



**Universität für Bodenkultur Wien**

Department für Bautechnik und Naturgefahren

Institut für Konstruktiven Ingenieurbau

Peter-Jordanstraße 82, 1190 WIEN

# Masterarbeit

## Energetische Analyse von Nachverdichtungsvarianten im urbanen Wohnbau am Beispiel eines dicht bebauten Wiener Stadtviertels

*Stefan Zwirschitz, BSc.*

Wien, Juni 2020

---

universität des lebens

Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplom Ingenieur der  
Studienrichtung Kulturtechnik und Wasserwirtschaft an der Universität für Bo-  
denkultur Wien

Betreuung:

*Dipl.-Ing. Dr. Doris Österreicher, MSc.*

eingereicht von

*Stefan Zwirschitz, BSc.*

Matr.Nr.: 01240470

# Eidesstaatliche Erklärung zur Masterarbeit

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher noch nicht im Rahmen eines anderen Prüfungsverfahrens eingereicht.

Wien, am 25. Juni 2020



Stefan Zwirschitz

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meiner Familie und Freunden Danken.

Meine Mutter hat mich bereits während meiner schulischen Laufbahn immer unterstützt und keine Mühen gescheut, um mir die besten Chancen zu ermöglichen. Diese Unterstützung erfuhr ich auch während meines Studiums in Form von aufmunterndem Zuspruch in schwierigeren Phasen und durch Verständnis für die stressigeren Abschnitte. Durch die Würdigung und Anerkennung von Erfolgen konnte ich auch stets neue Kraft schöpfen und noch motivierter die nächsten Schritte setzen.

Meiner Schwester möchte ich ebenso für Ihr Verständnis in stressigen Zeiten danken. Durch die Übernahme von Pflichten abseits der Universität, hat sie mir den Rücken freigehalten und es war mir möglich mich auf herausfordernde Prüfungen zu konzentrieren. Da sie ebenfalls auf der Universität für Bodenkultur studiert, danke ich ihr auch für die kleinen Sticheleien und die Rivalität zwischen uns, der aber tiefer Respekt und Wertschätzung zugrunde liegt.

Meinen Großeltern Eva und Herbert möchte ich danken, da sie mich von der Volksschule bis zum heutigen Tage immer gefördert haben. Vor allem in jungen Jahren wurde durch ihre fürsorgliche Betreuung der Grundstein für meine spätere Entwicklung gelegt. Dadurch war es mir möglich den Bildungsweg einzuschlagen, der mich zu dem heutigen Punkt geführt hat.

Meiner Oma Helly will ich dafür danken, dass sie stets stolz auf mich war. Auch in schwierigen Zeiten hatte ich nie das Gefühl, sie zu enttäuschen und sie konnte mich stets durch ihre freundliche und herzliche Art aufbauen und mir neue Kraft geben.

Abschließend möchte ich noch meinen Studienkollegen und Freund Danny danken. Wir halfen und motivierten uns immer gegenseitig. Jedes Projekt und so gut wie jede Prüfung erledigten wir gemeinsam. Es war im Großen und Ganzen eine sehr lustige Zeit und wenn es mal schwierig war, war es zu zweit nur halb so schlimm.

Vielen Dank!

# Kurzfassung

Großstädte wie Wien stehen heute vor der Herausforderung, Anpassungsstrategien an den Klimawandel zu entwickeln und gleichzeitig neuen Wohnraum zu schaffen. In Wien kommt zu der steigenden Bevölkerungszahl noch der in der Vergangenheit stark gestiegene Wohnbedarf pro Person hinzu. So ist es notwendig möglichst klimaschonend nachzuverdichten. Da es vor allem bei der vertikalen Nachverdichtung zu keiner zusätzlichen Flächenversiegelung kommt, wird diese in der Arbeit näher beleuchtet. Bei Aufstockungen wird in den letzten Jahren überwiegend die Leichtbauweise angewandt und auch auf Holz als Baustoff zurückgegriffen. Die fehlende Speichermasse kann im Sommer jedoch zu sehr hohen Temperaturen im Innenraum führen, wenn keine zusätzlichen Maßnahmen ergriffen werden.

In dieser Arbeit werden passive Maßnahmen beschrieben, welche eine sommerliche Überwärmung vermeiden können. Es werden verschiedene Wand- und Dachaufbauten kombiniert und anhand von Simulationen an zwei Beispielgebäuden im 12. Wiener Gemeindebezirk miteinander verglichen. Weiters werden die Auswirkungen von einem größeren Fensteranteil und einer außenliegenden Verschattung untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Innenraumtemperatur nur sehr kleine Unterschiede zwischen Leicht- und Massivbauvarianten vorherrschen. Hingegen konnte der Fensterflächenanteil als viel größerer Einflussfaktor identifiziert werden. Vor allem bei Steildächern wirkt sich ein großer Fensterflächenanteil sehr stark auf die Innenraumtemperatur aus. So kann bei einer Verdoppelung der Fensterfläche im obersten Geschoss mit Flachdach ein Temperaturanstieg von rund 6 % verzeichnet werden, während bei einem Pultdach ein Anstieg von über 15 % festgestellt wurden. Als noch größerer Einflussfaktor konnte die außenliegende Verschattung identifiziert werden. Selbst bei einer Verdopplung der Fensterfläche kann durch eine außenliegende Verschattung die Innenraumtemperatur reduziert werden.

Die Arbeit kommt zu dem Schluss, dass die sommerliche Überwärmung im Leichtbau durch passive Maßnahmen wie einer außenliegenden Verschattung vermieden werden kann. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine Nachtlüftung sobald die Außentemperatur die Innenraumtemperatur unterschreitet.

# Abstract

Large cities like Vienna are now faced with the challenge of developing strategies for adapting to climate change and at the same time creating new living space. In Vienna, in addition to the growing population, there has also been a sharp rise in housing needs per person in the past. It is necessary to develop a climate friendly strategy for urban densification. This study explores the vertical densification, as a method to save additional impervious surface. In the case of top-up buildings, the lightweight construction method is mainly used and mostly uses wood as a building material. Due to the lack of mass, very high temperatures might be achieved in the interior in summer.

In this study passive measures are described, which can avoid summertime overheating. Different wall and roof structures are combined and compared by simulations on two example buildings in Vienna's 12th district. Furthermore, the effects of a larger proportion of windows and external shading are examined.

The results show that there are only very small differences between lightweight and solid construction variants for the interior temperature. In contrast, the proportion of window size was identified as a much larger influencing factor. In the case of pitched roofs in particular, a large proportion of window size has a very strong effect on the interior temperature. If the window area on the top floor with a flat roof is doubled, a temperature increase of around 6% can be recorded, whereas an increase of over 15% was found for a pent roof. External shading was identified as an even greater influencing factor. Even if the window area is doubled, the inside temperature can be reduced by external shading.

The work concludes that summertime overheating in lightweight construction can be avoided by passive measures such as external shading. However, this requires night ventilation as soon as the outside temperature falls below the inside temperature.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>II</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Hintergrund und Motivation .....	1
1.2 Forschungsfrage.....	1
1.3 Methoden . .....	2
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>3</b>
2.1 Randbedingungen in Wien .....	3
2.1.1 Bevölkerungsentwicklung.....	3
2.1.2 Klimatische Bedingungen.....	6
2.1.3 Richtlinien und Normen .....	8
2.2 Nachverdichtung und Bauart.....	10
2.2.1 Möglichkeiten der Verdichtung .....	10
2.2.2 Aufstockungen und das Problem der Überwärmung .....	11
2.2.3 Der Holz-Leichtbau.....	14
2.2.4 Energieverbrauch und Emissionen im Holzbau.....	15
2.3 Bauliche Maßnahmen.....	16
2.3.1 Thermische Masse .....	16
2.3.2 Phase Change Material (PCM) .....	17
2.3.3 Lüftungsstrategien .....	20
2.3.4 Verschattung von Fenstern .....	21
2.3.5 Smarte Dämmschicht .....	23
2.3.6 Reflektierende Fassaden und Dächer .....	25
<b>3 Methodologie</b> .....	<b>30</b>
3.1 Das Projekt CLUDEX.....	30
3.2 Auswahl des Untersuchungsgebietes und Objekts.....	31
3.3 Aufstockungsvarianten.....	34

3.3.1	Wandaufbauten.....	34
3.3.2	Dachaufbauten.....	39
3.3.3	Fenster .....	44
3.4	Matrix .....	47
3.5	Aufstockungsmodelle.....	49
3.6	ArchiPHYSIK Eingabe .....	52
3.7	Thesim 3D Simulation.....	52
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>56</b>
4.1	Wand- und Dachaufbauten.....	56
4.2	Einfluss von Fensterflächen.....	58
4.3	Beschattung durch Rollos.....	62
4.4	Zusätzliche Varianten.....	64
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>66</b>
<b>6</b>	<b>Conclusio .....</b>	<b>69</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>70</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>77</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>80</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund und Motivation

Wohngebäude werde heute üblicherweise für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren ausgelegt (Bergmeister et al. 2015), wodurch eine gewisse Weitsicht notwendig wird. Der steigende Wohnbedarf und das Problem der Hitzeinseln erfordert eine klimaschonende Art der Nachverdichtung. Daher ist es notwendig, sich mit den Nachverdichtungsvarianten zu befassen und eine klimaschonende Umsetzung zu untersuchen. Durch den Einsatz von Klimaanlage verschlechtert sich die Situation der Wärmeinseln weiter (Treberspurg et al. 2017). Da jedoch durch die steigende Anzahl an Hitzetagen in Wien auch immer öfters eine Überwärmung des Innenraums zu verzeichnen ist, müssen passive Maßnahmen untersucht werden, um auch ohne Klimageräte, ein für den menschlichen Organismus geeignetes Innenraumklima gewährleisten zu können. Zu diesen passiven Maßnahmen zählen unter anderem die verwendeten Materialien, der Bauteilaufbau, die Geometrie und die Größe und Verschattung von Fenstern.

## 1.2 Forschungsfrage

Die Arbeit soll sich rein mit den passiven Maßnahmen befassen, welche eine Überwärmung bei Nachverdichtungen vermeiden können und sich im Winter durch einen niedrigen Heizwärmebedarf auszeichnen. Dafür sollen verschiedene Varianten an zwei Beispielobjekten simuliert werden. Es soll auf Probleme hingewiesen werden und Empfehlungen formuliert werden.

Es wird untersucht, welche Materialien beziehungsweise welche Bauteilaufbauten besonders geeignet sind, um der sommerlichen Überwärmung entgegenzuwirken. Ebenso sind Aussagen über den Unterschied zwischen Flach- und Steildächern zu treffen. Der Trend zu immer größeren Fenstern ist ebenfalls ein Punkt, welcher untersucht wird. So soll ein veränderter Verglasungsanteil und eine außenliegende Verschattung Aufschluss geben, welche Maßnahmen am wirkungsvollsten sind.

Es lassen sich daher folgende Forschungsfragen formulieren:

- Welche passiven Maßnahmen können eingesetzt werden, um bei vertikalen Nachverdichtungen eine sommerliche Überwärmung zu vermeiden?
- Wie schneiden verschiedene Holz-Leichtbauvarianten im Vergleich zum Massivbau ab?
- Welche Maßnahmen können anhand der simulierten Ergebnisse als besonders wirkungsvoll identifiziert werden?

## 1.3 Methoden

Die Grundlage dieser Arbeit bietet eine fundierte Literaturrecherche zum Thema Nachverdichtung, Holz-Leichtbau und Maßnahmen gegen die sommerliche Überwärmung. Dabei wurde auf die Bibliotheken der Universität für Bodenkultur Wien sowie auf die der Technischen Universität Wien zurückgegriffen. Ausgehend von mehreren mit der Thematik in Verbindung stehenden Journalen, Diplomarbeiten und Büchern, wurde die Recherche im Schneeballprinzip fortgeführt. Erweitert wurde die Recherche zusätzlich durch eine Internetrecherche via Google Scholar, wodurch nach Informationen noch gezielter gesucht, beziehungsweise auf weitere Publikationen (auch anderer Universitäten) zugegriffen werden konnte.

Die Analyse erfolgte anhand zweier Untersuchungsobjekten. Da zu dem Forschungsprojekt CLUDEX (Kapitel 3.1) eine zweite Diplomarbeit (Vancso 2020) geschrieben wurde, fand die Auswahl der Objekte gemeinsam mit dem Kollegen Daniel Vancso statt. Die Modellierung der Aufstockungen in ArchiCAD 22 von Graphisoft (seit 2007 Teil der Nemetschek Group) wurde ebenfalls gemeinsam mit dem Kollegen Daniel Vancso durchgeführt.

Das gewonnene Wissen ermöglichte die Aufstellung einer Matrix mit verschiedenen Ausführungsarten der Aufstockungen, welche mit den Programmen ArchiPHYSIK 16.1 der A-NULL Development GmbH und Thesim 3D der Architektur- und Bauforschung GesbR analysiert wurden. ArchiPHYSIK ist ein Programm, welches anhand von Materialkennwerten von Baustoffen, den U-Wert von Wand-, Dach- und Bodenaufbauten berechnen kann und hauptsächlich zum Erstellen von Energieausweisen verwendet wird. Hingegen ist Thesim 3D ein Programm, welches ebenfalls mittels Materialkennwerten von Baustoffen, eine Simulation des Innenraumklimas zulässt. So wurde mithilfe von ArchiPHYSIK der Heizwärmebedarf der verschiedenen Varianten berechnet und mit Thesim 3D die Innenraumtemperatur simuliert.

## 2 Grundlagen

Die nachfolgend beschriebene Bevölkerungsentwicklung zeigt, wie sich der Bedarf und die Anforderungen an den Wohnraum in Zukunft entwickeln werden. Des Weiteren zeigen die klimatischen Bedingungen in Wien, welche Anforderungen an den künftigen Wohnraum gestellt werden und die Richtlinien und Normen beschrieben den stand der Technik. In weiterer Folge werden die Möglichkeiten der Nachverdichtung beschrieben und mögliche bauliche Maßnahmen zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung angeführt.

### 2.1 Randbedingungen in Wien

#### 2.1.1 Bevölkerungsentwicklung

Österreichs Bevölkerung wächst. 2014 hatte Österreich 8,51 Mio. Einwohner, 2030 werden es 9,24 Mio. sein (Statistik Austria, 2014). Dies entspricht einen Anstieg von 8,3%. Der überwiegende Anteil des Wachstums resultiert aus der Zuwanderung (94,5%). Der Großteil davon kommt aus der EU (50.000 pro Jahr). Aus Drittstaaten wird lediglich ein Zuzug von 7.100 Personen pro Jahr angenommen. Die zurzeit sehr geringe Gesamtfertilitätsrate von 1,44 Geburten pro Frau wird jedoch leicht steigen und bis zum Jahr 2060 das Niveau von 1,55 Geburten pro Frau erreichen. (Statistik Austria, 2014)

Von diesem großen Bevölkerungswachstum (707.000 Personen zwischen 2014 und 2030) entfällt der Großteil davon, wie in Abbildung 1 ersichtlich, auf Wien (Statistik Austria 2014). Zurzeit lukriert Wien 40% der internationalen Zuwanderung. Die 2 Mio. Einwohnergrenze wird bereits 2025 erreicht und bis 2030 weiter steigen auf 2,08 Mio. Dies entspricht einem Anstieg von 17,6% in 16 Jahren (Statistik Austria 2014). Wien hatte bereits Anfang des 20. Jahrhunderts über 2 Mio. Einwohner, allerdings waren damals 300.000 Menschen ohne adäquate Unterkunft. (Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen, 2017). Zu beachten ist auch der steigende Wohnbedarf pro Person. So hat in Österreich die Wohnfläche pro Person zwischen 1982 und 2003 von 37 m<sup>2</sup> auf 55 m<sup>2</sup> zugenommen (Klien 2016). Begründet wird dies zum Teil durch die geringere Haushaltgröße (weniger Personen pro Haushalt), jedoch ist auch die Wohnfläche pro Haushalt gestiegen. Während 1983 die durchschnittliche Wohnungsgröße in Wien bei 63 m<sup>2</sup> lag, nahm diese bis 2013

um 14 m<sup>2</sup> zu (Klien 2016). Neuere Berichte zeigen zwar wieder eine leichte Reduktion der Wohnfläche pro Person in Wien von 2014 bis 2018 um 2 m<sup>2</sup> (ORF 2020), das Niveau bleibt aber dennoch deutlich über jenem des 20. Jahrhunderts.

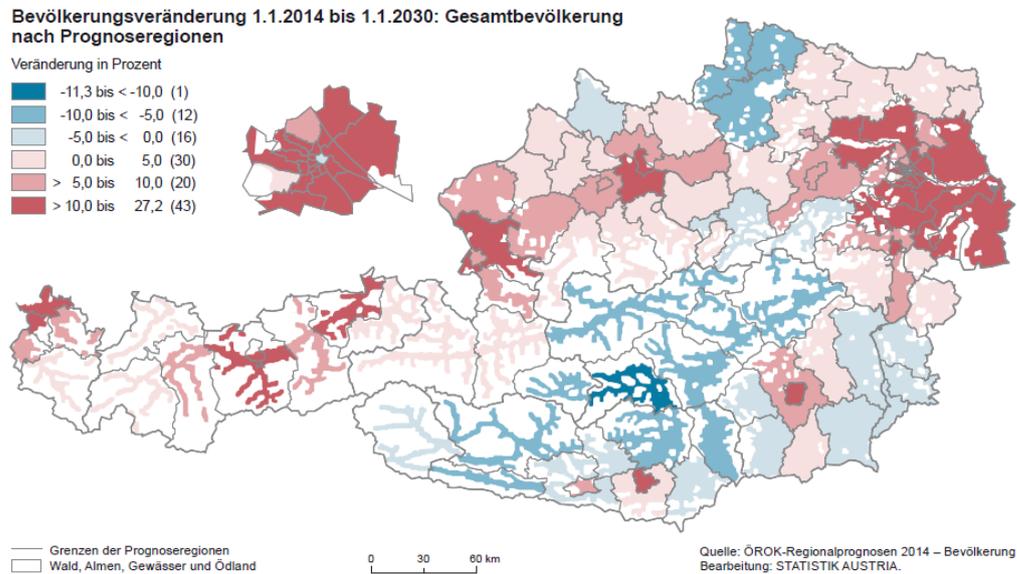


Abbildung 1: Bevölkerungsveränderung 2014 bis 2030: Gesamtbevölkerung (Quelle: Statistik Austria 2014)

Dabei ist allerdings auch die Bevölkerungsstruktur zu beachten. So ist ein Anstieg der bis 19-Jährigen in ganz Wien zu erkennen. Besonders hoch in den Bezirken innerhalb des Gürtels und dem 15. Bezirk. Hier werden Zuwächse von über 24% erwartet.

### Bevölkerungsveränderung 1.1.2014 bis 1.1.2030: Alter 0-19 Jahre nach Prognoseregionen

Veränderung in Prozent

	-19,7 bis < -12,0	(9)
	-12,0 bis < -0,0	(48)
	0,0 bis 12,0	(35)
	> 12,0 bis 24,0	(22)
	> 24,0 bis 46,8	(8)

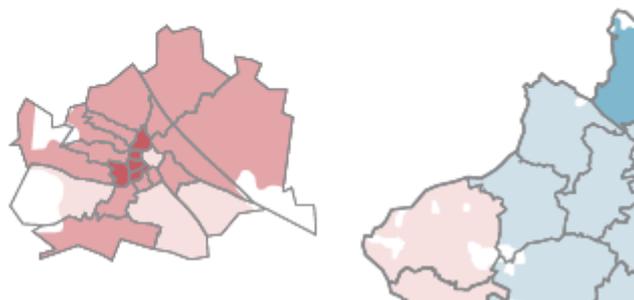


Abbildung 2: Bevölkerungsveränderung Wien 2014 bis 2030: Alter 0-19 (Quelle: Statistik Austria 2014)

Bei den 20-64-Jährigen ist der Zuwachs am stärksten in den Flächenbezirken 21., 22. und 10., sowie den ebenfalls an der Donau gelegenen 20. und 2. Bezirk. Anstiege von über 16% werden hier prognostiziert. Die Innenstadtbezirke 6., 7. und 8. weisen nur ein geringes Wachstum in dieser Altersgruppe auf (0-8%).

### Bevölkerungsveränderung 1.1.2014 bis 1.1.2030: Alter 20-64 Jahre nach Prognoseregionen

Veränderung in Prozent

	-22,6 bis < -16,0 (7)
	-16,0 bis < -8,0 (27)
	-8,0 bis < 0,0 (40)
	0,0 bis 8,0 (25)
	> 8,0 bis 16,0 (18)
	> 16,0 bis 25,2 (5)

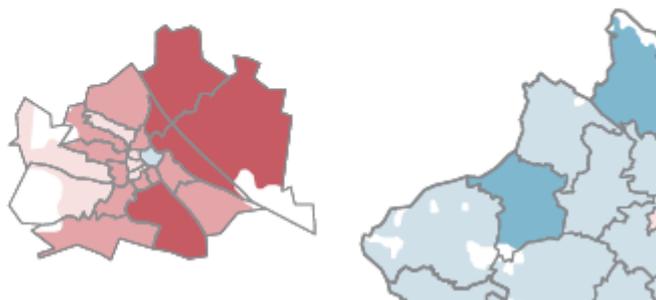


Abbildung 3: Bevölkerungsveränderung Wien 2014 bis 2030: Alter 20-64 (Quelle: Statistik Austria 2014)

Die Altersgruppe der über 65-Jährigen wächst hingegen wieder am stärksten in der Innenstadtlage des 5., 6., 7. und 8. Bezirks, sowie dem 11., 15. und 22. Bezirks (siehe Abbildung 4). In dieser Altersklasse werden besonders hohe Zuwächse von 40-60% erwartet. In den noblen Bezirken Hietzing und Döbling kann sogar ein leichter Bevölkerungsrückgang der über 65-jährigen verzeichnet werden.

### Bevölkerungsveränderung 1.1.2014 bis 1.1.2030: Alter 65 und mehr Jahre nach Prognoseregionen

Veränderung in Prozent

	-4,8 bis < 0,0 (3)
	0,0 bis 20,0 (7)
	> 20,0 bis 40,0 (60)
	> 40,0 bis 60,0 (51)
	> 60,0 bis 60,5 (1)

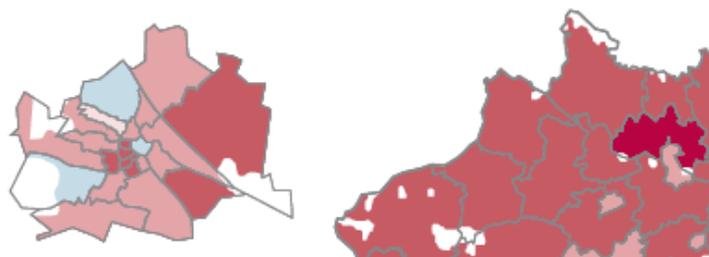


Abbildung 4: Bevölkerungsveränderung Wien 2014 bis 2030: Alter über 65 (Quelle: Statistik Austria 2014)

Durch die Zuwächse der verschiedenen Altersstrukturen kann der zukünftige Bedarf an Wohnraum besser abgeschätzt werden und sollte bei der Stadtplanung miteinbezogen werden. So muss in der Innenstadt vor allem Wohnraum für jüngere und ältere Menschen geschaffen werden, während die Bezirke entlang der

Donau sowie der 10. Bezirk überwiegend Wohnraum für Familien und erwerbstätige Personen schaffen muss.

Der 12. Wiener Gemeindebezirk sticht in keiner Altersgruppe mit besonders hohem oder niedrigem Zuwachs heraus. Der größte Zuzug ist bei den über 65-Jährigen mit 20-40% bis 2030 zu erwarten.

### 2.1.2 Klimatische Bedingungen

In Österreich kann man seit den 90er Jahren eine Veränderung des Klimas messen. Es gibt einen Trend von extrem warmen Jahren, welcher sich 2019 weiter fortgesetzt hat. So sind die 14 wärmsten Jahre der Messgeschichte in den letzten 25 Jahren gemessen worden (ZAMG, 2019). Abbildung 5 zeigt die Abweichung der Temperatur im Vergleich zum Mittel des 21. Jahrhunderts.

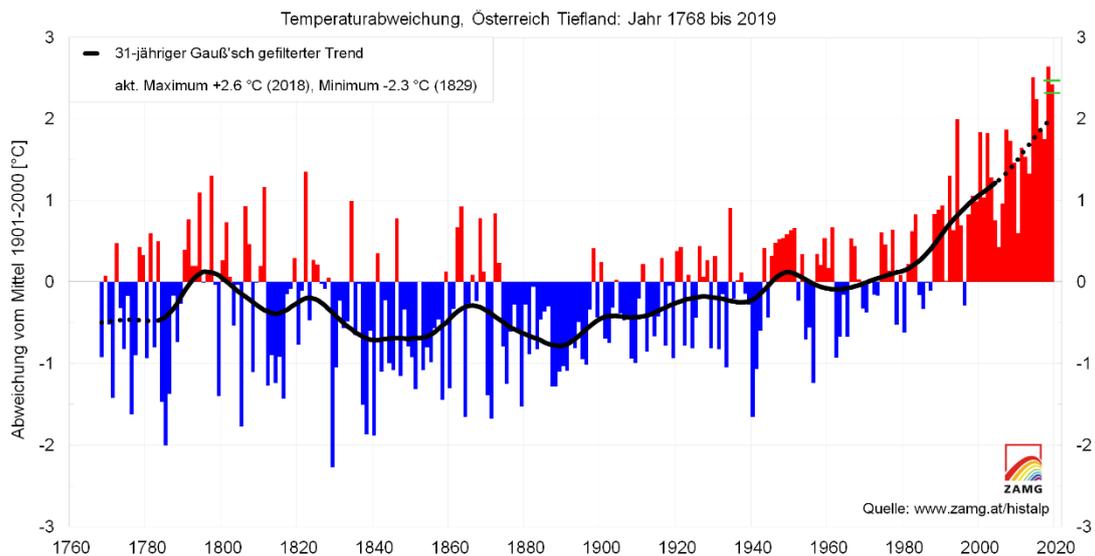


Abbildung 5: Temperaturabweichung, Österreich Tiefland: Jahr 1768 bis 2019 (Quelle: ZAMG, [www.zamg.at/histalp](http://www.zamg.at/histalp))

Dieser Trend wird sich aller Voraussicht nach auch fortsetzen. Mitte dieses Jahrhunderts ist für den österreichischen Alpenraum mit einem Anstieg von knapp 2°C im Vergleich zur WMO-Normalperiode 1971-2000 zu rechnen (Chimani et al., 2015). Bis zum Ende des Jahrhunderts je nach Emissions-Szenario mit einem Anstieg zwischen 2,3°C bis 4°C (ZAMG, s.a.).

Betrachtet man die Temperaturaufzeichnungen von Wien (Abbildung 6), so lässt sich neben einem Anstieg der Sommertage auch eine Häufung an Hitzetagen (Temperaturen über 30°C) in den letzten 20 Jahren erkennen. Besonders diese

Hitzetage sind für die sommerliche Überwärmung im Wohnraum relevant. Bei einer gleichzeitig hohen Sonneneinstrahlung kann die Wärme nur in der Nacht durch Lüften abgeführt werden.

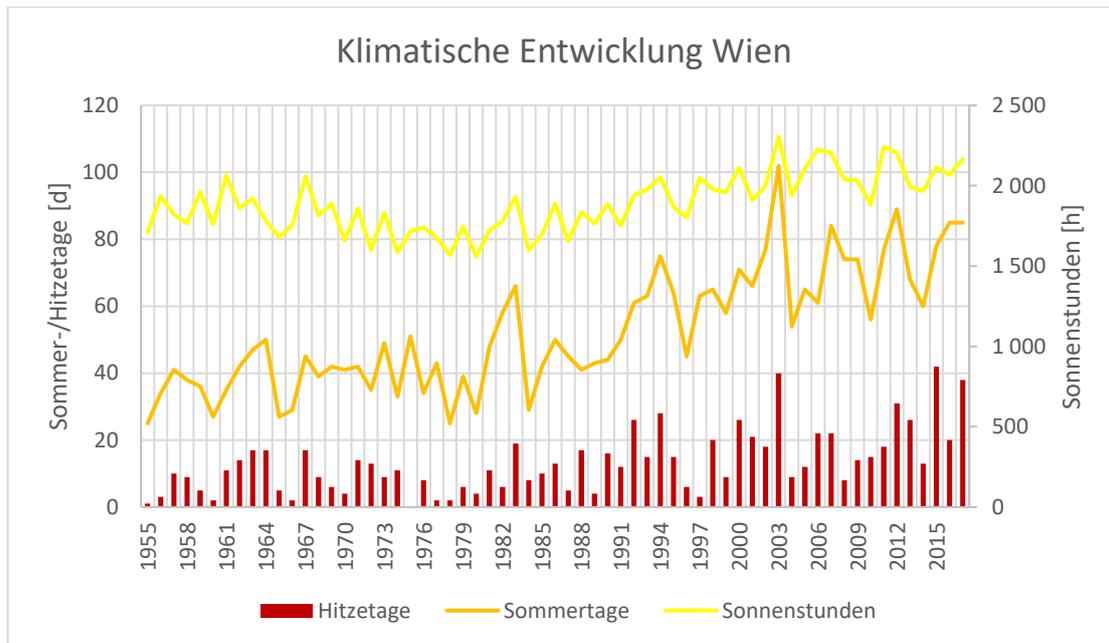


Abbildung 6: Klimatische Entwicklung in Wien 1955 bis 2017 (Quelle: Diagramm eigene Darstellung, Daten von Magistratsabteilung 23)

Diese Hitzetage sind vor allem in den Städten sehr ausgeprägt und werden weiter zunehmen. Dies ist durch die „Urban Heat Islands“ (UHI) begründet. So wird laut Kuttler (2011) die Anzahl, Intensität und Dauer von Überwärmungsperioden in Städten, welche unter den gegebenen klimatischen Bedingungen bereits Hitzeinseln ausbilden, noch weiter steigen, sofern nicht Maßnahmen der Stadt- und Umweltplanung ergriffen werden. Wachsende Siedlungen und innerstädtische Verdichtung führt zu einem Verlust von unverbauten und unversiegelten Flächen, wodurch der Effekt der Hitzeinseln begründet werden kann (Brandenburg et al., 2015). Durch diesen Hitzeinsel-Effekt können Temperaturunterschiede zwischen der Stadt und dem Umland von bis zu 12°C erreicht werden (Oke 1981 in Eliasson 2000). Die Hitzeinseln sind auch keineswegs eine neue Entdeckung, sondern bereits seit dem 19. Jahrhundert bekannt (Howard, 1820). Böttner et al. (2012) beschreibt sogar innerhalb von Städten einen Temperaturunterschied je nach Versiegelungsgrad und grüner Infrastruktur. Mehrere Studien gehen von einem Anstieg des Energiebedarfs für Gebäudekühlungen von 20 bis 100 %, verursacht durch den UHI-Effekt, aus (Karlessi et al. 2011). Roxon et al. (2020) verweisen

jedoch auf die regional unterschiedlichen Auswirkungen der UHI. So können manche Regionen durch deutlich niedrigere Heizkosten von diesem Effekt profitieren, während andere Regionen aufgrund des Kühlbedarfs einen deutlichen Anstieg des Energieverbrauchs und des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes unterliegen. Eine regional differenzierte UHI-Anpassungsstrategie ist zu präferieren und in die Stadtplanungen mit einzubeziehen, da diese neben einer Reduktion des Energieverbrauchs und CO<sub>2</sub>-Ausstoßes auch positive Effekte auf Komfort, Gesundheit und Sicherheit der lokalen Bevölkerung bringt (Roxon et al. 2020).

### 2.1.3 Richtlinien und Normen

Von der Europäischen Union wurden die Richtlinien 2010/31/EU über die Gesamteffizienz von Gebäuden und 2012/27/EU über die Energieeffizienz beschlossen, welche im Jahr 2018 durch die Richtlinie (EU) 2018/844 abgeändert wurden. In Österreich wurden diese Richtlinien in die OIB-Richtlinie 6 integriert. In dieser OIB-Richtlinie sind die maximalen U-Werte pro Bauteil und die Anforderungen für Energieausweise geregelt. Zusätzlich schreibt die Richtlinie vor, dass alle Gebäude, welche ab 31.12.2020 errichtet werden (bei Gebäuden die von Behörden als Eigentümer genutzt werden bereits seit 31.12.2018) als Niedrigstenergiegebäude ausgeführt sein müssen (OIB-Richtlinie 6).

Ein Niedrigstenergiegebäude wird in der Richtlinie 2010/31/EU (Art. 2, Abs. 2) folgendermaßen definiert:

*„Ein Gebäude, das eine sehr hohe, nach Anhang I bestimmte Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen — einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird — gedeckt werden.“*

Eine genauere Definition wurde in der OIB-Richtlinie 6 getroffen. Diese legt einen maximalen Heizwärmebedarf für Neubauten und größere Renovierungen fest. Berechnet wird dieser anhand folgender Formeln:

Über den Endenergiebedarf:

- Ab Inkrafttreten:  $HWB_{Ref,RK,zul.} = 12 * \left(1 + \frac{3,0}{l_c}\right) \text{ in } \frac{kWh}{m^2a}$
- Ab 2021:  $HWB_{Ref,RK,zul.} = 10 * \left(1 + \frac{3,0}{l_c}\right) \text{ in } \frac{kWh}{m^2a}$

Über den Gesamtenergieeffizienz-Faktor:

- Ab Inkrafttreten:  $HWB_{Ref,RK,zul.} = 16 * \left(1 + \frac{3,0}{l_c}\right) \text{ in } \frac{kWh}{m^2a}$

Dabei stellt  $l_c$  die charakteristische Länge dar, welche ein Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes ist und das Verhältnis von konditioniertem Volumen und umschließender Fläche angibt (OIB-Richtlinie Begriffsbestimmungen, 2019).

Neben diesen Vorgaben für den Heizwärmebedarf sind auch Anforderungen an den Endenergiebedarf beziehungsweise den Gesamtenergieeffizienz-Faktor definiert.

Die Anforderungen an die für die Untersuchungsobjekte relevanten Bauteile sind in folgender Tabelle aufgelistet:

Bauteil	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Wände gegen Außenluft	0,35
Wände (Trennwände) zwischen Wohn- oder Betriebseinheiten oder konditionierten Treppenhäusern	1,30
Wände gegen andere Bauwerke an Nachbargrundstücke bzw. Bauplatzgrenzen	0,50
Wände (Zwischenwände) innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-
Fenster, Fenstertüren, verglaste Türen jeweils in Wohngebäuden (WG) gegen Außenluft	1,40
Dachflächenfenster gegen Außenluft	1,70
Türen unverglast gegen Außenluft	1,70
Innentüren	-
Decken und Dachschrägen jeweils gegen Außenluft und gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt)	0,20
Decken gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0,90
Decken innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-
Böden erdberührt	0,40

Tabelle 1: Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile (U-Werte) (Quelle: OIB-Richtlinie 6)

Neben den genannten Anforderungen, welche vor allem auf eine Reduktion der Heizenergie abzielen, ist auch der sommerliche Wärmeschutz in der OIB-Richtlinie 6 zu finden. Dieser ist gegeben, wenn „die sommerliche Überwärmung vermieden ist oder wenn für die kritische Nutzungseinheit kein außeninduzierter Kühlbedarf KB\* vorhanden ist“ (OIB-Richtlinie 6, 2019, Seite 7). Der Nachweis

wird über den standortabhängigen Tagesmittelwert  $T_{NAT,13}$  mit der Formel  $\frac{1}{3} * T_{NAT,13} + 21,8^{\circ}C$  geführt. Wird dieser Wert nicht überschritten, so gilt die sommerliche Überwärmung als vermieden (OIB-Richtlinie 6).

Für die sommerliche Überwärmung ist jedoch vor allem die ÖNORM B 8110-3 relevant. Diese schreibt eine maximale operative Raumtemperatur von  $27^{\circ}C$  vor. In den Schlafräumen ist hingegen nur eine Maximaltemperatur von  $25^{\circ}C$  in der Zeit von 22-06 Uhr erlaubt.

Bei Temperaturen über  $27^{\circ}C$  sondert der Körper permanent Schweiß ab, was nicht nur zu einer Einbuße an Komfort führt, sondern auch zu einer erhöhten Belastung des Körpers beiträgt (Krec 2006). Neben den gesundheitlichen Folgen beschreibt Kuttler (2011) auch einen volkswirtschaftlichen Schaden. Die Erholung, vor allem in der Nacht, wird durch hohe Temperaturen stark beeinträchtigt, was zu einer verminderten Arbeitskraft am nächsten Tag führt (Kuttler 2011).

## 2.2 Nachverdichtung und Bauart

### 2.2.1 Möglichkeiten der Verdichtung

Bei der Nachverdichtung gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Arten. Die horizontale und die vertikale Nachverdichtung. Auch eine Umnutzung kann unter dem Begriff der Nachverdichtung verstanden werden. Alle dieser Verdichtungsmaßnahmen bieten den Vorteil, dass eine Infrastruktur bereits vorhanden ist und effizienter ausgenutzt werden kann.

Bei einer vertikalen Nachverdichtung handelt es sich um eine Aufstockung oder einen Dachausbau. Durch die Schaffung zusätzlichen Wohnraums in der Höhe, wird keine zusätzliche Fläche versiegelt. Es sind jedoch durch die maximal zulässigen Gebäudehöhe Grenzen gesetzt. Diese ist durch den Flächenwidmungsplan (FWP) festgelegt. Die Bauhöhe kann auch durch eine Erhöhung der Bauklasse nur teilweise angehoben werden, da es hierbei hauptsächlich um die Belichtung der unteren Geschoße beziehungsweise des Erdgeschoßes geht. Auch sollte beachtet werden, dass aufgrund statischer Anforderungen, die Aufstockungen fast ausschließlich in Leichtbauweise ausgeführt werden können. Dadurch ergeben sich Probleme mit der sommerlichen Überwärmung.

Bei der horizontalen Nachverdichtung funktioniert die Verdichtung nicht in der Höhe, sondern in der Breite. So werden Baulücken geschlossen und neuer Wohnraum geschaffen. Diese Variante ist vor allem in Gebieten mit lockerer Bebauung

eine attraktive Option. So können beispielsweise in der Grazer Innenstadt neue Gebäude in den sehr großzügig gestalteten Innenhöfen entstehen (Pirstinger 2014). Eine weitere Möglichkeit der horizontalen Nachverdichtung bietet das Abstandsgrün von Siedlungen der 1950er- bis 1970er-Jahre (Müller 2015). Diese wurden nach dem Leitbild der gegliederten und aufgelockerten Stadt gebaut und bieten ungenutzte Freiflächen an (Müller 2015). Sind diese Freiflächen mittlerweile versiegelt, könnte neuer Wohnraum ohne zusätzliche Bodenversiegelung geschaffen werden und die Bestandsgebäude aufwerten. Müller (2015) führt des Weiteren eine Nachverdichtung auf nicht mehr benötigten Gewerbeflächen an. Als Beispiele werden Schlachthöfe, Brauereien, aber auch Güterumschlagplätze genannt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass es zu neuer Flächenversiegelung kommen kann.

Eine weitere Möglichkeit, um neuen Wohnraum zu schaffen, stellt die Umnutzung von Bestandsgebäuden dar. So können alte Fabriksgebäude der vorletzten Jahrhundertwende oder leerstehende Bürogebäude neue Funktionen erfüllen (Müller 2015). Ebenso können Schulgebäude oder Kirchen, welche aufgrund des demografischen Wandels (geringere Schülerzahlen) beziehungsweise des Mitgliederschwunds nicht mehr genutzt werden, eine Möglichkeit für neuen Wohnraum bieten (Müller 2015).

### **2.2.2 Aufstockungen und das Problem der Überwärmung**

Für Aufstockungen und Dachausbauten kommen, aufgrund nur geringer Reserven in der Tragfähigkeit, Großteils nur Leichtbau-Aufbauten in Frage (Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen, 2017). Diese können in Stahl oder in Holz ausgeführt werden. In den meisten Fällen wird Holz verwendet, da es sehr gute mechanische Fertigkeiten bei gleichzeitig geringem Gewicht und niedrigen Kosten vereint. Ein großer Vorteil beim Holz-Leichtbau ist auch der hohe Grad der Vorfertigung. Dadurch lassen sich sehr geringe Bauzeiten erzielen, wodurch die Belastung für die Bewohner geringgehalten werden kann. Dadurch lassen sich die Bauarbeiten sogar im bewohnten Bestand durchführen (Müller 2015).

Das große Problem im Leichtbau ist jedoch die geringe Speicherfähigkeit der verbauten Materialien. Die Speicherfähigkeit stellt einen Unterschied zwischen Leicht- und Massivbau dar, und führt beim Holzleichtbau im Sommer zu höheren Temperaturen im Innenraum. Der Leichtbau hat nur wenig Masse, welche die eindringende Wärme langsam aufnehmen kann und in der Nacht wieder abgibt. Dies führt zu einer schnellen Erwärmung des Innenraumklimas, welches im Winter in manchen Fällen durchaus erwünscht, im Sommer jedoch problematisch ist. Daher

ist der Fokus auf die Speicherfähigkeit der verbauten Baustoffe im Leichtbau umso wichtiger. Holz hat zwar eine relativ hohe Speicherfähigkeit, da im Leichtbau jedoch die Ressource sehr effizient eingesetzt wird, ist insgesamt nur wenig Holz-Masse verbaut. So liegt der Holzanteil im Holzleichtbau bei 35% bei individueller Planung, bei energetischer Optimierung gar nur mehr bei 15% (Löfflad, 2005). Der Rest sind Dämmstoffe mit sehr geringer Speicherfähigkeit. Dabei sollte, wenn möglich auf holzbasierte Dämmstoffe gesetzt werden. Diese haben wie in Tabelle 2 ersichtlich eine relativ hohe Speicherfähigkeit.

Dämmstoff		1	2	3	4	5
		Wärmeleitfähigkeit W/mK	Speicherfähigkeit Wh/m <sup>3</sup> K	Dicke für Sommer m	Dicke für Winter m	Summe Spalte 3+4 m
1	Holzfaserdämmplatte	0,040	80	0,185	0,173	0,358
2	Zellulosedämmstoff	0,040	33	0,286	0,173	0,459
3	Zellulosedämmstoff	0,045	42	0,271	0,195	0,466
4	Korkschrot	0,045	42	0,271	0,195	0,466
5	Holzspäne	0,055	63	0,245	0,238	0,483
6	Schaumglas	0,040	22	0,353	0,173	0,526
7	Polyurethanhartschaum	0,030	13	0,405	0,130	0,535
8	Mineralfaser	0,035	11	0,456	0,153	0,609
9	Blähperlite	0,050	20	0,416	0,217	0,633
10	Schafwolle	0,040	10	0,535	0,173	0,708
11	Polystyrol	0,040	8	0,593	0,173	0,766
12	Baumwolle	0,040	6	0,690	0,173	0,863
13	Mineralfaser	0,040	4	0,815	0,173	0,988
14	Polyesterfaser	0,040	2	1,100	0,195	1,295

Tabelle 2: Wärmeleitfähigkeit und Speicherfähigkeit von Dämmstoffen (Quelle: Hensen et al. 2011, Seite 390)

Bei einer zu geringen Speicherfähigkeit kann auf der Innenseite eine Beplankung angebracht werden (Hensen et al. 2011). Da wie oben erwähnt, Holz eine sehr gute Speicherfähigkeit besitzt, ist dieses vorzugsweise zu verwenden. Allerdings ist aus Brandschutzgründen meist eine Gipsplatte verbaut. Einen Überblick über die Speicherfähigkeit verschiedener Materialien für Beplankungen sind in unten stehender Tabelle (Tabelle 3) aufgelistet.

Bepankung		1	2
		Dichte kg/m <sup>3</sup>	Speicherfähigkeit Wh/m <sup>3</sup> K
1	Holz	600	420
2	Spanplatte	650	390
3	OSB-Platte	650	390
4	Gipsplatten	1250	275
5	HWL-Platte	440	255
6	Lehmplatte	500	240
7	Gipsplatte	900	198

Tabelle 3: Speicherfähigkeit von Bepankungen verschiedener Materialien (Quelle: Hensen et al. 2011, Seite 391)

Um die Speicherfähigkeit weiter zu verbessern können zusätzlich noch Latentwärmespeicher verbaut werden. Dabei konzentriert sich die Forschung auf die Verkapselung von Paraffinen und Wachsen als PCM (Shirin-Abadi et al. 2011). PCM steht für „Phase Change Materials“. Dabei wird die Wärme durch den Phasenübergang eines Mediums gespeichert. Besonders interessant ist der Phasenwechsel Flüssig-Fest, da dieser nur eine geringe Volumsänderung mit sich bringt, er kompakt, einfach zu handhaben und relativ kostengünstig ist (Ghaib 2017).

Des Weiteren kann über eine automatische Wohnraumlüftung der Temperatureintrag über den Luftaustausch sehr stark reduziert werden, da ab- und zuströmende Luft über einen Wärmetauscher geführt werden. Der Wärmetauscher sollte jedoch nur tagsüber im Einsatz sein. In den Nachtstunden sollte die zuströmende Luft am Wärmetauscher vorbeigeführt werden, da diese sonst von der warmen Abluft aufgewärmt wird (Treberspurg et al. 2011). Im Sinne des Energieverbrauches sollte man versuchen mit diesen Maßnahmen ein angenehmes Wohnraumklima zu erreichen. Trotzdem sollten auch Kältemaschinen nicht unerwähnt bleiben. Die meisten der heute verbauten Kältemaschinen sind Kompressionskältemaschinen. Es gibt jedoch auch die Möglichkeit einer Absorbtionskältemaschine. Während bei der Kompressionskältemaschine die Antriebsenergie elektrisch bereitgestellt werden muss, wird diese bei der Absorbtionskältemaschine mittels Wärme zugeführt (Treberspurg et al. 2011). Da der Bedarf an Kühllast insbesondere dann hoch ist, wenn eine hohe Sonneneinstrahlung und hohe Temperaturen herrschen, bietet sich die Absorbtionskältemaschine für Gebäudekühlungen deutlich besser an.

### 2.2.3 Der Holz-Leichtbau

Der Holz-Leichtbau gliedert sich in 3 Arten. In den Holzskelettbau, den Holzrahmenbau und den Holztafelbau.

Der Holzskelettbau ist die älteste Variante des Holzleichtbaus. Dabei übernimmt ein Fachwerk aus Holz die tragende Wirkung. Es besteht aus Stützen, Rahmenhölzern, Riegel und Streben. Sämtliche horizontale und vertikale Lasten werden dadurch über das Fachwerk abgetragen (Löfflad 2005). Die Zwischenräume wurden früher mit Lehm ausgefüllt, wodurch innen und außen sowohl der Lehm als auch das Fachwerk sichtbar war. Heute ist es jedoch notwendig eine zusätzliche Wärmedämmung aufzubringen, wodurch der Charakter des Fachwerkhauses nicht mehr zu sehen ist (Löfflad 2005).

Beim Holzrahmenbau werden tafelförmige Elemente mit einem tragenden Rahmen verwendet. Als aussteifendes Element fungieren hier jedoch keine Querverstrebungen, sondern die Beplankung (Löfflad 2005). Diese kann aus Holz- oder Gipswerkstoffen ausgeführt sein. Je größer das Raster der senkrechten Rahmenhölzer, desto niedriger ist der Energieverbrauch. So ist der standardmäßige Abstand 62,5 cm, wird jedoch in einer energietechnisch optimierten Ausführung auf 81,5 cm erhöht (Löfflad 2005). Durch die aus statischer Sicht optimale Kombination zwischen dem tragenden Rahmen und der aussteifenden Platte, werden sehr dünne Wandstärken bei gleichzeitig sehr guten Dämmeigenschaften erreicht. Daher kann bei gleichem U-Wert, 5-10 % mehr Wohnraum erzielt werden, im Vergleich zu einer konventionellen Bauweise (Löfflad 2005). Diese niedrigen U-Werte werden durch das Auffüllen der freien Räume (zwischen den Holzrahmen) mit Dämmmaterial erreicht. Allerdings muss bei dieser Art der Ausführung darauf geachtet werden, dass die Wand nicht mit warmer Raumluft durchströmt wird, da es ansonsten aufgrund des Temperaturgefälles in der Wand, zu einer Kondensation des Wasserdampfs kommen kann, und dies große Schäden verursachen würde (Löfflad 2005). Daher ist das Anbringen einer Dampfbremse auf der Wandinnenseite unerlässlich. Diese kann als Folie oder Luftdichtpappe ausgeführt sein (Löfflad 2005). Immer häufiger wird jedoch auch auf eine OSB-Platte zurückgegriffen. Diese kann als aussteifende Platte auf der Innenseite des Holzrahmens eingesetzt werden. Werden danach die Stöße abgeklebt, übernimmt die OSB Platte auch gleichzeitig die Funktion der Dampfbremse (Löfflad 2005). Auch auf das Anbringen einer außenliegenden Wärmedämmung sollte nicht verzichtet werden. Holz weist eine Wärmeleitfähigkeit von 0,13 W/mK auf, Dämmstoffe hingegen nur 0,04 W/mK. Durch die außenliegende Dämmung werden Wärmebrücken im Bereich des Holzrahmens vermieden (Löfflad 2005).

Der Holztafelbau ist die Holzbauweise der meisten Fertighaushersteller. Er basiert auf dem Holzrahmenbau, weist jedoch einen höheren Grad an Vorfertigung auf. Die Dämmung wird bereits in den Gefachen der Rahmenkonstruktion untergebracht und mit der Beplankung beidseitig eingeschlossen. Dampfbremse, Windsperre und Fassade werden ebenfalls bereits im Werk montiert. Die Vorfertigung geht so weit, dass bereits Fenster und Außentüren vormontiert werden können. (Löfflad 2005).

#### **2.2.4 Energieverbrauch und Emissionen im Holzbau**

Bei der Errichtung bzw. der Erweiterung von Gebäuden wird viel Energie eingesetzt und Treibhausgase ausgestoßen. Cole (1999) vergleicht Holz-, Stahl- und Betonbauweise miteinander und kommt zu dem Schluss, dass ein Holzbau nur etwa 20% so viel Energie benötigt (unter 15 MJ/m<sup>2</sup>) wie ein vergleichbarer Betonbau. Der Ausstoß der Treibhausgase liegt sogar bei unter 15% (unter 2 kg/m<sup>2</sup>) vergleichen mit dem Betonbau. Der Stahlbau benötigt laut Cole (1999) noch weniger Energie und stößt noch weniger Treibhausgase aus als der Holzbau. Allerdings wird in dieser Studie der Fokus auf den Transport gelegt. Betrachtet man die Produktion der Baustoffe, so stellt Buchanan und Levine (1999) einen um 9% geringeren Energieverbrauch von Holz gegenüber Stahl fest. Gegenüber Beton wird dieser sogar mit 39% angegeben. Dadurch können bei einer Erhöhung des durchschnittlichen Holzgehaltes um 17% bei Gebäuden in Neuseeland, die gesamten Treibhausgasemissionen des Landes um rund 1,5% gesenkt werden (Buchanan und Levine 1999). Buchanan und Levine (1999) weisen darauf hin, dass der im Holz gespeicherte Kohlenstoff in Relation zu den gesamten Treibhausgasemissionen sehr gering ist und daher kein Mittel zu Reduktion der Treibhausgase darstellt. Der ausschlaggebende Faktor ist die emissionsärmere Produktion. Später belegten Gustavsson und Sathre (2006) frühere Studien zu dem geringeren Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Holzrahmengebäuden gegenüber Betonkonstruktionen. Gustavsson und Sathre (2006) bezogen bei der Betonkonstruktion auch die nicht abgeholzten Bäume mit ein und nahmen ein Waldwachstum von 50% in der betrachteten 100-jährigen Zeitspanne an. Das Holzrahmengebäude kommt in der Lebenszyklusanalyse sogar auf eine negative Energiebilanz aufgrund der angenommenen Verwertung von Holzverarbeitungsrückständen und Abbruchholz als Brennstoff.

Die im Jahr 2008 von Hacker et al. durchgeführte Life-Cycle-Studie über ein Doppelhaus mit 65 m<sup>2</sup> im Südosten Englands betrachtet die Emissionen unter einer 100-jährigen dynamischen Wärmemodellierungssimulation. Hierbei sind die CO<sub>2</sub>-

Emissionen zu Ende der Bauphase um 15% niedriger im Vergleich zu einem Massivbau, jedoch über auf eine 100-jährige Nutzung betrachtet, steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich an. So ist eine aktive Kühlung für den Fall der Überwärmung vorsehen, welche im Leichtbau viele Jahre früher und in weiterer Folge länger zum Einsatz kommt. Nach 100 Jahren ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß vom schweren Massivbau um 17% (35,7 t) geringer. Mit außenliegender Beschattung und einer natürlichen Lüftung, sobald die Außentemperatur um 2 K unter der Innenraumtemperatur liegt, können die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf eine Differenz von 21 t gesenkt werden. Ein mittlerer und ein mittelschwerer Fall schneiden deutlich besser als der Leichtbau ab, stoßen aber immer noch mehr CO<sub>2</sub> aus als der schwere Massivbau (Hacker et al. 2008).

Die Vorteile des Holz-Leichtbaus in punkto Energieverbrauch und Emissionen beschränken sich daher auf die Produktion und Bauphase. Um über den gesamten Lebenszyklus weniger Energie als ein Massivbau zu verbrauchen, sind weitere innovative bauliche Maßnahmen notwendig.

## 2.3 Bauliche Maßnahmen

### 2.3.1 Thermische Masse

Materialien können bei Erwärmung Wärme aufnehmen und bei Abkühlung Wärme abgeben. Die Wärmemenge, die ein Material aufnehmen kann und damit die Wärmespeicherfähigkeit ist abhängig von der spezifischen Wärmespeicherkapazität, der Masse des Materials und der Temperaturdifferenz zwischen Bauteil und Umgebung. Gebäude mit einer hohen Masse haben geringere Schwankungen der Innenraumtemperatur. Die Temperaturspitze wird reduziert und nach hinten verschoben (Balaras 1996). Amos-Abanyie et al. (2013) verglichen einen leichten Sandbetonbau mit einem Ziegel und einem massiven Betonbau. Dabei stellten sie eine Reduktion der maximalen Innenraumtemperatur von 0,7 K beim Ziegelbau und 3 K beim Betonbau im Vergleich zum leichten Sandbetonbau fest. Während sich die Amplitude der Außen- und Innenraumtemperatur beim Leichtbau um 2 Stunden verschiebt, ist diese beim Ziegelbau um 3 Stunden und beim Betonbau um 5 Stunden zeitversetzt (Amos-Abanyie et al. 2013).

Durch die Rahmenbedingungen bei Aufstockungen, dem Trend zu einem hohen Grad an Vorfertigung und einem effizienten Material- und damit verbundenem Kosteneinsatz, wird immer weniger Masse verbaut. So stellte die Energy Follow-

Up Survey 2011 fest, dass Gebäude, welche vor 1919 errichtet wurden, am wenigsten mit dem Problem der sommerlichen Überwärmung zu kämpfen haben, während neuere energieeffizientere Gebäude vermehrt unter diesem Effekt leiden (DECC, 2014). In einer weiteren großangelegten Studie in Leicester wurde ebenfalls festgestellt, dass Massivwand- und Einfamilienhäuser die niedrigsten Temperaturen aufweisen, während Wohnungen wesentlich anfälliger für die sommerliche Überwärmung sind (Lomas und Kane 2013). Daher konzentriert sich die Forschung auf Möglichkeiten, die fehlende verbaute Masse durch effiziente Konstruktionen zu ersetzen (PCM, reflektierende Fassaden und Dächer) oder besser auszunutzen (Lüftungsstrategien, smarte Dämmschichten). Es kann jedoch auch bei bestehenden Massivbauten zu sommerlicher Überwärmung kommen, wenn diese mittels innenliegender Wärmedämmung nachgerüstet werden (Tink et al. 2018). Tink et al. führten Messungen an einem Doppelhaus (Baujahr um 1910) in England durch, von dem eine Doppelhaushälfte mit einer innenliegenden Wärmedämmung (5 cm) nachgerüstet wurde. Dabei wurde eine Differenz der maximalen Innenraumtemperatur von 1,8 K, welche jedoch durch Minderungsstrategien (Nachtlüftung und Innenjalousien) auf 1,1 K reduziert werden konnte, gemessen (Tink et al. 2018). Die Ergebnisse zeigen die Problematik bei einer wärmetechnischen Optimierung alter Gebäude mittels Wärmedämmung und der damit einhergehenden Abminderung der Vorteile des Massivbaus und dem Verlust der Wirksamkeit der verbauten Masse.

### 2.3.2 Phase Change Material (PCM)

PCM steht für Phase Change Material und zeichnet sich durch die hohe Speicherfähigkeit eines Stoffes bei dessen Phasenübergängen aus. So hat Beton in einem Temperaturintervall von 20 K eine Speicherfähigkeit von  $20 \times 0,84 = 17$  kJ/kg, während die Phasenwechselenthalpie bei Paraffinen bei 100-200 kJ/kg liegen (Hoes und Hensen 2015). Diese hohe Speicherfähigkeit, welche Baldassarri et al. (2017) sogar mit bis zu 240 kJ/kg angeben, und der Bereich des Phasenwechsels in einem für den menschlichen Komfort optimalen Bereich von 18 °C bis 28 °C, sind der Hauptgrund für den Einsatz von Paraffinen als PCM (Drissi et al. 2019). Weitere Vorteile sind, dass Paraffine in diesem Temperaturbereich chemisch inert sind, einen niedrigen Dampfdruck aufweisen und keiner Entmischung unterliegen, wodurch sich thermische Zyklen (wiederholter Phasenwechsel fest/flüssig) nicht leistungsmindernd auswirken. Eine Einschränkung stellt jedoch die geringe Wärmeleitfähigkeit, die hohe Brandlast und eine große Volumenänderung beim Phasenübergang dar (Baldassarri et al. 2017).

Angewendet werden PCM auf Paraffinbasis heute hauptsächlich in Form von mikroverkapseltem PCM oder als „composite“ PCM. Bei der Mikroverkapselung besteht der Kern aus dem aktiven Material (den Paraffinen) und ist umgeben von einer dünnen organischen polymeren Schale. Diese kann auf verschiedene physikalische und chemische Methoden hergestellt werden (Drissi et al. 2019). „Composite“ PCM geht nicht den Weg einer schützenden Umhüllung, sondern besteht aus einem hoch porösen Material, welches das PCM durch Kapillarität festhält. Mögliche Materialien sind hier expandierter Grafit, expandierter Ton, Kieselgur und expandierter Perlit (Drissi et al. 2019). Die Herstellung des „composite“ PCM erfolgt entweder durch Einlegen des porösen Materials in geschmolzene Paraffine, oder durch Vakuumabsorptionstechnik, welche ein höheres Einkapselungsverhältnis erzielt. Am Ende sollte das „composite“ PCM mit einer Mischung aus Epoxid, Graphitpulver und Silikastaub beschichtet werden, wodurch die Wärmeleitfähigkeit verbessert wird und das Austreten des PCM verhindert wird (Drissi et al. 2019).

Kim et al. (2017) führten ein Experiment einer mit PCM versetzten 2,5 mm dicken Folie (Polypropylen und Elastomere) an einem typischen Holz-Leichtbauhaus durch. Dabei konnte eine Reduktion der Tageshöchsttemperatur um bis zu 3,1 K gemessen werden und eine Erhöhung der Tagestiefsttemperatur (in der Nacht) um bis zu 2,6 K (Kim et al. 2017). Mithilfe der PCM-Folie konnte daher die große Temperaturamplitude im Leichtbau abgemindert werden. Die Studie zeigte auch, dass die PCM-Folie den besten Effekt bringt, wenn sie flächig im ganzen Raum und nicht kompakt an einem Element angebracht wird.

Panayiotou et al. (2016) analysierten ebenfalls verschiedene Positionen eines PCM-Elements anhand eines Modells in Zypern. Dabei wurde eine Positionierung an der Innenseite, der Außenseite und in der Mitte einer Ziegelwand untersucht. Die Anordnung auf der Innenseite konnte den Energieverbrauch um rund 8 % im Vergleich zu den anderen Varianten senken. Des Weiteren untersuchten Panayiotou et al. (2016) den Energieverbrauch von ungedämmten und gedämmten Gebäuden je mit und ohne PCM. Eine Ausführung mit Dämmung und PCM kann den Energieverbrauch um 66,2 %, jene mit Dämmung um nur 61,0 % gegenüber einem ungedämmten Gebäude senken. Die Amortisationszeit bei der kombinierten Ausführung von Dämmung und PCM liegt mit den analysierten PCM-Platten bei nur 7 ½ Jahren (Panayiotou et al. 2016).

Hoes und Hensen untersuchten wie sich der HWB und der thermische Komfort durch PCM und andere Maßnahmen verbessern können. Wie in Abbildung 7 er-

sichtlich kann durch den Einsatz von PCM eine deutliche Verbesserung des thermischen Komforts bei gleichzeitiger Reduktion des HWB im Vergleich zum normalen Leichtbau erreicht werden (Hoes und Hensen 2015). Dadurch lässt sich annähernd ein thermischer Komfort wie beim Massivbau erzielen.

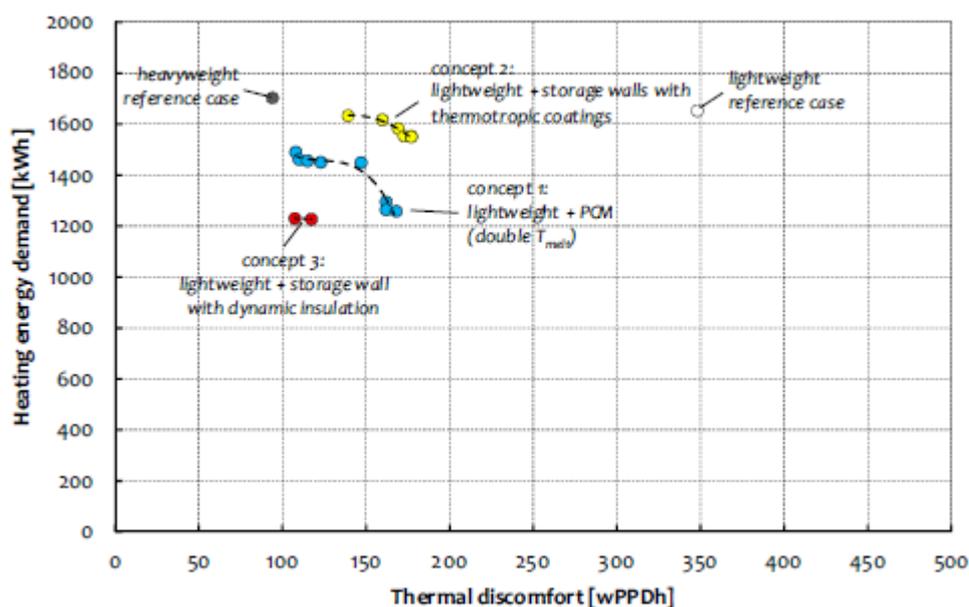


Abbildung 7: Vergleich von baulichen Maßnahmen zur Reduktion der Heizenergie und des thermischen Komforts (Quelle: Hoes und Hensen 2015)

Der Schmelzpunkt des PCM hat großen Einfluss auf den thermischen Komfort und die Heizenergie. So wird bei einer Schmelztemperatur von 18-19°C zwar eine Reduktion der Heizenergie um rund 20% erreicht (verglichen mit einem normalen Leichtbau), der thermische Komfort bleibt jedoch nahezu gleich (Hoes und Hensen 2015). Wird hingegen der Schmelzpunkt bei 23-25 °C festgelegt, so wird eine Verbesserung des thermischen Komforts um über 50 % erreicht, welches nahezu dem Niveau eines Massivbaus gleicht. Allerdings kann dabei keine Reduktion der Heizenergie erreicht werden (Hoes und Hensen 2015). Des Weiteren stellte Hoes und Hensen (2015) fest, dass eine Verbesserung der Eigenschaften des PCM durch die Anordnung in zwei Schichten mit unterschiedlicher Schmelztemperatur möglich ist. Dabei wird die an den Innenraum grenzende Schicht mit einer niedrigeren Schmelztemperatur ausgelegt als die dahinter befindliche.

In den letzten 10 Jahren wurde auch zunehmend an PCM in CBM (cement-based materials) geforscht (Drissi et al. 2019). Dabei wird das PCM direkt dem Zement, Mörtel oder Beton beigemischt, wodurch Kosten gespart werden können. Möglich wurde dies durch die Mikro- und Makroverkapselung, da diese einen Schutz gegen

die alkalische Umgebung des Zements bietet und die Stabilität des PCM gewährleistet (Drissi et al. 2019). Durch die Anwendung von PCM in CBM kann der thermische Komfort sowohl bei heißen Sommertagen als auch im Winter gesteigert werden (Drissi et al. 2019).

PCM stellt eine Möglichkeit dar, die thermische Masse zu erhöhen. Eine hohe thermische Masse führt jedoch auch zu längeren Regenerationszeiten, wodurch verschiedene Lüftungsstrategien an Bedeutung gewinnen.

### 2.3.3 Lüftungsstrategien

Natürliche Lüftungen reduzieren den CO<sub>2</sub> Gehalt, tragen zu höherer Produktivität bei und reduzieren das Risiko des „sick building syndrom“ (SBS) (Allen et al. 2016). Ein wesentlicher Vorteil gegenüber mechanischen Lüftungen ist, dass natürliche Lüftungen weniger Energie verbrauchen und weniger CO<sub>2</sub> emittieren (Lomas und Ji 2009). Durch umweltbezogene Bildung und Verhaltensänderungen ist hier noch viel Potential für Verbesserung möglich (Kyritsi und Michael 2020). Solange die externen Umweltbedingungen dem menschlichen Wohlbefinden entsprechen, kann tagsüber gelüftet werden. Dies ist der Fall bis etwa 28 – 32 °C und einem Luftzug von 1,5 – 2 m/s Windgeschwindigkeit im Innenraum (Kyritsi und Michael 2020). Es sollte jedenfalls von der sonnenabgewandten Fassadenseite gelüftet werden, da sich die Oberfläche der sonnenzugewandten Fassadenseite sehr stark erhitzt und eine Luftgrenzschicht, die bis zu 10 K über der Umgebungstemperatur liegen kann, ausbildet (Treberspurg et al. 2011). Die jeweilige Lüftungsstrategie hat auch großen Einfluss auf die Zeitverschiebung der Temperaturamplitude. Diese ist beim Experiment von Michael et al. (2017) bei einer „Daytime“ Lüftung mit 1 h 50 min. am geringsten, bei einer ganztägigen Lüftung bereits bei 2 h 20 min. und bei der Nachtlüftung mit 4 h 40 min. am größten.

Nachtlüftung verbessert vor allem die thermischen Bedingungen des nächsten Tages (Kyritsi und Michael 2020). Den Vorteil einer guten Nachtlüftung beschrieb bereits Balaras (1996). Vor allem bei viel thermischer Masse lässt sich durch die Nachtlüftung die Kühlung von Gebäuden deutlich reduzieren. Speziell in Bürogebäuden bietet sich diese Möglichkeit an, da keine Personen durch eine hohe Luftwechselrate in der Nacht belästigt werden. Im Vergleich mit einer „Daytime“ Lüftung oder 24 h Lüftung liefert die Nachtlüftung die besten Resultate (Kyritsi und Michael 2020; Michael et al. 2017). Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die Effektivität der Nachtlüftung stark von der Position der geöffneten Fenster abhängig ist. Wird nur ein Fenster beziehungsweise nur Fenster einer Gebäudeseite geöffnet, so ist nur ein minimaler Kühleffekt für den nächsten Tag festzustellen. Es sollte

auf jeden Fall eine Querlüftung vorgenommen werden, da diese mit Abstand am besten abschneidet und eine effektive Möglichkeit zur Vermeidung von sommerlicher Überwärmung darstellt (Kyritsi und Michael 2020; Michael et al. 2017). Das volle Potential der Nachtlüftung kann jedoch nur in Kombination mit einer hohen thermischen Masse ausgenutzt werden (Michael et al. 2017).

Eine mechanische Lüftung hat zwar den Nachteil, dass diese Energie verbraucht, sie ist jedoch automatisiert regelbar. Die Luftwechselraten können je nach Innen- und Außentemperatur angepasst werden und entweder über einen Wärmetauscher geschickt werden oder daran vorbeigeführt werden. Durch die Automatisierung ist es möglich, die Ergebnisse der natürlichen Lüftung zu verbessern, da diese auch ohne Anwesenheit der Bewohner Schaltvorgänge durchführen kann. Außerdem ist dank des Wärmetauschers auch tagsüber eine Lüftung ohne großen Wärmeeintrag möglich. Dadurch muss an heißen Sommertagen kein Kompromiss zwischen Temperatur und Luftqualität gemacht werden.

Eine Weiterentwicklung der normalen Nachtlüftung beschreiben Corgnati und Kindinis (2007), die durch Rohrdurchlässe im Beton, welche während der Nacht mit kühler Luft durchströmt werden, eine bessere Aktivierung von massiven Bauteilen erreichen. Dadurch kommt es im Schnitt zu einer Abkühlung um 1 K im Vergleich zur normalen Nachtlüftung. Die Studie kommt jedoch generell zu dem Schluss, dass die Kühllast durch Nachtlüftung drastisch reduziert werden kann, auch im mediterranen Raum.

### 2.3.4 Verschattung von Fenstern

Die Verschattung von Fenstern ist eine effektive Möglichkeit, um den solaren Energieeintrag durch die Fenster zu begrenzen. Es gibt dabei drei verschiedene bewegliche Ausführungen (außenliegend, innenliegend, zwischenliegend), welche sich durch unterschiedliche Effektivität, Dauerhaftigkeit und Investitionskosten unterscheiden. So hat die außenliegende Verschattung eine um 3- bis 5-mal höhere Effektivität als eine innenliegende Verschattung, da die Solarstrahlung bereits vor der Fassade abgefangen wird. Die außenliegende Verschattung ist jedoch den Witterungsverhältnissen ausgesetzt und muss dementsprechend ausgeführt werden, wodurch sich höhere Investitions- und Wartungskosten ergeben (Treberspurg et al. 2011).

Eine innenliegende Verschattung ist vor den Witterungsverhältnissen und dem Wind geschützt. Jedoch ist diese bei weitem nicht so effektiv, da der aufgeheizte innenliegende Sonnenschutz die Wärme direkt an den Raum abgibt. Es sollten gut

reflektierende Rollos verwendet werden, um die Strahlung durch das Fenster zurück in die Umwelt reflektieren zu können (Treberspurg et al. 2011). Je weniger Strahlung von dem Rollo absorbiert wird, desto weniger wird in den Raum abgegeben.

Die Ausführungsvariante mit zwischenliegenden Verschattung vereint eine hohe Effektivität mit einem hohen Schutz vor Umwelteinflüssen. Dabei ist der bewegliche Sonnenschutz zwischen den zwei Scheiben des Fensters installiert. Bei den vereinten Vorteilen von außenliegender und innenliegender Verschattung, ist jedoch auf die aufwändige Reparatur hinzuweisen, bei der meistens das gesamte Fenster getauscht werden muss (Treberspurg et al. 2011). Sämtliche bewegliche Verschattungen können mit Hand oder mit Motor betrieben werden. Ist die Verschattung motorbetrieben, so kann diese mit einer programmierbaren Steuerung verknüpft werden. Diese kann die Verschattung je nach Tageszeit, Temperatur und Sonneneinstrahlung so steuern, dass bestmögliche Bedingungen (Temperatur, Licht) im Innenraum vorherrschen.

Neben den beweglichen Verschattungen kann auch eine starre Ausführung gewählt werden. So bietet es sich an auf der Südfassade mittels Balkonen, Vorsprüngen oder horizontalen Lamellen einen vom Sonnenstand abhängigen Sonnenschutz zu installieren. Durch den deutlich höheren Sonnenstand im Sommer wird das Fenster wie in Abbildung 8 gezeigt verschattet, während im Winter die solare Sonneneinstrahlung in den Raum eindringen kann und den HWB reduziert.

Die Verschattung von Fenstern ist eine effektive und verhältnismäßig kostengünstige Möglichkeit die Kühllast von Gebäuden zu reduzieren. Besonders Gebäude mit einem hohen Fensteranteil leider oft unter einem überhitzten Innenraum im Sommer. Amos-Abanyie et al. (2013) stellten bei ihrem Experiment fest, dass eine effektive Verschattung den Temperaturanstieg, bedingt durch eine Vergrößerung der Fensterfläche, auf 0,9 K begrenzen kann.

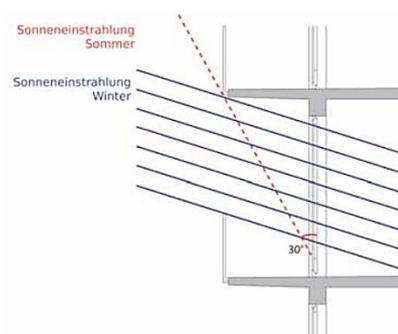


Abbildung 8: Starre Verschattung vor Fenster (Quelle: Treberspurg et al. 2011, Seite 15)

### 2.3.5 Smarte Dämmschicht

Eine Möglichkeit die Energieeffizienz eines Gebäudes zu erhöhen, stellen veränderbare Dämmstoffe, welche je nach Situation zwischen einem leitenden und isolierenden Zustand wechseln können, dar. Diese schaffen eine thermische Verbindung zwischen der Umwelt

und der speicherfähigen Massen beziehungsweise dem Innenraum des Gebäudes, ohne dafür auf eine Nachtlüftung zurückgreifen zu müssen. Vor allem im Hinblick auf Verschmutzung, Allergie und bei Abwesenheit der Bewohner führt eine Nachtlüftung oft zu Problemen (Kimber et al. 2014). Durch die großen Fortschritte bei Präzision und Zuverlässigkeit von Sensoren und Aktoren in den letzten Jahrzehnten wird der Einsatz von

programmierbaren Komponenten in der Gebäudehülle möglich (Cui und Overend 2019). So beschreiben Kimber et al. (2014) eine Dämmschicht mit mehreren luftgefüllten Kammern, welche durch eine Polymermembran unterteilt sind (Abbildung 9 a). Die Dämmeigenschaft besteht dabei im Wesentlichen durch die isolierenden Eigenschaften des Gases (Luft). Wird die Luft entfernt, so zieht sich die Dämmschicht zusammen und der Wärmefluss findet über die Membranen statt (Abbildung 9 c). In Abbildung 9 b und d sind die Widerstände zu erkennen. Beim leitenden Zustand besteht dieser nur aus dem Widerstand der Membranen  $(N-1) \cdot R_p$  und denen der inneren und äußeren Schicht  $2 \cdot R_w$ . Beim isolierenden Zustand kommen hingegen noch der Strahlungswiderstand  $R_{rad}$  und der Konvektionswiderstand  $R_{conv}$  hinzu, welche parallel geschaltet sind. Cui und Overend (2019) untersuchten ebenfalls eine schaltbare Isolierung mittels mechanischen Kontaktes und erweiterten diese um eine flüssige Beschichtung um die Wärmeübertragung zu verbessern. Als Vorteil wird das simple Design und das hohe Schaltverhältnis (Differenz zwischen leitendem und isolierendem Zustand) angeführt, jedoch wird auch auf die Vielzahl beweglicher Teile hingewiesen, welche ein Problem für die Dauerhaftigkeit darstellen könnte.

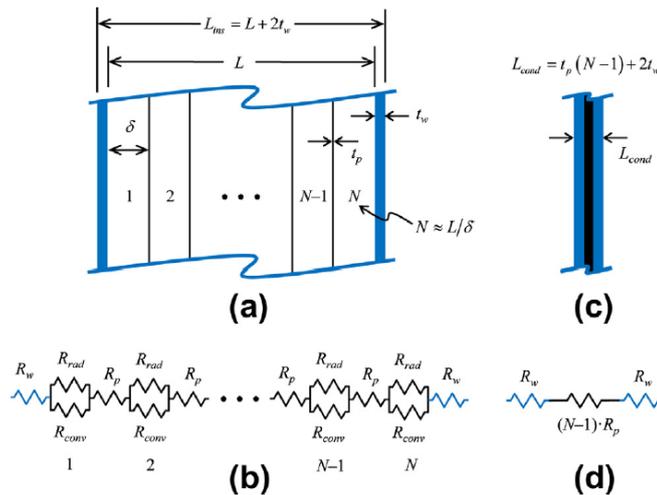


Abbildung 9: Smarte Dämmung mit mehreren Luftkammern (Quelle: Kimber et al. 2014)

Neben der Möglichkeit die Kammer zusammenzuziehen, kann bei einem stabilen Rahmen die Kammer auch vakuumiert werden. Dabei ist jedoch der gasgefüllte Zustand der leitende, der evakuierte Zustand der isolierende. Da keine beziehungsweise nur sehr wenige Teilchen vorhanden sind, ist der Wärmefluss sehr stark reduziert. Dank der sehr guten Isolation im vakuumierten Zustand wird ein hohes, mit dem mechanischen Kontakt vergleichbares, Schaltverhältnis erreicht. Nachteilig ist jedoch die langsame Reaktionszeit, der energieintensive Prozess des Vakuumierens und die hohen Anforderungen an die Luftdichtheit der Kammer (Cui und Overend 2019).

Eine weitere Möglichkeit einer smarten Isolation stellt eine Kammer mit suspendierten Partikeln dar, welche sich durch das Anlegen eines elektrischen oder magnetischen Feldes ausrichten und dadurch eine höhere Wärmeleitung ermöglichen. Diese Technologie hat den Vorteil, dass sie leicht zu integrieren ist und keine beweglichen Teile vorhanden sind. Jedoch ermöglicht sie auch nur ein geringes Schaltverhältnis und es besteht die Anforderung an ein externes elektrisches oder magnetisches Feld (Cui und Overend 2019).

Durch das Einbetten, von mit Flüssigkeit gefüllten Rohren in der Fassade, lässt sich ebenfalls zwischen einem leitenden und einem isolierenden Zustand wechseln (Cui und Overend 2019). Bei einem sehr großen Längendurchmesser-Verhältnis eines Rohres ist die freie Konvektion gleich der Konduktion der Flüssigkeit (Bergman et al. 2011). Erst durch eine Zirkulation der Flüssigkeit erhöht sich der konvektive Wärmetransport. Der isolierte Zustand ist somit bei einer stationären, der leitende bei einer zirkulierenden Flüssigkeit (Cui und Overend 2019). Der Aufbau der Isolation ist in Abbildung 10 dargestellt. Der Vorteil ist, dass dieses Konzept in bestehende Technologien integriert werden kann, bei denen Konvektion stattfindet. Nachteilig ist jedoch die Notwendigkeit von Pumpen, um das Fluid zu bewegen beziehungsweise von Aktoren um die Grenzschicht zu stören (Cui und Overend 2019).

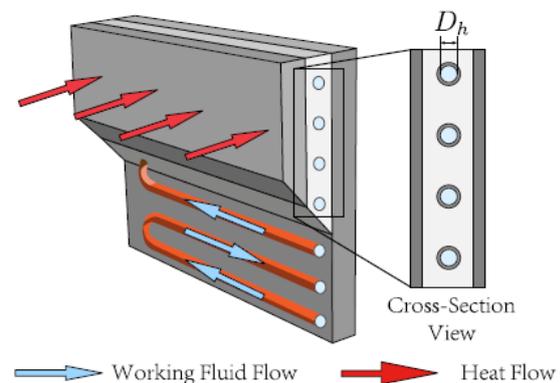


Abbildung 10: Schaltbare Isolation mittels fluidenthaltender Rohre (Quelle: Cui und Overend 2019, Seite 437).

Das Prinzip der PCM kann in abgeänderter Form auch in eine schaltbare Isolierung integriert werden. Dabei wird die Verdunstungs- und Kondensationsenergie mit einem konvektiven Stofftransport gekoppelt. Es wird eine Arbeitsflüssigkeit zum Verdampfen gebracht, wodurch Wärmeenergie aufgenommen wird (in Abbildung 11 links). Das gasförmige Arbeitsfluid wandert auf die andere Seite der Isolierung, wo dieses kondensiert und Wärmeenergie abgibt (in Abbildung 11 rechts). Der Kreislauf wird über einen Docht geschlossen, welcher das flüssige Arbeitsfluid vom Kondensator zum Verdampfer rückführt. Steuerbar ist dieser Kreislauf über ein nicht kondensierbares Gas, welches den Gasstrom des Arbeitsfluides zum Kondensator reduziert oder unterbindet. Alternativ kann der Gas- oder Fluidstrom auch direkt aktiv über beispielsweise Klappen gesteuert werden. Ein Vorteil dieser Technik ist das große Schaltverhältnis (das höchste aller beschriebenen schaltbaren Isolierungen) und der steuerbare Bereich. Nachteilig ist jedoch die komplizierte Struktur und die schwierige Integration ins Gebäude (Cui und Overend 2019).

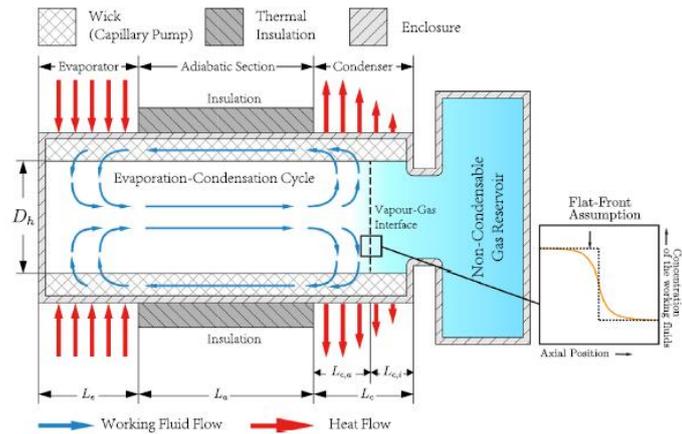


Abbildung 11: Schaltbare Isolation mittels Verdampfungs-Kondensations-Kreislauf (Quelle: Cui und Overend 2019, Seite 439)

reduziert oder unterbindet. Alternativ kann der Gas- oder Fluidstrom auch direkt aktiv über beispielsweise Klappen gesteuert werden. Ein Vorteil dieser Technik ist das große Schaltverhältnis (das höchste aller beschriebenen schaltbaren Isolierungen) und der steuerbare Bereich. Nachteilig ist jedoch die komplizierte Struktur und die schwierige Integration ins Gebäude (Cui und Overend 2019).

### 2.3.6 Reflektierende Fassaden und Dächer

Ein anderer Ansatz ist es, an der Außenhaut des Gebäudes eine reflektierende Schicht anzubringen, welche die Absorption der Wärmestrahlung im Sommer deutlich reduziert. So zeigt ein Experiment von Meng et al. (2016), dass durch eine retro-reflektierende Schicht die Tageshöchsttemperatur der Innenluft um 8°C und die Wandtemperatur der Innenseite um 10 K reduziert werden kann. Hernandez et al. (2018) untersuchte in Mexiko die Auswirkungen, wenn ein konventionelles graues Dach durch ein weißes reflektierendes ersetzt wird. Dabei konnten sie eine Reduktion der äußeren Oberflächentemperatur von 10 - 14,6 K feststellen, während ein rotes Dach zu einer Zunahme der Oberflächentemperatur von 3 K geführt hat. Die tägliche Wärmeaufnahme eines weißen Daches entspricht bei diesem Experiment nur 59-80 % der Wärmeaufnahme eines grauen Daches. Hernandez et al. (2018) kommt zu dem Schluss, dass eine Umrüstung auf weiße Dächer eine

kostengünstige Möglichkeit darstellt, die Energiekosten bei Wohnhäusern in Mexiko zu senken, da sich diese bereits nach 2 Jahren amortisieren. Ebenso untersuchten Revel et al. (2014) die Auswirkungen von kühlen reflektierenden Fassaden (Anstrichen) und Dächern an fünf Beispielobjekten nahe Madrid. Dabei stellten sie eine Reduktion des Spitzen-Wärmeflusses um bis zu 50% an der Südfassade fest. Beim reflektierenden Dach reduzierte sich der Spitzenwärmefluss um bis zu 28%. In den untersuchten Objekten reduzierte sich dadurch die maximale Innenraumtemperatur um 0,8-0,9 K (Revel et al. 2014).

Die solare Strahlung besteht nur zu 43% aus sichtbarem Licht. 52% der Strahlung befindet sich im nahen IR-Bereich und 5% im UV-Bereich (Akbari et al. 2016). Weiße Materialien haben ein hohes Reflexionsvermögen im sichtbaren Bereich, es sollte jedoch auch darauf geachtet werden, dass die Reflexion im nahen IR-Bereich hohe Werte erreicht. Damit können solare Reflexionsraten von 0,85 erzielt werden (Akbari et al. 2016). Erreicht kann dies mit Titan Dioxid (TiO<sub>2</sub>) oder mit Calcium Hydroxid werden, da diese eine Reflexion in nahezu allen solaren Wellenlängen aufweisen (Akbari et al. 2016). Zu beachten ist jedoch die blendende Wirkung der hochreflektierenden Materialien. Abhilfe können hierbei farbige Materialien schaffen, die im sichtbaren Bereich ein gewisses Farbspektrum absorbieren, jedoch mit Pigmenten versetzt sind, welche eine hohe Reflexion im nahen IR-Bereich aufweisen. Dadurch blenden die Flächen nicht, weisen aber dennoch eine hohe Reflexion der solaren Strahlung auf (Akbari et al. 2016).

Bei reflektierenden Materialien ist neben der Gesamtreflexion (Albedo) auch der Reflexionswinkel eine relevante Kennzahl. So strahlen retro-reflektierende Materialien in dieselbe Einfallrichtung zurück, wodurch neben positiven Auswirkungen auf das Innenraumklima auch der Effekt der Urban Heat Islands reduziert werden kann (siehe Abbildung 12) (Rossi et al. 2016). Rossi et al. (2016) verglichen eine retro-reflektierende Schicht mit einer weißen und einer beigen Pflasterung für Gehsteige. Dabei stellten sie fest, dass die weiße Pflasterung zwar ein höheres globales Reflexionsvermögen besitzt, jedoch die retro-reflektierenden Materialien durch die senkrechte Abstrahlung ein höheres Abkühlpotential für die Stadt bringt.

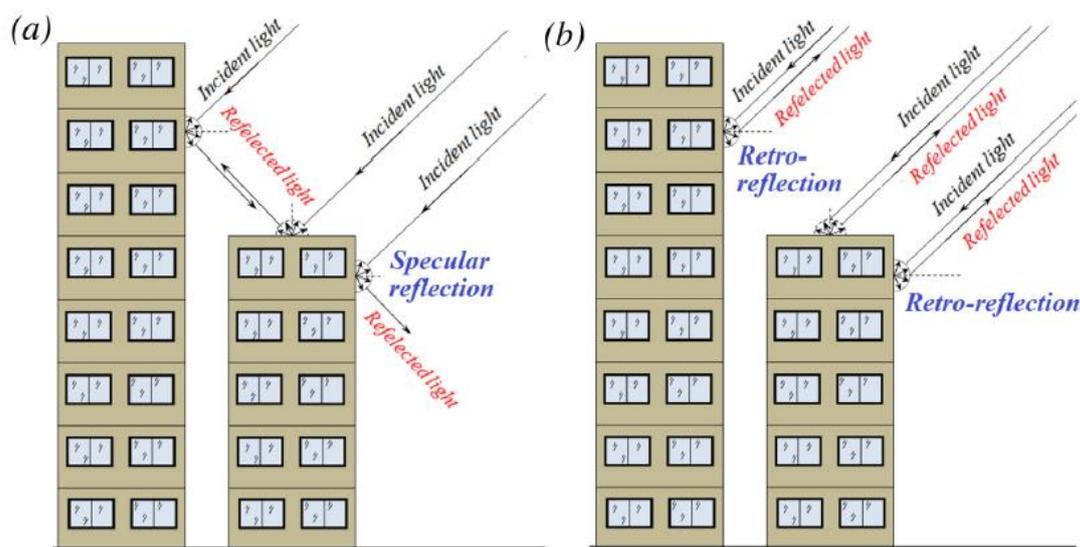


Abbildung 12: Reflexion einer hoch reflektierenden (a) und einer retro-reflektierenden (b) Fassade (Quelle: Meng et al. 2016, Seite 489)

Eine weitere Möglichkeit sind sogenannte „Directional Reflective Materials“ (DRMs). Diese haben Vorteil, dass sie ein hohes Reflexionsvermögen im Sommer aufweisen, wohingegen sie im Winter ein hohes Absorptionsvermögen aufweisen (Akbari und Touchaei 2014). Dabei ist die Oberfläche gezackt (siehe Abbildung 14) und eine Seite mit einer reflektierenden Schicht (in Abbildung 13 weiß), die andere Seite mit einer absorbierenden Schicht (in Abbildung 13 schwarz) überzogen. Je nach Jahreszeit und damit verbundenem Stand der Sonne wird entweder die absorbierende oder die reflektierende Seite bestrahlt (Akbari und Touchaei 2014). Die Dächer erscheinen dadurch von einem Blickwinkel vom Boden aus dunkel, während sie aus der Luft leuchtend weiß erscheinen. Auch hier wird Blenden weitestgehend vermieden. Durch die absorbierende Eigenschaft im



Abbildung 13: Bild eines DRM-Beispiels mit einer dunklen und einer hellen Seite aus unterschiedlichen Blickwinkeln (Quelle: Akbari und Touchaein 2014, Seite 194)

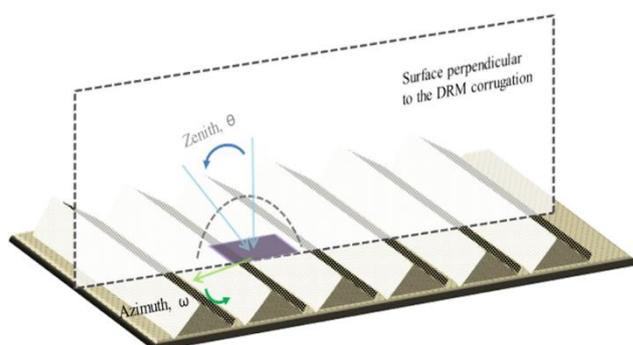


Abbildung 14: Schematische Darstellung einer DRM Riffelung (Quelle: Akbari und Touchaein 2014, Seite 194)

Winter wird der HWB des Gebäudes reduziert. Bei normalen reflektierenden kühlen Materialien nimmt dieser deutlich zu. So stellten Shen et al. (2011) bei einer Erhöhung des Reflexionsvermögens einer Fassade von 32 % auf 61 %, sowohl im Sommer als auch im Winter, eine Abnahme der Innenraumtemperatur in der Raummitte um 2 K, bei einem Experiment in Shanghai, fest. Für einen konditionierten Fall mit 26 °C im Sommer und 18 °C im Winter, ergibt sich übers Jahr gesehen, aufgrund des erhöhten Heizwärmebedarfs im Winter, ein negativer Effekt beim Energieverbrauch (Shen et al. 2011). Ähnliches stellte Zinzi (2016) in Italien fest. Durch ein erhöhtes Reflexionsvermögen der Fassade wurde die maximale Innenraumtemperatur um 0,5-1,6 K gesenkt, wodurch der Energiebedarf für Kühlung um 10-20 % zurückgeht. Übers Jahr betrachtet kann jedoch nur mit einer maximalen Energieeinsparung von 5 % gerechnet werden (Zinzi 2016). Mithilfe von DRMs können jedoch die positiven Eigenschaften von kühlen reflektierenden Oberflächen im Sommer mit den positiven Eigenschaften von absorbierenden warmen Oberflächen im Winter kombiniert werden.

Thermochromatische Materialien stellen neben DRMs eine weitere Möglichkeit dar, um zwischen einem reflektierenden und einem absorbierenden Zustand zu wechseln. Diese verändern ihre Struktur von Monoklinisch (kalt) zu Rutil (warm) in einem reversiblen Prozess (Park und Krarti 2016). Ausschlaggebend für die vorliegende Struktur ist die Temperatur, wobei durch Dotierung der genaue Übergangspunkt festgelegt werden kann. Viele Studien verwenden als thermochromatisches Material Vanadium Dioxid, untersuchen dies jedoch in Bezug auf schaltbare Fensterverglasung. Diese weisen eine Reflexionsrate von 10-25 % für den kalten Zustand und 30-43 % für den warmen Zustand auf. Diese Reflexionsraten sind jedoch auf den IR-Bereich bezogen. Im sichtbaren Bereich bietet sich häufig ein umgekehrtes Bild, in dem Vanadium Dioxid ein leicht höheres Reflexionsvermögen im kalten, als im warmen Zustand aufweist (Kamalisarvestani et al. 2013). Es wird jedoch auch an anderen Materialien wie Titan Dioxid geforscht (Park und Krarti 2016). Für die Studie von Park und Kararti (2016) wurde eine Reflexionsrate von 0,30 für die Heizperiode und von 0,55 für die Kühlperiode herangezogen.

Winter wird der HWB des Gebäudes reduziert. Bei normalen reflektierenden kühlen Materialien nimmt dieser deutlich zu. So stellten Shen et al. (2011) bei einer Erhöhung des Reflexionsvermögens einer Fassade von 32 % auf 61 %, sowohl im Sommer als auch im Winter, eine Abnahme der Innenraumtemperatur in der Raummitte um 2 K, bei einem Experiment in Shanghai, fest. Für einen konditionierten Fall mit 26 °C im Sommer und 18 °C im Winter, ergibt sich übers Jahr gesehen, aufgrund des erhöhten Heizwärmebedarfs im Winter, ein negativer Effekt beim Energieverbrauch (Shen et al. 2011). Ähnliches stellte Zinzi (2016) in Italien fest. Durch ein erhöhtes Reflexionsvermögen der Fassade wurde die maximale Innenraumtemperatur um 0,5-1,6 K gesenkt, wodurch der Energiebedarf für Kühlung um 10-20 % zurückgeht. Übers Jahr betrachtet kann jedoch nur mit einer maximalen Energieeinsparung von 5 % gerechnet werden (Zinzi 2016). Mithilfe von DRMs können jedoch die positiven Eigenschaften von kühlen reflektierenden Oberflächen im Sommer mit den positiven Eigenschaften von absorbierenden warmen Oberflächen im Winter kombiniert werden.

Die Studie kommt zu dem Schluss, dass durch variabel reflektierende Dächer der Energieverbrauch um 11% gegenüber statisch reflektierenden Dächern gesenkt werden kann.

Akbari et al. (2016) beschreiben ein Verbundsystem von reflektierenden Materialien mit PCM, wodurch die Temperatur der Außenhaut eines Gebäudes weiter gesenkt werden kann. Durch Aufbringen dieser Materialien auf der Außenhaut lässt sich sowohl ein angenehmeres Raumklima erzielen als auch der Effekt der Urban Heat Islands reduzieren (Karlessi et al. 2011). Karlessi et al. (2011) vergleichen Oberflächen mit 6 verschiedenen Farben (schwarz, blau, grün, grau, braun, goldbraun) mit konventioneller und reflektierender Oberfläche und mit und ohne PCM-Verbund. Für das PCM wurden unterschiedliche Massenanteile (20 %, 30 %) und unterschiedliche Schmelztemperaturen (18 °C, 24 °C, 28 °C) untersucht. Die Studie zeigt, dass gegenüber normalen reflektierenden Oberflächen der PCM-Verbund in jeder untersuchten Variante besser abschneidet. Die reflektierende goldbraune Oberfläche weist die niedrigsten Tageshöchsttemperaturen auf, kann jedoch durch den PCM-Verbund um weitere 1,4 K (2,5 %) gesenkt werden (Karlessi et al. 2011). Die Studie von Karlessi et al. (2011) zeigt die größte Reduktion bei einem PCM-Massenanteil von 30 % und einer Schmelztemperatur von 28 °C.

Reflektierende Materialien sind eine einfache Möglichkeit die Innenraumtemperatur zu reduzieren. Durch eine intelligente Ausführung wird auch der HWB nicht erhöht. Außerdem bieten diese eine Möglichkeit den UHI-Effekt zu reduzieren.

## 3 Methodologie

Nachfolgend ist das Forschungsprojekt CLUDEX vorgestellt und das Untersuchungsgebiet und die gewählten Gebäude beschrieben. Es wurden Aufstockungsvarianten definiert und in einer Matrix abgebildet. Auf Grundlage der Matrix wurden Modelle erstellt und Simulationen bezüglich HWB und Innenraumtemperatur durchgeführt.

### 3.1 Das Projekt CLUDEX

Diese Diplomarbeit wird im Rahmen des Forschungsprojekts CLUDEX „Climate Change and urban densification impact exploration“ (Cludex, 2018) geschrieben. Es handelt sich dabei um ein unter der Leitung vom AIT (Austrian Institute of Technology GmbH) durchgeführtes und vom Klima- und Energiefonds finanziertes Forschungsprojekt, wobei die Universität für Bodenkultur Wien einen der Projektpartner darstellt.

Durch das Pariser Übereinkommen gewinnt neben dem Klimaschutz auch die Klimawandelanpassung zunehmend an Bedeutung (Cludex, 2018). Wien ist mit dem Problem konfrontiert, ausreichend Wohnraum zu schaffen und gleichzeitig Freiräume zu erhalten. Dieser Problematik widmete sich der Klimatag 2017. Teilgenommen haben die Wiener Stadtverwaltung, Stakeholder und Experten, welche sich bei Workshops und Diskussionen mit der Anpassung an den Klimawandel befassten (Cludex, 2018). Aus diesen Diskussionen zwischen den Magistratsabteilungen 19, 21, 41 und dem AIT ging das Projekt CLUDEX hervor (Cludex, 2018).

Die Stadt Wien erkennt das Problem der städtischen Wärmebelastung. Bedingt durch den steigenden Lebensstandard und der hohen Nachfrage nach Wohnraum bedarf es in Wien einer Nachverdichtung bei gleichzeitig geringem Flächenverbrauch. Bei Nachverdichtungen in die Höhe (durch Ausnutzung der maximalen Gebäudehöhe) entstehen jedoch Straßencanyons, deren Eigenschaften und Einfluss auf das Stadtklima heute nicht ausreichend untersucht sind. Will man allerdings Städte nachhaltig gestalten, so muss man die Auswirkungen auf Luftströmungen und das Mikroklima, von Maßnahmen, wie eine flächendeckende Erhöhung der Gebäudehöhe, genau kennen (Cludex, 2018). Genau an diesem Punkt setzt CLUDEX an und untersucht anhand eines 3D-Modells diese Auswirkungen. Als Projektgebiet wurde der 12. Wiener Gemeindebezirk gewählt. Es werden ver-

schiedene Klima- und Gebäudehöheszenarien simuliert. Auch untersucht das Projekt Möglichkeiten, um Kühllasten in Gebäuden zu reduzieren. Ein Ziel ist es auch, durch die Einbeziehung von Kommunen, Bauträgern und Bürgern, einen transdisziplinären Charakter des Projekts zu erreichen. Am Ende soll CLUDEX Leitlinien für eine klimaschonende Nachverdichtung von Städten entwickeln.

## 3.2 Auswahl des Untersuchungsgebietes und Objekts

Die Auswahl des Gebietes erfolgte im Rahmen des Forschungsprojekts CLUDEX, anhand von Daten des Austrian Institute of Technologies (AIT). Das AIT werteten im Zuge des vorliegenden Forschungsprojekts bereits die Höhenreserve in einem großen Teil des 12. Bezirks in Wien aus. Die Höhenreserve stellt die Differenz zwischen der aktuellen und der maximal zulässigen Bauhöhe dar. Besonders viel Höhenreserve ist im Bereich der Meidlinger Hauptstraße vorhanden. Loibl et al. (2019) stellten dieses Nachverdichtungspotential bereits grafisch in Abbildung 15 dar. Es zeigt sich ein durch Aufstockungen und Dachgeschossausbauten erzielbarer Zuwachs an Wohnfläche von 701.000 m<sup>2</sup>, welches einem Wohnungszuwachs von bis zu 25 % entspricht (Loibl et al. 2019). Bei einer Begehung des Gebietes konnten Fotos angefertigt werden, um in weiterer Folge eine Auswahl für zwei Gebäude treffen zu können. Die gewählten Gebäude grenzen an Objekte mit einer deutlich höheren Bauhöhe. Sie unterscheiden sich jedoch durch eine unterschiedliche Geometrie und einer unterschiedlichen Höhe der Bestandsbauten.

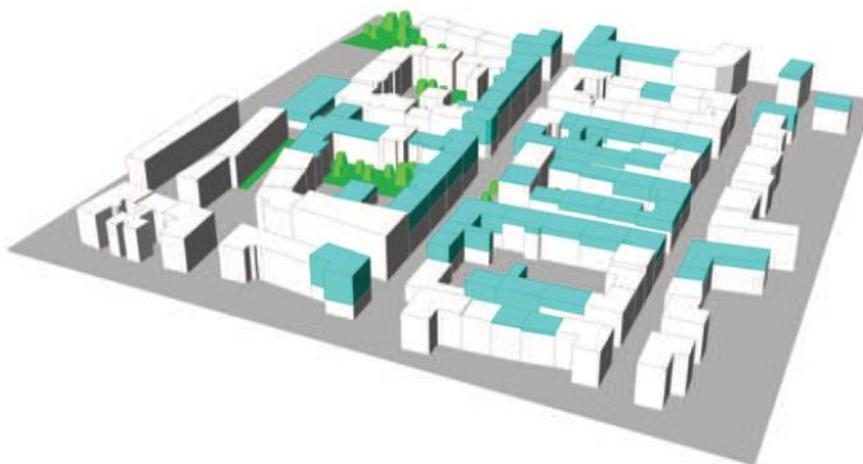


Abbildung 15: Nachverdichtungspotential entlang der Meidlinger Hauptstraße im 12. Wiener Gemeindebezirk (Quelle: Loibl et al. 2019, Seite 814)

Das erste Untersuchungsobjekt ist die Meidlinger Hauptstraße 36, in Abbildung 16 blau zu erkennen. Es besteht im Bestand nur ein Stock und ein nicht ausgebauter Dachboden. Die angrenzenden Gebäude sind zwei Stockwerke höher und besitzen ein ausgebautes Dachgeschoss.

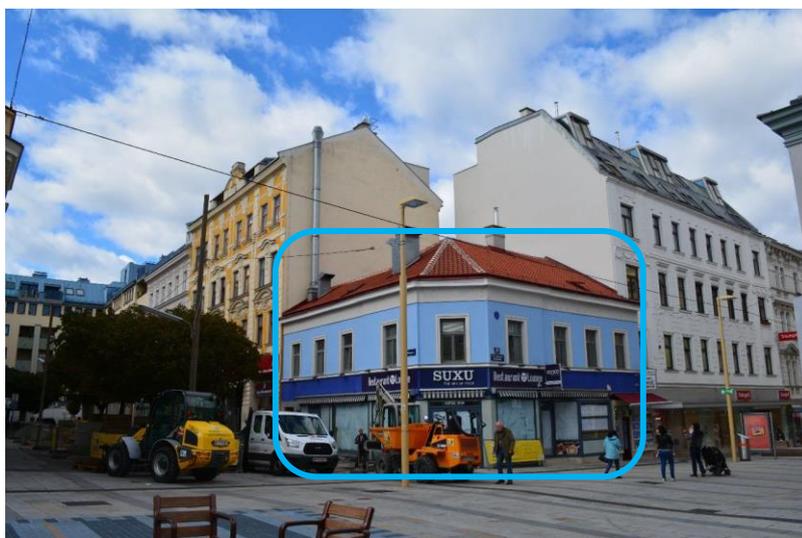


Abbildung 16: Meidlinger Hauptstraße 36 (Quelle: Eigene Aufnahme Zwirschitz & Vancso)

Das zweite Gebäude ist in Abbildung 17 links der Mitte (Delka) zu erkennen. Auch hier ist zu erkennen, dass das südlich (in Abbildung 17 links) anschließende Gebäude bereits eine deutlich höhere Bauhöhe aufweist. So ist der direkt angrenzende Bestand hier ebenfalls um 2 Stockwerke und ein ausgebautes Dachgeschoss höher.



Abbildung 17: Meidlinger Hauptstraße 42-44 (Quelle: Eigene Aufnahme Zwirschitz & Vancso)

Zur besseren Orientierung sind die beiden Objekte in Abbildung 18 im Satellitenbild dargestellt. Das Haus Meidlinger Hauptstraße 36 ist in der Abbildung blau markiert und das Haus Meidlinger Hauptstraße 42-44 ist gelb markiert. Die im Satellitenbild von oben nach unten (von Norden nach Süden) verlaufende Meidlinger Hauptstraße ist in diesem Bereich zu einer Fußgängerzone umgebaut. Sie weist dennoch einen sehr breiten Straßenquerschnitt auf, wodurch hohe Gebäuhöhen möglich sind.

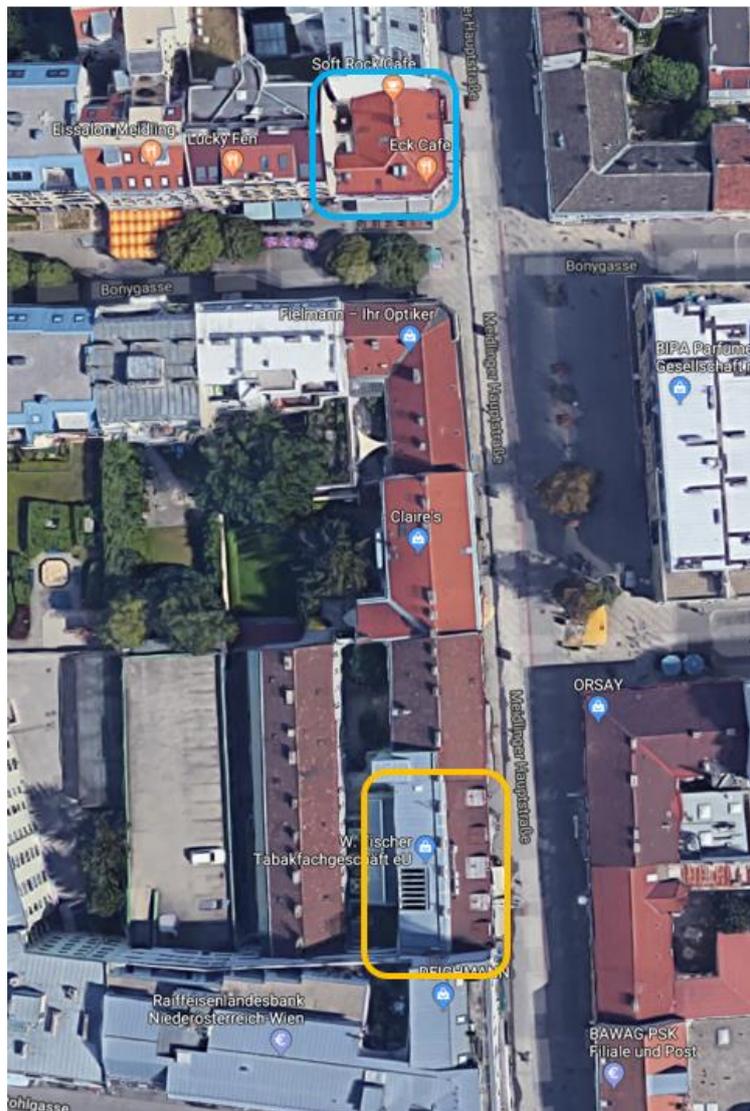


Abbildung 18: Satellitenbild Untersuchungsobjekte (Quelle: maps.google.at)

### 3.3 Aufstockungsvarianten

Die verschiedenen Varianten sollten Rückschlüsse auf die wesentlichen baulichen Einflussfaktoren zulassen. Daher wurden verschiedene Wandaufbauten mit unterschiedlichen Dächern kombiniert. Auch die Ausbildung des Daches (Flach- oder Steildach) wurde verändert. Ebenso wurde ein unterschiedlicher Fensterflächenanteil angesetzt.

#### 3.3.1 Wandaufbauten

Die verschiedenen Wandaufbauten sollten sowohl den Leicht- als auch Massivbau enthalten. Dadurch lassen sich Aussagen über den Einfluss der Masse treffen und ein Vergleich zum konventionellen Stahlbetonbau ziehen.

##### Wand mit Zellulosedämmung

Dieser Wandaufbau ist typisch für den Holz-Leichtbau. Er zeichnet sich neben dem niedrigen Gewicht auch durch seine geringe Wanddicke aus. Diese resultiert durch die lediglich 6 cm Holzfaserdämmplatte, welche zusätzlich auf der Außenseite der Wand angebracht wird. Der Großteil der Wärmedämmung (16 cm) ist zwischen den Stehern angebracht, also direkt in dem Holzrahmen/ der Holztafel integriert.

	DICKE [CM]
PUTZ	1,00
HOLZFASERDÄMMPLATTE	6,00
HOLZSTEHER 6X16	16,00
DAZWISCHEN ZELLULOSEFASER	16,00
SPANPLATTE	2,00
DAMPFBREMSE >2M	-
GIPSKARTONFEUERSCHUTZPLATTE (GFK)	1,25
<b>GESAMT</b>	<b>26,25</b>
<b>GEWICHT [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>80,1</b>
<b>U-WERT [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,190</b>

Tabelle 4: Wand mit Zellulosedämmung (Quelle: Abgeändert von Brocza 2007)

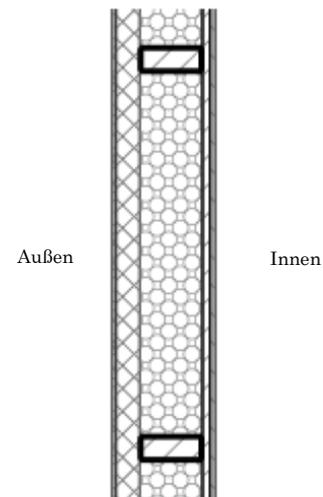


Abbildung 19: Wand mit Zellulosedämmung (Quelle: ArchiPHYSIK; eigenen Eingabe)

### Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung

Bei der hinterlüfteten Wand wird vor die Holzwand eine Schalung vorgesetzt, welche auf einer Lattung montiert ist. Die eigentliche Wand besteht wieder aus einem Holzrahmen mit Zellulosefaserdämmung dazwischen. Bei diesem Wandaufbau wurde zusätzlich noch eine Installationsebene auf der Innenseite angedacht, welche mit einer innenliegenden Holzbeplankung verschlossen ist. Dieser Wandaufbau ist durch die vorgehängte Fassade und die Installationsebene um rund 10 cm dicker, zählt aber dennoch zu den Holz-Leichtbauten. Durch den höheren Einsatz von Holz als Baustoff (bei den Beplankungen) erhöht sich die spezifische Wärmekapazität dieses Wandaufbaus.

	DICKE [CM]
HORIZONTAL-/STÜLPSCHALUNG	2,00
HINTERLÜFTUNG/KONTERLATTUNG	4,00
MDF (MITTELDICHTE FASERPLATTE)	1,20
HOLZSTEHER 6X16	16,00
DAZWISCHEN ZELLULOSEFASER	16,00
OBS PLATTE (LUFTDICHT VERKLEBT)	2,00
HOLZ-LATTUNG	4,00
DAZWISCHEN ZELLULOSEFASER	4,00
HOLZBEPLANKUNG	3,00
<b>GESAMT</b>	<b>32,20</b>
<b>GEWICHT [kg/m²]</b>	<b>79,3</b>
<b>U-WERT [W/m²K]</b>	<b>0,162</b>

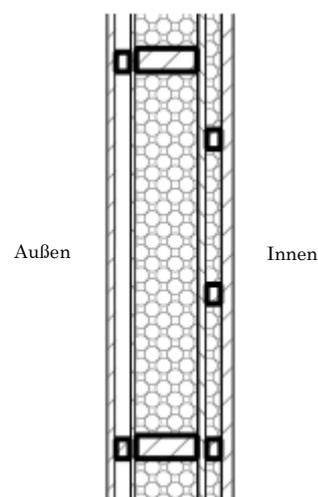


Abbildung 20: Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung (Quelle: ArchiPHYSIK; eigene Eingabe)

Tabelle 5: Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung (Quelle: Abgeändert von Brocza 2007)

### Blockbohlenwand mit Zwischendämmung

Die Blockbohlenwand besteht aus zwei massiven Holzbohlen-Schichten wodurch sie dem Massivbau zugeordnet wird. Dieser Wandaufbau weist ein mehr als doppelt so hohes Gewicht auf, wie die in Tabelle 4 und Tabelle 5 definierten Leichtbau-Wandaufbauten. Zwischen diesen massiven Schichten befindet sich die Dämmung in Form von Holzfaserdämmplatten. Da die Kraftübertragung nicht über einen Holzrahmen erfolgt, sondern lediglich über die zwei Holzbohlen-Schichten, ist eine stärkere Wanddicke notwendig bei gleichzeitig geringerer Dämmstärke. Zu beachten ist jedoch, dass Holz eine sehr hohe spezifische Wärmespeicherkapazität hat.

	DICKE [CM]
HOLZBOHLEN	9,20
GIPSFASERPLATTE	1,25
HOLZFASERDÄMMPLATTE	14,00
GIPSFASERPLATTE	1,25
LUFTRAUM/INSTALLATIONSEBENE	3,00
HOLZBOHLEN	9,2,
<b>GESAMT</b>	<b>37,90</b>
<b>GEWICHT [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>168,1</b>
<b>U-WERT [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,194</b>

Tabelle 6: Blockbohlenwand mit Zwischendämmung (Quelle: Abgeändert von Brocza 2007)

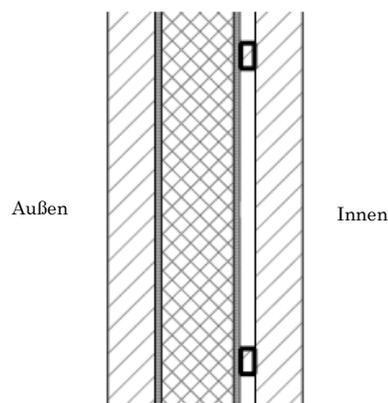


Abbildung 21: Blockbohlenwand mit Zwischendämmung (Quelle: ArchiPHYSIK; eigene Eingabe)

## Stahlbeton Massivwand

Um einen Vergleich zum konventionellen Stahlbetonbau ziehen zu können, wurde auch noch eine normale Stahlbetonwand mit einer 20 cm dicken EPS-Wärmedämmung definiert. Dieser Wandaufbau kann aufgrund der starken Dämmschicht mit den U-Werten der Leichtbau-Wänden mithalten, und hat durch die Stahlbetonwand sehr viel speicherfähige Masse. Allerdings ist das hohe Gewicht von 631 kg/m<sup>2</sup> zu beachten, welches mehr als dem Siebenfachen der Leichtbauwände entspricht.

	DICKE [CM]
PUTZ	1,00
EPS	20,00
STAHLBETON	25,00
PUTZ	1,00
<b>GESAMT</b>	<b>47,00</b>
<b>GEWICHT [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>631,0</b>
<b>U-WERT [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,152</b>

Tabelle 7: Stahlbeton-Massivwand

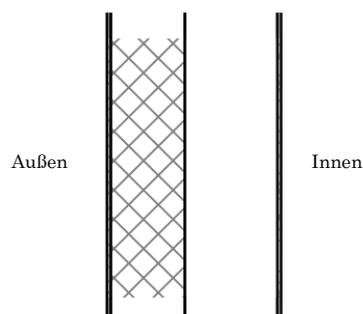


Abbildung 22: Stahlbeton-Massivwand (Quelle: ArchiPHYSIK; eigene Eingabe)

## Minimale Dämmung (gesetzliche Vorgabe)

Um auch einen Vergleich zu den gesetzlichen Mindestanforderungen ziehen zu können, wurden zwei Wandaufbauten von der Holzwand mit Zellulosedämmung

(einmal für die Meidlinger Hauptstraße 36 und einmal für die Meidlinger Hauptstraße 42-44) erstellt. Diese zwei unterschiedlichen Mindestanforderungen resultieren nicht aus dem minimalen U-Wert der Bauteile, sondern der ausschlaggebende Wert bei den betrachteten Objekten ist der maximal zulässige HWB der gesamten Aufstockung. Um den HWB auf das Maximum zu erhöhen ist bei der Meidlinger Hauptstraße 36 nur eine Reduktion von 3,1 cm der Dämmschicht notwendig. Beim Objekt der Meidlinger Hauptstraße 42-44 ist hingegen eine deutlich größere Reduktion notwendig, wodurch die Definition eines zweiten Wandaufbaus notwendig wurde.

	DICKE [CM]	ÄNDERUNG [CM]
PUTZ	1,00	-
HOLZFASERDÄMMPLATTE	2,90	-3,10
HOLZSTEHER 6X14	16,00	-
DAZWISCHEN ZELLULOSEFASER	16,00	-
SPANPLATTE	2,00	-
DAMPFBREMSE >2M	-	-
GIPSKARTONFEUERSCHUTZPLATTE (GFK)	1,25	-
<b>GESAMT</b>	<b>23,20</b>	<b>-3,10</b>
<b>GEWICHT [kg/m²]</b>	<b>69,2</b>	<b>-10,9</b>
<b>U-WERT [W/m²K]</b>	<b>0,225</b>	<b>+0,035</b>

Tabelle 8: Meidl. Hauptstr. 36 Wand mit Zellulosedämmung (minimale Dämmung)

	DICKE [CM]	ÄNDERUNG [CM]
PUTZ	1,00	-
HOLZFASERDÄMMPLATTE	2,00	-4,00
HOLZSTEHER 6X14	14,00	-2,00
DAZWISCHEN ZELLULOSEFASER	14,00	-2,00
SPANPLATTE	2,00	-
DAMPFBREMSE >2M	-	-
GIPSKARTONFEUERSCHUTZPLATTE (GFK)	1,25	-
<b>GESAMT</b>	<b>20,30</b>	<b>-6,00</b>
<b>GEWICHT [kg/m²]</b>	<b>64,1</b>	<b>-16,0</b>
<b>U-WERT [W/m²K]</b>	<b>0,263</b>	<b>+0,073</b>

Tabelle 9: Meidl. Hauptstr. 42-44 Wand mit Zellulosedämmung (minimale Dämmung)

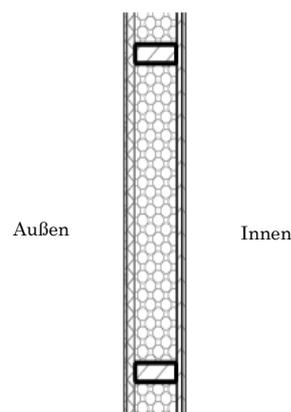


Abbildung 23: Meidl. Hauptstr. 36 Wand mit Zellulosedämmung (minimale Dämmung)

## Maximale Dämmung

Zusätzlich zu der Variante mit den Mindestanforderungen wurde derselbe Wandaufbau (Wand mit Zellulosedämmung) mit einer besonders dicken Dämmschicht ausgeführt. Dadurch ist es möglich den Einfluss der Holzfaserdämmung noch deutlicher zu erkennen.

	DICKE [CM]	ÄNDERUNG [CM]
PUTZ	1,00	-
HOLZFASERDÄMMPLATTE	20,00	+14,00
HOLZSTEHER 6X16	16,00	-
DAZWISCHEN ZELLULOSEFASER	16,00	-
SPANPLATTE	2,00	-
DAMPFBREMSE >2M	-	-
GIPSKARTONFEUERSCHUTZPLATTE (GFK)	1,25	-
<b>GESAMT</b>	<b>40,30</b>	<b>+14,00</b>
<b>GEWICHT [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>129,1</b>	<b>+49,0</b>
<b>U-WERT [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,114</b>	<b>-0,076</b>

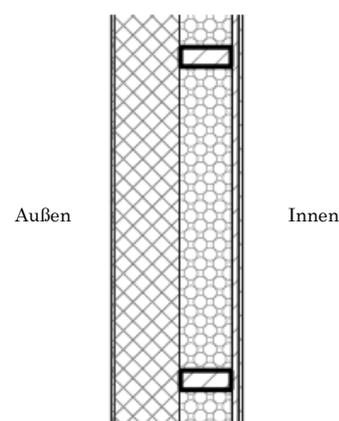


Abbildung 24: Wand mit Zellulosedämmung (maximale Dämmung)

Tabelle 10: Wand mit Zellulosedämmung (maximale Dämmung)

## Maximaler Holzanteil

Neben der Variante mit einer maximalen Dämmung wird ein Wandaufbau mit einer extra dicken Holzspanplatte auf der Innenseite der Wand definiert. Bei der Art des Aufbaus handelt es sich wiederum um jenen der Wand mit Zellulosedämmung. Die um 3 cm dickere Holzspanplatte erhöht das Gewicht nicht so stark wie die 14 cm zusätzliche Holzfaserdämmplatte der Variante mit maximaler Dämmung (vergleiche Tabelle 10 mit Tabelle 11). Durch die hohe spezifische Wärmespeicherfähigkeit der Holzspanplatte und durch die Anordnung auf der Innenseite, ist dieser Aufbau vor allem für die Simulation der Innenraumtemperatur interessant.

	DICKE [CM]	ÄNDERUNG [CM]
PUTZ	1,00	-
HOLZFASERDÄMMPLATTE	6,00	-
HOLZSTEHER 6X16	16,00	-
DAZWISCHEN ZELLULOSEFASER	16,00	-
SPANPLATTE	5,00	+3,00
DAMPFBREMSE >2M	-	-
GIPSKARTONFEUERSCHUTZPLATTE (GFK)	1,25	-
<b>GESAMT</b>	<b>29,30</b>	<b>+3,00</b>
<b>GEWICHT [kg/m²]</b>	<b>98,1</b>	<b>+18,0</b>
<b>U-WERT [W/m²K]</b>	<b>0,182</b>	<b>-0,008</b>

Tabelle 11: Wand mit Zellulosedämmung (maximaler Holzanteil)

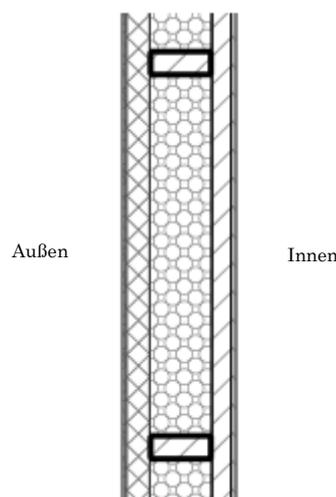


Abbildung 25: Wand mit Zellulosedämmung (maximaler Holzanteil)

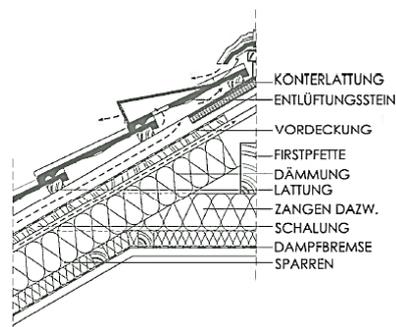
### 3.3.2 Dachaufbauten

Genau wie bei den Wandaufbauten wurden auch unterschiedliche Dachaufbauten für die Simulation festgelegt. Sowohl Flach-, als auch Steildächer wurden mit den verschiedenen Wandaufbauten kombiniert.

#### Hinterlüftetes Sparrendach

Dieser Dachaufbau ist der am häufigsten eingesetzte bei Steildächern. Der Luftspalt für die Hinterlüftung befindet sich direkt vor der Mineralfaserdämmung. Diesen Dachaufbau zeichnet vor allem sein geringes Gewicht aus.

	DICKE [CM]
DACHSTEINE	3
LATTUNG 3/5	3
KONTERLATTUNG 5/5	5
DACHPAPPE	0,2
VOLLSCHALUNG	2,5
SPARREN	16
DAZW. HINTERLÜFTUNG	4
DAZW. MINERALFASERDÄMMUNG	12
MINERALFASERDÄMMUNG	10
DAMPFBREMSE	0,3



MONTAGELATTUNG	4
GIPSKARTONPLATTEN	1,25
<b>GESAMT</b>	<b>45,25</b>
<b>GEWICHT [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>207,1</b>
<b>U-WERT [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,104</b>

Tabelle 12: Hinterlüftetes Sparrendach (Quelle: abgeändert von Riccabona 2008)

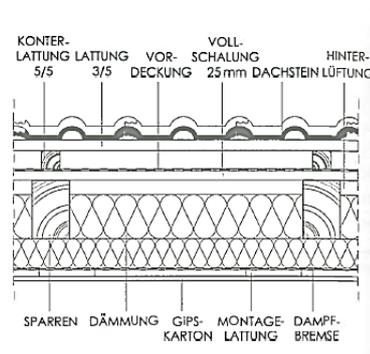


Abbildung 26: Hinterlüftetes Sparrendach (Quelle: Riccabona 2008)

### Vollsparrendach

Der Dachaufbau des Vollsparrendaches ist im Grunde genommen der gleiche wie jener des hinterlüfteten Sparrendachs. Allerdings wird der Luftspalt beim Sparren mit Dämmmaterial aufgefüllt und die zusätzlich angebrachte Dämmschicht auf der Innenseite entsprechend reduziert. Dementsprechend reduziert sich die Dicke um 2 cm, und der U-Wert steigt leicht an (vergleiche Tabelle 12 und Tabelle 13).

	DICKE [CM]
DACHSTEINE	3,00
LATTUNG 3/5	3,00
KONTERLATTUNG 5/5	5,00
VORDECKUNG	0,20
VOLLSCHALUNG	2,50
SPARREN	16,00
DAZW. MINERALFASERDÄMMUNG	16,00
MINERALFASERDÄMMUNG	8,00
DAMPFBREMSE	0,30
MONTAGELATTUNG	4,00
GIPSKARTONPLATTEN	1,25
<b>GESAMT</b>	<b>43,25</b>
<b>GEWICHT [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>211,3</b>
<b>U-WERT [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,115</b>

Tabelle 13: Vollsparrendach (Quelle: abgeändert von Riccabona 2008)

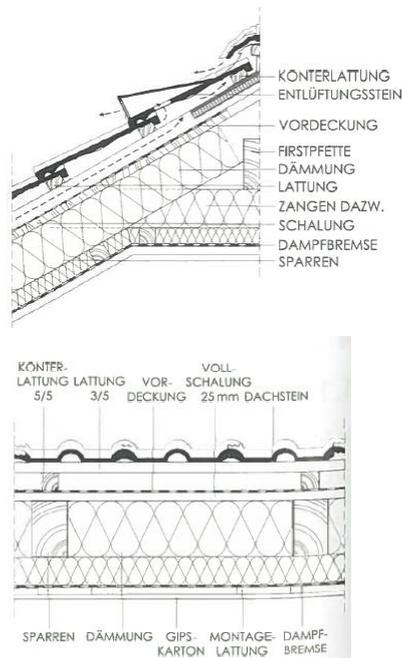


Abbildung 27: Vollsparrendach (Quelle: Riccabona 2008)

### Sargdeckel-Dach

Beim Sargdeckel sind die Sparren nicht tragend ausgeführt. Die statische Funktion übernimmt hier eine Stahlbetonplatte mit einer Stärke von 16 cm. Dieser Dachaufbau ist deutlich schwerer und findet heute bei Aufstockungen fast keine Anwendung mehr.

	DICKE [CM]
DACHSTEINE	3,00
LATTUNG	3,00
KONTERLATTUNG	5,00
DACHPAPPE	0,50
SCHALUNG	2,50
SPARREN	28,00
DAZW. LUFT	3,00
DAZW. MINERALFASERDÄMMUNG	25,00
DAMPFBREMSE	0,30
STB. DECKE	16,00
PUTZ	1,00
<b>GESAMT</b>	<b>59,30</b>
<b>GEWICHT [Kg/M²]</b>	<b>594,4</b>
<b>U-WERT [W/M²K]</b>	<b>0,129</b>

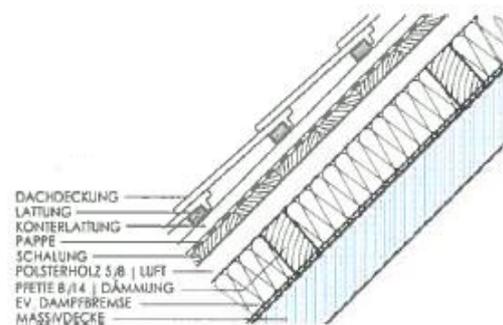


Abbildung 28: Sargdeckel-Dach  
(Quelle: Riccabona 2008)

Tabelle 14: Sargdeckel-Dach  
(Quelle: abgeändert von Riccabona 2008)

### Umkehrdach

Das Umkehrdach wird im Normalfall als Flachdach ausgeführt. Dadurch entfallen die schrägen Seiten in den Innenräumen und es kann Niederschlag gespeichert werden. Allerdings ist dieser Dachaufbau mit Abstand der schwerste von den hier definierten. Die Wahl des Umkehrdaches wurde getroffen, da im Wiener Raum hauptsächlich diese Konstruktion bei Flachdächern angewandt wird.

	DICKE [CM]
KIESSCHÜTTUNG	5,00
FILTERFLIES	-
XPS-PLATTEN	20,00
TRENNFOLIE	-
ABDICHTUNG 2-LAGIG	-

GEFÄLEBETON	8,00
STB. DECKE	20,00
<b>GESAMT</b>	<b>58,00</b>
<b>GEWICHT [kg/m³]</b>	<b>787,6</b>
<b>U-WERT [W/m²K]</b>	<b>0,195</b>

Tabelle 15: Umkehrdach

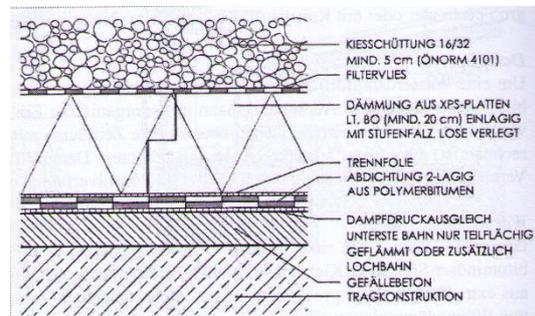


Abbildung 29: Umkehrdach (Quelle: Riccabona 2008)

### Minimale Dämmung (gesetzliche Vorgabe)

Um die minimale Variante bei dem Objekt der Meidlinger Hauptstraße 42-44 simulieren zu können, wurde auch ein minimal gedämmtes hinterlüftetes Sparrendach definiert. Diese minimale Dämmvariante war nur bei dem Steildach notwendig, da der Aufbau des Umkehrdaches bereits an der unteren Grenze des zulässigen U-Wertes für Dächer liegt.

	DICKE [CM]	ÄNDERUNG [CM]
DACHSTEINE	3,00	-
LATTUNG 3/5	3,00	-
KONTERLATTUNG 5/5	5,00	-
DACHPAPPE	0,20	-
VOLLSCHALUNG	2,50	-
SPARREN	9,00	-7,00
DAZW. HINTERLÜFTUNG	4,00	-
DAZW.	5,00	-7,00
MINERALFASERDÄMMUNG		
MINERALFASERDÄMMUNG	2,00	-8,00
DAMPFBREMSE	0,30	-
MONTAGELATTUNG	4,00	-
GIPSKRTONPLATTEN	1,25	-
<b>GESAMT</b>	<b>30,30</b>	<b>-14,95</b>
<b>GEWICHT [kg/m²]</b>	<b>157,9</b>	<b>-49,2</b>
<b>U-WERT [W/m²K]</b>	<b>0,172</b>	<b>+0,068</b>



Abbildung 30: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (minimale Dämmung)

Tabelle 16: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (minimale Dämmung)

### Maximale Dämmung

Um für die zusätzlichen Varianten mit maximaler Dämmung auch einen entsprechenden Dachaufbau zu haben, wurde beim Umkehrdach die Dämmung (XPS-Platten) um 5 cm und beim hinterlüfteten Sparrendach die Mineralfaserdämmung um 10 cm erhöht.

	DICKE [CM]	ÄNDERUNG [CM]
KIESSCHÜTTUNG	5,00	-
FILTERFLIES	-	-
XPS-PLATTEN	25,00	+5,00
TRENNFOLIE	-	-
ABDICHTUNG 2-LAGIG	-	-
GEFÄLLEBETON	8,00	-
STB. DECKE	20,00	-
<b>GESAMT</b>	<b>58,00</b>	<b>+5,00</b>
<b>GEWICHT [kg/m²]</b>	<b>739,5</b>	<b>+1,9</b>
<b>U-WERT [W/m²K]</b>	<b>0,168</b>	<b>-0,037</b>

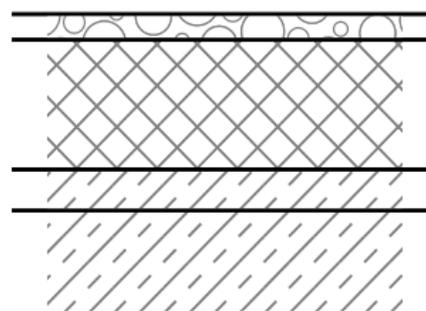


Abbildung 31: Meidl. Hauptstr. 36 Umkehrdach (maximale Dämmung)

Tabelle 17: Meidl. Hauptstr. 36 Umkehrdach (maximale Dämmung)

	DICKE [CM]	ÄNDERUNG [CM]
DACHSTEINE	3,00	-
LATTUNG 3/5	3,00	-
KONTERLATTUNG 5/5	5,00	-
DACHPAPPE	0,20	-
VOLLSCHALUNG	2,50	-
SPARREN	16,00	-
DAZW. HINTERLÜFTUNG	4,00	-
DAZW. MINERALFASERDÄMMUNG	12,00	-
MINERALFASERDÄMMUNG	20,00	+10,00
DAMPFBREMSE	0,30	-
MONTAGELATTUNG	4,00	-
GIPSKRTONPLATTEN	1,25	-
<b>GESAMT</b>	<b>55,30</b>	<b>+10,00</b>
<b>GEWICHT [kg/m²]</b>	<b>237,1</b>	<b>+30,0</b>
<b>U-WERT [W/m²K]</b>	<b>0,08</b>	<b>-0,024</b>

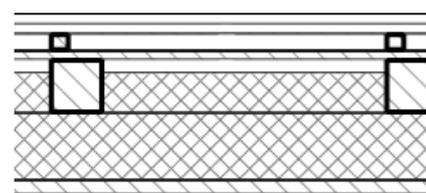


Abbildung 32: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (maximale Dämmung)

Tabelle 18: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (maximale Dämmung)

## Maximaler Holzanteil

Für jene Variante mit maximalen Holzanteil wurde beim Steildach die Montage-lattung auf der Innenseite um 4 cm erhöht. Durch diesen erhöhten Holzanteil wird (wie bei dem Wandaufbau mit maximalen Holzanteil) vor allem ein Effekt bei der Simulation der Innenraumtemperatur erwartet.

	DICKE [CM]	ÄNDERUNG [CM]
DACHSTEINE	3,00	
LATTUNG 3/5	3,00	
KONTERLATTUNG 5/5	5,00	
DACHPAPPE	0,20	
VOLLSCHALUNG	2,50	-
SPARREN	16,00	-
DAZW. HINTERLÜFTUNG	4,00	-
DAZW. MINERALFASERDÄMMUNG	12,00	-
MINERALFASERDÄMMUNG	10,00	-
DAMPFBREMSE	0,30	-
MONTAGELATTUNG	8,00	+4,00
GIPSKRTONPLATTEN	1,25	-
<b>GESAMT</b>	<b>49,30</b>	<b>+4,00</b>
<b>GEWICHT [kg/m<sup>2</sup>]</b>	<b>231,1</b>	<b>+24,0</b>
<b>U-WERT [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,101</b>	<b>-0,003</b>

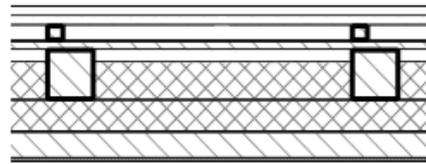


Abbildung 33: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparren-dach (maximaler Holzanteil)

Tabelle 19: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (maximaler Holzanteil)

### 3.3.3 Fenster

#### Vertikale Flügelfenster

Das in Tabelle 20 ersichtliche Fenster mit den Abmessungen 90x150 cm orientiert sich an der Geometrie und den Dimensionen der vorhandenen Fenster im Bestand.

DREIFACH-WÄRMESCHUTZGLAS	
HOLZ-ALU-RAHMEN	
GAS	Argon
FENSTERFLÄCHE	1,35 m <sup>2</sup>
GLASANTEIL	70 %
VERBUND	5,46 m

G-WERT	0,50
U-WERT VERGLASUNG	1,05 W/m <sup>2</sup> K
U-WERT RAHMEN	1,60 W/m <sup>2</sup> K
<b>U-WERT GESAMT</b>	<b>1,30 W/m<sup>2</sup>K</b>

Tabelle 20 : Flügelfenster 90x150 cm

Das Fenster für die Variante mit doppelten Fensteranteil ist in Tabelle 21 definiert. Dieses hat dank der doppelten breite von 180x150 cm die doppelte Glasfläche. Der U-Wert ist leicht besser als bei dem Fenster mit 90x150 cm, was auf die unterschiedlichen U-Werte von Verglasung und Rahmen zurückzuführen ist.

DREIFACH-WÄRMESCHUTZGLAS	
HOLZ-ALU-RAHMEN	
GAS	Argon
FENSTERFLÄCHE	2,70 m <sup>2</sup>
GLASANTEIL	70 %
VERBUND	5,46 m
G-WERT	0,50
U-WERT VERGLASUNG	1,05 W/m <sup>2</sup> K
U-WERT RAHMEN	1,60 W/m <sup>2</sup> K
<b>U-WERT GESAMT</b>	<b>1,26 W/m<sup>2</sup>K</b>

Tabelle 21: Flügelfenster 180x150 cm  
(2x Fensterflächenanteil)

## Dachfenster

In der Dachschräge werden Kippflügelfenster eingesetzt. Diese haben einen etwas kleineren G-Wert und weisen einen besseren U-Wert auf. Dies ist auf die bessere Verglasung zurückzuführen. Angenommen wurde diese, da in Dachschrägen im Allgemeinen höherwertige Fenster eingesetzt werden. Für die Meidlinger Hauptstraße 36 wurden Kippflügelfenster mit 90x120 cm verwendet. Höhere Fenster konnten nicht eingesetzt werden, da die untere Dachschräge nicht mehr Platz bietet.

DREIFACH-WÄRMESCHUTZGLAS	
HOLZ-ALU-RAHMEN	
GAS	Argon
FENSTERFLÄCHE	1,08 m <sup>2</sup>
GLASANTEIL	70 %
VERBUND	5,46 m

G-WERT	0,47
U-WERT VERGLASUNG	0,85 W/m <sup>2</sup> K
U-WERT RAHMEN	1,60 W/m <sup>2</sup> K
<b>U-WERT GESAMT</b>	<b>1,18 W/m<sup>2</sup>K</b>

Tabelle 22: Kippflügelfenster 90x120 cm

Für jene Varianten mit dem doppelten Fensteranteil, wurde wieder die Fensterbreite auf 180 cm verdoppelt. Der U-Wert verbessern sich auch hier leicht (siehe Tabelle 23) im Vergleich zur einfachen Fensterbreite.

DREIFACH-WÄRMESCHUTZGLAS	
HOLZ-ALU-RAHMEN	
GAS	Argon
FENSTERFLÄCHE	2,16 m <sup>2</sup>
GLASANTEIL	70 %
VERBUND	5,46 m
G-WERT	0,47
U-WERT VERGLASUNG	0,85 W/m <sup>2</sup> K
U-WERT RAHMEN	1,60 W/m <sup>2</sup> K
<b>U-WERT GESAMT</b>	<b>1,13 W/m<sup>2</sup>K</b>

Tabelle 23: Kippflügelfenster  
180x120 cm (2x Fensterflächenanteil)

Beim Objekt der Meidlinger Hauptstraße 42-44 kann durch das Pultdach mit kontinuierlicher Schräge ein höheres Fenster von 90x200 cm festgesetzt werden (siehe Tabelle 24).

DREIFACH-WÄRMESCHUTZGLAS	
HOLZ-ALU-RAHMEN	
GAS	Argon
FENSTERFLÄCHE	1,80 m <sup>2</sup>
GLASANTEIL	70 %
VERBUND	5,46 m
G-WERT	0,47
U-WERT VERGLASUNG	0,85 W/m <sup>2</sup> K
U-WERT RAHMEN	1,60 W/m <sup>2</sup> K
<b>U-WERT GESAMT</b>	<b>1,14 W/m<sup>2</sup>K</b>

Tabelle 24: Kippflügelfenster  
90x200 cm

Wie beim Objekt der Meidlinger Hauptstraße 36, wurde auch hier das Kippflügel-fenster mit der doppelten Fensterbreite definiert. Hier ist ebenfalls wieder ein et-was besserer U-Wert zu erkennen, desto größer das Fenster wird. Wie bei den Flügelfenstern ist dies durch den besseren U-Wert der Verglasung, im Vergleich zum Rahmen bedingt.

DREIFACH-WÄRMESCHUTZGLAS	
HOLZ-ALU-RAHMEN	
GAS	Argon
FENSTERFLÄCHE	3,60 m <sup>2</sup>
GLASANTEIL	70 %
VERBUND	5,46 m
G-WERT	0,47
U-WERT VERGLASUNG	0,85 W/m <sup>2</sup> K
U-WERT RAHMEN	1,60 W/m <sup>2</sup> K
<b>U-WERT GESAMT</b>	<b>1,11 W/m<sup>2</sup>K</b>

Tabelle 25: Kippflügel-fenster  
180x200 (2x Fensterflächenanteil)

### 3.4 Matrix

Um mögliche Varianten vergleichen zu können, wurde eine Matrix aufgestellt. In dieser sind die Kombinationen von Wänden und Dächern grau dargestellt. Außerdem wird ein unterschiedlicher Fensteranteil angesetzt, welcher in der Matrix in Blau gekennzeichnet ist. Dieser bezieht sich auf den Verglasungsanteil des Bestandgebäudes. Bei der Variante mit doppeltem Fensteranteil wurde die Breite der Fenster im Dachgeschoss verdoppelt. Weiters wurde wie in Tabelle 26 ersichtlich in Flach- und Walmdach unterteilt (grün/rot dargestellt).

Gebäude	Dachform	Glasfläche	Leichtbau	Massivbau
Meidlinger Hauptstraße 36	Flachdach	Wie Bestand	Wand mit Zellulosedämmung + Umkehrdach	Blockbohlenwand mit Zwischendämmung + Umkehrdach
			Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung + Umkehrdach	Std Massiv (25 + 15 cm EPS) + Umkehrdach
		2x Bestand	Wand mit Zellulosedämmung + Umkehrdach	Blockbohlenwand mit Zwischendämmung + Umkehrdach
			Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung + Umkehrdach	Std Massiv (25 + 15 cm EPS) + Umkehrdach
	Walmdach	Wie Bestand	Wand mit Zellulosedämmung + Sparrendach Hinterlüftet	Blockbohlenwand mit Zwischendämmung + Vollsparrendach (ohne Hinterlüftung)
			Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung + Sparrendach Hinterlüftet	Std Massiv (25 + 15 cm EPS) + Sargdeckel
		2x Bestand	Wand mit Zellulosedämmung + Sparrendach Hinterlüftet	Blockbohlenwand mit Zwischendämmung + Vollsparrendach (ohne Hinterlüftung)
			Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung + Sparrendach Hinterlüftet	Std Massiv (25 + 15 cm EPS) + Sargdeckel

Tabelle 26: Matrix Meidlinger Hauptstraße 36

Für die Meidlinger Hauptstraße 42-44 wurde dieselbe Matrix angewandt, nur, dass bei diesem Objekt statt dem Walmdach ein einfaches Pultdach angesetzt wurde (siehe Tabelle 27). Durch die Kombination der 4 definierten Aufstockungsvarianten (2 Leichtbau, 2 Massivbau) mit einem unterschiedlichen Verglasungsanteil und unterschiedlichen Dachformen, werden 16 Simulationen für das Objekt Meidlinger Hauptstraße 42-44 durchgeführt. Dadurch ergibt sich eine gute Datenbasis, um Aussagen zu den verschiedenen baulichen Maßnahmen treffen zu können.

Gebäude	Dachform	Glasfläche	Leichtbau	Massivbau
Meidlinger Hauptstraße 42-44	Flachdach	Wie Bestand	Wand mit Zellulosedämmung + Umkehrdach	Blockbohlenwand mit Zwischendämmung + Umkehrdach
			Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung + Umkehrdach	Std Massiv (25 + 15 cm EPS) + Umkehrdach
		2x Bestand	Wand mit Zellulosedämmung + Umkehrdach	Blockbohlenwand mit Zwischendämmung + Umkehrdach
			Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung + Umkehrdach	Std Massiv (25 + 15 cm EPS) + Umkehrdach
	Pultdach	Wie Bestand	Wand mit Zellulosedämmung + Sparrendach Hinterlüftet	Blockbohlenwand mit Zwischendämmung + Vollsparrendach (ohne Hinterlüftung)
			Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung + Sparrendach Hinterlüftet	Std Massiv (25 + 15 cm EPS) + Sargdeckel
		2x Bestand	Wand mit Zellulosedämmung + Sparrendach Hinterlüftet	Blockbohlenwand mit Zwischendämmung + Vollsparrendach (ohne Hinterlüftung)
			Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung + Sparrendach Hinterlüftet	Std Massiv (25 + 15 cm EPS) + Sargdeckel

Tabelle 27: Matrix Meidlinger Hauptstraße 42-44

### 3.5 Aufstockungsmodelle

Gemäß der Matrix (Tabelle 26 und Tabelle 27) wurden 8 verschiedene Aufstockungen modelliert (4 für jedes Gebäude). Diese setzen sich aus Flach-, Steildach und unterschiedlichem Fensterflächenanteil zusammen. Erstellt wurden die Modelle in ArchiCAD.

Bei dem Gebäude der Meidlinge Hauptstraße 36 konnte ein Höhenpotential von 13,3 m bestimmt werden. Durch den Abtrag des nicht ausgebauten Dachstuhles wurde eine Aufstockung von 4 Geschossen beim Flachdach möglich. Beim Walm-dach 3 Geschosse plus ein ausgebautes Dachgeschoss. Die neuen Geschosse sind in Abbildung 34, Abbildung 35, Abbildung 37 und Abbildung 36 grün dargestellt.



Abbildung 34: Modell Meidl. Hauptstr. 36 Flachdach

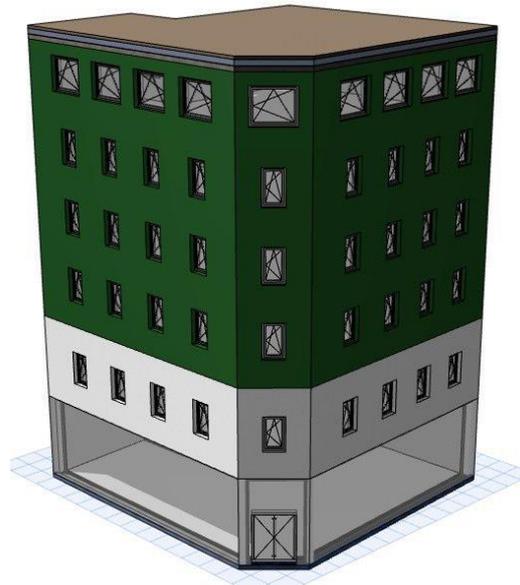


Abbildung 35: Modell Meidl. Hauptstr. 36 Flachdach (2x Fenster)

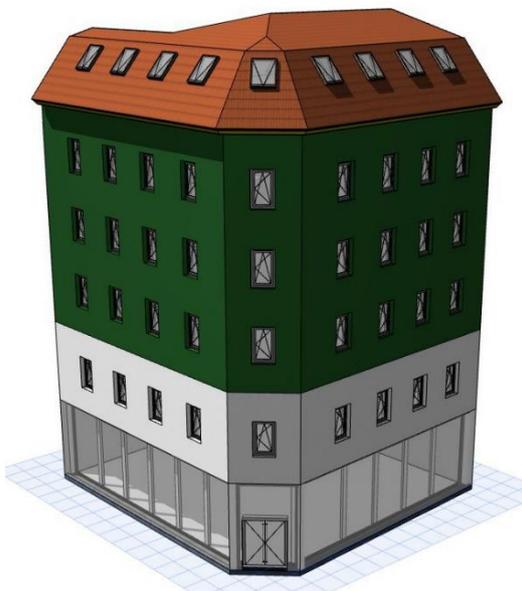


Abbildung 37: Modell Meidl. Hauptstr. 36 Walmdach

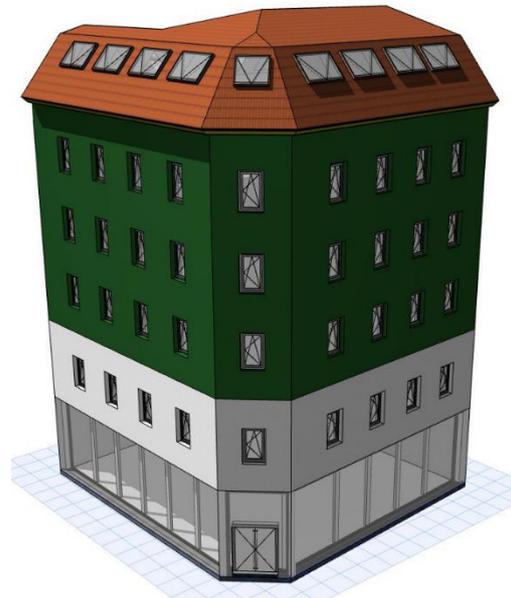


Abbildung 36: Modell Meidl. Hauptstr. 36 Walmdach (2x Fenster)

Das Gebäude der Meidlinger Hauptstraße 42-44 hat einen länglichen Grundriss und an beiden kurzen Seiten schließen Wohnhäuser an. Das Höhenpotential wurde für dieses Gebäude mit 9,3 m bestimmt. Dadurch konnte eine Aufstockung von 3 Geschossen modelliert werden, eines weniger als bei der Meidlinger Hauptstraße 36. Abbildung 38 zeigt die Aufstockung mit einem Flachdach und einem Fensteranteil wie es der Bestand aufweist. In Abbildung 39 ist die doppelte Fensterfläche im Dachgeschoss erkennbar. Aufgrund des länglichen Grundrisses wurde bei der Wahl des Steildaches auf ein Pultdach zurückgegriffen. Dieses ist in Abbildung 40 mit einem Fensteranteil, die im Bestand zu sehen und in Abbildung 41 mit dem doppelt so großen Fensterflächenanteil.

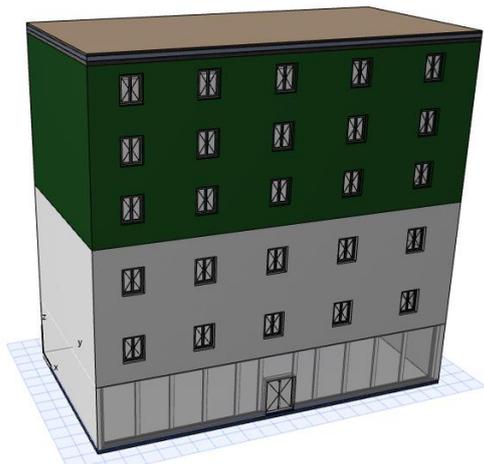


Abbildung 38: Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 Flachdach

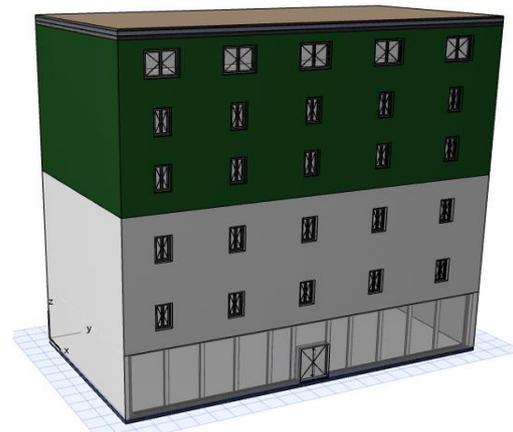


Abbildung 39: Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 Flachdach (2x Fenster)

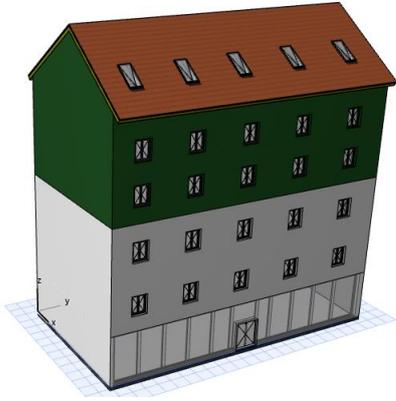


Abbildung 40: Modell Meidl.  
Hauptstr. 24-44 Pulldach

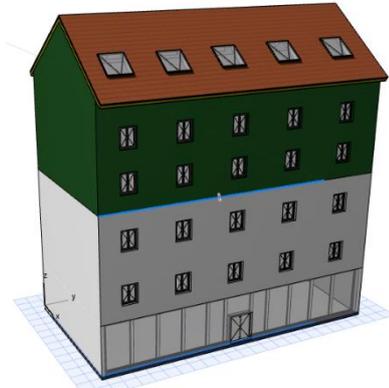


Abbildung 41: Modell Meidl.  
Hauptstr. 42-44 Pulldach  
(2x Fenster)

### 3.6 ArchiPHYSIK Eingabe

Bei der Eingabe in ArchiPHYSIK wurde zunächst das ArchiCAD Modell importiert und die geographische Lage festgelegt. Die Höhe wurde leicht angepasst (nach den Festpunkten von der Stadt Wien). Nach Eingabe von Lage und Höhe, wurden die einzelnen Bauteile definiert. Die Eingabe erfolgte mithilfe der im Programm verfügbaren Materialbibliothek. Notwendig war die Eingabe, da nur ein Modell in ArchiCAD erstellt wurde, jedoch für die Berechnung verschiedene Aufbauten (Wand und Dach) benötigt wurden. Im nächsten Schritt wurden die Flächen eingegeben beziehungsweise kontrolliert. Hierbei ist nicht nur die Größe und Orientierung der Flächen wichtig, sondern es werden auch die jeweiligen Bauteile mit diesen Flächen verknüpft. In ArchiPHYSIK ist somit kein visuelles 3D-Modell sichtbar, sondern die Berechnung wird rein anhand der in die Listen eingegebenen Daten und deren Verknüpfungen durchgeführt.

### 3.7 Thesim 3D Simulation

Für die Simulation der Innenraumtemperatur wurde nur ein Raum (der vermutlich ungünstigste) herangezogen. Aufgrund der Geometrie der Meidlinger Hauptstraße 36 wurde der Raum an der südöstlichen Ecke gewählt. Durch die 3 Fenster, die in diesem Raum vorhanden sind, ist eine hohe Sonneneinstrahlung gegeben.

Der Raum hat eine Fläche von  $22,54 \text{ m}^2$  und eine Geometrie, welche in Abbildung 42 dargestellt ist.

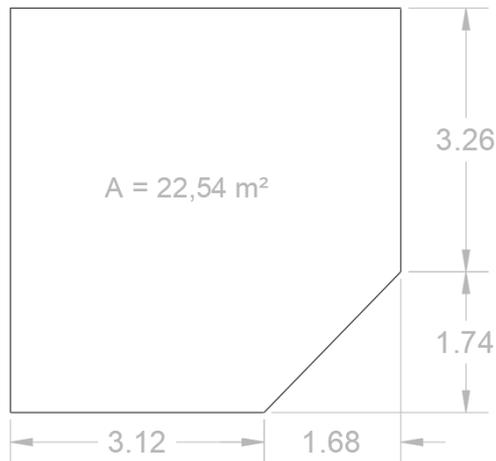


Abbildung 42: Thesim-Grundriss Meidl. Hauptstr. 38

Wie in der Matrix bestimmt, wird der Raum einmal mit Fenstern mit Abmessungen von  $90 \times 150 \text{ cm}$  und einmal mit der doppelten Fensterbreite ( $180 \times 150 \text{ cm}$ ) ausgestattet (siehe Abbildung 43 und Abbildung 44).

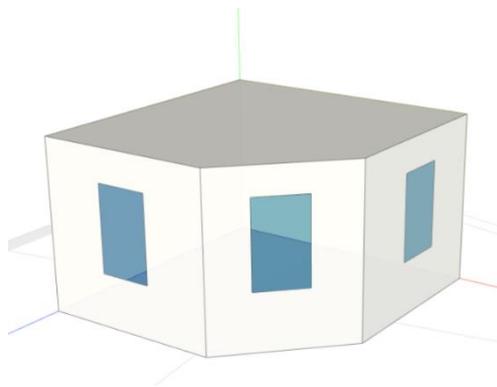


Abbildung 43: Thesim-Modell  
Meidl. Hauptstr. 38

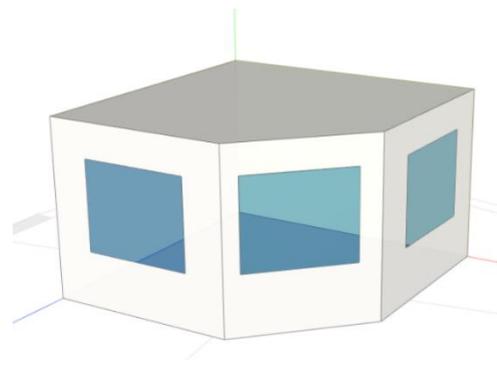


Abbildung 44: Thesim-Modell  
Meidl. Hauptstr. 38 (2x Fenster)

Durch die längliche Geometrie des Gebäudes der Meidlinger Hauptstraße 42-44 wurden hier auch längliche Räume angenommen. Um einen Vergleich der beiden Objekte ziehen zu können, wurden die Abmessungen des Raumes so gewählt, dass dieser ebenfalls  $22,54 \text{ m}^2$  hat.

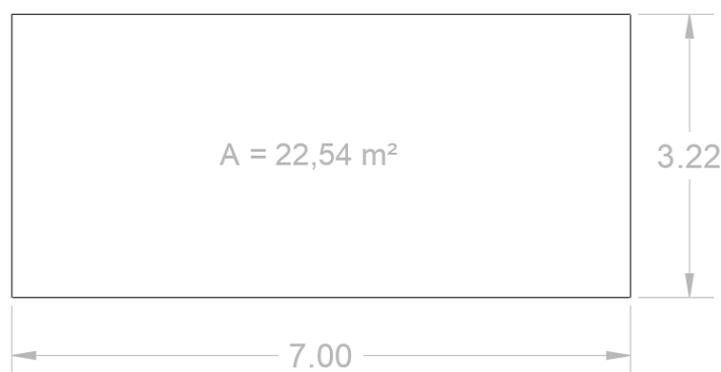


Abbildung 45: Thesim-Grundriss Meidl. Hauptstr. 42-44

Der Raum grenzt nur mit einer Wand an die Außenseite. Die anderen 3 Wände sind als Innenwände (Rigips) ausgeführt und in Abbildung 47 und Abbildung 46 gelb dargestellt. Ebenso ist die Bodenplatte als Innenbauteil eingegeben. Da sich der Raum im Dachgeschoss befindet, wurde die Deckenplatte als ein an die Außenseite grenzendes Flachdach eingegeben.

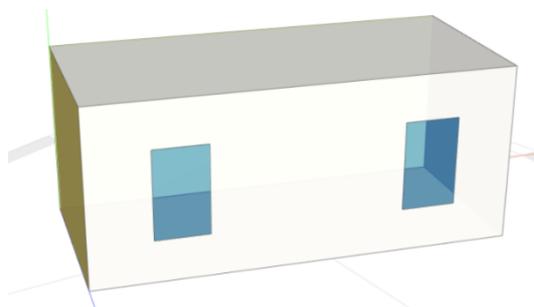


Abbildung 47: Thesim-Modell Meidl. Hauptstr. 42-44

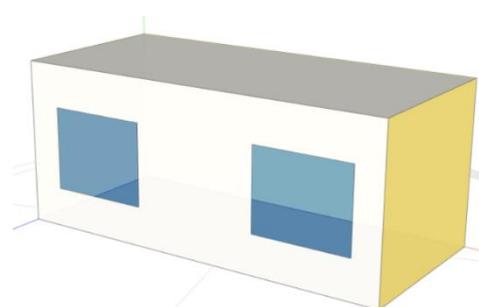


Abbildung 46: Thesim-Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 (2xFenster)

Um wie in der Matrix definiert auch die unterschiedlichen Dacharten untersuchen zu können, wurden die Modelle auch mit Steildach eingegeben. Leider war es aufgrund der Raumgeometrie bei dem Modell der Meidlinger Hauptstraße 36 nicht möglich, ein Steildach in dem Programm Thesim 3D anzusetzen. Das Modell der Meidlinger Hauptstraße 42-44 mit Pultdach, ist hingegen in Abbildung 48 und Abbildung 49 zu sehen. Da bei beiden Untersuchungsobjekten mit denselben Wand- und Dachaufbauten gearbeitet wird, ist auch eine Aussage nur anhand des Modells der Meidlinger Hauptstraße 42-44 möglich.

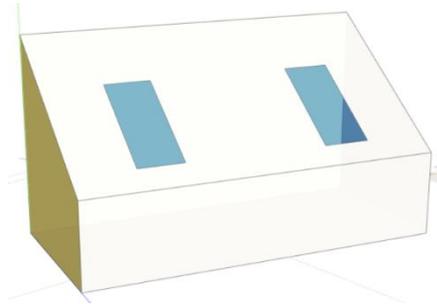


Abbildung 48: Thesim-Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 mit Pultdach

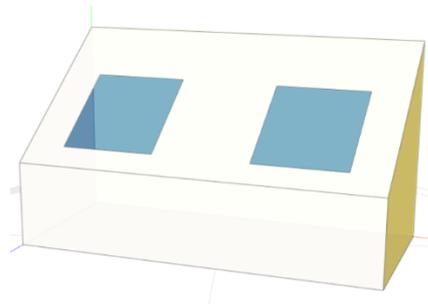


Abbildung 49: Thesim-Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 mit Pultdach (2xFenster)

Wie bei ArchiPHYSIK wurde in Thesim 3D die richtige Lage und Höhe des Untersuchungsgebietes angegeben. Thesim 3D wählt anhand der Lage einen Temperaturverlauf für einen heißen Sommertag aus, welcher mit dem 15. Juli angegeben wird. Die Tageshöchsttemperatur wird mit 30,2 °C um 16 Uhr angenommen. Anhand der eingegebenen Bauteile und deren Materialien, der Orientierung und sonstigen Eigenschaften (z.B. Lüftung in der Nacht) wird die in Abbildung 50 gelb dargestellte Tagesganglinie der Innentemperatur ausgegeben.

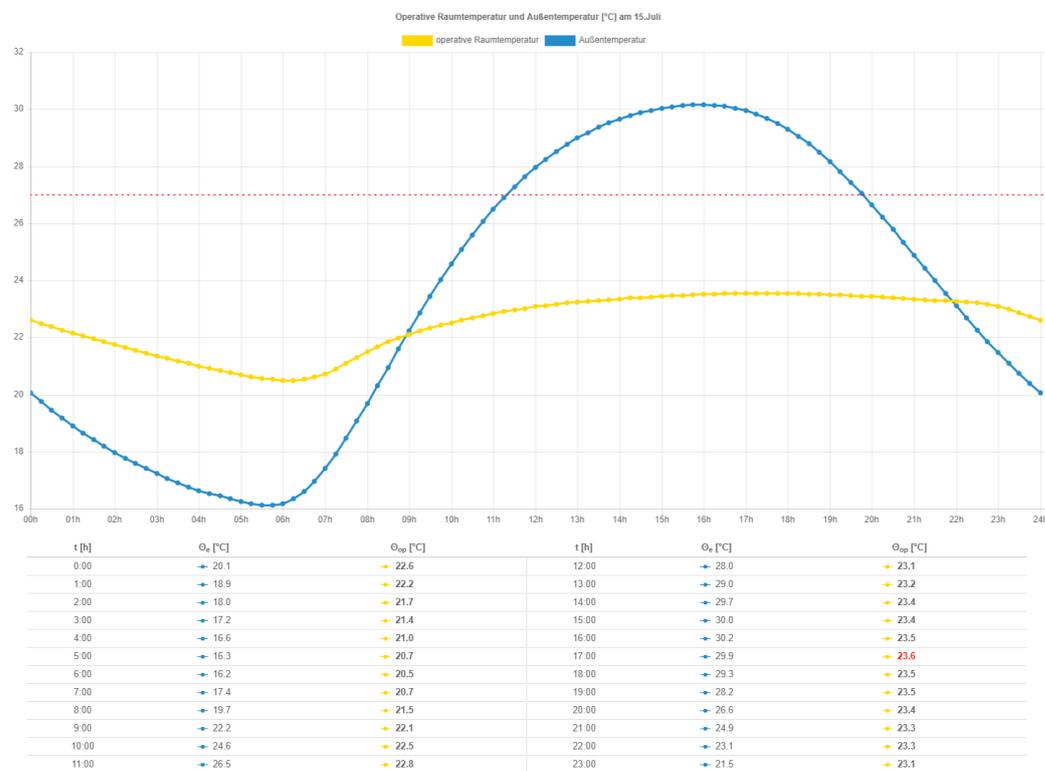


Abbildung 50: Simulation Thesim 3D (Quelle: Thesim 3D)

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Wand- und Dachaufbauten

Zum Vergleich der Wand- und Dachaufbauten sind in Abbildung 51 sowohl der Heizwärmebedarf (HWB), als auch die Innenraumtemperatur für die Meidlinger Hauptstraße 36 dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass die konventionelle Stahlbetonwand mit 15 cm Wärmedämmung den niedrigsten Wert beim HWB aufweisen kann. Beim Leichtbau kann die hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung einen minimal niedrigeren Wert als die reine Holztafelwand mit Zellulosedämmung erreichen. Betrachtet man die Ergebnisse fürs Walmdach, so ist zu erkennen, dass alle Varianten eine deutliche Reduktion beim HWB im Vergleich zum Flachdach aufweisen können. Vor allem das hinterlüftete Sparrendach sticht hier hervor und so schafft es die Kombination von hinterlüfteter Wand mit Holzbeplankung und dem hinterlüfteten Sparrendach, den insgesamt niedrigsten HWB zu erzielen.

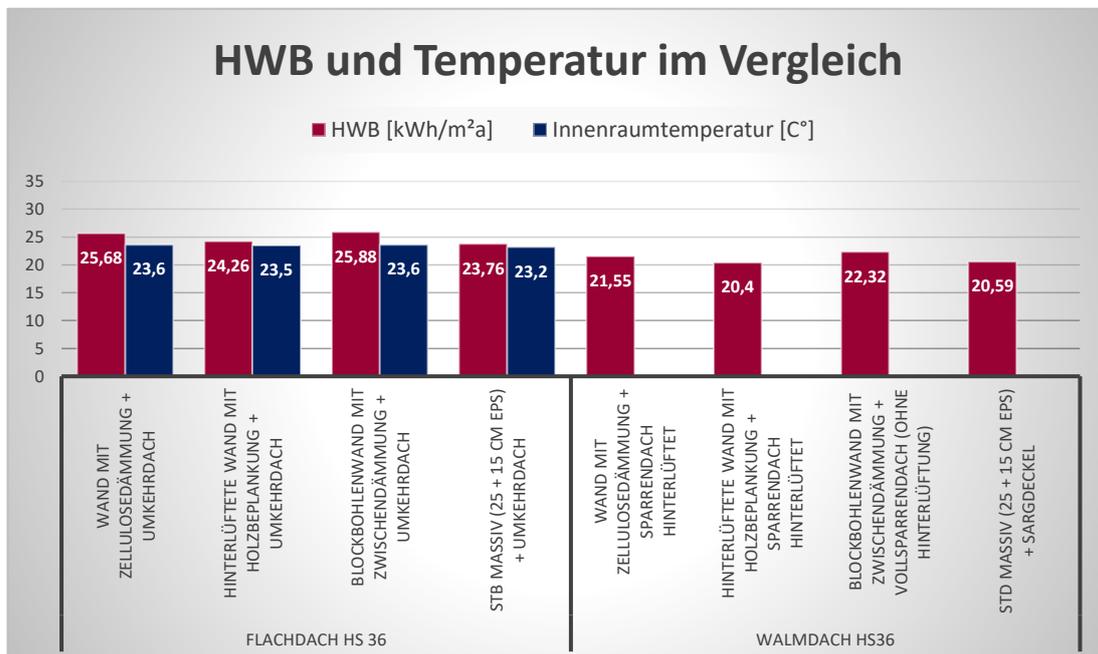


Abbildung 51: HWB & Temperatur Meidlinger Hauptstraße 36

Bei der Simulation der Innenraumtemperatur schneiden die drei Holzwände nahezu gleich ab. Die hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung ist hier um nur 0,1 K unter den beiden anderen Aufbauten. Die Stahlbetonwand kann hier aufgrund der hohen Masse den Wert nochmal um 0,3 K (auf 23,2 °C) drücken. Eine Simulation

für das Walmdach ist mit Thesim 3D aufgrund des komplexen Grundrisses nicht möglich.

Betrachtet man die Meidlinger Hauptstraße 42-44 (Abbildung 52), so ist zu erkennen, dass die Blockbohlenwand den niedrigsten Heizwärmebedarf unter den Holzwänden erreicht. Bei den Kombinationen mit den Steildächern schafft es ebenfalls die Blockbohlenwand mit dem Vollsparrendach, den niedrigsten Heizwärmebedarf aufzuweisen.

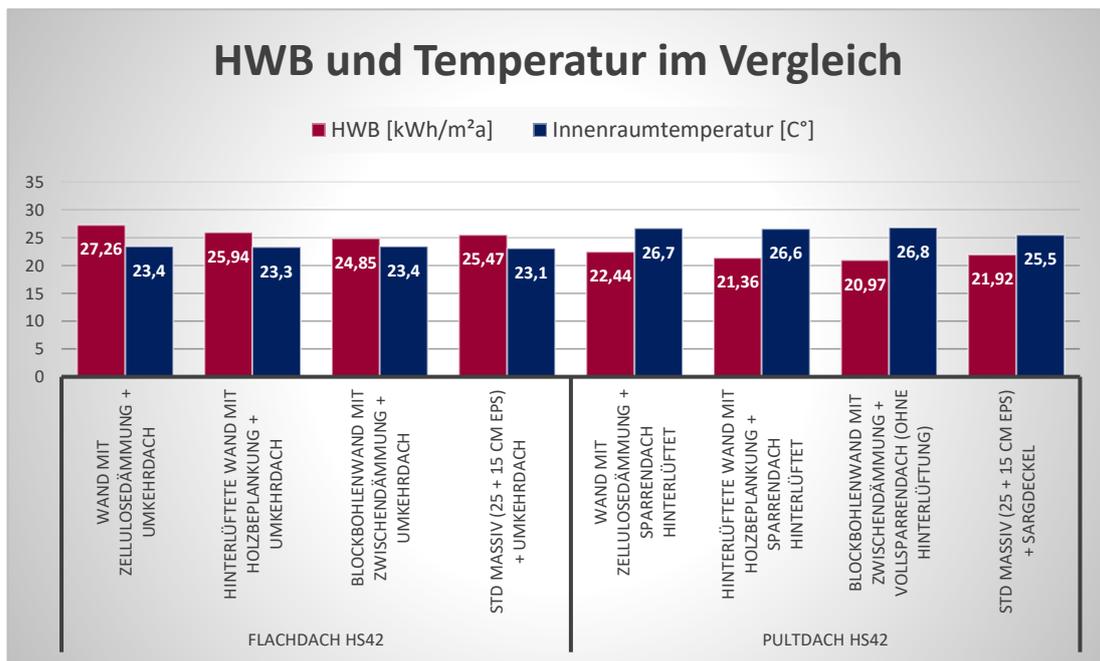


Abbildung 52: HWB & Temperatur Meidlinger Hauptstraße 42-44

Bei der Simulation der Innenraumtemperatur konnten hingegen wie bei der Meidlinger Hauptstraße 36, die hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung den niedrigsten Wert bei den Holzwänden erzielen. Aufgrund des einfacheren Grundrisses war es auch möglich, die Simulation für das Steildach durchzuführen. Dabei schneidet die Stahlbeton-Massivwand mit Sargdeckel am besten ab. Dies ist auf die hohe Masse zurückzuführen, da die Sargdeckelkonstruktion knapp das dreifache Gewicht, und die Stahlbetonmassivwand das drei- bis sechsfache Gewicht im Vergleich zu den anderen Varianten aufweist.

Allgemein ist zu erkennen, dass es nur sehr kleine Unterschiede beim Heizwärmebedarf gibt. Es kann jedoch nicht der beste Wandaufbau definiert werden, da zwischen den zwei Untersuchungsobjekten, Unterschiede in den Reihungen aufgetreten sind. Es kommt daher nicht nur auf die Kombination von Materialien und

verschiedenen Wand- und Dachaufbauten an, sondern es ist abhängig von der jeweiligen Geometrie des Gebäudes. Dennoch kann das gute Abschneiden der Stahlbetonwand mit 15 cm EPS festgehalten werden. Die Holzwände bewegen sich jedoch in einem ähnlichen Bereich. Betrachtet man die Dächer, so sieht man den Einfluss des hohen U-Wertes des Umkehrdaches. Bei allen simulierten Varianten sieht man eine deutliche Reduktion des Heizwärmebedarfs vom Flachdach hin zum Steildach. Die kleinste Reduktion ist dabei beim Sargdeckel zu erkennen. Dieser hat einen hohen U-Wert und schneidet daher auch am schlechtesten bei den Steildächern ab. Nahezu kein Unterschied lässt sich bei den Sparrendächern erkennen. Das hinterlüftete Sparrendach schneidet hier nur leicht besser ab, als jenes ohne Hinterlüftung.

Betrachtet man die Temperatur, so schneidet bei beiden Objekten die Stahlbetonwand am besten ab. Die Unterschiede bewegen sich jedoch nur in einem sehr kleinen Bereich von 0,4 K. Es können somit alle Wandaufbauten aus Holz ein fast gleichwertiges Ergebnis wie die konventionelle Stahlbetonwand liefern. Bei den Dächern zeigt sich ein entgegengesetztes Bild im Vergleich zum HWB. So ist bei allen Varianten ein deutlicher Anstieg der Temperatur vom Flachdach zum Steildach zu erkennen. Der niedrigste Anstieg wurde beim Sargdeckel erhoben. Das Gewicht des Sargdeckels ist jedoch ähnlich hoch jenem des Flachdaches. Bei den Sparrendächern gibt es wieder nur geringe Unterschiede, wobei wie beim HWB das hinterlüftete Sparrendach leicht besser abschneidet.

## 4.2 Einfluss von Fensterflächen

Jede Kombination von Dach- und Wandaufbau wurde einmal mit einem Fensteranteil wie im Bestand simuliert und einmal mit doppelter Fensterbreite, sprich mit dem doppelten Verglasungsanteil. In Abbildung 53 bis Abbildung 58 ist daher der Einfluss der doppelten Fensterfläche aufgezeigt. Dabei ist sowohl beim Heizwärmebedarf als auch bei der Innenraumtemperatur eine Verschlechterung bei der doppelten Verglasungsfläche zu erkennen.

Für den Flachdachaufbau der Meidlinger Hauptstraße 36 ist in Abbildung 53 nur ein leichter Anstieg des HWB zu erkennen (von im Schnitt  $0,52 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 2,11 \%$ ). Hingegen steigt die simulierte Temperatur im Innenraum wie in Abbildung 54 zu sehen deutlich an. Diese liegt beim doppelten Fensteranteil im Schnitt um 1,8 K (7,5 %) höher.

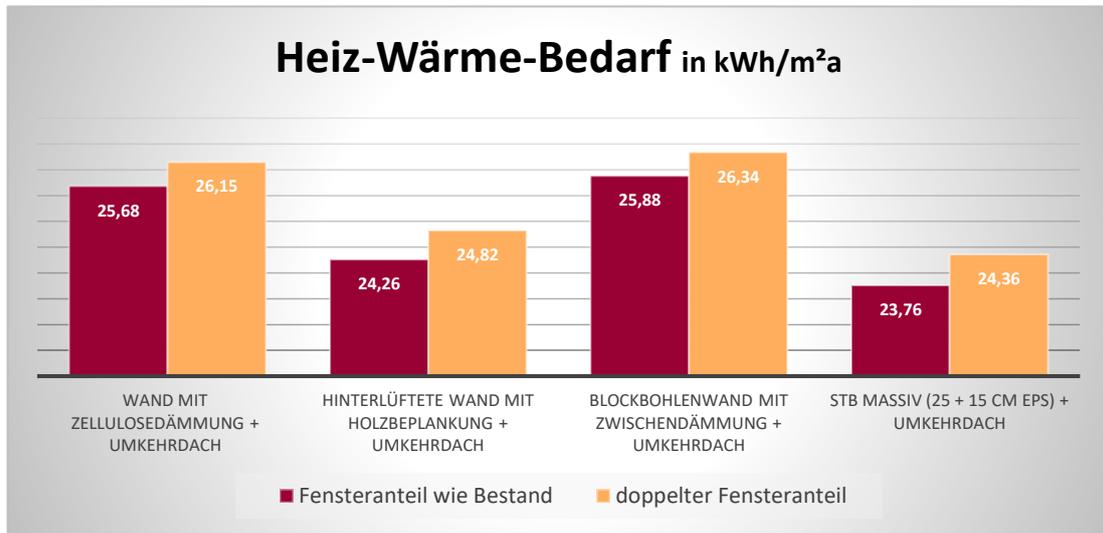


Abbildung 53: HWB Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 36, Flachdach)

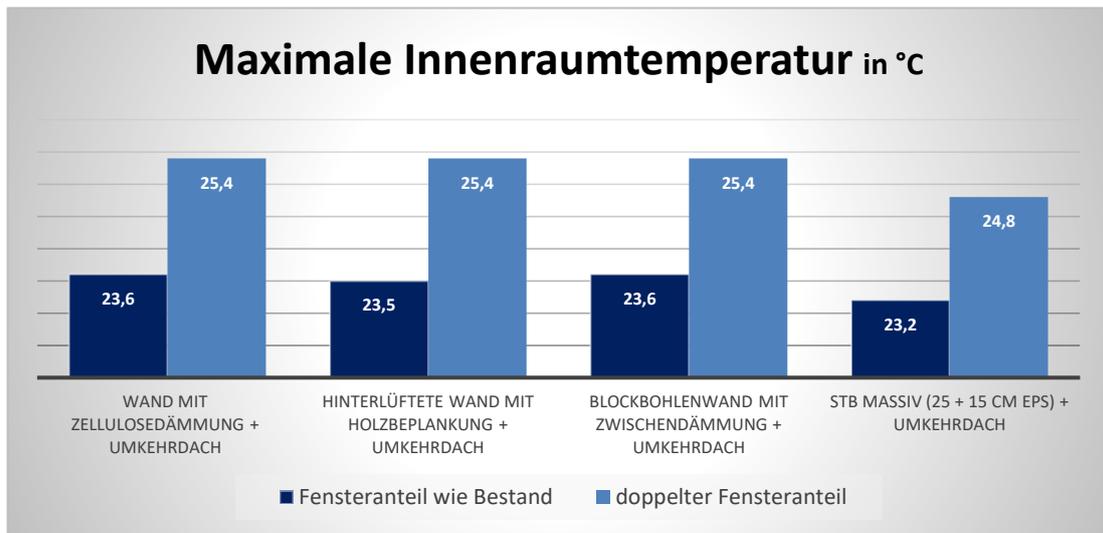


Abbildung 54: Innenraumtemperatur-Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 36, Flachdach)

Betrachtet man den Flachdachaufbau der Meidlinger Hauptstraße 42-44, so sieht man in Abbildung 55 einen stärkeren Anstieg des HWB, während in Abbildung 56 ein kleinerer Anstieg der Innenraumtemperatur zu erkennen ist (im Vergleich zur Meidlinger Hauptstraße 36). Der Heizwärmebedarf steigt im Schnitt um 0,63 kWh/m²a (2,42 %), die Innenraumtemperatur hingegen um 1,1 K (4,83 %).

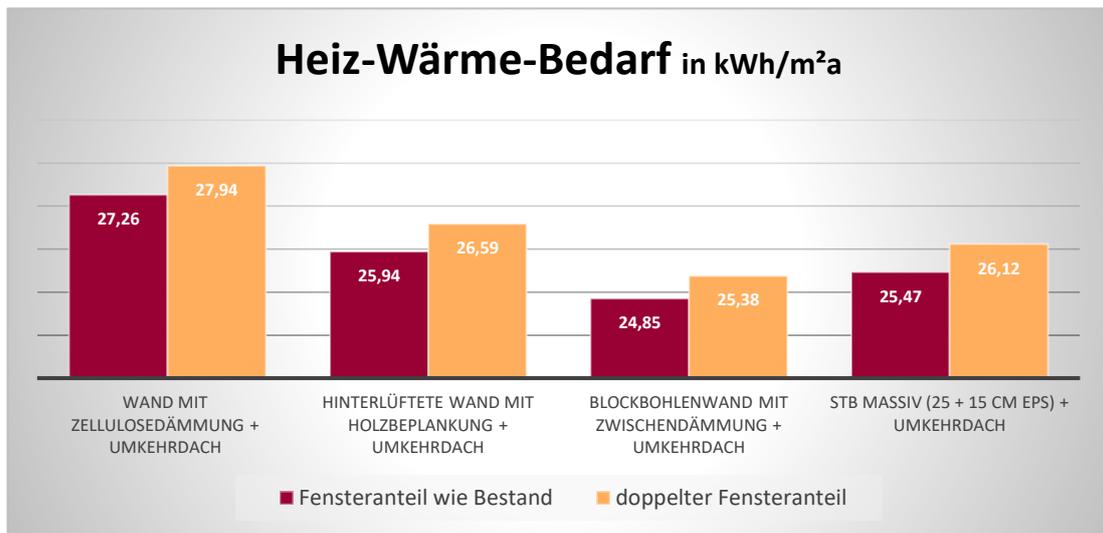


Abbildung 55: HWB Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 42-44, Flachdach)

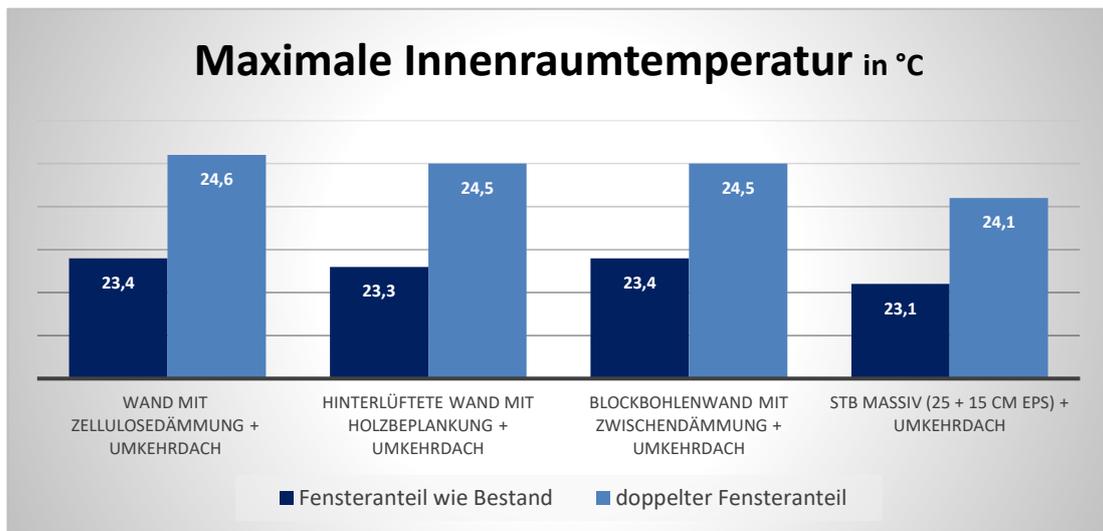


Abbildung 56: Innenraumtemperatur-Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 42-44, Flachdach)

Beim Steildach ist ein kleinerer Anstieg des HWB ( $0,88 \text{ kWh/m}^2\text{K} = 0,19 \%$ ) zu erkennen (siehe Abbildung 57). Dies kann den besseren Fenstern (siehe Kapitel 3.3.3), welche nur im Steildach verwendet wurden, geschuldet sein. Bei der Innenraumtemperatur ist hingegen der größte Anstieg unter den Varianten zu erkennen ( $4,2 \text{ K} = 15,70 \%$ ). Die Kippflügel Fenster beim Steildach weisen allerdings eine deutlich größere Fläche auf. Dementsprechend ergibt sich bei einer Verdoppelung des Fensteranteils auch ein größerer Zuwachs.

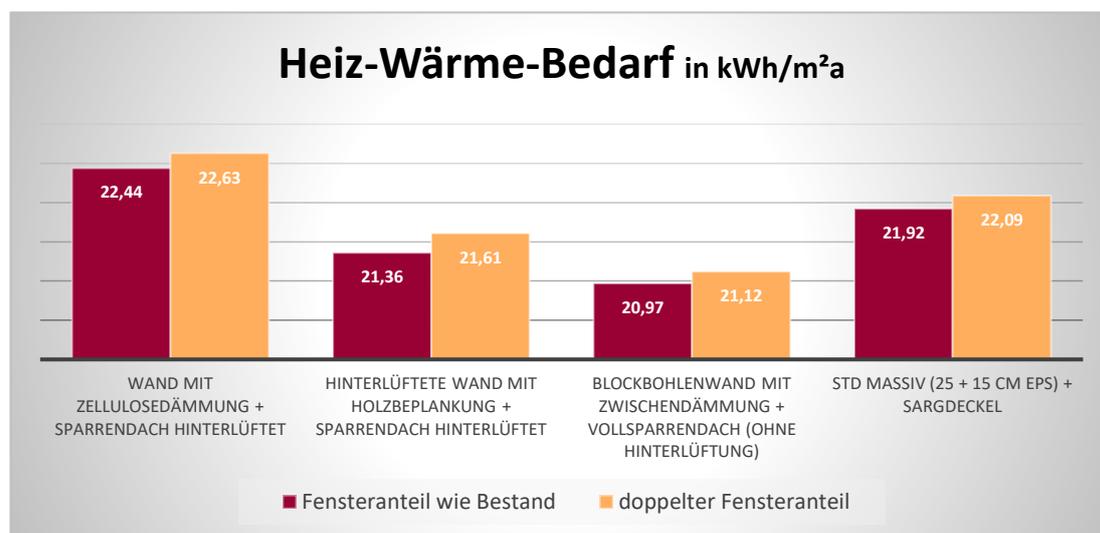


Abbildung 57: HWB Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 42-44, Pultdach)

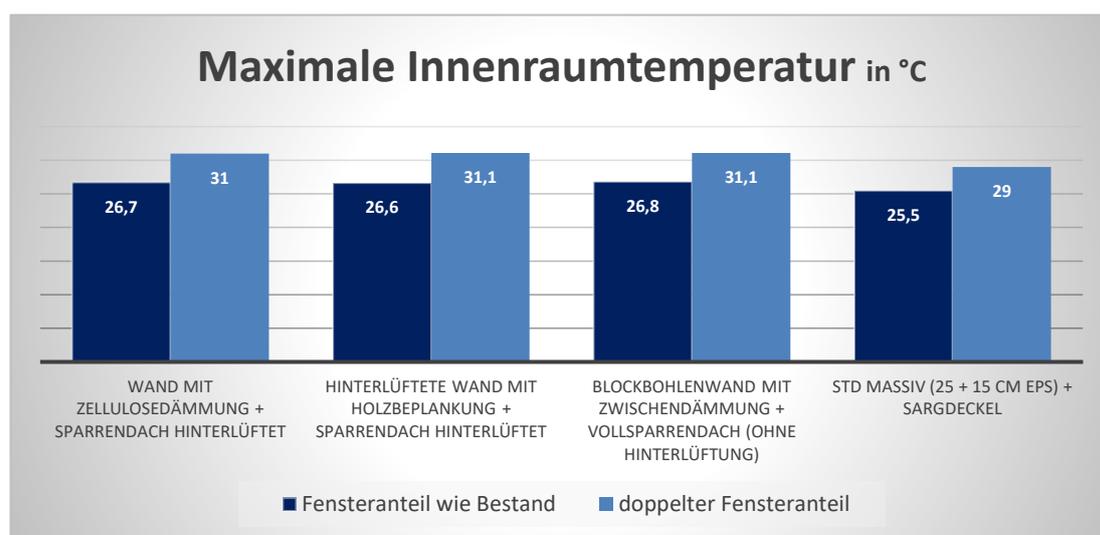


Abbildung 58: Innenraumtemperatur-Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 42-44, Pultdach)

Allgemein ist festzuhalten, dass mit einem größeren Fensteranteil eine Verschlechterung der Situation beim HWB und bei der Innenraumtemperatur einhergeht. Der negative Effekt beim HWB ist jedoch deutlich geringer und kann durch hochwertigere Fenster nochmal reduziert werden. Bei der Innenraumtemperatur kann die Vergrößerung der Fensterfläche hingegen nicht durch bessere Fenster

wettgemacht werden. Auch die Positionierung in der Dachschräge oder in der vertikalen Wand macht einen großen Unterschied. So ist ein deutlich höherer Anstieg bei einer schrägen Anordnung zu erkennen.

### 4.3 Beschattung durch Rollos

Neben den verschiedenen Aufbauten (Wand und Dach) und der Variation der Fensterfläche wurde auch der Einfluss von Außenjalousien mit einem  $F_c$ -Wert von 0,27 untersucht. Die Verwendung wurde von 8 bis 20 Uhr angesetzt.

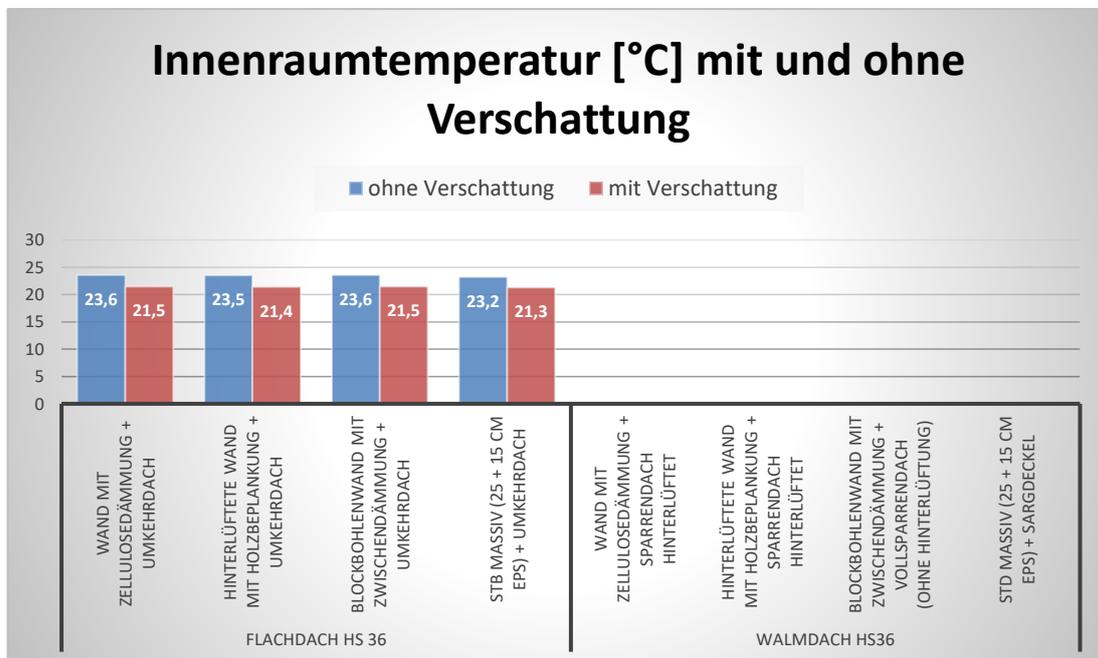


Abbildung 59: Innenraumtemperatur mit und ohne Verschattung (Meidlinger Hauptstraße 36)

Bei dem Objekt der Meidlinger Hauptstraße 36 konnte beim Flachdach durch die Installation von Außenrollos eine Reduktion der Innenraumtemperatur um im Schnitt 2,0 K erreicht werden (siehe Abbildung 59). Dies entspricht einer Reduktion um 8,73 %. Das Walmdach konnte aufgrund der komplexen Geometrie des Daches nicht simuliert werden.

Bei der Meidlinger Hauptstraße 42-44 wird beim Flachdach mit 1,7 K eine ähnliche Reduktion wie bei der Meidlinger Hauptstraße 36 erreicht. Beim Pultdach hingegen fällt die Reduktion mit im Schnitt 4,4 K (16,55 %) deutlich höher aus. Durch

die außenliegenden Jalousie wird die durch die schräge Anordnung erhöhte Sonneneinstrahlung fast zur Gänze abgefangen und es werden nur gering höhere Werte als beim Flachdach erreicht.

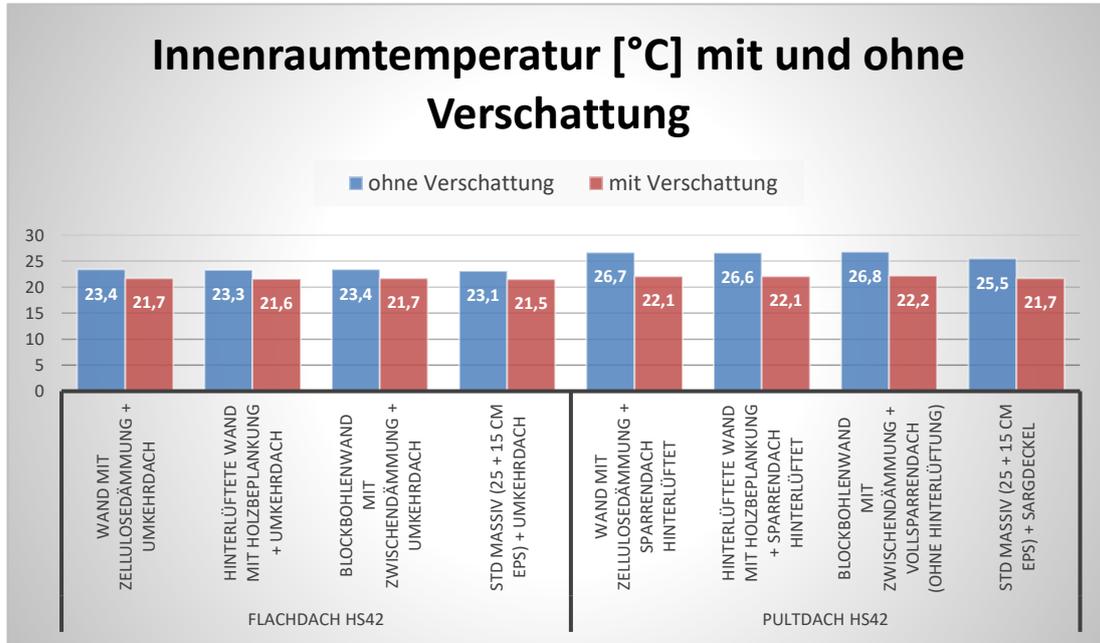


Abbildung 60: Innenraumtemperatur mit und ohne Verschattung (Meindlinger Hauptstraße 42-44)

Abbildung 61 zeigt, dass außenliegende Rollos den Einfluss der doppelten Fensterfläche mehr als kompensieren können. Trotz der doppelten Fensterfläche kann bei Außenrollos eine Reduktion von im Schnitt 1,5 K (Flachdach) bzw. 2,8 K (Pultdach) erreicht werden. Der Einfluss der Verschattung auf die Innenraumtemperatur ist daher noch höher als jener der Fensterfläche.

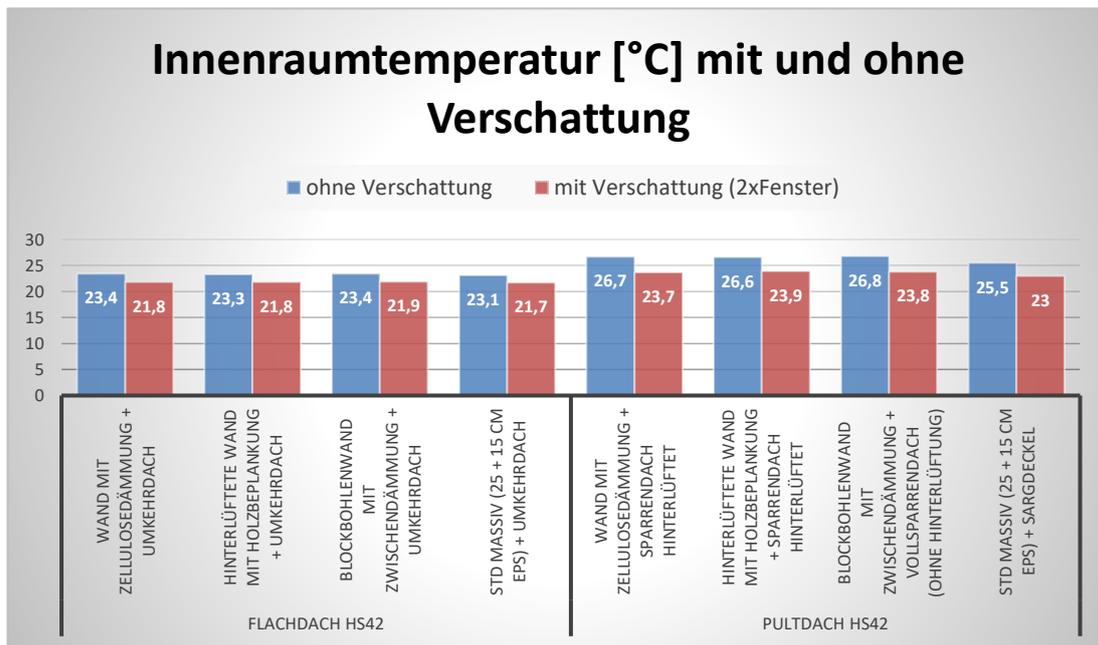


Abbildung 61: Vergleich von Innenraumtemperatur bei Fensteranteil wie Bestand mit doppeltem Fensteranteil und Verschattung (Meidlinger Hauptstraße 42-44)

## 4.4 Zusätzliche Varianten

Die Variante mit der einfachen Holzwand mit Zellulosedämmung und einem Umkehrdach wurde auf die minimalen Anforderungen bei der Dämmung reduziert. Da sich das Dach bereits an der oberen Grenze des gesetzlich vorgeschriebenen U-Wertes befindet, wurde die Dämmung der Wand so weit reduziert, dass diese einen U-Wert von  $0,225 \text{ W/m}^2\text{K}$  aufweist und die gesamte Aufstockung einen HWB von  $27,48 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Die Obergrenze des HWB für die Aufstockung der Meidlinger Hauptstraße 36 liegt bei  $27,51 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

Um den Einfluss der Dämmung auch bei einem Steildach darstellen zu können, wurde als weitere Variante die Holzwand mit Zellulosedämmung und dem hinterlüfteten Sparrendach bei dem Gebäude der Meidlinger Hauptstraße 42-44 herangezogen. Diese wurde ebenfalls mit der minimal zulässigen Dämmung ausgeführt, was zu einem HWB von  $28,11 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  führt (gesetzliche Mindestanforderung =  $28,17 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ). Erreicht wurde dies durch eine Reduktion der Dämmung, und daraus resultierenden Erhöhung des U-Wertes, sowohl beim Dach als auch beim Wandaufbau.

Neben dieser minimalen Variante wurde auch eine Variante mit sehr dicker Dämmung simuliert. Durch eine deutliche Erhöhung der Dämmung (sowohl bei der Wand als auch beim Flachdach) konnte der HWB bei der Meidlinger Hauptstraße 36 auf 21,09 kWh/m<sup>2</sup>a reduziert werden. Beim Objekt Meidlinger Hauptstraße 42-44 (mit Pultdach) konnte dieser Wert sogar auf 18,65 kWh/m<sup>2</sup>a gesenkt werden.

Holz hat eine sehr hohe spezifische Wärmekapazität. Daher wurde eine Variante mit einer extra dicken Holzbeplankung untersucht. Beim Umkehrdach der Meidlinger Hauptstraße 36 wurde diese nur bei dem Wandaufbau angebracht. Bei dem hinterlüfteten Sparrendach (Meidlinger Hauptstraße 42-44) wurde auch die Latung beim Dach (innenliegend) um 5 cm erhöht. Der HWB liegt nur leicht unter der unveränderten Standardvariante (0,41 bzw. 0,42 kWh/m<sup>2</sup>a).

Betrachtet man die Innenraumtemperatur, so sieht man nur 0,1 K (Flachdach) und 0,2 K (Pultdach) Unterschied zwischen den einzelnen Varianten. Zwischen jenen mit einer extra starken Dämmung, welche einen deutlich niedrigeren HWB bewirkt, und jener mit extra hohem Holzanteil, ist überhaupt kein Unterschied bei der Innenraumtemperatur zu erkennen.

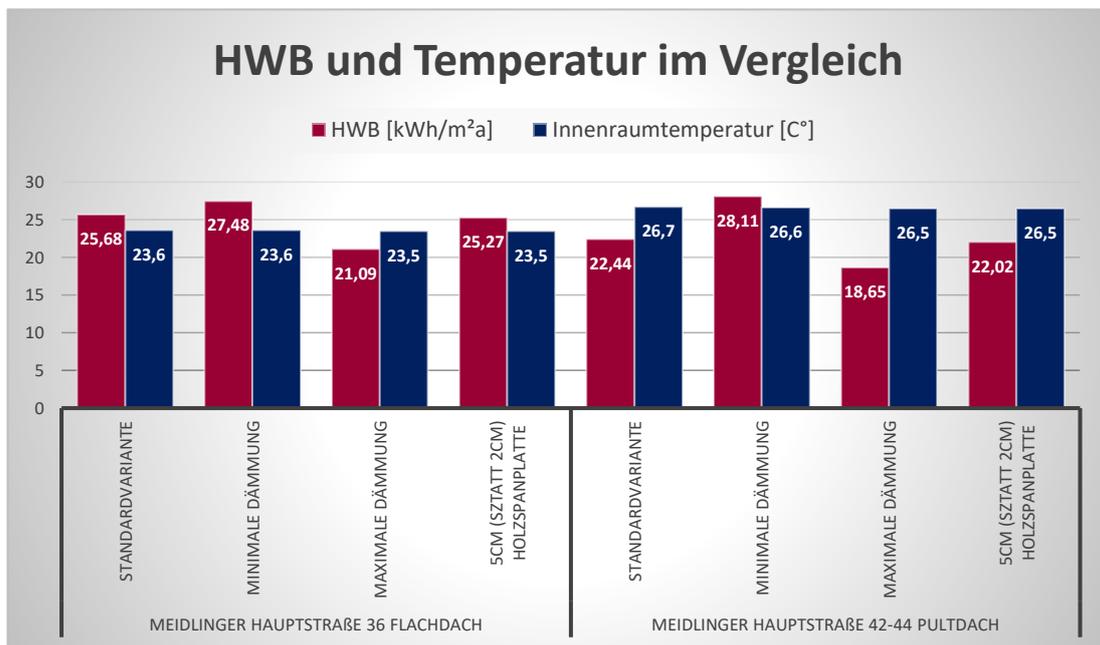


Abbildung 62: Vergleich zusätzlicher Varianten (minimale und maximale Dämmung, maximaler Holzanteil)

## 5 Diskussion

Der Unterschied zwischen den Wandaufbauten spiegelt sich am ehesten im HWB wider. Bei der Temperatur hat die Materialwahl hingegen nur eine untergeordnete Rolle. Nackler (2017) stellte fest, dass eine Installationsebene, Innendämmung oder eine abgehängte Decke einen negativen Einfluss auf die Wärmespeicherfähigkeit hat. Dieser Effekt konnte jedoch nicht beobachtet werden, obwohl bei der hinterlüfteten Wand mit Holzbeplankung eine Installationsebene (aufgefüllt mit Zellulosefaser) angeordnet ist. Dies kann auf die 3 cm innenliegende Holzbeplankung zurückzuführen sein. Treberspurg et al. (2011) sehen diesen negativen Effekt der Installationsebene auch nur beim Massivbau, wo die speicherfähige Masse dadurch abgeschirmt wird.

Ein hinterlüftetes Wandelement soll laut Hestermann und Rongen (2015) nicht nur einen positiven Effekt auf die Wärmedämmung, sondern auch auf den sommerlichen Wärmeschutz haben. Wie bereits erwähnt ist bei der Innenraumtemperatur jedoch kaum ein Effekt zu verzeichnen. Die hinterlüftete Fassade könnte jedoch den leicht niedrigeren HWB im Vergleich zur normalen Wand mit Zellsedämmung bewirken.

Während Hoes und Hensen (2015) eine deutliche Steigerung des thermischen Komforts mittels PCM feststellen konnten, konzentrierten sich Meng et al. (2016) darauf die Reflexion der Gebäudehülle zu erhöhen. Kyritsi und Michael (2020) beschrieben hingegen die Belüftung, im speziellen die Nachtlüftung, als sehr wirkungsvolle Maßnahme. Gleichzeitig stellen Amos-Abanyie et al. (2013) die außenliegende Verschattung als kostengünstige und sehr effektive Möglichkeit dar. Weitere Forschungen setzten sich mit schaltbaren (smarten) Dämmschichten auseinander, und schreiben diesen großes Potential zu (Kimber et al. 2014; Cui und Overend 2019).

Die Forschungsfrage bezüglich möglicher passiver Maßnahmen gegen die sommerliche Überwärmung kann daher durch sämtliche in Punkt 2.3 beschriebenen baulichen Maßnahmen beantwortet werden. Dazu zählen PCM, Lüftungsstrategien, Verschattung von Fenstern, smarte Dämmschichten und reflektierende Fassaden und Dächer.

Im Vergleich zwischen dem Holz-Leichtbau und dem Massivbau beschreibt Treberspurg et al. (2017) eine viel höhere Wärmekapazität bei Beton als bei Holz. Allerdings ist diese volumen- und nicht gewichtsbezogen. Vor allem ist auch die

Wärmeleitfähigkeit für das thermische Verhalten eines Bauteils relevant (Nackler, 2017). Diese liegt bei Beton etwa um den Faktor 5 höher als bei Holz, womit Holz einen sehr trägen Wärmespeicher darstellt (Nackler, 2017). Dementsprechend kann weniger speicherfähige Masse aktiviert werden. Dieser Effekt lässt sich auch bei den untersuchten Objekten feststellen, da die Stahlbetonwand bei allen Varianten die niedrigsten Innenraumtemperaturen aufweisen kann. Allerdings sind diese Unterschiede in einem Bereich unter einem Kelvin. Nur beim Pultdach fällt dieser Unterschied etwas größer aus.

In Bezug auf die Forschungsfrage zum Abschneiden von Leichtbau vs. Massivbau kann festgehalten werden, dass der Massivbau bei den simulierten Objekten nur leicht niedrigere Werte bei der Innentemperatur aufweisen kann.

Einen deutlich höheren Einfluss bei der Innenraumtemperatur hat hingegen der Fensterflächenanteil. Beim Pultdach war durch eine Verdoppelung der Fensterfläche ein Anstieg von über 4 K zu erkennen. Dieser besonders hohe Anstieg ist vor allem durch die hohe Sonneneinstrahlung bei schräg angeordneten Fenstern bedingt. Sowohl Treberspurg et al. (2017) als auch Nackler (2017) weisen auf den großen Einfluss der Anordnung (bei Anordnung in Dachschrägen besonders hohe direkte Sonneneinstrahlung) beziehungsweise die Größe der Fenster hin. So wird bei doppelter Fenstergröße beim Pultdach auch die Temperatur von 27°C überschritten, wodurch eine Überwärmung des Raumes gegeben ist.

Den größten Einfluss auf die Innenraumtemperatur hat jedoch die Verschattung. Dabei ist besonders die außenliegende Beschattung sehr effektiv. So kann durch die Verschattung sogar bei einer Verdoppelung der Fensterfläche eine Reduktion der Innenraumtemperatur verzeichnet werden. Treberspurg et al. (2017) sieht in der Verschattung die wirksamste Maßnahme, um solare Wärmeeinträge und damit die Innenraumtemperatur zu reduzieren.

Die Forschungsfrage bezüglich der wirkungsvollsten Maßnahmen gegen die sommerliche Überwärmung, kann mit dem sehr hohen Einfluss einer außenliegenden Verschattung auf die Innenraumtemperatur bei den simulierten Objekten beantwortet werden. Einen leicht geringeren Einfluss zeigte bei den simulierten Objekten der Verglasungsanteil.

Alle Simulationen zur Innenraumtemperatur wurden mit angenommener natürlicher Nachtlüftung durchgeführt. Ohne Nachtlüftung wäre es nicht möglich gewesen, realitätsnahe Werte zu erheben, da die Innenraumtemperatur die Außentemperatur übersteigt und vor allem bei den gut gedämmten Varianten der geringe Wärmetransport von innen nach außen großen Einfluss hat. Auf das Prob-

lem der geringen Abführung von Wärme durch die heute gut gedämmte Gebäudehülle und der damit erforderlichen Abführung von Wärme durch zum Beispiel Nachtlüftung, weist auch Treberspurg et al. (2017) hin.

Nackler (2017, Seite 45) schrieb fest:

*„Fehlende Verschattungsmaßnahmen großer Verglasungen, also hohe solare Wärmelasten wie auch andere hohe innere Lasten und fehlende oder falsche Lüftungsmaßnahmen können auch durch hohe interne Speicherkapazität nicht ausgeglichen werden und führen zu überhitzten Räumen im Sommer.“*

Das Zitat von Nackler kann, bis auf die nicht untersuchten inneren Lasten, durch die in dieser Arbeit durchgeführten Simulationen, belegt werden. Eine Lüftung in der Nacht zur Regeneration der Speichermasse ist unumgänglich. Besonders großen Einfluss hat in weiterer Folge die Fensterfläche und -anordnung. Durch eine geeignete Verschattung kann selbst bei großer Fensterfläche die Überwärmung im Sommer Großteils vermieden werden.

Dies deckt sich auch mit den Erkenntnissen von Terberspurg et al. (2017, Seite 56):

*„In Wien lässt sich eine aktive Kühlung im Wohnbau vermeiden. Durch eine gute Planung und durch den Einsatz passiver Maßnahmen lässt sich der Kühlenergiebedarf abgrenzen und die Temperaturen können im Komfortbereich gehalten werden.“*

## 6 Conclusio

Der dicht bebaute 12. Wiener Gemeindebezirk bietet Großteiles nur die Möglichkeit der vertikalen Nachverdichtung in Form von Aufstockungen oder Dachgeschossausbauten. Diese Form der Nachverdichtung wird hauptsächlich, aufgrund geringer statischer Reserven des Bestandes, im Holz-Leichtbau ausgeführt, welcher aufgrund der fehlenden Masse zu einer Überwärmung im Sommer neigt.

Mit passiven Maßnahmen kann bei den untersuchten Objekten eine Überwärmung im Sommer vermieden werden. Die Wahl des Wandaufbaus ist allerdings nicht der wesentliche Einflussfaktor. Vielmehr spielen Fenstergröße, Flach- oder Steildach, Verschattung und Lüftung eine Rolle. Bei einer außenliegenden Verschattung spielt die Fenstergröße allerdings nur eine untergeordnete Rolle. So kann bei einer außenliegenden Verschattung die Temperatur, trotz einer Verdoppelung der Fensterfläche, um im Schnitt 2 K reduziert werden. Mit einer außenliegenden Verschattung und Lüftung (sobald die Außentemperatur die Innentemperatur unterschreitet), kann bei allen untersuchten Varianten eine Überwärmung vermieden werden.

In einer weiterführenden Forschung könnte der in dieser Arbeit nicht erkennbare Effekt einer hinterlüfteten Fassade untersucht werden. Durch die Anwendung einer dynamischen Simulation könnte diese Bauart näher analysiert werden. Des Weiteren bietet sich an, abseits von einer reinen Untersuchung der Innenraumtemperatur und des HWB, eine Lebenszyklusanalyse anzustellen. Damit könnte der erhöhte Energie- und Materialeinsatz für bauliche Maßnahmen mit dem Energieverbrauch einer Klimaanlage über die Lebenszeit eines Gebäudes in Vergleich gesetzt werden. In diesem Zuge bietet sich auch eine monetäre Betrachtung des Vergleiches an. Auch die in vielen Studien beschriebenen Vorteile von reflektierenden Materialien (Verringerung UHI und Reduzierung der Innenraumtemperatur) könnten auf ihre Wirksamkeit im Untersuchungsgebiet erforscht werden.

# Literaturverzeichnis

Akbari, H. und Touchaei, A. G., 2014. Modeling and labeling heterogeneous directional reflective roofing materials. Montreal: Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 124, Seite 192-210.

Akbari, H.; Cartalis, C.; Kolokotsa, D.; Muscio, A.; Pisello, A. L.; Rossi, F.; Santamouris, M.; Synnefa, A.; WONG, N. H.; Zinzig, M., 2016. Local Climate Change and Urban Heat Island Mitigation Techniques – The State of the Art. Vilnius: JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT, Vol. 22, Seite 1-16.

Allen, J.G.; MacNaughton, P.; Satish, U.; Santanam, S.; Vallarino, J.; Spengler, J.D., Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments, Environ. Health Perspect, Vol. 124 (6), Seite 805–812.

Amos-Abanyie, S.; Akuffo, F.O.; Kutin-Sanwu, V., 2013. Effects of Thermal Mass, Window Size, and Night-Time Ventilation on Peak Indoor Air Temperature in the Warm-Humid Climate of Ghana. Kumasi: The Scientific World Journal.

Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen, 2017. Attic Adapt 2050 – Ein systematischer Ansatz für Dachgeschoßausbauten in Holzbauweise. Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur Wien.

Baldassarri, C.; Sala, S.; Caverzan, A.; Tornaghi, M. L., 2017. Environmental and spatial assessment for the ecodesign of a cladding system with embedded Phase Change Materials. Ispra: Energy and Buildings, Vol. 156, Seite 374-389.

Bergman, T.L.; Incropera, F.P.; DeWitt, D.P.; Lavine, A.S., 2011. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Hoboken: John Wiley & Sons, [ISBN: 9780470501979].

Bergmeister, K.; Suda; Wendner; Guggenberger; Hilber; Krawtschuk; Zeman, 2015. Skriptum zur Vorlesung Konstruktion – Stabtragwerke. 11. Auflage. Wien: Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur Wien.

Böttner, R.; Fischer R.; Kuhr D., 2012. Abgrenzung und Intensität der urbanen Hitzeinsel und der Überwärmungsgebiete. Zustand und Perspektive für Bielefeld hergeleitet aus Infrarot-Satellitenaufnahmen und numerischen Extrapolationen bis 2100. Hrsg.: Frohn J., Gebhardt K., Decker R. Diskussionspapier Nr. 55.

Brandenburg, C.; Damyanovic, D.; Reinwald, F.; Alex, B.; Gantner, B.; Czachs, C., 2015. Urban Heat Islands – Strategieplan Wien. Wien: Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22.

Brocza, R., 2007. Wandaufbauten für Niedrigenergiehäuser in Holzbauweise – Bauphysikalische und ökologische Betrachtung. Diplomarbeit. TU Wien.

Buchanan, A. H. und Levine, S. B., 1999. Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. Christchurch: Environmental Science & Policy, Vol. 2, Seite 427-437.

Chimani B.; Heinrich G.; Hofstätter M.; Kerschbaumer M.; Kienberger S.; Leuprecht A.; Lexer A.; Peßenteiner S.; Poetsch M.S.; Salzmann M.; Spiekermann R.; Switanek M. und Truhetz, H., 2016. ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse. Projektendbericht, Wien.

Cludex, 2018. Climate Change and urban densification impact exploration - heat exposure reduction through roof scape adaptation – a large scale case study, Fördergeber / Programm: ACRP 10/2018, Klimafonds Nr. KR17AC0K13790.

Cole, R.J., 1999. Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems. Vancouver: Building and Environment, Vol. 34, Seite 335-348.

Corgnati, S. P. und Kindinis, A., 2007. Thermal mass activation by hollow core slab coupled with night ventilation to reduce summer cooling loads. Torino: Building and Environment, Vol. 42, Seite 3285-3297.

Cui, HX und Overend, M., 2019. A review of heat transfer characteristics of switchable insulation technologies for thermally adaptive building envelopes. Cambridge: Energy and Buildings, Vol. 199, Seite 427-444.

DECC, 2014. Energy Follow-up Survey 2011, Report 7: Thermal comfort & overheating. Verfügbar in: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/414600/7\\_Thermal\\_comfort.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/414600/7_Thermal_comfort.pdf) [Abgefragt am: 31.05.2020]

Drissi, S.; Ling, T.C.; Mo, K. H.; Eddhahak, A., 2019. A review of microencapsulated and composite phase change materials: Alteration of strength and thermal properties of cement-based materials. Huan: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 110, Seite 467-484.

Eliasson, I., 2000. The use of climate knowledge in urban planning. Landscape and Urban Planning 48 (2000) 31-44.

Ghaib, K., 2017. Latentwärmespeicher: Speichermaterialien, Wärmeübertragung und Anwendung. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, [10.1002/cite.201600094].

Gustavsson, L. und Sathre, R., 2006. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. Östersund: Building and Environment, Vol. 41, Seite 940-951.

Hacker, J. N.; De Saulles, T. P.; Minson, A. J.; Holmes, M. J., 2008. Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: A case study on the effects of thermal mass and climate change. London: Energy and Buildings, Vol. 40, Seite 375-384.

Hensen, F.; Kolbmüller, H.; Stahr, M.; Weber, J., Wild, U., 2011. Bausanierung – erkennen und beheben von Bauschäden. 5. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, [ISBN: 978-3-658-07455-5].

Hernández-Páez, I; Xamán, J; Macías-Melo, E; Aguilar-Castro, K; Zavala-Guillén, I; Hernández-López, I; Simá, E, 2018. Experimental thermal evaluation of building roofs with conventional and reflective coatings. Energy and Buildings, Vol. 158, Seite 569–579.

Hestermann, U. und Rongen, L., 2015. Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 1. 36. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, [ISBN: 978-3-8348-2564-3].

Hoes, P.; Hensen, J.L.M., 2016. The potential of lightweight low-energy houses with hybrid adaptable thermal storage: Comparing the performance of promising concepts. Eindhoven: Energy and Buildings, Vol. 110, Seite 79-93.

Howard, L., 1820. The Climate of London. Deduced from Meteorological Observations Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis. In Two Volumes.

Ikena, O.; Fertahib, S.eD.; Dlimia, M.; Agounouna, R.; Kadiria, I.; Sbai, K., 2019. Thermal and energy performance investigation of a smart double skin facade integrating vanadium dioxide through CFD simulations. Morocco: Energy Conversion and Management, Vol. 195, Seite 650-671.

Kamalisarvestani, M.; Saidur, R.; Mekhilef, S.; Javadi, F. S., 2013. Performance, materials and coating technologies of thermochromic thin films on smart windows. Kuala Lumpur: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 26, Seite 353-364.

Karlessi, T.; Santamouris, M.; Synnefa, A.; Assimakopoulos, D.; Didaskalopoulos, P.; Apostolakis, K., 2011. Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate urban heat island and cool buildings. Athen: Building and Environment, Vol. 46, Seite 570-576.

Kim, H. B.; Mae, M.; Choi, Y.; Kiyota, T., 2017. Experimental analysis of thermal performance in buildings with shape-stabilized phase change materials. Tokyo: Energy and Buildings, Vol. 152, Seite 524-533.

Klien, M., 2016. Österreich 2025: Perspektiven einer regional differenzierten Wohnungs- und Verkehrspolitik vor dem Hintergrund des demographischen Wandels in Österreich. Wien: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO).

Krec, K., 2006. Bewertung der Sommertauglichkeit von Gebäuden. Schönberg am Kamp: Büro für Bauphysik.

Kuttler W., 2011. Klimawandel im urbanen Bereich - Teil 1, Wirkungen. Environmental Sciences Europe, Vol. 23.

Kyritsi, E. und Michael, A., 2020. An assessment of the impact of natural ventilation strategies and window opening patterns in office buildings in the mediterranean basin. Zypern: Building and Environment, Vol. 175.

Löfflad, H., 2005. Bauen mit Holz - Konstruktion, Kosten, Planungsbeispiele, Handbuch für die planerische und baupraktische Umsetzung. Essen: Verl. für Wirtschaft und Verwaltung Wingen, [ISBN: 9783802805387].

Loibl, W.; Etminan, G.; Österreicher, D.; Ratheiser, M.; Stollnberger, R.; Tschannett, S.; Tötzer, T.; Vuckovic, M.; Walal, K., 2019. Urban Densification and Urban Climate Change – Assessing Interaction through Densification Scenarios and Climate Simulations. Wien: REAL CORP 2019.

Lomas, K.J. und Ji, Y., 2009. Resilience of naturally ventilated buildings to climate change: Advanced natural ventilation and hospital wards. Leics: Energy and Buildings, Vol. 41, Seite 629-653.

Lomas, K.J.; Kane, T., 2013. Summertime temperatures and thermal comfort in UK homes, Build. Res. Inf. 41, Seite 259–280.

Meng, X.; Luo, T.; Wang, ZY.; Zhang, W.; Yan, B.; Ouyang, JL.; Long, ES., 2016. Effect of retro-reflective materials on building indoor temperature conditions and heat flow analysis for walls. Chengdu: Energy and Buildings, Vol. 127, Seite 488-498.

- Michael, A.; Demosthenous, D.; Philokyprou, M., 2017. Natural ventilation for cooling in mediterranean climate: A case study in vernacular architecture of Cyprus. Zypern: Energy and Buildings, Vol. 144, Seite 333-345.
- Müller, P., 2015. Urbane Ressourcen aufstocken, verdichten, umnutzen. Köln: Müller [ISBN: 978-3-481-03136-7].
- N.N., 2019. 2019 eines der drei wärmsten Jahre der Messgeschichte. Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Verfügbar in: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/2019-eines-der-drei-waermsten-jahre-der-messgeschichte> [Abgefragt am 06.01.2020]
- N.N., s.a. Es wird weiter wärmer. Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Verfügbar in: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimazukunft/alpenraum/lufttemperatur> [Abgefragt am 06.01.2020]
- N.N., s.a. Klimatologische Kenntage in Wien 1955 bis 2017. Wien: Magistrat der Stadt Wien (Magistratsabteilung 23).
- Nackler, J., 2017. Sommerlicher Wärmeschutz – Vergleich von Berechnungsansätzen und Entwicklung eines Planungsinstrumentes für Entwurfsfindung und Nachweis. Dissertation. Fakultät für Architektur und Raumplanung, Technische Universität Wien.
- Nalaras, C. A., 1995. The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods. Athens: Energy and Buildings, Vol. 24, Seite 1-10.
- OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU. 2014. Österreichisches Institut für Bautechnik.
- OIB-Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz. 2019. Österreichisches Institut für Bautechnik.
- OIB-Richtlinien Begriffsbestimmungen. 2019. Österreichisches Institut für Bautechnik.
- ORF, 2020. Wohnfläche pro Person wird kleiner. Verfügbar in: <https://wien.orf.at/stories/3036217/> [Abgefragt am: 05.06.2020].
- Panayiotou, G.P.; Kalogirou S.A.; Tassou, S.A., 2016. Evaluation of the application of Phase Change Materials (PCM) on the envelope of a typical dwelling in the Mediterranean region. Limassol: Renewable Energy, Vol. 97, Seite 24-32.

Park, B. und Krarti, M., 2016. Energy performance analysis of variable reflectivity envelope systems for commercial buildings. Boulder: Energy and Buildings, Vol. 124, Seite 88-98.

Revel, G. M.; Martarelli, M.; Emiliani, M.; Celotti, L.; Nadalinib, R.; De Ferrari, A.; Hermanns, S.; Beckers, E., 2014. Cool products for building envelope – Part II: Experimental and numerical evaluation of thermal performances. Solar Energy, Vol. 105, Seite 780-791.

Riccabona, C., Mezera, K., Bednar, T., 2008. Baukonstruktionslehre: 1. Rohbauarbeiten. Wien: Manz.

Richtlinie (EU) 2018/844 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz. Amtsblatt der Europäischen Union.

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

Rossi, F.; Castellani, B.; Presciutti, A.; Morini, E.; Anderini, E.; Filipponi, M.; Nicolini, A., 2016. Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons. Perugia: Energy and Buildings, Vol. 126, Seite 340-352.

Roxon, J.; Ulm, F. J.; Pellenq, R. J. M., 2020. Urban heat island impact on state residential energy cost and CO<sub>2</sub> emissions in the United States. Cambridge: Urban Climate, Vol. 31.

Shen, H.; Tan, H.; Tzempelikos, A., 2011. The effect of reflective coatings on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption - An experimental study. Energy and Buildings, Vol. 43, Seite 573-580.

SHIRIN-ABADI, A.R. ; Mahdavian, A.R. und KHOEE, S., 2011. New approach for the elucidation of PCM nanocapsules through miniemulsion polymerization with an acrylic shell. American Chemical Society.

Statistik Austria, 2014. ÖROK- Regionalprognosen. Verfügbar in: [https://www.eroek.gv.at/fileadmin/Bilder/2.Reiter-Raum\\_u\\_Region/2.Daten\\_und\\_Grundlagen/Bevoelkerungsprognosen/Prognose\\_2014/%c3%96ROK-Bev%c3%b6lkerungsprognose\\_Kurzfassung\\_final.pdf](https://www.eroek.gv.at/fileadmin/Bilder/2.Reiter-Raum_u_Region/2.Daten_und_Grundlagen/Bevoelkerungsprognosen/Prognose_2014/%c3%96ROK-Bev%c3%b6lkerungsprognose_Kurzfassung_final.pdf) [Abgefragt am 05.01.2020]

Tink, V.; Porritt, S.; Allinson, D.; Loveday, D., 2018. Measuring and mitigating overheating risk in solid wall dwellings retrofitted with internal wall insulation. *Building and Environment*, Vol. 141, Seite 247-261.

Treberspurg, M.; Djalili, M.; Ertl-Balga, U., 2011. Sommertauglichkeit im Gebäudebestand. Wien: Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur Wien.

Treberspurg, M.; Österreicher, D.; Inigo, C., 2017. Hitze! vermeiden – Vermeidung sommerlicher Überwärmung im Wohnbau. Wien: Magistratsabteilung 20.

Vancso, D., 2020. Auswirkung der Gebäudebegrünung auf den Innenraumkomfort im urbanen Wohnbau am Beispiel eines dicht bebauten Wiener Stadtviertels. Wien: Universität für Bodenkultur Wien.

Zinzi, M., 2016. Characterisation and assessment of near infrared reflective paintings for building facade applications. *Rom: Energy and Buildings*, Vol. 114, Seite 206-213.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bevölkerungsveränderung 2014 bis 2030: Gesamtbevölkerung (Quelle: Statistik Austria 2014)..... 4

Abbildung 2: Bevölkerungsveränderung Wien 2014 bis 2030: Alter 0-19 (Quelle: Statistik Austria 2014) ..... 4

Abbildung 3: Bevölkerungsveränderung Wien 2014 bis 2030: Alter 20-64 (Quelle: Statistik Austria 2014) ..... 5

Abbildung 4: Bevölkerungsveränderung Wien 2014 bis 2030: Alter über 65 (Quelle: Statistik Austria 2014)..... 5

Abbildung 5: Temperaturabweichung, Österreich Tiefland: Jahr 1768 bis 2019 (Quelle: ZAMG, [www.zamg.at/histalp](http://www.zamg.at/histalp)) ..... 6

Abbildung 6: Klimatische Entwicklung in Wien 1955 bis 2017 (Quelle: Diagramm eigene Darstellung, Daten von Magistratsabteilung 23 ) ..... 7

Abbildung 7: Vergleich von baulichen Maßnahmen zur Reduktion der Heizenergie und des thermischen Komforts (Quelle: Hoes und Hensen 2015) ..... 19

Abbildung 8: Starre Verschattung vor Fenster (Quelle: Treberspurg et al. 2011, Seite 15) ..... 22

Abbildung 9: Smarte Dämmung mit mehreren Luftkammern (Quelle: Kimber et al. 2014) ..... 23

Abbildung 10: Schaltbare Isolation mittels fluidenthaltender Rohre (Quelle: Cui und Overend 2019, Seite 437)..... 24

Abbildung 11: Schaltbare Isolation mittels Verdampfungs-Kondensations Kreislauf (Quelle: Cui und Overend 2019, Seite 439) ..... 25

Abbildung 12: Reflexion einer hoch reflektierenden (a) und einer retro-reflektierenden (b) Fassade (Quelle: Meng et al. 2016, Seite 489) ..... 27

Abbildung 13: Bild eines DRM-Beispiels mit einer dunklen und einer hellen Seite aus unterschiedlichen Blickwinkeln (Quelle: Akbari und Touchaein 2014, Seite 194)..... 27

Abbildung 14: Schematische Darstellung einer DRM Riffelung (Quelle: Akbari und Touchaein 2014, Seite 194) ..... 28

Abbildung 15: Nachverdichtungspotential entlang der Meidlinger Hauptstraße im 12. Wiener Gemeindebezirk (Quelle: Loibl et al. 2019, Seite 814) ..... 31

Abbildung 16: Meidlinger Hauptstraße 36 (Quelle: Eigene Aufnahme Zwirschitz & Vancso)..... 32

Abbildung 17: Meidlinger Hauptstraße 42-44 (Quelle: Eigene Aufnahme Zwirschitz & Vancso).... 32

Abbildung 18: Satellitenbild Untersuchungsobjekte (Quelle: [maps.google.at](http://maps.google.at)) ..... 33

Abbildung 19: Wand mit Zellulosedämmung (Quelle: ArchiPHYSIK; eigenen Eingabe) ..... 34

Abbildung 20: Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung (Quelle: ArchiPHYSIK; eigene Eingabe)..35

Abbildung 21: Blockbohlenwand mit Zwischen-dämmung (Quelle: ArchiPHYSIK; eigene Eingabe) ..... 36

Abbildung 22: Stahlbeton-Massivwand (Quelle: ArchiPHYSIK; eigene Eingabe).....	36
Abbildung 23: Meidl. Hauptstr. 36 Wand mit Zellulose-dämmung (minimale Dämmung).....	37
Abbildung 24: Wand mit Zellulosedämmung (maximale Dämmung).....	38
Abbildung 25: Wand mit Zellulosedämmung (maximaler Holzanteil).....	39
Abbildung 26: Hinterlüftetes Sparrendach (Quelle: Riccabomna 2008).....	40
Abbildung 27: Vollsparrendach (Quelle: Riccabona 2008).....	40
Abbildung 28: Sargdeckel-Dach (Quelle: Riccabona 2008).....	41
Abbildung 29: Umkehrdach (Quelle: Riccabona 2008).....	42
Abbildung 30: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (minimale Dämmung).....	42
Abbildung 31: Meidl. Hauptstr. 36 Umkehrdach (maximale Dämmung).....	43
Abbildung 32: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (maximale Dämmung).....	43
Abbildung 33: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (maximaler Holzanteil).....	44
Abbildung 34: Modell Meidl. Hauptstr. 36 Flachdach.....	50
Abbildung 35: Modell Meidl. Hauptstr. 36 Flachdach (2x Fenster).....	50
Abbildung 36: Modell Meidl. Hauptstr. 36 Walmdach (2x Fenster).....	50
Abbildung 37: Modell Meidl. Hauptstr. 36 Walmdach.....	50
Abbildung 38: Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 Flachdach (2x Fenster).....	51
Abbildung 39: Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 Flachdach.....	51
Abbildung 40: Modell Meidl. Hauptstr. 24-44 Pultdach.....	52
Abbildung 41: Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 Pultdach (2x Fenster).....	52
Abbildung 42: Thesim-Grundriss Meidl. Hauptstr. 38.....	53
Abbildung 43: Thesim-Modell Meidl. Hauptstr. 38.....	53
Abbildung 44: Thesim-Modell Meidl. Hauptstr. 38 (2x Fenster).....	53
Abbildung 45: Thesim-Grundriss Meidl. Hauptstr. 42-44.....	54
Abbildung 46: Thesim-Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 (2xFenster).....	54
Abbildung 47: Thesim-Modell Meidl. Hauptstr. 42-44.....	54
Abbildung 48: Thesim-Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 mit Pultdach.....	55
Abbildung 49: Thesim-Modell Meidl. Hauptstr. 42-44 mit Pultdach (2xFenster).....	55
Abbildung 50: Simulation Thesim 3D (Quelle: Thesim 3D).....	55
Abbildung 51: HWB & Temperatur Meidlinger Hauptstraße 36.....	56
Abbildung 52: HWB & Temperatur Meidlinger Hauptstraße 42-44.....	57
Abbildung 53: HWB Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 36, Flachdach).....	59
Abbildung 54: Innenraumtemperatur-Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 36, Flachdach).....	59
Abbildung 55: HWB Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 42-44, Flachdach).....	60
Abbildung 56: Innenraumtemperatur-Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 42- 44, Flachdach).....	60
Abbildung 57: HWB Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 42-44, Pultdach).....	61

---

Abbildung 58: Innenraumtemperatur-Vergleich von doppelter Fensterfläche (Meidl. Hauptstr. 42-44, Pultdach) .....	61
Abbildung 59: Innenraumtemperatur mit und ohne Verschattung (Meindlinger Hauptstraße 36) .	62
Abbildung 60: Innenraumtemperatur mit und ohne Verschattung (Meindlinger Hauptstraße 42-44) .....	63
Abbildung 61: Vergleich von Innenraumtemperatur bei Fensteranteil wie Bestand mit doppelten Fensteranteil und Verschattung (Meidlinger Hauptstraße 42-44) .....	64
Abbildung 62: Vergleich zusätzlicher Varianten (minimale und maximale Dämmung, maximaler Holzanteil).....	65

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile (U-Werte) (Quelle: OIB-Richtlinie 6) ....	9
Tabelle 2: Wärmeleitfähigkeit und Speicherfähigkeit von Dämmstoffen (Quelle: Hensen et al. 2011, Seite 390).....	12
Tabelle 3: Speicherfähigkeit von Beplankungen verschiedener Materialien (Quelle: Hensen et al. 2011, Seite 391).....	13
Tabelle 4: Wand mit Zellulosedämmung (Quelle: Abgeändert von Brocza 2007) .....	34
Tabelle 5: Hinterlüftete Wand mit Holzbeplankung (Quelle: Abgeändert von Brocza 2007).....	35
Tabelle 6: Blockbohlenwand mit Zwischendämmung (Quelle: Abgeändert von Brocza 2007) .....	36
Tabelle 7: Stahlbeton-Massivwand.....	36
Tabelle 8: Meidl. Hauptstr. 36 Wand mit Zellulosedämmung (minimale Dämmung).....	37
Tabelle 9: Meidl. Hauptstr. 42-44 Wand mit Zellulosedämmung (minimale Dämmung).....	37
Tabelle 10: Wand mit Zellulosedämmung (maximale Dämmung).....	38
Tabelle 11: Wand mit Zellulosedämmung (maximaler Holzanteil) .....	39
Tabelle 12: Hinterlüftetes Sparrendach (Quelle: abgeändert von Riccabona 2008) .....	40
Tabelle 13: Vollsparrendach (Quelle: abgeändert von Riccabona 2008).....	40
Tabelle 14: Sargdeckel-Dach (Quelle: abgeändert von Riccabona 2008) .....	41
Tabelle 15: Umkehrdach .....	42
Tabelle 16: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (minimale Dämmung).....	42
Tabelle 17: Meidl. Hauptstr. 36 Umkehrdach (maximale Dämmung) .....	43
Tabelle 18: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (maximale Dämmung) .....	43
Tabelle 19: Meidl. Hauptstr. 42-44 Hinterlüftetes Sparrendach (maximaler Holzanteil).....	44
Tabelle 20 : Flügelfenster 90x150 cm .....	45
Tabelle 21: Flügelfenster 180x150 cm (2x Fensterflächenanteil) .....	45
Tabelle 22: Kippflügelfenster 90x120 cm .....	46
Tabelle 23: Kippflügelfenster 180x120 cm (2x Fensterflächenanteil) .....	46
Tabelle 24: Kippflügelfenster 90x200 cm .....	46
Tabelle 25: Kippflügelfenster 180x200 (2x Fensterflächenanteil) .....	47
Tabelle 26: Matrix Meidlinger Hauptstraße 36 .....	48
Tabelle 27: Matrix Meidlinger Hauptstraße 42-44 .....	49