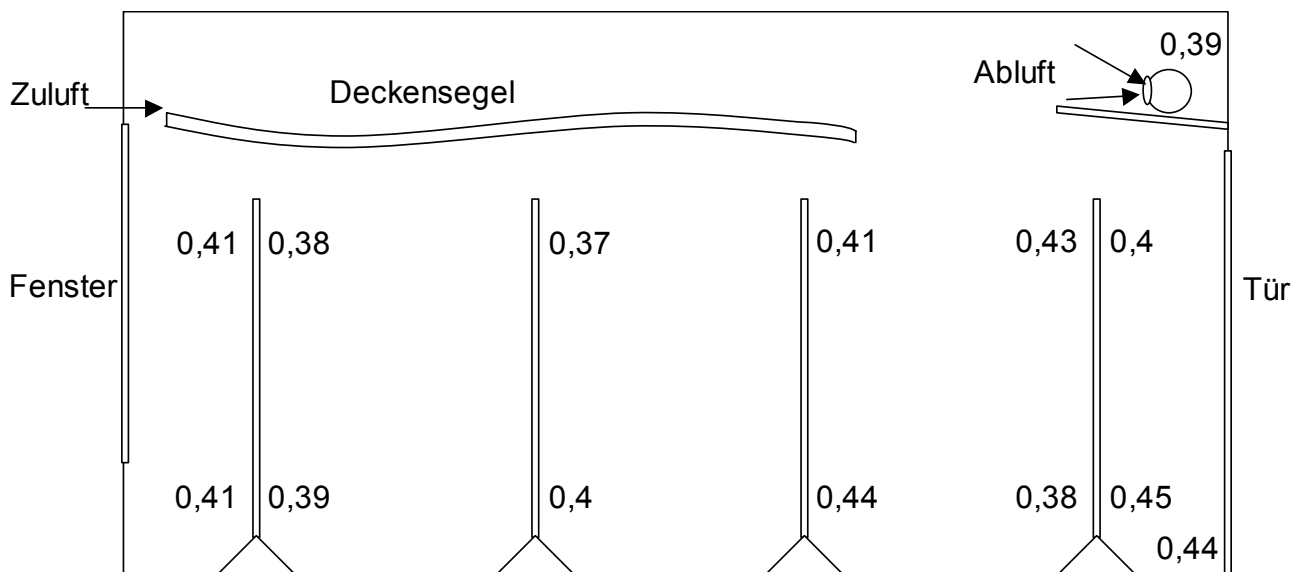


Bild 10.4: Schematischer Längsschnitt des Raums D102. Die Zahlenwerte stellen die während einer Spurengas-Messung ermittelten lokalen Luftalter in h dar. Das Büro verfügt über ein Luftvolumen von 51 m^3 . Der Abluftvolumenstrom beträgt in der Lüftungsstufe 2: $V=85 \text{ m}^3/\text{h}$. Das durchschnittliche Luftalter beträgt $0,39 \text{ h}$ und die Lüftungseffektivität $\eta=0,76$.

In der Lüftungsstufe drei sind die lokalen Luftalter noch einmal geringer als bei den beiden anderen Lüftungsstufen. Der Luftwechsel betrug $n = 3,7 \text{ h}^{-1}$. Bewertet man die Lüftungseffektivitäten in den drei Lüftungsstufen, so ist zu erkennen, dass in Lüftungsstufe 1 mit $\eta = 0,88$ nahezu eine Kolbenströmung ($\eta = 1,0$) vorherrscht. Mit steigender Luftwechselzahl wandelt sich der Strömungstyp in der Lüftungsstufe 3 mit $\eta = 0,602$ hin zu einer Mischströmung, für die $\eta = 0,5$ gilt. Allgemein zeigen die Messungen, dass die Büros in allen Lüftungsstufen gleichmäßig durchlüftet werden. Dies kann an den sich nur in geringem Maße unterscheidenden lokalen Luftaltern abgelesen werden. Die gute Durchlüftung der Räume wird auch durch die Ergebnisse des Abschnitts 10.10 belegt, in denen der CO_2 -Gehalt zweier repräsentativer Büros gemessen wurde.

10.3 Kontrolle der Volumenströme der Abluftanlage in den Büros

Zur Überprüfung der Volumenströme der Abluftanlage in den einzelnen Lüftungsstufen wurden Spurengas-Messungen durchgeführt. Hierzu wurde in die Abluftöffnung in einem der Büros des Westflügels das Spurengas N_2O mit einer konstanten Injektionsrate eingebracht und gleichzeitig die Spurengaskonzentration im zentralen Abluftkanal des Westflügels gemessen. Zur Verwendung kam wie in Abschnitt 10.2 ein Gasanalysator Unor 6N. Aus dem Verhältnis der Konzentrationen an der Injektionsstelle und der Entnahmestelle wurde auf den aus dem Westflügel abgesaugten Gesamtvolumenstrom geschlossen. In Tabelle 10.2 sind die gemessenen Volumenströme bei den verschiedenen Lüftungsstufen angegeben. Die gemessenen Werte weichen zum Teil gravierend von den Planungswerten ab. In den Lüftungsstufen 1 und 2 liegen die Messwerte weit über den Planungswerten und in der Lüftungsstufe 3 weit darunter. Dieses Verhalten deutet auf ein schlecht abgestimmtes Lüftungssystem hin. Zum einen werden die Abluftventilatoren in den ersten beiden Lüftungsstufen mit zu hohen Drehzahlen betrieben, zum andern nimmt die Förderleistung bei stetig steigender Anforderung aus den Büroräumen nicht im selben Maße zu.

Lüftungsstufen (LS)	Messwerte des Volumenstroms je Deckensegel (m^3/h)	Planungswerte des Volumenstroms je Deckensegel (m^3/h)
100 % LS 1	58	45
50 % LS 1 und 50 % LS 2	63	68
100 % LS 2	126	90
50 % LS 2 und 50 % LS 3	169	195
100 % LS 3	170	300

Tabelle 10.2: Vergleich der gemessenen Volumenströme je Deckensegel mit den Werten aus der Planung .

Wird bereits von 50 % der Büros die Lüftungsstufe 2 angefordert liegt der mittlere Abluftvolumenstrom aus den Büroräume lediglich ca. 9 % über dem Zustand, bei dem zu 100 % Lüftungsstufe 1 angefordert wird. Wird von allen 50 % der Büros Lüf-

tungsstufe 2 und von den restlichen 50 % Lüftungsstufe 3 angefordert, laufen die Abluftventilatoren schon auf ihrer höchsten Förderleistung. Dies deutet darauf hin, dass die Druckverluste im Luftkanalsystem zu hoch sind und so die Abluftventilatoren nicht in der Lage sind, die notwendige Luftmenge zu fördern. Die Abweichungen in den Luftvolumenströme von den Planwerten resultieren in einem erhöhten Lüftungswärmebedarf in der Heizperiode und einer reduzierten Kühlwirkung im Sommer. Näheres hierzu befinden sich in den Abschnitten 7 und 8.

10.4 Thermische Qualität der Gebäudehülle

Zur Überprüfung der thermischen Qualität bzw. zum Auffinden von Wärmebrücken in der Gebäudehülle wurden im Winter 2004 an zwei Terminen Aufnahmen mit der Thermografiekamera NEC San-ei Thermo-Tracer TH1101 [16] angefertigt.

Bild 10.7 zeigt ein Infrarotbild und eine Lichtbild von der Südfassade des 2.OG's des Westflügels.

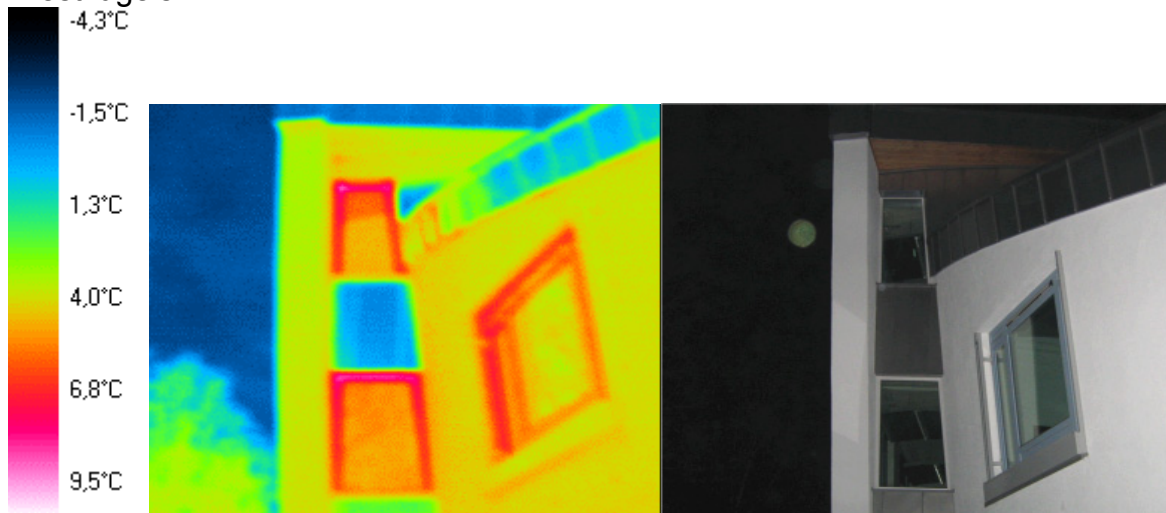


Bild 10.7: Südfassade des 2.OG des Westflügels. Die Außentemperatur betrug 2°C, die Innentemperaturen lagen bei 24°C. Die Emissionszahl der Edelstahl Dach- und Fassadenflächen beträgt 0,18 (Messzeitpunkt 18.02.04).

Als relativ warme Flächen sind die Fensterrahmen zu erkennen. Die Metallverkleidung der Fensterbrüstung reflektiert den kalten Himmel. Dies ist an der blauen Farbe im Infrarotbild zu erkennen.

In Bild 10.8 ist ein Bürofenster und ein Teil der Westfassade des Erdgeschosses des Westflügels als Infrarotaufnahme und als Lichtbild dargestellt.

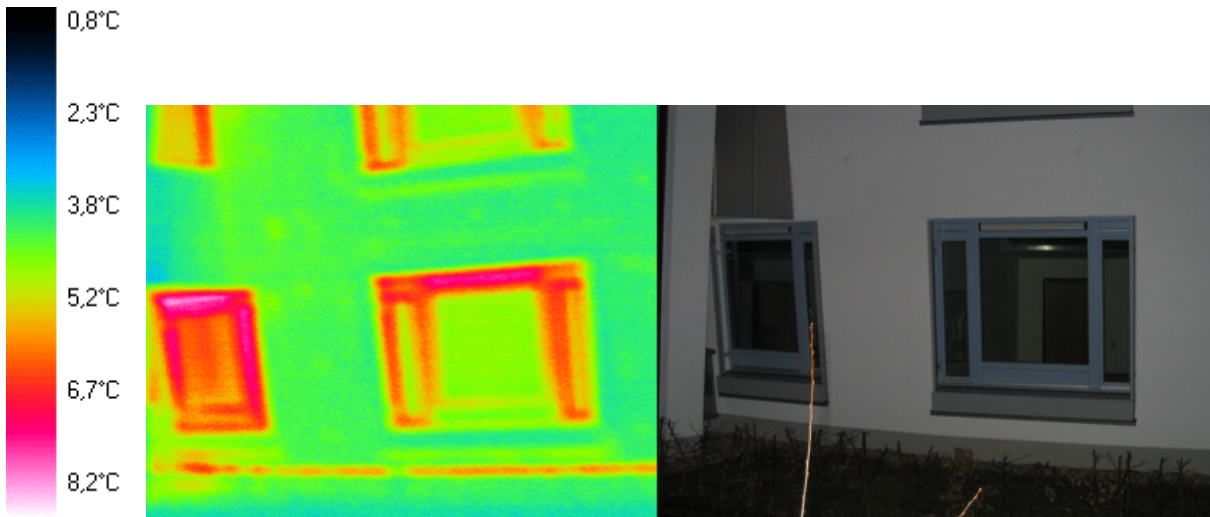


Bild 10.8: Westfassade des Erdgeschosses im Westflügel. Die Außentemperatur betrug 2°C, die Innentemperaturen lagen bei 24°C (Messzeitpunkt 18.02.04).

Die Fensterrahmen und die Zuluft-Schlitze zeichnen sich deutlich durch die rote Farbe im Infrarotbild ab. Unterhalb der Fenster ist im Thermografiebild eine linienförmige Wärmebrücke zu erkennen, die am Übergang von der Perimeterdämmung des Kellers auf die Außenwanddämmung auftritt. Diese Wärmebrücke ist umlaufend um das gesamte Gebäude vorhanden. Die Nordfassade des Seminar- und Produktionsbereichs ist in Bild 10.9 dargestellt.

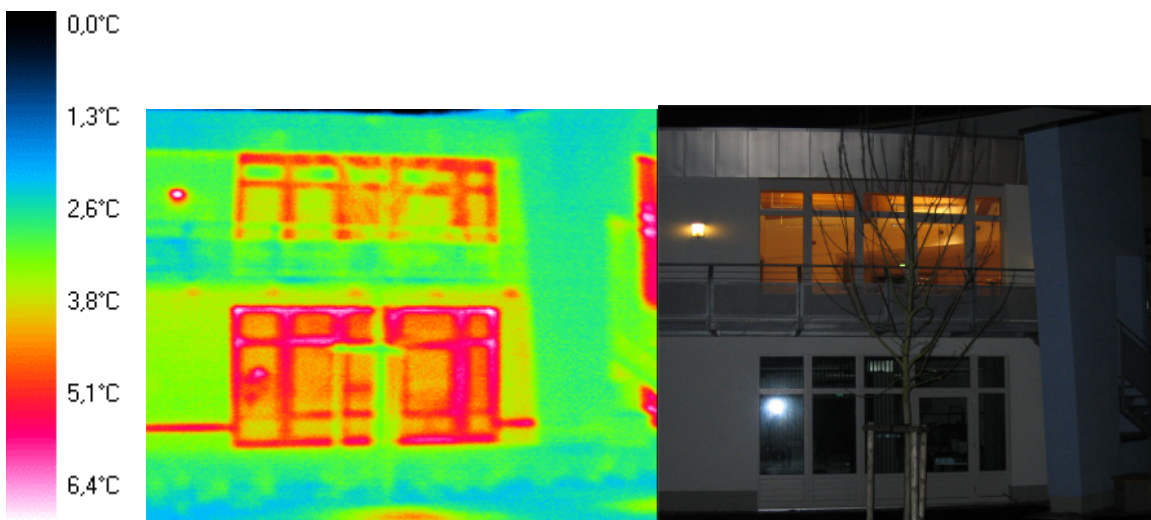


Bild 10.9: Nordfassade des Seminar- und Produktionsbereichs. Die Außentemperatur betrug 2°C, die Innentemperaturen lagen bei 24°C. Die Emissionszahl der Edelstahl Dachflächen beträgt 0,18 (Messzeitpunkt 18.02.04).

Der Fensterrahmen des Labors bildet sich in der Infrarotaufnahme wärmer ab als der des Seminars. Der Übergang der Perimeterdämmung zur Außenwanddämmung ist auch hier wieder zu sehen. Die Befestigungspunkte des Balkons sind gut an der

hellroten Färbung erkennbar. Der rot-weiße Punkt oben links im Infrarotbild ist die Lampe der Außenbeleuchtung.

Die großen nach Süden orientierten Glasfassaden des Ausstellungsbereichs sind in Bild 10.10 abgebildet.

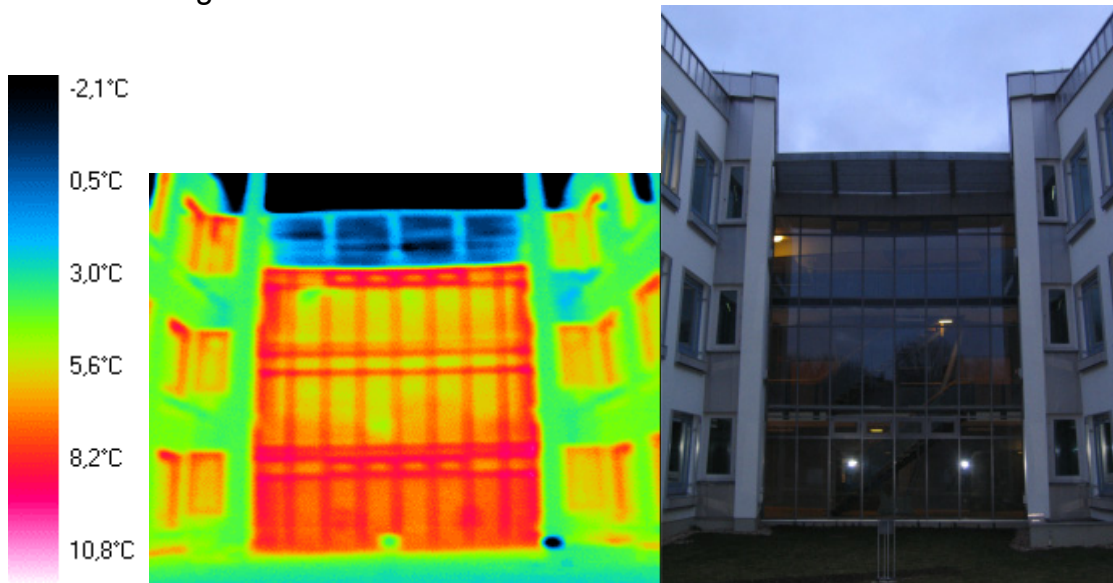


Bild 10.10: Glassfassade der Ausstellung zwischen den Büroflügeln Süd und West. Die Außentemperatur betrug 2°C, die Innentemperaturen lagen bei 24°C. Die Emissionszahl der Edelstahl Dach- und Fassadenflächen beträgt 0,18 (Messzeitpunkt 18.02.04).

Der kalte (dunkelblaue Fleck) unten rechts ist eine den kalten Himmel reflektierende Metallabdeckung.

Eine detaillierte Thermografie eines Bürofensters ist in Bild 10.11 dargestellt.

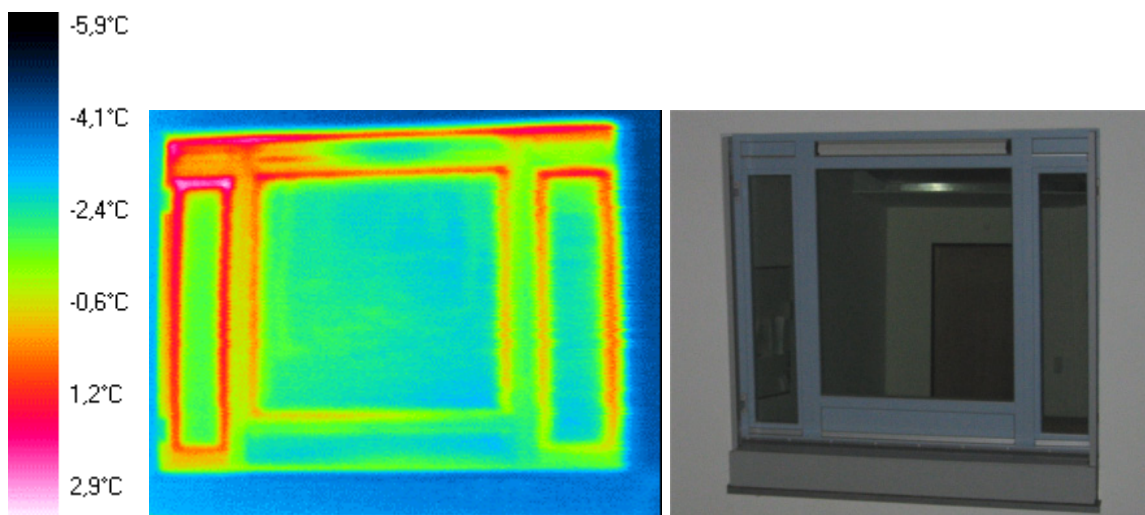


Bild 10.11: Detailaufnahme eines Bürofensters im Erdgeschoss des Westflügels. Die Außentemperatur betrug -4,5°C, die Innentemperaturen lagen bei 24°C (Messzeitpunkt 04.03.04).

In der Infrarotaufnahme sind die Rahmen der drei Fensterteile als rote Rechtecke zu erkennen. Unterhalb des mittleren Fensters zeichnet sich mit blauer Farbe das Dämmelement ab. Ebenso ist der Bereich des Zuluft-Schlitzes über dem mittleren Fensters blau gefärbt. Während der Messung befand sich das Büro in der Lüftungsstufe 3. Die Nachtlüftung war aufgrund der falschen Regelungseinstellungen zu diesem Zeitpunkt in Betrieb. Die kalte Zuluft kühlt das Zuluft-Element deutlich ab.

10.5 Schalldämmung der Bürotrennwände

Mit Hilfe einer schalltechnischen Messung ist das bewertete Schalldämm-Maß R'_w einer Zwischenwand (mit flankierenden Bauteilen) bestimmt worden. Die zu vermessende Wand trennt zwei Büroräume (B106 und B107) im ersten Obergeschoss des Westflügels des Artur-Woll-Hauses. Das zu bestimmende bewertete Schalldämm-Maß R'_w ist eine Einzahlangabe zur Kennzeichnung der Luftschalldämmung von Bauteilen. Es gibt an, um wie viel dB die Lautstärke einer Schallquelle in einem benachbarten Raum gemindert wird. Je höher dieser Wert ist, desto besser ist die schalldämmende Wirkung des die Räume trennenden Bauteils. Der Messwert wird im Einbauzustand bestimmt. R'_w wird ermittelt, indem eine frequenzabhängige Bezugskurve in Richtung der gemessenen Kurve verschoben wird. Das bewertete Schalldämm-Maß entspricht dem Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz. Die Messungen wurden mit dem spektralen Schallmessgerät Investigator 2260 in Kombination mit der Bauakustik-Software BZ 7204 durchgeführt. Zusätzlich wurde eine kugelförmige Schallquelle in Verbindung mit einem Leistungsverstärker zur Erzeugung des Rauschens eingesetzt. Alle eingesetzten Geräte stammen von der Firma Brüel & Kjaer [17]. Der Versuchsaufbau ist schematisch in Bild 10.12 aufgezeichnet.

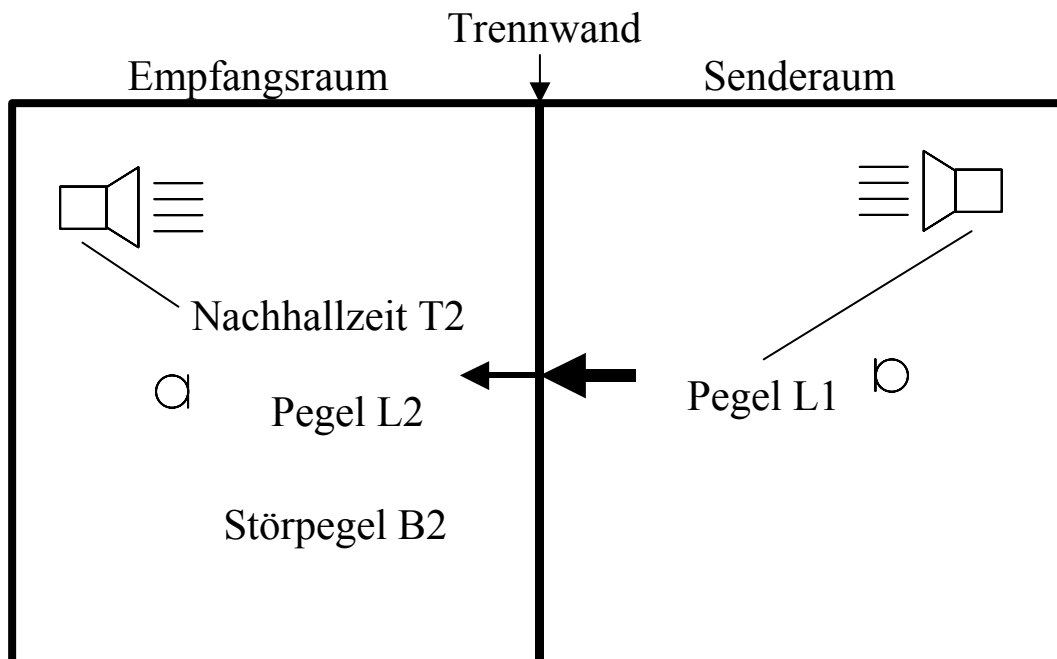


Bild 10.12: Schematischer Versuchsaufbau der Schallmessung zur Bestimmung des bewerteten Bauschalldämm-Maßes.

Der Empfangsraum hat eine Größe von ca. 123 m³ und die Wandfläche zwischen den beiden Büroräume eine Fläche von ca. 14,5 m².

Das Mikrofon wurde jeweils ungefähr in der Raummitte aufgestellt. Dabei ergab sich aus der Messung:

$$R'_w = 41 \text{ dB}$$

In der DIN 4109 („Schallschutz im Hochbau“) [18], wird in Tabelle 3 („Erforderliche Luft- und Trittschalldämmung zum Schutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich“) in Zeile 40 („Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen“) für das bewertete Schalldämm-Maß die Erfordernis

$$R'_w = 47 \text{ dB}$$

angegeben.

Der ermittelte Wert unterschreitet den von der Norm geforderten Wert. Die Bürotrennwand erfüllt somit nicht die Anforderungen.

10.6 Licht

Eine ausreichende Beleuchtung soll gute Sehbedingungen schaffen und im Rahmen der Gestaltung von Innenräumen zum physischen und psychischen Wohlbefinden der Bewohner bzw. Nutzer beitragen. Weiterhin ist eine ausreichende Beleuchtung notwendig, um Unfälle zu verhüten. So ist in Arbeitsräumen eine gute Beleuchtung Voraussetzung für eine einwandfreie und sichere Erledigung der zu bearbeitenden Aufgaben. Eine ausreichende Beleuchtung beugt einer vorzeitigen Ermüdung der arbeitenden Personen vor. In Verkehrsbereichen, wie Eingängen, Fluren und Treppenhäusern trägt die Beleuchtung zu einem gefahrlosen und sicheren Verkehrsablauf bei. Durch die Beleuchtung darf aber auch keine Blendung der Personen im Aufenthaltsbereich entstehen. Blendung kann die Sehleistung herabsetzen und bei längerer Einwirkung ein unangenehmes Gefühl erzeugen, das Wohlbefinden einschränken und so auch die Leistungsfähigkeit herabsetzen.

Wichtigstes Kriterium für eine ausreichende Beleuchtung ist das Beleuchtungsniveau, die mittlere Beleuchtungsstärke auf einer horizontalen Arbeitsfläche im betrachteten Raumbereich. In den Normen DIN 5034 [19] und DIN 5035 [20] sind Mindestbeleuchtungsstärken an Arbeitsplätzen für Tageslichtnutzung und bei künstlicher Beleuchtung festgeschrieben. Mit Hilfe von Messungen wurde die Qualität der Beleuchtung in den Büros des Artur-Woll-Hauses bewertet. Hierzu wurden zwei repräsentative Büroräume ausgewählt. Das folgende Bild zeigt einen Grundriss des 1. OG. In den markierten Büros wurden die Messungen zur Beurteilung der Beleuchtungsqualität durchgeführt. Dazu wurden zwei digitale Lichtstärke-Messgeräte vom Typ „MAVOLUX digital“ der Fa. Gossen [20] eingesetzt (Leihgabe vom ISE/Freiburg).

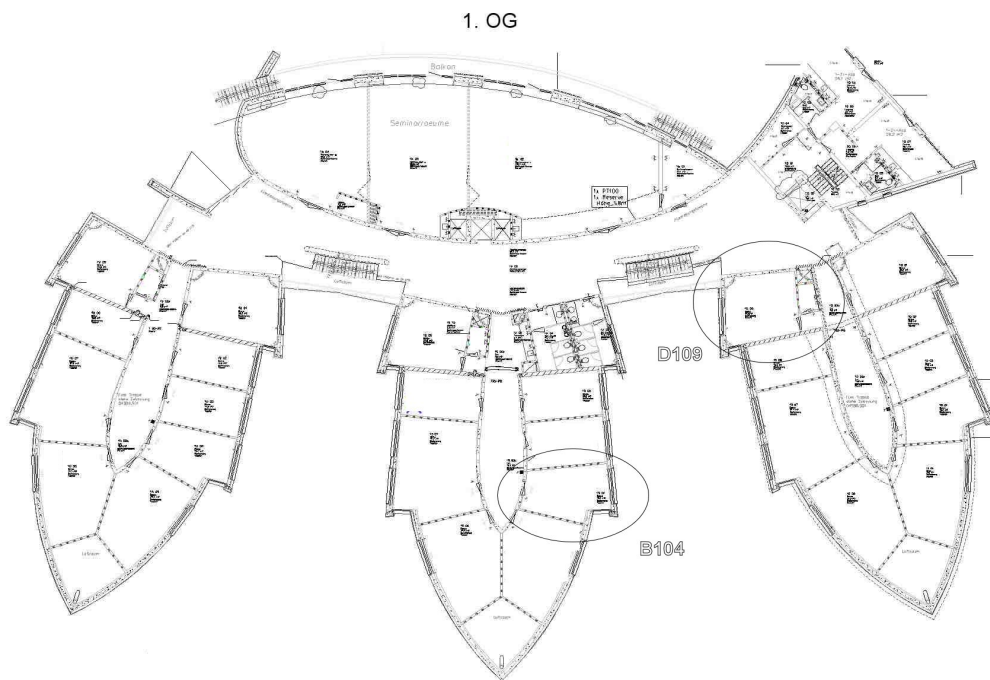


Bild 10.13: Grundriss des 1. OG des Artur-Woll-Hauses. In den markierten Büros wurden die Lichtmessungen durchgeführt.

Tageslichtquotient

Zur Beurteilung der Tageslichtnutzung in den Büros wurden Lichtstärkemessungen durchgeführt. Der Tageslichtquotient stellt das Verhältnis der Lichtstärke im Gebäude (ohne Kunstlicht) zur außerhalb des Gebäudes vorhandenen Beleuchtungsstärke dar. Er wird bei bedecktem Himmel mit möglichst gleichmäßiger Leuchtdichteverteilung gemessen. Zeiten mit direkter Sonnenstrahlung oder auch nur teilbewölktem Himmel scheiden für die Messung aus.

Der Tageslichtquotient D berechnet sich dann nach folgender Beziehung:

$$D = L_i / L_a$$

mit:

L_i : Beleuchtungsstärke im Raum (kLux)

L_a : Beleuchtungsstärke außen (kLux)

jeweils auf eine horizontale Fläche.

Die Messungen zur Bestimmung des Tageslichtquotienten wurden am 18.8.03 im Büroraum B 104 durchgeführt.

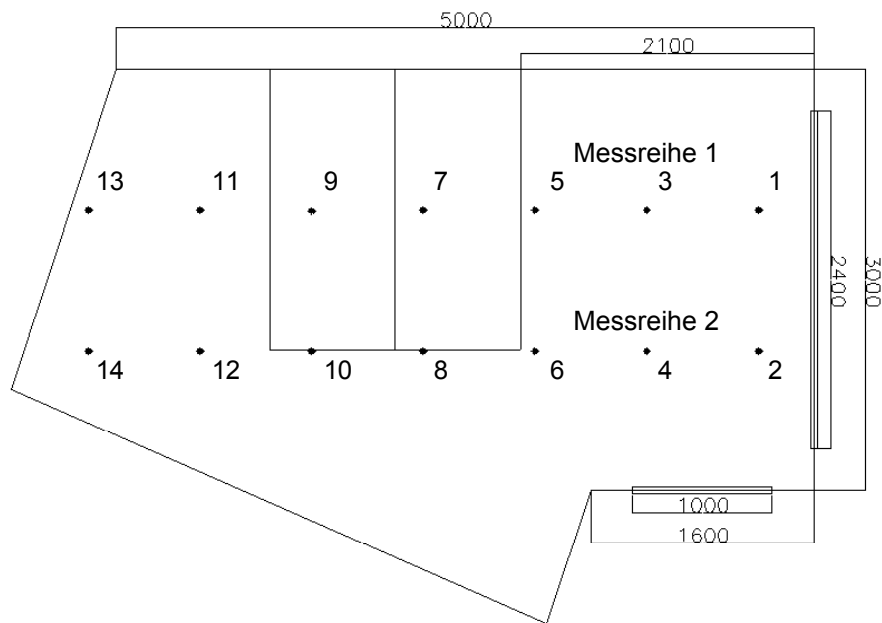


Bild 10.14: Schematischer Grundriss des Büros B 104 im 1. OG des Südflügels. Die beiden Messreihen (Messpositionen 1 bis 14) sind markiert. Alle Abmessungen sind in mm angegeben.

In Bild 10.14 sind die Messpunkte der beiden Messreihen in einem schematischen Grundriss dargestellt. Messreihe 1 verläuft im Abstand von einem Meter entlang der längeren Innenwand. Parallel dazu verläuft die Messreihe 2 im Abstand von 0,8 Metern. Denselben Abstand weisen die Messpunkte untereinander auf. Die Punkte 1 und 2 sind 0,4 Meter von der Außenwand entfernt. Die Messwerte und die berechneten Tageslichtquotienten sind in Tabelle 10.3 aufgelistet. In Bild 10.15 sind die Verläufe des Tageslichtquotienten der beiden Messreihen im Vergleich mit dem Verlauf aus der Entwurfsplanung abgebildet. Die Ergebnisse aus der Planung stimmen sehr gut mit denen der Messung überein.

Messpunkt	Beleuchtungsstärke Außen La (kLux)	Beleuchtungsstärke Innen Li (Lux)	Tageslichtquotient $D = (Li/La) * 100$ (%)
1	25,5	2640	10,35
2	25,4	2200	8,66
3	26,2	1080	4,12
4	26,1	1480	5,67
5	19,8	535	2,70
6	23	561	2,44
7	10,6	220	2,08
8	18,2	163	0,90
9	18,3	177	0,97
10	10,5	106	1,01
11	11,9	99	0,83
12	13	84	0,65
13	14,8	103	0,70
14	10,9	79	0,72

Tabelle 10.3: Messwerte zur Bestimmung des Tageslichtquotienten im Raum B 104.

Der von der DIN 5034, Teil 1 geforderte minimale Tageslichtquotient von $D = 1\%$ für Räume mit Fenstern an zwei aneinandergrenzenden Wänden wird in Raummitte an der ungünstigsten Stelle (zwischen den Messpunkten 6 und 8) gerade erreicht.

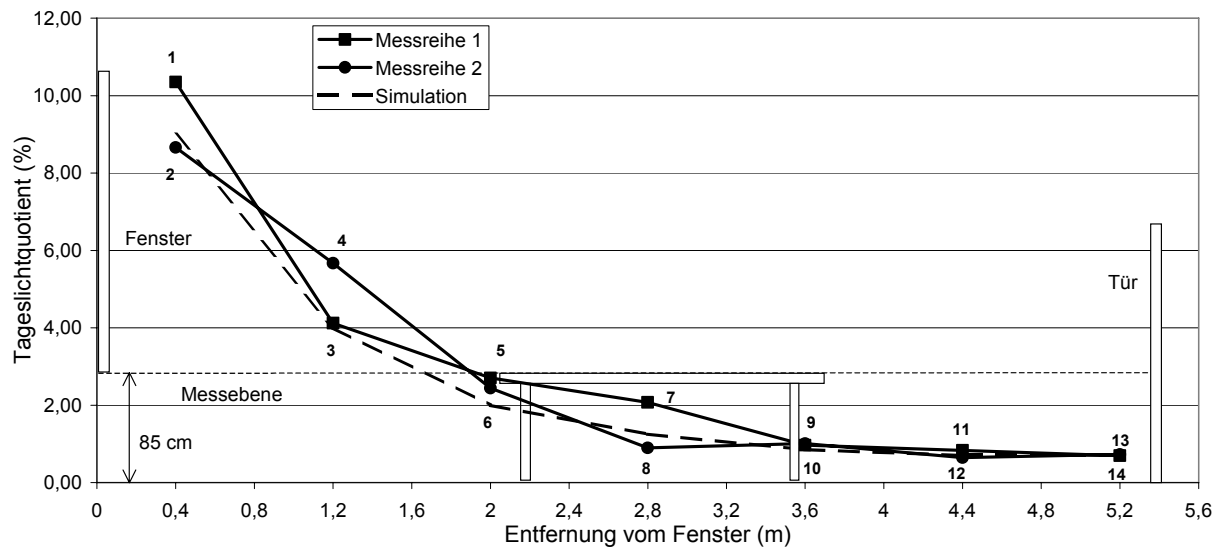


Bild 10.15: Verlauf des Tageslichtquotienten entlang der in Bild 10.14 dargestellten Messreihen im Vergleich mit der aus der Planung stammenden Simulation.

Künstliche Beleuchtung

Die Qualität der künstlichen Beleuchtung wurde im Raum D 109 untersucht. Die DIN 5035, Teil 2 [19] fordert für Büroräume mit tageslichtorientierten Arbeitsplätzen eine Beleuchtungsstärke von 300 Lux. In nicht tageslichtorientierten Büroräumen werden hingegen 500 Lux gefordert. Das untersuchte repräsentative Büro verfügt über zwei fensternahe tageslichtorientierte Arbeitsplätze. Die Mitte der Arbeitsplätze ist ca. 1,5 m vom Fenster entfernt. In Bild 10.16 sind der schematische Grundriss des untersuchten Büros und die Messpositionen dargestellt.

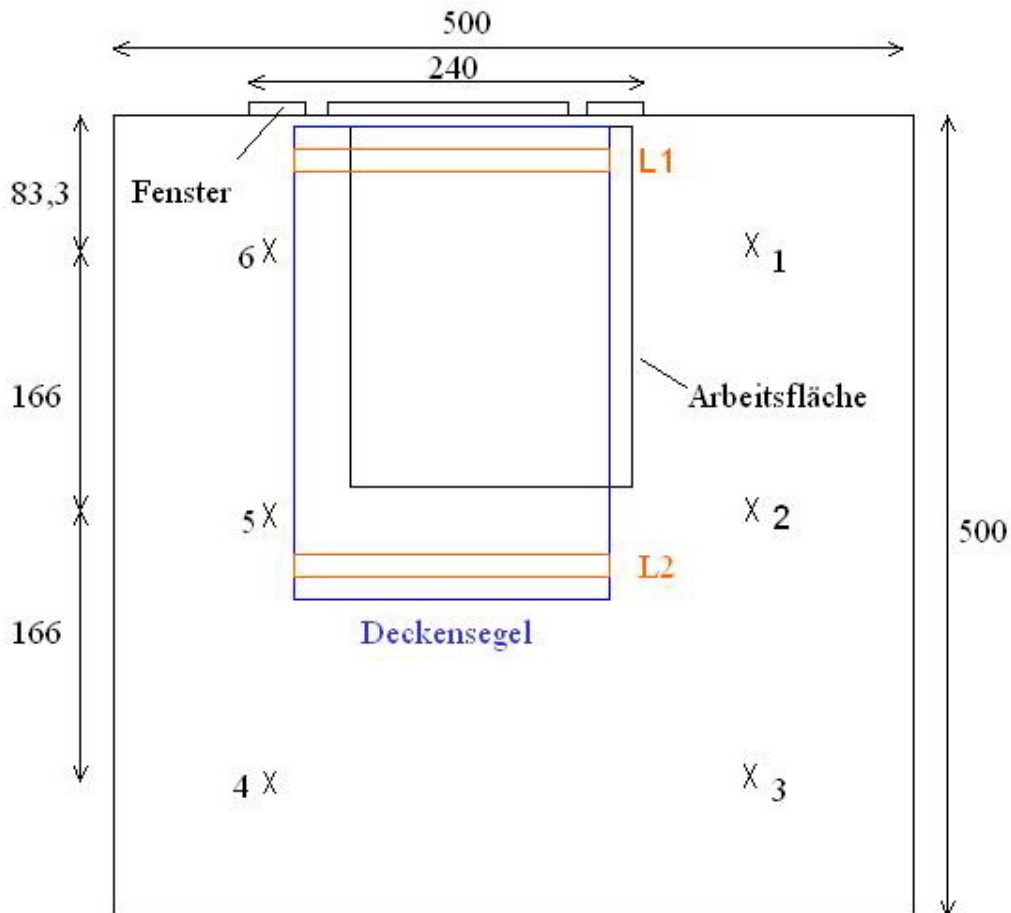


Bild 10.16: Schematischer Grundriss des Büros D 109 im 1. OG des Südflügels. Die Messpositionen 1 bis 6 sind markiert. L1, L2 sind Leuchtstoffröhren mit je 49 W. Alle Maße sind in cm angegeben.

Messposition	Beleuchtungsstärke auf 85 cm Raumhöhe (Lux)
1	199
2	167
3	77
4	257
5	477
6	441

Tabelle 10.4: Messergebnisse der Beleuchtungsstärkemessung im Raum D 109 am 18.08.03.

Die Messwerte liegen zwischen 447 Lux in der Nähe des Fensters und 77 Lux im vom Fenster am weitesten entfernten Bereich. Eine genauere Untersuchung der Beleuchtungsstärken auf der Arbeitsfläche ist notwendig, um die Einhaltung der Anfor-

derungen für tageslichtorientierte Arbeitsplätze hinsichtlich der künstlichen Beleuchtung zu überprüfen. Hierzu wurden auf der Arbeitsfläche (Bild 10.17) in einem Raster von 20 * 20 cm entsprechende Messwerte aufgenommen. Die Ergebnisse sind in Bild 10.18 aufgeführt.

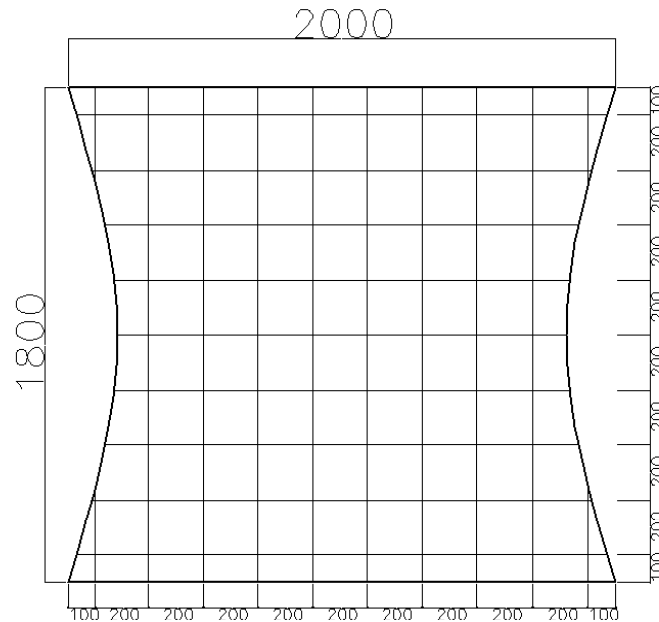


Bild 10.17: Schematische Darstellung und Abmessungen des Arbeitsplatzes im Raum D 109 und des Rasters (20 * 20 cm) für die Messungen der Beleuchtungsstärke.

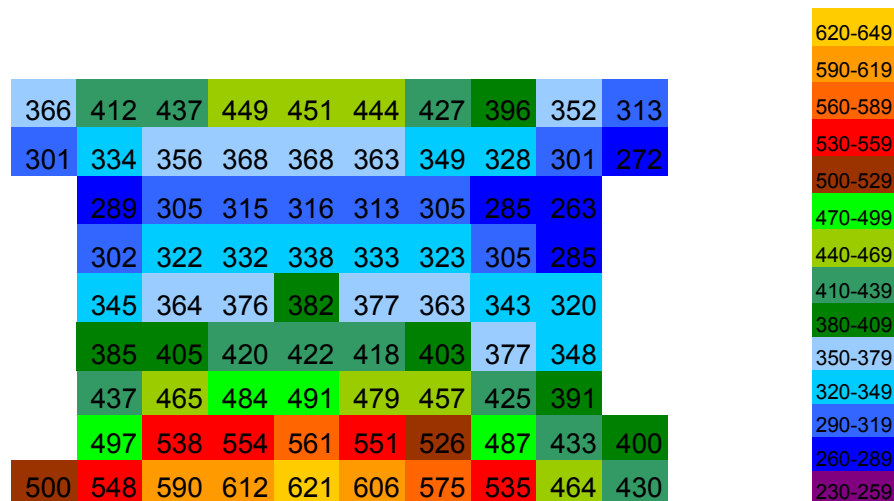


Bild 10.18: Farbrasterdarstellung der Messwerte auf der Arbeitsfläche. Alle Werte sind in der Einheit Lux angegeben.

Die Beleuchtungsstärken liegen zwischen 263 Lux an der einen Tischkante und 621 Lux in der Raummitte. Der Mittelwert auf der Arbeitsfläche beträgt 405 Lux und erfüllt somit die Anforderungen der Norm.

In Fluren mit Treppenaufgängen (siehe Bild 10.19) müssen Beleuchtungsstärken von mindestens 100 Lux vorgesehen werden. Wie die Messwerte in Bild 10.20, demonstrieren liegt das Beleuchtungsniveau stets über 210 Lux. Die Anforderungen der Norm werden somit in diesen Bereichen erfüllt.

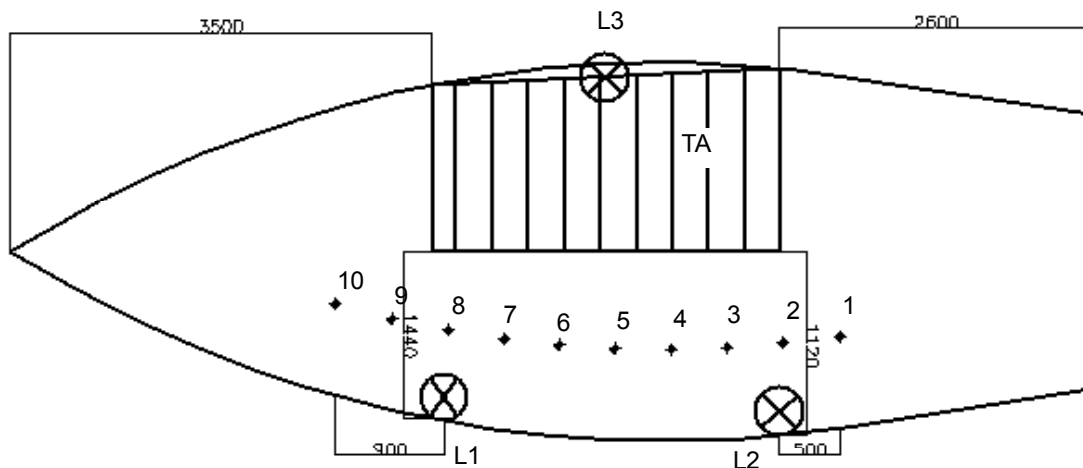


Bild 10.19: Grundriss des Flurs im 1. OG des Ostflügels. Die Messpositionen und die Positionen der Lampen sind eingezeichnet. Die Lampen L1 und L2 befinden sich in einer Höhe von 1,9 m über dem Boden. Die Lampe L3 befindet sich im Treppenaufgang auf Bodenhöhe.

Anhand des Büros C004, das an der Spitze des Südflügels im Erdgeschoss lokalisiert ist, wurde untersucht, welche Abhängigkeit zwischen dem Strombedarf für die künstliche Beleuchtung und der horizontalen Globalstrahlung besteht. Im folgenden Balkendiagramm ist der Strombedarf für Beleuchtung für verschiedene Strahlungsbänder mit einer Breite von 20 W/m² dargestellt.

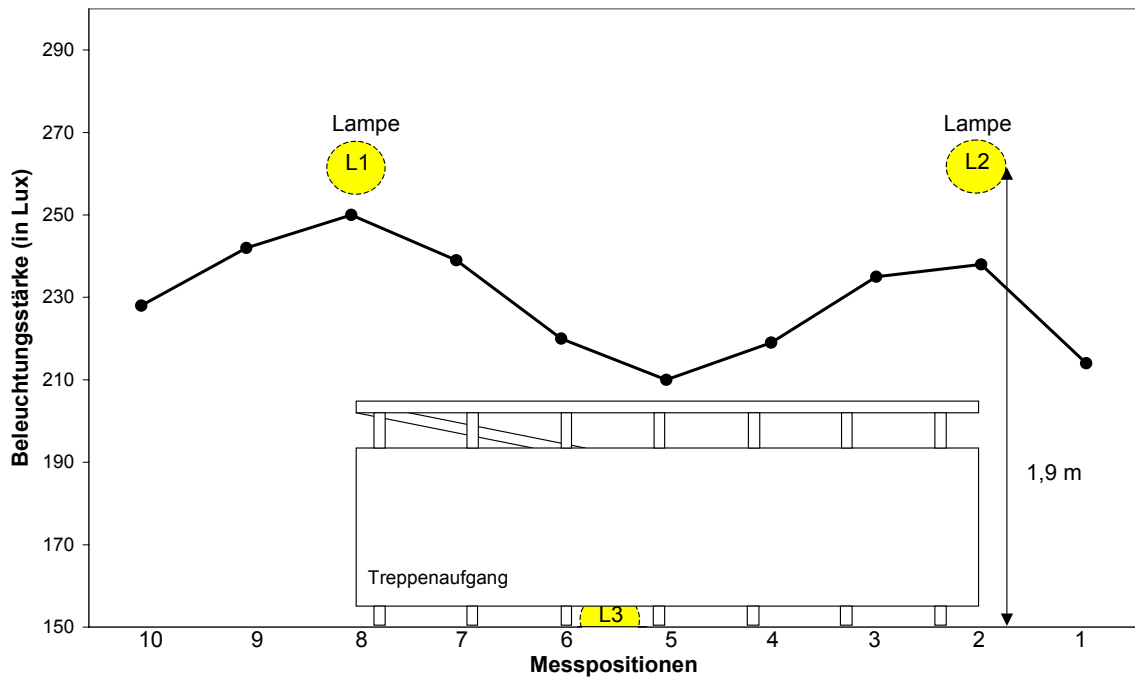


Bild 10.20: Verteilung der Beleuchtungsstärke entlang der Messpositionen 1–10 aus Bild 10.19. Die Position der künstlichen Beleuchtungseinrichtungen (L1, L2 und L3) ist gekennzeichnet. Die Messebene lag 2 cm über dem Flurboden.

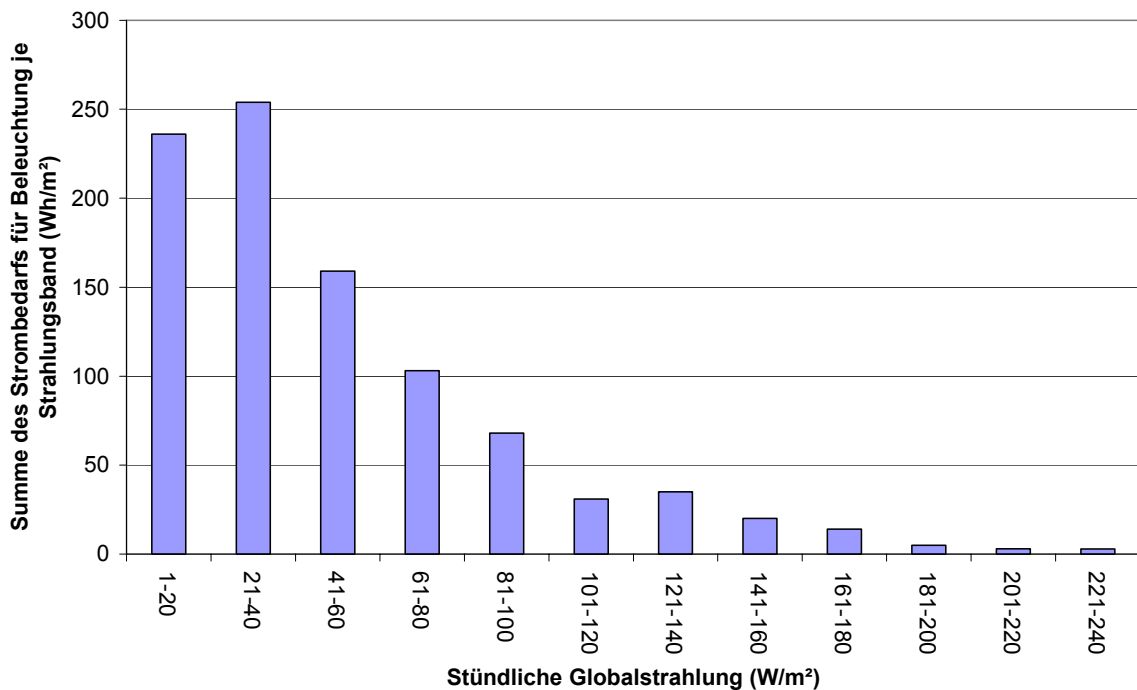


Bild 10.21: Summe des Strombedarfs für Beleuchtung innerhalb des jeweiligen solaren Strahlungsbandes (20 W/m²) im Raum C004 im Jahr 2004.

Aufgrund der fensternahen Anordnung der Arbeitsplätze besteht in den Büroräumen des Artur-Woll-Hauses ein gut erkennbarer funktionaler Zusammenhang zwischen dem Angebot an Globalstrahlung und dem Strombedarf für Beleuchtung. Ab ca. 180 W/m² Globalstrahlung betrug in 2004 der Strombedarf für Beleuchtung weniger als 11 Wh/(m²a).

10.7 Beleuchtungsniveaus der Büros bei externer Verschattung

Um die tageslichttechnischen Eigenschaften der Büroräume zu optimieren, wurden in den Büros externe Jalousien eingesetzt, die von unten nach oben schließen. Bei einsetzender Blendung der Nutzer können die Jalousien 2/3 nach oben zugefahren werden. Durch den unverschatteten obere Teil kann weiterhin Tageslicht in die tieferen Raumregionen gelangen. Beim Hochfahren sind die Lamellen der Jalousien so geneigt, dass die tiefer stehende Sonne in den Morgen- und Abendstunden ausgeblendet wird, dem Nutzer aber weiterhin der Blick ins Freie gewährt bleibt. Mit den Winkeln und Abmessungen aus Bild 10.22 lässt sich die für die Blendfreiheit der Nutzer erforderliche Lamellenneigung bestimmen. Mit der Annahme, dass alle Sonnenstrahlen mit einem Einstrahlwinkel δ von weniger als 10° ausgeblendet werden sollen, ergibt sich eine Lamellenneigung von 40°.

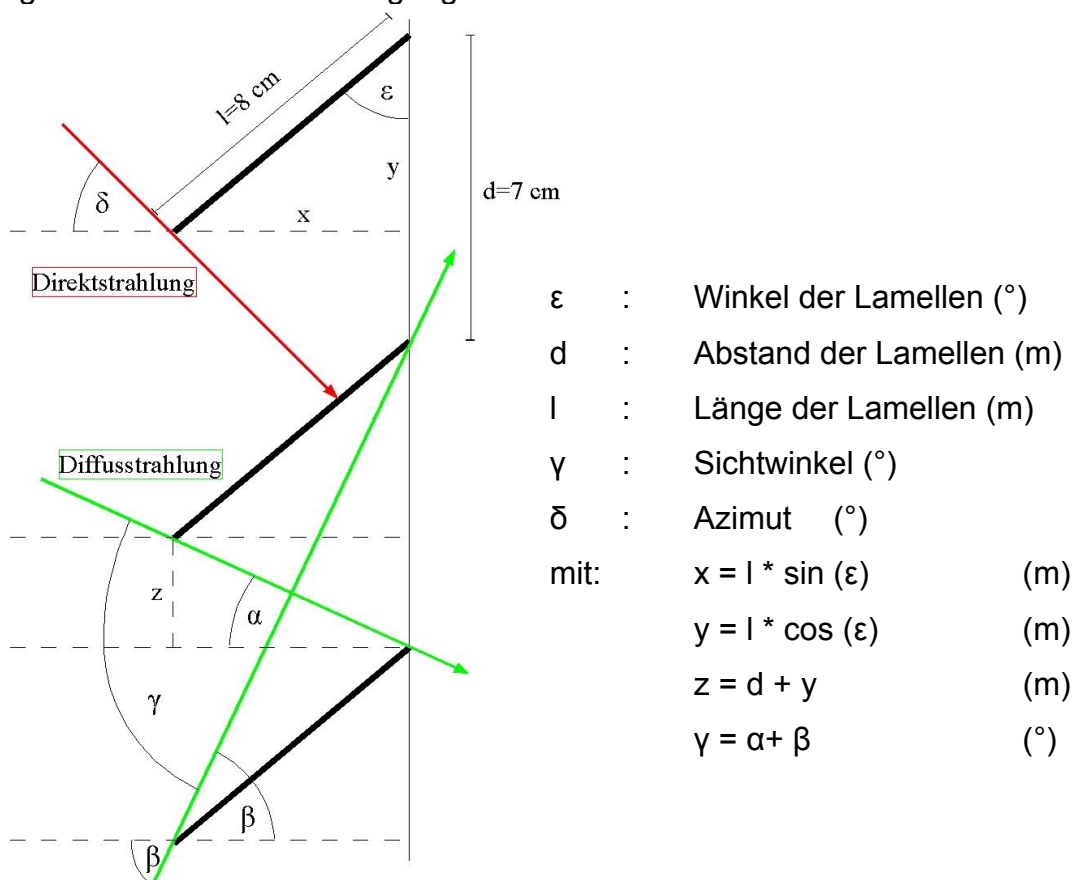


Bild 10.22: Lamellenstellung der externen Verschattungseinrichtung mit Angabe der Maße und Winkel [25] .

Ferner ergibt sich, dass bei einem zu 2/3 hochgefahrenem Sonnenschutz 2/3 der Direktstrahlung und gemäß folgender Beziehung [25]

$$\frac{I_{Dif, Jal}}{I_{Dif}} = \left(\frac{2}{3} \left(\frac{\gamma}{180^\circ} \right) + \frac{1}{3} \right)$$

38% der Diffusstrahlung ausgeblendet werden. Der Verschattungsgrad liegt somit je nach der Zusammensetzung der Globalstrahlung zwischen folgenden Werten:

und

$f_{Versch} = 0,66$	bei 100 % Direktstrahlung
$f_{Versch} = 0,38$	bei 100 % Diffusstrahlung.

Bei der vorliegenden Messung sollte nun untersucht werden, wie hoch die Beleuchtungsstärken in einem zu 2/3 verschatteten Büroraum sind. Die Höhe der Beleuchtungsstärke wurde entlang der Raumlängsachse gemessen. Der Abstand der Messpositionen untereinander betrug 0,5 m und der Abstand des ersten Messpunktes vom Fenster 0,1 m.

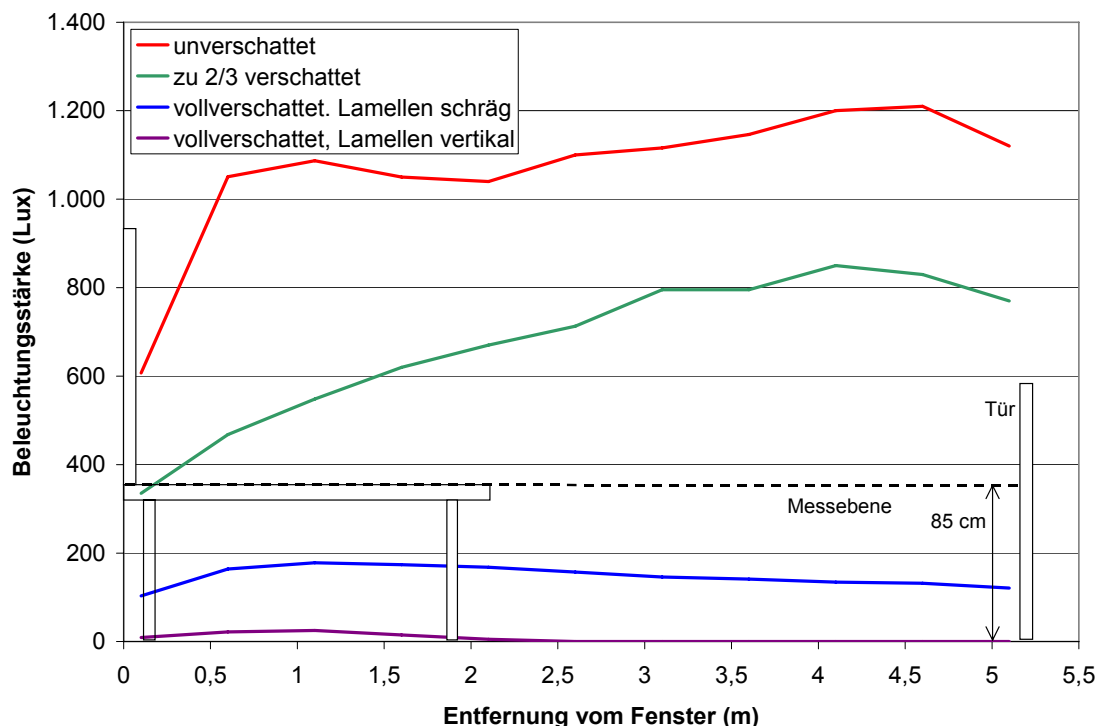


Bild 10.23: Beleuchtungsstärken im Raum B102 entlang der Raumlängsachse. Die Höhe der Messebene lag 0,85 m über dem Boden. In den Raum gelangte durch das Fenster direkte und diffuse Solarstrahlung. Die Messung wurde am 30.08.2005 um 7:45 Uhr durchgeführt.

Die Messergebnisse in Bild 10.23 zeigen, dass die durch das obere Drittel des Fensters in den Raum eindringenden Sonnenstrahlen bis tief in den Raum gelangen. Das Beleuchtungsniveau kann so über die komplette Raumtiefe auf einem mit zunehmender Raumtiefe ansteigenden Niveau gehalten werden. Die mittlere Beleuchtungsstärke im Raum beträgt 672 Lux, im Bereich der Arbeitsfläche 559 Lux. Im gesamten Raum werden die Anforderungen der DIN 5035, Teil 2 erfüllt. Für die Nutzer besteht somit keine Notwendigkeit, bei aktiviertem Blendschutz in 2/3 Stellung die künstliche Beleuchtung zu aktivieren. Eine Vollverschattung der Fenster würde eine deutlich zu geringe Beleuchtungsstärke im Raum erzeugen. Die künstliche Beleuchtung müsste eingeschaltet werden.

Während der Messung betrug die horizontale Globalstrahlung 106 W/m^2 bei nicht bedecktem Himmel (hoher Direktstrahlungsanteil). Die Messung fand morgens um 7:45 am 30. August 2005 statt. Die Sonne stand knapp über dem Horizont. Das Fenster des betrachteten Raums ist nach Osten orientiert.

10.8 Temperaturschichtung an den Büroarbeitsplätzen

Bei Gesprächen mit Nutzern wurde mehrmals die Beschwerde geäußert, dass bei niedrigen Außentemperaturen die einströmende kalte Luft vor den Deckensegeln am Fenster entlang nach unten fällt und hier zu unkomfortablen Bedingungen führt. Um diese Situation nachzustellen, wurden in einem der beanstandeten Büros über zwei Tage die Temperaturschichtungen zentral unterhalb des Deckensegels ermittelt (Positionen 0 bis 5 in Bild 10.24, sowie die Lufttemperaturen unmittelbar oberhalb und unterhalb des Deckensegels im Einströmbereich gemessen. Die Temperaturen wurden am 8. und 9. März 2004 aufgenommen, bei den für die einfache und doppelte Belegung typischen Lüftungsstufen 1 und 2. Die Messpositionen sind in Bild 10.24 und die Temperaturverläufe in Bild 10.25 abgebildet.

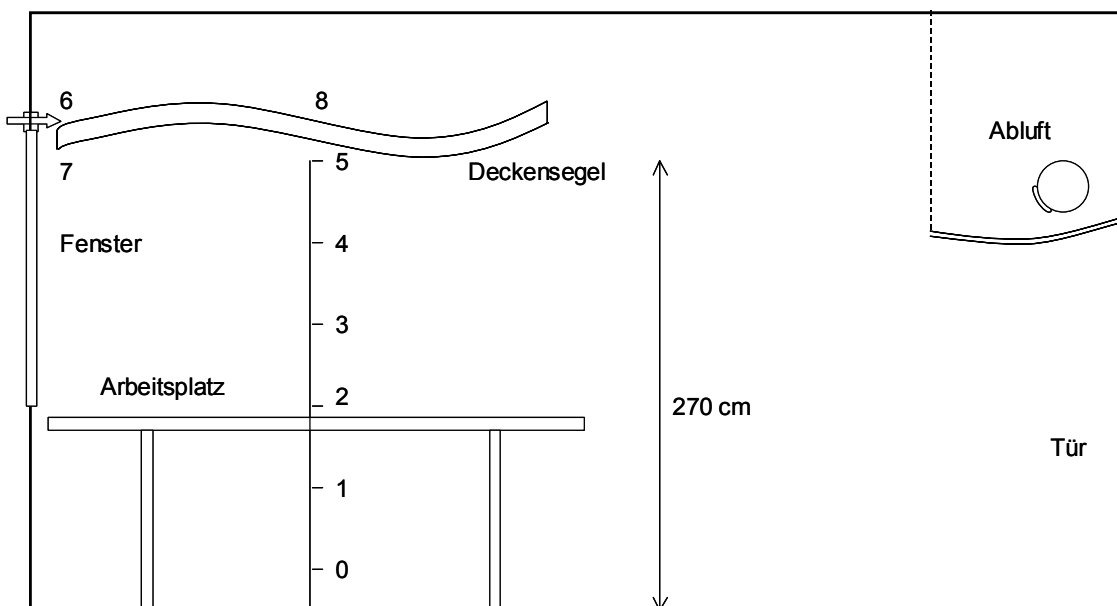


Bild 10.24: Schematische Ansicht des Büros B006. Die Messpositionen 0 – 8 sind markiert.

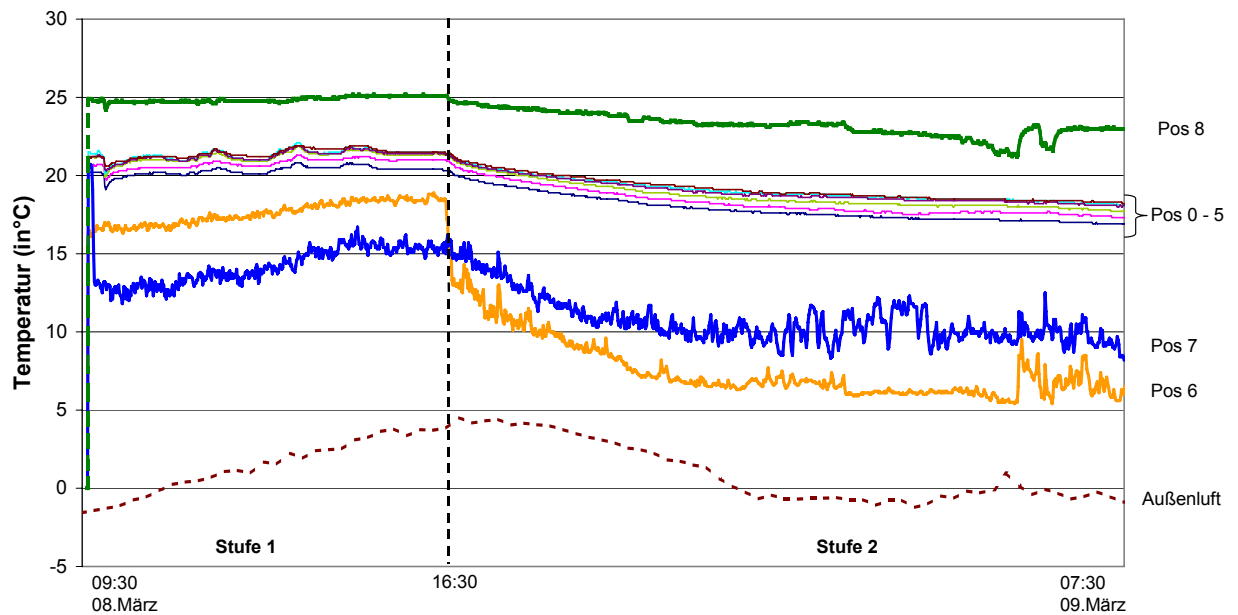


Bild 10.25: Temperaturverläufe der PT100 – Sensoren an den Messpositionen 0 – 8 gemäß Bild 10.24 und der Außenluft am 8. und 9. März 2004. Zu Beginn der Messreihe wurde die Lüftung auf Stufe 1 eingestellt. Nach 7 Stunden Messzeit wurde die Lüftungsstufe 2 aktiviert.

Wie aus den Temperaturverläufen an den Messpositionen 0 – 5 abzulesen ist, sind diese in ihrem Verlauf zueinander unabhängig von den Lüftungsstufen. Die Temperaturkurven knicken beim Aktivieren der Stufe 2 einheitlich nach unten ab. Das Deckensegel war in der Nacht vom 8. auf den 9. März 2004 ab 20.00 Uhr aufgrund der Nachtabenkung nicht mehr im Heizbetrieb. An den Messpositionen 6 und 7 ist eindeutig zu erkennen, dass während der Lüftungsstufe 1 die einströmende Luft vor dem Deckensegel nach unten fällt. Die Temperatur an der Position 7 liegt unterhalb derjenigen an der Position 6. Diese Situation kehrt sich beim Aktivieren der Stufe 2 um. Nun strömt die Frischluft auf das Deckensegel.

Zur Visualisierung der Luftströmungen wurden am 27.04.2004 zusätzlich Nebelversuche durchgeführt. Hierzu wurde im Büro des Hausmeisters im Erdgeschoss des Westflügels von außen in den Frischluftstrom Theaternebel zugegeben.



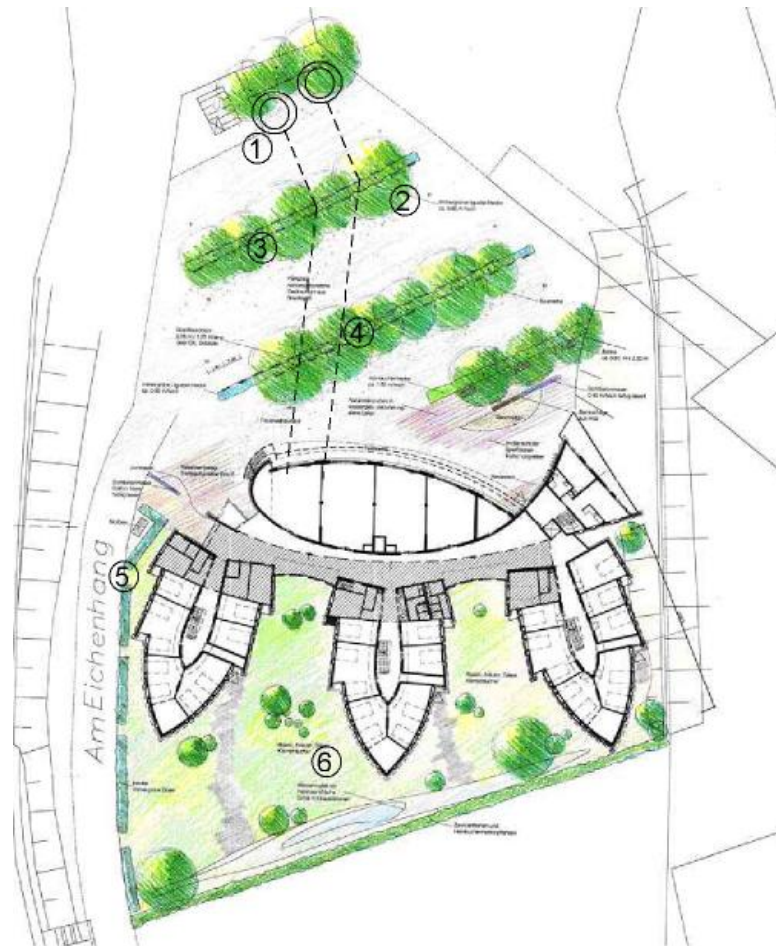
Bild 10.26: Der Nebelversuch wurde am 27.04.2004 zwischen 12:30 Uhr und 13:00 Uhr im Büro des Hausmeisters bei einer Innentemperatur von 24°C und einer Außentemperatur von 19,5°C durchgeführt. Die Photographien wurden beide ca. 5 sec nach Beginn der Nebelausbringung aufgenommen.

Der in den Raum bei Lüftungsstufe 1 einströmende Nebel wurde fotografiert. In Abbildung 10.26, die ca. 5 Sekunden nach Versuchsbeginn aufgenommen wurde, ist der am Fenster vor dem Deckensegel herabfallende Luftvolumenstrom deutlich zu erkennen. Die Ergebnisse des Nebelversuchs und der Temperaturmessung bestätigen die von einzelnen Nutzern ausgesprochenen Beschwerden, dass die Zuluft nicht auf die Deckensegel strömt, sondern vorher nach unten fällt und somit in Fensternähe zu unkomfortablen Bedingungen führt.

10.9 Radongehalt in der Zuluft aus dem Erdwärmetauscher

Aufgrund der geologischen Beschaffenheit und in der Vergangenheit stattgefundener intensiver bergmännischer Tätigkeiten im Siegener Stadtgebiet, weist der dort vorhandene Boden hohe Konzentrationen des Edelgases Radon auf. Das Gas steigt in Hohlräumen und Verwerfungen im Boden an die Oberfläche. Die Strahlenschutzkommission [22] hat am 24. Juni 2004 in einer Stellungnahme zur Auswertung von Gesundheitsstudien zum Radon anlässlich einer gerade fertiggestellten deutschen Studie festgestellt, dass ab einer Radonkonzentration von 150 Bq/m³ Wohnraumluft ein zusätzliches radonbedingtes Lungenkrebsrisiko statistisch signifikant nachweisbar ist. Bisher empfahl die Strahlenschutzkommission lediglich einen maximal tolerierbaren Grenzwert an Arbeitsplätzen von 250 Bq/m³. Die Messungen der Radonkonzentration der Zuluft aus dem EWT des Artur-Woll-Hauses wurden mit dem mobilen Radonmessgerät Atmos 12D der Firma Genitron Instruments [23] durchgeführt. Zu Baubeginn wurde der Radongehalt der Bodenluft entlang des geplanten Erdwär-

metauschers gemessen. Hierbei kam eine Erdlanze mit einer Länge von 1 m zum Einsatz. Die Positionen der Messtellen sind in Bild 10.27 eingezeichnet. In Tabelle 10.5 sind die Messergebnisse aufgeführt.



① Messpunkte

Bild 10.27 Lageplan der Messstellen der Radonmessung der Bodenluft am 13.01.2001 auf dem Baugelände des Artur-Woll-Hauses.

Messpunkte	Mittelwerte (Bq/m ³)
1	3.470
2	283
3	23.130
4	33.050
5	15.623
6	5.263

Tabelle 10.5 Radonkonzentrationen der Bodenluft an den in Bild 10.27 aufgeführten Messpositionen.

Aufgrund dieser hohen Konzentrationen in der Bodenluft wurde entschieden, auch während des Betriebs des Gebäudes regelmäßige Messungen des Radongehalts der Zuluft aus dem Erdwärmetauscher durchzuführen. Diese Messungen wurden erstmals im Zeitraum vom 29.07. – 9.08.2004 durchgeführt. Der Konzentrationsverlauf ist in Bild 10.28 dargestellt.

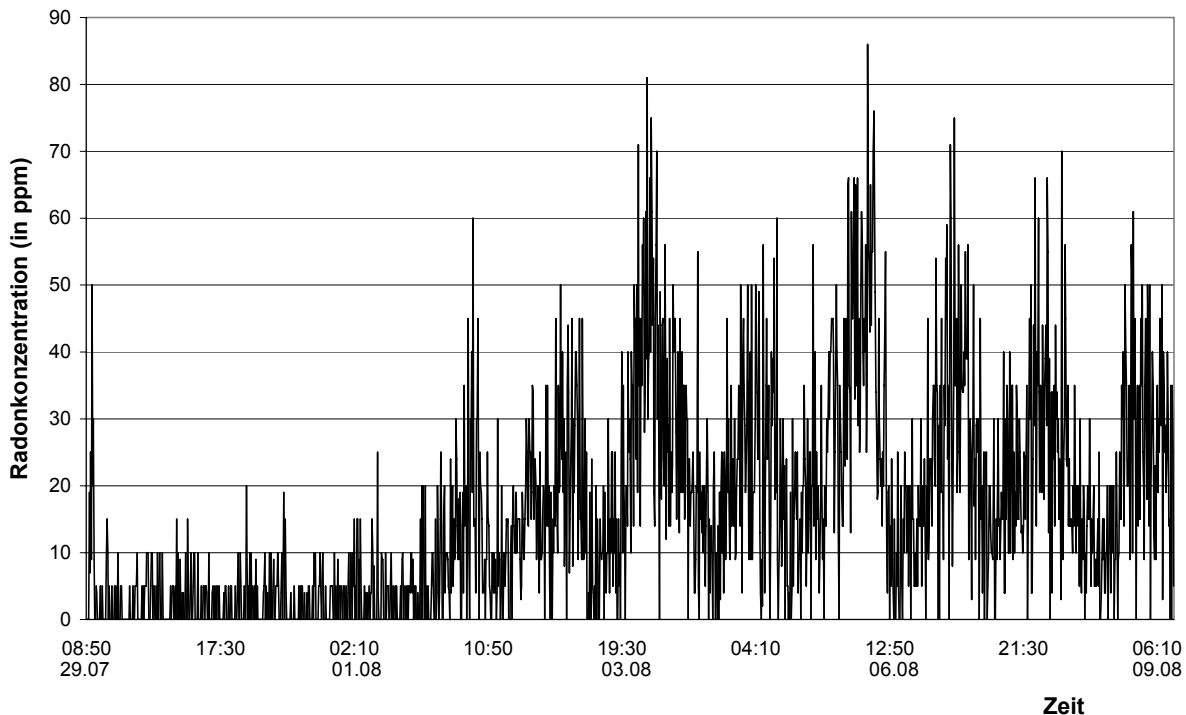


Bild 10.28: Kurvenverlauf der Radonkonzentration der Luft im Einlassbauwerk nach dem Erdwärmetauscher im Messzeitraum vom 29.07. bis zum 9.08.2004. Innerhalb der ersten fünf Messtage wurde permanent Luft aus dem Erdwärmetauscher entnommen. Während der restlichen Messdauer nur tagsüber.

Die mittlere Radonkonzentration in der Messperiode betrug 16 Bq/m^3 und der Maximalwert lag bei 86 Bq/m^3 . Innerhalb der ersten fünf Messtage wurde permanent Luft aus dem Erdwärmetauscher entnommen. In dieser Zeit lag die Radonkonzentration stets unter 20 Bq/m^3 . Während der restlichen Messdauer war der Erdwärmetauscher nur tagsüber im Betrieb. In denjenigen Phasen, in welchen er nicht in Betrieb war, stieg die Radonkonzentration in der stehenden Luftmenge stetig an. Während der Betriebsstunden am Tag wird nun diese Luftmenge mit einer erhöhten Radonkonzentration ins Gebäude befördert. Mit zunehmender Betriebszeit nimmt die Konzentration wieder auf Werte unter 20 Bq/m^3 ab. Alle gemessenen Werte liegen jedoch sowohl unterhalb der bisher gültigen Empfehlung für Arbeitsplätze, als auch unter dem von der Strahlenschutzkommission statistisch ermittelten Grenzwert, unterhalb dessen keine Erhöhung des Risikos für Lungenkrebs festgestellt werden konnte.

10.10 CO₂-Gehalt als Indikator für die Raumluftqualität

Die Messung des CO₂-Gehalts der Raumluft hat sich als ein guter Indikator für die Qualität der Raumluft in Aufenthaltsräumen etabliert, in welchen nicht geraucht wird. Die DIN EN 13779 [24] und mitgeltende Normen teilen die Raumluftqualität in vier Klassen gemäß Tabelle 10.6 ein.

Klasse	Beschreibung	Erhöhung des CO ₂ -Gehalts gegenüber dem CO ₂ -Gehalt der Außenluft (ppm)	Außenluftvolumenstrom je Person (m ³ /h)
RAL 1	Spezielle Raumluftqualität	≤ 400	> 54
RAL 2	Hohe Raumluftqualität	400 - 600	36 - 54
RAL 3	Mittlere Raumluftqualität	600 – 1.000	22 - 36
RAL 4	Niedrige Raumluftqualität	> 1.000	< 22

Tabelle 10.6 Klassierung der Raumluftqualität nach dem CO₂-Gehalt und Angabe des erforderlichen Außenluftvolumenstroms pro Person.

Um eine hohe Raumluftqualität zu erreichen, ist somit ein Mindestaußenluftvolumenstrom von 36 m³/h je Person erforderlich. Die Planungsvorgaben schreiben für die Büroräume einen Frischluftvolumenstrom von 45 m³/h je Person vor. Somit sollte der CO₂-Gehalt in den Büroräumen maximal 600 ppm über dem der Außenluftkonzentration liegen.

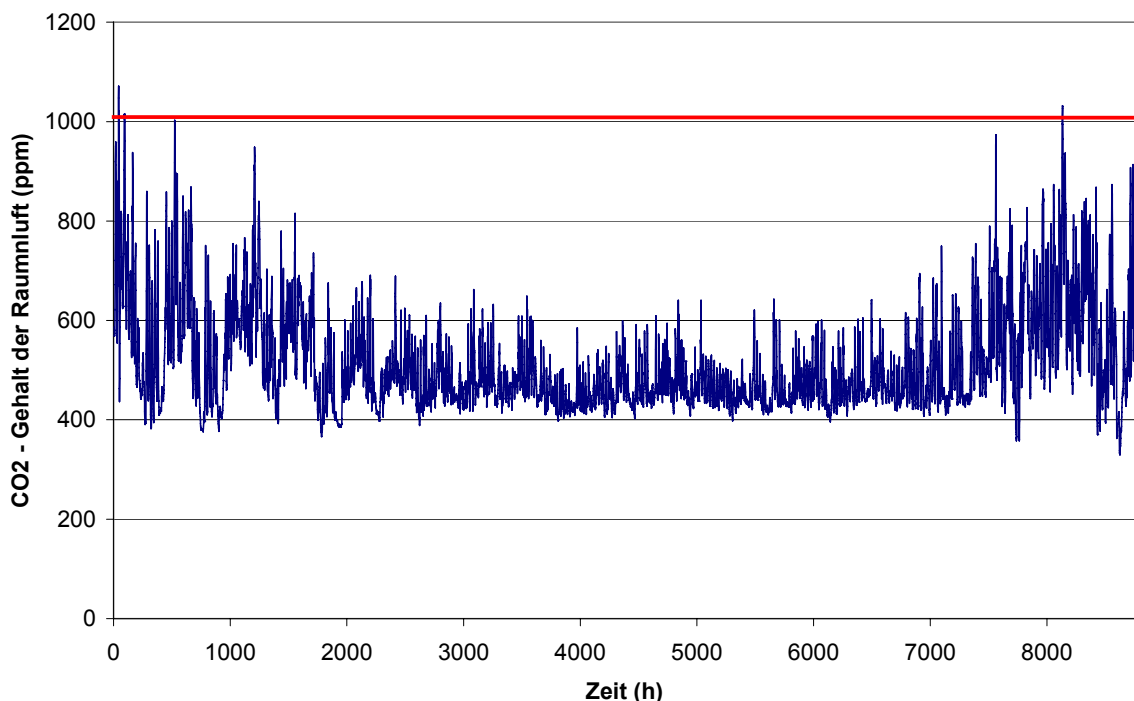


Bild 10.29: Stündlicher Verlauf des CO₂-Gehalts der Raumluft des Büros C004 für das Jahr 2004. Die rote Linie markiert einen anderweitig festgelegten Grenzwert von 1010 ppm, der aus Gründen des thermischen Komforts nicht überschritten werden sollte.

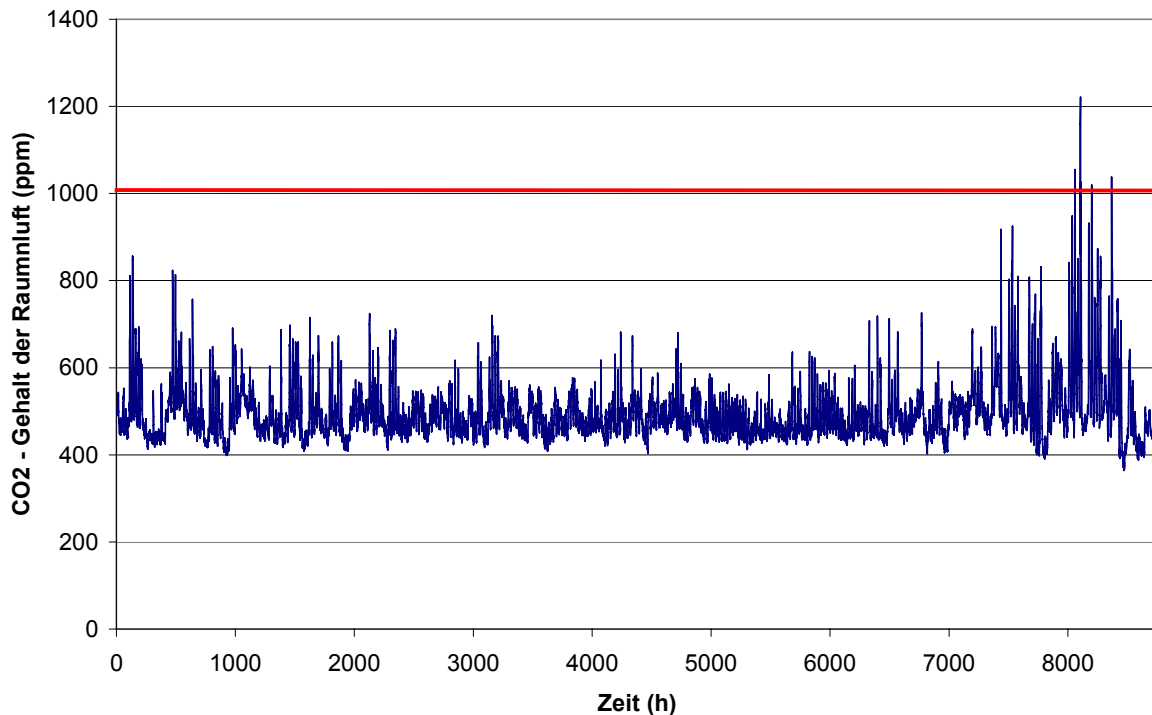


Bild 10.30: Stündlicher Verlauf des CO₂-Gehalts der Raumluft im Büro C202 für das Jahr 2004. Die rote Linie markiert den Grenzwert von 1010 ppm.

Die beiden folgenden Diagramme zeigen den Verlauf des CO₂-Gehalts in den Büros C004 und C202 während des Jahres 2004. Die Verläufe der Jahre 2003 und 2005 sind im Anhang Abschnitt 14.5 aufgeführt. Da der CO₂-Gehalt der Außenluft nicht gemessen wurde, wird davon ausgegangen, dass der CO₂-Gehalt, der sich in den Büros während der Nachtlüftung im Sommer einstellt, als Mittelwert der Konzentration für die Außenluft angesetzt werden kann. Dieser beträgt für beide Räume rund 410 ppm. Addiert man zu diesem Basiswert den aus Tabelle 10.6 entnommenen Wert für die Klasse RAL 2 von 600 ppm ergibt sich der Grenzwert von 1010 ppm. Diese Grenze ist als rote Linie in den beiden Diagrammen eingezeichnet. Der CO₂-Gehalt der Raumluft in den beiden untersuchten Büros liegt bis auf wenige kurze Perioden deutlich unterhalb des in der Norm festgelegten Grenzwertes für Räume mit hoher Luftqualität. Die Raumluft kann somit in die Klasse RAL2 eingeordnet werden. Betrachtet man weiterhin die Belegungsdichten (Bild 10.31 und Bild 10.32), die für beide Räume eine kontinuierliche Belegungen zeigen, kann gefolgert werden, dass die Aussage, die hier getroffen wurde, auch auf die übrigen Büroräume übertragen werden kann.

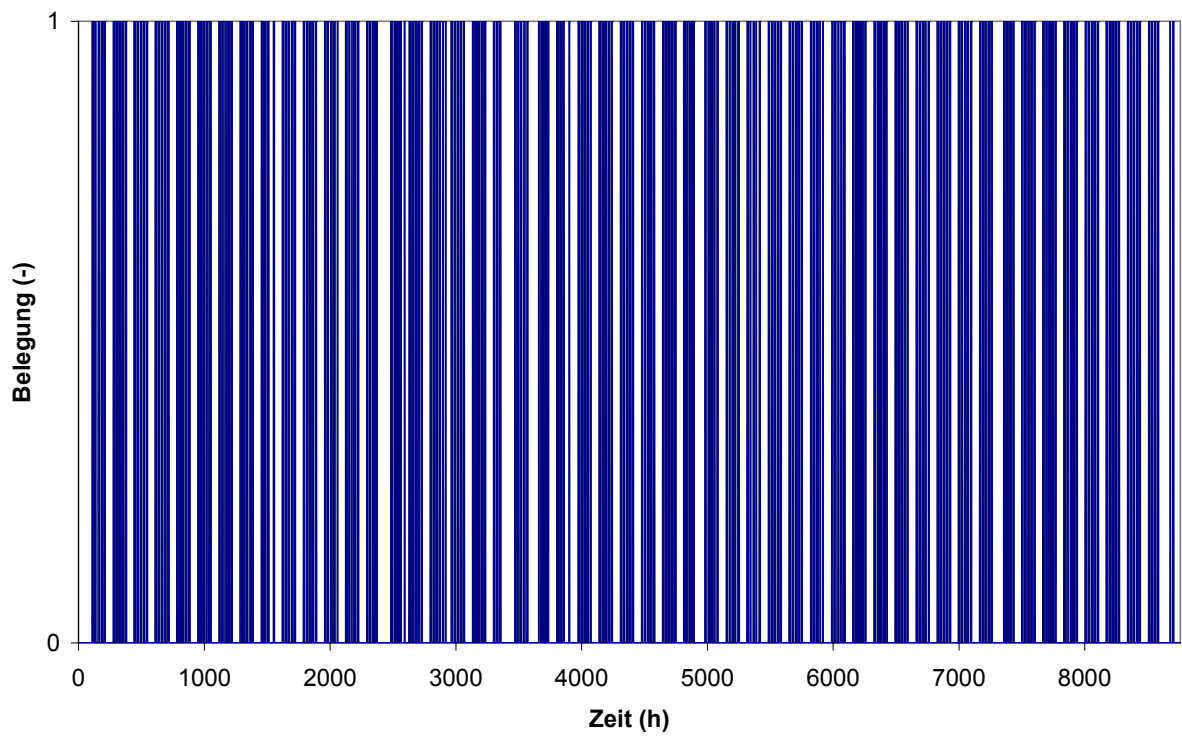


Bild 10.31: Stündliche Belegung des Büros C004 im Jahr 2004 (0=Nicht belegt, 1=belegt).

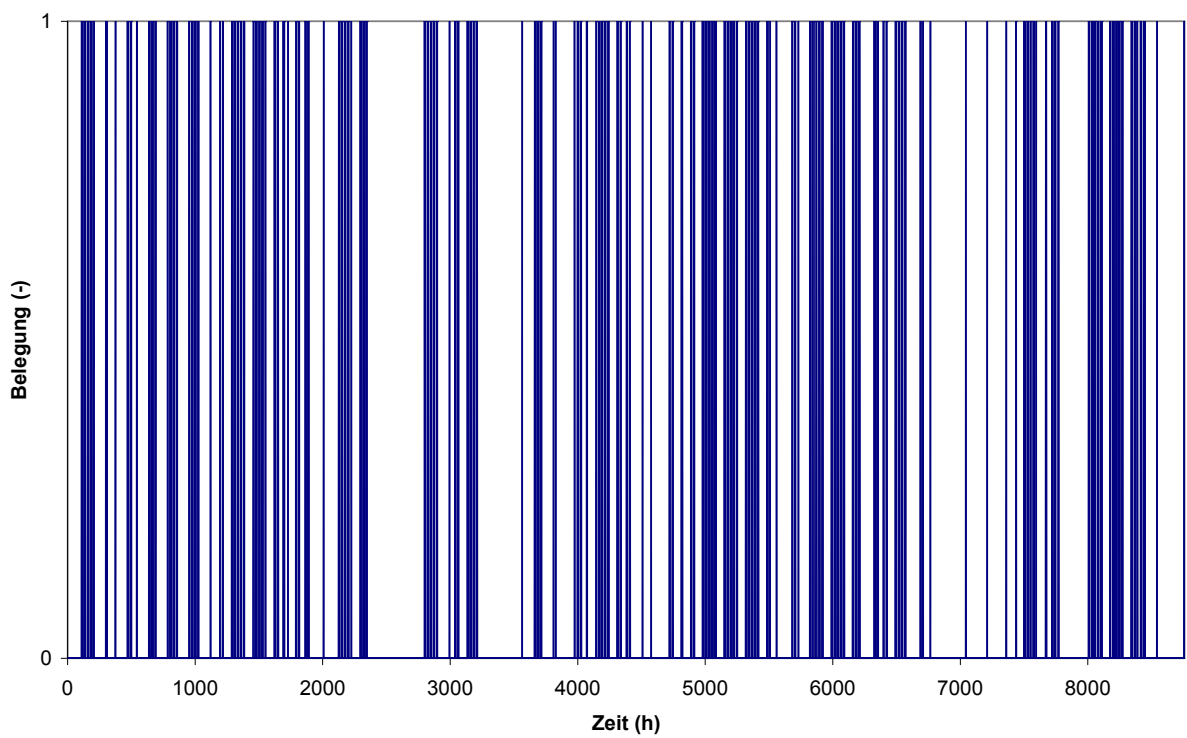


Bild 10.32: Stündliche Belegung des Büros C202 im Jahr 2004 (0=Nicht belegt, 1=belegt).

11 Nutzerbefragungen

Neben der Protokollierung der Messdaten und der Ermittlung von Kennwerten stellt die Beurteilung des Gebäudes durch die Nutzer eine wichtige Informationsquelle zur Evaluation des Gebäudes dar. Zu diesem Zwecke wurden vom Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie zwei Nutzerbefragungen durchgeführt. Die Erste im Anschluss an den Sommer 2003 und die Zweite im Anschluss an den Winter 2004.

11.1 Befragung über die Periode „Sommer 2003“.

Die hierfür erstellte Fragenkatalog ist im Anhang Abschnitt 14.6 angefügt und umfasste folgende Themenbereiche:

- Allgemeines,
- Thermische Behaglichkeit,
- Lüftung,
- Beleuchtung,
- Akustik,
- Beurteilung des Gesamtgebäudes.

Anzahl der verteilten Fragebögen:	64
Anzahl der ausgefüllten Fragebögen:	53

Die Auswertung der Fragebögen ergab folgende Ergebnisse:

Allgemeines

- 73,5 % der Befragten arbeiten seit 6 bis 12 Monaten in dem Gebäude. Die Arbeitsplätze der Befragten waren gleichmäßig im Gebäude verteilt.
- 64 % sind männlich, wovon 62 % jünger als 35 Jahre sind. Die weiblichen Befragten sind zu 74 % jünger als 35 Jahre.
- In 90,5 % der Büros wird nicht geraucht.
- Die Tätigkeiten der Befragten gliedern sich in 60 % Bildschirmarbeit, 24 % Schreibtischarbeit und 16 % Besprechungen.
- 64 % der Befragten arbeiten 7 bis 10 Stunden pro Tag an ihrem Arbeitsplatz, nur 17 % weniger als 4 Stunden.
- 64 % geben an, am Energieverbrauch des Gebäudes interessiert zu sein.
- Zu 79% wird die Arbeit in Mehrpersonenbüros erledigt. Dem gegenüber stehen 15% Tätigkeit in Einzelbüros und 13% der Nutzer arbeiten in mehreren Räumen.
- In den Büros befinden sich im Durchschnitt 2,2 PCs, 0,7 Röhrenmonitore, 1,5 LCD-Bildschirme, 0,8 Drucker, 0,2 Faxgeräte, 0,5 Scanner und 1,5 Telefone.

- PCs werden von 9 % der Befragten Tag und Nacht betrieben, von 66 % nur tagsüber. 7 % gaben an, dass sie den PC häufig benutzen,
- Mit 90% befinden sich die meisten Arbeitsplätze nahe am Fenster, während nur 10% 2 bis 4 Meter vom Fenster entfernt sind.
- 79 % sitzen seitlich zum Fenster, 23 % frontal davor und 17 % mit dem Rücken zum Fenster.
- 45 % gaben an, gar nicht mit dem Gebäude und der haustechnischen Anlage vertraut gemacht worden zu sein, 28 % durch eine schriftliche Erläuterung und 27% durch ein persönliches Gespräch.
- 53 % bezeichnen ihren Informationsstand über das Gebäude und seine haustechnischen Anlagen als eher schlecht oder schlecht. 32 % bezeichneten ihn als mittelmäßig und nur 8% als eher gut oder gut.
- 60% der Befragten möchten noch mehr über das Gebäude und die haustechnischen Anlagen erfahren.

Thermischer Komfort

- An normalen Sommertagen beurteilen 53 % die Temperaturen als angenehm, 17 % als zu warm. 9 % empfinden die Temperaturen als schwankend.
- Bei sehr heißen Sommertagen empfinden 66 % die Temperaturen an Ihrem Arbeitsplatz für eher zu warm oder zu warm und 23 % als angenehm. 7,5 % beurteilen die Temperaturen als schwankend.
- 60% der Befragten gaben an, dass ihnen an keinem anderen Ort im Gebäude thermisch unbehaglich ist.
- 57% geben an, dass sie es bevorzugen würden, wenn das Gebäude über eine Klimaanlage verfügen würde.

Lüftung

- An Ihrem Arbeitsplatz beurteilen 28 % die Luftqualität als angenehm, 38 % als eher gut oder gut und 34 % als eher schlecht oder schlecht.
- 47 % verspüren keine störenden Zugerscheinungen an ihrem Arbeitsplatz, 36 % verspüren diese manchmal und 15 % oft.
- 69% verspüren keine störenden Zugerscheinungen an anderen Stellen des Gebäudes, 23 % manchmal und nur 8 % oft.
- Störende Gerüche aus der Lüftungsanlage bemängeln 22% der Befragten.
- 73 % geben an, die Lüftungsanlage nicht zu ihrer Zufriedenheit regeln zu können.
- 27 % sind mit den Regelungsmöglichkeiten zufrieden, davon wünschen sich allerdings 14 % bessere Einstellmöglichkeiten.

- 63% sind mit den Öffnungsmöglichkeiten der Fenster zufrieden.
- 60 % öffnen das Fenster häufig bis sehr häufig.
- 73 % öffnen die Fenster aufgrund schlechter Raumluftqualität, 41% wegen zu hoher Temperaturen, 9 % aufgrund des besseren Kontakts zur Umgebung und 32 % aufgrund sonstiger Unbehaglichkeiten.
- Bei 72 % ist die Tür ihres Büroraumes während der Nutzung zum Flur hin häufig bis sehr häufig geöffnet. 60 % tun dies wegen des Kontaktes zu Kollegen, 34 % aufgrund der schlechten Luft, 21 % wegen zu hoher Temperaturen und 34 % wegen des Arbeitsablaufs.

Beleuchtung

- 42 % empfinden die Tageslicht-Beleuchtung als eher gut bis gut, 38 % als eher schlecht bis schlecht. 20 % beurteilen sie als mittelmäßig.
- 44 % empfinden die Kunstlicht-Beleuchtung als eher gut bis gut, 38 % als eher schlecht bis schlecht. 18 % beurteilen sie als mittelmäßig.
- Tageslicht bevorzugen 51 % der Befragten und 45 % wünschen eine Kombination Tages- und Kunstlicht.
- 37 % der Befragten geben an, dass sie nicht durch von diffuser Himmelsstrahlung erzeugte Blenderscheinungen gestört werden. 26 % werden gelegentlich davon gestört, 6 % häufig.
- 41% der Befragten geben an, dass sie nicht durch die von direkter Sonnenstrahlung hervorgerufenen Blenderscheinungen gestört werden. 36 % werden gelegentlich davon gestört, 41% häufig.
- 39 % geben an, dass die Beleuchtung durch das Tageslicht Reflexionen auf Ihrem Arbeitsmaterial erzeugt. Nur 5 % geben hierfür die Deckenbeleuchtung als Grund an.
- Eine Tischleuchte benutzen 23% und eine andere Zusatzbeleuchtung lediglich 8%.
- 38 % beurteilen die visuelle / optische Qualität Ihres Arbeitsplatzes als hell, 37 % als unregelmäßig beleuchtet, 15 % als dunkel. Ebenfalls 15 % empfinden die Farbgestaltung als gut, 4 % als unbefriedigend.
- 46 % beurteilen die Sicht ohne Sonnenschutz als eher gut oder gut, 28 % als eher schlecht oder schlecht.
- Mit Sonnenschutz beurteilen 8 % die Sicht als eher gut oder gut, 72 % als eher schlecht oder schlecht.
- 84 % beurteilen die Größe ihrer Fenster als gerade richtig, nur 14 % als zu klein.
- Auf die Frage nach den Vorteilen eines Fensters nannten die Befragten am häufigsten die Versorgung mit frischer Luft, das Eindringen von Sonnenlicht und den Ausblick.

- Auf die Frage nach den Nachteilen eines Fensters nannten die Befragten am häufigsten, dass diese zu viel Hitze im Sommer hereinlassen, zu viel Sonnenlicht eindringen lassen und dass sie Blendung erzeugen.

Akustik

- 48 % fühlen sich an ihrem Büro-Arbeitsplatz durch die Anwesenheit von Personen, die zusammen mit ihnen im gleichen Raum arbeiten, manchmal akustisch gestört, 27 % nie und 12 % häufig oder immer.
- 90 % fühlen sich selten oder nie an ihrem Büro-Arbeitsplatz durch Geräusche aus den Nachbarräumen akustisch gestört.
- 96 % geben an, dass sie Gesprächsinhalte aus den Nachbarräumen an ihrem Arbeitsplatz bei geschlossenen Türen und Fenstern nur schwach oder nie verstehen.
- 94 % geben an, dass sie Gesprächsinhalte aus dem Flur bei geschlossener Bürotür kaum oder gar nicht verstehen können.
- 96 % können auf dem Flur Gesprächsinhalte aus den Büros bei geschlossenen Türen kaum oder gar nicht verstehen.
- 98 % geben an, sich an ihrem Arbeitsplatz durch Trittschallgeräusche aus den Räumen neben, über oder unter ihnen akustisch nie oder höchstens gelegentlich gestört zu fühlen.
- 92 % fühlen Sie sich an ihrem Arbeitsplatz bei geschlossenen Fenstern durch Geräusche von draußen akustisch nie oder höchstens gelegentlich gestört.
- 45 % fühlen sich von der Lüftung gestört, 8 % von der Heizung, 21 % von ihrem Rechner.

Beurteilung des Gesamtgebäudes

- 79 % beurteilen den optischen Eindruck des Gebäudes als eher gut oder gut, nur 6 % als eher schlecht oder schlecht.
- Auf die Frage, wie die Befragten mit bestimmten Teilbereichen des Gebäudes zufrieden sind, gaben die meisten an, dass sie mit der Raumaufteilung und mit den Außenanlagen unzufrieden sind. Eher positiv wurden der Ausstellungsbereich und die Innenausstattung der Räume beurteilt.

11.2 Befragung über die Periode „Winter 2004“.

Der hierfür von uns erstellte Fragenkatalog ist im Abschnitt 14.7 des Anhangs beige-fügt und umfasst folgende Themenbereiche:

- Allgemeines,
- Thermische Behaglichkeit,
- Lüftung,
- Beleuchtung.

Anzahl der verteilten Fragebögen: 54
Anzahl der ausgefüllten Fragebögen: 39

Die Auswertung der Fragebögen ergab folgende Ergebnisse:

Allgemeines

- 89 % der Befragten arbeiten seit mehr als 6 Monaten im Gebäude, 45 % länger als 12 Monate.
- 67 % sind männlich, davon 77 % jünger als 35 Jahre. 82 % der Frauen sind jünger als 35 Jahre.
- 87 % geben an, dass sie in den Büros nicht rauchen.
- Die Tätigkeiten in Relation zur Gesamtarbeitszeit werden wie folgt angegeben: 62 % Bildschirmarbeit, 26 % Schreibtischarbeit und 12 % Besprechungen.
- 7 % der Befragten sind vollbeschäftigt, nur 11 % verfügen über weniger als eine halbe Arbeitsstelle.
- 69 % geben an, am Energieverbrauch des Gebäudes interessiert zu sein.
- 40 % haben ihr Büro im EG, 20 % im 1. OG und 38 % im 2.OG.
- 44 % der Befragten arbeiten im Gebäudeteil D, 28 % im Gebäudeteil C, 20 % im Gebäudeteil B und 8 % im Gebäudeteil A.
- 82 % arbeiten in Gruppenbüros, 18 % in Einzelbüros.
- Die am häufigsten verwendeten elektrischen Geräte in den Büros sind folgende: Computer (2,6 je Büro), LCD-Bildschirme (1,5 je Büro) und Telefone (1,6 je Büro).
- 89 % der Befragten geben an, dass ihr Informationsstand von den haustechnischen Anlagen mittelmäßig bis schlecht ist.
- 64 % würden gerne mehr über das Gebäude erfahren.

Thermischer Komfort

- 74 % der Befragten bewerten die thermische Behaglichkeit an ihrem Arbeitsplatz an "normalen" Wintertagen als angenehm bis zu warm.
- 67 % bewerten die thermische Behaglichkeit an ihrem Büroarbeitsplatz an sehr kalten Wintertagen mit angenehm bis zu kalt.
- 54 % beantworten die Frage, ob ihnen an Orten außerhalb Ihres Büros thermisch unbehaglich ist, mit ja.
- 49 % verspüren Zugscheinungen an ihrem Arbeitsplatz. 59 % hiervon gaben an, dass sie in Fensternähe Zugscheinungen verspüren (18 % in der Raummitte und 15 % im Bereich der Tür).
- Auf die Frage, wann sie die Zugscheinungen bemerkten, gaben 61 % an, während die Lüftungsstufe 1 aktiviert ist und/oder wenn die Bürotür offen steht. 30 % brachten die Zugscheinungen mit den Außentemperaturen in Verbindung, 30% empfanden diese unabhängig davon.
- 64 % der Befragten empfinden außerhalb ihres Büros keine störenden Zugscheinungen.
- 78 % empfinden die Temperaturverteilung an ihrem Arbeitsplatz als homogen.
- 48 % empfinden die Temperaturen an ihrem Arbeitsplatz an sonnigen Wintertagen als warm bis zu warm.
- 85 % geben an, dass sie die Fenster öffnen, wenn ihnen zu warm ist.
- 94 % bedienen den Drehregler neben den Bürotüren, um die Heiztemperatur zu erhöhen, wenn ihnen zu kalt ist, nur 6% verwenden eine Zusatzheizung (z.B. elektr. Heizstrahler).

Belüftung

- 41 % empfinden die Luftqualität als schlecht bis sehr schlecht.
- 89% der Befragten werden nicht durch Gerüche aus der Lüftungsanlage gestört.
- 48% geben an, dass sie die Fenster in ihrer Bürofassade nicht ausreichend öffnen können. Von dieser Personengruppe hätten 89 % gerne die Gelegenheit, die Fenster ausreichend öffnen zu können.
- 69 % öffnen ihre Bürofenster häufig bis sehr häufig. 82 % begründen dies mit schlechter Raumlufqualität, 50 % mit zu hohen Temperaturen, 16 % aufgrund des Kontaktes zur Umgebung und 26 % geben sonstige Behaglichkeitsgründe an.
- 77 % lassen die Bürotür häufig bis sehr häufig offen stehen. 62 % begründen dies mit dem besseren Kontakt zu Kollegen, 40 % mit schlechter Luft, 30 % mit zu hohen Temperaturen und 46 % damit, dass dieses für den Arbeitsablauf notwendig sei.

Beleuchtung

- 28 % bewerten die Tageslichtqualität, 25 % die Kunstlichtversorgung in den Büros als schlecht bis zu schlecht.
- 64 % der Befragten bevorzugen Tageslicht als primäre Beleuchtung, 33 % eine Kombination aus Kunst- und Tageslicht.
- 20 % benutzen eine Tischleuchte als Zusatzbeleuchtung. Sonstige Zusatzbeleuchtungen werden nicht benutzt (Stehlampe, etc.).
- 47 % der Befragten geben an, dass sie nicht durch die von diffuser Himmelsstrahlung erzeugten Blenderscheinungen gestört werden. 21 % werden gelegentlich davon gestört, 15 % häufig.
- 47 % der Befragten geben an, dass sie durch die von direkter Sonnenstrahlung hervorgerufenen Blenderscheinungen gestört werden. 29 % werden gelegentlich davon gestört, 23% häufig.
- 41 % geben an, dass die Beleuchtung durch das Tageslicht Reflexionen auf ihrem Arbeitsmaterial erzeugt. Nur 5 % geben hierfür die Deckenbeleuchtung als Grund an.
- 59 % beurteilen die optische Qualität ihres Arbeitsplatzes als hell und 33 % als unregelmäßig beleuchtet. 15 % empfinden ihren Arbeitsplatz als zu dunkel. 18 % empfinden die Farbgestaltung an ihrem Arbeitsplatz als gelungen, 13 % als unbefriedigend.
- 94 % der Befragten sind mit der automatischen Regelung unzufrieden.

- 33 % geben an, dass die Jalousienautomatik unzuverlässig funktioniert. 41 % bemängeln, dass die Jalousien nicht weit genug nach oben fahren. 5 % geben an, dass die Automatik gar nicht funktioniert.
- 55 % sind mit der manuellen Regelungsmöglichkeit für die Sonnenschutzrichtung unzufrieden.
- 66% sind mit der Blendschutzwirkung der Sonnenschutzrichtung unzufrieden.
- 89 % sind mit der Größe ihrer Bürofenster zufrieden.

Zusammenfassung

Insgesamt wurden 2 Befragungen durchgeführt, die erste im Anschluss an den Sommer 2003 und die zweite nach dem Winter 2004. Hierzu wurden im Sommer 53 und im Winter 39 Nutzer befragt. Hinsichtlich des thermischen Komforts ergab die Auswertung der Fragebögen, dass über die Hälfte der Nutzer die Temperaturen in den Büroräumen an normalen Sommertagen als angenehm empfunden haben. Lediglich während der sehr heißen Sommertage empfanden 66% der Befragten die Räume als zu warm. Im Winter gaben 59 % der Nutzer an im Bereich der Fenster Zugscheinungen zu verspüren.

Eine gute Tageslichtversorgung der Arbeitsplätze halten 64 % der Befragten für wichtig. 38 % beurteilen die Versorgung mit Tageslicht im Sommer als schlecht. Im Winter waren dies lediglich 28 %.

12 Veröffentlichungen

Innerhalb der Projektlaufzeit

Müller, M. und Heidt, F.D.: Das solar optimierte Mehrzweckgebäude an der Universität Siegen. Tagungsband des 14. Symposiums Thermische Solarenergie, 12.-14. Mai 2004, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Regensburg, S. 320-325

Heidt, F.D., Kah, O., Rau, T., Bauer, M. and Treiber, M.: The GIT-building as an example for integrated planning and optimised solar design. Proceedings of PLEA 2000, July 2-5, 2000, Cambridge, UK, K. Steemers, S. Yannas (editors), p. 51-56. James & James Science Publishers Ltd, 35-37 William Road, London NW1 3ER, UK.

Themenbezogene Veröffentlichungen vor Projektbeginn

Schulze-Kegel, D. und Heidt, F.D.: Ausgesuchte Ergebnisse der Gebäuediagnose. In: Heidt, F.D. (Hrsg.): Bestandsaufnahmen zur Niedrigenergie- und Solararchitektur (NESA). Fortschritt-Berichte des VDI, Reihe 4 (Bauingenieurwesen), Nr. 139, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997, S. 26-33.

Schulze-Kegel, D., Schwab, A. and Heidt, F.D.: Energy analysis and thermal behaviour of a small passive solar office building. Proceedings EuroSun '96, 16. - 19. Sept. 1996, Freiburg, DGS-Sonnenenergie Verlags-GmbH, München, 1996, pp. 1121-1127.

13 Quellenverzeichnis

- [1] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Programmversion 4.3 Öko-Institut e.V., Geschäftsstelle Freiburg, Postfach 6226, 79038 Freiburg.
- [2] DIN 277, Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Teil 1 Begriffe, Berechnungsrundlagen, Teil 2 Gliederung der Nutzflächen, Funktionsflächen und Verkehrsflächen (Netto-Grundfläche), Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss Bauwesen (NABau), Berlin, Juni 1987.
- [3] SAIA-Burgess Electronics GmbH & Co. KG, Daimlerstraße 1, 63303 Dreieich, www.saia-burgess.de.
- [4] Dinilux GmbH Lichtschutztechnik, Hintern Kämpen 3, 32361 Pr. Oldendorf-Hedem.
- [5] Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Eichenfeldstraße 1-3, 83607 Holzkirchen.
- [6] K-Soft Haustechnik-Management, Bethge & Kanthak GbR, Belastraße 18A, 71195 Stuttgart.
- [7] Spanner-Pollux GmbH, Industriestraße 16, 67063 Ludwigshafen.
- [8] Sensus Metering Systems GmbH Ludwigshafen, Industriestrasse 16, 67063 Ludwigshafen.
- [9] Schlussbericht G.I.T. Siegen, Bericht der energetischen Optimierung – Solar-Bau Teilkonzept 3, Universität Stuttgart, IKE Lehrstuhl für Heiz- und Klimatechnik, Forschungsgesellschaft Heizung-Lüftung Klimatechnik mbH, M. Schmidt, H. Bach, M. Bauer, M. Treiber.
- [10] SIA 380/4, Elektrische Energie im Hochbau, Schweizerische Normen-Vereinigung SNV, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Empfehlung Ausgabe 1995, Zürich.
- [11] Energieeinsparverordnung (ENEV), Bundesminister für Verkehr Bau- und Wohnungswesen, Bundesgesetzblatt 1, S. 3146, Berlin, Dezember 2004.
- [12] DIN 4108 Teil 7, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie –beispiele, Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS), Berlin, August 2001.
- [13] DIN 13829, Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, Differenzdruckverfahren, Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss Bauwesen (NABau), Berlin, Februar 2001.
- [14] VDI-Richtlinie 4300, Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen, Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuß, Arbeitsgruppe Bestimmung der Luftwechselzahl im Ausschuß Innenraumlauft, Düsseldorf, Oktober 1999.
- [15] SICK MAIHAK GmbH, Nimburger Straße 11, 79276 Reute, Deutschland.
- [16] Nec San-ei Instruments, Ltd., 1-57, Tenjin-cho, Kodaira-shi, Tokyo 187 Japan.
- [17] Brüel & Kjaer GmbH, Universitätsallee 11-13, 28359 Bremen.
- [18] DIN 4109, Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise, Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss Bauwesen (NABau), Berlin, November 1989.

- [19] DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen, Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss Bauwesen (NABau), Berlin, Oktober 1999.
- [20] DIN 5035 Beleuchtung mit künstlichem Licht, Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss Bauwesen (NABau), Berlin, September 1990.
- [21] GOSSEN Foto- und Lichtmesstechnik GmbH, Thomas-Mann-Straße 16-20, 90471 Nürnberg.
- [22] SSK (2004) Auswertung der vorliegenden Gesundheitsstudien zum Radon. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission zur Wirkung des Radons, verabschiedet in der 192. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 24. Juni 2004. Bundesanzeiger Nr. 141 vom 30. Juli 2004.
- [23] Genitron Instruments GmbH, Heerstrasse 149, 60488 Frankfurt.
- [24] DIN EN 13779, Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS), Berlin Mai 2005.
- [25] Cand. Phys. Alexander Reh, Diplomarbeit, Thermische Simulation des Mehrzweckgebäudes „Artur-Woll-Haus“ der Universität Siegen, Parametervariationen und Vergleich mit Messergebnissen, Fachgebiet Bauphysik & Solarenergie, Universität Siegen, 2005.

14 Anhang

14.1 Pflichtenhefte

Pflichtenheft Tageslicht / Kunstlicht

Pflichtenheft Tageslicht / Kunstlicht

Projekt: Gebäude: Version:		TK3 GIT Siegen Vorplanung V02				
Raumbuch Bezeichnung	Anforderungszeit von bis	Nutzung		Anforderungen an den visuellen Komfort		
		Tageslicht- optimierung 1)	Verdunkelt	Beluchtungsstärke Lux 2)	Farbtemp 3)	Blendschutz 1)
Empfang	7-18	0	-	200	www, nww	1
Hauptflure	7-18	0	-	100	www, nww	0
Flure in den Flügeln	7-18	1	-	100	www, nww	1
Büro	nach Anwesenheit	2	teilweise	300*/500	www, nww	2
Kopierer	nach Anwesenheit	0	-	200	www, nww	1
Teeküche	7-18	0	-	100	www, nww	0
WC	7-18	0	-	-	www, nww	0
Produktion	nach Anwesenheit	2	-	300*/500	www, nww	2
Seminar	nach Anwesenheit	0	ja	300*/500	www, nww	2

- 1) Anforderungsstufe 0=niedrig, 1=mittel, 2=hoch
- 2) Fensterorientierte Büroarbeitsplätze nach DIN 5035 300 Lux, ansonsten 500 Lux
- 3) Farbtemperatur www=warmweiß, nww=naturweiß

Bild A.1: Pflichtenheft Tageslicht / Kunstlicht.

Pflichtenheft Nutzung

Pflichtenheft Nutzung

Projekt: Gebäude:		TK3 GIT Siegen							Behaglichkeitsvorgaben		
Zonen	Bezeichnung	Heizzeit Mo-Fr	Innenlastprofil Mo-Fr	Nutzung				Belegung	Lüftung	Innenteperatur	
				Personen W/m²	innere Lasten (konv. 0.6 / rad. 0.4) Geräte W/m²	Licht W/m²	Pers./ (Bel.h*mf²)			$\theta_{i,a}$ in °C	θ_{Absenk} in °C
-	-	von bis	von bis						1/h		
E60		7-18	8-13 + 14-18	5,0	-	5,0(10,0)	0,0017	0,0017 bei 0% Seminarraum (0,0060 bei 100% Seminarraum)	0,5	18	15
160	Empfang / Hauptflure	7-18	8-13 + 14-18	5,0	-	5,0(10,0)	0,0017	0,5	0,5	18	15
260		7-18	8-13 + 14-18	5,0	-	5,0(10,0)	0,0011	0,5	0,5	18	15
E10		7-18	8-13 + 14-18	5,0	11,5	5,0(10,0)	0,0026	0,5	0,5	18	15
110		7-18	8-13 + 14-18	5,0	11,5	5,0(10,0)	0,0026	0,5	0,5	18	15
210	Flure in den Flügeln	7-18	8-13 + 14-18	5,0	11,5	5,0(10,0)	0,0023	0,5	0,5	18	15
E11-E13		7-18	8-13 + 14-18	5,0	15	7,5(11,0)	0,114	40m³per für T < 24 max. bei T > 22 (Hysterese)	0,5	20	15
111-112		7-18	8-13 + 14-18	5,0	15	7,5(11,0)	0,114	0,5	0,5	20	15
211-212	Büro	7-18	8-13 + 14-18	5,0	15	7,5(11,0)	0,114	0,5	0,5	20	15
162	Teeküche	7-18	8-13 13-14 14-18	5,0	5,0	5,0(10,0)	0,0	0,0	0,5	20	15
161	WC	7-18	8-18	5,0	-	5,0(10,0)	0,3	0,0	4,0	20	15
E40	Produktion	nach Anwesenheit	nach Anwesenheit	5,0	15	11	0,114	(ausgenommen Absaugung)	0,5	20	16
140/240	Seminar	nach Anwesenheit	nach Anwesenheit	5,0	2,2	11	Mo 0,197 Di 0,39 Mi 0,39 Do 0,197 Fr 0,588	40-50m³/Pers./h	0,5	20	16

Bild A.2: Pflichtenheft Nutzung.

Pflichtenheft Heizung

Projekt: TK3 Gebäude: GIT Siegen Version: Vorplanung V02										
Raumbuch		Nutzung			Behaglichkeitsvorgabe				Sonst. Vorgabe	
Bezeichnung	Raumart	Heizzeiten	innere Lasten 1)	Lüftungsart 2)	Innentemperatur $\theta_{i,a}$ in °C	Anforderungsstufe 3)	Behaglichkeitszone 4)	Aufheizrreserve	Zusatznutzen	
		von bis			$\theta_{i,a}$ in °C					
Empfang	Bereich	7-18		F	22	3	mak.	Nein	evtl. el FB-Hz	
Hauptflure	Flur	7-18		F	18-20	2	sensible Bereiche	Ja	ZB, Geländer	
Flure in den Flügeln		7-18		F	18-20	2	sensible Bereiche	nein	ZB, Geländer	
Büro		nach Anwesenheit	hoch	m/F	20	3	mak.	Ja	Erwärm.v. Außenluft	
Kopieren		wie Flur	hoch	m	wie Flure					
Teeküche		7-18		F	wie Flure					
WC		7-18		m	20	2	sensible Bereiche	Nein	Erwärm.v. Außenluft	
Produktion		nach Anwesenheit	mittel	m/F	20	2	sensible Bereiche	Ja	Erwärm.v. Außenluft	
Seminar		nach Anwesenheit	hoch	m/F	20	3	mak.	Ja	Erwärm.v. Außenluft	
Treppenhaus	Gästehaus	0-24		F	15					
Wohnen		nach Anwesenheit		F	20	3	mak.	Ja		
Schlafen		nach Anwesenheit		F	20	3	mak.	Ja		
Küche		nach Anwesenheit		F	20	2	sensible Bereiche	Ja	Erwärm.v. Außenluft	
Bad				m/F	24	3	mak.	Ja		

- 1) Grenze zwischen niedrig und hoch: Innenlast/Normheizlast >0,2
- 2) bei mechanischer Lüftung (m) zusätzliche Informationen zum Zuflussstrom in m³/h; sonst nur m oder F (freie Lüftung) angeben
- 3) Stufe 3: keine Behaglichkeitsdefizite in 4) spürbar; Stufe 2: nur Strahlungsaustausch in 4) hergestellt (Behaglichkeitsdefizit durch Kaltluftabfall an kalten Umrassungsflächen wird akzeptiert); Stufe 1: keine Beseitigung von Behaglichkeitsdefiziten (nur Deckung der Normheizlast)
- 4) Teil des beheizten Raumes, in dem die Anforderung unter 3) erfüllt ist.

Bild A.3: Pflichtenheft Heizung.

14.2 Bezeichnungen der Räume in den Büroflügeln

Büroflügel Erdgeschoss

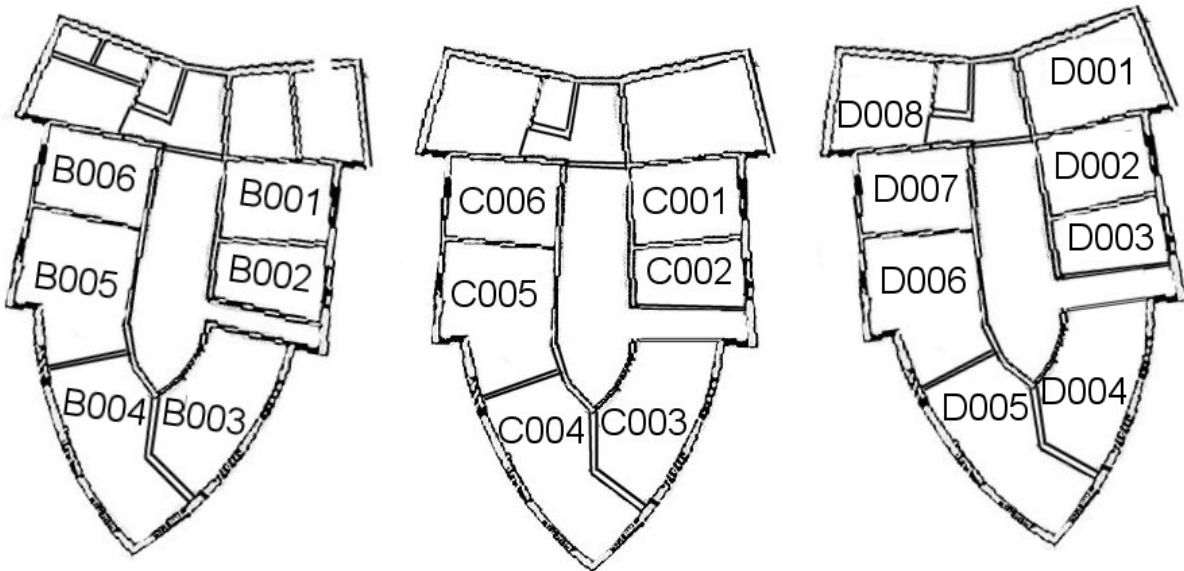


Bild A.4: Raumbezeichnungen der Büros im Erdgeschoss.

Büroflügel 1. Obergeschoss

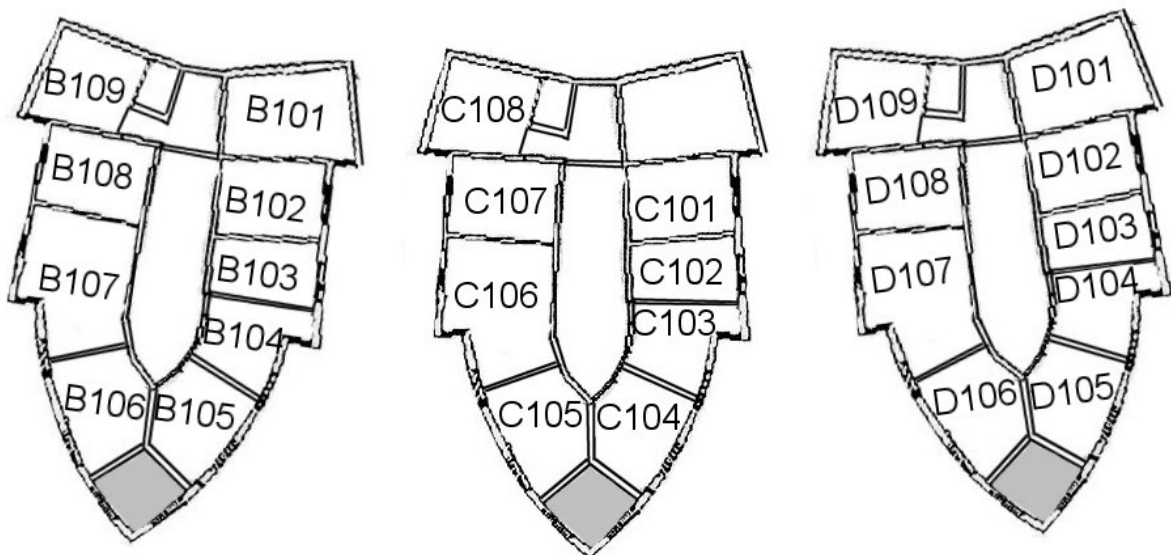


Bild A.5: Raumbezeichnungen der Büros im 1. Obergeschoss.

Büroflügel 2. Obergeschoss

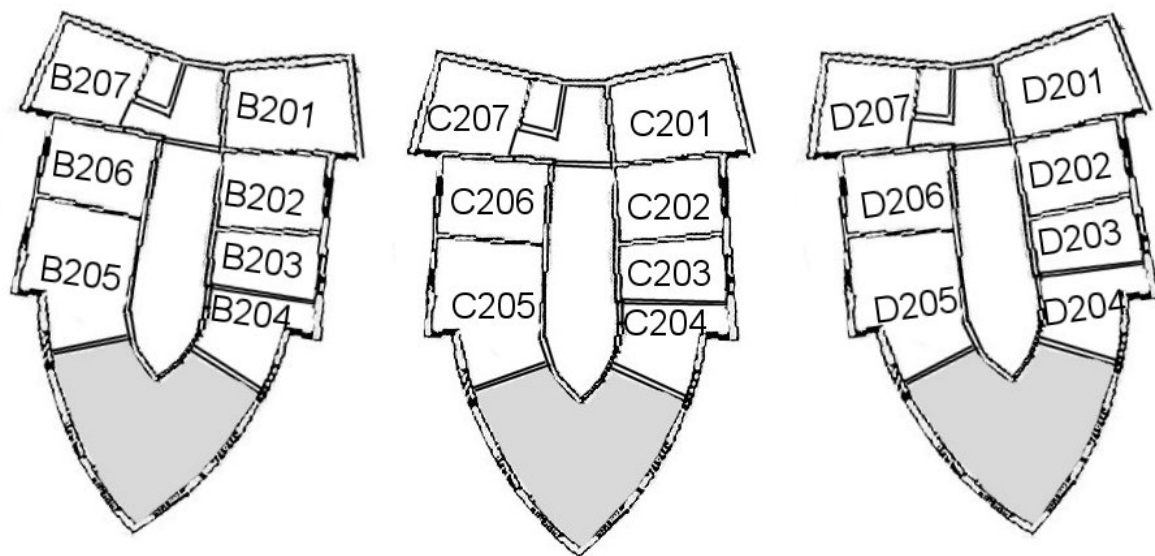


Bild A.6: Raumbezeichnungen der Büros im 2.Obergeschoss.

14.3 Wetterdaten

Auf den folgenden Seiten sind die Analyseergebnisse der Wetterdaten der Jahre 2003 bis 2005 (bis 11.11.2005) dargestellt.

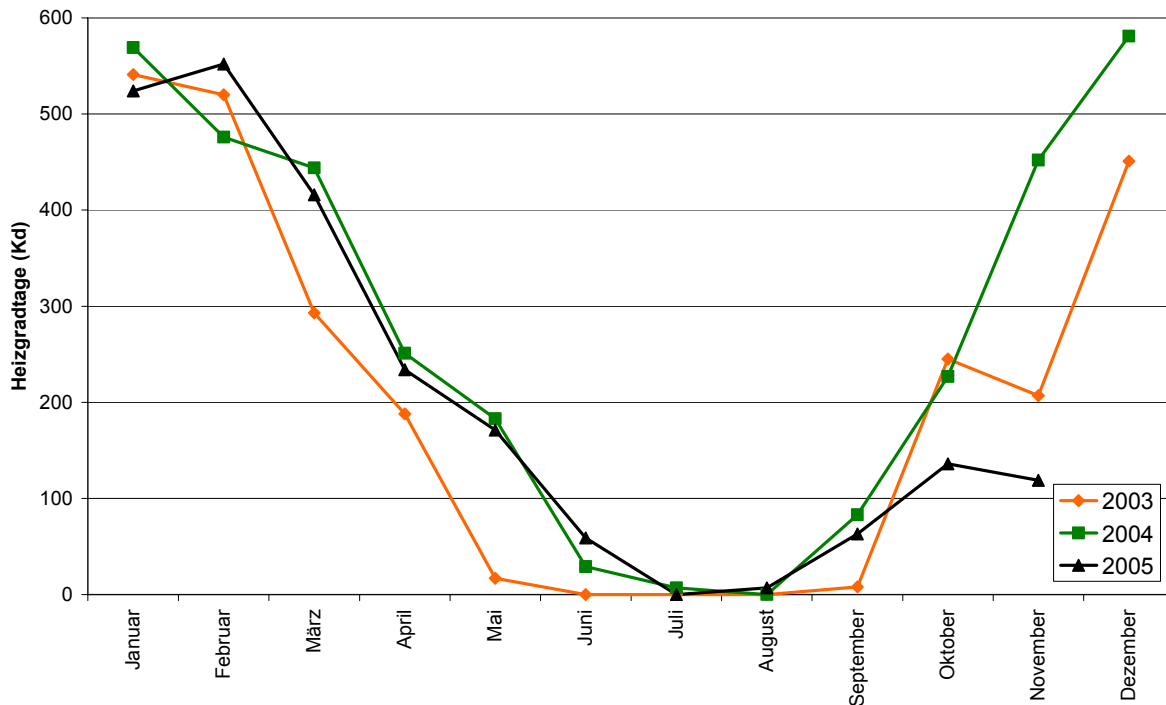


Bild A.7: Monatssummen der Heizgradtage (19/12) für den Zeitraum 1.1.2003 bis 11.11.2005.

Der Verlauf der Monatssummen der Heizgradtage des Jahres 2003 liegt über weite Bereiche des Jahres deutlich unterhalb der Summenwerte der beiden anderen Jahre. Der Verlauf für die Jahre 2004 und 2005 ist einander sehr ähnlich. Größere Abweichungen können jedoch im Oktober festgestellt werden. In diesem Monat weist das Jahr 2005 40 % weniger Heizgradtage auf. Auch die Werte der ersten 11 Tage des Novembers deuten auf eine geringere Heizgradtagzahl im Vergleich zum Vorjahreszeitraum hin.

Tabelle 14.1 zeigt die Zusammenstellung der Heizgradtage (19/12) für die Jahre 2003 – 2005.

Heizgradtage 19/12 (Kd)	
DIN 4108/6	3300
Siegen 2003	2472
Siegen 2004	3304
Siegen 2005	2286

Tabelle 14.1: Heizgradtagszahlen (19/12) gemäß DIN 4108/6 für die Jahre 2003, 2004 und 2005 (1.1. – 11.11.) am Standort Siegen.

Die im folgenden Bild eingezeichnete Summenhäufigkeitskurven wurden nach folgender mathematischer Beziehung berechnet.

$$y(T_{\text{Bezug}}) = \frac{100\%}{8760} \cdot \sum_{i=1}^{8760} \delta(T_{\text{Bezug}} - T(i)) \quad \text{mit } \delta(x) = \begin{cases} 1 & \text{für } x \geq 0 \\ 0 & \text{für } x < 0 \end{cases}$$

Die Temperaturen müssen in Kelvin eingesetzt werden.

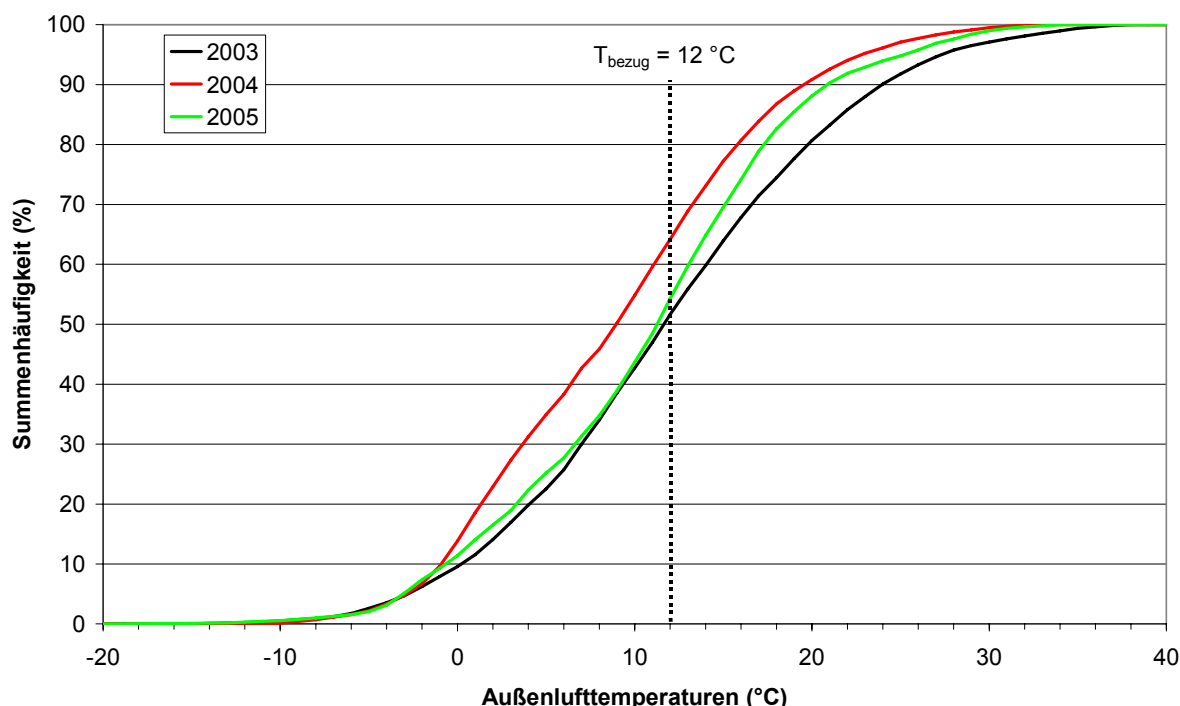


Bild A.8: Summenhäufigkeitskurven der Außenlufttemperatur der Jahre 2003 bis 2005 (1.1 – 11.11.2005). Für die Temperatur $T_{\text{Bezug}}=12^{\circ}\text{C}$ ergab sich im Jahr 2003 eine Summenhäufigkeit von 52 %. Dies bedeutet, dass für 52% des Jahres die Außenlufttemperaturen kleiner oder gleich 12°C waren.

Auch die Summenhäufigkeitskurven zeigen die deutlich höheren Außenlufttemperaturen im Sommer 2003. Im Temperaturbereich über 12°C verläuft die Summenhäufigkeitskurve flacher als in den Folgejahren. 2004 lagen 50 % der gemessenen stündlichen Werte der Außenlufttemperatur unterhalb von 10°C . Im Jahr 2003 waren dies lediglich 40 %. Da das Jahr 2005 bis zur Erstellung dieses Berichts nicht komplett ausgewertet werden konnte kann der Bereich niedriger Außenlufttemperaturen nicht bewertet werden. Für die Sommerzeiträume kann jedoch ausgesagt werden, dass die Temperaturen 2005 über denen des Vorjahres lagen, da der Kurvenverlauf 2005 stets unterhalb dessen des Jahres 2004 liegt.

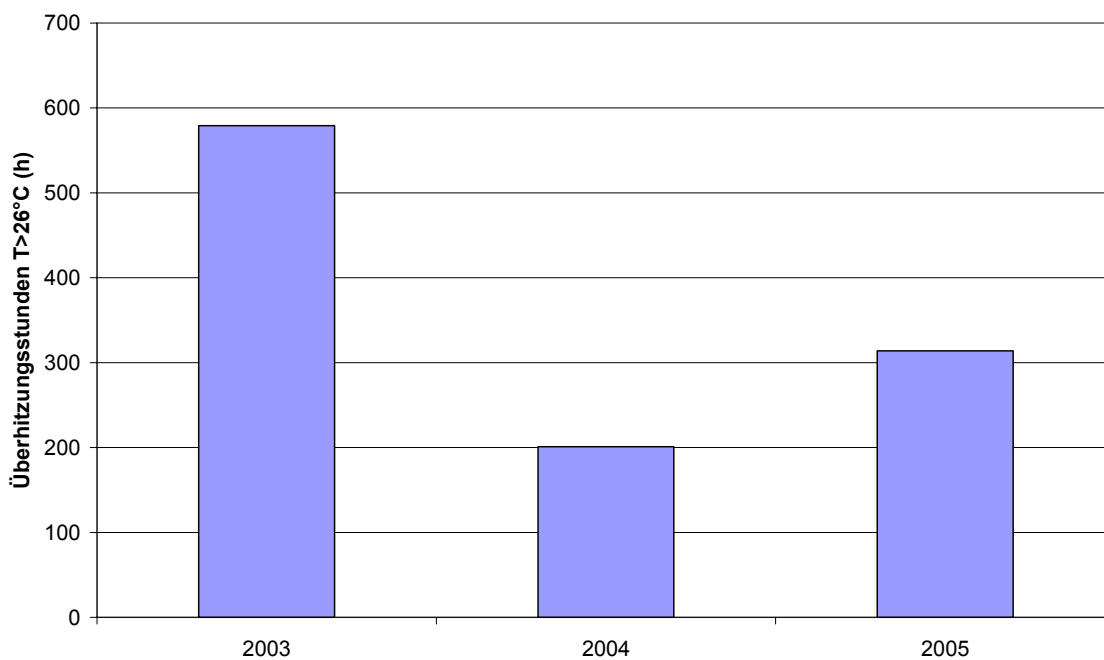


Bild A.9: Überhitzungsstunden $T > 26^{\circ}\text{C}$ der Außentemperatur der Jahre 2003 bis 2005 (1.1 – 11.11.2005).

Die Betrachtung der Überhitzungsstunden (dies ist die Summe derjenigen Stunden, in denen die Außenlufttemperatur über 26°C lag) unterstreicht noch einmal die bereits getroffenen Aussagen über die Wetterdaten der Jahre 2003 bis 2005. 2003 weist mit 579 Stunden fast dreimal soviel Überhitzungsstunden auf wie das Jahr 2004. Der Wert für 2005 liegt wieder um 56 % über dem des Vorjahres.

Auf den folgenden Seiten sind die Tageslinien der Außenlufttemperaturen, der Globalstrahlung, der relativen Luftfeuchte und der Windgeschwindigkeiten abgebildet.

2003

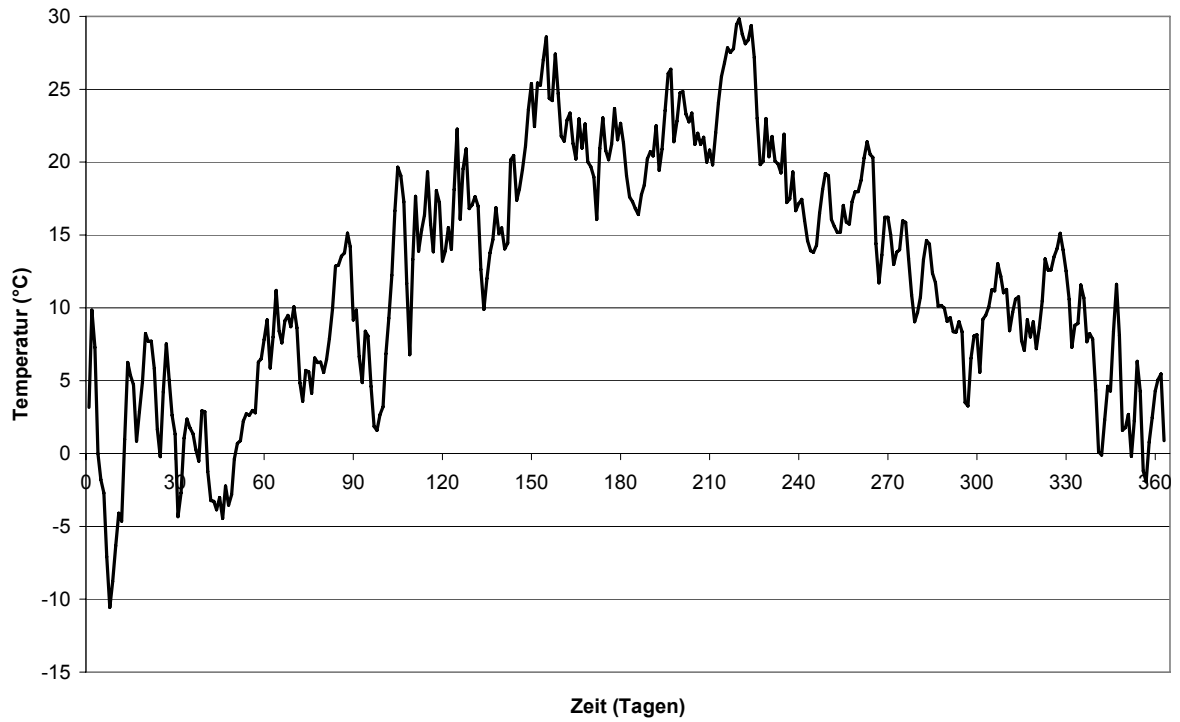


Bild A.10: Tagesmittelwerte der Außenlufttemperaturen für das Jahr 2003.

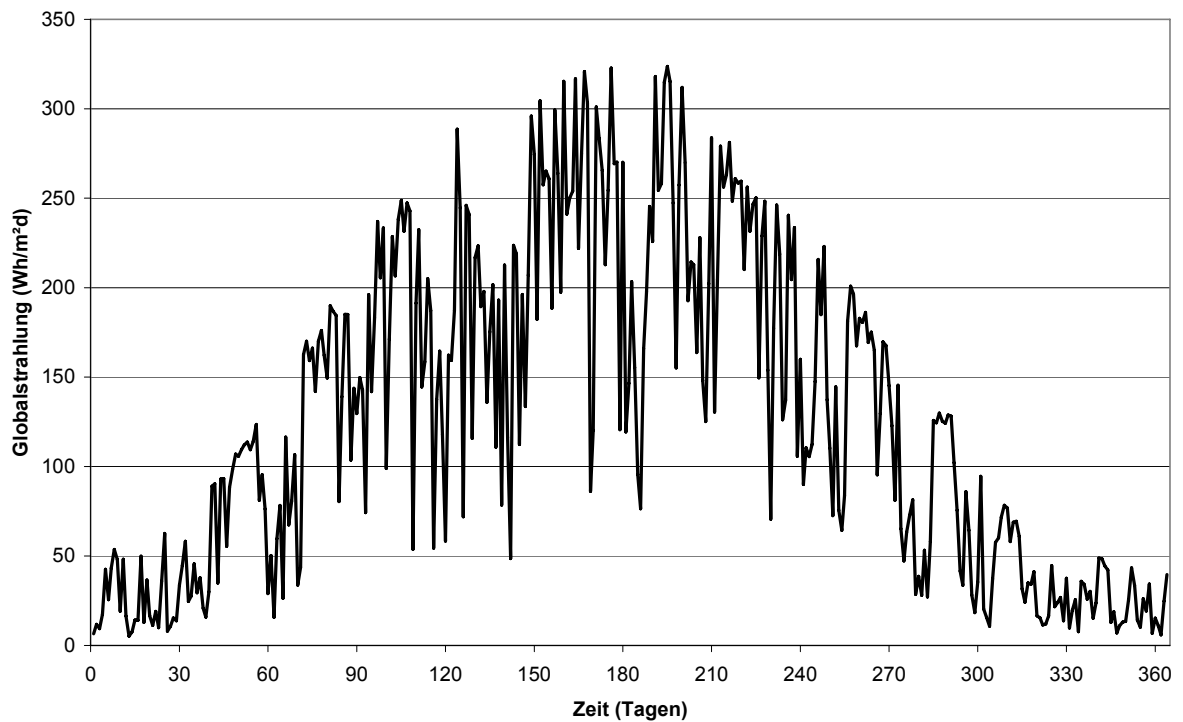


Bild A.11: Tagesmittelwerte der horizontalen Globalstrahlung für das Jahr 2003.

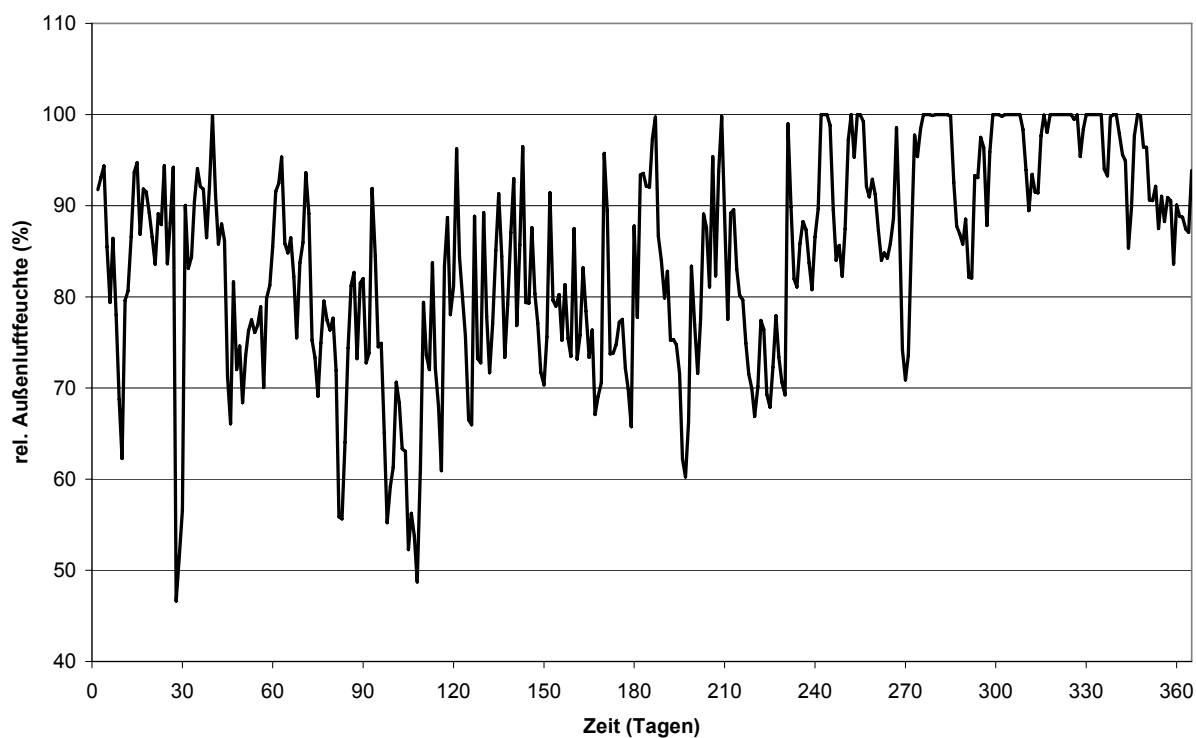


Bild A.12: Tagesmittelwerte der relativen Außenluftfeuchte für das Jahr 2003.

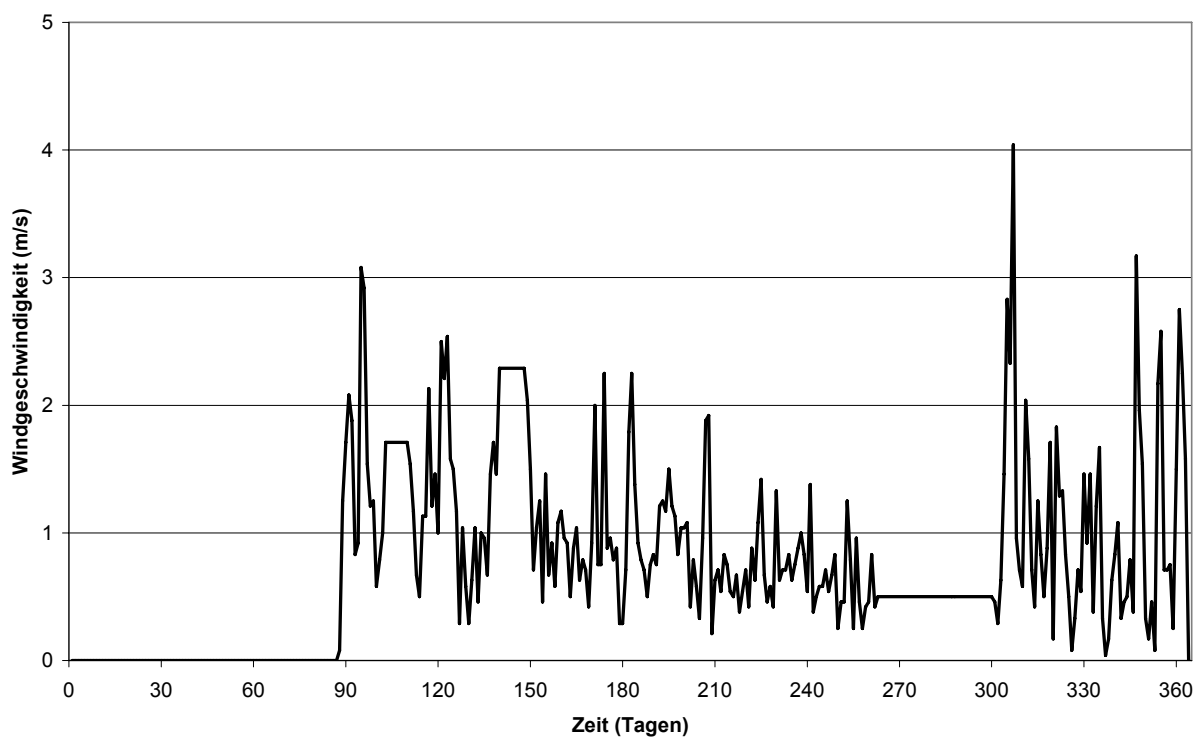


Bild A.13: Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeiten für das Jahr 2003.

2004

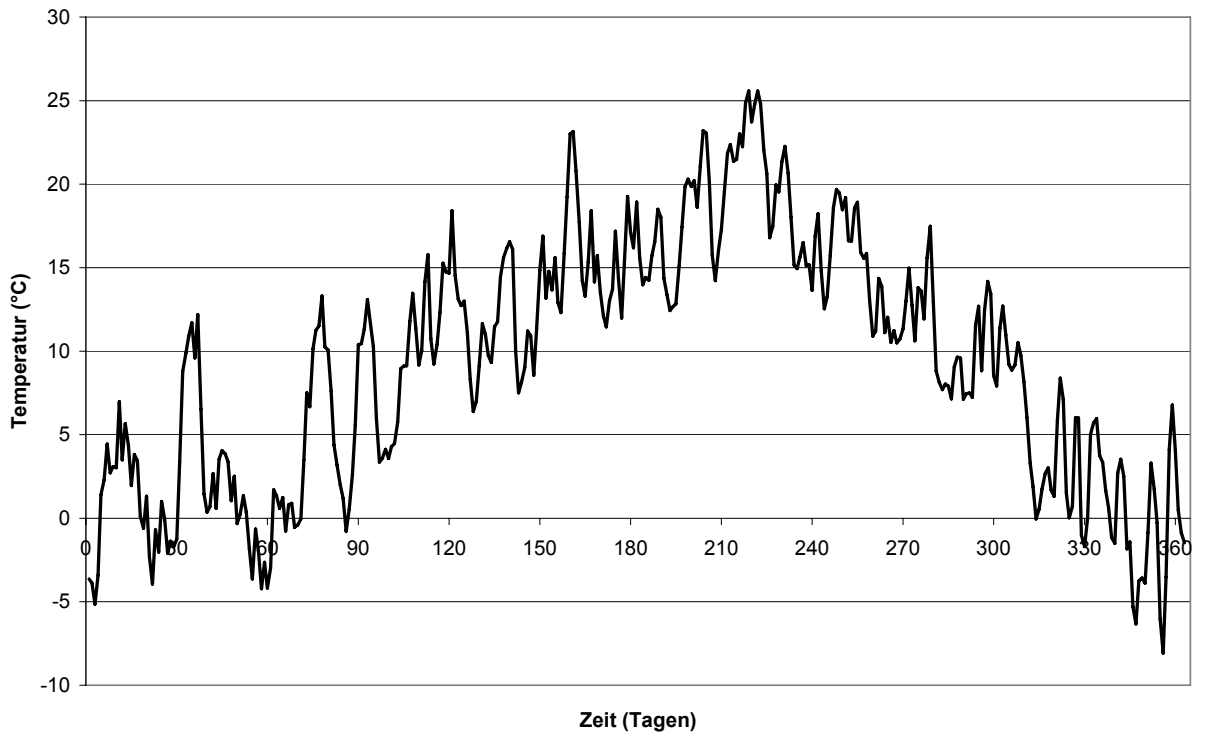


Bild A.14: Tagesmittelwerte der Außenlufttemperaturen für das Jahr 2004.

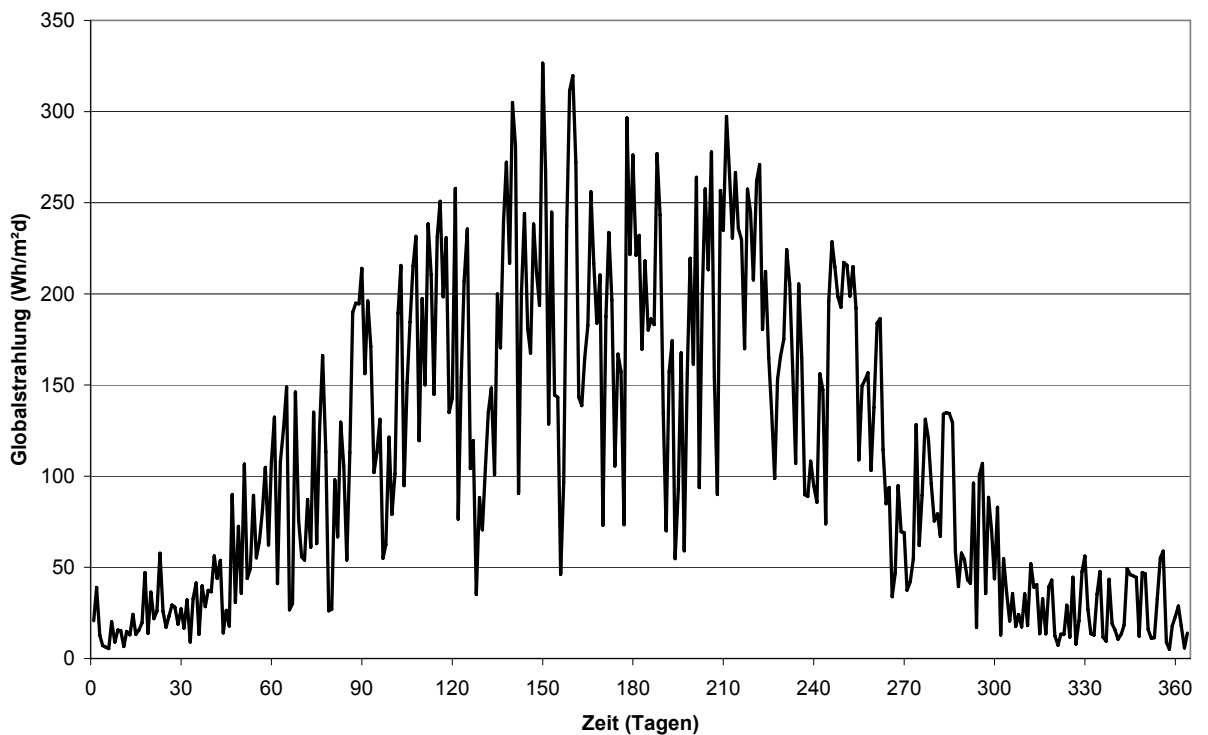


Bild A.15: Tagesmittelwerte der horizontalen Globalstrahlung für das Jahr 2004.

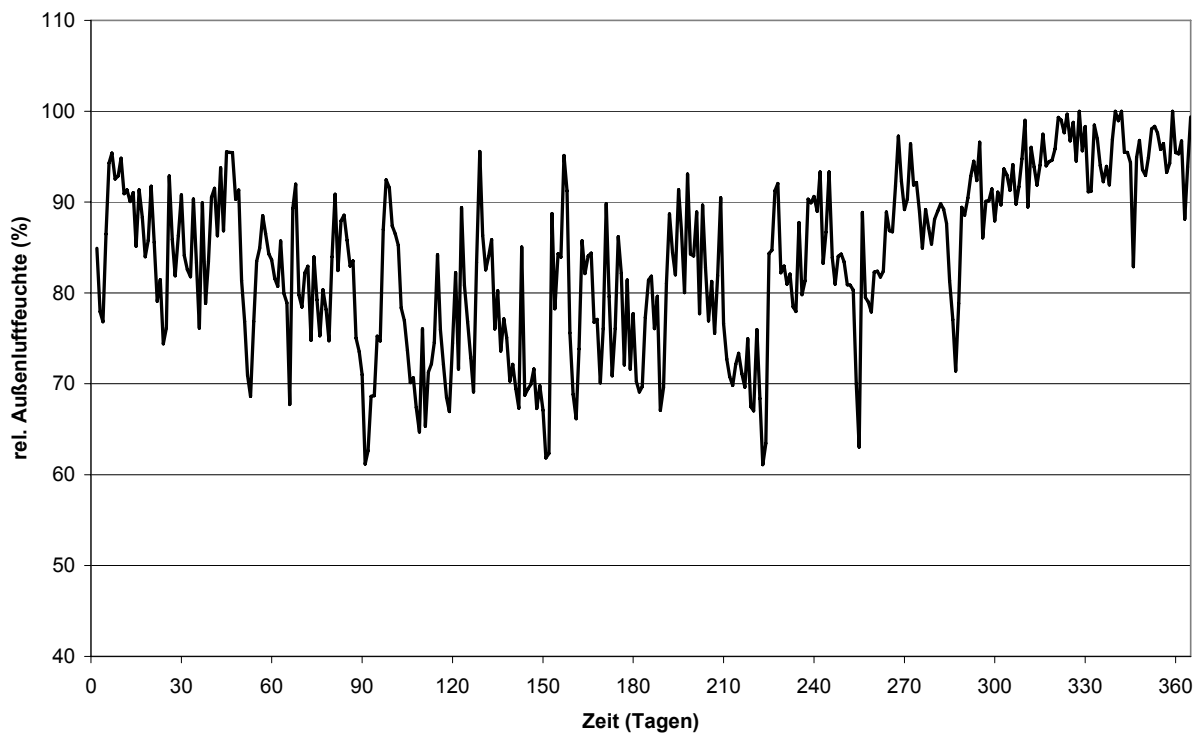


Bild A.16: Tagesmittelwerte der relativen Außenluftfeuchte für das Jahr 2004.

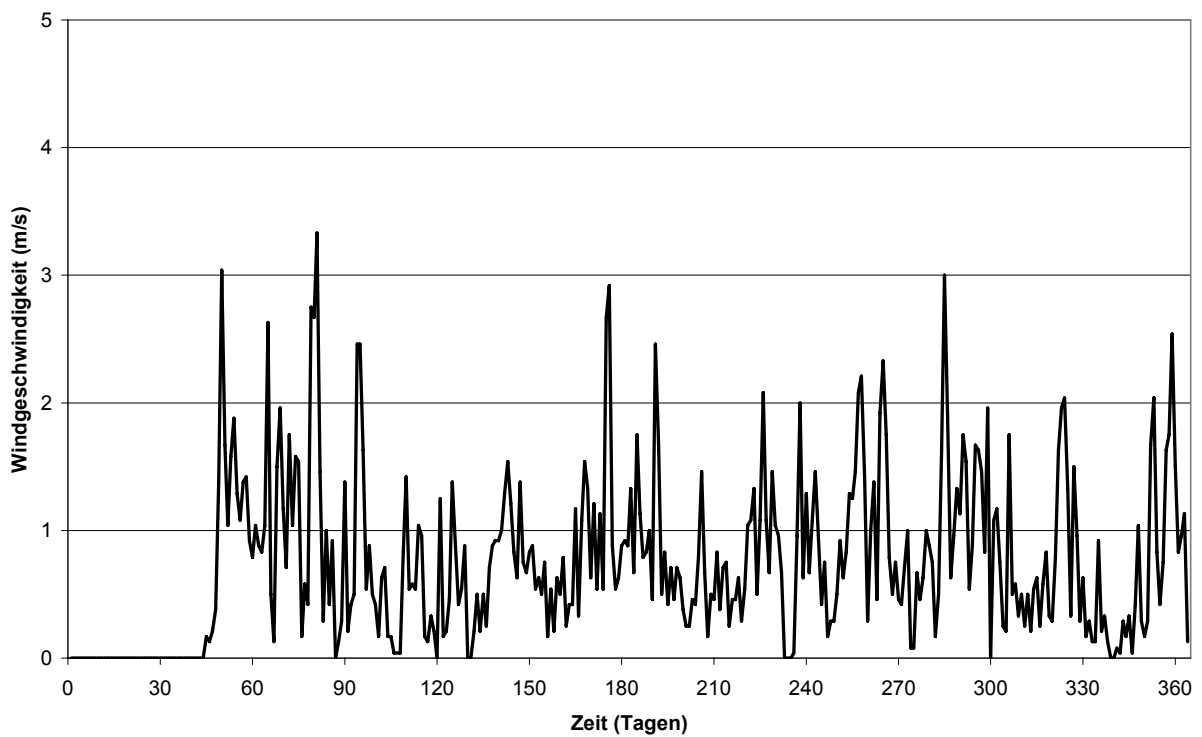


Bild A.17: Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeiten für das Jahr 2004.

1.1. – 11.11.2005

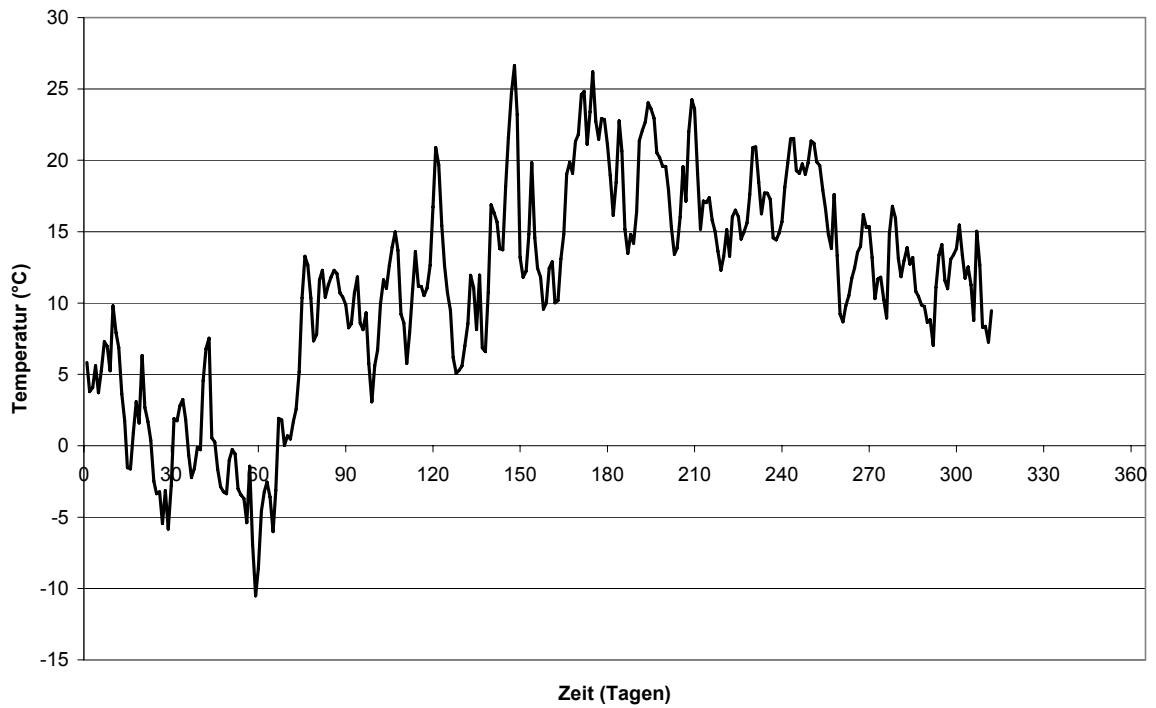


Bild A.18: Tagesmittelwerte der Außenlufttemperaturen für das Jahr 2005.

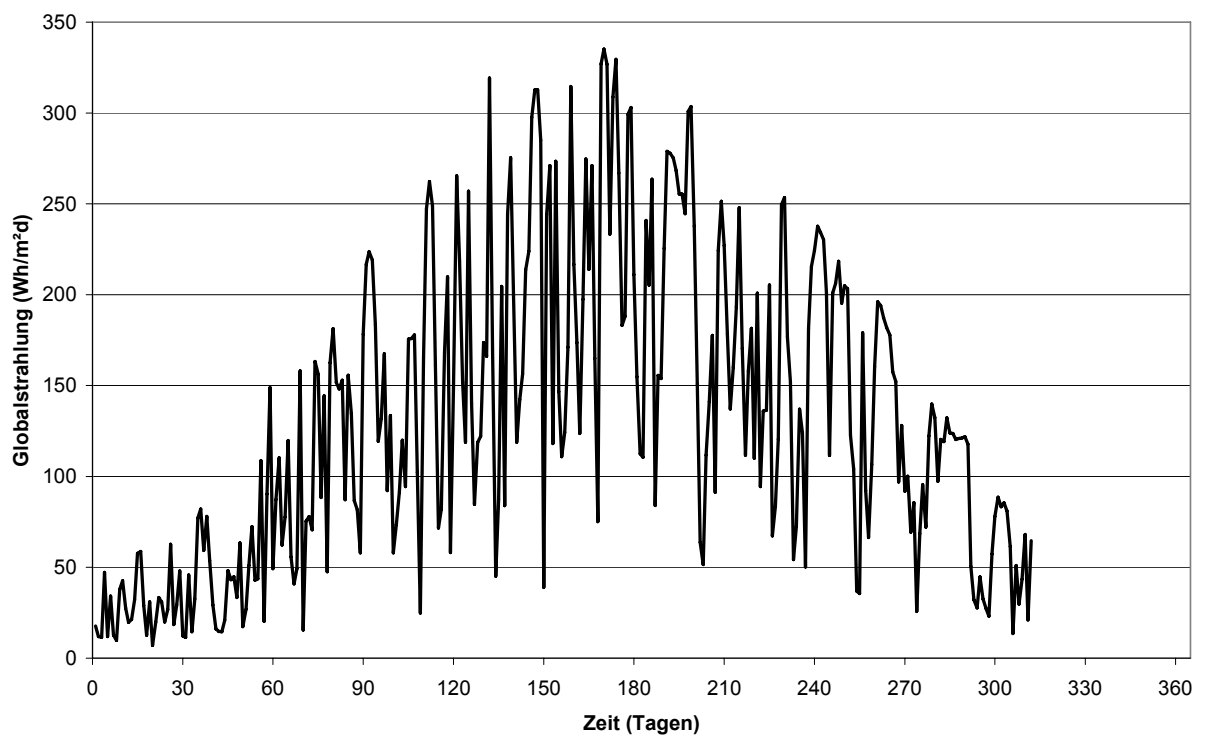


Bild A.19: Tagesmittelwerte der horizontalen Globalstrahlung für das Jahr 2005.

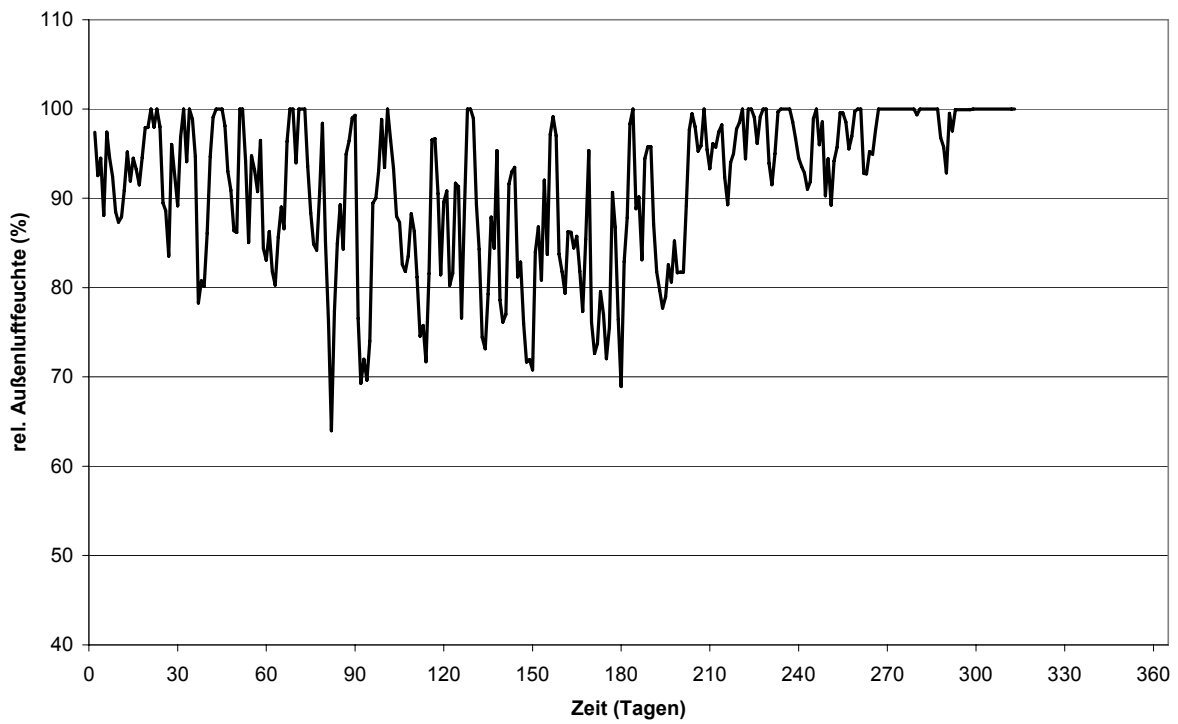


Bild A.20: Tagesmittelwerte der relativen Außenluftfeuchte für das Jahr 2005.

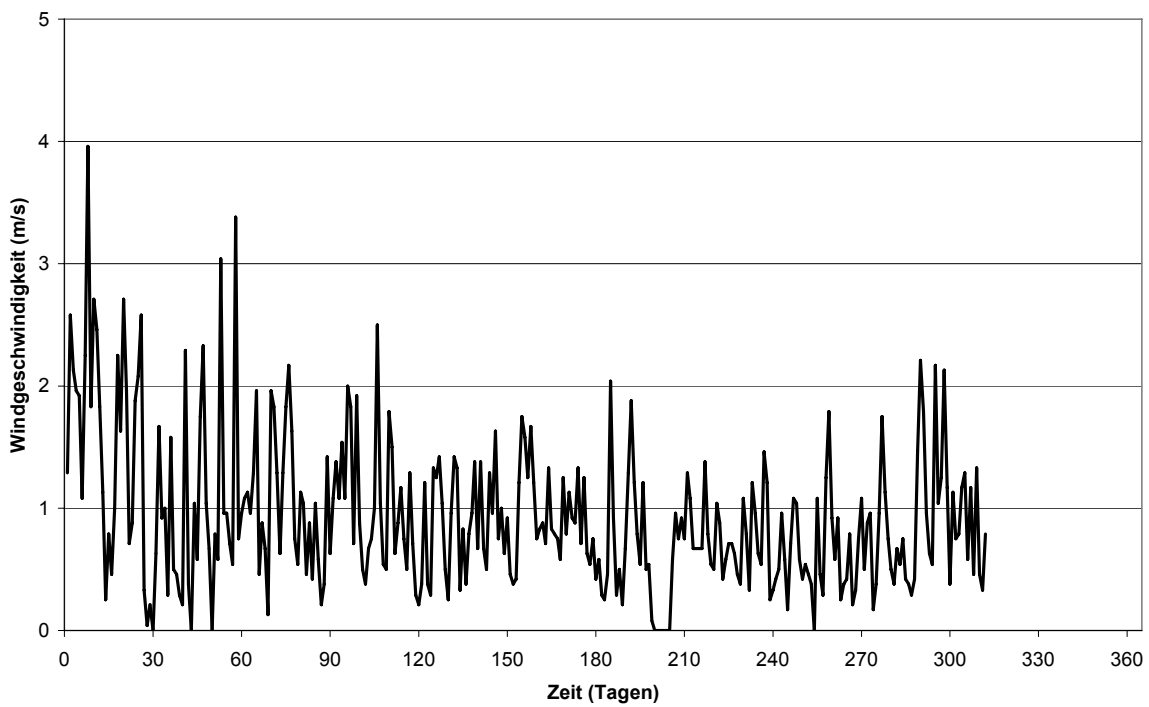


Bild A.21: Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeiten für das Jahr 2005.

14.4 Überhitzungsstunden (T>26°C) der Büroräume

2003

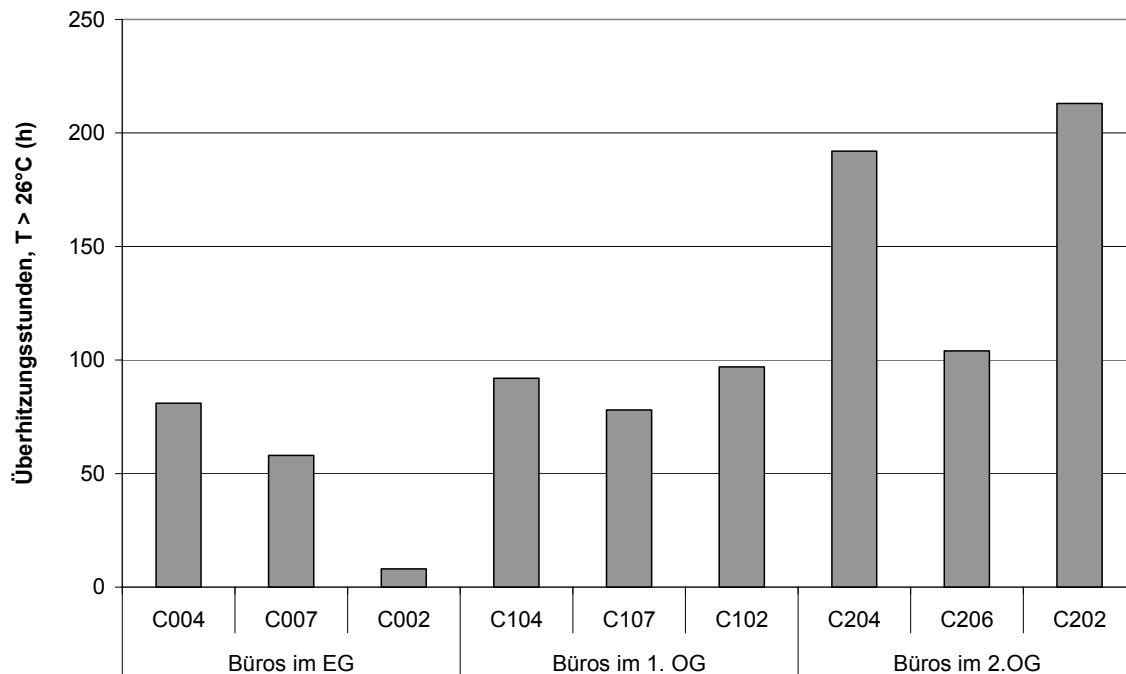


Bild A.22: Jahressummen der Überhitzungsstunden (T>26°C) repräsentativer Büroräume im Südflügel für das Jahr 2003.

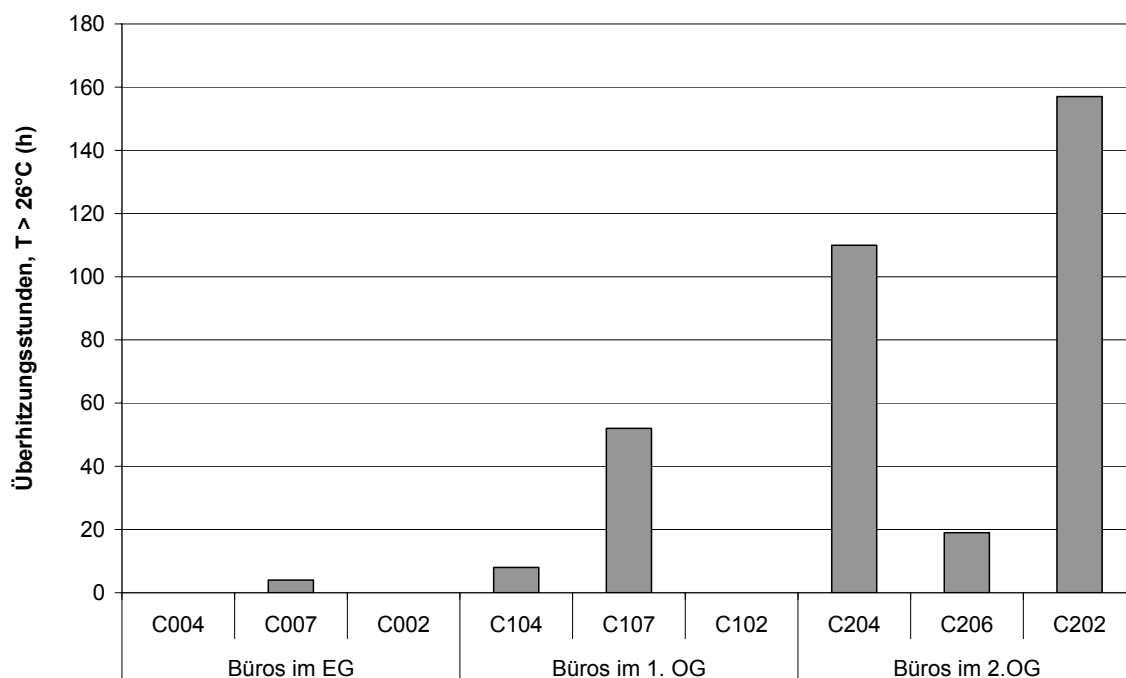


Bild A.23: Jahressummen der Überhitzungsstunden (T>26°C) repräsentativer Büroräume im Südflügel für das Jahr 2004.

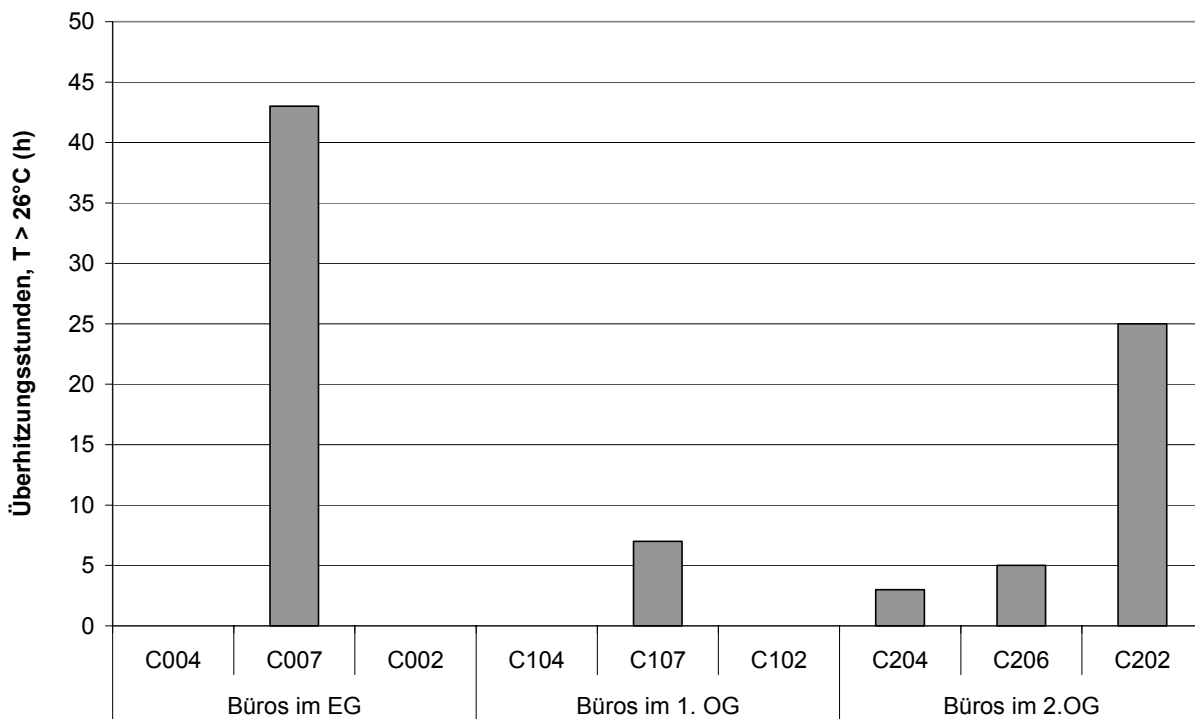


Bild A.24: Jahressummen der Überhitzungsstunden ($T > 26^{\circ}\text{C}$) repräsentativer Büroräume im Südflügel für das Jahr 2005. Der Raum C007 wurde 2005 intensiv als Konferenz- und Präsentationsraum genutzt.

14.5 Raumlufqualität (CO₂-Gehalt)

2003

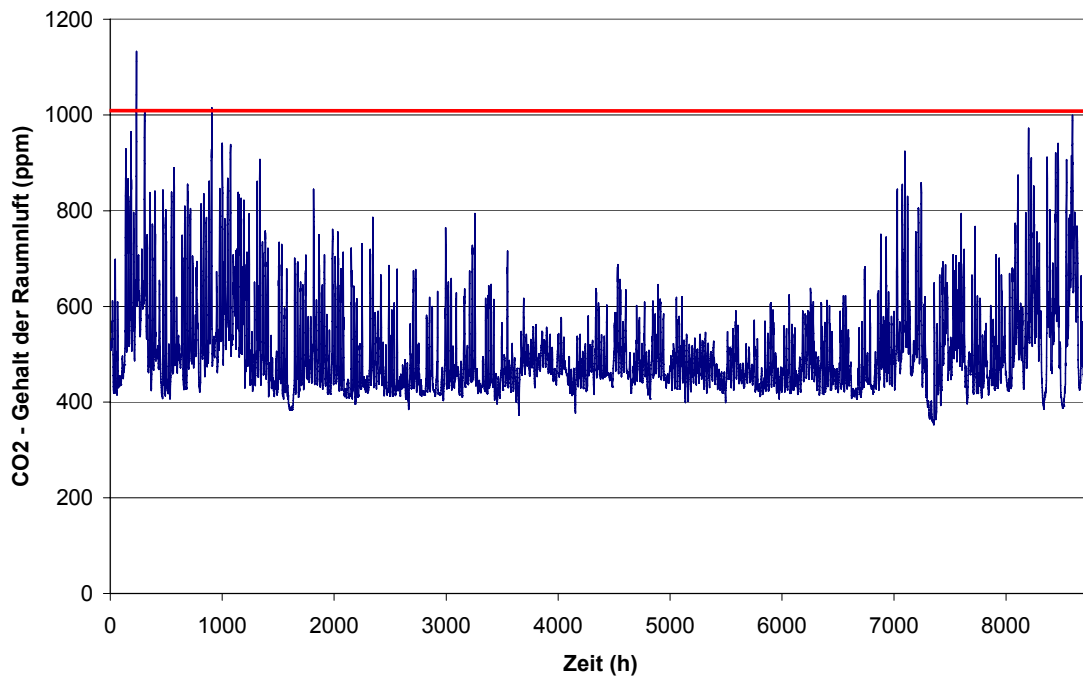


Bild A.25: Stündlicher Verlauf des CO₂-Gehalts der Raumluft des Büros C004 für das Jahr 2003.

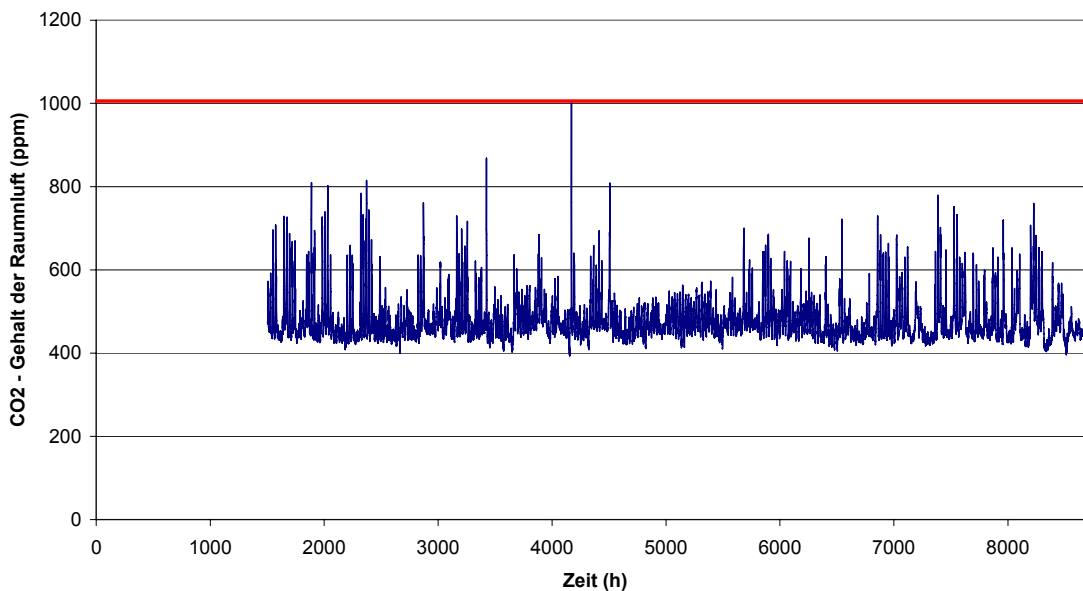


Bild A.26: Stündlicher Verlauf des CO₂-Gehalts der Raumluft des Büros C202 für das Jahr 2003.

2005 (1.Januar. bis 11.November)

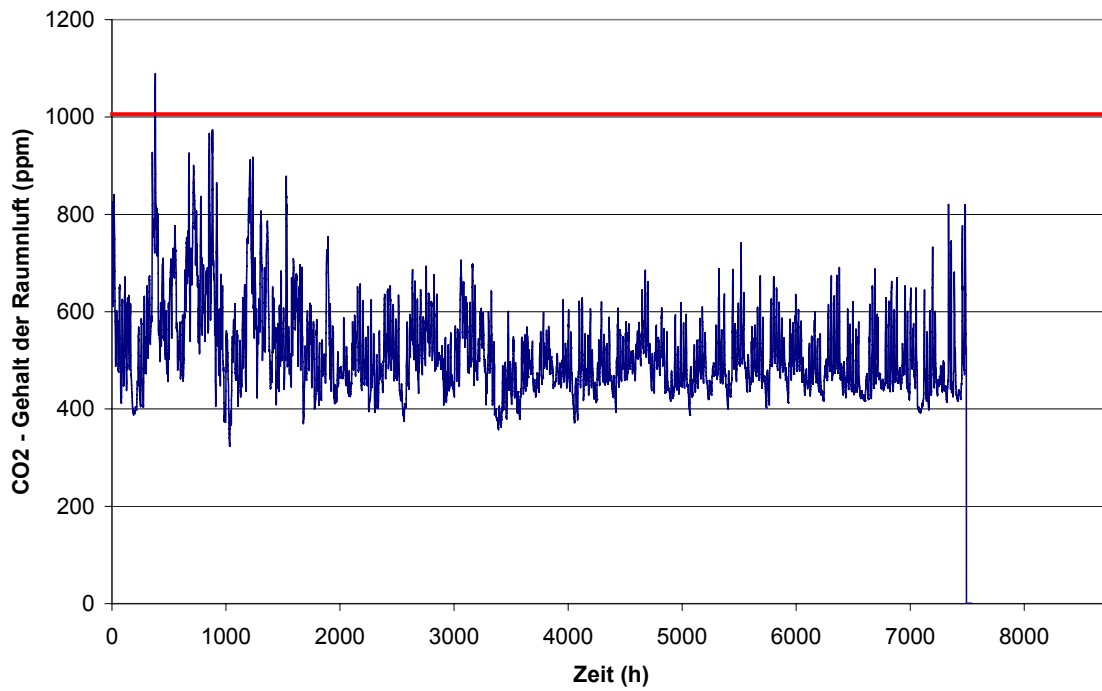


Bild A.27: Stündlicher Verlauf des CO₂-Gehalts der Raumluft des Büros C004 für das Jahr 2005.

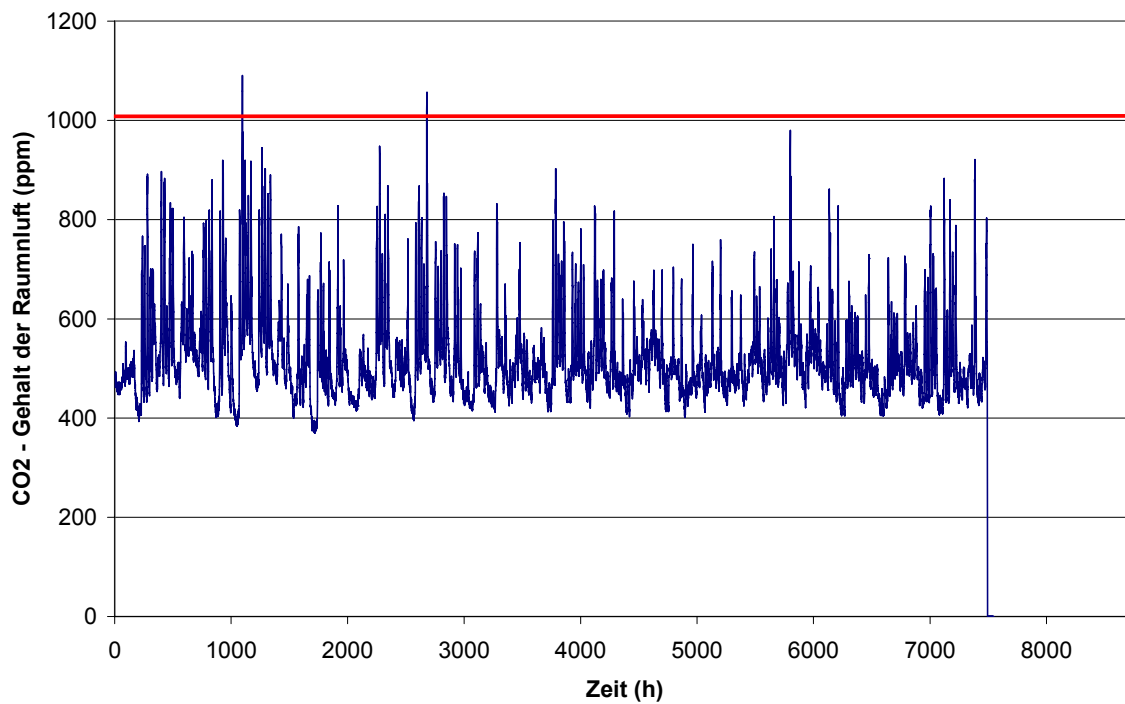


Bild A.28: Stündlicher Verlauf des CO₂-Gehalts der Raumluft des Büros C202 für das Jahr 2005.

14.6 Fragebogen Sommer 2003

A ALLGEMEINES

1 Wie lange arbeiten Sie schon in diesem Gebäude?

Jahre

und Monate

2 Geschlecht

männlich

weiblich

3 Alter

unter 35 Jahren

35 Jahre und älter

4 Wird in ihrem Büro geraucht ?

ja

selten

nein

5 Geben sie die folgenden Tätigkeiten als prozentuale Anteile Ihrer Gesamt-Arbeitszeit an:

Bildschirmarbeit
%

Schreibtischarbeit (Konzeptionen, Aktenstudium, Schreiben, Telefonieren etc.)
%

Besprechungen
%

6 Wieviele Stunden verbringen Sie im Durchschnitt täglich an Ihrem Arbeitsplatz ?

- 7 bis 10 Stunden
- 4 bis 6 Stunden
- weniger als 4 Stunden

7 Sind Sie am Energieverbrauch des Gebäudes interessiert ?

- ja
- nein

8 In welchem Geschoss befindet sich Ihr Büroraum ?

- Erdgeschoss
- 1. Obergeschoss
- 2. Obergeschoss

9 Beschreiben Sie Ihren Arbeitsplatz ?

- eigenes Büro
- Büro, das von mehreren Person mitbenutzt wird
- Arbeit in mehreren Räumen

10 Welche elektrischen Bürogeräte oder sonstige Wärmequellen befinden sich in Ihrem Raum (bitte Anzahl angeben)

- Computer
- Röhren-Bildschirm
- LCD-Bildschirm
- Drucker
- Faxgerät
- Scanner
- Telefon
-
-

11 Wie häufig bzw. wie lange sind die Geräte eingeschaltet ?

	nur bei Bedarf	häufig	tagsüber	Über Nacht
Computer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Röhren-Bildschirm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LCD-Bildschirm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Drucker	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Faxgerät	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Scanner	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12 Entfernung Ihres Arbeitsplatzes vom Fenster

- nahe am Fenster
- 2 m bis 4 m vom Fenster entfernt

13 Wo liegen die Fenster im Bezug auf Ihren Arbeitsplatz ?

- vorne
- seitlich
- rückseitig

14 Wie wurden Sie mit dem Gebäude und seinen haustechnischen Anlagen vertraut gemacht ?

- persönliches Gespräch
- Seminar
- schriftliche Erläuterung
- gar nicht

15 Wie beurteilen Sie Ihren Informationsstand über das Gebäude und seine haustechnischen Anlagen?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

16 Würden sie gerne noch mehr über das Gebäude und seine haustechnischen Anlagen erfahren ?

- ja
- nein

B THERMISCHE BEHAGLICHKEIT

17 Bewerten Sie die thermische Behaglichkeit an Ihrem Büro-Arbeitsplatz an "normalen" Sommertagen.

- zu warm
- eher zu warm
- gerade angenehm
- eher zu kalt
- zu kalt
- etwas schwankend
- zu sehr schwankend

18 Bewerten Sie die thermische Behaglichkeit an Ihrem Büro-Arbeitsplatz an sehr heißen Sommertagen.

- zu warm
- eher zu warm
- gerade angenehm
- eher zu kalt
- zu kalt
- etwas schwankend
- zu sehr schwankend

22 Verspüren sie störende Zugscheinungen an Ihrem Arbeitsplatz?

nein

manchmal

oft

vermutete Ursache:

23 Verspüren sie störende Zugscheinungen an sonstigen Stellen des Gebäudes?

nein

manchmal

oft

bitte nennen Sie ggf. den Ort

24 Empfinden Sie an Ihrem Arbeitsplatz störende Gerüche durch die Lüftungsanlage ?

nein

manchmal

oft

25 Können sie die Lüftungsanlage in Ihrem Raum zu Ihrer Zufriedenheit regeln ?

ja

nein

Falls sie mit nein geantwortet haben:

25a Würden Sie gerne eine bessere Regelungsmöglichkeit haben ?

ja

nein

26 Können sie die Fenster in Ihrer Fassade ausreichend öffnen ?

ja

nein

Falls Sie mit nein geantwortet haben:

26a Würden Sie gerne eine ausreichende Öffnungsmöglichkeit haben?

ja

nein

27 Wie häufig öffnen Sie täglich die Fenster in Ihrem Büro ?

- sehr häufig
- häufig
- selten
- nie

28 Aus welchem Grund öffnen sie die Fenster ?

- schlechte Raumluf
- zu hohe Raumlufftemperaturen
- Kontakt zur Umgebung
- Sonstige bessere Behaglichkeit

29 Wie oft steht die Tür Ihres Büroraumes zum Flur hin offen, wenn Sie den Raum benutzen ?

- sehr häufig
- häufig
- selten
- nie

29a Warum öffnen sie die Türe in Ihrem Büro ?

- Kontakt zu Kollegen
- schlechte Luft
- zu hohe Raumtemperaturen
- für den Arbeitsablauf notwendig

D BELEUCHTUNG

30 Wie beurteilen Sie die Tageslicht-Beleuchtung an Ihrem Arbeitsplatz ?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

31 Wie beurteilen Sie die Kunstlicht-Beleuchtung an Ihrem Arbeitsplatz ?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

32 Welche Art von Beleuchtung bevorzugen Sie an Ihrem Arbeitsplatz ?

- Tageslicht
- Kunstlicht
- Kombination von beiden

33 Benutzen sie eine Tischleuchte

- ja
- nein

34 Benutzen sie eine sonstige Zusatzbeleuchtung

- ja
- nein

wenn ja, welcher Art ?

35 Erzeugt das Tageslicht Blenderscheinungen, welche Sie stören?

	häufig	gelegentlich	nie
a) diffuse Himmelstrahlung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) direkte Sonnenstrahlung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) externe Reflexionen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

36 Erzeugt die Beleuchtung Reflexionen (Indirektblendung) auf Ihrem Arbeitsmaterial ?

	nicht störend	wenig störend	relativ störend	sehr störend
a) Deckenbeleuchtung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Tageslicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

37 Wie beurteilen sie die visuelle / optische Qualität Ihres Arbeitsplatzes ?

- hell
- unregelmäßig beleuchtet
- dunkel
- gute Farbgestaltung
- unbefriedigende Farbgestaltung
- anderes - (bitte angeben)

39 Können Sie den Sonnenschutz Ihrer Fenster selbst einstellen ?

a) Für Ihren individuellen Büro-Arbeitsplatz ?

- ja
- nein

b) nur für den gesamten Raum (bei Mehrfachbelegung)

- ja
- nein

c) falls Sie bei a) mit nein geantwortet haben:

Würden Sie gerne eine solche Individuelle Einstellmöglichkeit haben?

ja

nein

40 Wie beurteilen Sie die freie Sicht nach draußen?

a) Ohne Sonnenschutzmaßnahmen

gut

eher gut

mittelmäßig

eher schlecht

schlecht

b) mit Sonnenschutzmaßnahmen

gut

eher gut

mittelmäßig

eher schlecht

schlecht

41 Beurteilen Sie die Größe Ihres Fensters?

zu groß

gerade richtig

zu klein

42 Hier sind einige Vorteile von Fenstern angeführt. Bewerten Sie bitte bis zu fünf dieser Vorteile, die Ihnen an Ihrem Arbeitsplatz am wichtigsten erscheinen. (Nummerieren Sie diese von 1 bis fünf, mit 5 als am wichtigsten)

- | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | sie lassen die Tageszeit erkennen | <input type="checkbox"/> | sie lassen die Sonne eindringen |
| <input type="checkbox"/> | man sieht, wie das Wetter ist | <input type="checkbox"/> | sie lassen die Wärme eindringen |
| <input type="checkbox"/> | man kann sehen, was draußen vorgeht | <input type="checkbox"/> | sie liefern Licht für die Pflanzen |
| <input type="checkbox"/> | sie liefern frische Luft | <input type="checkbox"/> | man besitzt einen Ausblick |
| <input type="checkbox"/> | sie lassen den Raum größer wirken | <input type="checkbox"/> | sie brechen die Monotonie |

43 Hier sind einige Nachteile von Fenstern angeführt. Bewerten Sie bitte bis zu dieser Nachteile die Ihnen an Ihrem Arbeitsplatz am störendsten erscheinen. (Nummerieren Sie diese von 1 bis fünf, mit 5 als am störendsten)

- | | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | sie lassen zuviel Hitze im Sommer rein | <input type="checkbox"/> | sie erzeugen Blendung |
| <input type="checkbox"/> | sie lassen zuviel Kälte im Winter rein | <input type="checkbox"/> | sie verringern die Privatsphäre |
| <input type="checkbox"/> | sie lassen zuviel Sonnenlicht herein | <input type="checkbox"/> | sie lassen den Außenlärm herein |
| <input type="checkbox"/> | sie stellen ein Risiko dar (Sturzgefahr) | <input type="checkbox"/> | man kann sich daran verletzen |
| <input type="checkbox"/> | sie stören beim Möblieren | <input type="checkbox"/> | sie lenken von der Arbeit ab |

E AKUSTIK

44 Fühlen Sie sich an Ihrem Büro-Arbeitsplatz durch die Anwesenheit von Personen, die zusammen mit Ihnen im gleichen Raum arbeiten akustisch gestört ?

- immer
- häufig
- manchmal
- nie
- nicht zutreffend, da ich alleine im Büro bin.

45 Fühlen sie sich an Ihrem Büro-Arbeitsplatz durch Geräusche aus den Nachbarräumen akustisch gestört ?

immer

häufig

selten

nie

46 Können Sie Gesprächsinhalte aus den Nachbarräumen an Ihrem Arbeitsplatz bei geschlossenen Türen und Fenstern verstehen ?

deutlich

schwach

nie

47 Können Sie Gesprächsinhalte aus dem Flurbereich an Ihrem Arbeitsplatz bei geschlossener Tür verstehen ?

deutlich

schwach

nie

48 Können Sie auf dem Flur Gesprächsinhalte aus den Büros bei geschlossener Tür verstehen ?

deutlich

schwach

nie

49 Fühlen Sie sich an Ihrem Arbeitsplatz durch Trittschallgeräusche aus den Räumen neben, über oder unter Ihnen akustisch gestört ?

immer

häufig

manchmal

nie

50 Fühlen Sie sich an Ihrem Arbeitsplatz bei geschlossenen Fenstern durch Geräusche von draußen akustisch gestört ?

- immer
- häufig
- manchmal
- nie

51 Fühlen Sie sich an Ihrem Arbeitsplatz akustisch gestört durch Geräusche der haustechnischen Anlagen und ähnlichem?

- Heizung
- Lüftung
- Sanitär
- Aufzug
- Rechner

Sonstiges (bitte angeben)

Sonstiges (bitte angeben)

F Gesamtgebäude

52 Wie beurteilen Sie den optischen Gesamteindruck des Gebäudes?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

53 Wie gefallen Ihnen die folgenden Teilbereiche des Gebäudes ?

	gut	eher gut	mittelmäßig	eher schlecht	schlecht
Außenanlagen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Innenausstattung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Farbgestaltung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Raumaufteilung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eingangsbereich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ausstellung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Dieser Fragebogen wurde ausgefüllt am:

14.7 Fragebogen Winter 2004

A ALLGEMEINES

1 Wie lange arbeiten Sie schon in diesem Gebäude?

Jahre

und Monate

2 Geschlecht

männlich

weiblich

3 Alter

unter 35 Jahren

35 Jahre und älter

4 Wird in ihrem Büro geraucht ?

ja

selten

nein

5 Geben sie die folgenden Tätigkeiten als prozentuale Anteile Ihrer Gesamt-Arbeitszeit an:

Bildschirmarbeit
%

Schreibtischarbeit (Konzeptionen, Aktenstudium, Schreiben, Telefonieren etc.)
%

Besprechungen
%

6 Welchen Stellenanteil umfasst Ihre Anstellung?

1/4 Stelle

1/2 Stelle

1/1 Stelle, Vollanstellung

7 Sind Sie am Energieverbrauch des Gebäudes interessiert ?

- ja
- nein

8 In welchem Geschoss befindet sich Ihr Büroraum ?

- Erdgeschoss
- 1. Obergeschoss
- 2. Obergeschoss

8 In welchem Gebäudeteil liegt Ihr Büro ?

- Gebäudeteil B
- Gebäudeteil C
- Gebäudeteil D

9 Beschreiben Sie Ihren Arbeitsplatz ?

- eigenes Büro
- Büro, das von mehreren Person mitbenutzt wird
- Arbeit in mehreren Räumen

10 Welche elektrischen Bürogeräte oder sonstige Wärmequellen befinden sich in Ihrem Raum (bitte Anzahl angeben)

- Computer
- Röhren-Bildschirm
- LCD-Bildschirm
- Drucker
- Faxgerät
- Scanner
- Telefon
-
-

11 Wie häufig bzw. wie lange sind die Geräte eingeschaltet ?

	nur bei Bedarf	häufig	tagsüber	Über Nacht
Computer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Röhren-Bildschirm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LCD-Bildschirm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Drucker	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Faxgerät	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Scanner	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12 Wie beurteilen Sie Ihren Informationsstand über das Gebäude und seine haustechnischen Anlagen?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

13 Würden sie gerne noch mehr über das Gebäude und seine haustechnischen Anlagen erfahren ?

- ja
- nein

B THERMISCHE BEHAGLICHKEIT

14 Bewerten Sie die thermische Behaglichkeit an Ihrem Büro-Arbeitsplatz an "normalen" Wintertagen.

- zu warm
- eher zu warm
- gerade angenehm
- eher zu kalt
- zu kalt

15 Bewerten Sie die thermische Behaglichkeit an Ihrem Büro-Arbeitsplatz an sehr kalten Wintertagen.

- zu warm
- eher zu warm
- gerade angenehm
- eher zu kalt
- zu kalt

16 Sind Ihnen andere Orte des Gebäudes thermisch unbehaglich ?

- ja
- nein

Falls Sie mit ja geantwortet haben:

16a Geben Sie bitte den oder die anderen Orte an und nennen Sie die Art der thermischen Störung.

		zu kalt	zu warm	zugig
Ort:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ort:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ort:	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

17 Verspüren sie störende Zugscheinungen an Ihrem Arbeitsplatz ?

ja

nein

falls Sie mit ja geantwortet haben

17a Wo treten die Zugscheinungen auf ?

In Fensternähe

In Raummitte

Im Türbereich

17b Wann treten die Zugscheinungen auf ?

Während die Lüftungsstufe 1aktiviert ist (Taster neben der Tür nicht gedrückt).

Während die Lüftungsstufe 2 aktiviert ist (Taster neben der Tür gedrückt).

Nur bei niedrigen Außentemperaturen.

Unabhängig von den Außentemperaturen.

Bei geschlossener Bürotür.

Bei geöffneter Bürotür.

18 Verspüren sie störende Zugscheinungen an sonstigen Stellen des Gebäudes?

nein

manchmal

oft
bitte nennen Sie ggf. den Ort

19 Haben Sie das Gefühl, dass in Ihrem Büro wärmere und kältere Bereiche vorhanden sind ?

ja

nein

bitte nennen Sie ggf. den Ort:

warmer Bereich:

kalter Bereich:

20 Wie empfinden sie die Raumtemperaturen an sonnigen Wintertagen ?

zu kalt zu warm

falls ihnen zu warm ist

20a Was unternehmen sie um die Temperatur im Raum zu senken ?

- Lüftungsstufe 2 aktivieren (Taster neben der Tür betätigen).
- Die Heiztemperatur am Drehregler neben der Tür vermindern.
- Fenster öffnen.
- Tür öffnen.
- Die Jalousien hochfahren.

falls ihnen zu kalt ist

20b Was unternehmen sie um die Temperatur im Raum zu senken ?

- Lüftungsstufe 2 deaktivieren (Taster neben der Tür betätigen).
- Die Heiztemperatur am Drehregler neben der Tür erhöhen.
- Tür öffnen.
- Zusatzheizung (elektrischer Heizstrahler etc...).

C BELÜFTUNG

21 Wie empfinden Sie die Luftqualität an Ihrem Arbeitsplatz ?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

22 Empfinden Sie an Ihrem Arbeitsplatz störende Gerüche durch die Lüftungsanlage ?

- nein
- manchmal
- oft

23 Können sie die Fenster in Ihrer Fassade ausreichend öffnen ?

ja

nein

Falls Sie mit nein geantwortet haben:

23a Würden Sie gerne eine ausreichende Öffnungsmöglichkeit haben?

ja

nein

24 Wie häufig öffnen Sie täglich die Fenster in Ihrem Büro ?

sehr häufig

häufig

selten

nie

24a Aus welchem Grund öffnen sie die Fenster ?

schlechte Raumluf

zu hohe Raumluf

Kontakt zur Umgebung

Sonstige bessere Behaglichkeit

25 Wie oft steht die Tür Ihres Büroraumes zum Flur hin offen, wenn Sie den Raum benutzen ?

sehr häufig

häufig

selten

nie

25a Warum öffnen sie die Türe in Ihrem Büro ?

Kontakt zu Kollegen

schlechte Luft

zu hohe Raumtemperaturen

für den Arbeitsablauf notwendig

D BELEUCHTUNG

26 Wie beurteilen Sie die Tageslicht-Beleuchtung an Ihrem Arbeitsplatz ?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

27 Wie beurteilen Sie die Kunstlicht-Beleuchtung an Ihrem Arbeitsplatz ?

- gut
- eher gut
- mittelmäßig
- eher schlecht
- schlecht

28 Welche Art von Beleuchtung bevorzugen Sie an Ihrem Arbeitsplatz ?

- Tageslicht
- Kunstlicht
- Kombination von beiden

29 Benutzen sie eine Tischleuchte

- ja
- nein

30 Benutzen sie eine sonstige Zusatzbeleuchtung

- ja
- nein

wenn ja, welcher Art ?

31 Erzeugt das Tageslicht Blenderscheinungen, welche Sie stören?

	häufig	gelegentlich	nie
a) diffuse Himmelstrahlung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) direkte Sonnenstrahlung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) externe Reflexionen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

32 Erzeugt die Beleuchtung Reflexionen (Indirektblendung) auf Ihrem Arbeitsmaterial ?

	nicht störend	wenig störend	relativ störend	sehr störend
a) Deckenbeleuchtung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Tageslicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

33 Wie beurteilen sie die visuelle / optische Qualität Ihres Arbeitsplatzes ?

- hell
- unregelmäßig beleuchtet
- dunkel
- gute Farbgestaltung
- unbefriedigende Farbgestaltung
- anderes - (bitte angeben)

34 Sind sie mit der automatischen Regelung der Sonnenschutzeinrichtung zufrieden ?

- ja
- nein

falls Sie mit nein geantwortet haben:

34a Womit sind Sie unzufrieden?

- Die Automatik funktioniert nur unzuverlässig.
- Die Automatik funktioniert überhaupt nicht.
- Die Jalousien fahren nicht weit genug nach oben.
- anderes - (bitte angeben)

35 Sind sie mit der manuellen Regelung der Sonnenschutzeinrichtung zufrieden ?

ja

nein

falls Sie mit nein geantwortet haben:

35a Womit sind Sie unzufrieden?

Die Jalousien können nicht zu jeder Zeit hochgefahren werden.

Die Stellungen der Lamellen lassen sich nicht zu Ihrer Zufriedenheit einstellen.

anderes - (bitte angeben)

36 Sind sie mit der Blendschutzwirkung der Sonnenschutzeinrichtung zufrieden?

ja

nein

falls Sie mit nein geantwortet haben:

36a Womit sind Sie unzufrieden?

Das Fenster wird nicht komplett abgedeckt. Entlang der Ränder treten Blenderscheinungen auf.

Die Neigung der Lamellen bei nicht ganz hochgefahrener Jalousie ist zu steil.

Die Neigung der Lamellen bei nicht ganz hochgefahrener Jalousie ist zu flach.

anderes - (bitte angeben)

37 Beurteilen Sie die Größe Ihres Fensters?

zu groß

gerade richtig

zu klein

Dieser Fragebogen wurde ausgefüllt am: