



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN**

**DIPLOMARBEIT**  
**ENERGIEVERBRAUCH UND**  
**NUTZERVERHALTEN IN EINEM WIENER**  
**BÜROHAUS**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines  
Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von  
Associate Prof. DI DI(FH) Dr. Matthias Schuss  
E 259-3 Abteilung für Bauphysik und Bauökologie  
Institut für Architekturwissenschaften

eingereicht an der  
Technischen Universität Wien  
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von  
Georg Hurka  
08726954

Klostergasse 5  
2340 Mödling

Mödling, im September 2018

## Kurzfassung

Diese Arbeit untersucht den Energieverbrauch und die Nutzerzufriedenheit in einem Wiener Bürogebäude. Im ersten Teil der Arbeit wird der durch Heizen und Kühlen verursachte Energieaufwand in Relation zum berechneten Energiebedarf gesetzt, welcher in der Planungsphase für den verpflichtenden Energieausweis ermittelt worden ist. Konkret werden die Daten der Energiezähler aus den ersten beiden Betriebsjahren mit den Werten aus dem Energieausweis monatlich gegenübergestellt.

In Teil zwei wird eine detaillierte Bewertung des thermischen Komforts vorgenommen und auf diesbezügliche Interaktionen durch die Nutzer eingegangen. Dazu wurde in einer repräsentativen Abteilung des Gebäudes der thermische Komfort ermittelt sowie der Umgang der Nutzer mit den Steuerungsmöglichkeiten zum Raumklima erfragt. Messungen und Umfrage wurden zwischen Mai und August 2018 durchgeführt.

Zur langfristigen objektiven Erfassung des thermischen Komforts wurden Messgeräte für Temperatur, Luftfeuchtigkeit und CO<sub>2</sub>-Gehalt in den Büroräumen dieser Abteilung installiert. Zusätzlich wurden Kontaktsensoren an Türen und Fenstern sowie Bewegungssensoren in den Räumen angebracht, um so das Verhalten und die Interaktionen der Nutzer aufzuzeichnen. Während des Messzeitraums wurden zusätzlich zwei standardkonforme detaillierte thermische Komfortmessungen (inklusive operativer Raumtemperatur und Luftgeschwindigkeit) an den Arbeitsplätzen durchgeführt.

Ergänzend dazu wurde in regelmäßigen Abständen der subjektive thermische Komfort der Nutzer mittels eines Fragebogens ermittelt. Dabei wurde auch erhoben, wie weit die Mitarbeiter ihre Möglichkeiten zur Steuerung des Innenraumklimas nutzten und für wie wichtig sie diese Möglichkeit zur Steuerung des Raumklimas erachteten.

Dadurch gelingt es in dieser Arbeit, einen relevanten Vergleich zwischen subjektiver und objektiver Bewertung des Innenraumklimas zu ziehen, die Lüftungsgewohnheiten der Nutzer zu dokumentieren sowie die Luftqualität in den Büroräumen zu bewerten.

## Summary

This thesis focuses on two parts of performance evaluation in an existing office building in Vienna. In the first part the energy expenditure caused by heating and cooling was analyzed in relation to the calculated energy demand included in the mandatory energy certificate from the building design phase. Therefore real data from the first two years in operation was compared with those ones from the certificate on a monthly bases.

The second part of the work focuses on a detailed assessment of indoor comfort together with an exploration of user interactions. Therefore in a representative part of the building, thermal comfort and the office occupiers' usage of the controlling options of the thermal room air conditioning system were measured and inquired between May and August of 2018.

For the objective assessment of thermal comfort, measuring devices for air temperature, relative air humidity and CO<sub>2</sub>-concentration were installed in all offices of one floor in the building. In addition, contact sensors on doors and windows together with occupancy detectors were installed to keep track of the users' behavior and interactions. Finally, the operative room temperature was specifically measured twice within the span of the study.

Furthermore, a questionnaire-based evaluation of the users' subjective thermal comfort within that unit, was conducted periodically. As a part of this, it was also assessed whether or not the office occupants made use of the possibility to override the automatic thermal room regulation and how important they believed it to be.

Therefore, this thesis is able to draw a comparison between the subjective and objective evaluation of the thermal room condition, as well as document user ventilation habits and rate the offices' air quality.

Keywords: office building, energy expenditure, heating, cooling, thermal comfort, window ventilation, door ventilation, CO<sub>2</sub>-concentration, thermal room regulation, user override

# Inhalt

<b>Kapitel 1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Übersicht.....	1
1.2	Motivation.....	2
1.3	Hintergrund Nutzerkomfort .....	3
1.3.1	Thermische Behaglichkeit, thermischer Komfort .....	3
1.3.1.1	Temperatur im Raum .....	4
1.3.1.2	Luftfeuchtigkeit .....	5
1.3.1.3	Luftbewegung .....	6
1.3.1.4	PMV und PPD .....	7
1.3.2	Raumluftqualität und CO <sub>2</sub> .....	9
1.3.3	Fensterlüftung .....	10
<b>Kapitel 2</b>	<b>Methode .....</b>	<b>11</b>
2.1	Überblick zum gewählten Arbeitsansatz.....	11
2.2	Das zu untersuchende Bürogebäude .....	13
2.2.1	Beschreibung des Gebäudes.....	13
2.2.2	Beschreibung der bauphysikalischen Ausführung.....	14
2.2.3	Beschreibung der haustechnischen Anlage und Ausstattung.....	15
2.3	Fragestellung .....	16
2.4	Beschreibung des im Detail untersuchten Bürobereichs.....	17
2.5	Datenbasis und zusätzliche Messungen .....	19
2.5.1	Zählerdaten.....	19
2.5.2	Langzeit Innenraumkomfortmessung.....	19
2.5.3	Normkonforme Einzelmessungen des Innenraumkomforts.....	20

2.6	Nutzerbefragung .....	21
2.7	Vorgangsweise bei der Auswertung .....	22
2.7.1	Zählerdaten, Energieausweis.....	22
2.7.2	Langzeit Innenraumkomfortmessung.....	22
2.7.3	Normkonforme Einzelmessung des Innenraumkomforts.....	23
2.7.4	Fragebogen .....	23
<b>Kapitel 3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>24</b>
3.1	Errechneter Energiebedarf und tatsächlicher Energieverbrauch .....	24
3.2	Luftqualität und Lüftung .....	35
3.3	Thermische Behaglichkeit.....	62
3.3.1	Objektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit .....	66
3.3.2	Subjektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit.....	84
3.3.3	Gegenüberstellung objektiver und subjektiver Beurteilung der thermischen Behaglichkeit.....	86
3.4	Nutzung der Steuerungsmöglichkeiten.....	87
<b>Kapitel 4</b>	<b>Ergebnisanalyse .....</b>	<b>91</b>
4.1	Energieverbrauch.....	91
4.2	Analyse der Ergebnisse .....	92
4.2.1	Luftqualität .....	92
4.2.2	Objektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit .....	93
4.2.3	Subjektive thermische Behaglichkeit.....	94
4.3	Nutzung der Steuerungsmöglichkeiten.....	94
<b>Kapitel 5</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>96</b>
<b>Kapitel 6</b>	<b>Literatur und Abbildungen.....</b>	<b>98</b>
6.1	Literatur .....	98
6.2	Tabellen .....	100
6.3	Abbildungen .....	101
<b>Anhänge</b>	<b>107</b>	

# Kapitel 1

## Einleitung

### *1.1 Übersicht*

Diese Arbeit untersucht den tatsächlichen Energiebedarf sowie das Innenraumklima und die damit zusammenhängenden Interventionen von Nutzern in einem Wiener Bürogebäude. Das untersuchte Bürohaus wurde 2013 geplant und 2015 von den Nutzern bezogen.

Im ersten Teil der Arbeit wird der erfasste Energieverbrauch für Heizung und Kühlung der ersten beiden Betriebsjahre mit den Werten des Energieausweises aus der Planung im Detail verglichen.

Der zweite Teil Arbeit beschäftigt sich mit der Behaglichkeit des Innenraumklimas. Dazu wurden in einem repräsentativen Bereich des Gebäudes Sensoren zur Erfassung von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und CO<sub>2</sub>-Gehalt an den Arbeitsplätzen installiert. Zusätzlich wurden Sensoren zur Erfassung der Anwesenheit von Nutzern sowie deren Interaktion mit Fenstern und Türen angebracht. Die Daten dieser Langzeitmessungen wurden durch kurzzeitige standardkonforme Innenraumklimamessungen ergänzt.

Vervollständigt wurden die Untersuchungen zum Innenraumklima durch eine Befragung der Nutzer in dieser Abteilung. Die Befragung umfasste die raumklimatische Behaglichkeit sowie die Nutzung der steuerbaren Elemente zur Regelung des Raumklimas und der natürlichen Belichtung.

Ein wichtiger Aspekt der gesamten Untersuchung war die Dokumentation des Lüftungsverhaltens in der gegebenen speziellen baulichen und haustechnischen Situation. Baulich ist die Doppelfassade zu erwähnen, über deren Zwischenraum eine manuelle Lüftung erfolgen kann. Im Bereich der Haustechnik ist anzumerken, dass die Nutzer die Möglichkeit einer manuellen Übersteuerung für die Raumtemperatur und die Beschattung haben. Die zugehörigen Heiz- und Kühlkonvektoren sind so im

Automationssystem eingebunden, dass sie bei Öffnen des Fensters automatisch abgeschaltet werden.

Das Objekt wurde speziell in Hinsicht auf Querlüftung und Nachtlüftung hin ausgelegt, um während der Sommermonate einen energieoptimierten Betrieb mit möglichst geringem Kühlbedarf zu ermöglichen. Diese Maßnahmen wurden im Planungsprozess auch mittels einer Simulation auf ihre Wirksamkeit geprüft.

## **1.2 Motivation**

40% des Gesamtenergieverbrauchs in der EU entfallen auf den Energieverbrauch von Gebäuden (2010/31/EU). Ein großer Teil davon wird zum Heizen und Kühlen aufgewendet. Daher gibt es in diesen Bereichen ein erhebliches Potenzial, Energie einzusparen. Der Energieausweis ist ein wesentliches Werkzeug zur Planung und Entwicklung von energieoptimierten Gebäuden. Er ist eine theoretische Grundlage und liefert den Planern und Bauherren einen Richtwert für den späteren Energieverbrauch. Von besonderem Interesse ist, wie sich der tatsächliche Verbrauch unter realen Nutzungsbedingungen im Vergleich zu den aus allgemeinen Eingabeparametern kalkulierten Energieausweisdaten verhält.

Neben Maßnahmen eines energetisch optimierten Betriebs von Gebäuden ist es dennoch ein wichtiges Anliegen, den Nutzern einen Arbeitsplatz mit hohem Komfort zu bieten. Das in dieser Arbeit untersuchte Wiener Bürohaus stellt sich in diesem Zusammenhang als ein sehr interessantes Analyseobjekt dar, da die einzelnen Systeme zur Unterstützung des Nutzerkomforts, wie thermische Steuerung, Nachtlüftung, Beschattung und Blendschutz sowie die Lamellenstellung der äußeren Fassade, ein spezielles Anliegen im Entwurf des Gebäudes waren. Um einen möglichst hohen Nutzerkomfort am Arbeitsplatz zu erreichen, wurden die Systeme so geplant, dass neben der automatischen Steuerung die Sollwertvorgaben auch von den Nutzen individuell übersteuert werden können. Die Erhebung der tatsächlichen Nutzung der Übersteuerungsmöglichkeiten sowie die tatsächliche Gebäudenutzung und die damit verbundene subjektive und objektive Beurteilung thermischer Behaglichkeit sind ein wesentlicher Teil dieser Arbeit.

## **1.3 Hintergrund Nutzerkomfort**

*„Seit dem 19. Jahrhundert war das Verständnis von Komfort verbunden mit den allgemeinen Faktoren Licht, Wärme und Belüftung“ (Gossauer 2008). Der Komfortbegriff wurde weiterentwickelt und es „behauptete Cooper, dass Komfort-Standards soziale Konstrukte seien, die die Vorstellung, Werte, Erwartungen und Wünsche derer widerspiegeln, die sie entwickeln“ (Gossauer 2008).*

Man kann sagen, dass die Zufriedenheit mit dem Arbeitsumfeld nicht nur durch das Raumklima sehr stark beeinflusst wird, sondern dass auch die Ausstattung des Raumes, die verwendeten Materialien, das Ambiente, die Ergonomie und die Raumproportionen eine wichtige Rolle spielen (Gossauer 2008). So wird der Komfort-Begriff laufend um Faktoren erweitert, auch wenn der thermische Komfort dabei ein Kernpunkt der gefühlten Behaglichkeit bleibt.

Eine besondere Komplexität des Komfortbegriffs stellt das subjektive Empfinden der Nutzer dar, da jeder die Behaglichkeit anders wahrnimmt und beurteilt. Einen objektiveren Richtwert zur Beurteilung der mittleren Wahrnehmung der Nutzer geben der PMV (Predicted Mean Vote) und der PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), mit denen eine Aussage über den thermischen Komfort getroffen werden kann.

### **1.3.1 Thermische Behaglichkeit, thermischer Komfort**

Die thermische Behaglichkeit ist ein wesentlicher Faktor des Wohlfühlens und hat damit entscheidenden Einfluss auf den Nutzerkomfort in einem Gebäude. Sie umfasst Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftqualität und Luftbewegung im Gebäude. Von Nutzerseite sind Faktoren wie die Wärmebilanz des Menschen durch körperliche Tätigkeit, Bekleidung, aber auch die Erwartungshaltung entscheidend. Wobei nicht alleine die tatsächlichen Raumklimawerte von Relevanz sind, sondern auch die Möglichkeit des Nutzers, auf die Raumklimawerte effektiv Einfluss zu nehmen, die Zufriedenheit steigert (Gossauer 2008). Einfach messbare Einzelwerte zur Ermittlung der thermischen Behaglichkeit sind Lufttemperatur, Oberflächentemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit und der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft.

### 1.3.1.1 Temperatur im Raum

Die vorhandene Temperatur ist einer der Einflussfaktoren auf die Behaglichkeit einer Umgebung. Im Allgemeinen wird die Raumlufttemperatur über Heizung und Kühlung geregelt. Die Lufttemperatur sagt jedoch nur etwas über die Temperatur der umgebenden Raumluft aus und berücksichtigt noch nicht die für die Behaglichkeit ebenso relevante Strahlungstemperatur. Mit der Lufttemperaturangabe alleine lässt sich noch keine Aussage über die thermische Behaglichkeit treffen.

Die mittlere Oberflächentemperatur der umgebenden Flächen hat ebenfalls entscheidenden Einfluss auf die thermische Behaglichkeit eines Raumes. Die Oberflächentemperatur wird als Wärme- oder Kältestrahlung wahrgenommen und kann bereits ab einer Abweichung von ca. 1°K Unterschied zur Lufttemperatur wahrgenommen werden. Idealerweise sollen die einzelnen Oberflächentemperaturen nicht zu stark voneinander abweichen (z.B. kaltes Fenster) und keinen großen Unterschied zur Lufttemperatur aufweisen (siehe Abbildung 1).

Die operative Raumtemperatur entspricht der empfundenen Temperatur im Raum und ist die für die Behaglichkeit aussagekräftigste Temperatur. Sie kann bei Luftgeschwindigkeiten unter 0,2m/s aus der Lufttemperatur und der Oberflächentemperatur des Raumes gemittelt werden. Gemessen wird die operative Raumtemperatur mit einem Schwarzkugel-Thermometer (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

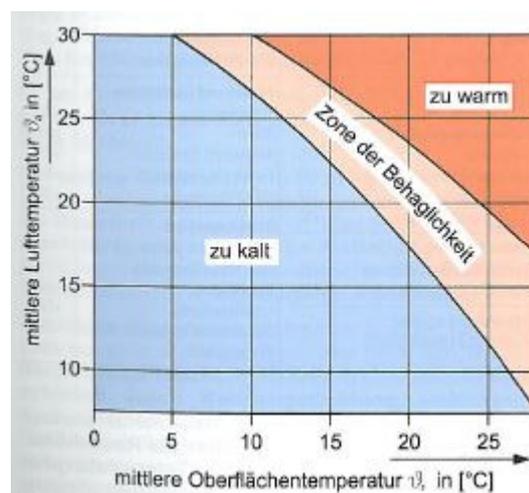


Abbildung 1: Zusammenhang von Luft- und Oberflächentemperatur (Schlagnitweit / Wagner 2017, S3)



Abbildung 2: Schwarzkugelthermometer im Einsatz an einem Arbeitsplatz

### 1.3.1.2 Luftfeuchtigkeit

Im Zusammenhang mit der thermischen Behaglichkeit werden Komfortzonen relativer Luftfeuchtigkeit in Prozent angegeben, diese sollte zwischen 30% und 70% liegen (Schlagnitweit 2017). Die relative Luftfeuchtigkeit steht im direkten Zusammenhang mit der Raumlufttemperatur, wobei es bei einer Erhöhung der Lufttemperatur zu einer Verringerung der Feuchte kommt. Eine zu geringe Luftfeuchtigkeit führt im Allgemeinen zu einer Austrocknung, verstärkter Staubbildung und elektrischer Aufladung. Eine zu hohe Luftfeuchtigkeit führt hingegen zu einer erhöhten Kondensatbildung am Bauwerk und bei entsprechender Temperatur zu gefühlter Schwüle ( $>12\text{g Wasser/kg Luft}$ ). Auch in der Ö-Norm EN 15251 wird für die Dimensionierung der Be- und Entfeuchtung der Luft ein Maximalwert der absoluten Feuchte von  $12\text{g/kg}$  empfohlen (EN 15251). Bei Gebäuden, in denen die Luftfeuchtigkeit in der Zuluft nicht geregelt wird, hängt die relative Luftfeuchtigkeit von der Luftfeuchtigkeit und Temperatur der Außenluft, der Raumtemperatur und der dem Raum zugeführten Frischluftmenge ab. Dadurch kann es in temperierten Innenräumen im Winter zu trockener Luft und im Sommer zu hoher Luftfeuchtigkeit kommen (siehe Abbildung 3).

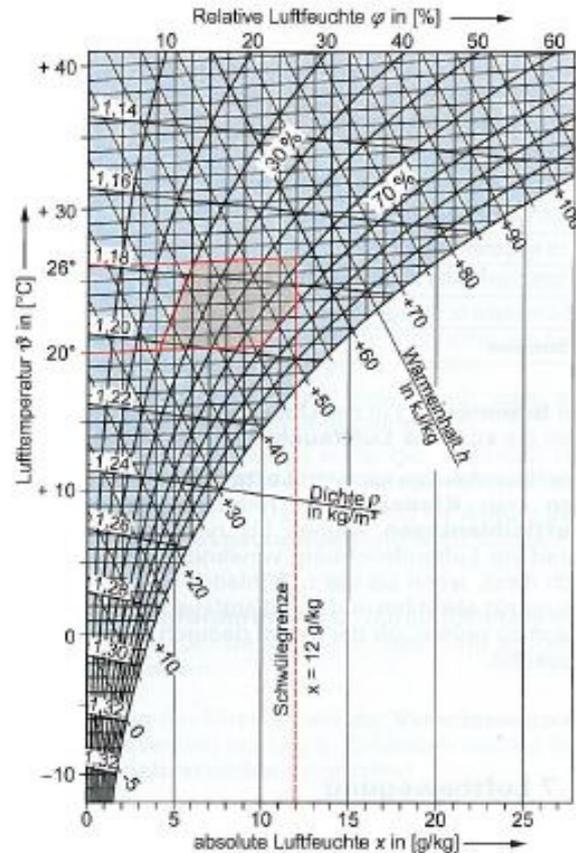


Abbildung 3: Behaglichkeitsfeld für normal gekleidete Menschen bei leichter Tätigkeit (Schlagnitweit / Wagner 2017, S5)

### 1.3.1.3 Luftbewegung

Ein weiterer wichtiger Faktor für die thermische Behaglichkeit ist die Luftbewegung. Die Luftbewegung hat großen Einfluss auf die empfundene Raumtemperatur und wird bei zu starker Bewegung als Zugluft empfunden. Das Empfinden von Zugluft wird individuell sehr unterschiedlich wahrgenommen. Als Mittelwerte für die Luftgeschwindigkeit gelten für geringe körperliche Tätigkeit maximal 0,1m/s, für normale körperliche Tätigkeit 0,2m/s und bei hoher körperlicher Belastung 0,3m/s. Diese Werte sind bei einer Messdauer von 200 Sekunden als Mittelwert einzuhalten.

Bei Stoßlüftung über das Fenster wird während des Lüftungsvorgangs ein Überschreiten der Luftgeschwindigkeit in Kauf genommen, da diese Lüftungsmethode ja auf einen raschen Luftwechsel abzielt und vom Nutzer initiiert wird.

### 1.3.1.4 PMV und PPD

Der PMV-Index (Predicted Mean Vote oder Vorhergesagtes Mittleres Votum) und der PPD-Index (Predicted Percentage of Dissatisfied oder Vorhergesagter Prozentsatz an Unzufriedenen) dienen der analytischen Bestimmung und objektiven Beurteilung der thermischen Behaglichkeit. Die entsprechenden mathematischen Modelle zur Ermittlung von PMV und PPD sind in der zugehörigen Ö-Norm EN ISO 7730 beschrieben.

Der PMV-Wert basiert auf einer siebenstufigen Klimabeurteilungsskala und sagt die mittlere Innenklimabeurteilung einer großen Personengruppe vorher. Als Einflussfaktoren werden körperliche Tätigkeit (körperliche Aktivität der Person als met-Wert, siehe Tabelle 1), Bekleidung (clo-Wert siehe Tabelle 2), Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung berücksichtigt.

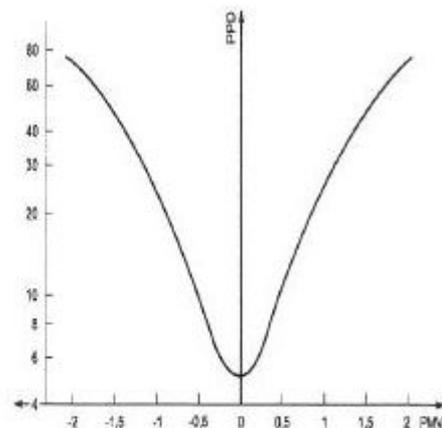
Der zusätzliche PPD-Wert steht in direktem Zusammenhang mit dem PMV-Wert und sagt aus, wie viele Unzufriedene aus einer großen Personengruppe bei einem bestimmten Umgebungsklima zu erwarten sind. Dabei sind auch bei optimalem Raumklima mit einem PMV-Wert von Null 5% Unzufriedene zu erwarten. Im zulässigen PMV Bereich von -0,5 bis +0,5 sind 10% der Nutzer unzufrieden.

Tabelle 1: Energieumsatz von Personen nach Tätigkeit (EN 7730, 2006)

Aktivität	Energieumsatz	
	Wm <sup>-2</sup>	met
Angelehnt	46	0,8
Sitzend, entspannt	58	1,0
Sitzende Tätigkeit (Büro, Wohnung, Schule, Labor)	70	1,2
Stehende, leichte Tätigkeit (Einkaufen, Labor, leichte Industriearbeit)	93	1,6
Stehende, mittelschwere Tätigkeit (Verkaufstätigkeit, Hausarbeit, Maschinenbedienung)	116	2,0
Gehen auf der Ebene:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Tabelle 2: Thermische Isolationswerte für Bekleidung (EN 7730, 2006)

Arbeitsbekleidung	$I_{cl}$		Tägliche Kleidung	$I_{cl}$	
	clo	$m^2 \cdot K/W$		clo	$m^2 \cdot K/W$
Unterhose, Latzhose, Socken, Schuhe	0,70	0,110	Slip, T-Shirt, Shorts, leichte Socken, Sandalen	0,30	0,050
Unterhose, Hemd, Latzhose, Socken, Schuhe	0,80	0,125	Unterhose, Hemd mit kurzen Ärmeln, leichte Hose, leichte Socken, Schuhe	0,50	0,080
Unterhose, Hemd, Hose, Arbeitskittel, Socken, Schuhe	0,90	0,140	Slip, Petticoat, Strümpfe, Kleid, Schuhe	0,70	0,105
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe	1,00	0,155	Unterwäsche, Hemd, Hose, Socken, Schuhe	0,70	0,110
Unterwäsche mit langen Beinen und Ärmeln, Thermojacke, Socken, Schuhe	1,20	0,185	Slip, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe	1,00	0,155
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Jacke, schwere Steppjacke und Overalls, Socken, Schuhe, Mütze, Handschuhe	1,40	0,220	Slip, Strümpfe, Bluse, langer Rock, Jacke, Schuhe	1,10	0,170
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Jacke, schwere Steppjacke und Overall, Socken, Schuhe	2,00	0,310	Unterwäsche mit langen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Pullover mit V-Ausschnitt, Jacke, Socken, Schuhe	1,30	0,200
Unterwäsche mit langen Ärmeln und Beinen, Thermojacke und Hose, Parka mit schwerer Steppung, Overall mit schwerer Steppung, Socken, Schuhe, Mütze, Handschuhe	2,55	0,395	Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Weste, Jacke, Mantel, Socken, Schuhe	1,50	0,230



**Legende**

- PMV    Vorausgesagtes mittleres Votum
- PPD    Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, %

Abbildung 4: PPD als Funktion des PMV (EN 7730,2006)

### 1.3.2 Raumlufthqualität und CO<sub>2</sub>

Um eine bestimmte Raumlufthqualität zu gewährleisten, ist auf eine entsprechende Zufuhr von sauberer Außenluft zu achten. Bei Arbeitsräumen mit Produktionsprozessen und den daraus resultierenden Emissionen ist der hierfür zulässige MAK-Wert (Maximale Arbeitsplatzkonzentration) der emittierenden Stoffe durch ausreichenden Luftwechsel einzuhalten. Die Grenzwerte sind in der Grenzwerteverordnung (GKV 2011) festgelegt und betragen für die CO<sub>2</sub>-Konzentration 5000ppm im Tagesmittel mit zulässigen Kurzzeitwerten von 10.000ppm.

In Räumen mit Büronutzung sind die Emissionen überwiegend durch die Nutzer, die umgebenden Baustoffe und die Einrichtung verursacht. Die Luftqualität ist dabei von der Anzahl der Personen und deren Tätigkeit sowie von der Menge und Qualität der eingebrachten Außenluft abhängig.

Als gut messbare Größe wird in normal benutzen Räumen wie Wohnräumen, Büros oder Schulen die CO<sub>2</sub>-Konzentration als Kennwert für die Luftqualität herangezogen. Als Zielwert für gute Raumlufthqualität wird üblicherweise eine maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1000ppm, die Pettenkoferzahl, genannt. Denn bereits vor 160 Jahren setzte Max von Pettenkofer mit seinen Untersuchungen zur Innenluftqualität einen Meilenstein. Seine Untersuchungen zeigten, dass sich bei einer CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumlufth unter 0,1% die Versuchspersonen wohl fühlten, bei Werten über 0,2% unbehaglich. Daraus hat Pettenkofer einen CO<sub>2</sub>-Grenzwert von 1000ppm abgeleitet (Bundesgesundheitsblatt 2008). Noch heute gilt ein CO<sub>2</sub>-Gehalt von kleiner 1000ppm als „hygienisch unbedenklich“, sodass „keine weiteren Maßnahmen“ erforderlich sind (Bundesgesundheitsblatt 2008).

Die Ö-Norm EN 13779 legt in den Tabellen A.10 und A.11 je nach Bedarf und Nutzung CO<sub>2</sub>-Grenzwerte für die Innenluft fest, die im Bezug zur Außenluft (Frischlufth) definiert sind (siehe Tabelle 3 und Tabelle 4).

Tabelle 3: Klassifizierung der Raumlufth (EN13779 Tab A.10, 2008)

Kategorie	Beschreibung
IDA 1	Hohe Raumlufthqualität
IDA 2	Mittlere Raumlufthqualität
IDA 3	Mäßige Raumlufthqualität
IDA 4	Niedrige Raumlufthqualität

Tabelle 4: CO<sub>2</sub>-Gehalt der Innenraumluft (EN13779 Tab A.11, 2008)

Kategorie	CO <sub>2</sub> -Gehalt über dem Gehalt in der Außenluft, in ppm	
	Üblicher Bereich	Standardwert
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 – 600	500
IDA 3	600 – 1 000	800
IDA 4	> 1 000	1 200

### 1.3.3 Fensterlüftung

Die Raumlüftung über das Fenster ist die einfachste Möglichkeit, Räume mit ausreichend Frischluft zu versorgen und Emissionen aus der Raumluft zu entfernen. Jedoch ist diese Art der Raumlüftung schwer zu steuern und wird in den zugehörigen Normen und Richtlinien im Gegensatz zu Lüftungsanlagen kaum geregelt. So ist für die Fensterlüftung nur eine Mindestfläche in Relation zur Fußbodenfläche vorzusehen, die laut Arbeitsstättenverordnung (AStV 1998) 2% betragen muss. Doch die Umsetzung der Lüftung im realen Betrieb hängt zur Gänze vom Nutzer und dessen Interaktionen ab.

Der tatsächliche Luftaustausch über das Fenster ist nicht fix und hängt überwiegend von der Druckdifferenz zwischen Außen und Innen ab. Es lässt sich aber sagen, je höher eine Fensteröffnung ist, desto effizienter tritt der Luftaustausch ein. Weitere Faktoren, die den Druckunterschied beeinflussen, sind der Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen, die Windstärke und die Windrichtung.

Das komplexe Thema der Fensterlüftung erfordert einfache Anwendungsregeln für Nutzer. So empfiehlt zum Beispiel die deutsche Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin für die freie Lüftung, Büroräume alle 60min und Besprechungsräume alle 20min zu lüften. Die Lüftungsdauer als Stoßlüftung soll dabei jahreszeitabhängig im Sommer 10min, im Frühjahr / Herbst 5min und im Winter 3min betragen, um die CO<sub>2</sub>-Konzentration unter 1000ppm zu halten (ASR A3.6 2018).

Für die Lüftung mit offenem Fenster gilt, dass eine circa 7-15fache Luftwechselrate pro Stunde erreicht wird. Bei Querlüftung lässt sich dieser Wert bis über den 20fachen Luftwechsel pro Stunde steigern (Richter 2003). Bei diesen Untersuchungen zur Fensterlüftung wurde von 5°C Mindesttemperaturdifferenz zwischen Innen und Außen ausgegangen. Die Ergebnisse stellen daher Werte unter guten Lüftungsbedingungen dar.

## Kapitel 2

### Methoden

#### ***2.1 Überblick zum gewählten Arbeitsansatz***

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Energiebedarf und Energieverbrauch eines Wiener Bürohauses sowie mit dem Komfort und der Interaktion der Nutzer mit dem Gebäudesystem. Konkret wird im ersten Teil der tatsächliche Energiebedarf eines Gebäudes mit den Werten des Energieausweises verglichen. Im zweiten Teil werden die Büroräume einer Abteilung auf ihre Behaglichkeit untersucht. Die untersuchten Büros sind nach Norden, Osten und Süden orientiert und werden mittels manuell zu öffnenden Fenstern belüftet. Die Heizung und Kühlung der Räume erfolgt über Bodenkonvektoren.

Zur Erhebung des Energiebedarfs wurden Aufzeichnungen von Zählern, die bereichsweise (meist geschoßweise) eingebaut sind, ausgewertet. In den Büroräumen wurden zusätzlich Langzeitmessungen für Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftqualität über drei Monate sowie zwei Einzelmessungen zur operativen Raumtemperatur durchgeführt. Die Wetterdaten für diesen Zeitraum wurden von der Wetterstation der TU Wien übernommen (siehe Abbildung 5), da diese Station innerhalb eines Umkreises von 500 Metern liegt. Die Wetterstation wird vom Department of Building Physics and Building Ecology betrieben.

Im Zeitraum der Langzeitmessungen wurden die Mitarbeiter in den Büros alle zwei Wochen bezüglich des Raumklimas, der Behaglichkeit und der Anwendung der steuerbaren Elemente zur Gestaltung des Raumklimas befragt. Der verwendete Fragebogen ist im Anhang beigelegt.

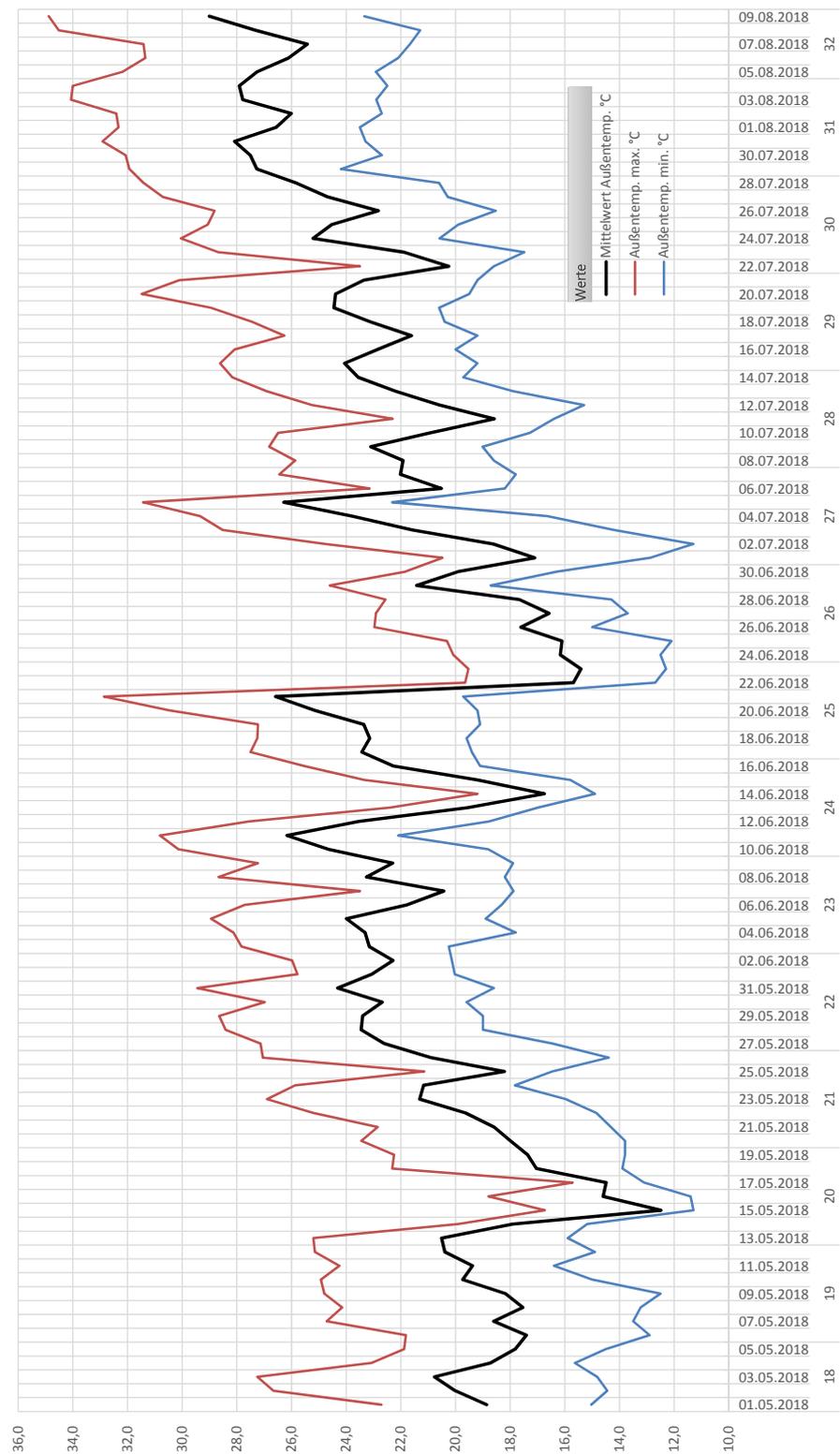


Abbildung 5: Zeitleiste über den Messzeitraum der Tagesmitteltemperatur und der täglichen Minima und Maxima

## 2.2 Das zu untersuchende Bürogebäude

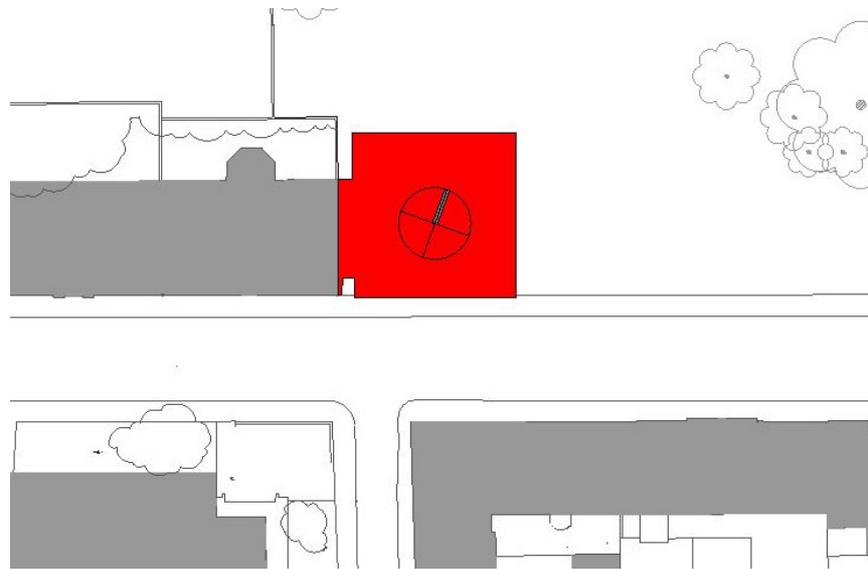


Abbildung 6: Lageplan des Bürogebäudes

### 2.2.1 Beschreibung des Gebäudes

Die Büros in den Regelgeschossen wurden als Zellenbüros für 1 bis 4 Benutzer entlang der Süd- und Nordfassade angeordnet. Die kleinteiligen Einheiten sind durch die teilweise Beratungstätigkeit, bzw. durch unterschiedliche Aufgabenstellungen der Mitarbeiter, bedingt. Zwischen den Bürobereichen befindet sich an der Ostseite jeweils eine Besprechungseinheit und im Mittelbereich eine Kommunikationszone mit teilweiser interner Verbindung in die anderen Geschosse. In dieser Mittelzone sind auch die Sanitäreinheiten und im Anschluss das Hauptstiegenhaus mit Aufzug situiert.

Das Gebäude ist als Stahlbeton-Tischkonstruktion ausgeführt. Die Decken sind 25cm Ortbetonplatten, die Säulen sind Fertigteil-Schleuderbetonstützen. Der aussteifende Kern wurde aus Stahlbetonscheiben mit Hohlwandfertigteilen um die Sanitärbereiche und das Stiegenhaus errichtet.

Die Deckenuntersichten und die Stahlbetonwände wurden unverkleidet belassen um optimal als Speichermasse zu dienen. Lediglich an der Deckenuntersicht wurden im notwendigen Ausmaß Akustikabsorber montiert, die die freie Deckenfläche möglichst gering einschränken.

Der Fußboden wurde als Ständerboden ausgeführt, in dem sowohl die Elektro- und Datenverkabelung als auch die Heiz-, Kühl- und Lüftungsleitungen untergebracht sind.

Die Fassade ist als Doppelfassade ausgeführt, wobei die innere Fassade als Elementfassade zwischen die Decken gestellt wurde. Die äußere Fassade ist mittels Stahlkonsolen an den Deckenstirnseiten thermisch getrennt vorgehängt. Die innere Elementfassade ist etwa zur Hälfte mit gedämmten Paneelen mit Holzrahmen, die andere Hälfte mit dreigeteilten Glaselementen ausgeführt. Wobei der oberste Bereich eines Glaselements den automatisch öffnenden Kippflügel für die Nachtlüftung enthält, in den mittleren Teil sind die von Hand zu öffnenden Fensterflügel eingeschnitten, und der untere Teil ist als Parapetverglasung ausgeführt. Die äußere Fassade ist zu zwei Drittel als transluzente Profilglasfassade (siehe Abbildung 7) und zu einem Drittel mit transparenten beweglichen Glaslamellen ausgeführt.



*Abbildung 7: Doppelfassade von außen und innen mit den drehbaren Glaslamellen vor den Drehflügelfenstern*

### **2.2.2 Beschreibung der bauphysikalischen Ausführung**

Das grundsätzliche bauphysikalische Konzept des Gebäudes ist es, die statisch notwendigen, innen liegenden massiven Bauteile als Speichermasse zu nutzen, während die leichte Elementfassade nur die Funktion der Dämmung übernimmt. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die Vermeidung der sommerlichen Überhitzung gelegt und mit einer Gebäudesimulation zu diesem Thema optimiert. Dies betrifft in der Gebäudehülle besonders den Grad der Transluzenz und die freie Durchlüftbarkeit der äußeren Fassade, den zwischen den Fassaden angeordneten Sonnenschutz sowie die Verglasung in der inneren Elementfassade. Dennoch ergibt sich für das Gebäude in der Berechnung zum Energieausweis im Vergleich eine höhere Kühllast ( $KB=118.113\text{kWh/a}$ ) als Heizlast ( $HWB=85.919\text{kWh/a}$ ). Dass der Kühlbedarf über dem Heizbedarf liegt, ist bei

Bürogebäuden durch die großen internen Lasten durchaus üblich. Weiters wurde für den Sommerbetrieb eine temperaturgesteuerte Nachtlüftung über die Oberlichten mit Querlüftungsmöglichkeit vorgesehen, die durch das Abluftsystem noch zusätzlich unterstützt wird. In den Energieausweis ist die Nachtlüftung aufgrund der Unsicherheit im realen Betrieb nicht eingeflossen, sehr wohl aber wurde sie in der thermischen Gebäudesimulation, mit dem Fokus auf sommerliche Überhitzung berücksichtigt.

### **2.2.3 Beschreibung der haustechnischen Anlage und Ausstattung**

#### **Heizung und Kühlung**

Die Heizung des Gebäudes erfolgt mittels Fernwärme. Die Kühlung erfolgt über eine Kälteanlage mit zwei Kompressionskältemaschinen, deren Rückkühler im Freibereich aufgestellt sind. Bei Unterschreitung der Außentemperatur unter ca. 8°C, arbeitet die Anlage mit freier Kühlung (Free-Cooling) unter Umgehung der Kältemaschinen.

Die Bürogeschoße sind sowohl für das Heizen als auch für das Kühlen mit Bodenkonvektoren entlang der Fassade ausgestattet. Die Konvektoren sind mit einem Vier-Leiteranschluss versehen, um je nach Bedarf raumweise heizen oder kühlen zu können. Zur Verbesserung der Wärme- und Kälteabgabe verfügen die Konvektoren über ein Umluftgebläse. Bei manueller Fensteröffnung werden die Konvektoren der jeweiligen Räume automatisch abgeschaltet.

#### **Lüftung**

Die Lüftung der zentralen Bereiche erfolgt über eine Lüftungsanlage mit integriertem Rotationswärmetauscher (Wirkungsgrad min. 70%). Die Lüftung bedient nur alle allgemeinen Bereiche wie Besprechungs- und Seminarräume sowie die Erschließungs- und Kommunikationszonen. Die Zuluft wird in diesen Bereichen direkt bei den Bodenkonvektoren eingeblasen und im Bereich vor den Sanitäreinheiten pro Geschoß zentral abgesaugt. Gesteuert wird die Lüftung bedarfs- und zeitabhängig über die MSR-Anlage (Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik). Die Abluft der Sanitäreinheiten wird ohne Wärmerückgewinnung direkt über das Dach ausgeleitet. Die Büroräume werden von den Nutzern über die Fenster belüftet. Zusätzlich sind diese mit Überströmelementen versehen, um eine Querdurchlüftung, insbesondere auch bei der Nachtlüftung, über die Mittelzone zu ermöglichen. Die Nachtlüftung erfolgt über

---

elektrisch betriebene Oberlichten und wird aktiviert, wenn die Außenluft um 4°C kühler ist als die Luft in den Büroräumen. So wird die Außenluft entlang der Decke geführt, um die Bauteilmassen nachts abzukühlen. Zur Unterstützung der Nachtlüftung wird auch die zentrale Abluft automatisch eingeschaltet.

### **2.3 Fragestellung**

Die Büroräume des untersuchten Gebäudes werden mittels manuell zu öffnender Fenster belüftet. Lediglich die allgemeinen Bereiche und die Besprechungsräume werden über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung belüftet. Die Nass- und Sanitärräume werden direkt über das Dach entlüftet.

Die Fragestellungen, die in dieser Arbeit beantwortet werden sollen, lauten:

- Inwieweit weicht der reale Gebäudeenergieverbrauch von den ermittelten Werten des in der Planungsphase erstellten Energieausweises ab?
- Werden die verschiedenen zur Verfügung stehenden Einstellmöglichkeiten zur Steuerung des Raumklimas von den Nutzern verwendet?
- Führt die Doppelfassade zum geplanten hohen Lüftungskomfort durch die manuelle Fensterlüftungsmöglichkeit und wird diese genutzt?
- Welche objektive Raumluftqualität ergibt sich durch das Lüftungskonzept, bei dem den Nutzern die Lüftung und damit die Luftqualität durch eigenes Handeln überlassen wird?
- Führt das manuelle Lüften über die Fenster, kombiniert mit den Steuerungsmöglichkeiten der Raumtemperatur, der Glaslamellen, ..., zu einem subjektiv hoch bewerteten behaglichen Raumklima?
- Wie wirkt sich die Nachtlüftung auf den täglichen Temperaturverlauf der Büroräume aus?

## 2.4 Beschreibung des im Detail untersuchten Bürobereichs

Der für die Beurteilung des Raumklimas exemplarisch ausgewählte Bereich ist eine Abteilung, die sich in einem einzelnen Regelgeschoß des Gebäudes befindet (siehe Abbildung 8). Von den acht Büroräumen, in denen die Messungen vorgenommen wurden, sind fünf Räume nach Norden (siehe Abbildung 9), einer nach Süden und zwei Eckräume je nach Nord und Ost beziehungsweise nach Süd und Ost (siehe Abbildung 10) ausgerichtet. Der allgemeine Bereich und der Besprechungsraum sind mit ihren Fenstern nach Osten orientiert.

Bei den Räumen handelt es sich um zwei Zweipersonenbüros und sechs Einzelbüros.



Abbildung 8: Grundriss des Messbereichs mit den 8 Büros

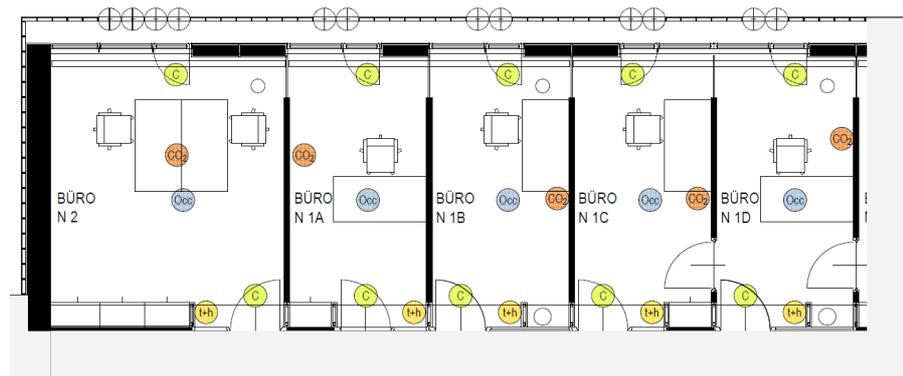


Abbildung 9: Messbereich „Büros Nord“ mit den Positionen der Sensoren



Abbildung 10: Messbereich „Büros besonnt“ mit den Büroräumen nach Norden + Osten, Süden + Osten sowie Süden mit den eingetragenen Sensorpositionen

---

## **2.5 Datenbasis und zusätzliche Messungen**

Um die Fragestellungen beantworten zu können, wurde auf unterschiedliche Quellen zurückgegriffen: einerseits auf die im Gebäude installierten Zähler und Sensoren, andererseits auf temporär im untersuchten Gebäudebereich angebrachte Messgeräte sowie Einzelmessungen an den Büroarbeitsplätzen.

### **2.5.1 Zählerdaten**

Zur Erfassung des Energieverbrauchs liegen Zählerdaten für Fernwärme, Kälteerzeugung, Kälteverteilung und den allgemeinen Stromverbrauch vor. Die Zählerdaten erfassen den Gesamtverbrauch und den Verbrauch einzelner Stockwerke, bzw. Nutzungsbereiche. Die Zählerdaten liegen über den Zeitraum 01.01.2016 bis 31.12.2017 als Monatssummen vor.

Als Vergleichsbasis zwischen tatsächlichem und geplantem Energiebedarf dient der Energieausweis, der für die Einreichung des Bauvorhabens erstellt wurde. Der Energieausweis wurde nach Vorgabe der OIB-Richtlinie 6 mit dem Stand Oktober 2011 erstellt.

### **2.5.2 Langzeit Innenraumkomfortmessung**

Die durchgeführte Innenraumkomfortmessung erstreckte sich von 1. Mai bis 10. August 2018. In den acht Büros wurden die in der Tabelle 5 aufgelisteten Geräte installiert. Die Geräte „Thermokon SR04 CO<sub>2</sub>“ und „Pressac CO<sub>2</sub>“ für die Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration, der Raumtemperatur und der Luftfeuchtigkeit. Diese Geräte wurden jeweils in Schreibtischnähe in einer Höhe von ca. 90 cm montiert. Das Gerät „Thermokon SR-MDS Solar“ erfasste die Anwesenheit von Personen im Raum. An den Türen und Fenstern der Büroräume wurden Kontaktsensoren des Produkts „Thermokon SR-W01“ montiert, um zusammen mit der Feststellung der Anwesenheit im Raum das Lüftungsverhalten dokumentieren zu können. Zusätzlich wurden nochmals die Raumtemperatur und die Luftfeuchtigkeit gemessen. Dieser Sensor war als Back-up im Falle eines Ausfalls des Erstgerätes gedacht und wurde im Bereich des Busschalters, in dem auch Sensor und Steuerung für die Raumtemperatur untergebracht sind, montiert. Zusätzlich wurde im Besprechungsraum und in der Kommunikationszone jeweils ein Gerät zur Erfassung von Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit montiert.

Tabelle 5: Verwendete Sensoren für die Langzeitmessung

Gerät:		Messbereich und Messgenauigkeit
Thermokon SR04 CO2 CO <sub>2</sub> , Temperatur und Feuchtigkeitssensor		Temperatur: 0 to 51°C ±1% Feuchtigkeit: 0 to 100% ±3% CO <sub>2</sub> : 0 - 2550ppm ±75ppm
Pressac CO <sub>2</sub> , Temperatur and Feuchtigkeitssensor		Temperatur: 0 to 51°C ±0.5K Feuchtigkeit: 0 to 100% ±5% CO <sub>2</sub> : 0 to 2550ppm ±125ppm
Thermokon SR-MDS Solar		Anwesenheit / Bewegung: 0 / 1 Lichthelligkeit: 0 to 510 lx
Thermokon SRW01 Window contact		Status: 0/1

### 2.5.3 Normkonforme Einzelmessungen des Innenraumkomforts

Normkonforme Einzelmessungen des Innenraumkomforts der Büroräume fanden am 22.06.2018 und am 10.08.2018 statt. Die Messungen wurden mit den beiden Universalmessgeräten des Fabrikats Ahlborn Almemo 2590 und entsprechenden Sensoren des Herstellers zur Erfassung von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit, der mittleren Strahlungstemperatur (globe temperature) sowie der Luftgeschwindigkeit an den 10 Arbeitsplätzen in den Räumen durchgeführt. Auf Basis dieser Messungen können PMV (Predicted Mean Vote) und PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) für diese Bereiche berechnet werden. Die Messgeräte wurden jeweils so platziert, dass direkt am Arbeitsplatz vor dem Schreibtisch in einer Höhe von ca. 110 cm über Fußboden gemessen wurde (siehe Abbildung 11).



*Abbildung 11: Aufstellung des Messgeräts zur Messung der operativen Raumtemperatur und der Luftgeschwindigkeit in den Räumen N2, N1B und N1C*

## **2.6 Nutzerbefragung**

Um die subjektive Beurteilung des Raumklimas und den Umgang der Mitarbeiter mit den Steuerungsmöglichkeiten zur Raumtemperatur zu erfassen, wurde eine Nutzerbefragung in periodischen Abständen während der Messperiode durchgeführt. Konkret wurde ein Fragebogen fünfmal jeweils freitags an die anwesenden Mitarbeiter des untersuchten Bürobereichs ausgegeben. Der Fragebogen bezog sich dabei auf das Empfinden zum thermischen Raumklima und zur Nutzung der Einstellmöglichkeiten zur Steuerung des Raumklimas der jeweils vergangenen Woche. Im ersten Teil des Fragebogens wurden das empfundene thermische Raumklima sowie das Empfinden der Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit zum Umfragezeitpunkt und in der vergangenen Woche abgefragt.

Der zweite Teil des Fragebogens erfasst die Verwendung und persönliche Wichtigkeit der individuell zur Regelung des Raumklimas vorhandenen Steuerungsmöglichkeiten, wie die Lüftungsmöglichkeit über die Fenster sowie die Übersteuerbarkeit hinsichtlich Raumtemperatur, Sonnenschutz und Glaslamellenstellung der äußeren Fassade. Der verwendete Fragebogen ist in Anhang 1 angeführt.

---

## **2.7 Vorgangsweise bei der Auswertung**

### **2.7.1 Zählerdaten, Energieausweis**

Die Zählerdaten wurden mit „Excel“ (Microsoft) erfasst und aufbereitet. Für den Vergleich des Endenergiebedarfs (EEB) wurden die Jahressummen 2016, 2017 mit dem Energieausweis verglichen.

Für die Auswertung von Heizwärmebedarf (HWB) und Kältebedarf (KB) zu Heizwärme-, bzw. Kälteverbrauch wurden die Monatssummen der einzelnen Messsensoren in den Geschoßen herangezogen und mit den Monatsbilanzen des Energieausweises verglichen.

Zusätzlich wurden der Endenergiebedarf, Heizwärmebedarf und Kältebedarf flächenanteilig ermittelt. In einem weiteren Schritt wurden Bereiche mit einem von der Büronutzung abweichenden Heiz- und Kältebedarf herausgerechnet. Diese Bereiche, es handelt sich dabei um den Serverraum, ein speziell klimatisiertes Archiv und einen Konferenzbereich, sind im Energieausweis nicht extra berücksichtigt.

Ein direkter Vergleich der Werte Beleuchtungsenergiebedarf (BeLEB) und Betriebsstrombedarf (BSB) ist nicht möglich, da die Zählerwerte den Kennwerten des Energieausweises nicht direkt zugeordnet werden können.

### **2.7.2 Langzeit Innenraumkomfortmessung**

Für die Langzeit Innenraumkomfortmessung wurden im Untersuchungsbereich in jedem Büroraum Sensoren für CO<sub>2</sub>-, Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessung installiert. Zusätzlich wurden im Bereich der Raumthermostate weitere Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsensoren installiert. Die Anwesenheit im Raum wurde mittels an der Decke montierter Bewegungsmelder erfasst. An den Türen und Fenstern der Büroräume wurden Kontaktsensoren angebracht.

Die mit diesen Sensoren erfassten Daten wurden zunächst in „Matlab“ (MathWorks) bereinigt und aufbereitet. Es wurden Rohdaten im 15 Minuten Intervall erstellt. Diese Daten wurden in „Excel“ (Microsoft) übernommen und zur Erarbeitung der unterschiedlichen Indices zusammengestellt. Die Diagramme und Histogramme wurden über Filterung der Datenliste gewonnen. So konnten Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit

---

und CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft im Zeitablauf und als Mittelwert dargestellt sowie Veränderungen durch das Öffnen von Fenstern oder Türen unter Berücksichtigung der Anwesenheit im Raum abgebildet werden.

### **2.7.3 Normkonforme Einzelmessung des Innenraumkomforts**

Die Daten aus den Einzelmessungen wurden über „Matlab“ (MathWorks) zusammengefügt und in Tabellenform gebracht. Im Zuge dessen wurde an den Arbeitsplätzen, an denen die Messungen vorgenommen wurden, der PMV und der PPD ermittelt. Anschließend wurden die Tabellen in „Excel“ (Microsoft) übernommen und gefiltert. Die Daten der Einzelmessungen an den zehn untersuchten Arbeitsplätzen wurden dann auch zur Berechnung von PMV und PPD über den gesamten Messzeitraum herangezogen.

### **2.7.4 Fragebogen**

Der Umfang der Umfrage ergibt sich aus dem zur Verfügung gestellten Bereich für die Langzeitmessungen und umfasst eben diese acht Räume, bzw. zehn Arbeitsplätze. Durch die Limitation der Dauer und der Räumlichkeiten, ergibt sich eine Grundgesamtheit (N) von 30 ausgefüllten Fragebögen. Neben der Auswertung der einzelnen Räume wurden die Räume in zwei Gruppen zusammengefasst. Eine Raumgruppe umfasst alle nach Norden ausgerichteten Büroräume, die zweite Gruppe fasst die restlichen Räume zusammen, die nach Süden, Süden und Osten sowie nach Norden und Osten ausgerichtet sind und durch die stärkere direkte Sonneneinstrahlung andere Ergebnisse erwarten lassen.

Die durch die Befragung mit dem Multiple-Choice-Fragebogen gewonnenen Daten wurden in „Excel“ (Microsoft) eingegeben und ausgewertet.

## Kapitel 3

### Ergebnisse

#### **3.1 Errechneter Energiebedarf und tatsächlicher Energieverbrauch**

Für die Ermittlung des jährlichen Gesamtenergieverbrauchs wurden die Verbrauchswerte von Fernwärme und Strom am Hauptzähler für jeweils die Jahre 2016 und 2017 summiert. Diese Werte sind mit jenen des EEB (Endenergiebedarfs) im Energieausweis zu vergleichen.

Dabei wurde festgestellt, dass der tatsächliche Gesamtenergieverbrauch im Jahr 2016 um 58% und im Jahr 2017 um 59% über dem im Energieausweis prognostiziertem EEB-Wert liegt (siehe Abbildung 12).

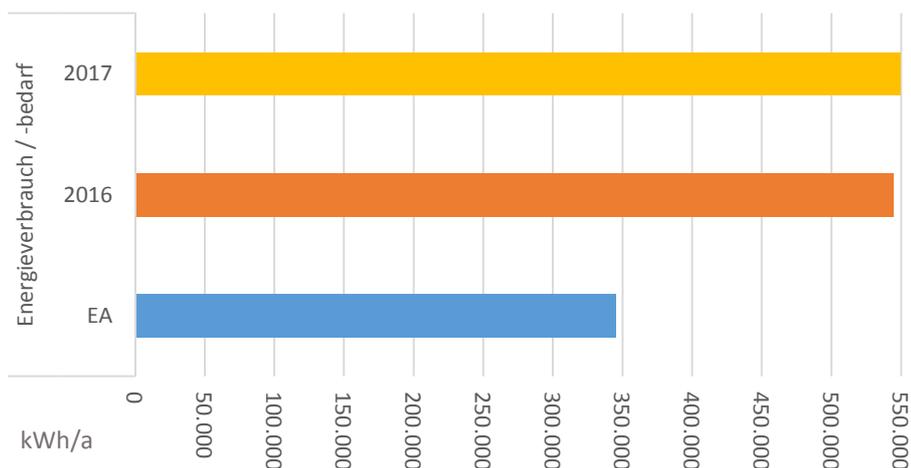


Abbildung 12: Jahresenergieverbrauch 2016 und 2017 im Vergleich mit dem Endenergiebedarf (EEB) des Energieausweises (EA) in kWh/a

## Heizenergie

Zur Ermittlung des Heizwärmeverbrauchs wurden die Daten der geschoßweise angebrachten Zähler für die Wärmemenge mit dem Heizwärmebedarf (HWB) des Energieausweises verglichen. Die aus dem Energieausweis stammenden Bedarfsdaten wurden für den Untersuchungszeitraum 2016 und 2017 den monatlichen Messwerten gegenübergestellt (siehe Abbildung 13). In dieser Gegenüberstellung zeigt sich, dass alle Monatswerte für den Heizverbrauch der Jahre 2016, 2017 durchgehend über dem HWB des Energieausweises liegen und auch in den Monaten außerhalb der ermittelten Heizsaison ein Wärmeverbrauch vorliegt.

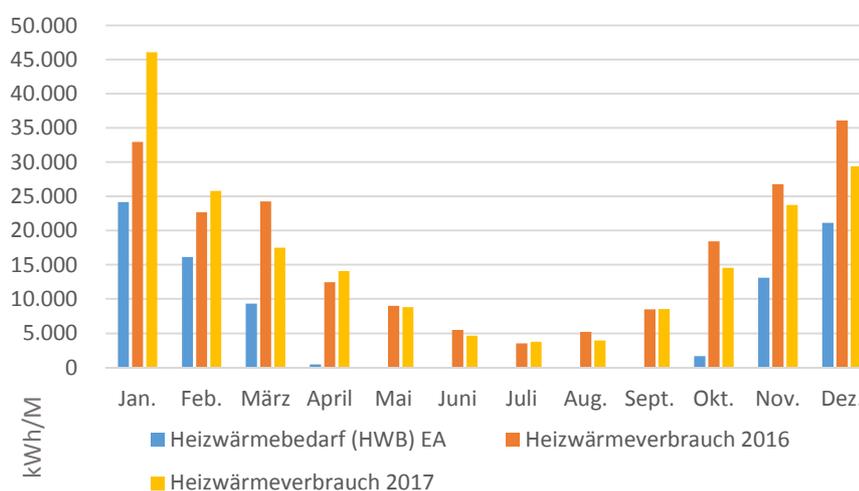


Abbildung 13: Heizwärmebedarf und -verbrauch im Vergleich von Energieausweis (EA) und dem tatsächlichen Verbrauch 2016 und 2017 pro Monat

Beim Versuch, den gegenüber dem Energieausweis höheren Energieverbrauch zu erklären, wurden besonders energieintensive Räume, die keine Ähnlichkeit mit der Büronutzung aufweisen, aus den Verbrauchswerten herausgerechnet. Bei diesen Räumen handelt es sich um ein Spezialarchiv mit besonderen Klimaanforderungen, einen Serverraum und einen Konferenzbereich. Im Energieausweis wurden die Bedarfswerte für das gesamte Gebäude gleich bewertet und gerechnet. Dies ist nach dem Leitfaden zur OIB 6 (Zonierungskriterien für den EEB) zulässig.

Bei der Ermittlung des Heizwärmeverbrauchs auf den Quadratmeter Bürofläche berechnet, reduziert sich dieser gegenüber der Berechnung auf das gesamte Gebäude um 7,3% für 2016 und 6,3% für 2017. Trotzdem ist der Heizenergiebedarf mit 53,5 W/m<sup>2</sup>

(2016) und mit  $52,9 \text{ W/m}^2$  (2017) mehr als doppelt so hoch wie der für den Energieausweis errechnete HWB ( $24,15 \text{ W/m}^2$ ) (siehe Abbildung 14).

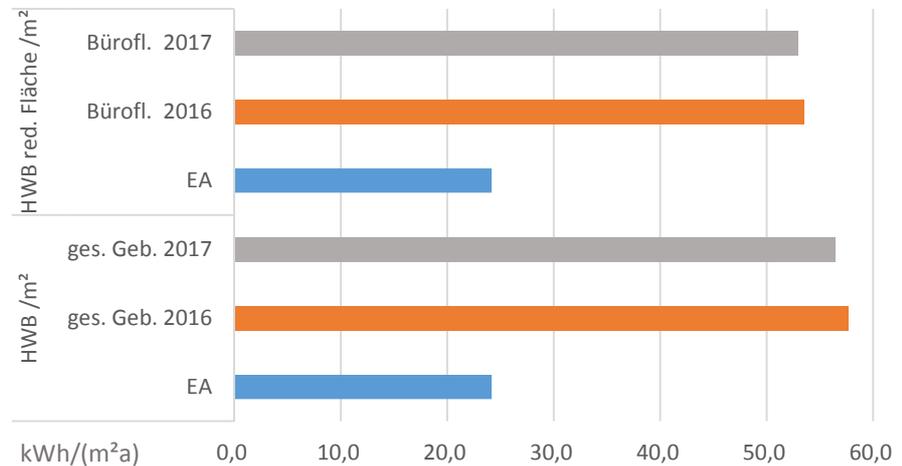


Abbildung 14: Heizwärmeverbrauch des gesamten Gebäudes pro  $\text{m}^2$  und auf die Büroflächen reduzierter Heizwärmeverbrauch pro  $\text{m}^2$  im Vergleich zum Bedarf laut Energieausweis (EA)

Eine genauere Aufteilung auf monatliche Verbrauchswerte ergibt für die auf die Bürobereiche reduzierte Fläche gegenüber der Berechnung zur Gesamtfläche einen gleichmäßig etwas geringeren Verbrauch. Es ist im Unterschied zum Energieausweis noch immer im Sommer ein, wenn auch geringerer, Heizwärmebedarf in den Untersuchungsjahren 2016 und 2017 gegeben (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16).

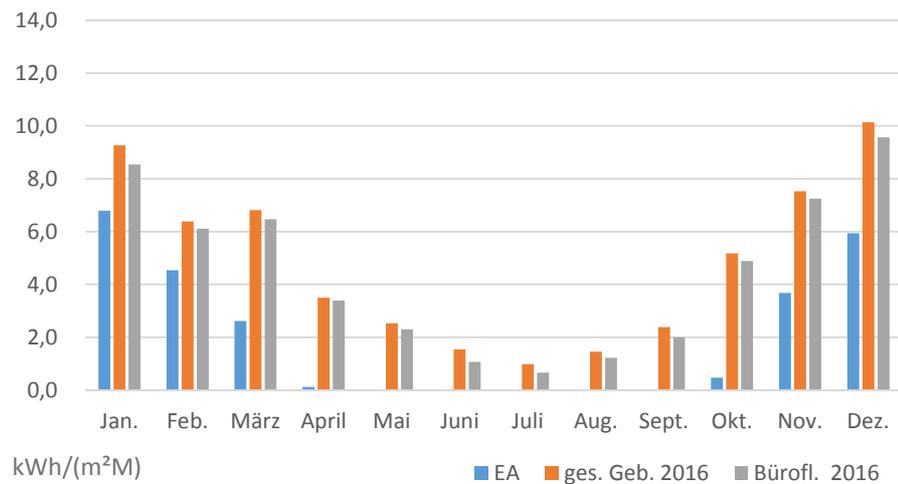


Abbildung 15: Monatlicher Vergleich des Heizenergieverbrauchs des gesamten Gebäudes und der Bürofläche pro m<sup>2</sup> für 2016 gegenüber dem HWB des EA

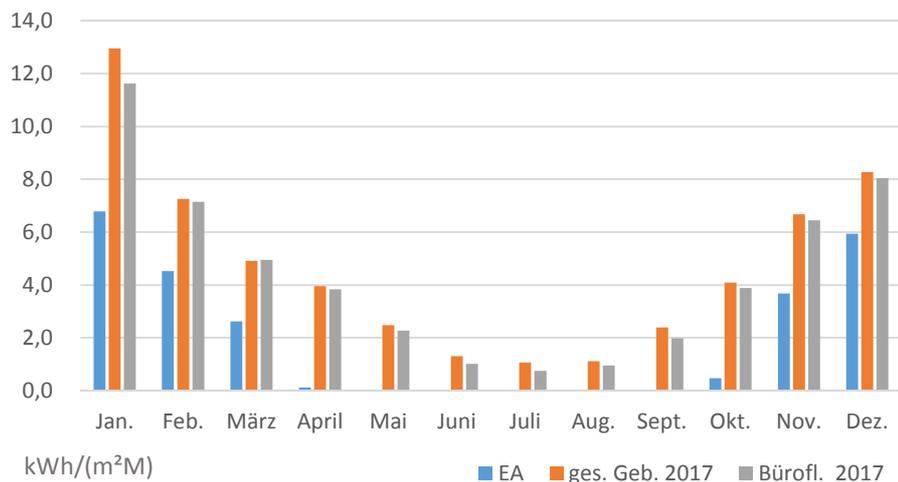


Abbildung 16: Monatlicher Vergleich des Heizenergieverbrauchs des gesamten Gebäudes und der Bürofläche pro m<sup>2</sup> für 2017 gegenüber dem HWB im EA

Auf der Suche nach einem Grund für die Überschreitung des Heizenergieverbrauchs gegenüber dem im Energieausweis ermittelten Bedarf, wurden die Heizgradtage für den Untersuchungszeitraum der Jahre 2016 und 2017 ermittelt. Die Heizgradtage (HGT) 12/20 im Energieausweis betragen 3462Kd. Die HGT 12/20 für 2016 betragen 2761Kd, für 2017 waren es 2692Kd. Ändert man für den Untersuchungszeitraum die Werte der Heizgradtage auf HGT 12/22 (22°C ist die Standardeinstellung an den Raumbediengeräten), so ergeben sich für das Jahr 2016 3136Kd und für das Jahr 2017 3044Kd. Da alle diese Werte unter der HGT-Annahme des Energieausweises liegen, können sie nicht als Erklärung für einen höheren Heizenergiebedarf dienen. Der Ansatz,

den erhöhten Heizenergiebedarf mit den von Annahmen im Energieausweis abweichenden Außentemperaturen zu erklären, wird deshalb nicht weiter verfolgt.

Auch die Überlegung, dass der erhöhte Heizbedarf mit einer Reduktion des Betriebsstrombedarfs zusammenhängt, da im Laufe der Projektierung die Leuchtmittel und Bildschirme auf LED umgestellt wurden, ist nicht zielführend. Denn dann dürfte der Gesamtenergiebedarf die prognostizierten Werte nicht überschreiten. Dieser Ansatz wird nicht weiter verfolgt.

Ein gewisser Anteil der Heizenergie, dessen Umfang in dieser Arbeit nicht erhoben wurde, kann der ganzjährigen Wärmebereitstellung bis zu den Konvektoren zugeschrieben werden. Dies könnte teilweise den Heizenergieverbrauch im Sommer erklären.

### Kühlenergie

Die Gegenüberstellung von monatlichem Verbrauch und Bedarf wurde auch für die Kühlung durchgeführt. Dabei wurde der monatliche KB (Kühlbedarf) des Energieausweises übernommen und die Kälteabnahme an den Messsensoren in den Geschoßen für die Jahre 2016 und 2017 ermittelt (siehe Abbildung 17).

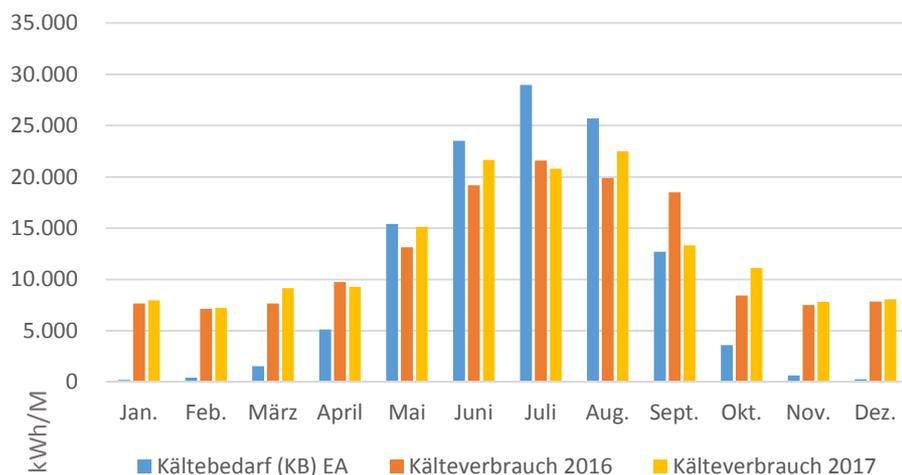


Abbildung 17: Kältebedarf und -verbrauch im Vergleich von Energieausweis (EA) und tatsächlichem Bedarf 2016 und 2017

Aus dieser Grafik geht hervor, dass der tatsächliche Kühlverbrauch im Zeitraum Mai bis August in beiden Jahren unter dem prognostizierten Bedarf liegt. Es gibt jedoch in den

restlichen Monaten des Jahres einen erheblichen Mehrverbrauch an Kühlung, so dass über das Jahr betrachtet der Kühlverbrauch über dem erwarteten Kühlbedarf liegt. Dabei ist der Kühlbedarf außerhalb des Sommers für die beiden Jahre 2016, 2017 sehr ähnlich.

Ermittelt man jedoch den Kühlverbrauch der auf die Büroräume reduzierten Nutzfläche, so ergibt sich eine Halbierung der Verbrauchswerte verglichen mit dem gesamten Raumprogramm. Der Kühlverbrauch pro Quadratmeter Nutzfläche des Gesamtgebäudes beträgt für das Jahr 2016 125,5% und für das Jahr 2017 130,3% des im Energieausweis ermittelten Bedarfs (siehe Abbildung 18). In der Berechnung für die auf die Büroräume reduzierte Nutzfläche ergibt sich ein Kühlverbrauch, der für 2016 mit 58,8% und 2017 mit 65,9% wesentlich unter dem im Energieausweis ermittelten KB-Wert von 33,2W/m<sup>2</sup> liegt.

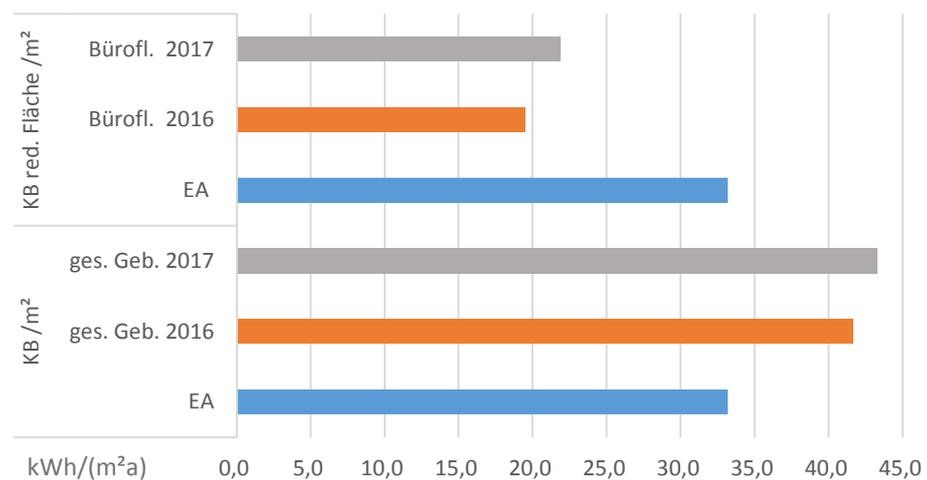


Abbildung 18: Kühlbedarf /- verbrauch für das gesamte Gebäude pro m<sup>2</sup> und mit auf die Büronutzung reduzierter Fläche im Vergleich Energieausweis zu den Jahren 2016, 2017

Wenn der Kühlverbrauch für die Fläche der Büronutzung berechnet wird, ergibt sich für das Jahr 2016 im Sommer eine Reduktion von 39,7% und im Winter von 74,7% gegenüber dem Kühlverbrauch des gesamten Gebäudes. Im Jahr 2017 belaufen sich die negativen Abweichungen des Kühlverbrauchs im Sommer auf 32,8% und im Winter auf 72,4% gegenüber dem Verbrauch des Gesamtgebäudes.

Betrachtet man die monatlichen Kühlbedarfswerte in absoluten Zahlen, so stellt man fest, dass in beiden Vergleichsjahren der Verbrauch an Kühlung, über das gesamte Jahr betrachtet, relativ gleichmäßig sinkt. So ist der Minderbedarf im Wintermonat Februar

2016 mit dem geringsten Kühlverbrauch um 1,49W/m<sup>2</sup> niedriger, im Sommermonat Juli 2016 mit dem höchsten Kühlverbrauch um 2,41W/m<sup>2</sup> niedriger. 2017 liegen die Werte für den Minderbedarf im Wintermonat Februar mit 1,47W/m<sup>2</sup> und im Sommermonat Juni mit 1,99W/m<sup>2</sup> noch näher beieinander (siehe Abbildung 19 und Abbildung 20 ).

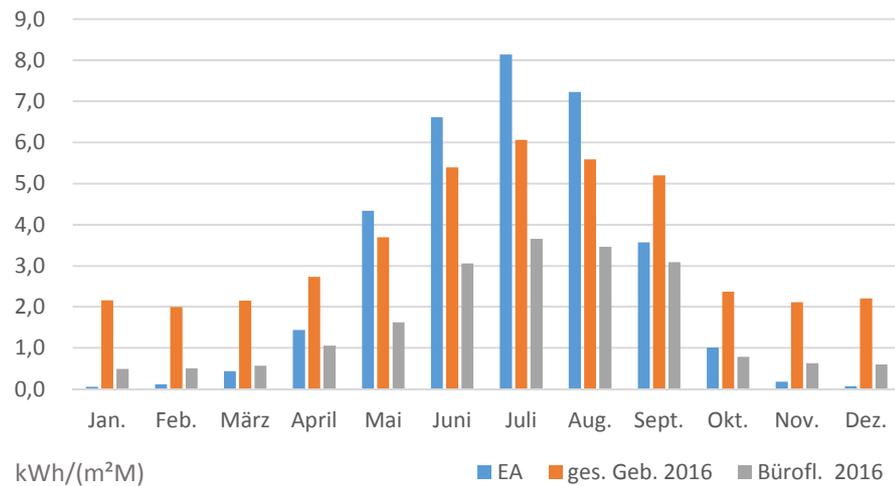


Abbildung 19: Monatlicher Vergleich des Kühlverbrauchs des gesamten Gebäudes und der Bürofläche pro m<sup>2</sup> für 2016 gegenüber dem KB des EA

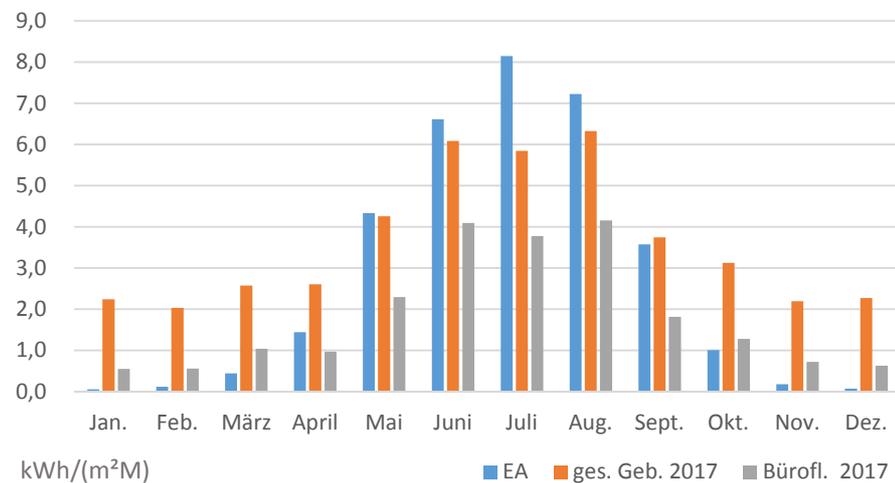


Abbildung 20: Monatlicher Vergleich des Kühlverbrauchs des gesamten Gebäudes und der Bürofläche pro m<sup>2</sup> für 2017 gegenüber dem KB des EA

In einem weiteren Schritt wurden alle Gebäudebereiche auf deren Kälteverbrauch geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass von den sieben Bürogeschossen drei Geschosse nahezu keinen, ein Geschoss nur einen geringen und nur drei Geschosse einen

„erwarteten“ Kälteverbrauch über die Konvektoren aufwiesen. Eine zu den Konvektoren zusätzliche Kühlung in die Geschoße erfolgt durch die temperierte Zuluft. Die Zuluft zu den Besprechungsräumen und Kommunikationszonen wird über die Konvektoren in diesen Bereichen ausgeblasen. Für die Zuluft gibt es für alle Bürogeschoße einen gemeinsamen Kältezähler. Die über die Zuluft eingebrachte Kühlung wurde für die geschoßweise Erfassung entsprechend der Zuluftmengen, die der Montageplanung Haustechnik entnommen wurden, aufgeteilt. Daraus ergibt sich, dass auch die Geschoße, die laut Zählerdaten keine Kühlung über die Konvektoren erhalten, über die Zuluft anteilmäßig gekühlt werden (siehe Abbildung 21 und Abbildung 22). Wobei dies nur für die Mittelbereiche (Kommunikationszone und Besprechung) der Geschoße gilt, da ja die Büroräume selbst über die Fensterlüftung mit Frischluft versorgt werden.

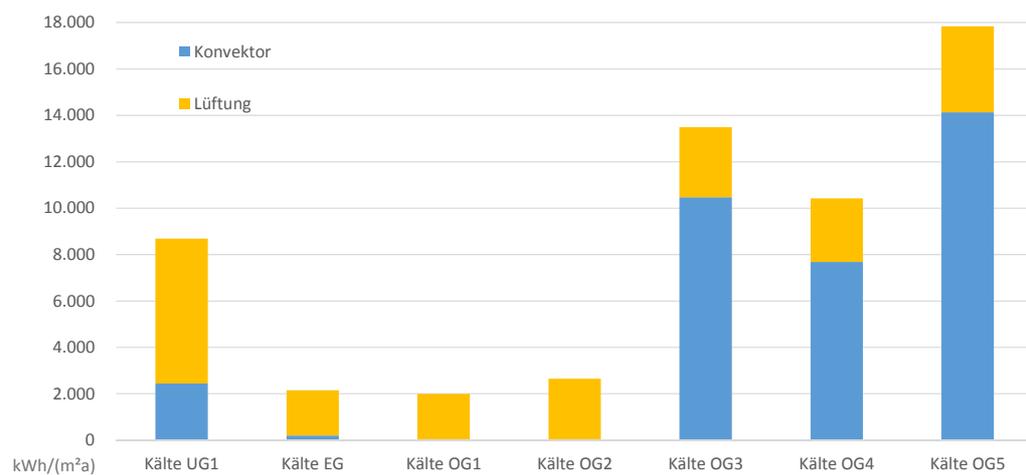


Abbildung 21: Verteilung des Kühlverbrauchs der Bürogeschoße 2016 für die Konvektoren laut Zählern, für die Lüftung laut Montageplanung

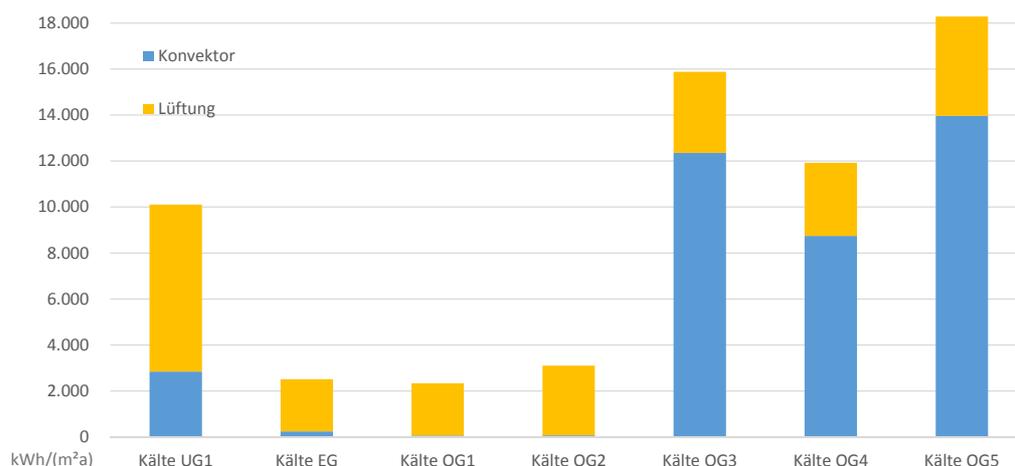


Abbildung 22: Verteilung des Kühlverbrauchs der Bürogeschoße 2017 für die Konvektoren laut Sensoren, für die Lüftung laut Montageplanung

Ein Teil des unterschiedlichen Kälteverbrauchs in den Geschoßen lässt sich mit der Lage der LAN-Schränke sowie Kopierer erklären, die offen in den Kommunikationszonen der Geschoße UG1, 2.OG, 5.OG aufgestellt sind und einen beträchtlichen Wärmeeintrag verursachen. Im 5.OG ist im Unterschied zu den anderen Geschoßen noch ein Seminarraum untergebracht, der wie die Besprechungsräume an die Lüftungsanlage angeschlossen ist. Für das erste Untergeschoß kann noch angenommen werden, dass der höhere Anteil an speicheraktiver Masse, die geringere solare Einstrahlung und die geringere Zahl an dauerhaft besetzten Arbeitsplätzen für eine Reduktion gegenüber den anderen Geschoßen spricht.

Im Rahmen einer Begehung am 10.08.2018 konnte jedoch festgestellt werden, dass die drei Geschoße ohne Kälteverbrauch am Zähler sehr wohl an den Konvektoren mit Kälte versorgt werden. Ob die restlichen Zähler die Messwerte korrekt anzeigen, konnte in diesem Rahmen nicht überprüft werden. So bleibt zumindest im 1. Untergeschoß fraglich, ob der geringere Kälteverbrauch tatsächlich nur auf die im Vergleich zu den restlichen Geschoßen unterschiedliche Situation zurückzuführen ist. Ebenso konnte nicht überprüft werden, ob der Kältezähler für die Lüftung Dachgeschoß funktioniert oder ob die Kälteeinbringung in diesem Geschoß mit eigener Lüftungsanlage tatsächlich nur über die Konvektoren erfolgt.

Mit dem Versagen der Kältezähler in zumindest drei Geschoßen erklärt sich auch der Unterschied zur Hauptzählung des Kälteverbrauchs. Die Summe der Subzähler lag 2016 um 17,2% und 2017 um 18,2% unter dem Kälteverbrauchshauptzähler (siehe Abbildung

23). Da die Leitungslänge von Hauptzähler zu Subzähler im Mittel circa je 35m für Vor- und Rücklauf beträgt, sind diese Kälteanteile als Verlust eindeutig zu hoch. Offensichtlich umfasst diese Differenz zwischen Hauptzähler und Subzählern neben den Leitungsverlusten zumindest auch die Kühlverbrauchswerte für die drei Geschoße, deren Kälteverbrauch am Zähler nahe Null liegen.

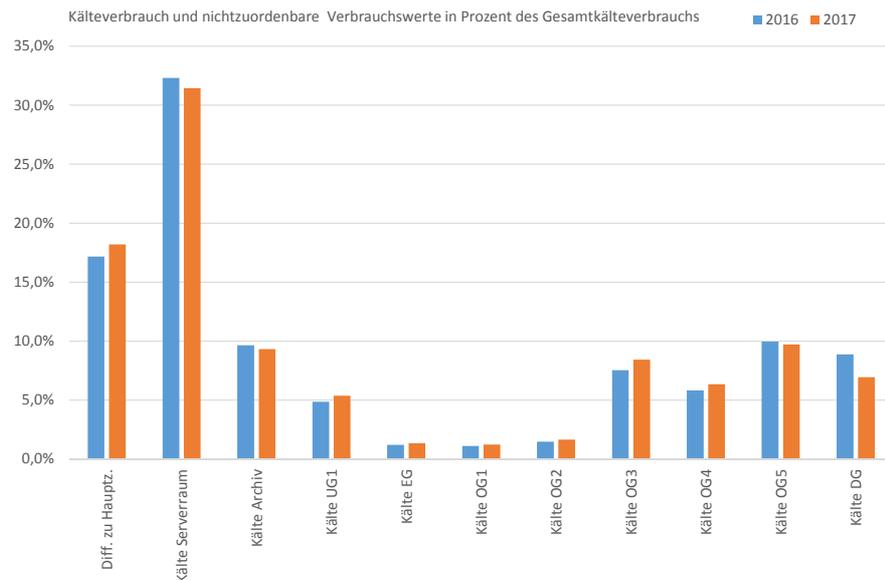


Abbildung 23: Kälteverteilung durch Konvektoren und Lüftung und die nichtzuordenbare Kälteverbrauchs-differenz zum Gesamtverbrauch in Prozent

So werden die drei Geschoße mit intakten Sensoren und das UG1 für die Vergleichsberechnung von Kälteverbrauch und Kältebedarf in den Bürogeschoßen herangezogen. Die Verbrauchswerte von 3.OG bis 5.OG betragen zwischen 28,0kWh/m<sup>2</sup> und 47,9kWh/m<sup>2</sup> (2016) sowie 32,0kWh/m<sup>2</sup> und 49,1kWh/m<sup>2</sup> (2017) im Jahr. In der monatlich aufgetragenen Verbrauchsstatistik für diese Geschoße fällt weiterhin der unterschiedliche Kurvenverlauf auf. Im Winterhalbjahr ist der Verbrauch wesentlich höher als im Energieausweis berechnet. Im Sommerhalbjahr bewegt sich der Verbrauch um den oder leicht unter dem im EA ermittelten Wert. Es kann jedoch aus diesen Geschoßen nicht auf die restlichen Geschoße rückgeschlossen werden, da deren Nutzung zu unterschiedlich ist. Überdies sind die beiden oberen Geschoße, 3.OG und 4.OG, über einen offenen Luftraum mit dem darunterliegenden 2.OG verbunden.

Zusätzlich sind die Werte des Hauptzählers für das gesamte Gebäude aufgetragen, die zwar im Unterschied zum Kühlbedarf des EA die Leitungsverluste inkludieren, aber eine

gute Relation des Verbrauchs des Gesamtgebäudes per Monat pro Quadratmeter geben (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25).

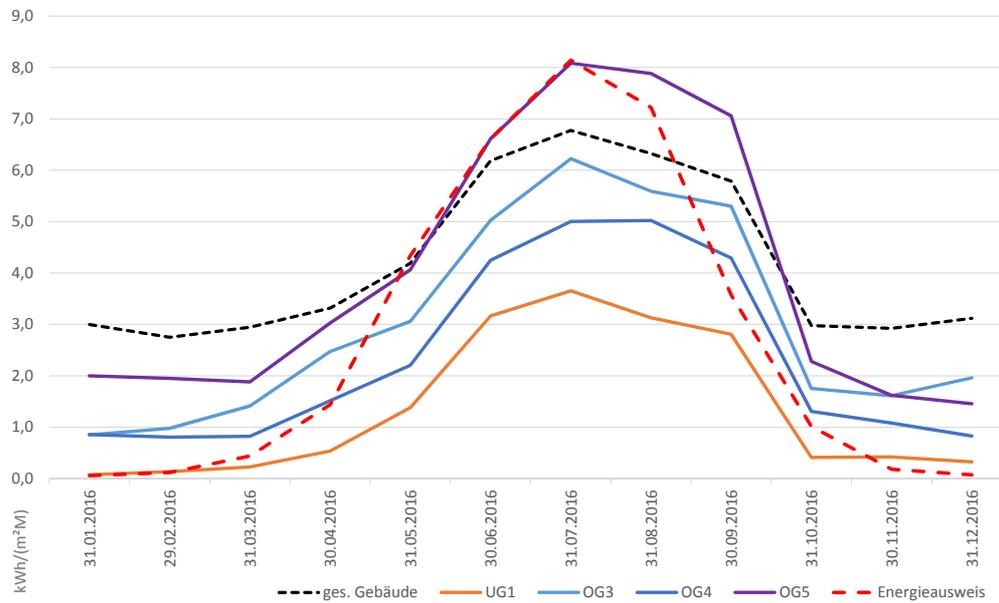


Abbildung 24: Monatlich flächenbezogener Kühlverbrauch inkl. Lüftung für 2016 im Vergleich zum Energieausweis in kWh/m<sup>2</sup>

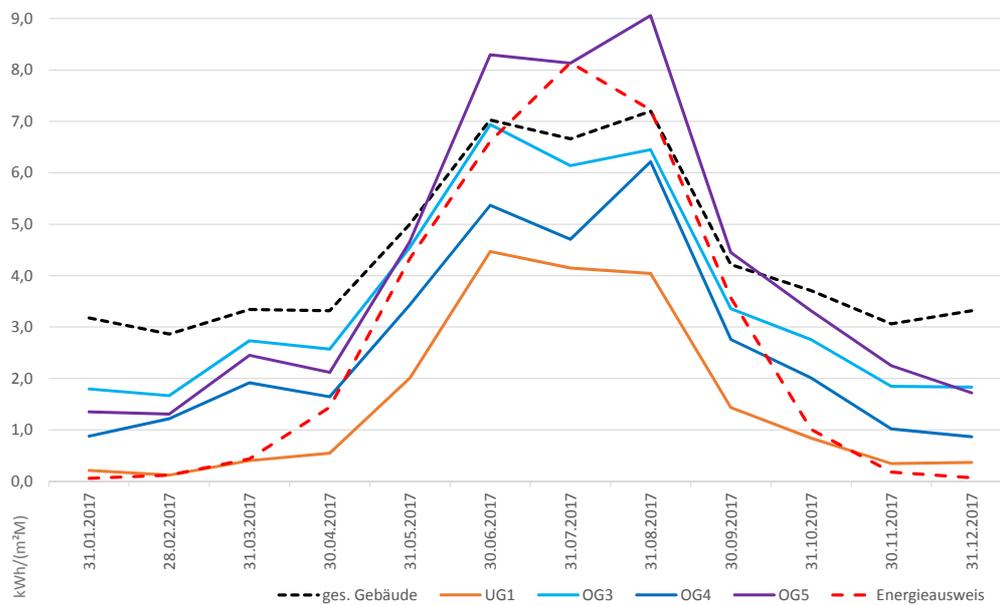


Abbildung 25: Monatlich flächenbezogener Kühlverbrauch inkl. Lüftung für 2017 im Vergleich zum Energieausweis in kWh/m<sup>2</sup>

Im Verlauf der Kurve „gesamtes Gebäude“ fällt noch stärker die Differenz des Verbrauchs im Winterhalbjahr zur Kurve „Energieausweis“ auf, während beide Spitzenverbrauchswerte im Sommer mit  $6,77\text{kWh/m}^2\text{M}$  (Juli 2016), beziehungsweise mit  $7,20\text{kWh/m}^2\text{M}$  (August 2017) unter dem prognostizierten Bedarf von  $8,14\text{kWh/m}^2\text{M}$  (Juli) liegen.

Die hohe Differenz des Verbrauchs im Winterhalbjahr lässt sich einerseits mit dem anderen Kühlbedarf der nicht als Büros genutzten Räume erklären. So muss der Serverraum ganzjährig gekühlt werden. Auch wenn in dem beobachteten Bürogebäude nicht alle Messwerte herangezogen werden konnten, stellt sich klar dar, dass die Kühlung des Serverraums 32,3% (2016) bzw. 31,5% (2017) des gesamten Kältebedarfs des Hauses ausmacht.

Aus dem Kurvenverlauf der Bürogeschoße lässt sich ebenfalls ein höherer Kälteverbrauch im Winter ablesen. Dafür gilt analog zum Heizverbrauch, dass die ganzjährige Bereitstellung von Kälte einen Teil der hohen Verbrauchswerte im Winter erklären kann, die im Energieausweis nicht in ausreichendem Maß berücksichtigt wurden.

### **3.2 Luftqualität und Lüftung**

Im folgenden Abschnitt werden die Luftqualität anhand der  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen sowie das Lüftverhalten anhand der Nutzung von Fenstern und Türen in den Büroräumen untersucht.

Zur Übersicht werden die  $\text{CO}_2$ -Messwerte für alle Räume über den gesamten Messverlauf (siehe Abbildung 26) und bei Anwesenheit im Raum (siehe Abbildung 27) als prozentuelle Messwerts-Anteile mit kumulierter Häufigkeit gezeigt. Die Anwesenheit im Raum wurde deshalb gewählt, da die Anwesenheitszeiten der Nutzer sehr unterschiedlich waren und es daher nicht sinnvoll erschien, ein Zeitfenster für einen Vergleich heranzuziehen.

Daran anschließend werden die Räume einzeln analysiert. Wobei für jeden Raum vergleichend der  $\text{CO}_2$ -Gehalt bei Anwesenheit im Raum, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe dargestellt wird. Auch hier wird zur besseren Vergleichbarkeit der Räume der Bezug zur Anwesenheitszeit im Raum gewählt. Zusätzlich wird der  $\text{CO}_2$ -

Gehalt der Raumluft im mittleren Tagesverlauf über den Messzeitraum sowie eingeschränkt auf die Zeit von Montag bis Freitag dargestellt.

Zur Verfolgung des Lüftverhaltens in den Büroräumen wurde die Darstellung der Tür- und Fensteröffnungszeiten im Zeitraum von Montag bis Freitag sowie eingeschränkt auf die Anwesenheit im Raum gewählt. Die Wochentage (Montag bis Freitag) im Messzeitraum betragen 73 Tage, dies ist die maximale Anzahl in der die Tür und das Fenster offen sein können. In dieser Zählung sind Feiertage inkludiert.

Um einen möglichen Bezug bei der Fensterlüftung zur Außentemperatur darzustellen, wird die Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum mit der Außentemperatur bei geöffnetem Fenster verglichen.

Neben der Ermittlung der Spitzen der CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Büroräumen wurde für die Werte, die den Großteil der Zeit vorliegen, der „Wert 10/90“ gewählt. Dabei werden die Messwerte, die 80% der Zeit vorhanden sind, ermittelt. Die niedrigsten und höchsten Werte von 0% bis 10% und 90% bis 100% werden darin nicht berücksichtigt.

Aus den raumvergleichenden Kurvenverläufen der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen kann keine Tendenz nach Himmelsrichtung oder Bürobelegung (Ein- oder Zwei-Personenbüro) gelesen werden. Das Lüftverhalten wird raumweise analysiert (siehe Abbildung 26 und Abbildung 27).

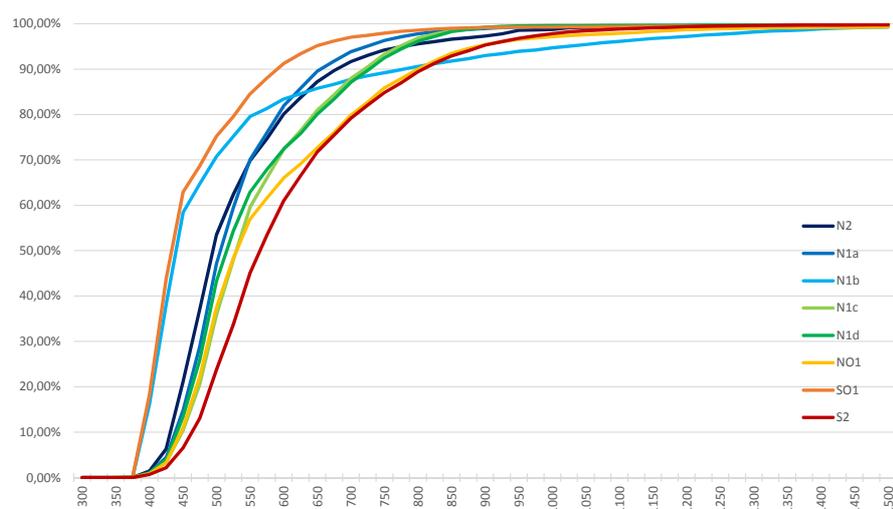


Abbildung 26: kumulierte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den Räumen über den Messzeitraum in ppm

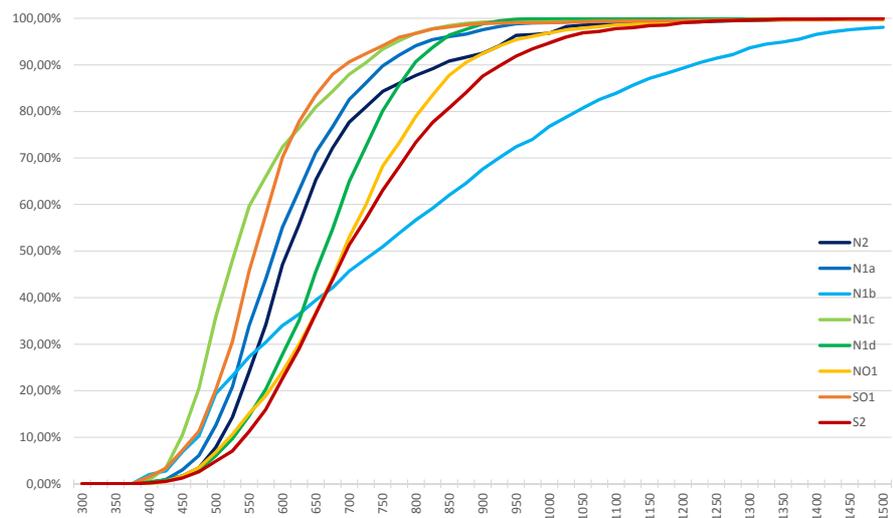


Abbildung 27: kumulierte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den Räumen während der Anwesenheit im Raum in ppm

### Raum N2

So wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1000ppm im Raum N2 im Messzeitraum 14-mal überschritten. Die durchschnittliche Überschreitungsdauer lag bei 45 Minuten. Die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde am 11.06.2018 mit 1560ppm erreicht.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration bei Anwesenheit betrug für den Wert 10/90 zwischen 525ppm und 825ppm. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration bei geöffnetem Fenster betrug für den Wert 10/90 zwischen 525ppm und 725ppm. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration bei geöffneter Türe betrug für den Wert 10/90 zwischen 525ppm und 800ppm (siehe Abbildung 28).

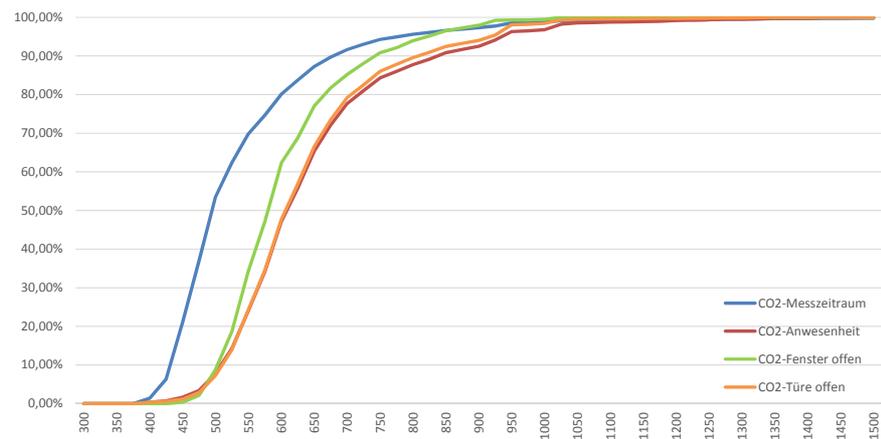


Abbildung 28: Raum N2, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe in ppm

Das Mittel der CO<sub>2</sub>-Konzentration über den Messzeitraum betrug 493ppm. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration betrug über den Messzeitraum für den Wert 10/90 zwischen 450ppm und 675ppm (siehe Abbildung 29).

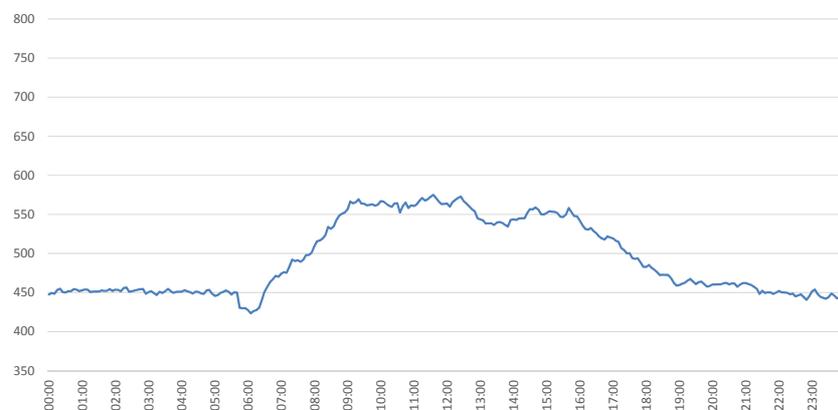


Abbildung 29: Raum N2, mittlerer Tagesverlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration über den Messzeitraum in ppm

Der Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration von Montag bis Freitag betrug 516ppm (siehe Abbildung 30).

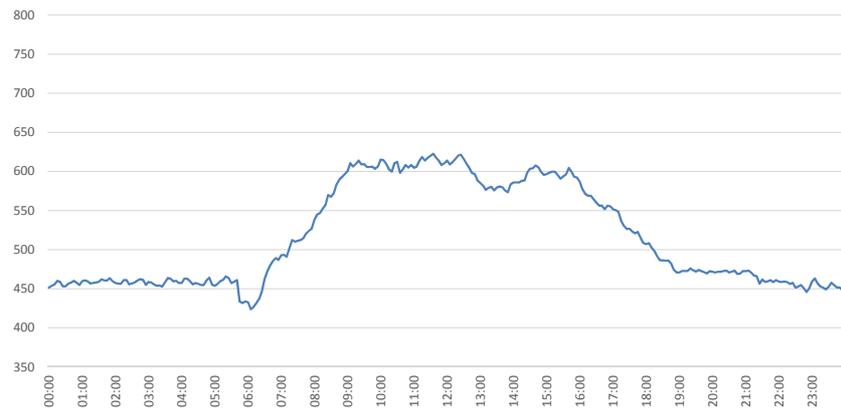


Abbildung 30: Raum N2, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag im Messzeitraum in ppm

Tür- und Fensterstellung offen für den Raum N2. Das Fenster ist von Montag bis Freitag i.M. 2h 25min/d geöffnet, die Türe i.M. 8h 47min/d (siehe Abbildung 31).

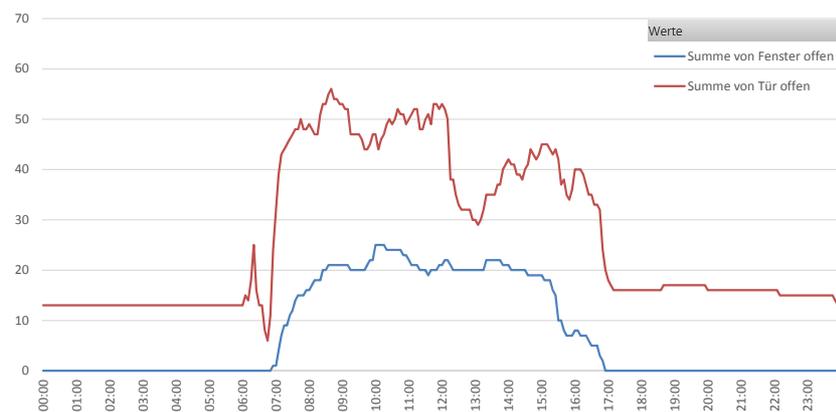


Abbildung 31: Raum N2, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen bei Anwesenheit im Raum. Das Fenster war 32% der Anwesenheitszeit in diesem Raum und die Türe 86% dieser Zeit geöffnet (siehe Abbildung 32).



Abbildung 32: Raum N2, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit

Die Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum betrug im Wert 10/90 zwischen 15,5°C und 27,0°C, die Außentemperatur bei offenem Fenster zu 80% zwischen 19,0°C und 26,0°C (siehe Abbildung 33).

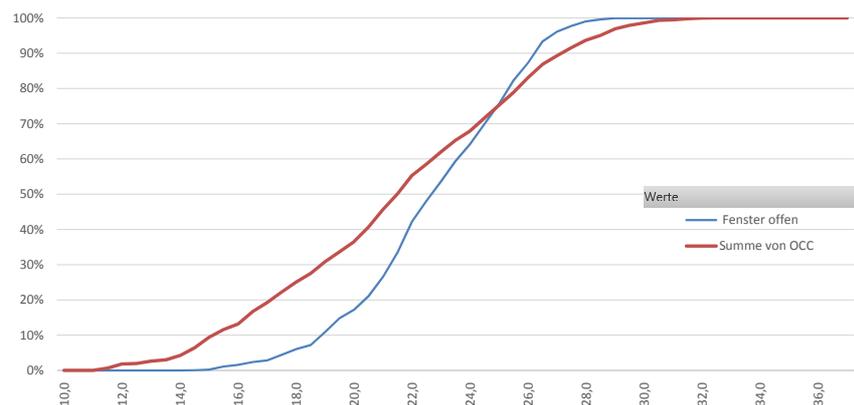


Abbildung 33: Raum N2, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster

### Raum N1A

Im Raum N1A wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1000 ppm im Messzeitraum 9-mal überschritten. Die durchschnittliche Überschreitungsdauer lag bei 20 Minuten. Die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde am 30.07.2018 mit 1260 ppm erreicht.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei Anwesenheit im Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 500ppm und 750ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffnetem Fenster betrug für den Wert 10/90 zwischen 500ppm und 650ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffneter Türe betrug für den Wert 10/90 zwischen 500ppm und 725ppm (siehe Abbildung 34).

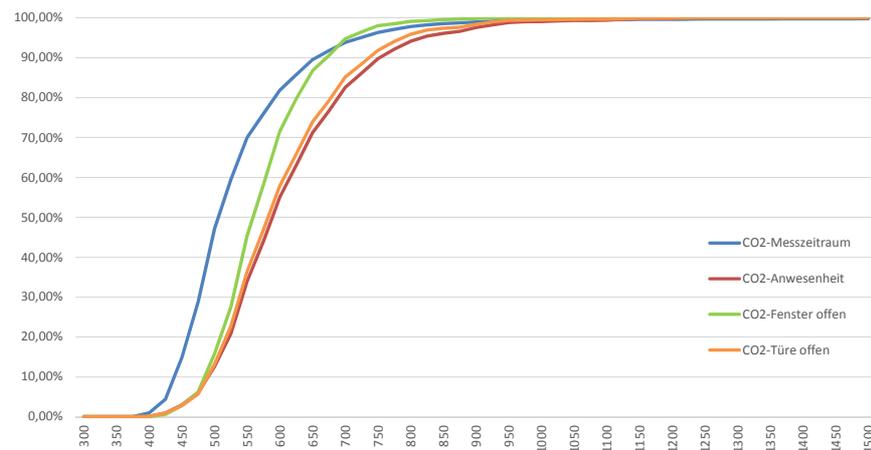


Abbildung 34: Raum N1A, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe

Der Mittelwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts über den Messzeitraum betrug 523ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in diesem Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 450ppm und 650ppm (siehe Abbildung 35).

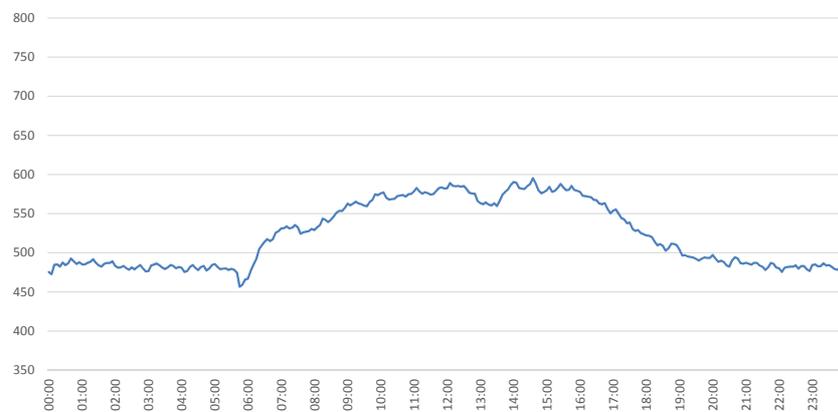


Abbildung 35: Raum N1A, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum

Der Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration von Montag bis Freitag betrug 540ppm (siehe Abbildung 36).

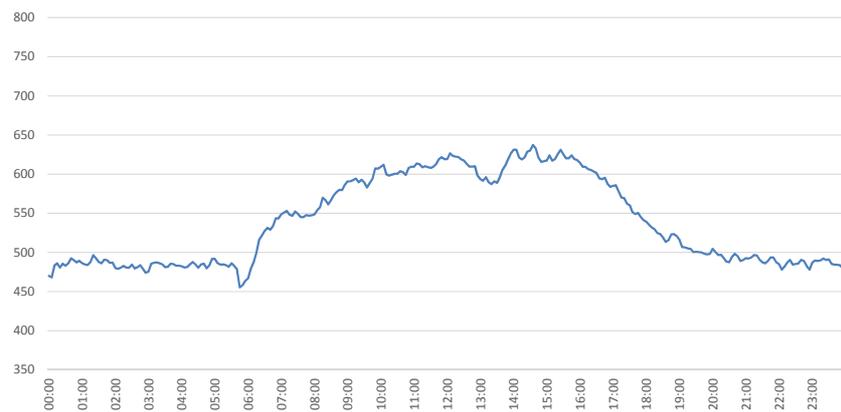


Abbildung 36: Raum N1A, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen für den Raum N1A. Das Fenster ist von Montag bis Freitag i.M. 4h 24min/d geöffnet, die Türe i.M. 3h 51min/d (siehe Abbildung 37).

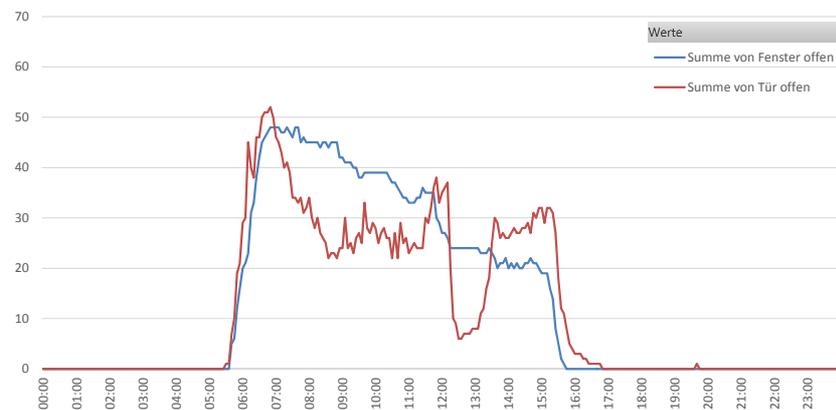


Abbildung 37: Raum N1A, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen bei Anwesenheit im Raum. Das Fenster war 55% der Anwesenheitszeit in diesem Raum und die Türe 68% dieser Zeit geöffnet (siehe Abbildung 38).

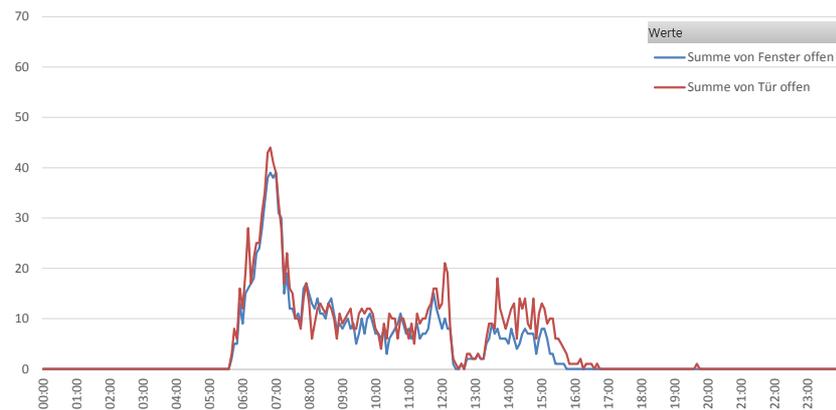


Abbildung 38: Raum N1A, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum

Die Außentemperatur während der Anwesenheit im Raum betrug im Wert 10/90 zwischen 16,0°C und 27,0°C, die Außentemperatur bei offenem Fenster zu 80% zwischen 15,5°C und 24,0°C (siehe Abbildung 39).

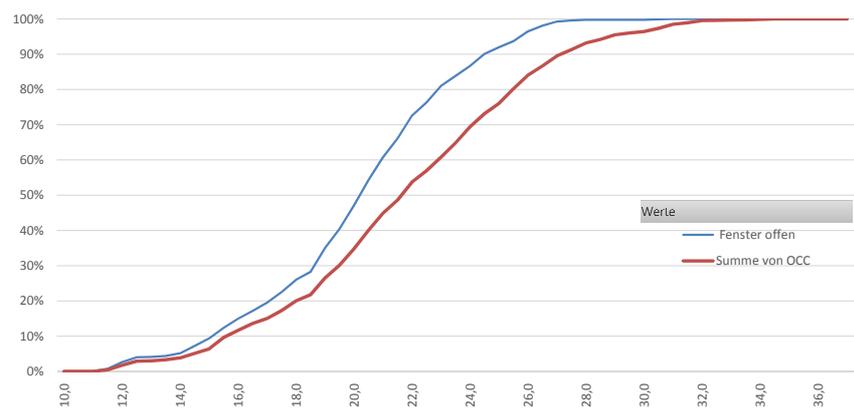


Abbildung 39: Raum N1A, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster

### Raum N1B

Im Raum N1B wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1000 ppm im Messzeitraum 57-mal überschritten. Die durchschnittliche Überschreitungsdauer lag bei 56 Minuten. Die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde am 28.05.2018 mit 2298ppm erreicht. Anzumerken ist, dass der Raum nur zeitweise belegt war.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei Anwesenheit im Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 475ppm und 1200ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffnetem Fenster betrug für den Wert 10/90 zwischen 450ppm und 675ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffneter Türe betrug für den Wert 10/90 zwischen 450ppm und 1050ppm (siehe Abbildung 40).

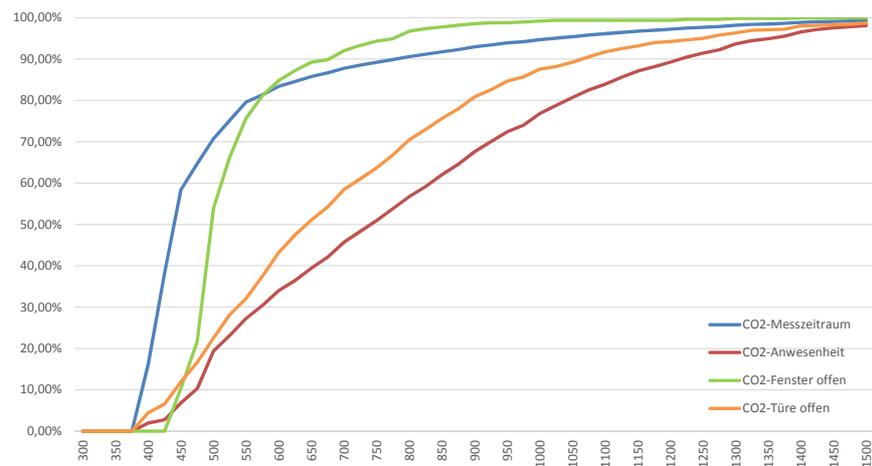


Abbildung 40: Raum N1B, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe

Der Mittelwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts über den Messzeitraum betrug 482ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in diesem Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 400ppm und 775ppm (siehe Abbildung 41).

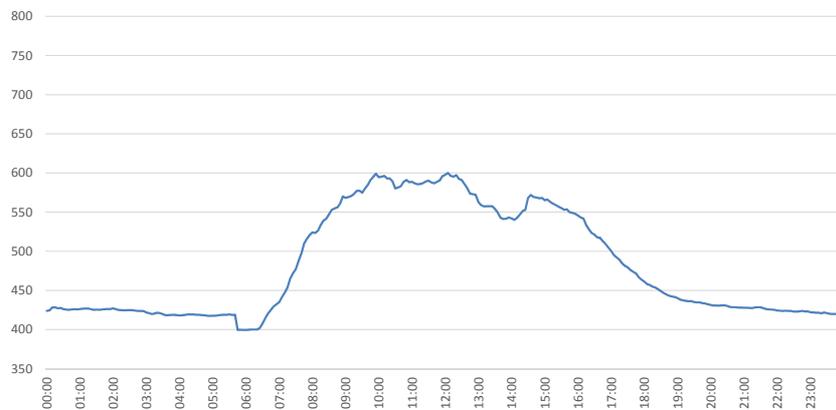


Abbildung 41: Raum N1B, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum

Der Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration von Montag bis Freitag betrug 506ppm (siehe Abbildung 42).

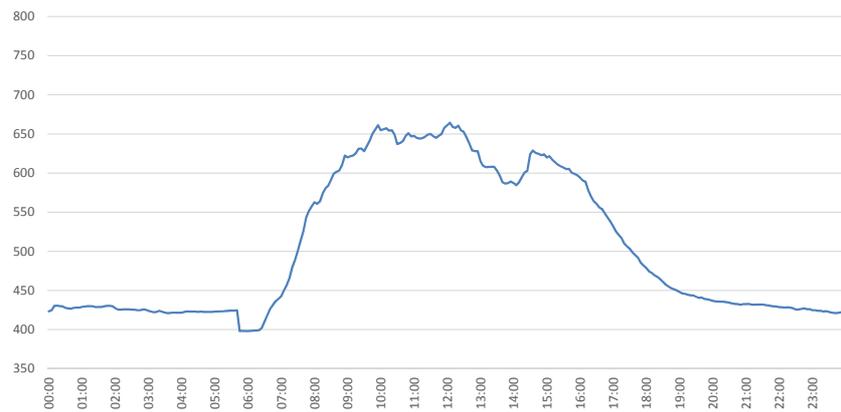


Abbildung 42: Raum N1B, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen für den Raum N1B. Das Fenster ist von Montag bis Freitag i.M. 49min/d geöffnet, die Türe i.M. 1h 16min/d (siehe Abbildung 43).

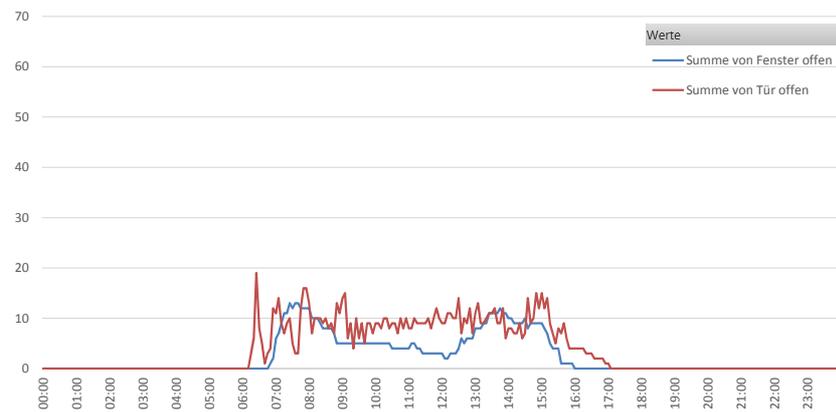


Abbildung 43: Raum N1B, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen bei Anwesenheit im Raum. Das Fenster war 19% der Anwesenheitszeit in diesem Raum und die Türe 25% dieser Zeit geöffnet (siehe Abbildung 44).

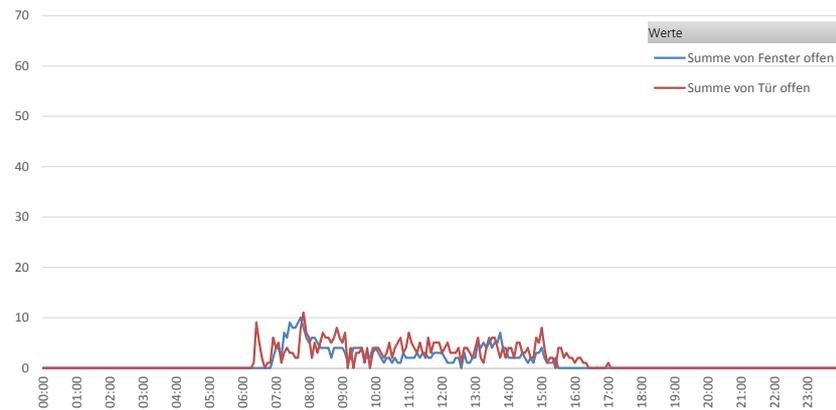


Abbildung 44: Raum N1B, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum

Die Außentemperatur während der Anwesenheit im Raum betrug im Wert 10/90 zwischen 15,0°C und 25,5°C, die Außentemperatur bei offenem Fenster zu 80% zwischen 14,0°C und 25,0°C (siehe Abbildung 45).

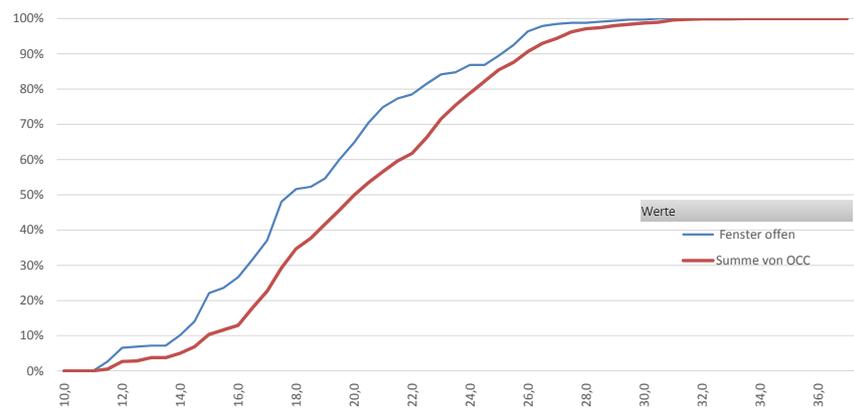


Abbildung 45: Raum N1B, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster

### Raum N1C

Im Raum N1C wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1000 ppm im Messzeitraum 7-mal überschritten. Die durchschnittliche Überschreitungsdauer lag bei 9 Minuten. Die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde am 11.06.2018 mit 1080 ppm erreicht. Der Kontaktsensor war an der Türe zur Erschließung montiert. Eine weitere Türe zu Raum N1D stand permanent offen.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei Anwesenheit im Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 525ppm und 775ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffnetem Fenster betrug für den Wert 10/90 zwischen 500ppm und 700ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffneter Türe betrug für den Wert 10/90 zwischen 575ppm und 775ppm (siehe Abbildung 46).

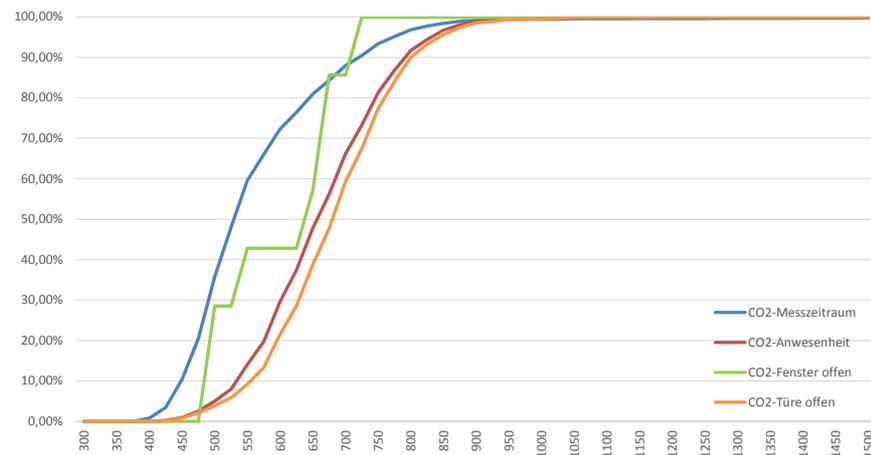


Abbildung 46: Raum N1C, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe

Der Mittelwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts über den Messzeitraum betrug 444ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in diesem Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 450ppm und 700ppm (siehe Abbildung 47).

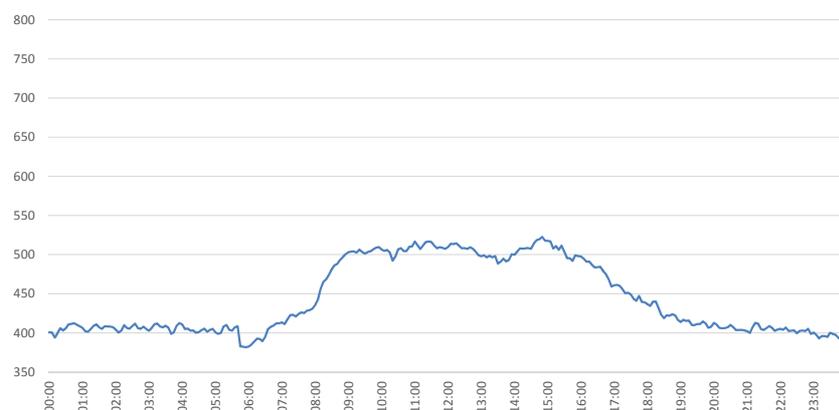


Abbildung 47: Raum N1C, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum

Der Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration von Montag bis Freitag betrug 464ppm (siehe Abbildung 48).

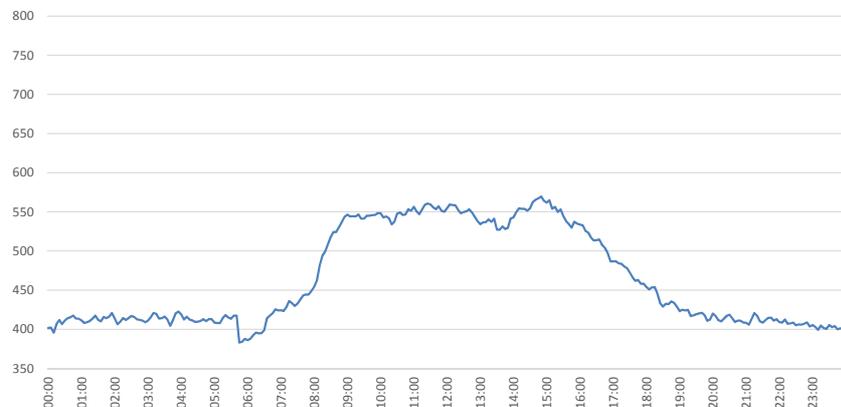


Abbildung 48: Raum N1C, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen für den Raum N1C. Das Fenster ist von Montag bis Freitag i.M. 0,5min/d geöffnet, die Türe i.M. 3h 05min/d (siehe Abbildung 49).

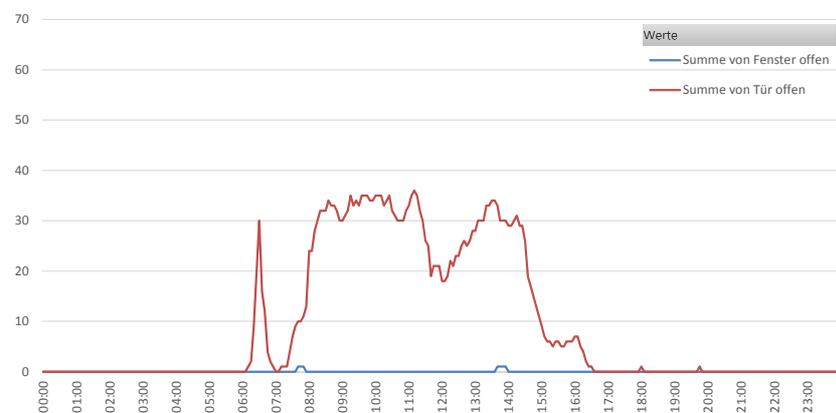


Abbildung 49: Raum N1C, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen bei Anwesenheit im Raum. Das Fenster war 0,2% der Anwesenheitszeit in diesem Raum und die Türe 51% dieser Zeit geöffnet (siehe Abbildung 50).

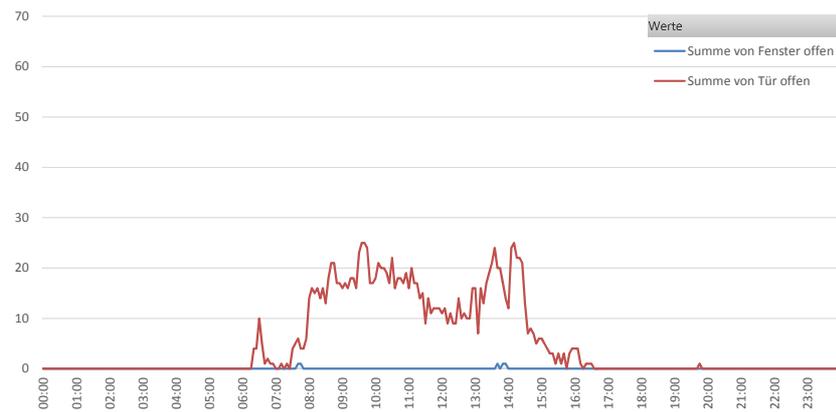


Abbildung 50: Raum N1C, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum

Die Außentemperatur während der Anwesenheit im Raum betrug im Wert 10/90 zwischen 17,5°C und 28,5°C, die Außentemperatur bei offenem Fenster zu 80% zwischen 14,5°C und 21,0°C (siehe Abbildung 51).

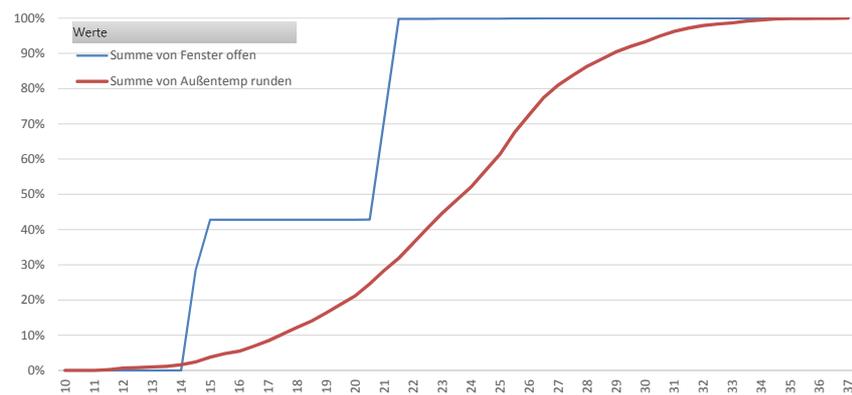


Abbildung 51: Raum N1C, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster

### Raum N1D

Im Raum N1D wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1000 ppm im Messzeitraum 3-mal überschritten. Die durchschnittliche Überschreitungsdauer lag bei 5 Minuten. Die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde am 28.05.2018 mit 1016 ppm erreicht. Der Kontaktsensor war an der Türe zur Erschließung montiert. Die weiteren Türen in diesem Raum zu den Räumen N1C und NO1 sind permanent offen gestanden.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei Anwesenheit im Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 550ppm und 775ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffnetem Fenster betrug für den Wert 10/90

zwischen 550ppm und 675ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffneter Türe betrug für den Wert 10/90 zwischen 550ppm und 775ppm (siehe Abbildung 52).

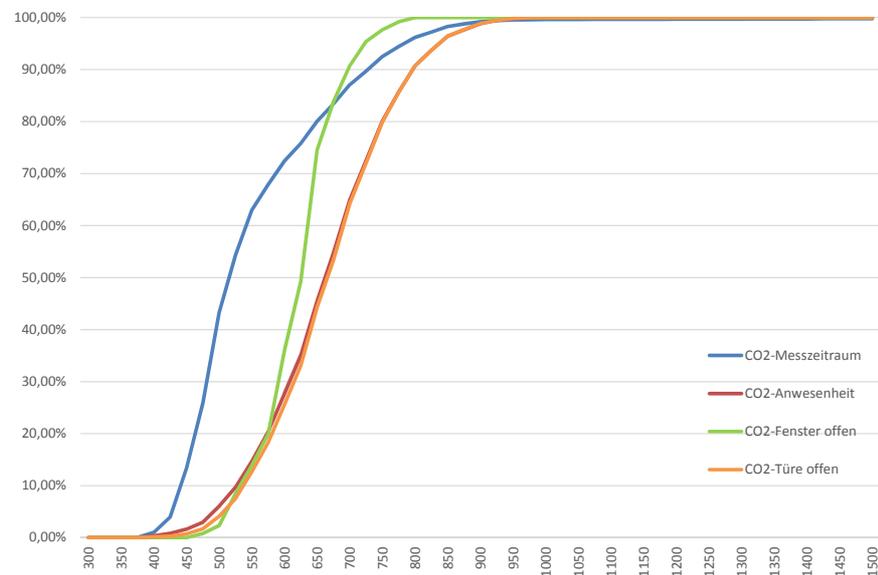


Abbildung 52: Raum N1D, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe

Der Mittelwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts über den Messzeitraum betrug 510ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in diesem Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 450ppm und 725ppm (siehe Abbildung 53).

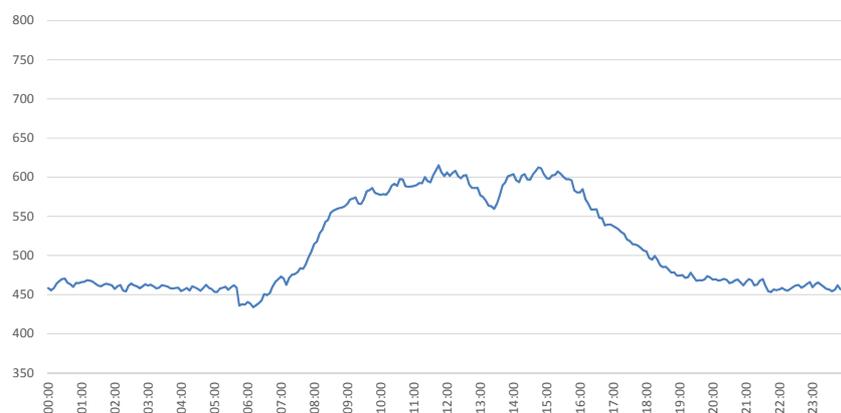


Abbildung 53: Raum N1D, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum

Der Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration von Montag bis Freitag betrug 535ppm (siehe Abbildung 54).



Abbildung 54: Raum N1D, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen für den Raum N1D. Das Fenster ist von Montag bis Freitag i.M. 14min/d geöffnet, die Türe i.M. 7h 55min/d (siehe Abbildung 55).

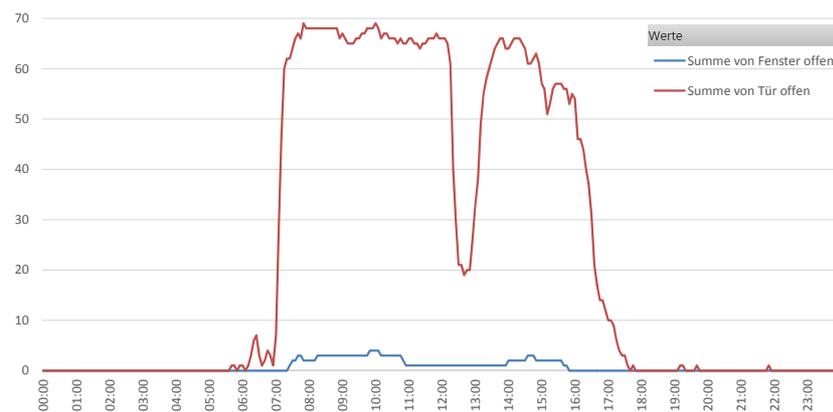


Abbildung 55: Raum N1D, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen bei Anwesenheit im Raum. Das Fenster war 2% der Anwesenheitszeit in diesem Raum und die Türe 81% dieser Zeit geöffnet (siehe Abbildung 56).

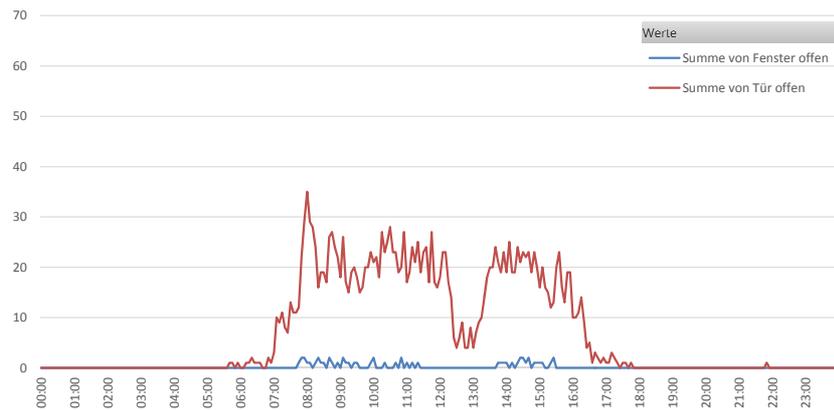


Abbildung 56: Raum N1D, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum

Die Außentemperatur während der Anwesenheit im Raum betrug im Wert 10/90 zwischen 16,5°C und 28,5°C, die Außentemperatur bei offenem Fenster zu 80% zwischen 20,5°C und 26°C (siehe Abbildung 57).

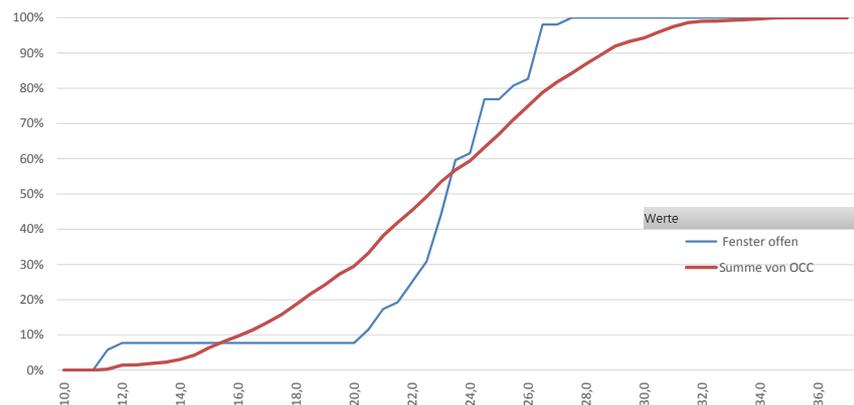


Abbildung 57: Raum N1D, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster

### Raum NO1

Im Raum NO1 wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1000 ppm im Messzeitraum 45-mal überschritten. Die durchschnittliche Überschreitungsdauer lag bei 42 Minuten. Die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde am 24.05.2018 mit 1730 ppm erreicht. Der Kontaktsensor war an der Türe zur Erschließung (Gang) montiert. Anzumerken ist, dass eine weitere Türe zu Raum N1D permanent offen stand.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei Anwesenheit im Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 525ppm und 850ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffnetem Fenster betrug für den Wert 10/90

zwischen 475ppm und 600ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffneter Türe betrug für den Wert 10/90 zwischen 425ppm und 800ppm (siehe Abbildung 58).

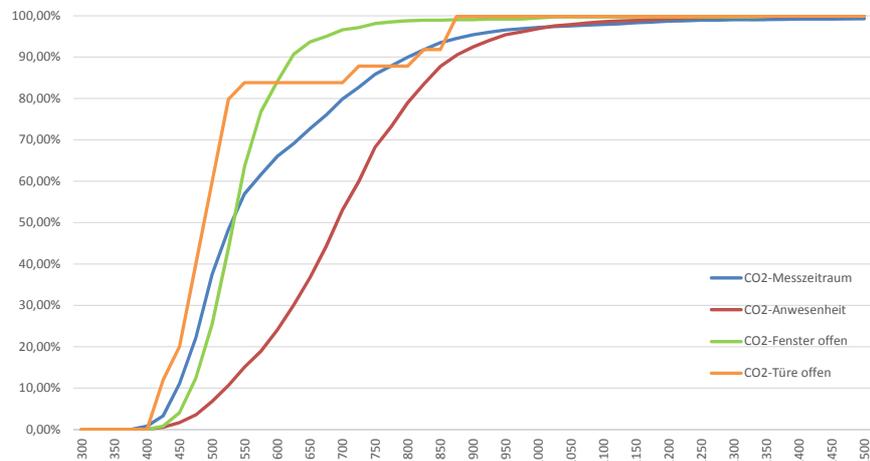


Abbildung 58: Raum NO1, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe

Der Mittelwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts über den Messzeitraum betrug 560ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in diesem Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 450ppm und 800ppm (siehe Abbildung 59).

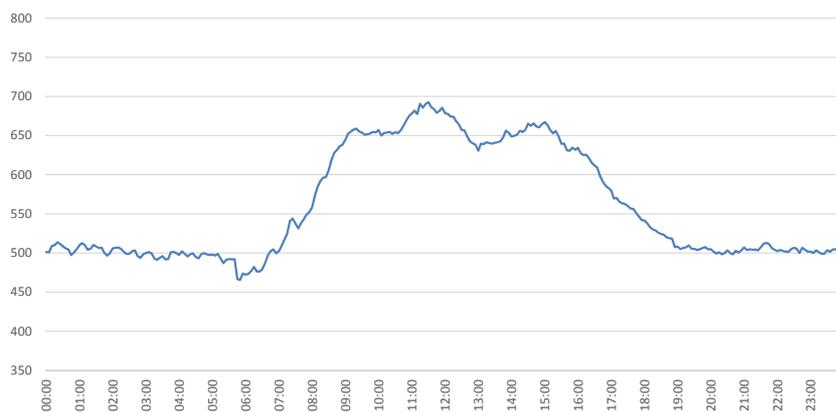


Abbildung 59: Raum NO1, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum

Der Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration von Montag bis Freitag betrug 582ppm (siehe Abbildung 60).

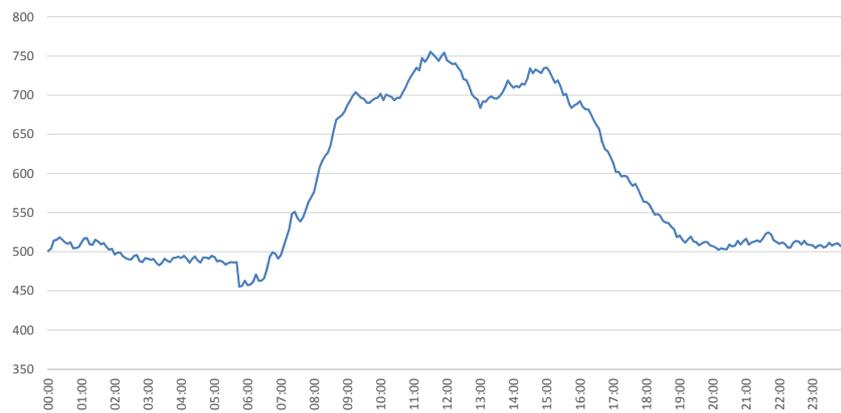


Abbildung 60: Raum NO1, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen für den Raum NO1. Das Fenster ist von Montag bis Freitag i.M. 1h 00min/d geöffnet, die Türe i.M. 2min/d (siehe Abbildung 61).

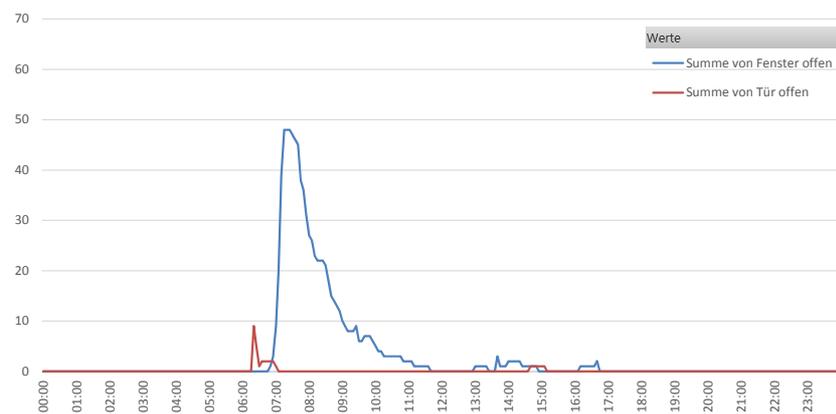


Abbildung 61: Raum NO1, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen bei Anwesenheit im Raum. Das Fenster war 12% der Anwesenheitszeit in diesem Raum und die Türe 0,3% dieser Zeit geöffnet (siehe Abbildung 62).

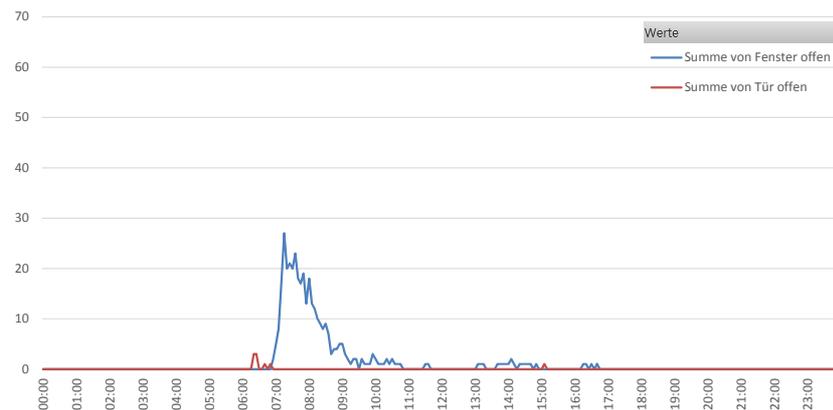


Abbildung 62: Raum NO1, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum

Die Außentemperatur während der Anwesenheit im Raum betrug im Wert 10/90 zwischen 16,5°C und 28,5°C, die Außentemperatur bei offenem Fenster zu 80% zwischen 14,5°C und 22,5°C (siehe Abbildung 63).

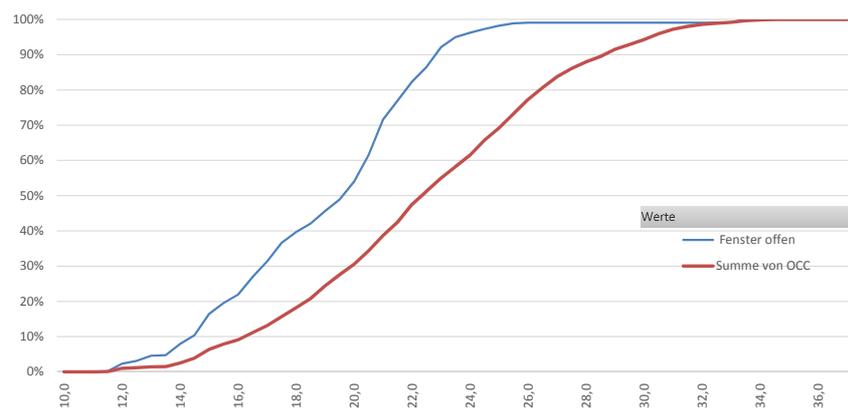


Abbildung 63: NO1 Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster

### Raum SO1

Im Raum SO1 wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1000 ppm im Messzeitraum 2-mal überschritten. Die Überschreitungsdauer betrug im Mittel 68 Minuten. Die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde am 11.06.2018 mit 1940ppm erreicht.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei Anwesenheit im Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 475ppm und 675ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffnetem Fenster betrug für den Wert 10/90 zwischen 450ppm und 500ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffneter Türe betrug für den Wert 10/90 zwischen 475ppm und 650ppm (siehe Abbildung 64).

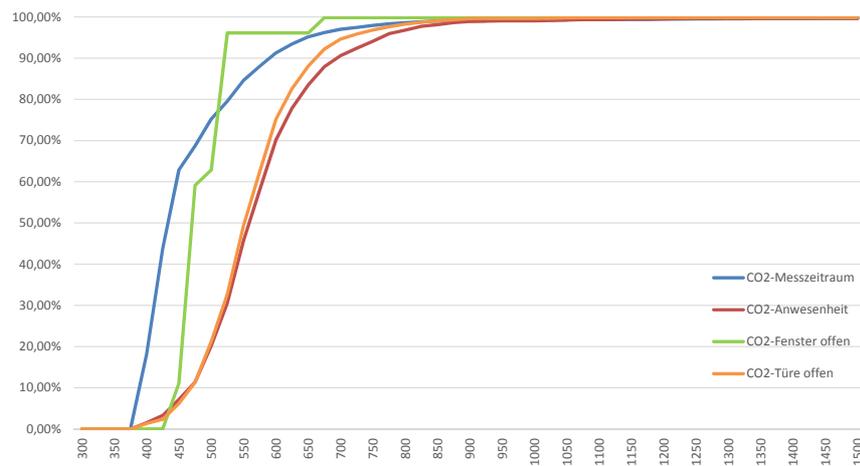


Abbildung 64: Raum SO1, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe

Der Mittelwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts über den Messzeitraum betrug 453ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in diesem Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 400ppm und 575ppm (siehe Abbildung 65).

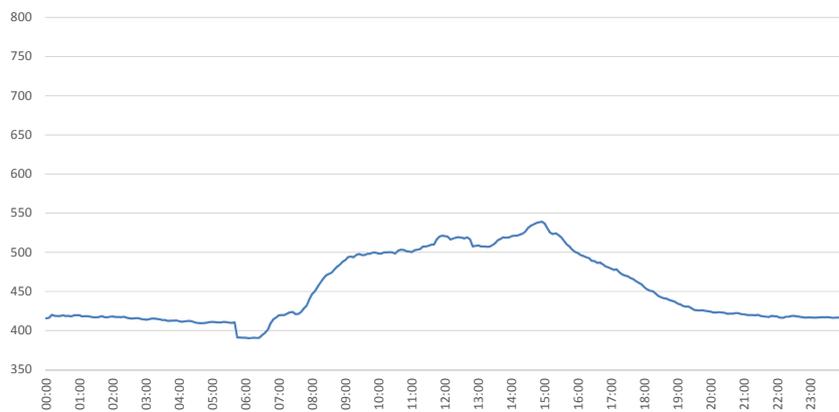


Abbildung 65: Raum SO1, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum

Der Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration von Montag bis Freitag betrug 467ppm (siehe Abbildung 66).

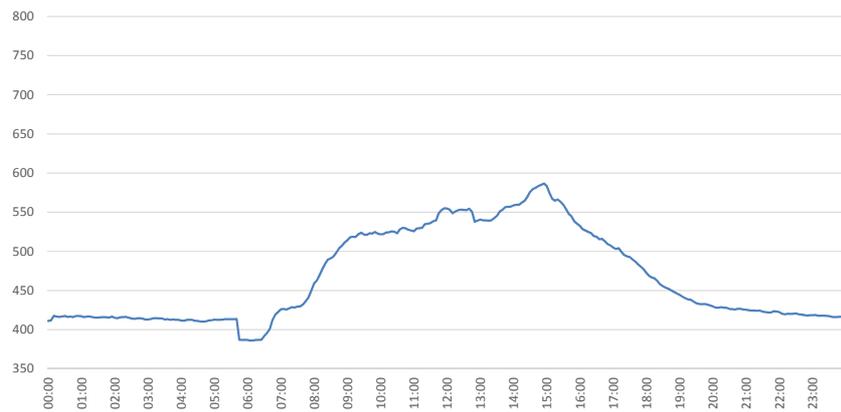


Abbildung 66: Raum SO1, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen für den Raum SO1. Das Fenster ist von Montag bis Freitag i.M. 1min/d geöffnet, die Türe i.M. 3h 56min/d (siehe Abbildung 67).

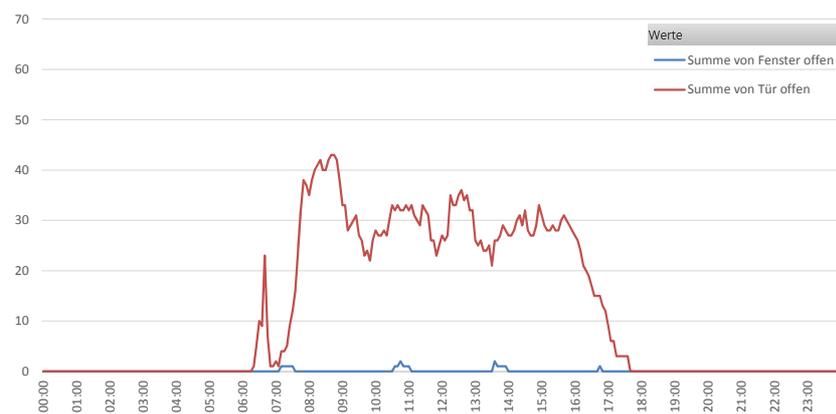


Abbildung 67: Raum SO1, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen bei Anwesenheit im Raum. Das Fenster war 0,4% der Anwesenheitszeit in diesem Raum und die Türe 68% dieser Zeit geöffnet (siehe Abbildung 68).



Abbildung 68: Raum SO1, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum

Die Außentemperatur während der Anwesenheit im Raum betrug im Wert 10/90 zwischen 16,5°C und 27,0°C, die Außentemperatur bei offenem Fenster zu 80% zwischen 19,5°C und 21,0°C (siehe Abbildung 69).

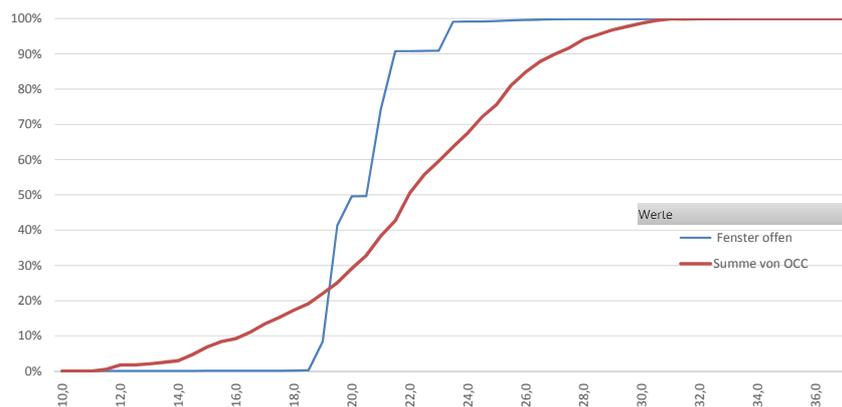


Abbildung 69: Raum SO1, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster

## Raum S2

Im Raum S2 wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1000 ppm im Messzeitraum 83-mal überschritten. Die durchschnittliche Überschreitungsdauer lag bei 22 Minuten. Die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde am 25.07.2018 mit 1460 ppm erreicht.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei Anwesenheit im Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 550ppm und 925ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffnetem Fenster betrug für den Wert 10/90 zwischen 500ppm und 725ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei geöffneter Türe betrug für den Wert 10/90 zwischen 550ppm und 900ppm (siehe Abbildung 70).

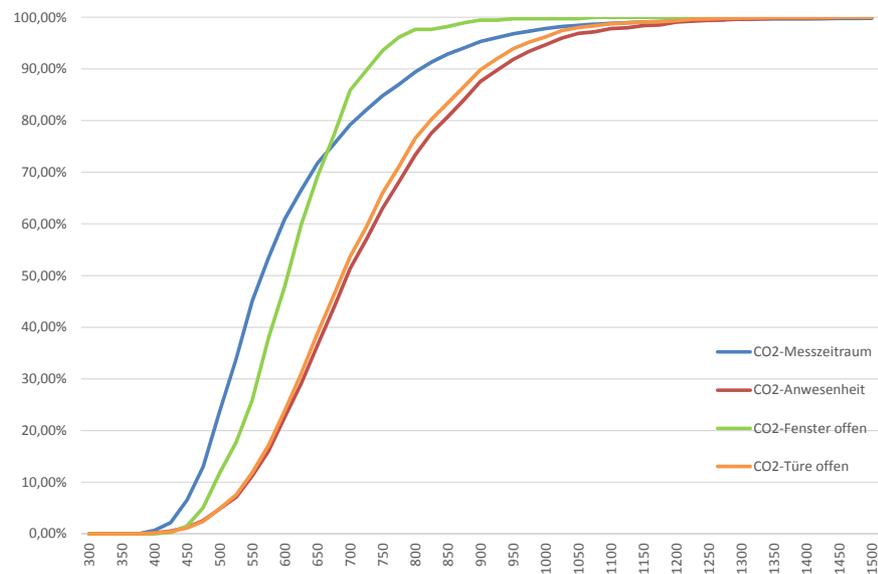


Abbildung 70: Raum S2, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe

Der Mittelwert des CO<sub>2</sub>-Gehalts über den Messzeitraum betrug 582ppm. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in diesem Raum betrug für den Wert 10/90 zwischen 475ppm und 800ppm (siehe Abbildung 71).

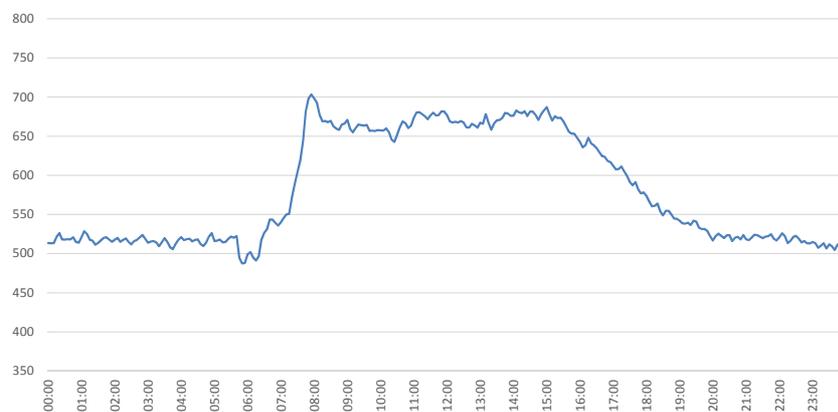


Abbildung 71: Raum S2, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum

Der Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration von Montag bis Freitag betrug 602ppm (siehe Abbildung 72).



Abbildung 72: Raum S2, CO<sub>2</sub>-Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen für den Raum S2. Das Fenster ist von Montag bis Freitag i.M. 44min/d geöffnet, die Türe i.M. 4h 56min/d (siehe Abbildung 73).

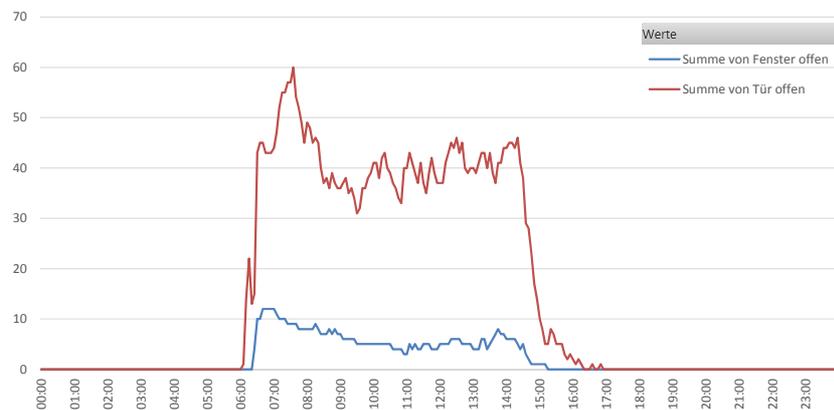


Abbildung 73: Raum S2, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag

Tür- und Fensterstellung offen bei Anwesenheit im Raum. Das Fenster war 9% der Anwesenheitszeit in diesem Raum und die Türe 64% dieser Zeit geöffnet (siehe Abbildung 74).

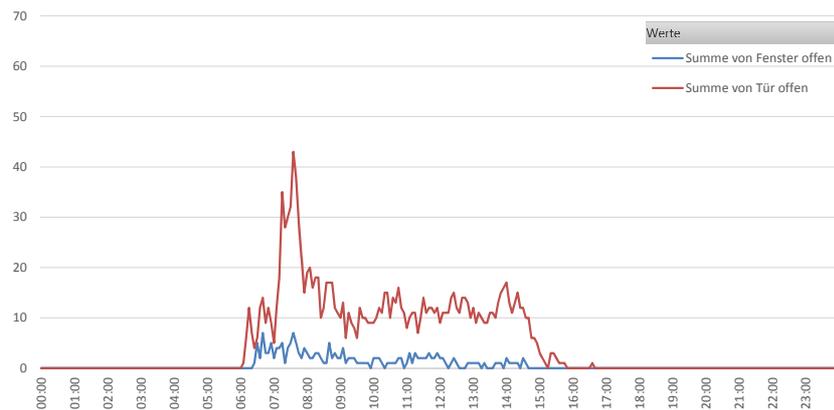


Abbildung 74: Raum S2, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum

Die Außentemperatur während der Anwesenheit im Raum betrug im Wert 10/90 zwischen 15,5°C und 26,5°C, die Außentemperatur bei offenem Fenster zu 80% zwischen 13,0°C und 21,5°C (siehe Abbildung 75).

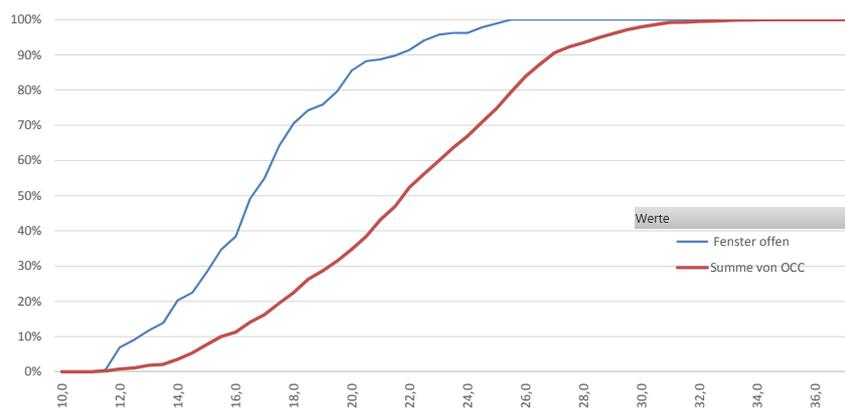


Abbildung 75: Raum S2, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster

### Luftqualität aller Räume

Für alle Räume kann trotz unterschiedlicher Bedingungen gesagt werden, dass die Messungen über den gesamten Zeitraum niedrige CO<sub>2</sub>-Konzentrationen aufweisen. Den steilsten Anstieg hat die Messkurve der CO<sub>2</sub>-Konzentration bei Anwesenheit im Raum und offenem Fenster. Kaum Unterschiede der CO<sub>2</sub>-Konzentration weisen die Messkurven zur Anwesenheit im Raum und zur Anwesenheit im Raum bei offener Türe auf. Erst im oberen Bereich zeigt die Kurve zur Anwesenheit mit offener Türe leicht geringere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Diese Kurven sind umso ähnlicher, je länger die Türe offen gehalten wird. Im Raum N1B, mit einem geringen Zeitanteil an offener Zimmertüre

verlaufen die Kurven getrennt, wobei die Kurve „Anwesenheit bei offener Türe“ die geringeren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen aufweist.

Die Mittelwerte der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Messungen von Montag bis Freitag ergaben Minimalwerte von 375ppm bis 475ppm. Das Minimum wurde jeweils in der Früh vor Arbeitsbeginn erreicht. Die mittleren Maxima lagen zwischen 600ppm und 750ppm. Die Maximalkonzentrationen wurden am späten Vormittag oder späten Nachmittag erreicht. Lediglich im Raum S2 wird das mittlere Maximum bereits am frühen Vormittag erreicht.

Die Ausrichtung in verschiedene Himmelsrichtungen zeigt kein unterschiedliches Verhalten beim Offenhalten der Türen und Fenster. In der Hälfte der Räume steht die Türe mehr als zwei Drittel der Zeit offen. Die Räume N1C und NO1, die eine Verbindungstüre zu N1D besitzen, lüften über die zu 81% der Zeit offenstehende Türe von N1D mit. Der Raum mit dem geringsten Offenhalten der Türe (25% der Zeit) weist auch die höchsten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bei Anwesenheit auf. Die Fenster stehen bei Anwesenheit in der Mehrzahl der Räume zwischen 0,2% und 20% der Zeit offen. Lediglich in den Räumen N2 (32% der Zeit) und N1A (55% der Zeit) wird intensiver über das Fenster gelüftet.

Das Lüftverhalten über die Fenster unterscheidet sich zwischen den direkt besonnten Räumen und den nach Norden ausgerichteten Räumen. In den direkt besonnten Räumen wird das Lüften über die Fenster bereits bei niedrigeren Außentemperaturen (21,0°C bis 22,5°C) eingestellt. Dies könnte ein Effekt der Doppelfassade sein, welche die Außenluft noch weiter erwärmt, auch wenn sich die Glaslamellen im Sommer ab 17°C öffnen. Es ist anzunehmen, dass die wärmere Außenluft aus der Doppelfassade das Lüften über die Fenster unattraktiv macht.

### **3.3 Thermische Behaglichkeit**

Die objektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit wurde auf Basis der Daten der Langzeitmessung sowie der Ergebnisse der normkonformen Einzelmessungen durchgeführt. Konkret wurden in der Langzeitmessung die Lufttemperatur und die Luftfeuchtigkeit erfasst. In den Einzelmessungen an den Arbeitsplätzen wurden

zusätzlich die operative Raumtemperatur und die Luftgeschwindigkeit für diesen Zeitpunkt gemessen und für die gesamte Messperiode zur Berechnung benutzt.

Die subjektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit wurde mit Hilfe von Fragebögen ermittelt.

Die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitswerte aller Räume im Messbereich wurden über den gesamten Messverlauf als kumulierte Plots gegenübergestellt.

Der „Wert 10/90“ in der Beschreibung der Grafiken steht für Werte, die in 80% des jeweiligen Messzeitraums, also im Großteil der Zeit, vorliegen, wobei die Werte von 0% bis 10% und 90% bis 100% nicht berücksichtigt wurden.

In der raumvergleichenden Übersicht (siehe Abbildung 76) der kumulierten Temperaturverteilung fällt auf, dass die Räume N1A, N1B und SO1 am kältesten sind. Diese Räume sind von männlichen Mitarbeitern belegt.

Räume mit direkter Sonneneinstrahlung, das sind die Räume NO1, SO1 und S2, weisen unabhängig von ihrem mittleren Temperaturverlauf die höchsten Temperaturspitzen auf.

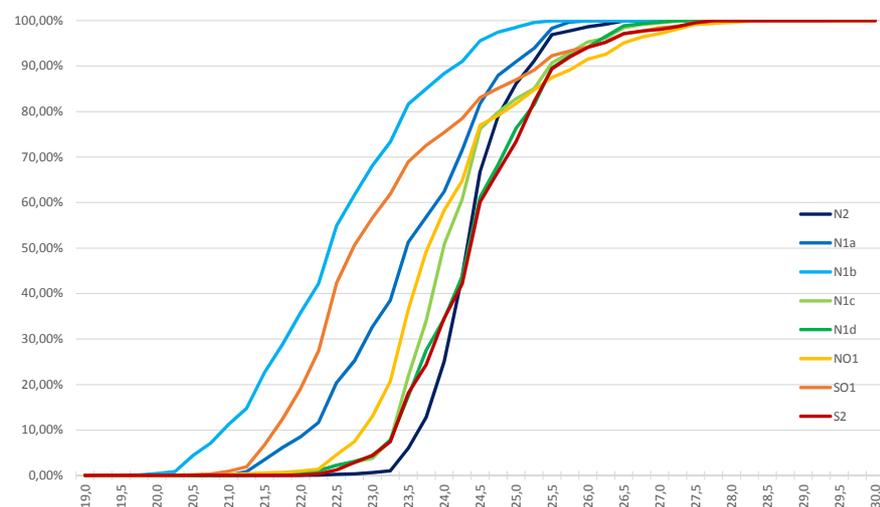


Abbildung 76: Raumtemperatur über den Messzeitraum als kumulierte Prozentwerte

Die Luftfeuchtigkeit bewegt sich im „arbeitsmedizinisch empfohlenen Luftfeuchtigkeitsbereich“ (Arbeitsinspektion 2017) von 40-70%, wobei die am stärksten

gekühlten Räume (N1A, N1B und SO1) die höchsten Werte der relativen Luftfeuchtigkeit aufweisen (siehe Abbildung 77).

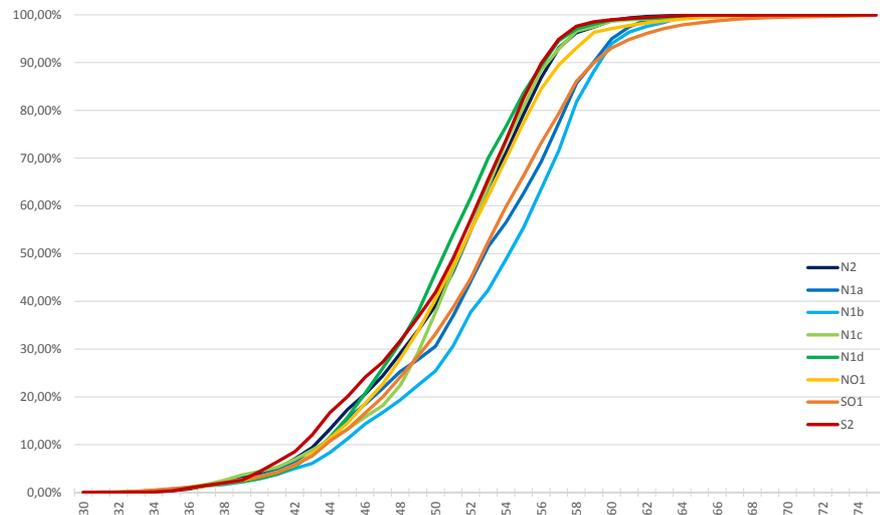


Abbildung 77: Relative Luftfeuchtigkeit über den Messzeitraum als kumulierte Prozentwerte

### Raum N2

Der Raum N2 weist für den Messzeitraum ein Temperaturmaximum von 26,5°C und ein Minimum von 22,3°C auf. Die Temperatur in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 23,7°C und 25,0°C.

Dieser Raum weist für den Messzeitraum ein Luftfeuchtigkeitsmaximum von 66% und ein Minimum von 30% auf. Die Luftfeuchtigkeit in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 44% und 56%.

### Raum N1A

Der Raum N1A weist für den Messzeitraum ein Temperaturmaximum von 26,0°C und ein Minimum von 21,0°C auf. Die Temperatur in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 22,2°C und 24,8°C.

Dieser Raum weist für den Messzeitraum ein Luftfeuchtigkeitsmaximum von 65% und ein Minimum von 30% auf. Die Luftfeuchtigkeit in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 44% und 58%.

### **Raum N1B**

Der Raum N1B weist für den Messzeitraum ein Temperaturmaximum von 25,5°C und ein Minimum von 17,8°C auf. Die Temperatur in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 21,0°C und 24,0°C.

Dieser Raum weist für den Messzeitraum ein Luftfeuchtigkeitsmaximum von 68% und ein Minimum von 30% auf. Die Luftfeuchtigkeit in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 45% und 59%.

### **Raum N1C**

Der Raum N1C weist für den Messzeitraum ein Temperaturmaximum von 27,3°C und ein Minimum von 20,8°C auf. Die Temperatur in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 23,5°C und 25,3°C.

Dieser Raum weist für den Messzeitraum ein Luftfeuchtigkeitsmaximum von 68% und ein Minimum von 30% auf. Die Luftfeuchtigkeit in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 44% und 56%.

### **Raum N1D**

Der Raum N1D weist für den Messzeitraum ein Temperaturmaximum von 27,5°C und ein Minimum von 20,8°C auf. Die Temperatur in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 23,5°C und 25,5°C.

Dieser Raum weist für den Messzeitraum ein Luftfeuchtigkeitsmaximum von 68% und ein Minimum von 30% auf. Die Luftfeuchtigkeit in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 44% und 56%.

### **Raum NO1**

Der Raum NO1 weist für den Messzeitraum ein Temperaturmaximum von 28,8°C und ein Minimum von 20,0°C auf. Die Temperatur in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 23,0°C und 25,8°C.

Dieser Raum weist für den Messzeitraum ein Luftfeuchtigkeitsmaximum von 71% und ein Minimum von 30% auf. Die Luftfeuchtigkeit in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 44% und 57%.

**Raum SO1**

Der Raum SO1 weist für den Messzeitraum ein Temperaturmaximum von 28,3°C und ein Minimum von 20,3°C auf. Die Temperatur in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 21,7°C und 25,3°C.

Dieser Raum weist für den Messzeitraum ein Luftfeuchtigkeitsmaximum von 79% und ein Minimum von 30% auf. Die Luftfeuchtigkeit in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 44% und 58%.

**Raum S2**

Der Raum S2 weist für den Messzeitraum ein Temperaturmaximum von 28,0°C und ein Minimum von 22,0°C auf. Die Temperatur in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 23,5°C und 25,5°C.

Dieser Raum weist für den Messzeitraum ein Luftfeuchtigkeitsmaximum von 66% und ein Minimum von 33% auf. Die Luftfeuchtigkeit in diesem Raum beträgt für den Wert 10/90 zwischen 43% und 56%.

**3.3.1 Objektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit**

Aus den Messwerten der beiden Einzelmessungen mit dem Ahlborn Almemo 2590 wurde für den Zeitraum der Dauermessung die operative Raumtemperatur ermittelt. Daraus konnten PMV und PPD für den Messzeitraum errechnet werden.

Dabei wurde aus den Messungen am 11.6.2018 und am 10.8.2018 die mittlere Temperaturdifferenz zwischen Lufttemperatur und Oberflächentemperatur für die Büroräume ermittelt. Die Temperaturdifferenz zwischen Lufttemperatur und Oberflächentemperatur, notwendig zur Bestimmung der operativen Raumtemperatur, wurde für alle Räume mit dem Mittel von +0,17°C für den Messzeitraum festgelegt.

Die Luftgeschwindigkeit wurde mit 0,07m/s einheitlich für alle Räume ermittelt. Dies entspricht dem Mittelwert der Einzelmessungen.

Der Faktor Kleidung (clo-Wert) wurde mit 0,5 festgelegt, da in den Büroräumen keine Kleidungsordnung besteht und dies einer sommerlichen Kleidung entspricht, wie sie im Messzeitraum von den Nutzern getragen wurde (lt. Ö-Norm EN ISO 7730 Anhang C).

Der met-Wert (metabolic rate) für die körperliche Aktivität wurde entsprechend der Bürotätigkeit mit 1,2 definiert (lt. Ö-Norm EN ISO 7730 Tabelle B.1).

### Thermische Behaglichkeit in der kühlgsten und wärmsten Woche des Messzeitraums

Die kühlgste und die wärmste Woche im Messzeitraum wurden für jeden Raum analysiert. Die kühlgste Woche im Messzeitraum war die Kalenderwoche (KW) 20 (siehe Abbildung 78), die wärmste Woche die Kalenderwoche 31 (siehe Abbildung 79). Der Verlauf für die Wochen 20 und 31 wurde, anders als üblich, von Sonntag bis Samstag abgebildet, um in der Grafik mit dem Sonntag den Vorverlauf zur Arbeitswoche zeigen zu können. So wurde der Zeitraum für die KW 20 von Sonntag, dem 13.5.2018, bis Samstag, dem 19.5.2018, für die KW 31 von Sonntag, dem 29.07.2018, bis Samstag, dem 4.8.2018, festgelegt.

Temperatur KW 20: min.: 11,3°C; max.: 25,2°C; i.M.: 16,3°C

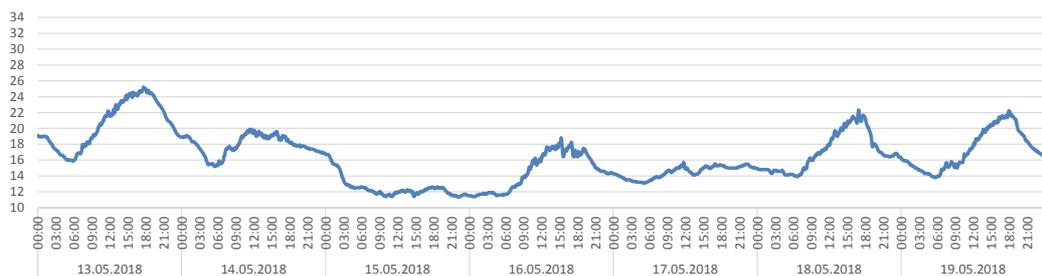


Abbildung 78: Außentemperaturverlauf in der kühlgsten Woche KW 20

Temperatur KW 31: min.: 22,5°C; max.: 34,1°C; i.M.: 27,3°C

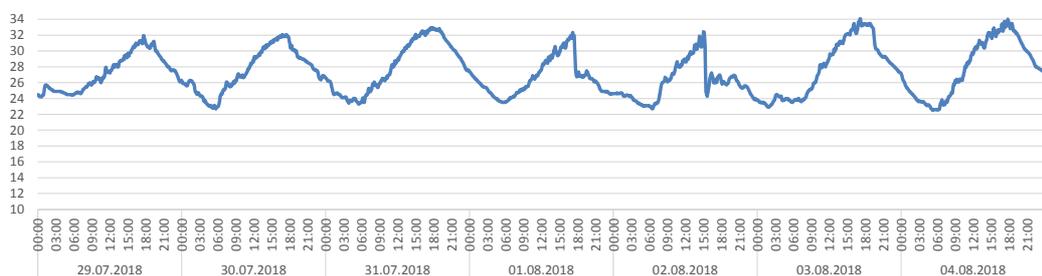
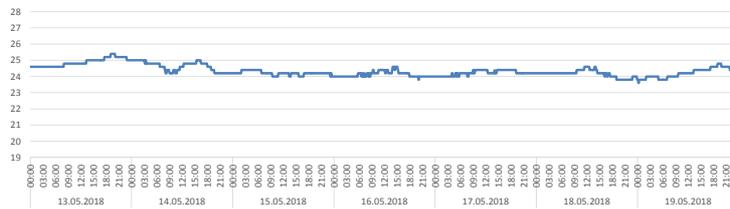


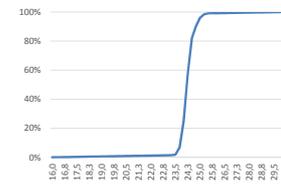
Abbildung 79: Außentemperaturverlauf in der wärmsten Woche KW 31

Raum N2: Die KW20 als khlste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 80).

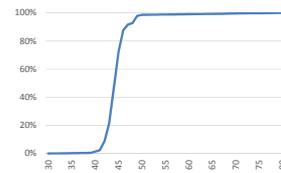
Temperatur: min.: 23,6; max.: 25,4; i.M.: 24,3



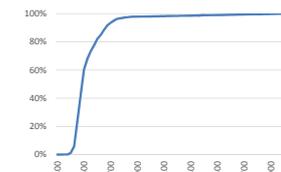
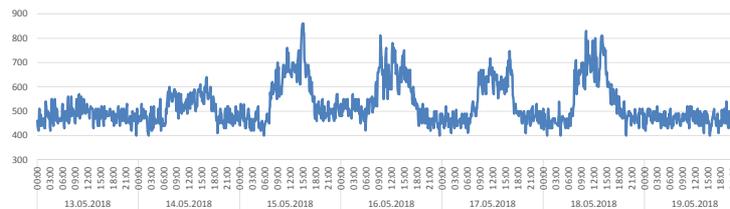
kumulierte Werte



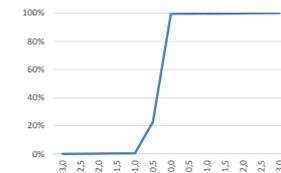
Luftfeuchtigkeit: min.: 39,5; max.: 50,5; i.M.: 44,5



CO2: min.: 400; max.: 860; i.M.: 522



PMV: min.: -0,40; max.: 0,15; i.M.: -0,16



PPD: min.: 5,0; max.: 8,3; i.M.: 5,7

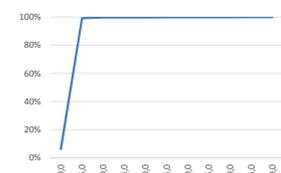
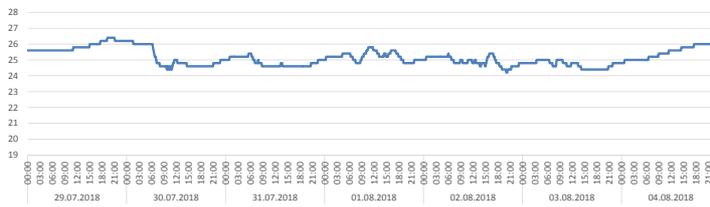


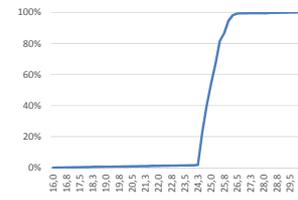
Abbildung 80: Raum N2 KW20 – die khlste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

Raum N2: Die KW31 als wärmste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 81).

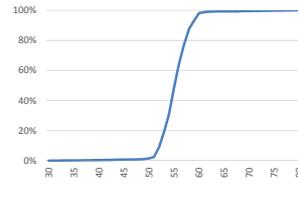
Temperatur: min.: 24,2; max.: 26,4; i.M.: 25,2



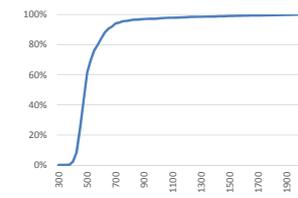
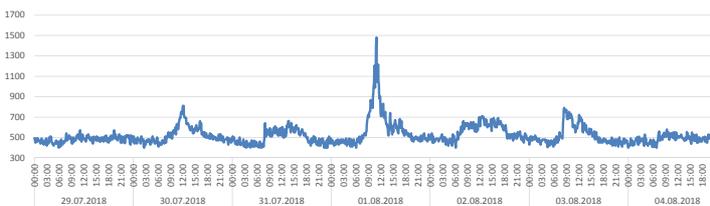
kumulierte Werte



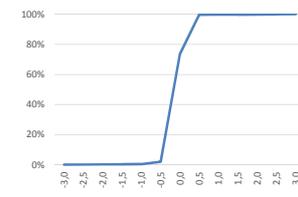
Luftfeuchtigkeit: min.: 49,5; max.: 62,5; i.M.: 55,5



CO2: min.: 400; max.: 1480; i.M.: 521



PMV: min.: -0,15; max.: 0,57; i.M.: 0,17



PPD: min.: 5,0; max.: 11,9; i.M.: 6,2

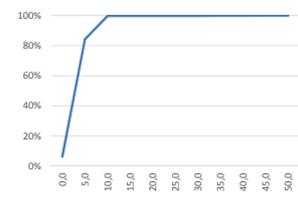
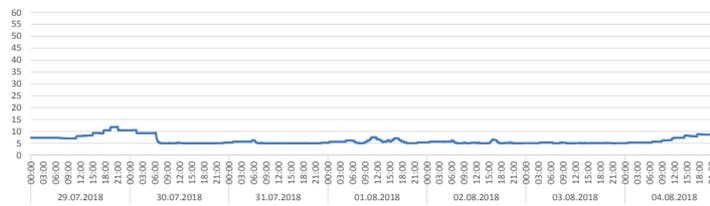
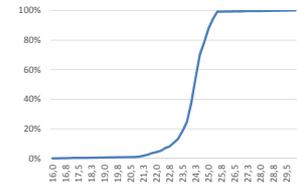


Abbildung 81: Raum N2 KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

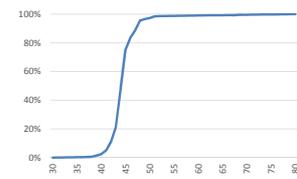
Raum N1A: Die KW20 als khlteste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 82).

Temperatur: min.: 21,0; max.: 25,6; i.M.: 24,2

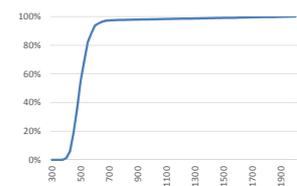
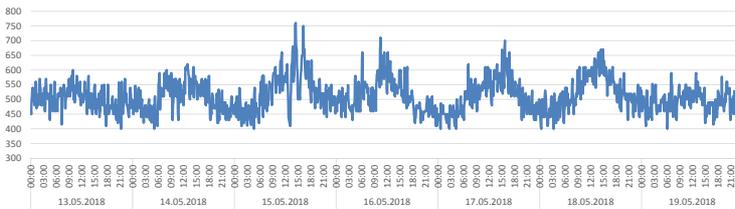
kumulierte Werte



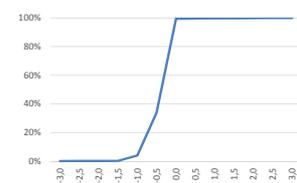
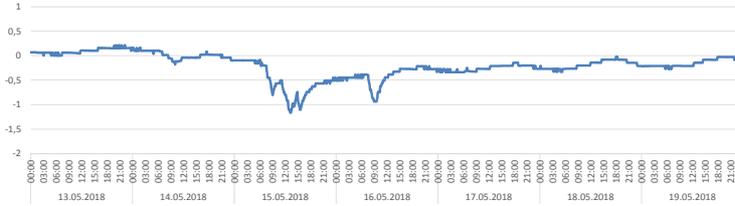
Luftfeuchtigkeit: min.: 38,0; max.: 51,5; i.M.: 44,4



CO2: min.: 400; max.: 760; i.M.: 510



PMV: min.: -1,17; max.: 0,22; i.M.: -0,20



PPD: min.: 5,0; max.: 33,6; i.M.: 7,2

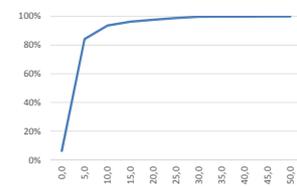


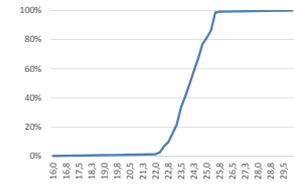
Abbildung 82: Raum N1A KW20 – die khlteste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

Raum N1A: Die KW31 als wärmste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 83).

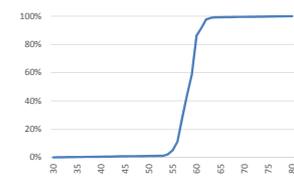
Temperatur: min.: 22,2; max.: 25,8; i.M.: 24,1



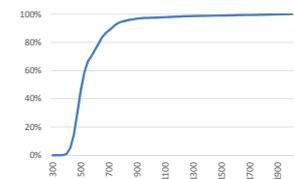
kumulierte Werte



Luftfeuchtigkeit: min.: 54,0; max.: 64,0; i.M.: 58,5



CO2: min.: 400; max.: 1260; i.M.: 552



PMV: min.: -0,75; max.: 0,40; i.M.: -0,13



PPD: min.: 5,0; max.: 16,9; i.M.: 7,0

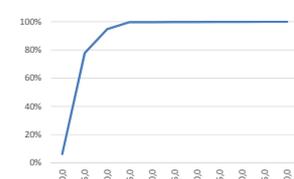


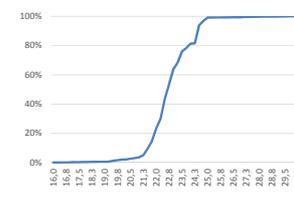
Abbildung 83: Raum N1A KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

Raum N1B: Die KW20 als khlste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 84).

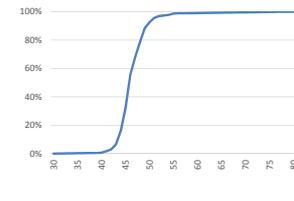
Temperatur: min.: 19,4; max.: 25,0; i.M.: 22,9



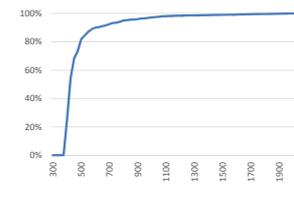
kumulierte Werte



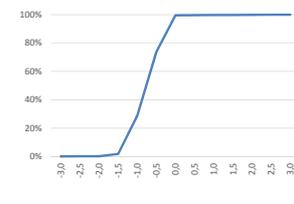
Luftfeuchtigkeit: min.: 40; max.: 55,5; i.M.: 46,4



CO2: min.: 400; max.: 1218; i.M.: 472



PMV: min.: -1,64; max.: 0,03; i.M.: -0,59



PPD: min.: 5,0; max.: 58,6; i.M.: 14,5

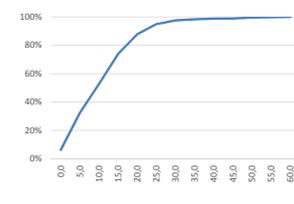
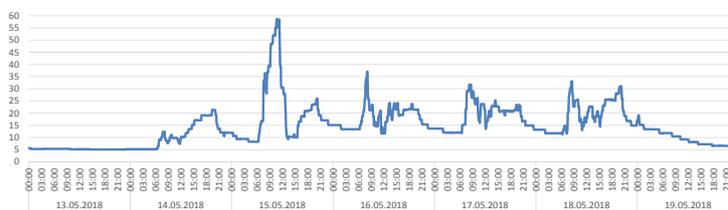
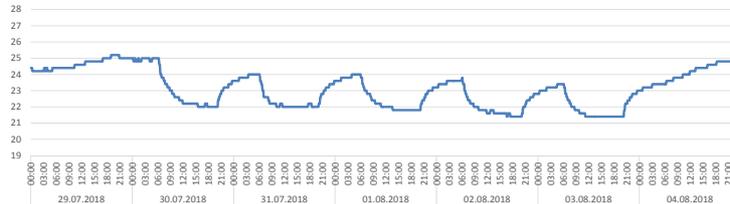


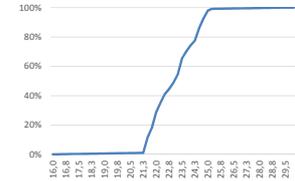
Abbildung 84: Raum N1B KW20 – die khlste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

Raum N1B: Die KW31 als wärmste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 85). Der Raum war während dieser Woche nicht belegt.

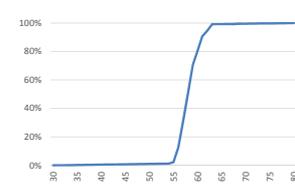
Temperatur: min.: 21,4; max.: 25,2; i.M.: 23,1



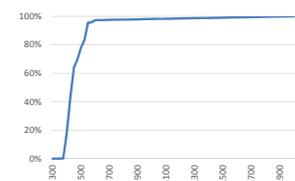
kumulierte Werte



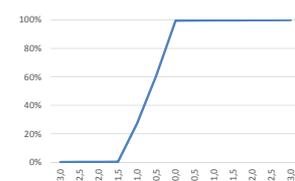
Luftfeuchtigkeit: min.: 54,5; max.: 63,0; i.M.: 58,5



CO2: min.: 400; max.: 600; i.M.: 460



PMV: min.: -1,01; max.: 0,21; i.M.: -0,45



PPD: min.: 5,0; max.: 26,5; i.M.: 12,2

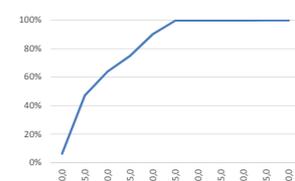


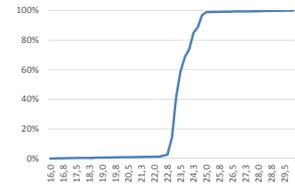
Abbildung 85: Raum N1B KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

Raum N1C: Die KW20 als khlste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 86).

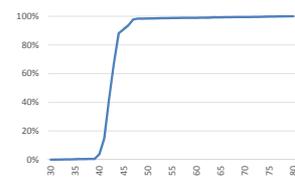
Temperatur: min.: 21,6; max.: 26,6; i.M.: 24,8



kumulierte Werte

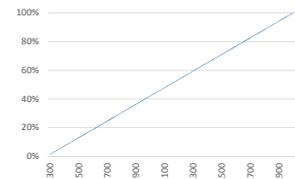


Luftfeuchtigkeit: min.: 30,5; max.: 37,0; i.M.: 33,2

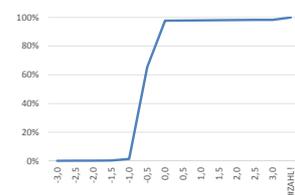


CO2: min.: xxx; max.: xxx; i.M.: xxx

Keine Messdaten fr diese Woche.



PMV: min.: xxx; max.: xxx; i.M.: xxx



PPD: min.: xxx; max.: xxx; i.M.: xxx

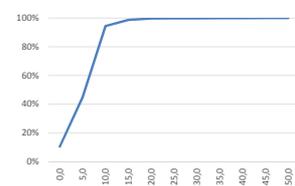


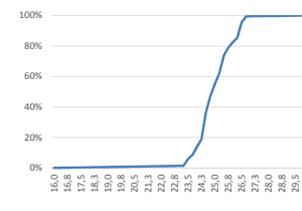
Abbildung 86: Raum N1C KW20 – die khlste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung, das CO<sub>2</sub>-Messgert ist in dieser Woche ausgefallen

Raum N1C: Die KW31 als wärmste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 87).

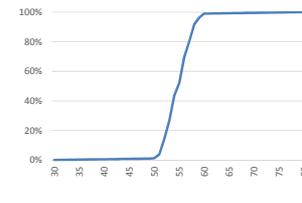
Temperatur: min.: 23,4; max.: 26,8; i.M.: 25,1



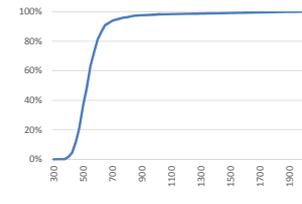
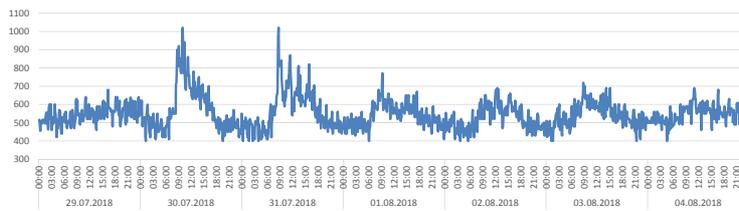
kumulierte Werte



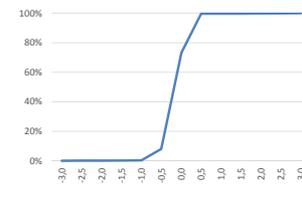
Luftfeuchtigkeit: min.: 49,5; max.: 59,5; i.M.: 55,0



CO2: min.: 400; max.: 1020; i.M.: 548



PMV: min.: -0,40; max.: 0,70; i.M.: 0,15



PPD: min.: 5,0; max.: 15,3; i.M.: 7,1

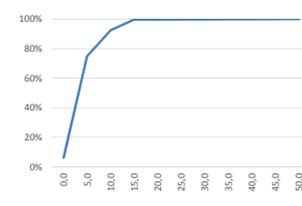
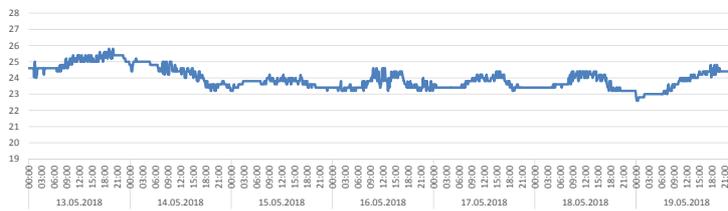


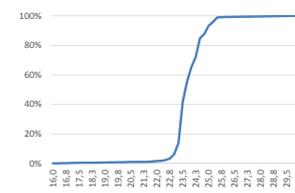
Abbildung 87: Raum N1C KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

Raum N1D: Die KW20 als khlste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 88).

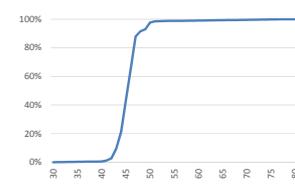
Temperatur: min.: 21,8; max.: 25,8; i.M.: 23,9



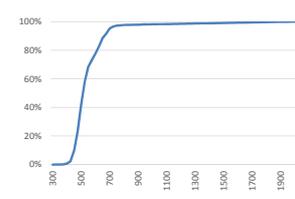
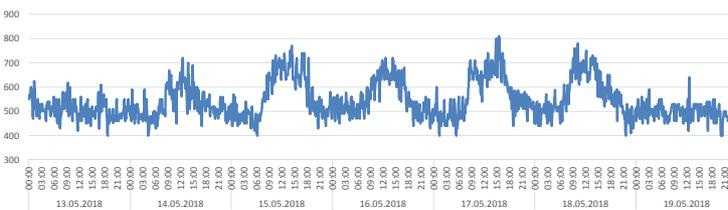
kumulierte Werte



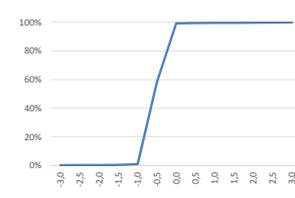
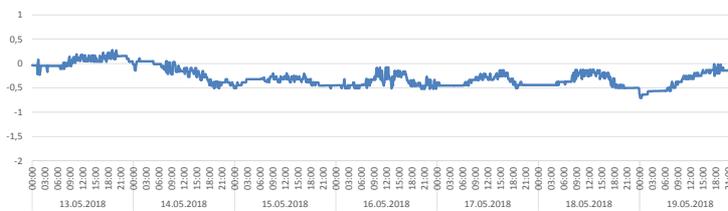
Luftfeuchtigkeit: min.: 40,0; max.: 53,0; i.M.: 45,6



CO2: min.: 400; max.: 810; i.M.: 543



PMV: min.: -0,93; max.: 0,28; i.M.: -0,28



PPD: min.: 5,0; max.: 23,4; i.M.: 7,5

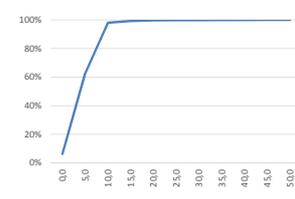
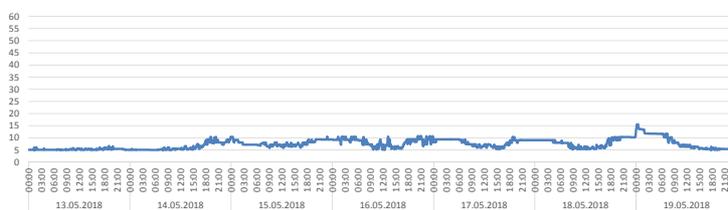
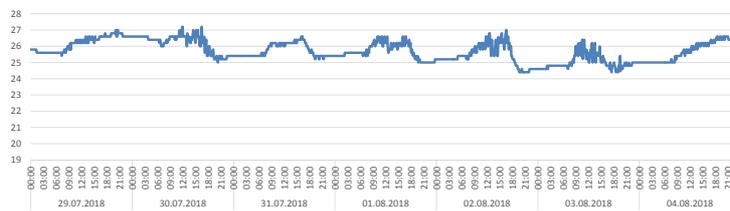


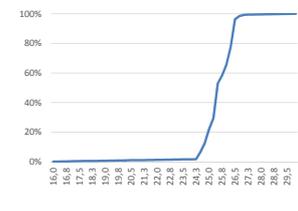
Abbildung 88: Raum N1D KW20 – die khlste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

Raum N1D: Die KW31 als wärmste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 89).

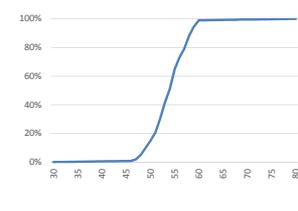
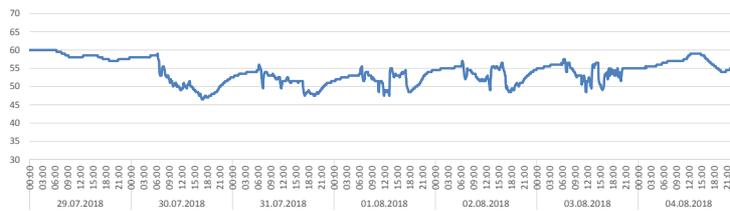
Temperatur: min.: 24,4; max.: 27,2; i.M.: 25,7



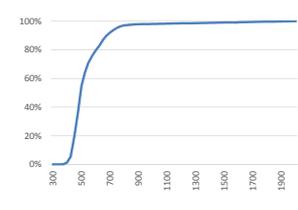
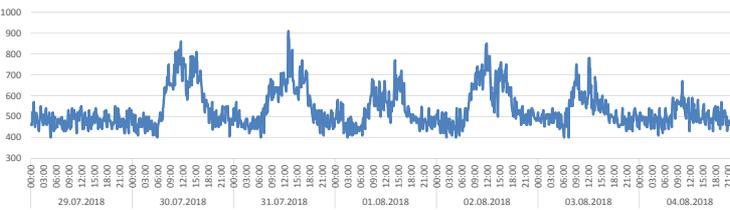
kumulierte Werte



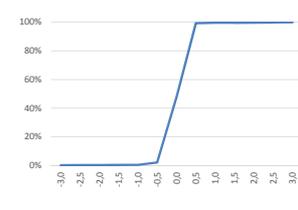
Luftfeuchtigkeit: min.: 46,5; max.: 60,0; i.M.: 54,1



CO2: min.: 400; max.: 910; i.M.: 532



PMV: min.: -0,11; max.: 0,76; i.M.: 0,33



PPD: min.: 5,0; max.: 17,2; i.M.: 8,2

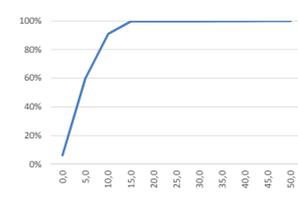
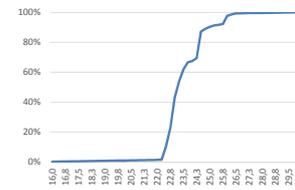
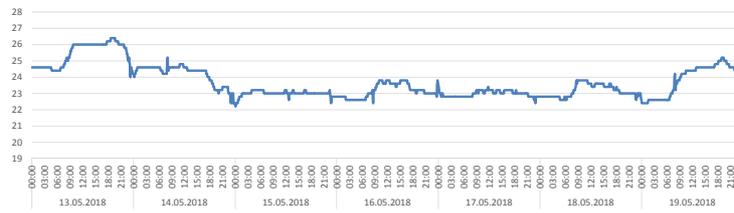


Abbildung 89: Raum N1D KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

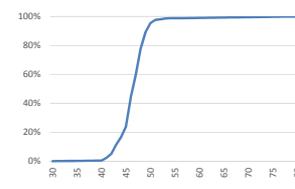
Raum NO1: Die KW20 als khlste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 90).

Temperatur: min.: 22,2; max.: 26,4; i.M.: 23,7

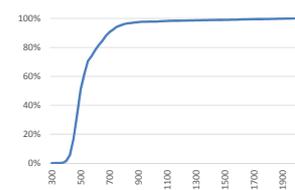
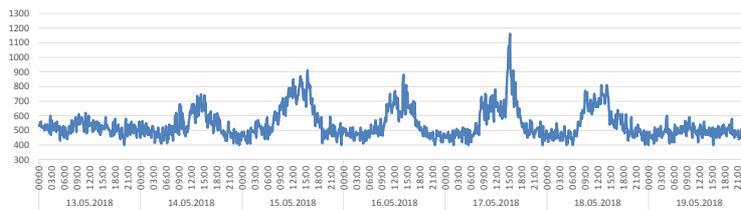
kumulierte Werte



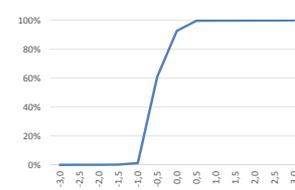
Luftfeuchtigkeit: min.: 40,5; max.: 54,0; i.M.: 46,5



CO2: min.: 400; max.: 1160; i.M.: 541



PMV: min.: -0,80; max.: 0,45; i.M.: -0,36



PPD: min.: 5,0; max.: 18,6; i.M.: 9,6

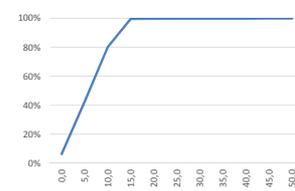


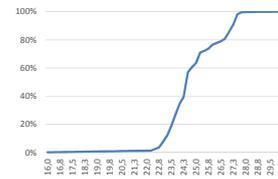
Abbildung 90: Raum NO1 KW20 – die khlste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

Raum NO1: Die KW31 als wärmste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 91).

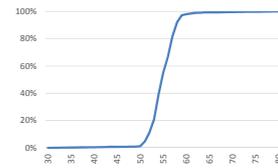
Temperatur: min.: 22,4; max.: 28,0; i.M.: 24,9



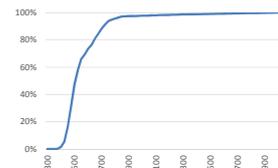
kumulierte Werte



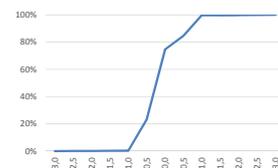
Luftfeuchtigkeit: min.: 49,5; max.: 63,5; i.M.: 55,1



CO2: min.: 400; max.: 1270; i.M.: 551



PMV: min.: -0,70; max.: 1,04; i.M.: 0,10



PPD: min.: 5,0; max.: 27,9; i.M.: 9,4

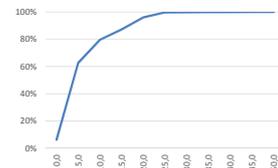
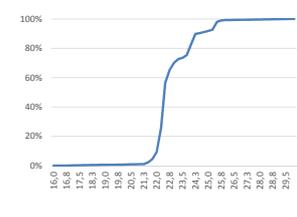


Abbildung 91: Raum NO1 KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

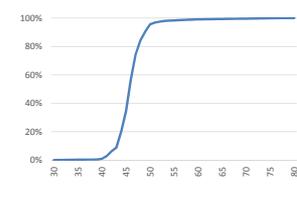
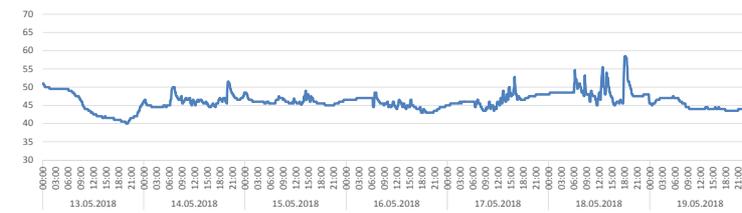
Raum SO1: Die KW20 als khlste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 92).

Temperatur: min.: 21,6; max.: 26,0; i.M.: 23,0

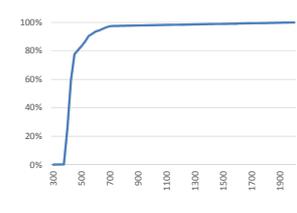
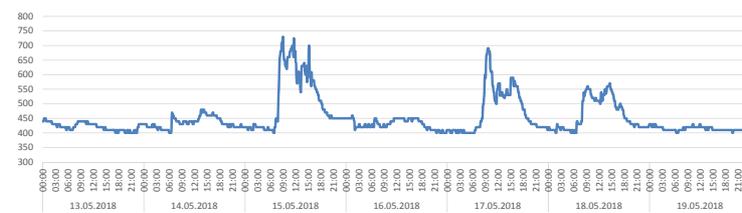
kumulierte Werte



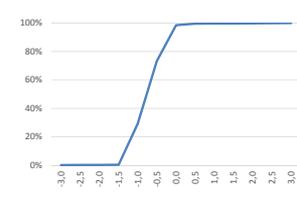
Luftfeuchtigkeit: min.: 40,0; max.: 58,5; i.M.: 46,1



CO2: min.: 400; max.: 730; i.M.: 450



PMV: min.: -1,01; max.: 0,35; i.M.: -0,57



PPD: min.: 5,0; max.: 26,4; i.M.: 13,7

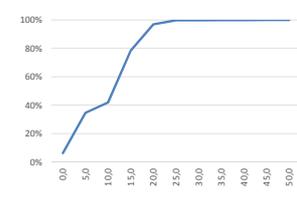
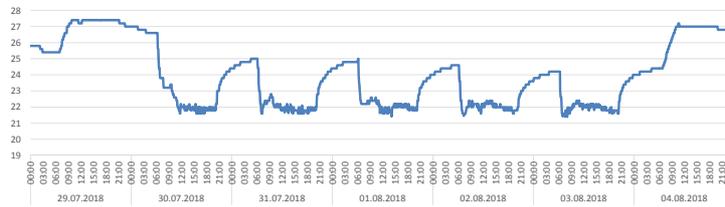


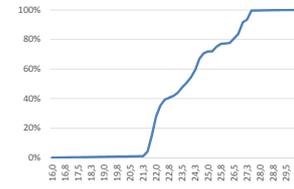
Abbildung 92: Raum SO1 KW20 – die khlste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

Raum SO1: Die KW31 als wärmste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 93). Der Raum war während dieser Woche nicht belegt.

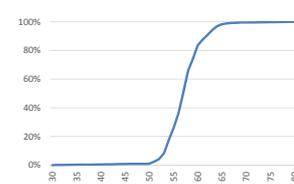
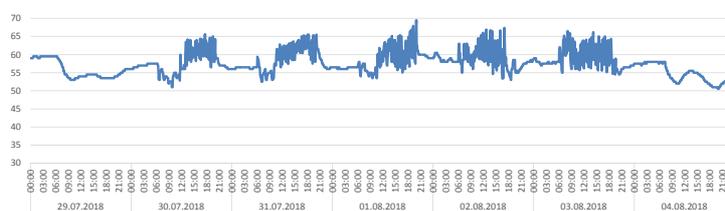
Temperatur: min.: 21,4; max.: 27,4; i.M.: 24,0



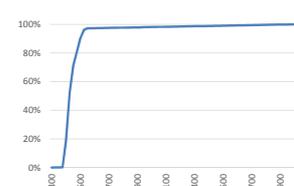
kumulierte Werte



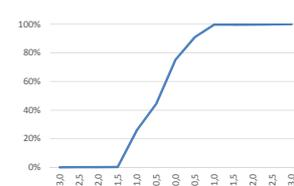
Luftfeuchtigkeit: min.: 50,5; max.: 69,5; i.M.: 57,5



CO2: min.: 400; max.: 549; i.M.: 446



PMV: min.: -0,99; max.: 0,86; i.M.: -0,18



PPD: min.: 5,0; max.: 25,7; i.M.: 13,6

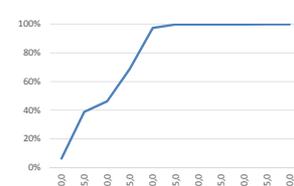
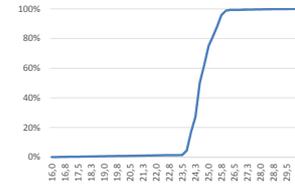
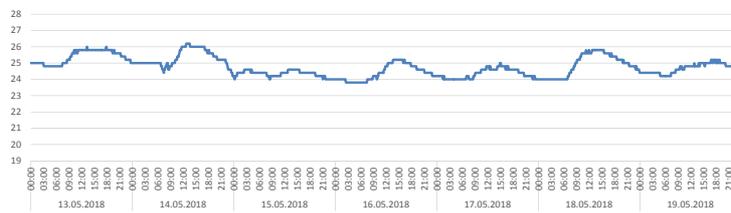


Abbildung 93: Raum SO1 KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

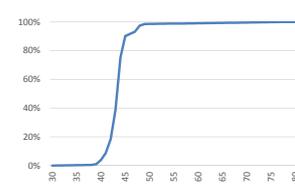
Raum S2: Die KW20 als kühlsste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 94).

Temperatur: min.: 23,8; max.: 26,2; i.M.: 24,8

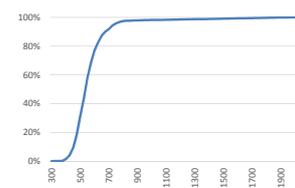
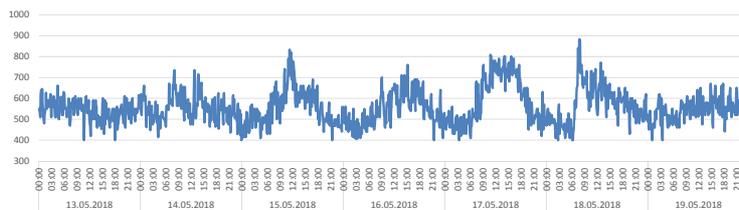
kumulierte Werte



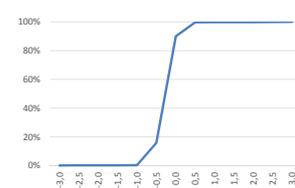
Luftfeuchtigkeit: min.: 37,5; max.: 49,0; i.M.: 43,5



CO2: min.: 400; max.: 882; i.M.: 557



PMV: min.: -0,34; max.: 0,38; i.M.: -0,04



PPD: min.: 5,0; max.: 8,0; i.M.: 5,7

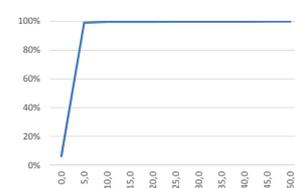


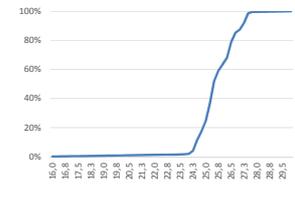
Abbildung 94: Raum S2 KW20 – die kühlsste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

Raum S2: Die KW31 als wärmste Woche im Messzeitraum (siehe Abbildung 95).

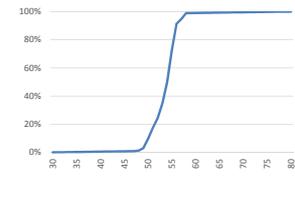
Temperatur: min.: 24,0; max.: 27,8; i.M.: 25,8



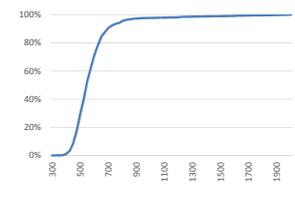
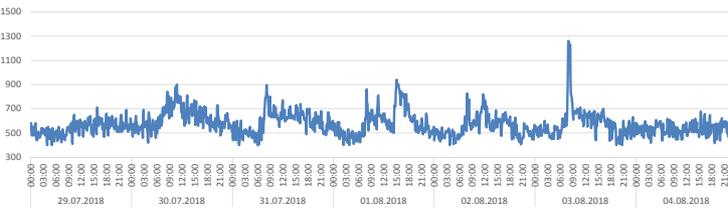
kumulierte Werte



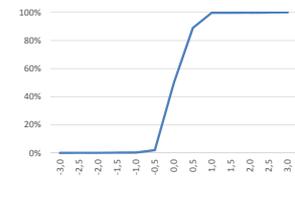
Luftfeuchtigkeit: min.: 48,0; max.: 58,0; i.M.: 53,8



CO2: min.: 400; max.: 1260; i.M.: 571



PMV: min.: -0,23; max.: 0,99; i.M.: 0,36



PPD: min.: 5,0; max.: 25,7; i.M.: 9,5

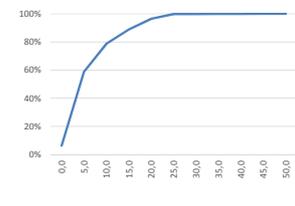


Abbildung 95: Raum S2 KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung

### 3.3.2 Subjektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit

Die subjektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit wurde durch die Auswertung des ersten Teils der Fragebögen ermittelt.

Die Frage nach dem Temperaturempfinden wurde auf einer siebenstufigen Skala von -3 (kalt) bis +3 (heiß) von den Befragten für jeweils die Vorwoche beurteilt. Die für alle Testwochen kumulierten Ergebnisse zeigen, dass die Befragten im Schnitt die Temperatur als „neutral“ (0 in der Grafik) empfunden haben. Werden die einzelnen Zimmer betrachtet, gibt es Abweichungen von „neutral“ zu „eher warm“ in den Räumen N1A und N1B und Abweichungen in den Räumen N1C, N1D, NO1 und SO1 Richtung „eher kühl“. Diese Abweichungen finden sich auch in den Ergebnissen der Dauermessung und in den Einstellungen der Raumthermostate wieder. So hatten die Räume N1A und N1B, zur Erhöhung des persönlichen Wohlempfindens, den Raumthermostat unter den voreingestellten Wert von 22°C geregelt, um zu kühlen. Die Nutzer der übrigen oben genannten Räume stellten den Raumthermostat auf eine höhere Temperatur als die voreingestellten 22°C (siehe Abbildung 96).

Das Befragungsergebnis zeigt, dass das persönliche Temperaturempfinden sehr individuell und unabhängig von der Himmelsrichtung des Büros ist.

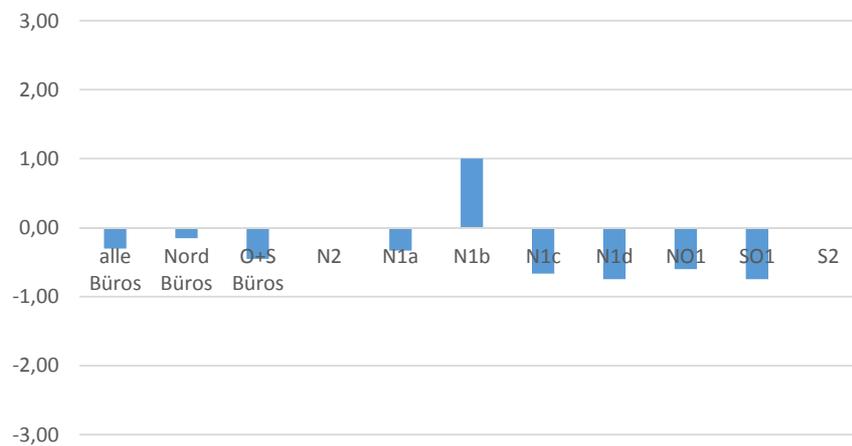


Abbildung 96: Subjektives Empfinden der Raumtemperatur in den Büros durch die Mitarbeiter in der vergangenen Woche

Die Luftfeuchtigkeit wurde auf einer siebenstufigen Skala von -3 (sehr feucht) bis +3 (sehr trocken) für jeweils die Vorwoche beurteilt. Alle Befragten haben kumuliert über alle Testwochen die Luftfeuchtigkeit als „neutral“ (0 in der Grafik) beurteilt. Nur einmal,

in einem Raum, wurde die Luftfeuchtigkeit als „etwas trocken“ empfunden. Diese Ergebnisse lassen auf eine hohe Zufriedenheit mit der Luftfeuchtigkeit schließen, was auch am Zeitraum der Umfrage (außerhalb der Heizperiode) liegt (siehe Abbildung 97).

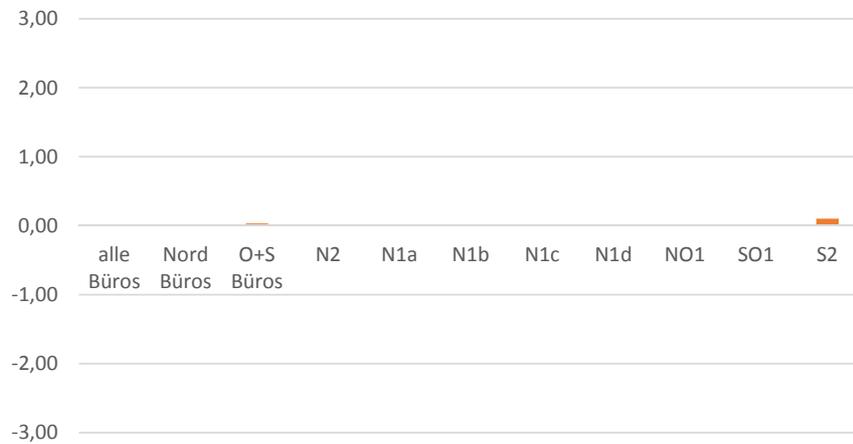


Abbildung 97: Subjektives Empfinden der Luftfeuchtigkeit in den Büros durch die Mitarbeiter

Die Frage nach dem Empfinden des thermischen Raumklimas in der vergangenen Woche gibt eine positive Wahrnehmung wieder. Hier wurde auf einer sechsstufigen Skala von 1 (sehr komfortabel) bis 6 (sehr unkomfortabel) beurteilt. Der Mittelwert liegt bei 3,5. Alle Befragten haben durchgehend positive Bewertungen, die im Bereich von „eher komfortabel“ (3) bis „sehr komfortabel“ (1) liegen (siehe Abbildung 98).

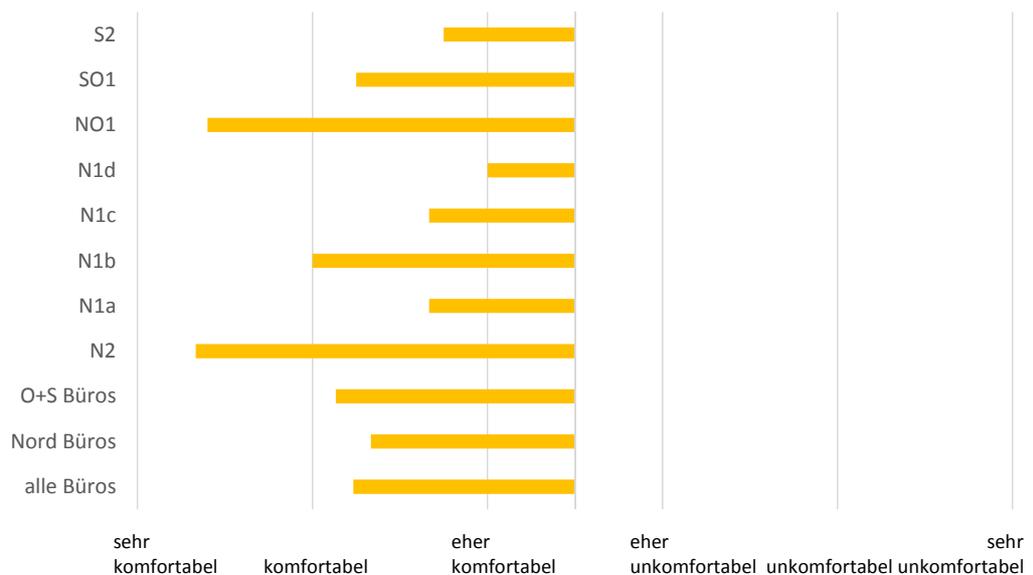


Abbildung 98: Subjektives Empfinden des thermischen Raumklimas in den Büros durch die Mitarbeiter

### 3.3.3 Gegenüberstellung objektiver und subjektiver Beurteilung der thermischen Behaglichkeit

Im Vergleich zwischen berechnetem PMV-Wert und in der Umfrage bewerteter Behaglichkeit kann man Unterschiede zwischen den Nordräumlichkeiten und den Räumen mit sonstiger Orientierung feststellen. So zeigen die Räume mit NO- bis Süd-Ausrichtung ein homogenes Bild zwischen Umfrage und Berechnung. Bei den nach Norden orientierten Räumen sehen wir durchaus Bewertungsunterschiede.

Interessant sind die Punkte mit der Abweichung zu einer positiven Raumtemperaturbewertung (zu warm) und negativen Werten (zu kühl) in der PMV-Berechnung. In den beiden betroffenen Räumen wurden die Raumthermostate bewusst auf Kühlen gestellt, und es war den Nutzern dennoch zu warm (siehe Abbildung 99).

Die Ergebnisse brachten eine tendenzielle Übereinstimmung von berechnetem PMV und bewerteter Raumtemperatur. Die Bewertung durch die Nutzer fiel dabei in ihrer Tendenz stärker aus als die Berechnung (siehe Abbildung 100).

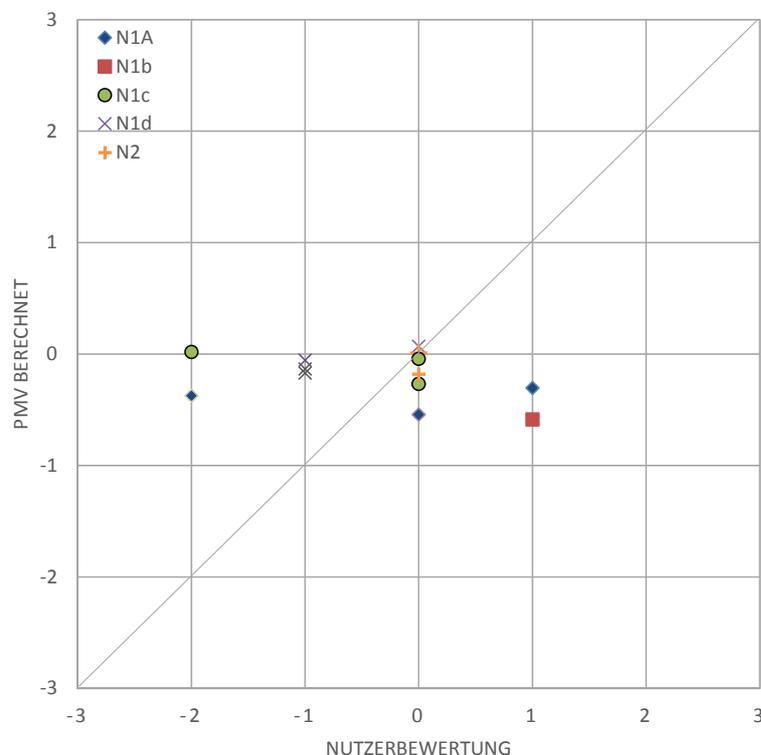


Abbildung 99: Vergleich PMV berechnet und subjektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit durch die Nutzer für die Räume nach Norden



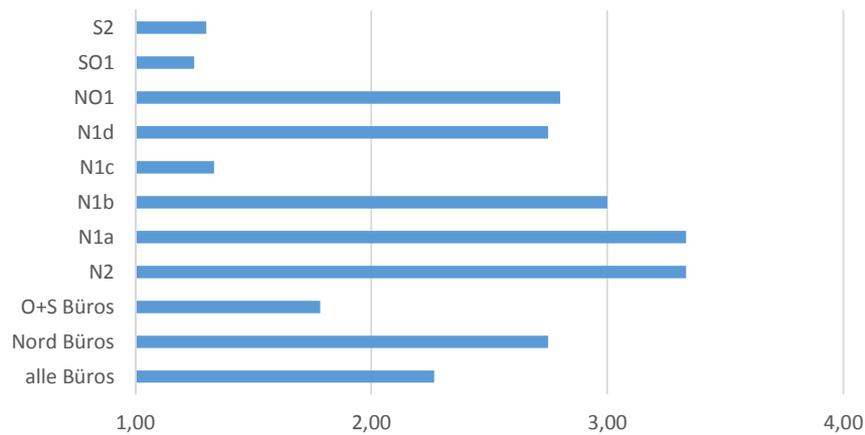


Abbildung 101: Fensteröffnungsverhalten der Nutzer

Wie oft die Türen in der vergangenen Woche offen gehalten wurden, wurde ebenfalls mit einer Skala von 1 (die Türe des Büros wurde in der vergangenen Woche nie offen stehen gelassen) bis 4 (die Türe des Büros wurde in der vergangenen Woche mehrmals täglich offen stehen gelassen) abgefragt. Die Antworten ergaben, dass die Türen meist offen stehen und dass die offenstehenden Türen auch die Frischluftversorgung der Büroräume übernehmen. In der Dauermessung wird das häufige Offenhalten der Türen bestätigt (siehe Abbildung 102).

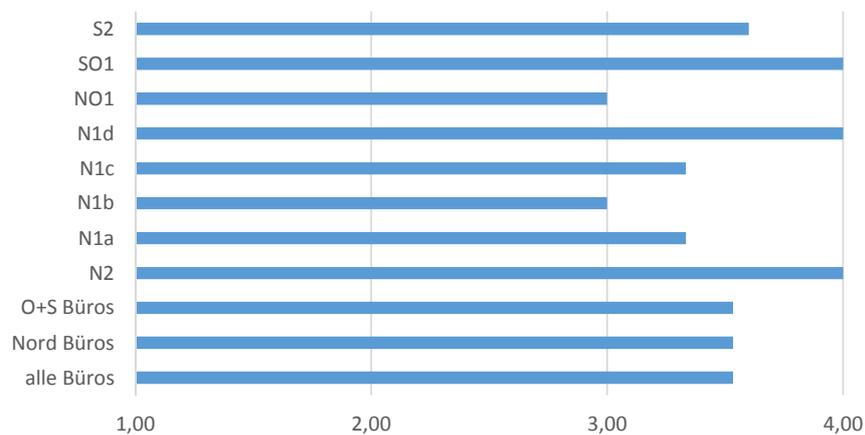


Abbildung 102: Offenhalten der Bürotüren durch die Nutzer

Die Antworten auf die Frage nach der Wichtigkeit der Steuerbarkeit des Sonnenschutzes für die Nutzer ergibt ein nach Himmelsrichtungen differenziertes Bild. Die Möglichkeit, von der automatischen Steuerung abzuweichen und durch persönliches Eingreifen den

Sonnenschutz zu verändern, beurteilen die Nutzer der direkt besonnten Büros auf einer vierstufigen Skala als „sehr wichtig“ (1) bis „wichtig“ (2). In den nur nach Norden ausgerichteten Büros hingegen erhält die Frage differenzierte Antworten von „wichtig“ (2) bis „benötige ich nicht“ (4). Wobei der außenliegende Sonnenschutz auch die Aufgabe des Blendschutzes übernimmt. Interessant ist festzuhalten, dass die untersuchten Räume nicht genau nach Norden ausgerichtet sind und im Sommer am späteren Nachmittag sehr wohl eine direkte Besonnung stattfindet (siehe Abbildung 103).

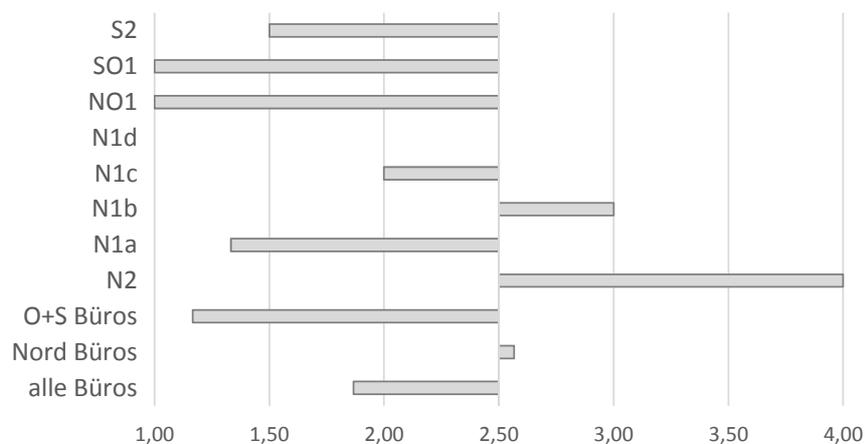


Abbildung 103: Wichtigkeit der Steuerbarkeit des Sonnenschutzes aus Sicht der Nutzer

Die Frage nach der individuellen Übersteuerbarkeit der Glaslamellen in der äußeren Fassade ergibt sehr unterschiedliche Antworten. Die automatisch gesteuerten Glaslamellen, die bei einer gewissen Temperaturdifferenz zwischen äußerer und innerer Fassade geöffnet werden, sollen die Wirksamkeit der Fensterlüftung erhöhen. Die Möglichkeit der Übersteuerung wird von der Mehrheit als wenig wichtig beurteilt. Unterschiede zwischen Himmelsrichtungen oder Hauptwindrichtung können nicht festgestellt werden. Die Frage nach der Wichtigkeit der Steuerbarkeit der Glaslamellen wurde von 1 (sehr wichtig) bis 4 (benötige ich nicht) beantwortet (siehe Abbildung 104).

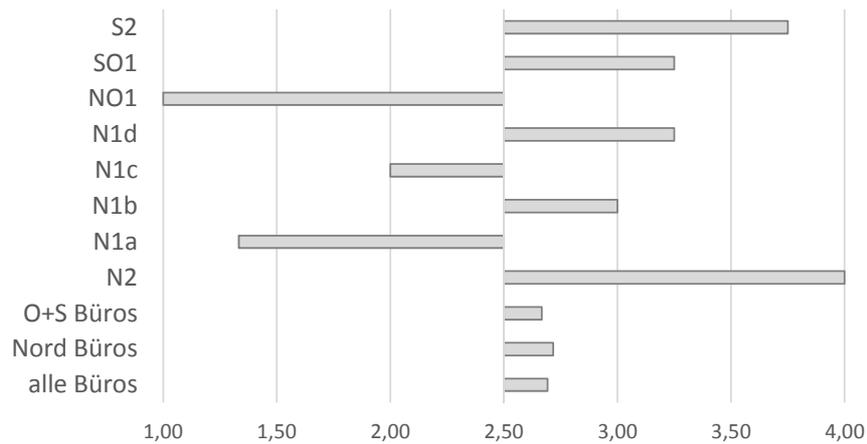


Abbildung 104: Wichtigkeit der Steuerbarkeit der Glaslamellen an der äußeren Fassade aus Sicht der Nutzer

Die Antworten auf die Frage nach der Übersteuerbarkeit der vorgegebenen Raumtemperatur zeigen ein eindeutiges Ergebnis. Die persönliche Änderbarkeit der Raumtemperatur wird fast durchgehend mit „sehr wichtig“ (1) beurteilt. Die Bewertungen „wenig wichtig“ (3) und „benötige ich nicht“ (4) wurden hier kein einziges Mal angekreuzt (siehe Abbildung 105).

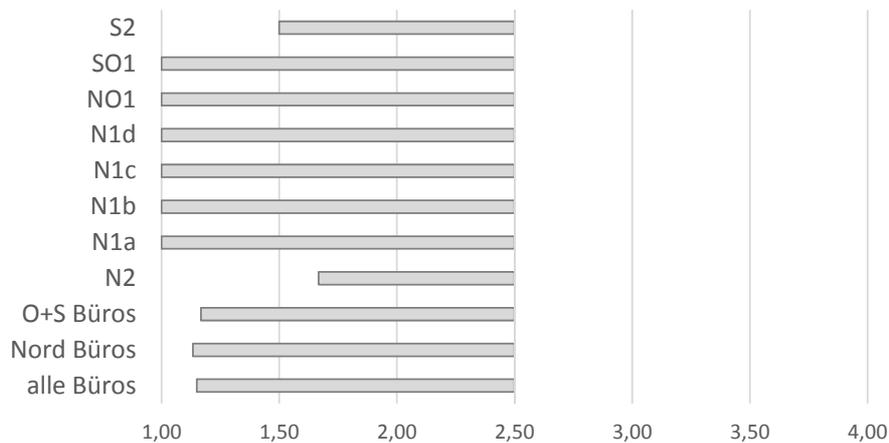


Abbildung 105: Wichtigkeit der Steuerbarkeit der Raumtemperatur aus Sicht der Nutzer

## **Kapitel 4**

### **Ergebnisanalyse**

#### ***4.1 Energieverbrauch***

Die Auswertung der Heizungszählerdaten haben ergeben, dass die Verbrauchskurve „Hauptzählung“ maßgeblich während der Sommermonate von der Energieausweis-Bedarfskurve abweicht. Daraus kann geschlossen werden, dass die dauerhafte Heizenergiebereitstellung über das gesamte Jahr vor allem auch im Sommer einen hohen, nicht vorhergesehenen Zusatzverbrauch erzeugt.

Analog dazu kann eine ähnliche Schlussfolgerung auch für den Kälteverbrauch während der Wintermonate gezogen werden. Auch hier erzeugt die dauerhafte Kältebereitstellung für diese Monate gegenüber dem Kältebedarf des Energieausweises einen erhöhten Energieverbrauch.

Es zeigt sich, dass die Kühlung des Serverraums etwa ein Drittel des gesamten Kältebedarfs des Hauses ausmacht.

Daher lauten die Schlussfolgerungen, dass der Energieverbrauch von den Werten im Energieausweis aus den folgenden Gründen abweicht:

Die Bereitstellung von Kälte und Wärme über das Jahr hinweg, ist in der Berechnung des Energiebedarfs nicht ausreichend berücksichtigt und führt somit zu geringeren Bedarfswerten.

Räume mit Sondernutzung, wie z.B. Serverräume, sollten bei der Berechnung des Energieausweises entsprechend berücksichtigt werden, da sie im Energieverbrauch stark von den normalen Büroräumen abweichen und somit im Energieausweis zu verfälschten Ergebnissen führen, obwohl sie aufgrund ihrer in Relation geringen Fläche als unwesentlich erscheinen.

---

## **4.2 Analyse der Ergebnisse**

### **4.2.1 Luftqualität**

Bei der Erstellung des Konzepts für diese Arbeit wurde davon ausgegangen, dass, wie in der Planung der Haustechnik vorgesehen, die Büroräume über die Fenster gelüftet werden und nur der Besprechungsraum und die Mittelzone über die Lüftungsanlage belüftet werden. Im Verlauf der Messungen zeigte sich jedoch, dass die Büroraumlüftung größtenteils über die offenen Büroraumtüren durchgeführt wird. Da die allgemeinen Zonen wie Besprechungsraum und Mittelzone laut Planung mit  $830\text{m}^3$  Frischluft pro Stunde versorgt werden, ist diese Frischluftmenge auch ausreichend, um die Büroräume indirekt zu belüften. Es halten sich in der untersuchten Abteilung üblicherweise acht bis zehn Personen auf. Damit ergibt sich rechnerisch eine Frischluftmenge von  $83\text{m}^3/\text{h}$  bis  $104\text{m}^3/\text{h}$  pro Person in diesem Gebäudebereich.

Diese Werte sind Planwerte, die wahrscheinlich aufgrund von Abänderungen der Überström- und Absaugöffnungen nicht den realen örtlichen Gegebenheiten entsprechen. Eine Messung der tatsächlichen Zuluft wurde aufgrund der kleinteiligen Verlegung im Boden nicht durchgeführt. Man muss nun davon ausgehen, dass ein Teil des Zuluftstroms über Tür- und Gebäudeundichtheiten in die Büroräume gedrückt wird und dort für den ungeplanten Luftwechsel sorgt.

Unterstützt wird diese nicht geplante Belüftung der Büroräume durch eingebaute Überströmelemente von den Räumen zur Mittelzone, die für die automatische Nachtdurchlüftung vorgesehen sind.

Wie stark die Belüftung der Mittelzone die  $\text{CO}_2$ -Konzentration in den Büroräumen beeinflusst, kann man in den Messkurven gut beobachten. In der Früh, kurz nach sechs Uhr, wenn die Mittelzone bereits komplett durchlüftet ist, sieht man bei Eintritt des Reinigungspersonals in die Büroräume einen plötzlichen Abfall der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in diesen Räumen, obwohl nur die Türen und nicht die Fenster geöffnet wurden.

#### **Nachtlüftung**

Die Funktion der Nachtlüftung konnte im Messzeitraum Mai bis August 2018 aus den gesammelten Daten nicht herausgelesen werden, obwohl die thermischen Voraussetzungen für ein Aktivieren der Nachtlüftung im Messzeitraum mehrfach

gegeben gewesen waren. Die Voraussetzungen zur Aktivierung der Nachtlüftung sind laut Steuerungsprotokoll eine Raumtemperatur höher als 22°C und eine Temperaturdifferenz zur Außenluft von größer 4°C unter der Innenraumtemperatur im Zeitraum von 02.00 Uhr bis 06.00 Uhr.

#### **4.2.2 Objektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit**

PMV und PPD wurden für die kühlsste und wärmste Woche des Messzeitraums berechnet. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass der PMV in den meisten Räumen im optimalen Bereich zwischen -0,5 und 0,5 lag. In den Räumen mit größeren PMV-Werten ( $<-0,5$ ) wurden die Raumtemperaturen von den Nutzern am Raumthermostat gezielt niedriger eingestellt. Im Mittel über alle beobachteten Räume lag der PMV-Wert in der kühlssten Woche bei -0,31, in der wärmsten Woche bei +0,04. Der clo-Wert in der Berechnung war generell mit 0,5 festgelegt, es ist möglich, dass in der kühlssten Woche ein höherer Bekleidungsbeiwert den realen Verhältnissen eventuell besser entsprochen hätte. Eine Änderung des Bekleidungsbeiwerts für die kühlsste Woche in der Berechnung des PMV würde diesen ein wenig nach neutral verschieben.

Der PPD lag in der kühlssten Woche bei 9,13% und in der wärmsten Woche bei 9,15% und damit entsprechend sehr niedrig. Abweichungen gab es vor allem in den Räumen N1B und SO1, diese Räume wurden von den Nutzern manuell bewusst gekühlt und waren beide während der wärmsten Woche (KW31) nicht belegt.

In der detaillierten Betrachtung – besonders in der KW31, der wärmsten Woche des Messzeitraums – fiel auf, dass sich die Räume am Wochenende aufheizten und am Wochenbeginn abgekühlt werden mussten. Dabei erreichten die Räume am Wochenende ihre höchsten Temperaturen und erzielten die höchsten PMV-Werte. Im Tagesverlauf erreichten dann die Raumtemperaturen ihre von den Nutzern eingestellte Solltemperatur und wanderten mit dem PMV-Wert in Richtung kühl. Sehr klar ließ sich dieses Regelverhalten der Raumkühlung in den beiden – in dieser Messwoche nicht benutzen – Räumen N1B und SO1 ablesen. In den Räumen, in denen in dieser Woche Personen anwesend waren, wurde die Solltemperatur frühestens am späten Nachmittag des Montags erreicht. Es ist naheliegend, dass diese Verzögerung einerseits durch die internen Lasten, andererseits durch die offenen Türen zur Mittelzone verursacht wurde.

Der Temperaturverlauf, besonders in der Nacht von Sonntag auf Montag, lässt auch den Schluss zu, dass die Nachtlüftung nicht in Betrieb war.

### **4.2.3 Subjektive thermische Behaglichkeit**

Der erste Teil des Fragebogens, der sich mit dem Raumklima befasst, ergab sowohl im Einzelnen als auch in der Summe eine positive Bewertung der Büroräume zu diesem Thema. So wurde das Empfinden des thermischen Raumklimas durchgehend positiv bewertet. Die Luftfeuchtigkeit wurde generell als „neutral“ beurteilt, wobei dies in dieser Jahreszeit zu erwarten war. Zur Raumtemperatur gab es teilweise sehr unterschiedliche Antworten von „eher warm“ bis „eher kühl“. Wobei die Personen in den kühler temperierten Räumen mit ihrer Antwort zu „eher warm“ tendierten. In Summe brachten die Ergebnisse eine tendenzielle Übereinstimmung mit dem berechneten PMV in den negativen Bereich, also zu „eher kühl“. Die Bewertung durch die Nutzer fiel dabei in ihrer Tendenz stärker aus als die Berechnung.

## **4.3 Nutzung der Steuerungsmöglichkeiten**

Der zweite Teil der Umfrage, befasst sich mit der Nutzung der individuellen Übersteuerungsmöglichkeiten, die das Raumklima betreffen. Einigkeit unter den Nutzern herrschte hier bei der Beurteilung der Temperaturregelung über den Raumthermostat. Diese wurde fast durchgehend mit „sehr wichtig“ beurteilt und, wie die Dauermessung ergeben hat, auch von allen Nutzern eingesetzt.

Weniger einheitlich fiel die Beurteilung der restlichen Fragen aus. In der Frage nach der Übersteuerbarkeit des Sonnenschutzes konnte ein Beurteilungsunterschied je nach Himmelsrichtung der Fenster festgestellt werden. In den Räumen mit Fenstern nach Ost und/oder Süd wurde die Übersteuerbarkeit der Beschattungsautomatik als wesentlich wichtiger eingestuft als in den restlichen Räumen.

Die Übersteuerbarkeit der Glaslamellen in der äußeren Fassade wurde mehrheitlich, unabhängig von der Himmelsrichtung, als wenig wichtig eingestuft. Es geht nicht hervor, ob diese Antwort aus dem Funktionieren der automatischen Steuerung oder im überwiegenden Lüften über die Innentüren begründet ist.

Die Frage nach der Nutzung der manuellen Fensterlüftung wurde sehr unterschiedlich beantwortet, wobei hier kein Trend nach Himmelsrichtung zu erkennen ist. Es dürften

eher die persönlichen Vorlieben für die Nutzung der Fensterlüftung ausschlaggebend sein. Im Unterschied dazu herrscht bei der Frage nach dem Offenhalten der Bürotüren Einigkeit: diese werden untertags offengehalten. Ob das Offenhalten der Bürotüren bewusst geschieht oder ein Nebeneffekt der geöffneten Türen hin zur Mittel- und Kommunikationszone ist, geht aus den Daten nicht hervor.

## Kapitel 5

### Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen für die vorliegende Arbeit brachten interessante Ergebnisse. Diese zeigen auf, dass die im Planungsprozess entwickelten haustechnischen Maßnahmen ab der Inbetriebnahme regelmäßig überprüft und nachjustiert werden sollten. Denn die Auswertung der Zählerdaten für Fernwärme sowie Strom zur Kühlung zeigte eine erhebliche Abweichung des tatsächlichen Energieverbrauchs zum errechneten Bedarf des Energieausweises. Im Detail wichen die Wärmeverbrauchswerte stärker als die Kälteverbrauchswerte von denen des Energieausweises ab. Als ein wesentlicher Grund für die Abweichungen ist die fehlende Zonierung der unterschiedlichen Raumnutzungen (z.B. Serverraum hat nur Kühlbedarf) in der Energiebedarfsberechnung zu nennen.

Hinsichtlich der Nutzung der Fensterlüftung zeigte sich im realen Betrieb bei diesem Projekt, dass die Nutzer durch die großzügig dimensionierte Lüftungsanlage zur Versorgung der Besprechungs- und Kommunikationszonen (Mittelzone) auf das Lüften über die Fenster nicht mehr angewiesen sind und daher auch wenig Gebrauch davon machen. Vielmehr wurde hauptsächlich durch offene, zur Mittelzone gerichtete Türen eine Versorgung mit Frischluft gewährleistet. Die Fensterlüftung spielte somit nur mehr eine untergeordnete Rolle im täglichen Betrieb. Dennoch zeigen die erfassten Daten, dass die Bereitschaft zur Fensterlüftung mit steigender Außentemperatur abnimmt.

Die Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Büroräumen ergab im Mittel eine durchwegs „hohe Raumluftqualität“ (IDA1 bei der Annahme von 400ppm Außenluft). Lediglich einzelne CO<sub>2</sub>-Spitzenwerte wurden erfasst, wenn sowohl die Türen zur Mittelzone als auch die Fenster geschlossen waren. In diesem Punkt bedarf es einer Aufklärung der Nutzer, um die daraus resultierende schlechtere Raumluftqualität zu verhindern.

Das Raumklima wurde von den Nutzern aus thermischer Sicht als „eher behaglich“ bis „sehr behaglich“ beurteilt. Die Raumtemperatur wurde unterschiedlich, von „eher zu

warm“ bis mehrheitlich „eher zu kühl“, bewertet. Auch die Berechnung des PMV-Werts ergab ein gutes, etwas zu kühles Raumklima. Die größten Unterschreitungen eines neutralen PMV-Werts waren durch die Einstellung des Raumthermostats bewusst von den Nutzern herbeigeführt.

## Kapitel 6

### Literatur und Abbildungen

#### 6.1 Literatur

2010/31/EU: Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ; Amtsblatt der Europäischen Union L153/13

Arbeitsinspektion 2017, [www.arbeitsinspektion.gv.at](http://www.arbeitsinspektion.gv.at), „Raumklima in Arbeitsräumen“ [zugegriffen September 2018]

ASR A3.6 2018: Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.6 Lüftung 2012 – geändert 2018 verfügbar: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/ASR-A3-6.html> [zugegriffen September 2018]

ASTV 1998: Arbeitsstättenverordnung 1998, zuletzt geändert 2017 <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10009098> ; [zugegriffen September 2018]

Bundesgesundheitsblatt 2018: Bekanntmachung des Umweltbundesamtes; Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2018 · 51:1358–1369; DOI 10.1007/s00103-008-0707-2; Springer Medizin Verlag 2008

Gossauer Elke: 2008, Nutzerzufriedenheit in Büroräumen – Eine Feldstudie; Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag

Grenzwerteverordnung 2011, GKV 2011: 2011, Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz für Arbeitsstoffe sowie über krebserzeugende und über fortpflanzungsgefährdende (reproduktionstoxische) Arbeitsstoffe

Herkl, Burhenne: November 2010; NuMoSim – Nutzermodelle für die thermische Simulation; Freiburg, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE verfügbar: <http://fachdokumente.lubw.baden->

wuerttemberg.de/servlet/is/99343/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=203&OBJECT=99343&MODE=METADATA, [zugegriffen Juni 2018]

OIB-Richtlinie 6: Oktober 2011, Energieeinsparung und Wärmeschutz; Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-330.6-094/11

OIB-RL 6 Leitfaden: Oktober 2011 – Revision Dezember 2011, Energietechnisches Verhalten von Gebäuden; Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-330.6-111/11-010

OIB-Richtlinie 6: Oktober 2015, Energieeinsparung und Wärmeschutz; Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-330.6-09/15

OIB-RL 6 Erläuternde Bemerkungen: Oktober 2015, Erläuternde Bemerkungen OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz; Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-330.6-10/15

OIB-RL 6 Leitfaden: Oktober 2015 – Revision Dezember 2011, Energietechnisches Verhalten von Gebäuden; Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-330.6-011/15

ÖNORM EN 13779: 01-01-2008, Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme

ÖNORM EN 15251: 01-09-2007, Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik

ÖNORM EN 16798-3: 15-12-2017, Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden Teil3: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme

ÖNORM EN ISO 7730: 01-05-2008, Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (Ident mit EN ISO 7730-2005)

Richter 2003: W. Richter, J. Seifert, R. Gritzki, M. Rösler; 2003 ;Bestimmung des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung aus energetischer und bauphysikalischer Sicht; Fraunhofer IRB Verlag

Schlagnitweit und Wagner: 2017, Installations- und Gebäudetechnik, Heizungs- und Lüftungstechnik; Wien, Jugend & Volk GmbH

## **6.2 Tabellen**

<i>Tabelle 1: Energieumsatz von Personen nach Tätigkeit (EN 7730, 2006).....</i>	<i>7</i>
<i>Tabelle 2: Thermische Isolationswerte für Bekleidung (EN 7730, 2006) .....</i>	<i>8</i>
<i>Tabelle 3: Klassifizierung der Raumluft (EN13779 Tab A.10, 2008).....</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 4: CO<sub>2</sub>-Gehalt der Innenraumluft (EN13779 Tab A.11, 2008) .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabelle 5: Verwendete Sensoren für die Langzeitmessung .....</i>	<i>20</i>

## 6.3 Abbildungen

Abbildung 1: Schwarzkugelthermometer im Einsatz an einem Arbeitsplatz	<b>Fehler!</b> <b>Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 2: Zusammenhang von Luft- und Oberflächentemperatur (Schlagnitweit / Wagner 2017, S3).....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 3: Behaglichkeitsfeld für normal gekleidete Menschen bei leichter Tätigkeit (Schlagnitweit / Wagner 2017, S5) .....	6
Abbildung 4: PPD als Funktion des PMV (EN 7730,2006).....	8
Abbildung 5: Zeitleiste über den Messzeitraum der Tagesmitteltemperatur und den täglichen Minima und Maxima .....	12
Abbildung 6: Lageplan des Bürogebäudes.....	13
Abbildung 7: Doppelfassade von außen und innen mit den drehbaren Glaslamellen vor den Drehflügelfenstern.....	14
Abbildung 8: Grundriss des Messbereichs mit den 8 Büros.....	17
Abbildung 9: Messbereich „Büros Nord“ mit den Positionen der Sensoren .....	18
Abbildung 10: Messbereich „Büros besonnt“ mit den Büroräumen nach Norden + Osten, Süden + Osten sowie Süden mit den eingetragenen Sensorpositionen .....	18
Abbildung 11: Aufstellung des Messgeräts zur Messung der operativen Raumtemperatur und der Luftgeschwindigkeit in den Räumen N2, N1B und N1C .....	21
Abbildung 12 Jahresenergieverbrauch 2016 und 2017 im Vergleich mit dem Endenergiebedarf (EEB) des Energieausweises (EA) in kWh/a .....	24
Abbildung 13: Heizwärmebedarf und -verbrauch im Vergleich von Energieausweis (EA) und dem tatsächlichen Verbrauch 2016 und 2017 pro Monat	25
Abbildung 14: Heizwärmeverbrauch des gesamten Gebäudes pro m <sup>2</sup> und auf die Büroflächen reduzierter Heizwärmeverbrauch pro m <sup>2</sup> im Vergleich zum Bedarf laut Energieausweis (EA) .....	26
Abbildung 15: Monatlicher Vergleich des Heizenergieverbrauchs des gesamten Gebäudes und der Bürofläche pro m <sup>2</sup> für 2016 gegenüber dem HWB des EA.....	27
Abbildung 16: Monatlicher Vergleich des Heizenergieverbrauchs des gesamten Gebäudes und der Bürofläche pro m <sup>2</sup> für 2017 gegenüber dem HWB im EA.....	27
Abbildung 17: Kältebedarf und -verbrauch im Vergleich von Energieausweis (EA) und tatsächlichem Bedarf 2016 und 2017 .....	28
Abbildung 18: Kühlbedarf /- verbrauch für das gesamte Gebäude pro m <sup>2</sup> und mit auf die Büronutzung reduzierter Fläche im Vergleich Energieausweis zu den Jahren 2016, 2017 .....	29
Abbildung 19: Monatlicher Vergleich des Kühlverbrauchs des gesamten Gebäudes und der Bürofläche pro m <sup>2</sup> für 2016 gegenüber dem KB des EA	30

Abbildung 20: Monatlicher Vergleich des Kühlverbrauchs des gesamten Gebäudes und der Bürofläche pro m <sup>2</sup> für 2017 gegenüber dem KB des EA30	
Abbildung 21: Verteilung des Kühlverbrauchs der Bürogeschoße 2016 für die Konvektoren laut Sensoren, für die Lüftung laut Montageplanung	31
Abbildung 22: Verteilung des Kühlverbrauchs der Bürogeschoße 2017 für die Konvektoren laut Sensoren, für die Lüftung laut Montageplanung	32
Abbildung 23: Kälteverteilung durch Konvektoren und Lüftung und die nichtzuordenbare Kälteverbrauchsdiﬀerenz zum Gesamtverbrauch in Prozent	33
Abbildung 24: Monatlich flächenbezogener Kühlverbrauch inkl. Lüftung für 2016 im Vergleich zum Energieausweis in kWh/m <sup>2</sup>	34
Abbildung 25: Monatlich flächenbezogener Kühlverbrauch inkl. Lüftung für 2017 im Vergleich zum Energieausweis in kWh/m <sup>2</sup>	34
Abbildung 26: kumulierte CO <sub>2</sub> -Konzentrationen in den Räumen über den Messzeitraum in ppm	36
Abbildung 27: kumulierte CO <sub>2</sub> -Konzentrationen in den Räumen während der Anwesenheit im Raum	37
Abbildung 28: Raum N2, CO <sub>2</sub> -Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe in ppm	38
Abbildung 29: Raum N2, mittlerer Tagesverlauf der CO <sub>2</sub> -Konzentration über den Messzeitraum in ppm	38
Abbildung 30: Raum N2, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag im Messzeitraum in ppm	39
Abbildung 31: Raum N2, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag	39
Abbildung 32: Raum N2, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit	40
Abbildung 33: Raum N2, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster	40
Abbildung 34: Raum N1A, CO <sub>2</sub> -Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe	41
Abbildung 35: Raum N1A, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum	41
Abbildung 36: Raum N1A, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag	42
Abbildung 37: Raum N1A, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag	42
Abbildung 38: Raum N1A, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum	43
Abbildung 39: Raum N1A, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster	43

Abbildung 40: Raum N1B, CO <sub>2</sub> -Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe.....	44
Abbildung 41: Raum N1B, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum .....	44
Abbildung 42: Raum N1B, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag .....	45
Abbildung 43: Raum N1B, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag .....	45
Abbildung 44: Raum N1B, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum .....	46
Abbildung 45: Raum N1B, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster .....	46
Abbildung 46: Raum N1C, CO <sub>2</sub> -Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe.....	47
Abbildung 47: Raum N1C, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum .....	47
Abbildung 48: Raum N1C, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag .....	48
Abbildung 49: Raum N1C, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag .....	48
Abbildung 50: Raum N1C, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum .....	49
Abbildung 51: Raum N1C, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster .....	49
Abbildung 52: Raum N1D, CO <sub>2</sub> -Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe.....	50
Abbildung 53: Raum N1D, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum .....	50
Abbildung 54: Raum N1D, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag .....	51
Abbildung 55: Raum N1D, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag .....	51
Abbildung 56: Raum N1D, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum .....	52
Abbildung 57: Raum N1D, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster .....	52
Abbildung 58: Raum NO1, CO <sub>2</sub> -Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe.....	53
Abbildung 59: Raum NO1, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum .....	53

Abbildung 60: Raum NO1, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag .....	54
Abbildung 61: Raum NO1, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag .....	54
Abbildung 62: Raum NO1, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum .....	55
Abbildung 63: NO1 Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster .....	55
Abbildung 64: Raum SO1, CO <sub>2</sub> -Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe.....	56
Abbildung 65: Raum SO1, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum .....	56
Abbildung 66: Raum SO1, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag .....	57
Abbildung 67: Raum SO1, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag .....	57
Abbildung 68: Raum SO1, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum .....	58
Abbildung 69: Raum SO1, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster .....	58
Abbildung 70: Raum S2, CO <sub>2</sub> -Gehalt der Raumluft im Vergleich über den Messzeitraum, bei Anwesenheit, bei geöffnetem Fenster und bei geöffneter Türe .....	59
Abbildung 71: Raum S2, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf über den Messzeitraum .....	59
Abbildung 72: Raum S2, CO <sub>2</sub> -Konzentration im Tagesverlauf von Montag bis Freitag .....	60
Abbildung 73: Raum S2, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ im Messzeitraum von Montag bis Freitag .....	60
Abbildung 74: Raum S2, Häufigkeitsverteilung der Tür- und Fensterstellung „offen“ bei Anwesenheit im Raum .....	61
Abbildung 75: Raum S2, Außentemperatur bei Anwesenheit im Raum und bei geöffnetem Fenster .....	61
Abbildung 76: Raumtemperatur über den Messzeitraum als kumulierte Prozentwerte .....	63
Abbildung 77: relative Luftfeuchtigkeit über den Messzeitraum als kumulierte Prozentwerte .....	64
Abbildung 78: Außentemperaturverlauf in der kühlgsten Woche KW 20 .....	67
Abbildung 79: Außentemperaturverlauf in der wärmsten Woche KW 31 .....	67
Abbildung 80: Raum N2 KW20 – die kühlgste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung .....	68

- Abbildung 81: Raum N2 KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 69
- Abbildung 82: Raum N1A KW20 – die kühlfte Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 70
- Abbildung 83: Raum N1A KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 71
- Abbildung 84: Raum N1B KW20 – die kühlfte Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 72
- Abbildung 85: Raum N1B KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 73
- Abbildung 86: Raum N1C KW20 – die kühlfte Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung, das CO<sub>2</sub>-Messgerät ist in dieser Woche ausgefallen..... 74
- Abbildung 87: Raum N1C KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 75
- Abbildung 88: Raum N1D KW20 – die kühlfte Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 76
- Abbildung 89: Raum N1D KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 77
- Abbildung 90: Raum NO1 KW20 – die kühlfte Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 78
- Abbildung 91: Raum NO1 KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 79
- Abbildung 92: Raum SO1 KW20 – die kühlfte Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung ..... 80

---

<i>Abbildung 93: Raum SO1 KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung .....</i>	<i>81</i>
<i>Abbildung 94: Raum S2 KW20 – die kühlfte Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung .....</i>	<i>82</i>
<i>Abbildung 95: Raum S2 KW31– die wärmste Woche im Messzeitraum. Die Darstellung der Messwerte erfolgt von Sonntag bis Samstag, links als Trendverlauf und rechts als Darstellung der kumulierten Verteilung .....</i>	<i>83</i>
<i>Abbildung 96: Subjektives Empfinden der Raumtemperatur in den Büros durch die Mitarbeiter in der vergangenen Woche.....</i>	<i>84</i>
<i>Abbildung 97: Subjektives Empfinden der Luftfeuchtigkeit in den Büros durch die Mitarbeiter .....</i>	<i>85</i>
<i>Abbildung 98: Subjektives Empfinden des thermischen Raumklimas in den Büros durch die Mitarbeiter .....</i>	<i>85</i>
<i>Abbildung 99: Vergleich PMV berechnet und subjektive Beurteilung der thermischen Behaglichkeit durch die Nutzer für die Räume nach Norden</i>	<i>86</i>
<i>Abbildung 100: Vergleich PMV berechnet und subjektiver Beurteilung der thermischen Behaglichkeit durch die Nutzer für die Räume nach NO, SO und Süd .....</i>	<i>87</i>
<i>Abbildung 101: Fensteröffnungsverhalten der Nutzer .....</i>	<i>88</i>
<i>Abbildung 102: Offenhalten der Bürotüren durch die Nutzer.....</i>	<i>88</i>
<i>Abbildung 103: Wichtigkeit der Steuerbarkeit des Sonnenschutzes aus Sicht der Nutzer .....</i>	<i>89</i>
<i>Abbildung 104: Wichtigkeit der Steuerbarkeit der Glaslamellen an der äußeren Fassade aus Sicht der Nutzer.....</i>	<i>90</i>
<i>Abbildung 105: Wichtigkeit der Steuerbarkeit der Raumtemperatur aus Sicht der Nutzer .....</i>	<i>90</i>

---

# Anhänge

## Umfrage:

### Fragebogen zum Raumklima - Ihr persönliches Empfinden

Büronummer: \_\_\_\_\_ Datum und Uhrzeit: \_\_\_\_\_

**In der vergangenen Woche war mein Büro vorwiegend...**

- Kalt
- Kühl
- Eher kühl
- Neutral
- Eher warm
- Warm
- Heiß

**In der vergangenen Woche war die Luft in meinem Büro vorwiegend...**

- Sehr trocken
- Trocken
- Etwas trocken
- Neutral
- Etwas feucht
- Feucht
- Sehr feucht

**Ich finde mein Büro ist im Augenblick...**

- Kalt
- Kühl
- Eher kühl
- Neutral
- Eher warm
- Warm
- Heiß

**Ich finde die Luft in meinem Büro im Augenblick...**

- Sehr trocken
- Trocken
- Etwas trocken
- Neutral
- Etwas feucht
- Feucht
- Sehr feucht

**Das thermische Raumklima war in der vergangenen Woche vorwiegend...**

- Sehr komfortabel
- komfortabel
- eher komfortabel
- eher unkomfortabel
- unkomfortabel
- sehr unkomfortabel

**(Wenn Sie eventuell negativ gewählt haben, bitte nennen Sie die Ursache?)**

Bitte auch die Rückseite ausfüllen.

---

**Haben Sie die Fenster Ihres Büros vergangene Woche aufgemacht?**

- Nie       Einmal       Täglich einmal       Mehrmals täglich

**Haben Sie die Türe Ihres Büros vergangene Woche offen stehen gelassen?**

- Nie       Einmal       Sporadisch       Dauerhaft bei Anwesenheit

**Haben Sie den Sonnenschutz Ihres Büros vergangene Woche verändert?**

- Nie       Einmal       Täglich einmal       Mehrmals täglich

**Wenn Sie den Sonnenschutz verändert haben, überwiegend zu welchem Zweck?**

- sonst wird es zu heiß       Blendung durch Sonne  
 anderer Grund, bitte beschreiben:

**Wie wichtig ist Ihnen die individuelle Steuerbarkeit des Sonnenschutzes?**

- sehr wichtig     wichtig       wenig wichtig       benötige ich nicht

**Haben Sie die Glaslamellen der äußeren Fassade Ihres Büros vergangene Woche verändert?**

- Nie       Einmal       Täglich einmal       Mehrmals täglich

**Wenn Sie die Glaslamellen verändert haben, überwiegend zu welchem Zweck?**

- sonst wird es zu heiß       es hat gezogen  
 anderer Grund, bitte beschreiben:

**Wie wichtig ist Ihnen die individuelle Steuerbarkeit der Glaslamellen?**

- sehr wichtig     wichtig       wenig wichtig       benötige ich nicht

**Haben Sie die Grundeinstellung der Raumtemperatur Ihres Büros vergangene Woche verändert?**

- Nie       Einmal       Täglich einmal       Mehrmals täglich

**Wenn Sie die Raumtemperatur verändert haben, was war die Ursache?**

- es war zu warm       es war zu kühl  
 anderer Grund, bitte beschreiben:

**Wie wichtig ist Ihnen die individuelle Steuerbarkeit der Raumtemperatur?**

- sehr wichtig     wichtig       wenig wichtig       benötige ich nicht

**Besonderheiten der vergangenen Woche, Anmerkungen:**

**Danke für Ihre Mühe!**