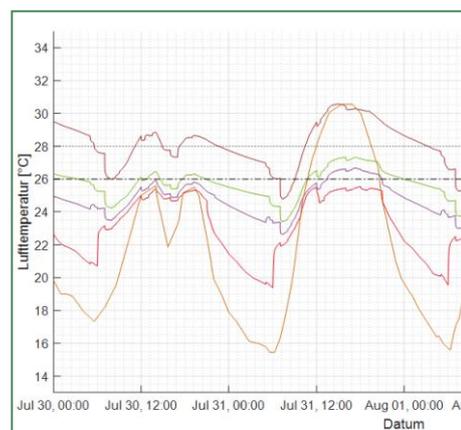
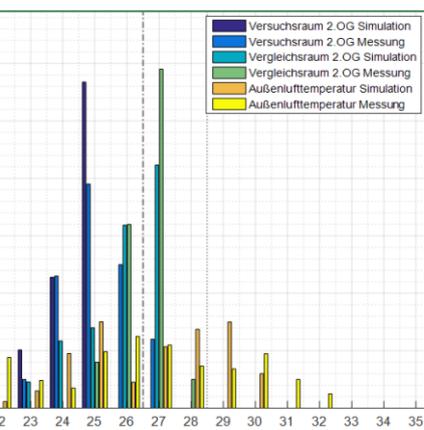


MASTERARBEIT



BEURTEILUNG VON PASSIVEN KÜHLMASSNAHMEN ZUR VERMEIDUNG SOMMERLICHER ÜBERWÄRMUNG EINES BESTANDSGEBÄUDES

Sapper David

Vorgelegt am
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Betreuer
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Monsberger

Mitbetreuender Assistent
Dipl.-Ing. BSc Ing. Rainer Partl

Graz am 08. September 2019

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am
.....
(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,
date
(signature)

Anmerkung

In der vorliegenden Masterarbeit wird auf eine Aufzählung beider Geschlechter oder die Verbindung beider Geschlechter in einem Wort zugunsten einer leichteren Lesbarkeit des Textes verzichtet. Es soll an dieser Stelle jedoch ausdrücklich festgehalten werden, dass allgemeine Personenbezeichnungen für beide Geschlechter gleichermaßen zu verstehen sind.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Michael Monsberger und Herrn Dipl.-Ing. Rainer Partl für die hervorragende Unterstützung.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützte.

(Ort), am (Datum)

(Unterschrift des Studierenden)

Kurzfassung

Der fortschreitende Klimawandel und die dadurch erhöhten Außenlufttemperaturen in den Sommermonaten, werden die zukünftige Situation der sommerlichen Überwärmung verschlechtern. Heiße Innenraumlufttemperaturen in Bestandsgebäuden führen zu Unbehaglichkeit der in den Büroräumen arbeitenden Personen. Aus Energieeffizienzgründen wurde ein Versuch, im Gebäude Inffeldgasse 16b am Campus der TU Graz, mittels mechanisch unterstützter Nachtlüftung und Verschattung der Fensterflächen durchgeführt. Der Versuch wurde während der Sommermonate des Jahres 2018 realisiert. Das Jahr bildet einen Extremwert ab, da es als bisher heißestes Jahr in der Messgeschichte gilt.

Im ersten Teil dieser Arbeit wurde mittels Raumlufttemperaturmessungen in den Räumlichkeiten des Gebäudes die umgesetzten Verschattungsmaßnahmen evaluiert und ein Konzept für die passive Kühlung erstellt. Der umgesetzte Versuch wurde mit zehn Ventilatoren zur mechanischen Unterstützung der Nachtlüftung in zwei unterschiedlichen Betriebsweisen durchgeführt. Des Weiteren wurden zwei Hitzeperioden und eine gemäßigte Periode des Messzeitraums ausgewertet. Die Kühlung mithilfe der zehn Ventilatoren ergab für die Hitzeperioden einen deutlichen Kühleffekt, der gesetzte Raumlufttemperaturgrenzwert mit 28°C konnte dennoch nicht eingehalten werden.

Der zweite Teil der Arbeit befasst sich mit einer dynamischen Simulation des Versuches mit durchschnittlichen Wetterdaten. Die Simulation dient der Bewertung der einzelnen Maßnahmen, welche im Rahmen des Versuches umgesetzt wurden. Die Effektivität der Verschattungsmaßnahmen wurde erwiesen. Die mechanisch Unterstützte Nachtlüftung wurde in beiden Betriebsweisen untersucht. Je nach Betriebsweise unterscheidet sich die Wirkung auf die Räumlichkeiten des Gebäudes. Ein Kühleffekt auf Räumlichkeiten des Gebäudes ist in beiden Betriebsweisen der Lüftung nachweisbar.

Zusätzlich wurde eine Plausibilitätsüberprüfung der Simulation durchgeführt. Dafür wurde zwei unterschiedliche Zeitperioden der Messung und Simulation mit ähnlichen Außenlufttemperaturen gegenübergestellt und der qualitative Temperaturverlauf der Raumlufttemperaturen verglichen.

Abstract

The progressive climate change and the resulting increase in outdoor air temperatures during summer months will worsen the situation of summer overheating in the future. Hot indoor air temperatures in existing buildings lead to discomfort of persons working in the offices. For reasons concerning energy efficiency, an experiment was conducted in the building Inffeldgasse 16b on the campus of TU Graz, by means of mechanically assisted night ventilation and shading of the glassed surfaces. The experiment was conducted during the summer months of 2018. With the highest recorded temperatures in history, the year 2018 represents an extreme value.

In the first part of this work, the implemented shading measures were evaluated by measurements of indoor temperatures within the premises of the building, and a concept for the passive cooling was created. The experiment was carried out with ten ventilators for mechanical support of night ventilation in two different modes of operation. In addition, two hot periods as well as a more moderate period of the measured time period were evaluated. Cooling using the ten fans resulted in a significant cooling effect for the heat periods, but the set room air temperature limit of 28°C could still not be met.

The second part of the thesis deals with a dynamic simulation of the experiment with average weather data. The simulation is used to evaluate the measures that were implemented during the experiment. The effectiveness of the shading measures was proven. Mechanically assisted night ventilation was investigated in both modes. Depending on the mode of operation, the effect differed on the premises of the building. A cooling effect on premises of the building was detectable in both modes of operation.

In addition, a plausibility check of the simulation was carried out. For this purpose, two different time periods of measurement and simulation with similar outside air temperatures were compared using the qualitative temperature profiles of the room air temperature.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Entwicklung des Klimas	1
1.2	Thema und Ziel dieser Arbeit	3
1.2.1	Passives Kühlkonzept	3
1.2.2	Umsetzung und Evaluierung der Maßnahmen	4
1.2.3	Thermische Gebäudesimulation der Kühlmaßnahmen	5
2	Stand der Technik	6
2.1	OIB Richtlinie 6 und Leitfaden zu RL 6	6
2.2	ÖNORM B 8110-3	7
2.2.1	ÖNORM B 8110-3:2012	7
2.2.2	ENTWURF ÖNORM 8110-3:2018-09	8
2.3	ÖNORM B 8110-6-1	8
2.4	Maßnahmen gegen sommerliche Überhitzung	8
2.4.1	Sommerlicher Wärmeschutz	9
2.4.2	Kühlung	10
2.4.2.1	Passivsysteme	10
2.4.2.2	Aktive Systeme	11
3	Ausgangssituation der Gebäude Inffeldgasse 16-16c	13
3.1	Bestehende Maßnahmen gegen sommerliche Überhitzung	13
3.1.1	Simulation des Gebäudes während der Planungsphase	13
3.1.2	Lüftungsklappen	15
3.2	Ergebnisse der vorhergegangenen Arbeit	16
3.2.1	Umfrage	16
3.2.2	Ergebnis der Raumlufttemperaturmessung	18
3.3	Behaglichkeit	18
3.3.1	Parameter zur Bestimmung der Behaglichkeit nach ÖNORM EN ISO 7730	19
3.3.2	Verwendete Grenzwerte zur Bewertung der Behaglichkeit	20
3.4	Klima der Messung im Jahr 2018	21
3.5	Vorschlag der Maßnahmen	23
3.5.1	Reduzierung der solaren Einträge	23
3.5.2	Freie Außenluftkühlung	26
4	Messkonzept	31
4.1	Messgeräte	31
4.1.1	Datenlogger	31
4.1.2	Daten der Firma EAM	32
4.1.3	Außenlufttemperatur Stremayrgasse	32
4.1.4	Flügelradanemometer	32
4.1.5	Laserthermometer	34
4.2	Messaufbau	34
4.2.1	Raumlufttemperatur Innenraum	34
4.2.2	Lufttemperatur außen	36
4.2.3	Oberflächentemperatur	36
4.2.4	Volumenstrom	36
5	Messergebnisse	39
5.1	Lufttemperaturen	39
5.1.1	Wahl der betrachteten Perioden	40

5.1.2	Normalperiode, 16.07.2018 bis 20.07.2018	43
5.1.3	Hitzeperiode Saugbetrieb, 30.07.2018 bis 03.08.2018	45
5.1.4	Hitzeperiode Druckbetrieb, 06.08.2018 bis 10.08.2018	47
5.1.5	Vergleich der Geschosse	48
5.1.6	Vergleich der Ausrichtung	49
5.1.7	Vergleich zwischen den Gebäuden 16 und 16b.....	49
5.2	Oberflächentemperatur.....	52
5.3	Volumenstrommessung.....	53
6	Randbedingungen der Simulation	54
6.1	Modellbildung	54
6.1.1	Geometrie	54
6.1.1.1	Gebäudemodell.....	55
6.1.1.2	Zonenmodell	55
6.1.1.3	Nebengebäude.....	56
6.1.2	Ressourcen.....	56
6.1.2.1	Bauteilaufbauten	57
6.1.2.2	Fenster.....	57
6.1.2.3	Lüftungsklappen und Ventilator	59
6.1.2.4	Lüftungsanlagen der Hörsäle	60
6.1.2.5	Türen	60
6.1.2.6	Interne Lasten und Massen	61
6.1.2.7	Verschattung.....	62
6.1.3	Klimadaten	62
6.2	Varianten der Simulation.....	63
6.2.1	Ohne Maßnahmen (Mutter Modell).....	64
6.2.2	Verschattungsmaßnahmen (Tochter von: ohne Maßnahmen) ...	64
6.2.3	Saugbetrieb (Tochter von: Verschattungsmaßnahmen).....	64
6.2.4	Druckbetrieb (Tochter von: Saugbetrieb).....	64
7	Simulationsergebnisse	65
7.1	Wahl der betrachteten Perioden zum Vergleich	66
7.2	Plausibilisierung des Modells.....	67
7.3	Vergleich der Varianten und Beurteilung der Maßnahmen	69
7.3.1	Variante ohne Maßnahmen	71
7.3.2	Variante Verschattungsmaßnahmen	74
7.3.3	Variante Saugbetrieb.....	77
7.3.4	Variante Druckbetrieb.....	80
7.3.5	Zusammenfassung und Interpretation der Simulationsergebnisse	83
8	Schlussfolgerung	86
A	Anhang zur Lufttemperaturmessung	89
A.1	Durchschnittslufttemperaturen der Messung.....	89
A.2	Lufttemperaturstunden Tag und Nacht.....	90
A.1.1	Lufttemperaturstunden zu Punkt 5.1.2.....	90
A.1.2	Lufttemperaturstunden zu Punkt 5.1.3.....	91
A.1.3	Lufttemperaturstunden zu Punkt 5.1.4.....	91
A.3	Wahl der verwendeten Außenlufttemperaturdaten	92
B	Anhang zur Simulation	93
B.1	Zeitsteuerung der Fenster.....	93
B.2	Zeitsteuerung der Lüftungsanlagen.....	93

B.3	Zeitsteuerung der internen Lasten	94
B.4	Vergleich der Klimadaten.....	95
B.5	Bauteilaufbauten der Simulation	96
B.6	Screenshots aus IDA ICE	102
B.6.1	Variante ohne Maßnahmen	102
B.6.2	Variante Verschattungsmaßnahmen	104
B.6.3	Variante Saugbetrieb.....	106
B.6.4	Variante Druckbetrieb.....	108
B.7	Durchschnittslufttemperaturen der Simulation.....	110
Glossar		112
Literaturverzeichnis		113

Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1	Jahresmittelwert der Lufttemperatur und Abweichung vom Referenzzeitraum 1961 bis 1990.....	1
Bild 1.2	Entwicklung der Anzahl der Hitzetage (Außenlufttemperatur > 30°C) in Österreich.....	2
Bild 1.3	Korrelation zwischen Leistungsfähigkeit und Raumlufthtemperatur.....	3
Bild 1.4	Übersicht der Gebäudegruppe Inffeldgasse 16/16a/16b/16c (Google Maps, eingenordet)	5
Bild 3.1	Auszug aus dem Simulationsbericht von 1997, maximale Raumtemperaturen bei verschiedenen Varianten im signifikanten Raum.....	15
Bild 3.2	Lüftungsklappe im Türsturz der Innentüren.....	16
Bild 3.3	Bewertung des Klimas im Sommer/Winter durch Nutzer	17
Bild 3.4	Benotung der Gebäude in Schulnoten durch die Nutzer	17
Bild 3.5	Raumlufthtemperaturmessung Sommer 2017	18
Bild 3.6	Thermische Empfindungsskala, PMV und PPD	19
Bild 3.7	In Anlehnung an ÖNORM EN ISO 7730, Anhang A, Bild A.1 optimale operative Temperatur als Funktion der Bekleidung und Aktivität, mit Markierung	21
Bild 3.8	Abweichung des Mittelwertes der Lufttemperatur des Jahres 2018 zum Bezugszeitraum 1981 bis 2010, betrachtet wird der Sommer	22
Bild 3.9	Fassade des Gebäudes Inffeldgasse 16b mit außenliegender Beschattung	24
Bild 3.10	Beschattung der Verglasung an der Süd-West Seite des Gebäudes....	24
Bild 3.11	Skizze der geplanten PV-Anlage über dem Testgebäude.....	25
Bild 3.12	Provisorische Verdunkelung der Lichtkuppeln am Dach des Gebäudes Inffeldgasse 16b	26
Bild 3.13	Ventilator statt Lüftungsklappe über Tür verbaut	27
Bild 3.14	Schematische Darstellung des Saugbetriebes.....	28
Bild 3.15	Schematische Darstellung des Druckbetriebes.....	30
Bild 4.1	Foto: Verwendeter Datenlogger UNI-T UT330A	31
Bild 4.2	Foto des verwendeten Flügelradanemometers.....	33
Bild 4.3	Beispielhafte Darstellung der Raumlufthtemperaturmessung	34
Bild 4.4	Grundriss Inffeldgasse 16b OG1, Standorte der Datenlogger.....	36
Bild 4.5	Grundriss Inffeldgasse 16b OG2, Standorte der Datenlogger.....	36
Bild 4.6	Messschema Volumstrommessung	37
Bild 4.7	Auszug aus dem Skriptum Firma Siemens zur Volumstrommessung.37	
Bild 4.8	Foto des Aufbaus der Volumstrommessung im Saugbetrieb	38
Bild 4.9	Foto des Aufbaus der Volumstrommessung im Druckbetrieb	38
Bild 5.1	Lufttemperaturverlauf über die Gesamtetappe.....	39
Bild 5.2	Tagesmittellufttemperatur über die Gesamtetappe	40
Bild 5.3	Lufttemperaturstunden über die Gesamtetappe.....	40

Bild 5.4 Standort der beiden betrachteten Räume im zweiten Obergeschoss (rote Umrandung)	41
Bild 5.5 Lufttemperaturverlauf über die Gesamtetappe.....	41
Bild 5.6 Tagesmittellufttemperatur über die Gesamtetappe	42
Bild 5.7 Darstellung der gewählten Perioden aus der Messung auf einem Zeitstrahl	42
Bild 5.8 Lufttemperaturverlauf während der Normalperiode.....	43
Bild 5.9 Markante Punkte des Lufttemperaturverlaufes im Saugbetrieb	44
Bild 5.10 Arbeitstag-Lufttemperaturstunden in Normalperiode	45
Bild 5.11 Lufttemperaturverlauf in der Hitzeperiode mit Saugbetrieb	46
Bild 5.12 Arbeitstag-Lufttemperaturstunden in Hitzeperiode im Saugbetrieb	46
Bild 5.13 Lufttemperaturverlauf in Hitzeperiode im Druckbetrieb	47
Bild 5.14 Arbeitstag-Lufttemperaturstunden in Hitzeperiode im Druckbetrieb	47
Bild 5.15 Lufttemperaturstunden, Vergleich der Geschosse	48
Bild 5.16 Lufttemperaturstunden, Vergleich der Ausrichtung, Tag und Nacht während der Gesamtperiode	49
Bild 5.17 Lageplan der beiden Gebäude aus Google Maps (eingenordet)	50
Bild 5.18 Tagesmittellufttemperaturen Vergleich Gebäude 16 und 16b	50
Bild 5.19 Lufttemperaturstunden Vergleich Gebäude 16 und 16b	51
Bild 6.1 Gebäudemodell der Simulation, 3D Körper des gesamten Gebäudevolumens des Gebäudes Inffeldgasse 16b	55
Bild 6.2 Zonenmodell mit Fenster und Türen	56
Bild 6.3 IDA ICE Modell in 3D Darstellung mit Wänden der Nachbargebäude	56
Bild 6.4 Screenshot der Eingabe der Glaseigenschaften des Isolierglases in IDA ICE	57
Bild 6.5 Screenshot der Eingabe der Glaseigenschaften des 2-WSW Argon Glases in IDA ICE.....	58
Bild 6.6 Kontrollschema der Fenster	58
Bild 6.7 Schedule der Bürofenster bei manuellem Stoßlüften	59
Bild 6.8 Schedule der Bürofenster bei manuellem Stoßlüften mit mechanisch unterstützter Nachtlüftung	59
Bild 6.9 Betriebsschema der AHU bei Betrieb als Ventilator im Druckbetrieb links und im Saugbetrieb rechts.....	60
Bild 6.10 Schedule der Eingangstüren und Stiegenhaus Türen.....	61
Bild 6.11 Schedule der Innentüren	61
Bild 6.12 Tagesmittel der Außenlufttemperatur der Klimadatensätze und der gemessenen Außenlufttemperatur über die Gesamtetappe	63
Bild 6.13 Lufttemperaturstunden der Außenlufttemperatur-Klimadatensätze und der gemessenen Außenlufttemperatur über die Gesamtetappe Tag und Nacht	63
Bild 7.1 Legende der Lufttemperaturverläufe in der Auswertung der Simulation	65
Bild 7.2 Temperaturverlauf der Außenlufttemperatur der Simulation über die Gesamtetappe, die Normalperiode wurde blau und die Hitzeperiode gelb markiert.....	66

Bild 7.3 Tagesmitteltemperaturverlauf aller Varianten der Simulation, über die Gesamtetappe, die Normalperiode blau und der Hitzeperiode gelb	66
Bild 7.4 Lufttemperaturverlauf im Vergleich zwischen Hitzeperiode im Saugbetrieb der Simulation und Normalperiode im Saugbetrieb der Messung ..68	
Bild 7.5 Temperaturdifferenz zwischen Vergleichsraum und Versuchsraum im Vergleich der Messung und der Simulation	68
Bild 7.6 Darstellung der verwendeten Temperaturskala, von 24°C (blau), über 26°C (grün) bis 28°C (rot).....	69
Bild 7.7 Farbliche Darstellung der Raumlufthtemperatur, Grundriss des 2.OG der Variante Saugbetrieb, Versuchsräume mit V und Schächte mit S markiert	70
Bild 7.8 Farbliche Darstellung der Raumlufthtemperatur, Grundriss des 1.OG der Variante Saugbetrieb, Versuchsräume mit V und Schächte mit S markiert	70
Bild 7.9 3D Ansicht der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur.....	71
Bild 7.10 Grundriss 2. Obergeschoss der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur.....	71
Bild 7.11 Schnitt in der Südostseite der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur.....	72
Bild 7.12 Tageslufttemperaturstunden der Variante ohne Maßnahmen während der Hitzeperiode	73
Bild 7.13 Tageslufttemperaturstunden der Variante ohne Maßnahmen während der Normalperiode	73
Bild 7.14 3D Ansicht der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur.....	74
Bild 7.15 Grundriss 2. Obergeschoss der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur	74
Bild 7.16 Schnitt in der Südostseite der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur	75
Bild 7.17 Lufttemperaturverlauf der Variante Verschattungsmaßnahmen im Vergleich zur Variante ohne Maßnahmen während der Hitzeperiode	75
Bild 7.18 Tageslufttemperaturstunden der Variante Verschattungsmaßnahmen während der Hitzeperiode	76
Bild 7.19 Tageslufttemperaturstunden der Variante Verschattungsmaßnahmen während der Normalperiode	76
Bild 7.20 3D Ansicht der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur.....	77
Bild 7.21 Grundriss 2. Obergeschoss der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur.....	77
Bild 7.22 Schnitt in der Südostseite der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur.....	78
Bild 7.23 Lufttemperaturverlauf der Variante Saugbetrieb im Vergleich zur Variante Verschattungsmaßnahmen während der Hitzeperiode.....	78
Bild 7.24 Tageslufttemperaturstunden der Variante Saugbetrieb während der Hitzeperiode	79
Bild 7.25 Tageslufttemperaturstunden der Variante Saugbetrieb während der Normalperiode	79

Bild 7.26 3D Ansicht der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur.....	80
Bild 7.27 Grundriss 2. Obergeschoss der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur.....	81
Bild 7.28 Schnitt in der Südostseite der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur.....	81
Bild 7.29 Lufttemperaturverlauf der Variante Druckbetrieb im Vergleich zur Variante Verschattungsmaßnahmen während der Hitzeperiode.....	82
Bild 7.30 Tageslufttemperaturstunden der Variante Druckbetrieb während der Hitzeperiode	82
Bild 7.31 Tageslufttemperaturstunden der Variante Druckbetrieb während der Normalperiode.....	83
Bild 7.32 Vergleich aller simulierten Varianten zueinander während der Hitzeperiode	84
Bild 7.33 Vergleich aller simulierten Varianten zueinander während der Normalperiode.....	85
Bild A.1 Lufttemperaturstunden Tag und Nacht, Normalperiode.....	90
Bild A.2 Lufttemperaturstunden Tag und Nacht, Hitzeperiode Saugbetrieb	91
Bild A.3 Lufttemperaturstunden Tag und Nacht, Hitzeperiode Druckbetrieb	91
Bild A.4 Vergleich Außenlufttemperaturen, Hitzeperiode Druckbetrieb	92
Bild A.5 Lufttemperaturstunden zu dem in Bild A.4 dargestellten Sachverhalt	92
Bild B.1 Schedule der Stiegenhausfenster, diese werden gekippt.....	93
Bild B.2 Öffnung der Lüftungsklappen in der bestehenden Bauweise	93
Bild B.3 Schedule der Lüftungsklappen und des Ventilators in den Versuchsräumen, bei den Varianten Saugbetrieb und Druckbetrieb	94
Bild B.4 Schedule der Lüftungsanlage der Hörsäle.....	94
Bild B.5 Schedule der Anwesenheit der Angestellten	94
Bild B.6 Schedule des Betriebes der Gebäudeausstattung	95
Bild B.7 Schedule der Beleuchtung.....	95
Bild B.8 Außenlufttemperatur der Klimadatensätze und der gemessenen Außenlufttemperatur über die Gesamtetappe	95
Bild B.9 Grundriss 1. Obergeschoss der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur.....	102
Bild B.10 Grundriss Erdgeschoss der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur.....	102
Bild B.11 Grundriss Kellergeschoss der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur.....	103
Bild B.12 Nordwestseite der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur.....	103
Bild B.13 Schnitt in der Nordwestseite der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur.....	103
Bild B.14 Südostseite der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur.....	104
Bild B.15 Grundriss 2. Obergeschoss der Variante ohne Maßnahmen mit angepasster farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur, die Temperaturskala reicht von 27°C bis 32°C.....	104

Bild B.16 Grundriss 1. Obergeschoss der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur 104

Bild B.17 Grundriss Erdgeschoss der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur 105

Bild B.18 Grundriss Kellergeschoss der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur 105

Bild B.19 Nordwestseite der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 105

Bild B.20 Schnitt in der Nordwestseite der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur 106

Bild B.21 Südostseite der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 106

Bild B.22 Grundriss 1. Obergeschoss der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 106

Bild B.23 Grundriss Erdgeschoss der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 107

Bild B.24 Grundriss Kellergeschoss der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 107

Bild B.25 Nordwestseite der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 107

Bild B.26 Schnitt in der Nordwestseite der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 108

Bild B.27 Südostseite der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 108

Bild B.28 Grundriss 1. Obergeschoss der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 108

Bild B.29 Grundriss Erdgeschoss der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 109

Bild B.30 Grundriss Kellergeschoss der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 109

Bild B.31 Nordwestseite der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 109

Bild B.32 Schnitt in der Nordwestseite der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 110

Bild B.33 Südostseite der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur..... 110

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1 Technische Daten der Lufttemperatur-Datenlogger	31
Tabelle 4.2 Technische Daten der Messstation der Stremayrgasse	32
Tabelle 4.3 Technische Daten des Flügelradanemometers	33
Tabelle 4.4 Zuordnung der Datenlogger zu den Räumlichkeiten im Testgebäude	35
Tabelle 5.1 Messung der Oberflächentemperatur.....	52
Tabelle 5.2 Ergebnisse der Volumenstrommessung und Werte des Herstellers .53	
Tabelle 5.3 Luftwechselzahlen der näher betrachteten Versuchsräume berechnet mit dem gemessenen Volumenstrom	53
Tabelle 7.1 durchschnittliche Außenlufttemperatur der Messung und Simulation in verschiedenen Perioden	67
Tabelle 7.2 Durchschnittslufttemperaturen der simulierten Varianten während der Hitzeperiode	83
Tabelle 7.3 Durchschnittslufttemperaturen der simulierten Varianten während der Normalperiode	84
Tabelle A.1 Durchschnittslufttemperaturen der Messung über die Gesamtetappe	89
Tabelle A.2 Durchschnittslufttemperaturen der Messung während der Hitzeperiode und Normalperiode im Saugbetrieb	89
Tabelle A.3 Durchschnittslufttemperaturen der Messung während der Hitzeperiode im Druckbetrieb	90
Tabelle B.1 Bauteilaufbauten der Simulation: Außenwand längsseitig	96
Tabelle B.2 Bauteilaufbauten der Simulation: Außenwand stirnseitig	96
Tabelle B.3 Bauteilaufbauten der Simulation: Brüstung	96
Tabelle B.4 Bauteilaufbauten der Simulation: Fußboden Büro	97
Tabelle B.5 Bauteilaufbauten der Simulation: Fußboden Büro über offenem Bereich	97
Tabelle B.6 Bauteilaufbauten der Simulation: Fußboden erdberührt	98
Tabelle B.7 Bauteilaufbauten der Simulation: Fußboden Gänge OG.....	98
Tabelle B.8 Bauteilaufbauten der Simulation: Fußboden Halle	99
Tabelle B.9 Bauteilaufbauten der Simulation: Innentüre	99
Tabelle B.10 Bauteilaufbauten der Simulation: Umkehrdach	99
Tabelle B.11 Bauteilaufbauten der Simulation: Leichtdach (Mittelgang)	100
Tabelle B.12 Bauteilaufbauten der Simulation: Terrassendecke	100
Tabelle B.13 Bauteilaufbauten der Simulation: Trennwand leicht.....	101
Tabelle B.14 Bauteilaufbauten der Simulation: Trennwand Stahlbeton	101
Tabelle B.15 Bauteilaufbauten der Simulation: Terrassendecke	101
Tabelle B.16 Durchschnittslufttemperaturen der Simulation während der betrachteten Zeitperioden in der Variante ohne Maßnahmen	110
Tabelle B.17 Durchschnittslufttemperaturen der Simulation während der betrachteten Zeitperioden in der Variante Verschattungsmaßnahmen	111

Tabelle B.18	Durchschnittslufttemperaturen der Simulation während der betrachteten Zeitperioden in der Variante Saugbetrieb	111
Tabelle B.19	Durchschnittslufttemperaturen der Simulation während der betrachteten Zeitperioden in der Variante Druckbetrieb	111
Tabelle B.20	Durchschnittslufttemperaturen der Klimadatensätze der Simulation während der betrachteten Zeitperioden.....	111

Abkürzungsverzeichnis

AHU	Air Handling Unit
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
PMV	predicted mean votum
PPD	predicted percentage of dissatisfied
PV	Photovoltaik
RLT	Raumluftechnik
RWA	Rauch- und Wärmeabzugsanlage
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

1 Einleitung

1.1 Entwicklung des Klimas

Die Problematik des sommerlichen Wärmeschutzes tritt aufgrund der fortschreitenden Klimaerwärmung immer weiter in den Fokus der bauphysikalischen Betrachtung von Gebäuden. Fast jährlich werden neue Hitzerekorde aufgestellt, wie auch im Jahr 2018, in welchem im Rahmen dieser Arbeit Lufttemperaturmessungen durchgeführt wurden. 2018 zeichnet sich als das heißeste Jahr seit Messbeginn ab. Bild 1.1 zeigt einen deutlichen Trend zu wärmeren Lufttemperaturen.¹

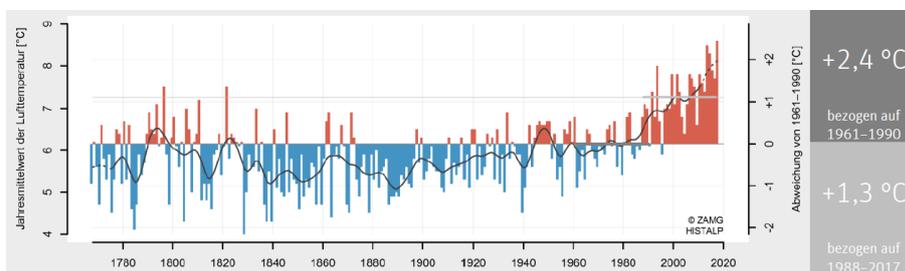


Bild 1.1 Jahresmittelwert der Lufttemperatur und Abweichung vom Referenzzeitraum 1961 bis 1990²

„Vor allem Bürotätigkeiten könnten vorwiegend nur mehr in Räumen möglich sein, die durch Klimaanlage gekühlt werden. Eine maximale Raumtemperatur ist im Arbeitsrecht derzeit noch nicht verankert. Die sogenannte Arbeitsstättenrichtlinie sieht eine maximale Raumtemperatur von 26°C vor. Ein Wert, den man künftig in den Sommermonaten ohne zusätzliche Kühlung wahrscheinlich nur noch schwer unterschreiten kann.“³

Kühlung durch Lüften mit kühler nächtlicher Außenluft ist im Sinne der Energieeffizienz ideal, sofern ein ausreichender Kühleffekt erreicht wird. Bisherige Untersuchungen haben ergeben, dass die Maßnahmen Beschattung und Lüftung einen wesentlichen Einfluss auf das Innenklima ausüben.⁴

Die Prognosen der zukünftigen Entwicklung des sommerlichen Klimas, wie in Bild 1.2 dargestellt, stellen eine deutliche Zunahme der Hitzetage in Österreich dar. Daher werden in Zukunft Maßnahmen gegen hohe Raumlufttemperaturen deutlich wichtiger werden als bisher. Eine Prognose für Wien beziffert die Zunahme der Kühlgradtage mit 117% (Grobschätzung),

¹ Vgl. HIEBL, J. et al. (2019): Österreichisches Klimabulletin Jahr 2018. s.p.

² a.a.O. s.p.

³ STEININGER, K. et al. (2015): Die Folgeschäden des Klimawandels in Österreich Dimensionen unserer Zukunft in zehn Bildern für Österreich. S. 29

⁴ Vgl. SIMADER, G. et al. (2015): Risiko-optimierte Gebäudeentwicklung im Holzbau aufgrund des Klimawandels. S. 22

dem entgegen steht eine Abnahme der Heizgradtage von 20%. Dazu wurde die Referenzperiode 1981 bis 1990 mit der Prognoseperiode 2041 bis 2050 verglichen.⁵ Die Problematik bildet sich dadurch ab, dass bestehende Gebäude hauptsächlich auf die Heizperiode ausgelegt wurden und in zukünftigen Klimaszenarien nicht ohne Umbauten, beziehungsweise Nachrüstungen von entsprechender Kühlungsinfrastruktur, Behaglichkeit im Innenraum garantieren können.⁶

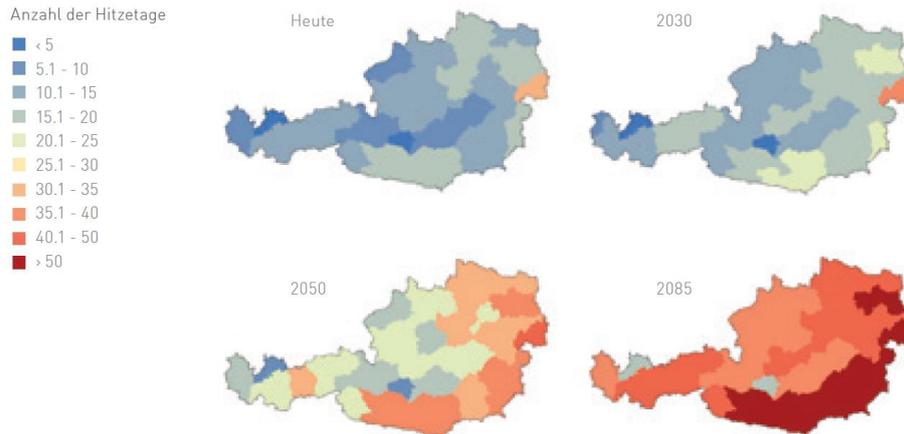


Bild 1.2 Entwicklung der Anzahl der Hitzetage (Außenlufttemperatur > 30°C) in Österreich⁷

Zu hohe Lufttemperaturen beeinflussen nicht nur die Behaglichkeit, auch die Leistungsfähigkeit des Menschen ist stark von komfortabler Raumlufttemperatur abhängig. Wie in Bild 1.3 dargestellt, ist die beste Leistungsfähigkeit bei Raumlufttemperaturen von 23°C vorhanden und sinkt sowohl bei Lufttemperaturen, welche diesen Wert übersteigen, als auch bei solchen, welche den Wert unterschreiten.⁸

⁵ Vgl. KROMP-KOLB, H. et al. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf Wien unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien. S. 37f

⁶ Vgl. a.a.O. S. 33

⁷ Vgl. STEININGER, K. et al. (2015): Die Folgeschäden des Klimawandels in Österreich Dimensionen unserer Zukunft in zehn Bilder für Österreich. Wien: Klima- und Energiefonds. S. 10

⁸ Vgl. ZIMMERMANN, M. (1999): Handbuch der passiven Kühlung. S. 5

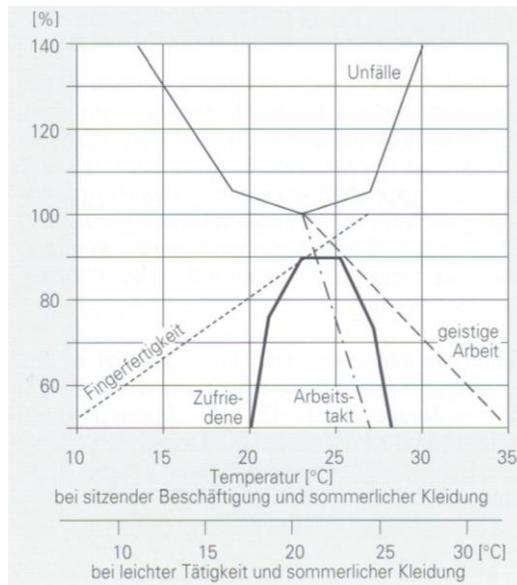


Bild 1.3 Korrelation zwischen Leistungsfähigkeit und Raumlufttemperatur⁹

Eine Kosten-Nutzen-Analyse eines Bürogebäudes ohne Klimatisierung im Vergleich zu einem Bürogebäude mit einer Nachtkühlung durch einen Ventilator zeigt, dass aufgrund der Leistungssteigerung der im Gebäude arbeitenden Personen während einer Heißwetterperiode mit hohen Außenlufttemperaturen ein Gewinn von 7,15 €/Tag durch die Kühlung zu erzielen ist. Hierbei wurden die Mehrkosten aufgrund des Ventilators bereits berücksichtigt.¹⁰

1.2 Thema und Ziel dieser Arbeit

Die vorliegende Arbeit zur Beurteilung passiver Kühlmaßnahmen gegen die sommerliche Überwärmung im Gebäude Inffeldgasse 16b gliedert sich in drei Teile. Diese umfassen die Entwicklung und Beschreibung eines passiven Kühlkonzeptes, die praktische Umsetzung und messtechnische Untersuchung der Kühlmaßnahmen sowie deren Evaluierung mittels einer thermischen Gebäudesimulation.

1.2.1 Passives Kühlkonzept

Der erste Teil befasst sich mit der Planung des Kühlkonzeptes. Im Fokus des Konzeptes stehen bauliche Maßnahmen (außenliegende Beschattung, siehe 3.5.1) in Kombination mit mechanisch unterstützter Nachtlüftung. Als passive Kühlung werden im Rahmen dieser Masterarbeit alle Passivsysteme bezeichnet. Passivsysteme umfassen rein passive

⁹ ZIMMERMANN, M. (1999): Handbuch der passiven Kühlung. S. 5

¹⁰ Vgl. SEPPÄNEN, O. et al. (2008): Rentabilität von Verbesserungen des Raumklimas. In: FITZNER, K. (Hrsg.): Raumklimattechnik. Band 2: Raumluft- und Raumkühltechnik. S. 742f

Kühlkonzepte und hybride Kühlkonzepte. Rein passive Kühlkonzepte verfügen über keinen Antrieb und sind baulicher Natur zur Verringerung der Energiezufuhr (Verschattung) oder zur Energieabfuhr durch freie Lüftung (Fensterlüftung, Lüftungsklappen). Hybride Systeme verfügen über mechanische Lüftung ohne Kältemaschine.¹¹

Die mechanische Lüftung wird durch zehn dezentral angeordnete Ventilatoren bewerkstelligt. Dabei werden zwei Varianten der mechanischen Lüftung unterschieden. Die erste Variante wird als Saugbetrieb ausgeführt. Hierbei wird die Außenluft dezentral durch den Raum, an dem der Ventilator liegt, angesaugt (siehe 3.5.2.1). Als zweite Variante wird ein Druckbetrieb umgesetzt, bei welchem die Betriebsrichtung der Ventilatoren im Raum umgedreht wird. Im Druckbetrieb gelangt die Zuluft zentral durch die Lüftungsanlagen der Hörsäle, welche sich im Untergeschoss befinden, in das Gebäude und wird mittels der dezentralen Ventilatoren durch die anliegenden Räume verteilt und darauffolgend durch deren Fenster nach außen geleitet (siehe 3.5.2.2).

1.2.2 Umsetzung und Evaluierung der Maßnahmen

Im zweiten Teil wird das Kühlkonzept umgesetzt. Für die aus vier Gebäuden bestehende Gebäudegruppe wird das Gebäude 16b exemplarisch für die Messungen und die Umsetzung der passiven Maßnahmen zur Reduktion der sommerlichen Überhitzung herangezogen (siehe Bild 1.4).

Gemeinsam mit dem technischen Facility Management der TU Graz (Serviceeinrichtung Gebäude und Technik) wurde dieses Gebäude als Referenzobjekt ausgewählt. Die Selektion dieses Gebäudes für die Umsetzung der Maßnahmen, begründet sich auf den Ergebnissen, welche im Zuge einer vorangegangenen Arbeit von Herrn Viktor Brandstätter errungen wurden. Im Rahmen der besagten Arbeit wurden bereits Messungen, sowie eine Umfrage unter den Nutzern des Gebäudes durchgeführt. Dieses Gebäude bietet günstige Rahmenbedingungen für die Umsetzung von passiven Kühlmaßnahmen. Beispielsweise können durch die vorhandene technische Infrastruktur (Lüftungsanlage zur Hörsaallüftung) Versuche zur freien Nachtlüftung mit geringem Aufwand realisiert werden. Außerdem zeichnet sich aufgrund der südseitigen Lage des Gebäudes während der Sommermonate im Gebäudeinneren ein extremes Raumklima ab. Dieser Extremsituation soll durch die Maßnahmen entgegengewirkt werden.

Zur Beurteilung der Effektivität der Maßnahmen im Gebäude wurde die Raumlufttemperatur in verschiedenen Räumlichkeiten des Gebäudes aufgezeichnet.

¹¹ Vgl. ZIMMERMANN, M. (1999): Handbuch der passiven Kühlung. S. 6

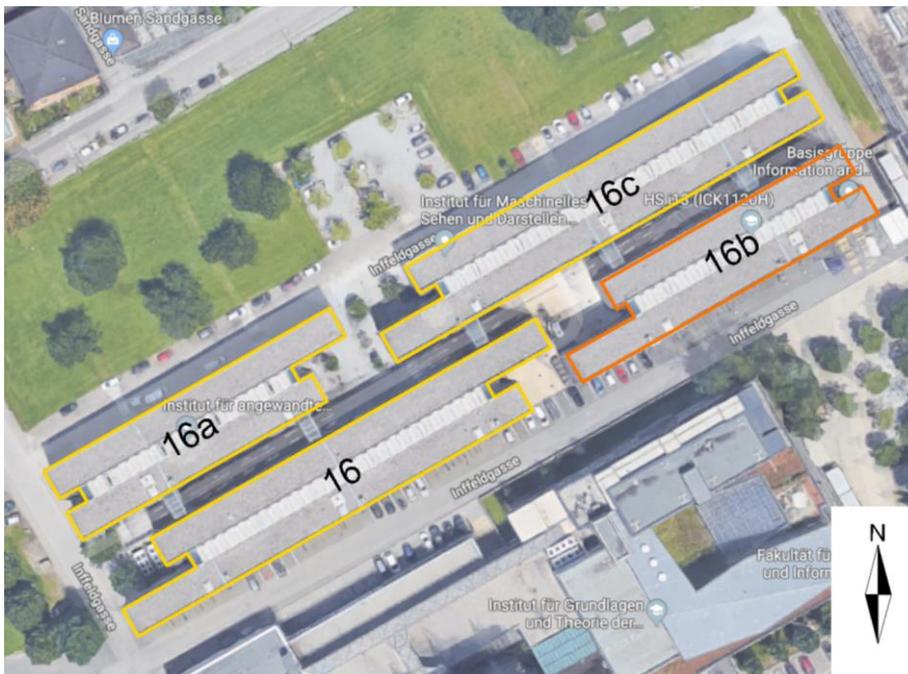


Bild 1.4 Übersicht der Gebäudegruppe Inffeldgasse 16/16a/16b/16c (Google Maps, eingennordet)¹²

1.2.3 Thermische Gebäudesimulation der Kühlmaßnahmen

Im dritten Teil wird eine Simulation des Gebäudes mithilfe der Software IDA ICE der schwedischen Firma EQUA durchgeführt. Dadurch soll der Effekt der einzelnen Maßnahmen genauer untersucht werden. Des Weiteren wird ein Vergleich der Mess- und Simulationsdaten zur Plausibilisierung des simulierten Modells durchgeführt.

¹² <https://www.google.at/maps/@47.0585739,15.4584845,188m/data=!3m1!1e3>. Datum des Zugriffs: 27.07.2019.

2 Stand der Technik

Das Kapitel Stand der Technik setzt sich aus die facheinschlägigen technischen Regelwerke zum Thema sommerlicher Wärmeschutz und möglichen Maßnahmen der Kühlung zusammen. Zum einen wird die verpflichtend einzuhaltende OIB Richtlinie 6 und zum anderen die Normen ÖNORM B 8110-3 und ÖNORM B 8110-6-1 betrachtet.

2.1 OIB Richtlinie 6 und Leitfaden zu RL 6

Die Richtlinie 6 des österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) definiert verpflichtend einzuhaltende Anforderungen an die Energieeffizienz von konditionierten Gebäuden. Die Erfüllung der Anforderungen wird anhand eines Referenzklimas (gemäß ÖNORM B 8110-5¹³) geprüft.¹⁴ In der aktuellen Fassung 2015 ist die zukünftige Entwicklung der Anforderungen ebenfalls in der Richtlinie verankert. So ist für behördlich genutzte Neubauten ab 31.12.2018 und für alle Neubauten ab 31.12.2020 vorgesehen, dass diese als Niedrigstenergiegebäude ausgeführt werden.¹⁵

Zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird für Wohngebäude auf die ÖNORM B 8110-3 und den darin definierten vereinfachten Nachweis über die Speichermasse, verwiesen.¹⁶ Für Nicht-Wohngebäude ist das Einhalten des Grenzwertes des außeninduzierten Kühlbedarfs (KB*) mit 1,0 [kWh/m²a] für Neubauten und mit 2,0 [kWh/m²a] für Renovierungen definiert.¹⁷ Der Leitfaden zur Richtlinie 6 verweist dazu auf die ÖNORM B 8110-6.¹³

Ab der folgenden Fassung 2019 der Richtlinie ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes abgeändert zu führen. Für Wohngebäude ist das vereinfachte Verfahren über die Speichermasse nicht zulässig. Stattdessen muss nachgewiesen werden, dass kein außeninduzierter Kühlbedarf vorliegt, oder dass eine sommerliche Überwärmung vermieden ist. Für Nicht-Wohngebäude kann der Nachweis weiterhin über die Grenzwerte des außeninduzierten Kühlbedarfs, welche bereits in der Richtlinie von 2015 definiert wurden, geführt werden. Ebenso kann für Nicht-Wohngebäude ein Nachweis darüber geführt werden, dass die sommerliche Überwärmung bei den tatsächlichen internen Lasten vermieden ist. Die Berechnung des Kühlbedarfs erfolgt gemäß ÖNORM B 8110-6-1.¹⁸ Der

¹³ Vgl. OIB-LEITFADEN OIB-RL 6 (2015): Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. S. 2

¹⁴ Vgl. OIB-RICHTLINIE 6 (2015): Energieeinsparung und Wärmeschutz. S. 3

¹⁵ Vgl. a.a.O. S. 5

¹⁶ Vgl. a.a.O. S. 7

¹⁷ Vgl. a.a.O. S. 4

¹⁸ Vgl. OIB-LEITFADEN OIB-RL 6 (2019): Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. S. 3

Nachweis, dass die sommerliche Überwärmung vermieden ist, erfolgt über ein sich täglich periodisch wiederholendes, standortspezifisches Außenklima. Dabei wird die operative Innenraumtemperatur bestimmt und einem standortspezifischen Grenzwert gegenübergestellt.¹⁹

2.2 ÖNORM B 8110-3

In der aktuellen Fassung der Norm (ÖNORM B 8110-3:2012), bzw. in der Nachfolgenorm (ENTWURF ÖNORM B 8110-3 Ausgabe 2018-09-01), welche momentan als Entwurf vorliegt, werden die in der OIB Richtlinie beschriebenen Verfahren zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung und das vereinfachte Verfahren beschrieben.

Beide Normen bezeichnen das Ausmaß der strahlungsdurchlässigen Flächen, die speicherwirksame Masse des Raumes, die Raumlüftung (insbesondere die Nachtlüftung) und den Sonnenschutz als wirksame bautechnische Mittel zur Vermeidung von sommerlicher Überwärmung.^{20,21}

2.2.1 ÖNORM B 8110-3:2012

„Diese ÖNORM behandelt die Vermeidung der sommerlichen Überwärmung von Gebäuden. Das Verfahren unterstellt eine Nutzung der Räume im Sommer, bei der die Nutzer wenig Abwärme durch technische Geräte und Beleuchtung erzeugen. Für den Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung ist in der Regel von den als kritisch einzustufenden Einzelräumen auszugehen.“²²

Es sind zwei Varianten der Nachweisführung in der Norm angeführt. Die erste Variante wird durch den Nachweis über operative Temperaturen im Tagesverlauf definiert. Die zweite Variante ist das vereinfachte Nachweisverfahren, welches für Wohngebäude bis Inkrafttreten der OIB 2019 als zulässig gilt.²³

¹⁹ Vgl. OIB-RICHTLINIE 6 (2015): Energieeinsparung und Wärmeschutz. S. 7

²⁰ Vgl. ÖNORM B 8110-3 (2012): Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung. S. 5

²¹ Vgl. ENTWURF ÖNORM B 8110-3 (2018): Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Vermeidung sommerlicher Überwärmung). S. 4

²² ÖNORM B 8110-3 (2012): Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung. S. 7

²³ Vgl. a.a.O. S. 7

2.2.2 ENTWURF ÖNORM 8110-3:2018-09

Der Entwurf der Norm sieht kein vereinfachtes Verfahren vor, sondern ausschließlich ein Simulationsverfahren zur Berechnung der operativen Temperatur und ist für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude anwendbar.²⁴

2.3 ÖNORM B 8110-6-1

Die Norm regelt die Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs. Die zulässigen Berechnungsverfahren sind im folgenden Normauschnitt bezeichnet.

„Der Heizwärmebedarf und der Kühlbedarf eines Gebäudes/Gebäudeteiles dürfen mit den nachfolgend angeführten Verfahren berechnet werden.

a) *Dynamische Verfahren:*

- 1) *Berechnungsverfahren bei ausführlicher Simulation,*
- 2) *vollständig beschriebenes vereinfachtes Stunden-Berechnungsverfahren.*

b) *Quasi-stationäre Verfahren: Monatsbilanzverfahren.*

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Genauigkeit entsprechend der obigen Reihenfolge der Verfahren abnimmt. Für Nachweisverfahren in Österreich stellt das Monatsbilanzverfahren die niedrigste Genauigkeitsstufe dar.“²⁵

Der Kühlbedarf wird als die Wärmemenge definiert, die abgeführt werden muss, um die Solltemperatur von 26°C während der Betriebszeiten nicht zu überschreiten.²⁶

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde eine Berechnung mittels einer ausführlichen Simulation im dynamischen Verfahren durchgeführt. Dazu wurden typische Klimadaten herangezogen.

2.4 Maßnahmen gegen sommerliche Überhitzung

Die wirksamsten Maßnahmen gegen sommerliche Überhitzung sind der bauliche sommerliche Wärmeschutz und die Raumluftechnik (RLT) mit aktiven Kühlmaßnahmen und passiven Kühlmaßnahmen.

²⁴ Vgl. ENTWURF ÖNORM B 8110-3 (2018): Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Vermeidung sommerlicher Überwärmung). S. 7

²⁵ ÖNORM B 8110-6-1 (2019): Grundlagen und Nachweisverfahren Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. S. 48

²⁶ Vgl. a.a.O. S. 48f

2.4.1 Sommerlicher Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz ist in den zuvor beschriebenen Normen verankert und wird durch bauliche Maßnahmen und einer damit einhergehenden Planung des Gebäudes bewerkstelligt.

„Es ist leicht einzusehen, dass eine Gebäudekühlung nur dann sinnvoll ist, wenn die baulichen Anforderungen bezüglich sommerlichem Wärmeschutz erfüllt werden.“²⁷

Eine Verschattung der Fensterflächen dient der Reduktion des Wärmeeintrags infolge Sonneneinstrahlung. Die Verschattung steht damit im Konflikt mit der Beleuchtung und dem Komfort der Nutzer.²⁸ Nachfolgende Beispiele für Verschattungsmöglichkeiten wurden im Rahmen des Versuches in der Inffeldgasse 16b umgesetzt.

- Das Versehen der öffenbaren Fenster mit außenliegende, steuerbaren Raffstores, welche die Sonneneinstrahlung reduzieren, das Sonnenlicht aber nicht vollständig abblocken
- Die Beklebung der nicht öffenbaren Oberlichten mit einer transparenten Folie; die Folie reduziert die eindringende Sonnenstrahlung
- Eine Verschattung der Lichtkuppeln mittels Überdachung durch eine Photovoltaikanlage
- Die Verschattung einer großen Glasfassade mit einer aufrollbaren Membran

Darüber hinaus sind noch eine Vielzahl anderer Verschattungen möglich, wie z.B. innenliegende oder im Scheibenzwischenraum liegende Verschattungen, fixe oder bewegliche Fassadenelemente, Bepflanzungen und Bauteile, welche für Verschattung der Fensterflächen sorgen (wie z.B. Vordächer oder Wandelemente). Die Maßnahmen der Verschattung müssen projektspezifisch betrachtet, bewertet sowie angepasst werden.

Speichermassen dienen der Stabilisierung der Raumlufttemperatur. Große, speicherwirksame Massen verringern Temperaturschwankungen über mehrere Tage. Zur Verringerung der Schwankungen innerhalb des Tagesverlaufes ist es nötig, dass die Wärme möglichst schnell in den Bauteil eindringen bzw. aus dem Bauteil austreten kann. Dadurch kann die Nutzung eines möglichst großen Anteils der Masse des Bauteils erzielt werden, wodurch die Aufnahme von allfälligen Temperaturspitzen während des Tagesverlaufes ermöglicht wird.²⁹

²⁷ ZIMMERMANN, M. (1999): Handbuch der passiven Kühlung. S. 22

²⁸ Vgl. a.a.O. S. 16

²⁹ Vgl. a.a.O. S. 33f

2.4.2 Kühlung

Die Kühlung kann aktiv mit einer Kältemaschine erfolgen, oder passiv durch Lüftung. Als passive und hybride Kühlsysteme werden Systeme zur Kühlung bezeichnet, welche nicht aktiv mit einer Kältemaschine betrieben werden. Rein passive Lüftung verfügt zudem über keine mechanischen Bauteile und beschränkt sich dadurch auf die freie Lüftung. Passive und hybride Systeme werden unter dem Begriff Passivsysteme zusammengefasst.³⁰ Durch Energieoptimierung von Gebäuden mittels Anwendung passiver Kühlung anstelle einer aktiven Kühlung, ist eine Reduktion der Betriebskosten möglich.³¹ Die Kombination verschiedener Systeme (aktiv, hybrid und passiv) kann im Sinne der Energieeffizienz und Leistungsfähigkeit der Kühlung sinnvoll sein.³²

2.4.2.1 Passivsysteme

Um einen Kühleffekt zu erzielen, ist das Lüften während des Sommers meist nur während den Nacht- oder Morgenstunden sinnvoll, da sich die Außenluft ansonsten in der Regel als nicht kühl genug erweist. Um die Funktionsfähigkeit einer Nachtlüftung zu erzielen und die Wärmelasten des Tages während der Nacht abzuführen, sind geeignete Rahmenbedingungen einzuhalten. Dazu zählen eine Begrenzung der Wärmelasten, das Vorhandensein von speicherfähigen Massen im Gebäude und ein funktionstüchtiges Lüftungskonzept.³³

Nachfolgend werden diverse Varianten der passiven und hybriden Kühlung angeführt.

Freie Lüftung

Unter freier Lüftung wird Fensterlüftung, Fugenlüftung sowie Schachtlüftung verstanden.³⁴ Eine Automatisierung der natürlichen Lüftung ist durch gesteuerte Klappen und mechanische Antriebe an Fenstern möglich. Da sich dies aber meist nicht als wirtschaftlich erweist, wird die natürliche Lüftung oft manuell durch den Nutzer gesteuert.³⁵ Für Wohngebäude ist die natürliche Lüftung meist ausreichend.³⁶

Die Kühlung mit rein passiven Systemen (freie Lüftung) zeigt eine starke Abhängigkeit vom Nutzerverhalten und von der Außenlufttemperatur,

³⁰ Vgl. ZIMMERMANN, M. (1999): Handbuch der passiven Kühlung. S. 6

³¹ Vgl. PFAFFEROTT, J. (2003): Passive Kühlung mit Nachtlüftung. S. 1

³² Vgl. ZIMMERMANN, M. (1999): Handbuch der passiven Kühlung. S. 7

³³ Vgl. a.a.O. S. 31

³⁴ Vgl. WILLEMS, W et al. (2006): Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 1 Wärme- und Feuchteschutz, Behaglichkeit, Lüftung. S. 6.15

³⁵ Vgl. ZIMMERMANN, M. (1999): Handbuch der passiven Kühlung. S. 31

³⁶ Vgl. a.a.O. S. 35

welche sich bei zunehmender Klimaerwärmung als problematisch erweisen kann. Hybride Systeme weisen hingegen eine geringere Abhängigkeit diesbezüglich auf.³⁷

Mechanische Lüftung

Die mechanische Lüftung ist automatisiert und dadurch planbar. Mechanische Lüftungssysteme können zudem mit anderen Kühlsystemen, wie einer gezielten Speichermassenaktivierung, einem Wärmetauscher oder einem Luftansaug-Erdregister kombiniert werden. Zudem ist die mechanische Lüftung zuverlässiger, was vor allem in Bürobauten wichtig ist.³⁸

Verdunstungskühlung

Bei dieser Kühlmethode wird die Zuluft oder Abluft, bevor diese über einen Wärmetauscher geführt wird, durch befeuchten gekühlt und dadurch die Zulufttemperatur bei mechanischer Lüftung gesenkt.³⁹

Luftansaug-Erdregister

Die Außenluft kann bei mechanischer Lüftung durch ein Luftansaug-Erdregister geführt und dadurch vorkonditioniert werden. Das Luftansaug-Erdregister besteht aus einem unterirdischen Kanalsystem, durch welches die Außenluft geleitet wird. Das Erdreich dient dabei als Speichermasse. Die Vorkonditionierung funktioniert dabei im Sommer als auch im Winter.⁴⁰

2.4.2.2 Aktive Systeme

„Die Kälteversorgung raumluftechnischer Anlagen hat die Aufgabe, Luft zu kühlen und zu entfeuchten.“⁴¹

Es wird zwischen Luft-Kältemittelanlagen, Nurluftanlagen und Luft-Wasseranlagen unterschieden.⁴²

Luft-Kältemittelanlagen

Luft-Kältemittelanlagen sind dezentrale Klimageräte. Die Kältetechnik ist unter Umständen vollständig in einem Gerät enthalten und benötigt ausschließlich einen Stromanschluss. Ist das Gerät zweiteilig, spricht man von einem Split-Gerät, dabei ist der Kälteteil außerhalb des Gebäudes aufgestellt und mit dem Luftkühler über eine Kältemittelleitung verbunden.⁴³

³⁷ Vgl. ZIMMERMANN, M. (1999): Handbuch der passiven Kühlung. S. 6

³⁸ Vgl. a.a.O. S. 35

³⁹ Vgl. a.a.O. S. 37f

⁴⁰ Vgl. a.a.O. S. 45

⁴¹ REINHART, F. (2008): Kälteversorgung. In: FITZNER, K. (Hrsg.): Raumklimotechnik. Band 2: Raumluf- und Raumkühltechnik. S. 439

⁴² Vgl. BOHNE, D. (2014): Technischer Ausbau von Gebäuden Und nachhaltige Gebäudetechnik. S. 318

⁴³ Vgl. a.a.O. S. 318

Nurluftanlagen

In Nurluftanlagen erfolgt der Kältetransport mittels Luft, welche von einer zentralen RLT-Anlage zum Luftkühler befördert wird. ⁴⁴

Luft-Wasseranlagen

Bei Luft-Wasseranlagen wird der Kältetransport von einer zentralen Kältemaschine mittels Wasser an den Luftkühler geführt und dort an die Luft abgegeben. ⁴⁵

⁴⁴ Vgl. BOHNE, D. (2014): Technischer Ausbau von Gebäuden Und nachhaltige Gebäudetechnik. S. 318

⁴⁵ Vgl. a.a.O. S. 318

3 Ausgangssituation der Gebäude Inffeldgasse 16-16c

Aufgrund entsprechender Meldungen von Nutzern der Gebäude Inffeldgasse 16-16c zur sommerlichen klimatischen Situation an Ihren Arbeitsplätzen, wurde beschlossen, die Situation im Rahmen einer Arbeit zu untersuchen. In einer vorausgegangenen Arbeit von Herrn Viktor Brandstätter wurden Raumlufthemperaturmessungen über die Sommermonate des Jahres 2017 durchgeführt. Darüber hinaus wurde eine Befragung der Personen, welche in den besagten Gebäuden arbeiten, durchgeführt. Dem gegenüber stehen die Anforderungen an die Behaglichkeit. Zur Verbesserung der klimatischen Situation in Bezug auf die Behaglichkeit wurden Maßnahmen gewählt, welche wiederum in dieser Arbeit erfasst und bewertet werden.

3.1 Bestehende Maßnahmen gegen sommerliche Überhitzung

Während der Planung des Gebäudes wurden bereits Maßnahmen bezüglich der Vermeidung sommerlicher Überhitzung angewendet. Es wurde eine Simulation durchgeführt und ein Lüftungssystem zur freien Nachtlüftung durch Lüftungsklappen umgesetzt.

3.1.1 Simulation des Gebäudes während der Planungsphase

Im Rahmen der Planung des Gebäudes wurde im Jahr 1997 eine Computer-Simulation bezüglich der sommerlichen Überwärmung durchgeführt. Verwendet wurde hierfür das Programm TRNSYS.⁴⁶ Das Gebäude wurde in zehn thermischen Zonen modelliert⁴⁷ und die Simulation wurde mit dem Außentemperaturverlauf von Zürich für ein ganzes Jahr durchgeführt.⁴⁶ Zur Bestimmung der Maximaltemperatur wurde ein signifikanter Raum während einer Woche im August betrachtet. Die Lüftungsklappe über den Bürotüren wurde nicht berücksichtigt. Die Simulation wurde in verschiedenen Varianten mit unterschiedlicher Beschattung und Luftwechsel durchgeführt.

Das aufgrund der Simulation zu erwartende Raumklima wurde als „*Temperaturen an der 30°C Marke*“⁴⁸ bestimmt. In Bild 3.1 ist die laut Simulation zu erwartende maximale Raumtemperatur verschiedener betrachteter Varianten in dem als signifikant angesehenen Raum, während einer Augustwoche, dargestellt. Bei der Simulation stellte sich die Variante 6 als klimatisch günstigste Variante heraus, aber sogar hierbei beträgt die Raumtemperatur 30°C. In Variante 6 wurde ein hoher Luftwechsel angenommen,

⁴⁶ Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDESIMULATION. S. 2

⁴⁷ Vgl. a.a.O. S.19 (Berechnung)

⁴⁸ a.a.O. S19 (Berechnung)

wofür eine mechanische Lüftung erforderlich ist. Außerdem wurde eine Beschattung der Fenster angenommen. Die Lichtkuppeln und Oberlichten wurden hierbei nicht beschattet. In Bezug auf Luftwechsel und Beschattung entspricht die Variante 1 (ohne Verschattung und ohne mechanische Lüftung) mit 33,3°C am ehesten dem letztendlich erbautem Gebäude.

Im Rahmen der damaligen Simulation wurden folgende Varianten betrachtet:

- **Variante 1:**
Keine Verschattung, keine mechanische Lüftung
- **Variante 2:**
Verschattung der Fenster NO und SW, keine mechanische Lüftung
- **Variante 3:**
Wie Variante 2 zuzüglich Verschattung der Lichtkuppeln
- **Variante 4:**
Wie Variante 1 zuzüglich Decke des Atriums ohne Verkleidung
- **Variante 5:**
Wie Variante 1 zuzüglich Verringerung der Lichtkuppeln um die Hälfte
- **Variante 6:**
Wie Variante 2 zuzüglich mechanischer Lüftung
- **Variante 7:**
Wie Variante 2 zuzüglich Verringerung der Lüftung in der Halle

Der Luftwechsel wurde in den Varianten ohne mechanische Lüftung für die Büroräume mit 2/h und mit mechanischer Lüftung mit 4/h angesetzt. Der Luftwechsel für das Atrium wurde, mit Ausnahme der Variante 7, mit einem Luftwechsel von 1/h in der Zeit von 8 bis 18 Uhr und ansonsten mit 0,5/h angegeben. In der Variante 7 beträgt der Luftwechsel des Atriums 0,4/h zwischen 8 und 18 Uhr und ansonsten 0,1/h.⁴⁹

⁴⁹ Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDESIMULATION. S.2f (Berechnung)

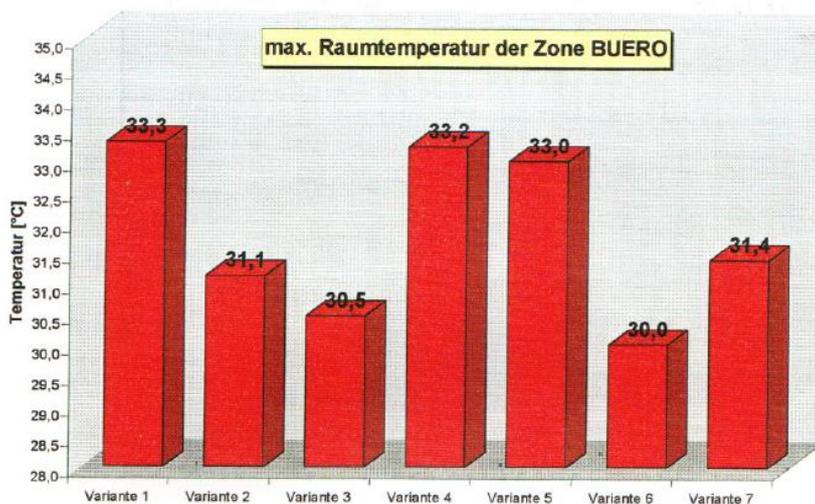


Bild 3.1 Auszug aus dem Simulationsbericht von 1997, maximale Raumtemperaturen bei verschiedenen Varianten im signifikanten Raum⁵⁰

In der Simulation, welche im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführt wurde, wurden vier Varianten untersucht. Die Variante ohne Maßnahmen entspricht der Variante 1 und die Variante Verschattungsmaßnahmen entspricht der Variante drei aus der vorhergehenden Simulation. Die beiden Varianten Druckbetrieb und Saugbetrieb welche simuliert und im Rahmen des Versuches gemessen wurden, entsprechen am ehesten der Variante 6 der vorhergehenden Simulation, nur weisen Messung und Simulation einen höheren Luftwechsel in den Versuchsräumen auf.

3.1.2 Lüftungsklappen

Um eine Querlüftung des Gebäudes zu ermöglichen, während die Innentüren geschlossen sind, wurden Lüftungsklappen über den Innentüren angeordnet. Die Klappen können manuell gekippt werden. Ein Foto einer dieser Lüftungsklappen ist in Bild 3.2 zu sehen.

⁵⁰ ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDESIMULATION. S. 11 (Berechnung)



Bild 3.2 Lüftungsklappe im Türsturz der Innentüren

3.2 Ergebnisse der vorhergegangenen Arbeit

Hier werden die Ergebnisse einer Umfrage und einer Messung aus dem Jahr 2017 zusammengefasst. Die Umfrage und die Messung wurden in einer vorhergegangenen Arbeit von Herrn Viktor Brandstätter erfasst und ausgewertet. Die Darstellungen wurden einer Präsentation vom 28.03.2018 von Herrn Siegfried Pabst über die Arbeit von Herrn Viktor Brandstätter entnommen.⁵¹

3.2.1 Umfrage

Die Umfrage wurde anonym mittels Fragebogen (Umfrage Tool TU Survey) durchgeführt.

Das Ergebnis der Umfrage ist eine Bewertung der Raumklimasituation und des Nutzerverhaltens. Wie in Bild 3.3 dargestellt, bewerten 95% der teilnehmenden Personen ihr subjektives Temperaturempfinden im Sommer als „Schlecht“ oder „Sehr Schlecht“, während im Winter 95% der teilnehmenden Personen die Temperatur als „Gut“ oder „Sehr Gut“ werten.

⁵¹ Vgl. PABST, S. (2018): Inffeldgasse 16-16c sommerliche Überhitzung Versuch IN16b – Maßnahmen - Evaluierung

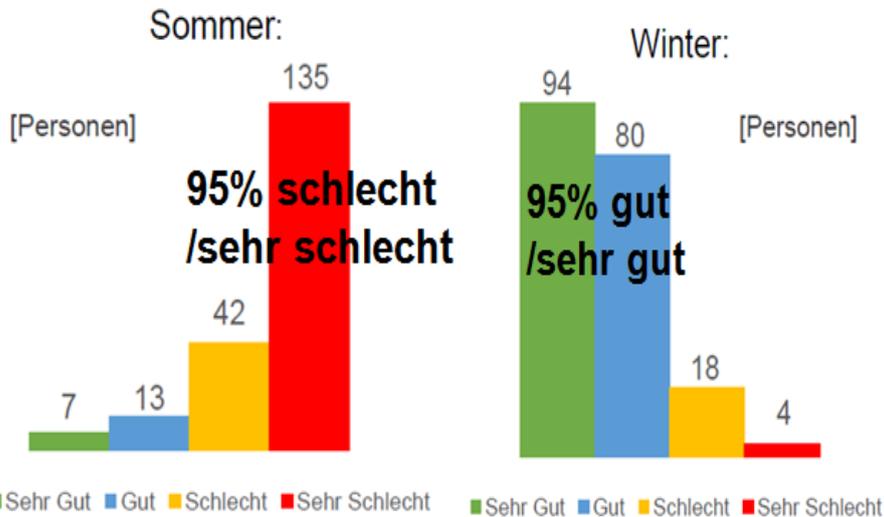


Bild 3.3 Bewertung des Klimas im Sommer/Winter durch Nutzer⁵²

In einem weiteren Teil der Umfrage wurde das Gebäude in Schulnoten von 1 bis 5 bewertet (siehe Bild 3.4). Das Endergebnis dieser Befragung ergab eine durchschnittliche Schulnote von 3,8 weshalb eine Verbesserung durch Maßnahmen in den Sommermonaten von der Serviceeinrichtung Gebäude und Technik angestrebt wurde.

Benotung der Gebäude:

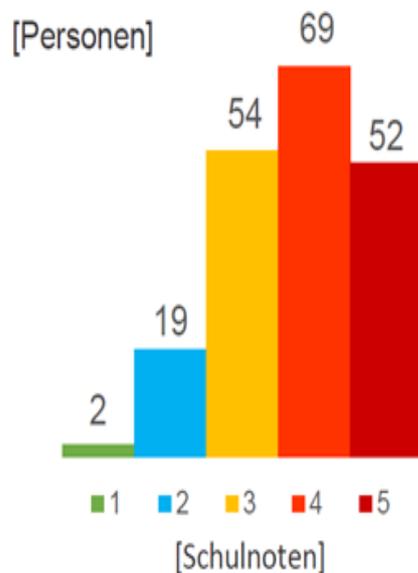


Bild 3.4 Benotung der Gebäude in Schulnoten durch die Nutzer⁵³

⁵² Vgl. PABST, S. (2018): Inffeldgasse 16-16c sommerliche Überhitzung Versuch IN16b – Maßnahmen - Evaluierung S. 2

⁵³ Vgl. a.a.O. S. 2

3.2.2 Ergebnis der Raumlufthtemperaturmessung

In Bild 3.5 ist ein Auszug aus der Raumlufthtemperaturmessung der Präsentation der vorangegangenen Arbeit, während einer Hitzeperiode, dargestellt. Die maximale Raumlufthtemperatur laut ÖNORM EN ISO 7730 von 26°C⁵⁴ wurde hier an allen Tagen auch während der Nachtstunden überschritten. Am 04.08.2017 wurden Raumtemperaturen von über 34°C in einem Büroraum im 2.OG, mit südöstlicher Ausrichtung, gemessen.

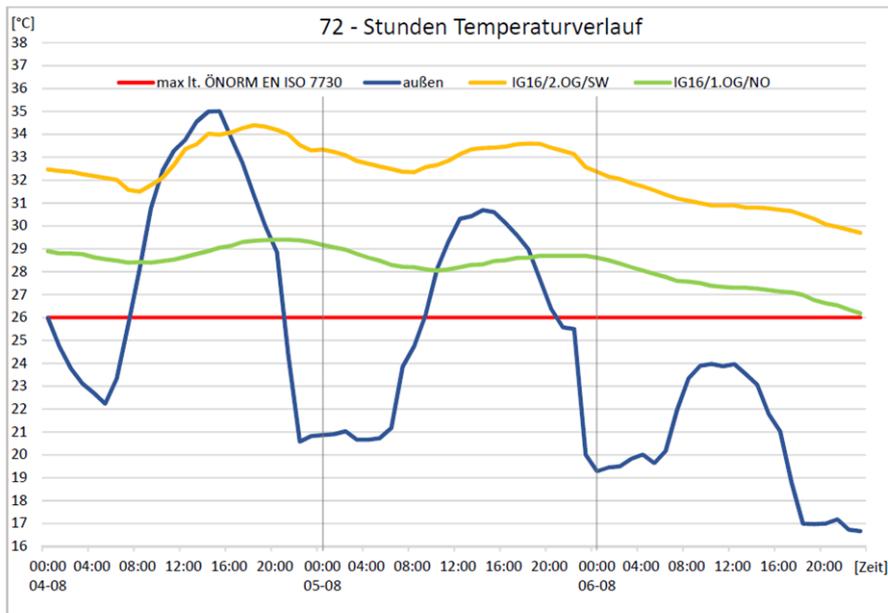


Bild 3.5 Raumlufthtemperaturmessung Sommer 2017⁵⁵

3.3 Behaglichkeit

Behaglichkeit bezeichnet die Randbedingungen, bei denen sich ein Mensch am wohlsten fühlt. Da das „sich wohlfühlen“ eine subjektive Empfindung darstellt und die Behaglichkeit daher von einer Vielzahl von Parametern abhängig ist, lassen sich keine genauen Grenzen für die Bewertung der Behaglichkeit angeben.⁵⁶ Zur Evaluierung der thermischen Situation, im Rahmen dieser Masterarbeit, ist es notwendig, die thermische Behaglichkeit einzuschätzen. Dazu wird die ÖNORM EN ISO 7730 herangezogen, mithilfe derer klimatische Situationen bewertet werden und somit Bereiche angegeben werden können, in denen sich die meisten Menschen behaglich fühlen.

⁵⁴ Vgl. ÖNORM EN ISO 7730 (2006): Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. S. 20

⁵⁵ Vgl. PABST, S. (2018): Inffeldgasse 16-16c sommerliche Überhitzung Versuch IN16b – Maßnahmen – Evaluierung. S. 3

⁵⁶ Vgl. KAUTSCH, P. (2016): Vorlesungsunterlage Bauphysik 1 Wärmeschutz & Feuchteschutz Master-Ausbildung Bauingenieurwissenschaften. S. 4f

3.3.1 Parameter zur Bestimmung der Behaglichkeit nach ÖNORM EN ISO 7730

Maßgebend zur Bewertung des Umgebungsklimas ist das menschliche Wärmeempfinden. Dieses ist von der Wärmebilanz des Menschen abhängig. Die maßgebenden Einflussgrößen stellen die Tätigkeit und die Bekleidung der Person sowie das Umgebungsklima dar. Die Behaglichkeit des Umgebungsklimas ist maßgeblich von den vier Parametern Lufttemperatur, Umschließungsflächentemperatur, Luftbewegung und relative Luftfeuchtigkeit abhängig.⁵⁷

Auf Grundlage dieser Parameter erfolgt mithilfe der oben genannten Norm eine Bewertung der Behaglichkeit durch die Werte des vorausgesagten mittleren Votums (predicted mean votum, PMV) und des vorausgesagten Prozentsatzes an Unzufriedenen (predicted percentage of dissatisfied, PPD).

Der PMV-Index, beruht auf einer 7-stufigen Skala, welche die Aussage einer großen Personengruppe über das jeweilige Klima ausdrückt. Die Skala erstreckt sich von -3 kalt, über 0 neutral, bis +3 heiß (siehe Bild 3.6).⁵⁸

Der vorausgesagte PPD ist der Prozentsatz der Personen, welche mit dem Klima unzufrieden sind. Zum Beispiel empfinden bei einem PPD von 10, 10% der Personen das Klima als zu kalt oder zu warm. Unzufrieden sind Personen, welche das Klima nach der PMV-Skala mit heiß, warm, kühl oder kalt bewerten, also nicht im Bereich von -1 bis +1 liegen.⁵⁹ Im Bild 3.6 ist eine Gegenüberstellung von PMV-Index und PPD-Index dargestellt. Zu sehen ist, dass selbst bei einem PMV von 0 immer noch 5% der Personen unzufrieden sind. Das heißt, dass es grundsätzlich nicht möglich ist, 100% Zufriedenheit zu erreichen.⁶⁰

PMV	+3	+2	+1	+0,5	0	-0,5	-1	-2	-3
Empfinden	heiß	warm	leicht warm		neutral		leicht kühl	kühl	kalt
PPD	90%	75%	25%	10%	5%	10%	25%	75%	90%

Bild 3.6 Thermische Empfindungsskala, PMV und PPD⁶¹

Im Besonderen werden in dieser Arbeit die Behaglichkeitsgrenzen durch den PPD-Index berücksichtigt.

⁵⁷ Vgl. ÖNORM EN ISO 7730 (2006): Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. S. 4

⁵⁸ Vgl. a.a.O. S. 6

⁵⁹ Vgl. a.a.O. S. 8

⁶⁰ Vgl. KAUTSCH, P. (2016): Vorlesungsunterlage Bauphysik 1 Wärmeschutz & Feuchteschutz Master-Ausbildung Bauingenieurwissenschaften. S. 6f

⁶¹ Vgl. a.a.O. S. 6

Für den PPD maßgebend sind die Werte der Bekleidung und der Tätigkeit. Zur Berücksichtigung der Bekleidung wird die Kleidungseinheit [clo] herangezogen ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$)⁶². Werte für verschiedene Bekleidungen sind der Norm angefügt. Zur Erfassung der Tätigkeit wird die metabolische Einheit [met] verwendet ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$)⁶². Werte von Energieumsätzen unterschiedlicher Tätigkeiten sind der Norm angefügt.

3.3.2 Verwendete Grenzwerte zur Bewertung der Behaglichkeit

Zur Auswertung der Messergebnisse wurden Grenzwerte der Behaglichkeit in den Sommermonaten abgeleitet. Die Grenzwerte wurden nach ÖNORM EN ISO 7730 ermittelt. Es wurde ein strengerer Grenzwert mit besserer Behaglichkeit mit 26°C und ein höherer Grenzwert mit niedriger Behaglichkeit mit 28°C definiert.

Zur Festlegung des ersten Grenzwertes mit 26°C wurde die Tabelle A.5 der ÖNORM EN ISO 7730 herangezogen.⁶³ Die Kategorie wurde gemäß der Tabelle A.1 der ÖNORM mit einem PPD-Wert von 10 gewählt und entspricht der Kategorie B.⁶⁴

Der zweite Wert mit 28°C ergibt sich bei Annahme, dass ein extremes Klima auftritt (höherer PPD Wert) und sich die Menschen auf höhere Raumtemperaturen einstellen (durch Bekleidung und geringere Empfindlichkeit).⁶⁵ Es wird die Kategorie C mit einem PPD-Wert von 15 angenommen. Der Energieumsatz wurde gemäß Tabelle B.1 der Norm mit 1,2 met angenommen, was einer sitzenden Tätigkeit in einem Büro entspricht.⁶⁶ Der Bekleidungsbeiwert wurde mit 0,3 clo angenommen, das entspricht einer leichten Bekleidung laut Tabelle C.1 der Norm.⁶⁷ Die Bestuhlung wurde nicht berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Werte, ergibt sich aus dem Bild A.1 der Norm eine optimale operative Temperatur mit 26,5°C ±1,5°C (siehe Bild 3.7). Dadurch ergibt sich ein oberer Grenzwert von 28°C.

⁶² Vgl. ÖNORM EN ISO 7730 (2006): Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. S. 7

⁶³ Vgl. a.a.O. S. 20

⁶⁴ Vgl. a.a.O. S. 16

⁶⁵ Vgl. a.a.O. S. 15

⁶⁶ Vgl. a.a.O. S. 21

⁶⁷ Vgl. a.a.O. S. 22

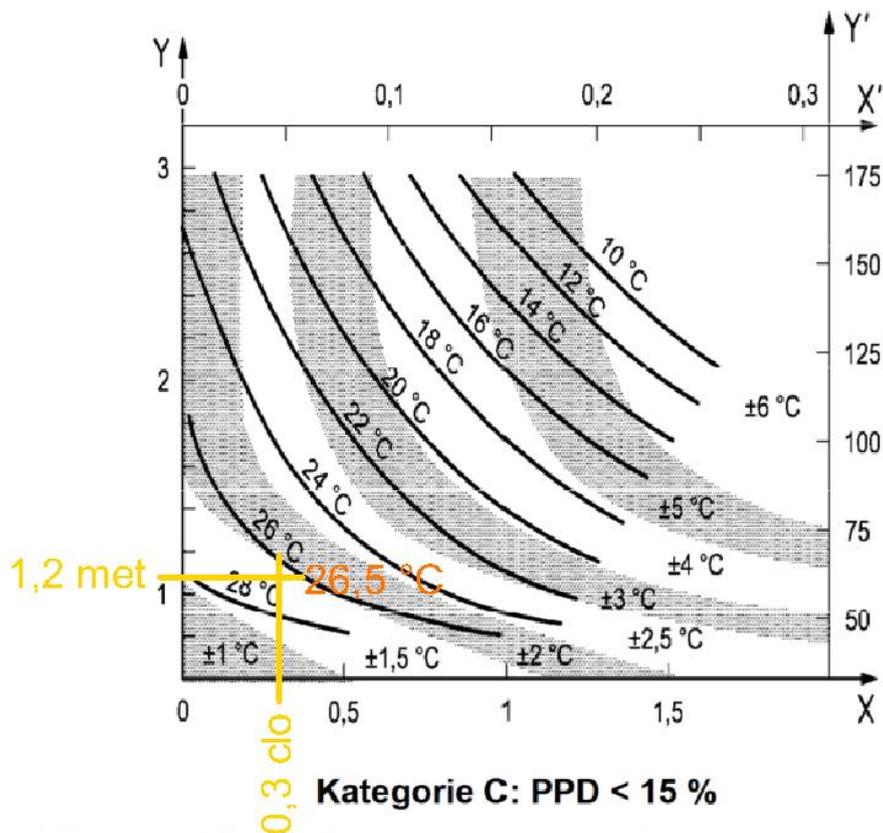


Bild 3.7 In Anlehnung an ÖNORM EN ISO 7730, Anhang A, Bild A.1 optimale operative Temperatur als Funktion der Bekleidung und Aktivität, mit Markierung⁶⁸

Lokale thermische Unbehaglichkeit wird nicht berücksichtigt, da dazu keine Daten während den Messungen erfasst wurden.

3.4 Klima der Messung im Jahr 2018

Bei Durchführung einer Simulation werden typische Klimadaten des jeweiligen Standortes herangezogen, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Simulationen zu ermöglichen und dadurch aussagekräftige, vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Um eine Aussage über die Vergleichbarkeit zwischen der Simulation und der Lufttemperaturmessung zu erhalten, wird das Klima des Jahres der Messung (2018) mithilfe von Statistiken und Auswertungen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) für dieses Jahr näher betrachtet. Eine Analyse des Klimas der Simulation und der Messung erfolgt unter Punkt 6.1.3.

⁶⁸ Vgl. ÖNORM EN ISO 7730 (2006): Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. S. 18

Die ZAMG analysiert das Jahr 2018 in der Klimabulletin des Jahres 2018. „2018 brach den Temperaturrekord: Mit einer Abweichung von $+2,4^{\circ}\text{C}$ gegenüber dem Bezugszeitraum 1961–1990 war es in Österreich das bislang wärmste Jahr seit Messbeginn 1768. Ganze sechs Monate landeten unter den wärmsten Zehn der jeweiligen Vergleichsreihe. Zudem wurden noch nie derart viele Sommertage verzeichnet.“⁶⁹

Die Abweichung des Mittelwertes der Außenlufttemperatur des Sommers des Jahres 2018 zeigt im Vergleich zu dem Bezugszeitraum von 1981 bis 2010 in der Region um Graz eine Erhöhung des Mittelwertes der Lufttemperatur im Bereich zwischen $0,8^{\circ}\text{C}$ und $1,5^{\circ}\text{C}$ (siehe Bild 3.8). Im Mittel war die Lufttemperatur um $1,8^{\circ}\text{C}$ höher als während des Bezugszeitraumes.

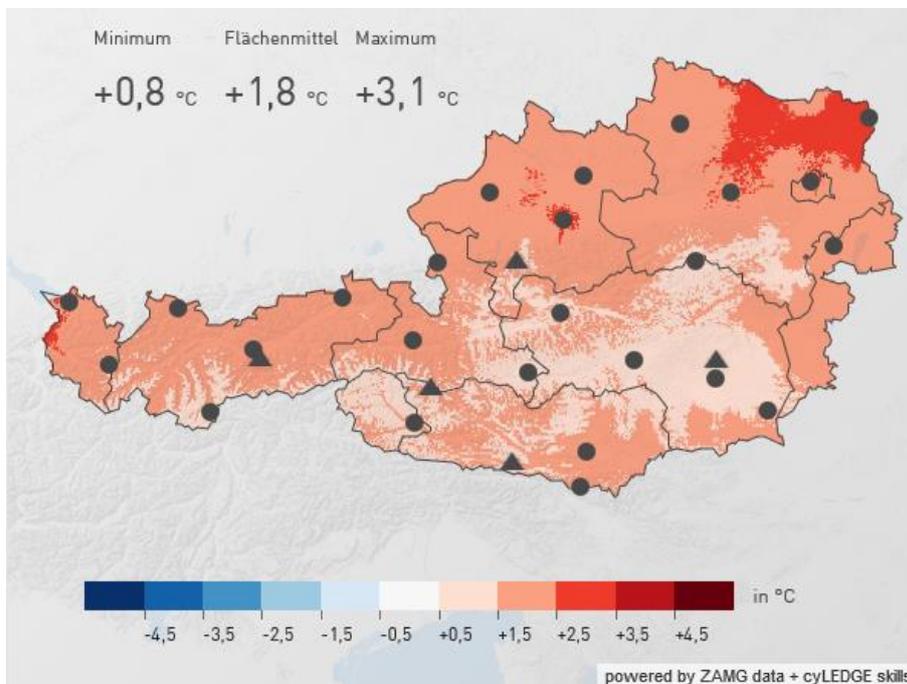


Bild 3.8 Abweichung des Mittelwertes der Lufttemperatur des Jahres 2018 zum Bezugszeitraum 1981 bis 2010, betrachtet wird der Sommer⁷⁰

Da das Jahr 2018 nimmt „bis auf weiteres den Spitzenplatz der wärmsten Jahre“⁷¹ ein.

⁶⁹ HIEBL, J. et al. (2019): Österreichisches Klimabulletin Jahr 2018. s.p.

⁷⁰ <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring/?param=t&period=period-ys-2018-2&ref=3>. Datum des Zugriffs: 21.08.2019

⁷¹ HIEBL, J. et al. (2019): Österreichisches Klimabulletin Jahr 2018. s.p.

3.5 Vorschlag der Maßnahmen

Auf Basis der Messergebnisse und der Umfrage wurden Maßnahmen gewählt, welche im Jahr 2018 im Gebäude Inffeldgasse 16b umgesetzt und deren Effekt im Rahmen dieser Masterarbeit evaluiert worden. Die Evaluierung erfolgt für den Zeitraum von 09.07.2018 bis 30.09.2018, weiterfolgend wird dieser Zeitraum als Gesamtetappe bezeichnet.

Die Maßnahmen gliedern sich in zwei Teile. Einerseits werden die solaren Einträge durch Beschattung der Fensterflächen reduziert, andererseits wird die Nachtlüftung durch Ventilatoren mechanisch unterstützt. Die Maßnahmen zur Reduzierung der solaren Einträge wurden zur Ausführung in allen Gebäuden festgelegt. Die Nachtlüftung mittels Ventilatoren wurde dagegen nur für das Gebäude Inffeldgasse 16b als Versuch festgelegt, um die Wirksamkeit der Maßnahmen während des Sommers 2018 zu evaluieren. Dadurch soll aufgezeigt werden, ob die Klimatisierung ohne aktive Kühlung im ausreichenden Maße möglich und die Umsetzung in den Nebengebäuden sinnvoll ist.

3.5.1 Reduzierung der solaren Einträge

Zur Reduzierung der Erhitzung des Gebäudes infolge solarer Einstrahlung, wurde eine Beschattung der horizontalen und vertikalen Fensterflächen festgelegt.

3.5.1.1 Beschattung der Fenster

Wie in Bild 3.9 ersichtlich, wurden die öffnenbaren Fensterflächen mit Raffstores ausgestattet und die nicht öffnenbaren Oberlichten mit Folien beklebt. Die große, senkrechte Verglasung an der südwestlichen Gebäudefassade (siehe Bild 3.10) wurde mit einer aufrollbaren Beschattungsmembran versehen, während die nordöstliche Gebäudefassade nicht verändert wurde.



Bild 3.9 Fassade des Gebäudes Inffeldgasse 16b mit außenliegender Beschattung



Bild 3.10 Beschattung der Verglasung an der Süd-West Seite des Gebäudes

3.5.1.2 Beschattung der Lichtkuppeln

Als Beschattung der Lichtkuppeln ist eine Überdachung der Lichtkuppeln mit einer PV-Anlage in Planung, welche den solaren Eintrag in das Gebäude reduziert. Die PV-Anlage wird voraussichtlich im Sommer 2019 realisiert.



Bild 3.11 Skizze der geplanten PV-Anlage über dem Testgebäude⁷²

Für die Messungen im Rahmen dieser Masterarbeit wurde die Beschattung provisorisch, wie in Bild 3.12 zu sehen ist, mithilfe von Abdeckplanen, simuliert. Von den 17 Lichtkuppeln wurden 13 beschattet, die restlichen 4 gehören zur Rauch- und Wärmeabzugsanlage (RWA). Diese dürfen in ihrer brandschutztechnischen Funktion nicht beeinträchtigt werden, daher wurden diese Lichtkuppeln nicht beschattet.

⁷² PABST, S. (2018): Inffeldgasse 16-16c sommerliche Überhitzung Versuch IN16b – Maßnahmen – Evaluierung. S. 5



Bild 3.12 Provisorische Verdunkelung der Lichtkuppeln am Dach des Gebäudes Inffeldgasse 16b

3.5.2 Freie Außenluftkühlung

Statt der Lüftungsklappen über den Bürotüren werden Ventilatoren eingebaut (siehe Bild 3.13). Mit deren Hilfe wird nachts mechanisch gelüftet, während die Bürofenster gekippt werden. Versuchsweise werden zwei Varianten der Lüftung durchgeführt (siehe 3.5.2.1 und 3.5.2.2). Für diesen Versuch wurden zehn Ventilatoren verbaut. Im 1.OG und im 2.OG wurden jeweils fünf Räumlichkeiten mit diesen Ventilatoren ausgestattet. Die Ventilatoren wurden während der Gesamtetappe täglich von 21 bis 6 Uhr betrieben, um den Büroalltag nicht zu beeinträchtigen und die Nachtluft zur Kühlung zu nutzen. Bei Bestehen eines ausreichend großen Effekts dieser Maßnahme, wird diese, auf Grundlage dieser Masterarbeit, im ganzen Gebäude umgesetzt.

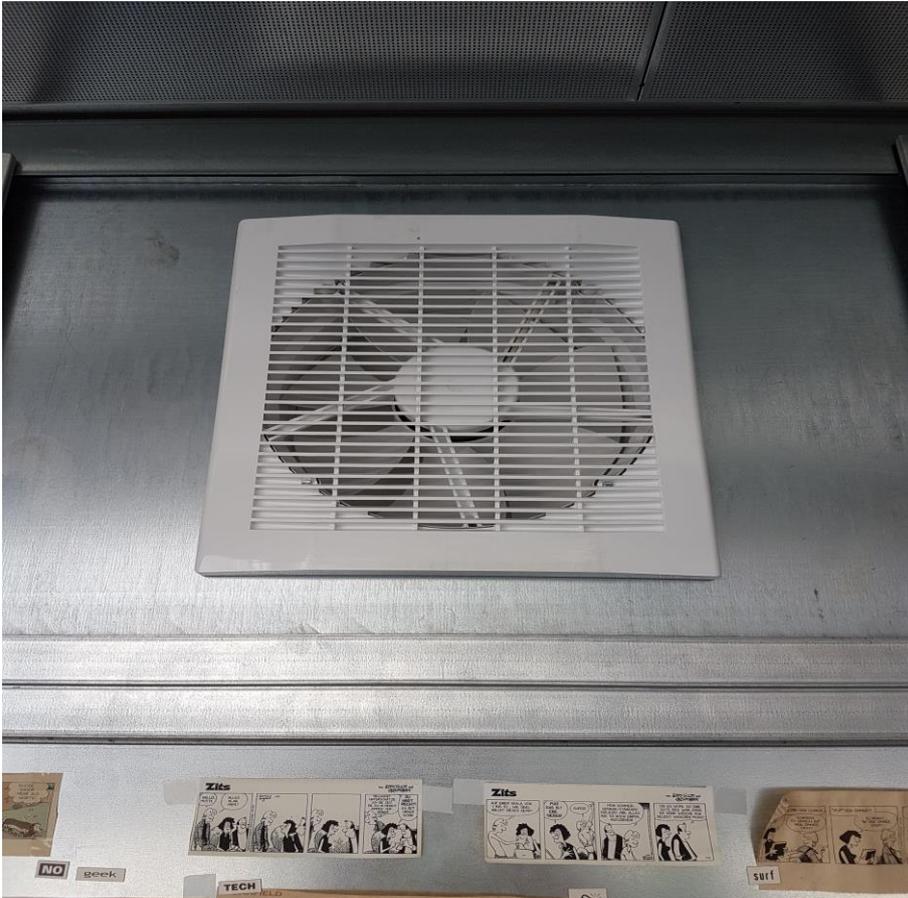


Bild 3.13 Ventilator statt Lüftungsklappe über Tür verbaut

3.5.2.1 Variante 1 - Saugbetrieb

In der Lüftungsvariante 1 (siehe Bild 3.14) saugt der Ventilator durch das Bürofenster Luft in das Gebäude. Die Büros werden dadurch in den Nachtstunden direkt mit kühler Außenluft durchströmt. Die Abluft strömt über die Lüftungsklappen, in die Räume ohne Ventilator und durch deren Fenster ab. Diese Situation wird weiterfolgend als Saugbetrieb bezeichnet. Der Saugbetrieb wurde bereits vor Beginn der Gesamtetappe bis 02.08.2018 und wieder ab 14.08.2018 bis nach dem Ende der Gesamtetappe durchgeführt.

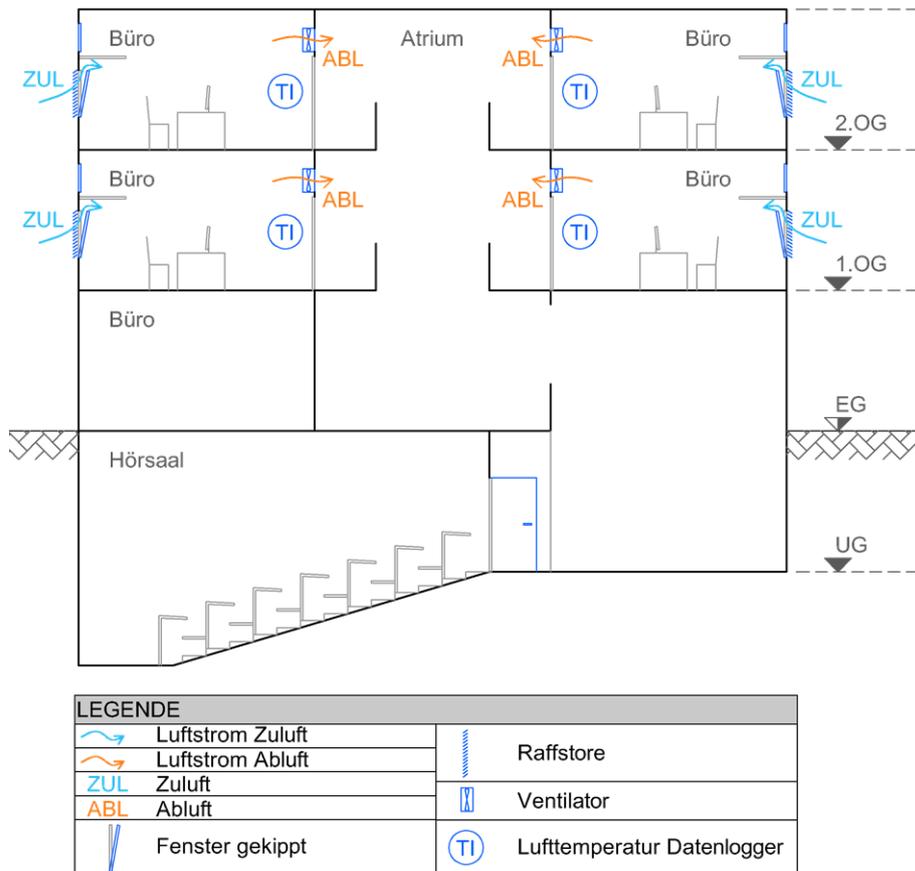


Bild 3.14 Schematische Darstellung des Saugbetriebes

3.5.2.2 Variante 2 – Druckbetrieb

In Variante 2 (siehe Bild 3.15) wird durch die Zuluftanlage der Hörsäle im Keller des Gebäudes Inffeldgasse 16b, gefilterte Frischluft eingebracht. Die Zuluft durchströmt das Gebäude, wird zentral durch das Atrium verteilt und über die Ventilatoren durch die gekippten Bürofenster nach draußen geleitet. Für diesen Zweck wurden Haltemagnete an den Türen der Hörsäle angebracht, welche diese nachts offen halten, um die Luft aus den Hörsälen in das Gebäude strömen zu lassen. Im Brandfall schließen sich die Türen automatisch.

Durch das Nutzen der Zuluftanlage ergibt sich die Möglichkeit die Zuluft aktiv zu kühlen, diese Variante wurde exemplarisch für eine Nacht getestet.

Für den Betrieb der Zuluftanlage ist die Firma EAM zuständig, welche in einer Funktionsbeschreibung die Randbedingungen für den Betrieb festgehalten und automatisierte Aufzeichnungen über den Betrieb sowie Lufttemperatur der Zuluft und der Raumlufttemperatur im Erdgeschoss bereitgestellt hat.

Hier ist ein Ausschnitt aus der Funktionsbeschreibung der Firma EAM, der die Steuerung der Lüftung beschreibt.

„Die Freie Außenluftkühlung dient dazu, dass mit der kalten Außenluft das Gebäude außerhalb der Betriebszeiten, ohne Aufwendung von zusätzlicher Kälteenergie, gekühlt wird.

Damit die Freie Außenluftkühlung aktiv wird, müssen folgende Kriterien aktiv sein:

Die Außentemperatur muss größer als der eingestellte Grenzwert (14°C) sein

Die Uhr Freie Außenluftkühlung muss aktiv sein

Die Türen der Hörsäle müssen geöffnet sein

Die Raumtemperatur in den Stockwerken muss größer als der eingestellte Grenzwert (14°C) sein

Das Creton des jeweiligen Hörsaales muss auf Position AUS stehen

Die Heizfreigabe darf nicht aktiv sein

Die Uhren oder die Befehle der Lüftungen dürfen nicht auf EIN sein

Sind alle Kriterien erfüllt, wird die freie Außenluftkühlung aktiv. Der Zuluftventilator wird auf die höchste Drehzahl angefordert und der Abluftventilator bleibt aus. Je nach Auswahl der gewünschten Kühlmethoden, kann nur über Außenluft, Außenluft + Betonkernspeicher, Außenluft + LK-Register oder Außenluft + Betonkernspeicher + LK-Register gekühlt werden. Beim kühlen mit dem LK Register kann ein gewünschter SW der Zulufttemperatur eingestellt werden. Dieser wird allerdings über die min. Zulufttemperatur der jeweiligen Lüftung begrenzt. Außerdem gibt es die Möglichkeit zwischen der Außentemperatur Süd oder Nord die freie Außenluftkühlung freizugeben. Jeder Datenpunkt des Visualisierungsbildes wird im Trend aufgezeichnet.“⁷³

Die freie Außenluftkühlung wurde von 02.08.2018 bis 14.08.2018 im Druckbetrieb betrieben. Während dieser Zeit wurde die Zuluftanlage der Hörsäle bis 05.08.2018 von 23 Uhr bis 5 Uhr und danach eine Stunde früher, ab 22 Uhr bis 5 Uhr, betrieben. In der Nacht vom 06.08.2018 auf 07.08.2018 wurde ein Versuch des Druckbetriebes mit Kühlung durchgeführt. Ab 14.08.2018 wurde wieder auf den Saugbetrieb umgestellt.

⁷³ BUCHMANN, F. (2018): Funktionsbeschreibung TU Graz Inffeldgasse 16b,c Freie Außenluftkühlung. S. 3

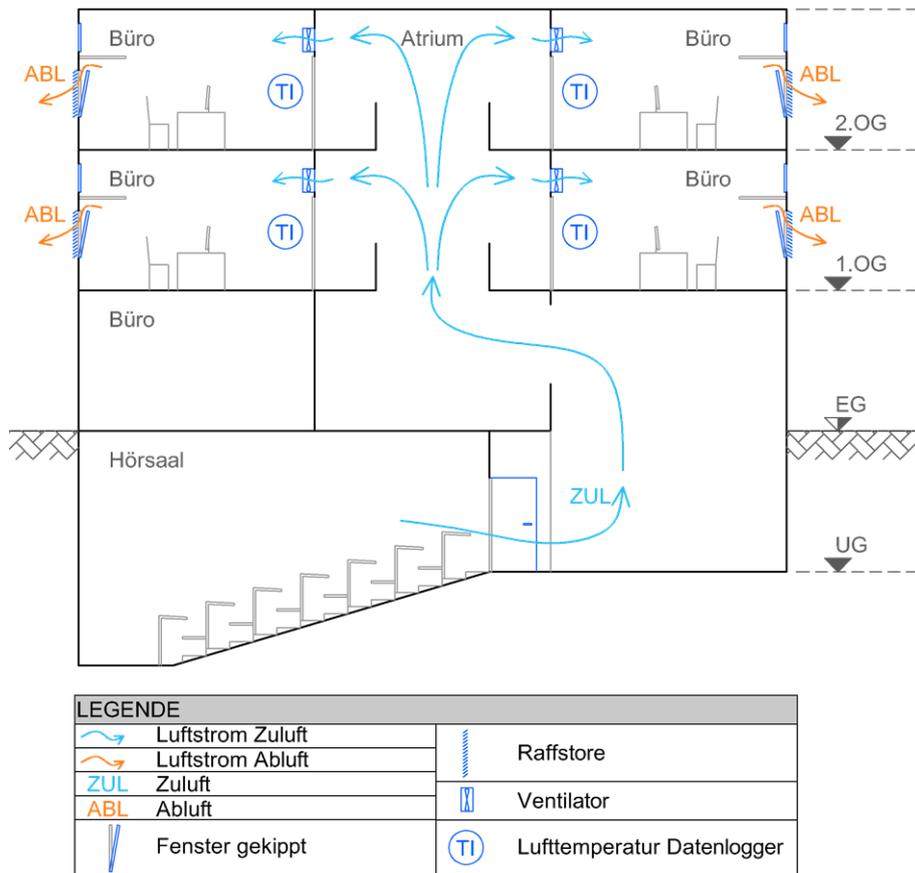


Bild 3.15 Schematische Darstellung des Druckbetriebes

4 Messkonzept

Um die Wirksamkeit der in Abschnitt 3.5 beschriebenen Maßnahmen zu bewerten, wurden Messungen der Raumlufttemperatur sowie eine Volumenstrommessung durchgeführt. Zusätzlich zu den erfassten Messdaten, wurden Daten von der Firma EAM sowie dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz zur Verfügung gestellt.

Die Messung der Raumlufttemperatur wurde in jedem Versuchsraum und zusätzlich in Vergleichsräumen durchgeführt. Als Versuchsräume werden die Räume der Inffeldgasse 16b bezeichnet, welche über einen Ventilator verfügen. Die Vergleichsräume verfügen über keinen Ventilator.

4.1 Messgeräte

Sämtliche verwendete Messgeräte wurden von der Serviceeinrichtung Gebäude und Technik der TU Graz zur Verfügung gestellt.

4.1.1 Datenlogger

Insgesamt zeichneten 19 Datenlogger, wie in Bild 4.1 zu sehen, in einem zeitlichen Abstand von 30 Minuten die momentane Raumlufttemperatur und Uhrzeit auf. Die Daten in Tabelle 4.1 wurden aus den technischen Daten der Bedienungsanleitung zu den Datenloggern entnommen.⁷⁴

Tabelle 4.1 Technische Daten der Lufttemperatur-Datenlogger⁷⁴

Bezeichnung	Lufttemperatur-Datenlogger UT330A
Temperatur-Messbereich	-40°C bis +80°C
Auflösung	0,1°C
Genauigkeit 0°C bis 40°C	±0,5°C
Speicherplätze	60.000
Spannungsversorgung	1xER14250, 3,6V (1/2 AA)
Schutzart	IP67
Abmessungen (B x H x T)	32 x 120 x 23 mm



Bild 4.1 Foto: Verwendeter Datenlogger UNI-T UT330A

⁷⁴ Vgl. Reichelt.de: - Bedienungsanleitung – Temperatur-/Luftfeuchte-/Luftdruck-Datenlogger UT330A/B/C.

4.1.2 Daten der Firma EAM

Die Firma EAM hat im 15-Minuten-Takt Aufzeichnungen über verschiedene Lufttemperaturen bezüglich des Gebäudes Inffeldgasse 16b erfasst. Zur Auswertung ist die Raumlufttemperatur im Mittelgang des Erdgeschosses sowie die Aufzeichnung darüber, ob die Zuluftanlage der Hörsäle in Betrieb war, relevant.

4.1.3 Außenlufttemperatur Stremayrgasse

Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau stellte Außenlufttemperatur-Daten zur Verfügung. Die Daten wurden im 5-Minuten-Takt von 17.02.2017 bis 19.10.2018 in der Stremayrgasse aufgezeichnet und umfassen die Außenlufttemperatur mit der zugehörigen Uhrzeit in Winterzeit.

Als Messgerät wird ein „Sensor für relative Feuchtigkeit und Temperatur mit Schutzgehäuse“⁷⁵ verwendet der die Bezeichnung OTT TRH trägt.⁷⁶ Der Hersteller des Gerätes ist die deutsche Firma OTT Hydromet GmbH. Die technischen Daten in Tabelle 4.2 wurden dem technischen Datenblatt zum Gerät entnommen. Es sind nur die für die Lufttemperaturmessung relevanten Daten angegeben.

Tabelle 4.2 Technische Daten der Messstation der Stremayrgasse⁷⁶

Bezeichnung	OTT TRH Sensor für relative Feuchtigkeit und Temperatur mit Schutzgehäuse
Sensor	PT1000 DIN A
Messbereich	-40°C ... +80°C
Genauigkeit (4,5 V DC ... 15 V DC)	± 0,1°C bei 20°C ±0,5°C bei -40°C 80°C Linearität
Auflösung	0,01°C
Länge der Sonde	180 mm
Reaktionszeit mit Schutzkappe	T90 <300 s bei 1 m/s Luftströmung T90 <250 s bei 2 m/s Luftströmung

4.1.4 Flügelradanemometer

Der Volumenstrom des Ventilators wurde mit einem Flügelradanemometer evaluiert.

⁷⁵ OTT HydroMet: Technische Daten OTT TRH – Luftfeuchte und Temperatur messen.

⁷⁶ Vgl. a.a.O.

Das Messgerät stammt von der Firma testo und trägt die Bezeichnung Klima-Messgerät testo 445. Es wurde zusammen mit einer Flügelrad-/Temperatur-Sonde verwendet. Die technischen Daten zum Messgerät (Tabelle 4.3) wurden den Unterlagen des Gerätes entnommen.⁷⁷

Tabelle 4.3 Technische Daten des Flügelradanemometers⁷⁷

Bezeichnung	testo 445 Klima-Messgerät mit Flügelrad-/Temperatur-Sonde
Flügelrad-Messbereich	0,6 m/s bis 60 m/s
Auflösung	0,01 m/s
Genauigkeit (0,6 bis 40 m/s)	$\pm (0,2 \text{ m/s} + 1\% \text{ v. Mw.})$
Genauigkeit (40,1 bis 50 m/s)	$\pm (0,2 \text{ m/s} + 2\% \text{ v. Mw.})$
Länge der Sonde	180 mm
Durchmesser der Sonde	16 mm



Bild 4.2 Foto des verwendeten Flügelradanemometers

⁷⁷ Vgl. testo: Technische Daten und Bedienungsanleitung zu testo 445 Klima-Messgerät mit Flügelrad-/Temperatur-Sonde.

4.1.5 Laserthermometer

Mittels Laserthermometer wurde die Oberflächentemperatur der Betonwände in den Gebäuden stichprobenartig gemessen.

Das Thermometer ist aus der Serie 50 II der Firma Fluke. Die Ungenauigkeit im gemessenen Temperaturbereich (über -100°C) entspricht $\pm [0,05\% \text{ v. Wert} + 0,3^{\circ}\text{C}]$ und wurde einem Datenblatt der Firma Fluke entnommen.⁷⁸

4.2 Messaufbau

4.2.1 Raumlufthtemperatur Innenraum

Die Messung der Raumlufthtemperatur erfolgte über Datenlogger, welche in jedem Versuchsraum und in den Vergleichsräumen platziert wurden. Wie in Bild 4.4 und Bild 4.5 dargestellt, befinden sich die untersuchten Räume im ersten und zweiten Stock des Gebäudes Inffeldgasse 16b.

Die Logger wurden in den jeweiligen Räumen auf einer Oberfläche abgelegt (siehe schematisches Messkonzept Bild 4.3). Durch die unterschiedliche Ausstattung der Räume wurden die Logger an unterschiedlichen Oberflächen nahe der Innenwand der Räume und in unterschiedlicher Höhenlage im Raum positioniert.

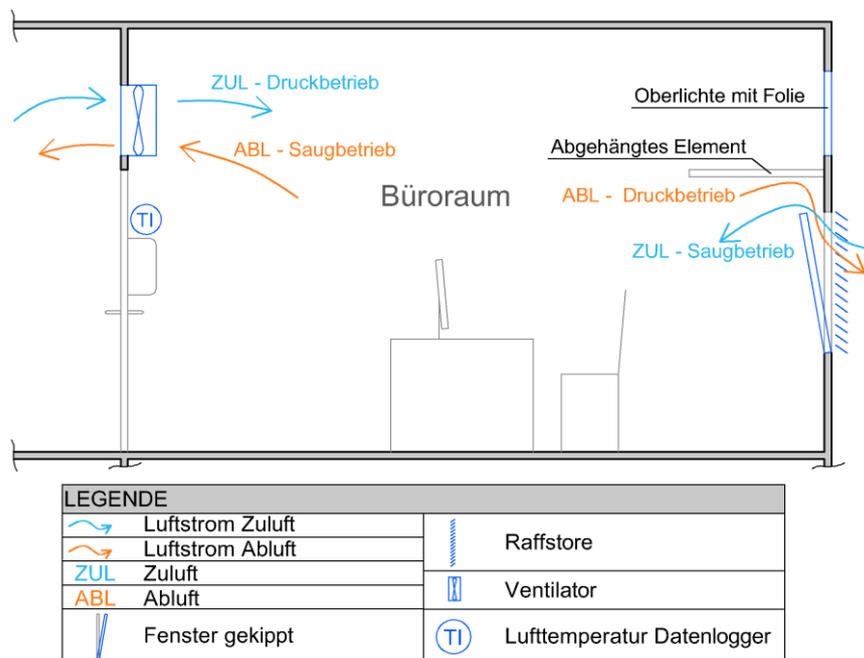


Bild 4.3 Beispielhafte Darstellung der Raumlufthtemperaturmessung

⁷⁸ Vgl. Fluke: Professionelle Temperaturmessungen Kontaktthermometer und berührungslose Thermometer von Fluke.

Darüber hinaus wurde zu Vergleichszwecken im zweiten Stock der Atrien im Mittelgang der Gebäude Inffeldgasse 16, 16a, 16b und 16c je ein Datenlogger an der Außenseite des Geländers eines Querganges befestigt. Dies erfolgte auch im 1.Stock des Gebäudes Inffeldgasse 16b. Die Datenlogger zeichneten im 30-Minuten-Takt von 19.06.2018 bis 02.10.2018 die Raumlufttemperaturen mit zugehöriger Uhrzeit auf. In Tabelle 4.4 ist die Zuordnung der Logger zu den jeweiligen Räumlichkeiten im Gebäude Inffeldgasse 16b sowie die Logger in den Nebengebäuden aufgelistet.

Tabelle 4.4 Zuordnung der Datenlogger zu den Räumlichkeiten im Testgebäude

Versuchsräume mit Ventilator		
Raum	Logger	Raumnutzung
IC01020	IG 16b M9	Büroraum
IC01052	IG 16b M3	Büroraum
IC01094	IG 16b M6	Büroraum
IC01120	IG 16b M2	Büroraum
IC01124	IG 16b M1	Büroraum
IC02010	IG 16b M8	Büroraum
IC02074	IG 16b M5	Seminarraum
IC02094	IG 16b M4	Büroraum
IC02100	IG 16b M10	Büroraum
IC02120	IG 16b M7	Büroraum

Vergleichsräume / Zusätzliche Messpunkte		
Raum	Logger	Raumnutzung
IC01086	IG 16 M1	Besprechungsraum
IC01100	IG 16 M7	Büroraum
IC02052	IG 16 M5	Büroraum
IC02116	IG 16 M4	Büroraum
Gang OG1	IG 16 M6	Atrium
Gang OG2	IG 16 M9	Atrium
Gang OG2 Inffeldgasse 16	IG 16 M3	Atrium
Gang OG2 Inffeldgasse 16a	IG 16 M2	Atrium
Gang OG2 Inffeldgasse 16c	IG 16 M10	Atrium

Die Standorte der Logger im Gebäude Inffeldgasse 16b aus Tabelle 4.4 sind in den Grundrissen in Bild 4.4 und Bild 4.5 dargestellt, wobei die orangen „V“ je einen Versuchsraum mit Logger, und die blauen „M“ je einen Messpunkt in den Vergleichsräumen beziehungsweise am Gang markieren.

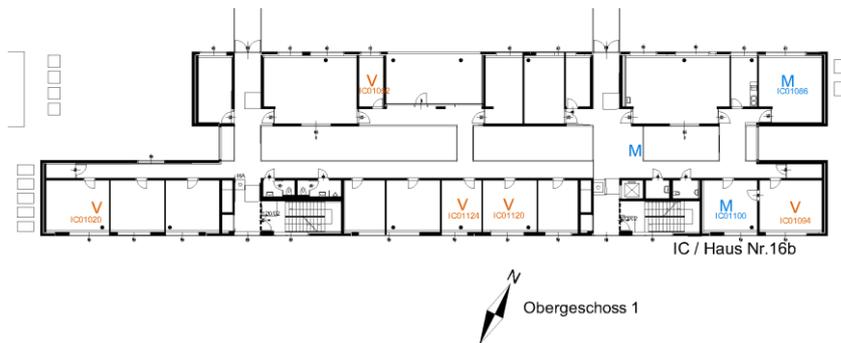


Bild 4.4 Grundriss Inffeldgasse 16b OG1, Standorte der Datenlogger



Bild 4.5 Grundriss Inffeldgasse 16b OG2, Standorte der Datenlogger

Die Raumlufttemperaturdaten des Erdgeschosses wurden den Daten der Firma EAM entnommen. Der Datenlogger der Firma EAM befindet sich in ca. 1m Höhe im Mittelgang des Erdgeschosses.

4.2.2 Lufttemperatur außen

Die Außenlufttemperatur wurde in der Stremayrgasse vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau gemessen und für die Auswertung herangezogen.

4.2.3 Oberflächentemperatur

Zum Vergleich der Gebäude 16 und 16b wurden in jedem Geschöß Oberflächentemperaturmessungen an den Betonoberflächen im Gang in ca. 1m Höhe über dem Fußboden am 25.07.2018 sowie am 03.08.2018, durchgeführt.

4.2.4 Volumenstrom

Der Volumenstrom der eingebauten Ventilatoren wurde mittels eines Testaufbaus mit einem Flügelradanemometer überprüft. Der Aufbau, wie im Messschema (Bild 4.6) zu sehen, besteht aus einem Wickelfalzrohr mit

32cm Innendurchmesser und 2m Länge, welches bei 1,92m durchbohrt wurde, um dort die Messung mit dem Anemometer durchzuführen.

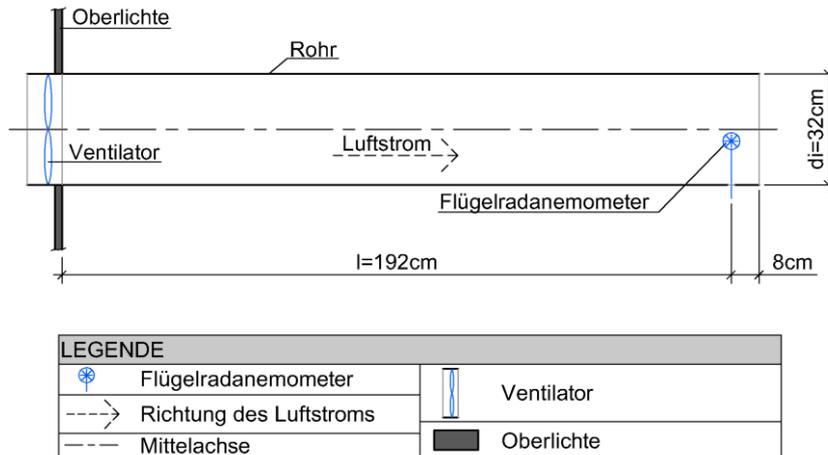


Bild 4.6 Messschema Volumenstrommessung

Der Innendurchmesser mit 32cm wurde nach der Größe des Ventilators gewählt, der Abstand mit 192cm bildet sich aus dem 6-fachen Durchmesser des Rohres, wie in dem Skriptum Messtechnik der Firma Siemens vorgeschlagen wird (siehe Bild 4.7).

So lieber nicht...

...aber so ist's gut!

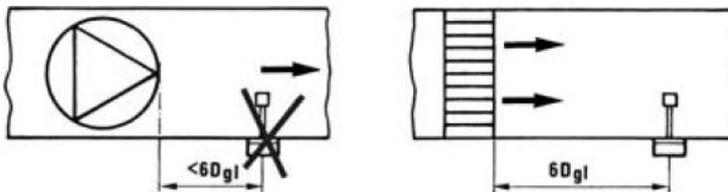


Bild 4.7 Auszug aus dem Skriptum Firma Siemens zur Volumenstrommessung⁷⁹

Der Versuch wurde mit der tatsächlich verbauten Lüftungsplatte durchgeführt. Der Anschluss des Wickelfalzrohres an den Ventilator wurde mit Klebeband abgedichtet. Der Versuch im Saugbetrieb ist in Bild 4.8 dargestellt.

⁷⁹ SIEMENS AG (2015): Messtechnik. S. 75



Bild 4.8 Foto des Aufbaus der Volumenstrommessung im Saugbetrieb

Zur Durchführung des Versuches im Druckbetrieb wurde die Laufrichtung des Ventilators umgedreht und das Wickelfalzrohr an der gegenüberliegenden Seite des Ventilators befestigt und abgedichtet. Der Druckbetrieb ist in Bild 4.9 dargestellt.



Bild 4.9 Foto des Aufbaus der Volumenstrommessung im Druckbetrieb

5 Messergebnisse

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Messdatenauswertung zusammengefasst.

5.1 Lufttemperaturen

Um eine Aussage über den Effekt der Maßnahmen auf die sommerliche Überhitzung zu treffen, wurden die gemessenen Innenraumlufttemperaturen und Außenlufttemperaturen graphisch aufbereitet und verglichen. Zur Auswertung der Raumlufttemperatur wurden die gemessenen Daten in die Software MATLAB übertragen und ausgewertet. Betrachtet wurde dabei der Lufttemperaturverlauf, aus welchem die Tagesmittellufttemperatur berechnet und die Lufttemperaturstunden summiert wurden. Nachstehend befindet sich eine kurze Beschreibung dieser Arten der Auswertung.

In allen Graphiken wurde eine strichpunktierte Linie bei einer Temperaturmarke von 26°C und eine punktierte Linie bei 28°C eingezeichnet. Die beiden Linien stellen die in Punkt 3.3.2 definierten Grenzwerte der Behaglichkeit dar.

Der Lufttemperaturverlauf, wie in Bild 5.1 dargestellt, bildet den Tagesverlauf der Lufttemperatur ab. Auf der Abszisse ist die Zeit (Uhrzeit und Datum) und auf der Ordinate die Lufttemperatur aufgetragen. Der Lufttemperaturbereich wird auf einen Bereich zwischen 13°C und 35°C beschränkt, da 13°C kaum unterschritten und 35°C nicht erreicht wurden.

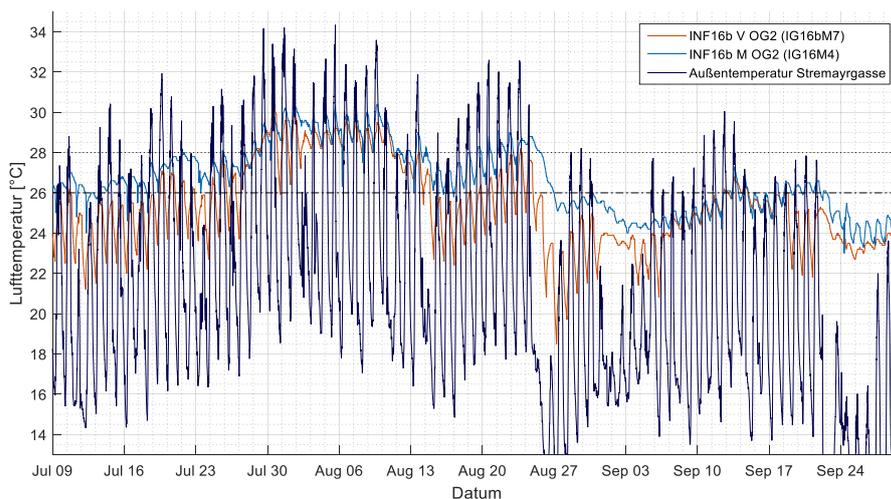


Bild 5.1 Lufttemperaturverlauf über die Gesamtetappe

Die Tagesmittellufttemperatur, wie in Bild 5.2 dargestellt, beschreibt das arithmetische Mittel der Lufttemperatur je Tag. Die Achsen sind gleich dem Lufttemperaturverlauf.



Bild 5.2 Tagesmittellufttemperatur über die Gesamtetappe

Die Lufttemperaturstunden, wie in Bild 5.3 dargestellt, geben die Summe der Stunden mit der jeweiligen Lufttemperatur (Lufttemperatur laut Achse $\pm 0,5^\circ\text{C}$) für den jeweiligen betrachteten Zeitraum als Balkendiagramm an. Auf der Ordinate ist die Anzahl der Stunden aufgetragen, während die Abszisse die jeweilige Lufttemperatur angibt.

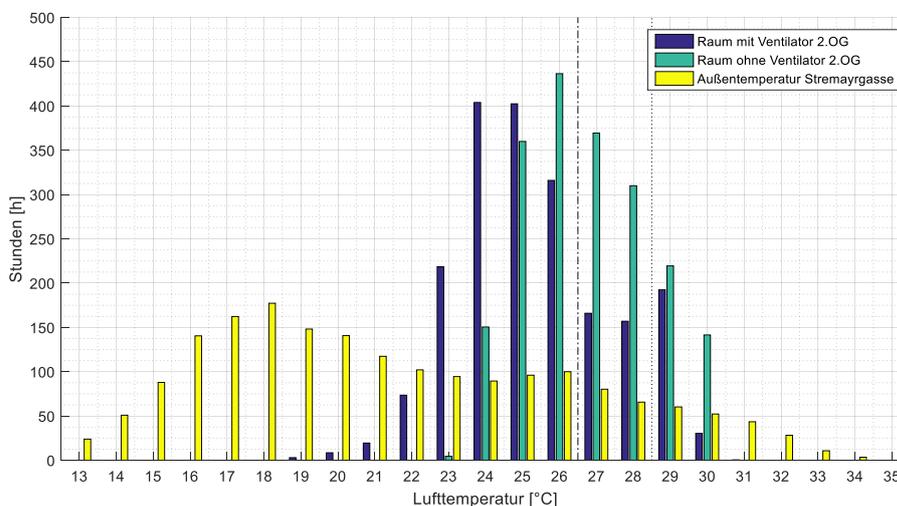


Bild 5.3 Lufttemperaturstunden über die Gesamtetappe

5.1.1 Wahl der betrachteten Perioden

Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wurde die Gesamtetappe, zur detaillierten Analyse der Messergebnisse, in kleinere Zeitperioden unterteilt. Es wurden drei kürzere Zeitperioden (mit einer Länge von je vier Tagen) der Gesamtetappe gewählt und kategorisiert. Die Zeitperioden wurden in zwei Kategorien, Hitzeperiode und Normalperiode, unterteilt.

Als Normalperiode wird hier eine Zeitperiode mit gemäßigter, sommerlicher Lufttemperatur bezeichnet. Als Hitzeperiode wird eine Zeitperiode während einer Hitzewelle bezeichnet, dafür wurden für den Druckbetrieb sowie den Saugbetrieb je eine Hitzeperiode gesondert ausgewertet.

Hierfür wurden ein Versuchsraum (Büroraum: IC02120) und ein Vergleichsraum (Büroraum: IC02116), welche aneinandergrenzend im zweiten Stock des Gebäudes Inffeldgasse 16b an einer südostseitigen Wand liegen, herangezogen. Die beiden Räume sind in Bild 5.4 rot umrandet.

Diese Räume wurden aus dem Grund gewählt, da sie, wie in Punkt 5.1.5 (Vergleich der Geschosse) und Punkt 5.1.6 (Vergleich der Ausrichtung) begründet, durch die südostseitige Ausrichtung und die Lage im zweiten Obergeschoss, hohe Raumlufttemperaturen erreichen.



Bild 5.4 Standort der beiden betrachteten Räume im zweiten Obergeschoss (rote Umrandung)

Um die Zeitperioden zu definieren, wurde in einem ersten Schritt der Verlauf der gemessenen Daten über die Gesamtetappe betrachtet, um den Zeitraum der Hitzewelle, welche während der Messungen stattfand, auszumachen. Die Hitzewelle ist in Bild 5.5 grün markiert.

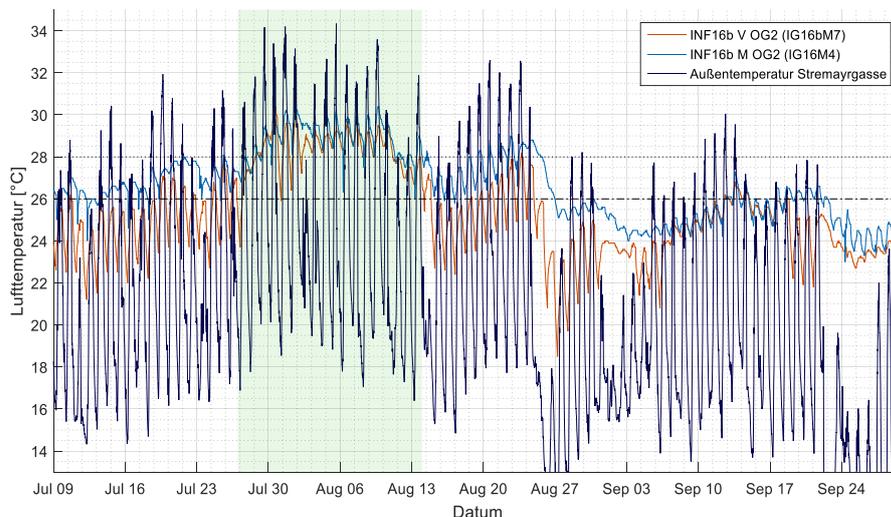


Bild 5.5 Lufttemperaturverlauf über die Gesamtetappe

In einem zweiten Schritt wurden die Tagesmittellufttemperaturen ermittelt und mit der zeitlichen Abfolge von Saug- und Druckbetrieb gegenübergestellt. Danach wurden drei Perioden gewählt (siehe Bild 5.6), welche in weiterer Folge genauer betrachtet wurden.

Diese Perioden bilden sich aus zwei Hitzeperioden, wobei eine im Druckbetrieb (blauer Bereich in Bild 5.6, 06.08.2018 bis 10.08.2018) und eine im Saugbetrieb (roter Bereich in Bild 5.6, 30.07.2018 bis 03.08.2018) stattfand sowie einer Normalperiode im Saugbetrieb (grüner Bereich in Bild 5.6, 16.07.2018 bis 20.07.2018).

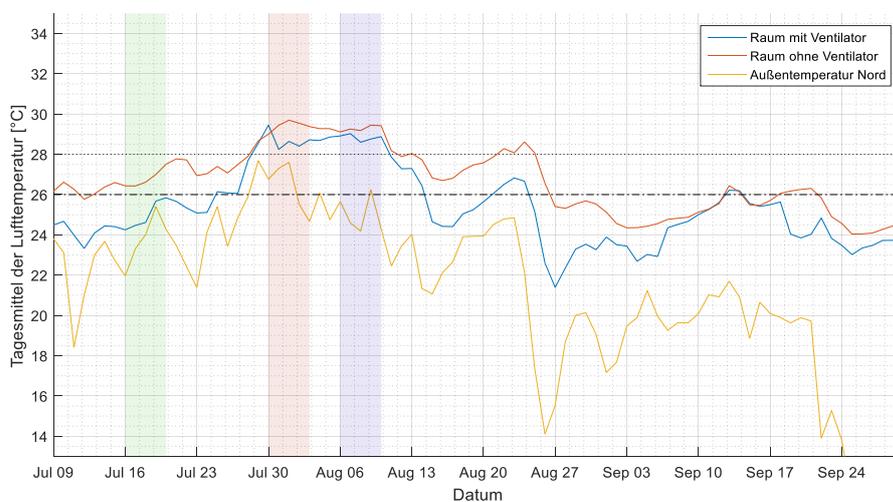


Bild 5.6 Tagesmittellufttemperatur über die Gesamtetappe

In Bild 5.7 sind die betrachteten Perioden und die Gesamtetappe zur Veranschaulichung auf einem Zeitstrahl aufgetragen.

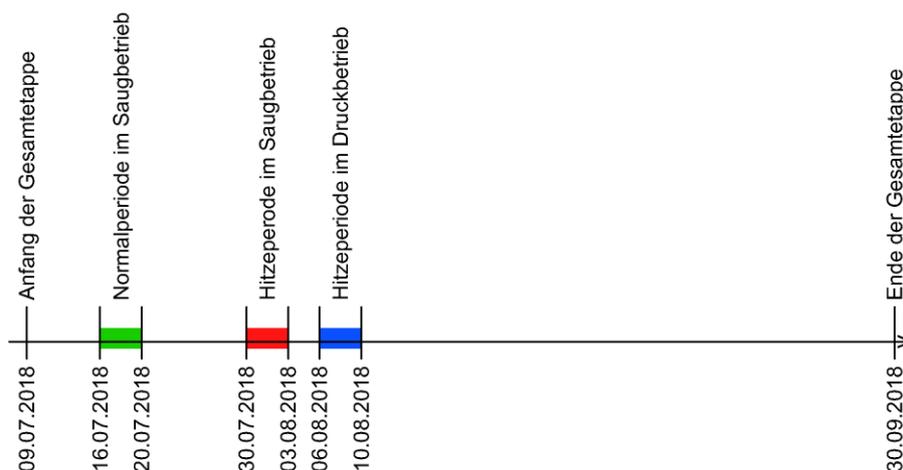


Bild 5.7 Darstellung der gewählten Perioden aus der Messung auf einem Zeitstrahl

5.1.2 Normalperiode, 16.07.2018 bis 20.07.2018

Der Zeitraum von 16.07.2018 bis 20.07.2018 wurde herangezogen, um die Funktion der Maßnahmen in einer sommerlichen, aber nicht extremen klimatischen Phase des Jahres zu bewerten.

Wie in Bild 5.8 dargestellt ist, fällt in dieser Zeitperiode die nächtliche Außenlufttemperatur auf 17°C bis 14,5°C ab, was auf die Abkühlung durch die nächtlichen Lüftungsmaßnahmen sehr förderlich wirkt. Hier steigt die Raumlufttemperatur in dem Versuchsraum mit Ventilator tagsüber kaum über 26°C, während im Vergleichsraum ohne Ventilator die Raumlufttemperatur nur während des morgendlichen Stoßlüftens unter 26°C absinkt.

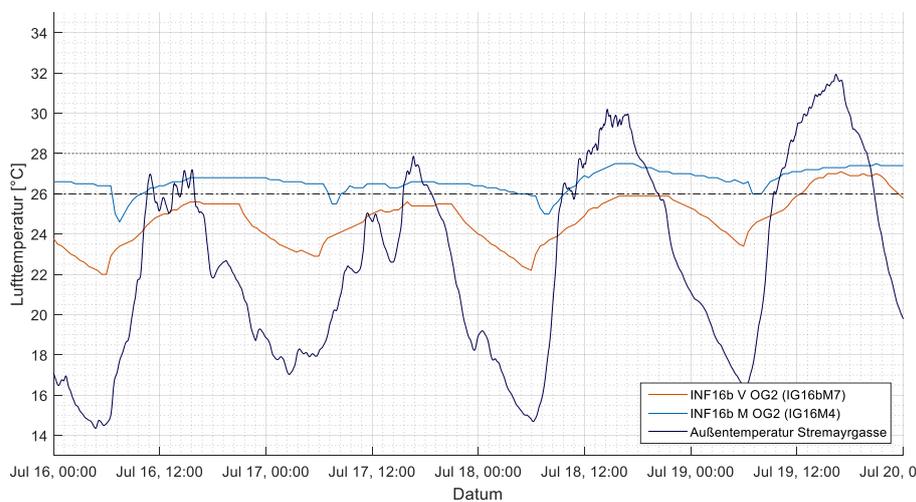


Bild 5.8 Lufttemperaturverlauf während der Normalperiode

In dem Bild 5.9 (ein Ausschnitt der Normalperiode) sind die markanten Punkte im Saugbetrieb markiert, welche auch in Bild 5.8 sowie in Bild 5.11 dargestellt sind.

Der Beginn der Nachtlüftung im Versuchsraum mittels Ventilator ist deutlich als Knick (roter Pfeil) erkennbar. Hier wird die Luft schnell ausgetauscht und gekühlt. Auch das Ende der Lüftung ist durch einen Knick (grüner Pfeil) erkennbar. Kurz nach Ende der Lüftung steigt die Raumlufttemperatur für eine kurze Zeitperiode schneller an, bis zu einem weiteren Knick (oranjer Pfeil), nach welchem sich der normale Tagesraumlufttemperaturverlauf fortsetzt. Der morgendliche stärkere Raumlufttemperaturanstieg ist darauf zurückzuführen, dass die zur Raumlufttemperatur verhältnismäßig höhere Oberflächentemperatur der umgebenden Bauteile die Luft wieder erwärmen. Die speicherwirksame Masse des Raumes wirkt zu dieser Zeit somit der Abkühlung entgegen. Der nächtliche Kühleffekt ist daher mit der Differenz zwischen dem ersten Knick (roter Pfeil) und dem dritten Knick (oranjer Pfeil), nach Wiedererwärmen der Raumlufttemperatur am Morgen, zu bewerten. Daher ist die Betrachtung der Lufttemperaturstunden, ohne die nächtlichen Effekte, sinnvoll (wie in Bild 5.10).

Der Raumlufttemperaturabfall in dem Diagramm des Vergleichsraumes, welcher morgens zu sehen ist (blauer Pfeil), resultiert aus der Nutzung. Der Raum wurde vom Nutzer, bei dessen Ankunft, stoßgelüftet. Der Effekt des morgendlichen Lüftens im Vergleichsraum endet nach deutlich kürzerer Zeit als die Nachtlüftung im Versuchsraum.

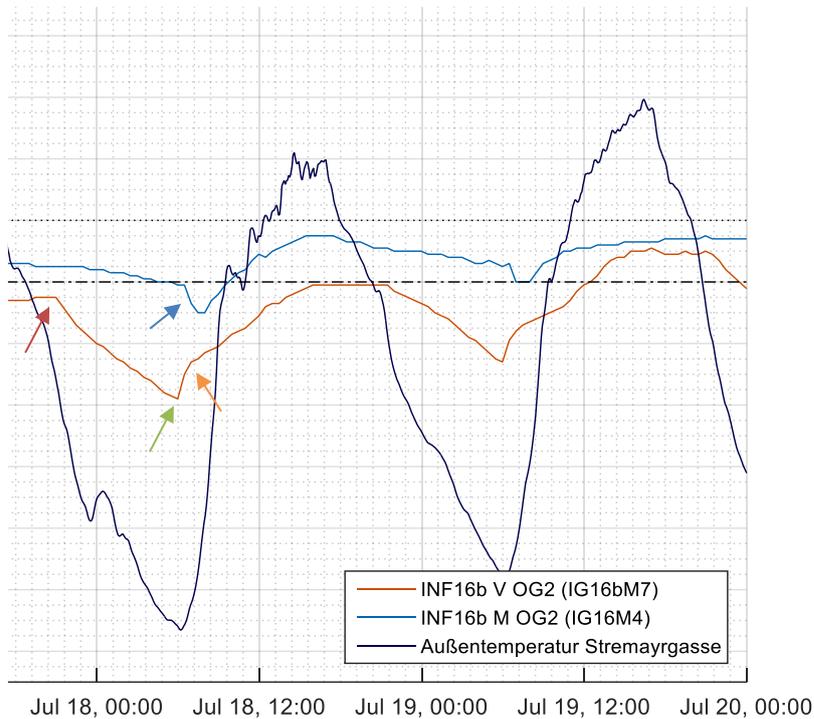


Bild 5.9 Markante Punkte des Lufttemperaturverlaufes im Saugbetrieb

In Bild 5.10 sind die Arbeitstag-Lufttemperaturstunden während der Normalperiode dargestellt. Der Versuchsraum mit Ventilator wies in 6 Stunden, während der Normalperiode, eine Raumlufttemperatur von über 26°C auf und lag während der restlichen Zeit bei 26°C oder darunter. Der Vergleichsraum ohne Ventilator wies während 31 Stunden eine Raumlufttemperatur von über 26°C auf.

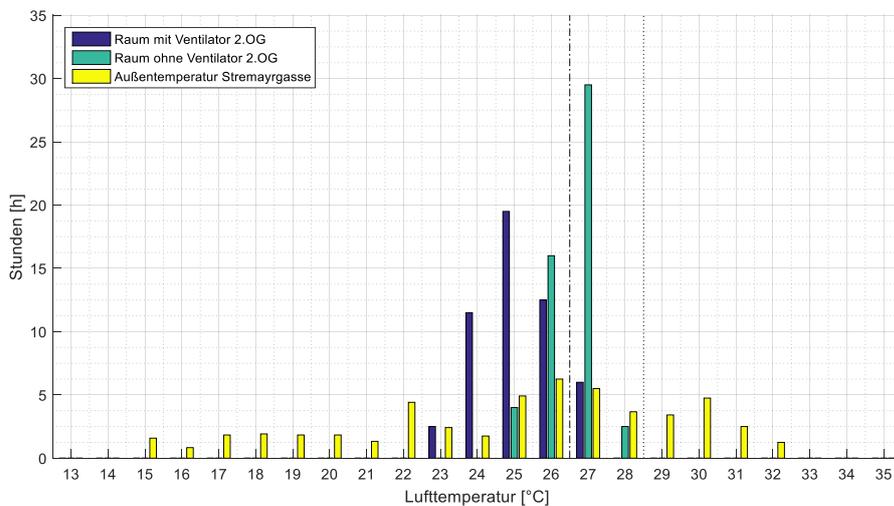


Bild 5.10 Arbeitstag-Lufttemperaturstunden in Normalperiode

In Anhang A.1.1 sind die Lufttemperaturstunden für Tag und Nacht angefügt.

Der deutlich messbare Unterschied zwischen den Räumen begründet sich durch den Saugbetrieb, wie auch in Abschnitt 5.1.3 zu erkennen ist. Der Versuchsraum, durch welchen die frische Außenluft geleitet wird, erfährt eine stärkere Abkühlung als der Vergleichsraum.

Während gemäßigten sommerlichen Phasen ist die Kühlwirkung der Außenluftkühlung im Saugbetrieb deutlich messbar und da die Raumlufttemperatur meist unter 26°C liegt, wird hier diese Kühlmethode als ausreichend angesehen.

5.1.3 Hitzeperiode Saugbetrieb, 30.07.2018 bis 03.08.2018

In dem Zeitraum von 30.07.2018 bis 03.08.2018 fand der Betrieb der Kühlung im Saugbetrieb, während einer Hitzeperiode statt.

Bild 5.11 zeigt, dass die Außenlufttemperatur in dieser Phase der Hitzeperiode nachts weniger signifikant absinkt als zuvor in der Normalperiode (Bild 5.8). Dadurch ist der Kühleffekt der nächtlichen Lüftung reduziert, was sich in der geringeren Temperaturdifferenz zwischen der Raumlufttemperatur des Versuchsraumes und des Vergleichsraumes widerspiegelt. Die im Versuchsraum höhere Raumlufttemperatur am 30.07.2018 (siehe Bild 5.11) ist auf die Nutzung während des Wochenendes (das Fenster wurde nicht gekippt, womit die aktive Durchströmung des Raumes während der Nachtstunden nicht gegeben war) zurückzuführen.

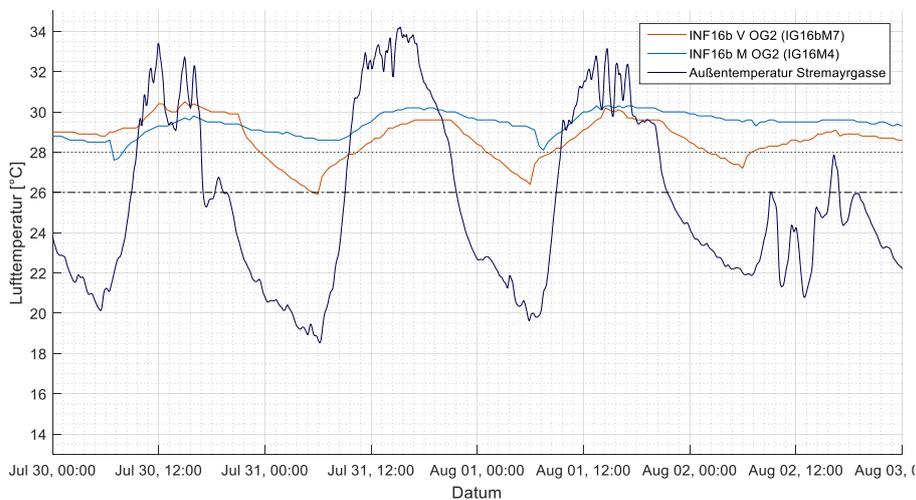


Bild 5.11 Lufttemperaturverlauf in der Hitzeperiode mit Saugbetrieb

Das Bild 5.12 zeigt, dass während der Arbeitstage in der Hitzeperiode im Saugbetrieb mit der mechanisch unterstützten Nachtlüftung, eine geringere Zeitdauer mit hoher Raumlufttemperatur erreicht wird, als im Vergleichsraum ohne Ventilator. Die Stunden mit der maximalen Temperatur von 30°C wurden im Vergleich zum Vergleichsraum halbiert.

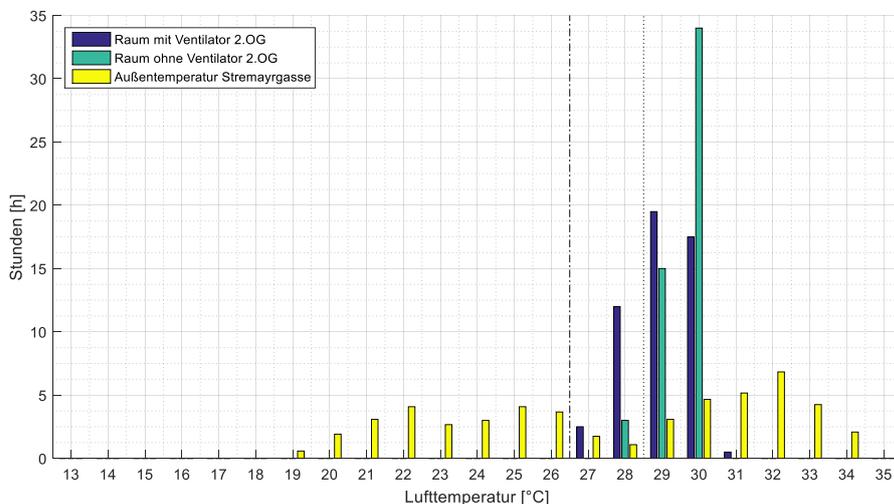


Bild 5.12 Arbeitstag-Lufttemperaturstunden in Hitzeperiode im Saugbetrieb

In Anhang A.1.2 sind die Lufttemperaturstunden für Tag und Nacht angefügt.

Obwohl hier eine deutlich messbare Verbesserung des Raumklimas vorliegt, wird in beiden Räumen der 28°C Grenzwert überschritten, was als eine unzureichende Verbesserung der klimatischen Situation bewertet wird.

5.1.4 Hitzeperiode Druckbetrieb, 06.08.2018 bis 10.08.2018

In der Zeitperiode vom 06.08.2018 bis 10.08.2018, wurde die Lüftung im Druckbetrieb während der Hitzeperiode durchgeführt. In der Nacht vom 06.08.2018 auf 07.08.2018 wurde der Druckbetrieb mit gekühlter Zuluft durchgeführt.

Der Lufttemperaturverlauf in Bild 5.13 zeigt, dass in dieser Phase mit Druckbetrieb, die Außenlufttemperatur nachts stärker abgesunken ist, als während der Phase im Saugbetrieb. Der höhere Kühleffekt im Versuchsraum im Vergleich zu dem Vergleichsraum ist in dieser Phase (siehe Bild 5.13) kaum erkennbar.

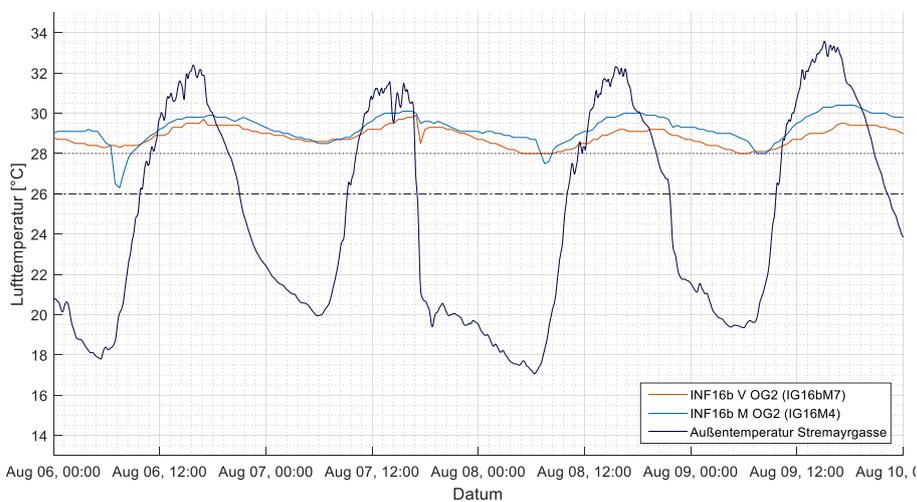


Bild 5.13 Lufttemperaturverlauf in Hitzeperiode im Druckbetrieb

In der Arbeitstag-Lufttemperaturstunden Auswertung (Bild 5.14) ist hingegen eine Verbesserung, durch den Ventilator im Versuchsraum, zum Vergleichsraum erkennbar.

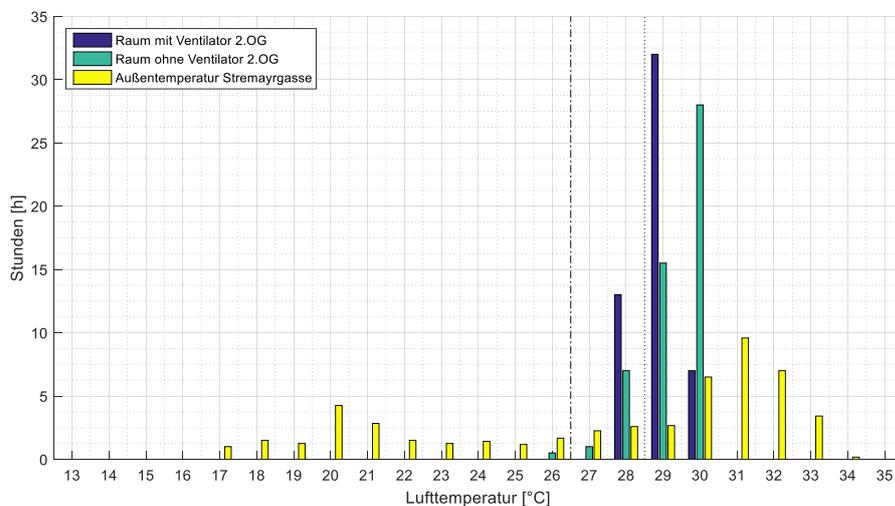


Bild 5.14 Arbeitstag-Lufttemperaturstunden in Hitzeperiode im Druckbetrieb

In Anhang A.1.3 sind die Lufttemperaturstunden für Tag und Nacht angefügt.

Die Differenz zwischen den Messräumen ist im Druckbetrieb deutlich geringer als im Saugbetrieb. Das erklärt sich dadurch, dass die kühle Außenluft nicht direkt durch das Büro geleitet wird, sondern zuvor durch das Atrium in der Mitte des Gebäudes, wo sie sich erwärmt, bevor sie die Messpunkte in den Büroräumen erreicht. Der Versuch des Betriebes mit gekühlter Zuluft, während der Nacht auf 07.08.2018 verursachte keinen erkennbaren Effekt. Die Raumlufttemperatur liegt in beiden Räumen meist über 28°C und die Kühlung ist somit als unzureichend zu bewerten.

Anzumerken ist, dass der Ventilator, wie in Abschnitt 5.3 dargestellt, im Druckbetrieb einen um 45% geringeren Volumenstrom erzeugt, als im Saugbetrieb.

5.1.5 Vergleich der Geschosse

Die Datenlogger in dem Mittelgang des Atriums, je einer im ersten und zweiten Stock sowie die Daten der Firma EAM aus dem EG (siehe Punkt 4.2.1), wurden für die Auswertung herangezogen.

In Bild 5.15 ist ein Anstieg der Stunden mit Raumlufttemperaturen über 26°C mit zunehmender Höhenlage der Geschosse festzustellen.

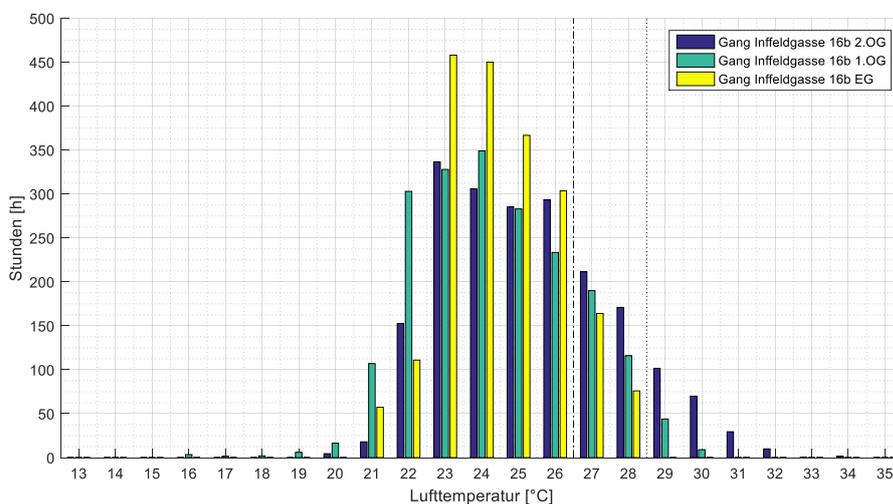


Bild 5.15 Lufttemperaturstunden, Vergleich der Geschosse

Das zweite Obergeschoss weist die höchste Raumlufttemperatur und somit die extremsten Bedingungen auf.

5.1.6 Vergleich der Ausrichtung

Um den Effekt der Ausrichtung auf die klimatische Situation im Gebäude zu bewerten, wurden zwei Versuchsräume im zweiten Obergeschoss gegenübergestellt. Der erste ist ein Büroraum, welcher an der Südostseite gelegen ist (Raum IC02120). Dieser Raum wurde für die Vergleiche in Punkt 5.1.1 bis 5.1.4 herangezogen. Der zweite Raum liegt an der Nordwestseite (Raum IC02074) und wird als Seminarraum genutzt. In Bild 5.16 ist zu sehen, dass der nordseitige Raum eine geringere Raumlufttemperatur aufweist.

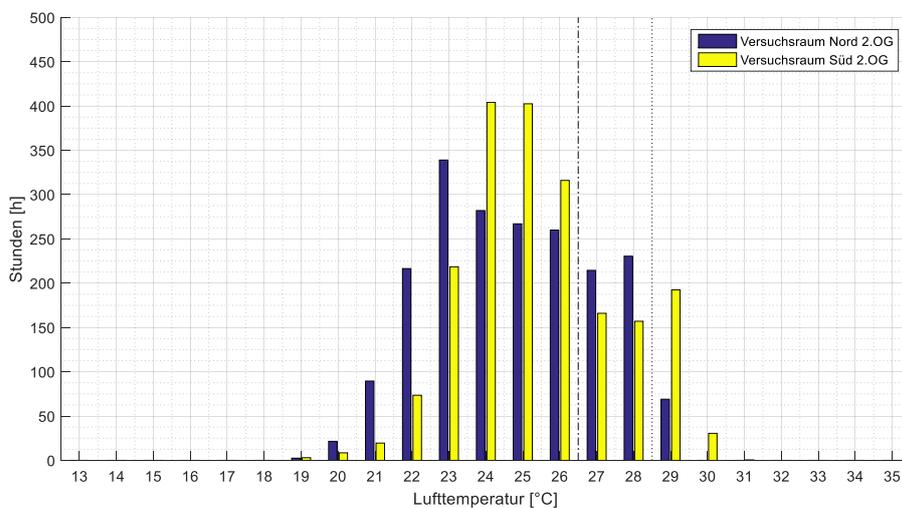


Bild 5.16 Lufttemperaturstunden, Vergleich der Ausrichtung, Tag und Nacht während der Gesamtperiode

Zu erkennen ist, dass der nordseitig gelegene Raum im Vergleich zum südseitigen deutlich weniger Stunden mit 29°C aufweist und diese Temperatur nie übersteigt. Im Allgemeinen liegen die Raumlufttemperaturen im nordseitigen Raum über die meiste Zeit in einem kühleren Bereich als im südseitigen Raum. Wie zu erwarten ist die nordseitige Lage in dieser Hinsicht als besser zu bewerten.

5.1.7 Vergleich zwischen den Gebäuden 16 und 16b

Um den Kühleffekt der Maßnahmen auf das Gesamtgebäude zu evaluieren, wurde es mit dem Nebengebäude Inffeldgasse 16 verglichen. Beide Gebäude haben dieselbe Ausrichtung und daher ähnliche Bedingungen (siehe Bild 5.17). In beiden Gebäuden wurde ein Datenlogger im zweiten Stock des Atriums platziert.

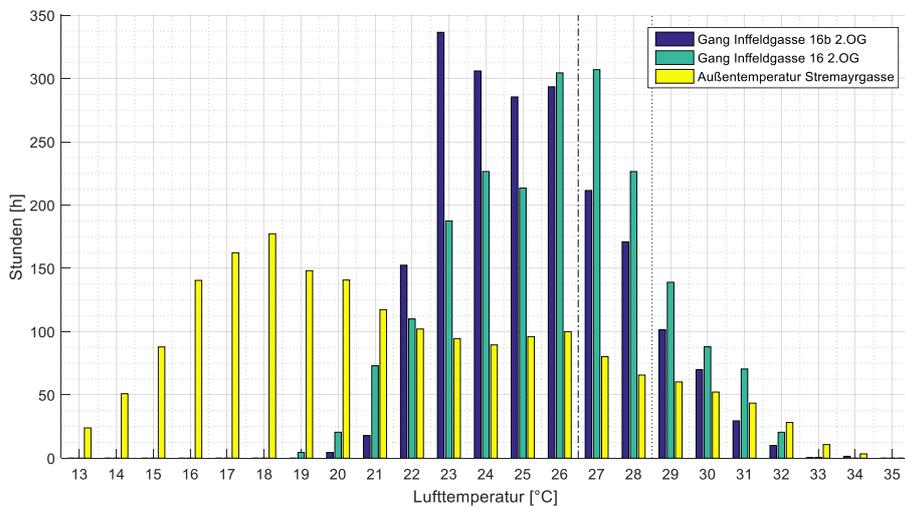


Bild 5.19 Lufttemperaturstunden Vergleich Gebäude 16 und 16b

Die Betrachtung der Raumlufthtemperatur in den Gängen ermöglicht die Evaluierung der Kühlwirkung der Summe aller ergriffenen Maßnahmen, im Vergleich zu einem Gebäude ohne Maßnahmen. Hier ist eine Verbesserung der Raumlufthtemperatur, vor allem in den Phasen ohne Hitzewelle, zu erkennen.

5.2 Oberflächentemperatur

Zu Vergleichszwecken wurden exemplarisch zwei Messungen der Oberflächentemperatur der Betonfläche in dem Gebäude 16 und 16b am 25.07.2018 und am 03.08.2018 in den in Tabelle 5.1 angeführten Geschossen durchgeführt.

Der Vergleich des Gebäudes Inffeldgasse 16b mit dem Nebengebäude Inffeldgasse 16 ergab, wie in Punkt 5.1.7 zu sehen, dass eine messbar kühlere Oberflächentemperatur im Gebäude 16b vorliegt. Bei Vergleich der Durchschnittsoberflächentemperaturen der Gebäude ergibt sich bei der ersten Messung eine um 1,6°C und bei der zweiten Messung um 1°C kühlere Oberflächentemperatur im Gebäude 16b.

Tabelle 5.1 Messung der Oberflächentemperatur

Messung 1 am 25.07.2018 - heiße Außentemperaturen leicht bewölkt		
Oberflächentemperatur	Stock & Gebäude	Durchschnitt des Gebäudes
26,3°C	2. OG IG16b	24,6°C
24,3°C	1. OG IG16b	
23,2°C	EG IG16b	
28,0°C	2. OG IG16	26,2°C
25,8°C	1. OG IG16	
24,9°C	EG IG16	
23,6°C	KG IG16b	
42,8°C	Außenw. Sonnenseite	
57,6°C	Asphalt	

Messung 2 am 03.08.2018 - heiße Außentemperaturen leicht bewölkt		
Oberflächentemperatur	Stock & Gebäude	Durchschnitt des Gebäudes
27,1°C	2. OG IG16b	26,1°C
25,9°C	1. OG IG16b	
25,3°C	EG IG16b	
27,7°C	2. OG IG16	27,1°C
26,8°C	1. OG IG16	
26,9°C	EG IG16	

5.3 Volumenstrommessung

In Tabelle 5.2 sind die Ergebnisse der Volumenstrommessung den erwarteten Werten aus dem technischen Datenblatt des Herstellers gegenübergestellt.

Aus den Daten der Tabelle 5.2 ist zu entnehmen, dass die Leistung des Ventilators im Druckbetrieb um 45% geringer ist, als im Saugbetrieb. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Ventilator in umgekehrter Richtung betrieben wurde. Daher weist der Druckbetrieb auch einen deutlich geringeren Luftwechsel als der Saugbetrieb auf (siehe Tabelle 5.3).

Tabelle 5.2 Ergebnisse der Volumenstrommessung und Werte des Herstellers⁸¹

Richtung	Messung	Laut Datenblatt
Saugbetrieb	1.074 m ³ /h	1.100 m ³ /h
Druckbetrieb	593 m ³ /h	700 m ³ /h

In Tabelle 5.3 sind die Luftwechselzahlen der im Rahmen der Auswertung näher betrachteten Versuchsräume angeführt, welche mit mechanischer Lüftung betrieben wurden. Die Luftwechselzahlen wurden auf Grundlage der gemessenen Volumenströme berechnet.

Tabelle 5.3 Luftwechselzahlen der näher betrachteten Versuchsräume berechnet mit dem gemessenen Volumenstrom

Raum	Saugbetrieb	Druckbetrieb
2.OG Süd (IC02120)	17,5 /h	9,7 /h
2.OG Nord (IC02074)	12,4 /h	6,8 /h

Die Volumenstrommessungen dienen der Modellierung des Ventilators in der Simulation.

⁸¹ Vgl. Soler & Palau: Technisches Datenblatt zu Fenster- und Wandventilator HV.

6 Randbedingungen der Simulation

Die Simulation dient zur Evaluierung einzelnen Maßnahmen. Dazu wurde die Software IDA ICE von EQUA in der Version 4.8 SP1 verwendet.

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) ist eine Software, welche den Energiebedarf und das Innenklima mittels eines Modells mit mehreren Zonen (Räume) ermittelt. Dabei können sowohl aktive als auch passive Heiz- und Kühlmaßnahmen berücksichtigt werden.⁸²

Die Simulation der Software IDA ICE wird anhand eines dreidimensional modellierten Gebäudes durchgeführt. Die einzelnen Räume des Gebäudes werden hierbei als Zonen modelliert. Die Software berücksichtigt Kopplungseffekte zwischen den Zonen. Diese Kopplungseffekte bewirken eine Umlagerung der Temperaturen zwischen den Zonen. Dadurch ist die Abbildung mehrerer Zonen den realen Räumen ähnlicher, als bei Modellen, in denen nur eine einzelne Zone betrachtet wird.⁸³ Für die Simulation wird ein geeigneten Klimadatensatz für das Außenklima verwendet. Interne Lasten, wie elektrische Anlagen und anwesende Personen, werden für jede Zone angegeben und berücksichtigt. Die speicherwirksamen Massen des Gebäudes gehen in die Berechnung ebenfalls ein. Die Wärmespeicherung und der Temperaturverlauf in den Bauteilschichten werden von IDA ICE mittels finiten Elementen berücksichtigt.⁸⁴ Weitere Massen, wie Möblierung und Trennbauteile innerhalb der Zone, werden in jeder Zone gesondert angegeben.

6.1 Modellbildung

Die Modellbildung in IDA ICE erfolgt graphisch in zweidimensionalen Grundrissen und einem dreidimensionalem Modell.

6.1.1 Geometrie

Als Grundlage zur Bildung der Geometrie wurden Pläne aus dem Jahr 1995 sowie Brandschutzpläne im CAD-Format auf dem Stand des Jahres 2013 herangezogen. Die geometrische Modellierung gliedert sich in zwei Teile. Als erstes wurde das Gebäudemodell und danach das Zonenmodell erstellt, welchem Fensterflächen und Türen zugeordnet wurden.

⁸² Vgl. EDER, K. (2017): Interaction of Building Envelope and Cooling Ceilings – System Analysis and System Modeling.. S.5

⁸³ Vgl. EQUA SIMULATION AB (2018): DIN 4108-2 Nachweise mit IDA ICE_ Schnell, realistisch, rechtsicher (Webinar) . at: https://www.youtube.com/watch?v=jch6tPo8qOw&list=PLiyWmurrMD13nJPJN_4a39acEHZmRp3UA&index=24&t=0s. Datum des Zugriffs 20.08.2019. ab Minute 27:20

⁸⁴ Vgl. EQUA SIMULATION AB (2016): Sommerliche Simulationen – passive Kühlung. at: https://www.youtube.com/watch?v=ytANIQ0vClc&list=PLiyWmurrMD13nJPJN_4a39acEHZmRp3UA&index=13&t=0s. Datum des Zugriffs 20.08.2019. ab Minute 3:40

6.1.1.1 Gebäudemodell

Das Gebäudemodell gibt die Außengrenzen des Gebäudes an und besteht aus einem dreidimensionalen Körper, wie in Bild 6.1 dargestellt. Das Gebäudemodell wird benötigt, um die Raumflächen der Zonen als Außen- oder Innenfläche zuzuordnen. Im Gebäudemodell wurden alle Geschosse komplett erfasst.

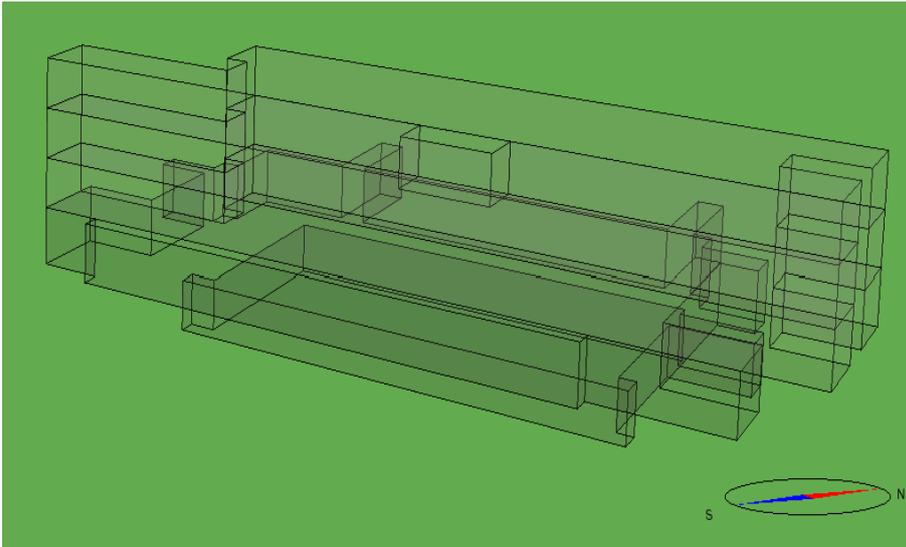


Bild 6.1 Gebäudemodell der Simulation, 3D Körper des gesamten Gebäudevolumens des Gebäudes Inffeldgasse 16b

6.1.1.2 Zonenmodell

Die Zonen des Zonenmodells werden zur Berechnung herangezogen. Es wurden die Räume des Gebäudes modelliert, welche für die Berechnung relevant sind (siehe Bild 6.2). Die oberirdischen Geschosse wurden vollständig, mit jedem Raum, im Zonenmodell abgebildet. Das Kellergeschoss wurde nur zum Teil abgebildet. Da das Kellergeschoss für den Versuch nicht relevant ist, wurde nur die drei Verbindungsgänge von den Hörsälen zum Rest des Gebäudes modelliert, um die Lüftung der Hörsäle im Druckbetrieb abzubilden.

Die Zonen wurden größtenteils als Quader vereinfacht modelliert. Die Modellierung als Quader ermöglichen eine präzisere Berechnung des Programmes in einem detaillierten Zonenmodell.

Zonen über mehrere Geschosse und die über die Höhe des Raumes auftreten Temperaturunterschiede können nur annähernd berechnet werden. Um diese Situation möglichst adäquat abzubilden, wurden das über drei Geschosse reichende Atrium im Mittelgang, die Stiegenhäuser sowie die Galerie, mit welcher das Kellergeschoss mit dem Erdgeschoss verbunden ist, als rechteckige Quader modelliert. Zusätzlich wurde der Temperaturunterschied in der Höhe als Gradient berücksichtigt. Beide Maßnahmen wurden von der Firma EQUA empfohlen.

Es ergibt sich ein Modell mit 102 Zonen.

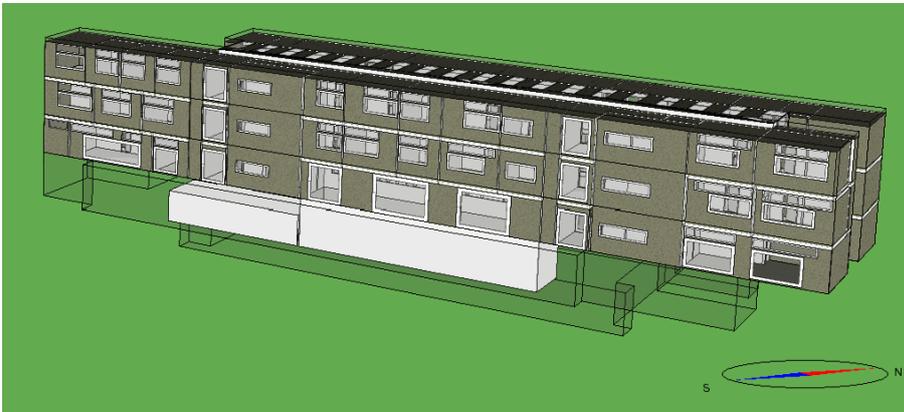


Bild 6.2 Zonenmodell mit Fenster und Türen

6.1.1.3 Nebengebäude

Die umliegenden Nebengebäude wurden abgebildet (siehe Bild 6.3), um deren Verschattung auf das Gebäude zu erfassen. Dazu wurden die Außenwände der Nebengebäude, welche dem Gebäude Inffeldgasse 16b am nächsten liegen, abgebildet.



Bild 6.3 IDA ICE Modell in 3D Darstellung mit Wänden der Nachbargebäude

6.1.2 Ressourcen

Die Eingabe aller Bauteile, wie zum Beispiel Fenster, Wandaufbauten, Zeitsteuerung und Lüftung, wird in IDA ICE als Ressource bezeichnet. Die getätigten Eingaben werden hier näher erläutert.

6.1.2.1 Bauteilaufbauten

Die Bauteilaufbauten wurden der im Jahr 1997 durchgeführten Simulation⁸⁵ zur Betrachtung der sommerlichen Überhitzung entnommen und sind In Anhang B.5 angefügt.

6.1.2.2 Fenster

Die Fenster und Oberlichten wurden gemäß der Simulation aus 1997⁸⁶ modelliert. Die Eingaben für das Glas sind in den Screenshots aus IDA ICE in Bild 6.4 und Bild 6.5 dargestellt und entsprechen der Simulation aus 1997⁸⁶. Das Glas „Isolierglas“ (Bild 6.4) wurde gemäß der Simulation aus 1997⁸⁶ für die Oberlichten und die großen Fixverglasungen der Stirnseiten angewandt. Die restlichen Glasflächen wurden mit 2-WSW Argon (Bild 6.5) modelliert. Die Abmessungen stammen aus den Brandschutzplänen mit Stand 2013.

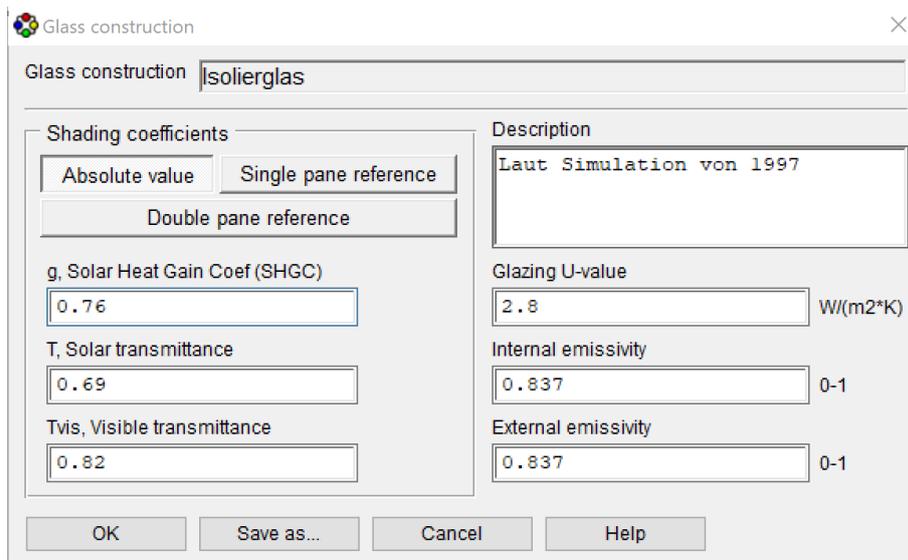


Bild 6.4 Screenshot der Eingabe der Glaseigenschaften des Isolierglases in IDA ICE

⁸⁵ Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDESIMULATION. S. 24ff (Berechnung)

⁸⁶ Vgl. a.a.O. S. 33f (Berechnung)

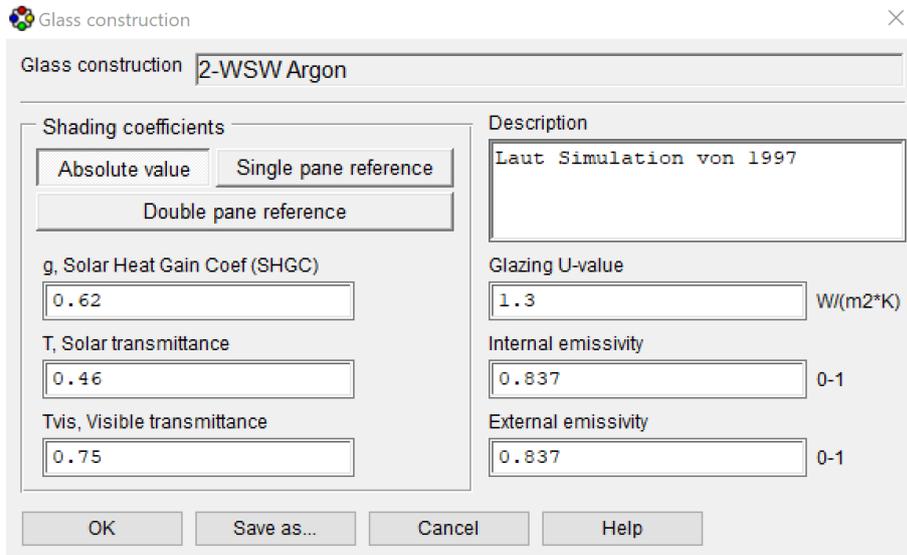


Bild 6.5 Screenshot der Eingabe der Glaseigenschaften des 2-WSW Argon Glases in IDA ICE

Die Fenster sind nur geöffnet, wenn die Außenlufttemperatur kleiner als die Raumlufttemperatur der Zone ist und die Raumlufttemperatur der Zone größer als 22°C ist. Das Kontrollschema, welches in Bild 6.6 dargestellt ist, definiert diese Grenzwerte. Der Öffnungszyklus (Schedule) der Fenster steuert das Öffnen der Fenster, wenn die Grenzwerte eingehalten sind.

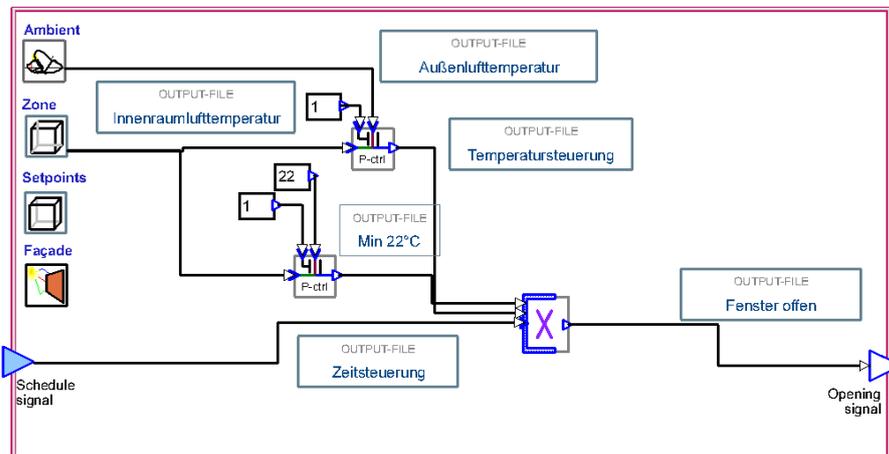


Bild 6.6 Kontrollschema der Fenster

Der Schedule der Fenster wurde für die Räume ohne Ventilator so erfasst, dass die Fenster nachts sowie am Wochenende gekippt (eine Öffnung von 25%) und werktags von 7 bis 17 Uhr vollständig geöffnet sind. Das Bild 6.6 zeigt den Schedule in welchem dieses Verhalten definiert wurde.

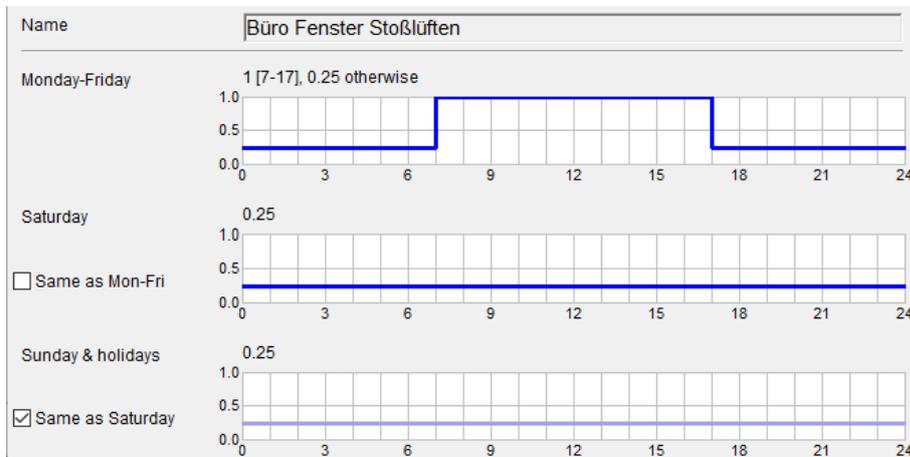


Bild 6.7 Schedule der Bürofenster bei manuellem Stoßlüften

Für den Betrieb mit Ventilator werden die Fenster der Räume, während des Betriebes des Ventilators, als geschlossen gesetzt (siehe Schedule Bild 6.8). Die Zuluft im Saugbetrieb, bzw. die Abluft im Druckbetrieb wird dabei über die Air Handling Unit (AHU) geführt, welche die Lüftungsfunktion des Fensters übernimmt. Die AHU dient dabei als Ventilator.

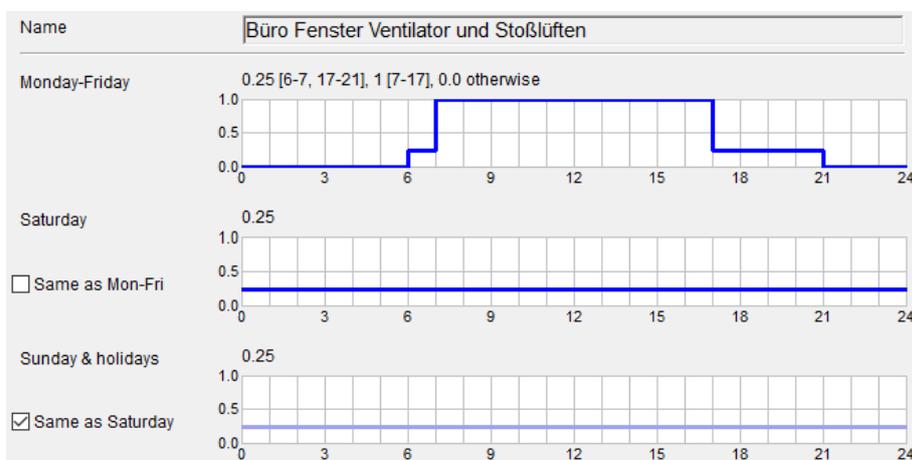


Bild 6.8 Schedule der Bürofenster bei manuellem Stoßlüften mit mechanisch unterstützter Nachtlüftung

6.1.2.3 Lüftungsklappen und Ventilator

Die Lüftungsklappen in den Türstürzen wurden als Türen modelliert, welche permanent zu 25% geöffnet sind (Der Schedule ist In Anhang B.1 angefügt).

Für den Fall in dem ein Ventilator die Lüftungsklappe ersetzt, wurde die Lüftungsklappe als Tür modelliert, welche während des Betriebes des Ventilators von 21 bis 6 Uhr vollständig geöffnet und ansonsten geschlossen ist (der Schedule ist in Anhang B.2 angefügt). Der Volumenstrom des

Ventilators wird in der Simulation von der AHU bewerkstelligt (siehe Bild 6.9). Die AHU übernimmt dabei den Luftvolumenstrom des Fensters in Höhe des gemessenen Luftvolumenstroms des Ventilators. Im Saugbetrieb versorgt die AHU den Raum mit $1.074\text{m}^3/\text{h}$ an Außenluft. Im Druckbetrieb saugt die AHU aus dem Raum $593\text{m}^3/\text{h}$ an Luft ab. Durch das vollständige Öffnen der Lüftungsklappe und das Schließen der Fenster bewegt sich der Luftvolumenstrom durch die Lüftungsklappe und simuliert dadurch den Ventilator.

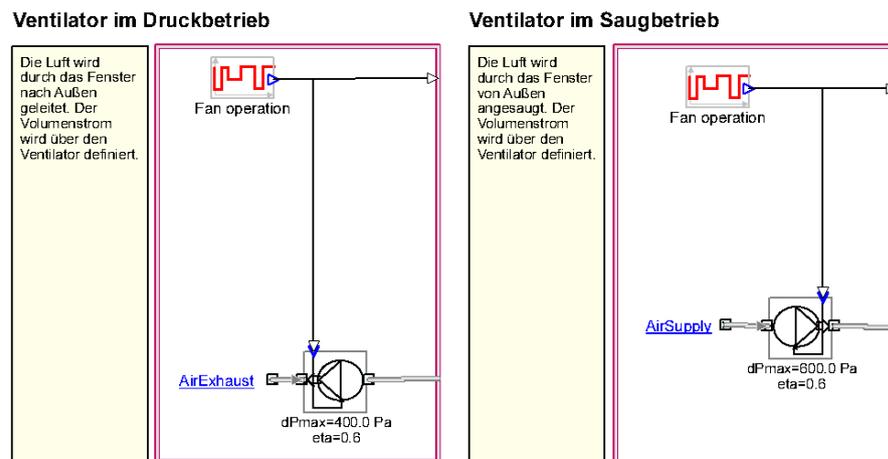


Bild 6.9 Betriebsschema der AHU bei Betrieb als Ventilator im Druckbetrieb links und im Saugbetrieb rechts

6.1.2.4 Lüftungsanlagen der Hörsäle

Die Lüftungsanlagen in den Hörsälen wurden für den Druckbetrieb genutzt. Zur Simulation der Lüftungsanlagen wurde eine AHU definiert, die der AHU des Ventilators im Saugbetrieb im Aufbau gleicht (siehe Bild 6.9). Die AHU wird mit einer Zeitsteuerung von 22 Uhr bis 5 Uhr betrieben (der Schedule ist in Anhang B.2 angefügt). Die Zuluft der AHU in den Räumen im Kellergeschoss wurde gemäß der Angaben zu den Zuluftanlagen der Firma EAM mit $5.400\text{ m}^3/\text{h}$ für den kleinsten Hörsaal, mit $6.800\text{ m}^3/\text{h}$ für den mittleren Hörsaal und mit $13.000\text{ m}^3/\text{h}$ für den größten Hörsaal angesetzt.

6.1.2.5 Türen

Die Eingangstüren und die Türen in das Stiegenhaus wurden als Fenster modelliert, da diese verglast sind. Das Öffnen dieser Türen wird zeitgesteuert. Der Schedule ist in Bild 6.10 dargestellt.

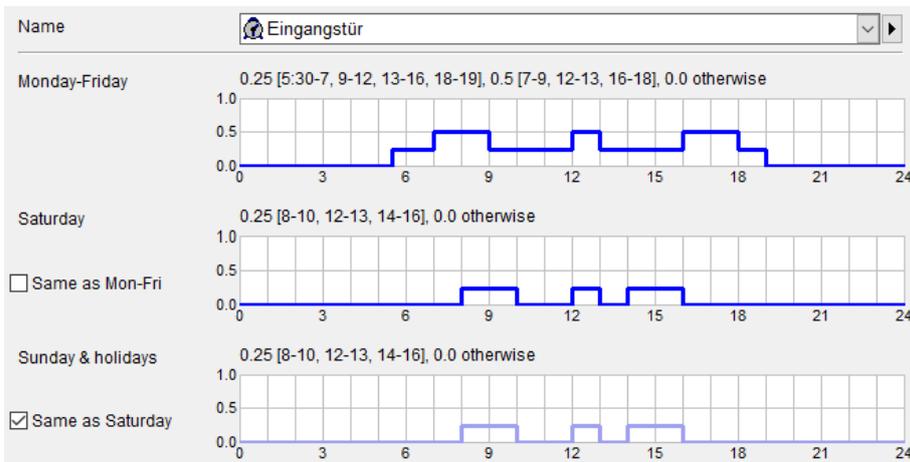


Bild 6.10 Schedule der Eingangstüren und Stiegenhaus Türen

Die restlichen Innentüren wurden gemäß der Simulation aus dem Jahr 1997⁸⁷ als Türen ohne Glas modelliert. Das Öffnen der Türen erfolgt zeitgesteuert nach dem Schedule, welcher in Bild 6.11 dargestellt ist.

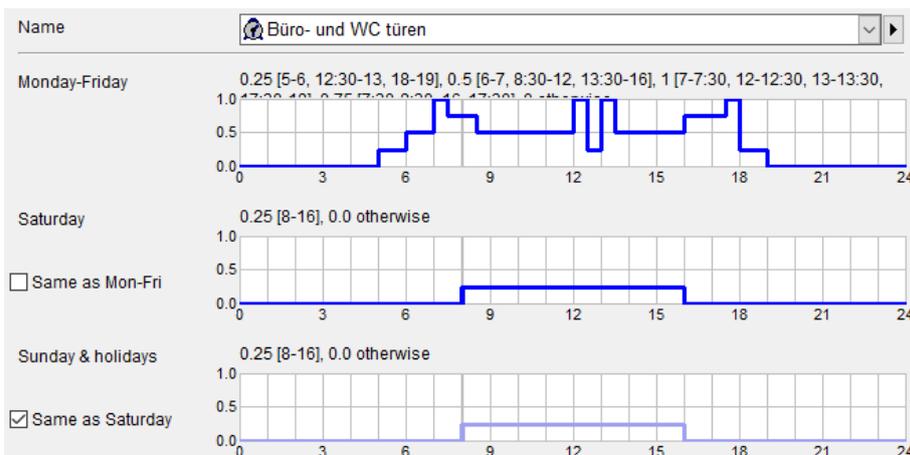


Bild 6.11 Schedule der Innentüren

6.1.2.6 Interne Lasten und Massen

Als interne Lasten wurden die Angestellten, die Gebäudeausstattung sowie die Beleuchtung zeitgesteuert erfasst. Der Schedule ist In Anhang B.3 angefügt. Es wurde je eine Person pro 10m² angenommen. Jeder Person wurde ein Gerät mit 75W und eine Beleuchtungseinheit mit 100W zugewiesen.

Die Wege und die Brüstungen im Atrium des Gebäudes wurden als Wandmassen in der Zone der Simulation berücksichtigt.

⁸⁷ Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Infieldgründe GEBÄUDESIMULATION. S. 32 (Berechnung)

6.1.2.7 Verschattung

Die im Rahmen der Maßnahmen umgesetzten Verschattungen der Fenster und Lichtkuppeln wurden für die Varianten Verschattungsmaßnahmen, Saugbetrieb und Druckbetrieb in der Simulation berücksichtigt. Die Verschattungen wurden als externe Verschattung in der Simulation erfasst. Die Verschattungen werden nicht gesteuert und sind daher immer geschlossen.

6.1.3 Klimadaten

Die im Rahmen der Messung erfassten Klimadaten sind nicht umfassend genug im diese in der Simulation anzuwenden. Daher wurden durchschnittliche Klimadaten der Software verwendet.

Die Software IDA ICE bietet Klimadaten von vier verschiedenen Datenbanken zur Verwendung an. Von den vier Datenbanken können insgesamt zwei unterschiedliche Datensätze für den Standort Graz bezogen werden. Die beiden Datensätze wurden von dem National Climatic Data Center (Vereinigte Staaten von Amerika) erfasst und von der American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) vertrieben. Beide Datensätze werden als International Weather for Energy Calculation (IWEC) bezeichnet, wobei der zweite Datensatz (IWEC2) die neuere Version der Klimadaten darstellt und daher aktuellere Daten umfasst. Die Klimadaten werden hier näher betrachtet, für die Simulation wurde der neuere Datensatz (IWEC2) herangezogen und ist in der Software als AUT_GRAZ-THALERHOF-FLUG_112400(IW2) bezeichnet.

Der Klimadatensatz bildet typische Wetterdaten ab und ist zur Nutzung mit Energie-Simulations-Programmen wie IDA ICE gedacht. Die Daten liegen für 3.012 Standorte außerhalb der Vereinigten Staaten von Amerika und Kanada vor. Die Daten wurden in einem Zeitraum von mindestens 12 bis 25 Jahren erfasst.⁸⁸

In Bild 6.12 sind die Tagesmitteltemperaturen der Außenlufttemperatur beider Datensätze sowie der gemessenen Außenlufttemperatur über die Gesamtperiode dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die gemessene Außenlufttemperatur ein extremeres Klima abbildet, da die Datensätze sich auf Durchschnittswerte begründen, das gemessene Jahr 2018 allerdings überdurchschnittlich heiß war. Daher sind weniger extreme Lufttemperaturen durch die Simulation zu erwarten, als während der Messung erfasst wurden.

⁸⁸ Vgl. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-international-weather-files-for-energy-calculations-2-0-iwec2>. Datum des Zugriffs: 28.08.2019.

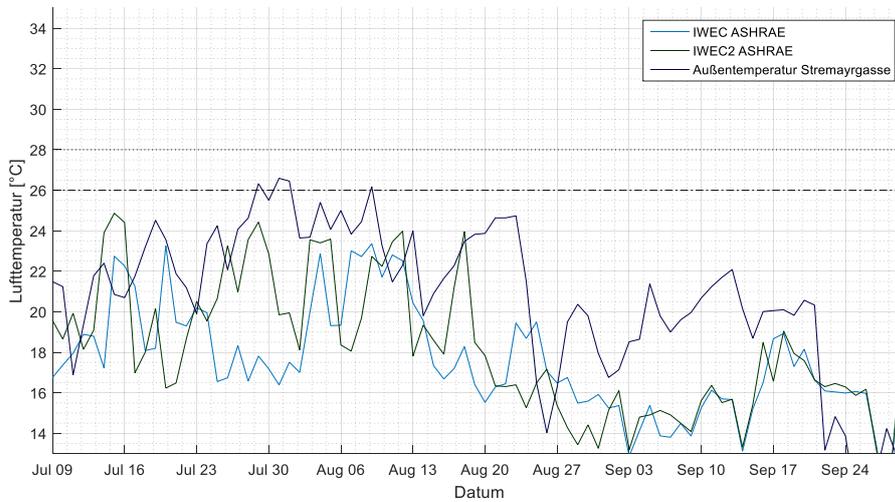


Bild 6.12 Tagesmittel der Außenlufttemperatur der Klimadatensätze und der gemessenen Außenlufttemperatur über die Gesamttappe

Bei Betrachtung der Lufttemperaturstunden über die Gesamttappe (Bild 6.13) ist zu erkennen, dass der zweite Klimadatensatz (IWEC2) dem gemessenen Klima ähnlicher ist, da der erste Datensatz weniger hohe Temperaturen beinhaltet. Dennoch bildet auch der zweite Datensatz ein deutlich kühleres Klima ab, als die gemessenen Daten.

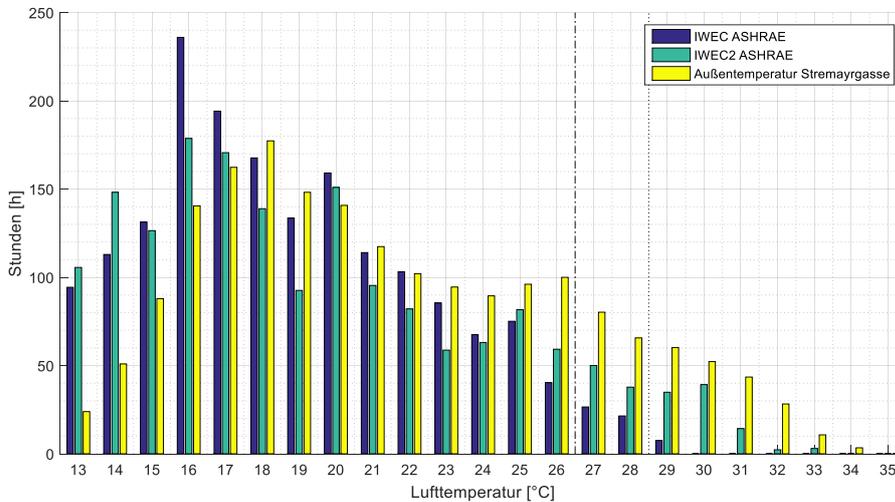


Bild 6.13 Lufttemperaturstunden der Außenlufttemperatur-Klimadatensätze und der gemessenen Außenlufttemperatur über die Gesamttappe Tag und Nacht

Der Temperaturverlauf der beiden Datensätze im Vergleich zu den gemessenen Daten ist in einem Diagramm In Anhang B.4 angefügt.

6.2 Varianten der Simulation

Es wurden vier verschiedene Varianten untersucht, welche auf den jeweils vorhergehenden Varianten aufbauen. Hier werden die Änderungen von

einer zur jeweils nächsten Variante beschrieben, da die Eingabe der Varianten in die Simulationssoftware ebenfalls durch eine Mutter – Tochter Vererbung erfolgt und nur die Änderungen gespeichert werden.

6.2.1 Ohne Maßnahmen (Mutter Modell)

In dieser Variante wurde das Gebäude ohne Maßnahmen simuliert. Das bedeutet mit Lüftungsklappen, ohne AHU (ohne Ventilator oder Zuluftanlage der Hörsäle) und ohne Beschattung. Diese Variante ähnelt der Variante 1 der Simulation aus dem Jahr 1997⁸⁹.

6.2.2 Verschattungsmaßnahmen (Tochter von: ohne Maßnahmen)

Für diese Variante wurden die Maßnahmen zur Verschattung angewandt, ohne die Lüftungssituation zu ändern. Das bedeutet, dass die Fenster mit einer außenliegenden Verschattung und die Oberlichten mit einer Folie versehen wurden. In der Simulation aus dem Jahr 1997⁸⁹ wurde eine ähnliche Untersuchung in Variante 3 durchgeführt.

6.2.3 Saugbetrieb (Tochter von: Verschattungsmaßnahmen)

In der Variante Saugbetrieb wurden die Versuchsräume mit dem AHU Ventilator im Saugbetrieb versehen und die Zeitsteuerung der Fenster und der Lüftungsklappe angepasst. Die Zuluft der AHU in den einzelnen Räumen wurde gemäß den Messungen mit 1074m³/h angegeben. Die Abluft der AHU wurde auf 0 gesetzt. Diese Variante entspricht am ehesten der Variante 6 aus der Simulation aus dem Jahr 1997.⁹⁰

6.2.4 Druckbetrieb (Tochter von: Saugbetrieb)

In der Variante Druckbetrieb wurde die AHU in den Versuchsräumen durch den AHU Ventilator im Druckbetrieb ersetzt. Die Zuluft der AHU wurde auf 0 und die Abluft wurde gemäß den Messungen auf 593m³/h gesetzt. Zusätzlich wurde eine AHU in den Räumen, welche den Hörsäle vorgelagert sind, eingefügt. Diese Variante entspricht ebenfalls am ehesten der Variante 6 der Simulation aus dem Jahr 1997⁹⁰.

⁸⁹ Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDE-SIMULATION. S. 2f (Berechnung)

⁹⁰ Vgl. a.a.O. S. 2f (Berechnung)

7 Simulationsergebnisse

Die Ergebnisdaten der Simulation wurden zur Auswertung mit der Software MATLAB aufbereitet. Die Auswertung der Simulation wurde ähnlich der Auswertung der Messung durchgeführt, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Betrachtet wurden deshalb die Zonenraumlufthtemperaturen und die Außenlufttemperatur. Außerdem wurden dieselben Räumlichkeiten des Gebäudes Inffeldgasse 16b herangezogen, welche bereits zur Auswertung der Messung betrachtet wurden. In den Räumen treten, aufgrund ihrer Lage an der Südostseite im zweiten Obergeschoss Temperatur-Extremwerte auf. Die betrachteten Räumlichkeiten der Simulation sind die Zone 93, welche dem Versuchsraum der Messung (Bürraum: IC02120) entspricht und die Zone 92, welche dem Vergleichsraum der Messung (Bürraum: IC02116) entspricht.

Zur besseren Auswertung der Simulationsdaten wurden, gleich wie bei der Auswertung der Messdaten, die Gesamtetappe mit den gleichen Datums-grenzen (09.07.2018 bis 30.09.2018) betrachtet sowie kürzere Zeitperioden gewählt. Diese kürzeren Perioden wurden wieder, angelehnt an die Auswertung der Messung, als Hitzeperiode und Normalperiode gewählt und haben dieselbe Länge der Perioden in der Messauswertung.

In Bild 7.1 ist die Legende der Lufttemperaturverläufe der Simulationsauswertung angeführt. Die Ergebnisdiagramme der Simulation wurden für die unterschiedlichen Varianten immer mit denselben Farben versehen. Die durchgehenden Linien stellen den Versuchsraum (V) und die strichlierten Linien stellen den Vergleichsraum (M) in der jeweiligen Variante der Simulation dar. Zusätzlich wird die Außenlufttemperatur des gewählten Wetterdatensatzes der Simulation dargestellt, welche für alle simulierten Varianten dieselbe ist. In der Gegenüberstellung der Messung mit der Simulation sind die Ergebnisse der Messung (Raumlufthtemperatur und Außenlufttemperatur) strichpunktirt dargestellt.

—	Ohne Maßnahmen V
- - -	Ohne Maßnahmen M
—	Verschattungsmaßnahmen V
- - -	Verschattungsmaßnahmen M
—	Saugbetrieb V
- - -	Saugbetrieb M
—	Druckbetrieb V
- - -	Druckbetrieb M
—	Außenlufttemperatur

Bild 7.1 Legende der Lufttemperaturverläufe in der Auswertung der Simulation

7.1 Wahl der betrachteten Perioden zum Vergleich

In Bild 7.2 und Bild 7.3 sind die gewählten Perioden markiert. Die Normalperiode ist blau markiert und erstreckt sich von 17.07.2018 bis 21.07.2018. Die Hitzeperiode ist gelb markiert und erstreckt sich von 02.08.2018 bis 06.08.2018. Es wurde nur eine Hitzeperiode gewählt und betrachtet, da die Simulation über die Gesamtetappe für jede Variante durchgeführt wurde und Daten aus Saug- und Druckbetrieb für dieselbe Hitzeperiode vorliegen. Der Bereich der Hitzeperiode wurde gewählt, da in dieser Zeit die nächtlichen Lufttemperaturen nur geringfügig gesunken sind.

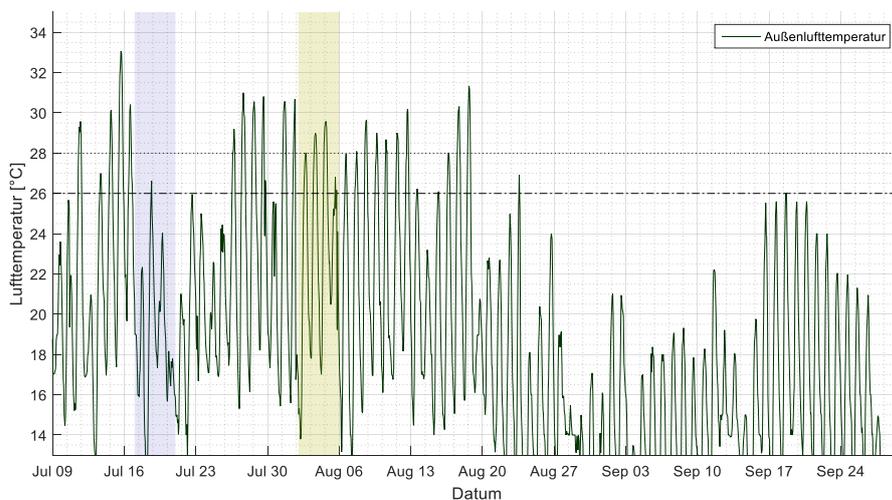


Bild 7.2 Temperaturverlauf der Außenlufttemperatur der Simulation über die Gesamtetappe, die Normalperiode wurde blau und die Hitzeperiode gelb markiert

In Bild 7.3 ist zu erkennen, dass die Hitzewelle durch kühlere Tage unterbrochen wird. Eine solche Unterbrechung trat während der Messungen nicht auf.

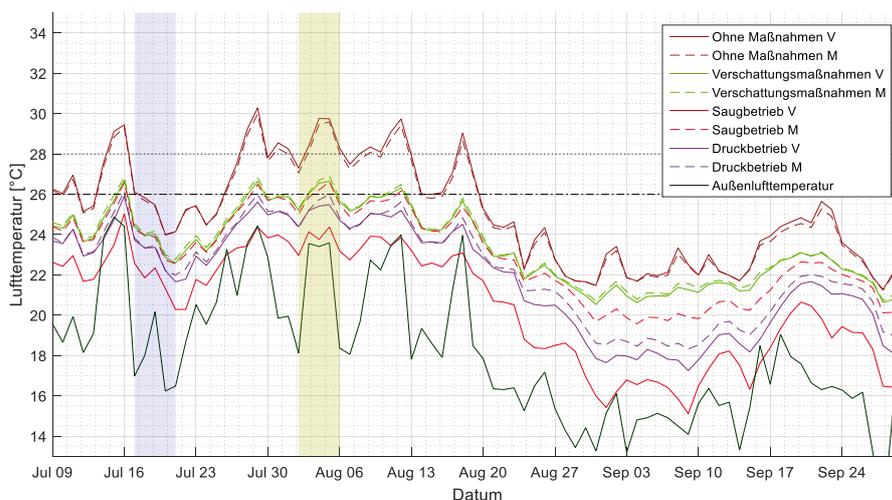


Bild 7.3 Tagesmitteltemperaturverlauf aller Varianten der Simulation, über die Gesamtetappe, die Normalperiode blau und der Hitzeperiode gelb

7.2 Plausibilisierung des Modells

Eine Validierung der Simulation durch Messdaten war nicht möglich, da kein vollständiger gemessener Klimadatensatz des Jahres 2018 für die Simulation zur Verfügung stand. Zur qualitativen Plausibilisierung wurde eine Vorgehensweise gewählt, bei der zwei Perioden der Messung und der Simulation mit ähnlichen Außenlufttemperaturverläufen gegenübergestellt wurden. Es wurden die Raumlufttemperaturverläufe verglichen, um eine grundsätzliche qualitative Ähnlichkeit zu erkennen und dadurch grobe Abweichungen der Simulation von dem realen Gebäude auszuschließen.

Um zwei Perioden mit ähnlicher Außenlufttemperatur zu finden, wurden die durchschnittlichen Außenlufttemperaturen aller ausgewerteten Zeitperioden berechnet und verglichen (siehe Tabelle 7.1). Die durchschnittliche Außenlufttemperatur der Messung ist um 1,9°C bis 3,8°C wärmer als die der Simulation. Da zur Auswertung der Messung zwei Hitzeperioden (eine im Saugbetrieb und eine im Druckbetrieb) betrachtet wurden, liegen für die Hitzeperiode der Messung zwei unterschiedliche durchschnittliche Außenlufttemperaturen vor.

Tabelle 7.1 durchschnittliche Außenlufttemperatur der Messung und Simulation in verschiedenen Perioden

	Hitzeperiode	Normalperiode	Gesamtetappe
Außenluft Messung	25,5°C Saugb. 24,9°C Druckb.	22,5°C	20,8°C
Außenluft Simulation	23,0°C	18,7°C	18,4°C

Die Plausibilisierung erfolgt durch den Vergleich der Hitzeperiode der Simulation und der Normalperiode der Messung, da zwischen diesen mit 0,5°C die kleinste Abweichung der durchschnittlichen Außenlufttemperaturen vorliegt. Beide Perioden werden im Saugbetrieb gegenübergestellt, da die Normalperiode der Messung im Saugbetrieb erfasst wurde. In Bild 7.4 ist der Vergleich der Lufttemperaturverläufe dargestellt. Im Vergleich der beiden Kurven zeigen sich qualitative Ähnlichkeiten im Tagesverlauf.

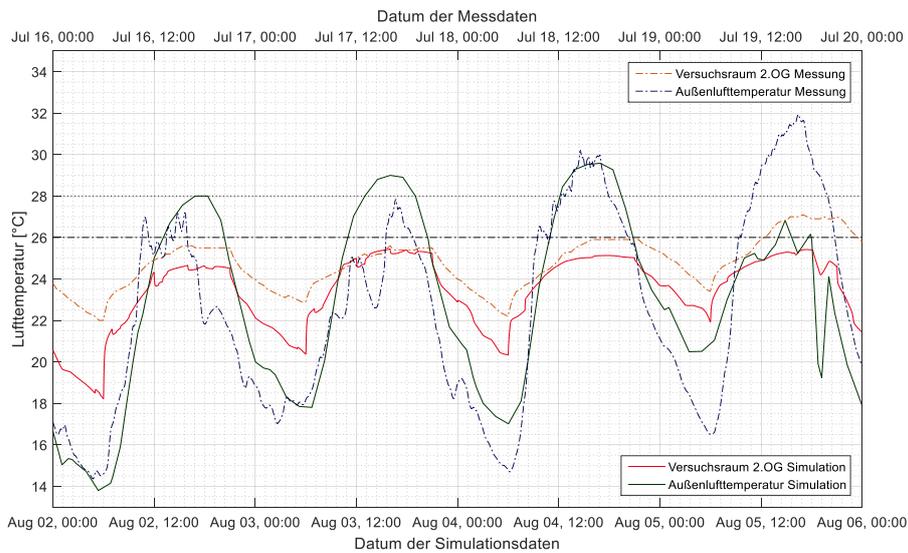


Bild 7.4 Lufttemperaturverlauf im Vergleich zwischen Hitzeperiode im Saugbetrieb der Simulation und Normalperiode im Saugbetrieb der Messung

Das Bild 7.5 zeigt die Temperaturdifferenz zwischen dem Vergleichsraum und dem Versuchsraum. Dabei zeigt sich, dass eine zumindest qualitative Ähnlichkeit im Vergleich der Kurven zwischen Messung und Simulation vorliegt. Somit erscheint das Simulationsmodell dahingehend geeignet, relative Vergleiche zwischen den betrachteten Varianten durchzuführen.

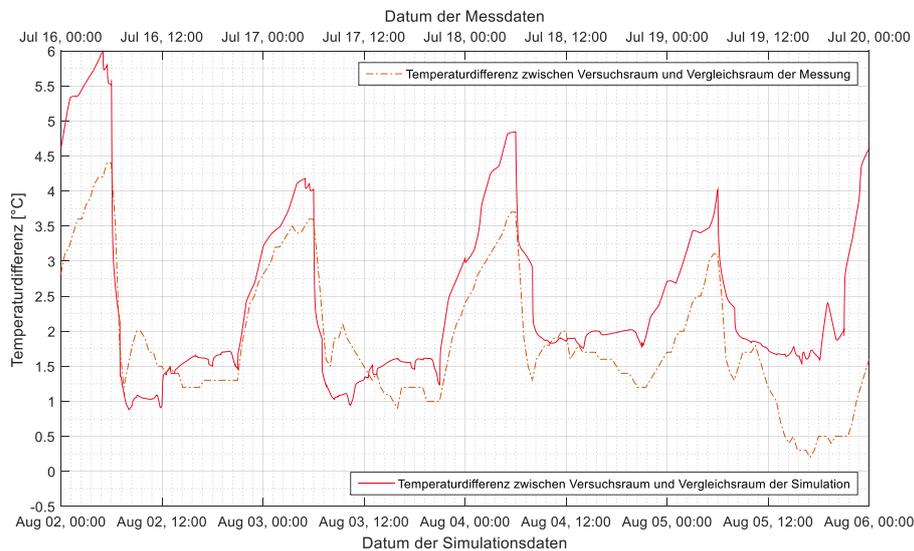


Bild 7.5 Temperaturdifferenz zwischen Vergleichsraum und Versuchsraum im Vergleich der Messung und der Simulation

7.3 Vergleich der Varianten und Beurteilung der Maßnahmen

Zur Beurteilung der Maßnahme werden die vier Varianten genauer betrachtet und verglichen.

Zusätzlich zu der Auswertung der Daten in Form von Diagrammen wurden zur Auswertung der einzelnen Varianten im Programm IDA ICE farbliche Darstellungen der Raumlufthtemperatur erstellt. Dazu wurde die Animations-Funktion verwendet. In diesen Darstellungen wird der 04.08.2018 um 15:00 Uhr betrachtet, da zu diesem Zeitpunkt vergleichsweise hohe Lufttemperaturen auftreten. Die Temperaturskala reicht von 24°C (blau) bis 28°C (rot). Die Temperaturskala ist in Bild 7.6 dargestellt.

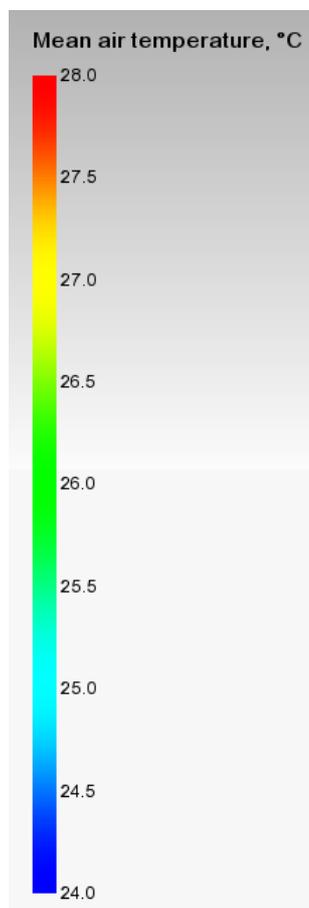


Bild 7.6 Darstellung der verwendeten Temperaturskala, von 24°C (blau), über 26°C (grün) bis 28°C (rot)

Der Grundriss in Bild 7.7 stellt das zweite Obergeschoss dar. Die Versuchsräume sind mit einem „V“ markiert. Die beiden umrahmten Räume werden in den Diagrammen der MATLAB-Auswertung näher betrachtet. Die Räume sind der Versuchsraum und der Vergleichsraum im zweiten Obergeschoss, welche zuvor zur Auswertung der Messung herangezogen wurden. Die beiden Räume sind in jeder Grundriss- und Schnittdarstellung, in welchen diese zu sehen sind, mittels Rahmen markiert. Der Versuchsraum verfügt bei den beiden Varianten mit mechanischer Lüftung

über einen Ventilator. Der Vergleichsraum verfügt in jeder Variante über dieselbe Ausstattung und wird herangezogen, um den Einfluss der Maßnahmen auf das gesamte Gebäude zu bewerten, auch auf Räume ohne Ventilatoren.

Die drei mit „S“ markierten kleinen Räume bilden Schächte ab (zwei Technischschächte und ein Aufzugschacht) und bleiben für die Auswertung unberücksichtigt, da die Raumlufttemperatur darin keine Auswirkung auf Personen hat.

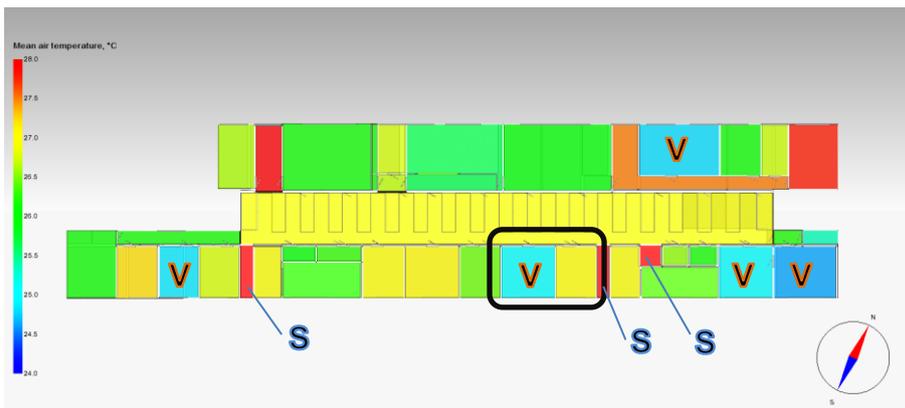


Bild 7.7 Farbliche Darstellung der Raumlufttemperatur, Grundriss des 2.OG der Variante Saugbetrieb, Versuchsräume mit V und Schächte mit S markiert

Der Grundriss in Bild 7.8 stellt den Grundriss des 1.Obergeschosses dar. Die Versuchsräume sind mit einem V und die Schächte mit S markiert.

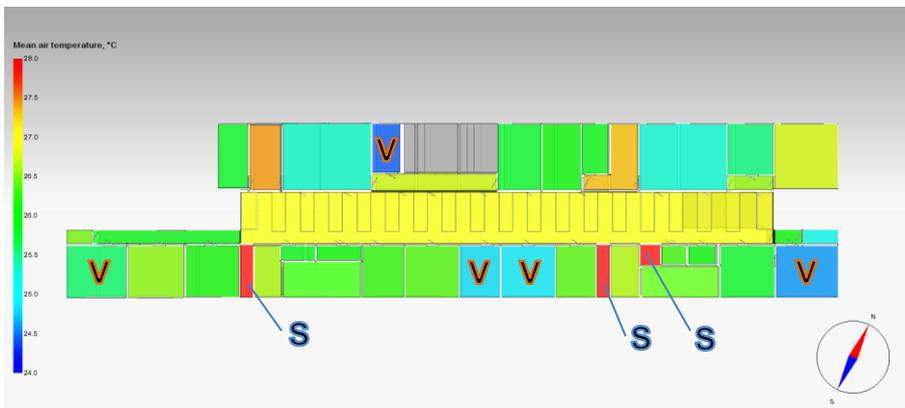


Bild 7.8 Farbliche Darstellung der Raumlufttemperatur, Grundriss des 1.OG der Variante Saugbetrieb, Versuchsräume mit V und Schächte mit S markiert

7.3.1 Variante ohne Maßnahmen

Die Variante ohne Maßnahme stellt eine Simulation des Gebäudes, wie es bis zur Umsetzung des Versuches im Sommer 2018 ausgestattet war, dar.

Das Bild 7.9 zeigt eine dreidimensionale Darstellung des IDA ICE Modells in der Variante ohne Maßnahmen, mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperaturen. In allen einsehbaren Räumen wird der obere Grenzwert der Temperaturskala von 28°C überschritten.



Bild 7.9 3D Ansicht der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

Das Bild 7.10 zeigt den Grundriss des zweiten Obergeschosses der Variante ohne Maßnahmen. Es zeigt sich, dass der 28°C Grenzwert in jedem Raum des zweiten Obergeschosses überschritten wurde.

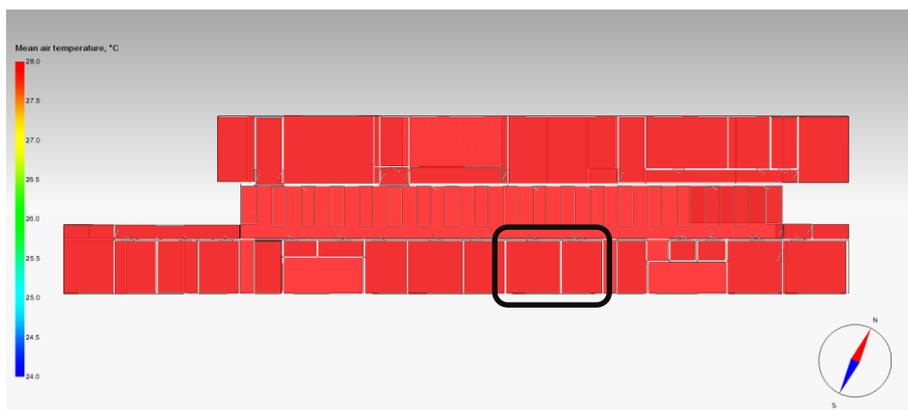


Bild 7.10 Grundriss 2. Obergeschoss der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

Der in Bild 7.11 dargestellte Schnitt verläuft durch die südostseitigen Büros des Gebäudemodells. Hier weist jeder einsehbare Raum eine Raumlufttemperatur von mindestens 28°C auf.

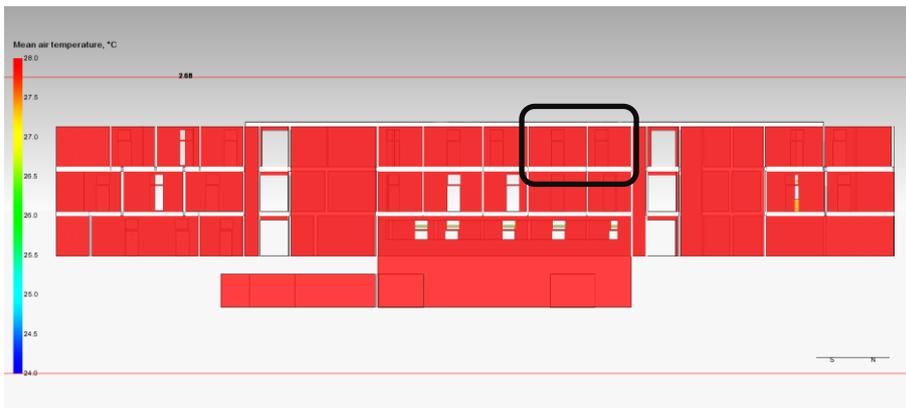


Bild 7.11 Schnitt in der Südostseite der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur

In Anhang B.6.1 sind weitere Grundrisse und Schnitte dieser Variante mit farblich dargestellter Raumlufthtemperatur angefügt.

In Bild 7.12 sind die Tageslufttemperaturstunden während der Hitzeperiode der Simulation dargestellt. Die beiden Räume verfügen in dieser Variante über eine gleichwertige Ausstattung. Es zeigt sich, dass das Gebäude ohne Maßnahmen, auch bei einer Hitzeperiode mit den in der Simulation verwendeten Klimadaten, Temperaturen über 30°C erreicht. Das bestätigt auch die Simulation aus dem Jahr 1997, in welcher „*Temperaturen an die 30°C Marke*“⁹¹, berechnet wurden. Hier zeigt sich, dass der Versuchsraum ohne Ventilator höhere Raumlufthtemperaturen erreicht, als der Vergleichsraum. Der Raumlufthtemperaturunterschied begründet sich in der unterschiedlichen Raumgröße und dem unterschiedlichen Fensterflächenanteil.

⁹¹ ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDESIMULATION. S. 19 (Berechnung)

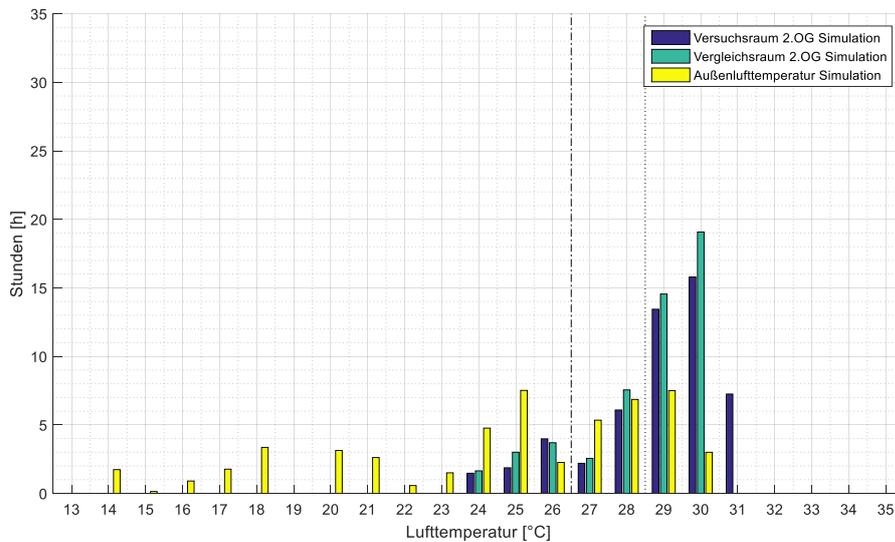


Bild 7.12 Tageslufttemperaturstunden der Variante ohne Maßnahmen während der Hitzeperiode

Das Bild 7.13 zeigt die Normalperiode der Simulation ohne Maßnahmen. Es zeigt sich, dass in einer gemäßigten Periode eines typischen Sommerklimas eine Umsetzung von Maßnahmen zur Einhaltung des 28°C Grenzwertes nicht erforderlich ist. Um den 26°C Grenzwert zu unterschreiten sind weitere Maßnahmen erforderlich.

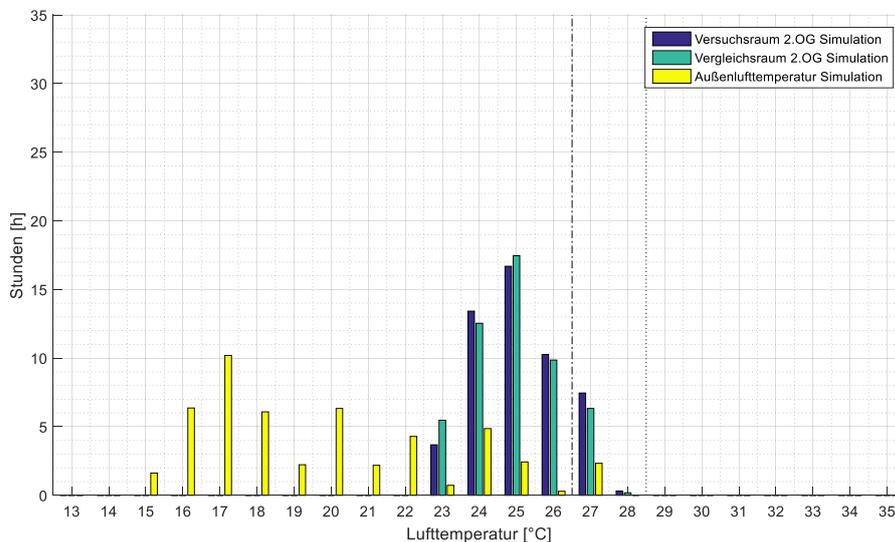


Bild 7.13 Tageslufttemperaturstunden der Variante ohne Maßnahmen während der Normalperiode

7.3.2 Variante Verschattungsmaßnahmen

Im Zuge dieser Variante wurden die umgesetzten Verschattungsmaßnahmen anhand der Simulation nachgestellt und evaluiert. Für Diese Variante wurde keine mechanische Lüftung simuliert.

Das Bild 7.14 zeigt das dreidimensionales Modell aus IDA ICE dieser Variante. Die Raumlufttemperaturen sind Im Vergleich zur Variante ohne Maßnahmen geringer und bewegen sich im zweiten Obergeschoss im Bereich von 27°C und im restlichen Gebäude im Bereich von 26°C.

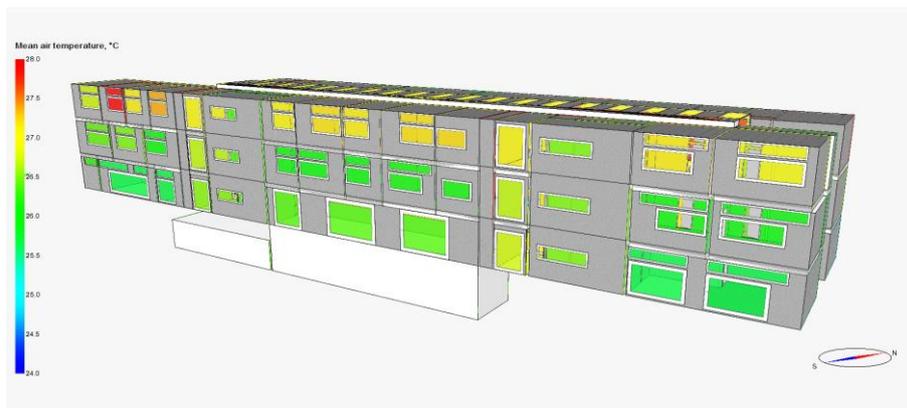


Bild 7.14 3D Ansicht der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

Der Grundriss in Bild 7.15 zeigt das zweite Obergeschoss der Variante Verschattungsmaßnahmen. Die Verbesserung durch die Maßnahmen dieser Variante im Vergleich zur Variante ohne Maßnahmen, ist deutlich erkennbar.



Bild 7.15 Grundriss 2. Obergeschoss der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

Der Schnitt durch die südostseitigen Büros des Gebäudes in Bild 7.16 zeigt, dass im obersten Geschoss, wie zu erwarten, höhere Lufttemperaturen vorliegen. Die Räume in den unteren Geschossen weisen Raumlufttemperaturen von ca. 26°C auf, während die Raumlufttemperaturen der Räume im zweiten Obergeschoss zwischen 27°C und 28°C liegen.

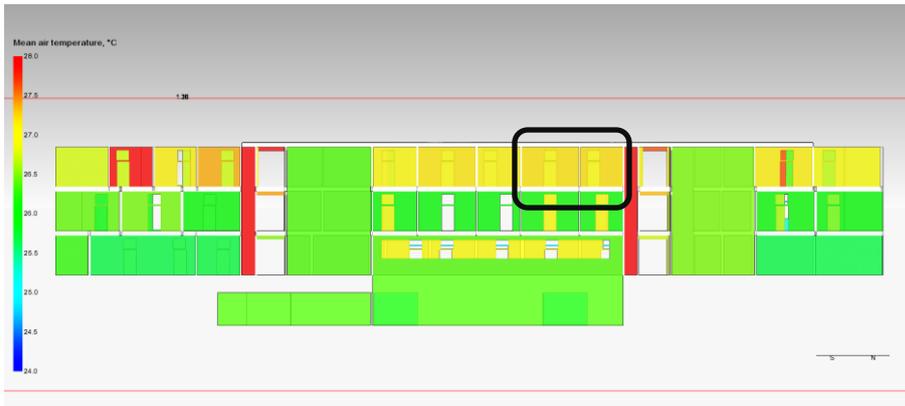


Bild 7.16 Schnitt in der Südostseite der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur

In Anhang B.6.2 sind weitere Grundrisse und Schnitte dieser Variante mit farblich dargestellter Raumlufthtemperatur angefügt.

In Bild 7.17 ist der Lufttemperaturverlauf der Variante Verschattungsmaßnahmen der Variante ohne Maßnahmen während der Hitzeperiode gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass gegenüber den Maximaltemperaturen eine Temperatursenkung von ca. 2°C vorliegt und diese somit nicht über 28°C steigt.

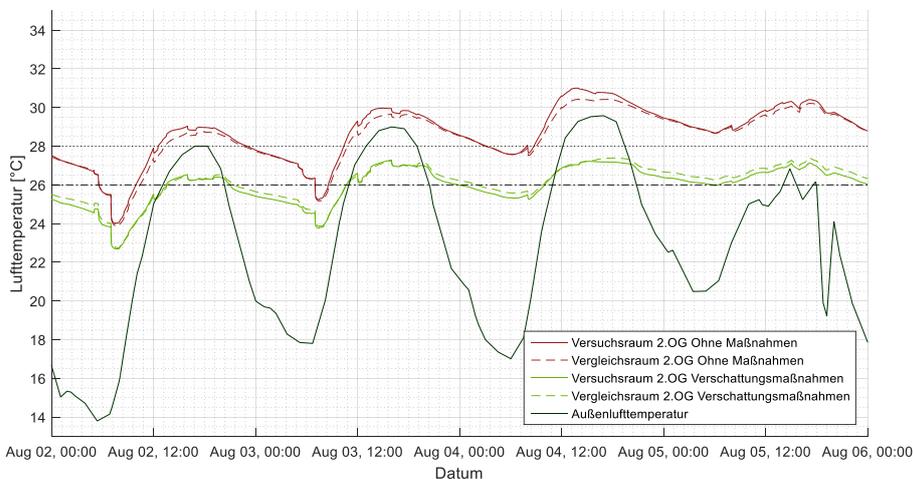


Bild 7.17 Lufttemperaturverlauf der Variante Verschattungsmaßnahmen im Vergleich zur Variante ohne Maßnahmen während der Hitzeperiode

Im Bild 7.18 sind die Tageslufttemperaturstunden während der Hitzeperiode dargestellt. Die 28°C Marke wird nicht erreicht, während der Grenzwert von 26°C nicht eingehalten werden kann.

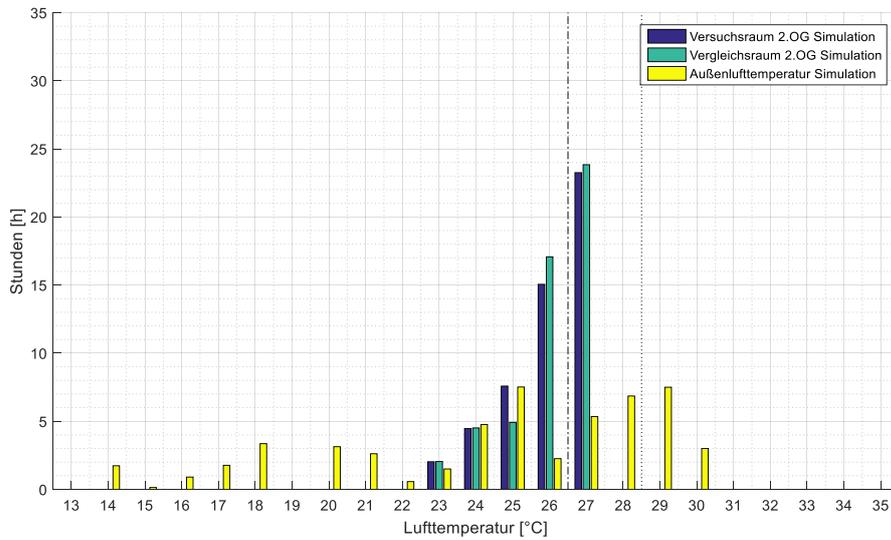


Bild 7.18 Tageslufttemperaturstunden der Variante Verschattungsmaßnahmen während der Hitzeperiode

Die simulierten Tageslufttemperaturstunden in Bild 7.19 zeigen, dass die Maßnahme Verschattung ausreicht, um die Raumlufthtemperaturen während der Normalperiode an der 26°C Marke zu halten.

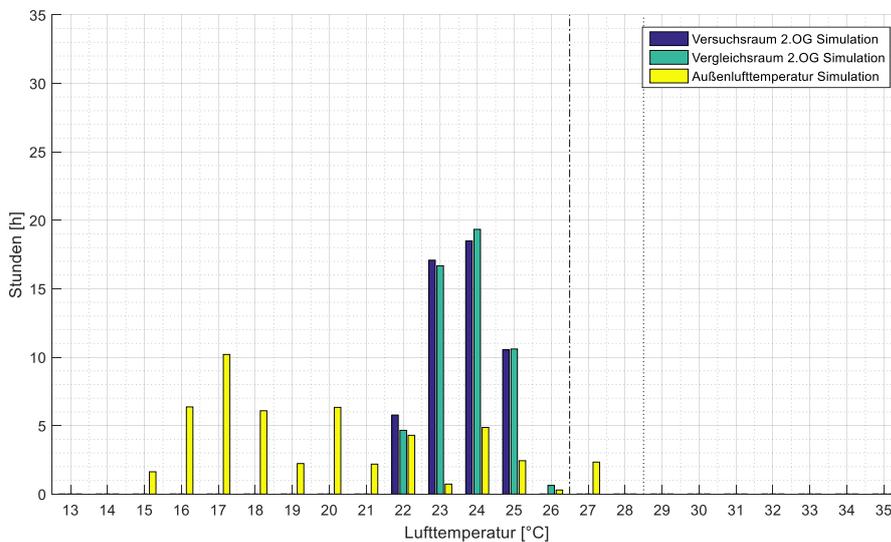


Bild 7.19 Tageslufttemperaturstunden der Variante Verschattungsmaßnahmen während der Normalperiode

7.3.3 Variante Saugbetrieb

Zur Bewertung des Saugbetriebes wird die Variante Saugbetrieb mit der Variante Verschattungsmaßnahmen verglichen. Der Versuchsraum ist mit einem Ventilator ausgestattet, der die kühlere Außenluft durch den Versuchsraum ansaugt und anschließend in das Atrium ableitet.

Das 3D Modell in Bild 7.20 stellt die Variante Saugbetrieb dar. Die Räume mit Ventilator sind bereits in dieser 3D Darstellung erkennbar, da diese eine geringere Raumlufttemperatur aufweisen.

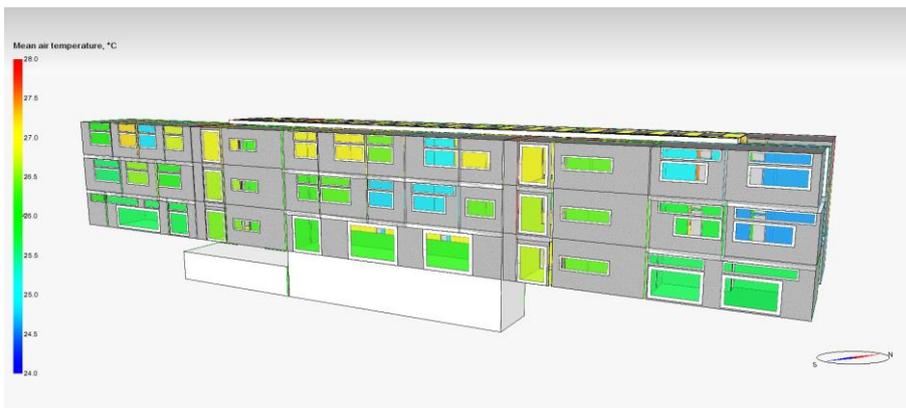


Bild 7.20 3D Ansicht der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

Bild 7.21 zeigt, im Vergleich zur Variante Verschattungsmaßnahmen, dass in jedem Versuchsraum geringere Raumlufttemperaturen vorhersehen. Die Raumlufttemperaturen in den Räumen ohne Ventilator liegen in einem ähnlichen Bereich wie die der Variante Verschattungsmaßnahmen.



Bild 7.21 Grundriss 2. Obergeschoss der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

Der Schnitt durch die südostseitigen Büros in Bild 7.22 zeigt ebenfalls, dass ein deutlicher Kühleffekt in den Versuchsräumen der Variante Saugbetrieb vorliegt. Der Kühleffekt beschränkt sich allerdings fast vollständig auf diese Räume und beeinflusst das restliche Gebäude nur wenig.



Bild 7.22 Schnitt in der Südostseite der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur

In Anhang B.6.3 sind weitere Grundrisse und Schnitte dieser Variante mit farblich dargestellter Raumlufthtemperatur angefügt.

Der Lufttemperaturverlauf in Bild 7.23 zeigt den Vergleich der Variante Saugbetrieb mit der Variante Verschattungsmaßnahmen während der Hitzeperiode der Simulation. Der Vergleich dient zur Bewertung der Verbesserung durch die Maßnahme des Saugbetriebes. Der Versuchsraum weist in dieser Variante eine deutliche Verbesserung auf, welche sich mit ca. 1,5°C geringeren maximalen Raumlufthtemperaturen bemerkbar macht. Der Vergleichsraum weist hingegen kaum Veränderungen zur Variante ohne Maßnahmen auf.

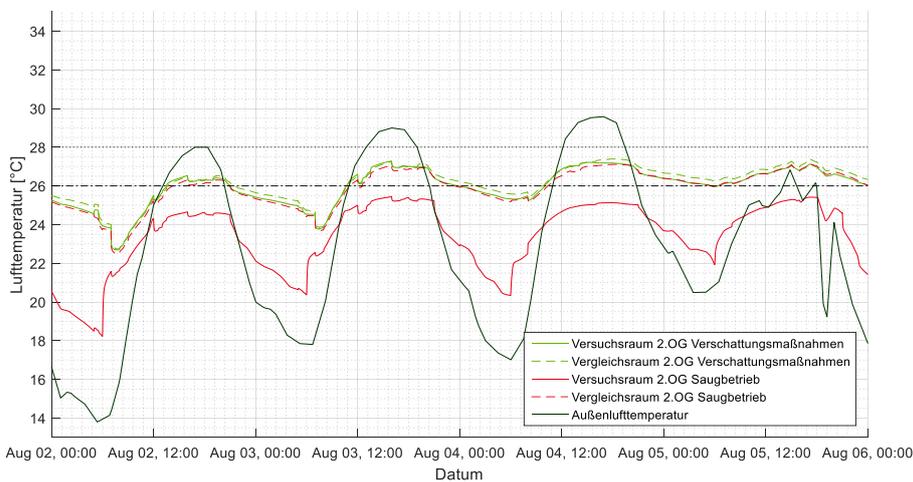


Bild 7.23 Lufttemperaturverlauf der Variante Saugbetrieb im Vergleich zur Variante Verschattungsmaßnahmen während der Hitzeperiode

Bild 7.24 zeigt die Tageslufttemperaturstunden des Versuchsraumes und des Vergleichsraumes während der Hitzeperiode. Die Raumlufthtemperatur im Versuchsraum steigt hier nie auf 26°C, während im Vergleichsraum 27°C erreicht werden.

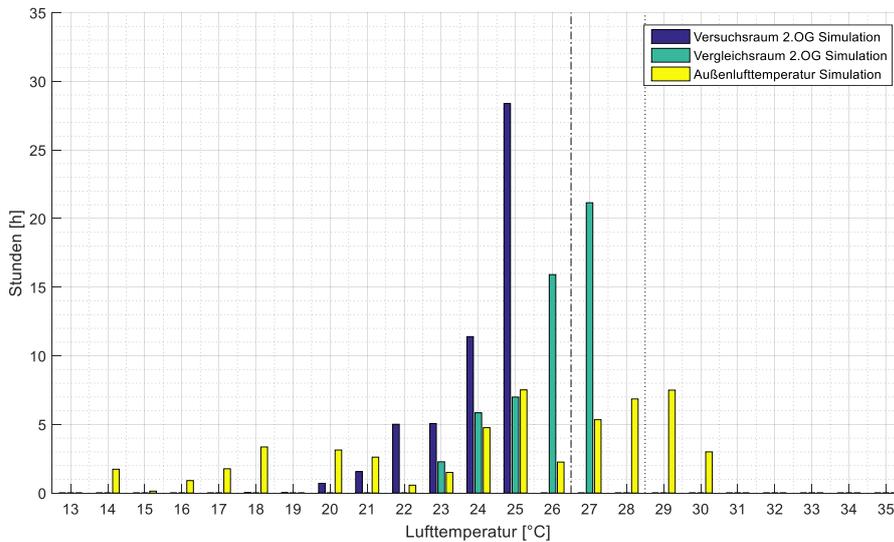


Bild 7.24 Tageslufttemperaturstunden der Variante Saugbetrieb während der Hitzeperiode

Das Bild 7.25 zeigt die Tageslufttemperaturstunden während der Normalperiode. Da bereits die Maßnahme Verschattungsmaßnahmen einen ausreichenden Kühleffekt erzielt, bewirkt die Maßnahme Saugbetrieb eine weitere Absenkung der Raumlufttemperaturen.

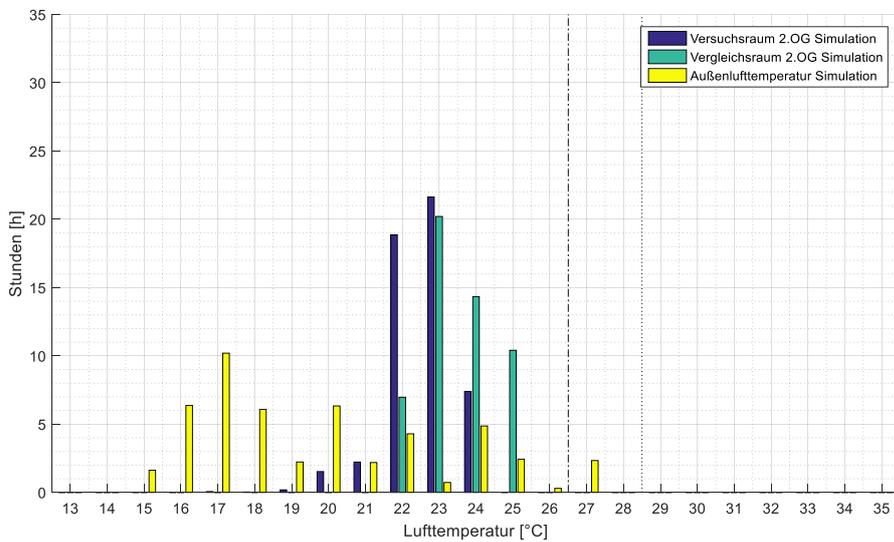


Bild 7.25 Tageslufttemperaturstunden der Variante Saugbetrieb während der Normalperiode

7.3.4 Variante Druckbetrieb

Zur Bewertung des Druckbetriebes wird die Variante Druckbetrieb mit der Variante Verschattungsmaßnahmen verglichen. In der Variante Druckbetrieb wird der Volumenstrom des Ventilators im Versuchsraum in, zum Saugbetrieb entgegengesetzter Richtung, betrieben. Die Zuluftanlage in den Hörsälen im Kellergeschoss versorgt das Gebäude mit Außenluft, welche in das Atrium geleitet und von dort in die Versuchsräume angesaugt wird.

Das Bild 7.26 zeigt die Variante Druckbetrieb. Im Vergleich zur Variante Saugbetrieb liegt eine gleichmäßigere Raumlufthemperaturverteilung unter den Zonen vor, da der Volumenstrom der Zuluftanlagen größer ist, als der Volumenstrom der Ventilatoren und der restliche Volumenstrom über die Lüftungsklappen der Räume ohne Ventilator abströmt. Auch hier ist ein Kühleffekt zur Variante Verschattungsmaßnahmen erkennbar.

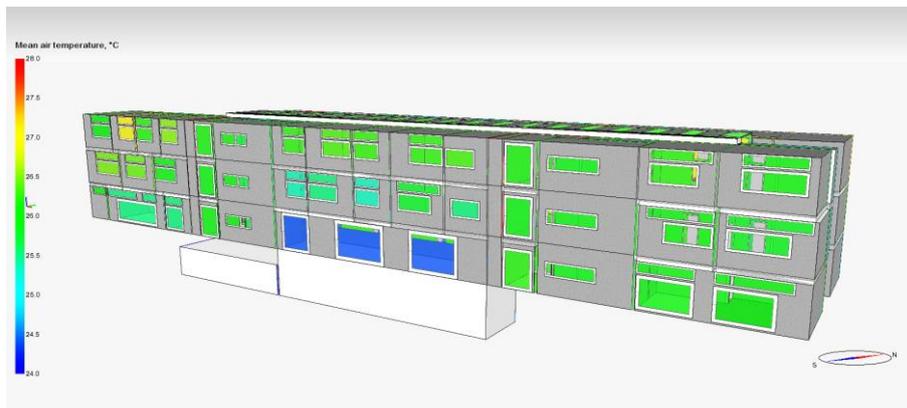


Bild 7.26 3D Ansicht der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthemperatur

Bild 7.27 stellt den Grundriss des zweiten Obergeschosses der Variante Druckbetrieb dar. Die Zonenraumlufthemperaturen liegen in den meisten Zonen bei ca. 26°C. Im Vergleich zur Variante Saugbetrieb ist erkennbar, dass die Raumlufthemperaturen in den Versuchsräumen mit Ventilator höher, und in den Räumen ohne Ventilator geringer sind.

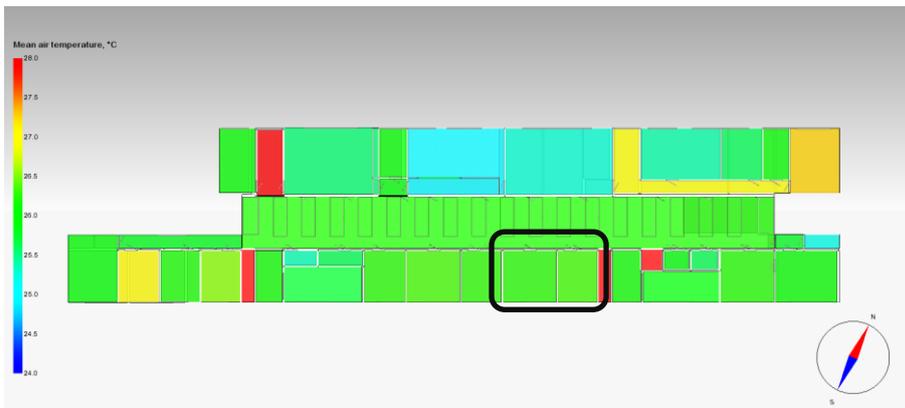


Bild 7.27 Grundriss 2. Obergeschoss der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur

Der Schnitt durch die südostseitigen Räume (siehe Bild 7.28), zeigt denselben Effekt. Die Variante Druckbetrieb kühlt das Gebäude als Ganzes ab, während die Variante Saugbetrieb die Räume mit Ventilator stärker abkühlt.



Bild 7.28 Schnitt in der Südostseite der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur

In Anhang B.6.4 sind weitere Grundrisse und Schnitte dieser Variante mit farblich dargestellter Raumlufthtemperatur angefügt.

Bild 7.29 zeigt den Lufttemperaturverlauf im Vergleich zwischen der Variante Druckbetrieb und der Variante Verschattungsmaßnahmen während der Hitzeperiode. Dabei ist eine Verbesserung von ca. 0,7°C erkennbar. Die Verbesserung ist im Versuchsraum sowie im Vergleichsraum vorhanden. Die erreichten Temperaturspitzen am Tag liegen im Versuchsraum und im Vergleichsraum in gleicher Höhe vor. Die Abkühlung während der Nacht ist im Versuchsraum stärker als im Vergleichsraum.

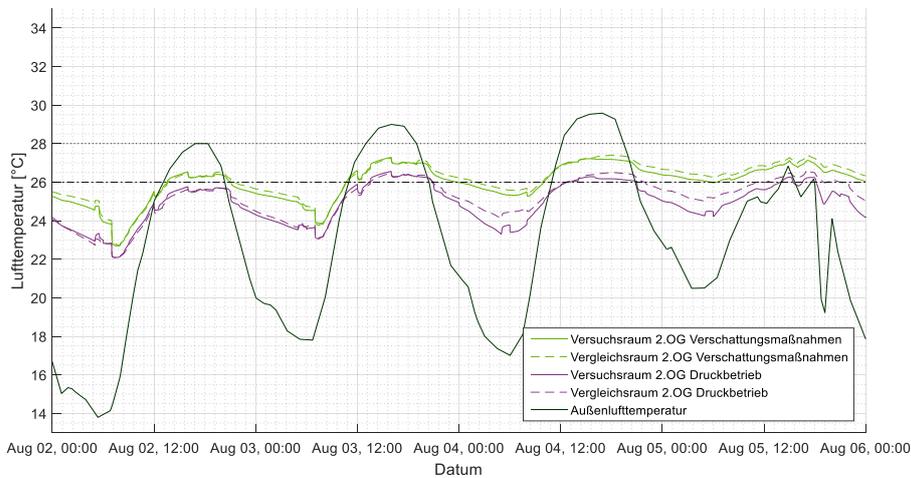


Bild 7.29 Lufttemperaturverlauf der Variante Druckbetrieb im Vergleich zur Variante Verschattungsmaßnahmen während der Hitzeperiode

In Bild 7.30 sind die simulierten Tageslufttemperaturstunden während der Hitzeperiode dargestellt. Die maximal erreichte Raumlufthtemperatur beträgt 27°C und wird in den vier Tagen an einer Stunde erreicht.

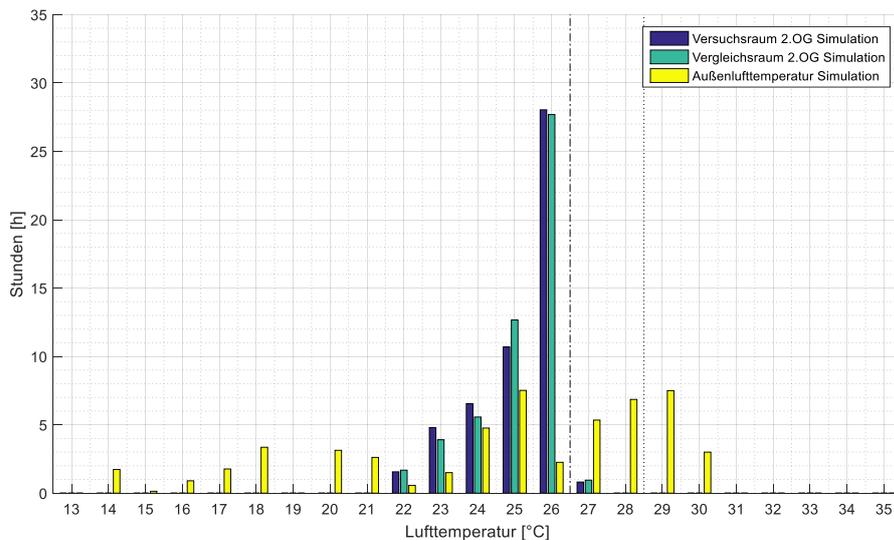


Bild 7.30 Tageslufttemperaturstunden der Variante Druckbetrieb während der Hitzeperiode

Im Bild 7.31 sind die Tageslufttemperaturstunden im Normalbetrieb abgebildet. Die Raumlufthtemperaturen liegen hier deutlich unter der gesetzten Grenze von 26°C.

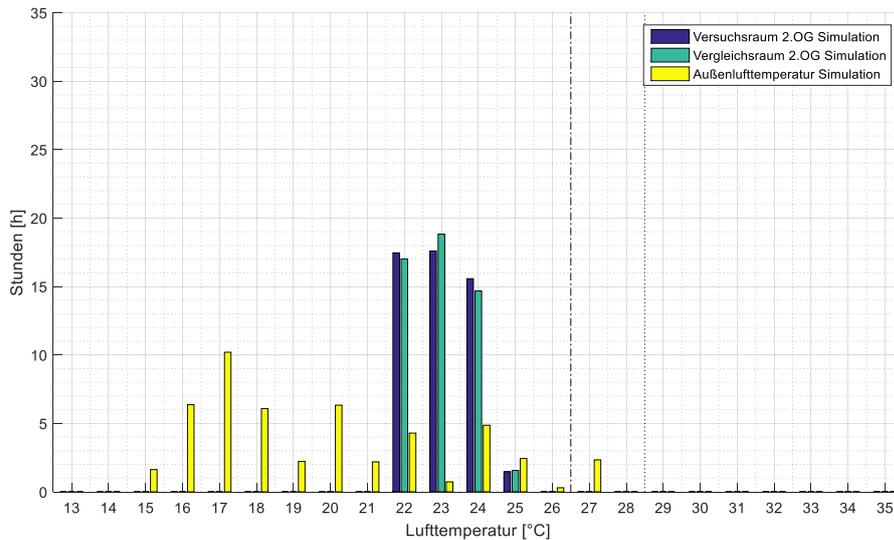


Bild 7.31 Tageslufttemperaturstunden der Variante Druckbetrieb während der Normalperiode

7.3.5 Zusammenfassung und Interpretation der Simulationsergebnisse

In Tabelle 7.2 sind die durchschnittlichen Raumlufthtemperaturen des Versuchsraums und des Vergleichsraums während der Hitzeperiode angeführt. Der Kühleffekt der Maßnahme Verschattung erweist sich im Versuchsraum mit einer Senkung von 2,8°C stärker als im Vergleichsraum mit einer Senkung von 2,4°C. Dies ist auf den höherem Fensterflächenanteil des Versuchsraumes zurückzuführen. Die Kühlwirkung, welche durch die mechanische Lüftung herbeigeführt wird, ist von der Art des Betriebes abhängig. Im Vergleich mit der Variante Verschattungsmaßnahmen wird im Versuchsraum eine Temperaturreduktion von 2,5°C im Saugbetrieb und von 1,0°C im Druckbetrieb erreicht. Bei demselben Vergleich wird im Vergleichsraum eine Temperaturreduktion von 0,2°C im Saugbetrieb und 1,0°C im Druckbetrieb erreicht. Die Raumlufthtemperaturen des Druckbetriebes im Versuchsraum sind um 0,2°C niedriger als im Vergleichsraum, während die Raumlufthtemperatur des Saugbetriebes im Versuchsraum um 2,5°C niedriger ist als im Vergleichsraum.

Tabelle 7.2 Durchschnittslufttemperaturen der simulierten Varianten während der Hitzeperiode

Hitzeperiode	Versuchsraum	Vergleichsraum
Ohne Maßnahmen	28,7°C	28,5°C
Verschattungsmaßnahmen	25,9°C	26,1°C
Saugbetrieb	23,4°C	25,9°C
Druckbetrieb	24,9°C	25,1°C

In Tabelle 7.3 sind die Durchschnittslufttemperaturen aller simulierten Varianten während der Normalperiode angegeben. Der Kühleffekt der Verschattung reicht aus, um die Durchschnittslufttemperatur auf 24°C abzusenkten.

Tabelle 7.3 Durchschnittslufttemperaturen der simulierten Varianten während der Normalperiode

Normalperiode	Versuchsraum	Vergleichsraum
Ohne Maßnahmen	25,5°C	25,5°C
Verschattungsmaßnahmen	23,9°C	24°C
Saugbetrieb	21,8°C	23,9°C
Druckbetrieb	23,1°C	23,1°C

Das Bild 7.32 zeigt den Raumlufthtemperaturverlauf der beiden betrachteten Räume aller simulierter Varianten während der Hitzeperiode. Der Versuchsraum im Saugbetrieb ist dabei die einzige Datenreihe, welche die 26°C Linie nicht erreicht.

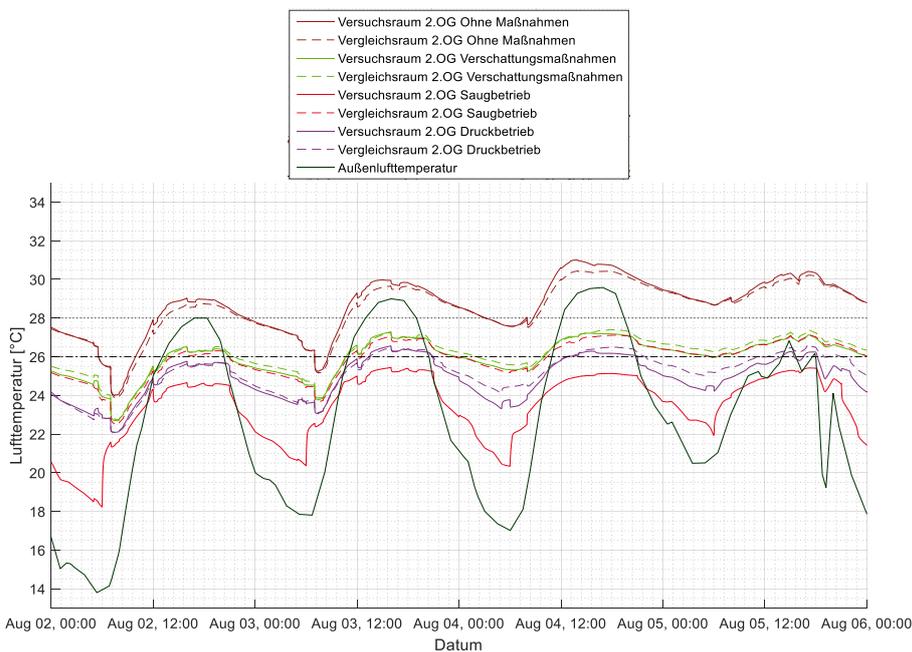


Bild 7.32 Vergleich aller simulierten Varianten zueinander während der Hitzeperiode

Das Bild 7.33 zeigt den Raumlufthtemperaturverlauf der beiden betrachteten Räume aller simulierter Varianten während der Normalperiode. Die Variante ohne Maßnahmen ist in dieser Periode die einzige, bei welcher die 26°C Linie überschritten wird.

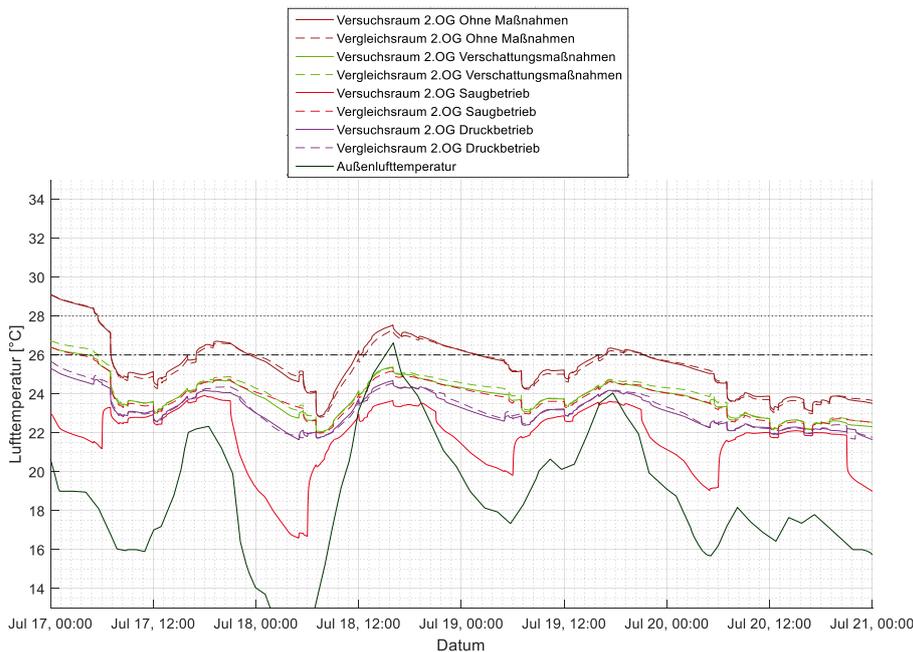


Bild 7.33 Vergleich aller simulierten Varianten zueinander während der Normalperiode

Die Maßnahme der Verschattung bewirkt einen deutlichen Kühleffekt auf das gesamte Gebäude. Die Wirkungsweise des Kühleffektes der mechanisch unterstützten Nachtlüftung ist von der Art des Betriebes abhängig. Der Kühleffekt im Versuchsraum ist während des Saugbetriebes am höchsten und beschränkt sich dabei fast ausschließlich auf den Versuchsraum, da der Versuchsraum direkt mit der kühlen Nachtluft durchströmt und dadurch gekühlt wird. Der Druckbetrieb verhält sich gegengleich zum Saugbetrieb. Der Kühleffekt ist im Versuchsraum deutlich geringer als im Saugbetrieb, da die Zuluft zuerst das Atrium durchströmt und sich dadurch erwärmt, bevor diese durch den Versuchsraum strömt. Der Kühleffekt beschränkt sich dabei nicht auf den Versuchsraum, sondern ist im Vergleichsraum in praktisch gleicher Höhe vorhanden. Das Vorhandensein der Ventilatoren im Türsturz des Versuchsraums führt zu keiner deutlichen Steigerung des Kühleffektes im Vergleich zum Vergleichsraum. Durch den hohen Luftvolumenstrom der Hörsaal Lüftungen werden auch die Vergleichsräume mit Luft versorgt. Da die Ventilatoren nicht den gesamten Volumenstrom abführen können strömt der restliche Luftvolumenstrom durch die Lüftungsklappen in die Vergleichsräume und durch die gekippten Fenster nach außen.

Bei Umsetzung des Saugbetriebes zur Kühlung des gesamten Gebäudes, müssen alle Räume, in denen eine Kühlwirkung erstrebt wird, mit einem Ventilator ausgestattet werden.

8 Schlussfolgerung

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde das Gebäude Inffeldgasse 16b, am Campus Inffeldgasse der TU Graz, bezüglich der vorliegenden sommerlichen Überhitzung untersucht. Das Gebäude verfügt über vier Geschosse, drei davon oberirdisch. Die drei oberirdischen Geschosse sind durch ein Atrium verbunden und dieses durch eine Galerie mit dem Untergeschoss. Im Untergeschoss sind drei Hörsäle untergebracht, das restliche Gebäude beinhaltet hauptsächlich Büroräume.

Es wurde ein Versuch zur mechanisch unterstützten Nachtlüftung in zwei unterschiedlichen Betriebsarten, Saugbetrieb und Druckbetrieb, durchgeführt. Zusätzlich wurden Verschattungsmaßnahmen an den Fensterflächen des Gebäudes angewandt. Für den Versuch der mechanisch unterstützten Nachtlüftung wurden zehn Räume, je fünf im ersten und zweiten Obergeschoss, mit einem Ventilator ausgestattet. Die Räume mit Ventilator werden als Versuchsräume bezeichnet. Die Betriebsarten unterscheiden sich durch die Richtung des Volumenstroms und der Versorgung mit Zuluft. Im Saugbetrieb wird der Ventilator so betrieben, dass dieser Luft vom Versuchsraum in das Atrium fördert. Die Zuluft strömt durch das Fenster des Versuchsraumes von außen herein. Die Abluft im Saugbetrieb entweicht dabei durch die Räume ohne Ventilator nach außen. Während des Druckbetriebes wird die Richtung des Volumenstroms umgekehrt. Der Ventilator fördert Luft vom Atrium in den Versuchsraum. Die Versorgung mit Zuluft wird durch die Lüftungsanlagen der Hörsäle im Untergeschoss des Gebäudes bewerkstelligt. Die Abluft entweicht durch die Fenster der Versuchsräume und der Räume ohne Ventilator, da der Zuluftvolumenstrom größer ist als der Volumenstrom der Ventilatoren. Der Versuch wurde im Rahmen dieser Arbeit konzipiert, umgesetzt und evaluiert. Die Beurteilung des Versuches gliedert sich in zwei Teile.

Im ersten Teil der Untersuchung wurden Messungen der Raumlufttemperaturen in den Räumlichkeiten des Gebäudes während der Sommermonate des Jahres 2018 durchgeführt und die daraus gewonnenen Daten aufbereitet, analysiert und bewertet. Dabei wurden kürzere Zeitperioden mit extremer und gemäßigter Außenlufttemperatur detailliert betrachtet. Die Messung dient der Beurteilung der Eignung der umgesetzten Maßnahmen zur Reduktion der sommerlichen Überhitzung des Gebäudes.

Der zweite Teil der Untersuchung fokussiert sich auf die dynamische Simulation des Gebäudes. Die Simulation wurde mit durchschnittlichen Klimadaten des Standortes durchgeführt. Das Ziel der Simulation war die Erfassung und Bewertung der im Rahmen des Versuches umgesetzten Maßnahmen. Simuliert wurden vier Varianten, die auf den Maßnahmen beruhen. Die Varianten bilden das Gebäude ohne Maßnahmen, mit Verschattung ohne mechanische Lüftung und mit Verschattung und mechanischer Lüftung in Saug- und Druckbetrieb ab. Dadurch können direkte

Vergleiche der Raumlufttemperatur unter den einzelnen simulierten Varianten gezogen und deren Effekt bewertet werden.

Zusätzlich wurde eine Plausibilitätsbetrachtung der Simulation mithilfe der Messdaten durchgeführt. Die Simulation wurde nicht mit den Klimadaten des Messjahres durchgeführt. Die Plausibilisierung stellt daher nur einen qualitativen Vergleich der simulierten Raumlufttemperaturen mit den gemessenen Raumlufttemperaturen dar. Die Plausibilisierung wurde für relative Zeitperioden mit ähnlicher Außenlufttemperatur durchgeführt. Hierzu wurden zwei unterschiedliche viertägige Zeitperioden der Simulation und Messung, mit ähnlicher Außenlufttemperatur, verglichen. Die Betrachtung ergab einen qualitativ ähnlichen Tagesverlauf der Raumlufttemperatur. Das simulierte Modell wird daher als ausreichend plausibel für relative Vergleiche angesehen.

Resümee

Bei der Auswertung der erfassten Daten wurde festgestellt, dass die Art des Betriebes der Ventilatoren (Saug- oder Druckbetrieb) während der Nachtlüftung zu unterschiedlichen Effekten im Gebäude führen. Der Saugbetrieb führt zu einer lokalen, starken Abkühlung im Versuchsraum, da dieser direkt mit der Zuluft durchströmt und dadurch gekühlt wird. Im restlichen Gebäude ist der Kühleffekt durch den Saugbetrieb gering. Der Kühleffekt des Druckbetriebes beschränkt sich nicht auf den Versuchsraum, sondern wirkt sich auf das gesamte Gebäude aus. Das begründet sich im hohen Luftvolumenstrom der Hörsaal Lüftungen. Der Luftvolumenstrom kann von den Ventilatoren nicht vollständig abgeführt werden, daher strömt der restliche Luftvolumenstrom durch die Räume ohne Ventilator ab. Das Ausmaß des Kühleffektes im Versuchsraum im Druckbetrieb ist geringer als im Saugbetrieb, da die Zuluft im Druckbetrieb das Atrium durchströmt und sich dadurch erwärmt, bevor sie den Versuchsraum durchströmt.

Zur Auswertung der Messdaten und der Simulation wurden zwei Räume an der Südostseite des Gebäudes im zweiten Obergeschoss betrachtet. Einer der Räume ist ein Versuchsraum, der andere wurde nicht mit einem Ventilator ausgestattet und wird als Vergleichsraum bezeichnet. Die Räume bilden aufgrund Ihrer Lage einen Extremfall zur sommerlichen Überhitzung ab. Die beiden Räume sind aneinandergrenzend, unterscheiden sich allerdings in Größe und Fensterflächenanteil.

Zur Bewertung der Eignung der Maßnahmen wurden Grenzwerte der Raumlufttemperatur, im Sinne der Behaglichkeit, mit 28°C und 26°C betrachtet. Während der betrachteten Hitzeperioden reichten die Maßnahmen in beiden Betriebsarten nicht aus, um diese Grenzwerte einzuhalten. Die Auswertung einer gemäßigten Periode im Saugbetrieb zeigt, dass beide Grenzwerte im Versuchsraum eingehalten werden konnten. Die Auswertung des betrachteten Messzeitraums (von 09.07.2018 bis 30.09.2018) für die Tagesstunden (von 6 Uhr bis 18 Uhr) zeigt, dass eine

Raumlufttemperatur von über 28°C an 11,8% der Stunden im Versuchsraum und an 17,7% der Stunden im Vergleichsraum überschritten wurden. Der Grenzwert von 26°C wurde im Versuchsraum an 29,4% der Stunden und im Vergleichsraum an 52,5% der Stunden überschritten. Der Effekt der Maßnahmen wurde von der Abteilung Gebäude und Technik der TU Graz als nicht ausreichend bewertet, weshalb die Nachrüstung der Gebäude mit aktiven Kühlsystemen evaluiert wird.

Die Bewertung der Wirksamkeit der einzelnen, gesetzten Maßnahmen erfolgte durch den Vergleich der simulierten Varianten. Die Bewertung wurde anhand der durchschnittlichen Raumlufttemperaturen während einer Periode mit hohen simulierten Außenlufttemperaturen durchgeführt. Die Variante ohne Maßnahmen, stellt das Gebäude vor Umsetzung der Maßnahmen dar. Die durchschnittliche Raumlufttemperatur dieser Variante liegt im Versuchsraum bei 28,7°C und im Vergleichsraum bei 28,5°C. Die Unterschiede erklären sich durch die unterschiedliche Raumgröße und Fensterflächenanteil der Räume. Die Maßnahmen der Verschattung wurden in der Variante Verschattungsmaßnahmen ohne mechanische Lüftung simuliert. Die durchschnittliche Raumlufttemperatur wird durch diese Maßnahmen um 2,8°C im Versuchsraum und um 2,4°C im Vergleichsraum gesenkt. Die Unterschiede ergeben sich durch den unterschiedlichen Fensterflächenanteil der Räume. Der Effekt der Verschattungsmaßnahmen ist beträchtlich. Ein Kühlkonzept ohne Verschattungsmaßnahmen ist nicht zielführend, daher wird die Verschattung auch bei den Varianten mit mechanischer Lüftung simuliert. Die Variante mit Verschattung und mechanischer Lüftung im Saugbetrieb bewirkt eine Temperaturreduktion gegenüber der Variante Verschattungsmaßnahmen von 2,5°C im Versuchsraum und von 0,2°C im Vergleichsraum. Bei mechanischer Lüftung im Druckbetrieb wurde eine Temperaturreduktion gegenüber der Variante Verschattungsmaßnahmen von 1,0°C im Versuchsraum und im Vergleichsraum erreicht. Die Wirksamkeit der Maßnahmen wurde damit erwiesen. Zur Kühlung überhitzungsgefährdeter Räume ist der Saugbetrieb vorzuziehen, da ein deutlich größerer Kühleffekt in einem Raum erzielt werden kann.

Eine aufgrund der durchgeführten Simulation bemessene passive Kühlung für das betrachtete Gebäude wäre in extremen Hitzejahren wie dem Jahr 2018 nicht in der Lage, mittels der Simulation gezeigte Temperaturgrenzwerte einzuhalten. Die Ergebnisse der Messung zeigen Raumlufttemperaturen bis 30°C, welche um 4°C höher liegen als die Ergebnisse der Simulation. Ausschlaggebend dafür ist der verwendete Klimadaten-satz. Bei Verwendung durchschnittlicher Klimadaten müssen die einzuhaltenen Grenzwerte deutlich unterschritten werden, um in einem Hitzejahr einen ausreichenden Kühleffekt aufzuweisen. Um eine Einhaltung gesetzter Grenzwerte auch in sehr heißen Sommern, die zukünftig häufiger auftreten werden, sicherzustellen, müssen anstatt durchschnittlicher Daten, Klimadaten-sätze von entsprechend heißen Jahren für die Auslegung herangezogen werden.

A Anhang zur Lufttemperaturmessung

A.1 Durchschnittslufttemperaturen der Messung

Die Durchschnittslufttemperaturen (siehe nachfolgende Tabellen) wurden mit MATLAB für die in den Tabellen angegebenen Zeitperioden und Räumlichkeiten anhand der Messdaten berechnet.

Tabelle A.1 Durchschnittslufttemperaturen der Messung über die Gesamtetappe

Raum	Gesamtetappe
Gang Inffeldgasse 16b EG	24,5°C
Gang Inffeldgasse 16b 1.OG	24,3°C
Gang Inffeldgasse 16b 2.OG	25,4°C
IC02074 - V OG 2 Nord	24,8°C
IC02116 - M OG 2	26,8°C
IC02120 - V OG 2	25,4°C
Außentemperatur Stremayr	20,8°C
Außentemperatur EAM Süd	25,3°C
Außentemperatur EAM Nord	21,3°C

Tabelle A.2 Durchschnittslufttemperaturen der Messung während der Hitzeperiode und Normalperiode im Saugbetrieb

Raum	Saugbetrieb	
	Hitzeperiode	Normalperiode
Gang Inffeldgasse 16b EG	26,8°C	24,3°C
Gang Inffeldgasse 16b 1.OG	27,7°C	24,9°C
Gang Inffeldgasse 16b 2.OG	28,8°C	26,0°C
IC02074 - V OG 2 Nord	27,8°C	25,0°C
IC02116 - M OG 2	29,5°C	26,7°C
IC02120 - V OG 2	28,7°C	24,8°C
Außentemperatur Stremayr	25,5°C	22,5°C
Außentemperatur EAM Süd	30,6°C	26,6°C
Außentemperatur EAM Nord	26,8°C	23,7°C

Tabelle A.3 Durchschnittslufttemperaturen der Messung während der Hitzeperiode im Druckbetrieb

Raum	Druckbetrieb
	Hitzeperiode
Gang Inffeldgasse 16b EG	26,8°C
Gang Inffeldgasse 16b 1.OG	26,7°C
Gang Inffeldgasse 16b 2.OG	27,9°C
IC02074 - V OG 2 Nord	28,4°C
IC02116 - M OG 2	29,3°C
IC02120 - V OG 2	28,8°C
Außentemperatur Stremayr	24,9°C
Außentemperatur EAM Süd	30,2°C
Außentemperatur EAM Nord	25,2°C

A.2 Lufttemperaturstunden Tag und Nacht

A.1.1 Lufttemperaturstunden zu Punkt 5.1.2

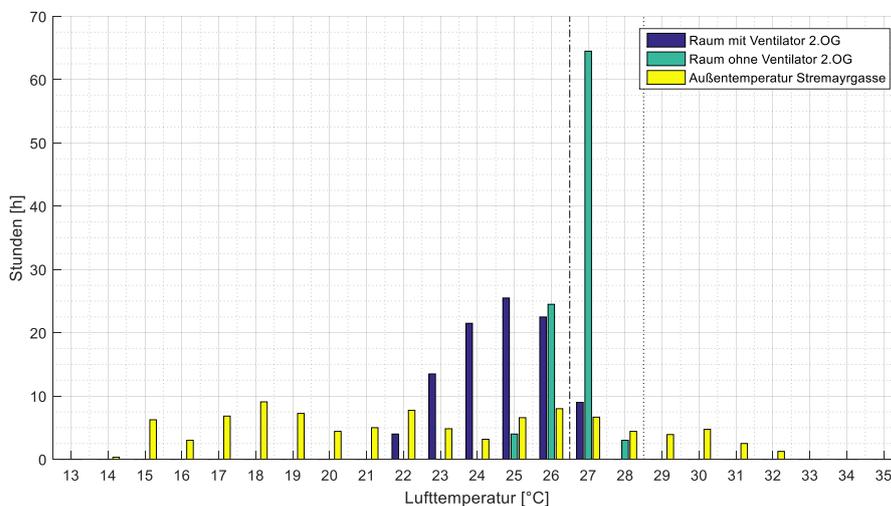


Bild A.1 Lufttemperaturstunden Tag und Nacht, Normalperiode

A.1.2 Lufttemperaturstunden zu Punkt 5.1.3

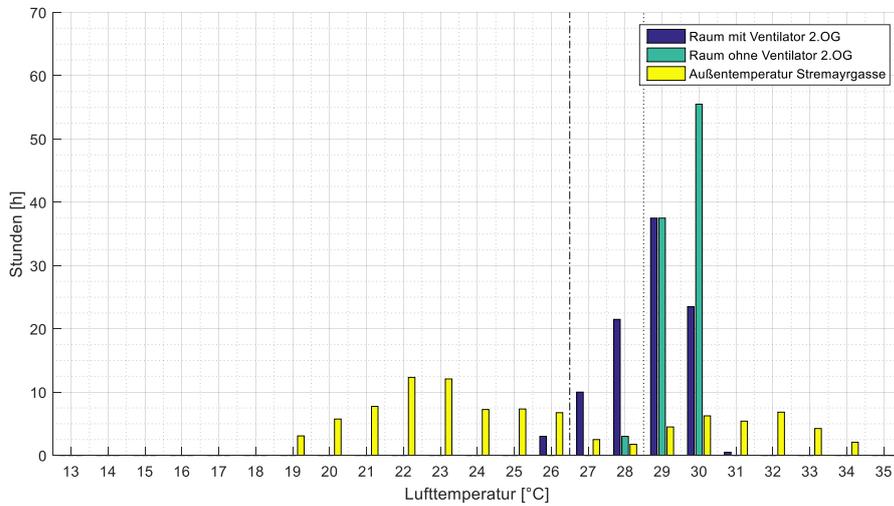


Bild A.2 Lufttemperaturstunden Tag und Nacht, Hitzeperiode Saugbetrieb

A.1.3 Lufttemperaturstunden zu Punkt 5.1.4

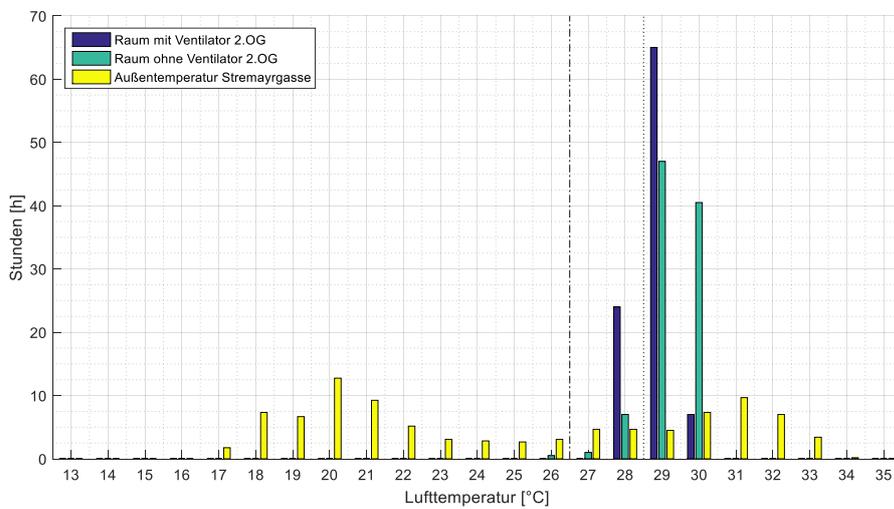


Bild A.3 Lufttemperaturstunden Tag und Nacht, Hitzeperiode Druckbetrieb

A.3 Wahl der verwendeten Außenlufttemperaturdaten

Als Außenlufttemperaturdaten für die Messungen wurden von der Firma EAM zwei verschiedene Datensätze (Nord und Süd), welche von zwei verschiedenen Messpunkten in der Zuluftanlage der Hörsäle des Gebäudes Inffeldgasse 16b stammen (siehe Punkt 4.1.2) sowie ein Datensatz vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau in der Stremayrgasse (siehe Punkt 4.1.3), zur Verfügung gestellt. Da sich die Außenlufttemperaturdaten unterscheiden, musste bewertet werden, welcher Datensatz für die Auswertung herangezogen werden sollte. Dazu wurden diese in den folgenden Abbildungen gegenübergestellt.

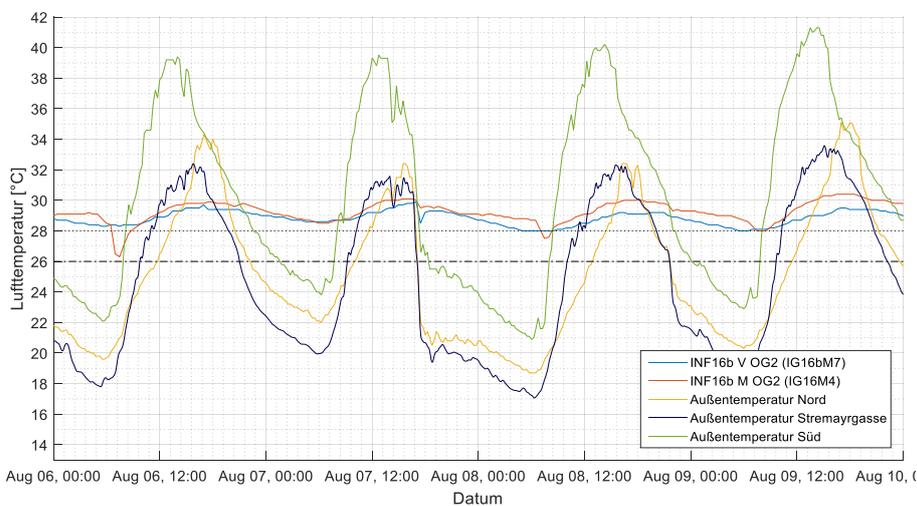


Bild A.4 Vergleich Außenlufttemperaturen, Hitzeperiode Druckbetrieb

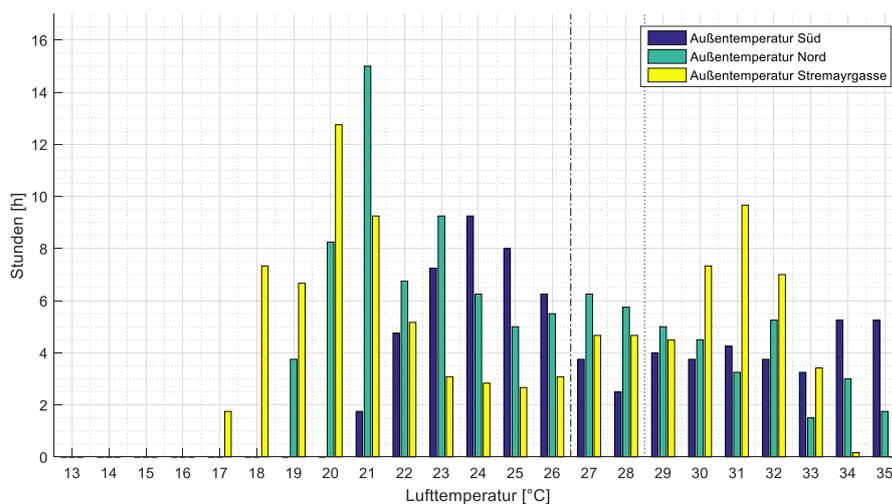


Bild A.5 Lufttemperaturstunden zu dem in Bild A.4 dargestellten Sachverhalt

Da eine der Messungen der Firma EAM der Außenlufttemperatur Stremayrgasse ähnelt werden diese als plausibel betrachtet. Für die Auswertung wird die Außentemperatur Stremayrgasse herangezogen.

B Anhang zur Simulation

Hier sind die Eingaben zur Simulation angehängt, welche zuvor nicht gesondert betrachtet wurden.

B.1 Zeitsteuerung der Fenster



Bild B.1 Schedule der Stiegenhausfenster, diese werden gekippt

B.2 Zeitsteuerung der Lüftungsanlagen

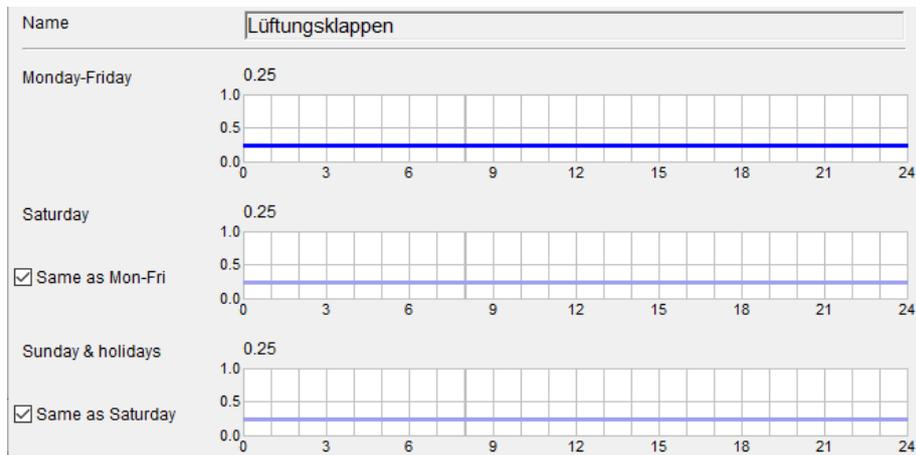


Bild B.2 Öffnung der Lüftungsklappen in der bestehenden Bauweise

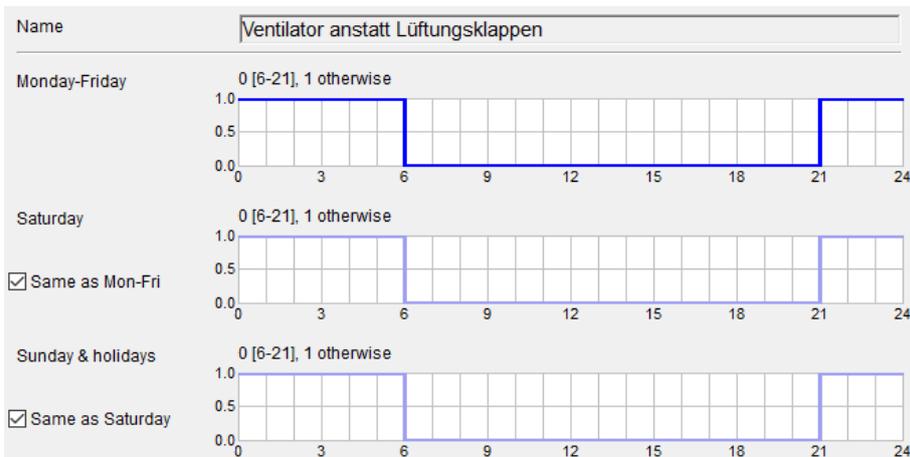


Bild B.3 Schedule der Lüftungskappen und des Ventilators in den Versuchsräumen, bei den Varianten Saugbetrieb und Druckbetrieb

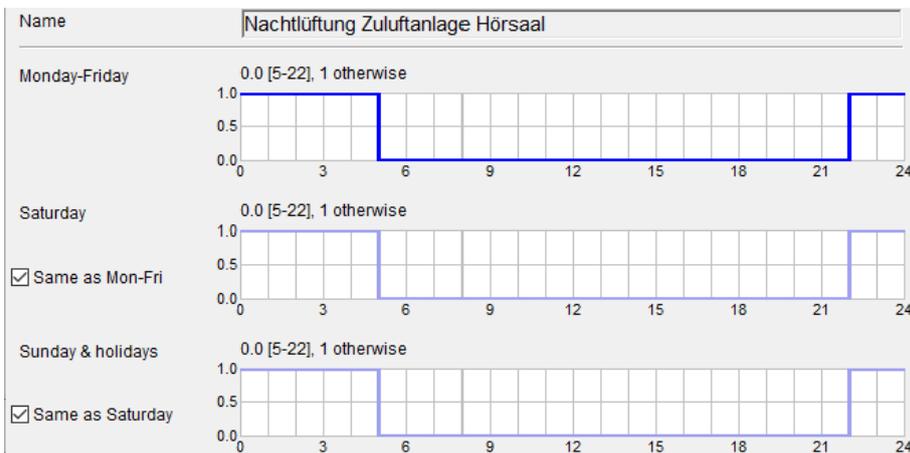


Bild B.4 Schedule der Lüftungsanlage der Hörsäle

B.3 Zeitsteuerung der internen Lasten

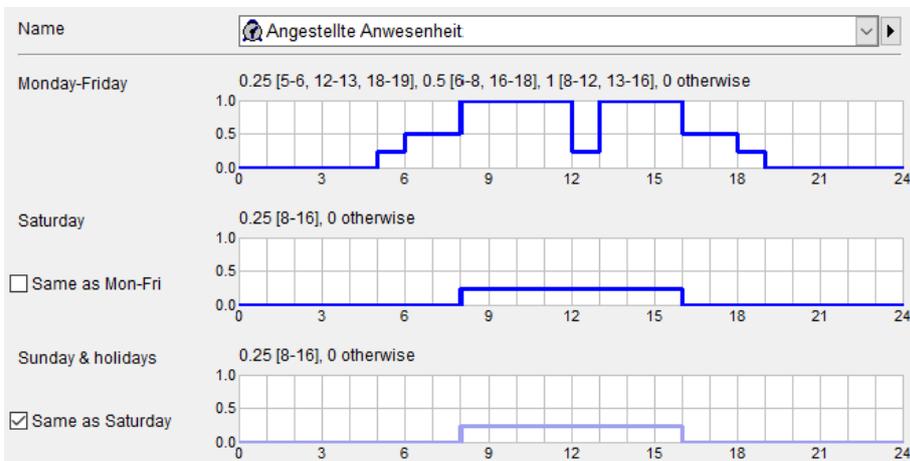


Bild B.5 Schedule der Anwesenheit der Angestellten

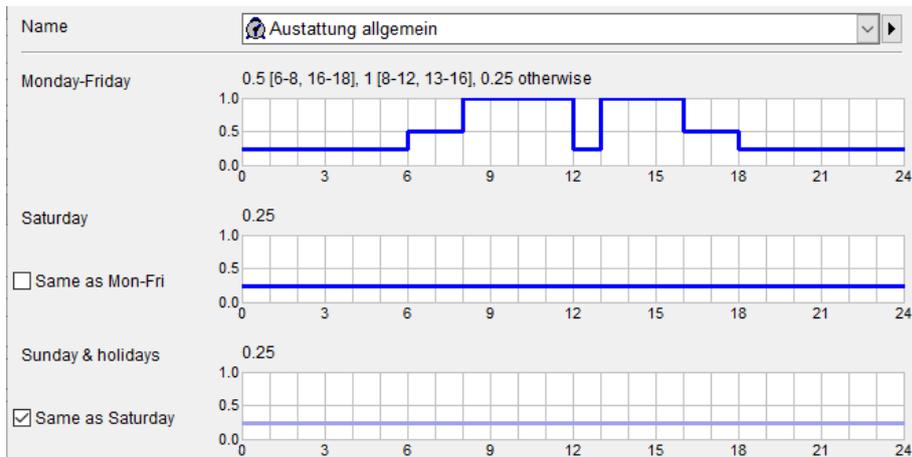


Bild B.6 Schedule des Betriebes der Gebäudeausstattung

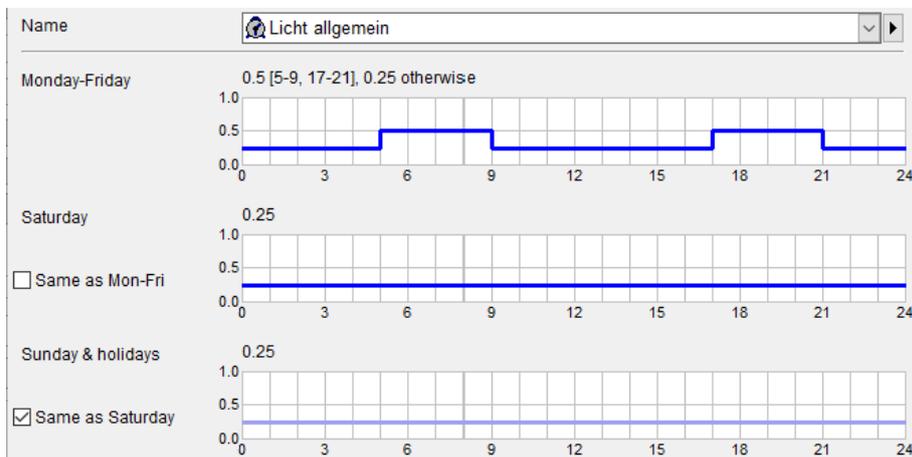


Bild B.7 Schedule der Beleuchtung

B.4 Vergleich der Klimadaten

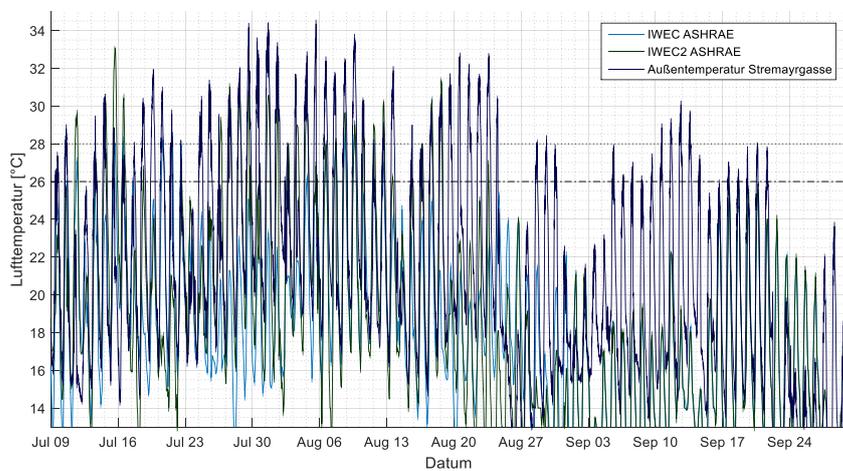


Bild B.8 Außenlufttemperatur der Klimadatensätze und der gemessenen Außenlufttemperatur über die Gesamtetappe

B.5 Bauteilaufbauten der Simulation⁹²

Tabelle B.1 Bauteilaufbauten der Simulation: Außenwand längsseitig⁹³

Außenwand längsseitig				
Schicht (von innen nach außen)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
zementgebundene Spanplatte	1,3	0,260	1.250	1.880
Luft	2,0	0,450	1	1.000
Schaumglas	8,0	0,050	1.258	840
STB-Platte	20,0	2,300	2.400	1.130
Dicke des Bauteils: 0,313 m				
U-Wert des Bauteils: 0,5125 W/(m²K)				

Tabelle B.2 Bauteilaufbauten der Simulation: Außenwand stirnseitig⁹⁴

Außenwand stirnseitig				
Schicht (von innen nach außen)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
STB-Platte	15,0	2,300	2.400	1.130
XPS	10,0	0,033	35	1.400
STB-Platte	15,0	2,300	2.400	1.130
Dicke des Bauteils: 0,400 m				
U-Wert des Bauteils: 0,3002 W/(m²K)				

Tabelle B.3 Bauteilaufbauten der Simulation: Brüstung⁹⁵

Brüstung				
Schicht (von innen nach außen)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
STB-Platte	10,0	2,300	2.400	1.130
Dicke des Bauteils: 0,100 m				
U-Wert des Bauteils: 4,6840 W/(m²K)				

⁹² Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDESIMULATION. S. 24ff (Berechnung)

⁹³ Vgl. a.a.O. S. 28 (Berechnung)

⁹⁴ Vgl. a.a.O. S. 30 (Berechnung)

⁹⁵ Vgl. a.a.O. S. 32 (Berechnung)

Tabelle B.4 Bauteilaufbauten der Simulation: Fußboden Büro⁹⁶

Fußboden Büro				
Schicht (von oben nach unten)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
Parkett	2,0	0,150	600	2.500
Estrichbeton	6,0	1,400	2.000	1.130
TDP 30/25	2,5	0,035	30	1.400
Schüttung	2,5	0,700	1.800	1.000
STB-Platte	22,0	2,300	2.400	1.130
Dicke des Bauteils: 0,350 m				
U-Wert des Bauteils: 0,8390 W/(m²K)				

Tabelle B.5 Bauteilaufbauten der Simulation: Fußboden Büro über offenem Bereich⁹⁷

Fußboden Büro über offenem Bereich				
Schicht (von oben nach unten)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
Parkett	2,0	0,150	600	2.500
Estrichbeton	6,0	1,400	2.000	1.130
TDP 30/25	2,5	0,035	30	1.400
Schüttung	2,5	0,700	1.800	1.000
STB-Platte	22,0	2,300	2.400	1.130
Mineralwolle	18,0	0,040	20	1.500
Luft	3,6	0,450	1	1.000
Eternit	3,6	1,000	1.280	2.000
Dicke des Bauteils: 0,602 m				
U-Wert des Bauteils: 0,1722 W/(m²K)				

⁹⁶ Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDESIMULATION. S. 25 (Berechnung)

⁹⁷ Vgl. a.a.O. S. 26 (Berechnung)

Tabelle B.6 Bauteilaufbauten der Simulation: Fußboden erdberührt⁹⁸

Fußboden erdberührt				
Schicht (von oben nach unten)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
Linoleum	0,5	0,170	1.000	1.500
Estrichbeton	6,0	1,400	2.000	1.130
TDP 30/25	2,5	0,035	30	1.400
EPS W30	4,0	0,035	30	1.400
Schüttung	3,5	0,700	1.800	1.000
Feuchtigkeitsisolierung	0,5	0,170	1.200	1.500
STB-Platte	35,0	2,300	2.400	1.130
Dicke des Bauteils: 0,520 m				
U-Wert des Bauteils: 0,4290 W/(m²K)				

Tabelle B.7 Bauteilaufbauten der Simulation: Fußboden Gänge OG

Fußboden Gänge OG				
Schicht (von oben nach unten)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
Terrazzo	2,0	0,530	1.600	880
Estrichbeton	6,0	1,400	2.000	1.130
TDP 30/25	2,5	0,035	30	1.400
Schüttung	2,5	0,700	1.800	1.000
STB-Platte	22,0	2,300	2.400	1.130
Dicke des Bauteils: 0,350 m				
U-Wert des Bauteils: 0,9122 W/(m²K)				

⁹⁸ Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄU-DESIMULATION. S. 24 (Berechnung)

Tabelle B.8 Bauteilaufbauten der Simulation: Fußboden Halle⁹⁹

Fußboden Halle				
Schicht (von oben nach unten)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kgK)]
Terrazzo	2,0	0,530	1.600	880
Estrichbeton	6,0	1,400	2.000	1.130
TDP 30/25	2,5	0,035	30	1.400
Schüttung	2,5	0,700	1.800	1.000
STB-Platte	22,0	2,300	2.400	1.130
Luft	48,0	0,450	1	1.000
Holzspanplatte	1,5	0,100	500	2.500
Dicke des Bauteils: 0,845 m				
U-Wert des Bauteils: 0,4324 W/(m²K)				

Tabelle B.9 Bauteilaufbauten der Simulation: Innentüre¹⁰⁰

Innentüre				
Schicht (von innen nach außen)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kgK)]
Holz	3,0	0,150	500	2.500
Dicke des Bauteils: 0,030 m				
U-Wert des Bauteils: 2,7030 W/(m²K)				

Tabelle B.10 Bauteilaufbauten der Simulation: Umkehrdach¹⁰¹

Umkehrdach				
Schicht (von oben nach unten)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kgK)]
Schüttung	8,0	0,700	1.800	1.000
XPS	12,0	0,033	35	1.400
Bitumendachbahn	0,8	0,170	1.200	1.500
Gefällebeton	8,0	1,400	2.000	1.130
STB-Platte	22,0	2,300	2.400	1.130
Dicke des Bauteils: 0,508 m				
U-Wert des Bauteils: 0,1662 W/(m²K)				

⁹⁹ Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDESIMULATION. S. 25 (Berechnung)

¹⁰⁰ Vgl. a.a.O. S. 32 (Berechnung)

¹⁰¹ Vgl. a.a.O. S. 27 (Berechnung)

Tabelle B.11 Bauteilaufbauten der Simulation: Leichtdach (Mittelgang)¹⁰²

Leichtdach (Mittelgang)				
Schicht (von oben nach unten)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
Kunststoffdachbahn	0,3	0,180	1.000	1.260
Sperrholz	1,5	0,150	800	2.100
Mineralwolle	20,0	0,040	20	1.500
Steinwolleplatte	3,0	0,041	50	840
Trapezblech	0,1	60,000	7.500	1.000
Dicke des Bauteils: 0,249 m				
U-Wert des Bauteils: 0,1662 W/(m²K)				

Tabelle B.12 Bauteilaufbauten der Simulation: Terrassendecke¹⁰³

Terrassendecke				
Schicht (von oben nach unten)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
Betonplatte	5,0	1,400	2.000	1.130
XPS	12,0	0,033	35	1.400
Kunststoffdachbahn	0,3	0,180	1.000	1.260
Gefällebeton	5,0	1,400	2.000	1.130
STB-Platte	22,0	2,300	2.400	1.130
Dicke des Bauteils: 0,443 m				
U-Wert des Bauteils: 0,2506 W/(m²K)				

¹⁰² Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDESIMULATION. S. 28 (Berechnung)

¹⁰³ Vgl. a.a.O. S. 26 (Berechnung)

Tabelle B.13 Bauteilaufbauten der Simulation: Trennwand leicht¹⁰⁴

Trennwand leicht				
Schicht (von innen nach außen)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
zementgebundene Spanplatte	1,3	0,260	1.250	1.880
Holzspanplatte	1,3	0,100	500	2.500
Mineralwolle	5,0	0,040	20	1.500
Holzspanplatte	1,3	0,100	500	2.500
zementgebundene Spanplatte	1,3	0,260	1.250	1.880
Dicke des Bauteils: 0,100 m				
U-Wert des Bauteils: 0,5662 W/(m²K)				

Tabelle B.14 Bauteilaufbauten der Simulation: Trennwand Stahlbeton¹⁰⁵

Trennwand Stahlbeton				
Schicht (von innen nach außen)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
STB-Platte	10,0	2,300	2.400	1.130
STB-Platte	10,0	2,300	2.400	1.130
Dicke des Bauteils: 0,200 m				
U-Wert des Bauteils: 3,8920 W/(m²K)				

Tabelle B.15 Bauteilaufbauten der Simulation: Terrassendecke¹⁰⁶

Terrassendecke				
Schicht (von oben nach unten)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kgK)]
Schüttung	8,0	0,700	1.800	1.000
XPS	12,0	0,033	35	1.400
Bitumendachbahn	0,8	0,170	1.200	1.500
Gefällebeton	8,0	1,400	2.000	1.130
STB-Platte	22,0	2,300	2.400	1.130
Dicke des Bauteils: 0,508 m				
U-Wert des Bauteils: 0,2427 W/(m²K)				

¹⁰⁴ Vgl. ZIMMERMANN, A. et al. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄU-DESIMULATION. S. 31 (Berechnung)

¹⁰⁵ Vgl. a.a.O. S. 31 (Berechnung)

¹⁰⁶ Vgl. a.a.O. S. 26 (Berechnung)

B.6 Screenshots aus IDA ICE

Die folgenden Screenshots der Simulation stellen die Raumlufttemperatur am 04.08.2018 um 15:00 Uhr dar. Die Temperaturskala bewegt sich zwischen 24°C (blau) und 28°C (rot).

B.6.1 Variante ohne Maßnahmen

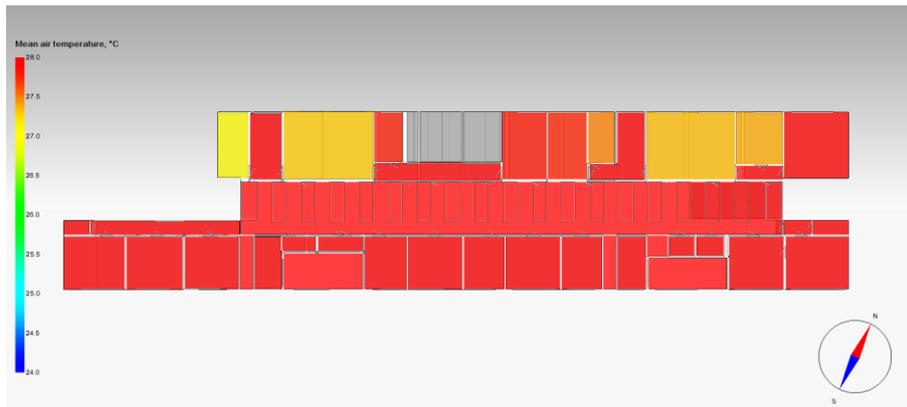


Bild B.9 Grundriss 1. Obergeschoss der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

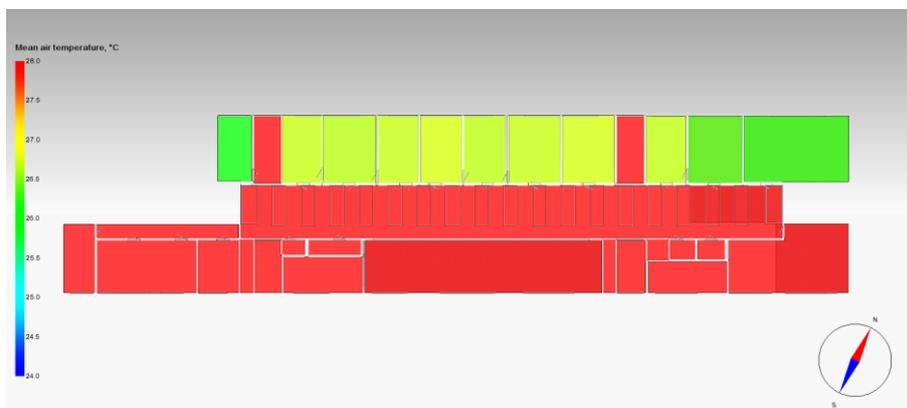


Bild B.10 Grundriss Erdgeschoss der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

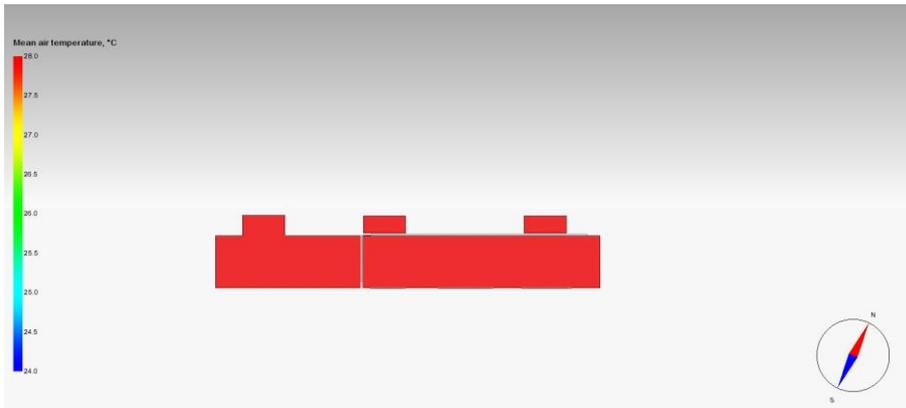


Bild B.11 Grundriss Kellergeschoss der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur



Bild B.12 Nordwestseite der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

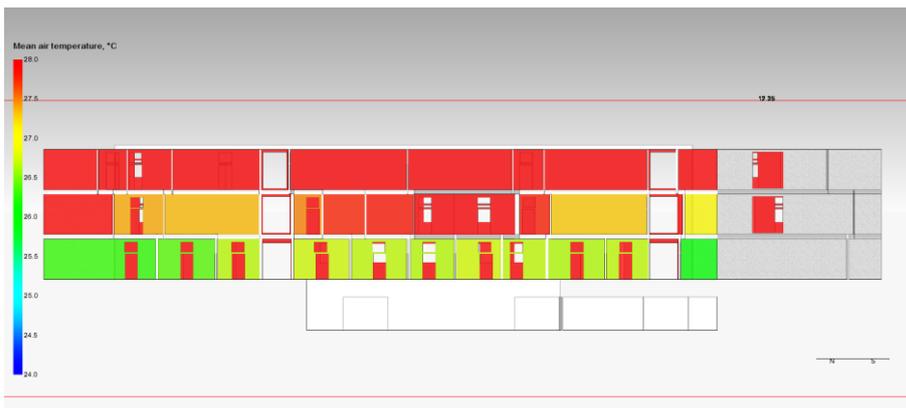


Bild B.13 Schnitt in der Nordwestseite der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur



Bild B.14 Südostseite der Variante ohne Maßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

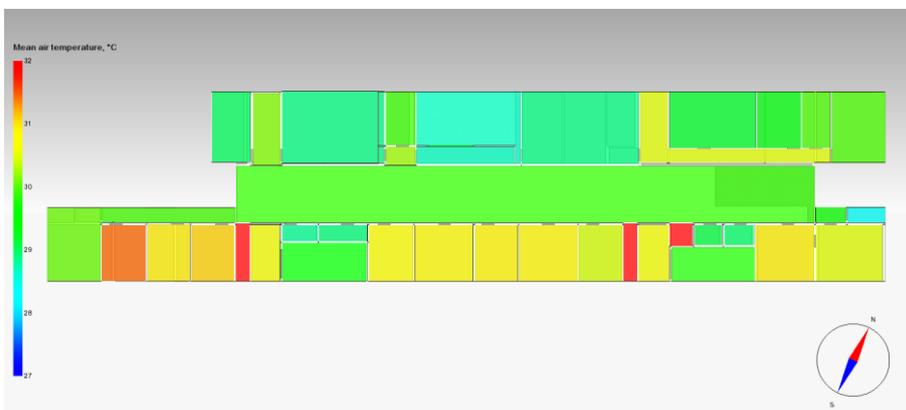


Bild B.15 Grundriss 2. Obergeschoss der Variante ohne Maßnahmen mit angepasster farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur, die Temperaturskala reicht von 27°C bis 32°C

B.6.2 Variante Verschattungsmaßnahmen



Bild B.16 Grundriss 1. Obergeschoss der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

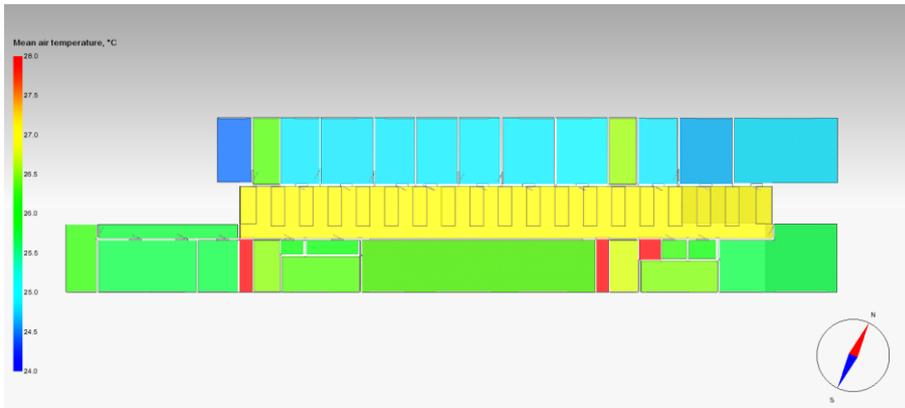


Bild B.17 Grundriss Erdgeschoss der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

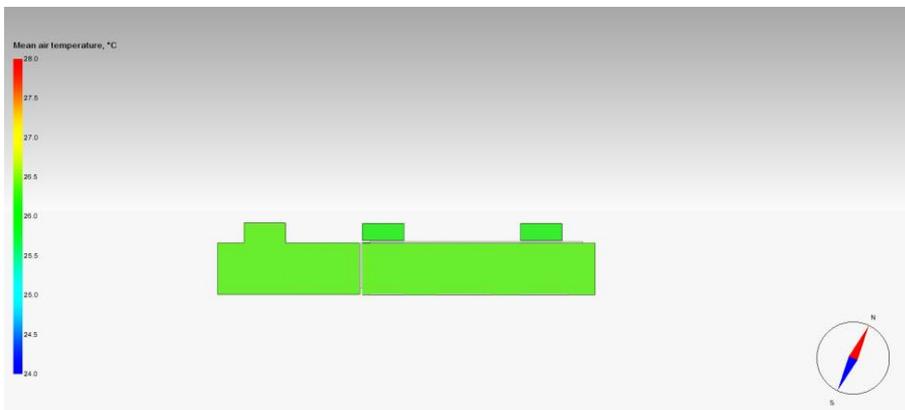


Bild B.18 Grundriss Kellergeschoss der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur



Bild B.19 Nordwestseite der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

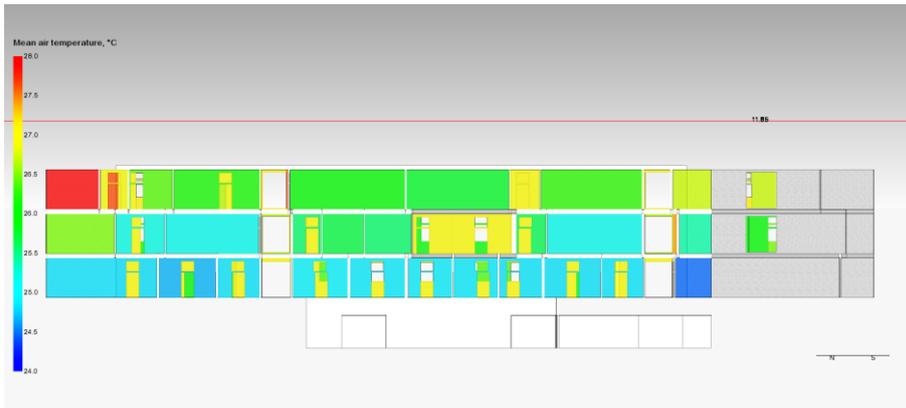


Bild B.20 Schnitt in der Nordwestseite der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur



Bild B.21 Südostseite der Variante Verschattungsmaßnahmen mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur

B.6.3 Variante Saugbetrieb

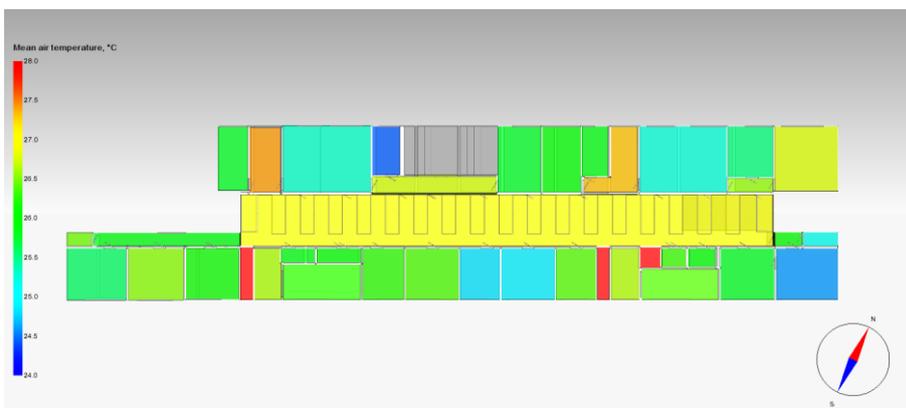


Bild B.22 Grundriss 1. Obergeschoss der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur

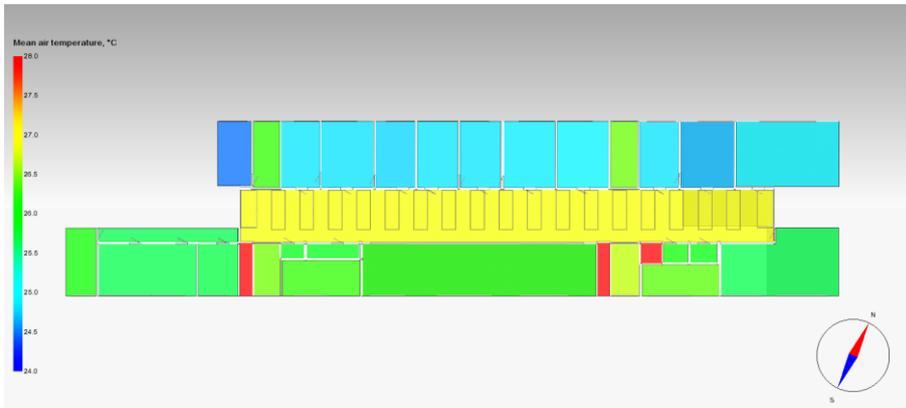


Bild B.23 Grundriss Erdgeschoss der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

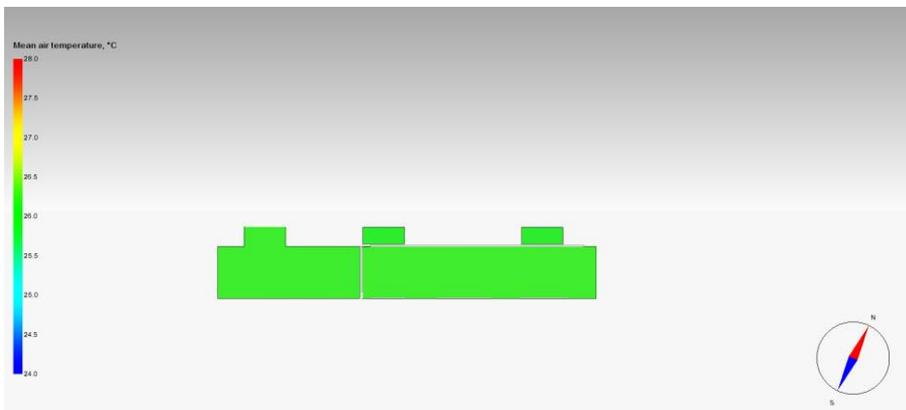


Bild B.24 Grundriss Kellergeschoss der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur



Bild B.25 Nordwestseite der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

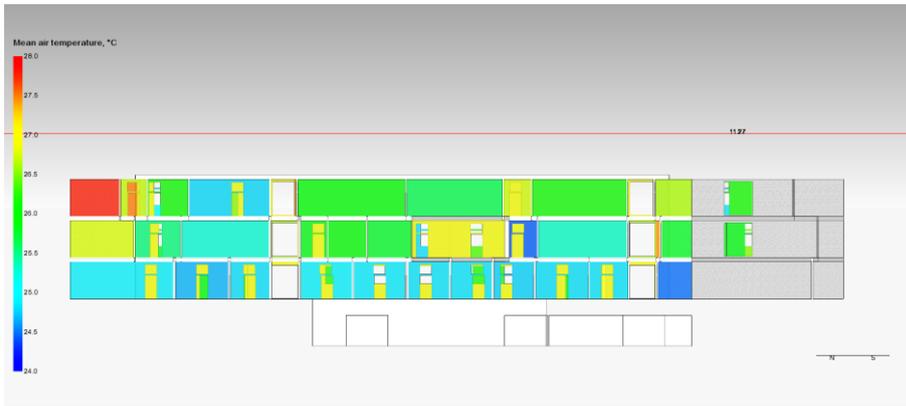


Bild B.26 Schnitt in der Nordwestseite der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur



Bild B.27 Südostseite der Variante Saugbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur

B.6.4 Variante Druckbetrieb

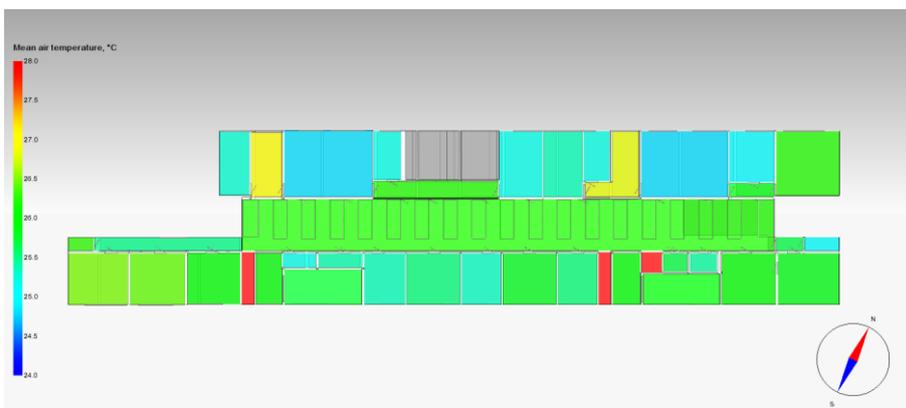


Bild B.28 Grundriss 1. Obergeschoss der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufthtemperatur

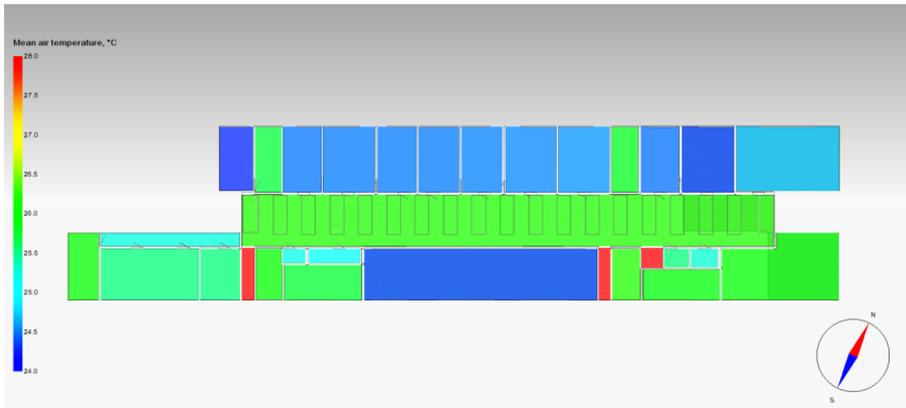


Bild B.29 Grundriss Erdgeschoss der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

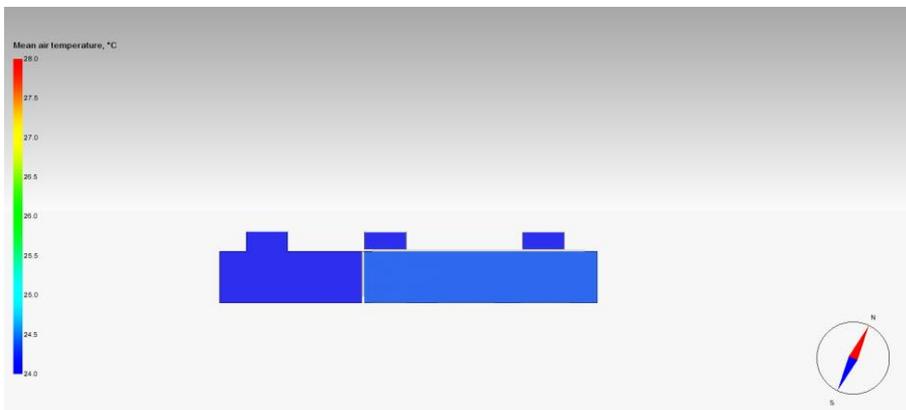


Bild B.30 Grundriss Kellergeschoss der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

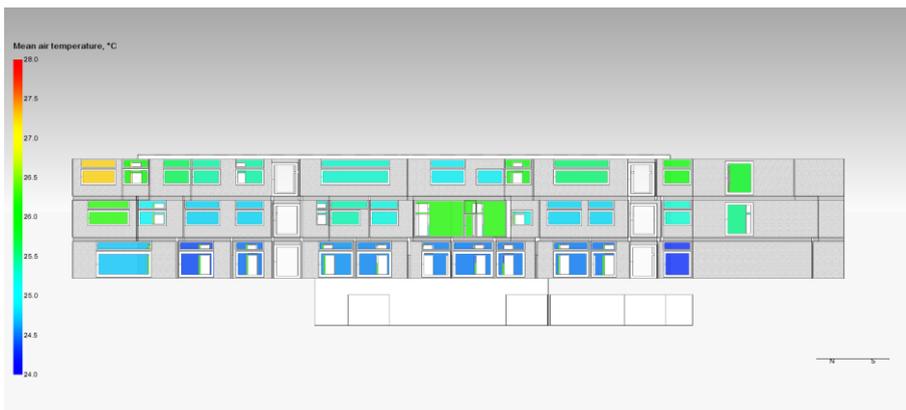


Bild B.31 Nordwestseite der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

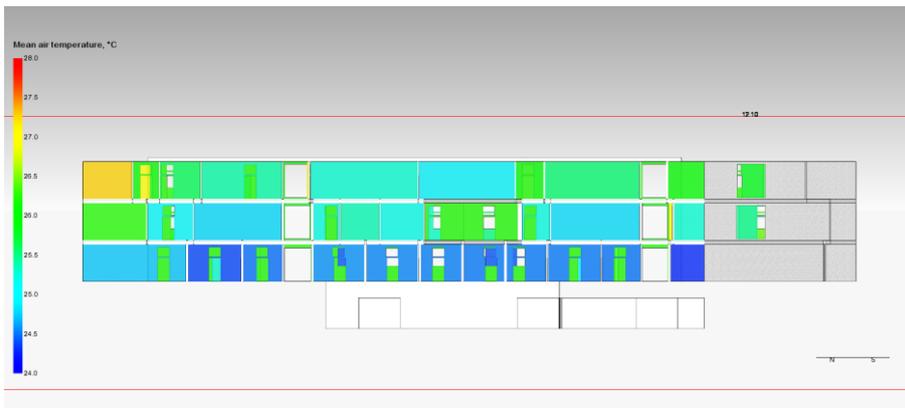


Bild B.32 Schnitt in der Nordwestseite der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur



Bild B.33 Südostseite der Variante Druckbetrieb mit farblicher Darstellung der Raumlufttemperatur

B.7 Durchschnittslufttemperaturen der Simulation

Die Durchschnittslufttemperaturen (siehe nachfolgende Tabellen) wurden mit MATLAB für die in den Tabellen angegebenen Zeitperioden und Räumlichkeiten anhand der Messdaten berechnet. Jede Tabelle bildet eine der simulierten Varianten bzw. den Vergleich der Klimadatenätze ab.

Tabelle B.16 Durchschnittslufttemperaturen der Simulation während der betrachteten Zeitperioden in der Variante ohne Maßnahmen

Zone		Ohne Maßnahmen		
		Gesamtetappe	Hitzeperiode	Normalperiode
5	Atrium	23,6°C	27,1°C	23,9°C
58	Versuchsraum OG 1	23,9°C	27,0°C	23,6°C
81	Versuchsraum OG 2 Nord	24,4°C	27,8°C	25,3°C
92	Vergleichsraum OG 2	25,0°C	28,5°C	25,5°C
93	Versuchsraum OG 2	25,1°C	28,7°C	25,5°C

Tabelle B.17 Durchschnittslufttemperaturen der Simulation während der betrachteten Zeitperioden in der Variante Verschattungsmaßnahmen

Zone		Verschattungsmaßnahmen		
		Gesamtetappe	Hitzeperiode	Normalperiode
5	Atrium	22,3°C	25,1°C	22,8°C
58	Versuchsraum OG 1	22,6°C	24,6°C	22,8°C
81	Versuchsraum OG 2 Nord	22,9°C	25,4°C	23,6°C
92	Vergleichsraum OG 2	23,5°C	26,1°C	24,0°C
93	Versuchsraum OG 2	23,4°C	25,9°C	23,9°C

Tabelle B.18 Durchschnittslufttemperaturen der Simulation während der betrachteten Zeitperioden in der Variante Saugbetrieb

Zone		Saugbetrieb		
		Gesamtetappe	Hitzeperiode	Normalperiode
5	Atrium	21,6°C	25,0°C	22,5°C
58	Versuchsraum OG 1	19,8°C	23,0°C	21,3°C
81	Versuchsraum OG 2 Nord	20,0°C	23,5°C	21,9°C
92	Vergleichsraum OG 2	23,0°C	25,9°C	23,9°C
93	Versuchsraum OG 2	20,1°C	23,4°C	21,8°C

Tabelle B.19 Durchschnittslufttemperaturen der Simulation während der betrachteten Zeitperioden in der Variante Druckbetrieb

Zone		Druckbetrieb		
		Gesamtetappe	Hitzeperiode	Normalperiode
5	Atrium	20,5°C	23,9°C	21,6°C
58	Versuchsraum OG 1	21,3°C	24,2°C	22,6°C
81	Versuchsraum OG 2 Nord	21,5°C	24,6°C	23,1°C
92	Vergleichsraum OG 2	22,2°C	25,1°C	23,1°C
93	Versuchsraum OG 2	21,8°C	24,9°C	23,1°C

Tabelle B.20 Durchschnittslufttemperaturen der Klimadatensätze der Simulation während der betrachteten Zeitperioden

Datensatz	Klimadatensätze		
	Gesamtetappe	Hitzeperiode	Normalperiode
IWEC	17,9°C	20,6°C	20,1°C
IWEC 2	18,4°C	23,0°C	18,7°C

Glossar

Air Handling Unit	In Kurzform AHU, Zentrale Lüftungsanlage in der Simulation, wurde auch verwendet um die dezentral angeordneten Ventilatoren zu simulieren
Druckbetrieb	Der Betrieb der Ventilatoren, um Luft vom Mittelgang in den Versuchsraum zu fördern. Die Frischluftversorgung erfolgt hier durch die Zuluftanlage der Hörsäle.
Gesamtetappe	Zeitraum, der zur Auswertung der Messungen verwendet wurde. Die Gesamtetappe beginnt am 09.07.2018 und endet am 30.09.2018.
Hitzeperiode	Zeitraum, der zur Auswertung der Messungen, während einer heißen Phase des Jahres, verwendet wurde. Es wurden 2 Hitzeperioden, je eine für Saug- und Druckbetrieb definiert.
National Climatic Data Center	größter Datenpool von Wetterdaten weltweit mit Sitz in den USA
Normalperiode	Zeitraum, der zur Auswertung der Messungen, während einer gemäßigten Phase des Jahres, verwendet wurde.
Saugbetrieb	Der Betrieb der Ventilatoren, um Luft vom Versuchsraum in den Mittelgang zu befördern und Frischluft von Fenster anzusaugen.
Schedule	Zeitsteuerung in der Simulation
Vergleichsraum	Ein Raum, welcher mit einem Datenlogger ausgestattet wurde, aber nicht über einen Ventilator verfügt.
Versuchsraum	Ein Raum, welcher mit einem Ventilator und einem Datenlogger ausgestattet wurde.

Literaturverzeichnis

BOHNE, D. (2014): Technischer Ausbau von Gebäuden Und nachhaltige Gebäudetechnik. 10., aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer.

BUCHMANN, F. (2018): Funktionsbeschreibung TU Graz Inffeldgasse 16b,c Freie Außenluftkühlung. s.l.: unveröffentl. Skript.

EDER, K. (2017): Interaction of Building Envelope and Cooling Ceilings – System Analysis and System Modeling. Wien: Diss. Technische Universität Wien.

ENTWURF ÖNORM B 8110-3 (2018): Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Vermeidung sommerlicher Überwärmung). Wien: Österreichisches Normungsinstitut. Ausgabe: 2018-09-01.

EQUA SIMULATION AB (2016): Sommerliche Simulationen – passive Kühlung. at: https://www.youtube.com/watch?v=ytANIQ0vClc&list=PLiyWmurrMD13nJPJN_4a39acEHZmRp3UA&index=13&t=0s. Datum des Zugriffs 20.08.2019.

EQUA SIMULATION AB (2018): DIN 4108-2 Nachweise mit IDA ICE_ Schnell, realistisch, rechtsicher (Webinar). at: https://www.youtube.com/watch?v=jch6tPo8qOw&list=PLiyWmurrMD13nJPJN_4a39acEHZmRp3UA&index=24&t=0s. Datum des Zugriffs 20.08.2019.

Fluke: Professionelle Temperaturmessungen Kontaktthermometer und berührungslose Thermometer von Fluke.

HIEBL, J.; CHIMANI, B.; GANEKIND, M. und ORLIK, A. (2019): Österreichisches Klimabulletin Jahr 2018. Wien: ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-international-weather-files-for-energy-calculations-2-0-iwec2>. Datum des Zugriffs: 28.08.2019.

<https://www.google.at/maps/@47.0585739,15.4584845,188m/data=!3m1!1e3>. Datum des Zugriffs: 27.07.2019.

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring/?param=t&period=period-ys-2018-2&ref=3>. Datum des Zugriffs: 21.08.2019.

KAUTSCH, P. (2016): Vorlesungsunterlage Bauphysik 1 Wärmeschutz & Feuchteschutz Master-Ausbildung Bauingenieur-wissenschaften. Graz: Institut für Hochbau, TU Graz.

KROMP-KOLB, H.; FORMAYER, H. und CLEMENTSCHITSCH, L. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf Wien unter besonderer

- Berücksichtigung von Klimaszenarien. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie.
- OIB RICHTLINIE 6 (2015): Energieeinsparung und Wärmeschutz. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik. Ausgabe: März 2015.
- OIB RICHTLINIE 6 (2019): Energieeinsparung und Wärmeschutz. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik. Ausgabe: April 2019.
- OIB-LEITFADEN OIB-RL 6 (2015): Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik. Ausgabe: März 2015.
- OIB-LEITFADEN OIB-RL 6 (2019): Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik. Ausgabe: April 2019.
- ÖNORM B 8110-3 (2012): Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. Ausgabe: 2012-03-15.
- ÖNORM B 8110-6-1 (2019): Grundlagen und Nachweisverfahren Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. Ausgabe: 2019-01-15.
- ÖNORM EN ISO 7730 (2006): Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Wien: Österreichisches Normungsinstitut. Ausgabe: 2006-05-01.
- OTT HydroMet: Technische Daten OTT TRH – Luftfeuchte und Temperatur messen.
- PABST, S. (2018): Inffeldgasse 16-16c sommerliche Überhitzung Versuch IN16b – Maßnahmen – Evaluierung. s.l.: unveröffentl. Skript.
- PFÄFFEROTT, J. (2003): Passive Kühlung mit Nachtlüftung. Karlsruhe: Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH.
- Reichelt.de: - Bedienungsanleitung – Temperatur-/Luftfeuchte-/Luftdruck-Datenlogger UT330A/B/C.
- REINHART, F. (2008): Kälteversorgung. In: FITZNER, K. (Hrsg.): Raumklimatechnik. Band 2: Raumluft- und Raumkühltechnik. 16., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Springer. 439 – 519.
- SEPPÄNEN, O.; FISK, W. und FITZNER, K. (2008): Rentabilität von Verbesserungen des Raumklimas. In: FITZNER, K. (Hrsg.): Raumklimatechnik. Band 2: Raumluft- und Raumkühltechnik. 16., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Springer. 439 – 519.
- SIEMENS AG (2015): Messtechnik. s.l.: Selbstverlag.

SIMADER, G.; TRNKA, G.; MAIR AM TINKHOF, O.; EGGLER, L.; MÖHRING, G.; FERK, H.; RIEDERER, G. und RÜDISSER, D. (2015): Risiko-optimierte Gebäudeentwicklung im Holzbau aufgrund des Klimawandels. Wien: Österreichische Energieagentur.

Soler & Palau: Technisches Datenblatt zu Fenster- und Wandventilator HV.

STEININGER, K.; HAAS, W.; KÖNIG, M.; PECH, M.; PRETTENTHALER, F.; PRUTSCH, A.; THEMESSEL, M.; WAGNER, G. und WOLF, A. (2015): Die Folgeschäden des Klimawandels in Österreich Dimensionen unserer Zukunft in zehn Bilder für Österreich. Wien: Klima- und Energiefonds.

testo: Technische Daten und Bedienungsanleitung zu testo 445 Klima Messgerät mit Flügelrad-/Temperatur-Sonde.

WILLEMS, W.; SCHILD, K. und DINTER, S. (2006): Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 1 Wärme- und Feuchteschutz, Behaglichkeit, Lüftung. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH.

ZIMMERMANN, A.; GAMERITH H. und HÖFLER K. (1997): INFORMATIONSTECHNISCHE INSTITUTE DER TU GRAZ Inffeldgründe GEBÄUDESIMULATION. s.l.: unveröffentl. Skript.

ZIMMERMANN, M. (1999): Handbuch der passiven Kühlung. Dübendorf: EMPA ZEN.

