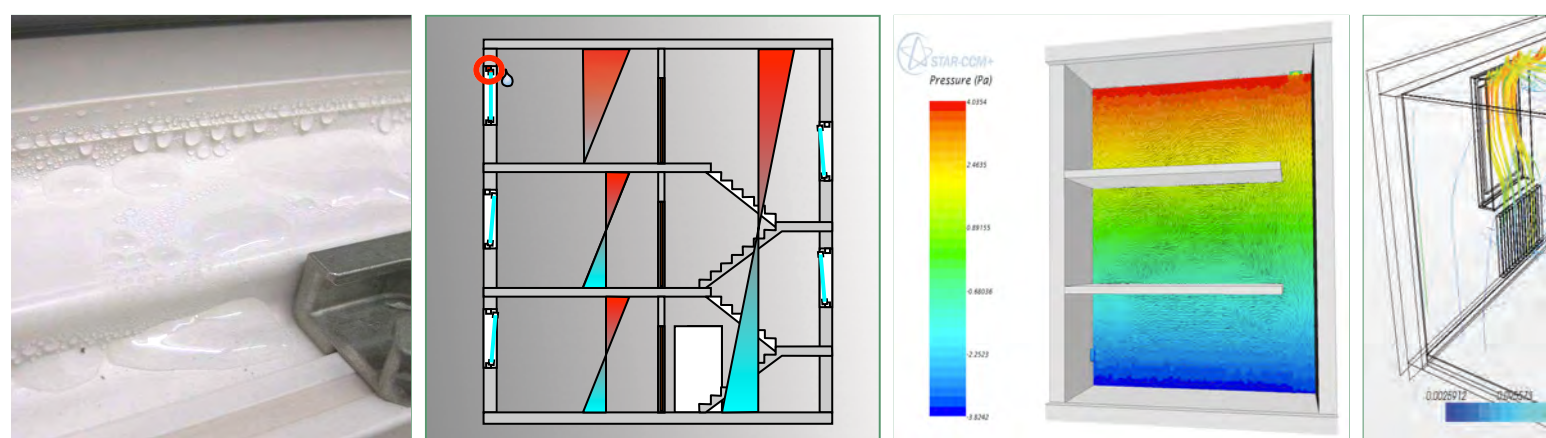


FORSCHUNGSBERICHT NR. B13.105.003.702



GEBÄUDE.KLIMA.ANALYSE

Zum Einfluss des Gebäudeklimas
auf die Kondensatbildung an
Fenster- und Glaskonstruktionen

HEINZ FERK

INSTITUT FÜR HOCHBAU
LABOR FÜR BAUPHYSIK
TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ

GRAZ, 1. AUFLAGE 01. JÄNNER 2015

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die bei der Entstehung dieses Berichtes durch Ausarbeitungen, Diskussionsbeiträge und fachlichen Input beigetragen haben, insbesondere Herrn D. Rüdiger, der mit seinem breiten physikalischen Wissen nicht nur bei den CFD-Simulationen mit Rat und Tat beiseite stand, sondern auch durch seine Sicht als Physiker dem Bauingenieur viel Diskussionsstoff geliefert hat. Danken möchte ich aber auch nicht zuletzt den Mitarbeitern im Labor, Christopher Leh, Markus Mosing, Hannes Ebner und Christian Zoller, die durch ihre Mitarbeit zum Gelingen des Berichtes beigetragen haben. Danken möchte ich aber auch Horst Gamerith, der durch seine kritische fachliche Diskussion in den letzten Jahren immer wieder dazu angeregt hat, die Problemstellungen vielfältig zu hinterfragen, und das Ganze vor seinen Teilen zu sehen.

Danken möchte ich nicht zuletzt auch der Fa. CD-adapco, mit deren Simulationsprogramm STAR-CCM+ die dem Bericht zugrunde liegenden CFD Simulationen berechnet werden konnten, sowie dem Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Graz, dass die Basis für das Layout erarbeitet hat.

Kurzfassung

Dieser Bericht beinhaltet Ergebnisse von durchgeführten Analysen und Untersuchungen zum Forschungsprojekt „GEBÄUDEKLIMAAANALYSE“. Adressat des Berichtes sind die interessierten Kreise, zu denen auch die betroffenen Nutzer gehören, daher wurde der Bericht so verfasst, dass er auch für einen interessierten Laien noch lesbar sein sollte.

Die Untersuchungen wurden aufgrund der in den letzten Jahren beobachteten Entwicklung von Kondensatbildung an innovativen Fensterkonstruktionen begonnen. Im Verlauf der Bearbeitung wurden zahlreiche Aspekte der Kondensatbildung analysiert.

Dieser Bericht geht insbesondere auf jene Faktoren ein, die durch das Gebäudeklima zur Kondensatbildung an Fensterkonstruktionen führen.

Zwei wesentliche Faktoren stehen dabei im Vordergrund: Die Änderung der raumklimatischen Bedingungen für die Fenster- und Glaskonstruktionen durch die zunehmende Wärmedämmung und die sich daraus ergebende Änderung der Beheizung sowohl bei Sanierung als auch dem Neubau. Überlagert wird dies durch die Einflüsse der geänderten Druckverhältnisse in Gebäuden, die zum Teil durch die zunehmend dichteren Gebäudehüllen hervorgerufen werden.

Es zeigt sich, dass der durch diese Randbedingungen hervorgerufene „GEBÄUDEKLIMAWANDEL“ für viele der auftretenden Kondensatprobleme an und in Fensterkonstruktionen eine Erklärung bieten kann.

Anmerkung:

Die Untersuchungen basieren auf – nach dem Stand der Technik ordnungsgemäßen Fensterkonstruktionen. Der Bericht geht davon aus, dass die betrachteten Fensterkonstruktionen den Anforderungen der Baugesetze auf Basis der Produktnormen bzw. der Bauproduktenverordnung entsprechen. Fehler an Konstruktionen, die eine Nichtkonformität in Bezug auf die zu erklärenden Leistungen nach sich ziehen würden, sind nicht Gegenstand dieses Berichtes, ebensowenig wie Beschädigungen, die durch die Nutzung oder mangelnde Wartung hervorgerufen wurden. Ebenso vorausgesetzt wird ein einwandfreier Einbau der Fensterkonstruktionen.

Inhaltsverzeichnis

0	Präambel	1
1	Einleitung	2
1.1	Kondensat „am“ und „im“ Fenster?	3
1.2	Ursachenanalyse	4
2	Kondensat am Fenster	9
2.1	Erscheinungsformen von Kondensat	10
2.2	Klassifizierung der Kondensatbildung	11
2.3	Befund - Dokumentation	14
3	Was ist Kondensat?	15
4	Die „primäre“ Ursache von Kondensatbildung	22
5	Das Raumklima aus Sicht der Nutzung	23
5.1	Raumklima	23
5.2	Heizsysteme – Art der Beheizung	24
5.3	Behaglichkeitsfaktoren	25
5.4	Raumluftfeuchtigkeit und Behaglichkeit	27
5.5	Welche Klimabedingungen sind in Wohnungen vorzufinden?	31
6	Das Raumklima aus Sicht der Bemessung	34
6.1	„Bemessungsklima“ nach ÖNORM B 8110 Teil 2 (2003)	34
6.2	Klimahinweise in der ÖNORM B 8110 Teil 2 Beiblatt 4 (2003)	39
6.3	Festlegungen der EN ISO 13788: 2002	40
6.4	Geltende Vorgaben für die Klimabedingungen zur Berechnung oder Messung der wärmetechnischen Eigenschaften von Fenstern, deren Leistung entsprechend den Vorgaben der Produktnorm ÖNORM EN 14351 deklariert wird.	41
6.4.1	Wärmeschutz:	41
6.4.2	Luftdurchlässigkeit:	42
6.5	Berechnung des wärmetechnischen Verhaltens von Fensterkonstruktionen: ÖNORM EN ISO 10077-1 und 10077-2	43
6.6	Geltende Vorgaben in den österreichischen Baugesetzen, insbesondere OIB Richtlinie 6 und 2	47
6.6.1	OIB Richtlinie 6	47
6.6.2	OIB Richtlinie 2	48
7	Gebäudeklima bei zunehmendem Wärmeschutz	49
7.1	Gebäudeklima-Simulation	49
7.1.1	Betrachtung des Simulations-Raumes mit wärmetechnisch unterschiedlicher Außenwand mit Fußbodenheizung	51
7.1.2	Betrachtung des Simulations-Raumes mit wärmetechnisch unterschiedlicher Außenwand mit Konvektor	53
7.2	Wärmestromdichte am Fenster mit Konvektorheizung:	58
7.3	Wärmestromdichte bei Fußboden-Heizung:	60
7.4	Vergleich der Wärmestromdichte mit Fokus auf den Flügelrahmen:	61
7.5	Luftströmungen bei Beheizung mittels Konvektor:	63
8	Gebäudeklimabezogene Wärmeübergangswiderstände an Fenstern	73

8.1	Schlussfolgerung für die Betrachtung der Oberflächentemperaturen von Fensterkonstruktionen in der Bemessung und in Situ:	76
9	Einfluss der wärmetechnischen Entwicklung der Fensterkonstruktionen	77
10	Gebäudeklimaseitige Verbesserungsmaßnahmen der Randbedingungen für hochwärmedämmende Fensterkonstruktionen	80
10.1	Mangelnde Wärmezufuhr	80
10.2	Belastung durch Luftdruck	80
10.3	Feuchtebelastung	86
10.3.1	Volumen	86
10.3.2	Feuchteabsorbierende Oberflächen	87
10.3.3	Luftwechsel	87
10.3.4	Druckverhältnisse im Raum	87
10.4	Beispiel	88
11	ZUSAMMENFASSUNG	92
12	KURZFASSUNG GEBÄUDEKLIMAANALYSE	95
13	Resümee	98
14	Maßnahmen:	99

0 Präambel

Trotz der in den vergangenen Jahren erfolgten wärmetechnischen Verbesserungen an Gebäuden und innovativer Optimierungen an Fensterkonstruktionen wird Kondensatbildung sowohl an Verglasung und Rahmen als auch an Stock- und Flügelrahmen immer wieder beobachtet. War in der Vergangenheit häufig die Verglasung selbst beziehungsweise insbesondere deren Randbereich davon betroffen, so hat sich der Schwerpunkt von der Verglasung mittlerweile auf andere Funktionsbereiche der Fensterkonstruktion, wie zum Beispiel den Funktionsfalz verlagert. Dabei tritt Kondensatbildung immer wieder auch nach einer thermischen Sanierung von Gebäuden auf, und oftmals sind auch Fensterkonstruktionen betroffen, die ebenfalls thermisch optimiert wurden.

Häufig wird die Ursache Kondensatbildung dem Nutzer zugeschrieben, ebenso häufig werden diverse Ausführungsdetails an Fensterkonstruktionen oder der Fensteranschluss als maßgeblich vermutet. Wenn nicht ein eindeutiger Mangel an der Fensterkonstruktion selbst gefunden wird, bleibt die Ursache oft diffus.

Dies führte dazu, den Focus dieser Untersuchung etwas breiter anzulegen, nämlich das Zusammenwirken von Gebäude, Raumklima und Fenster zu betrachten. Daraus ergibt sich auch der Titel: Gebäude.Klima.Analyse.

Ziel der Arbeit ist es, eine Untersuchung auch hinsichtlich der Fragestellung durchzuführen, ob und in welcher Art das Gebäudeklima bei zunehmender Fokussierung auf den Wärmeschutz der Gebäude in den letzten Jahren in Zusammenhang mit beobachteten Kondensatbildung an diesen Fensterkonstruktionen steht.

Zuerst wird auf den Kondensatbefund eingegangen, ebenso wie auf die primäre Ursache der Kondensatentstehung. In der Folge wird betrachtet, welche wesentlichen Vorgaben es bezüglich der Fensterkonstruktion in den aktuellen Regelwerken gibt. Schließlich wird in einer Simulation das Zusammenwirken von Gebäude, Klima und Fensterkonstruktion betrachtet und analysiert. Ebenfalls wird die thermische Entwicklung der Fensterkonstruktion in diesem Zusammenhang beleuchtet.

Aus den Untersuchungen ergeben sich deutliche Regeln, die in der Planung und Nutzung zu beachten sind, will man die Kondensatproblematik minimieren. Es zeigt sich aber auch, dass es erforderlich wird, die derzeitige wärmetechnische Betrachtung der Fensterkonstruktion zu überdenken und neue Kriterien für eine erwünschte Kondensatvermeidung festzulegen, um bereits bei der Planung eines Gebäudes die richtigen Maßnahmen treffen zu können.

1 Einleitung

Kondensat und Eisblumenbildung gehörten in der Vergangenheit genauso zum Fenster wie der typische Fensterpolster, der zum einen die Zugluft im Winter reduzierte und zum anderen auch Feuchtigkeit aufnehmen und bei Sonneneinstrahlung wieder verdunsten konnte.

Kondensat und Eis am Fenster

Mit der Einführung von Isolierverglasung und Einfachfenstern – gegenüber dem früher üblichen Kastenfenster – schien das Problem geringer zu werden. Gab es Kondensatprobleme, war dies eher mit Schimmelbildung an den Leibungen verbunden, und wenn, dann trat Kondensat am Isolierglasrand auf. Mit der Verbesserung der Dichtungen an den Fensterkonstruktionen, der Verwendung von zwei oder gar drei Dichtungsebenen und der damit einhergehenden Verringerung der Luftdurchlässigkeit wurde Kondensat am Isolierglasrand dann wieder häufiger, verbunden mit steigender Luftfeuchte in den Räumen. Die Antwort war der thermisch verbesserte Randverbund im Isolierglas, der auch mit den steigenden Anforderungen im Wärmeschutz von Gebäuden stark forciert wurde. Mit zunehmender Wärmedämmung der Gebäudehülle und zahlreichen Maßnahmen zur Verringerung des Wärmedurchgangs an den Fensterrahmen konnte der Heizwärmebedarf am Papier deutlich verringert werden, nicht aber die Kondensatbildung, die nach wie vor in der kalten Jahreszeit bei so manchem Nutzer den Zornesschweiß und so manchem Fensterlieferanten Angstschweiß hervorruft. „Lüften Sie mehr“ lautet eine häufige Antwort. „Da muß doch ein Mangel an meinen Fenster sein, der Nachbar hat kein Kondensat“ ist die Befürchtung der Nutzer. Die Realität ist eine andere, wie sich zeigt.



Bild 1.1 links Kondensatbildung an der Isolierverglasung und auf Blend- und Flügelrahmen sowie rechts in der Funktionsfuge eines Fensters

1.1 Kondensat „am“ und „im“ Fenster?

Kondensat „am“ und „im“ Fenster, trotz zunehmender thermischer Qualität der Gebäudehülle und der Fensterkonstruktionen ?

Kondensat bei
verbessertem
Wärmeschutz ?

Seit mehr als 15 Jahren, und damit in jenem Zeitraum, in welchem die Anforderungen an den Wärmeschutz an unsere Gebäude und Bauteile und damit auch an Fenster stark zugenommen haben, verzeichneten wir am Labor für Bauphysik der Technischen Universität Graz immer wieder mit Beginn der kalten Jahreszeit Klagen über das „Anlaufen von Fenstern“, über ab rinnendes Kondensat, bis hin zur Eisbildung an und in Fenster- und Fenstertürkonstruktionen.

Dabei ist zu beobachten, dass sich der Schwerpunkt dieser Klagen kontinuierlich gewandelt hat. Handelte es sich anfangs hauptsächlich um Kondensat am Isolierglasrand und an der Verglasung von Fenster- und Fenster-Türkonstruktionen, verlagerte sich die Kondensatbildung in der weiteren zeitlichen Entwicklung des Baugeschehens verstärkt in den Glas- und vor allem in den Funktionsfalz, mit teilweise zu beobachtendem ab rinnendem Kondensat bis hin zur Eisbildung an Dichtungen und Beschlagsteilen.



Bild 1.2 Kondensat im Funktionsfalz an der Mitteldichtung

Nicht zuletzt konnten wir in weiterer Folge insbesondere bei schlechter gewarteten und gereinigten Fenstern auch Schimmel- und Pilzbildung und in manchen fortgeschrittenen Fällen sogar Materialzerstörungen bei Begutachtungen feststellen.

Sichtbare Kondensatbildung wird gelegentlich auch im Glaszwischenbereich von Kastenfenstern, innovativen Verbundfenstern sowie Außen auf Mehrfach-Isolierverglasungen und Abschlüssen beanstandet, aber auch eine Kondensatbildung in Isolierverglasungen ist

ein wiederkehrendes Thema, obwohl hier eine mögliche Ursache – ein nicht ausreichend dichter Randverbund – vielen geläufig ist.

Hand in Hand gehen diese Erscheinungen mit oft sehr emotionalen Darstellungen der Problematik durch die Betroffenen, und nicht selten wird dank der heute zunehmend verbreiteten Rechtsschutzversicherung mit gerichtlichen Schritten und Mangelklagen nicht nur gedroht.

Die emotionale Auseinandersetzung, die man hier häufig antrifft, wird zum Teil dadurch verständlich, dass betroffene Bewohner, aber auch Fachleute diesem Phänomen in manchen Fällen auch heute noch mehr oder weniger ratlos gegenüber stehen.

Kondensat: Wenn es einmal da ist, kommt es immer wieder...

Hinweise, wie man sie häufig in der Literatur findet, die auch logisch erscheinen und dann auch häufig so weitergegeben werden, nämlich doch einfach öfter zu lüften, bringen subjektiv oft scheinbar zufällig Abhilfe, auch wenn dies oft auch in Verbindung mit der tatsächlichen Umsetzung von aktivem Lüften in Zusammenhang steht. Nicht selten geht mit der Abnahme der Kondensatbildung auch die Lüftungsaktivität zurück damit erregt nach kurzer Besserung des Zustands neues und wieder zunehmend häufiger wiederkehrendes Kondensat im Zeitverlauf dann früher oder später doch wieder die Aufmerksamkeit der Nutzer.

Somit bleiben als Reaktion darauf Beschwerden und Klagen über Mängel, Mängel die dann meist unmittelbar dem Fenster zugeschrieben werden.

Adressaten dieser Beschwerden sind vor allem Hausverwaltungen, Arbeiterkammern, die Wohnbauförderungsabteilungen der Länder, seltener Planer und Baumeister. Früher oder später landen diese als Mangelbeschwerde auch beim Fensterlieferanten und Fensterhersteller, auf Grund der Schlussfolgerung, dass ein derartiges Kondensat am Fenster jedenfalls ein Hinweis auf einen Mangel des Fensters sein müsse, da es ja immer wieder dort auftritt.

1.2 Ursachenanalyse

In der folgenden Studie soll die Problematik näher untersucht, dieses scheinbar sehr einfache Geschehen der Kondensatbildung in seiner Komplexität dargestellt und durch das Aufzeigen der Funktionsmechanismen und Zusammenhänge mögliche Handlungspfade dafür aufgezeigt werden, wie unerwünschte Kondensatbildung zukünftig besser vermieden werden kann.

Analyse und Wege zur Kondensatvermeidung

Auf den folgenden Seiten wird, ausgehend von den Erscheinungsformen der Kondensatbildung zuerst die physikalische Entstehung von Kondensat betrachtet und es werden die komplementären primären Ursachen von Kondensatbildung dargestellt.

In weiterer Folge wird auf das Raumklima aus Sicht des Nutzers eingegangen.

Ein Exkurs zeigt, welche klimatischen Bedingungen in Wohnungen heute vorzufinden sind.

Die „Bemessung“ der Gebäudehülle und auch der Fenster aus hygrothermischer (wärmetechnischer und feuchtetechnischer) Sicht erfolgt auf Basis der Baugesetzgebung in der Regel über einschlägige Normen. Daher soll auch auf die heute von diesen Normen für die feuchtetechnische Bemessung der Fensterkonstruktionen vorgegebenen Randbedingungen eingegangen werden.

Die hygrothermische Leistungsdeklaration von Fensterkonstruktionen auf Grundlage der Produktnorm bilden einen weiteren Abschnitt.

Fenster und
Leistungsdeklaration

In diesem Zuge wird auf den grundlegenden Aufbau von Fensterelementen eingegangen, soweit dies für die Problematik relevant ist. Wesentlich sind dabei auch spezifische Eigenschaften, welche heute auf Grund der europäischen Bauprodukteverordnung zur Erfüllung der Bestimmungen Produktnorm vom Hersteller als Leistungen in der Leistungsdeklaration zu deklarieren sind, sowie die Ermittlung dieser Leistungen.

Aus den oben dargestellten Leistungsdeklarationen und den gesetzlichen, gelegentlich auch zivilrechtlichen Anforderungen ergeben sich die hygrothermischen Konstruktionsrandbedingungen, in deren Rahmen heute Fenster entwickelt und hergestellt werden.

In einem weiteren Kapitel wird untersucht, wie sich das Gebäudeklima – zuerst am Beispiel eines Raumes und im weiteren aus der Betrachtung der Auswirkungen des gesamten Gebäude und seinem Standort auf die hygrothermischen Randbedingungen für das Fenster an seinem Einbauort auswirken.

Fenster und Gebäudeklima

Beschäftigt man sich länger mit aufgetretenen Kondensat Problemen, so fällt auf, dass es sich um ein sehr umfassendes Themenfeld handelt, und bestimmte Faktoren das Risiko für die Kondensatbildung sehr wesentlich beeinflussen.

Nur ein Teil dieser Faktoren und Randbedingungen ist derzeit in den oben genannten Normen und Regelungen abgebildet.

Es zeigt sich, dass die Kondensatbildung in den meisten Fällen bei fach- und produktnormgerechter Fensterkonstruktion auf die Diskrepanz zwischen den nach dem Stand der Technik (oft auch dem Normenstand) geforderten und der nach dem heutigen Stand der Produktnorm definierten Klimaresistenz moderner Fensterkonstruktionen zur realen Gebäudeklimabelastung zurückzuführen ist, welche mit den steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz und der Energieeinsparung real deutlich zugenommen hat, meist ohne dass geeignete kompensatorische Maßnahmen in der Planung und Ausführung der Gebäude ergriffen werden, die eine ausreichende Erwärmung des Fensterbereiches oder ein Absenken der Luftfeuchte und/oder eine Verhinderung von Überdruck in den Gebäuden sicherstellen.

Die untenstehende Abbildung zeigt, wie für Gebäude in Österreich die Anforderungen an die Begrenzung des Heizwärmebedarfs gestiegen sind und weiter steigen. Die Anforderungen sind über der charakteristischen Länge der Gebäude aufgetragen, also deren Verhältnis von Volumen zu Oberfläche, was zu Folge hat, dass kompakte Gebäude weniger Heizwärmebedarf haben müssen.

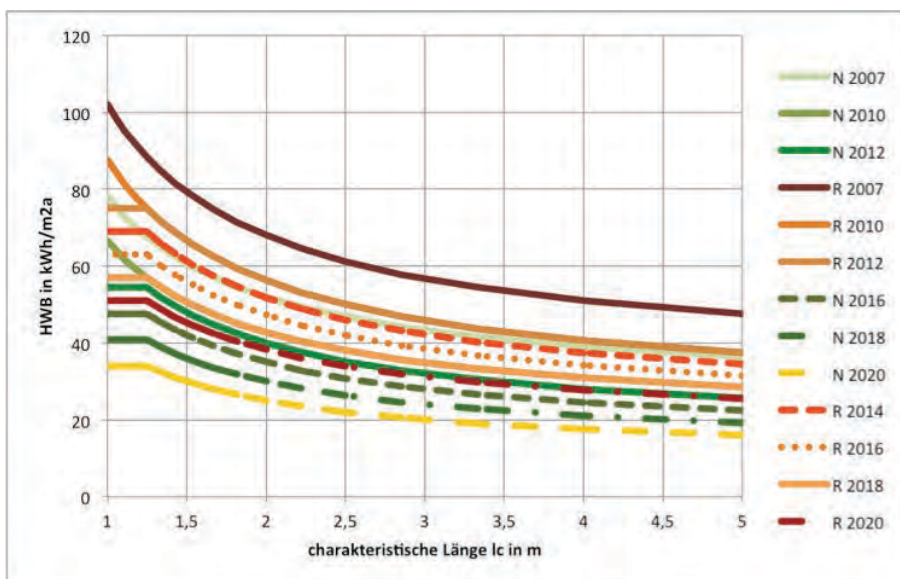
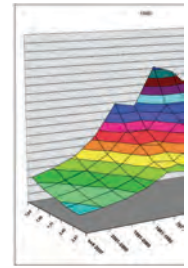
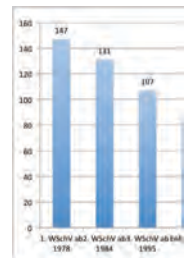


Bild 1.3 Entwicklung der Wärmeschutzanforderungen in Österreich

Es wird bei genauerer Betrachtung deutlich, dass das System Gebäudehülle und Gebäudeklima aufgrund der reduzierten Energiezufuhr in das System sensibler wird, und Randbedingungen, die früher kaum Probleme verursachten, heute deutlicher sichtbar werden, zum Beispiel in Form von Kondensatbildung.



- Entwicklung des Heizwärmebedarfs in Österreich seit 1919 nach C. Pöhn



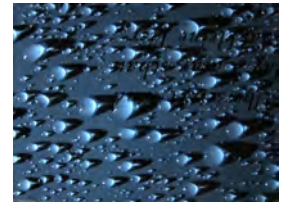
- Mittlerer maximaler Endenergiebedarf von Neubauten in Deutschland
- Daten aus: Umweltbundesamt 2012, Energieeffizienzdaten für den Klimaschutz

Für eine umfassende Betrachtung ist es daher erforderlich, die klimatischen Bedingungen, denen ein Fensterelement in seiner eingebauten Lage ausgesetzt ist, im Detail zu betrachten und dem Umgang mit diesen Umständen künftig vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken, aber auch in der Weiterentwicklung des Bauens besser zu berücksichtigen.

Kondensatbildung am Fenster steht immer im Zusammenhang mit dem Umgebungsklima. Die bei der Kondensatbildung am Fenster ausfallende Feuchte ist jene, die in der Umgebungsluft – innen oder außen – enthalten ist. Daher gilt es zu bedenken:

Nicht das Fenster macht das Kondensat, sondern es entsteht aus dem umgebenden Gebäudeklima.

Kondensat steht immer in Zusammenhang mit dem Umgebungsklima



Kondensat besteht aus der in der Umgebungsluft enthaltenen Feuchte!

Daher sind für die Entstehung von Kondensat die internen und externen Klimabedingungen an der jeweiligen Gebäudehülle (Wand, Fenster, Türen, Dach etc.) wesentlich, und das Fenster ist Teil dieser Hülle. Wir können auch von einem aus mehreren Komponenten zusammengesetzten Lastfall „Gebäudeklima“ und damit von Klimlasten sprechen, denen Fenster als Teil der Gebäudehülle ausgesetzt sind.

Die Leistungen von Fensterkonstruktionen sind, damit die Fenster auf den Markt gebracht werden dürfen, vom Hersteller entsprechend der Produktnorm zu erklären. Die für die Anwendung an einem konkreten Projekt durch einen Planer erforderliche Bemessung sowie die Festlegung der Randbedingungen, wie sie in den spezifischen Normen vorgegeben sind, werden in einem weiteren Kapitel betrachtet.

Schließlich wird auf die Einflussparameter eingegangen, welche die Gebäudeklimalast beeinflussen können, und die bei Planung, Herstellung und Nutzung beachtet werden können, um das Risiko von Tauwasseranfall zu reduzieren.

Für diese Intensität dieser Klimlasten sind innen die volumenbezogene Nutzung, die Raumheizung, die Lüftung, die Raumausstattung, die Materialien, Oberflächen und die räumliche sowie die gebäudebezogene Einbaulage der Fenster wesentliche Faktoren, für Außen sind dies Wetter, Standort, Orientierung und Gestaltung der Fassade.

Alle diese Einflüsse zusammen ergeben dann jenes Szenario, das schließlich entscheidend dafür ist, ob es in bestimmten Fällen zu

Kondensatbildung kommt oder nicht, wie die folgenden detaillierteren Betrachtungen zeigen werden.

Die kontinuierliche, aber maßgebliche Änderung des Gebäudeklimas infolge des Klimawandels und der damit verbundenen Energieeinsparung bringt es mit sich, dass eine genauere Kenntnis der Zusammenhänge zukünftig notwendig ist, um kritische Situationen zu vermeiden und rechtzeitig erforderliche Maßnahmen bereits bei der Planung und bis hin zur Nutzung von Gebäuden bewusst treffen zu können.

Überdruck und zu geringe Wärmezufuhr sind für die gesamte Gebäudehülle eine Belastung.

Versäumnisse in diesem Bereich werden dann später sichtbar, wenn an einem produktnormgerechten und fachgerecht dimensionierten und Fenster im Gebäude dann doch Kondensat sichtbar wird:

Das Fenster wird zum Indikator zu hoher Gebäudeklimalast.

Das Fenster als Indikator zu hoher Gebäudeklimalast

Kondensat am Fenster zeigt eine vorhandene Belastung der Gebäudehülle durch Feuchtigkeit aus der Raumluft an. Das Gleichgewicht zwischen der Wärmezufuhr und der Feuchtezufuhr ist dann nicht mehr in ausreichendem Maße gegeben. Es gilt, die Raumluftfeuchte zu senken und für eine höhere Oberflächentemperatur zu sorgen.

2 Kondensat am Fenster

Hier lassen sich prinzipiell grob unterteilt acht Erscheinungstypen unterscheiden, die wiederum verschiedene Intensitäten aufweisen können.

- Kondensatbildung an der Verglasung innen
- Kondensatbildung an der Verglasung außen
- Kondensatbildung im Glasfalz
- Kondensatbildung im Funktionsfalz
- Kondensatbildung an Blend- und Flügelrahmen innen
- Kondensatbildung zwischen den Verglasungen bei Kasten- und Verbundfenstern
- Kondensatbildung an Blend- und Flügelrahmen am Verbund- oder Außenflügel
- Kondensatbildung an Abschlüssen

Kondensatzonen am Fenster

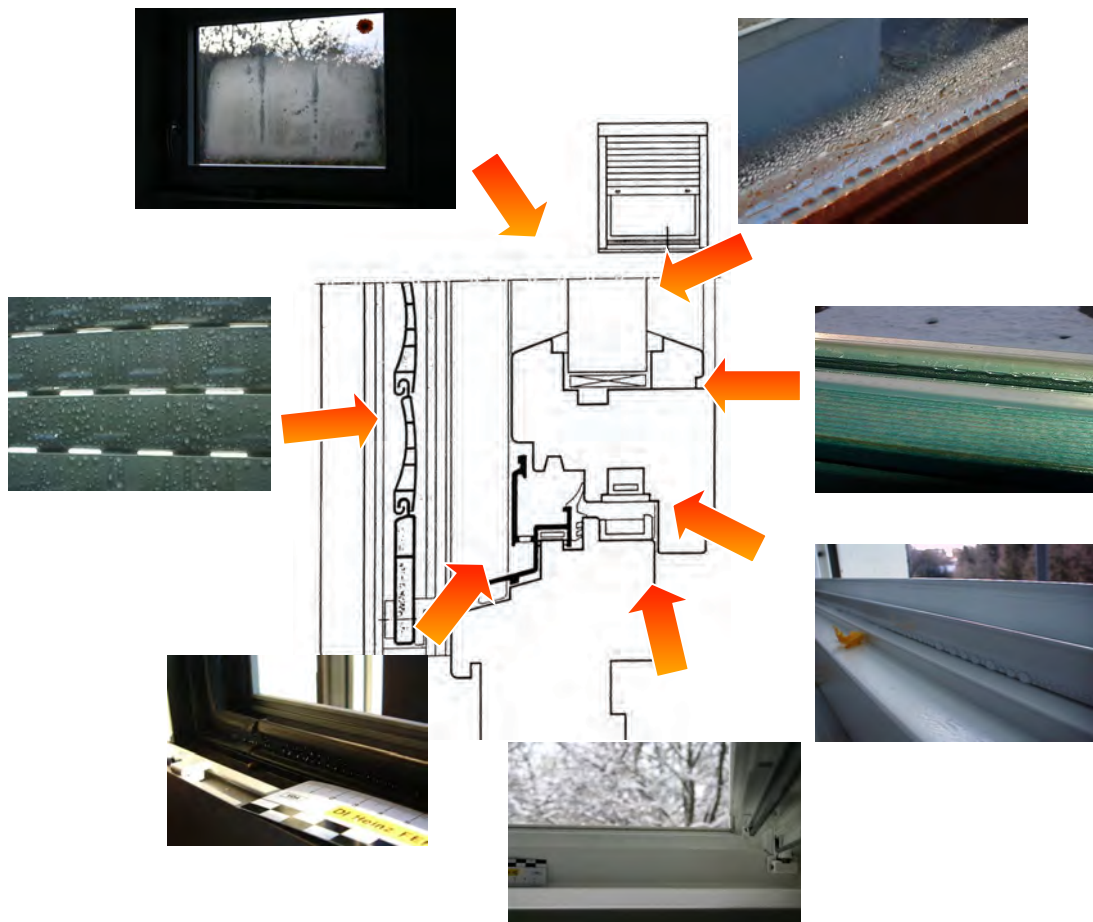


Bild 2.1 Beispiele typischer Kondensat-Zonen am Fenster

2.1 Erscheinungsformen von Kondensat

Das Auftreten von Kondensat ist abhängig von der Gebäudeklimalast und wird mehr oder weniger nahezu unabhängig vom Fensterwerkstoff in allen Formen beobachtet, dennoch können bestimmte Fensterkonstruktionsmerkmale und Oberflächen zu einer höheren Beobachtungs-Wahrscheinlichkeit führen.

Quantitative Betrachtung

Die Betauung kann dabei

- punktförmig
- linienförmig
- teilflächig
- vollflächig

und dabei wiederum

- geringfügig benetzt
- Einzeltropfen, kaum sichtbar
- Tropfen sichtbar, jedoch nicht abtropfend
- Tropfen sichtbar, abtropfend
- aber auch nicht direkt sichtbar ,gebunden im Werkstoff ohne Schimmelbildung

aber auch in Form von Schimmelbildung oder Eisbildung in Erscheinung treten.



Bild 2.2 Abrinnendes Kondensat an einer Festverglasung, Am Silikon der Nassabdichtung ist bereits Schimmelwachstum an Verschmutzungen erkennbar.

Die Lokale Verteilung der Kondensatbildung kann auch als Unterscheidungsmerkmal zur näheren Beschreibung dienen, ist aber in der Regel nur zur Beschreibung der Momentaufnahme sinnvoll.

Tabelle 2.1 Erscheinungsformen von Kondensatbildung:

linienförmig			geringfügig, matt
teilflächig			Einzeltröpfen
vollflächig			kristallin gefroren

2.2 Klassifizierung der Kondensatbildung

Häufig besteht bei der Befundaufnahme das Problem der Quantifizierung der Kondensatbildung, auch hinsichtlich der Einschätzung der erforderlichen weiteren Vorgangsweise. Abrinnendes Kondensat erfordert unmittelbares Handeln, um nicht gegen die durch Vernunft und auch rechtlich geforderte Schadensminderungspflicht gegen Feuchteschäden zu verstoßen.

Zur Beschreibung der Kondensation wurde auf Basis üblicherweise auftretender Kondensaterscheinungen eine Tabelle erarbeitet, mit deren Hilfe eine erste Beschreibung und Einstufung der beobachteten Kondensat Menge erfolgen kann.

Diese Unterteilung der Intensität der beobachteten Kondensatbildung kann sehr praxisgerecht mit folgender Klassifizierung erfolgen.

Zu beachten ist, dass das Auftreten sich im Tageszeitverlauf ändert und daher eine längere Beobachtung unter verschiedenen Bedingungen unter Zuordnung dieser Bedingungen und schriftlicher Aufzeichnung erfolgen sollte, um eine Zuordnung zu den jeweiligen Randbedingungen vornehmen zu können. Dazu sollten die Beobachtungszeit, die Wetterbedingungen, die Außentemperatur und möglichst auch die Innentemperatur und Innenluftfeuchtigkeit samt Bezeichnung des Messgerätes aufgezeichnet werden.

Wird anstelle von flüssigem Kondensat Eisbildung beobachtet, so kann dies in der Klassifizierung mit dem Zusatz „E“ zur jeweiligen Klasse erfolgen, also z.B. Kondensatbildung der Klasse E4 für das folgende Bild:

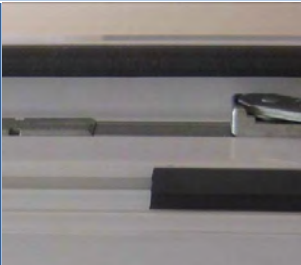
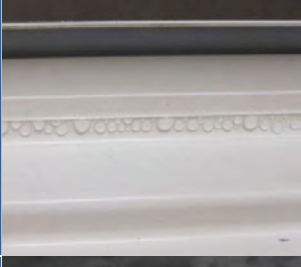
Eine Begutachtung gibt immer nur einen Momentaneindruck. Daher ist es erforderlich, auch die wesentlichen Randbedingungen festzuhalten.



Bild 2.3 Beispiel für Kondensatklasse 4 E mit deutlicher Eisbildung an der Mitteldichtung

Wesentlich ist es, auch die weiteren relevanten Parameter festzuhalten, da die Beobachtung naturgemäß in engem Zusammenhang mit den gegebenen Parametern im Zeitverlauf steht.

Tabelle 2.2 Klassifizierung der Kondensatbildung:

Klasse	Rahmen	Glas	Beschreibung
0			Kein sichtbarer Tauwasserausfall
1			Gerade noch sichtbarer Tauwasserausfall; Geringfügig benetzt
2			Tropfenbildung sichtbar, nicht ablaufend
3			Tropfenbildung sichtbar, Einzelne Tropfen laufen zusammen, an Kanten Linienbildung
4			Lachenbildung am / im Fenster, abrinnde Tropfen
5			Abrinnendes Kondensat, Lachenbildung auf angrenzenden Oberflächen

2.3 Befund - Dokumentation

Wesentlich ist es darüber hinaus, die Randbedingungen bei der Begutachtung zu dokumentieren.

Diese sollten zumindest folgende Punkte umfassen:

Standort und Lage des Gebäudes

Bilder des Befundgegenstandes

Wesentliche Faktoren, zB.:



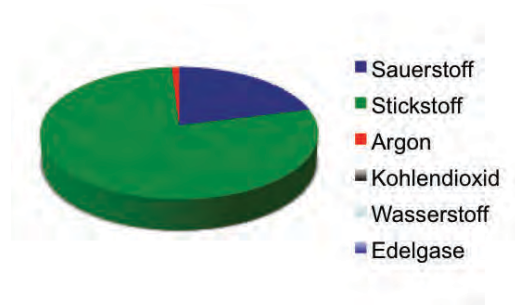
Kriterium	Beschreibung
Klasse	E4
Befund	Eisbildung unteres Stockrahmenfries an Mitteldichtung raumseitig
Wann	10.2.2014, 06:30
Wo	Schlafzimmer 3.OG, West
Was	Fenster zweiteilig, mit Stulp
Zustand	Gereinigt, gewartet Flügel re schleift an Schließblech unten
Klima Raum	22°C 45%
Klima Fenster	18°C 55%
Beheizung	Fußbodenheizung, Nachtabsenkung
Klima Außen	-5°C 80%
Wetter	Klarer Himmel, Boden Schneebedeckt, leichter Wind aus Ost

Darüber hinaus sind jedenfalls eventuelle Beschädigungen, Wartungsmängel und Verschmutzungen sowie sonstige Auffälligkeiten zu dokumentieren.

3 Was ist Kondensat?

Unsere Raumlufte ist ein Gemisch aus verschiedenen Gasen, die in der Regel folgende Zusammensetzung haben:

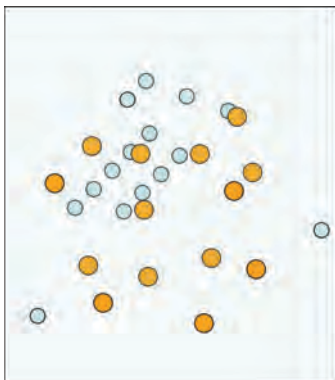
- Sauerstoff (21%)
- Stickstoff (78%)
- Argon (0,9%)
- Kohlendioxid (0,03%)
- Wasserstoff (0,01%)
- Neon, Helium, Krypton, Xenon..(0,002%)



Der größte Teil besteht somit aus Stickstoff, gefolgt von Sauerstoff.

Dazwischen haben noch mehr oder weniger Wasserdampfmoleküle Platz. Der maximale Wasserdampfgehalt in der Raumlufte ist temperaturabhängig.

Ist weniger als der maximale Wasserdampf vorhanden, wird dies häufig in Prozent der maximal bei der vorhandenen Temperatur enthaltenen Wasserdampfmenge ausgedrückt.



Um die tatsächliche Feuchtigkeitsmenge zu kennen, ist jedenfalls die Angabe der relativen Luftfeuchte und der Temperatur gleichzeitig erforderlich.

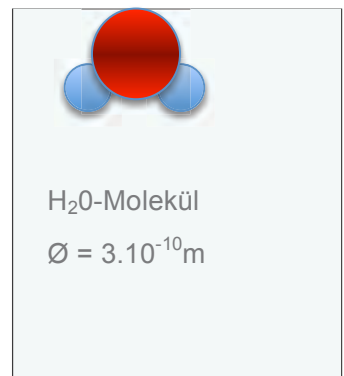
Diese beiden Angaben zeigen an, wie weit die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Ist die Luft zu 100% gesättigt, kann z.B. als bekannte Erscheinung Nebel auftreten, das Wasser wird tröpfchenförmig sichtbar, da die Bewegungsenergie der Moleküle bei zu

geringer Temperatur nicht mehr ausreicht, die Bindungskräfte eines Wassermoleküls zum benachbarten zu überwinden.

Wassermoleküle sind Dipole mit ausgeprägten zwischenmolekularen Anziehungskräften, die sich durch die so genannte Wasserstoff-Brückenbindung in der Luft zu Clustern zusammenlagern, die jedoch um so kürzer beständig sind, je höher die Temperatur ist.

Kondensation erfolgt üblicherweise als heterogene Kondensation meist an schwebenden kleinen Partikeln in μm -Größe als Kondensationskernen oder sonstigen geeigneten Oberflächen bereits bei geringer Übersättigung.

Da die mögliche Anzahl der mehr oder weniger frei in der Luft vorhandenen Wassermoleküle von ihrer Bewegungsenergie abhängig ist, stehen Lufttemperatur und Wasserdampfmenge in engem Zusammenhang.



Somit gilt:

Wie viel Wasserdampf die Luft aufnehmen kann, ist temperaturabhängig: warme Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen, als kalte Luft.

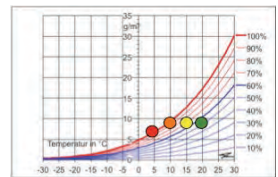


Bild 3.2 Klimadiagramm

Dies lässt sich an folgendem Beispiel verdeutlichen, in dem schematisch 1 m^3 Luft dargestellt ist:

Bei 20°C würde eine relative Luftfeuchte von 100% bedeuten, dass 18 g Wasser in diesem Kubikmeter Luft enthalten sein können. Eine Angabe von 50% bedeutet damit die halbe mögliche Menge, also 9 g/m^3 Wasser. Wird diese Luft mit den darin enthaltenen 9 g/m^3 Wasser nun abgekühlt, steigt die relative Feuchte auf 75%, da bei 15°C nur maximal 13 g/m^3 Wasser enthalten sein können.

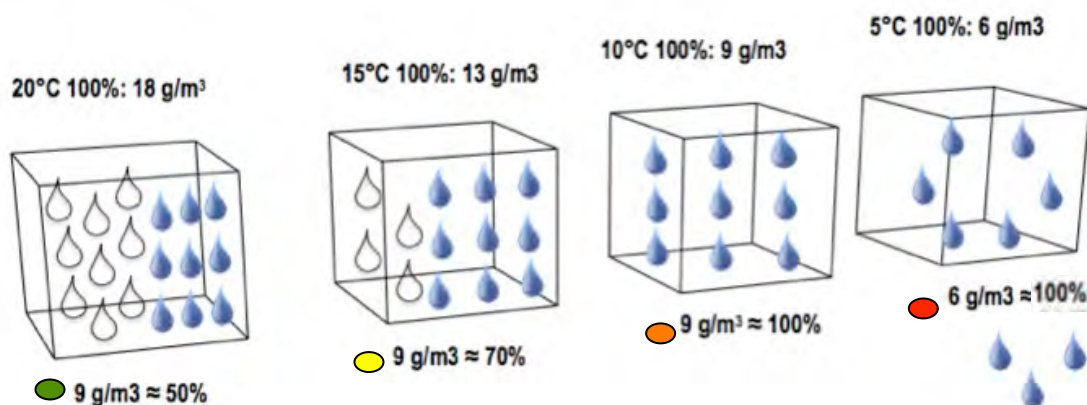


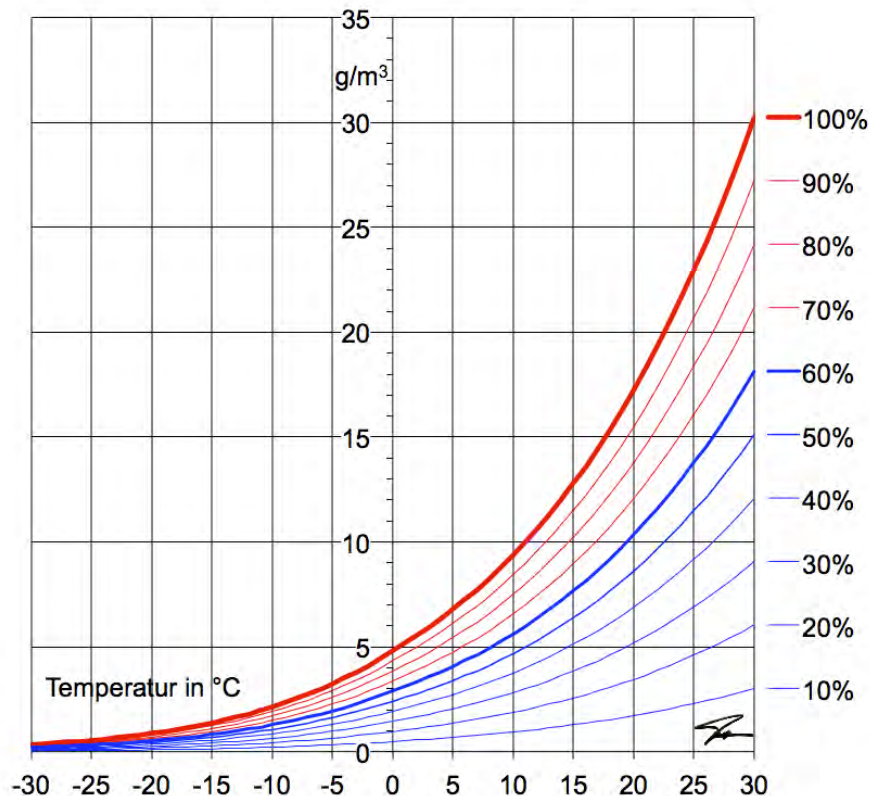
Bild 3.1 Wasserdampfgehalt in 1 m^3 Luftvolumen bei verschiedenen Temperaturen. Oben der maximale Feuchtegehalt und unten die Angabe der relativen Feuchtigkeit dieser Luft bei der jeweils angegebenen Temperatur. Die Luft links mit 9 g Wasser bei 20°C ist zu 50% gesättigt. Wird die Luft auf 15°C abgekühlt, ist die Luft zu 70% gesättigt. Kühlt man weiter ab, so ist die Luft bei 10°C dann zu 100% gesättigt. Bei einem weiteren Abkühlen auf 5°C müssen nun 3 g Wasser ausfallen, da 5°C kalte Luft bereits mit 6 g Feuchte je Kubikmeter gesättigt ist.

Bei einem weiteren Abkühlen auf 10°C wir nun Sättigung erreicht, also 100% relative Luftfeuchte. Ein weiteres Abkühlen führt nun dazu, dass die überschüssige Wassermenge ausfällt, als Nebel oder Kondensat an Oberflächen.

Wenn somit feuchte, warme Luft so weit abgekühlt wird, dass der enthaltene Wasserdampf nicht mehr gehalten werden kann, fällt überschüssiges Wasser aus – es bilden sich Tröpfchen.

Dieses physikalisch bedingte Verhalten kann übersichtlich in einem Diagramm dargestellt werden.

Auf der Achse unten ist die Lufttemperatur aufgetragen. Vertikal ist einmal der absolute Feuchtegehalt, also wieviele Gramm Wasser je Kubikmeter Raumluft enthalten sind, aufgetragen. Die eingetragenen Kurven geben den Verlauf der relativen Feuchte über den Temperaturverlauf wieder. 100% bedeutet die in der Regel maximal bei der jeweiligen Temperatur mögliche Feuchte.



Der Feuchtegehalt der Luft kann als absolute Luftfeuchte oder als relative Luftfeuchte angegeben werden. Bei der relativen Luftfeuchte ist immer auch die Angabe der Temperatur erforderlich. Bei gleicher relativer Luftfeuchte ist bei höherer Temperatur deutlich mehr Wasser in der Luft enthalten.

Bild 3.3 Diagramm zum Zusammenhang zwischen Lufttemperatur, relativer und absoluter Luftfeuchte

Um den tatsächlichen (absoluten) Feuchtegehalt zu kennen, benötigt man die Angabe der jeweiligen Temperatur und der relativen Feuchte. Zu erkennen ist, dass in kalter Luft sich wesentlich weniger Feuchte halten kann, als in warmer Luft, und dass bei höheren Temperaturen der Feuchtegehalt deutlich progredient ansteigt.

So entsprechen 50% relative Luftfeuchte bei 20°C einer absoluten Feuchte von etwa 8,6 g/m³. Bei 25°C enthält die Luft bei 50% aber bereits über 11,5 g/m³. Eine höhere Temperatur bei gleicher relativer Luftfeuchte stellt also auch eine deutlich höhere Klimabelastung für die Außenbauteile dar.

Kühlt die Luft ab, kann die Feuchte nicht mehr gasförmig gehalten werden, die Feuchtigkeit kondensiert. In der Natur ist dies der Effekt als Nebel oder Wolkenbildung geläufig.



Bild 3.4 Beispiele für Feuchtesättigung: Boden-Nebel und Cumulus-Wolken

Wird warme, feuchte Luft mit Oberflächen in Verbindung gebracht, deren Temperatur geringer ist, als jene Temperatur, bei der die Luftfeuchte 100% erreichen würde, wird diese Oberfläche nass, die Luftfeuchte fällt als Kondensat oder Tauwasser aus, man spricht von Kondensieren, Betauen oder auch Tauwasser.

Ein bekanntes Beispiel ist die Flasche aus dem Kühlschrank, die im warmen Raum sofort feucht wird, die Raumluft kondensiert an der kalten Flaschenoberfläche.

In der Bauphysik spricht man davon, dass die Temperatur der kalten Oberfläche die Taupunkttemperatur der umgebenden Luft unterschritten hat.

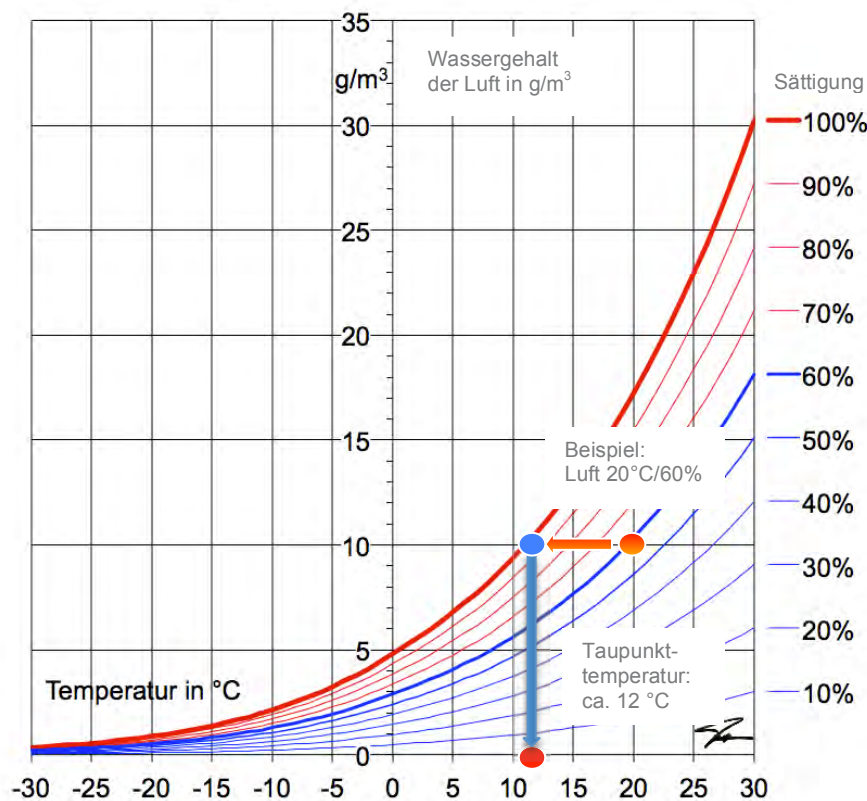
Bewegte Luft kann mehr Feuchtigkeit auf kalte Oberflächen bringen. Daher ist es wichtig, eine kontinuierliche konzentrierte Durchströmung der Gebäudehülle zu verhindern.

Will man also Kondensat an einer Oberfläche vermeiden, sollte diese jedenfalls eine Oberflächentemperatur über der Taupunkttemperatur der an ihr anliegenden Luft aufweisen.

Die Taupunkttemperatur lässt sich im Diagramm einfach ablesen. So beträgt bei einer Raumtemperatur von 20°C und einer Luftfeuchte von 60% die Taupunkttemperatur etwa 11-12 °C. Alle Oberflächen mit geringeren Temperaturen, die mit dieser Luft in Kontakt kommen, werden nass.



Bild 3.5 Tauwasser auf der kalten Flasche



Tauwasser kann ausfallen, wenn die Luft so feucht ist, dass bei der Temperatur einer Oberfläche 100% Luftfeuchte überschritten werden.

Bild 3.6 Ermittlung der Taupunkttemperatur

Jene ursprünglich dampfförmige Wassermenge, die mit Oberflächen mit Temperaturen unter der Taupunkttemperatur in Kontakt kommt, kann als Tauwasser ausfallen.

Für die Betrachtung auf der Zeitachse, also instationäre Vorgänge, wie sie später noch von Bedeutung sind, ist zusätzlich der Kontakt und die Verweildauer der übersättigten Luft an der unterkühlten Fläche maßgeblich für die ausfallende Kondensatmenge. Das Ausfallen von Kondensat führt andererseits naturgemäß bei einem begrenzten Luftvolumen zu einer Minderung der absoluten Luftfeuchte, ein Vorgang der für die Luftentfeuchtung genutzt wird.

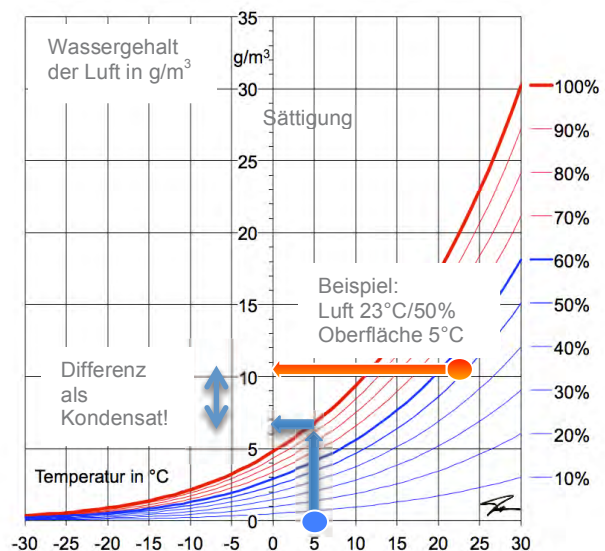


Bild 3.7 Beispiel für mögliche Kondensatmenge:
Luft mit 23°C und 50% bei einer Oberflächentemperatur von 5°C können etwa 3g Kondensat je Kubikmeter vorbeistreichender Luft abgegeben werden.

Unterschreitet die Temperatur dabei den Gefrierpunkt bei 0°C, kann auch Eisbildung die Folge sein, wobei der Vorgang des Frierens bekannter Maßen zusätzlichen Energieentzug erfordert.

Als weitere wesentliche Kriterien können die Sorptionsfähigkeit (also die Möglichkeit der Aufnahme von Wasser) der jeweiligen Oberfläche und auch damit zusammenhängend die Zeitdauer der Unterschreitung der Taupunkttemperatur angesehen werden. Während an glatten, nicht saugfähigen Flächen wie Glas, lackierten Holzoberflächen oder Kunststoffen rasch Kondensat sichtbar wird, wird von absorbierenden Oberflächen, wie unbeschichteten Kalkputz oder sägerauem Holz die

anfallende Feuchte von der Materialoberfläche in das Material transportiert und dort gespeichert.

Dadurch wird erst bei größerer Unterschreitung der Taupunkttemperatur tatsächlich Kondensat sichtbar, wenn die Absorptionsrate überschritten oder die Speicherkapazität des Materials erschöpft ist. Auch die Zeitdauer der Feuchtebelastung ist von Bedeutung: Zum einen in Zusammenhang mit der Feuchte-Speicherkapazität des Materials, zum anderen davon, dass bei einem an einer Oberfläche vorbeiströmenden, feuchten Luftstrom die Feuchtemoleküle Zeit benötigen, um durch Diffusion oder Konvektion an der unterkühlten Oberfläche anzulagern.

Häufig wird die 10°C Isotherme als Kriterium der Kondensatvermeidung genannt, dass also an den inneren Oberflächen der Fensterkonstruktion eine Temperatur von 10°C nicht unterschritten werden soll. Dies ist darauf zurückzuführen, dass unter Anwendung der in den spezifischen Normen enthaltenen Wärmeübergangswiderstandes raumseitig dann bis zu einem Raumklima von rund 20°C und 50% Luftfeuchte die damit gegebene Taupunkttemperatur von 9,3 °C nicht unterschritten wird.

Ebenso wie beim Wärmeübergang lässt sich auch beim Übergang von Wasserdampf zu Kondensat an einer Oberfläche ein Feuchteübergangswiderstand definieren, der in umgekehrt proportionalem Verhältnis zum konvektiven Wärmeübergang steht.

Das bedeutet, dass umso mehr Wasserdampf an der Oberfläche auskondensieren kann, je höher der konvektive Wärmeübergang und damit je höher die Geschwindigkeit der vorbeiströmenden Luft ist.

Im Bereich von und an Fensterkonstruktionen sind konstruktionsbedingt werkstoff- aber in der Regel auch vom Mikro-Gebäudeklima abhängig (wie später noch ausführlich gezeigt wird) Zonen reduzierter Oberflächentemperatur vorhanden, wie z.B. der Isolierglasrandverbund oder auch der Leibungsanschluss, die zusätzlich durch die Einbausituation ungünstig beeinflusst werden können.

Gelingt es andererseits, durch Erhöhen der Konvektion den Wärmeübergang auf das Fenster bzw. die Verglasung zu verbessern, kann man damit auch bei feuchtem Klima ein oberflächenkondensatfreies Fenster erreicht werden. Ein typisches Beispiel dafür sind die Auslagenfenster von Blumengeschäften, in denen häufig ein einfacher Ventilator die warme Raumluft zum Fenster bläst und die Kondensatbildung durch die so erreichte höhere Oberflächentemperatur verhindert.

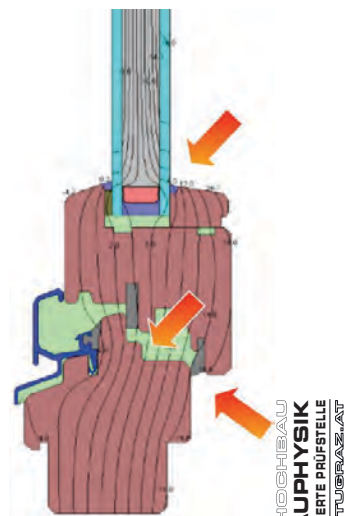


Bild 3.8 mögliche Kondensatzonen an der Fensterkonstruktion

4 Die „primäre“ Ursache von Kondensatbildung

Die primäre physikalische Ursache von Kondensatbildung ist

- *ein zu hoher Feuchtegehalt für eine vorhandene Oberflächentemperatur*

oder

- *eine zu geringe Oberflächentemperatur für einen vorhandenen Luftfeuchtegehalt*

Wie es zu einem zu hohen Luftfeuchtegehalt kommen kann, bzw. zu einer zu geringen Oberflächentemperatur, ist Gegenstand der folgenden Analyse. Bei der Beurteilung von Kondensatbildung ist jedenfalls im Auge zu behalten, dass beispielsweise nächtliche Kondensatbildung auf einem Autodach nicht ursächlich vom Auto hervorgerufen wird. Das soll zeigen, dass eine gegenüber der häufig beim Fenster vorzufindenden Argumentation eine differenziertere Betrachtung erforderlich ist.

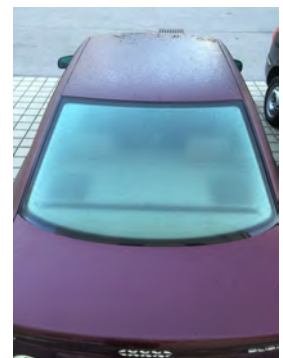


Bild 4.2 Kondensat am Autodach



Bild 4.1 Tauwasser am Gras

5 Das Raumklima aus Sicht der Nutzung

5.1 Raumklima

Gebäude werden errichtet, um für den Menschen ein für die gewünschte Nutzung geeignetes Raumklima zu schaffen. Dabei umfasst der Begriff Raumklima sehr viele Eigenschaften. Für die Kondensatproblematik sind im wesentlichen die in Regelwerken, Normen und auch umgangssprachlich häufig verstandenen Größen der „Raumlufthtemperatur“ und der „Raumlufthfeuchte“ primär relevant. In vielen Räumen werden diese Größen gemessen, und auch im Falle der Beobachtung von Kondensat werden diese Größen zuerst genannt.

In sekundärer Hinsicht beeinflussen aber wesentlich mehr Faktoren letztlich das für die Fenster tatsächlich vorhandene Raumklima. Denn die Verhältnisse im Raum werden nach dem Behaglichkeitsempfinden des Nutzers geregelt, und für dieses sind auch zahlreiche weitere Faktoren maßgeblich.

Aus Sicht des Nutzers oder Bewohners stellt jene Temperatur, die er bei seinem Aufenthalt in einem Raum empfindet, ein wesentliches Kriterium für die Beheizung der Räume dar. Dieses Empfinden der Temperatur ist genau genommen aber nicht nur von der so bezeichneten „Raumlufthtemperatur“ sondern auch von zahlreichen weiteren Einflüssen abhängig, insbesondere von der Temperatur der ihn umgebenden Oberflächen (Strahlungswärmeaustausch), aber auch z.B. von Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte abhängig. Zusätzlich sind diese Faktoren in einem Raum nicht konstant, sondern ändern sich über die Raumhöhe und den Standort im Raum. Darüber hinaus ist diese noch von vielen subjektiven Faktoren, wie Kleidung, Tätigkeit, Gesundheitszustand, Alter, Geschlecht, Körpergewicht und weiten Faktoren beeinflusst.

Vereinfacht wird heute, abweichend von der „Lufttemperatur“ für jene Temperatur, die einen wesentlichen Faktor für das Behaglichkeitsempfinden darstellt, die so genannte „Empfindungstemperatur“ verwendet.

Diese setzt sich aus der mittleren Lufttemperatur im Aufenthaltsbereich und der gemittelten Temperatur der den Menschen umgebenden Oberflächentemperaturen zusammen. In Hinblick auf die menschliche Empfindung bedeutet das vereinfacht, dass geringe Oberflächentemperaturen eine höhere Lufttemperatur erfordern, und bei

Der Nutzer versteht unter Raumtemperatur die Temperatur in seinem Aufenthaltsbereich.

Diese muss nicht mit der Temperatur z.B. an einem Fenster, am Fußboden oder an der Decke übereinstimmen.

Deshalb ist es wichtig, auch den Ort einer Temperaturmessung anzugeben.

Die Empfindungstemperatur des Menschen setzt sich vereinfacht aus den Oberflächentemperaturen und der Raumlufthtemperatur zusammen.

hohen Oberflächentemperaturen eher geringe Lufttemperaturen als behaglich empfunden werden.

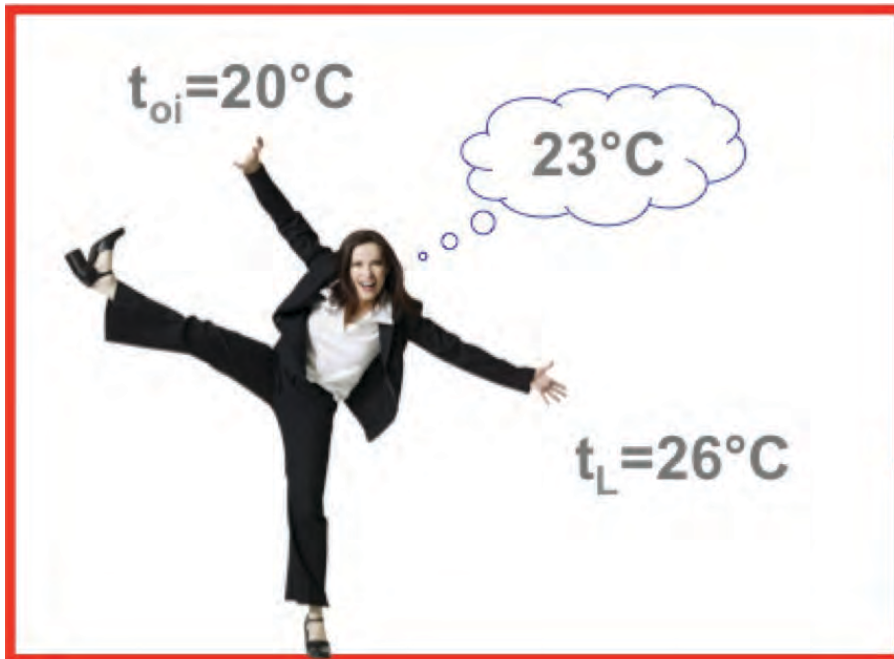


Bild 5.1 „Empfindungstemperatur“ als operative Temperatur

5.2 Heizsysteme – Art der Beheizung

Auf die Temperaturempfindung haben auch die Heizsysteme im Sinne der Art und Weise, wie die Wärmeenergie in den Raum eingebracht wird, einen wesentlichen Einfluss. Während ein Konvektor durch seine Ausgestaltung (Luftleitbleche) unmittelbar die Raumlufte durch den thermischen Auftrieb über die Konvektion erwärmt, bei in Relation geringem Strahlungswärmeanteil. Die höhere Lufttemperatur kann dann teilweise niedrigere Oberflächentemperaturen kompensieren, solange die Strahlungssymmetrie nicht zu groß ist.

Sinkt die Betriebstemperatur, wird auch weniger Luft und nur auf geringere Temperaturen erwärmt, was die Gefahr mit sich bringt, dass nicht mehr alle Bauteile gleich gut erwärmt werden bzw. Wärme zugeführt wird, da die Konvektion abnimmt.

Bei den Vertretern der Wärmestrahlungsheizungen wiederum werden durch Wärmestrahlung die Oberflächen im Raum erwärmt, und die erwärmten Oberflächen erwärmen in der Folge die Luft. Ein bekanntes Beispiel dafür ist die Fußbodenheizung.

Die Konsequenz ist, dass durch die höheren Oberflächentemperaturen die Lufttemperatur bei gleicher Empfindungstemperatur niedriger sein kann. Da nur wenig Konvektion entsteht, muss für die erforderliche

Wärmezufuhr durch andere Maßnahmen gesorgt werden um zu verhindern, dass Oberflächen zu kalt werden. Oberflächen mit geringerer Temperatur als jene der vorbeistreichenden Raumluft führt dazu, dass sich die Raumluft an diesen Flächen abkühlt und durch die sich ändernde Dichte schließlich an diesen Flächen abfällt. Diese fallende kühlere Luft kann zu unbehaglichen Zonen im Raum führen, aber andererseits auch andere Bauteilbereiche abkühlen, wenn diese wiederum wärmer als der vorbeistreichende Luftstrom sind.

5.3 Behaglichkeitsfaktoren

Eine genauere Betrachtung zeigt, dass das Behaglichkeitsempfinden eines Menschen von zahlreichen Faktoren abhängig ist. So können zum Beispiel folgende Faktoren die thermische Behaglichkeit beeinflussen:

Tabelle 5.1 Klassifizierung der Kondensatbildung:

Nutzerabhängige Faktoren	Raumflächentemperaturen
	Raumflächentemperaturdifferenz
	Raumlufttemperatur
	Raumlufttemperaturgefälle
	Raumluftgeschwindigkeit
	Raumluftfeuchte
	Geruch
	Beleuchtung
	Oberflächengestaltung (Farbe, Struktur)
	Raumgestaltung
	Wärmeeindringung
	Wärmedämmung (Kleidung)
	Luftdruck
	Luftelektrizität und -qualität
	akustische Einflüsse.
	Tages- und Jahresrhythmus
	Freiraum
	ethnische Einflüsse
	Geschlecht
	Alter
	Physische und psychische Verfassung, Konstitution
	Aktivität
Technisch beeinflussbare Faktoren	

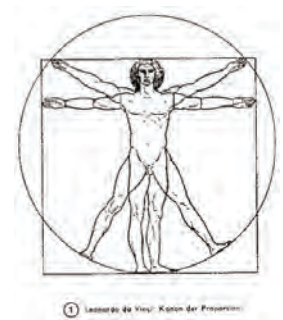


Bild 5.2
Leonardo da Vinci:
Kanon der Proportionen

Eine auf empirischen Untersuchungen beruhende Bewertung der Behaglichkeit wurde in der ISO 7730 normiert, mit dem Ziel, eine auf Basis wesentlicher Faktoren basierte, mathematisch berechenbare und auf Messwerte rückführbare Klassifizierung der Behaglichkeit zu erreichen.

Die am lokalen Aufenthaltsort, oft in mehreren relevanten Höhen ermittelten Messwerte und Randbedingungen (u.A. Raumlufthtemperatur, Strahlungssymmetrie, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Clothing Factor, Bekleidungsflächenfaktor, Activity) werden über ein spezifisches Gleichungssystem in eine einfache Bewertungsskala übergeführt, welche die Gesamtheit der Klimaempfindung auf eine normierte Skala, den so genannten PMV-Index (Vorausgesagtes mittleres Votum) mit Werten zwischen -3 (kalt) bis +3 (heiß) komprimiert.

Tabelle 5.2 ISO 7730 – PMV Index als Bewertungsskala der Behaglichkeitsbewertung eines Raumklimas

-3	-2	-1	0	-1	+2	+3
kalt	kühl	Gering-fügig kühl	optimal	Gering-fügig warm	warm	heiß

Unter Verwendung dieser mathematisierten Behaglichkeitsbewertung, die auf eine Untersuchung mit rund 3000 Mitteleuropäern beruht, ergibt sich auch eine wichtige Gesamtaussage über die Behaglichkeit in Räumen, der so genannte PPD „Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen“, der eine quantitative Voraussage der mit einem Klima Unzufriedenen ermöglicht. Es zeigt sich dabei, dass es immer zumindest 5% Unzufriedener mit dem Raumklima gibt, als ein Planungsziel kann das Erreichen von maximal 10% Unzufriedener angesehen werden.

Da das Raumklima und vor allem die Temperatur eines Raumes in der Regel vom Behaglichkeitsempfinden des Nutzers abhängig ist, und dieser mögliche Einstellmöglichkeiten zur Erreichung seines Behaglichkeitsbereiches auch nutzt, wird es verständlich, dass z.B. die Raumtemperatur durchaus unterschiedlich empfunden wird, und dies auch von der Art der Beheizung abhängig ist.

Dazu kommt noch, dass die Temperatur im Raum differiert, ebenfalls auch stark abhängig vom Heiz- oder Kühlsystem. Ein irgendwo im Raum angebrachtes Thermostat erhält daher andere Temperaturinformationen als der Nutzer, was manchmal zu dem subjektiven Empfinden eines unpassenden Verhaltens der Heizung führen kann.

Das Fenster oder die Glasfläche wiederum ist in der Regel außerhalb oder am Rand des unmittelbaren Aufenthaltsbereiches situiert und liegt damit in der Regel in einer völlig anderen „Klimazone“, in der oft abweichende Klimaverhältnisse herrschen, wie später noch gezeigt wird.

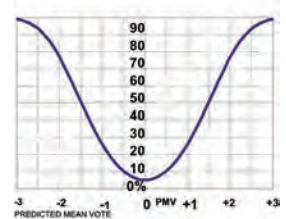


Bild 5.3 Behaglichkeitsbewertung: Zuordnung von PMV zu PPD (Prognostizierter Prozentsatz der Unzufriedenen)

Wenn es daher um die Beurteilung der raumklimatischen Bedingungen für das Fenster geht, ist eine Messung in jener Zone vor dem Fenster durchzuführen, für die man eine Aussage treffen will. Geht es um die Beurteilung der Behaglichkeit, muss die Messung des Raumklimas im Aufenthaltsbereich des Menschen erfolgen.

Will man zum Beispiel feststellen, welche Raumlufttemperatur das Fenster tatsächlich erreicht, ist es notwendig, die Lufttemperaturmessung auch unmittelbar vor diesem Fensterbereich vorzunehmen, da die Raumlufttemperatur im Aufenthaltsbereich sich davon deutlich unterscheiden kann. In der Regel wird man darüber hinaus in Fensterbanknähe auch noch geringere Lufttemperaturen messen, als im Sturzbereich des selben Fensters.

Ob das Klima dann auch für das Fenster selbst noch „verträglich“ ist, also jene Werte erreicht, für die es bemessen wurde, muss daher in Fensternähe, gemessen werden, wobei darauf zu achten ist, dass durch geeignete Fühlerwahl oder Messdurchführung der Messwert nicht durch die eigene Körperwärme oder auch Strahlungseinflüsse wie zB. Sonneneinstrahlung verfälscht wird. Kalibrierte Datenlogger, die im verschattenden Bereich des Stockrahmens nahe am Fenster knapp über der Fensterbank angeordnet werden, ermöglichen meist eine gute Erfassung für das Raumluftklima direkt am unteren Fensterfries, das meist mehr interessiert als der Sturzbereich.



Bild 5.4 Kondensatbildung an Fenstertürelementen in einer exponierten Ecksituation

5.4 Raumluftfeuchtigkeit und Behaglichkeit

Die häufigste Größe, die genannt wird, wenn es um Kondensationsprobleme geht, ist die relative Raumluftfeuchtigkeit. Oft hört man, „wir haben ohnehin nur 40% oder 50% Raumluftfeuchtigkeit gemessen“, wenn das Problem beschrieben wird.

Um diese „Messwerte“ zu bewerten, muss man zuerst einmal unbedingt auch die zur gleichen Zeit am gleichen Ort gemessene Lufttemperatur kennen. Wie oben gezeigt wurde, hängt ja die Feuchtigkeit, die tatsächlich in der Luft enthalten ist, direkt von der Lufttemperatur ab.

Eine Angabe „50%“ bei 25°C Lufttemperatur zB. bedeutet eine absolute Feuchte von 10,5 g je m³ Raumluft.

Dies lässt sich sehr gut in einem Diagramm darstellen. An der X-Achse ist die Temperatur und an der Y-Achse der absolute Wassergehalt aufgetragen. Die maximal mögliche Wasseraufnahme ist mit der

dickeren roten Kurve dargestellt, die 100% relativer Luftfeuchte entspricht. Ist weniger Luftfeuchte enthalten, kann über die dargestellte Kurven festgestellt werden, wieviel absolute Feuchte in der Luft bei einer bestimmten relativen Luftfeuchte enthalten ist und bei welcher Temperatur 100% Luftfeuchte erreicht sind - also die so genannte Taupunkttemperatur.

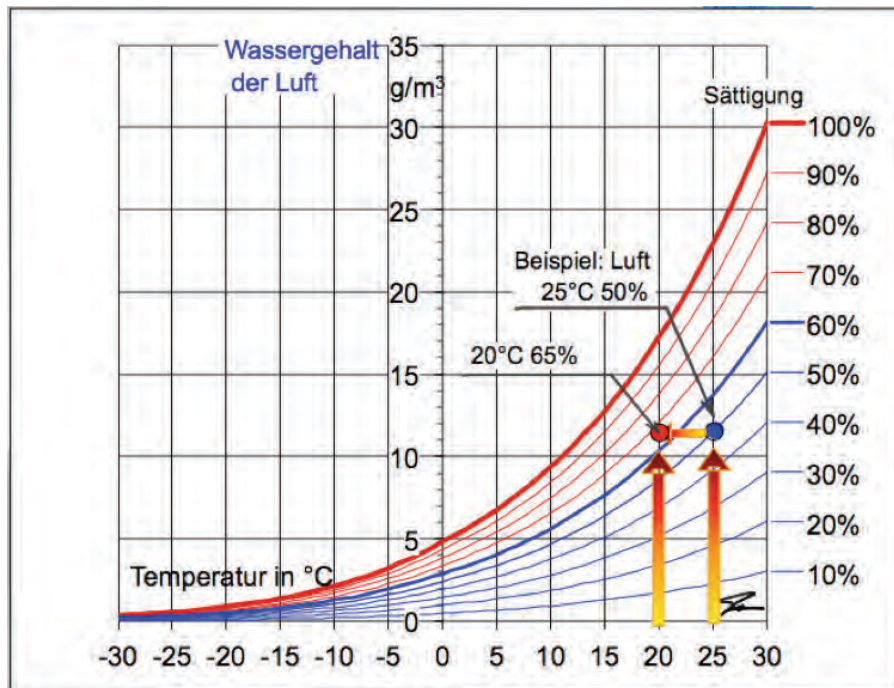


Bild 5.5 Beispiel für die Änderung der relativen Feuchte bei Temperaturänderung: Die selbe absolute Raumlufteuchte ergibt bei 25°C einen relative Feuchtegehalt von 50%, bei 20°C aber bereits 65% relativen Feuchtegehalt.

Darüber hinaus ist es wesentlich, wo gemessen wird, und dann natürlich, womit gemessen wird. Viele der heute im Handel angebotenen kostengünstigen Messgeräte weisen kaum eine höhere Genauigkeit als $\pm 5\%$ und mehr für die Angabe der Luftfeuchte auf, und in der Regel sind diese Geräte nicht kalibriert oder werden später gewartet. Solche Geräte sind dann nur geeignet, Tendenzen (Steigen oder Fallen der relativen Luftfeuchte) anzuzeigen, sind aber kein Maßstab für die „Raumlufteuchte“. Wie schon oben dargestellt, sind naturgemäß auch die Temperaturen auf Thermostaten nicht geeignet, die Raumtemperatur oder gar die am Fenster wirksame Temperatur zu bestimmen, wie man dies von Laien gelegentlich mit der Aussage „ich habe auf 22°C eingestellt“ zu hören bekommt.

Schließlich sollte auch nicht nur ein Einzelwert betrachtet werden, sondern mehrmals über den Tag die Temperatur und die relative Luftfeuchte möglichst aufgezeichnet werden, um einen Eindruck der von mittleren und der kurzzeitigen Feuchtelast des Raumes zu erhalten.

Entsprechende Datenlogger, die auch nach den Angaben des Herstellers kalibriert werden sollten, haben sich hier gut bewährt.



Bild 5.6 Beispiel ein Thermohygrometer (Temperatur und Luftfeuchtemessung)

Wesentlich ist auch noch, dass die oben angeführten Geräte nur das messen, was sie aufgrund ihrer Bauart messen können. Je nach Anordnung und Wahl der Sensoren werden Strahlungstemperatur und Lufttemperatur von den Sensoren unterschiedlich detektiert und damit auch unterschiedlich ausgewertet. Ziel dieser Geräte ist es primär, vereinfacht die Raumluft in Hinblick auf den wärme- und Feuchtekomfort des Nutzers zu bewerten, nicht aber, die hygrothermische Belastung von Komponenten der Gebäudehülle, wie der Fenster, zu erfassen. Sie können daher lediglich eine Orientierung bieten.

Aus Sicht der Behaglichkeit hängt die für Wohnräume als behaglich empfundene Raumluftfeuchte neben vielen anderen Faktoren auch von der „Empfindungstemperatur“ ab, wie oben bereits dargestellt wurde.

Dieser Zusammenhang wird häufig im folgenden Diagramm nach Leusden und Freymark. dargestellt, das aus den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts stammt.

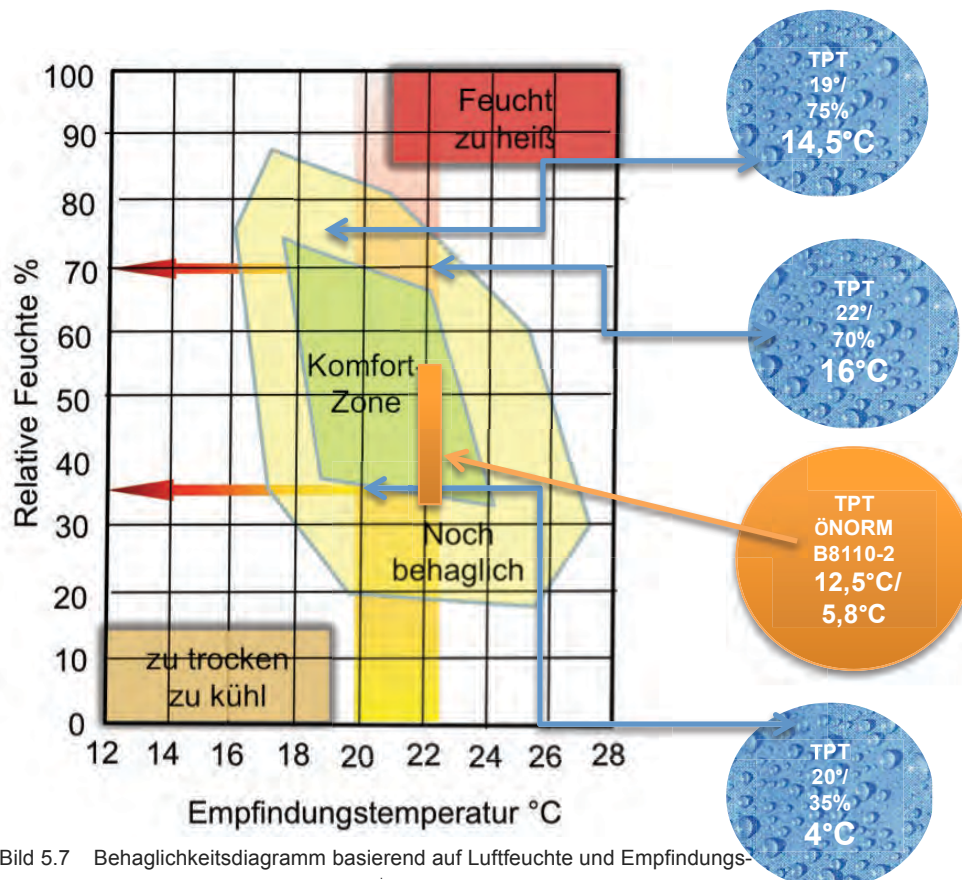


Bild 5.7 Behaglichkeitsdiagramm basierend auf Luftfeuchte und Empfindungstemperatur nach Leusden und Freymark¹ mit einer Angabe einzelner Taupunkttemperaturen (TPT) des jeweiligen Klimas (Oberflächen mit Temperaturen unterhalb dieser Temperatur werden durch Kondensat nass). Der orange Bereich wird nach ÖNORM B 8110-2 Beiblatt 4 (2003) empfohlen.

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass Raumluftfeuchtigkeiten bei 20°C zwischen etwa 35% bis 70% als weitgehend behaglich in unseren Aufenthaltsräumen bezeichnet werden. Dies sagt jedoch nicht, dass diese Klimabereiche auch gesund oder für die Bemessung von Bauteilen anzustreben sind. Zu hohe Feuchtigkeiten führen zum Beispiel zu einer Speziesabhängigen verstärkten Bakterien- und Virenvermehrung, aber auch die Gefahr für Schimmelpilzwachstum steigt.

Für den Menschen wird damit offensichtlich ein sehr weiter Feuchte- und Temperaturbereich als behaglich empfunden. Im Fenster- oder Glasbereich dagegen können sich bei höheren U-Werten, aber insbesondere auch bei zu geringer Wärmezufuhr Oberflächentemperaturen einstellen, die bei höherer Klimabelastung unter den Taupunkttemperaturen der Raumluft liegen. Das Fenster wird dann zum Indikator für eine Überlastung durch das Gebäudeklima, es kann sich Oberflächen-Kondensat einstellen.

Im Beiblatt 4 der ÖNORM B 8110 Teil 2 wird folgende Empfehlung für das Raumklima in Wohnungen abgegeben:

„...Ein Bereich von 30% bis 55% relativer Luftfeuchtigkeit bei einer Raumtemperatur von 22°C kann empfohlen werden.“ (5,2 g/m³ bis 9 g/m³)

Üblicherweise kann von 7,0 g/m³ ausgegangen werden.

Als oberer Grenzbereich (zur Vermeidung von physiologischen und bauphysikalischen Nachteilen) werden Werte von 50% bis 55% relativer Luftfeuchte bei 22°C Raumlufttemperatur bezeichnet (Absolutfeuchte 10,6 g/m³).

5.5 Welche Klimabedingungen sind in Wohnungen vorzufinden?

Der Bereich des in unseren Räumen vorzufindende hygrothermischen Klimas ist breit gestreut, wie auch eigene Messungen immer wieder zeigen. Dazu kommt noch, dass sich dieses sowohl mikroklimatisch – also innerhalb eines Raumes – als auch transient – also im Zeitverlauf – unterschiedlich gestaltet. Daher ist eine einzelne Messung immer nur eine Momentanaufnahme.

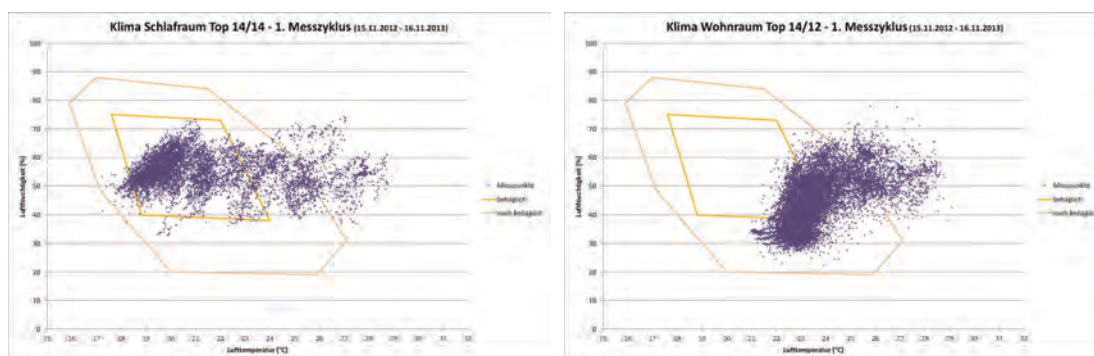


Bild 5.8 Beispiel aus einem gerade laufenden Forschungsprojekt: Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte im Aufenthaltsbereich von Wohnungen am Beispiel eines Schlafraumes und eines Wohnraums: Jeder Punkt in der violetten Punktwolke entspricht einem Stundenmittel des hygrothermischen Raumklimas. Im Hintergrund ist der Behaglichkeitsbereich nach Leusden und Freymark eingetragen (gelb).

Einen Eindruck vom „durchschnittlichen“ Klima eines Raumes kann man gewinnen, indem man an verschiedenen Bereichen im Raum oder zumindest in verschiedenen Räumen Aufzeichnungen macht. Mitunter kann man auch einen ersten Eindruck über die in längerer Zeit im Mittel vorhandene Raumluftfeuchte durch das Auswerten von in feuchtespeichernden, hygroskopischen Materialien wie Holz

gespeicherte Feuchte erhalten, indem man die dort vorhandene Ausgleichsfeuchte misst.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden in 5 verschiedenen Wohnsiedlungen in der gesamten Steiermark im Rahmen eines Forschungsprojektes rund 82 Wohnungen, in denen teilweise Kondensatbildung beanstandet wurde, begutachtet, sowie Befragungen und teilweise stichprobenartig Klima- und Behaglichkeitsmessungen durchgeführt. Dabei handelte es sich durchwegs um Wohnungen mit einem Wärmedämm-Standard auf Niedrigenergie-Niveau und n50-Werten um 1,5 bis 2,5 1/h.

In diesen Wohnungen trat teilweise kein (Klasse 0) bis starkes Kondensat (Klasse 5) an Fensterkonstruktionen teilweise in PVC, teilweise in Holzkonstruktion, jeweils mit zweifach- Isolierverglasung, auf. Dabei wurde in einigen Fällen Kondensat am Isolierglasrand, in anderen im Funktionsfalz und wiederum anderen an beiden Stellen verzeichnet. Es gab aber auch in allen Siedlungen zahlreiche Wohnungen, in denen kein Kondensat vorgefunden bzw. von den Nutzern berichtet wurde.

In diesen untersuchten Wohnungen ergab sich folgendes Raumklimaszenario in Bezug auf Raumlufttemperatur und Luftfeuchte im Aufenthaltsbereich (Spotmessungen über etwa 15 Minuten):

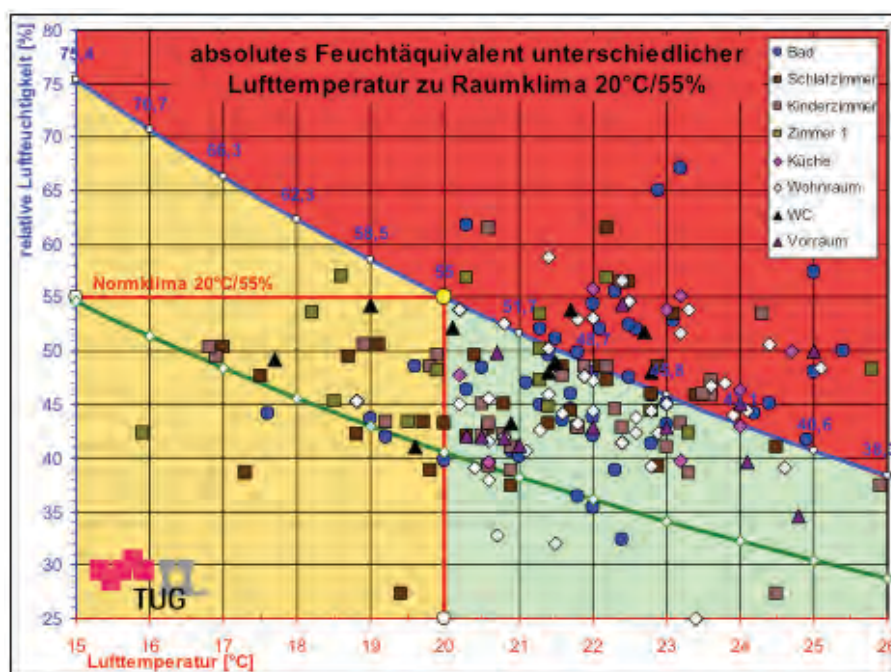


Bild 5.9 Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte im Aufenthaltsbereich von Wohnungen

Die oben dargestellten Linien sind in Blau die Linie des Bemessungsklimas von 20°/55% mit einer Absolutfeuchte von 9,5 g/m³ Raumluft sowie in Grün mit einer Absolutfeuchte von 7 g/m³, von dem

nach ÖNORM B 8110 Teil 2 Beiblatt 4 Abs. 3 „üblicherweise“
ausgegangen werden kann. Die grüne Zone ist jene, die dem
Bemessungsklima entspricht, im roten Bereich wird dieses Klima
überschritten und Werte im gelben Bereich sind kühler, als im
Bemessungsklima vorgesehen (in diesem Bereich stellt die
Unterschreitung der Taupunkttemperatur der jeweiligen Oberfläche dann
das wesentliche Kriterium dar)

6 Das Raumklima aus Sicht der Bemessung

Zur Bemessung der Klimalast bestehen nationale, europäische und Internationale Vorgaben, wobei das Berechnungsverfahren auf Europäischer Ebene normativ geregelt ist, die Festlegung der Klimalast in der Regel jedoch nationale Angelegenheit ist. Auch die Regeln zur Berechnung der wärmetechnischen Eigenschaften von Fensterkonstruktionen sind auf Europäischer Basis geregelt, auf Basis einer ISO-Norm unter dem so genannten Vienna Agreement (Hier besteht eine Übernahmeverpflichtung und Zurückziehungspflicht entgegenstehender nationaler Normen).

6.1 „Bemessungsklima“ nach ÖNORM B 8110 Teil 2 (2003)

(ÖNORM B8110-2: 2003, Wärmeschutz im Hochbau: Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz)

Zuviel Feuchtigkeit kann negative Auswirkungen auf Bauteile haben. Deshalb werden Kriterien für die zulässige Feuchtigkeit an und in Bauteilen festgelegt, um schädliche Kondensatbildung zu vermeiden. Aus bauphysikalischer Sicht werden zum einen klimatische Randbedingungen vorgegeben, die einzuhalten sind, und auf Basis dieser Randbedingungen sind dann die wärme- und diffusionstechnischen Leistungen der Bauteile und deren Verbindungen zu bemessen, um schädliche Kondensation zu vermeiden.

Es ist daher sowohl darauf zu achten, dass die Bauteile in der Nutzung klimatisch nicht überlastet werden, indem zum Beispiel ungünstigere Klimalasten, als für die Bemessung angenommen, während der Nutzung vorhanden sind, als auch darauf, dass die Bauteile für das festgelegte Bemessungsklima richtig bemessen und mit den entsprechenden Materialien geeignet gebaut werden.

Für die Planung der Gebäudehülle wird also gefordert, dass der Wärmeschutz den aktuellen Anforderungen entspricht und dass bei den „üblicherweise“ anzusetzenden Nutzungsbedingungen keine schädliche Kondensatbildung auftritt.

Zur Bemessung der Außenbauteile wird in Österreich auf die ÖNORM B 8110-2 verwiesen, die auf die Angaben der internationalen Norm ÖNORM EN ISO 13788 aufbaut.

Die ÖNORM B 8110-2 enthält im Abschnitt 6 Hinweise über die Innenluftbedingungen, die der Berechnung bzw. Bemessung der Vermeidung von schädlichem Kondensat an Bauteilen unter Beachtung der Raumwidmung zu Grunde zu legen sind.

Für Bauteile außer jenen mit geringer Speicherefähigkeit, wie Fenster und Verglasungen gelten die folgenden Vorgaben:

Für Wohnungen wird eine „Innenlufttemperatur“ von 20 °C angegeben. Bei dieser Raumlufttemperatur wird angenommen, dass in einem großen Teil der Zeit im Winter eine relative Feuchtigkeit von 55% (entspricht absolut einer Feuchte von < 9 g/m³ Raumluft) gegeben ist bzw. nicht überschritten wird und in einem kleineren Teil der Zeit (maximal 8 Stunden) durch verschiedene Tätigkeiten in der Wohnung die relative Luftfeuchtigkeit bis auf 65 % (bei 20°C, entspricht einer Absolutfeuchte von 10,5 g/m³ Raumluft) ansteigen kann.

Die angegebenen Bemessungs-Luftfeuchtigkeiten werden jedoch bei Außenlufttemperaturen unter 0 °C reduziert (Man geht davon aus, dass durch den Luftwechsel mit der dann trockeneren Außenluft auch die Innenluftfeuchte entsprechend absinkt).

Somit wird für die Bemessung zur Vermeidung von schädlicher Kondenswasserbildung an Bauteilen normgemäß von folgenden Klimabedingungen ausgegangen:

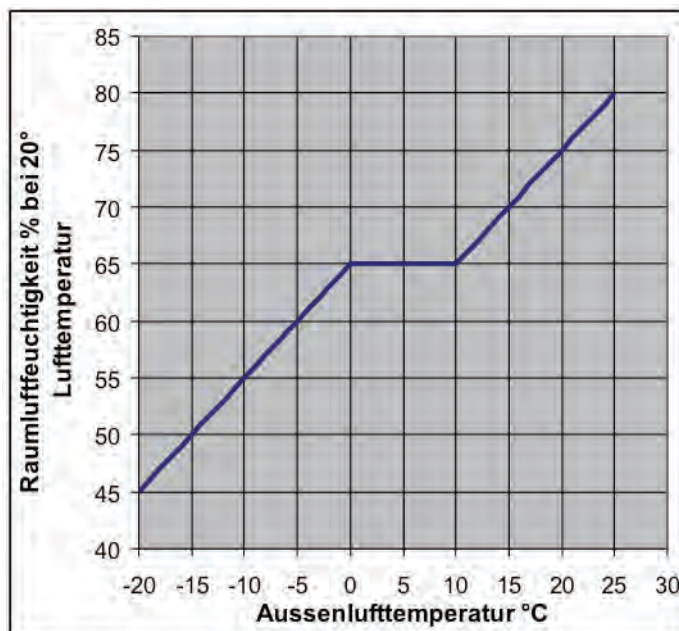


Bild 6.1 Zusammenhang zwischen Bemessungsraumklima und Außentemperatur zur Bemessung von Bauteilen hinsichtlich der Vermeidung von schädlichem Kondensat nach ÖNORM B 8110-2:2003

Der Nachweis der Kondensatfreiheit von Oberflächen erfolgt nach ÖNORM B 8110 Teil 2 über so genannte Temperaturfaktoren: Diese sind so zu wählen, dass die Oberflächentemperaturen über der Sättigungstemperatur (also der Taupunkttemperatur) liegen.

Für Fenster wird ausgeführt:

Für die Anschlussbereiche und die gefährdeten Zonen von Fenstern, die praktisch immer „Wärmebrückenbereiche“ sind, können diese Faktoren theoretisch mittels Finite-Elemente-Methoden durch Berechnung der Oberflächentemperaturen ermittelt werden.

Hingewiesen wird in dieser Norm auch darauf, dass an damit bemessenen Außenbauteilen nur dann Kondensatschäden vermieden werden können, wenn

„im gesamten Bereich z.B. einer Wohnung durch Heizung und/oder ausreichende Belüftung sowie entsprechende Möblierung keine ungünstigeren als die der Bemessung zugrunde gelegten Innenluftbedingungen herrschen.“

Für Außenbauteile mit geringer Speicherfähigkeit), wie z.B. Fenstergläser und deren Rahmen, ist als Außentemperatur für die Bemessung der

durchschnittliche jährliche Mindestwert der Tagesmitteltemperatur

einzusetzen, was bedeutet, dass grundsätzlich davon ausgegangen wird, dass sich statistisch gesehen über eine Periode von 30 Jahren in der Hälfte der Jahre an wenigen Tagen Kondenswasser bildet.

Die oben dargestellte Aussage kann damit so interpretiert werden, dass auch bei normgemäßer Bemessung „an wenigen Tagen“ Kondensationserscheinungen an den Fenstern jedenfalls zu erwarten sind.

Tabelle 6.1 Beispiele für den „durchschnittlichen jährliche Mindestwert der Tagesmittel-Temperatur $\Theta_{Tmit,min}$ “ aus ÖNORM B 8110-2 Tabelle 3 für die Hauptstädte und beispielhaft ausgewählte Orte mit Mittelwertextrema.

Ort	Region	Höhe in m	$\Theta_{Tmit,min}$ in °C
Wien-Innere Stadt	N	171	-8,5
Eisenstadt	N/SO	196	-9,6
Klagenfurt	SB	448	-12,8
St. Pölten	N	265	-11,4
Linz	N	260	-10,1
Salzburg	NF	436	-11,5
Graz	S/SO	369	-9,4
Innsbruck	NF	573	-10,5
Bregenz	W	398	-10,7
Heiligenblut	SB	1288	-14,1
Bad Gastein	ZA	1083	-13,2
Obertauern	ZA	1649	-16,0
Radstadt	ZA	856	-15,5
Knittelfeld	ZA	645	-12,1
Mürzzuschlag	ZA	660	-13,7
Trieben	ZA	708	-13,2
Lienz	SB	680	-14,5
Obergurgl	ZA	1910	-16,5
St. Anton/Arlberg	ZA	1304	-14,6
St. Christoph/Arlberg	ZA	1780	-15,9
St. Jakob in Deferegggen	SB	1389	-16,2
Zürs	W	1720	-15,3

Völlige Kondensatfreiheit erfordert also bereits bei der Vorgangsweise nach dieser Norm Maßnahmen, die über die übliche Bemessung hinaus gehen.

Explizit heißt es in der ÖNORM B 8110-2 dazu:

„Für Fenster und Fenstertüren ist die Anforderung der Vermeidung von Kondensation bei Verglasung und Rahmen nicht immer unter allen Bedingungen zu erfüllen. Es ist dann durch geeignete Maßnahmen sicherstellen, dass der anschließende Bauteil nicht durchfeuchtet wird.“

Die Festlegung solcher Maßnahmen sollte durch einen Gesamtverantwortlichen Planer erfolgen.

Da zur Festlegung dieser Maßnahmen über das Fenster hinaus die dafür maßgeblichen Randbedingungen bekannt sein müssen (zB. Nutzung, Raumklima, Art der Beheizung, Geometrie des Raumes, Lüftung) können derartige „geeignete“ Maßnahmen nur durch den für die Gesamtkonzeption Verantwortlichen, also zB. einen Gesamt-Planer, unter Einbeziehung bzw. Berücksichtigung der Nutzer sinnvoll festgelegt werden.

Als geeignete Maßnahmen sind jene zu verstehen, welche entweder die Entstehung schädlichen Kondensates verhindern können oder verhindern, dass durch das entstehende Kondensat Schäden entstehen.

Ein historisches Beispiel für letztere Variante ist in zahlreichen historischen Bauten, wie Kirchen zu finden: Unter den oft künstlerisch wertvollen, in der Regel einfachverglasten Kirchenfenster, die noch dazu einem sich stoßartig ändernder Klimabelastung ausgesetzt sind (Menschenansammlung im Raum während der Messe, dazwischen oft unbeheizte Perioden) wurden Kondensatrinnen angeordnet, die das Wasser sammeln und es unschädlich auf den Steinboden innen oder nach außen ableiten.

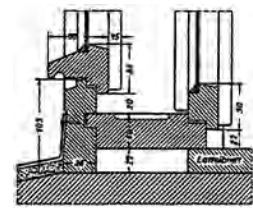


Bild 6.3 Kondensattrinne bei einem historischen Kastenfenster



Bild 6.2 Die unschädliche Ableitung von unvermeidlichem Kondensat an der Einfach-Verglasung war in den Kirchen der vergangenen Jahrhunderte geübte Praxis

Mit Kondensatrinnen in Fensterbänken oder zB. Verdunstungsschienen vor Fensterflächen kann auch heute an der Oberfläche von Glas oder feuchteresistenten Rahmenmaterialien kurzfristig entstehendes Kondensat unschädlich aufgefangen werden. Auch das Anordnen von feuchteunempfindlichen Materialien wie Fliesen kann helfen, dass mäßige Kondensatbildung ohne Schäden bleibt.

Darüber hinaus kann planerseitig aus der gesamten Palette an Maßnahmen gewählt werden, die den oben genannten primären Faktoren – zu hohe Luftfeuchte für eine zu geringe

Oberflächentemperatur bzw. zu geringe Oberflächentemperatur für eine vorhandene Luftfeuchte – so entgegenwirken, dass Kondensatbildung nur in unschädlichem Maße erfolgt. Neben dem Zuführen von Wärmeenergie bzw. Erhöhen der Oberflächentemperatur gehören dazu auch das Senken der Luftfeuchte und das Reduzieren von Überdruck im Raum, wie später noch gezeigt wird.

Diese Faktoren werden aber auch vom Nutzer in nicht unerheblichen Maße beeinflusst, in dem zB. ausreichend „trocknungswirksam“ gelüftet wird und gelegentlich anfallendes Kondensat auch regelmäßig wieder getrocknet wird. Auch ein nachträgliches Anbringen von elektrischen Fensterbankheizungen oder Leibungs- und Glasheizungen, aber auch das Aufstellen eines Ventilators vor dem Fenster kann in jenen Fällen, bei denen die Oberflächentemperatur nicht ausreicht, um Kondensat zu vermeiden, Abhilfe bringen.

Ist die Luftfeuchte zu hoch, oder Überdruck im Raum vorhanden, kann ein Abluftsystem Abhilfe bringen. Ist bereits schädliches Kondensat aufgetreten, ist es in jedem Fall sinnvoll, zuerst eine umfassende Ursachenanalyse durchzuführen, um dann geeignete Maßnahmen planen zu können.

6.2 Klimahinweise in der ÖNORM B 8110 Teil 2 Beiblatt 4 (2003)

Die ÖNORM B 8110 Teil 2 Beiblatt 4: 2003 - Wärmeschutz im Hochbau Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz – Hinweise zur Vermeidung von Feuchtigkeitsschäden durch raumklimatische Einflüsse enthält, wie bereits angeführt, zum einen Hinweise auf empfohlene Raumlufffeuchteverhältnisse und zum anderen auch Angaben zum oberen Grenzbereich und sollen daher der Vollständigkeit halber an dieser Stelle nochmals dargestellt werden:

„...Ein Bereich von 30% bis 55% relativer Luftfeuchtigkeit bei einer Raumtemperatur von 22°C kann empfohlen werden.“ (5,2 g/m³ bis 9 g/m³)

Üblicherweise kann von 7,0 g/m³ ausgegangen werden.“

Als oberer Grenzbereich (zur Vermeidung von physiologischen und bauphysikalischen Nachteilen) werden Werte von 50% bis 55% relativer Luftfeuchte bei 22°C Raumlufftemperatur bezeichnet. (Absolutfeuchte 10,6 g/m³)

6.3 Festlegungen der EN ISO 13788: 2002

Die EN ISO 13788: 2002 - Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren: Berechnungsverfahren - bildet die Europäische Basis der ÖNORM B 8110-2.

Auch in dieser Norm wird festgelegt:

Zur Berechnung der Gefahr der Tauwasserbildung an den Oberflächen von Bauelementen mit niedriger Wärmeträgheit wie z.B. Fenster und deren Rahmen ist als Außenlufttemperatur der durchschnittliche Mindestwert der Tagesmitteltemperaturen sowie die entsprechende relative Luftfeuchte anzuwenden.

Anmerkung: Dies bedeutet, dass statistisch gesehen über eine Periode von 30 Jahren sich in der Hälfte der Jahre an wenigen Tagen Tauwasser bildet.

Im informativen Anhang D dieser Norm wird angeführt:

Die Bewertung des Risikos von Tauwasserbildung an Fensterrahmen Tauwasserbildung auf der Innenseite von Fensterrahmen ist unerwünscht, wenn das Wasser in angrenzende Wandverkleidungen läuft. Wichtiger ist jedoch, dass das Tauwasser Korrosion in Metallrahmen oder Fäule in Holzrahmen hervorrufen kann, wenn es durch Fugenabschlüsse, z. B. zwischen Rahmen und Glas, eindringt. Aufgrund der undurchlässigen Oberflächenbehandlung kommt an Fensterrahmen ein Pilzbefall selten vor. Die höchste zulässige relative Luftfeuchte an der Rahmenoberfläche beträgt daher $\psi_s = 1$. Dies wird bei dem in Abschnitt 5.4 der ÖNORM festgelegten Verfahren (Anm. Bemessung über den durchschnittlichen jährlichen Mindestwert der Tagesmitteltemperaturen) zur Berechnung der niedrigsten zulässigen Oberflächentemperatur des Rahmens $\psi_{si,min}$ verwendet.

Infolge der komplexen Form und Vielfalt der für Fensterrahmen verwendeten Stoffe und der Wechselwirkungen zwischen dem Glas, dem Fensterrahmen und der Wand, in der sich das Fenster befindet, können Wärmeströme und Oberflächentemperaturen im allgemeinen nicht durch einfache eindimensionale Verfahren berechnet werden.

Es muss deshalb darauf geachtet werden, die niedrigste zulässige Oberflächentemperatur des Rahmens an die raum- und außenseitigen Lufttemperaturen anzupassen.

Das bedeutet faktisch, dass für eine den klimatischen Verhältnissen und den Eigenschaften des Fensters entsprechende Wärmezufuhr zu sorgen ist, wie auch später noch gezeigt wird.

Die oben angeführte Forderung wird in ihrer Konsequenz im Zusammenwirken mit der Reduktion des Heizwärmebedarfs in der Praxis deutlich unterschätzt, was zur Folge hat, dass das Klima am Fenster häufig durch das zufällige Zusammenwirken der beteiligten Faktoren entsteht.

Mit der Reduktion des Heizwärmebedarfes geht aber eine Sensibilisierung des Gesamtsystems Raum, Gebäude und Gebäudehülle einher, die für eine ordnungsgemäße Funktion ohne bewusste Planung und den Umgang mit den geänderten Randbedingungen nicht mehr in jedem Fall funktioniert.

ISO 13788:

„Es muss deshalb darauf geachtet werden, die niedrigste zulässige Oberflächentemperatur des Rahmens an die raum- und außen-seitigen Luft-temperaturen anzupassen.“ :

Es sind also Maßnahmen zu setzen, die zu einer ausreichenden Oberflächentemperatur des Rahmens führen!

6.4 Geltende Vorgaben für die Klimabedingungen zur Berechnung oder Messung der wärmetechnischen Eigenschaften von Fenstern, deren Leistung entsprechend den Vorgaben der Produktnorm ÖNORM EN 14351 deklariert wird.

Entsprechend den Vorgaben der Europäischen Bauprodukteverordnung müssen Hersteller für ihre Produkte entsprechende Leitungserklärungen für im jeweiligen Mitgliedsstaat relevante Produkteigenschaften abgeben. Für Fenster erfolgt dies nach den Vorgaben der Europäischen harmonisierten Produktnorm ÖNORM EN 14351-1:2010 für Fenster und Türen. Diese sieht vor:

6.4.1 Wärmeschutz:

Der Wärmedurchgangskoeffizienten ist zu ermitteln nach

- EN ISO 10077-1:2006 Tabelle F.1 oder EN ISO 10077-1:2006

Oder durch Berechnung nach

- EN ISO 10077-1 oder
- EN ISO 10077-2 und EN ISO 10077-1

Oder durch das so genannte Hotbox-Verfahren nach:

- EN ISO 12567-1 oder
- EN ISO 12567-2.

Dabei gilt das Verfahren nach EN ISO 12567-1, das so genannte „HOTBOX“-Verfahren als Referenzverfahren für Fenster und Türen.

6.4.2 Luftdurchlässigkeit:

Nach EN 1026 (Referenzverfahren) sind zwei Prüfungen auf Luftdurchlässigkeit durchzuführen, und zwar bei Überdruck und bei Unterdruck.

Die Ergebnisse können dann auf Basis einer Tabelle in Klassen angegeben werden:

Tabelle 6.2 Klassifizierung der Eigenschaften von Fenstern der ÖNORM EN 14351

Tabelle 1 — Klassifizierung der Eigenschaften von Fenstern								
Nr.	Ab-schnitt	Eigenschaft/ Wert/Einheit	Klassifizierung/Wert				Klasse/ festge- stellter Wert	
11	4.12	Wärmedurchgangs- koeffizient	npd	Festgestellter Wert				
		U_w (W/(m ² · K))						
14	4.14	Luftdurchlässigkeit	npd	1	2	3	4	
		Maximaler Prüfdruck (Pa)		(150)	(300)	(600)	(600)	
		Referenz-Luftdurchlässig- keit bei 100 Pa (m ³ /(h · m ²) oder m ³ /(h · m))		(50 oder 12,50)	(27 oder 6,75)	(9 oder 2,25)	(3 oder 0,75)	

Die Prüfung der Luftdurchlässigkeit erfolgt für Fenster und Fenstertüren auf einem Prüfstand nach EN 1026. Dabei wird sowohl die Fugen- als auch die flächenbezogene Luftdurchlässigkeit ermittelt.

Die Dokumentation der Luftdurchlässigkeit von Fensterkonstruktionen erfolgt in einem Diagramm, in dem die gemessene Luftdurchlässigkeit über die Druckdifferenz aufgetragen wird. Dabei erfolgt die Angabe zum einen fugenlängenbezogen, zum anderen bezogen auf die Prüffläche (in der Regel die Elementgröße).

Wie in den Diagrammen seitlich an einem Beispiel zu sehen ist, sind Fenster auch in der höchsten Klasse nicht luftdicht, das heißt bei einer positiven oder negativen Druckdifferenz erfolgt ein Luftdurchtritt in die jeweilige Richtung.

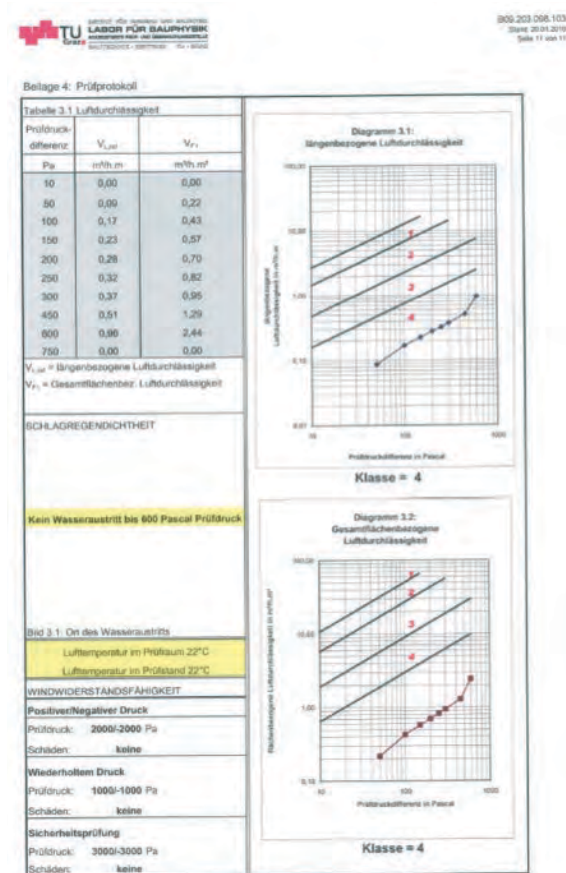


Bild 6.4 Prüfprotokoll der Luftdurchlässigkeit eines Fensterelementes



Bild 6.5 Prüfstand zur Messung der Luftdurchlässigkeit mit zur Prüfung vorbereiteter Schiebetüre

6.5 Berechnung des wärmetechnischen Verhaltens von Fensterkonstruktionen: ÖNORM EN ISO 10077-1 und 10077-2

Die Berechnung des wärmetechnischen Verhaltens von Fensterkonstruktionen erfolgt nach EN ISO 10077: 2012 - Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten.

- Teil 1: Allgemeines;
- Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen

Für die Berechnung bzw. Messung der wärmetechnischen Eigenschaften werden folgende Temperaturen als Randbedingungen angesetzt:

In ÖNORM EN 10077-2 heißt es nach Punkt 5.3 Randbedingungen:

Die außen- und raumseitigen Wärmeübergangswiderstände hängen von der Wärmeübertragung durch Konvektion und Strahlung an die außen- und raumseitige Umgebung ab. Wenn eine Außenfläche nicht den üblichen Windbedingungen ausgesetzt ist, darf der Anteil durch Konvektion in Ecken oder Verbindungen zweier Flächen verringert werden. Der Wärmeübergangswiderstand für einen horizontalen Wärmestrom ist in Anhang B angegeben. Diese Werte sind für Berechnungen nach diesem Teil der ISO 10077 unabhängig von der vorgesehenen Ausrichtung des tatsächlichen Fensters, einschließlich Dachfenstern, anzuwenden.

Die Oberflächenkondensation ist auf der Grundlage der niedrigsten Temperatur der raumseitigen Oberflächen, die mit den in Anhang B angegebenen Wärmeübergangswiderständen berechnet wurde, zu beurteilen.

Raumseitig müssen Bezugstemperaturbedingungen von 20°C und außenseitig von 0 °C herrschen.

Anhang B der Norm gibt die folgenden Wärmeübergangswiderstände vor:

Anhang B (normativ)

Wärmeübergangswiderstände

Tabelle B.1 — Wärmeübergangswiderstände für Profile (horizontaler Wärmestrom)

Position	Außenseitig, R_{se} $m^2 \cdot K/W$	Raumseitig, R_{si} $m^2 \cdot K/W$
Normal (ebene Oberflächen)	0,04	0,13
Verringerte Strahlung/Konvektion (in den Ecken oder Stoßfugen zwischen zwei Flächen, siehe Bild B.1)	0,04	0,20
ANMERKUNG Diese Werte entsprechen den in ISO 6946 angegebenen Werten des Wärmeübergangswiderstands. ISO 6946 enthält auch weitere Angaben über den Einfluss von Konvektion und Strahlung auf Wärmeübergangswiderstände.		

Bild 6.6 Anhang B der EN ISO 10077-2 mit den Angaben der anzusetzenden Wärmeübergangswiderstände für die wärmetechnische Berechnung von Fensterkonstruktionen.

Die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters U_W ist normgemäß nach folgender Formel zu berechnen:

$$U_W = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f} \quad \text{in } W/m^2K$$

In Kanten und Ecken ist der Wärmeübergangswiderstand erhöht anzunehmen, die Bereiche werden dabei in der Norm wie folgt definiert, wobei die schattierten Bereiche jene Strecken angeben, für welche die erhöhten Wärmeübergangswiderstände gelten. Die Tiefe d wird dabei mit maximal 30 mm begrenzt.

mit

U_W ... U- Wert der Fensterkonstruktion

A_g ... Glasfläche

U_g ... U-Wert der Verglasung

A_f ... Rahmenfläche

U_f ... U Wert des Rahmens

l_g ... Länge des Glasrandes zum Rahmen

Ψ_g ... Psi-Wert aus dem Zusammenwirken von Glas und Rahmen

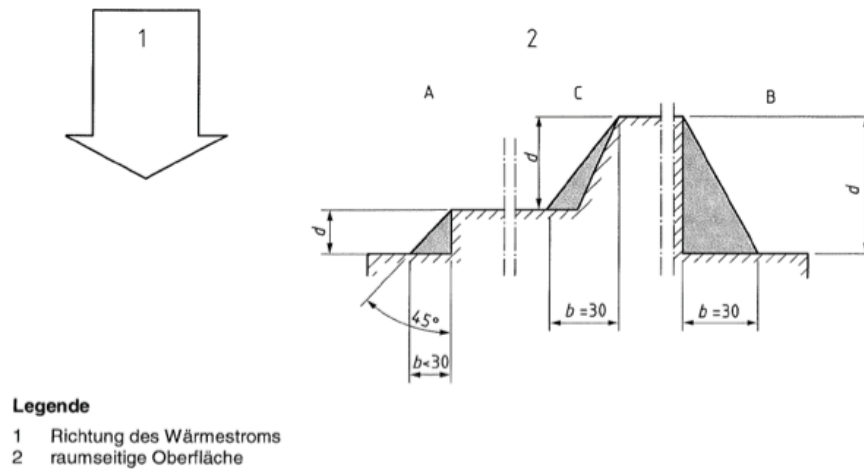


Bild B.1 — Schematische Darstellung von Oberflächen mit einem erhöhten Wärmeübergangswiderstand aufgrund eines verringerten Wärmeübergangs infolge von Strahlung/Konvektion

Bild 6.7 EN ISO 10077-2 Anzunehmende Bereiche mit erhöhtem Wärmeübergangswiderstand bei der wärmetechnischen Berechnung von Fensterkonstruktionen.

Dies wird bei der Berechnung der wärmetechnischen Eigenschaften der Rahmen durch Abschnittsweise Festlegung der Randbedingungen realisiert, die in der Berechnungsdokumentation oft am Rand des Berechnungsobjektes zur besseren Kontrollmöglichkeit farblich gekennzeichnet wird.

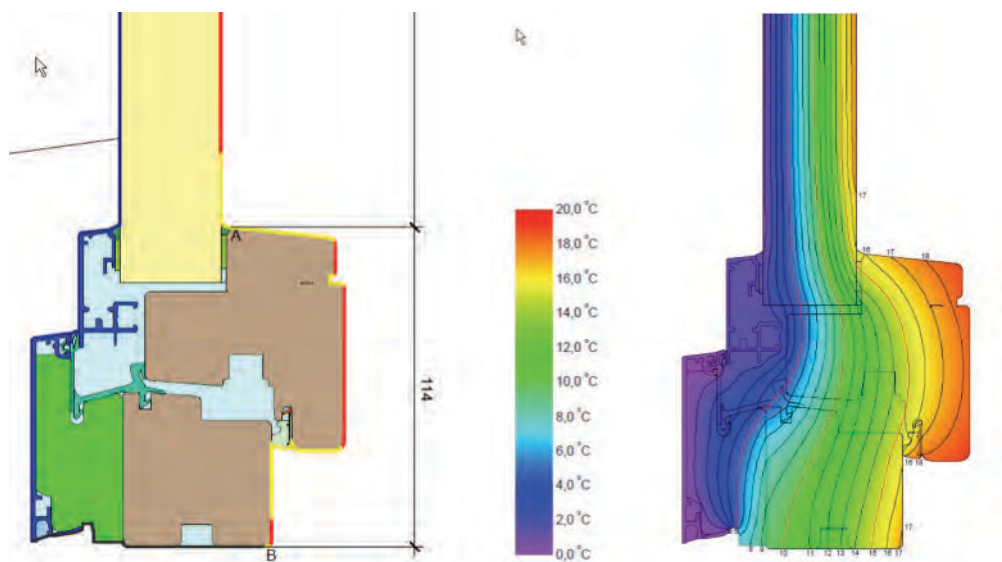


Bild 6.8 linkes Bild - Rechenmodell nach EN ISO 10077-2 mit farblich gekennzeichneten Bereichen für den reduzierten Wärmeübergangswiderstand (gelb) und rechtes Bild - Rechenergebnis und Oberflächentemperaturen(rechts)

Bei der Referenzmethode (Messung nach der Hotboxmethode EN ISO 12567-1) werden spezifisch vorgegebene Randbedingungen hergestellt.



Bild 6.9 Geöffnete Hotbox am Labor für Bauphysik der TU Graz

Nach der Messung wird der sich aus der Messung ergebende Wärmeübergangswiderstand auf einen in der Norm definierten Übergangswiderstand R nach Punkt 6.4 korrigiert: (s steht für Oberfläche, t für gesamt und st für genormt):

Für Fenster und Türen wird in Europa ein genormter Wert von $R(s,t),st = 0,17 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ verwendet.

In Punkt 6.3 der Norm wird festgelegt:

Die Messungen an den Probekörpern muss unter den gleichen Bedingungen wie bei den in 6.2.2 beschriebenen Kalibrierungen bei einer mittleren Lufttemperatur von etwa 10°C und einer Lufttemperaturdifferenz von $(20 \pm 2) \text{ K}$ oder nach nationalen Normen durchgeführt werden. (Zur Vermeidung von Tauwasser oder Eisbildung ist die Luftfeuchte ausreichend niedrig zu halten)

Aus den Ausführungen geht hervor, dass zur Berechnung bzw. Messung der spezifischen „wärme- und feuchtetechnischen Leistungseigenschaften“ von Fenstern von einer Außentemperatur von 0°C und einer am Fenster innen vor dem normgemäßen Wärmeübergang anstehenden Raumtemperatur von 20°C ausgegangen wird.

Für die Beurteilung der Oberflächenkondensation wiederum ist von definierten Wärmeübergangswiderständen Außen einem Wärmeübergangswiderstand R_{se} von $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ und Innen einem Wärmeübergangswiderstand R_{si} von $0,13$ auszugehen; eine kleinflächige Erhöhung dieses Widerstandes auf $0,2 \text{ m}^2\text{K/W}$ ist für definierte Eckbereiche vorgesehen.

Anzumerken ist, dass die Wärmeübergangsbedingungen einen wesentlichen Einfluss auf die Oberflächentemperaturen haben. Die in den Normen festgelegten Werte dienen vorrangig dem Vergleich von Konstruktionen. Welche Temperaturen dann tatsächlich erreicht werden, ist von den thermischen Randbedingungen am Einbauort (Konvektion und Wärme-Strahlungsbedingungen) abhängig.

6.6 Geltende Vorgaben in den österreichischen Baugesetzen, insbesondere OIB Richtlinie 6 und 2

In Österreich ist das Baurecht Landesrecht. Über einen Beschluss Landesamtsdirektorenkonferenz wurde jedoch das Österreichische Institut für Bautechnik beauftragt, gemeinsame technische Baubestimmungen zu erarbeiten, was in Form von OIB Richtlinien erfolgte. Zu Landesrecht werden diese Richtlinien durch entsprechenden Beschluss der Gesetzgeber, also der Landesparlamente. Aus diesem Grund sind teilweise unterschiedliche Fassungen der OIB Richtlinien in den einzelnen Bundesländern in Kraft. Eine aktuelle Übersicht ist auf der Homepage des OIB zu finden.

6.6.1 OIB Richtlinie 6

Aus Sicht der Baugesetze werden die wärmetechnischen Anforderungen zum einen aus der Begrenzung des Heizwärmebedarfs und zum anderen aus Mindestwerten, die einer Tabelle zu entnehmen sind (siehe unten).

Darüber hinaus wird in Punkt 7 der Richtlinie hinsichtlich der Bemessung von Wärmebrücken auf die ÖNORM B 8110 Teil 2 verwiesen:

7.1 Vermeidung von Wärmebrücken

Gebäude sind bei Neubau und umfassender Sanierung so zu planen und auszuführen, dass Wärmebrücken möglichst minimiert werden. Im Falle zweidimensionaler Wärmebrücken ist jedenfalls die ÖNORM B 8110-2 einzuhalten.

Tabelle 6.3 Mindestanforderungen an Außenbauteile der OIB Richtlinie 6:2011

	Bauteil	U-Wert [W/m²K]
1	WÄNDE gegen Außenluft	0,35
2	WÄNDE gegen unbeheizte oder nicht ausgebaute Dachräume	0,35
3	WÄNDE gegen unbeheizte, frostfrei zu haltende Gebäudeteile (ausgenommen Dachräume) sowie gegen Garagen	0,60
4	WÄNDE erdberührt	0,40
5	WÄNDE (Trennwände) zwischen Wohn- oder Betriebseinheiten	0,90
6	WÄNDE gegen andere Bauwerke an Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenzen	0,50
7	WÄNDE kleinflächig gegen Außenluft (z.B. bei Gaupen), die 2% der Wände des gesamten Gebäudes gegen Außenluft nicht überschreiten, sofern die Ö-NORM B 8110-2 (Kondensatfreiheit) eingehalten wird	0,70
8	WÄNDE (Zwischenwände) innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-
9	FENSTER, FENSTERTÜREN, VERGLASTE TÜREN jeweils in Wohngebäuden (WG) gegen Außenluft ²	1,40
10	FENSTER, FENSTERTÜREN, VERGLASTE TÜREN jeweils in Nicht-Wohngebäuden (NWG) gegen Außenluft ²	1,70
11	sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE vertikal gegen Außenluft ¹	1,70
12	sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE horizontal oder in Schrägen gegen Außenluft ²	2,00
13	sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE vertikal gegen unbeheizte Gebäudeteile ¹	2,50
14	DACHFLÄCHENFENSTER gegen Außenluft ²	1,70
15	TÜREN unverglast, gegen Außenluft ²	1,70
16	TÜREN unverglast, gegen unbeheizte Gebäudeteile ²	2,50
17	TÖRE Rolltore, Sektionaltore u.dgl. gegen Außenluft	2,50
18	INNENTÜREN	-
19	DECKEN und DACHSCHRÄGEN jeweils gegen Außenluft und gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt)	0,20
20	DECKEN gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,40
21	DECKEN gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0,90
22	DECKEN innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-
23	DECKEN über Außenluft (z.B. über Durchfahrten, Parkdecks)	0,20
24	DECKEN gegen Garagen	0,30
25	BÖDEN erdberührt	0,40

¹ Die Konstruktion ist auf ein Prüfnormmaß von 1,23 m x 1,48 m zu beziehen, wobei die Symmetrieebenen an den Rand des Prüfnormmaßes zu legen sind

² Bezogen auf ein Prüfnormmaß von 1,23 m x 1,48 m

6.6.2 OIB Richtlinie 2

Die OIB Richtlinie 2 fordert unter dem Punkt

„Vermeidung von Schäden durch Wasserdampfkondensation“:

Raumbegrenzende Bauteile von Bauwerken mit Aufenthaltsräumen sowie von sonstigen Bauwerken, deren Verwendungszweck dies erfordert, müssen so aufgebaut sein, dass weder in den Bauteilen noch an deren Oberflächen bei üblicher Nutzung Schäden durch Wasserdampfkondensation entstehen.

Bei Außenbauteilen mit geringer Speicherkapazität (wie Fenster- und Türelemente) ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass angrenzende Bauteile nicht durchfeuchtet werden.

Auch hier wird also darauf hingewiesen, dass geeignete Maßnahmen geplant und durchgeführt werden müssen, um Schäden durch Kondensat zu verhindern, da andernfalls Kondensatbildung an Fenstern und Fenstertüren nicht zu verhindern ist.

7 Gebäudeklima bei zunehmendem Wärmeschutz

In den letzten Jahren kann beobachtet werden, dass bei steigenden Anforderungen an die Energieeinsparung und insbesondere die Reduktion des Heizwärmebedarfes das Auftreten von hartnäckiger Kondensatbildung an spezifischen Einbauorten von Fenstern nicht gerade seltener geworden ist, wobei sich der Schwerpunkt der Kondensatbildung an Fenstern von früher insbesondere am Isolierglasrand zunehmend auf ein Auftreten im Funktionsfalz verlagert hat.

7.1 Gebäudeklima-Simulation

Um den Einfluss der Änderung des hygrothermischen Gebäudeklimas durch erhöhte Dämmung und geänderte Heizmedientemperatur bzw. die Art der Beheizung auf die Fensterkonstruktion näher zu betrachten, muss vom heute üblicherweise angestellten Denkmodell – die Lufttemperatur gilt für den gesamten Raum – möglichst Abstand genommen werden. Um zu einer realistischen Betrachtung zu kommen, wird hier im Folgenden auf ein raumklimatisches Simulationsmodell zurückgegriffen, mit dem es möglich ist, sowohl den konvektiven (durch Luftbewegung) als auch den radiativen (durch Wärmestrahlung bedingten) Energietransport in Räumen zu betrachten.

Um die Effekte der Veränderung der Randbedingungen auf das Gebäudeklima und der Einflüsse der Änderungen dieses Gebäudeklimas auf die eingebauten Fenster zu analysieren, wurde ein Raummodell aus einem Raum mit einer Außenwand und einem Fenster in dieser Außenwand zum Außenklima und allen anderen Begrenzungsflächen adiabaten (also gleichartig beheizten Räumen hin) verwendet.

Zum besseren Vergleich sind die Räume nicht möbliert, der Einfluss etwaiger Infiltration ist unterbunden.

Variiert wurde bei gleichbleibender Qualität des Fensterrahmens die wärmetechnische Qualität der Außenwand und des Fensters, wie in der folgenden Tabelle dargestellt.

Um zu realistischen Randbedingungen für das Fenster zu bekommen, wurden nicht vorgegebene Übergangswiderstände für die Berechnung der Temperaturen verwendet, sondern diese auf Basis einer vorgegebenen Raumlufthtemperatur im Aufenthaltsbereich errechnet, in Zusammenwirken von Konvektion und Strahlungsaustausch.

Tabelle 7.1 Berechnungsannahmen (wärmeschutztechnische Modellparameter)

	Altbau A	Mittlere Dämmstufe M Neubau oder sanierter Altbau	Höhere Dämmstufe H Neubau
	U-Wert in $\text{W/m}^2\text{K}$	U-Wert in $\text{W/m}^2\text{K}$	U-Wert in $\text{W/m}^2\text{K}$
Wand	1,23	0,37	0,14
Verglasung	1,80	1,20	1,0
Rahmen	1,50	1,20	1,0

Die Regelung für die Raumheizung wurde so programmiert, dass sich nach einer Einschwingphase die für den Aufenthaltsbereich vorgegebene operative Temperatur ergab.

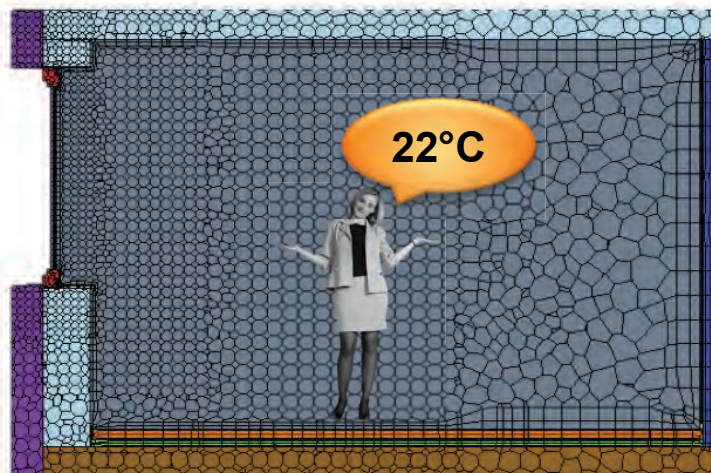


Bild 7.1 Vertikalschnitt Modellraum CFD Simulation mit finiten Volumenelementen und dem Regelparameter für die Raumheizung.

Mit den in der Simulationsberechnung implementierten physikalischen Modellen von Konvektion und Strahlung ist es möglich, die Temperaturverhältnisse in einem Raum lokal zu berechnen und darzustellen.

Darüber hinaus wurden die Änderungen am Raumklima untersucht, die sich durch die Beheizung dieses Raumes mit einem Konvektor oder einer Fußbodenheizung ergeben.

Als Regelgröße für die Raumlufttemperatur wurde im mittleren Aufenthaltsbereich die Empfindungstemperatur verwendet. Mit dieser Regelgröße wurde die erforderliche Energiezufuhr des Heizkörpers bzw.

der Fußbodenheizung gesteuert, um eine gewünschte „operative“ Temperatur von 22°C zu halten.

7.1.1 Betrachtung des Simulations-Raumes mit wärmetechnisch unterschiedlicher Außenwand mit Fußbodenheizung

Dabei wird im Estrich im Fußboden eine Fußbodenheizung angeordnet, die so geregelt wird, dass die Heizleistung die gewünschte operative Raumtemperatur von 22°C im mittleren Aufenthaltsbereich des Raumes ergibt.

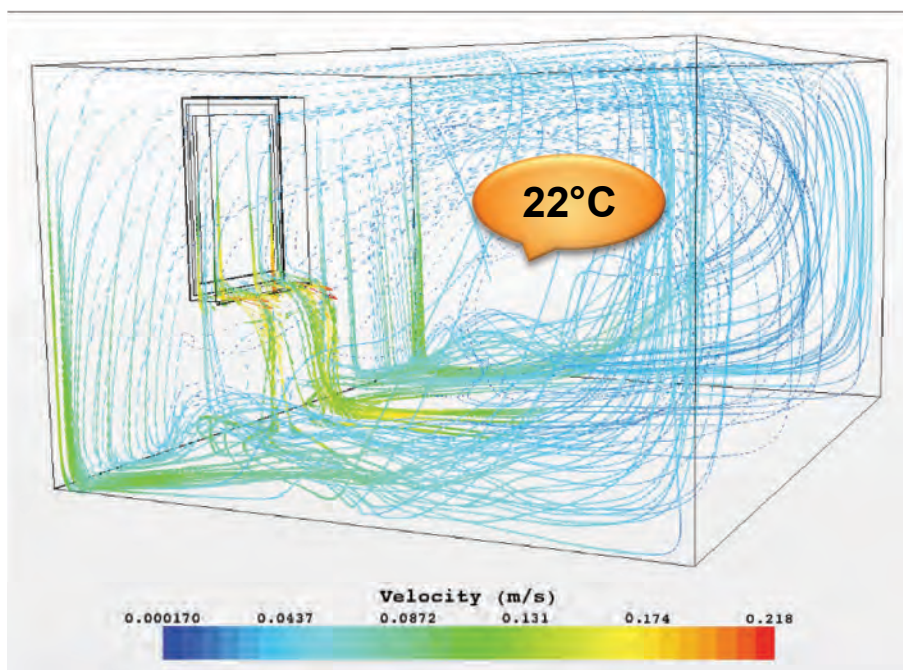


Bild 7.2 Strömungsgeschwindigkeiten: Konvektion im Raum mit Fußbodenheizung

Deutlich zu erkennen ist, dass es zu einer von der Glasfläche und der Leibung getriebenen, abfallenden Luftströmung am Fenster kommt. Eine leichte Konvektion ist auch in den Raumecken zu erkennen. Es werden insbesondere im Leibungsbereich links und rechts am Fenster die höchsten Luftgeschwindigkeiten erreicht, die Konvektion im Raum selbst weist sehr geringe Geschwindigkeiten auf.

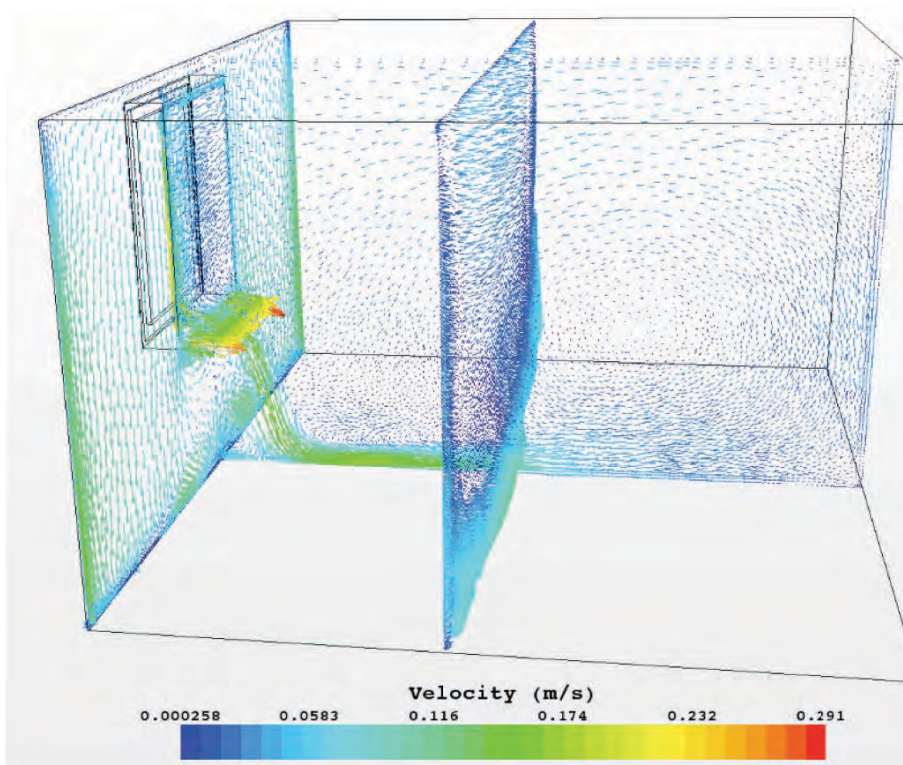


Bild 7.3 Strömungsgeschwindigkeiten: Konvektion im Raum mit Fußbodenheizung in vertikalen Schnittebenen

Betrachtet man die Auswirkung auf die Fensterinnenoberfläche, so sieht man dass der Wärmestrom zum Fenster, der letztlich für die am Fenster erreichte Temperatur relevant ist, erwartungsgemäß vor allem durch eine Wärmeübertragung durch Wärmestrahlung getragen wird und der Anteil an Wärmezufuhr durch Konvektion vergleichsweise gering ist.

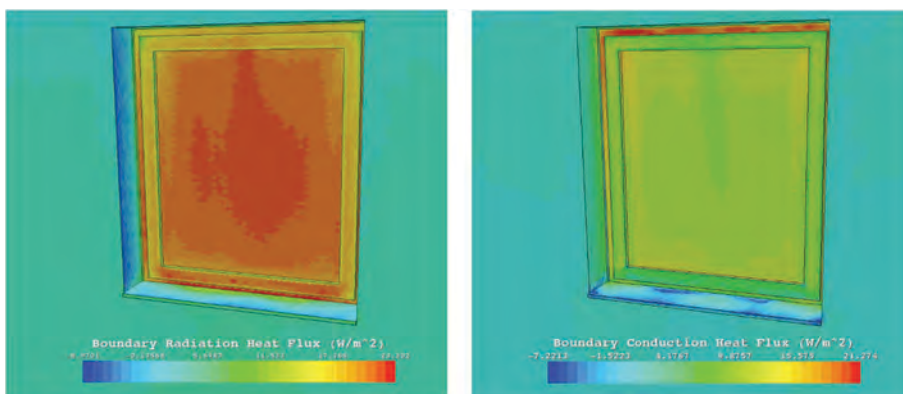


Bild 7.4 Wärmestromdichte an die Innenoberfläche des Fensters: links durch Strahlung, rechts durch Konvektion. (Skalenwerte laut Abbildung)

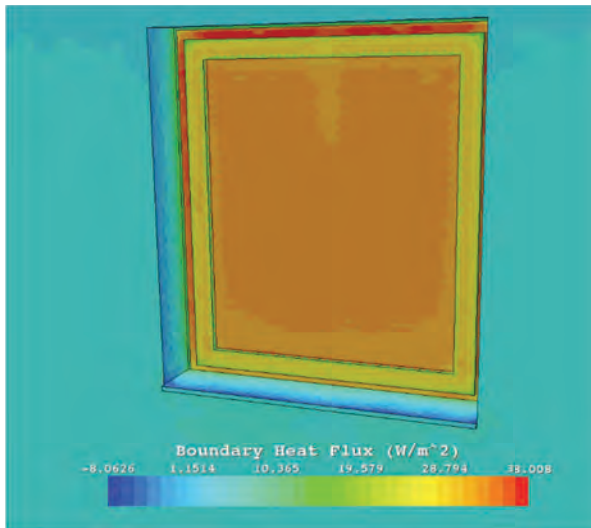


Bild 7.5 Gesamtwärmestromdichte auf das Fenster (Skalenwerte laut Abbildung)

7.1.2 Betrachtung des Simulations-Raumes mit wärmetechnisch unterschiedlicher Außenwand mit Konvektor

Völlig anders stellt sich die Situation mit einem Konvektor unter dem Fenster dar. Insbesondere beim Altbau mit den höheren Wärmeverlusten über die Außenwand ergibt sich durch die kleine Heizfläche eine hohe Vorlauftemperatur und damit auch Konvektortemperatur, was im Bild unten gut zu erkennen ist:

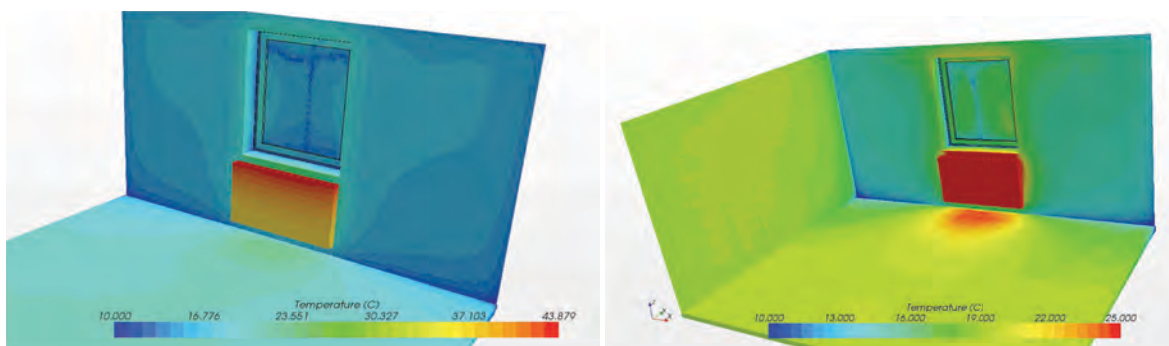


Bild 7.6 Gesamtwärmestromdichte auf das Fenster (Skalenwerte laut Abbildung)

Völlig anders als bei der Fußbodenheizung stellt sich hier die Konvektion der Raumluft dar: Solange die Heizmedientemperatur hoch ist, führt dies zu einer ausgeprägten Warmluftströmung zum Fenster.

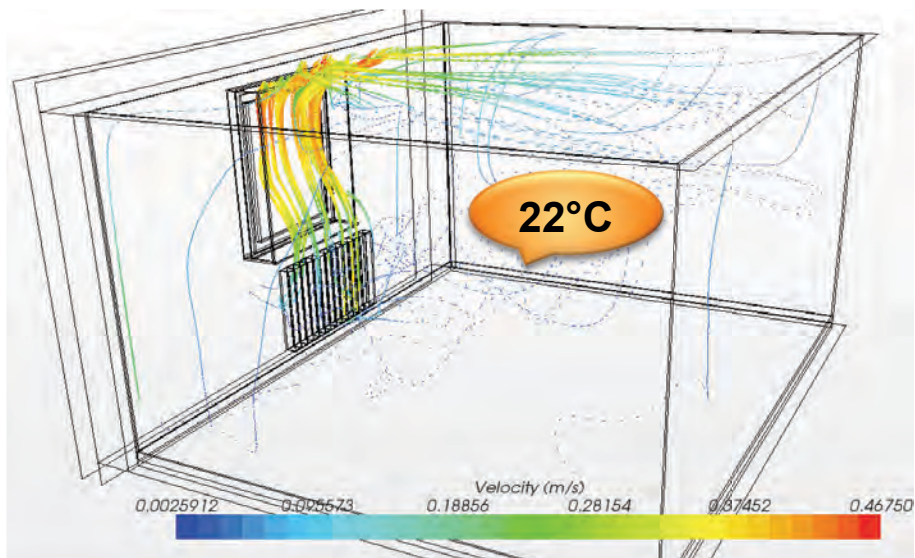


Bild 7.7 Strömungsgeschwindigkeiten: Raumlufstromung mit Konvektor am Fensterparapet (Skalenwerte laut Abbildung)

Deutlich zu erkennen ist, wie die vom Konvektor erwärmte Luft in die Fensterleibung streicht und sich über die Decke in den Raum ausbreitet

Wie zu erwarten, ist in diesem Fall der Konvektive Wärmestrom zur Fensteroberfläche maßgeblich für die Erwärmung der Fensterkonstruktion:

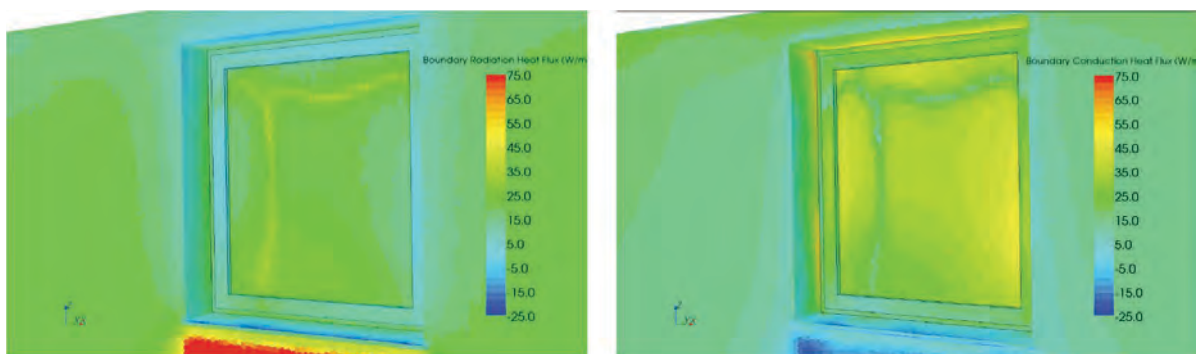


Bild 7.8 links Wärmestromdichte zum Fenster durch Strahlung, rechts durch Konvektion (Skalenwerte laut Abbildung).

Die einzelnen Wärmetransportmechanismen wirken sich also erwartungsgemäß unterschiedlich auf die erzielte Oberflächentemperatur aus, so dass also eine Änderung der Art der Beheizung bzw. deren Wirkungsmechanismen auch entsprechende Änderungen für die

Fensterkonstruktion nach sich ziehen, ohne dass sich die Bemessungsgrößen (Raumlufthtemperatur) wesentlich geändert hätte.

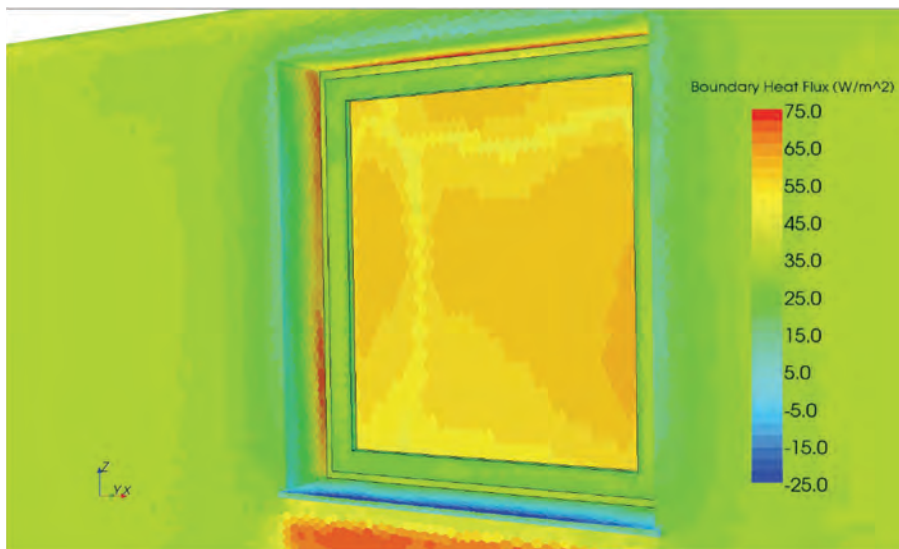


Bild 7.9 Gesamtwärmestromdichte zum Fenster bei Konvektor-Heizung (Skalenwerte laut Abbildung).

Erkennbar wird auch, dass sich durch die konvektive Luftbewegung „Pfade“ am Fenster ausbilden, die zu lokal kälteren Bereichen („COLD SPOTS“) führen.

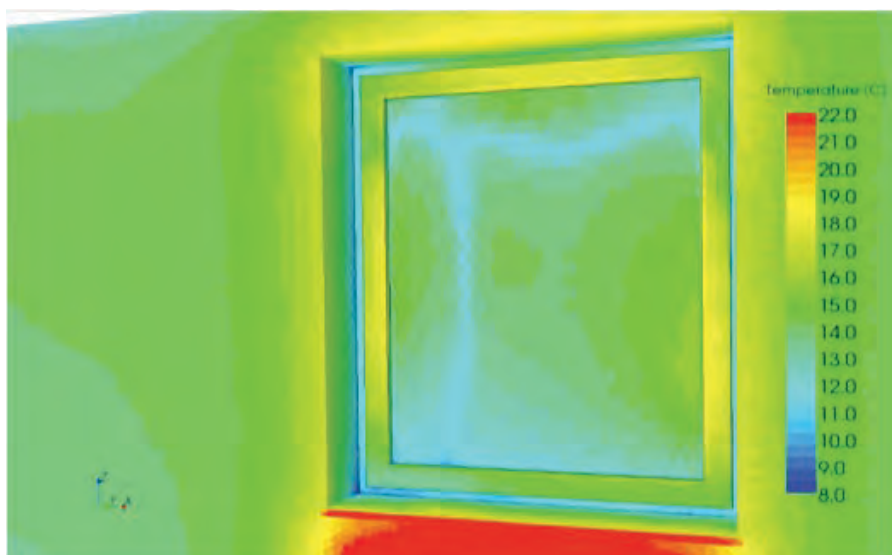


Bild 7.10 Temperaturen am Fenster bei Konvektor-Heizung (Skalenwerte laut Abbildung)

Der Ort dieser Zone wechselt dabei im Zeitverlauf von links nach rechts und zurück (mäandrierend).

Variiert man die thermische Qualität der Außenwand und die Art der Beheizung, so erhält man folgendes Bild der Temperaturen im Raum im Vergleich:

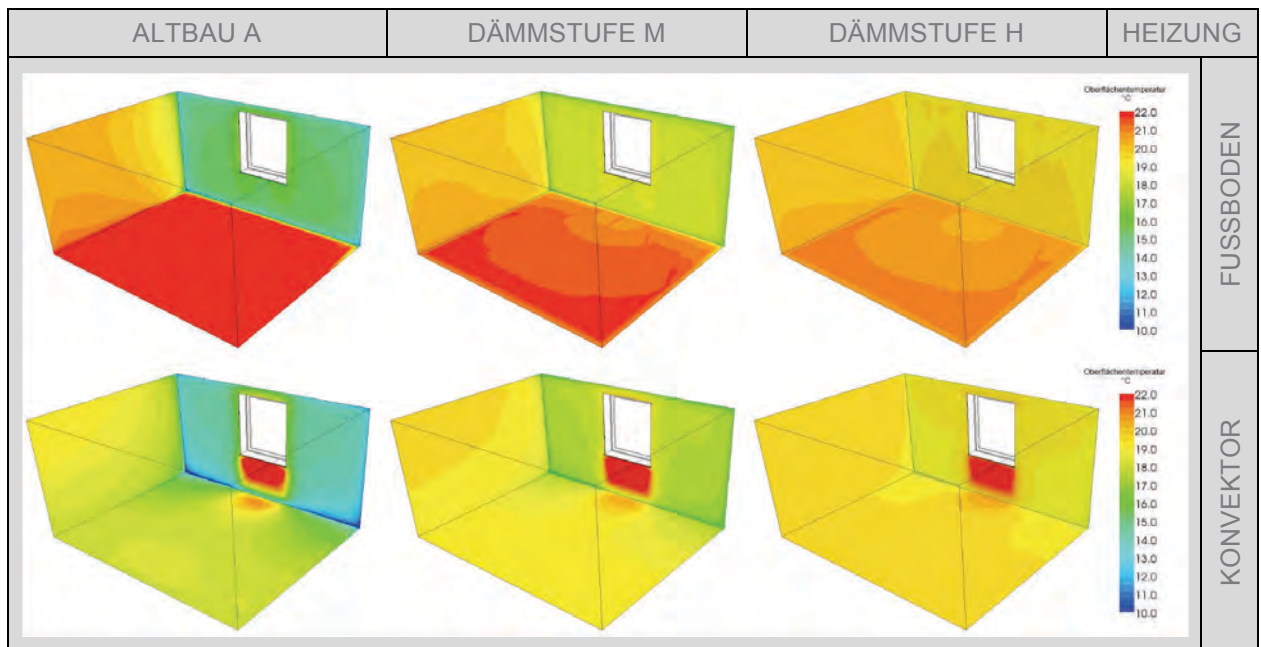


Bild 7.11 Vergleich der Raumoberflächentemperaturen - oben mit Fußbodenheizung, unten mit Konvektor

Erkennbar wird beim Altbau durch den Konvektor ein Kaltluftabfall verhindert, seitlich kommt es durch die kühlere Außenwand aber zu einer Abkühlung des Bodens in der Nähe der Ecke Innenwand-Außenwand. Die Konvektion ist hier stark genug, um entsprechend Wärme in diese sensiblen Zonen zu transportieren.

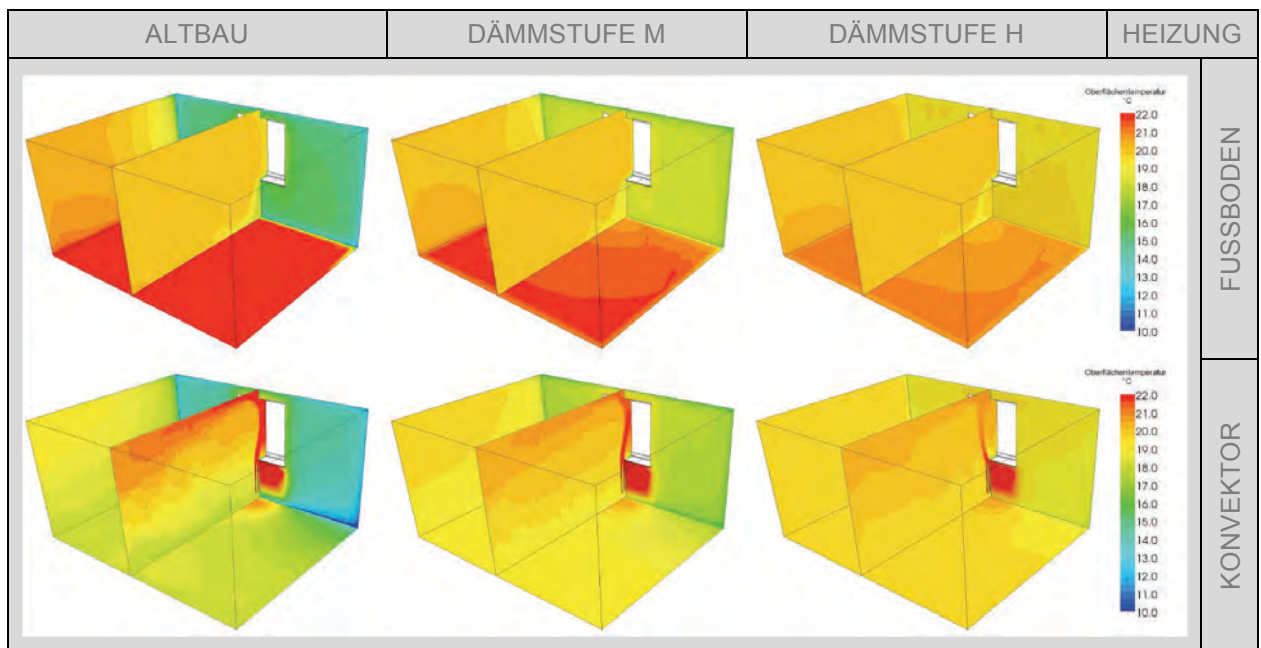


Bild 7.12 Raumlufttemperaturen durch eine Schnittebene in Fensterachse visualisiert: oben Fußbodenheizung, unten Konvektionsheizung

Die Konvektorheizung führt bei ausreichender Vorlauftemperatur zu deutlich höheren Oberflächentemperaturen an der Decke und im Sturzbereich, sofern eine entsprechende Heizleistung aufgrund der geringeren Dämmung erforderlich ist. Bei der stark gedämmten Variante ergibt sich zwar auch eine Schichtung, die aber wesentlich weniger ausgeprägt ist. Gut zu erkennen ist die wärmedämmungsabhängige Oberflächentemperatur der Außenwand und der auch bei der stark gedämmten Variante deutliche Einfluss der Fensterfläche in Bezug auf abfallende Luftströmung bei der Variante mit Fußbodenheizung.

Deutlich wird auch die Tatsache, dass mit zunehmender Dämmung wie erwartet die erforderliche Heizleistung sinkt. Gleichzeitig wird aber auch die für das Beheizen erforderliche Temperatur des Heizmediums geringer, die Vorlauftemperatur sinkt. Dies wiederum führt zu geringeren Oberflächentemperaturen, sinkender Strahlungsleistung bzw. geringerer Konvektion im Raum bei der Konvektor-Heizung. Die Bauteile werden mit weniger Energie versorgt, so dass darauf zu achten ist, die Außenbauteile so zu planen, dass alle mit der geringeren Energiezufuhr das Auslangen finden. Andernfalls ist an solchen Stellen Problemen zu rechnen, wie dies zB. an Wärmebrücken der Fall sein kann, die nach einer thermischen Sanierung erst recht zu Problemstellen für Schimmelbildung werden können.

Es ist also wichtig, das Wärmedämmniveau aller betroffenen Bauteile der zur Verfügung stehenden Wärmeenergie anzupassen und dafür zu sorgen, dass die vorgesehene Wärme auch zu den Bauteilen gelangt, oder andernfalls einzelnen Bauteile gegebenenfalls gesondert Wärmeenergie zuzuführen.

Betrachtet man die Auswirkungen direkt auf das Fenster, ergeben sich folgende Resultate im Vergleich der unterschiedlichen Dämm-Niveaus und der Art der Beheizung: (Die Isolierglasabstandhalter sind bei den folgenden Grafiken nicht mit ausgewertet, um die Auswirkung auf die Blendrahmen zu verdeutlichen).

7.2 Wärmestromdichte am Fenster mit Konvektorheizung:

Deutlich zu erkennen ist, dass für das Altbaufenster die höchste Wärmestromdichte erforderlich wird, und dass bei der gedämmten Variante zum Effekt der kalten Bereiche kommt.

Erkennbar ist aber auch, dass die Leibung bei der stark gedämmten Variante nur eine geringe Wärmestromdichte aufweist und dass generell der Fensterbankbereich die geringsten Wärmestromdichten aufweist und damit dort auch die geringsten Temperaturen erreicht werden.

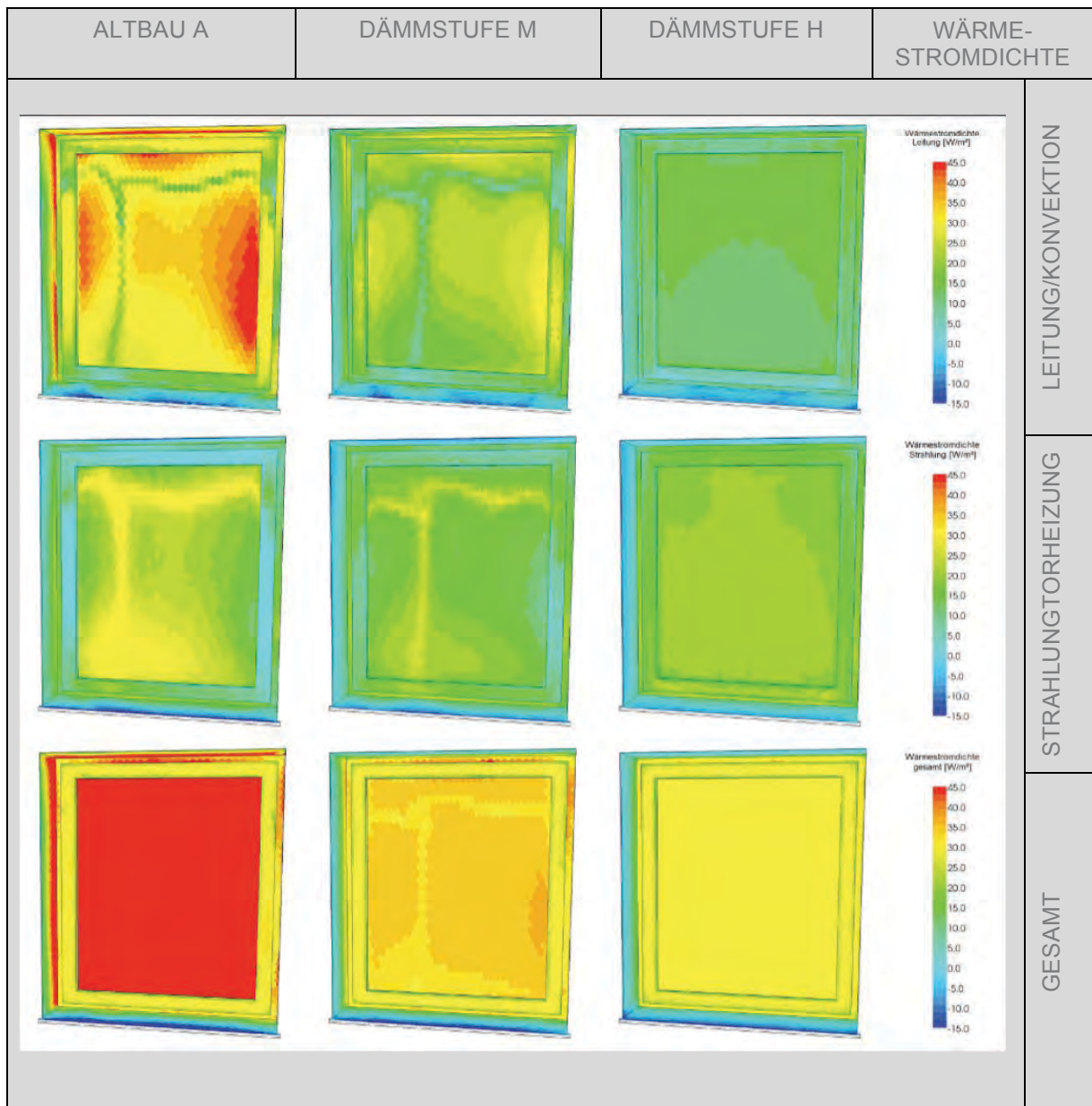


Bild 7.13 Vergleich der Wärmestromdichte am Fenster im Vergleich bei Konvektorheizung.

Deutlich sichtbar ist beim Altbau und dem mittleren Dämm-Niveau wieder das mäanderförmiges Aufsteigen der Warmluft; bei transienter Betrachtung wechseln diese Bereiche ständig.

Interessant ist auch, dass der Strahlungsanteil auf den Flügelrahmen bei der Beheizung über Konvektor im Altbau nur sehr gering ist und der Großteil der Wärmestromdichte hier durch Konvektion an die Verglasung transportiert wird..

I

7.3 Wärmestromdichte bei Fußboden-Heizung:

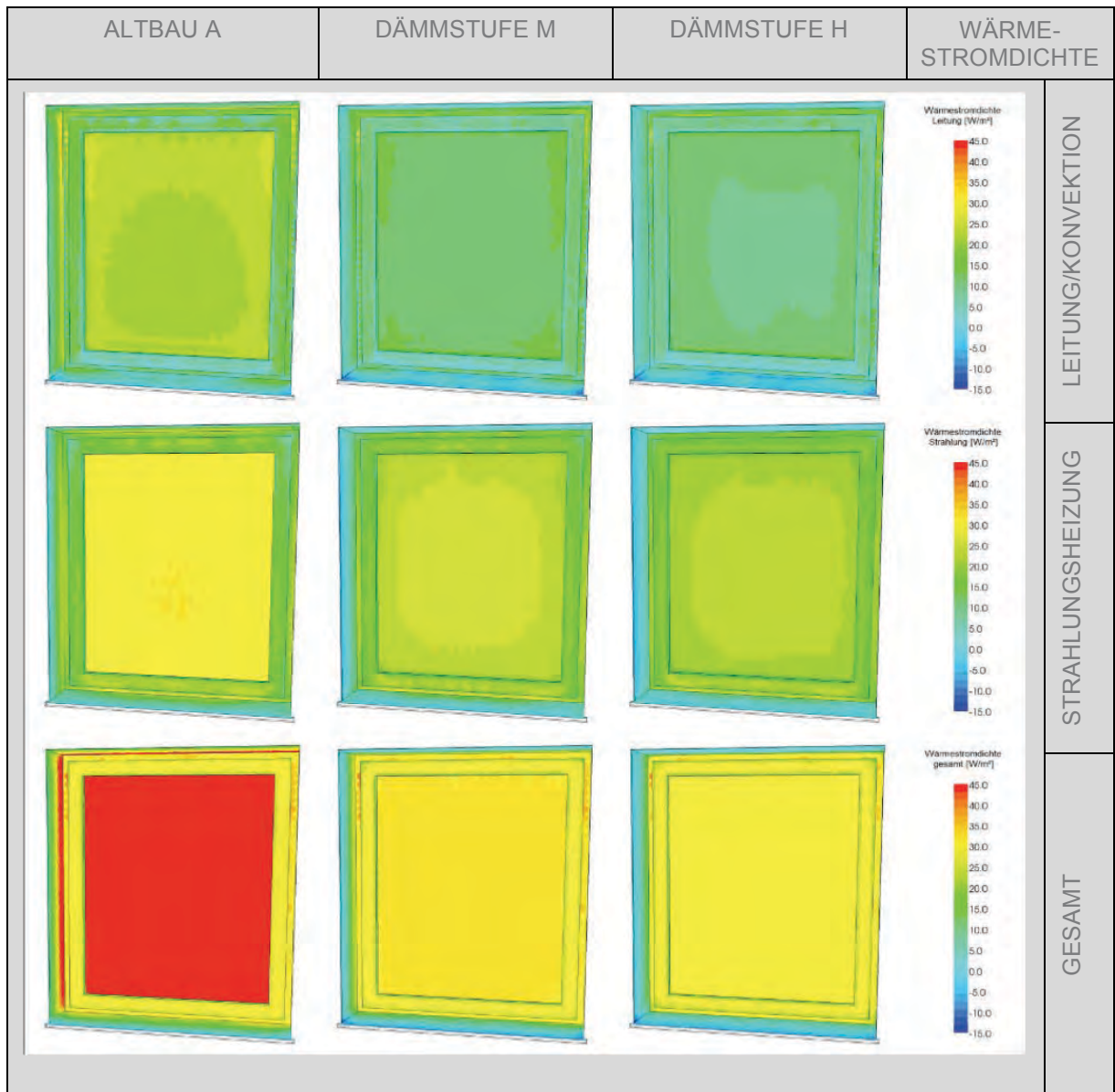


Bild 7.14 Vergleich der Wärmestromdichte im Vergleich bei Fußbodenheizung.

Bei der Fußbodenheizung wird der erkennbar geringere Konvektionsanteil auf der Verglasung sichtbar, aber auch, dass die Leitung mit zunehmender Wärmedämmung eine geringere Wärmestromdichte aufweist.

Um den Einfluss auf den Blend- und Flügelrahmen besser erkennbar zu machen, wurde ein Vergleich der verschiedenen Dämmvarianten jeweils mit Fußbodenheizung und Konvektor mit Fokus auf den Rahmen errechnet.

7.4 Vergleich der Wärmestromdichte mit Fokus auf den Flügelrahmen:

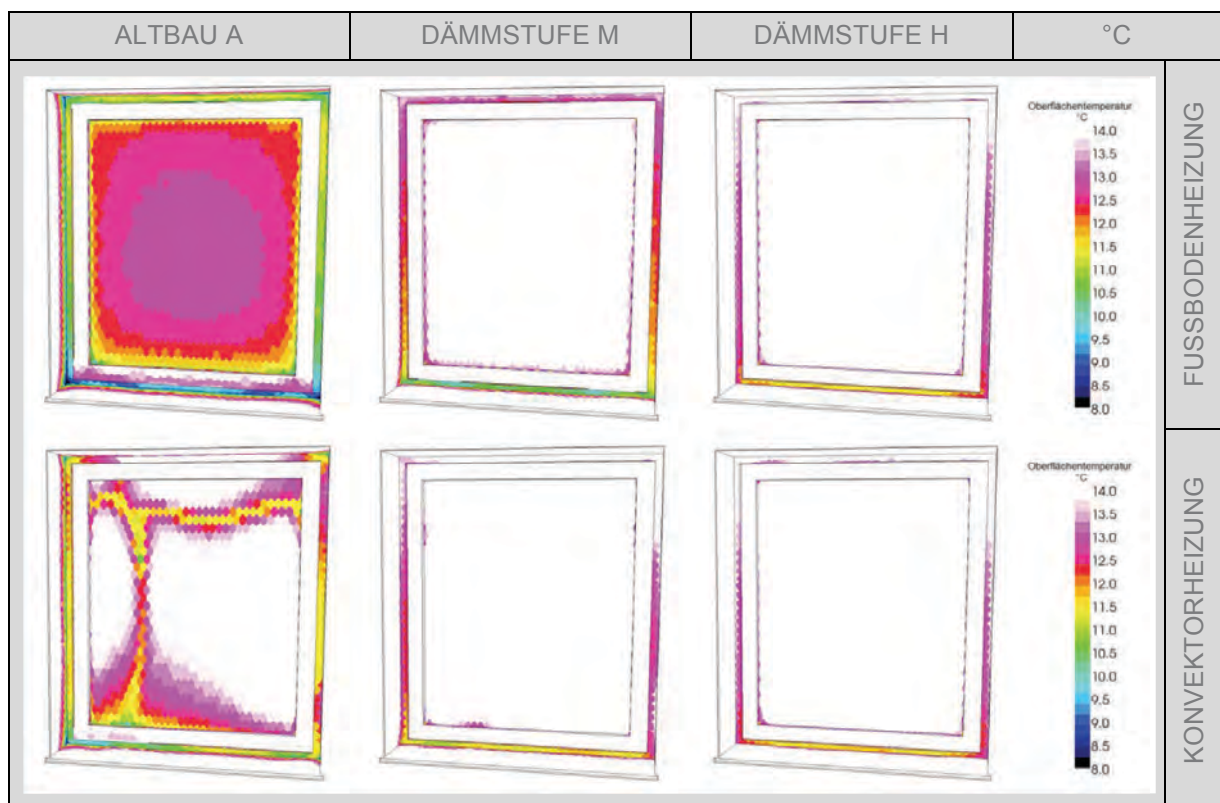


Bild 7.15 Wärmestromdichte auf den Rahmen: oben mit Fußbodenheizung, unten mit Konvektor

Am Fenster im Altbau ist erkennbar, dass die Wärmezufuhr über den Konvektor deutlich mehr Wärme zur Verglasung bringt, als eine Strahlungsheizung. Bei der gedämmten Variante ist der reduzierte Wärmestromdichte am Blendrahmen deutlich erkennbar. Auch hier führt die Beheizung über einen Konvektor zu mehr Wärmezufuhr im Sturzbereich. Auch bei der stark gedämmten Variante ist am unteren Blendrahmenfries eine geringere Wärmezufuhr zu erkennen.

Betrachtet man die Temperaturen am Fenster im Detail, so fällt auch hier die geringe Oberflächentemperatur an der Altbauvariante, aber auch an der gedämmten Variante auf, die bei der Fußbodenheizung deutlich

ausgeprägter ist, als bei der Konvektor-Heizung. Auch bei der stark gedämmten Variante ist dieser Effekt – etwas abgeschwächt – sichtbar.

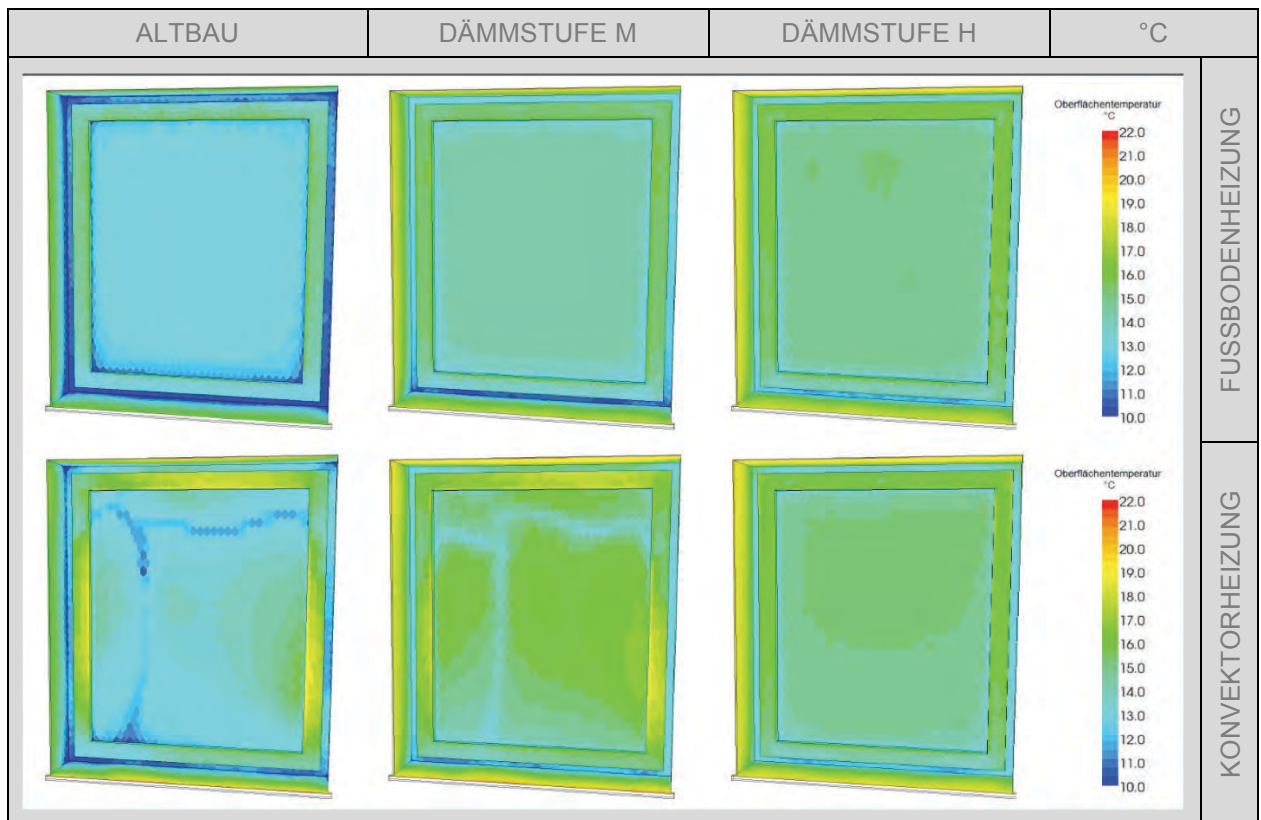


Bild 7.16 Temperaturen an der Fensterinnenoberfläche: oben Fußbodenheizung, unten Konvektor.

Bei der stark gedämmten Variante sind die Abzeichnungen der Konvektion kaum mehr sichtbar, zum Teil aufgrund der geringen erforderlichen Heizleistung, zum Teil, da sich ein weiterer Effekt ergibt, der später noch deutlicher zu sehen sein wird.

Die Fußbodenheizung als Strahlungsheizung wirkt sich bei der Altbauvariante ungünstig aus: die Oberflächentemperaturen sind erkennbar geringer, als bei der Konvektor-Variante.

7.5 Luftströmungen bei Beheizung mittels Konvektor:

Am deutlichsten ist die Konvektion beim Altbau zu sehen, da hier auch die höchsten Temperaturen der Heizmedien zur Aufrechterhaltung der vorgegebenen Raumtemperatur erforderlich sind.

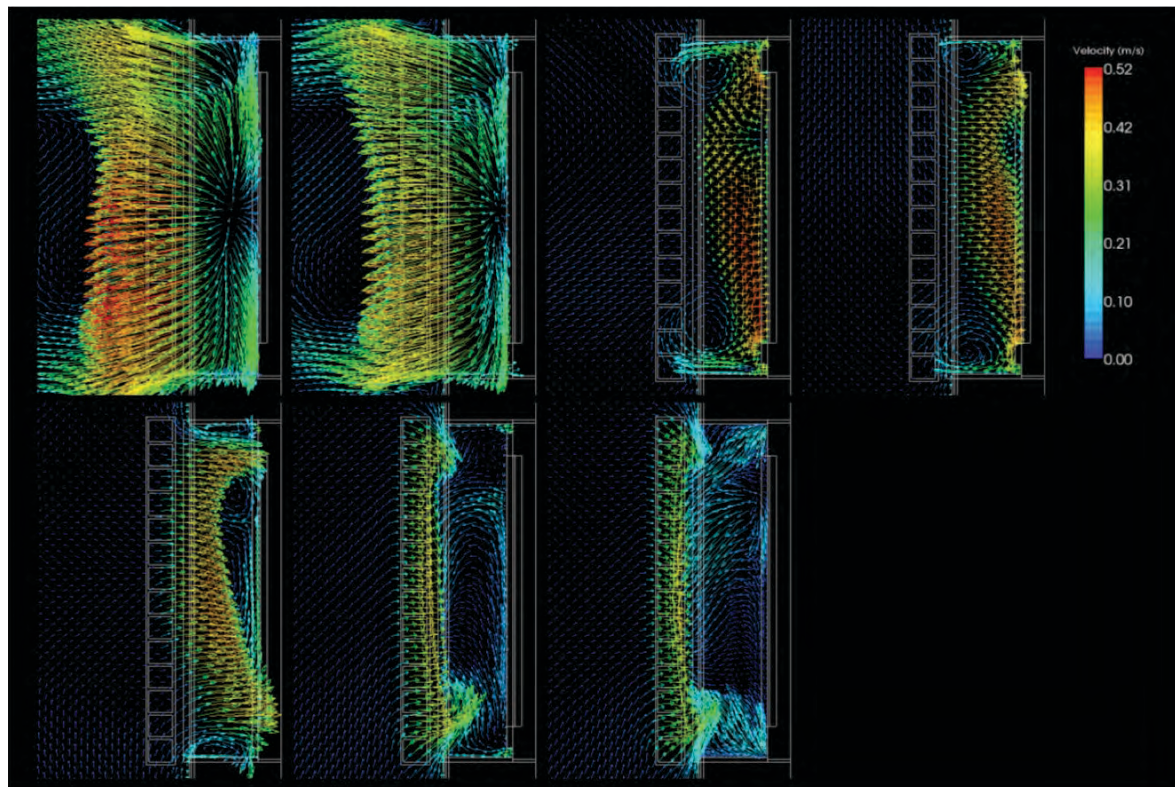


Bild 7.17 Altbau mit Konvektor: Luftströmung in der Fensternische in 7 horizontalen Schnittebenen über dem Konvektor von oben (Sturz) nach unten (Fensterbank)

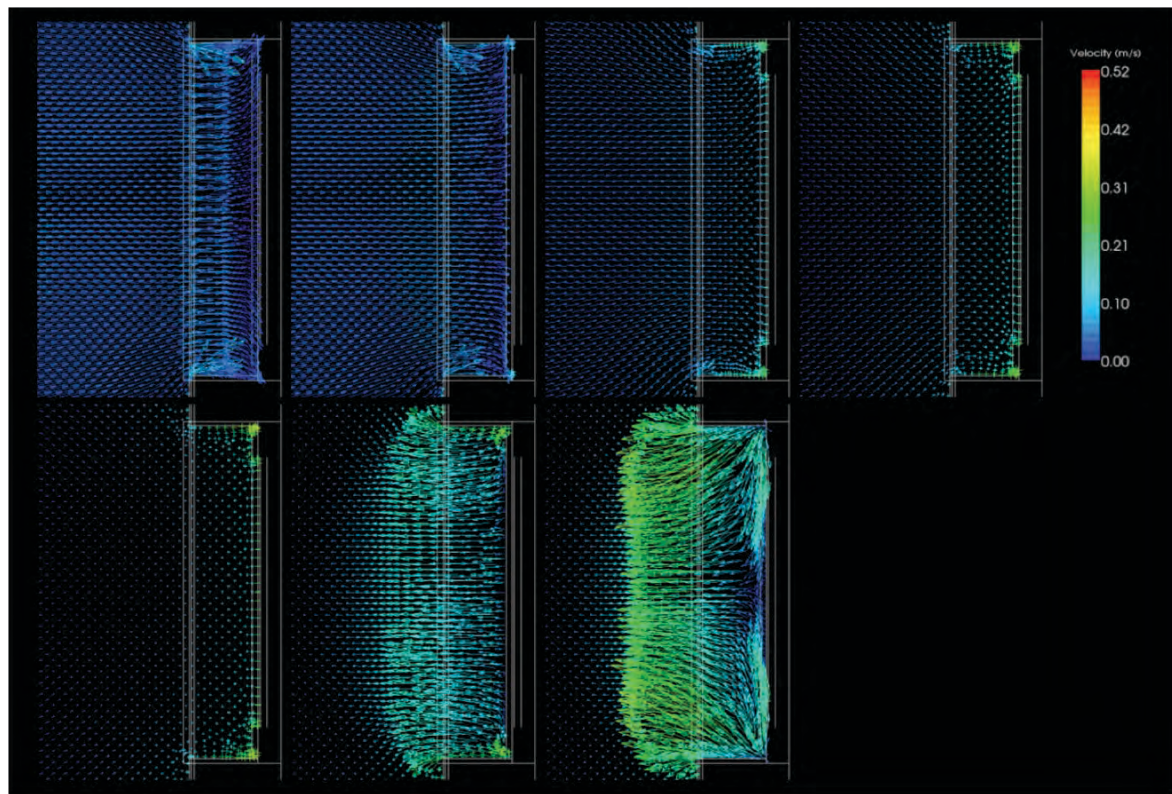


Bild 7.18 Altbau mit Fußbodenheizung: Luftströmung in der Fensternische in sieben horizontalen Schnittebenen der Fensterleibung von oben (Sturz) nach unten (Fensterbank)

Deutlich geringer als beim Altbau fällt die Konvektion bei der mittleren Dämmstufe aus. Hier ist insbesondere bei Betrachtung der Ergebnisse im Zeitverlauf die „Mäanderbildung“ einer vertikalen Luftwalze zu erkennen, die auch bereits bei der Wärmestrom- und Temperaturdarstellung erkennbar war. Die Lage der „Wirbelzone“ ändert sich dabei im Zeitverlauf.

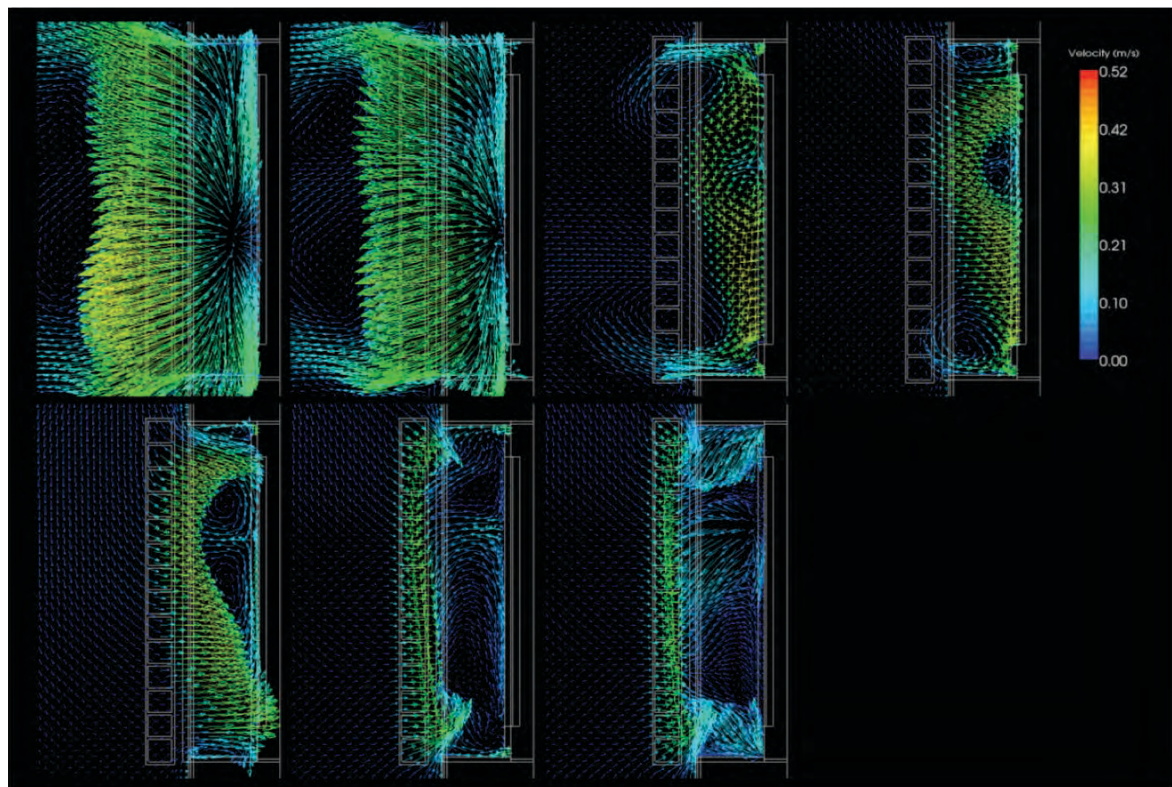


Bild 7.19 Außenwand mit Konvektor bei mittlerer Dämmstufe: Luftströmung in der Fensternische in sieben horizontalen Schnittebenen über dem Konvektor von oben (Sturz) nach unten (Fensterbank)

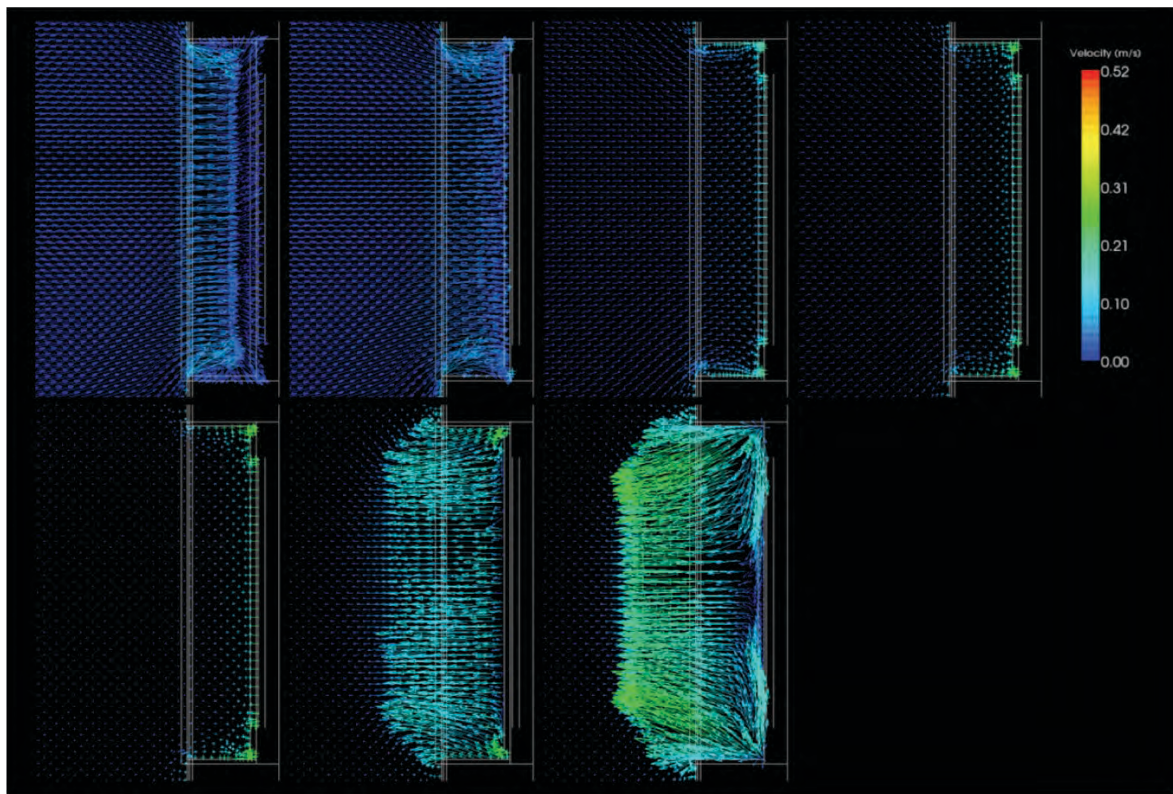


Bild 7.20 Außenwand mit mittlerer Dämmstufe und Fußbodenheizung: Luftströmung in der Fensternische in sieben horizontalen Schnittebenen in der Fensterleibung von oben (Sturz) nach unten (Fensterbank).

Die Geschwindigkeiten der Luftströmung sind bei der gedämmten Variante am geringsten, wobei auch bei der Fußbodenheizung ein deutlich sichtbarer Luftstrom vom Kantenbereich Leibung-Fenster zum Boden abfällt, da die Heizleistung des Konvektors zu gering ist.

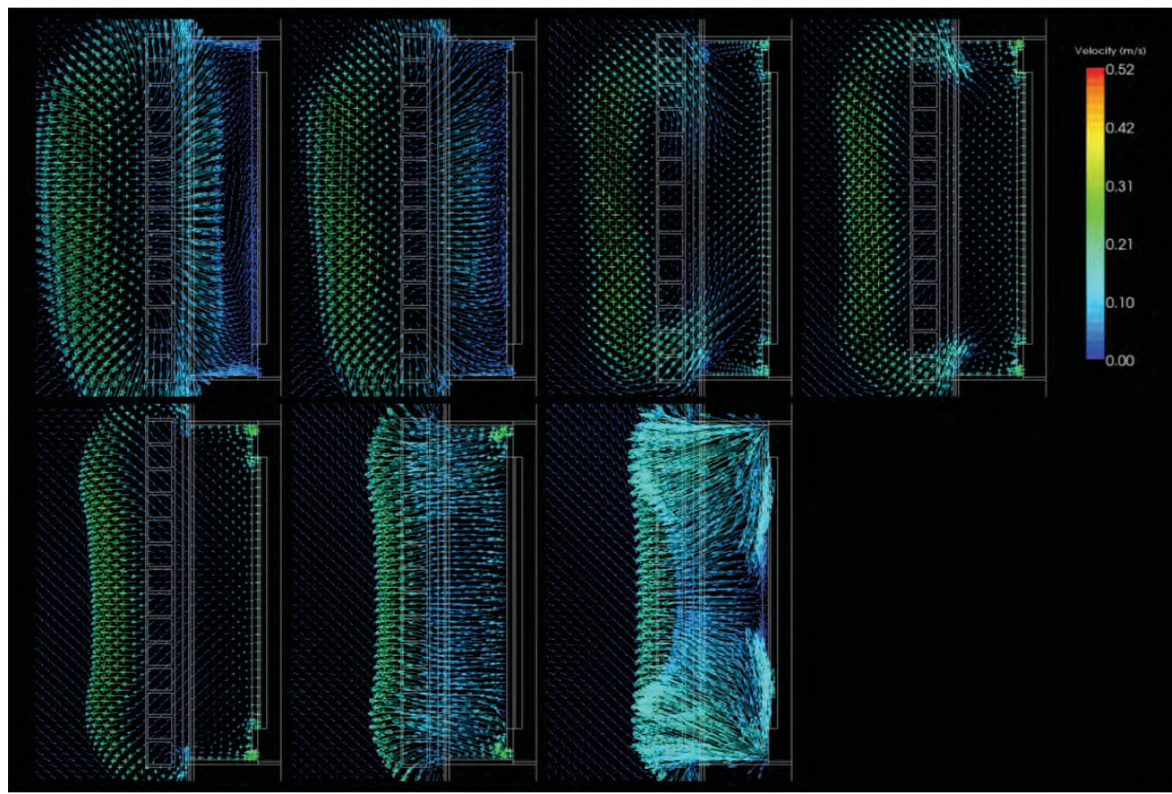


Bild 7.21 Außenwand mit hoher Dämmstufe: Konvektion in der Fensterleibung bei Konvektorheizung in sieben horizontalen Schnittebenen von oben (Sturz) nach unten (Fensterbank)

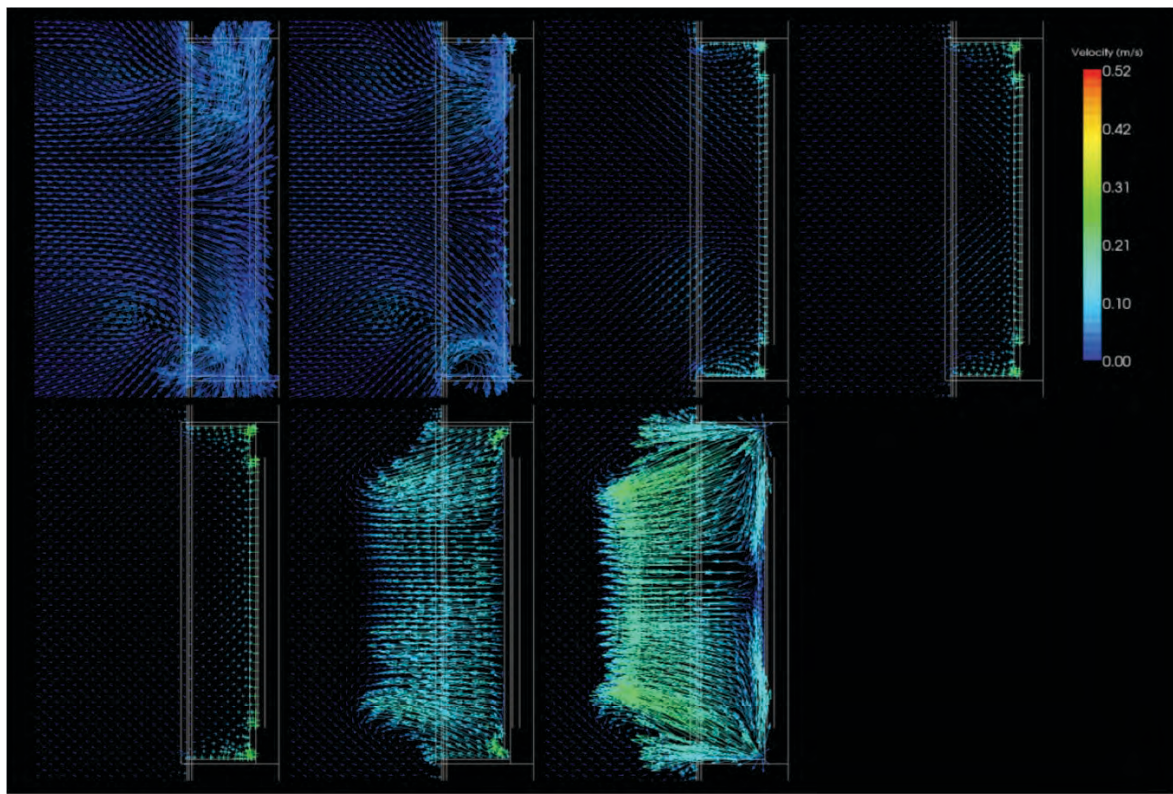


Bild 7.22 Außenwand mit hoher Dämmstufe: Konvektion in der Fensterleibung bei Konvektorheizung in sieben horizontalen Schnittebenen von oben (Sturz) nach unten (Fensterbank)

Auch bei Betrachtung normal zur Fensterebene werden die Unterschiede deutlich:

Für den Altbau stellt die Konvektorheizung die deutlich bessere Wärmeversorgung für die Fensterkonstruktion sicher.

Bei der stark gedämmten Variante ist dagegen bei dieser Projektion kaum mehr Konvektion sichtbar.

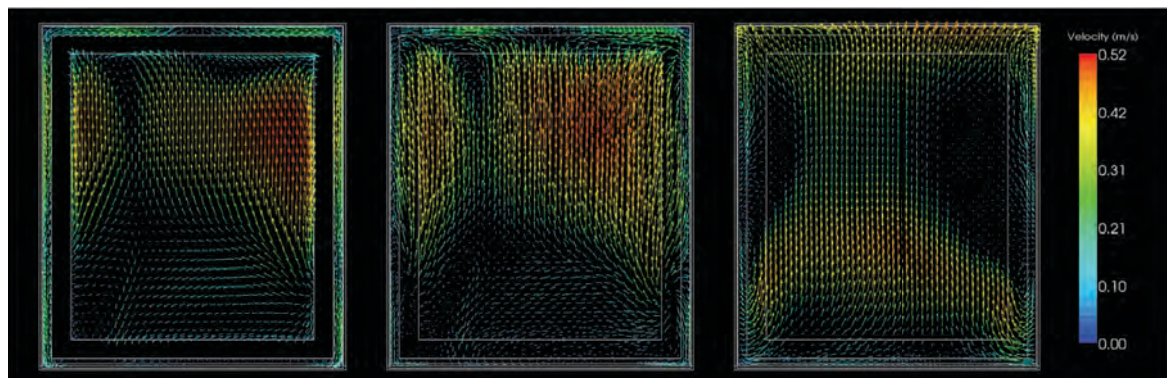


Bild 7.23 Konvektion in der Fensterleibung - Altbau Außenwand mit Konvektor, vertikale Schnittebenen vor dem Fenster von links direkt am Fenster bis rechts an der inneren Wandoberflächenebene

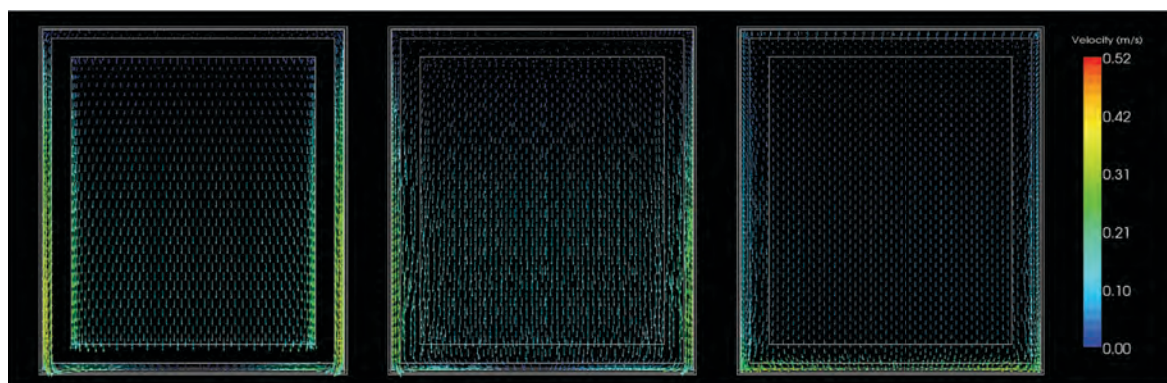


Bild 7.24 Konvektion in der Fensterleibung - Altbau Außenwand mit Fußbodenheizung in vertikalen Schnittebenen parallel zur Fensterebene von links direkt am Fenster bis rechts an der inneren Wandoberflächenebene

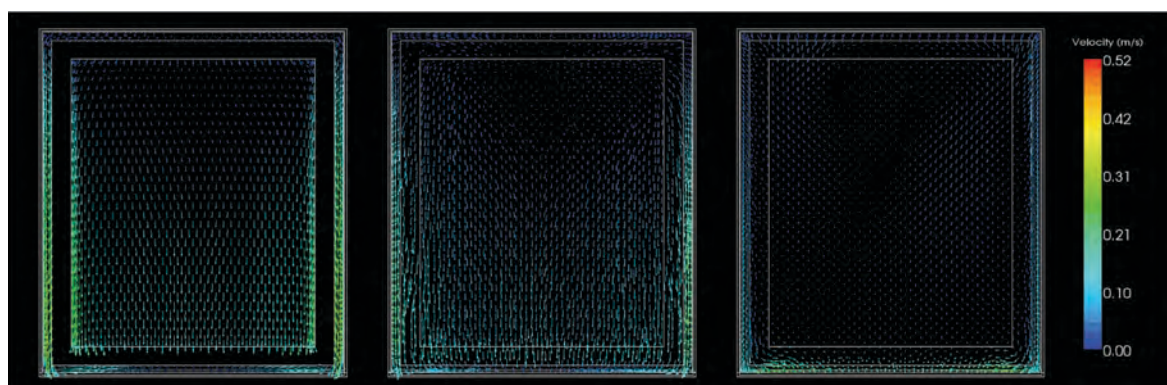


Bild 7.25 Konvektion in der Fensterleibung: mittlere Dämmstufe der Außenwand mit Konvektor in vertikalen Schnittebenen parallel zur Fensterebene von links direkt am Fenster bis rechts an der inneren Wandoberflächenebene

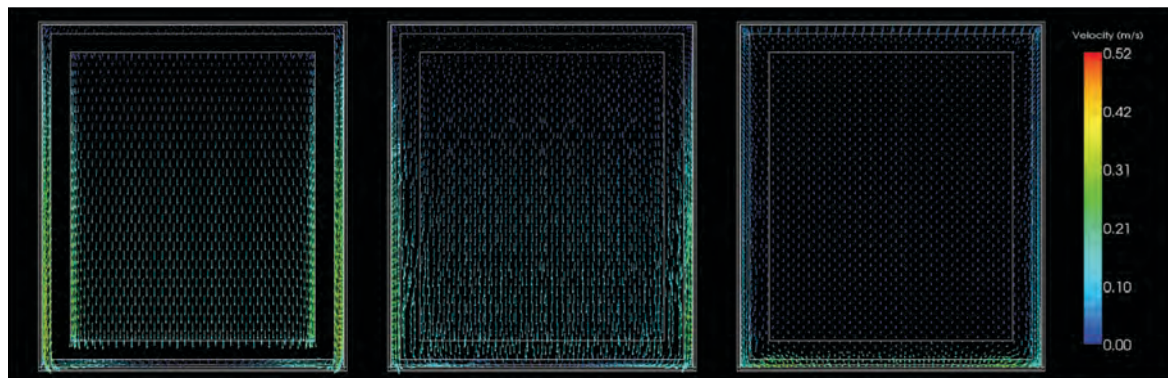


Bild 7.26 Konvektion in der Fensterleibung - gedämmte Außenwand; mittlere Dämmstufe der Außenwand mit Fußbodenheizung in vertikalen Schnittebenen parallel zur Fensterebene von links direkt am Fenster bis rechts an der inneren Wandoberflächenebene

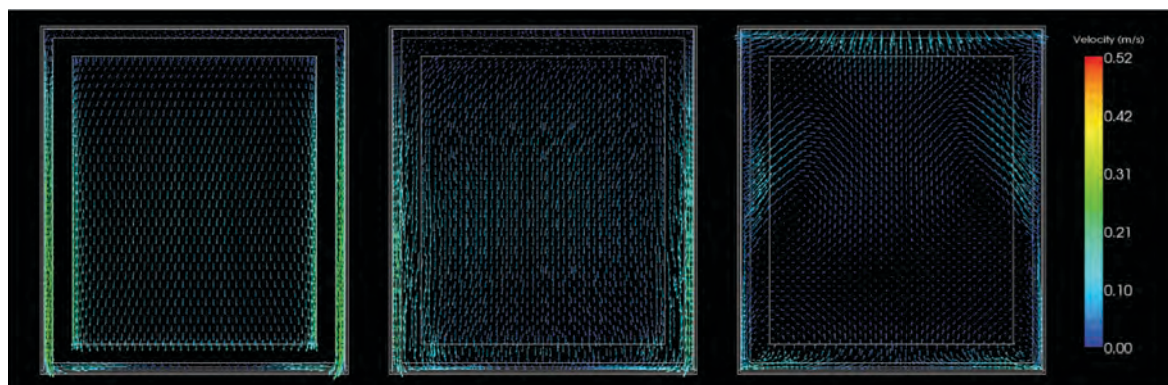


Bild 7.27 Konvektion in der Fensterleibung: hohe Dämmstufe der Außenwand; mit Konvektor in vertikalen Schnittebenen parallel zur Fensterebene von links direkt am Fenster bis rechts in der inneren Wandoberflächenebene

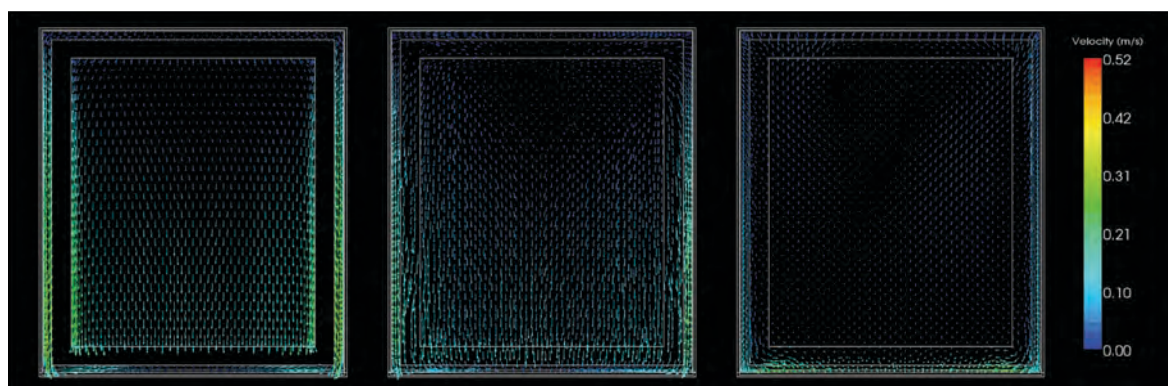


Bild 7.28 Konvektion in der Fensterleibung: hohe Dämmstufe der Außenwand; mit Fußbodenheizung in vertikalen Schnittebenen parallel zur Fensterebene von links direkt am Fenster bis rechts in der inneren Wandoberflächenebene

Ein deutlicher Effekt wird bei einen Vertikalschnitt in der Leibung sichtbar. Die hier sichtbaren Strömungsverläufe sind sehr gut mit Praxiserfahrungen zu verifizieren. Beim Altbau sieht man bei Konvektorbeheizung deutlich, wie sich der Warmluftschleier über das Fenster legt. Bei der Fußbodenheizung fehlt dieser, es kommt zu einem Abfall kalter Luft aus dem Glasbereich, der als Wärmetauscher fungiert und so dem abfallenden Luftstrom kontinuierlich Wärme entzieht. Dieser Effekt wird besonders bei raumhohen Verglasungen und Türen deutlich; der Luftstrom kühlt dabei den unteren Glasrand und das untere Fries ab und begünstigt Kondensatbildung.

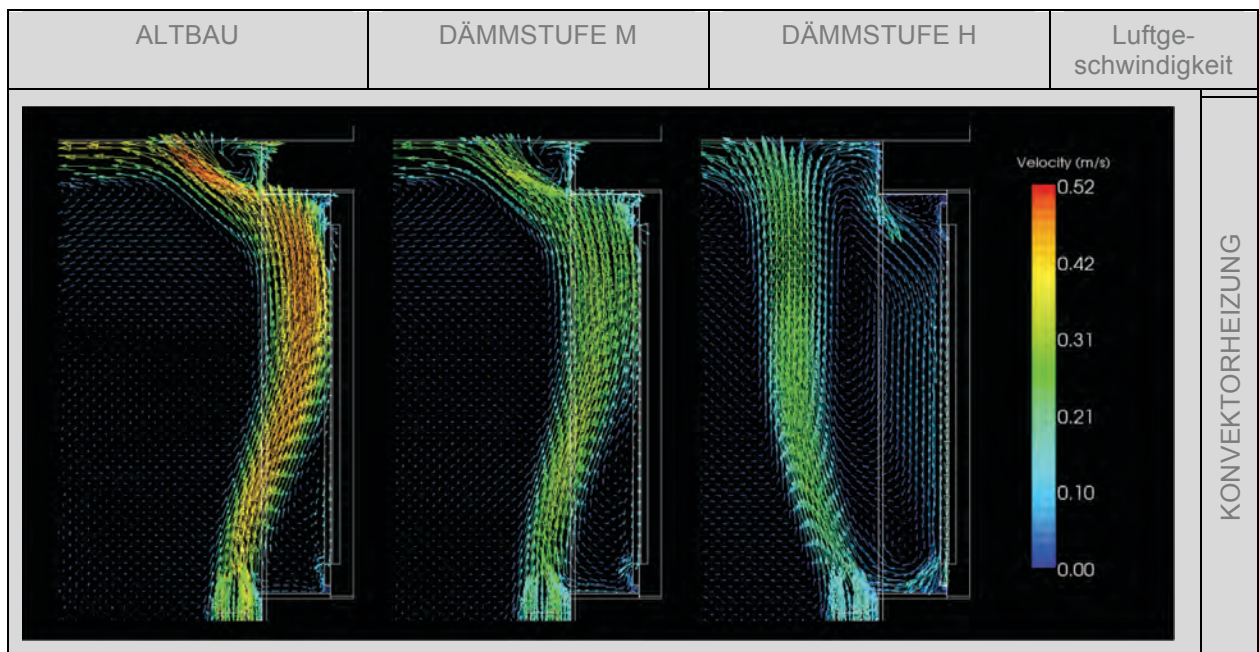


Bild 7.29 Konvektion in der Fensternische mit Konvektor, Vertikalschnitt normal zum Fenster in Fenstermitte: links Altbau, in der Mitte mittlere Dämmstufe, rechts hohe Dämmstufe.

Bei der gut gedämmten Variante kommt es beim Konvektor zu einem Abheben der Strömung von der Fensternische, es bildet sich dort ein sekundärer Raum, der in Bezug auf die Konvektion von der Qualität der Verglasung abhängig ist.

Je höher die Wärmeverluste über die Verglasung desto deutlicher ist die Abkühlung der unteren Rahmenfrieze. Eine Minderung dieses Effektes kann daher nur durch Verglasungen mit niedrigem U-Wert erfolgen. Zu dicke Dämmung ohne entsprechende Anpassung der Verglasung führt dadurch zu einer niedrigen Temperatur des unteren Rahmen- und Flügelfries, was dann bei hoher Nutzungsfeuchte Kondensatbildung in diesem Bereich provoziert.

Noch ungünstiger in allen Dämmvarianten stellt sich die Fußbodenheizung dar: Es kommt prinzipiell zu einem Kaltluftabfall, dessen Quantität von der thermischen Qualität der Verglasung abhängig ist.

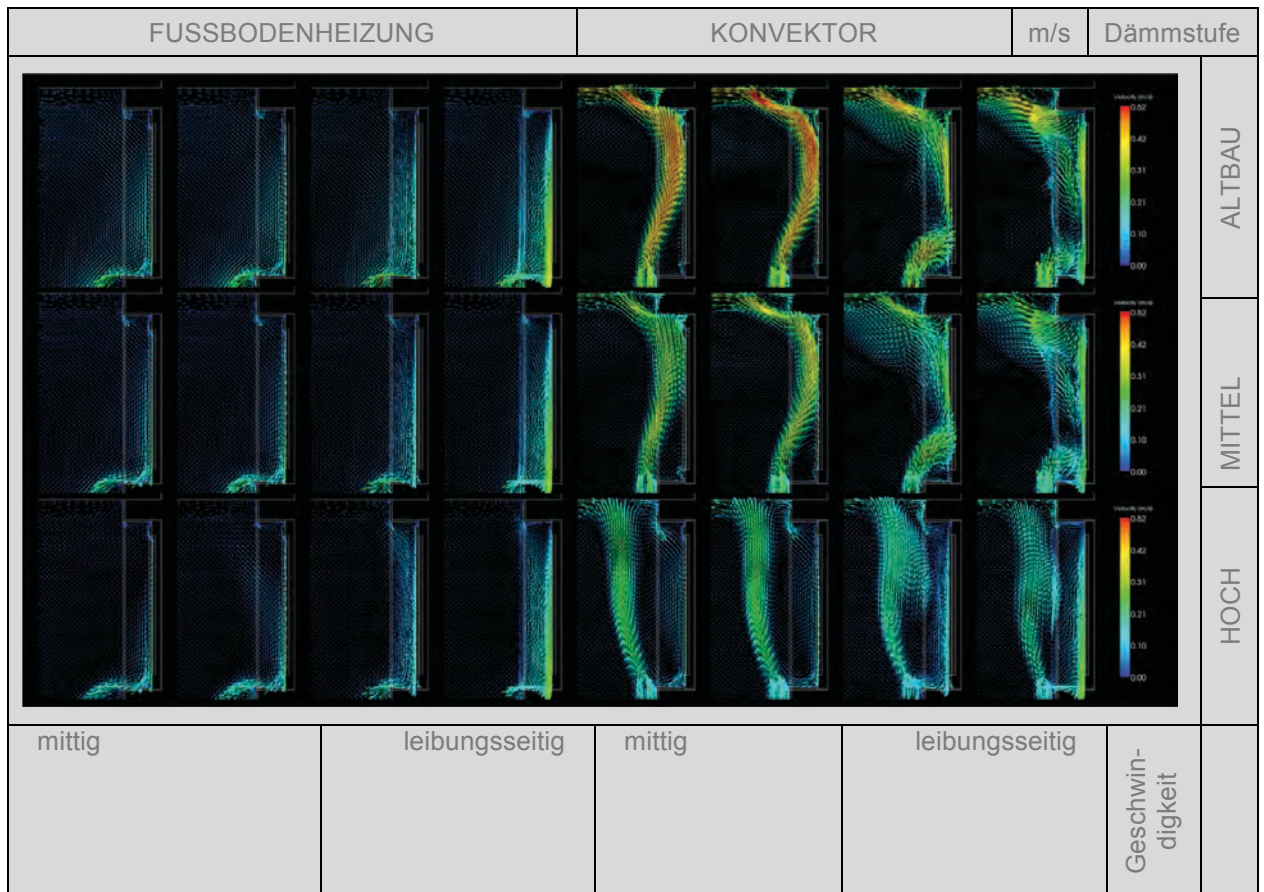


Bild 7.30 Konvektion in vertikalen Schnittebenen der Leibung normal zum Fenster bei Fußbodenheizung und Konvektorheizung und verschiedenen Dämm-Niveaus.

Aus den Ausführungen wird auch deutlich, dass auch der Bauzustand wesentlichen Einfluss auf das Kondensationsverhalten der Fensterkonstruktionen hat.

Vor einer endgültigen Bewertung einer Kondensatbildung – oft wird Kondensatbildung bereits am Rohbau festgestellt und vom Nutzer beanstandet – ist also jedenfalls das Gebäude fertigzustellen, da andernfalls durch nicht gedämmte Bauteile, Undichtheiten, Beheizung etc. sich eine völlig andere Gebäudeklimasituation ergeben kann.

8 Gebäudeklimabezogene Wärmeübergangswiderstände an Fenstern

Wie oben dargestellt, werden Fensterkonstruktionen mit festgelegten Wärmeübergangswiderständen in Bezug auf den Wärmedurchgangskoeffizienten und auch hinsichtlich der Kondensatneigung beurteilt.

Wie ebenfalls gezeigt werden konnte, hat das Gebäudeklima einen massiven Einfluss auf die Temperaturen am Fenster, da sowohl die Wärmestrahlung als auch die Konvektion deutlich von Niveau des Wärmeschutzes und der Art der Beheizung abhängen.

EN ISO 10077-2:2012 + AC:2012 (D)

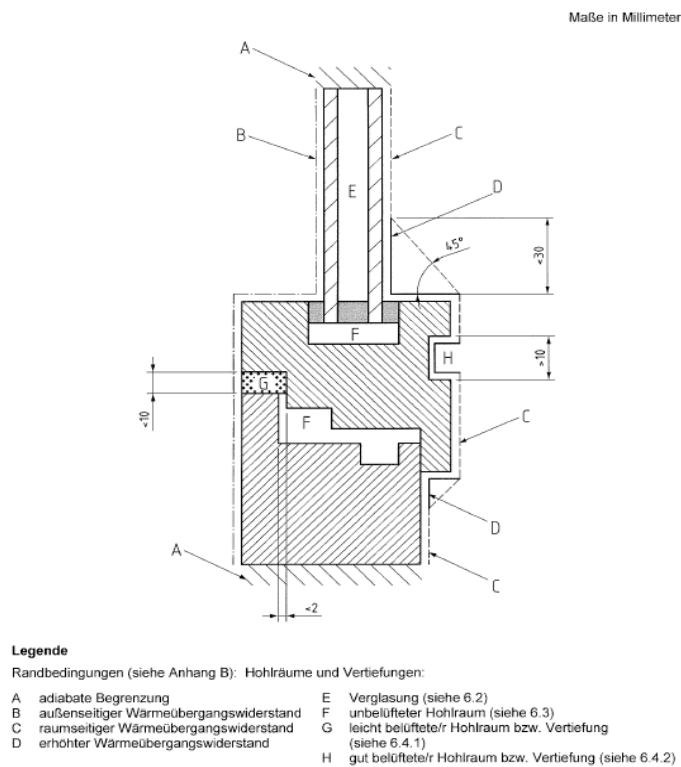


Bild 3 — Schematisches Beispiel für die Behandlung von Hohlräumen und Vertiefungen eines Rahmenprofils und die Behandlung der Randbedingungen

Tabelle B.1 — Wärmeübergangswiderstände für Profile (horizontaler Wärmestrom)

Position	Außenseitig, R_{se} $m^2 \cdot K/W$	Raumseitig, R_{si} $m^2 \cdot K/W$
Normal (ebene Oberflächen)	0,04	0,13
Verringerte Strahlung/Konvektion (in den Ecken oder Stoßfugen zwischen zwei Flächen, siehe Bild B.1)	0,04	0,20

ANMERKUNG Diese Werte entsprechen den in ISO 6946 angegebenen Werten des Wärmeübergangswiderstands. ISO 6946 enthält auch weitere Angaben über den Einfluss von Konvektion und Strahlung auf Wärmeübergangswiderstände.

Bild 8.1 Definierte Wärmeübergangswiderstände nach ÖNORM EN 10077-2

Betrachtet man nun die sich in den oben dargestellten Situationen ergebende Wärmeübergangswiderstände, wird deutlich, dass diese bei ungünstigen Kombinationen der Beheizung, Wärmedämmung der Wand und der Verglasung deutlich höher, bis über das Doppelte werden können und auch nicht konstant über die Rahmen sind. Dies steht direkt mit einer Reduktion der Oberflächentemperatur in Zusammenhang.

Die ungünstigsten Werte ergeben sich für den ungedämmten Altbau mit Fußbodenheizung sowie generell für die Sohlbank. Tendenziell ist auch bei der gedämmten Variante die Fensterbank bei einer Fußbodenheizung unten ungenügend mit Wärme versorgt, woraus sich auch der Effekt „gedämmt und trotzdem Kondensat“ gut ableiten lässt.

Je höher die Glasfläche, desto schneller tritt der Effekt der Auskühlung durch den Wärmetauschereffekt der Verglasung auf, wenn nicht für ausgleichende Wärmezuführung gesorgt wird.

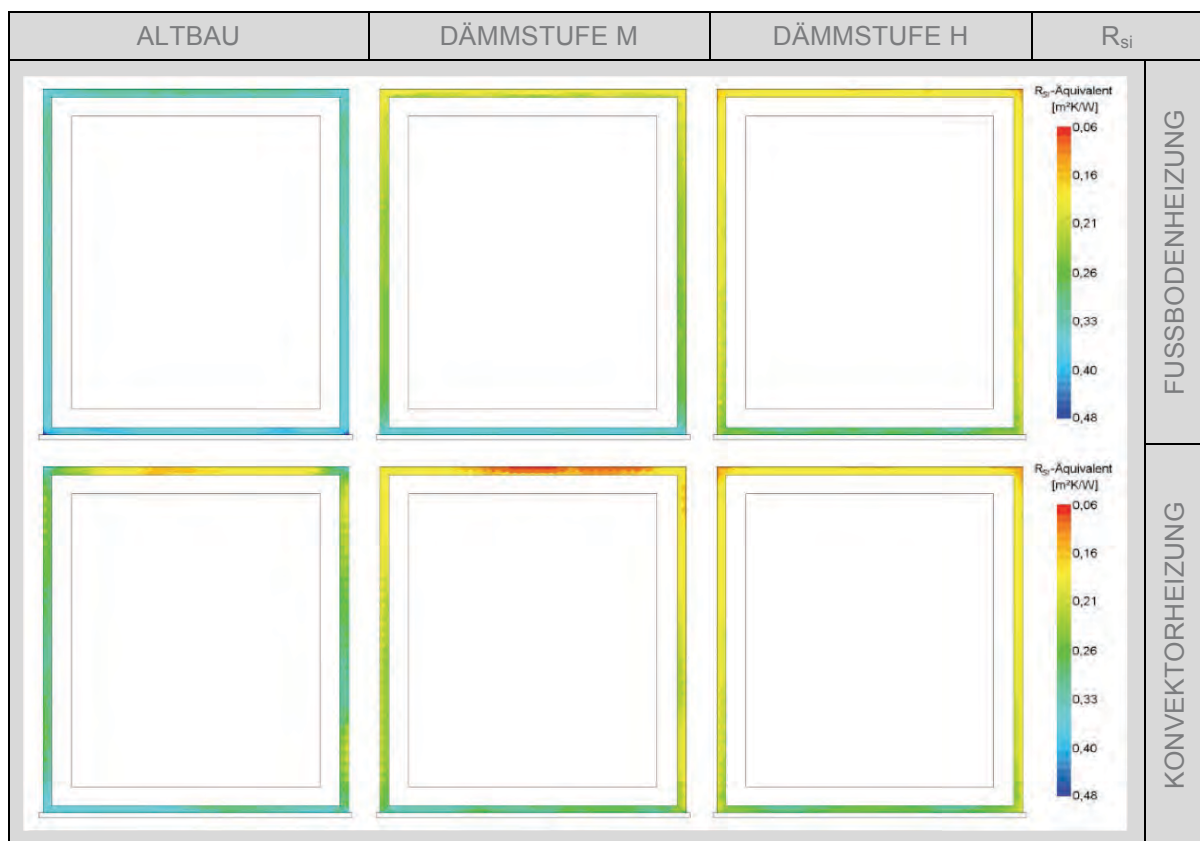


Bild 8.2 Wärmeübergangswiderstände R_{si} in Abhängigkeit der Dämmstufe und der Beheizung.

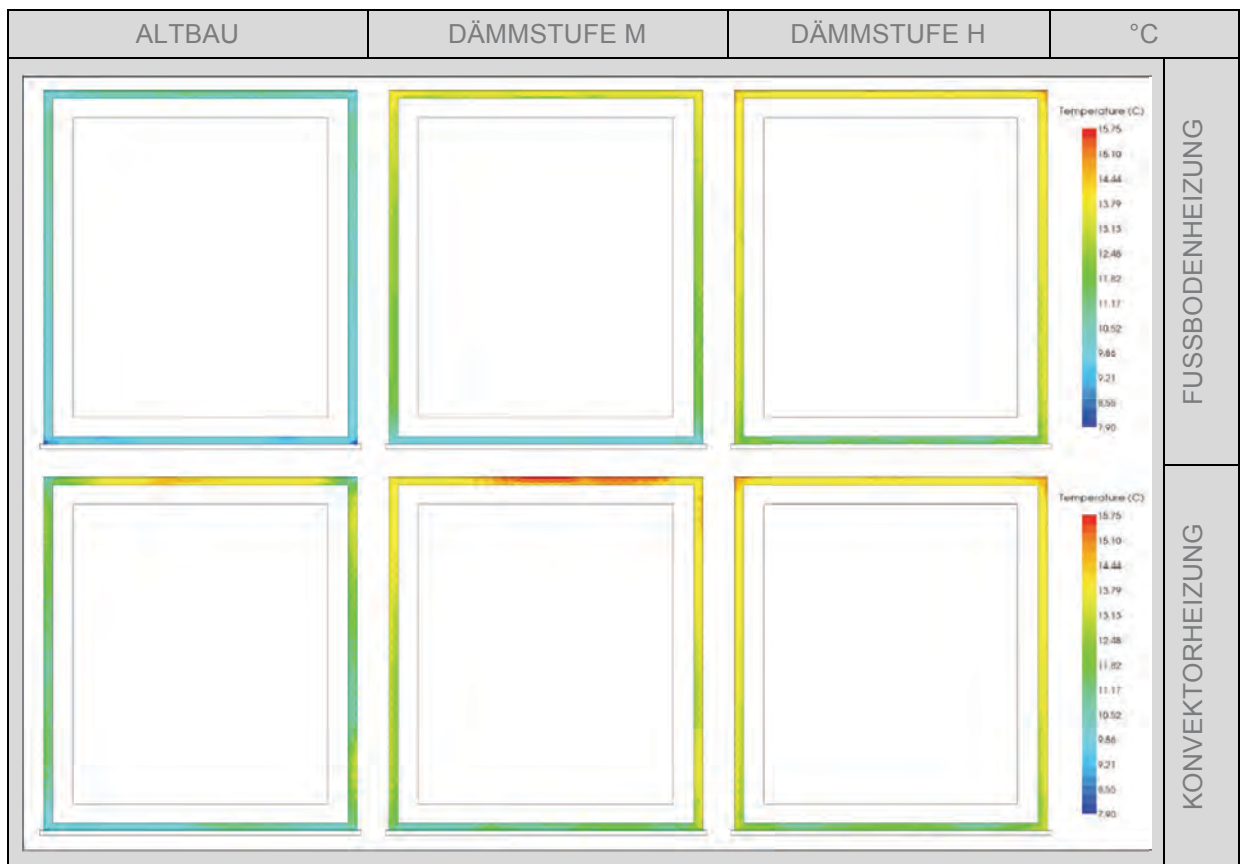


Bild 8.3 Oberflächentemperaturen in Abhängigkeit der Dämmstufe und der Beheizung. Kritisch können – je nach Luftfeuchte – vor allem die blauen Bereiche werden

Je nach vorhandener Luftfeuchte sind aufgrund der damit zusammenhängenden Taupunkttemperaturen dabei Oberflächentemperaturen unter der Taupunkttemperatur des jeweiligen Raumklimas am Fenster entsprechend kritisch für die Kondensatbildung.

Zu betonen ist allen Varianten wird die Temperatur insbesondere im unteren Bereich deutlich auch von der thermischen Qualität der Verglasung beeinflusst wird. Je geringer der U_g und je höher die Verglasung (Türen und geschoßhohe Verglasungen!), desto deutlicher wirkt sich der „Wämetauschereffekt“ aus, der zu geringen Oberflächentemperaturen und damit bei höherem Feuchteniveau bei der Nutzung die Kondensatwahrscheinlichkeit erhöht.

8.1 Schlussfolgerung für die Betrachtung der Oberflächentemperaturen von Fensterkonstruktionen in der Bemessung und in Situ:

Auf Basis der durchgeführten Analysen lässt sich feststellen, dass

das Dämmniveau,

die Art der Beheizung,

die Höhe der Isolierverglasung,

die Lage in der Leibung und

gegebenenfalls weitere Widerstände

massiven Einfluss auf die Temperatur von Fensterkonstruktionen haben.

Diese Umstände führen zu deutlichen Unterschieden im Wärmeübergang durch Strahlung als auch durch Konvektion

Die Wärmeübergangswiderstände sind in der Praxis über den Rahmen von diesen Einflüssen abhängig und teilweise höher als für die Berechnung des U_w entsprechend den Vorgaben der Produktnorm

Daraus ergeben sich teilweise reduzierte Temperaturen und ein höheres, raumklimabegründetes Kondensatrisiko.

Damit können die konkreten Einbaumstände deutliche Abweichungen in der Oberflächentemperatur im Vergleich zu jenen aus einer normgemäßen Berechnung ergeben, welche für die Bemessung der Fensterkonstruktionen für den Wärmeschutz, aber auch teilweise für die Beurteilung der Kondensatneigung Verwendung finden, ergeben.

9 Einfluss der wärmetechnischen Entwicklung der Fensterkonstruktionen

Die Fensterkonstruktionen haben im vergangenen Jahrzehnt eine deutliche Entwicklung in Hinblick auf eine Reduktion des Wärmedurchgangs erfahren.

Das Hauptziel dieser Entwicklung, das in letzter Zeit um das Geizen um Zehntel und Hundertstel bei Wärmedurchgangskoeffizienten U_W gipfelt, bringt es mit sich, dass zum einen die Glasentwicklung geringere U_g -Werte durch hochwirksame, niedrigemissive Beschichtungen, Mehrfachverglasungen und dämmende Randverbundkonstruktionen auf den Markt gebracht wurden, und zum anderen an der wärmetechnischen Optimierung der Fensterprofile selbst intensiv gearbeitet wurde.

Derartige Randverbundkonstruktionen reduzieren den Wärmetransport über den Abstandhalter und erhöhen die Temperatur an der Raumseite.

Allerdings erhöhen sie auch die Temperaturdifferenz und führen so durch Spannungen zu einer erhöhten Belastung des Randverbundes, was zusammen mit anderen Effekten (thermische Dehnung etc.) die Gefahr einer kürzeren Nutzungsdauer durch raschere Alterung mit sich bringen kann.

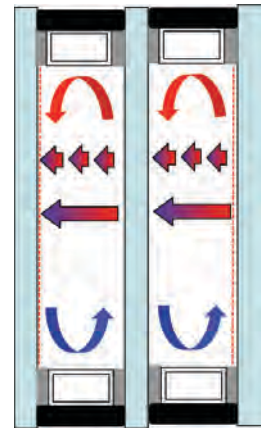


Bild 9.1
Wärmetransport
mechanismen an einer
Isolierverglasung

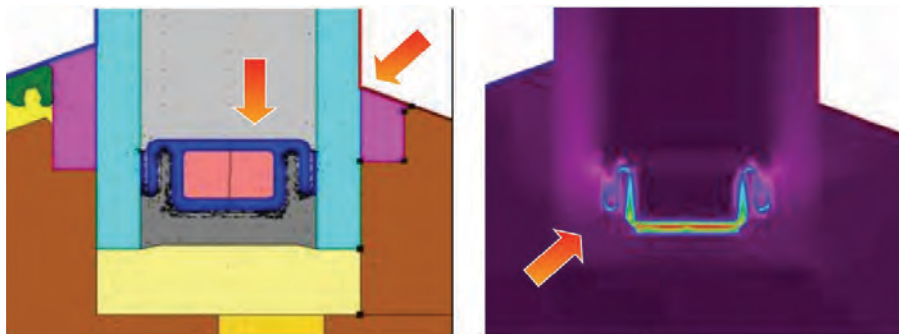


Bild 9.2 Beispiel für die Wirkungsweise eines thermisch verbesserten Randverbundes einer Isolierverglasung

Bei den Verglasungen hat dies zu gelegentlicher Kondensatbildung an der Außenseite geführt, da die Wärmezufuhr von innen nicht mehr ausreicht, die langwellige Wärmeabstrahlung in klaren Nächten zu kompensieren.

Der selbe Effekt kann auch bei Verbundfensterkonstruktionen und gut dämmenden Kastenfensterkonstruktionen beobachtet werden.

Hier muss sich der Nutzer nach entsprechender Beratung überlegen, ob der so erzielte reduzierte Wärmedurchgang zeitweise Abstriche bei der Gebrauchstauglichkeit rechtfertigt.



Bild 9.3 Kondensat- und Eisbildung an der Außenseite von hoch wärmedämmenden Verglasungen

Bei den Fensterprofilen zeichnet sich ein ähnlicher Weg ab. Als Beispiel mögen hier Kunststofffenster dienen, die ursprünglich mit einer Kammer und später mit immer häufigeren Unterteilungen, verkleinerten Aussteifungsprofilen, Einschubdämmungen usw. auf das eine große Ziel, das politisch vorgegeben wird, hin zu arbeiten.

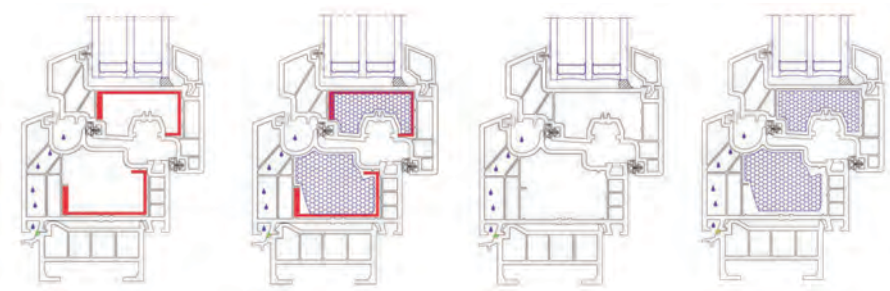


Bild 9.4 Thermische Entwicklungsstufen am Beispiel eines Kunststofffensters (zunehmende Wärmedämmung an den Profilen des Stock- und Flügelrahmens).

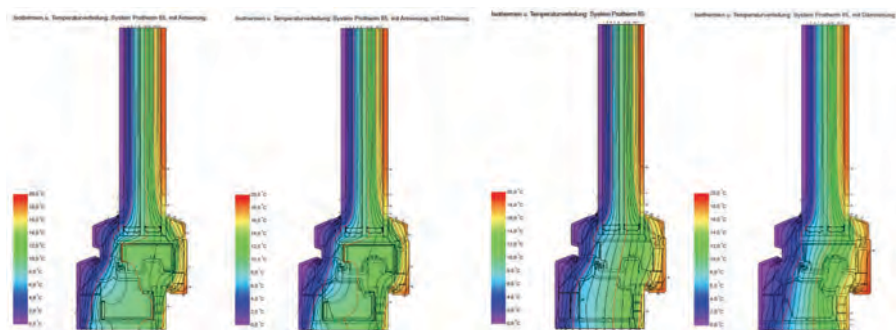


Bild 9.5 Isothermenbilder an thermischen Entwicklungsstufen am Beispiel eines Kunststofffensters

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass die inneren Oberflächentemperaturen und damit die Wärmedämmung der Profile verbessert werden konnte, dass aber die Bereiche um die Mitteldichtung dadurch eine geringere Temperatur aufweisen.

In ungünstigen Situationen kann hier durch Überdruck im Raum feuchte Raumlufte in diesen Bereich gelangen und dann zu Kondensatbildung in diesem Bereich führen. Damit wurden unsere Gebäude zwar in Bezug auf den Wärmedurchgangskoeffizienten optimiert, was bei den Produkten durch eine höhere Sensibilität gegen ungünstige Gebäudeklimabedingungen erkauft wurde, insbesondere was die Durchströmung zB. in der Funktionsfuge betrifft.

Will man solche stark thermisch optimierte Produkte einsetzen, wird es notwendig, auch die Belastung von der Gebäudeklimaseite zu reduzieren.

Hier können besonders Maßnahmen gegen zu hohe Raumluftefeuchte, Reduktion des raumseitigen Überdrucks und Vermeiden mangelhafter Wärmezufuhr zur Fensteroberfläche genannt werden.

10 Gebäudeklimateilige Verbesserungsmaßnahmen der Randbedingungen für hochwärmedämmende Fensterkonstruktionen

Den Energieentzug an unseren Gebäudehüllen, den wir zur Verringerung des Heizwärmebedarfes in den letzten Jahren ständig weiter forciert haben, führt dazu, dass gezielte Maßnahmen in jenen Bereichen erforderlich werden, die nun wärmetechnisch „unterversorgt“ sind, und damit bei höherer Nutzungsfeuchte kondensatgefährdet sind. Welche Maßnahmen kann man ergreifen?

10.1 Mangelnde Wärmezufuhr

Wie oben bereits ausgeführt, stellt ein Mangel an ausreichender Wärmezufuhr die Fensterkonstruktion vor unbewältigbare Probleme: Weitgehend alle heute am Markt befindlichen Fenster werden den Vorgaben der Produktnorm entwickelt und hergestellt. Qualitätsunterschiede gibt es natürlich, diese äußern sich darin, dass eine mehr oder weniger große Sensibilität gegenüber einem solchen Wärmeentzug gegeben ist.

Dieser Wärmeentzug wird mit zunehmender Raumlufffeuchte immer kritischer in Hinblick auf die Kondensatbildung.

Entgegenwirken kann man hier nur entweder durch gezielte Maßnahmen zur Erhöhung der Oberflächentemperaturen oder durch Senken der Feuchtelast. Die Schaffung eines stabilen Gleichgewicht zwischen Feuchtelast und Energiebilanz ist hier wesentlich.

Kommt dann noch ein Überdruck im Raum dazu, der nicht egalisiert wird, wie unten beschrieben, kommt es zu einer gebäudeklimatischen Überlastung.

Die Kondensatbildung wird dann meist in den Funktionsfugen in den oberen Geschossen, beginnend auf der windabgewandten Seite, an den Fenstern sichtbar und kann dann als Indikator für eine raumklimatische Überlastung der Gebäudehülle gesehen werden.

Hier ist es dann erforderlich, Vorkehrungen zu treffen, um den vorhandenen Überdruck zu reduzieren.

10.2 Belastung durch Luftdruck

Eine weitere Gleichgewichtsbilanz ist für die Druckverhältnisse in den Gebäuden zu erreichen. Zum einen durch thermischen Auftrieb (warme,

feuchte Luft ist leichter als kalte, trockene Luft), wird in den oberen Geschoßen Überdruck aufgebaut, und in den unteren Geschoßen ein Unterdruck. Diese Druckverhältnisse überlagern sich mit dem Winddruck, und, falls vorhanden, mit Druckdifferenzen aus mechanischen Lüftungsanlagen.

Während der Differenzdruck durch thermischen Auftrieb bei einem Geschoß nur gering ist und etwa 2 bis 3 Pa erreicht, können bei mehrgeschossigen Gebäuden, wenn die einzelnen Geschoße nicht voneinander getrennt sind, deutliche Druckunterschiede die Gebäudehülle belasten.

So baut sich über ein Geschoß ein Differenzdruck von etwa 2-3 Pa auf, sind können dies bei mehreren offenen Geschoßen abhängig von den jeweiligen Temperatur- und Luftfeuchteverhältnissen und der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle ein vielfaches erreichen, wobei dieser Wert noch durch die Druckverhältnisse des Windes, von Hangwinden und haustechnischen Einrichtungen überlagert wird.

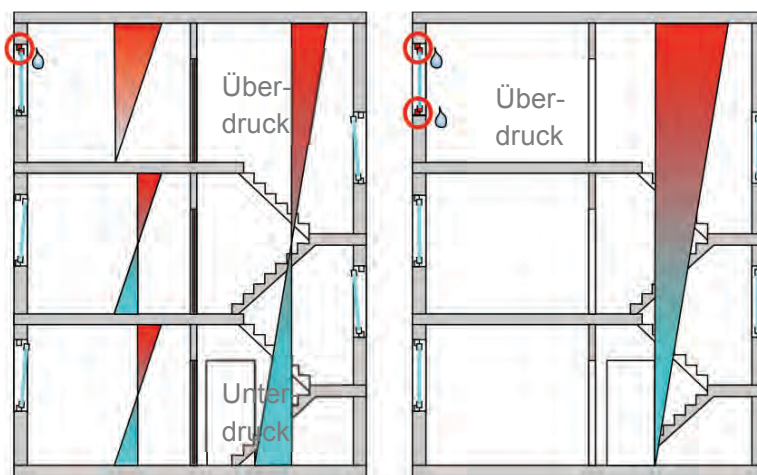


Bild 10.1 Druckverhältnisse in Gebäuden bei unterschiedlichen Raumhöhen und Luftdurchlässigkeiten.

In den Untergeschoßen wird dabei durch den Unterdruck Luft von außen angesaugt, auch durch die Funktionsfuge der Fenster. Da die kalte Außenluft in der Regel trockener, als die Raumluft ist, gibt es in den unteren Geschoßen nur selten Probleme mit Kondensatbildung im Funktionsfalz, und sonstigen Fugen. In den oberen Geschoßen wird jedoch durch den Überdruck der feuchteste Teil der Raumluft (feuchte Luft ist leichter, als trockene Luft) in Fugen und bei den Fenstern auch in die Funktionsfäße gepresst. Durch die wärmetechnische Optimierung kommt dieser Luftstrom verstärkt mit kalten Teilen der Fensterkonstruktion in Kontakt, die Folge ist Kondensat im Funktionsfalz bis hin zur Eisbildung. Schlecht gewartete, nicht eingestellte Fenster, Beschädigungen an den Dichtungen etc. führen dazu, dass die Luftdurchlässigkeit steigt, und mehr Feuchtigkeit durch die Fensterkonstruktion gepresst wird.

Dazu muss noch gesagt werden, dass heute marktübliche Fenster zwar eine begrenzte, aber dennoch eine Luftdurchlässigkeit aufweisen, die wie oben bereits dargestellt, bei der Systemprüfung entsprechend der Produktnorm gemessen und klassifiziert wird.

Überlagert werden kann dies noch durch Winddruck, bei sehr windigen Gebieten kann dieser Winddruck dann auch gesamte Gebäudeseiten (Lee-Seite, also die wind-abgewandte Seite) mit raumseitigem Überdruck beaufschlagen, dann kann es auch in den unteren Geschoßen zu entsprechendem Kondensat im Funktionsfalz kommen.

Auch Gebäude am Hang sind hier durch Hangwinde häufiger betroffen.

Diese Zusammenhänge sollen nun mittels CFD-Analyse am Beispiel eines dreigeschossigen Gebäudes dargestellt werden. Dreigeschossige Gebäude sind sehr häufig, auch im Einfamilienhausbau, mit Keller, Erdgeschoß und Obergeschoß oder Dachausbau werden bereits drei Geschoße erreicht. Die selben Bedingungen gelten aber auch bei mehrgeschossigen Wohnbauten mit mehreren Wohnungen je Geschoß und offenem Stiegenhaus.

Bei einem Gebäude mit kontinuierlichen „Undichtheiten“, die ja einen Druckausgleich mit der Umgebung ermöglichen, stellen sich im mittleren Geschoß bei Betrachtung des thermischen Auftriebs ohne Wind

ausgeglichene Druckverhältnisse ein, im oberen Geschoß herrscht im Berechnungsbeispiel leichter Überdruck von etwa +4 Pa, im Keller Unterdruck (etwa -4 Pa). (Die Werte sind von den angenommenen Außen- und Raumtemperaturen sowie der Luftfeuchte abhängig).

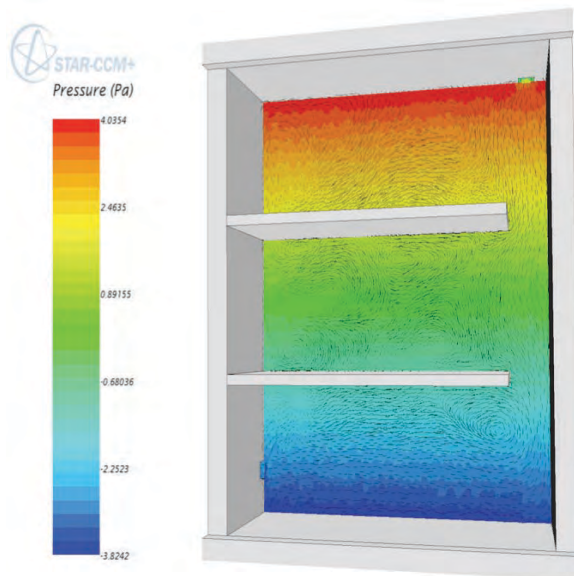


Bild 10.2 Druckverhältnisse in Gebäuden bei unterschiedlichen Raumhöhen und Luftdurchlässigkeiten: Dreigeschossiges Gebäude mit offenem Grundriss und Undichtheiten in der Gebäudehülle.

Die Folge ist, dass über die Undichtheiten im Erdgeschoß im Winter durch Infiltration kalte, trockene Luft in den Raum „gesaugt“ wird. Diese wird im Gebäude erwärmt und reichert sich über die vorhandenen Feuchtequellen an.

Im Obergeschoß wiederum wird die nun feucht-warme Luft durch vorhandene Fugen in der Gebäudehülle, und auch durch die Funktionsfugen der Fenster und Türen nach außen gepresst. Streich die Luft dabei ausreichend lange an kalten Fensteroberflächen vorbei, kommt es dort zu Tauwasseranfall, bei Temperaturen unter 0°C auch zu Eisbildung.

Wird das Gebäude völlig abgedichtet, so steigt der Überdruck oben auf etwas 7 Pa an, da nun der Druckausgleich mit Außen wegfällt. Die dichte Außenhülle führt also zu einer höheren Beanspruchung in den oberen Geschoßen, und belasten mögliche Schwachstellen in der Gebäudehülle dort dann wesentlich intensiver.

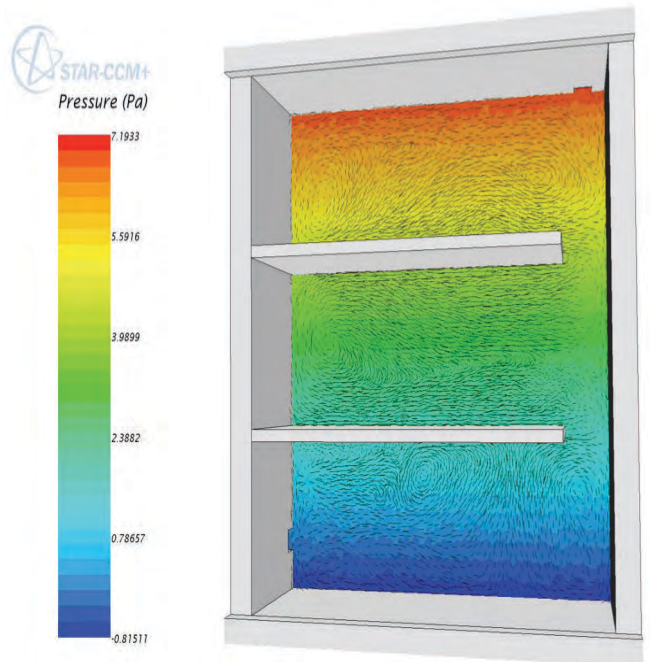


Bild 10.3 Druckverhältnisse in Gebäuden bei unterschiedlichen Raumhöhen und Luftdurchlässigkeiten: Dreigeschossiges Gebäude mit offenem Grundriss und dichter Gebäudehülle.

Eine Verbesserung der Situation kann durch gezielten Unterdruck, zB. durch eine Abluftanlage erreicht werden. Die Lage des Abluftventilators sollte dabei möglichst in der Nähe der Feuchtequellen liegen, um für eine möglichst direkte Abführung feuchter Luft zu sorgen. In Bezug auf die Senkung des Überdrucks ist die Lage weniger wichtig, wesentlich ist das Erreichen eines entsprechenden Unterdruck. So können beim oben angeführten Beispiel mit 5 Pa bis 6 Pa Unterdruck wieder weitgehend neutrale Verhältnisse erreicht werden.

Überlagert werden diese Druckverhältnisse im Gebäude durch den Wind. Oft sind Gebäude am Hang betroffen, da dort durch den Hangwind an der Lee-Seite häufig ein entsprechende Unterdruck an der Außenseite herrscht, des sich mit dem Überdruck des thermischen Auftriebs im Gebäude überlagert.

Ob ein Überdruck herrscht, kann durch einen einfachen Folientest festgestellt werden: Dazu wird eine Folie, zB. eine Abdeckfolie, wie sie für Malerarbeiten verwendet wird, mit einem wieder ablösbaren Kleband (wie dies ebenfalls häufig bei Malerarbeiten Verwendung findet, vor die offene Türe auf den Türrahmen oder Stockrahmen dicht

aufgeklebt. Bei einer Wölbung der Folie in den betroffenen Raum hinein wird die Luft im Gebäude in den Raum hineingedrückt, es ist Überdruck vorhanden. Der Versuch kann auch direkt an einem Fenster durchgeführt werden. Wölbt sich die Folie nach Außen, bedeutet das, dass am geschlossenen Fenster Überdruck ansteht und die Raumluft durch das geschlossene Fenster nach außen gedrückt wird.

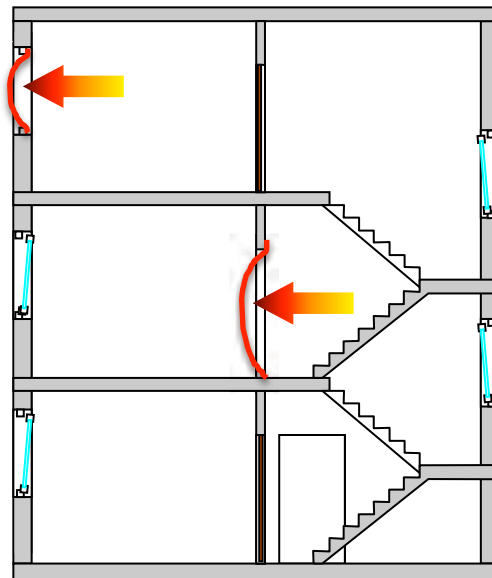


Bild 10.4 Die Druckverhältnisse am Fenster und auch zB. von Türen werden durch eine Abklebung mit einer Folie am besten bei offenem Fenster einfach sichtbar.

Abhilfe bringt eine Zonierung des Gebäudes mit möglichst geschoßweisem Druckausgleich mit Außen sowie Abschlüsse zwischen den Geschoßen bereits bei der Planung. Und – natürlich – eine Reduktion der Raumluftfeuchte bzw. ein „Warmhalten“ der Fensterkonstruktionen.

Besonders bei mehrgeschossigen Gebäuden kommt dem Zonieren eine hohe Bedeutung zu. Hinweise zur Problematik des Überdrucks in Gebäuden finden sich auch in spezifischen Normen, wie zB. der ÖNORM EN 13779 „Lüftung von Nicht-Wohngebäuden“.

In Dieser Norm werden für die Druckbedingungen Klassen von PC1 bis PC5 eingeteilt, wobei die Standardbedingungen für ausgeglichene Druckverhältnisse von -2 Pa bis +2 Pa angegeben werden. In einer Anmerkung der Norm wird auf die Problematik von Überdruck im Gebäude hingewiesen:

„Zum Beispiel erfordern in kalten Klimazonen bestimmte Wandkonstruktionen einen negativen Innendruck, um Feuchteschäden in der Konstruktion zu vermeiden, und in warmen Klimazonen ist aus Sicht der Konstruktionen Überdruck erforderlich.“

10.3 Feuchtebelastung

Mit Beheizung oder Kühlung versuchen wir, in unseren Gebäuden ein thermisches Gleichgewicht zu schaffen. Der Anteil der Heizung konnte damit in den letzten Jahren durch verstärkte Dämmung, Reduktion von Undichtheiten der Gebäudehülle und auch der verstärkten Abdichtung der Fensterkonstruktionen reduziert werden. Durch den reduzierten Heizwärmebedarf haben sich die gebäudeklimatischen Bedingungen deutlich geändert, wie bereits gezeigt werden konnte.

Für die Erhaltung der Feuchtebilanz in einem Gebäude sind mehrere Faktoren wesentlich, die man wie folgt in einer Formel zusammenfassen kann:

$$V \cdot \frac{dc_I}{dt} = \dot{w}_I - \sum_i A_i \dot{g}_i - nV(c_A - c_i) - \dot{w}_{RLT} - \dot{w}_K$$

Daraus wird auch deutlich, dass es sich um kein stationäres Gleichgewicht handelt, sondern um zeitabhängige Vorgänge.

Jeder der bezeichneten Faktoren kann entlastend oder belastend beeinflusst werden, bereits bei der Planung eines Gebäudes kann dies entscheidend für das spätere Verhalten in Bezug auf Kondensat sein.

10.3.1 Volumen

Hier ist das Raumvolumen bzw. Gebäudevolumen gemeint.

$$V \cdot \frac{dc_I}{dt} = \dot{w}_I - \sum_i A_i \dot{g}_i - nV(c_A - c_i) - \dot{w}_{RLT} - \dot{w}_K$$

Dabei sind:

V....Raumvolumen
cl....Raumluftfeuchte
Innen in g/m³

cA....Luftfeuchte Außen
in g/m³

wI....Feuchteproduktion
im Raum in g/m³

Ai....Raumoberflächen
gi.... Feuchteabsorption
/Desorption der
Oberflächen

n.....Luftwechselzahl (1/h)

w_{RTL}....Feuchteaustausch
d. raumlufttechn. Anlagen
g/m³

w_K.....Feuchteaustausch
durch Kondensatbildung
g/m³

Einfluss: Je größer das pro Person zur Verfügung stehende Raumvolumen, desto geringer ist die Belastung der Raumluft mit Feuchtigkeit.

10.3.2 Feuchteabsorbierende Oberflächen

Je mehr feuchteabsorbierende Oberflächen vorhanden und durch ausreichend entfeuchtungswirksames Lüften auch aufnahmefähig sind, desto besser können Feuchtespitzen gepuffert werden.

$$V \cdot \frac{dc_I}{dt} = \dot{w}_I - \sum_i A_i \dot{g}_i - nV(c_A - c_i) - \dot{w}_{RLT} - \dot{w}_K$$

Dies ist besonders für die Kondensatbildung an Fenstern wichtig, da heute sehr häufig „Feuchtestoßzeiten“ oft Morgens und Abends auftreten, die sonst sehr rasch zu einem Ansteigen der Raumluftfeuchte führen kann.

10.3.3 Luftwechsel

Hier spielt besonders der entfeuchtungswirksame Luftwechsel eine wesentliche Rolle.

$$V \cdot \frac{dc_I}{dt} = \dot{w}_I - \sum_i A_i \dot{g}_i - nV(c_A - c_i) - \dot{w}_{RLT} - \dot{w}_K$$

Lüften sollte man regelmäßig, und zwar dann, wenn es draußen trockener ist, als im Raum. Am einfachsten kann man dies über die absolute Feuchtigkeit feststellen, die beim Lüften außen immer geringer sein sollte, als innen.

Da heute oft in Gewässernähe oder am Talgrund, in Tau- und Nebelreichen Mikroklimaten etc. gebaut wird, kommt es gar nicht so selten vor, dass besonders abends in der Übergangszeit und in der warmen Jahreszeit die Luft außen feuchter ist als innen, dann ist die Lüftung nicht mehr entfeuchtungswirksam.

10.3.4 Druckverhältnisse im Raum

Bei Lüftungsanlagen ist darauf zu achten, dass diese neutrale Druckverhältnisse herstellen und bei Gleichdruck oder meist vorteilhaft in unseren Breiten bei leichtem Unterdruck betrieben werden (sofern nicht Außenluftverunreinigungen vorliegen oder zB. eine Radonbelastung vorliegt). In Anlehnung an die EN 13779 kann der Druck dabei im Bereich von Kategorie PC 3 (ausgeglichen -2 Pa bis +2 Pa) bis PC 2 (-2 Pa bis -6 Pa) Anwendung finden.

Um Bauschäden und auch Kondensatprobleme in den Funktionsfalten von Fenstern und Türen zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass keinesfalls andauernde Überdrücke vorliegen. Daher ist bei Lüftungsanlagen eine Einmessung der Druckverhältnisse und Luftvolumenströme vorzunehmen und die richtige Einstellung ist auch bei Wartungsarbeiten zu kontrollieren.

10.4 Beispiel

Abschließend soll noch ein Beispiel zeigen, wie die Raumlufffeuchte und die Temperatur die Kondensatbildung beeinflussen können.

Die Auswirkung des Gebäudeklimas auf die Kondensatbildung an einer Fensterkonstruktion zeigt es deutlich:

Das Fenster ist ein Indikator für den Feuchtestatus des Gebäudes

Die Messungen im dargestellten Beispiel erfolgten in einem Gebäude mit Niedrigenergiestandard, mit Konvektoren unter den Fenstern. Das Raumklima liegt bei 20°C bis 23°C mit einer relativen Raumlufffeuchte um 50%

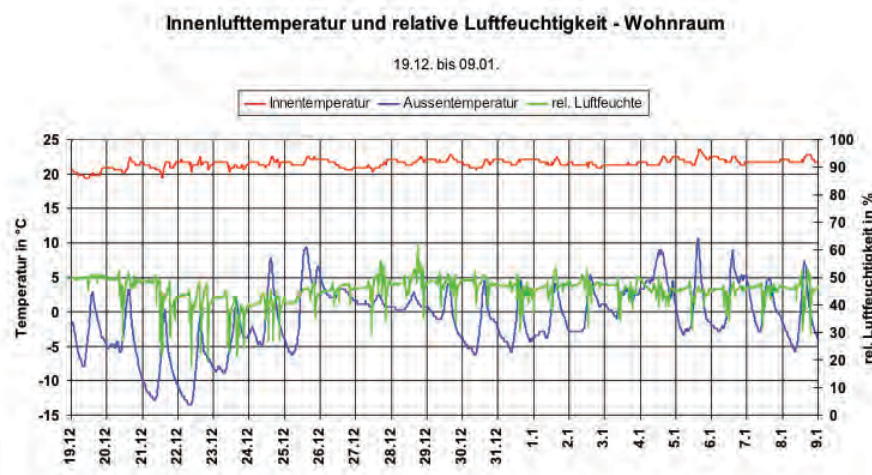


Bild 10.5 Aufzeichnung von Raumlufftemperatur, Relativer Raumlufffeuchte und Außentemperatur in einem Wohnraum

Das Diagramm zeigt den Außenlufttemperaturverlauf (blaue Linie), den Verlauf der relativen Raumlufffeuchte und die Raumlufftemperatur. Anfangs sind die Außentemperaturen Nachts sehr tief (unter -10°C)

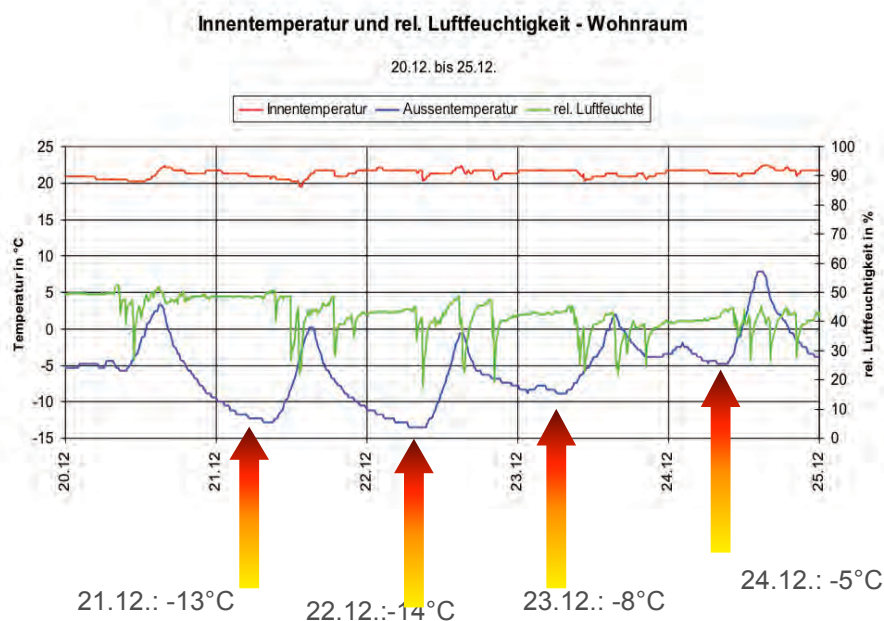


Bild 10.6 Aus dem oben dargestellten Verlauf sind vier Tage vergrößert dargestellt,

Zu erkennen ist auch, dass an den Tagen vor dem Auftreten von Kondensat nur wenig gelüftet wurde. (Abfallen der grünen Linie)

Das rasche wieder ansteigen der Luftfeuchte im Raum zeigt, dass viel Feuchtigkeit gespeichert ist (In Oberflächen, Möbel, Textilien etc.). Unmittelbar nach dem Lüften geben die Feuchtespeicher wieder Wasser in die nun trockenere Raumluft ab.

An diesem ersten Tag wurde bei geringer Nachttemperatur von – 13°C morgens Kondensat der Klasse 5 (abrinrendes Kondensat) vom Nutzer der Wohnung festgestellt.

Das Tauwasser bildet sich hier insbesondere am unteren Isolierglasrand. Durch zunehmendes Tropfenwachstum kommt es zum Zusammenfließen am Übergang zum unteren Flügelrahmenfries, wo es bei größerer angesammelter Menge dann über den Flügelrahmen auf die Fensterbank abtropft.

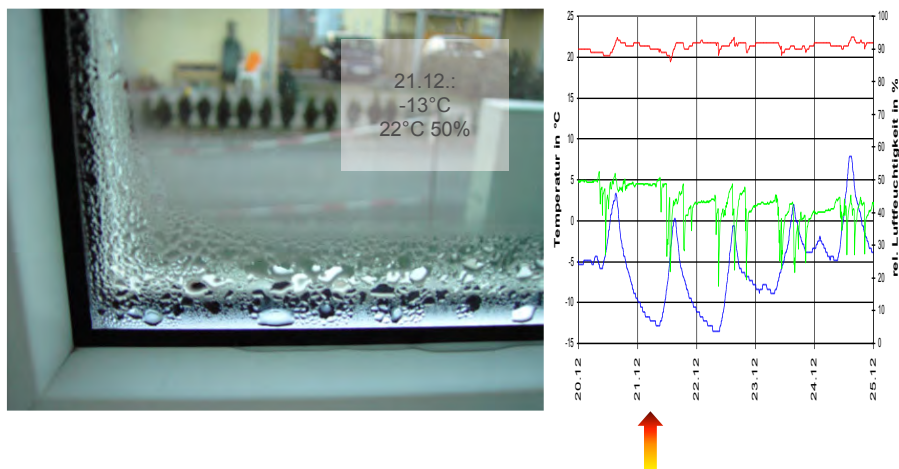


Bild 10.7 Kondensatbildung nach der ersten kalten Nacht

Nachdem nun beim Auftreten von Kondensat doch wieder intensiver an das Lüften gedacht wurde, ist bereits am nächsten Tag ein deutlicher Rückgang auf Klasse 4 sichtbar, obwohl auch hier die Nachttemperatur sehr niedrig war.

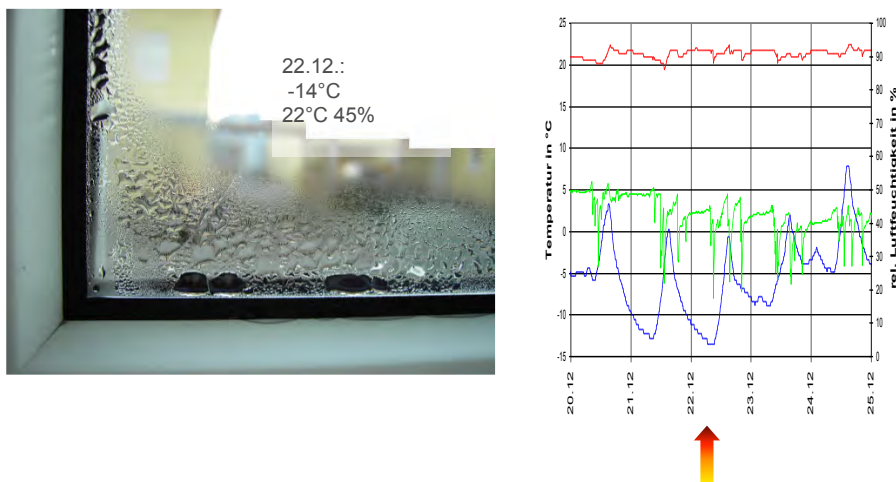


Bild 10.8 Kondensatbildung nach der zweiten kalten Nacht, die Luftfeuchte im Raum ist durch intensivere Lüftungsaktivität des Nutzers bereits etwas gesunken.

Das Lüften wurde in der Folge konsequent weiter betrieben, und zeigte auch weiter Erfolg. Am dritten Tag nach dem ersten Auftreten konnte das Kondensat bereits auf Klasse 3 reduziert werden; ein wenig hat auch die etwas höhere Nachttemperatur von -8°C dazu beigetragen.

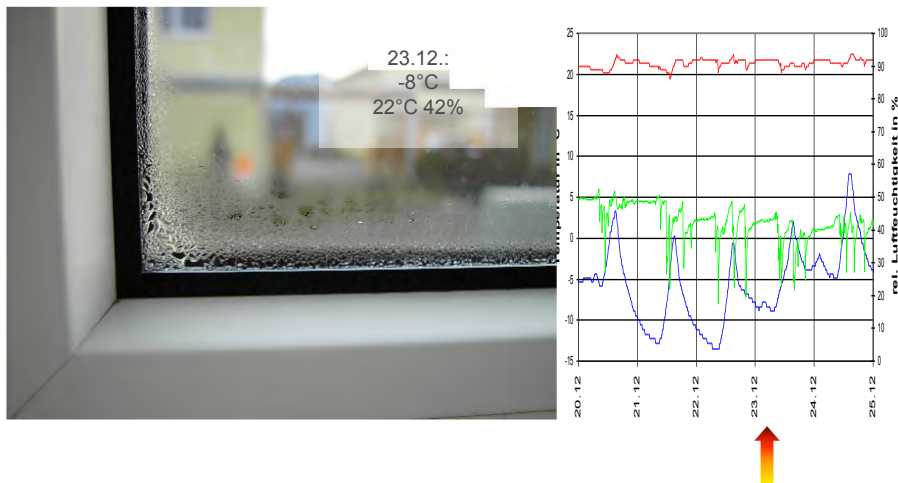


Bild 10.9 Kondensatbildung nach der dritten Nacht, die Luftfeuchte im Raum ist durch intensivere Lüftungsaktivität des Nutzers weiter gesunken.

Am 4. Tag war nur mehr Kondensat der Klasse 2 vorhanden, die Lüftung wurde weiter intensiv betrieben, wie man am Feuchteverlauf erkennen kann.

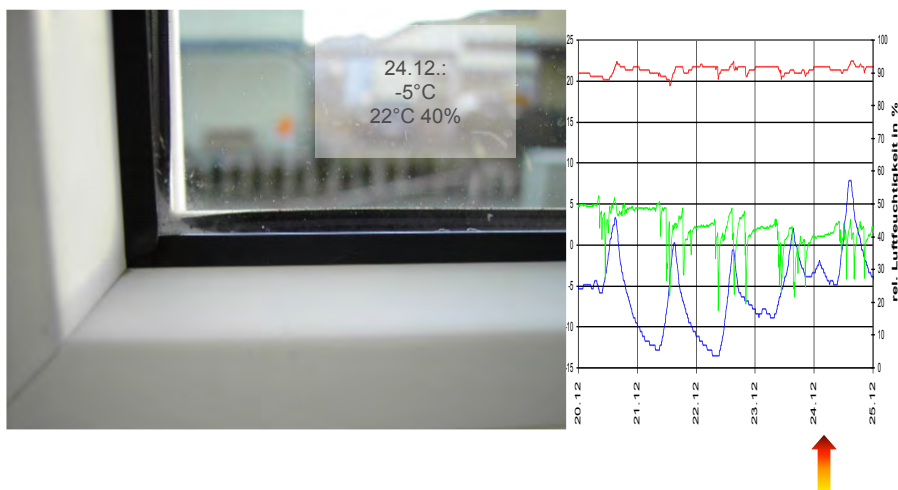


Bild 10.10 Kondensatbildung nach der vierten Nacht, die Luftfeuchte im Raum ist durch intensivere Lüftungsaktivität des Nutzers deutlich gesunken.

Das Verringern der relativen Luftfeuchte und erhöhen der Temperatur am Fenster führen zu einer deutlichen Verringerung der Gebäudeklimalast. Am 5. Tag konnte bereits die Kondensatklasse 1 erreicht werden.

11 ZUSAMMENFASSUNG

Der prognostizierte Klimawandel und das Ziel der Energieeinsparung haben zu einem Wandel des Klimas in unseren Gebäuden geführt. Ja, wir haben es auch mit einem „Gebäudeklimawandel „zu tun.

Die Leistungen moderner, innovativer Fensterkonstruktionen werden heute entsprechend den Vorgaben der Europäischen Produktnorm bestimmt. Die Bemessung erfolgt entsprechend den jeweiligen nationalen Anforderungen, die jedoch davon ausgehen, dass die darin enthaltenen Klimabedingungen am Fenster auch eingehalten werden.

Die Änderungen des Raumklimas bringen es jedoch mit sich, dass diese Bedingungen ohne entsprechende Planungsmaßnahmen nicht mehr in jedem Fall erfüllt sind. In Kombination mit der Nutzungsfeuchte kann es zu einer klimatischen Überlastung von Fenstern kommen, auch wenn diese alle ursprünglichen Anforderungen erfüllen. Tritt dann zu häufig Kondensat am Fenster auf, wird das Fenster so zu einem Indikator für eine klimatische Überlastung des betroffenen Raumes.

Natürlich wäre es möglich, unsere Fenster noch dichter zu bauen. Damit steigt aber auch die klimatische Belastung der übrigen Gebäudehülle, denn mit zunehmender Dichtheit steigt auch der mögliche Innendruck durch den thermischen Auftrieb, insbesondere bei mehrgeschossigen Gebäuden. Hier nur an einer Schraube zu drehen, kann sich dann für das „Gesamtsystem“ Gebäude negativ auswirken.

Mit dem Abnehmen der Wärmezufuhr aus der Raumheizung erhalten unsere Fenster zu wenig Wärmeenergie, es kommt im Zusammenwirken den oben dargestellten Randbedingungen zu geringeren Temperaturen an der Fensterinnenseite, als sie den heutigen Fensterprodukten auf Basis der Angaben der Produktnorm und auch der Bemessungsnormen „zustehen“ würden. Gleichzeitig kommt es insbesondere in den oberen Geschoßen und leeseitig, aber auch in besonderen Situationen wie Hanglage etc. zu einer erhöhten Innendruckbelastung, für welche die Gebäudehülle und damit auch moderne Fenster eigentlich nicht gebaut sind, und diese Belastung kann umso höher ausfallen, je geringer die Luftdurchlässigkeit der wärmetechnisch optimierten Fenster ist.

Um nicht planlos in die Gebäudeklima-Kondensat Falle zu stolpern, wird es zukünftig von Bedeutung sein, dass sich Planer bewusst sind, dass eine Verringerung des Heizwärmebedarfes massive Auswirkungen auf Funktion und Dauerhaftigkeit der Gebäudehülle haben kann.

Diesem Umstand ist bereits bei der Planung des Neubaus oder der Sanierung verstärkt und bewusst Rechnung zu tragen. Bei Vorliegen von Risikofaktoren, wie Mehrgeschossigkeit, Wind- und Hanglage, Fußbodenheizung oder anderen Arten von Strahlungsheizung, aber auch bei geringem Heizwärmebedarf und Konvektionsheizung, feuchtekritischer Nutzung, sind abhängig vom Dämmniveau konkret

Maßnahmen zu planen, wie z.B. eine ausreichende Wärmeversorgung des geplanten Fensters im Raum, Senken der Luftfeuchtigkeit z.B. durch geeignete Lüftungsmaßnahmen und richtige Raumanordnung, Anpassung des Druckniveaus im jeweiligen Raum an die Erfordernisse der Gebäudehülle und des Fensters derart, dass die unter den Normbedingungen zu erwartende Dauerhaftigkeit bei entsprechender Wartung der Fenster ohne übermäßige Kondensatbildung auch in der Praxis erreicht werden kann. Hierzu wird die Ausarbeitung künftiger Planungshilfen sinnvoll sein.

Ob dies aufgrund der geplanten Randbedingungen durch eine spezielle Beheizung z.B. der Fensterbank, durch eine Abluftanlage mit situations-spezifisch geplantem, konstanten Unterdruck bzw. durch gekonnte Abstimmung der verwendeten Komponenten erfolgt, kann dann bei entsprechendem Wissensstand dann wieder der Freiheit des Planers überlassen werden.

Jedenfalls zu vermeiden gilt es ungünstige Kombinationen, wie das Dämmen der Wand beim Altbau, ohne auch die wärmetechnische Qualität der Fenster und insbesondere der Verglasung zu verbessern. Nur ausgewogene Systeme führen zum Ziel. Raumhohe Fenstertüren und Verglasungen bei Fußbodenheizung ohne weitere Maßnahmen erhöhen ebenfalls die Kondensatwahrscheinlichkeit. Auch eine Fußbodenheizung im Altbau ohne weitere Maßnahmen erhöht die Klimabelastung für die Fenster gefährlich, ebenso wie eine exponierte Verglasung mit höherem U-Wert in tiefen Fensternischen bei einer Strahlungsheizung. Beachtet werden muss auch, dass gerade bei Neubau und Sanierung oft viel Feuchtigkeit in die Baukonstruktion eingebracht wurde, und es oft 2, 3 Jahre bei entfeuchtungswirksamen Lüften dauern kann, bis die Klimabelastung geringer wird. Wird in dieser Zeit nicht gelüftet, sammelt sich die Feuchtigkeit in den Textilien und in der Einrichtung, und wiederkehrendes Kondensat kann die Folge sein.

Vom Nutzer wiederum muss erwartet werden können, dass die vom Gebäudeklimawandel immer mehr geforderte Komponenten Fenster und Verglasung durch entsprechend qualitativ gute Wartung in Stand gehalten werden und Überlastungen durch falsche Nutzung (z.B. Wäschetrocknen im Keller ohne direkte Feuchteabfuhr und gleichzeitig kaum beheiztem Schlafzimmer leeseitig im 2. Geschoß des Hauses) bewusst vermieden wird.

Je weiter die Systeme verfeinert und ausgereizt werden, desto detaillierter muss man sich mit den komplexen Interaktionen bereits in der Planung auseinander setzen. Reichte es früher aus, mit einer Raumtemperatur zu planen, wird es heute erforderlich, die einzelne Komponente und deren spezifische Randbedingungen zu betrachten, das Modell der „gleichmäßig verteilten Energie“ hat bei dem heute erreichten Niveau der Beheizung unserer Gebäude ausgedient. Je schneller wir das erkennen, und je besser wir darauf reagieren, desto

eher werden die reduzierten Kosten für Energie auch tatsächlich eine monetäre Einsparung bringen. Andernfalls wird das früher für „Brennstoff“ verwendeten Geld zu „Brennstoff“ für unsinnige Rechtsverfahren.

Bei sorgfältiger Planung, Beachtung der Risikofaktoren und fachgerechter Wahl der möglichen Maßnahmen sind derartige Probleme aber vermeidbar, wenn systemübergreifend und situationsgerecht geplant wird, und möglichst auch der Nutzer in die Planung einbezogen wird.

Daher wird es zunehmend wichtiger, das Bewusstsein der Planer, Bauschaffenden als auch der Nutzer für die vorliegenden Zusammenhänge zu schärfen, im Sinne eines kondensatfreien Blicks in die Zukunft.

12 KURZFASSUNG GEBÄUDEKLIMAANALYSE

Besonders die letzten beiden Jahrzehnte haben für das Gebäudeklima wesentliche Änderungen mit sich gebracht. Der Wärmeschutz wurde deutlich verbessert, viele Häuser sind heute gut gedämmt oder "wärmetechnisch saniert", und bei so manchem wurde eine energiesparendes Heizsystem installiert. Die Gebäude wurden auf geringe Luftdurchlässigkeit hin getrimmt und mittels Blower Door geprüft. Das alles hat den Heizwärmebedarf jedenfalls am Papier deutlich reduziert und natürlich auch Heizenergieverbrauch vermindert.

Auch die Fensterkonstruktionen wurden weiter entwickelt, viele haben Dreifach-Isolierverglasung und sind zum Teil mit drei Dichtungsebenen versehen, und mit verdeckten Beschlägen und speziellen wärmedämmenden Profilen wärmedämmungsoptimiert. Der U-Wert der Fenster wird in der Branche am Papier mittlerweile in $1/100 \text{ W/m}^2\text{K}$ gehandelt und auch von den Konsumenten entsprechend verglichen.

Und trotzdem Kondensat? Trotz gesetzlich erzwungener Einhaltung der neuester Europäischer Prüf- und Berechnungsvorgaben und verpflichteten Leistungserklärung der Europäischen Produktnorm für Fenster? Trotz Anforderungen an die Wärmedämmung wie nie zu vor? Wurde in Europa das Fensterbauen verlernt?

Kondensat entsteht aus dem umgebenden Raumklima, und dieses Raumklima hat sich mit all den Maßnahmen zur Senkung des Heizwärmebedarfs deutlich verändert.

"Nicht das Fenster macht das Kondensat, es entsteht aus dem Gebäudeklima."

Was sind die wesentlichen Faktoren für die Kondensatbildung?

Der wesentliche Faktor ist die Raumluftfeuchte.

Feuchte wird in das Gebäude eingebracht beim Bauen und Sanieren, und später kontinuierlich bei der Gebäudenutzung. Manchmal - wenn es draußen feuchter ist als innen, was insbesondere in der feucht-warmen Jahreszeit sein kann, auch von außen.

Alles was an Feuchte eingebracht wird, muss auch wieder abgelüftet werden. Damit bringt es zur Verringerung des Kondensatriskos Vorteile, unnötigen Feuchteintrag zu verhindern.

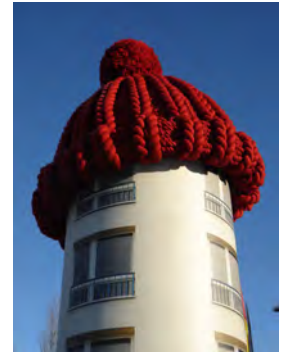


Bild 12.1 Gebäude werden heute wärmetechnisch saniert bzw. hochgedämmt geplant und gebaut, der Heizwärmebedarf deutlich reduziert.

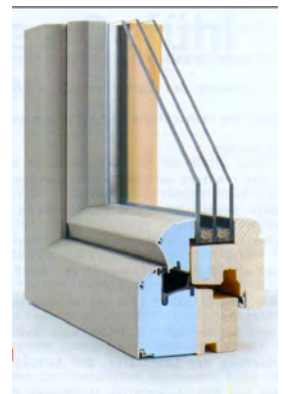


Bild 12.2 Die Fenster wurden ebenfalls wärmetechnisch optimiert.



Bild 12.3 Feuchte wird beim Bauen, Sanieren und später laufend bei der Nutzung in das Gebäude eingebracht. Wird der Feuchtegehalt mangels Lüftung zu hoch, steigt das Kondensatrisiko: bei wenig gedämmten Gebäuden sind die Oberflächentemperaturen zu gering, bei gut gedämmten Gebäuden kann es in Teilbereichen zu verringerter Wärmezufuhr kommen (zB. durch Wärmestrahlungsschatten)

Beim Neubau oder Feuchteeinbringen durch Estrich usw. ist auf ausreichendes Lüften und Heizen bereits in der Bauphase zu achten. Schlagregen darf die Baukonstruktion nicht durchfeuchten, ansonsten entsteht ein „Feuchterucksack“, der mühsam später abgelüftet werden muss. Zu kurze Bauzeiten und besonders eine Erstnutzung im Winter bringen eine hohe Feuchtebelastung der Gebäudehülle mit sich. Bauphasen müssen beachtet werden, mineralische Massivbauteile brauchen bei guten Lüftungsbedingungen etwa drei Jahre, bis die überschüssige Feuchte abgebaut ist. Dies kann nur durch zusätzliche Lüftung erfolgen!

Was man früher in Bauzeit investiert hat, muss heute in Lüftungszeit investiert werden. Es wird notwendig, möglichst in der kühleren Jahreszeit, in der die Außenluft weniger Feuchte enthält, durch Heizen und Lüften ein konsequentes Austrocknen der Bausubstanz erreichen. Andernfalls wird die Feuchtigkeit von später eingebrachten Materialien, Möbeln und Textilien im Gebäude gespeichert und führt zu einer raschen Nachlieferung von Feuchtigkeit nach dem Stoßlüften. Ein hohes Feuchteniveau und ein erhöhtes Kondensatrisiko ist die Folge.

Der Schwerpunkt der Kondensatbildung an Fenstern hat sich im Gegensatz zu früher, wo Kondensat insbesondere hauptsächlich am unteren Isolierglasrand aufgetreten ist, zunehmend auch in den Funktionsfalz und in die Fugen verlagert. Wie kommt es dazu?

Aus Sicht der Gebäudehülle kann man durch die geänderten Einflüsse in den in den vergangenen Jahren von einem "Gebäude-Klima-Wandel" sprechen."

So haben neben den oben angeführten Änderungen - verstärkte Wärmedämmung, reduzierte Luftdurchlässigkeit - und der damit verbundenen Verringerung der Heizlast, bis hin zur Änderung der Nutzungsbedingungen und Standort- und außenklimatischen Gegebenheiten (feuchtere Talbereiche, Feuchtwiesen, schattige Lagen, Hangaufwinde) viele Parameteränderungen ergeben, die in Summe zu einer ungünstigen Beeinflussung der Randbedingungen für die Funktion der Gebäudehülle führen.

Die verstärkte Wärmedämmung führt zu geringeren Vorlauftemperaturen bei unseren Heizungen. Die früher durch starke Konvektion in die Räume transportierte Wärme wird dadurch nur mehr in wesentlich geringerem Ausmaß vor allen als Strahlungswärme abgegeben. Bereiche, die nicht im direkten Strahlungsaustausch mit der Heizung stehen, werden dadurch schlechter erwärmt.

„STRAHLUNGSSCHATTEN“: vergleichbar wie beim Licht wird auch die Wärmestrahlung einer Fussbodenheizung oder einer



Bild 12.4 Bereits beim Neubau oder der Sanierung Feuchte im Haus niedrig halten: (Schlag)regenschutz, Ablüften und Heizen vermindern den Feuchterucksack fürs Wohnen.

Später muß dann die Wohnfeuchte ständig abgelüftet werden.

Ohne Feuchtigkeit gibt es keine Kondensatbildung!

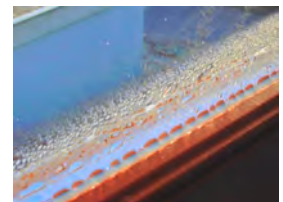


Bild 12.5 Kondensat am Isolierglasrand



Bild 12.6 Kondensat im Funktionsfalz

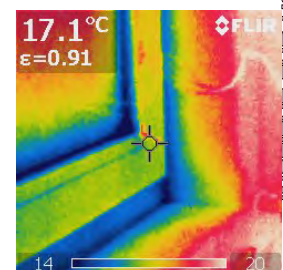


Bild 12.7 Kombination aus Strahlungsschatten und abfallender Kaltluft am unteren Anschluss eines Fensters an die Fensterbank

Wärmestrahlerplatte durch Hindernisse wie die Fensterbank „abgeschattet“, wodurch diese abgeschatteten Bereiche in der Folge weniger erwärmt werden.

Die Glasfläche wirkt dabei wie ein Wärmetauscher. Die Luft kühlt sich an der Glasfläche ab und vermindert die Temperatur insbesondere in den unteren Bereichen. Je höher die Glasfläche, desto ausgeprägter ist dieser Effekt, er verringert sich mit höheren U-Werten der Verglasung.

Die Nutzung hat sich deutlich geändert. Waren früher Wohnungen auch tagsüber benutzt, steht heute eine „instationäre Nutzung“ mit entsprechend instationärem Feuchteeintrag im Vordergrund. Morgens Duschen – Kochen – Waschen, dann ab zur Arbeit oder in die Schule oder Kindergarten. Die Heizung wird zurückgedreht, zurück bleibt die Feuchtigkeit im Raum, da man morgens nicht in der kalten Wohnung Frühstücken möchte. Abends wieder Waschen – Duschen – Kochen, dann ab ins Schlafzimmer, bei dort reduzierten Temperaturen.

Zum Lüften kommt es kaum, das hätte ja wieder kurzzeitig kalte Räume zur Folge – wer will das schon beim Fernsehen. Damit wird bestenfalls das Schlafzimmerfenster gekippt, was ein Auskühlen der Fensterleibung zur Folge hat. Die dichte Bauweise verhindert, dass die Feuchte über Fugenlüftung entweicht, dichte Oberflächen und die geringe feuchtwirksame Lüftung verhindern eine Pufferung der Feuchte und späteres Ablüften.

Die offenen Grundrisse führen dazu, dass die feuchte Luft auch in kühlere Räume gelangt.

Mehrgeschossige offene Bauweisen führen zu erhöhtem thermischen Auftrieb und zusammen mit der dichten Bauweise zu hohen Innenüberdrücken der nun feuchtwarmen Raumluft. Zusammen mit dem Wind entsteht ein dauerhafter Transport feuchtwarmen Raumluft durch die Fensterfugen, insbesondere in den oberen Geschoßen und auf der windabgewandten Seite. Kondensat im Falz ist die Folge, bei geringen Temperaturen auch Eisbildung. Die thermisch optimierten Fensterprofile sind in den äußeren Bereichen kühler, so dass es hier zu Eisbildungen bei entsprechender Witterung kommen kann.

Eine Entlastung des Überdrucks kann zB. ganze einfach durch druckgesteuerte, mechanische Abluft erreicht werden. Diese sollte leise und wartungsarm gestaltet werden, dann wirkt sie nicht nur einer Belastung der Gebäudehülle entgegen, sondern dient auch dem Gesundheitsschutz: der Abtransport der vielen Schadstoffe, die wir durch unsere Einkäufe in unsere Wohnungen und Büros bringen, wird dadurch konsequent bewerkstelligt. Eine gesündere Raumluft ist die Folge.

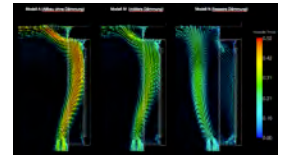


Bild 12.8 Wärmetauscher Verglasung: Die Luft kühlt sich beim Vorbeistreichen an der Verglasung ab und fällt dadurch nach unten (kalte Luft ist schwerer als warme Luft). Bei geringer Vorlauftemperatur des Heizkörpers kann sich eine eigene Klimazone am Fenster bilden.

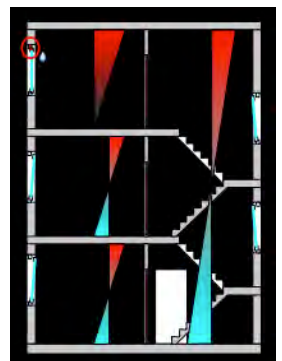
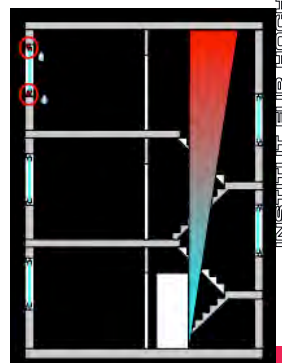


Bild 12.9 Geschossweiser Druckausgleich führt zu einem geringerem thermischen Überdruck als dichte Gebäude mit offener Verbindung der Geschosse: Die Folge ist Überdruck an den oberen Fenstern insbesondere an der windabgewandten Seite (Leeseite)



13 Resümee

Es ist das Zusammenwirken vieler Faktoren, die zu Kondensatbildung führen.

Die Summe dieser Faktoren führt zu einer hygrothermischen Überlastung unserer Gebäude. Ist die Schwelle überschritten, zeigt sich das Kondensat hartnäckig.

Kondensatschutz beginnt bei der Planung, zieht sich über die Bauphase und endet nie mit dem Bezug der Wohnung oder des Büros.

Bei der Nutzung ist auf ein Gleichgewicht von Feuchteeintrag und feuchtwirksamen Lüften zu achten.

Lässt sich das nicht mit dem Nutzungsrythmus vereinbaren, müssen mechanische Abluft und die richtige Wahl der Maßnahmen dafür Sorge tragen.

Damit hat letztlich der Nutzer die Verantwortung, in Abhängigkeit der vorhandenen Risikosituation richtig zu reagieren und für ausreichendes Feuchtemanagement zu sorgen.

Unterstützen kann ihn dabei ein intelligenter Planer, der sich der Risikofaktoren durch den Gebäudeklimawandel und die geänderten Nutzungsbedingungen bewusst ist und diese in seinem Entwurf gesamtheitlich berücksichtigt, auch in der Sanierung.

Unterstützen kann ihn auch die Bauaufsicht, die für feuchteminimierte Bauarbeiten und konsequente Feuchteabfuhr in der Bauphase zu sorgen hat.

Je besser diese Abstimmung gelingt, desto geringer ist der „Kondensatrucksack“ und damit das Kondensatrisiko, auch wenn es zukünftig immer höher sein wird, als früher, als wir das Kondensat noch „hinausgeheizt“ haben. Die letzte Verantwortung hat der Nutzer, der mit den bestehenden Bedingungen umzugehen lernen muss oder Maßnahmen veranlassen muss, welche die Nutzung in Übereinstimmung mit seinen Nutzungsgewohnheiten möglich machen.

14 Maßnahmen:

Die Verantwortung für kondensatfreies Wohnen liegt in der Hand der Planer, der Ausführenden und der Nutzer. Die Planer müssen den vorhandenen Gebäudeklimawandel berücksichtigen und benötigen dazu auch geeignete Planungswerkzeuge. Dazu wäre es auch erforderlich, die Planungsnormen zu überarbeiten und an die neuen Gegebenheiten besser anzupassen.

Risikofaktoren, wie die reduzierte Heizlast bei erhöhter Dämmung und damit verringerte Wärmezufuhr zu den Bauteilen, ungleich verteilte Wärmezufuhr zur Gebäudehülle, Wirkung der Strahlungsheizung bei Vermieter konvektiver Wärmezufuhr, Bauen in feuchteren Mikroklimaten, an Hängen, mehrgeschossig offene Grundrisse, exponierte raumhohe Verglasungen, dem geänderten Nutzerverhalten usw. muss ein entsprechendes Risikomanagement entgegenstehen, andernfalls ist Kondensat vorprogrammiert.

Der Nutzer muss sich letztlich bewusst sein, dass – nachdem Ablüften der Bau- oder Sanierungsfeuchte (und natürlich der Reparatur von feuchtebezogenen Undichtheiten an der Gebäudehülle) die Feuchtigkeit, die er im Raum hat, seine eigene, von ihm selbst produzierte ist, und ohne ein entsprechendes Feuchtemanagement durch Lüftung und entsprechende Wartung es sein eigenes Kondensat ist, das sich an betroffenen Bauteilen niederschlägt, und in ungünstigen Fällen auch Schimmelbildung erzeugt.

Um die Zusammenhänge dieses Gebäude-Klimawandels bewusst zu machen, wird es jedenfalls sinnvoll sein, künftig entsprechende Planungshilfen auszuarbeiten, die normativen Vorgaben dahingehend zu erweitern und entsprechend vereinfachte Hilfestellungen für die Nutzer bereit zu stellen.
