



PARAMETERUNTERSUCHUNG DES SOMMERLICHEN RAUMKLIMAS VON WOHNGEBÄUDEN

SOMMERLICHES KOMFORTKLIMA

Jahreszwischenbericht 2010

Autor und Koautoren	Daniel Kehl und Andreas Müller
beauftragte Institution	Berner Fachhochschule – Architektur, Holz und Bau
Adresse	Solothurnstrasse 102
Telefon, E-mail, Internetadresse	Tel.: 032 3440319; andreas.mueller@bfh.ch ; www.ahb.bfh.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	Projekt: 103215 / Vertrag: 154240
BFE-Projektleiter	Andreas Müller
Dauer des Projekts (von – bis)	Juli 2009 – Februar 2011
Datum	22.12.2010

ZUSAMMENFASSUNG

Aus der Analyse der nationalen und internationalen Forschungsergebnisse geht hervor, dass folgende Faktoren das sommerliche Raumklima in Wohnbauten beeinflussen: die Verschattung der transparenten Bauteile, das Lüftungsverhalten, die internen Wärmelasten, der U-Wert der Bauteile, gefolgt von der die interne wirksamen Speicherkapazität und die Art des Dämmstoffes [1]-[3]. Heute ist der U-Wert der opaken Bauteile so gering ($\leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$), dass dieser kaum mehr von Bedeutung ist. Die beiden weiteren Einflussgrössen, Verschattung und Lüftung, sind stark vom Nutzungsverhalten abhängig und daher besonders schwer zu erfassen. Ansätze sind in [4] und [5] zu finden. Aus den Messungen in [6], der mehrere Häuser über einen Sommer lang erfasst hat, geht dies besonders hervor. Je nach Nutzerverhalten ist das Raumklima entsprechend unterschiedlich.

Die meisten Studien des sommerlichen Raumklimas werden mittels thermischer Simulationen durchgeführt, da Parameteruntersuchungen dieser Art messtechnisch nicht bewältigt werden können. Die Annahmen, die dafür getroffen werden, sind oftmals sehr unterschiedlich. So werden Räume oder Gebäude simuliert, bei denen man nicht weiss, ob und wie oft sie in der Baupraxis vorkommen. Auch weichen bspw. die internen Wärmelasten erheblich in den Untersuchungen voneinander ab. Es musste ebenso festgestellt werden, dass trotz Vorhandensein nationaler und internationaler Norm [7]-[10] es Unterschiede in der Ermittlung der internen wirksamen Speicherkapazität der Bauteile und des Raumes gibt.

In den bisherigen Simulationsstudien ist weiterhin festzustellen, dass Gebäude (Räume), Baukonstruktionen und Fenstergrössen etc. ohne Analyse der gebauten Praxis angenommen wurden. Es liegen auch keine Untersuchungen dazu vor. Daher wurden Umfragen bei Technikern der HF Biel und Holzbaubetrieben des Verbandes Güteüberwacher Qualitätshäuser (VGQ) durchgeführt. So konnte eine fundierte Grundlage an Bauteil- und Raumparametern ermittelt werden, um die anschließenden Simulationen an der Praxis zu orientieren. Daraus wurde ein repräsentatives Referenzgebäude erstellt.

Wie bei den Raumparametern ist aus bisherigen Untersuchungen festzustellen, dass das Lüftungsverhalten der Nutzer wenig bekannt ist und daher oftmals Annahmen getroffen werden. Aus Messdaten vom Institut Wohnen und Umwelt GmbH, die der BFH zur Verfügung gestellt wurden, konnten Lüftungsprofile erstellt werden. Es liegen nun alle wesentlichen Parameter für die Simulation vor.

Inhaltsverzeichnis

1	Projektziele.....	3
2	Physikalische Kenngrössen	3
2.1	Baustoffe	3
3	Bauteile	4
4	Typische Konstruktionen im Wohnungsbau.....	4
4.1	Aussenwandkonstruktionen	4
4.2	Innenwandkonstruktionen	6
4.3	Deckenkonstruktionen	7
4.4	Dachkonstruktionen.....	9
5	Wohnraumflächen	9
6	Fenster- und Glasflächen.....	10
7	Referenzgebäude.....	14
8	Lüftungsverhalten in Wohnräumen	14
8.1	Fensteröffnungszeiten in Wohnräumen	14
8.2	Einfluss der Fenstergeometrie Auf den natürlichen Luftwechsel	17
9	Verschattung	18
10	Nationale Zusammenarbeit	18
11	Internationale Zusammenarbeit.....	18
12	Bewertung 2010 und Ausblick 2011.....	18
13	Literatur	19
14	Anhang	20
14.1	Aussenwandkonstruktionen	20
14.1.1	Auswertung Studierende und VGQ Häuser	20
14.1.2	Bauteilaufbauten.....	21
14.2	Deckenkonstruktionen.....	30
14.3	Dachkonstruktionen.....	30
14.4	Raumgrössen	31
14.5	Analyse Fensterflächen	34
14.6	Analyse Fensteröffnungszeiten	38
14.6.1	Lüftungsprofile DINK (Double Income No Kinds):.....	38
14.6.2	Lüftungsprofile FAM (Family, mindestens 1 Person ist immer anwesend):	41

1 Projektziele

Es ist bekannt, dass es bei Wohngebäuden während der Sommermonate unter bestimmten Randbedingungen zu einem unbehaglichen Raumklima kommt. Dies ist umso bedeutsamer, da es auf Grund des Klimawandels [9] zukünftig immer wärmer wird. Zur Reduktion hoher Temperaturen können sowohl anlagentechnische als auch konstruktive Massnahmen eingesetzt werden.

Die konstruktiven und nutzerbedingten Mechanismen, um die Temperaturen auf ein behagliches Mass zu reduzieren sind prinzipiell bekannt u.a. [1]-[3];[12]-[16]. Zu Massivbauten liegen dazu Erkenntnisse aus Messungen und Simulationen vor. Da Holzbauten auf Grund ihrer unterschiedlichen inneren Speicherfähigkeit anders reagieren, können die Ergebnisse des Massivbaus nicht übertragen werden. Für Holzbauten mit ihren mittlerweile sehr unterschiedlichen Bauweisen (u.a. Holzrahmen-, Holzmassiv- und Holzbetonverbundbau) liegen nur vereinzelte Erkenntnisse vor [1]-[3]. Hier fehlt es an detaillierten und umfangreichen Untersuchungen. Diese Lücke zu schliessen, ist besonders von Bedeutung, da viele Minergie und Minergie P-Bauten in Holz errichtet werden.

Daher sollen mittels thermischer Gebäudesimulation die einzelnen Einflussparameter wie Fensterfläche- und -ausrichtung, Verschattung, Lüftung sowie Wärmespeicherfähigkeit der Holzbauten und besonders deren Wechselwirkung genau analysiert werden. Um dies möglichst nah an der Praxis zu orientieren, wurden im ersten Arbeitspaket eine differenzierte Datengrundlage über Bauteilaufbauten, Fensterflächen, Raumgrössen etc.) anhand von Literatur, Umfrage bei Technikern der HF Biel und Holzhausherstellern des VGQ ermittelt. Aus den Daten wurde ein Referenzhaus erstellt, was für die Simulation als Grundlage dient und an dem die Parameter variiert werden.

Im Jahr 2011 wird mit den Simulationen und deren Auswertung begonnen, um mittels der Rechenergebnisse die Varianten herauszuarbeiten unter denen auf Anlagentechnik im Sommer verzichtet bzw. auf ein Minimum reduziert werden kann. Infolgedessen kann zum einen ein angenehmes Raumklima in Wohnbauten erzeugt und die elektrische Energie der Anlagentechnik, wenn sie überhaupt benötigt wird, weitestgehend eingespart werden.

2 Physikalische Kenngrössen

2.1 BAUSTOFFE

Folgende Baustoffeigenschaften werden für die Bauteilanalyse verwendet.

Tab. 1: Übersicht der verwendeten Baustoffe und deren physikalischen Eigenschaften

Baustoff	Rohdichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit λ_D W/(m·K)	Quelle	Spezifische Wärmekapazität C_p		Quelle
				J/(kg·K)	Wh/(kg·K)	
Beton 1 % armiert	2300	2.300	EN ISO 10456	1000	0.278	EN ISO 10457
Gipsfaserplatten	1150	0.320	Hersteller	1000	0.278	EN ISO 10455
Gipskartonplatten	900	0.250	EN ISO 10456	1000	0.278	EN ISO 10456
Glaswolle	30	0.032	Hersteller	1030	0.286	EN ISO 10456
Holz	500.00	0.130	EN ISO 10456	1600	0.444	EN ISO 10456
Holzfaserdämmplatte UD	240	0.047	Hersteller	2000	0.556	EN ISO 10456
Holzfaserdämmplatte ZSD	55	0.038	Hersteller	2000	0.556	EN ISO 10456
Luft	1	*	EN ISO 10456	1008	0.280	EN ISO 10456
MDF-Platte	400	0.100	EN ISO 10456	1700	0.472	EN ISO 10456
Modulbackstein	1100	0.440	SN EN 12524	940	0.261	SN EN 12524
OSB-Platte	650	0.130	EN ISO 10456	1700	0.472	EN ISO 10456
mineralische Schüttung	1400	0.700	-	1000	0.278	-
Steinwolle	90	0.036	Hersteller	1030	0.286	EN ISO 10456
Zellulose	60	0.039	Hersteller	1600	0.444	EN ISO 10456
Zementunterlagsboden	2200	1.4	SN EN 12524	1000.0	0.278	SN EN 12524

* hängt von Dicke und Richtung des Wärmestroms ab

3 Bauteile

Die Speicherkapazität der Bauteile wurde mit den Baustoffkennwerte aus Tabelle 1 nach EN ISO 13786 [10] ermittelt. Sie kann dabei mit und ohne Wärmeübergangskoeffizienten berechnet werden. Die Berücksichtigung hat erheblichen Einfluss auf die Bauteilkennwerte und es ist daher bei einem Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz zu beachten, worauf sich die Anforderungen beziehen. Bei der Analyse verschiedener Normen und der Literatur hat sich ergeben, dass dieser Aspekt sehr unterschiedlich geregelt ist. Während in der SIA 382/1 [7] die Wärmeübergangswiderstände mit berücksichtigt werden, steht im SIA Merkblatt 2024 [8]: „Spezifische Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes C_m : Die Wärmespeicherfähigkeit wird nach EN ISO 13786 ... ohne Berücksichtigung des Oberflächenwiderstandes R_{si} ermittelt.“ Die aktuelle SIA 180 [9] enthält dazu keine Angaben, es ist aber auf Grund der Werte davon auszugehen, dass die Speicherkapazität mit Wärmeübergangswiderständen berechnet wurde.

Ausserdem ist festzustellen, dass der Holzanteil, der bei der U-Wert Berechnung berücksichtigt wird, oftmals bei Bauteilberechnungen für die sommerliche Betrachtung unberücksichtigt bleibt. Nur bei Thomas Frank [1] wird er mit eingerechnet. Diesbezüglich findet aktuell ein Forschungsvorhaben an der Hochschule Luzern statt, um herauszufinden, wie sich der Holzanteil auf das Bauteilverhalten im Sommer auswirkt. So können sich für ein und denselben Raum unterschiedliche Wärmespeicherkapazitäten ergeben.

Tab. 2: Beispiel für die errechnete Raumspeicherkapazitäten C_R/A_{GNF} eines Dachraumes [1] mit gleichen Bauteilen aber unterschiedlichen Berechnungsansätzen (mit/ohne Wärmeübergangswiderstand; mit/ohne Holzanteil)

Beschreibung	Ohne Berücksichtigung von R_{si}	Mit Berücksichtigung von R_{si}
Ohne Berücksichtigung des Holzanteils	35,6 Wh/(m ² ·K)	26,2 Wh/(m ² ·K)
Mit Berücksichtigung des Holzanteils	31,6 Wh/(m ² ·K)	30,9 Wh/(m ² ·K)

4 Typische Konstruktionen im Wohnungsbau

Die Untersuchungen zu typischen Konstruktionen im Wohnungsbau werden sich auf die Aussen- und Innenwände sowie auf Dach- und Deckenkonstruktionen konzentrieren. Da ein Grossteil der Minergie® und Minergie-P® Bauten in Holzbauweise erstellt werden, werden sich die Untersuchungen im Wesentlichen auf Holzkonstruktionen beziehen. Zum Vergleich wird auch eine massive Konstruktion untersucht.

Um eine Übersicht der zur Anwendung kommenden Konstruktionsarten zu erhalten, wurden sowohl Daten der Studierenden der Technikerschule an der Berner Fachhochschule in Biel als auch Aufbauten der Mitgliederfirmen des VGQ erfasst und ausgewertet. Zur eindeutigen Zuordnung wird folgende Nomenklatur verwendet.

Nomenklatur der Konstruktionen

1.1.1_032

- Angabe zur Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung (032, 036, 039)
- Konstruktionsaufbau (Material- und Dickenvarianz) (lfd. Nummer)
- Konstruktionstyp (Schichtenvarianz) (lfd. Nummer)
- Angabe zum Bauteil (1-Aussenwand, 2-Dach, 3-Decke, 4-Innenwand)

4.1 AUSSENWANDKONSTRUKTIONEN

Es wurden insgesamt 60 Aufbauten analysiert. Diese wurden hinsichtlich des konstruktiven Aufbaus, der inneren Beplankung, der raumseitigen Installationsebene und der Dämmstoffart untersucht und gegenübergestellt. Alle Auswertungsergebnisse sind im Anhang zu finden. Folgende Punkte lassen sich zusammenfassen:

- Für die Innere Beplankung werden überwiegend Gipsfaser- oder Gipskartonplatten verwendet (88%).
- Etwa die Hälfte der Konstruktionen wird mit einer innenseitigen Installationsebene ausgeführt (48%).
- Die Installationsebene wird überwiegend gedämmt (67%) (Abb. 1).
- Als Dämmstoff kommen meist nur organische (41%) oder mineralische (56%) Baustoffe zu Anwendung
- Die Dicken der wärmedämmenden Schicht liegen zwischen 220 mm und 320 mm und beträgt im Mittel ~240 mm

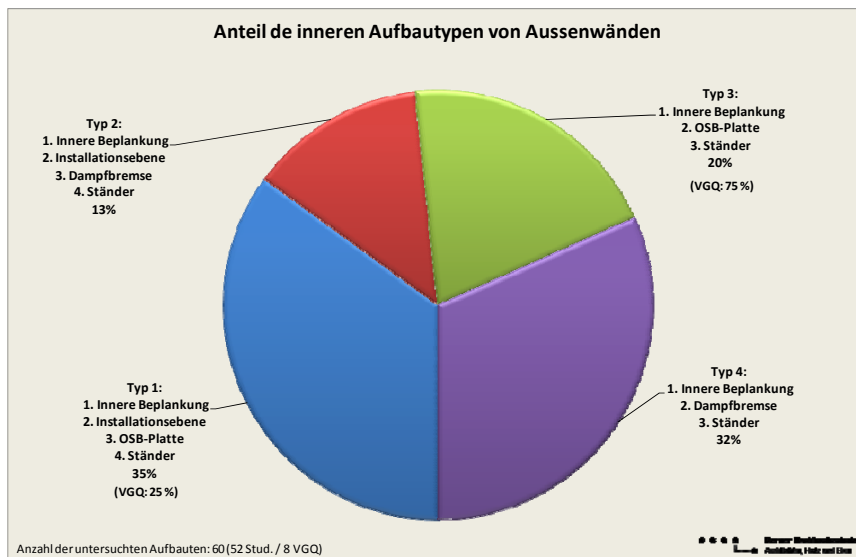


Abb. 1: Exemplarische Auswertung der Innenaufbauten typischer Aussenwandkonstruktionen

Auf Grund der Bauteilanalyse wurden zunächst acht typische Konstruktionsvarianten erstellt. Diese sind mit unterschiedlichen Wärmedämmstoffen (Mineralwolle, Steinwolle und Holzfaser) kombiniert worden, sodass 24 verschiedene Aufbauten zur weiteren Untersuchung zur Verfügung standen. Für diese wurden der Wärmedurchgangskoeffizient und die Wärmespeicherkapazität berechnet. Die Ergebnisse aller Konstruktionen sind im Anhang der einzelnen Wandaufbauten zu finden. Wie sich aus der Bauteiluntersuchung ergibt, können die Baukonstruktionen in drei Gruppen mit niedriger, mittlerer und hoher Wärmespeicherfähigkeit unterteilt werden (Tab. 3). Diese Konstruktionen werden durch eine Massivbaukonstruktion (Backstein mit EPS-Kompaktfassade) ergänzt. Für die weiteren Berechnungen werden die in Tabelle 2 fett dargestellten Referenzaufbauten verwendet. Die Aufbauten sind in Tab. 3 dargestellt.

Tab. 3: Übersicht der neun herausgearbeiteten Aussenwandkonstruktionen und Einteilung in Gruppen

Nr.	Aussenwandspezifikation	Varinate	Wärmedurchgangskoeffizient	Wärmekapazität (ohne R_{si})	Wärmekapazität (mit R_{si})
		Angaben in mm	(WLF 032 / 036 / 038) W/(m ² *K)	(WLF 032 / 036 / 038) Wh/(m ² *K)	(WLF 032 / 036 / 038) Wh/(m ² *K)
1.2.0	Installationsebene gedämmt	15-40-15-220-16 MDF	0.14 / 0.15 / 0.16	7.3 / 7.6 / 7.7	6.5 / 6.7 / 6.8
1.2.1	Installationsebene gedämmt	15-40-15-220-22 HF	0.12 / 0.13 / 0.14	7.1 / 7.3 / 7.5	6.3 / 6.5 / 6.6
1.3.0	Einschalig	15-220-16 MDF	0.17 / 0.19 / 0.20	6.0 / 7.1 / 7.1	6.5 / 6.5 / 6.5
1.1.0	Installationsebene ungedämmt	15-40-15-220-16 MDF	0.16 / 0.18 / 0.19	9.6 / 9.9 / 9.9	8.5 / 8.5 / 8.6
1.1.1	Installationsebene ungedämmt	15-40-15-220-22 HF	0.15 / 0.16 / 0.17	9.6 / 9.8 / 9.9	8.5 / 8.5 / 8.5
1.1.2	Installationsebene ungedämmt	15-15-180-60 HF	0.16 / 0.17 / 0.17	9.6 / 9.7 / 9.7	8.4 / 8.4 / 8.4
1.3.1	ohne Installationsebene	30-220-16 MDF	0.17 / 0.19 / 0.19	10.3 / 11.0 / 11.1	9.3 / 9.6 / 9.7
1.4.0	Massivholzkonstruktion	80-220 Holz	0.16 / 0.17 / 0.18	14.7 / 14.3 / 14.4	11.0 / 10.8 / 10.8
1.5.0	Backstein mit Kompaktfassade	150-160 EPS	0.19	22.2	14.0

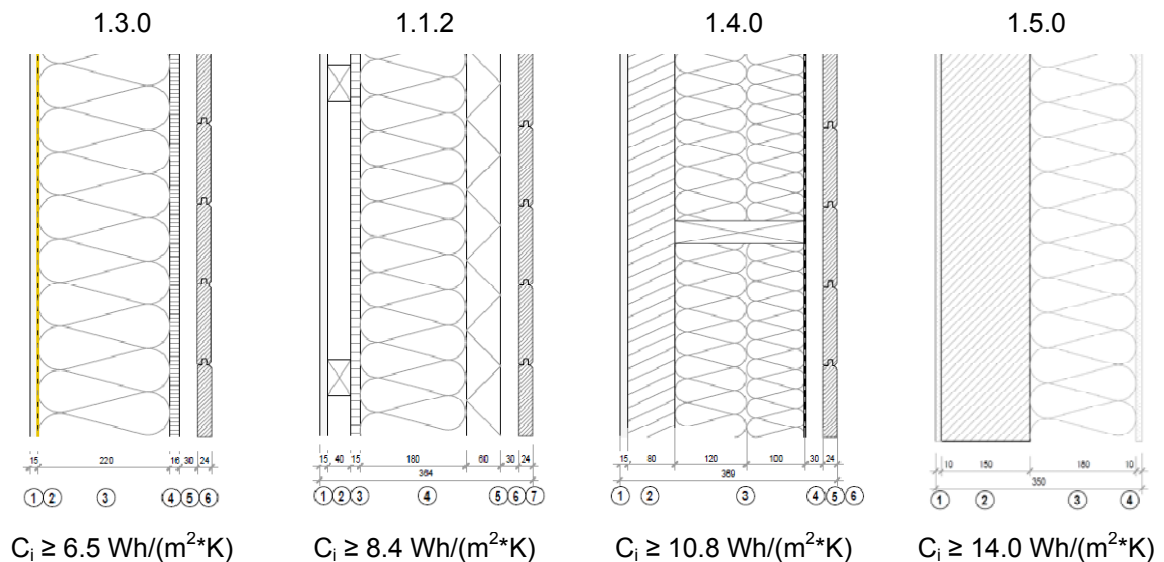


Abb. 2: Ausgewählte Referenzaufbauten (Aussenwände) für die spätere Simulation (Genaue Angaben zu den Aufbauten sind im Anhang zu finden.)

4.2 INNENWANDKONSTRUKTIONEN

Der typische Innenwandaufbau besteht aus einer gedämmten Holzrahmenbaukonstruktion, die entweder beidseitig mit einer Gipsfaserplatten oder kombiniert mit einer OSB-Platte (Oriented Strand Board) gefolgt von einer Gipsfaserplatte beplankt wird (4.1 bzw. 4.2 in Tab. 4). Des Weiteren wurde eine Vollholzkonstruktion, beidseitig beplankt mit Gipsfaserplatte, und einer beidseitig verputzten Backsteinwand gewählt.

Tab. 4: Übersicht der vier herausgearbeiteten Innenwandkonstruktionen und Einteilung in Gruppen

Nr.	Innenwandspezifikation	Variante	Wärmekapazität (ohne R_{si}) (WLF 032 / 036 / 038) $\text{Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Wärmekapazität (mit R_{si}) (WLF 032 / 036 / 038) $\text{Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
4.1	Einfach beplankt	15 GFP - 100 WD - 15 GFP	5.4 / 6.3 / 6.1	5.3 / 6.1 / 6.0
4.2	Doppelt beplankt	15/15 GFP/OSB - 100 WD - 15/15 OSB/GFP	9.9 / 10.7 / 10.6	9.1 / 9.6 / 9.5
4.3	Vollholz	15 GFP - 100 Holz - 15 GFP	12.9	10.8
4.4	Backstein	20 - 125 Backstein - 20	28.5	17.6

* GFP = Gipsfaserplatte / OSB = Oriented Stand Board

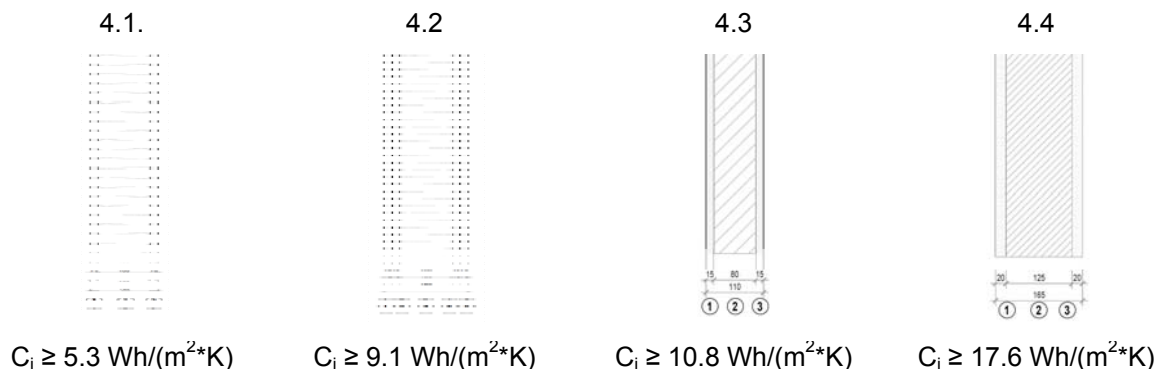


Abb. 3: Ausgewählte Referenzaufbauten (Innenwände) für die spätere Simulation (Genaue Angaben zu den Aufbauten sind im Anhang zu finden.)

4.3 DECKENKONSTRUKTIONEN

Insgesamt wurden 32 Aufbauten analysiert. Die Deckenkonstruktionen sind hinsichtlich des konstruktiven Aufbaus, der unteren Beplankung und des oberen Belags untersucht und gegenübergestellt worden. Alle Auswertungsergebnisse sind im Anhang zu finden.

Folgende Punkte lassen sich zusammenfassen:

- Der Belag einer Geschossdecke wird in nahezu gleichen Anteilen als Trockenkonstruktion (Unterlagsboden-(Estrich-) elemente 25%, Dielen/Holzwerkstoffplatte 23%) bzw. mittels Zementunterlagsboden (Fliessestrich) (52%) ausgebildet. (Abb. 4)
- Der Zementunterlagsboden (Fliessestrich) wird häufig mit Dicken über 50 mm eingebaut. 8 von 22 Konstruktionen mit Fliessestrich weisen eine Dicke von 80 mm auf. (Abb. 5)

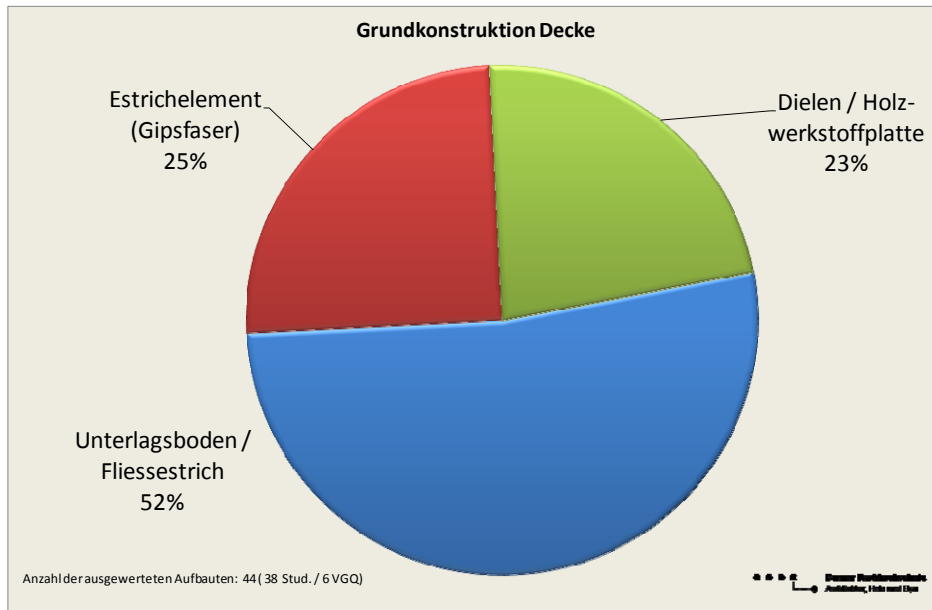


Abb. 4: Auswertung zur Ausführung des oberen Belages für typische Geschossdecken

Prinzipiell müssen die Geschossdecken in der späteren Simulation in Ihrer Anwendung bzw. Anordnung unterschieden werden. Geschossdecken werden als Boden- bzw. Deckenelement gleichermaßen eingesetzt, wissen aber unterschiedliche Wärmespeicherfähigkeiten auf Ober- bzw. Unterseite auf. Daher sind die Konstruktionen einerseits als untere raumabschliessende Fläche d.h. als Fussboden und andererseits als obere Raumbegrenzungsfläche d.h. als Decke analysiert worden, wobei der konstruktive Aufbau gleichbleibend ist. Für diese und die Lignaturdecken wurden der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) und die Wärmespeicherfähigkeiten berechnet.

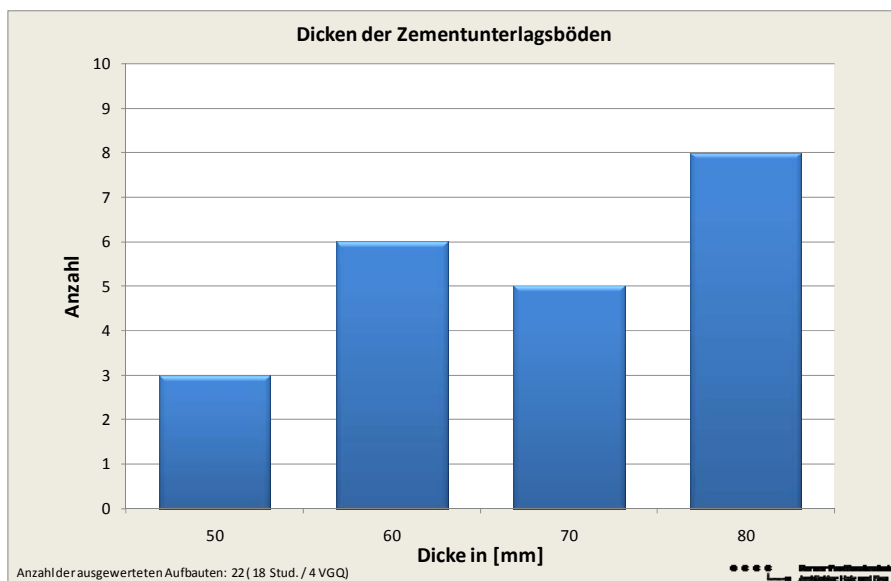


Abb. 5: Exemplarische Auswertung der Dicken der Unterlagsböden (Fliessestrich) auf Decken

Ergänzend zu den Holzbalkendecken und den Deckensystemen sind eine Vollholzdecke und eine Massivdecke (Beton) in die Zusammenstellung eingeflossen. Die Berechnungsergebnisse dieser Konstruktionen sind ebenfalls im Anhang zu finden. Für die weitere Betrachtung wurden die Holzkonstruktionen in drei Gruppen (niedrige – mittlere – hohe Wärmespeicherkapazität) eingeteilt. Für die weiteren Berechnungen werden die in Tab. 5 bzw. Tab. 6 fett dargestellten Referenzaufbauten verwendet.

Tab. 5: Übersicht der herausgearbeiteten Deckenkonstruktionen (oben); Die fett hervorgehobenen Aufbauten werden für die spätere Parameteruntersuchung verwendet.

Nr.	Geschossdeckenspezifikation (oben als Fussboden)	Varinate Angaben in mm	Wärmekapazität (ohne R_{s_i}) (WLF 032 / 036 / 038) $Wh/(m^2 \cdot K)$	Wärmekapazität (mit R_{s_i}) (WLF 032 / 036 / 038) $Wh/(m^2 \cdot K)$
3.1.3	Holzbalkendecke	15 GFP - 30 - 100/140 - 25 Holz	8.7	7.4
3.2.3	Lignaturdecke LFE	31-139-31 - 25 Holz	8.8	7.6
3.1.0	Holzbalkendecke	15 GFP - 30 - 100/140 - 25 GF-UB	11.8	9.8
3.2.0	Lignaturdecke LFE	31-139-31 - 25 GF-UB	12.2	9.8
3.1.1	Holzbalkendecke	15 GFP - 30 - 100/140 - 50 KZ-UB	33.8	20.3
3.2.1	Lignaturdecke LFE	31-139-31 - 50 KZ-UB	34.0	20.7
3.2.4	Lignaturdecke LFE	31-35(S)-104-31 - 50 KZ-UB	33.0	19.9
3.2.5	Lignaturdecke LFE	31-70(S)-69-31 - 50 KZ-UB	32.7	19.9
3.3.0	Massivholzdecke	160 - 50 KZ-UB	33.1	19.8
3.4.0	Massivdecke (Beton)	10 - 180 - 50 KZ-UB	38.7	20.5
3.1.2	Holzbalkendecke	15 GFP - 30 mm - 100/140 - 70 KZ-UB	44.2	22.1
3.2.2	Lignaturdecke LFE	31-139-31 - 70 KZ-UB	44.6	22.4

UB = Unterlagsboden; S = Schüttung

Tab. 6: Übersicht der herausgearbeiteten Deckenkonstruktionen (unten); Die fett hervorgehobenen Aufbauten werden für die spätere Parameteruntersuchung verwendet.

Nr.	Geschossdeckenspezifikation (unten als Decke)	Varinate Angaben in mm	Wärmekapazität (ohne R_{s_i}) (WLF 032 / 036 / 038) $Wh/(m^2 \cdot K)$	Wärmekapazität (mit R_{s_i}) (WLF 032 / 036 / 038) $Wh/(m^2 \cdot K)$
3.1.0	Holzbalkendecke	15 GFP - 30 - 100/140 - 25 GF-UB	6.3 / 7.0 / 7.0	5.9 / 6.4 / 6.3
3.1.1	Holzbalkendecke	15 GFP - 30 - 100/140 - 50 KZ-UB	6.4 / 7.1 / 7.0	5.7 / 6.2 / 6.1
3.1.2	Holzbalkendecke	15 GFP - 30 - 100/140 - 70 KZ-UB	6.4 / 7.1 / 7.0	5.6 / 6.1 / 6.0
3.1.3	Holzbalkendecke	15 GFP - 30 - 100/140 - 25 Holz	6.3 / 7.0 / 7.0	5.8 / 6.3 / 6.3
3.2.0	Lignaturdecke LFE	31-139-31 - 25 GF-UB	10.1	8.2
3.2.1	Lignaturdecke LFE	31-139-31 - 50 KZ-UB	10.1	8.4
3.2.2	Lignaturdecke LFE	31-139-31 - 70 KZ-UB	10.3	8.3
3.2.3	Lignaturdecke LFE	31-139-31 - 25 Holz	10.2	8.5
3.3.0	Massivholzdecke	160 - 50 KZ-UB	11.4	8.5
3.2.4	Lignaturdecke LFE	31-35(S)-104-31 - 50 KZ-UB	14.8	10.2
3.2.5	Lignaturdecke LFE	31-70(S)-69-31 - 50 KZ-UB	14.8	10.1
3.4.0	Massivdecke (Beton)	10 - 180 - 50 KZ-UB	73.0	22.5

S = Schüttung; KZ-UB = Kalkzementunterlagsboden; GFP = Gipsfaserplatte

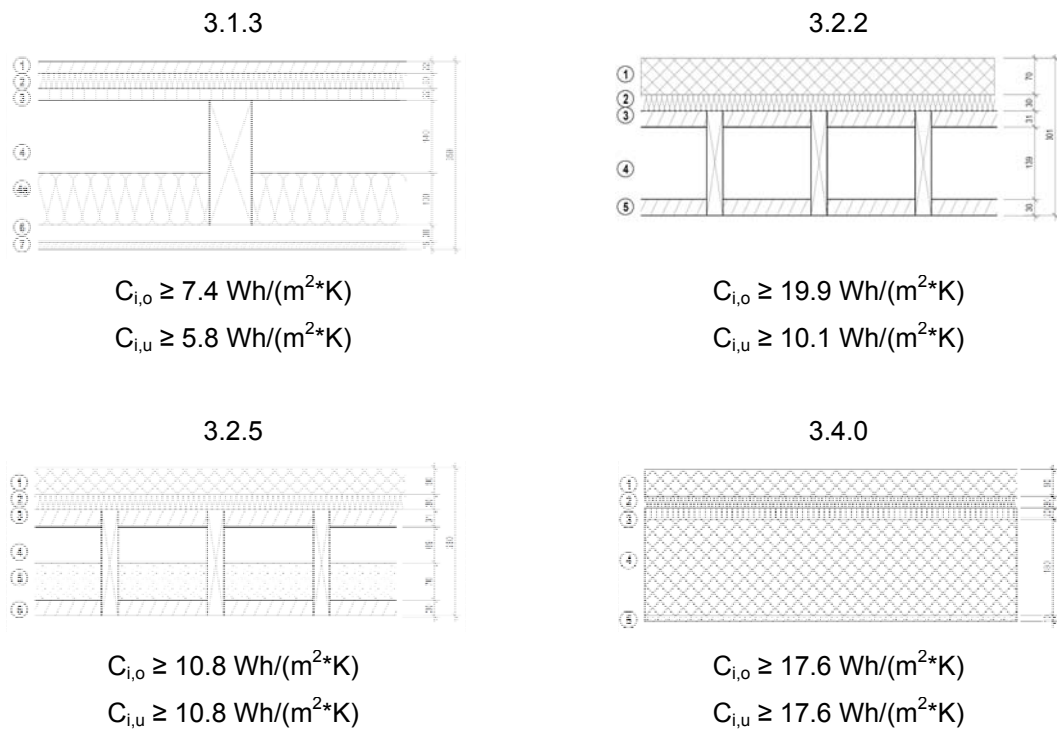


Abb. 6: Ausgewählte Referenzaufbauten (Decken) für die spätere Simulation (Genaue Angaben zu den Aufbauten sind im Anhang zu finden.)

4.4 DACHKONSTRUKTIONEN

Insgesamt wurden, wie bei den bisherigen Konstruktionen, 59 Aufbauten analysiert. Die Dachkonstruktionen sind im Wesentlichen hinsichtlich des konstruktiven Aufbaus und der unteren Beplankung untersucht und gegenübergestellt worden. Alle Auswertungsergebnisse sind im Anhang zu finden.

Aufbauten noch ergänzen.

5 Wohnraumflächen

In den meisten Simulationsstudien wird oftmals ein Beispielgebäude oder ein Beispielraum verwendet. Dabei stellt sich immer die Frage, ob die gewählte Gebäude- bzw. Raumgeometrie repräsentativ ist und das Ergebnis durch die Auswahl wesentlich beeinflusst wird. Aus diesem Grunde wurden für die Untersuchung zu typischen Raumgrössen im Hausbau mehrere bestehende Gebäude von verschiedenen Herstellern analysiert, von denen die Mehrzahl im Schweizerischen Verband für geprüfte Qualitätshäuser (VGQ) Mitglied ist. Daraus wurde ein Referenzgebäude (siehe Seite 14) ermittelt, was als repräsentativ bezeichnet werden kann.

Bei der Analyse wurden die durchschnittlichen Nettogrundflächen verschiedener Räume ermittelt (Abb. 7). Im Vergleich zu den typischen Raumgrössen nach SIA Merkblatt 2024 [19] ist zu erkennen, dass alle Räume den Angaben gut entsprechen. Es hat sich herausgestellt, dass der Wohn- und Essbereich vorwiegend in einem Raum zusammengefasst ist. Folglich ist die Fläche für diesen Bereich auch grösser ausgebildet, als reine Wohnzimmer. Die Küche ist mehrheitlich als offener Bereich ausgebildet und direkt mit dem Wohn- und Esszimmer verbunden. Da in der Norm keine Angabe zu kombinierten Räumen (z.B. Wohn-Essräume) zu finden ist, wurde für den Wohn- und Essbereich der doppelte Wert nach Merkblatt 2024 [19] angesetzt. Dieser Wert liegt innerhalb der ermittelten Spannweite und nah am Mittelwert für den Wohn- und Essbereich (Abb. 8).

Des Weiteren hat die Analyse ergeben, dass sich der Wohn- und Essbereich, die Küche und das WC bzw. der Duschraum erwartungsgemäss mehrheitlich im Erdgeschoss befinden, wohingegen die Schlaf- und Aufenthaltsräume von Eltern und Kindern im Ober- bzw. Dachgeschoss angeordnet sind.

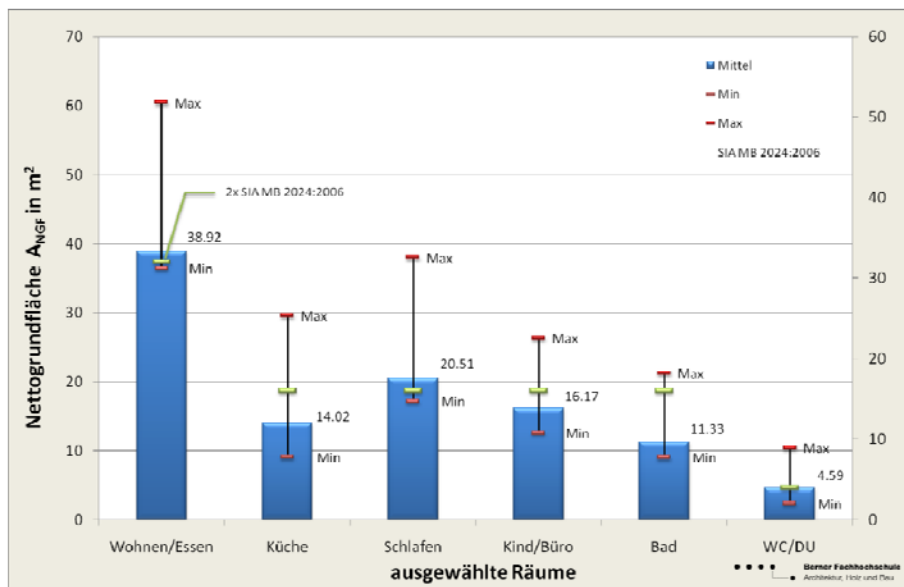


Abb. 7: Durchschnittliche Raumflächen der untersuchten Einfamilienhäuser. Analyse von 15 Objekten (143 Räume) verschiedener Hersteller.

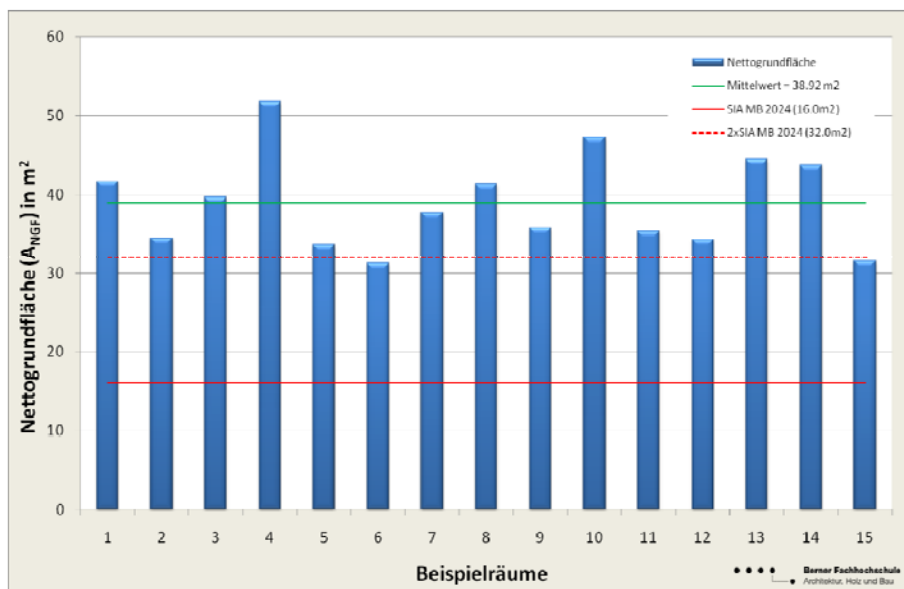


Abb. 8: Exemplarische Verteilung der Nettogrundfläche von Wohn- und Essbereich

Bei einer weiteren Untersuchung zu den Ausrichtungen der Räume wurde festgestellt, dass die Fassaden der kombinierten Wohn- und Essbereiche mehrheitlich in 3 Himmelsrichtungen weisen. Alle anderen Räume sind erwartungsgemäss durch Fassaden in 2 Himmelsrichtungen begrenzt.

6 Fenster- und Glasflächen

Fenster nehmen bei der Betrachtung der thermischen Hüllfläche von Gebäuden eine besondere Stellung ein. Sie weisen wesentlich andere bauphysikalische Eigenschaften auf als die üblichen raumabschliessenden opaken Bauelemente. Durch sie kommt der wesentliche Teil der solaren Wärmezugewinn zustande. Da sie für das sommerliche Komfortklima entscheidend sind, werden auch die Fenstergrößen analysiert. Dabei muss zunächst zwischen verschiedenen Begriffen unterschieden werden.

Als Fensterfläche gilt in der Schweiz nach SIA 416/1 [18] das lichte Mass der Wandöffnung an der Aussenseite. Die Fensteröffnungsfläche hingegen beschreibt die lichte Öffnungsfläche des Fensterrahmens und die Glasfläche ist der lichtdurchlässige Teil des Fensters (Abb. 9).

Bei der Untersuchung des sommerlichen Komfortklimas trägt der solare Wärmeeintrag eine wesentliche Rolle zur Erwärmung der Wohnräume bei. Deshalb steht die reine Glasfläche von Fenstern im Vordergrund der Betrachtung. Sind keine Angaben zu der absoluten Glasfläche eines Fensters gegeben wird häufig ein Faktoren im Bezug auf die Fensterfläche angegeben. Diese Angaben zu den Glasanteilen bzw. Glasflächenfaktoren schwanken bei Fenstern mit einem Flügel und ohne Sprossenaufteilung in der Regel zwischen 90% - 80%.

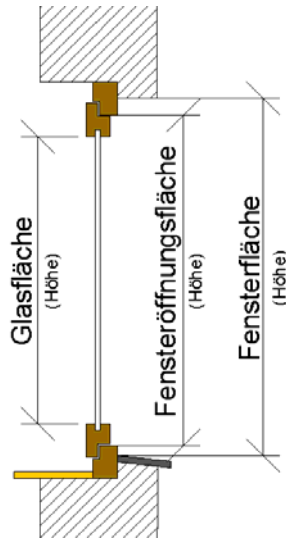


Abb. 9: Darstellung der unterschiedlichen Bezugsgrößen zur Beschreibung eines Fensters.

Um einen Bewertungsmaßstab für den Einfluss der Glasfläche zu erhalten, kann dieser entweder auf die betreffende Fassadenfläche (A_F) oder auf die Nettogrundfläche (A_{NGF}) des Raumes bezogen werden. Dabei wird nach SIA 416/1 [18] zwischen dem Glasanteil f_g und der Glasflächenzahl z_g unterschieden.

Glasanteil f_g	Glasflächenzahl z_g
<p>Der Glasanteil der Fassade f_g ergibt sich aus der Summe der lichtdurchlässigen Glasflächen A_g zur betreffenden Bruttofassadenfläche $A_{F,brutto}$. Bei der raumweisen Betrachtung ergibt sich die Bruttofassadenfläche nach SIA 416/1 [18] (2.2.3).</p> <div data-bbox="212 1473 667 2016"> $f_g = \frac{A_g}{A_{F,Brutto}}$ </div>	<p>Die Glasflächenzahl z_g eines Raumes ist gleich dem Verhältnis der lichtdurchlässigen Glasfläche A_g zur Nettogrundfläche A_{NGF} des Raumes.</p> <div data-bbox="869 1541 1321 1998"> $z_g = \frac{A_g}{A_{NGF}}$ </div>

Um eine Aussage zur Auswirkung der Glasfläche auf den dahinterliegenden Raum zu treffen, ist das Volumen bzw. die Raumbegrenzungsfläche von Interesse. Mit den Angaben zu Glasanteil f_g bleibt allerdings die Raumtiefe unberücksichtigt. Eine zuverlässigere Aussage zur Auswirkung der Glasfläche auf den dahinterliegenden Raum lässt sich daher eher mit der Glasflächenzahl z_g treffen.

Für die Parameteruntersuchung zum sommerlichen Komfortklima wurden der Glasanteil f_g und die Glasflächenzahl z_g der in (Abb. 7) aufgeführten Räume sowie die Glasflächenzahl von kritischen Räumen aus der Studie von Lemon Consult [6] erfasst. Aus der daraus erfolgten Analyse geht hervor, dass der Grossteil der Glasflächenzahl z_g , also der Glasflächenanteile bezogen auf die Nettogrundfläche, zwischen 10 und 30 % liegt (Abb. 10). Die Auswertung nach dem Glasanteil f_g ergibt eine etwas andere Verteilung. Hier liegt der Wert bei etwa 5 und 25 % bezogen auf die Fassadenfläche (Abb. 11).

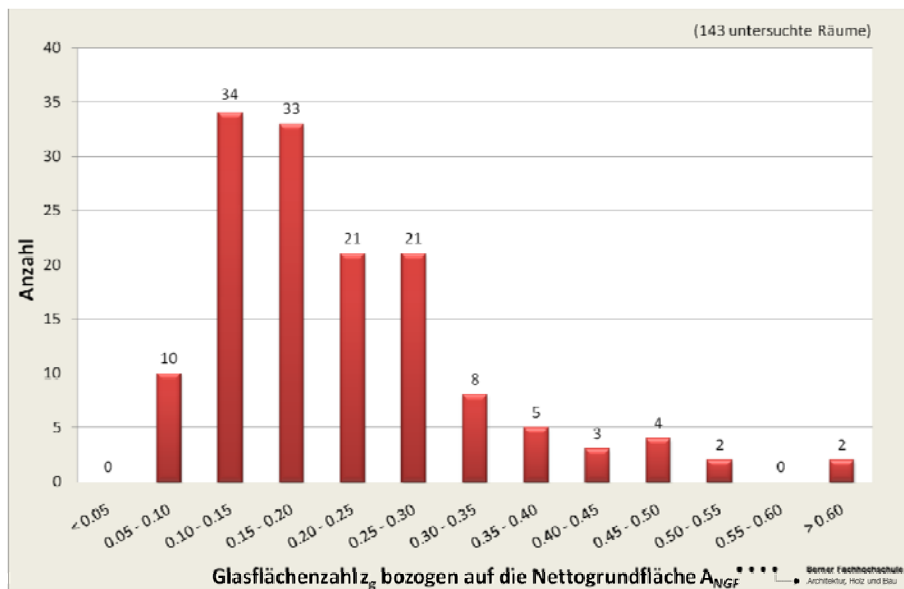


Abb. 10: Verteilung der Glasflächenzahl z_g bezogen auf die Nettogrundfläche des dahinter liegenden Raumes.

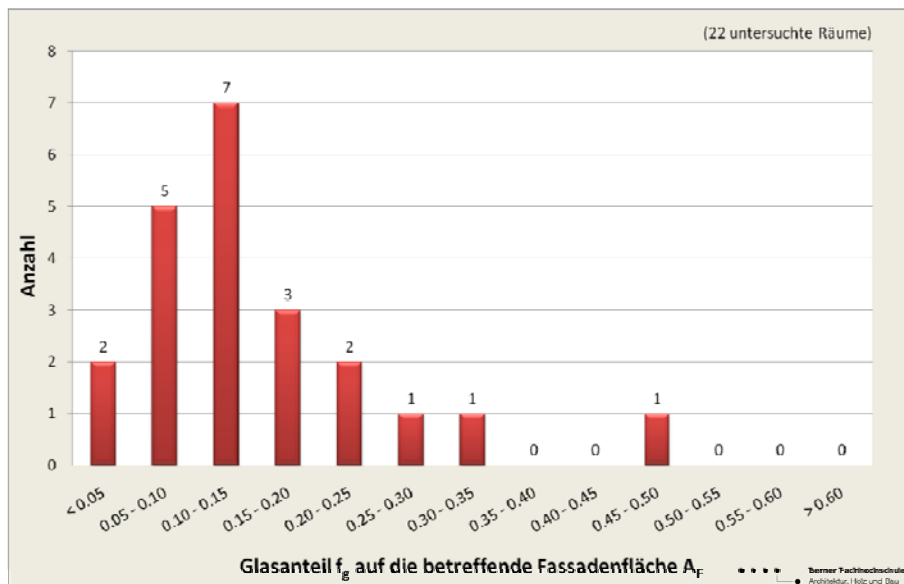


Abb. 11: Verteilung des Glasanteils f_g bezogen auf die Fassadenfläche des betreffenden Raumes

Die Analyse der Glasflächen wurde auch Raumweise durchgeführt, was zu spezifischen Glasflächenzahlen z_g bzw. Glasanteilen f_g je nach Nutzung, wie z.B. Küche, Schlafraum etc. führt. Exemplarisch ist die Verteilung der Glasflächenzahl von 16 untersuchten Schlafräumen in (Abb. 12) dargestellt. Alle weiteren Auswertungen der Glasanteile aller untersuchten Räume sind im Anhang zu finden.

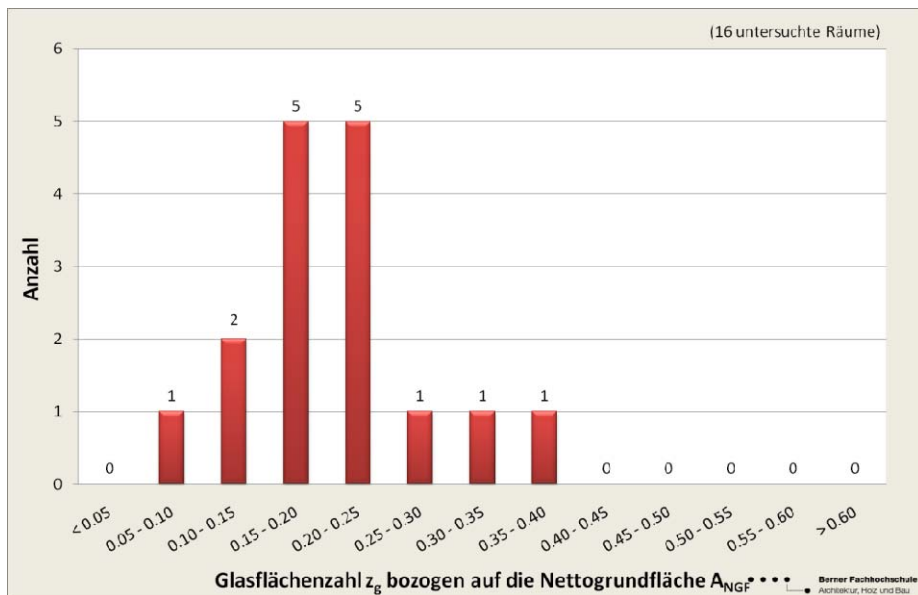


Abb. 12: Verteilung der Glasflächenzahl z_g am Beispiel der untersuchten Schlafräume

Nach der Auswertung von Maximal-, Minimal- und Mittelwerten der Glasflächenzahlen lässt sich eine teils starke Streuung erkennen (Abb. 13). Für die spätere Parameteruntersuchung werden die Räume mit Fenstern versehen, die sich in der Grundvariante an den Mittelwerten der Analyse orientieren. Sie werden später variiert.

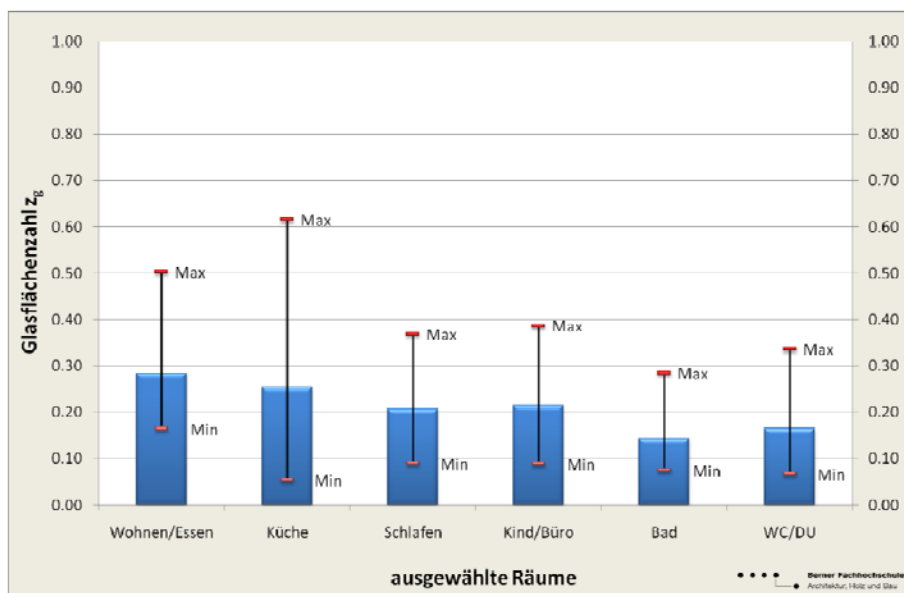


Abb. 13: Auswertung der durchschnittlichen Glasflächen der 143 analysierten Räume

7 Referenzgebäude

Aus der Raum- und Fensteranalyse in den vorherigen Kapiteln wurde ein repräsentatives Referenzgebäude erstellt. Das Gebäude hat folgende Parameter.

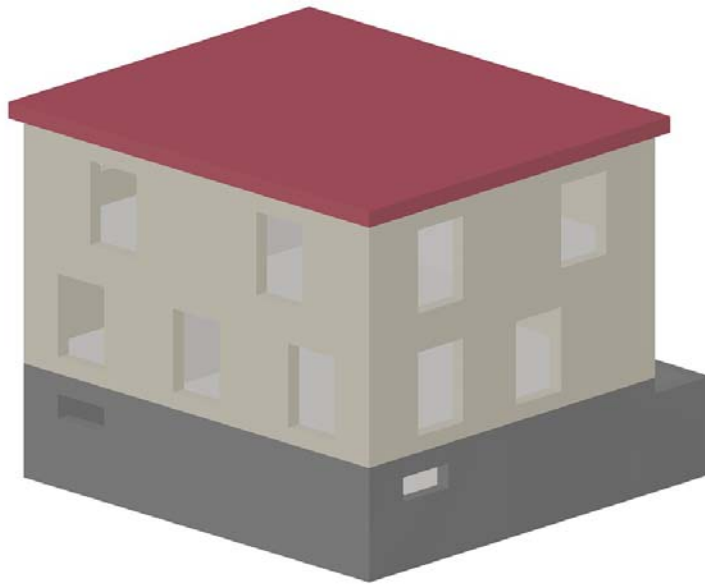
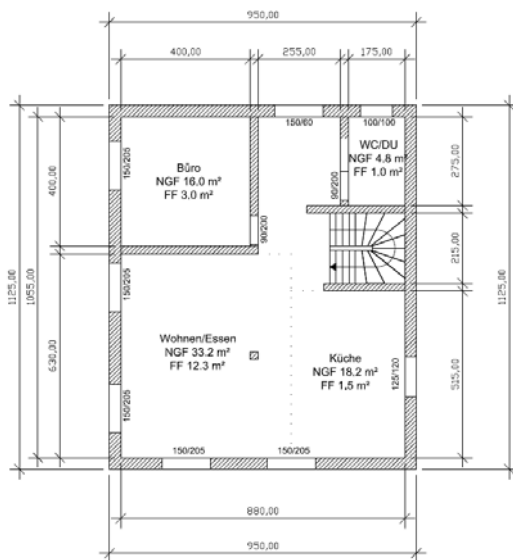
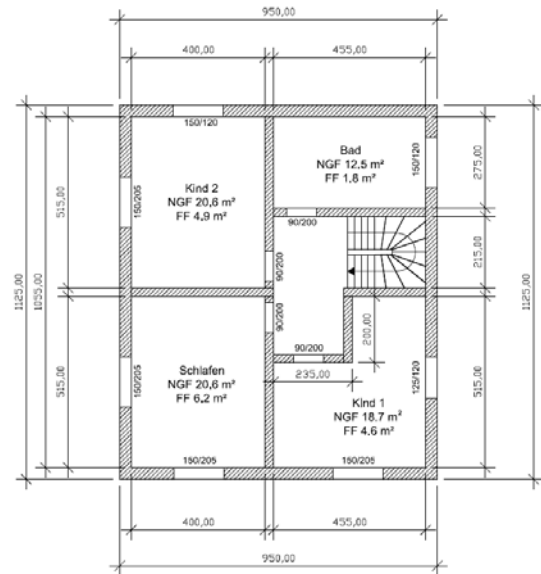


Abb. 14: Aus den Raumanalysen erstelltes repräsentatives Gebäudemodell



Erdgeschoss



Obergeschoss

8 Lüftungsverhalten in Wohnräumen

Einen wesentlichen Einfluss auf das sommerliche Komfortklima hat die Lüftung von Gebäuden. Hierbei kann durch einen effektiven Luftaustausch die Raumwärme abgeführt werden. Allerdings wird dieser Vorgang von einer Vielzahl an Faktoren bestimmt und ist dazu stark vom Nutzer abhängig.

8.1 FENSTERÖFFNUNGSZEITEN IN WOHNÄUMEN

In der Literatur gibt es kaum verlässliche Daten zu Luftwechselzahlen im Sommer. Einheitlich findet man in den Simulationsannahmen einen Grundluftwechsel von $0,4 - 0,6 \text{ h}^{-1}$ [1][2][16][17]. Über den Grundwechsel hinaus werden aber sehr unterschiedliche Angaben gemacht. Der angenommene zu-

sätzliche Luftwechsel schwankt zwischen 0 bis 10 h^{-1} [1][2][16]. Die Herkunft dieser Luftwechsel ist in der Regel nicht erläutert und daher nicht nachvollziehbar. Nur von Peper und Feist in [17] sind die konstanten Luftwechsel für weitergehende Parameteruntersuchungen aus Messungen hergeleitet und liefert eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messungen und Rechnungen.

Da genaue Werte fehlen, wird der Luftwechsel über Fensteröffnungszeiten und Strömungsmodelle berechnet. Da das verwendete Simulationsprogramm IDA ICE das COMIS Strömungsmodell implementiert hat, werden die Fensteröffnungszeiten benötigt. Hierzu liegen nur sehr wenige Informationen vor. Einzig aus zwei Studien vom Institut Wohnen und Umwelt aus Darmstadt [4][5] können Fensteröffnungszeiten im Sommer aus Messungen abgeleitet werden.

In den Zusammenhang gebrachte Messdaten aus Aussenlufttemperatur und dem Tagesmittel der Fensteröffnungszeit lassen erkennen, dass die Fensteröffnungszeiten im Sommer zwischen 8 und 12 h liegen (Abb. 15). Allerdings sind in dieser Studie keine Untersuchungen zu den Fensteröffnungsarten unternommen wurden. Es kann daher keine Aussage getroffen werden, ob die Nutzer die Fenster eher Kippen oder ganz öffnen. Aus der Studie geht auch hervor, dass in heissen Sommerperioden etwas mehr in der Nacht (21 – 8 Uhr) als am Tag gelüftet wird (keine Grafik).

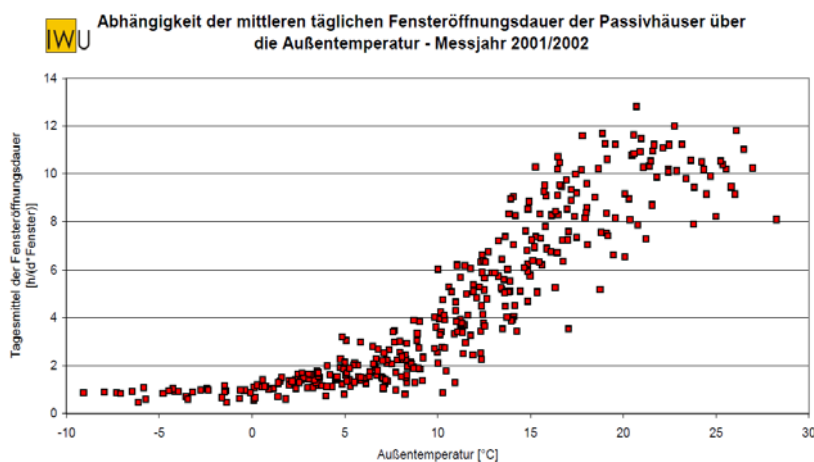


Abb. 15: Fensteröffnungszeiten in Passivhäusern in Abhängigkeit zur Aussentemperatur [4]

Ein sehr ähnliches Ergebnis liefert die zweite Studie des Instituts Wohnen und Umwelt [5] (Abb. 16). Bei dieser Studie wurden zusätzlich die Öffnungsart (geöffnet oder gekippt) gemessen. Bei den untersuchten Gebäuden handelt es sich um 3 baugleiche Objekte, die jeweils eine Wohnung im Erdgeschoss und eine Maisonette-Wohnung im Ober- bzw. Dachgeschoss besitzen. Alle Wohnungen wurden messtechnisch begleitet, so dass für 6 Wohnungen Fensteröffnungszeiten vorliegen. Alle 3 Häuser sind nebeneinander angeordnet und somit in der gleichen Himmelsrichtung ausgerichtet. Dadurch können neben den einzelnen Fensteröffnungszeiten auch Rückschlüsse auf den Nutzer gezogen werden.

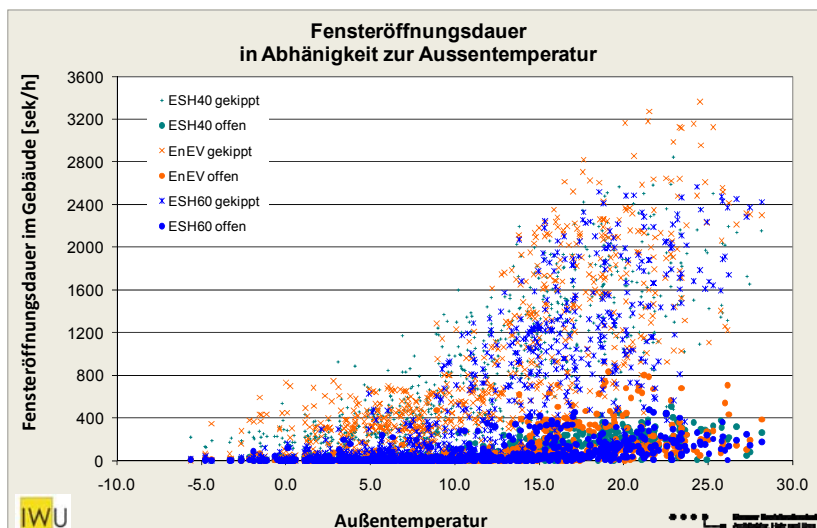


Abb. 16: Fensteröffnungszeiten (gekippt +; geöffnet O) in drei sanierten Häusern in Abhängigkeit zur Aussentemperatur (Messwerte aus [5])

Trägt man die Werte im zeitlichen Verlauf auf, ist gut zu erkennen, dass sich bei den gekippten Fenstern, trotz der unterschiedlichen Nutzer, ein gleichmässiger sinusförmiger Jahresverlauf ergibt.

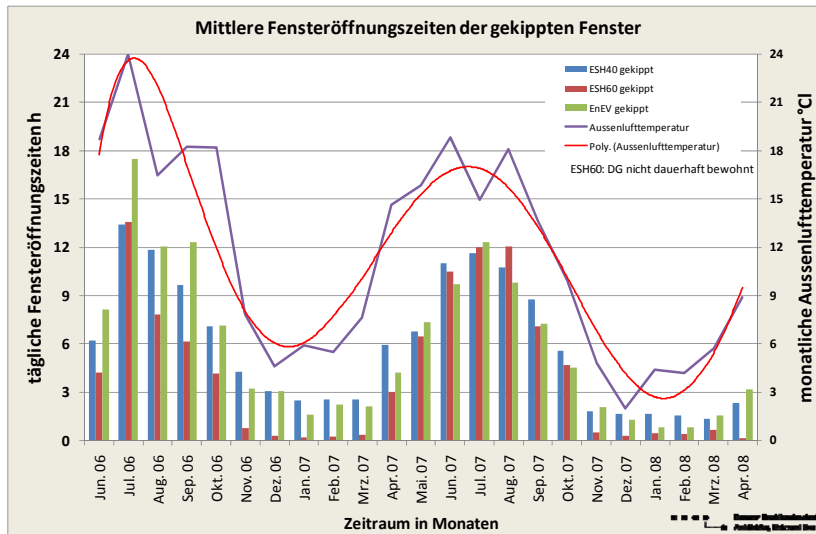


Abb. 17: Fensteröffnungszeiten (Fenster gekippt) in drei sanierten Häusern im zeitlichen Verlauf (Messwerte aus [5])

Die Messdaten wurden der Berner Fachhochschule durch das Institut Wohnen und Umwelt GmbH zur Verfügung gestellt. Aus den Messdaten wurde Daten zwischen dem 18.06.2006 und dem 17.07.2006 ausgewählt und weiter untersucht. Bei der Auswertung der vorliegenden 45 Räume über den angegebenen Zeitraum von 29 Tagen ergeben sich insgesamt 1305 Tagesprofile. Diese wurden auf ihre Häufigkeit hin untersucht und die Plausibilität hin überprüft. Als Ergebnis sind verschiedene nutzerspezifische Tagesprofile der jeweiligen Räume erstellt worden. Diese werden in die Parameteruntersuchung einfließen.

Bei den Untersuchungen haben sich zwei charakteristische Nutzerprofile herausgebildet. Zum einen ist es ein DINK-Haushalt (**D**ouble **I**ncome **N**o **K**ids) und zum anderen ein Familienhaushalt [FAM].

Der "DINK" Haushalt zeichnet sich dadurch aus, dass tagsüber die Fenster auf Grund der Abwesenheit aller Bewohner weitestgehend geschlossen bleiben. Lediglich in den oberen Stockwerken werden Fenster teils in Kippstellung gebracht, was einen dauernden, wenn auch geringen Luftwechsel ermöglicht. Des Weiteren ist eine klare Trennung im Lüftungsverhalten zwischen den Wochentagen und den Wochenenden zu erkennen. Bei Anwesenheit der Nutzer an den Wochenenden stellt sich das Lüftungsverhalten entsprechend um. Die Auswertung der Maisonette-Wohnung deutet mit seinen Tagesprofilen auf einen solchen Haushalt hin.

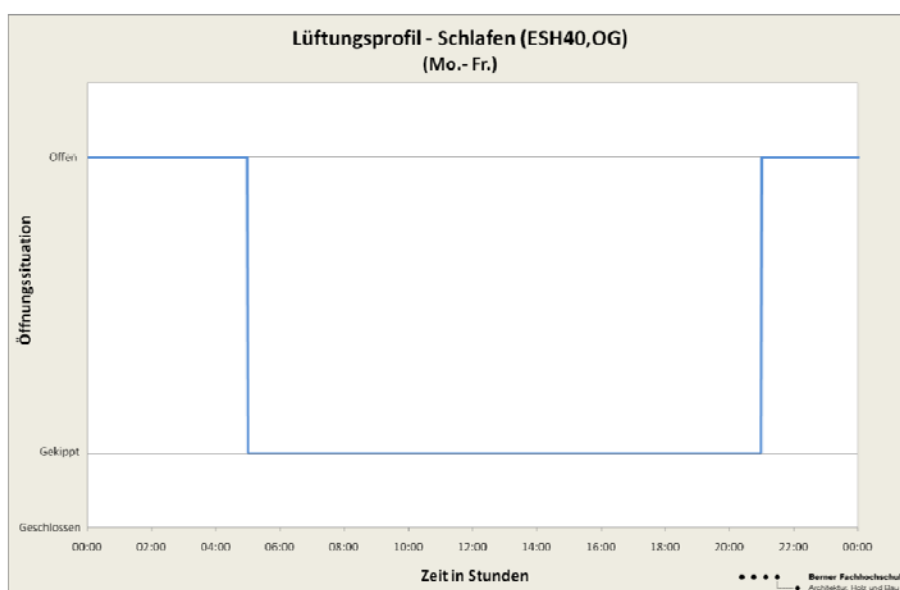


Abb. 18: Beispielhafte Darstellung der Fensteröffnungszeiten für einen Schlafraum im „DINK“ Haushalt

Ein weiterer Haushalt ist der Familienhaushalt „FAM“ mit einem Arbeitnehmer und mindestens einem Kind. Dieser zeichnet sich durch ein eher unregelmässiges und häufig änderndes Lüftungsverhalten aus. Die meisten Fenster bleiben ständig gekippt und werden häufig und kurz zur Stosslüftung vollständig geöffnet. Ein besonderes Merkmal ist, dass auch während der Tagesmittellzeit das Lüftungsverhalten nicht geändert wird und fortlaufend gelüftet wird. Des Weiteren ist keine Änderung zwischen Wochentag und Wochenende zu erkennen. Alle Profile befinden sich im Anhang.

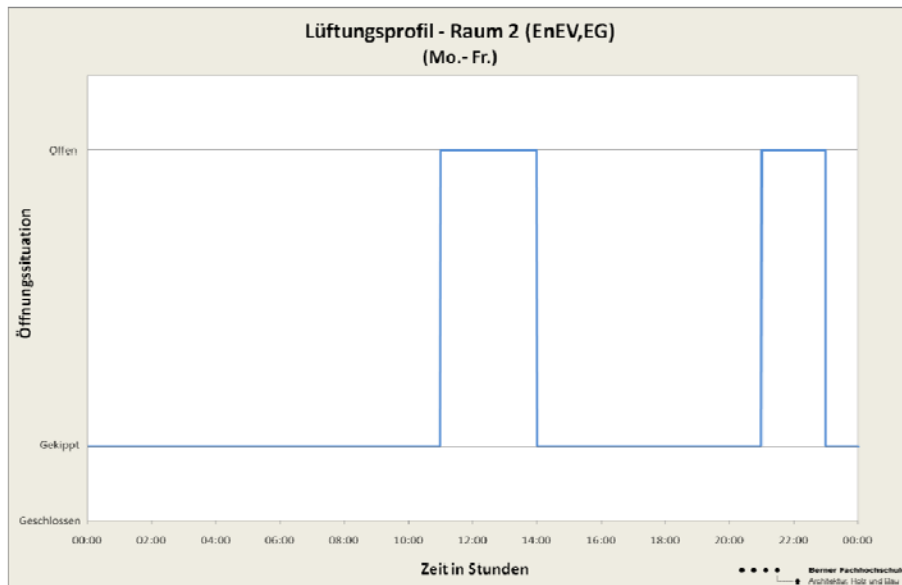


Abb. 19: Beispielhafte Darstellung eines Raumes im „FAM“ Haushalt

8.2 EINFLUSS DER FENSTERGEOMETRIE AUF DEN NATÜRLICHEN LUFTWECHSEL

Einen Einfluss auf die Intensität bzw. Wirkungsweise der Fensterlüftung haben die Geometrie und Öffnungsart der Fenster, die Temperaturunterschiede zwischen Innen und Aussen sowie die Windgeschwindigkeit. Eine sehr gute Übersicht liefert

Fenster werden unter anderem nach den Bewegungsmöglichkeiten beim Öffnen unterschieden. In der Regel werden mehrheitlich sogenannte Drehkipplüpfelfenster verwendet. Diese unterscheiden sich sehr stark in ihren maximalen Öffnungswinkeln. Drehflüpfelfenster erreichen Öffnungswinkel von mehr als 90° wohingegen Kippflüpfelfenster auf etwa 10° begrenzt sind. Selbst bei quadratischen Abmassen und gleichen Öffnungswinkeln erreicht das Drehflüpfelfenster einen 1,7 fach höheren Luftwechsel als das Kippflüpfelfenster [21]. Daher muss bei gleicher freier Querschnittsfläche auch stets die Öffnungsart beachtet werden. Weitere Fensteröffnungsarten wie Vertikal- oder Horizontalschiebefenster werden in dieser Untersuchung nicht betrachtet.

Bei der freien Fensterlüftung kann zwischen der einseitigen Lüftung und der Querlüftung unterschieden werden. Für die einseitige Lüftung, bei der man die Belüftung eines Raumes mit einem oder mehrerer Fenster auf derselben Seite versteht, liegen Berechnungsmodelle für den Volumenstroms vor [20]. Ähnliche Zusammenhänge sind auch in [SIA MB 2023:2008] zu finden.

In Schnieders [20] werden jeweils ein rein temperaturgetriebener und ein rein windgetriebener Strömungsanteil betrachtet. Bei der Querlüftung mit Fenstern auf verschiedenen Höhen erhöht sich der rein temperaturgetriebene Anteil deutlich. Bei Fenstern auf verschiedenen Seiten wirkt sich der rein windgetriebene Strömungsanteil dominant aus, sodass der Temperatureinfluss bei nennenswertem Wind vernachlässigt werden kann. Die geografische Lage des Gebäudes bzw. der Fenster und der damit verbundenen Anströmrichtung des Windes spielt kaum eine Rolle [20][21].

Stellt man die verschiedenen Lüftungsvarianten unter gleichen Randbedingungen gegenüber, werden die Unterschiede der möglichen Luftvolumenströme deutlich (Abb. 20). Es sind deutlich die höheren Luftvolumenströme der Drehflüpfelfenster gegenüber den Kippflüpfelfenstern erkennbar.

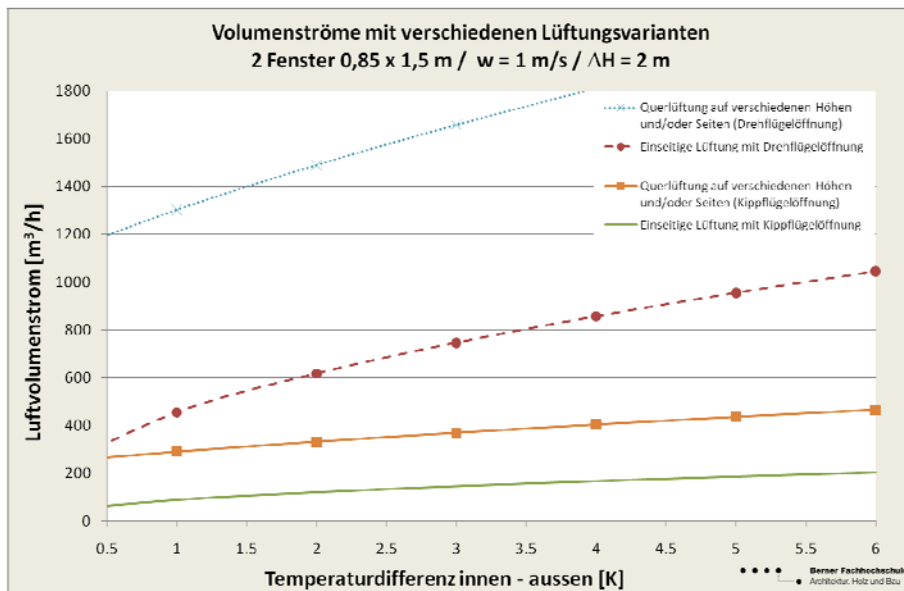


Abb. 20: Volumenströme durch freie Fensterlüftung unterschiedlicher Lüftungsvarianten (Berechnet nach Schnieders [20]).

9 Verschattung

Das Verschattungsverhalten, dass ebenfalls sehr stark vom Nutzer abhängig ist, ist ähnlich komplex wie das Lüftungsverhalten. Daher wird das Verhalten in „Normalverschatter“ und „Vielverschatter“ und an das Lüftungsverhalten gekoppelt. Dieses Kapitel wird in der weiteren Bearbeitung noch weiter ausgeführt.

10 Nationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit mit der Hochschule Luzern als auch mit der Privatwirtschaft gestaltet sich als sehr konstruktiv. Auch weitere Institutionen wie Lemon Consult (Martin Menard) und der EMPA Dübendorf (Thomas Frank) unterstützen das Projekt und stehen Anregungen und Diskussionen gegenüber offen.

11 Internationale Zusammenarbeit

Vom Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt wurden Messdaten zu Fensteröffnungszeiten und -arten zur Verfügung gestellt, die für das Forschungsvorhaben sehr wichtig sind. Der Kontakt zum Passivhausinstitut wird erst 2011 aufgenommen, da erst einmal eine Diskussionsgrundlagen zur Zusammenarbeit geschaffen werden mussten.

12 Bewertung 2010 und Ausblick 2011

Misserfolge: Während der weiteren Bearbeitung musste festgestellt werden, dass es keine Informationen über das Lüftungsnutzerverhalten von Nutzern vorliegt und dass die bisherigen Simulationsstudien sehr stark voneinander abweichen. Die angenommenen Werte sind oftmals frei gewählt und in der Regel nicht validiert. Daher musste eine zeitintensive Analyse des Nutzerlüftungsverhaltens durchgeführt werden.

Erfolge: Hingegen konnte durch die intensive Bauteil- und Raumanalyse ein repräsentatives Referenzgebäude erstellt werden, so dass ein hoher Praxis- und Realitätsbezug besteht. Ausserdem wurden auf Grund der fehlenden oder unzureichenden Lüftungsinformationen die Fensteröffnungszeiten durch Nutzer intensiv analysiert, so dass hier erstmalig eine detaillierte Aussage getroffen werden kann.

Lehre und Ausblick: Durch die intensiven Vorarbeiten, die teils unterschätzt wurden, kann im nächsten Jahr mit den Simulation und der Auswertung intensiv begonnen werden.

13 Literatur

- [1] Frank, Th.: Sommerlicher Wärmeschutz von Dachräumen – Analyse der Einflussfaktoren auf das Raumklima, Beitrag zur ETHZ Vorlesung Spezialfragen Bauphysik HS 2007, Eigenverlag 2007
- [2] Hrsg.: Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München: Sommerliches Temperaturverhalten eines Dachzimmers bei unterschiedlichem Dachaufbau mit und ohne Berücksichtigung eines Sonnenschutzes, Bericht C1-14b/00 München 2000
- [3] Hrsg.: Feist, W.: Passivhaus Sommerklima Studie, Fachinformation PHI-1998/10 des Passivhausinstitutes, Eigenverlag, Darmstadt 1998
- [4] Hrsg.: Institut Wohnen und Umwelt: Fensteröffnung in Passivhäusern, Beitrag in der Zeitschrift Bauphysik Heft 2-2004, Ernst und Sohn Verlag, Berlin 2004
- [5] Grosklos M. et. al. Sanierung von drei kleinen Wohngebäuden in Hofheim, Forschungsbericht des Instituts Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt 2008
- [6] Ménard et.al.: Ménard, M.; Nutt, M.; Keller, P.: Sommerlicher Wärmeschutz bei Wohngebäuden in Holzbauweise - Messungen in acht Minergie Einfamilienhäusern, Forschungsbericht des BFE, Eigenverlag 2009
- [7] SIA 382/1 – 2007: Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2007
- [8] Merkblatt 2024 – 2006: Standardnutzungsbedingungen für Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2006
- [9] SIA 180 – 1999: Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 1999
- [10] SN EN ISO 13786 - 2007: Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2007
- [11] Brunner, C.; Steinemann, U.: Bauen, wenn es wärmer wird – Notwendige Umkehrung normativen Denkens, Beitrag zum 14. Schweizerischen Status Seminar <<Energie- und Umweltforschung im Bauwesen>>, Zürich 2006
- [12] Hrsg.: Feist, W.: Lüftungsstrategien für den Sommer, Protokollband 22 des Passivhausinstitutes, Eigenverlag, Darmstadt 2003
- [13] Borsch-Laaks, R.: Ist das Sommerklima berechenbar – Teil 1: Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2, Beitrag aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Wolznach 2004
- [14] Borsch-Laaks, R.: Ist das Sommerklima berechenbar – Teil 2: Fallstudie zum sommerlichen Wärmeschutz mit PHPP 2004, Beitrag aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Wolznach 2004
- [15] Borsch-Laaks, R.: Die richtige Sommerlüftung – Erkenntnisse und Empfehlungen für die natürliche Kühlung, Beitrag aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Wolznach 2008
- [16] Otto, F.; Ringeler, M.: Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Wohngebäuden durch Holzfaser-Dämmplatten, Studie im Auftrag des Verbandes Holzfaserdämmstoffe e.V., Eigenverlag 2005
- [17] Peper, S.; Feist W.: Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg - Analyse im dritten Betriebsjahr, Eigenverlag Darmstadt 2002
- [18] SIA 416/1: 2007: Kennzahlen für die Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2007
- [19] SIA MB 2024: 2006: Merkblatt 2024 - Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2006
- [20] Schnieders, J.: Beitrag „Ein vereinfachtes Verfahren zur Abschätzung des sommerlichen Luftwechsels“ im Protokollband 22 – Lüftungsstrategien im Sommer, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser – Phase III, Passivhausinstitut, Darmstadt 2003
- [21] Maas, A.: Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung, Dissertation am Fachbereich Architektur der Gesamthochschule Kassel, Kassel 1995