



**NACHWEISVERFAHREN SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ VON
HOLZBAUTEN IN DER SIA 180**

REFERENZ-NR.	REF-1011-04200
KREDIT-NR.	A2310.0134
AUFTRAGGEBER	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Wald Aktionsplan Holz 3003 Bern
VERTEILER	Herr Werner Riegger, BAFU

Erstellt:	Rain, 25. September 2015
Letzte Änderung:	Rain, 25. September 2015
Autor:	Daniel Müller
	T: +41 (0)41 459 70 94, dmueller@pirminjung.ch

IMPRESSUM

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wald
Aktionsplan Holz
3003 Bern

Auftragnehmer

PIRMIN JUNG Büro für Bauphysik AG
Grossweid 4
6026 Rain

Autoren

Daniel Müller, PIRMIN JUNG Büro für Bauphysik AG
Michael Eichenberger, PIRMIN JUNG Büro für Bauphysik AG
Manuel Spadarotto, PIRMIN JUNG Büro für Bauphysik AG

Kreditnummer

A2310.0134 Wald

Verfügungsnummer

09.0063.PJ / 5-14.07

Hinweis

Dieses Projekt wurde realisiert mit Unterstützung des Bundesamts für Umwelt (BAFU) im Rahmen des Aktionsplans Holz.

Erstellt: Rain, 25. September 2015

INHALTSVERZEICHNIS

1	Ausgangslage und Zielsetzung.....	4
2	Methodisches Vorgehen.....	6
2.1	Anforderungen natürlich gelüftete Räume in der SIA Norm 180	6
2.2	Parameterbeschreibung der Simulationen.....	7
3	Simulationsergebnisse	13
3.1.1	Fensterlüftungsszenario 1 – Nachtauskühlung über ganz geöffnete Fenster.....	13
3.1.2	Fensterlüftungsszenario 2 – Nachtauskühlung über gekippte Fenster mit Stosslüftungen..	14
3.1.3	Fensterlüftungsszenario 3 – Möglichkeit einer ganztägigen Kippfensterlüftung.....	15
3.1.4	Fensterlüftungsszenario 4 – Möglichkeit einer ganztägigen Fensterlüftung.....	16
3.2	Erkenntnisse	17
4	Optimierungsmöglichkeiten.....	18
5	Zusammenfassung.....	19
6	Normative Quellen	20
7	Abbildungsverzeichnis.....	20

ANHANG

Planungshilfe „Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit und des Glasanteils auf den sommerlichen Wärmeschutz“

1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Mit der Ausgabe der neuen Norm SIA 180: 2014 (Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden) sind die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz verschärft worden. Basierend auf der neuen Normengrundlage gibt es vermehrt negative Stimmen, welche zu Recht behaupten, dass die Nachweisführung des sommerlichen Wärmeschutzes bei Holzgebäuden sehr aufwändig sei oder nur mit zusätzlicher einzubauender Masse erreicht werden kann.

Für Gebäude in Holzbauweise kann der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gemäss der neuen SIA 180 nur noch bei wenigen Gebäuden mit einem einfachen Verfahren erstellt werden. Aufgrund der verschärften normativen Anforderungen sind für die Nachweisführung der thermischen Behaglichkeit in Holzgebäuden gemäss der SIA 180 aufwändige und kostenintensive Raumsimulationen notwendig. Richtigerweise wird der Aufwand für die Massnahmen des sommerlichen Wärmeschutzes im Holzbau oft mit demjenigen des Massivbaus verglichen. Dabei wird der Mehraufwand des Nachweisverfahrens in Holzbauten aufgrund der meist notwendigen Simulationen oder dem Einsatz von Zusatzmassnahmen (wie das Einbringen von zusätzlicher Masse) durch die Anforderung an die Mindestraumwärmespeicherfähigkeit schnell ersichtlich.

Der sommerliche Wärmeschutz kann mittels drei unterschiedlichen Verfahren nachgewiesen werden. Die Wahl für eines dieser Nachweisverfahren ist von den Gebäudeeigenschaften abhängig. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt die Voraussetzung sowie die drei Möglichkeiten der Nachweisführung des sommerlichen Wärmeschutzes in der Norm SIA 180: 2014.

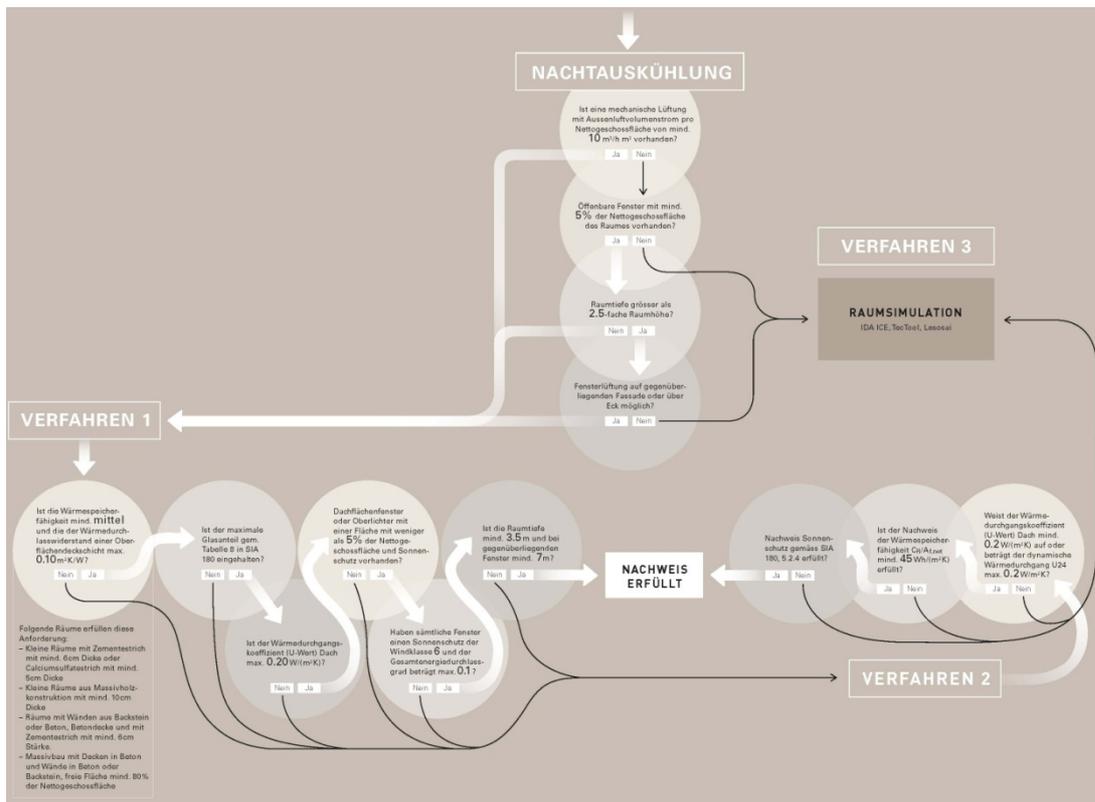


Abbildung 1: Nachweisverfahren sommerlicher Wärmeschutz in der SIA Norm 180: 2014

Der Nachweis kann bei der Variante 1 sehr einfach aussehen, indem strenge Anforderungen erfüllt werden. So werden bei diesem Nachweisverfahren Vorgaben an die Wärmespeicherfähigkeit, an den maximalen Glasanteil, an die Windfestigkeit des aussenliegenden Sonnenschutzes sowie an die Raumtiefen der jeweiligen Zimmer gestellt. Mit der Wahl, den sommerlichen Wärmeschutz nach der Variante 1 auszuweisen, wird die Gestaltungsmöglichkeit vom Gebäude eingeschränkt.

Können die Anforderungen aus dem Verfahren 1 aufgrund des aktuellen Planungsvorhabens nicht erreicht werden, kann der Nachweis mit dem Verfahren 2 erbracht werden. Dieses beinhaltet weniger strenge Vorgaben, dafür nimmt der Aufwand für die Nachweisführung zu. So sind unter anderem Kriterien an eine definierte Mindestwärmespeicherfähigkeit von $45 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ oder an den Gesamtenergiedurchlassgrad (Sonnenschutz plus Fensterglas), welcher durch den Glasanteil und die Ausrichtung der Fenster beeinflusst wird, zu erfüllen. Durch das Anheben der Wärmespeicherfähigkeit in der Norm SIA 180:2014 von $30 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ auf $45 \text{ Wh/m}^2\text{K}$, kann dieses Nachweisverfahren bei Holzgebäuden nur noch in den seltensten Objekten angewendet werden. Aufgrund dieser Verschärfung wird für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes bei Gebäuden in Holzbauweise oft eine Simulation notwendig, was der Variante 3 in der Nachweisführung entspricht.

Mit einer Simulation, basierend auf den vorgesehenen Gebäudeeigenschaften, kann die thermische Behaglichkeit während den Sommermonaten ziemlich präzise ermittelt werden. Der Aufwand für die Modellierung ist bei der herkömmlichen 2D-Planung jedoch zeitintensiv.

Aufgrund dieser Erkenntnisse aus dem Planungsalltag soll zur Verbesserung in Form einer optimierten Nachweisführung eine Anwendungshilfe zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes erstellt werden. Dieses versteht sich nicht als behördlicher Nachweis sondern als Planungsinstrument für Bauphysiker, Gebäudetechniker, Architekten und beteiligte Fachplaner. Mit der Anwendungshilfe soll eine Grundlage geschaffen werden, mit welcher der sommerliche Wärmeschutz von Wohnbauten in Holzbauweise bereits in einem frühen Planungsstadium effizient beurteilt werden kann. Anhand einfacher Parameter sollen das Überhitzungspotential sowie die zu erwartenden maximalen operativen Lufttemperaturen abgeschätzt werden können, ohne dass bereits eine Simulation notwendig ist. Damit wird für die Holzbauweise eine Basis geschaffen, die in der Norm SIA 180: 2014 erwähnte Nachweisführung mit einer effizienten Beurteilungsmethode erlaubt.

2 METHODISCHES VORGEHEN

Zum Abschätzen des sommerlichen Wärmeschutzes in Wohnräumen sind umfassende Raumsimulationen mit Parameterstudien durchgeführt worden. Anhand eines kritischen Wohnraumes werden Simulationen in Abhängigkeit der Wärmespeicherfähigkeit, des Glasanteils und des Fensterlüftungsverhalten erstellt. Die Simulationsergebnisse sind in Abbildungen zusammengefasst, aus welchen das zu erwartende Überhitzungspotential sowie die maximale operative Lufttemperatur in Abhängigkeit der Simulationsbedingungen abgeschätzt werden kann.

2.1 Anforderungen natürlich gelüftete Räume in der SIA Norm 180

In Räumen mit einer natürlichen Lüftung wird die Frischluftzufuhr über die Fenster sichergestellt. Während der Betrachtungsperiode der thermischen Behaglichkeit nach den Anforderungen natürlich gelüfteter Räume dürfen diese weder beheizt noch gekühlt werden. Zum Erreichen der thermischen Behaglichkeitsanforderungen wird eine saisonale Bekleidung der in natürlich gelüfteten Räumen anwesenden Personen vorausgesetzt.

Die zulässige operative Lufttemperatur wird über den gleitenden Mittelwert der Aussenlufttemperatur über 48 Stunden sowie einer oberen und unteren Grenzkurve bestimmt. Als operative Lufttemperatur wird die empfundene Temperatur bezeichnet. Diese Temperatur berücksichtigt die Lufttemperatur am betrachteten Ort im Zimmer und der Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen.

Die Abbildung 2 zeigt den thermischen Behaglichkeitsbereich natürlich gelüfteter Räume anhand eines simulierten Gebäudemodells. Mit zunehmendem gleitendem Mittelwert der Aussenlufttemperatur über 48 Stunden, steigen die als zulässig empfundenen Temperaturen in den Innenräumen an.

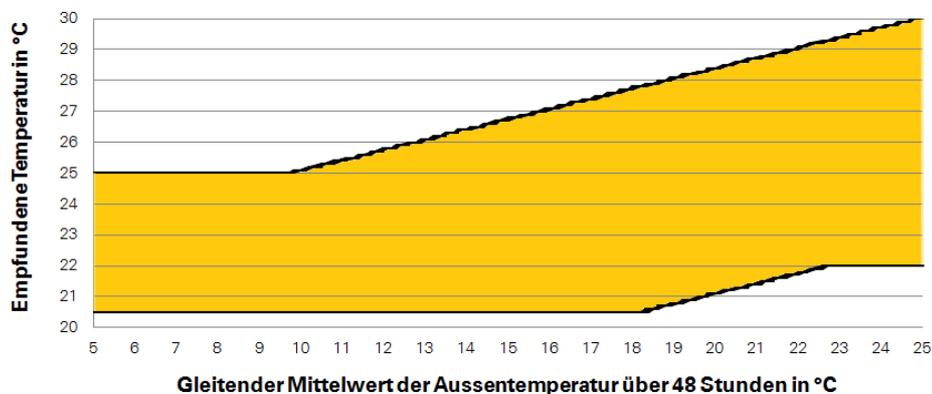


Abbildung 2: Thermischer Behaglichkeitsbereich nach den Anforderungen natürlich gelüfteter Räume

Bei einer Periode mit mehreren nachfolgenden heißen Tagen ist eine erhöhte Lufttemperatur in natürlich gelüfteten Räumen zulässig. Um den sommerlichen Wärmeschutz nach den Behaglichkeitsanforderungen in der Abbildung 2 zu erfüllen, dürfen die simulierten Stundenwerte der empfundenen Temperatur die beiden Grenzkurven nicht überschreiten.

2.2 Parameterbeschreibung der Simulationen

Die Simulationen können durch einzelne Parameter unterschiedlich stark beeinflusst werden. Grundsätzlich basieren die gewählten Parameter auf dem SIA Merkblatt 2024 „Standard-Nutzungsbindungen für die Energie- und Gebäudetechnik“. Um die architektonischen Gegebenheiten sowie das Nutzerverhalten zu berücksichtigen, sind einzelne Parameter aus Erfahrungswerten angenommen.

Die wichtigsten Simulationsgrundlagen für das Abschätzen des sommerlichen Wärmeschutzes in Wohnbauten sind nachfolgend kurz beschrieben.

Raumabmessungen

Die Raumabmessungen für Wohn- und Schlafzimmer sind aus dem SIA Merkblatt 2024 „Standard-Nutzungsbindungen für die Energie- und Gebäudetechnik“ entnommen. Mit der Berücksichtigung dieser Raumdimensionen kann ein Vergleichsraum für die Simulationen berücksichtigt werden. Die Netto-Abmessungen des im Merkblatt aufgeführten typischen Raumes weisen folgende Dimensionen auf:

Länge: 4 m
Tiefe: 4 m
Höhe: 2.5 m

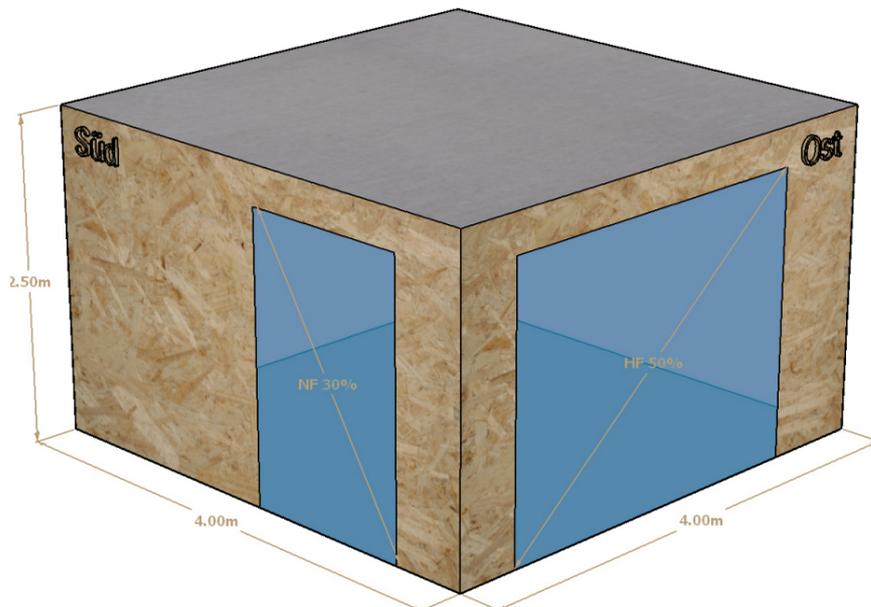


Abbildung 3: Simuliertes Eckwohnzimmer mit Vermassung

Das in der Simulation berücksichtigte Eckwohnzimmer ist im Attikageschoss eines durchschnittlichen dreigeschossigen Mehrfamilienhauses angeordnet.

Klimabedingungen

Für die erstellten Simulationen wurde die Klimastation Luzern gemäss dem SIA Merkblatt 2028 „Klimadaten für Bauphysik, Energie und Gebäudetechnik“ verwendet. Die Klimastation Luzern bildet ein durchschnittliches Klima des Schweizer Mittellandes ab. Weitere Klimastation müssten separat beurteilt werden.

Simulationsperiode

Der betrachtete Simulationszeitraum dauert gemäss Norm SIA 180 vom 16. April bis 15 Oktober 2011.

Ausrichtung

Das Eckwohnzimmer weist zwei Fassaden auf und ist nach Südosten ausgerichtet. Diese Ausrichtung ist bezüglich der Überhitzungsgefahr am kritischsten. Der solare Wärmegewinn findet bereits am Morgen über die Ostfassade statt, welcher zur Mittagszeit bis am früheren Abend über die Südfassade fortgesetzt wird. Je nach Nutzerverhalten ist bei dieser gewählten Fassadenorientierung die thermische Behaglichkeit bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes deutlich kritischer einzustufen als bei einer Südwestorientierung. In den Simulationen ist die Ostfassade als Hauptfassade (HF) und die Südfassade als Nebenfassade (NF) berücksichtigt.

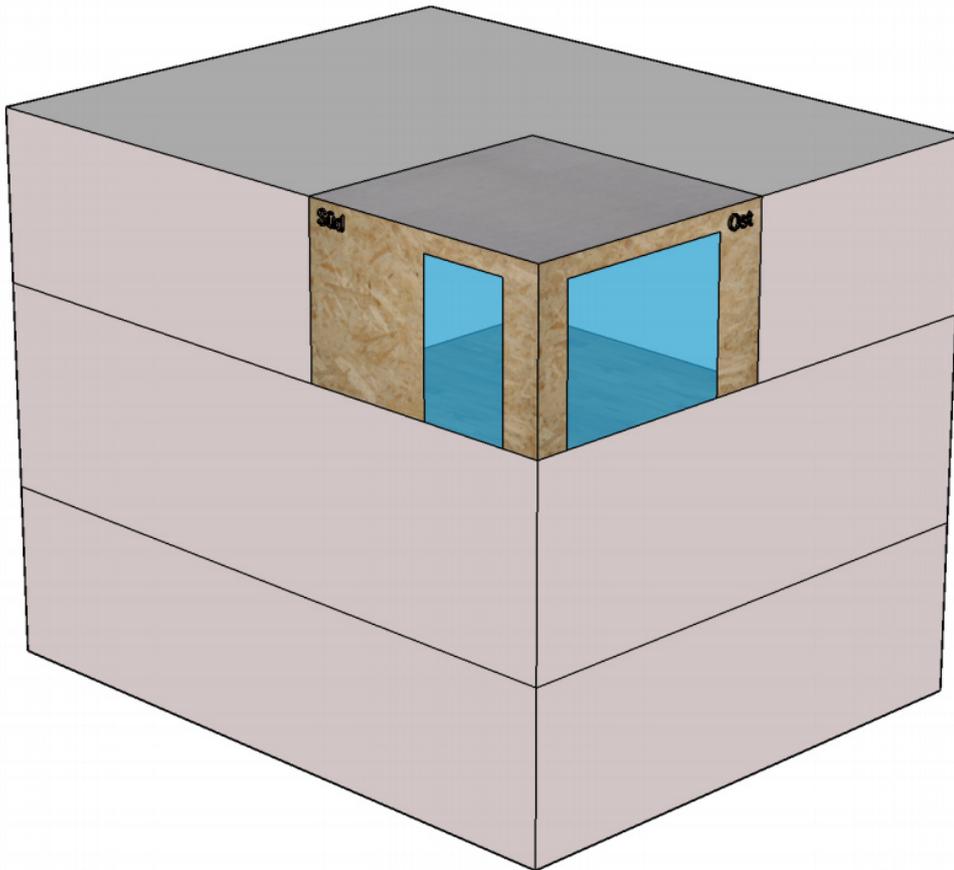


Abbildung 4: Berücksichtigtes Gebäudemodell in den Simulationen

Fensterglaskennwerte

Als Fenster sind in den Simulationen standardmässig 3-fach-Wärmeschutzgläser eingesetzt. Dabei wird darauf geachtet, dass sich das Glas sowohl für den sommerlichen wie auch für winterlichen Wärmeschutz eignet. Nachfolgend sind die wichtigsten Fensterglaskennwerte aufgeführt:

Wärmedurchgangskoeffizient (Ug)	0.7 (W/m ² K)
Gesamtenergiedurchlassgrad (g)	0.48
Lichttransmissionsgrad (Tv)	0.71

Glasanteil

Die heutige Architektur zeichnet sich mit zunehmendem Glasanteil in den Fassaden aus. Um diese Tendenz zu berücksichtigen, sind für die Simulationen sechs über Eck verglaste Gebäudemodelle mit unterschiedlichen Glasanteilen (fg) von 30%, 40% und 50% erstellt worden. Dabei ist die jeweils grössere Glasfläche der nach Osten ausgerichteten Hauptfassade zugeteilt.

Nachfolgend sind die berücksichtigten Gebäudemodelle mit ihrem jeweiligen Glasanteil dargestellt.

Glasanteil (fg) Ostfassade (HF) 30%
Glasanteil (fg) Südfassade (NF) 30%

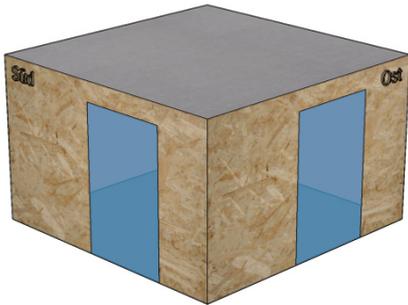


Abbildung 5: HF Ost, fg 30%; NF Süd, fg 30%

Glasanteil (fg) Ostfassade (HF) 40%
Glasanteil (fg) Südfassade (NF) 30%

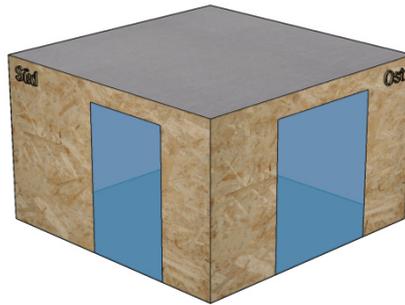


Abbildung 6: HF Ost, fg 40%; NF Süd, fg 30%

Glasanteil (fg) Ostfassade (HF) 40%
Glasanteil (fg) Südfassade (NF) 40%

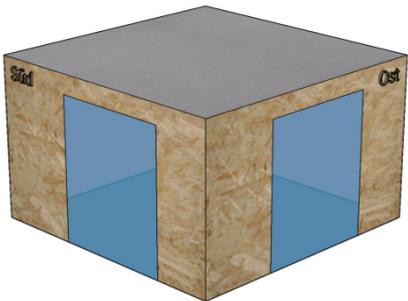


Abbildung 7: HF Ost, fg 40%; NF Süd, fg 40%

Glasanteil (fg) Ostfassade (HF) 50%
Glasanteil (fg) Südfassade (NF) 30%

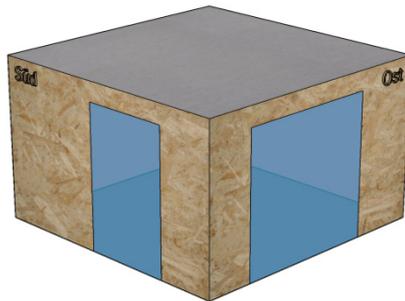


Abbildung 8: HF Ost, fg 50%; NF Süd, fg 30%

Glasanteil (fg) Ostfassade (HF) 50%
Glasanteil (fg) Südfassade (NF) 40%

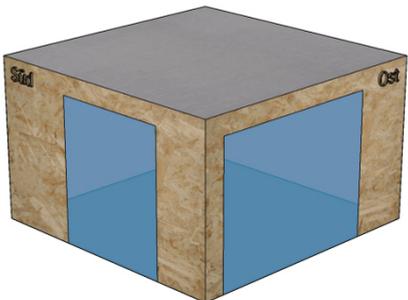


Abbildung 9: HF Ost, fg 50%; NF Süd, fg 40%

Glasanteil (fg) Ostfassade (HF) 50%
Glasanteil (fg) Südfassade (NF) 50%

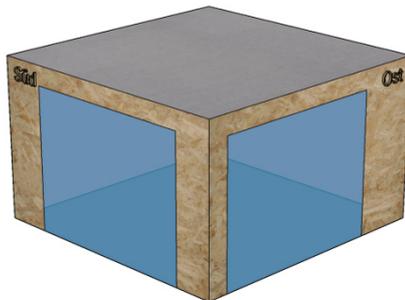


Abbildung 10: HF Ost, fg 50%; NF Süd, fg 50%

Sonnenschutz

Der Sonnenschutz ist ein wesentliches Gestaltungselement bei Wohnbauten. Oftmals wird die Wahl des verwendeten Sonnenschutzes erst in einer sehr späten Planungsphase definiert. In den Simulationen ist deshalb gemäss dem SIA Merkblatt 2024 ein aussenliegender Sonnenschutz mit einem Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} (Fensterglas plus Sonnenschutz) von 0.15 berücksichtigt. Dadurch wird die Wahl eines geeigneten Sonnenschutzes nicht zu fest eingeschränkt. Der aussenliegende Sonnenschutz wird in den Simulationen automatisch gesteuert. Die bewegliche Beschattung senkt sich gemäss der Norm SIA 180:2014 bei einer Sonnenstrahlung auf der Fassade von mehr als 200 W/m^2 . Die Windfestigkeit des Sonnenschutzes ist mit 40 km/h angenommen. Dadurch können die Simulationsergebnisse auch für Fassadenmarkisen angewendet werden.

Lüftungsverhalten

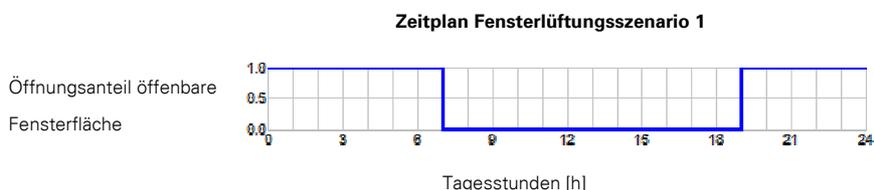
In den Simulationen wird davon ausgegangen, dass die Frischluftzufuhr über die Fenster sichergestellt wird. Eine mechanische Lüftungsanlage ist nicht berücksichtigt, da während des Sommers bei den meisten Bewohnern der Bedarf an einer Fensterlüftung besteht. Eine Berücksichtigung einer Lüftungsanlage in den Simulationen würde die Ergebnisse begünstigen. Mit dem Verzicht dieser zusätzlichen Lüftungsmöglichkeit, sind die Ergebnisse in der Anwendungshilfe auf der sicheren Seite. Um unterschiedliche Nutzerverhalten zu berücksichtigen, sind vier verschiedene Zeitpläne von Fensterlüftungsszenarien bestimmt worden. Zudem werden Temperaturgrenzen angenommen, bei welchen die Fenster geöffnet und geschlossen werden.

Bei allen Lüftungsszenarien gilt folgende Bedingung: Die Fenster können gemäss dem Zeitplan bei einer Innenlufttemperatur ($\theta_{a,i}$) im Wohnzimmer von grösser als $24 \text{ }^\circ\text{C}$ bei einer gleichzeitigen Aussenlufttemperatur ($\theta_{a,e}$) von kleiner als $24 \text{ }^\circ\text{C}$ geöffnet werden. Die Auskühlung des Wohnzimmers erfolgt bis auf eine Raumtemperatur ($\theta_{a,i}$) von $21 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Fenster werden während einer Fensterlüftung bei einer Raumtemperatur ($\theta_{a,i}$) von $21 \text{ }^\circ\text{C}$ wieder geschlossen. Die Fenster werden während dem Zeitplan nur geöffnet, wenn die Aussenlufttemperatur ($\theta_{a,e}$) kleiner als die Raumlufttemperatur ($\theta_{a,i}$) ist.

Für die Simulationen wird angenommen, dass die berücksichtigte Glasfläche zur Hälfte als offenbares Fenster ausgeführt wird. Die restlichen 50 % des Glasanteils sind als Festverglasung berücksichtigt. Nachfolgend sind die vier Fensterlüftungsszenarien beschrieben.

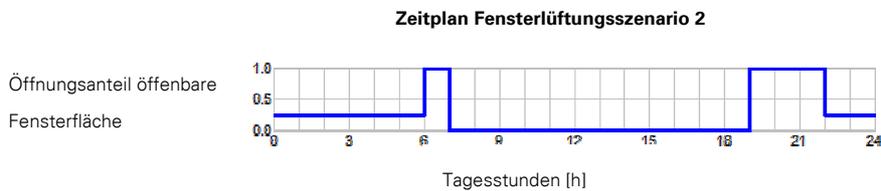
Fensterlüftungsszenario 1 – Nachtauskühlung über ganz geöffnete Fenster

Die offenbaren Fenster können von 19.00 Uhr bis 07.00 Uhr ganz geöffnet werden. Während dem Tag findet keine Fensterlüftung statt. Dieser Zeitplan berücksichtigt einen berufstätigen Personenhaushalt, bei welchem eine Nachtauskühlung über ganz geöffnete Fenster möglich ist.



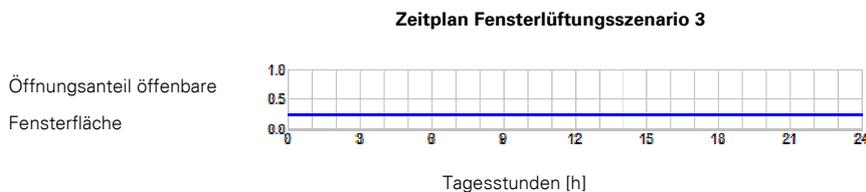
Fensterlüftungsszenario 2 – Nachtauskühlung über gekippte Fenster mit Stosslüftungen

In der Nacht können die Fenster von 22.00 Uhr bis 06.00 Uhr gekippt werden. Morgens von 06.00 bis 07.00 Uhr sowie abends von 19.00 bis 22.00 Uhr kann eine Stosslüftung durchgeführt werden. Während dem Tag besteht keine Fensterlüftungsmöglichkeit. Dieser Zeitplan berücksichtigt einen berufstätigen Haushalt, bei welchem die Möglichkeit einer Nachtauskühlung über ganz geöffnete Fenster nicht besteht.



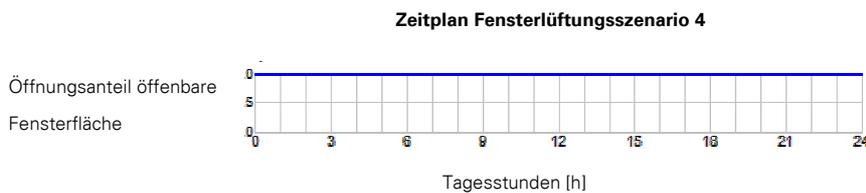
Fensterlüftungsszenario 3 – Möglichkeit einer ganztägigen Kippfensterlüftung

Bei dieser Fensterlüftung besteht die Möglichkeit, dass die Fenster jederzeit gekippt werden können. Dies kann durch eine ständig anwesende Person oder durch automatisch gesteuerte Fenster erfolgen.



Fensterlüftungsszenario 4 – Möglichkeit einer ganztägigen Fensterlüftung

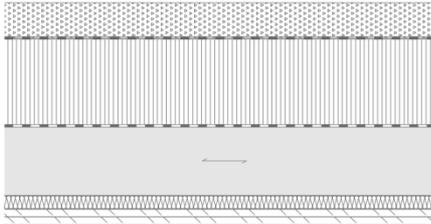
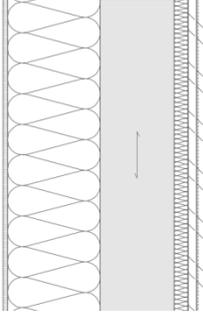
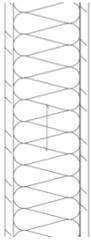
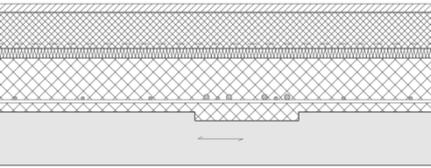
Die Fenster können bei diesem Lüftungsszenario den ganzen Tag mit dem vollen Öffnungsquerschnitt geöffnet werden. Dies kann durch eine ständig anwesende Person oder durch automatisch gesteuerte Fenster erfolgen. Bei temperaturgesteuerten Fenstern ist der Einbruchschutz zu beachten.



Damit in den Simulationen eine Fensteröffnung stattfinden kann, müssen die Bedingungen des Zeitplans und der Temperaturgrenzen gleichzeitig erfüllt werden. Ansonsten bleiben die Fenster geschlossen.

Bauteilaufbauten

Die verschiedenen auf ihr Einflusspotential zu untersuchenden Wärmespeichereigenschaften zwischen 25 und 55 Wh/m²K werden über unterschiedliche Bauteilaufbauten erzeugt. Das Prinzip der Anordnung der Materialisierung bleibt bei allen Bauteilaufbauten mit zunehmender Wärmespeichereigenschaft bestehen. Die steigende Masse im Wohnzimmer wird mit der Erhöhung einzelner Baustoffschichten bei den Aussenwänden, den Innenwänden und dem Dach erzeugt. Die Geschossdecke wird in den Simulationen nicht verändert und weist immer dieselbe Masse auf. Einzelne für den sommerlichen Wärmeschutz vernachlässigbare Baustoffe, wie beispielsweise die Dampfbremse oder die Abdichtung, werden in den Simulationen vernachlässigt. Nachfolgend sind die Regelaufbauten aufgeführt.

Dach	Aufbau von innen nach aussen <ul style="list-style-type: none">- Gipsfaserplatte- Mineralfaserdämmung- Massivholz (500 kg/m³)- EPS-Wärmedämmung- Extensive Begrünung	
Aussenwände	Aufbau von innen nach aussen <ul style="list-style-type: none">- Gipsfaserplatte- Mineralfaserdämmung- Massivholz (500 kg/m³)- Mineralfaserdämmung	
Innenwände	Aufbau <ul style="list-style-type: none">- Gipsfaserplatte- Mineralfaserdämmung- Gipsfaserplatte	
Geschossdecke	Aufbau von oben nach unten <ul style="list-style-type: none">- Parkett- Zementunterlagsboden- Trittschalldämmung Mineralfaser- Beton- Massivholz (500 kg/m³)	

Simulationsprogramm

Für die Simulationen wird das dynamische Gebäudesimulationsprogramm IDA ICE von EQUA verwendet. Die thermische Behaglichkeit in den Sommermonaten wird mit der Programmversion 4.6.2 analysiert.

3 SIMULATIONSERGEBNISSE

Die Simulationsergebnisse zeigen den Zusammenhang der Wärmespeicherfähigkeit und des Glasanteils mit der Anzahl Überhitzungsstunden natürlich gelüfteter Räume und die maximale operative Lufttemperatur in Wohnzimmern auf. Die Auswertung der Simulationen ist nach den Fensterlüftungsszenarien unterteilt. Dadurch sind die Auswirkungen der Fensterlüftungsmöglichkeiten besser erkennbar.

3.1.1 Fensterlüftungsszenario 1 – Nachtauskühlung über ganz geöffnete Fenster

Die Simulationsergebnisse im Fensterlüftungsszenario 1 zeigen den Einfluss einer reinen Nachtauskühlung von 19.00 Uhr bis 07.00 Uhr über ganz geöffnete Fenster auf den sommerlichen Wärmeschutz. Mit zunehmender Wärmespeicherfähigkeit nehmen die Überhitzungsstunden natürlich gelüfteter Räume wie auch die maximale operative Lufttemperatur ab. Aus der Abbildung 11 ist zu erkennen, dass bei Räumen mit höherem Glasanteil die Wärmespeicherfähigkeit einen grösseren Einfluss auf das thermische Raumklima einnimmt. Bei einem Glasanteil von 50 % auf der Ost- und Südfassade hat die Wärmespeicherfähigkeit ab ca. 43 Wh/m²K nur noch einen geringen Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz.

Der Einfluss und die Anordnung der Fenster ist aus den Ergebnissen der Wohnzimmer mit einem Glasanteil HF fg 50 %; NF fg 30 % (violette Linie) und HF fg 40 %; NF fg 40 % (grüne Linie) ersichtlich. Obschon beide Räumlichkeiten dieselbe Glasflächenzahl aufweisen, ist in Wohnräumen mit einem grösseren Glasanteil auf der Ostfassade bis zu einer Wärmespeicherfähigkeit von ca. 42 Wh/m²K mit einer höheren Anzahl Überhitzungsstunden zu rechnen. Dies ist darauf zurückzuführen, da der solare Wärmegewinn über die Südfenster durch den höheren Sonnenstand bei zunehmendem Glasanteil weniger stark zunimmt als bei ostausgerichteten Öffnungen. Die am Morgen gewonnene Energie heizt das Wohnzimmer mit einem Glasanteil fg 50 % bei der Ostfassade mehr auf, als bei einem Glasanteil von 40 %.

Die Simulationsergebnisse sind als Wellenlinien ersichtlich. Diese sind auf die Simulationstoleranzen des Programms zurückzuführen.

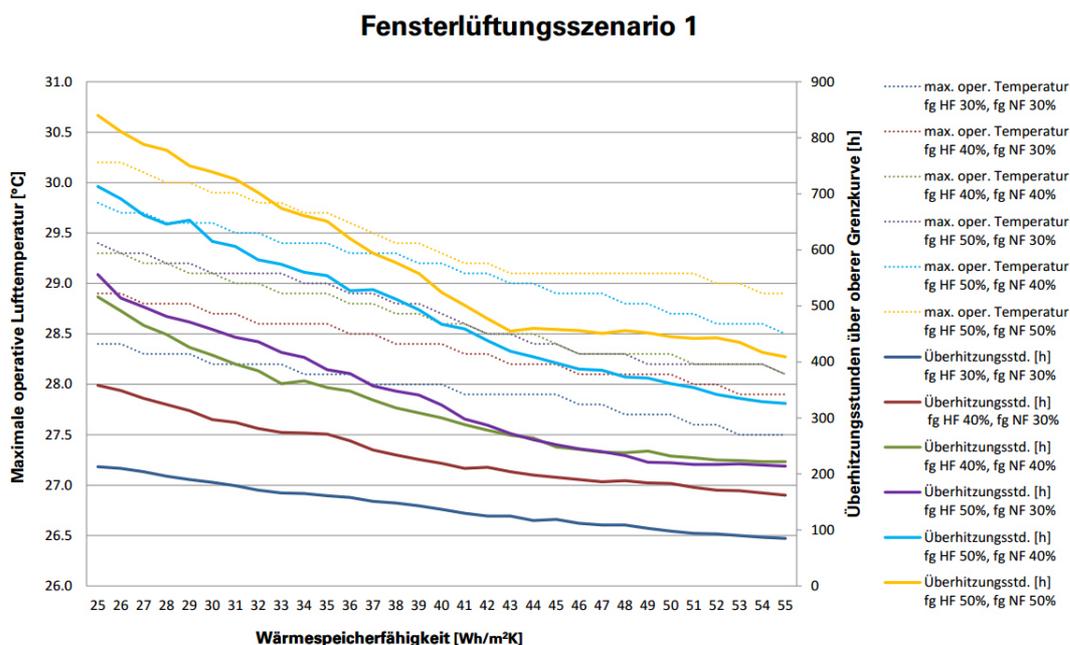


Abbildung 11: Simulationsergebnisse Fensterlüftungsszenario 1

In der Abbildung 11 ist deutlich zu erkennen, dass die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von natürlich gelüfteten Räumen mit dem angenommenen Fensterlüftungsszenario 1 nicht erreicht werden können. Dies bedeutet, dass eine Nachtauskühlung über ganz geöffnete Fenster nicht ausreichend ist, wenn während dem Tag keine Möglichkeit zur Fensterlüftung besteht.

3.1.2 Fensterlüftungsszenario 2 – Nachtauskühlung über gekippte Fenster mit Stosslüftungen

Aus den Ergebnissen in der Abbildung 12 ist zu erkennen, dass die Anzahl Überhitzungsstunden und die maximale operative Lufttemperatur beim Fensterlüftungsszenario 2 mit einer Nachtauskühlung über gekippte Fenster und Stosslüftungen am Morgen sowie am Abend sehr ähnlich wie beim Fensterlüftungsszenario 1 ausfällt. Der Einfluss der Wärmespeicherefähigkeit nimmt ab ca. 43 Wh/m²K beim gewählten Fensterlüftungsszenario 2 bei einem Glasanteil von 50 % auf der Ost- und der Südfassade keinen relevanten Einfluss mehr auf den sommerlichen Wärmeschutz ein.

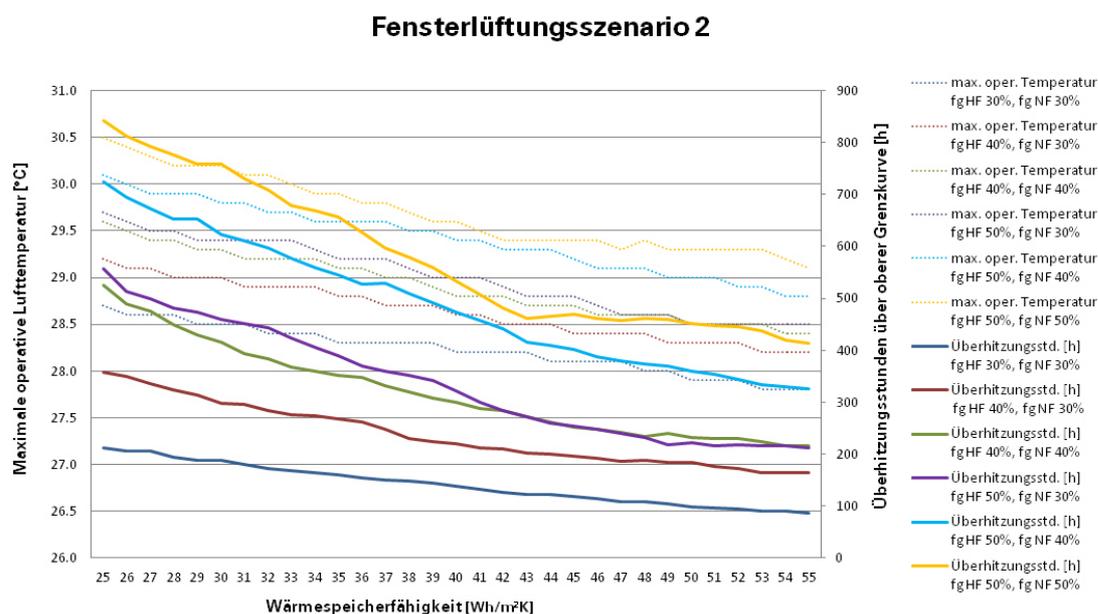


Abbildung 12: Simulationsergebnisse Fensterlüftungsszenario 2

Die Simulationsergebnisse zeigen deutlich, dass der sommerliche Wärmeschutz auch bei einer grossen Wärmespeicherefähigkeit nach den Anforderungen natürlich gelüfteter Räume mit dem Fensterlüftungsszenario 2 nicht erreicht werden kann. Eine Stosslüftung am frühen Morgen und am Abend sowie die Möglichkeit einer Nachtauskühlung mittels gekippten Fenstern ist nicht ausreichend für die Sicherstellung der thermischen Behaglichkeit während den Sommermonaten.

Um die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz zu erfüllen, müsste eine zusätzlich Temperaturabführung über die Fenster während des Tages stattfinden können.

3.1.3 Fensterlüftungsszenario 3 – Möglichkeit einer ganztägigen Kippfensterlüftung

Mit der Möglichkeit, die Fenster während des Tages und der Nacht zu kippen, können die Überhitzungsstunden merklich gesenkt werden. Bei Wohnräumen mit einem Glasanteil von fg HF 30 %; fg NF 30 % (blaue Linie) und fg HF 40 %; fg NF 30 % (rote Linie) ist anhand der Simulationsergebnisse auch bei einer sehr geringen Wärmespeicherefähigkeit mit keinen Überhitzungsstunden zu rechnen. Weiter zeigen die Simulationsergebnisse in der Abbildung 13 auf, dass bei einem Glasanteil in Eckwohnzimmern von fg HF 50 %; fg NF 30 % ab einer Wärmespeicherefähigkeit von ca. 34 Wh/m²K der sommerliche Wärmeschutz erreicht werden kann. Die thermische Behaglichkeit während den Sommermonaten ist mit dem gewählten Fensterlüftungsszenario 3 nur bei einem Glasanteil von fg HF 50 %; fg NF 50 % schwierig zu erreichen. Ab einer Wärmespeicherefähigkeit von ca. 42 Wh/m²K tritt nur noch eine Überhitzungsstunde auf.

Aus den Ergebnissen der maximalen operativen Lufttemperaturen ist zu erkennen, dass sich diese ähnlich verhalten wie beim Fensterlüftungsszenario 2. Die kleinen Unebenheiten in der Auswertung der Simulationsergebnissen, welche zu einer Wellenlinie führen, sind auf die Toleranzen des Simulationsprogrammes zurückzuführen. Aufgrund der grösseren Skalierung erscheinen diese Abweichungen markant, obschon beispielsweise bei den Ergebnissen der maximalen operativen Lufttemperatur die Differenz lediglich 0.1 °C beträgt.

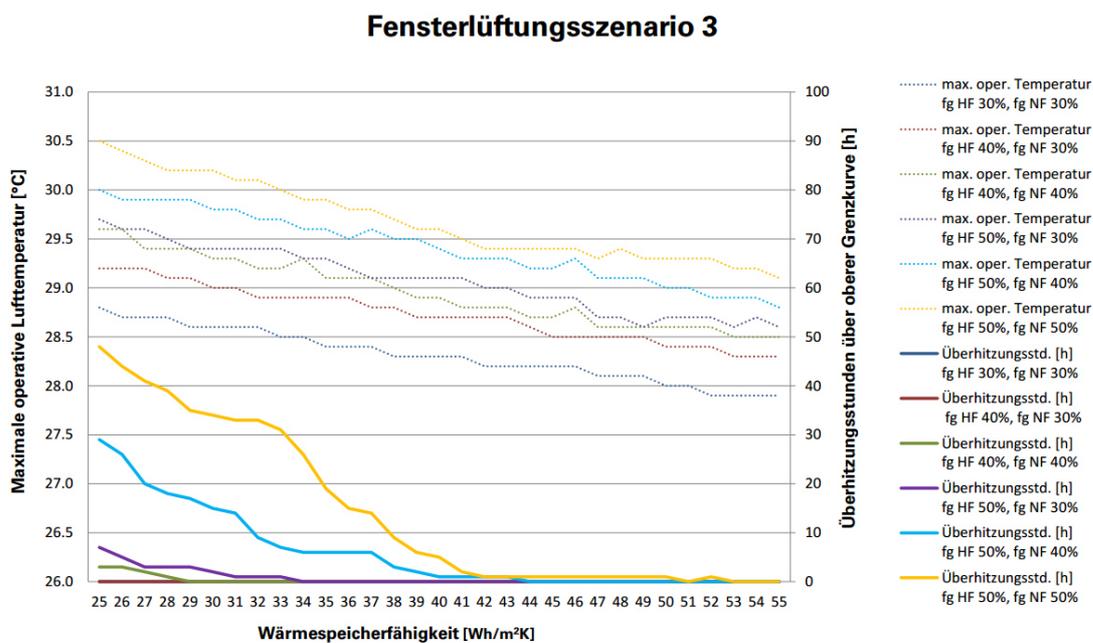


Abbildung 13: Simulationsergebnisse Fensterlüftungsszenario 3

Aufgrund der dargestellten Simulationsergebnisse in der Abbildung 13 ist festzustellen, dass mit einer Auskühlung über temperaturgesteuerte Kippfenster die Überhitzungsstunden bei allen untersuchten Wohnzimmervarianten deutlich sinken. Die Anforderungen an natürlich gelüftete Räume können während den Sommermonaten bis zu einer Wärmespeicherefähigkeit von ca. 34 Wh/m²K mit einem Glasanteil von fg HF 50 %; fg NF 30 % und weniger erreicht werden.

Im Vergleich zu den vorherigen Fensterlüftungsszenarien 1 und 2 können bei diesen Simulationsergebnissen die Fenster auch während des Tages geöffnet werden. Dies führt zu einer verlängerten Auskühlungsphase in den Morgenstunden, bis die Fenster, nach dem Überschreiten der Innenlufttemperatur durch die Aussenlufttemperatur, geschlossen werden.

3.1.4 Fensterlüftungsszenario 4 – Möglichkeit einer ganztägigen Fensterlüftung

Durch die Möglichkeit, die Fenster während dem ganzen Tag öffnen zu können, sind die Anforderungen des sommerlichen Wärmeschutzes bei praktisch allen Wohnzimmervarianten auch mit einer sehr geringen Wärmespeicherfähigkeit erreicht. Einzig bei Eckwohnzimmern mit einem Glasanteil von fg HF 50 %; fg NF 50 % sowie fg HF 50 %; fg NF 40 % können die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit während den Sommermonaten erst ab einer Wärmespeicherfähigkeit von ca. 36 Wh/m²K, resp. ca. 29 Wh/m²K erreicht werden.

Weiter ist aus den Simulationsergebnissen der Abbildung 14 zu erkennen, dass im Vergleich zu den vorherigen Fensterlüftungsszenarien die maximalen operativen Lufttemperaturen tiefer sind.

Durchschnittlich ist mit den Voraussetzungen im Fensterlüftungsszenario 4 mit ca. 0.5 °C tieferen maximalen operativen Lufttemperaturen zu rechnen als beim Fensterlüftungsszenario 3.

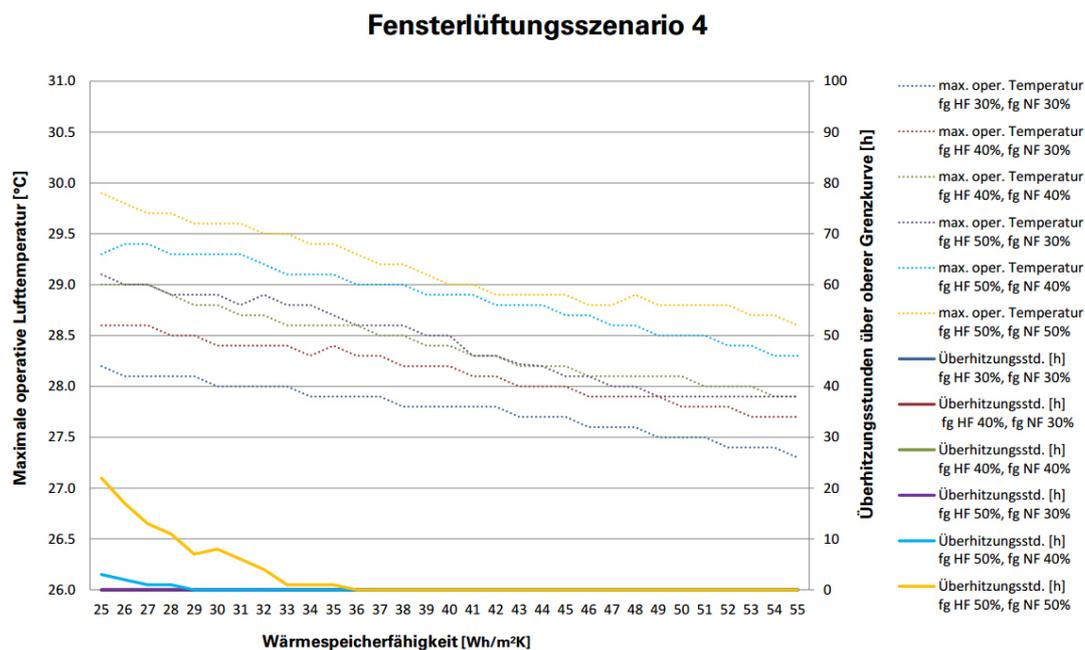


Abbildung 14: Simulationsergebnisse Fensterlüftungsszenario 4

Mit der Möglichkeit, die Fenster während des ganzen Tages ganz öffnen zu können, kann eine effiziente Auskühlung während den Sommermonaten stattfinden. Dies setzt voraus, dass ständig jemand anwesend ist, welcher die Fenster öffnen kann oder diese automatisch gesteuert werden.

Die Simulationsergebnisse in der Abbildung 14 zeigen auf, dass der sommerliche Wärmeschutz auch in Wohnräumen mit einer geringen Wärmespeicherfähigkeit bei einem gleichzeitigen hohen Glasanteil erreicht werden kann.

3.2 Erkenntnisse

Die Simulationsergebnisse im Kapitel 3 zeigen auf, dass der sommerliche Wärmeschutz auch von Holzgebäuden gut erfüllt werden kann. Einen entscheidenden Einfluss nehmen das Fensterlüftungsverhalten sowie der konsequent beschattete Glasanteil in der Fassade ein.

Bei einem effizienten Fensterlüftungsverhalten nimmt die Wärmespeicherfähigkeit einen geringeren Einfluss auf die thermische Behaglichkeit während der Sommermonate ein. Vielmehr gilt es, Wohnräumen mit einem erhöhten Glasanteil Beachtung zu schenken. Mit steigendem Glasanteil der Fassade nimmt die Wichtigkeit einer korrekt eingesetzten Beschattung durch aussenliegende Sonnenschutzmassnahmen sowie eine wirkungsvolle Fensterlüftung zu. Um die erhöhten Temperaturen in den Wohnräumen abzuführen, ist eine Nachtauskühlung unumgänglich. Zudem ist bei Wohnzimmern mit erhöhtem Glasanteil eine Fensterlüftung während des Tages erforderlich, damit die Anforderungen an natürlich gelüfteten Räumen im Sommer erreicht werden können.

Der Einfluss des unterschiedlichen Fensterlüftungsverhaltens, in Abhängigkeit des Glasanteils der Fassaden, ist den zukünftigen Eigentümern bereits in der Planungsphase aufzuzeigen. Die Bauherrschaft kann mit dem Darstellen der zu erwartenden Überhitzungsstunden und den voraussichtlichen maximalen operativen Lufttemperaturen sensibilisiert werden. Dem zukünftigen Nutzer der Wohnräumlichkeiten ist das Einflusspotential einer Fensterlüftung sowie einem wirkungsvoll eingesetzten aussenliegenden Sonnenschutz auf die thermische Behaglichkeit im Sommer aufzuzeigen. Eine gute Möglichkeit ist eine Sensibilisierung anhand eines simulierten Gebäudemodells, wo dem späteren Nutzer die einzelnen Benutzerverhalten visuell dargestellt werden können.

Die Lufttemperatur in Wohnräumen mit einer geringen Wärmespeicherfähigkeit steigt schneller an als bei Gebäuden mit mehr Masse, da weniger Wärme in den einzelnen Bauteilen eingespeichert werden kann. Dies führt zu einer erhöhten Anzahl Überhitzungsstunden und einer höheren maximalen operativen Lufttemperatur. Ein Vorteil der geringeren Wärmespeicherfähigkeit ist die schnellere Temperaturabführung bei einer effizienten Fensterlüftung. Dadurch kann trotz der geringen Masse und bei einem erhöhten Glasanteil die thermische Behaglichkeit während der Sommermonate erreicht werden.

Die Simulationsergebnisse aus dem Kapitel 3 dienen zur Abschätzung des sommerlichen Wärmeschutzes in Wohnräumen gemäss den Anforderungen von natürlich gelüfteten Räumen aus der Norm SIA 180 „Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden“. Mit den Ergebnissen soll den Architekten und Fachplanern beim Entwurf und der Optimierung von Wohnbauten ein einfaches Planungsinstrument zur Verfügung gestellt werden. Darin sollen der Spielraum und allfällige Massnahmen zur Sicherstellung des sommerlichen Wärmeschutzes aufgezeigt werden. Dabei ist zu erwähnen, dass diese Simulationsergebnisse nicht als ein Nachweis zu verstehen sind, sondern lediglich unverbindliche Anhaltspunkte für eine effiziente Planung bilden.

4 OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN

Die in den Simulationen berücksichtigten Parameter basieren auf den aktuell gültigen SIA Normen und SIA Merkblättern sowie auf Annahmen, welche sich in der Praxis bewährt haben. Falls mit einer Abschätzung der sommerliche Wärmeschutz voraussichtlich nicht erreicht werden kann, gibt es weitere Möglichkeiten, die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit während der Sommermonate zu erfüllen. Diese Optimierungsmassnahmen können jedoch zum Teil die Architektur des Gebäudes deutlich beeinflussen.

Eine Massnahme, welche keinen Einfluss auf die Architektur des Gebäudes einnimmt, ist der Einsatz von temperaturgesteuerten Öffnungen. Diese können mit Temperaturbedingungen von Innen- und Aussenluft automatisch gesteuert werden. Die Verwendung von automatisch gesteuerten Fenstern ist auf die Sicherstellung des Einbruchschutzes zu überprüfen.

Eine weitere Möglichkeit ist das Einsetzen von neutralen Sonnenschutzgläsern. Durch diese Massnahme dringt ein kleinerer Anteil der solaren Wärme in den Wohnraum ein. Wichtig ist, beim Einsatz von Fenstergläsern mit einem niedrigeren Gesamtenergiedurchlassgrad zu überprüfen, wie sich diese nicht nur für den sommerlichen sondern auch auf den winterlichen Wärmeschutz auswirken. Einen Vorteil beim Einsatz eines Sonnenschutzglases ist die längere Sichtfreiheit, da der aussenliegende Sonnenschutz aufgrund des geringeren solaren Wärmegewinns durch das Fensterglas erst zu einem späteren Zeitpunkt gesenkt wird. Dafür erhöhen sich die internen Wärmelasten durch das Kunstlicht, da der Tageslichtanteil im Raum abnimmt.

Mit einem effizienteren aussenliegenden Sonnenschutz kann der sommerliche Wärmeschutz in Wohnräumen verbessert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der Sonnenschutz inkl. der Verglasung einen tieferen Gesamtenergiedurchlassgrad (g_{tot}) aufweist. Um durch diese Massnahme die internen Wärmelasten (wie das Kunstlicht) nicht zu erhöhen, ist darauf zu achten, dass der aussenliegende Sonnenschutz möglichst einen grossen Tageslichtanteil in das Rauminnere transportieren kann. Geeignete Sonnenschutzsysteme sind beispielsweise Rafflamellenstoren, welche je nach Produktwahl viel Tageslicht in die Räume umlenken können.

Mit dem Einsatz zusätzlich öffentlicher Fensterflächen bei gleichbleibendem Glasanteil kann die Temperaturabführung beschleunigt werden. Mit zusätzlichen Öffnungsquerschnitten können sowohl die Überhitzungsstunden wie auch die maximale operative Lufttemperatur in den Wohnräumen gesenkt werden. Dies führt dazu, dass allfällige Fensterschiebetüren durch Öffnungen mit Fensterflügeln oder raumhohe Festverglasungen durch öffentbare Fenster ersetzt werden. Bei einer Substitution von Festverglasungen durch öffentbare Fenster wird je nach Brüstungshöhe eine Absturzsicherung notwendig.

Ein Faktor zu einer verbesserten Temperaturabführung ist das Einsetzen von möglichst hohen Fenstern. Dadurch findet ein besserer Luftaustausch zwischen der Innen- und Aussenluft statt. Breite Fensterflügel bei geringer Fensterhöhe sind bei Räumen mit einem erhöhten Überhitzungspotential nicht geeignet.

Mit einem geeigneten Heizungssystem könnte über die Fussbodenheizung ein Freecooling erzeugt werden. Mit einer geringeren Vorlauftemperatur in den Heizschlangen der Bodenheizung wird die Raumlufttemperatur gesenkt. Ein positiver Effekt dieser Massnahme ist, dass die entzogene Wärme bei einer Erdsondenwärmepumpe im Erdreich eingespeichert und im Winter für die Beheizung wieder verwendet werden kann.

Mit dem Reduzieren der Fensterfläche kann der solare Wärmegegewinn in den Räumlichkeiten verkleinert werden. Diese Massnahme ist ein wesentlicher Eingriff in die Architektur des Gebäudes. Wenn möglich, sind Ersatzmassnahmen zur Sicherstellung der thermischen Behaglichkeit in den Sommermonaten vorzunehmen (beispielsweise der Einsatz eines effizienteren Sonnenschutzes und eines Sonnenschutzglases). Sicherlich ist es bei kritischen Räumen empfehlenswert, den sommerlichen Wärmeschutz anhand eines Gebäudemodells vor einer Reduktion der Glasfläche zu optimieren.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Erkenntnisse dieser Arbeit zeigen auf, dass der sommerliche Wärmeschutz auch in Holzbauten mit einer geringen Wärmespeicherfähigkeit erreicht werden kann. Gerade bei Wohngebäuden mit einer geringen thermischen Speichermasse ist ein grosses Augenmerk auf die Planung eines aussenliegenden Sonnenschutzes und das Vorsehen von möglichst vielen Fensteröffnungsquerschnitten zu legen. Die Fenster sind, wenn möglich, bei Eckzimmern auf beiden Fassaden anzuordnen, damit zur Temperaturabführung eine Querlüftung stattfinden kann. Der Einsatz von temperaturgesteuerten Fenstern wird bei den aktuellen Wohnbelegungsprofilen einen zunehmenden Stellenwert einnehmen. Dadurch könnte vor allem am Morgen, wenn sich keine Personen mehr in der Wohnung aufhalten, die Raumaukühlung über die Fenster verlängern.

Unumgänglich ist die Sensibilisierung der Bewohner von diesen Räumlichkeiten. Die beste Planung mit den dazugehörigen vorgesehenen Massnahmen bringt nichts, wenn der zukünftige Nutzer nicht über die Möglichkeiten zur Sicherstellung der thermischen Behaglichkeit informiert und geschult wird. Diese Instruktionen sind vor allem bei einem Nutzerwechsel in Mietwohnungen dringend empfohlen.

Besitzen Wohngebäude in Holzbauweise ein Überhitzungspotenzial, bestehen mehrere Möglichkeiten, den solaren Wärmegegewinn effizient zu reduzieren. Dies kann mittels optimierten Sonnenschutz- und Fensterlüftungsmassnahmen, Erhöhung der Speichermasse, Verkleinerung des Glasanteils oder mit einer passiven Kühlung über das Heizungssystem erfolgen. Die Umsetzung solcher zusätzlicher Massnahmen fordert jedoch viel Verständnis der Bauherrschaft. Deshalb ist bereits früh in der Planung den zukünftigen Hausbesitzern der Einfluss eines erhöhten Glasanteils bei Holzbauten mit einer geringen thermischen Speichermasse auf den sommerlichen Wärmeschutz zu erläutern.

Es ist davon auszugehen, dass der sommerliche Wärmeschutz in der zukünftigen Planung von Holzgebäuden einen höheren Stellenwert einnimmt. Aufgrund der verschärften normativen Grundlagen kann ein Wohngebäude in Holzbauweise ohne eine Raumsimulation bezüglich der thermischen Behaglichkeit kaum mehr nachgewiesen werden. Mit den Erkenntnissen aus diesem Bericht soll das Überhitzungspotential von Wohnräumen abgeschätzt werden können, ohne dass für jedes standardisierte Holzwohngebäude bereits in einer frühen Planungsphase eine Simulation notwendig ist.

6 NORMATIVE QUELLEN

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. (2006). *SIA Merkblatt 2024 "Standard-Nutzungsbedingungen für Energie- und Gebäudetechnik"*. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. (2010). *SIA Merkblatt 2028 "Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik"*. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. (2014). *SIA Norm 180 "Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden"*. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Nachweisverfahren sommerlicher Wärmeschutz in der SIA Norm 180: 2014	4
Abbildung 2: Thermischer Behaglichkeitsbereich nach den Anforderungen natürlich gelüfteter Räume .	6
Abbildung 3: Simuliertes Eckwohnzimmer mit Vermassung	7
Abbildung 4: Berücksichtigtes Gebäudemodell in den Simulationen.....	8
Abbildung 5: HF Ost, fg 30%; NF Süd, fg 30%	9
Abbildung 6: HF Ost, fg 40%; NF Süd, fg 30%	9
Abbildung 7: HF Ost, fg 40%; NF Süd, fg 40%	9
Abbildung 8: HF Ost, fg 50%; NF Süd, fg 30%	9
Abbildung 9: HF Ost, fg 50%; NF Süd, fg 40%	9
Abbildung 10: HF Ost, fg 50%; NF Süd, fg 50%	9
Abbildung 11: Simulationsergebnisse Fensterlüftungsszenario 1.....	13
Abbildung 12: Simulationsergebnisse Fensterlüftungsszenario 2.....	14
Abbildung 13: Simulationsergebnisse Fensterlüftungsszenario 3.....	15
Abbildung 14: Simulationsergebnisse Fensterlüftungsszenario 4.....	16

Alle Abbildungen sind durch PIRMIN JUNG Büro für Bauphysik AG erstellt worden.