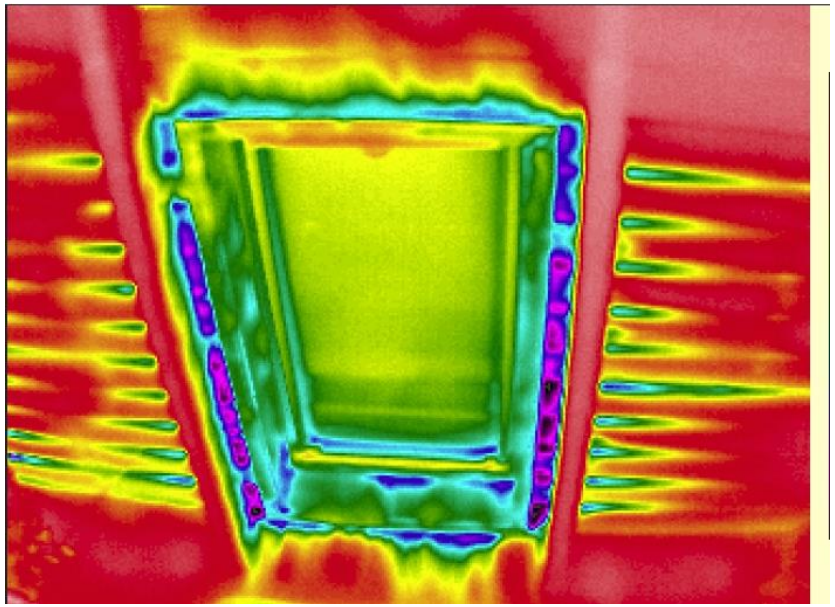
Energetische Gebäudesanierung

Luftdichtheit und Wohnungslüftung

Die Bedeutung für die Energieeffizienz eines Gebäudes



Prof. Wolfgang Sorge
Beratender Ingenieur

WOLFGANG SORGE
INGENIEURBÜRO
FÜR BAUPHYSIK
Beratende Ingenieure VBI

beraten
planen
prüfen

Luftdichtheit und Wohnungslüftung

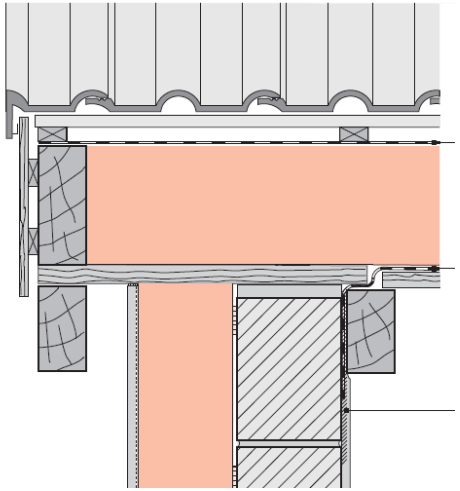
- **widersprüchliche Forderungen?**

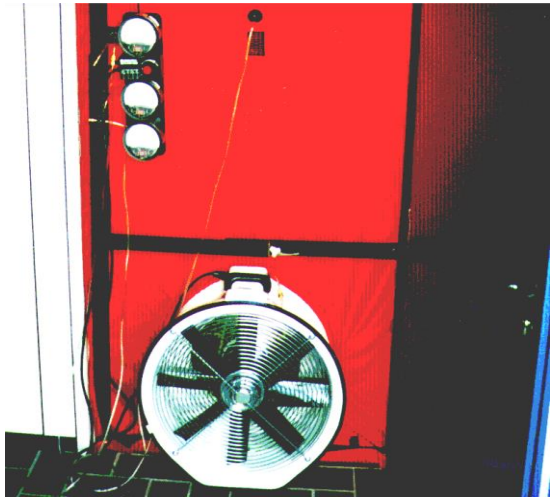
Beides ist notwendig!

Inhalt

- Luftdichtheit der Gebäudehülle
  - für Energieeffizienz des Gebäudes
  - für Bauschadensfreiheit der Konstruktionen
- Wohnungslüftung
  - für Wohnhygiene
  - für Schimmelpilzfreiheit

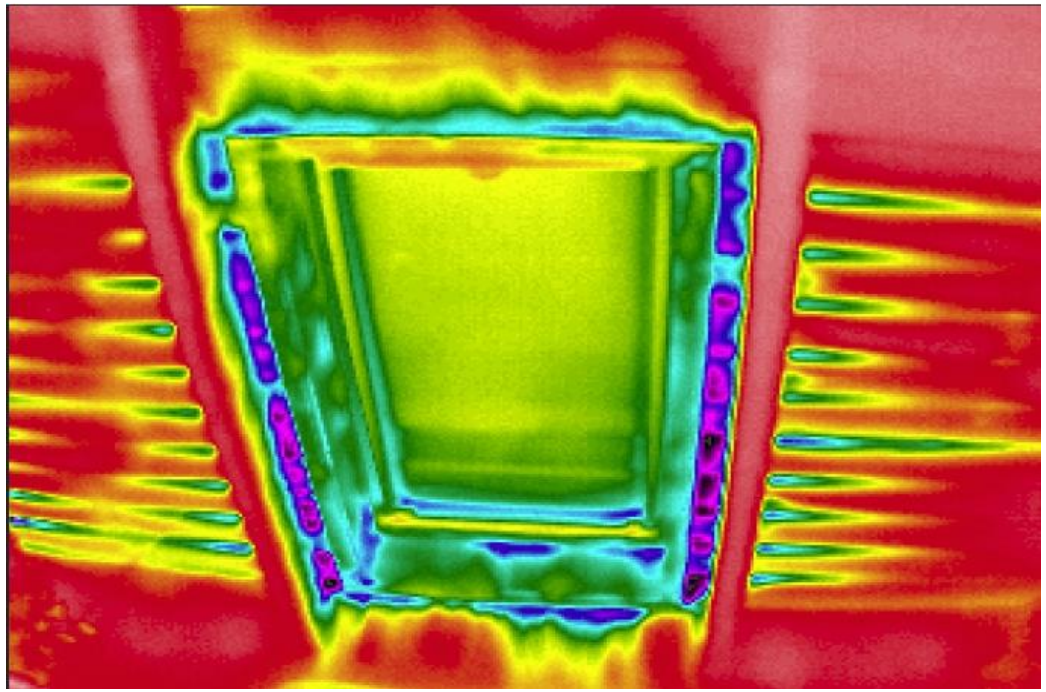
- Anforderungen – Schäden – Maßnahmen – Qualitätsprüfung - Richtiges Lüften





Luftdichtheit der Gebäudehülle

Energieeffizienz des Gebäudes
Bauschadensfreiheit der Konstruktionen



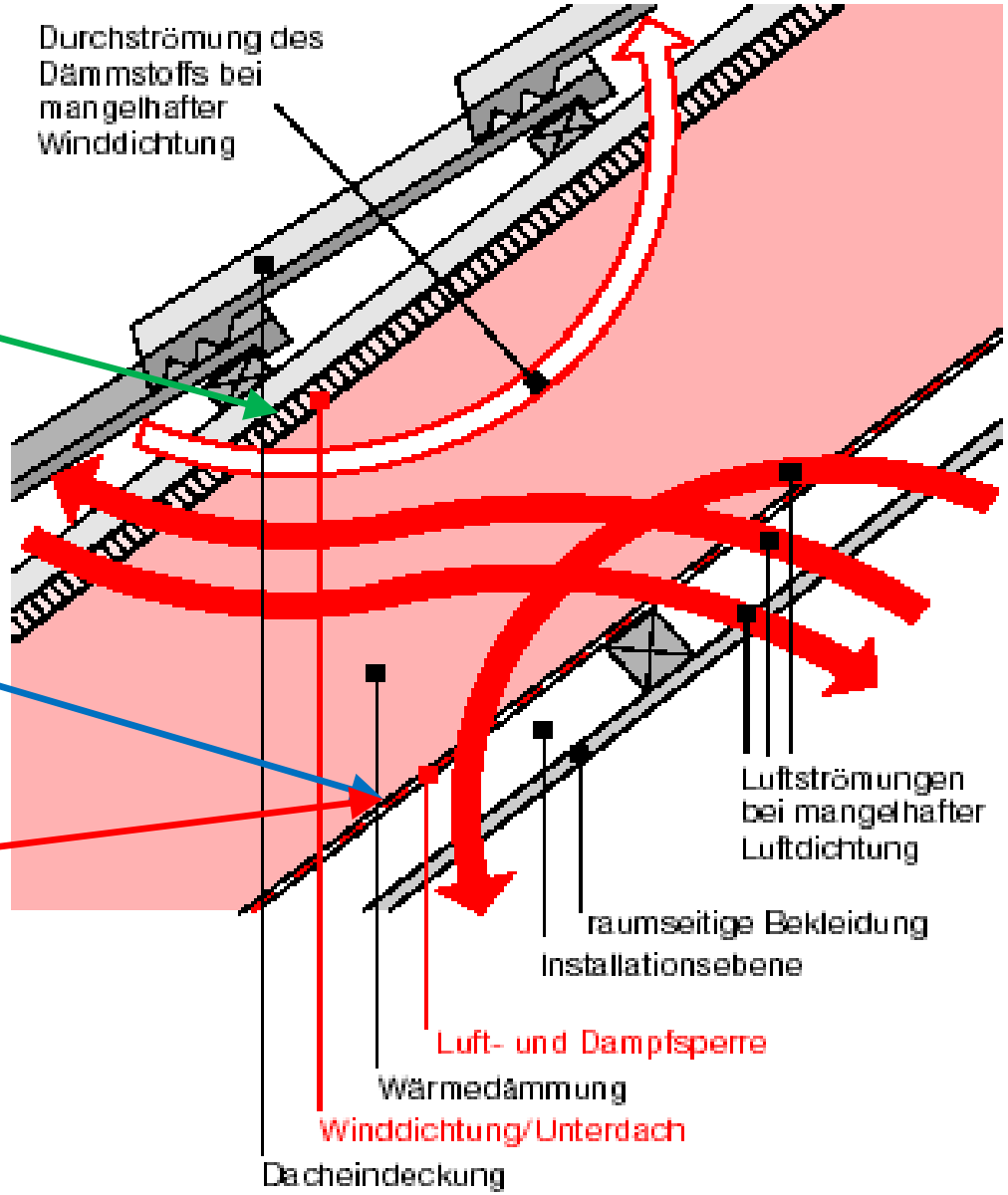
Gebäudehülle – Anforderungen

luftdicht - dampfdicht - winddicht

Winddichtung
verhindert Durchströmung
der äußeren Schicht der Dämmung

Luftdichtheitsschicht
verhindert Durchströmung von Bauteilen
mit warmer, feuchtigkeitsbeladener Luft
verhindert Tauwasserbildung
(Feuchteeintrag durch Konvektion)

Diffusionshemmende Schicht
verhindert unzulässige Wasserdampfdiffusion
verhindert Tauwasserbildung
(Feuchteeintrag durch Diffusion)



Die Betrachtung von Energieverlusten

Luftdurchlässige Konstruktionen

- bei großen Temperaturdifferenzen (kalte Wintertage)
- bei starkem Wind

- hoher Luftwechsel (große Wärmeverluste)

- bei Inversionswetterlagen und in den Übergangszeiten
- bei geringen Windgeschwindigkeiten

- geringer Luftwechsel (unzureichende Raumlüftung)

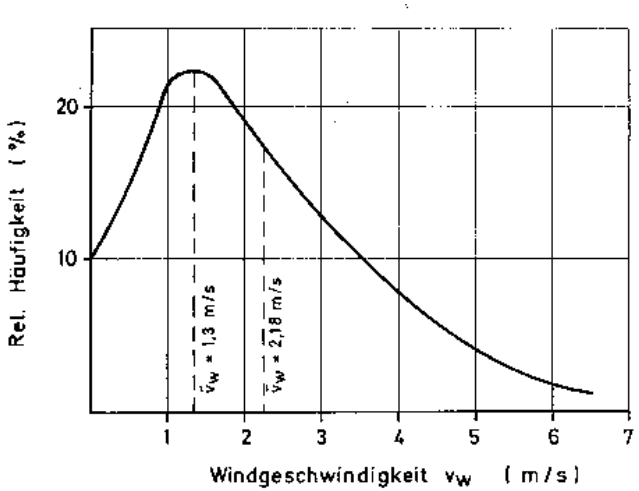
- besser und richtig: luftundurchlässige Gebäudehülle und kontrollierte angepasste Lüftung

Beispiel:
Berechnung der Lüftungswärmeverluste über Fensterfugen „dichte“ und „undichte“ Fenster

Raumvolumen von 58 m³
2 Fenster mit einer Fugenlänge gesamt 10,4 m
Fugendurchlasskoeffizienten

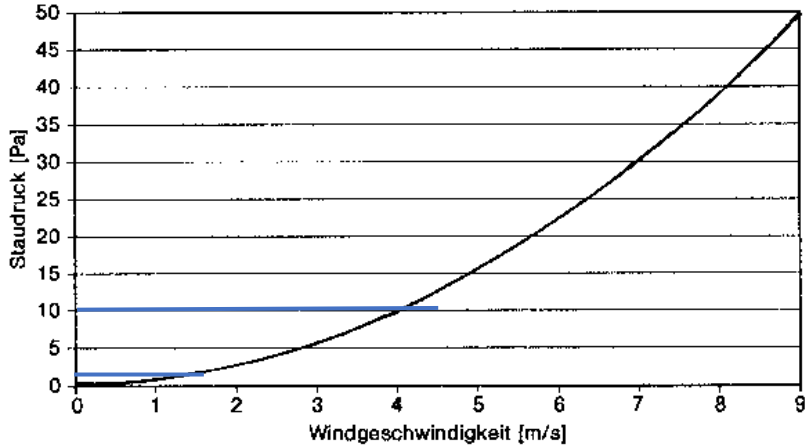
- undichte Fensterfugen (Fenster „alt“) $a = 14 \frac{m^3}{h \cdot m \cdot daPa^{2/3}}$
- dichte Fenster (Fenster „neu“) $a = 0{,}48 \frac{m^3}{h \cdot m \cdot daPa^{2/3}}$

Leichter Wind 1,3 m/s Druckdifferenz außen - innen 1 Pa
Leichter Wind 4 m/s Druckdifferenz außen - innen 10 Pa



Windgeschwindigkeit gemittelt in Deutschland

Staudruck vor einem Gebäude



Luftdichtheit spart Energie

Berechnungsergebnisse

	Wind mit 1,3 m/s Staudruck 1 Pa		Wind mit 4 m/s Staudruck 10 Pa	
Wohnraum mit:	Volumenstrom	Luftwechsel n_1	Volumenstrom	Luftwechsel n_{10}
alten Fenstern	31,4 m³/h	0,54 /h	145,6 m³/h	2,5 /h
neuen Fenstern	1,1 m³/h	0,02 /h	5 m³/h	0,09 /h

Gewünschte Luftwechselzahl 0,3 … 0,5 /h in einem Aufenthaltsraum einer Wohnung

Undichte Fenster führen zu einem überhöhten (nicht notwendigen) Luftwechsel
dichte Fenster erreichen die gewünschte Luftwechselzahl nicht

Die Energieverluste lassen sich direkt aus der Differenz der Volumenströme bestimmen:

Durch undichte Fenster sind bis zu 30 fach höhere Lüftungswärmeverluste als bei Räumen mit dichten Fenstern zu erwarten.

Luftdichtheit spart Energie

Berechnungsergebnisse

Lüftungswärmeverluste bei 20 K Temperaturdifferenz, Fall „leichter Wind“ mit 4 m/s
undichte Fenster <> dichte Fenster

bei einer Luftwechselzahl 2,50 1/h (undichte Fenster) ist eine Leistung von 986 W
bei einer Luftwechselzahl 0,09 1/h (dichte Fenster) ist eine Leistung von 35 W
für die Erwärmung der Luft erforderlich.

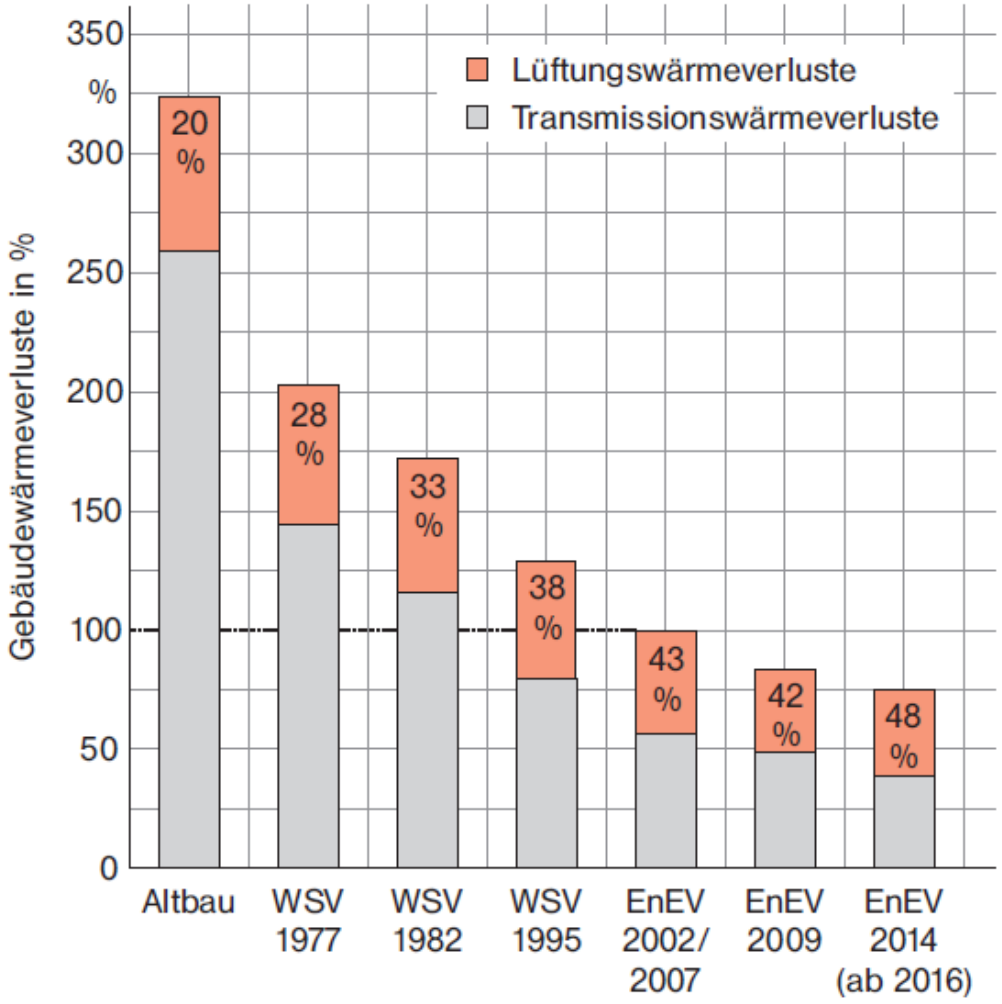
Zum Vergleich:
über eine Fläche einer Außenwand von 10 m²
mit einem Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) -Altbau- von 1,2 W/(m²K)
ist eine Heizleistung von 240 W
mit einem Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) -Neubau- von 0,2 W/(m²K)
ist eine Heizleistung von 40 W
erforderlich.

Demnach: Lüftungswärmeverluste sind in Altbauten mit undichten Fenstern wesentlich,
Sofern im Altbau und Neubau dichte Fenster eingebaut werden, betragen die Lüftungswärmeverluste
im Altbau etwa 20%, im Neubau etwa 47%

Luftdichtheit spart Energie

Betrachtung von Transmissionswärme- und Lüftungswärmeverlusten

Wärmedämmung auf dem Dachboden ist ein Weg, d

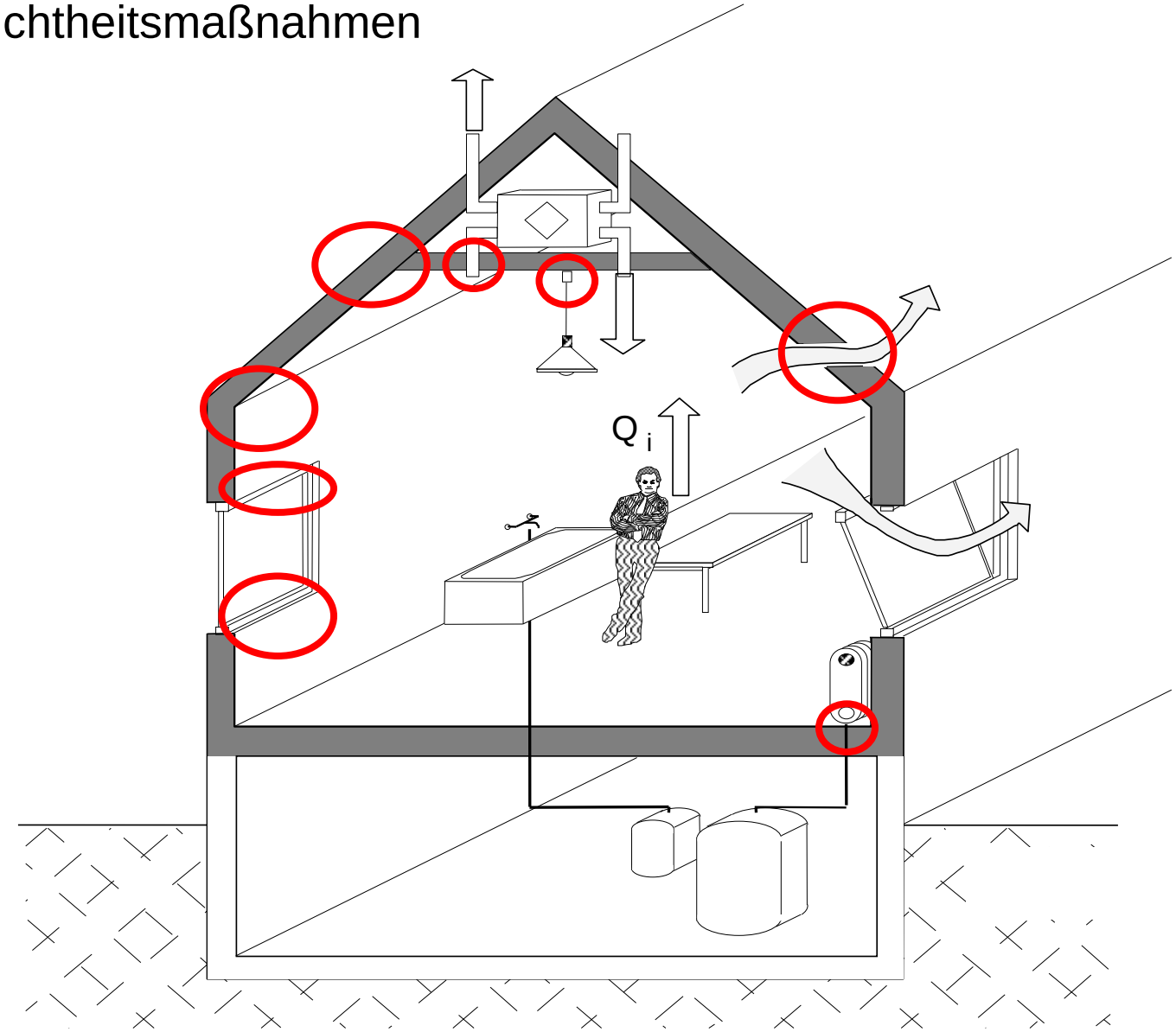


9-1 Verringerung der Wärmeverluste und Zunahme des Anteils der Lüftungswärmeverluste eines Reihenhauses durch steigenden Wärmeschutz (ohne Lüftungswärme-rückgewinn)

Typische Schwachpunkte in der Luftdichtheitsebene

- Anschlüsse Bauteile und Luftdichtheitsmaßnahmen
  - Fenster – Außenwand
  - Dach – Außenwand
  - Bahnen untereinander
  - Rollladenkästen

- Installationen
  - Decke (Beleuchtung)
  - Heizungsrohre



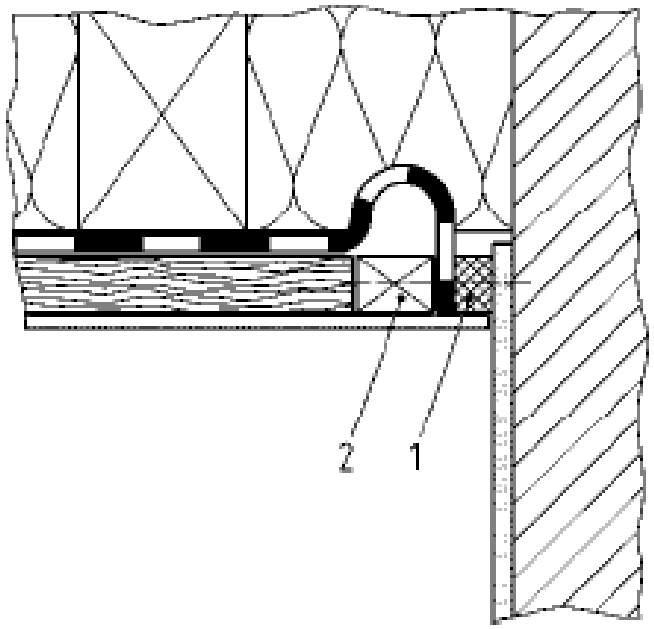
Wasserdampftransport durch Konvektion verhindern

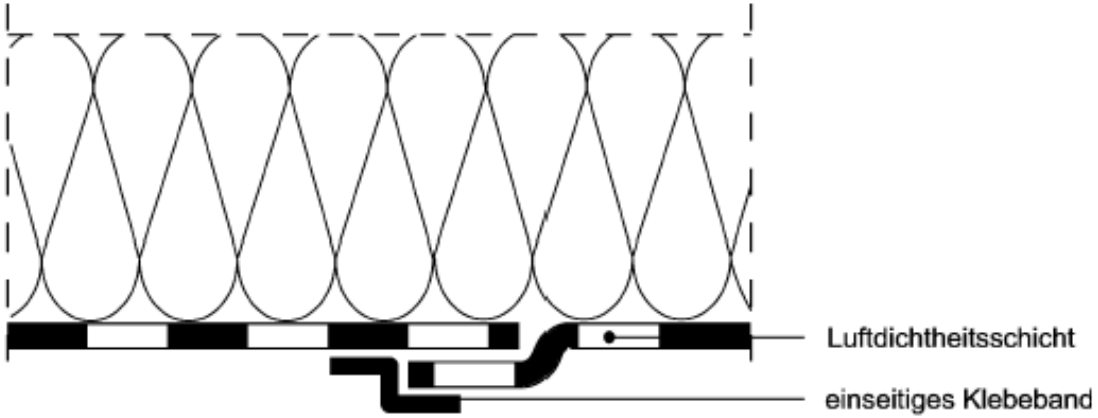
Maßnahmen

Anschluss

der luftdichten Schicht

- Bahnen untereinander
- an eine Wand



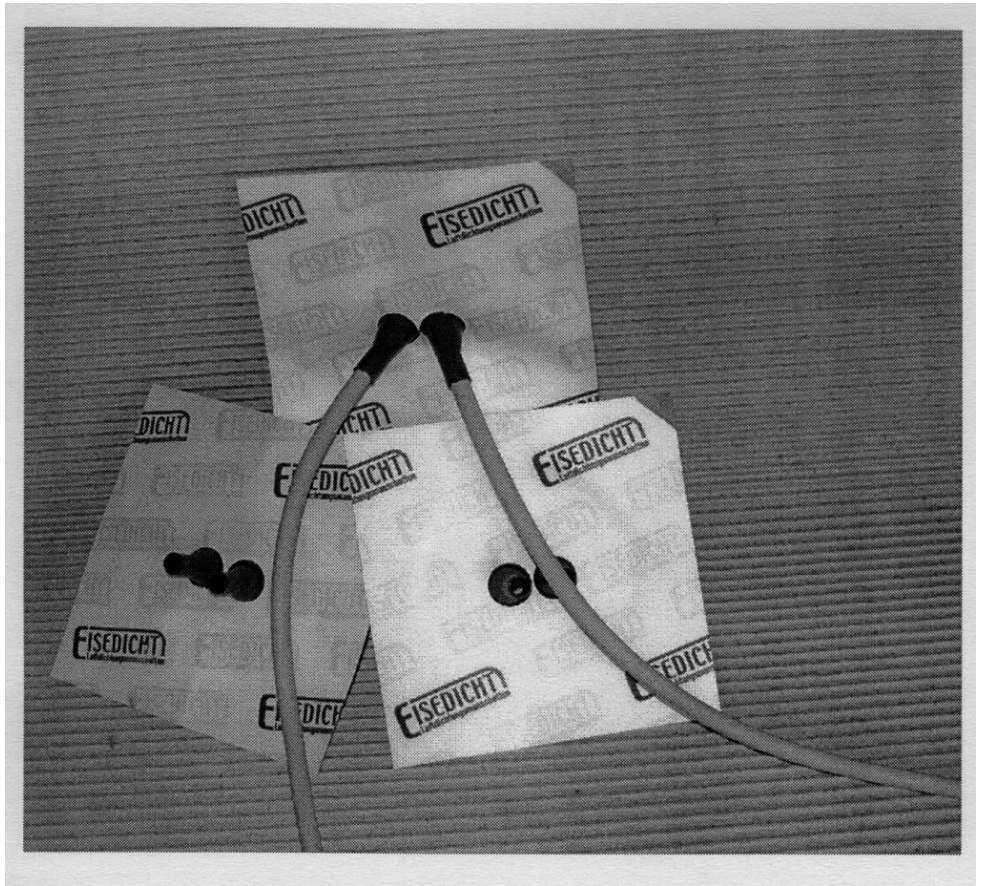


Luftdichtheit spart Energie und verhindert Schäden

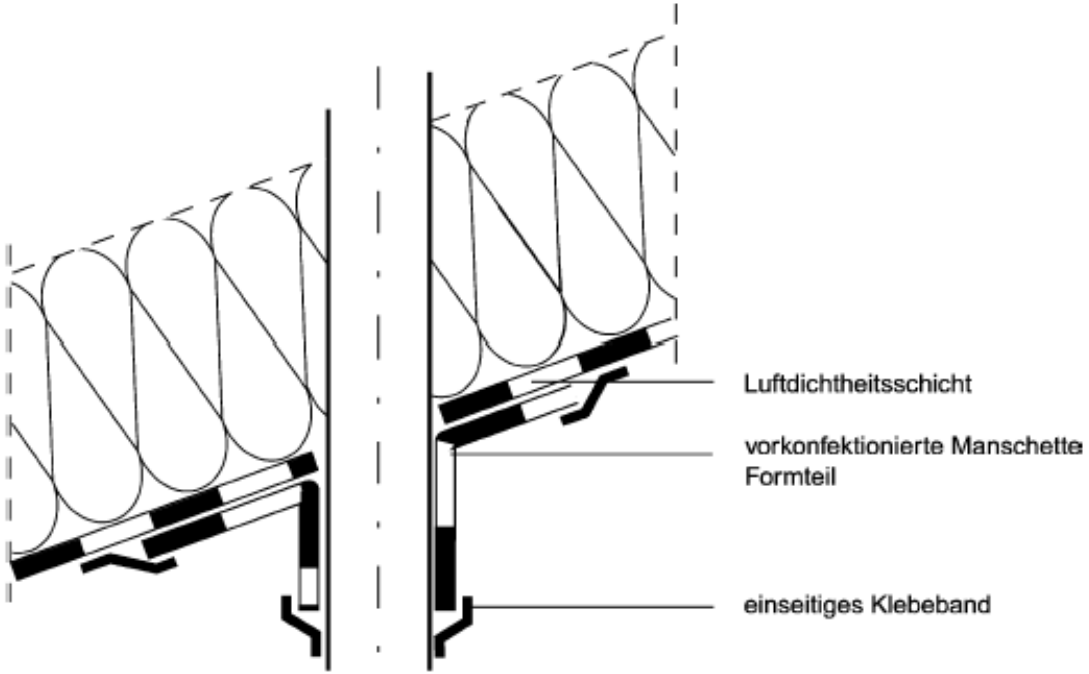
Wasserdampftransport durch Konvektion verhindern

Maßnahmen

Kabeldurchdringung mit Spezialdichtung



Rohrdurchdringung mit Spezialdichtung



Prinzipskizze zum Anschluss einer Bahn an eine Durchdringung unter Einsatz einer vorkonfektionierten Manschette oder eines Formteils

Bauschaden durch unzureichende Luftdichtheit

Holzdach

Dacheindeckung Blech auf Trennlage

Holzschalung

Mineralfaserdämmung zwischen den Dachbalken

diffusionshemmende Schicht = luftdichte Schicht

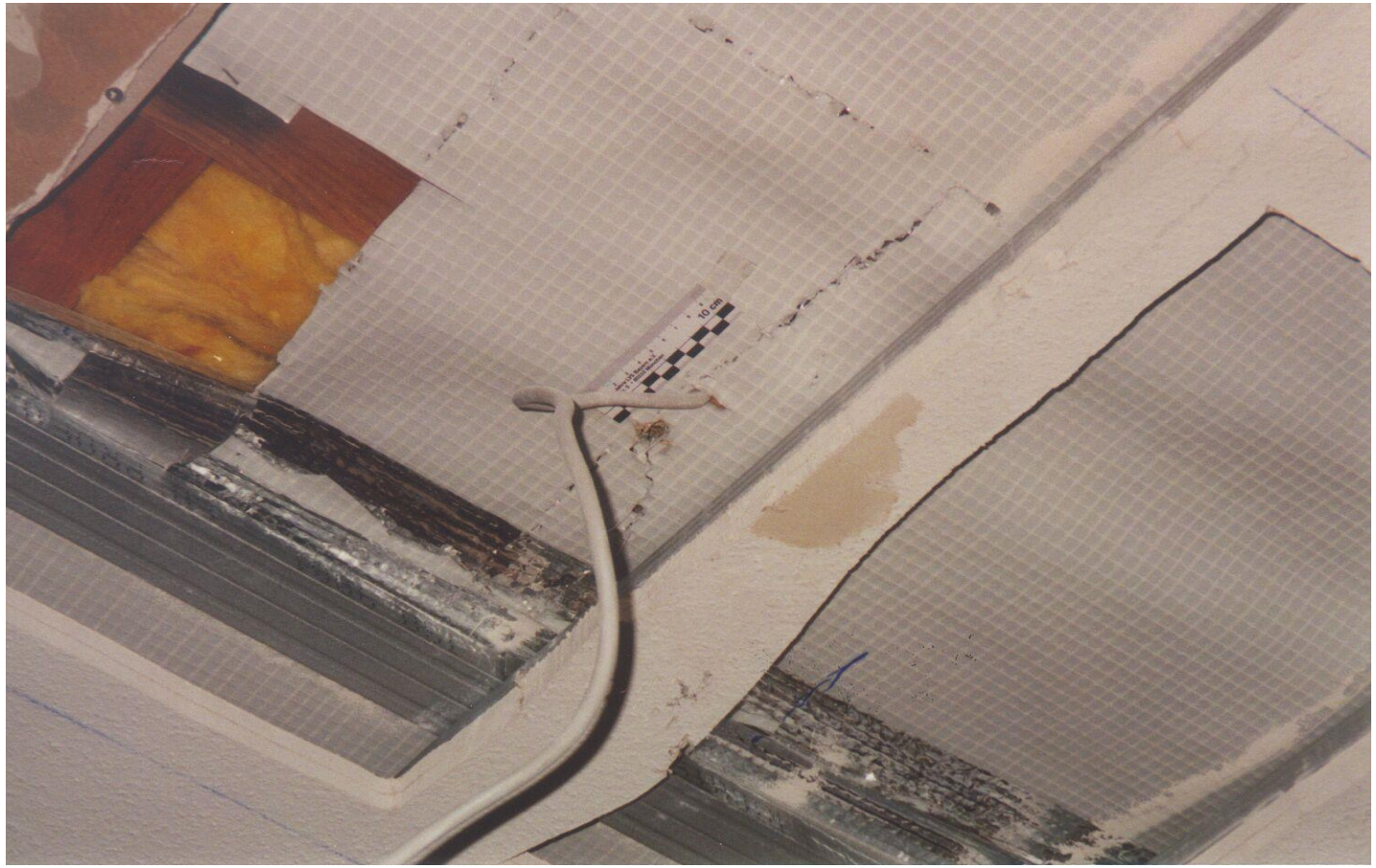
Gipskartonplatte

Berechnung nach „Glaser“ DIN 4108-3

zulässig, keine kritische Tauwasserbildung

Bauschaden durch unzureichende Luftdichtheit

Kabeldurchdringung



luftundichter Wandanschluss

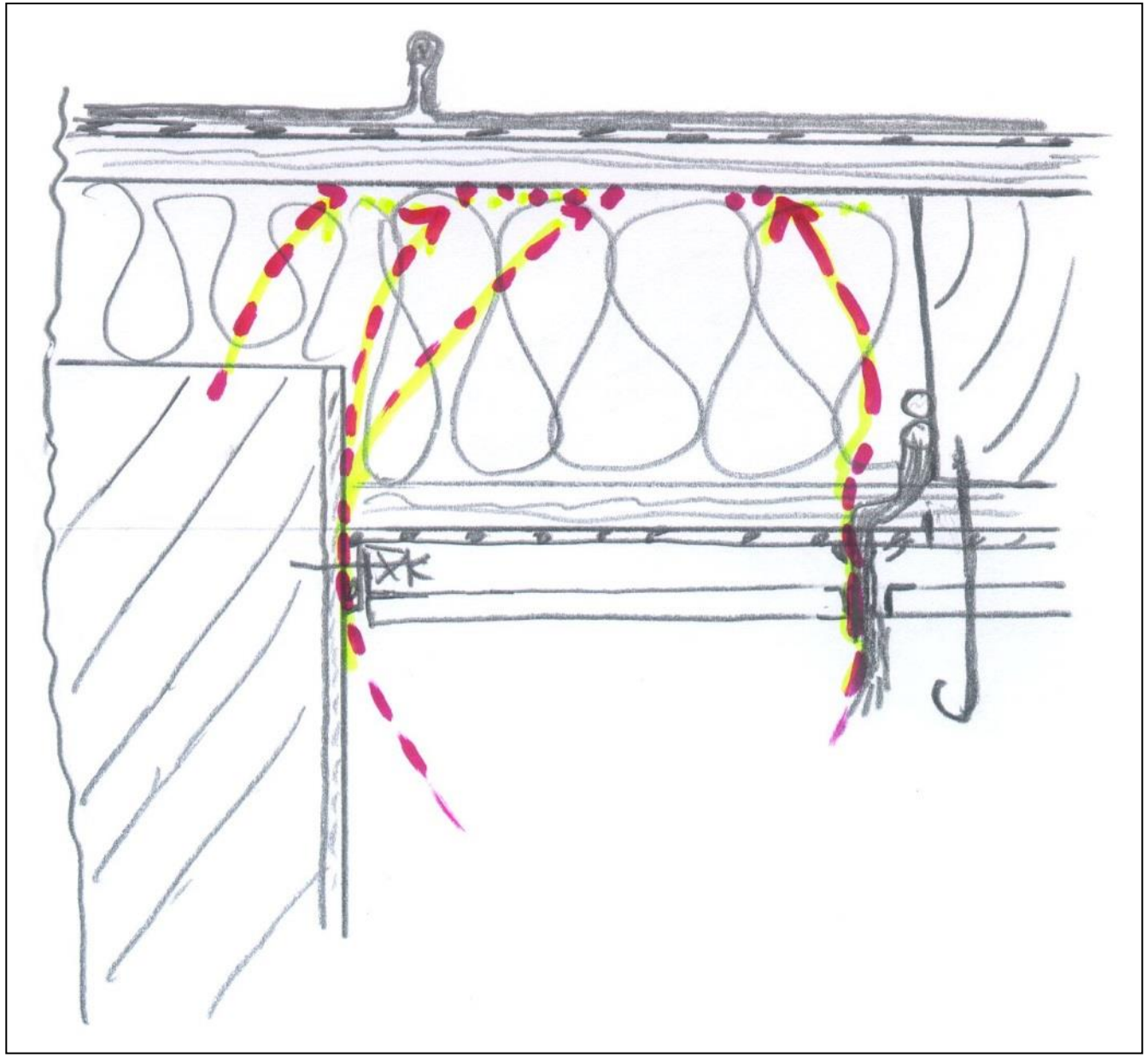
Wasserdampftransport durch Konvektion verhindern –Bauschäden vermeiden

Bauschaden durch

unzureichende Luftdichtheit

Ursachen

- Luftdurchlässige Kabeldurchdringung der Luftdichtheitsschicht
- Luftdurchlässiger Wandanschluss der Luftdichtheitsschicht
- Baustofffeuchte aus dem Mauerwerk



Wasserdampftransport durch Konvektion verhindern –Bauschäden vermeiden

Bauschaden durch unzureichende Luftdichtdichtheit

Holzdach

Luftdichter Anschluss

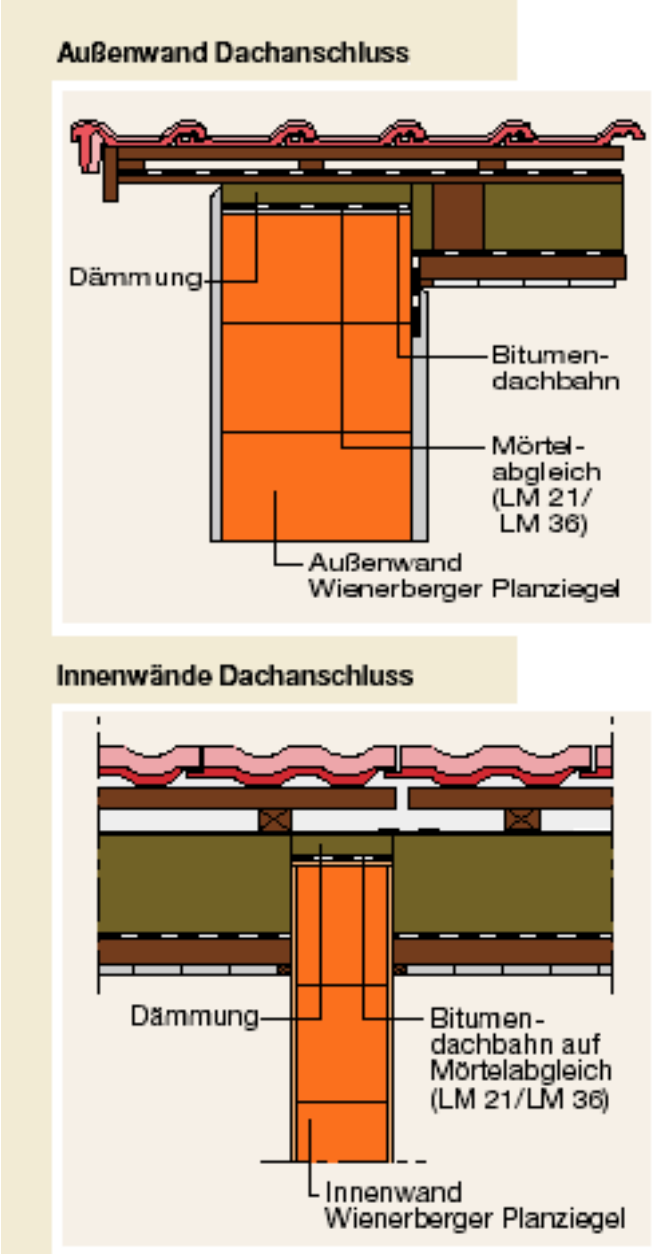
im Bereich der Dachschräge

und

über der Trennwand

(„Röhren“ im Mauerwerk verbinden Installationen

im Innenbereich mit der Außenluft)

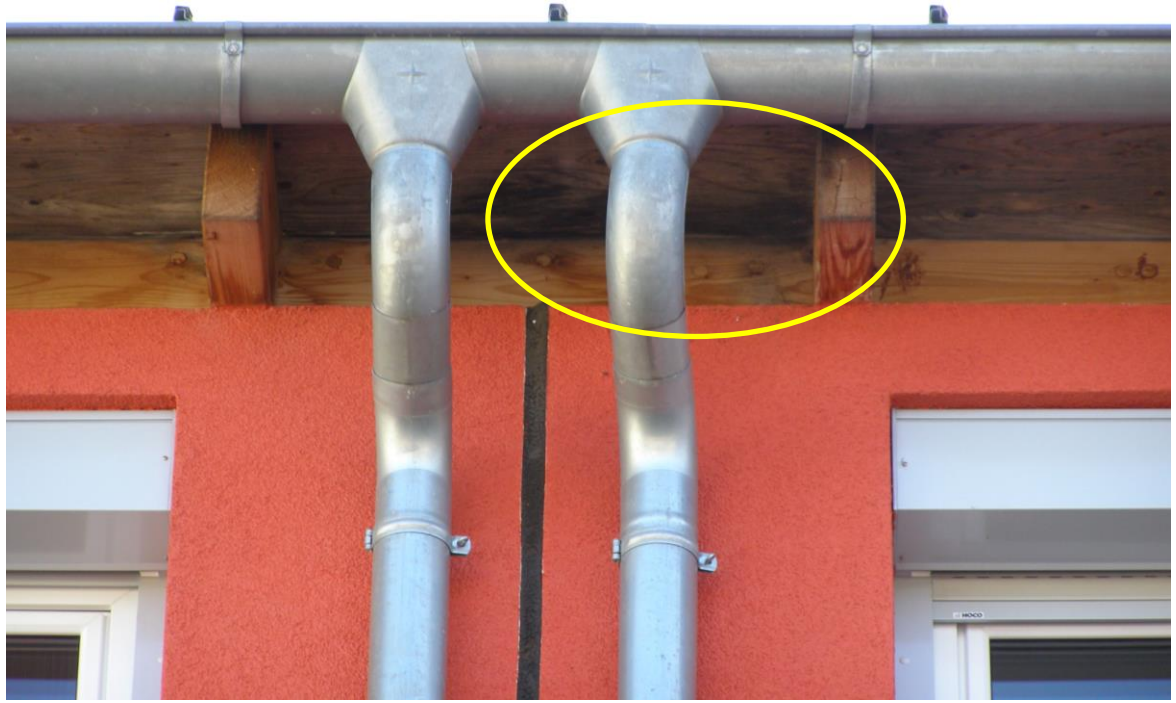


Bauschaden durch unzureichende Luftdichtdichtheit

Holzdach

Luftundichter Anschluss

im Bereich der Dachschräge



Bauschaden durch unzureichende Luftdichtdichtheit

Decke Spitzboden

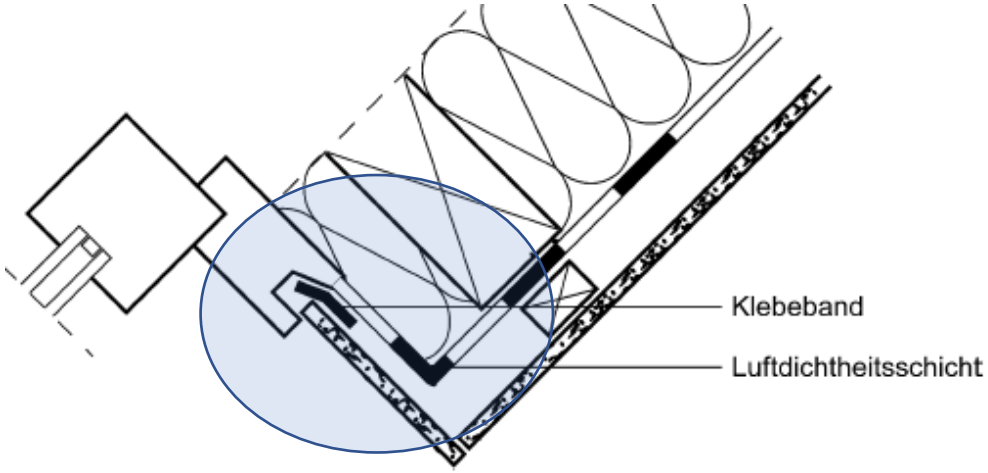
Luftundichter Anschluss

im Bereich

der Decke gegen Dachraum

Wasserdampftransport durch Konvektion verhindern –Bauschäden vermeiden

Bauschaden durch unzureichende Luftdichtheit

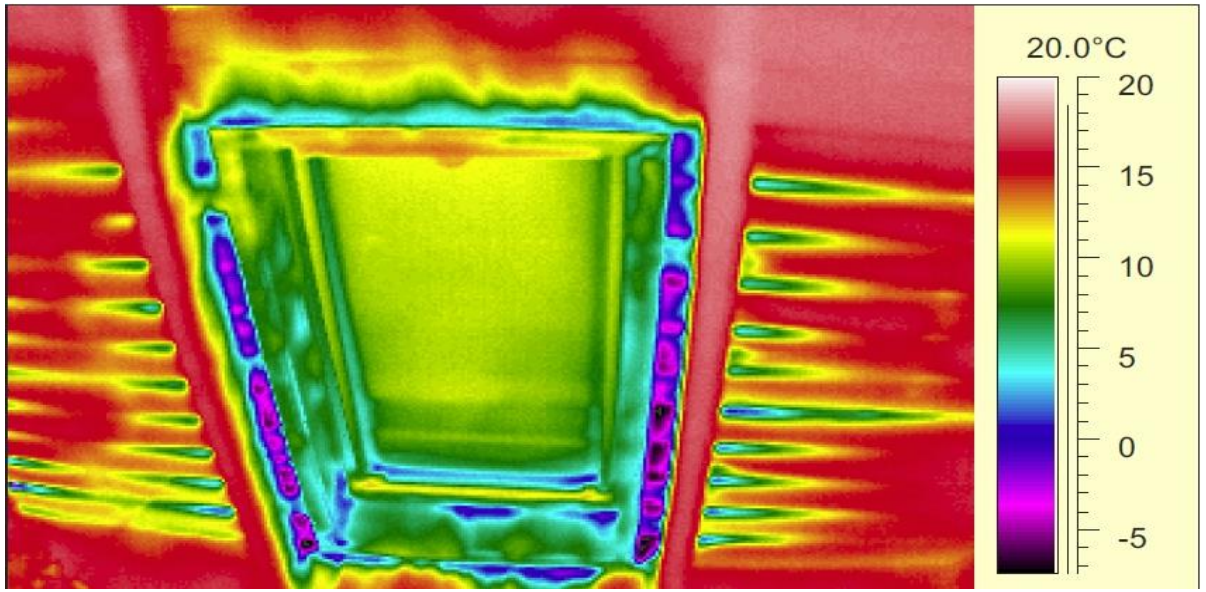


Richtiger Anschluss (wie oben)
wurde hier nicht ausgeführt

Sparrendach /Dachschräge

Luftundichter Anschluss

im Bereich des Dachflächenfensters (IR Thermografie)



Überprüfung der Luftdichtheit mit Nebel (Überdruckmessung)

Es wird mit einer Nebelmaschine im Innenraum Nebel erzeugt.

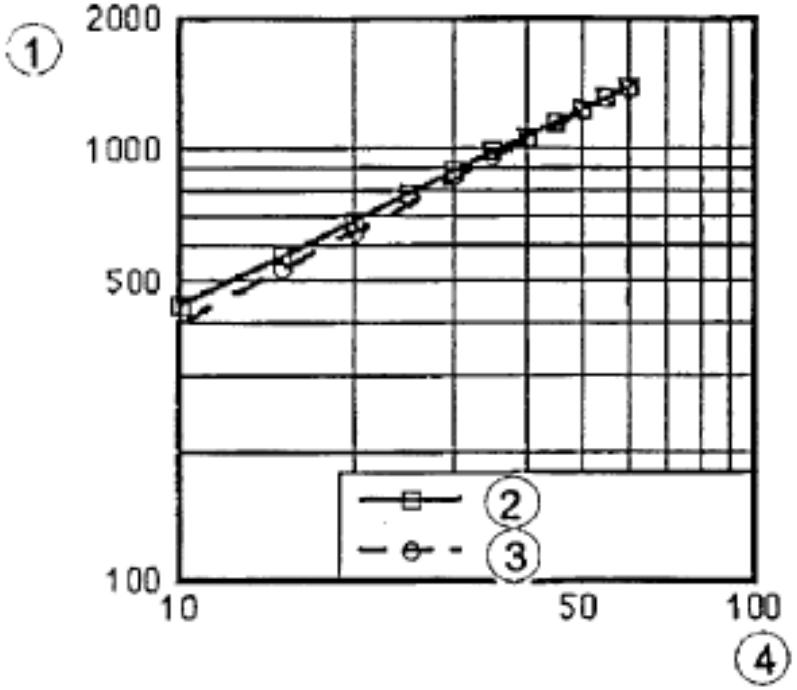
Dieser wird mit Überdruck durch Undichtheiten nach außen gedrückt.

Die Leckagen werden sichtbar gemacht.

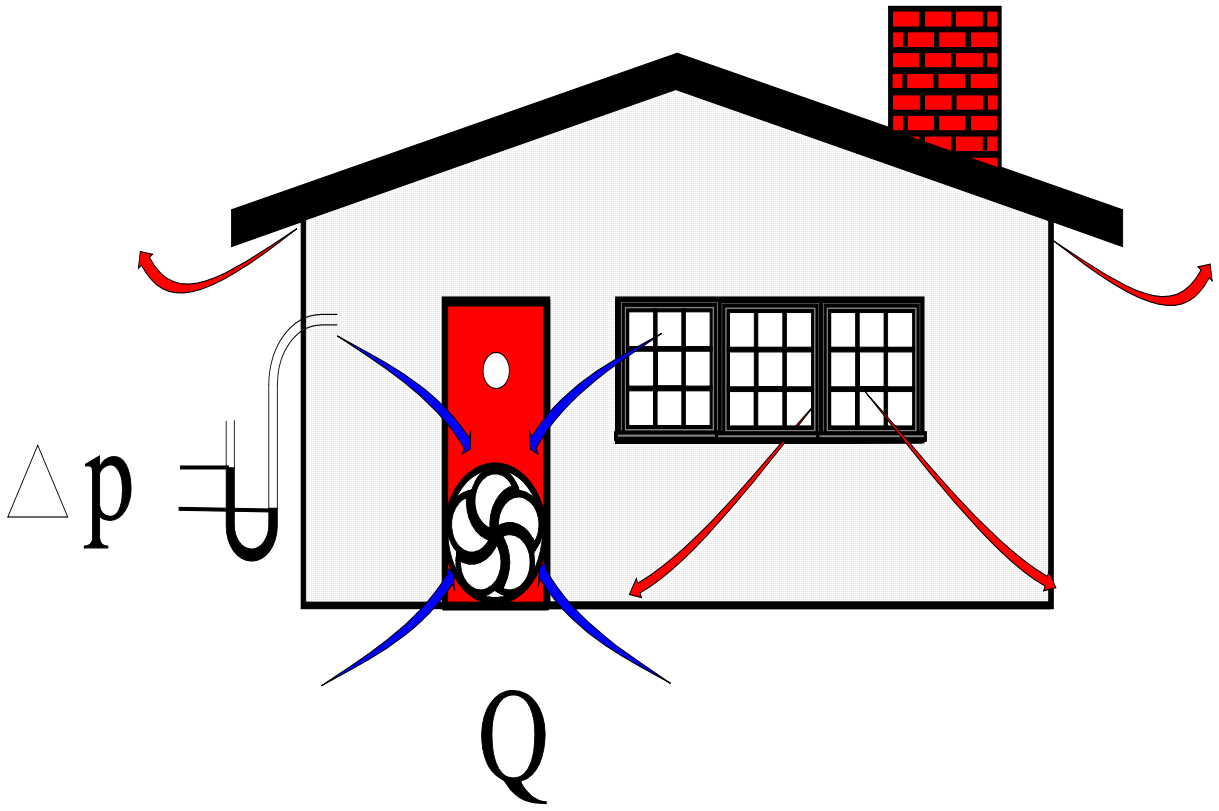
Luftdichtheit der Gebäudehülle

Messtechnische Überprüfung

Blower Door Test
Leckageortung



Überprüfung der Luftdichtheit mit dem Blower Door Test



Der Blower Door Test wird nach Fertigstellung der Luftdichtheitsschicht durchgeführt

Randbedingungen sind zu beachten (Temperaturdifferenz, Windstärke /natürliche Druckdifferenz)

Mit einem Ventilator wird ein Unterdruck erzeugt und der Volumenstrom (m² Luft/h) gemessen

Das Luftvolumen strömt durch Leckagen in das Gebäude ein

Der Versuch wird mit Überdruck wiederholt

Es wird der Volumenstrom bei 50 Pa Druckdifferenz innen /außen abgelesen

Überprüfung der Luftdichtheit

mit dem Blower Door Test - Auswertung

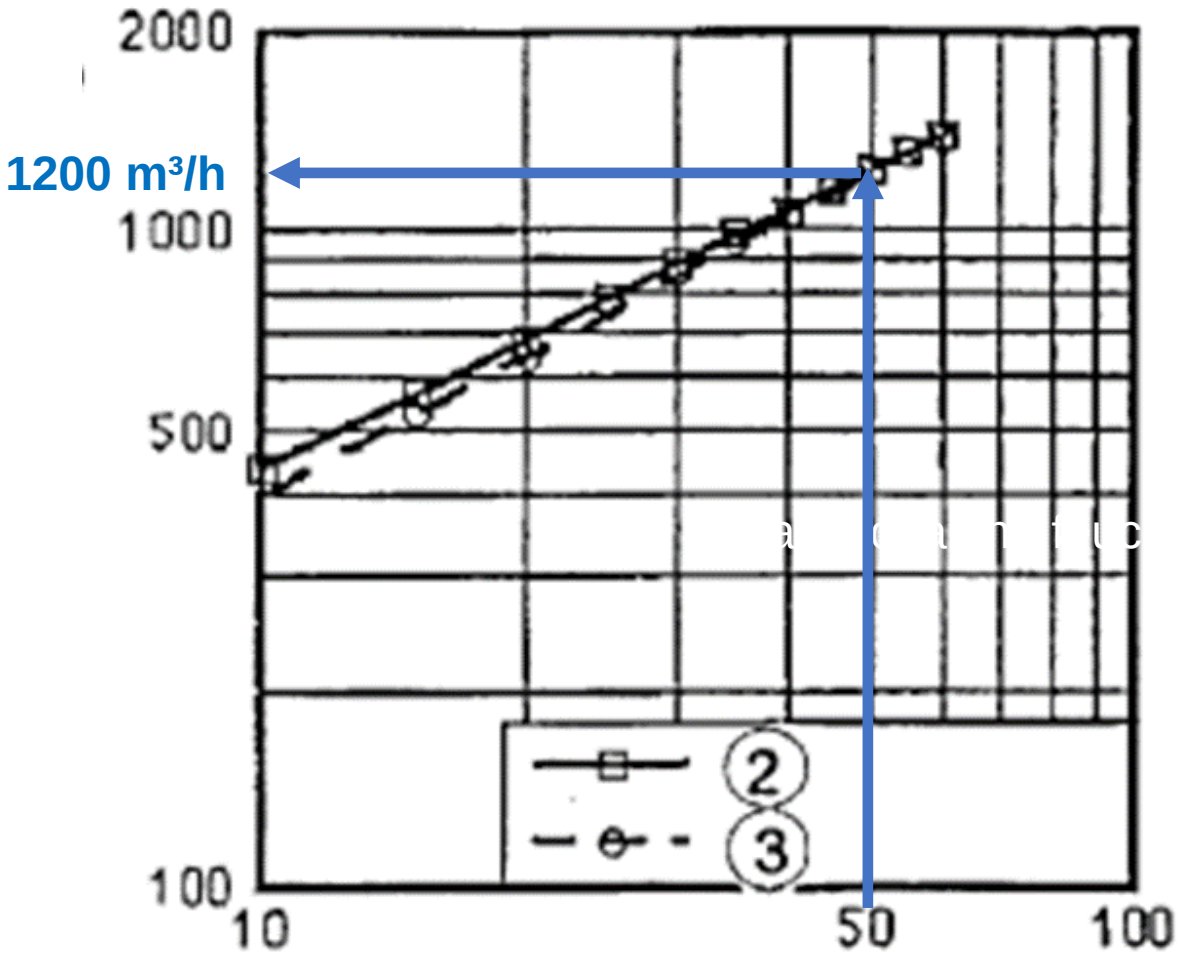
(1) Volumenstrom in m³/h:
(2) Unterdruck
(3) Überdruck
(4) Druckdifferenz
Gebäudevolumen in m³: V
Außenfläche in m²: A_E

Luftwechselrate bei 50 Pa

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V} \left[\frac{1}{h}\ ;\ h^{-1}\right]$$

Außenflächenbezogene Luftdurchlässigkeit

$$q_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_E} \left[\frac{m^3}{m^2\ x\ h}\right]$$



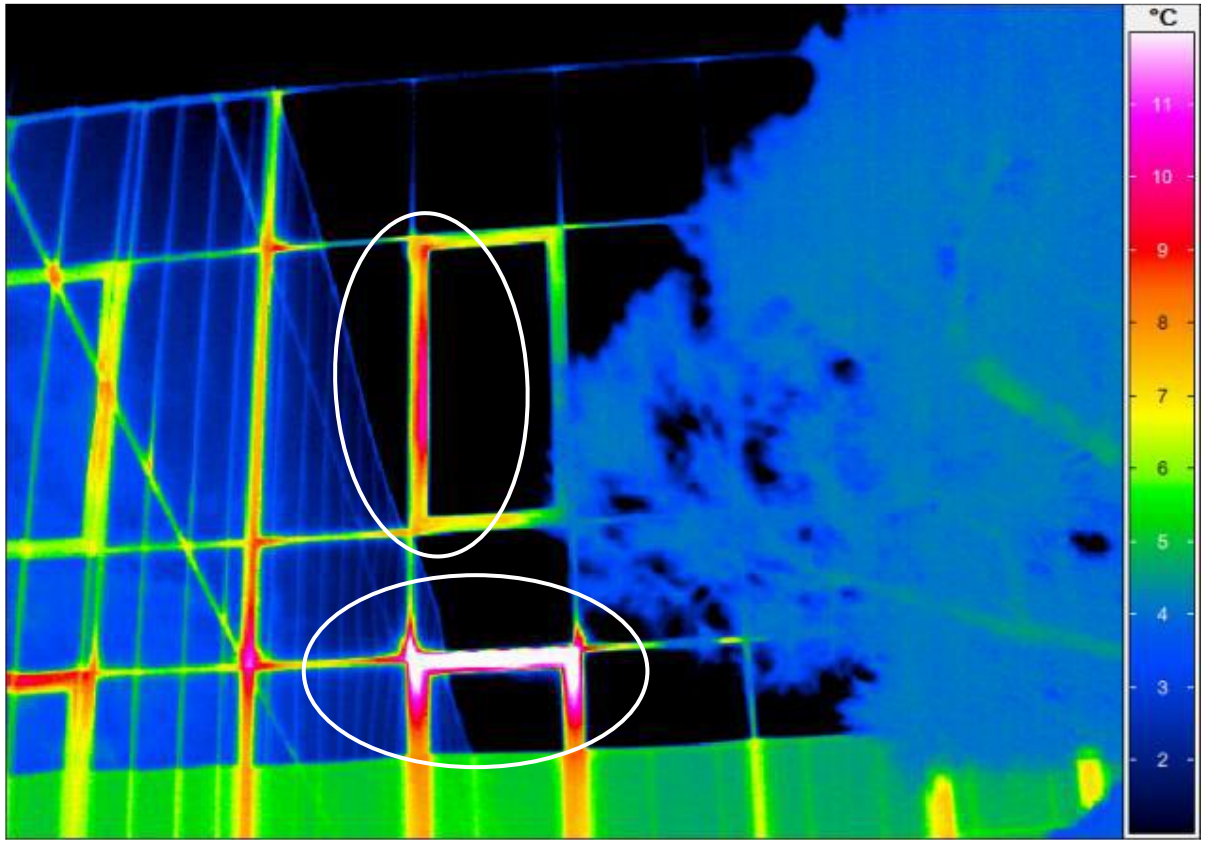
z.B. Luftwechselrate bei 50 Pa 1200 m³/h
Volumen 800 m³ → n_{50} = 1,5 /h

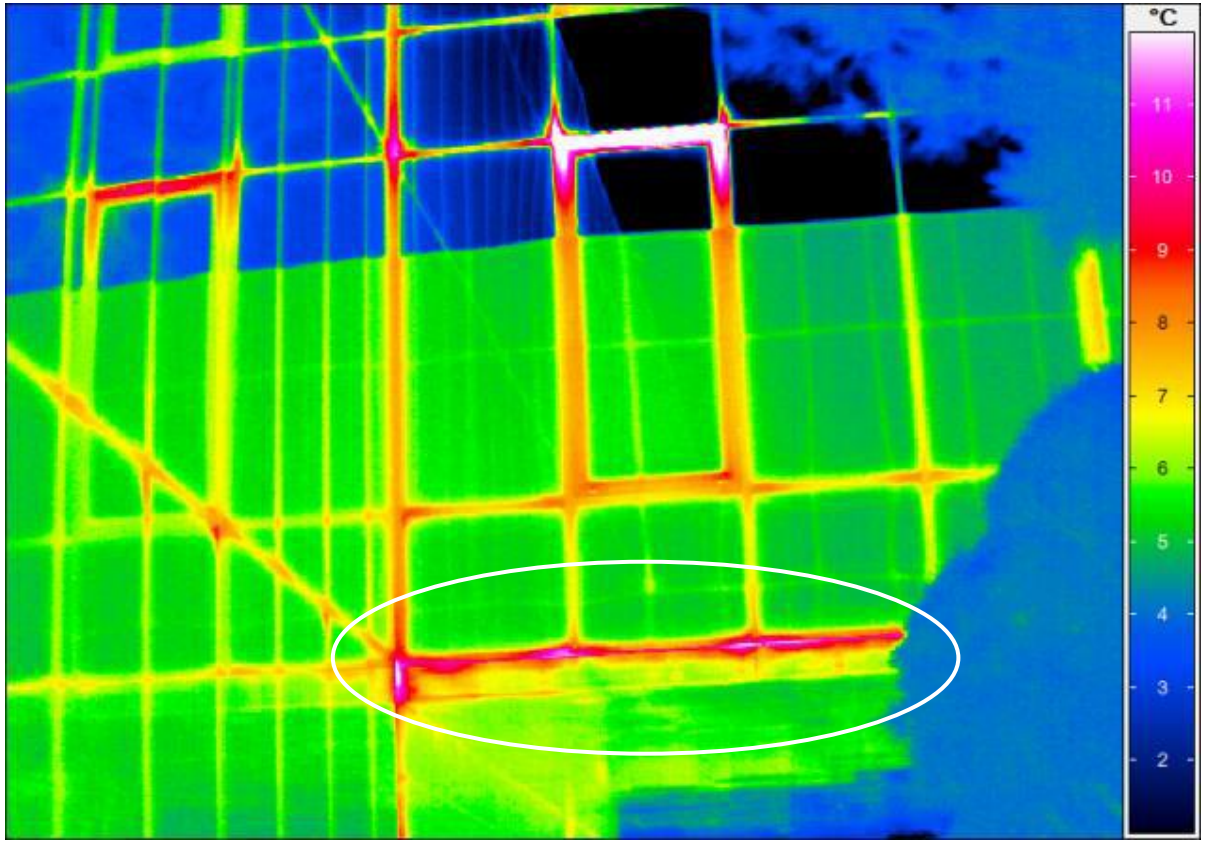
Messung der Luftdichtheit - Leckageortung

- Unterdruckverfahren
- Messung der Luftgeschwindigkeit der von außen nach innen hindurchströmenden Luft

Messung der Luftdichtheit - Leckageortung

- Unterdruckverfahren
- Identifikation der Luftundichtheit mittels IR-Thermografie





Bauschaden durch unzureichende Luftdichtdichtheit

Holz-Aluminium-Verbundfenster

3-fach- Wärmeschutz-Isolierverglasung

Anschluss an die Laibungen ist über ein zweischichtiges Dichtband ausgeführt:

- Fugenbreite: 15 mm
- Dichtband aufgequollen: ca. 20 mm

Fensteranschlüsse an die vorhandenen Bauteile sind nicht dicht

- Fehlstellen in der Luftdichtheitsebene
- keine ordnungsgemäße RAL-Montage

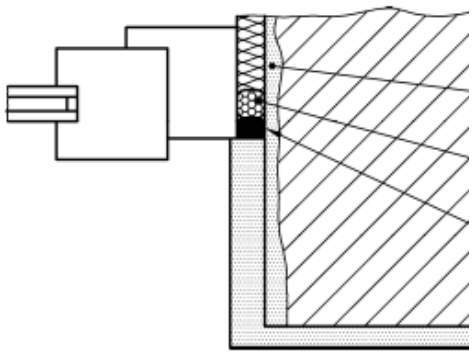
Abschätzung des Fugendurchlasskoeffizient aus der Messung

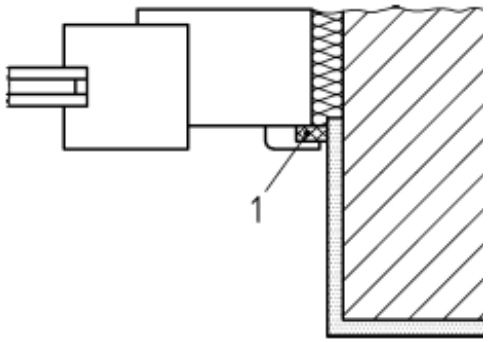
Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von v = 0,1 – 0,2 m/s errechnet sich ein Fugendurchlasskoeffizient von a = 0,5 – 2,0 m³/(m h daPa$^{2/3}$)

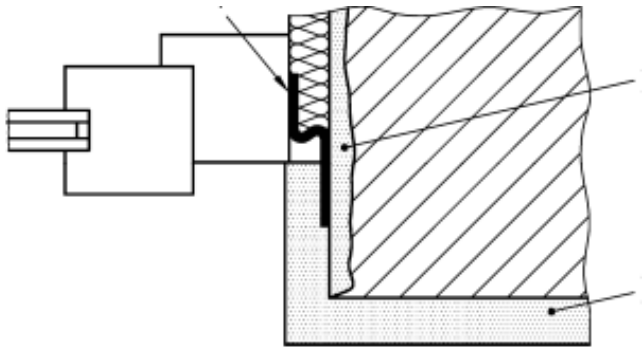
>> Anforderung a ≤ 0,1 m³/(m h daPa$^{2/3}$) ist nicht eingehalten!,
da Dichtband nicht ausreichend komprimiert (Ausführungsfehler).

RAL Einbaurichtlinie:
Multifunktionsbänder aus zweischichtigen vorkomprimierten Dichtbändern sind möglich,
aber es ist ein ausreichender Kompressionsgrad im eingebauten Zustand erforderlich.

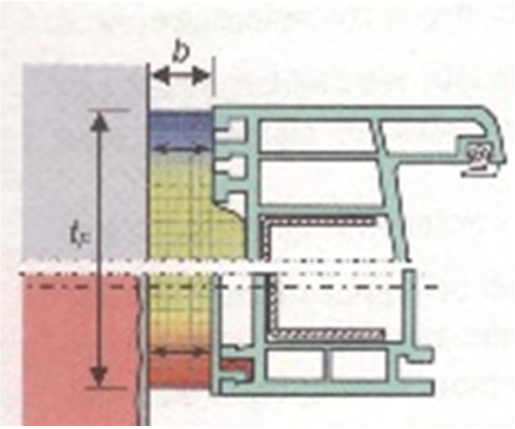
DIN 4108-7 (keine Multifunktionsbänder)







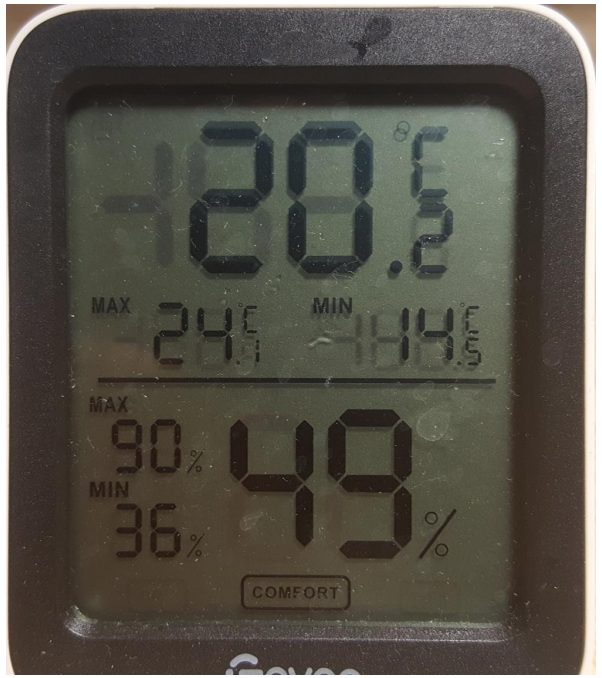
RAL (Multifunktionsbänder)



Wohnungslüftung

Verhinderung von Schimmelpilzwachstum

Hygienische Wohnverhältnisse
CO_2 Verminderung, Abtransport von Feuchtigkeit, Geruchsstoffen,…



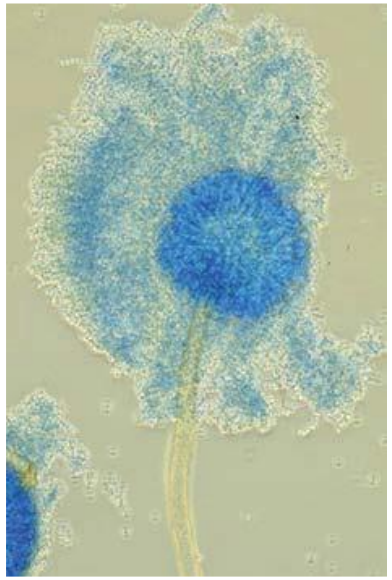
Feuchtigkeit durch Nutzer /Nutzung

- in einem 3 – 4- Personen-Haushalt verdunsten täglich 8 – 10 Liter Wasser.
- ein gewisser Teil des Wasserdampfes kann in der Baukonstruktion gespeichert werden (Sorption)
- durch den Luftwechsel muss die gesamte Feuchte abtransportiert werden können
- angemessene Feuchteregulierung in Innenräumen ist insbesondere in der Heizperiode erforderlich, da im Winter die Oberflächentemperaturen innen gering sind und an kälteren Oberflächen Tauwasserbildung /Schimmelpilzbildung entstehen kann.
- der erforderlich Luftaustausch ist auch abhängig von:
  - Außenlufttemperatur, kritisch ist insbesondere die Übergangszeit
  - Feuchteproduktion

Schimmelpilze – Voraussetzungen für Wachstum

im Wald

in der Luft



in der Wohnung

Wachstumsvoraussetzungen: Nährstoffe, Feuchte, ph-Wert

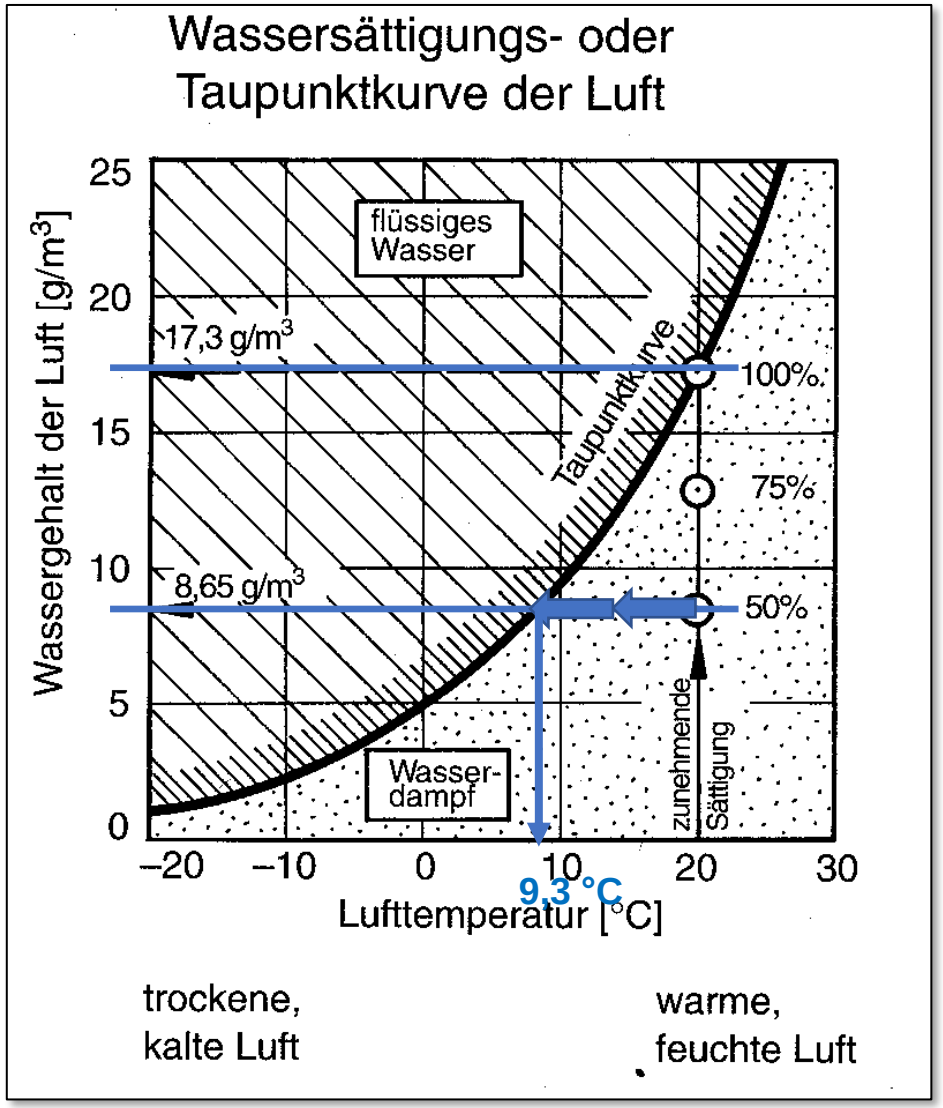
bei rel. Feuchte von 80% an der Materialoberfläche keimen die Pilze sehr gut, manche Pilze schon bei 70...75% relative Feuchte, verstärkt wird das Wachstum bei Tauwasserbildung

während des Keimens nehmen Sporen Feuchte aus der Luft auf, erst nach dem Keimen kann das Mycel Feuchte aus dem Material aufnehmen.

unter 70% rel. Feuchte wachsen i.A. keine Pilze (Achtung: dies ist die rel. Feucte vor der Bauteiloberfläche, nicht im Raum!)

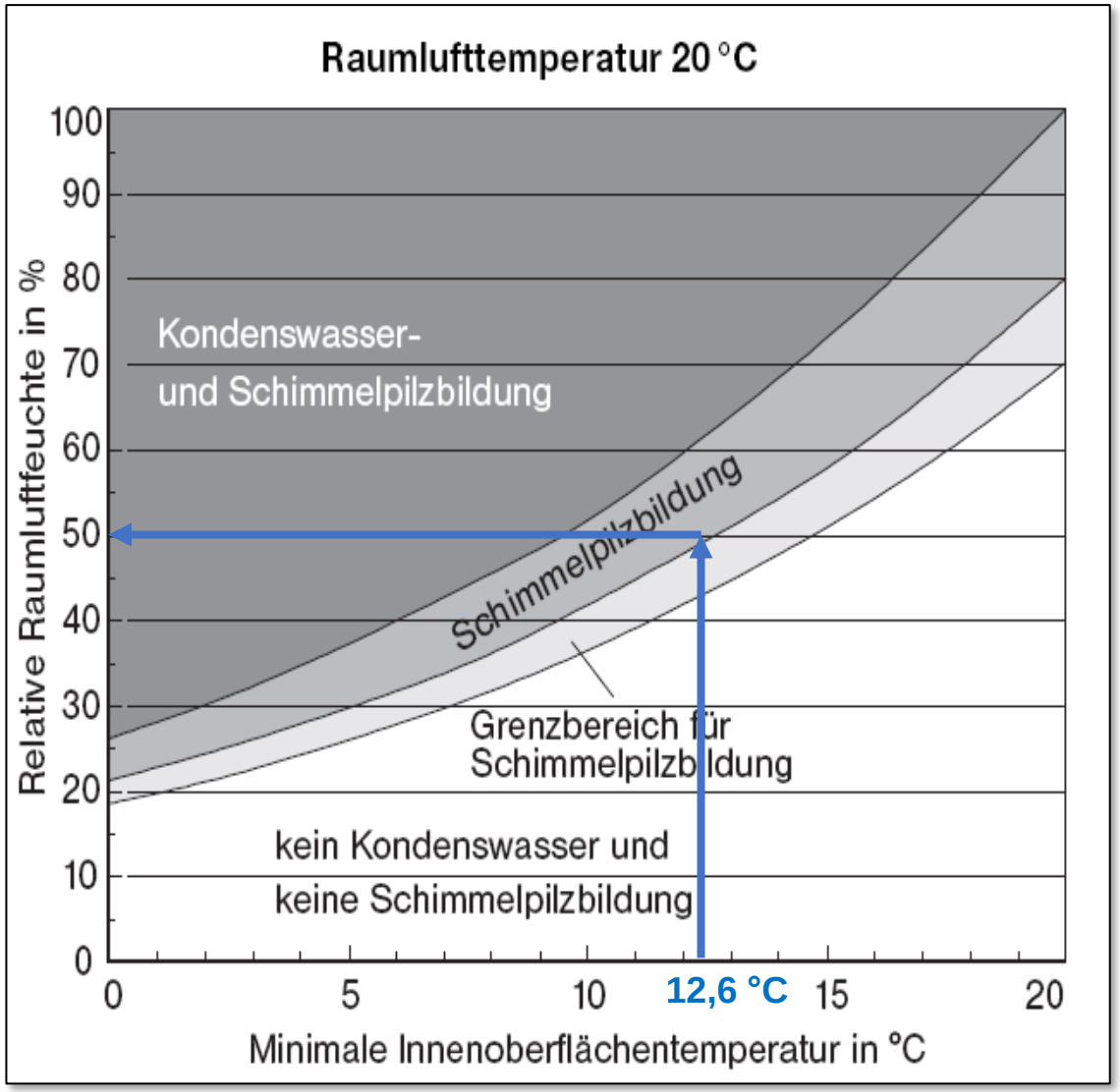
Wohnungslüftung
Temperatur – Raumlüftung - Luftfeuchtigkeit

relative Luftfeuchtigkeit Schimmelpilzkriterium

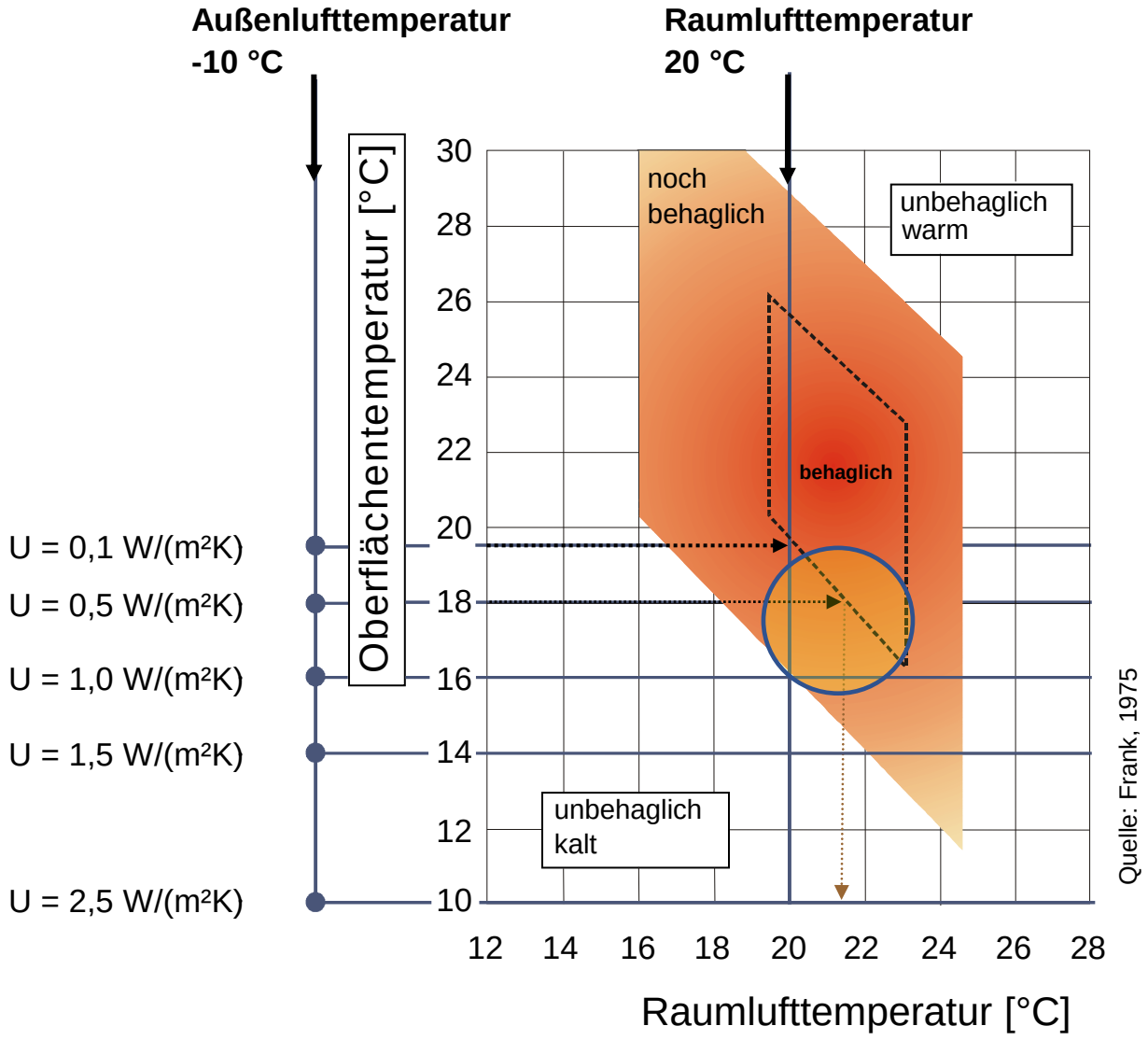


Die relative Luftfeuchte steigt an, wenn die Temperatur absinkt

Die Schimmelpilz gefahr steigt an, wenn die relative Luftfeuchte vor dem Bauteil auf etwa 80% steigt



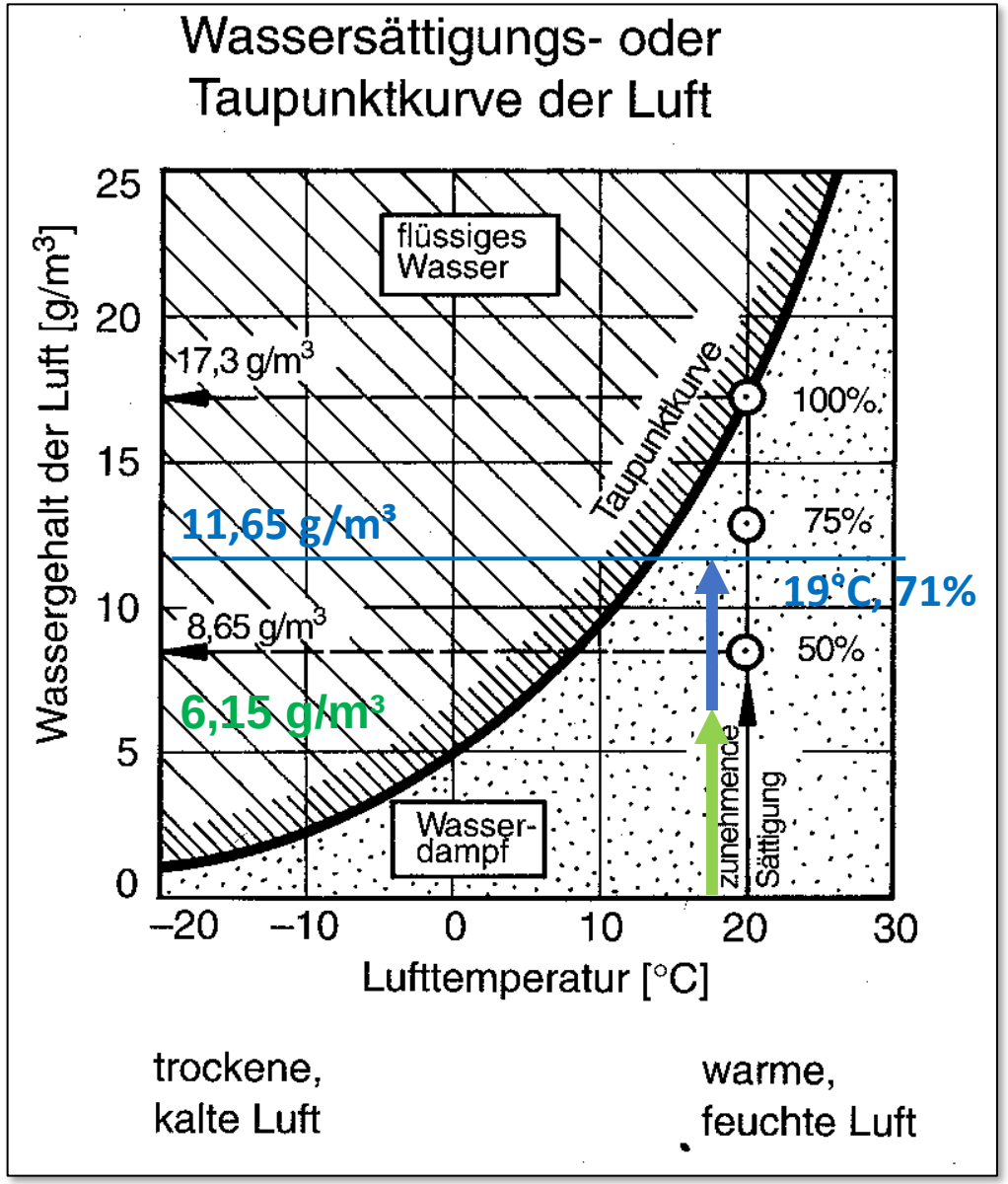
Temperaturen und Behaglichkeit -hohe Oberflächentemperaturen verhindern Schimmelpilze



Lüftung
- unkontrolliertes Lüften vermeiden
- Fensterfugen und Türfugen abdichten

Temperatur und Behaglichkeit
- Raumlufttemperatur Θ_L
- Oberflächentemperatur innen Θ_{iO}

Beheizung und Lüftung von Wohnungen
Feuchteanstieg durch Nutzer /Nutzung

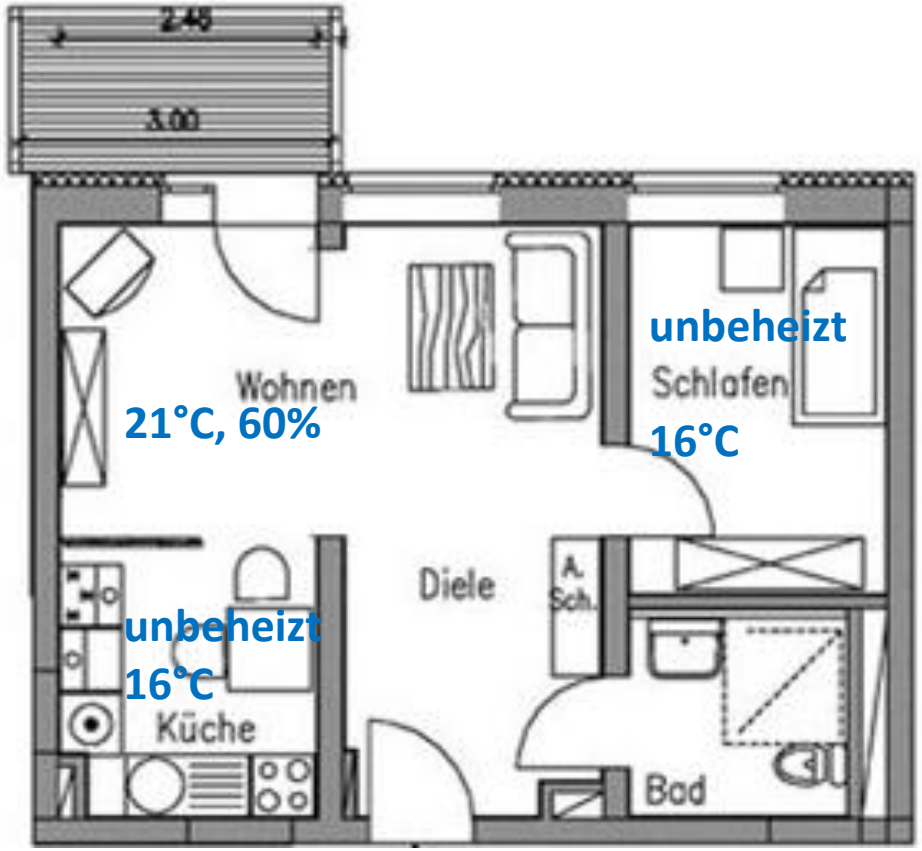


Wohnung insgesamt

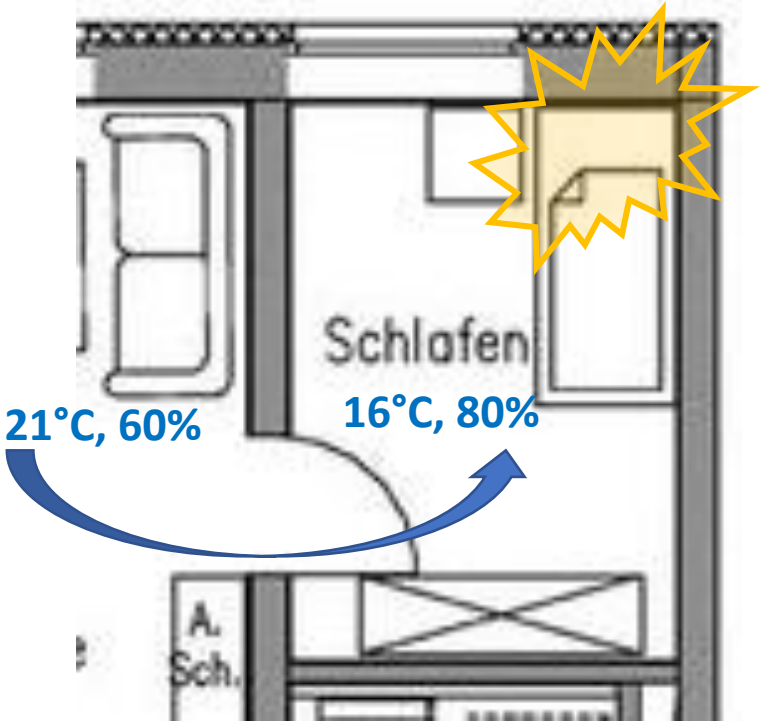
- Durch die Nutzer werden pro Tag etwa 3l Wasser je Person eingebracht (Atemluft, Kochen, Duschen, Reinigungswasser, Blumen gießen,…)
- Annahme: die Wohnung wird gelüftet, der „Ausgangswert“ liegt dann bei 18 °C, 40% rF, demnach die absolute Feuchte bei 6,15 g/m³.
- Feuchtezuwachs in 4 Stunden, durch: Atemluft (50 g/hPers) 200 g, Kochen 300g und Sonstiges 50g
- Wohnung mit 100 m³ (40 m² Wohnung), 4 Stunden Nutzungszeit, Feuchtezuwachs 550 g, Temperatur 19°C: absolute Feuchte 11,65 g/m³, relative Feuchte 71%
- Bei Beheizung der Wohnung auf 20°C ergibt sich eine rel. Feuchte von 67%; bei 22°C: 60%
- Achtung: Lüften!

Beheizung und Lüftung von Wohnungen

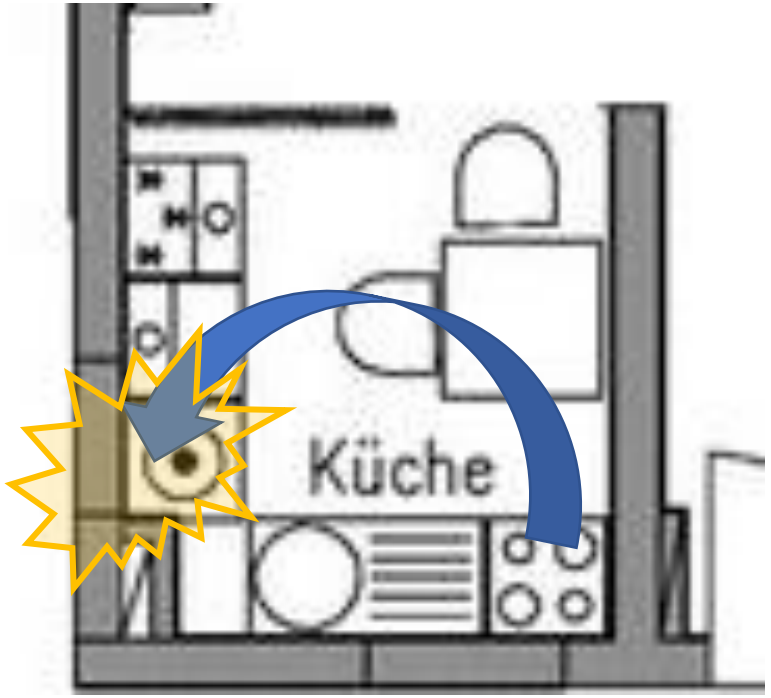
sehr unterschiedliche Temperaturen in den Räumen
Wohnzimmer 21°C, 60% rF
Küche, Schlafzimmer unbeheizt 16°C
Bauteile in den unbeheizten Räumen:
Oberflächentemperaturen 8°C…14°C



Luft aus dem Wohnbereich strömt in das Schlafzimmer
Mit der Abkühlung auf 16°C
Steigt die relative Luftfeuchte
→ 81%
Bauteil innen 13°C..14°C
Schimmelpilzwachstum!

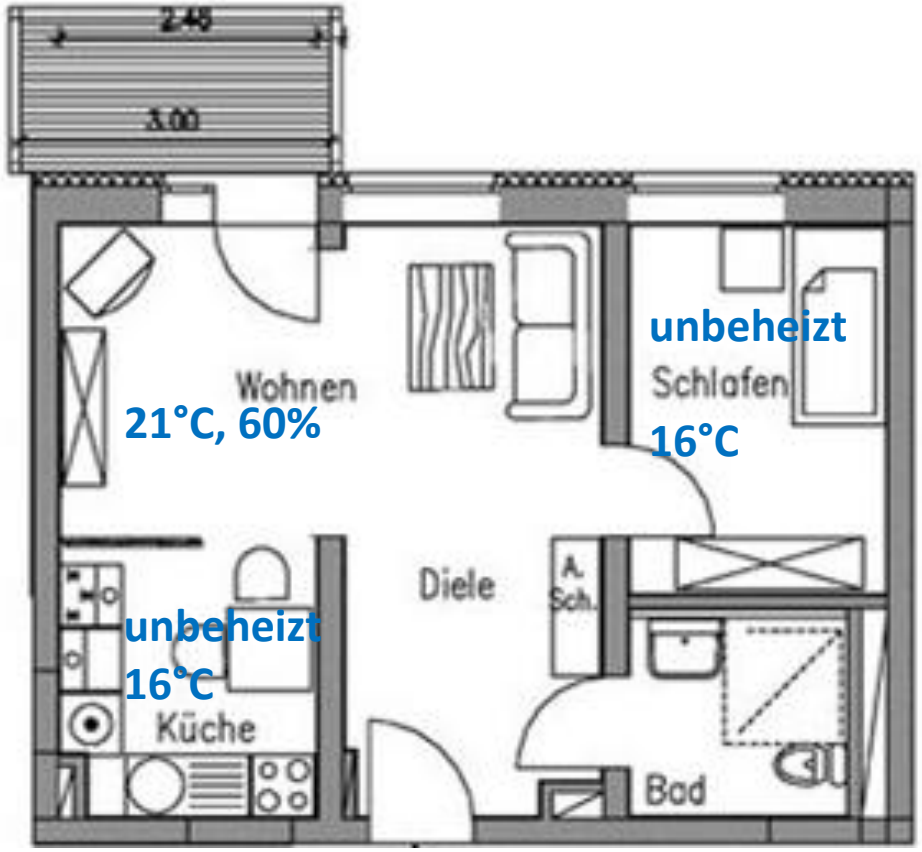


Luft in der Küche wird durch Wasserdampf /Kochen befeuchtet.
Ohne Beheizung der Küche steigt die relative Feuchte vor den kalten Bauteilen an:
Schimmelpilzwachstum!

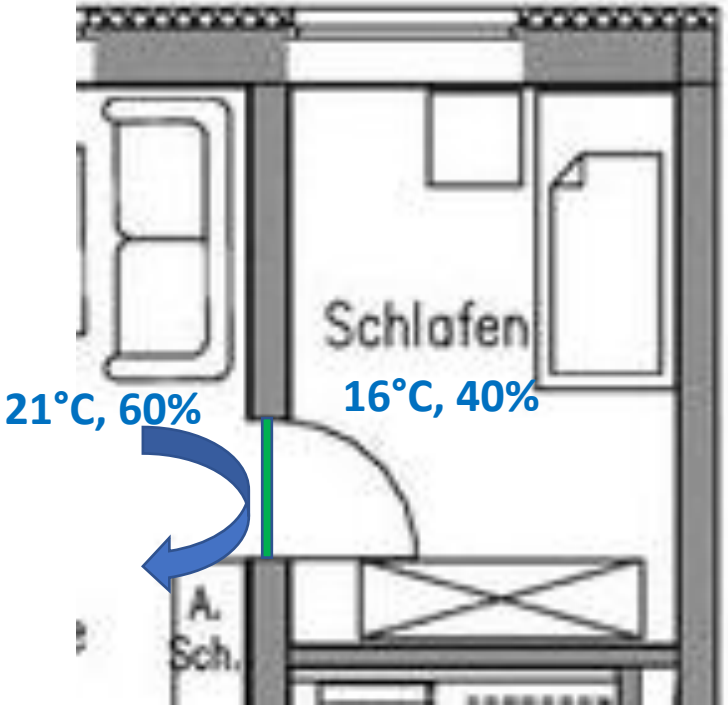


Regeln für die Lüftung von Wohnungen

Maßnahmen
um Schimmelpilzbildung zu verhindern:
Wohnzimmer 21°C, 60% rF
Küche beheizt 21°C
Schlafzimmer beheizt 16°C

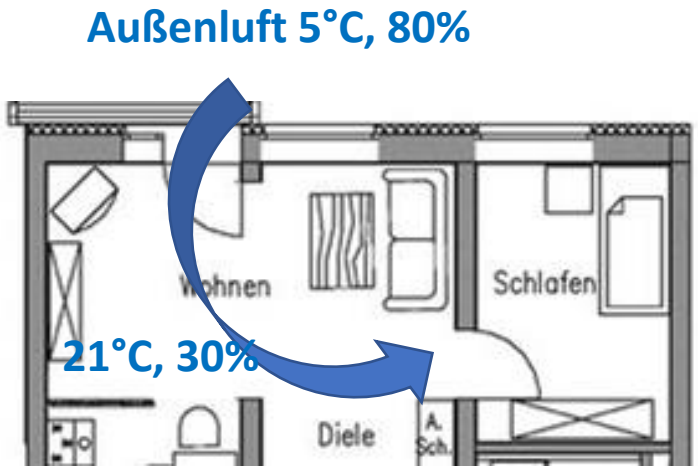


Luft aus dem Wohnbereich nicht in das Schlafzimmer strömen lassen,
Lüften, außen 5°C, 80% rF
Innen damit: 16°C, 40% rF
Oberflächentemperatur 14°C
vor dem Bauteil 45%rF,
kein Schimmelpilz



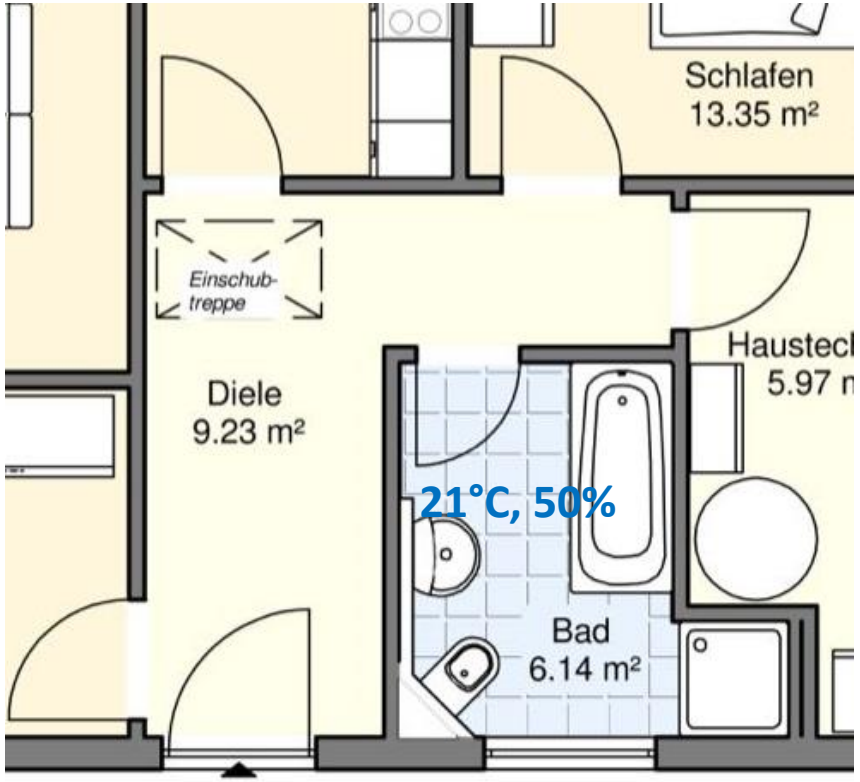
aber:
Anstieg der rel. Feuchte durch Atemluft, Raum 20 m³:
8 Stunden eine Person 50 g/h wäre zu hoch,

daher Lüften des Wohnbereichs 21°C → rel. Feuchte 30%, Feuchte aus Atemluft kann aufgenommen werden



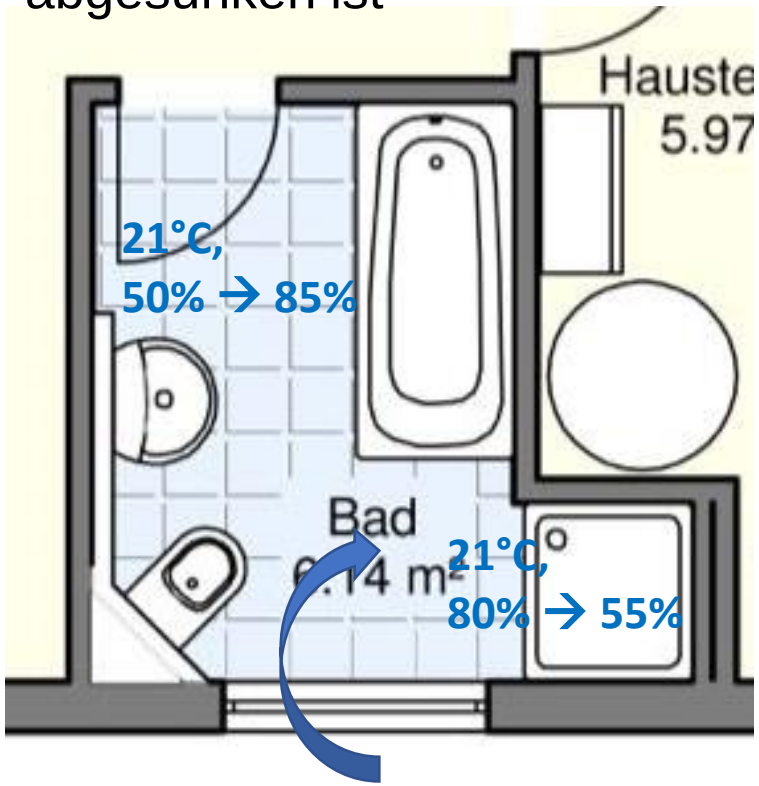
Regeln für die Lüftung von Wohnungen

Räume, in denen durch Nutzung sehr hohe Feuchtelasten entstehen: Bad während eines Duschbades bis zu 1200g Wasserdampf. Wasserdampf „schlägt sich an Gläsern, Spiegeln. Fliesen nieder“ Die rel. Luftfeuchte steigt über 85%



Badtür geschlossen halten Nicht in Richtung der sonstigen Räume lüften. Fenster öffnen bis Luftaustausch spürbar wird (Luft wird kühler, Tauwasserbildung auf Außenseite des geöffneten Fensters lässt nach), Wasser von Oberflächen entfernen

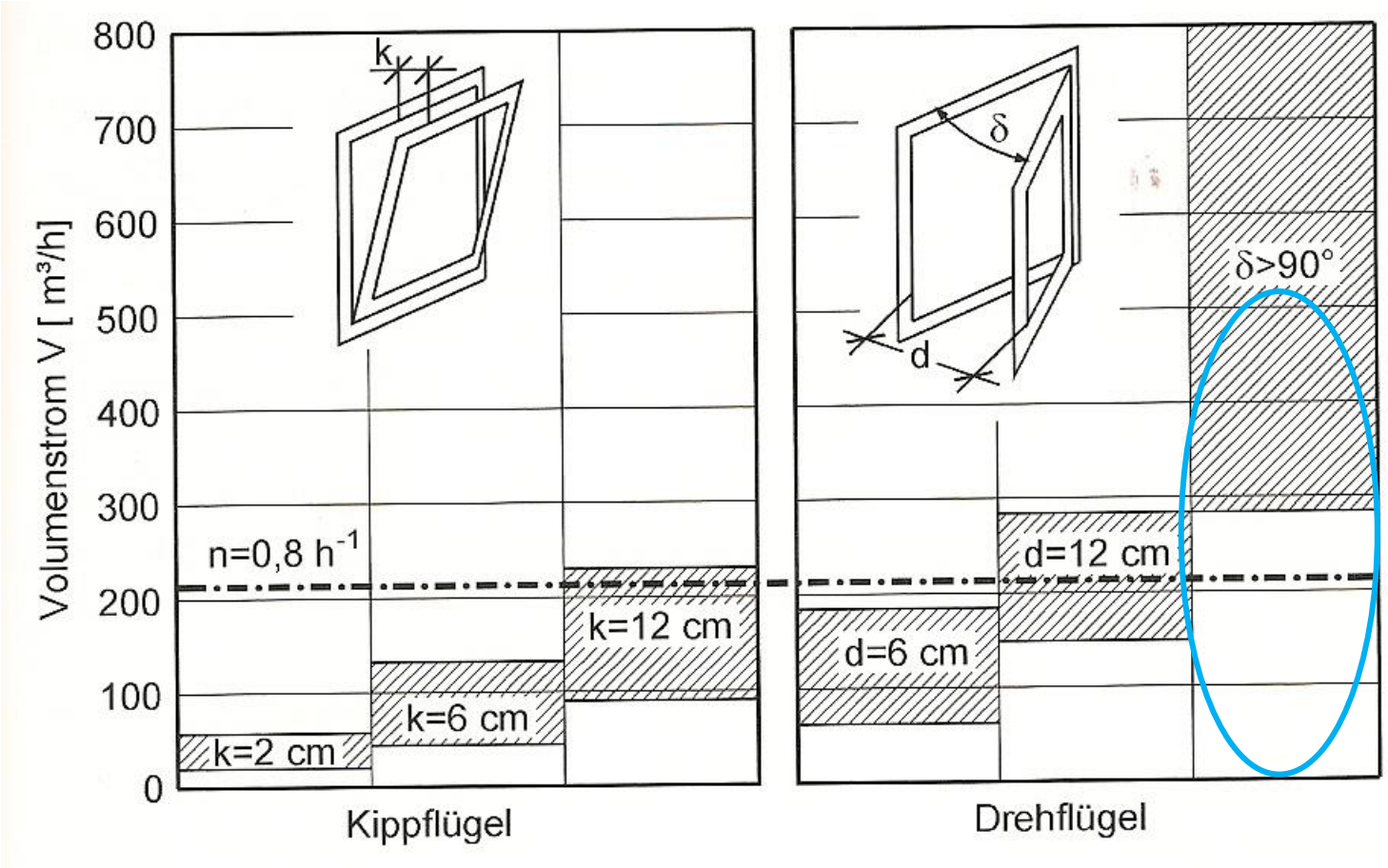
Lüften des Bades mind. 5 min bei voll geöffnetem Fenster
Die Temperatur sinkt in dieser Zeit kaum, die rel. Feuchte dagegen sehr stark. Lüften, bis rel.Feuchte auf 55% abgesunken ist



Wie effektiv ist die Fensterlüftung von Wohnungen

Kipplüftung

Fenster in Drehstellung



Volumenstrom

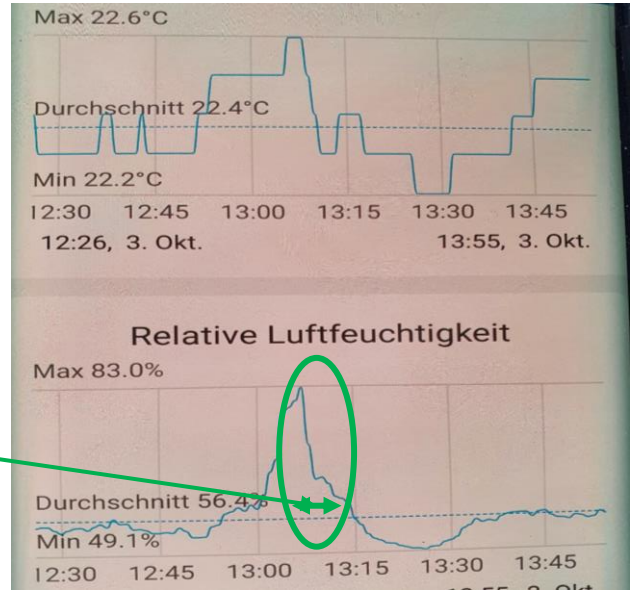
durch freie Lüftung bei Drehkippfenstern

bezogen auf den notwendigen Luftwechsel einer 100 m² großen Wohnung Volumen 250 m³

Luftwechselzahl n = 0,8 h^{-1}

Kipplüftung vermeiden,

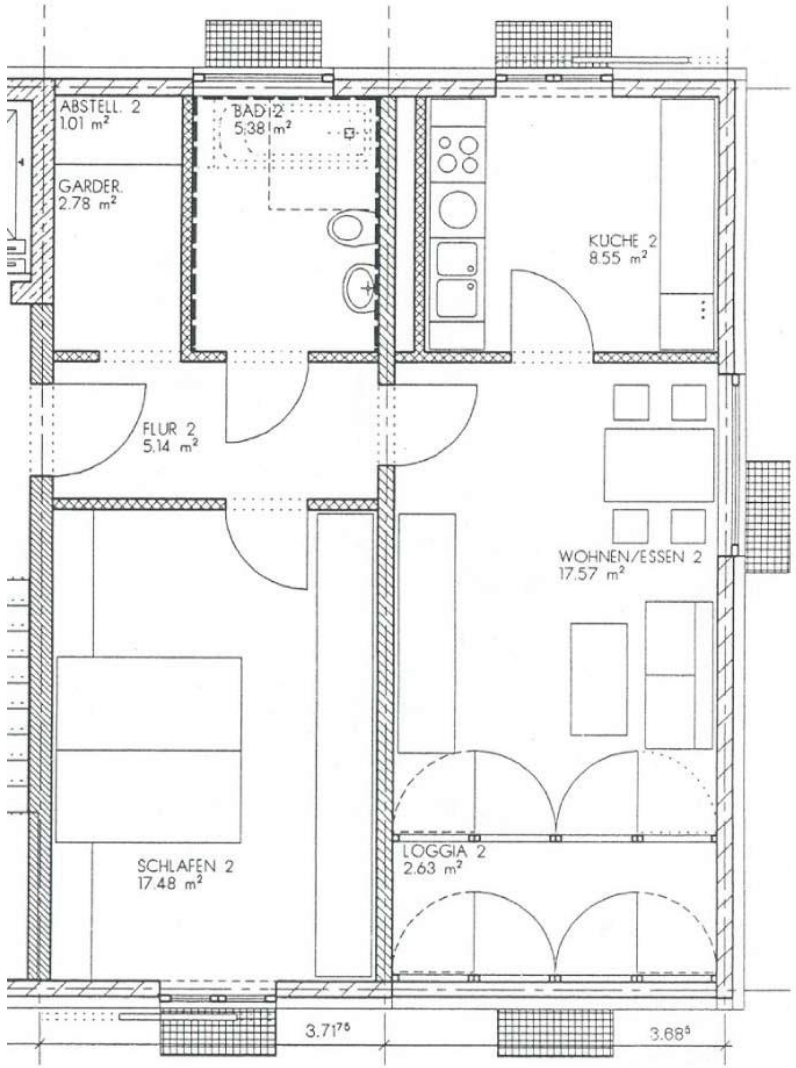
Stoßlüftung: Fensterflügel gedreht



Duschbad: Feuchteanstieg im Bad auf 85% rF, Tauwasseranfall an Oberflächen

nach 7 min Stoßlüftung: Feuchte reduziert, Temperatur nahezu unverändert

Regeln für die Vermeidung von Schimmelpilzen in Wohnungen

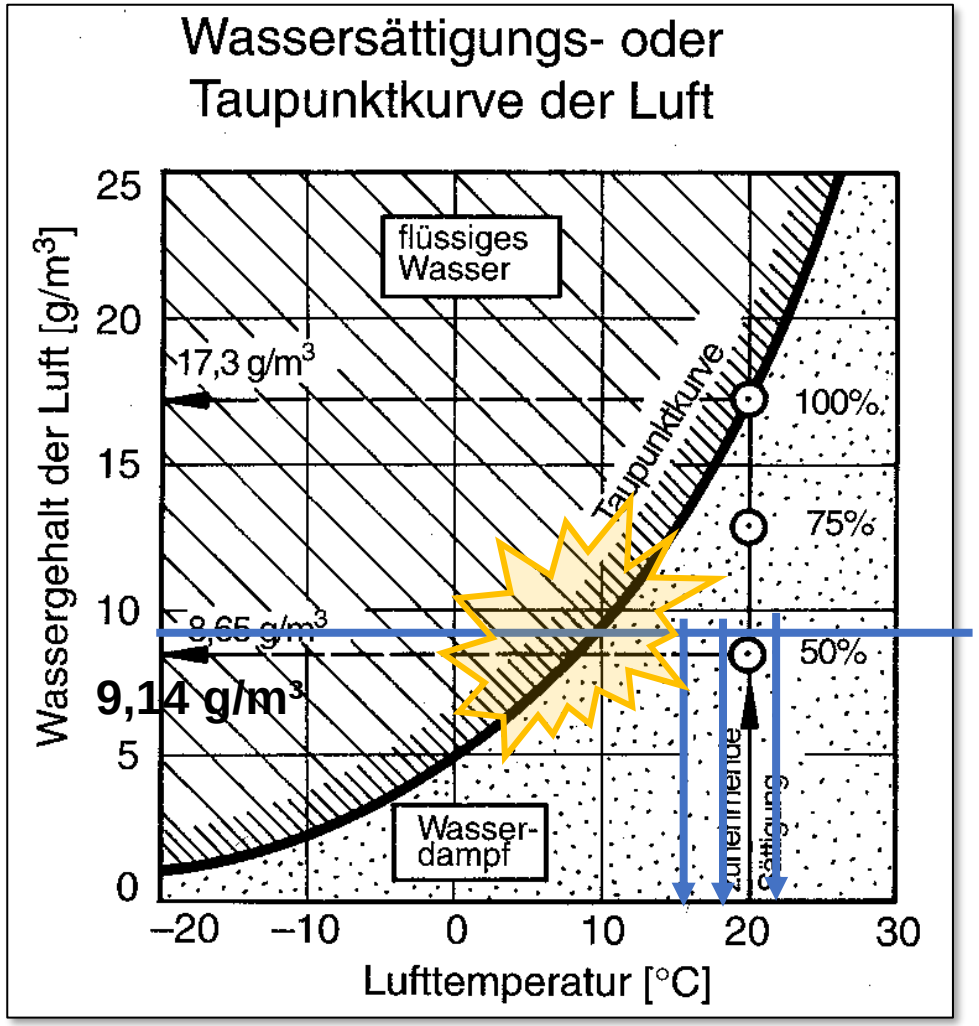


Absenkung der Raumlufttemperatur von 21°C auf 19°C

rel. Feuchte bei 21°C: 50%

bei 19°C und bei gleicher Feuchtelast in der Wohnung
rechnerisch rel. Feuchte: 56%

bei 16°C (in einigen Räumen) und Gleichverteilung der Luft in den Innenräumen
rechnerisch rel. Feuchte: 69%



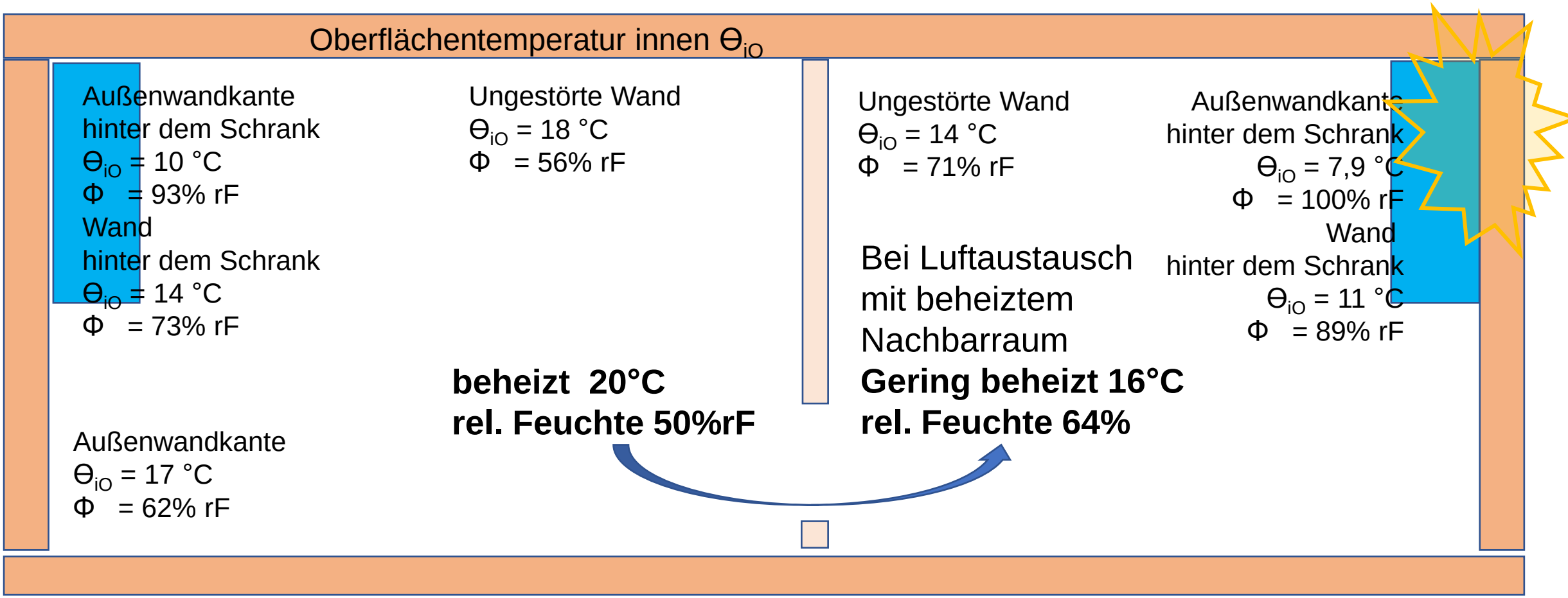
Tauwassergefahr
an Oberflächen mit etwa 13°C

16°C	19°C	21°C
69%	56%	50%

Die **Gefahr der Tauwasser- /bzw. Schimmelpilzbildung** steigt,

- mit schlechter werdendem Wärmeschutz der Bauteile
- bei größeren Abdeckungen durch Vorhänge, Schränke usw.
- mit geringer werdender Temperatur

U-Wert U_{AW} = 0,6 W/(m²K) Außenlufttemperatur -5°C

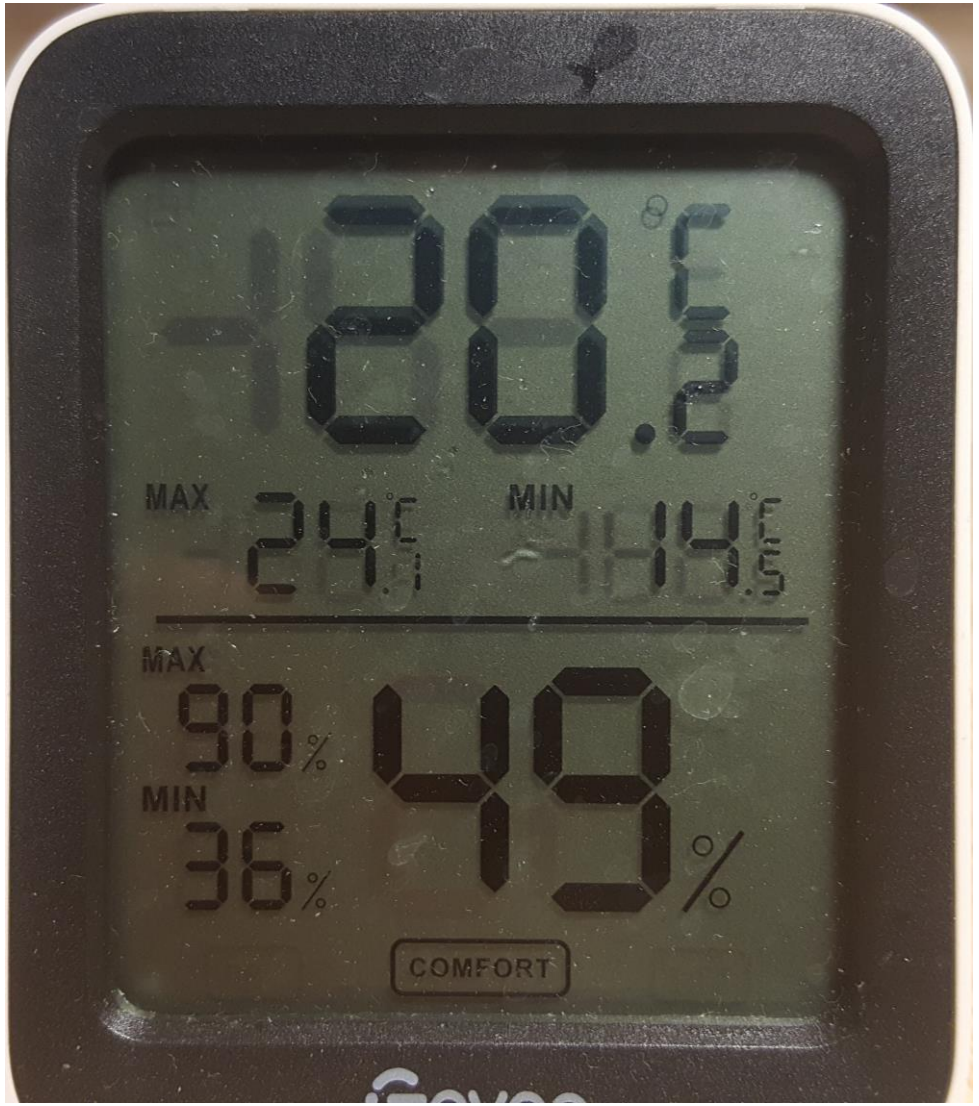


Nutzerbedingt: hohe relative Feuchte durch Nutzung –wie erkennen?

wie sind ungünstige, zu hohe relative Feuchte-Verhältnisse zu erkennen?

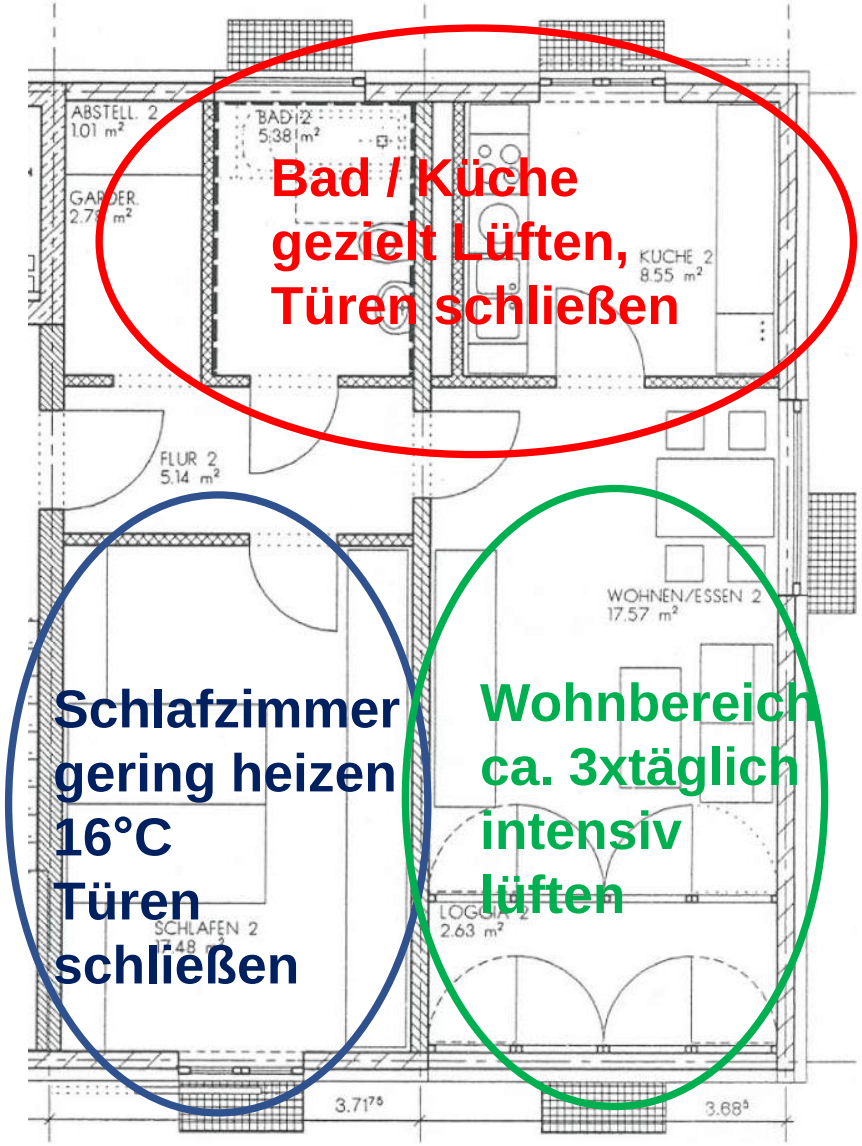
feuchte Gläser innen

einfache elektronische Thermohygrometer



Schimmelpilzwachstum vermeiden.
Richtig Lüften

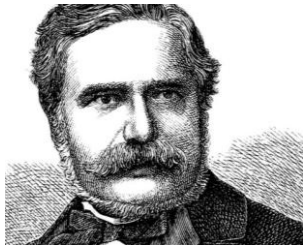
- Sofortiges Reagieren und Lüften, wenn Feuchtespitzen auftreten: unmittelbar nach dem Baden / Duschen / Kochen
- Türen von feuchten Räumen geschlossen halten, bis zum Abschluss einer wirkungsvollen Lüftung
- Wirkungsvolle Lüftung durch Drehen der Öffnungsflügel (mehrfach, aber kurz, ca. 10 min), keine Kippstellung der Fenster
- Lüftung nur nach außen (Fensterlüftung) nicht in benachbarte Räume, insbesondere nicht in benachbarte kalte Räume
- Lüftung morgens (Feuchte abtransportieren) und abends (vor dem Schlafengehen, um nachts Feuchtepuffer zu haben).



Atmende Wände?

Gibt es nicht!

Der Irrtum des genialen Max von Pettenkofer



Mediziner, Chemiker, Apotheker, Epidemologe
1818 -1901

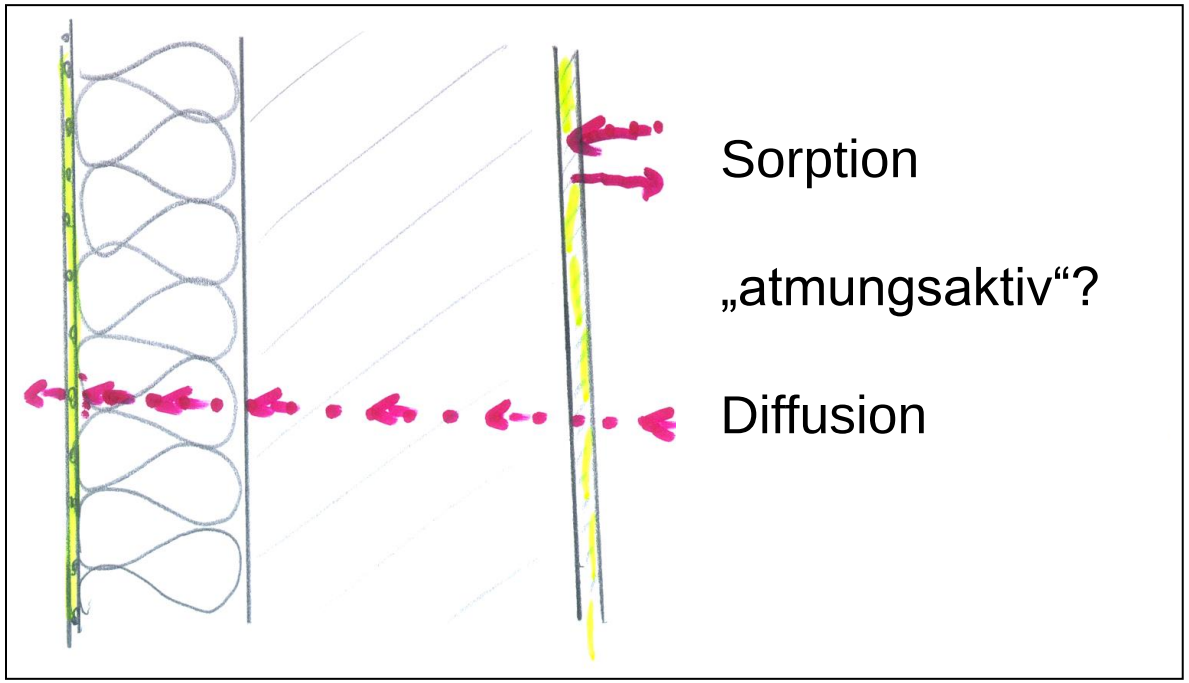
Von Pettenkofers Versuch zum Luftwechsel in einem Wohnraum

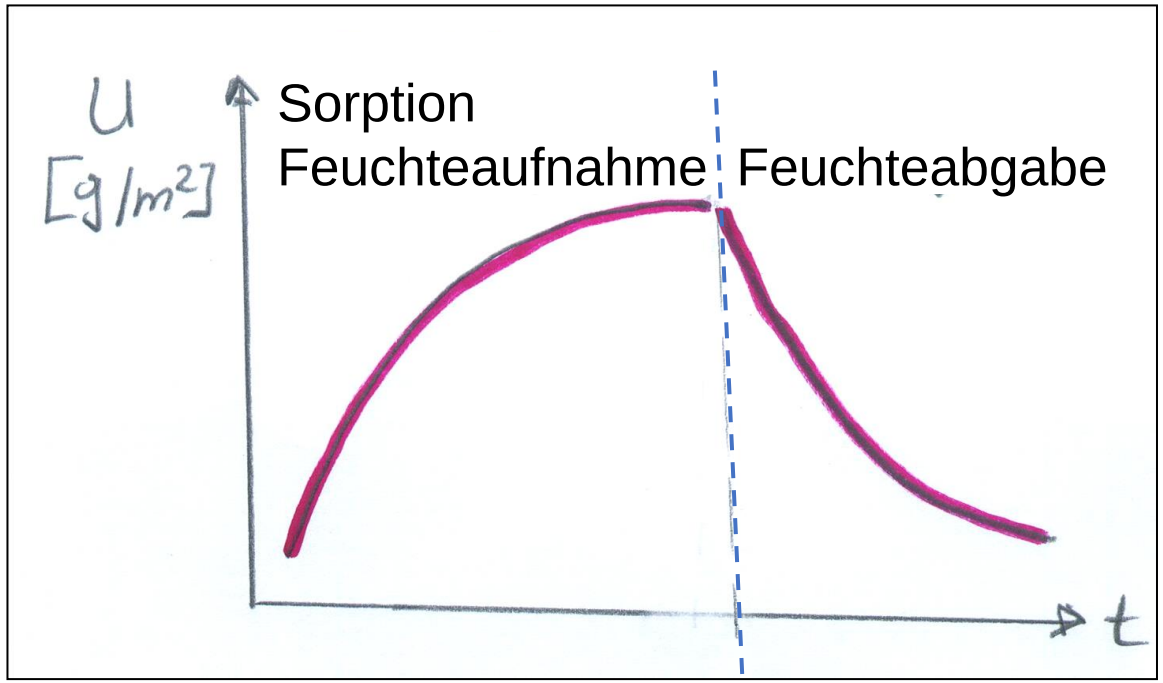
- Abdichtung aller Fugen
- Messung der Luftwechselrate
- Die Luftwechselrate sank nach der Abdichtung der Fugen weniger als erwartet
- Schlussfolgerung: die Wände müssten Luft hindurchlassen
- vermutlicher Fehler: von Pettenkofer dichtete den Kamin des Ofens nicht ab

- nicht die Wände lassen Luft hindurch, sondern die direkten Verbindungen innen – außen

- es gibt zwar keine „atmenden Wände“, aber die
  Sorptionsfähigkeit von Oberflächen ist wichtig für das Raumklima

Sorption – Diffusion – atmungsaktiv ?





Baustoffe sollen oberflächennah Wasserdampf aus der Luft aufnehmen
Baukonstruktionen der Gebäudehülle müssen luftundurchlässig sein

Wasserdampfdiffusion ist für den Wasserdampfabtransport aus Innenräumen unbedeutend
Wasserdampf muss aus Innenräumen durch Lüftung abtransportiert werden

Sorption

Berechnung des Feuchtezuwachses mit den absoluten Zahlen ist nicht zutreffend, da im Raum sorptive Oberflächen vorhanden sind.

Die Baustoffe (oberflächennahe Schichten, wie Tapeten, Putze, auch Stoffe, Teppiche usw.) nehmen bei ansteigender relativer Feuchte Wasserdampf aus der Luft auf.

Bei geringer werdender Luftfeuchte (nach Raumlüftung) geben Die Baustoffe die Feuchtigkeit ab.

Längere Lüftungsphasen sind geeignet die Baustofffeuchtigkeiten zu reduzieren, aber damit sind größere Energieverluste verbunden!

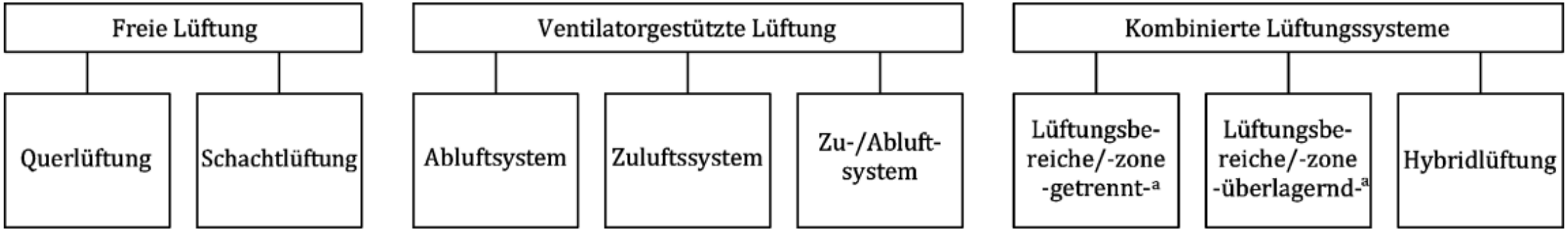
Deshalb: **häufiger intensiv Lüften**.

Durch die sorptiven Baustoffe (oberflächennah, wenige mm Dicke) entsteht eine „Pufferwirkung“

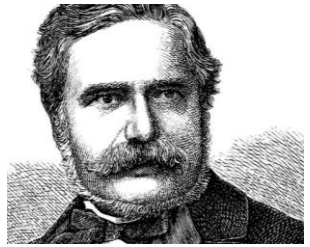
Wichtig: sorptionsfähige Oberflächen in Innenräumen

Lüftungskonzepte nach DIN 1946-6

Lüftung zum Feuchteschutz – reduzierte Lüftung – Nennlüftung - Intensivlüftung



Mindestluftwechsel zur Gewährleistung hygienischer Bedingungen: Die Bedeutung der „Pettenkofer Zahl“



Sauerstoff

- Deckung des Sauerstoffbedarfes ca. 1 - 3 m³/(Stunde Person)

Geruchsstoffe und CO_2-Konzentration

- physiologische erforderliche Außenluftmenge zur Begrenzung der Kohlendioxid-Konzentration und anderer gasförmiger Stoffwechselprodukte 10 - 30 m³/(Stunde Person)

Als Leitwert zur Festlegung der Luftwechselrate eignet sich der CO_2-Gehalt, weil er durch die Nutzer verursacht wird und nicht veränderbar ist.

- gute Luftverhältnisse CO_2 Gehalt 1000 ppm
- hygienischer Grenzwert von 1.500 ppm

wird bei der Zufuhr von 20 m³/(Stunde Person) eingehalten.

Lüftung von Wohnungen -Regelwerke

- DIN 4108-2 und Gebäudeenergiegesetz GEG

  Gebäude müssen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik luftundurchlässig ausgeführt werden.

  Auf einen ausreichenden Luftwechsel aus Gründen der Hygiene, Begrenzung der Raumluftfeuchte und Zuführung von Verbrennungsluft ist zu achten.

- DIN 1946-6

  für Wohnräume ist ein Lüftungskonzept zu entwickeln.
  Das Lüftungskonzept kann auf freier oder ventilatorgestützter Lüftung basieren.

- Für hygienische Raumklimabedingungen ist ein durchgängiger Luftwechsel während der Heizperiode von 0,5 1/h ausreichend.

geringer Lüftungswärmeverlust vs. hygienischer Luftwechsel

DIN 1946-6 Lüftung von Wohnungen

DIN 1946-6:2019-12, Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung

Anwendungsbereich:

- freie und ventilatorgestützte Lüftung
  - von Wohnungen und gleichartig genutzten Nutzungseinheiten.
  - Wohn-, Alten- und Pflegeheime sowie ähnlichen Einrichtungen
  - Kellerräume in Wohngebäuden
- Lüftungskonzept für neue Gebäude
- Lüftungskonzept für Bestandsgebäude mit lüftungstechnisch relevanten Änderungen
  - wenn im MFH oder EFH mehr als 1/3 der vorhandenen Fenster getauscht werden.
  - wenn bei einer Dachgeschosswohnung im MFH oder bei einem EFH mehr als 1/3 der Dachfläche abgedichtet werden
  - wenn Lüftungssysteme nachgerüstet werden
- Nicht für fensterlose Räume!

Regel der Technik?

Verschiedene Lüftungsstufen!

Lüftung zum Feuchteschutz (FL): $q_{V,ges,NE,FL}$

Definition: Notwendige Lüftung zur Sicherstellung des Bautenschutzes (Feuchte) bei zeitweiliger Abwesenheit der Nutzer und kein Wäschetrocknen

Reduzierte Lüftung (RL): $q_{V,ges,NE,RL}$

Definition: Notwendige Lüftung zur Sicherstellung der gesundheitlichen Mindestanforderungen sowie des Bautenschutzes (Feuchte) bei reduzierter Anwesenheit der Nutzer oder geringerer Raumluftqualität.

Nennlüftung (NL): $q_{V,ges,NE,NL}$

Definition: Notwendige Lüftung zur Sicherstellung der gesundheitlichen Anforderungen sowie des Bautenschutzes bei Anwesenheit aller Nutzer (Normalbetrieb)

Intensivlüftung (IL): $q_{V,ges,NE,IL}$

Definition: Zeitweilige Lüftung mit erhöhtem Luftvolumenstrom zum Abbau der Lastspitzen

Grundprinzip

Ist die Lüftung zum Feuchteschutz über Infiltration nicht gegeben, oder sind zusätzliche Anforderungen (Schallschutz, Hygiene, Luftqualität usw.) zu berücksichtigen, dann werden geeignete lüftungstechnische Maßnahmen vorgeschlagen.

- $q_{V,ges,NE,FL}$ notwendiger Feuchteschutz <> $q_{V,inf,Konzept}$ vorhandene Infiltration?
  - $q_{V,ges,NE,FL}$: Feuchteschutz abhängig vom Dämmstandard und A_{NE}
  - $q_{V,inf,wirk}$: Infiltration abhängig Gebäudedichtheit/Windgebiet

$q_{V,ges,NE,FL} > q_{V,inf,Konzept}$ → Lüftungstechnische Maßnahme erforderlich!

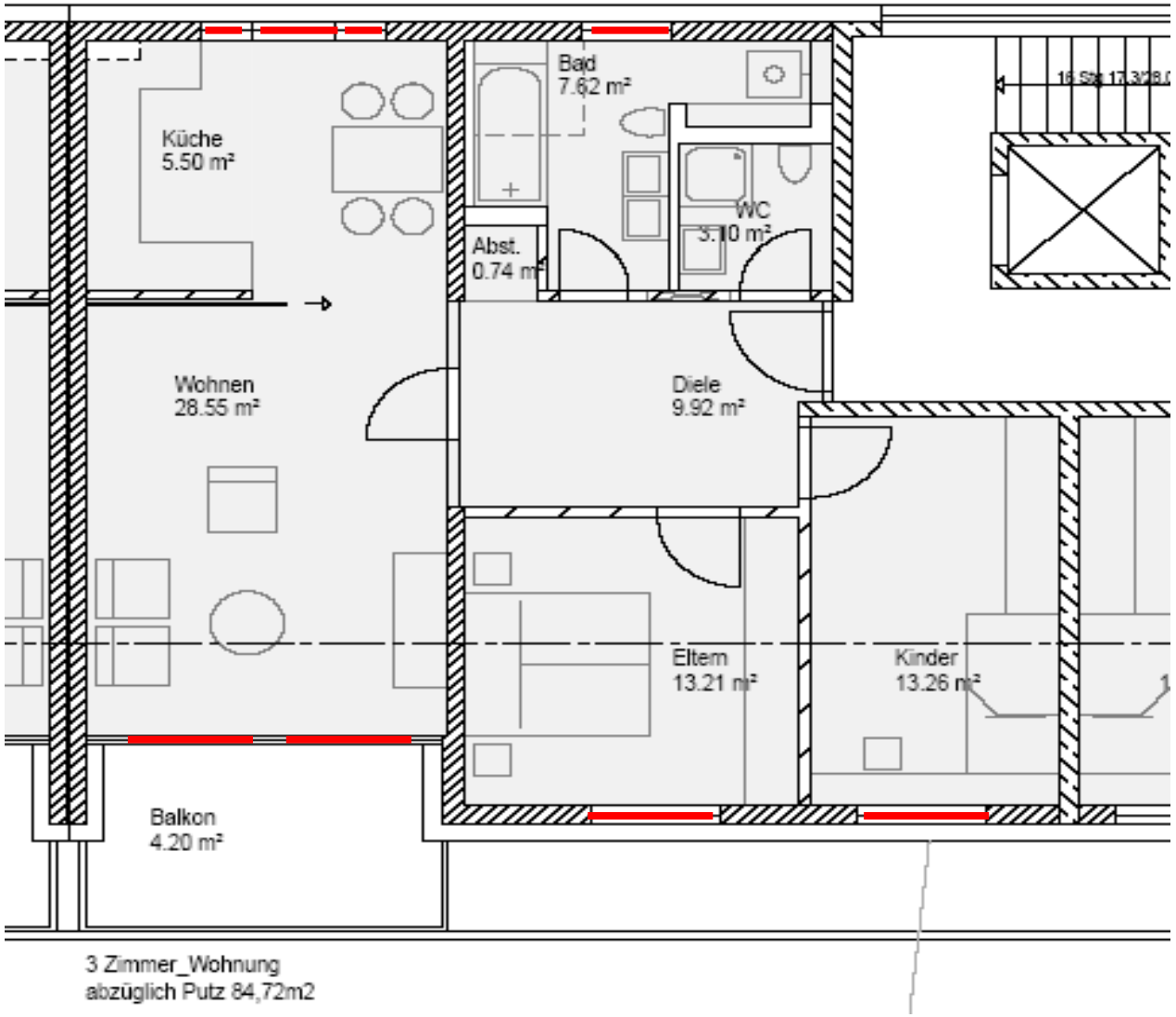
$q_{V,ges,NE,FL}$ muss stets und nutzerunabhängig sichergestellt werden

Berechnung der Lüftungsverhältnisse

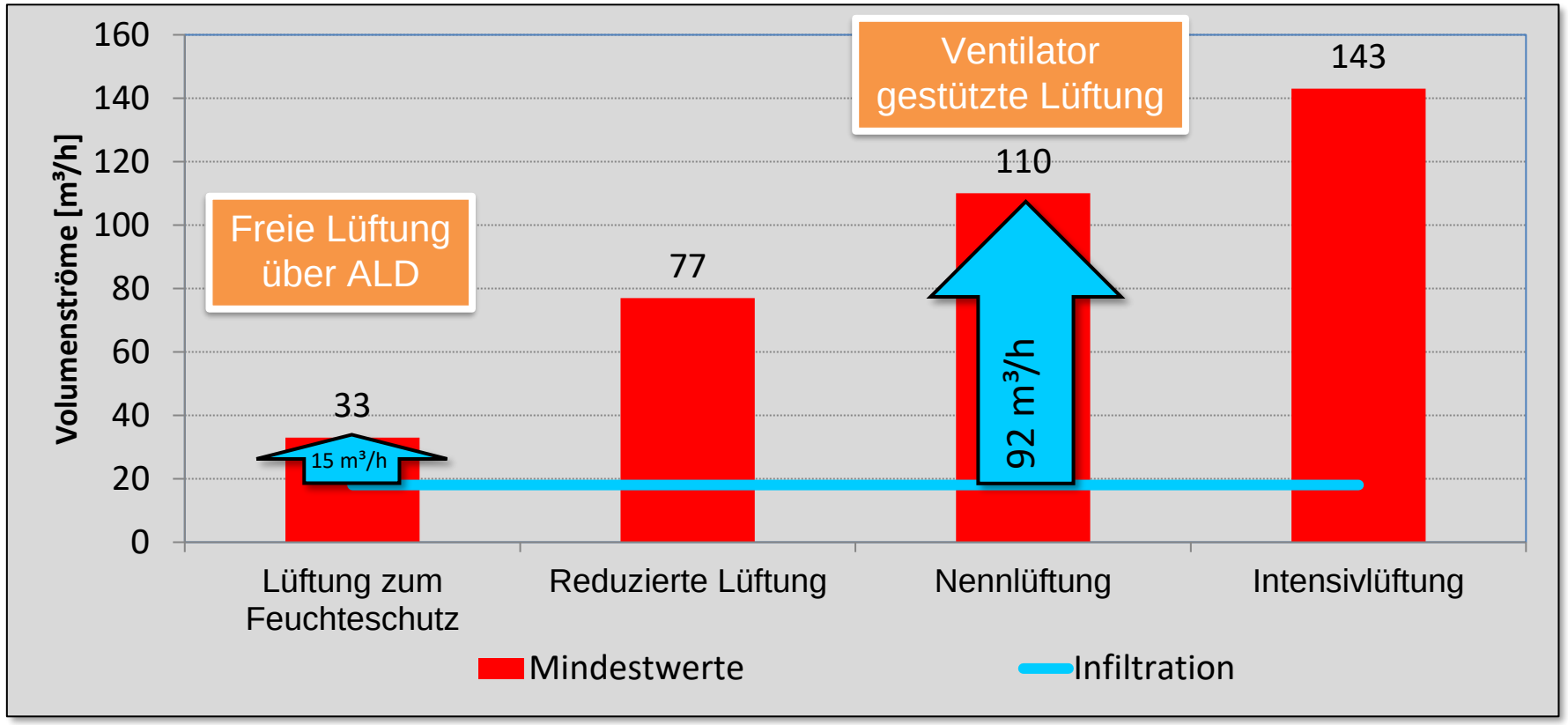
- 3-Zimmer-Wohnung, Nürnberg
- Energetischer Standard: KfW 55
- Grundfläche: 85 m²
- Raumvolumen: 208 m³
- 8 öffenbare Fenster

Randbedingungen:

- Wärmeschutz hoch (ab WSchV 95)
- Gebäudedichtheit n_{50} = 1,5 h^{-1}
- windschwache Innenstadtlage
- Für das innenliegende WC ist eine Abluftanlage zwingend notwendig.

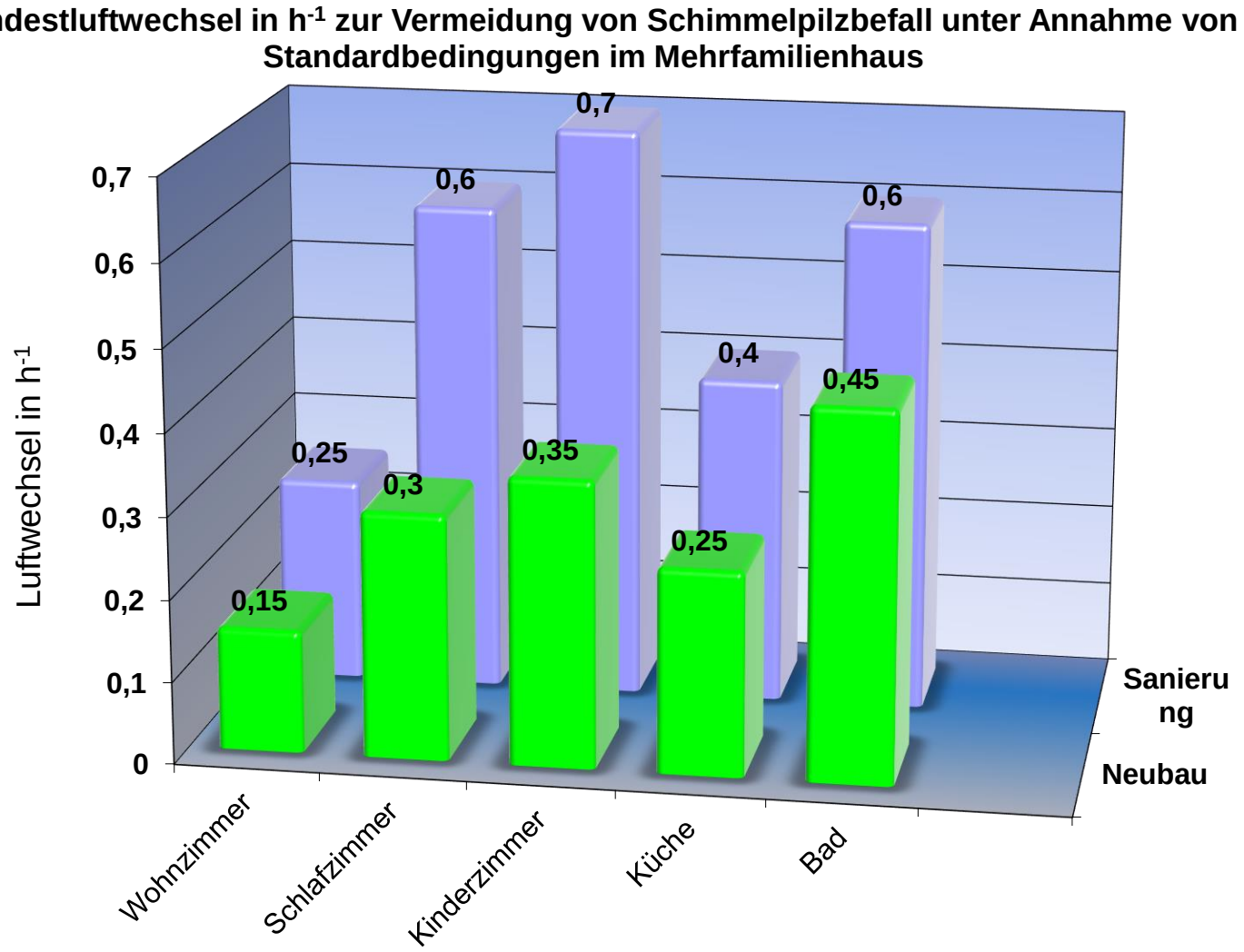


Mindestwerte der Gesamt-Außenluftvolumenströme



- Der notwendige Luftvolumenstrom zum Feuchteschutz überschreitet den Luftvolumenstrom durch Infiltration.
- Es sind lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich.

Mindestluftwechsel

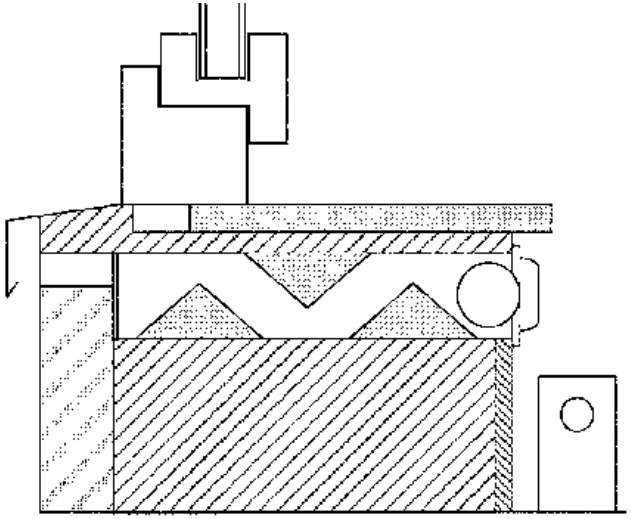


Empfehlung: Luftwechsel ca. n = 0,5 – 0,8 h^{-1}

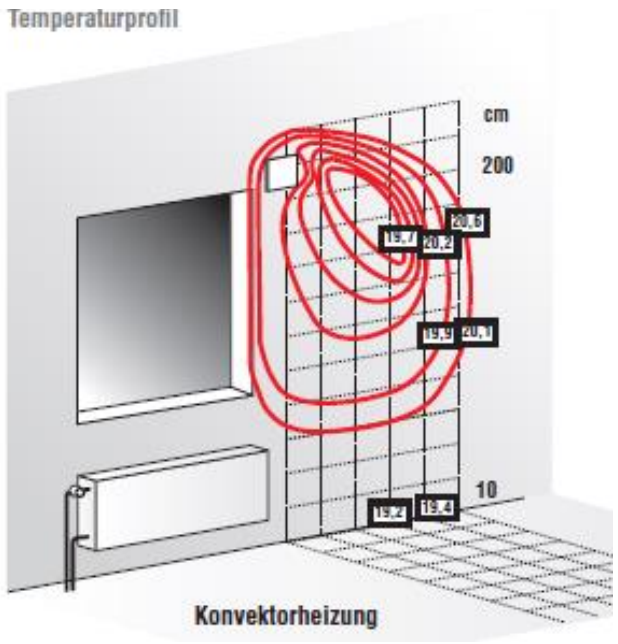
System - Freie Lüftung/Querlüftung

Außenwand-Luftdurchlässe (ALD)

- Manuell einstellbar,
  verschließbar oder über Führungsgröße selbsttätig regelnd.
- Geöffnet: dicht gegen Schlagregen
  Geschlossen ausreichend luftdicht
- Gleichmäßig auf Außenwände der Wohnräume zu verteilen
- Leicht von innen reinigbar.
- Geschützt gegen Eindringen von Insekten.
- Zugbelastung so gering wie möglich.



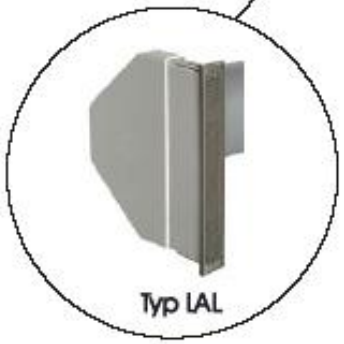
zwischen Fenster und Heizkörper
(Serie MLL-ZE)



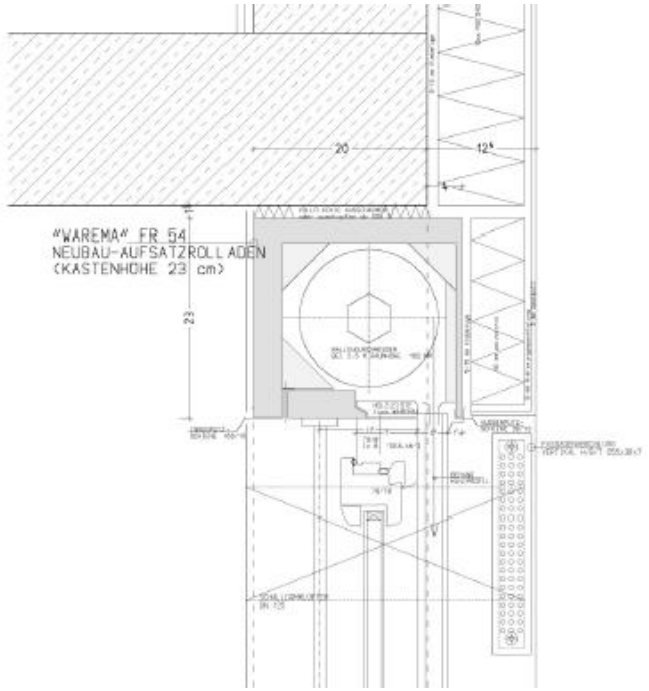
System – Freie Lüftung/Querlüftung

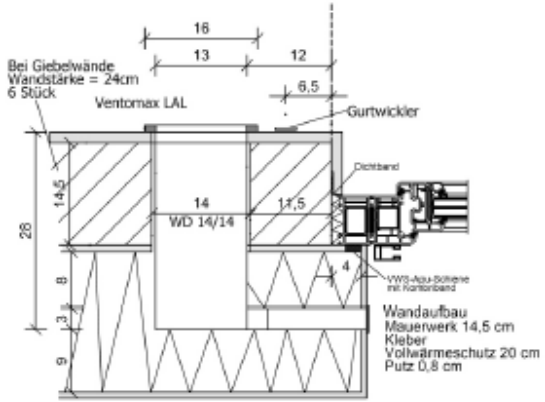
Außenluft-Durchlässe

Montagebeispiel
Typ LAL
(verdeckt in der Laibung)



Montagebeispiel
Typ LAF2
(verdeckt unter d. Fensterbank)

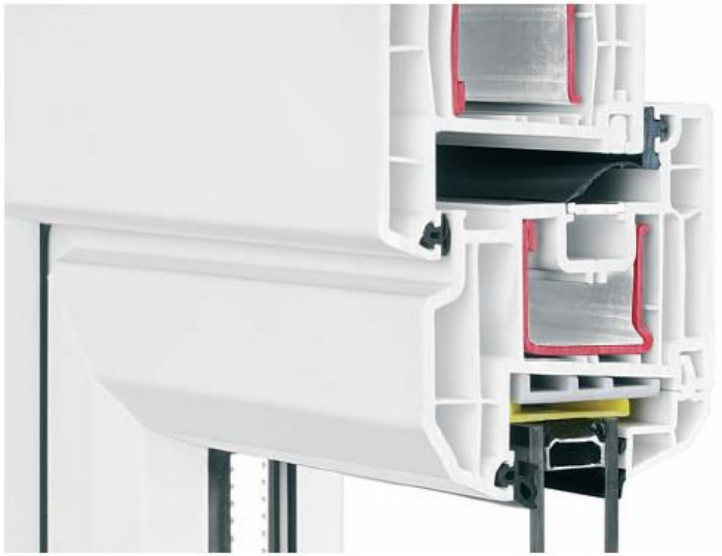




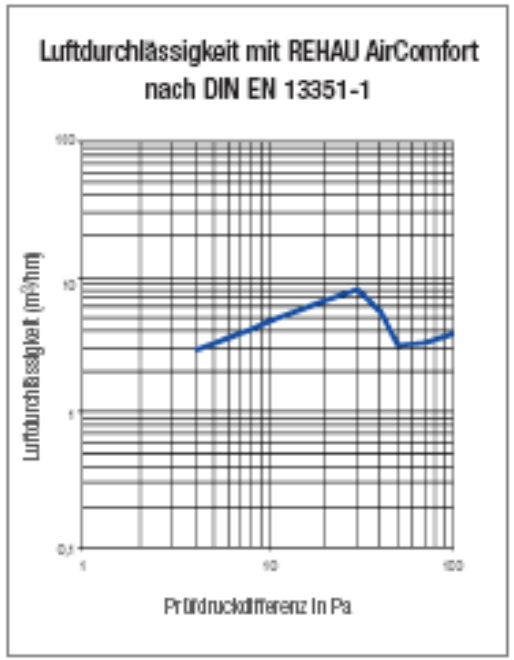
Schnitt Ventomaxx

System – Freie Lüftung/Querlüftung

Außenluft-Durchlässe durch Modifizierung des Fensterfugenprofils



DAS LÜFTUNGSSYSTEM REHAU AIRCOMFORT
UNSICHTBAR, NACHRÜSTBAR, GERÄUSCHLOS



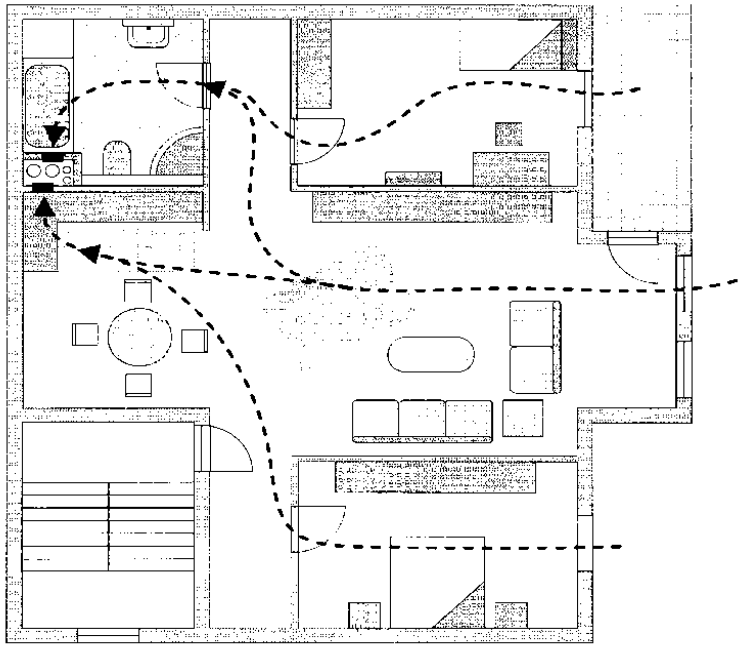
Technische Daten:

- Aus hochwertigem, beschichtetem EPDM
- hochflexible dünnwandige Dichtfahne
- Sensibles Ansprechverhalten bereits bei 30 - 40 Pa
- Schlagregendichtigkeit 9a nach DIN EN 12208
- hoher Luftdurchlass bei offener Stellung (4,7m³/h bei 10 Pa)
- EnEV-konform, da selbstregulierend
- Geringer Luftdurchlass bei geschlossener Stellung (bei 600 Pa 9,9 m³/h)
- Klassifizierung des Fensters bei geschlossener Lüftungseinrichtung:
  Winddruck und Windsog (prEN 14351):
  Klasse 3 nach DIN EN 12207
- IFT geprüft bis Schallschutzklasse 4 möglich

Vorteile	Nachteile/Einschränkungen
▪ unauffällig ▪ keine elektrische Energie	▪ kein energetischen Vorteile gegenüber Fensterlüftung ▪ Schallschutz ▪ Luftwechsel nicht ausreichend!! ▪ Abhängigkeit vom Außenklima

System -Abluftanlage

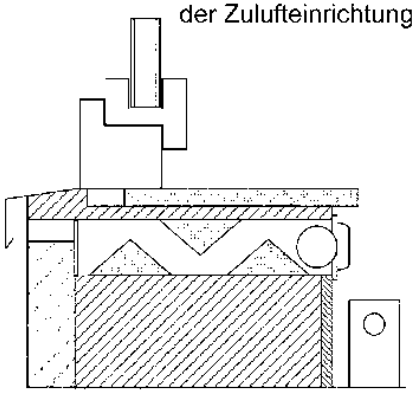
Abluftanlage - Luftführung in der Wohnung



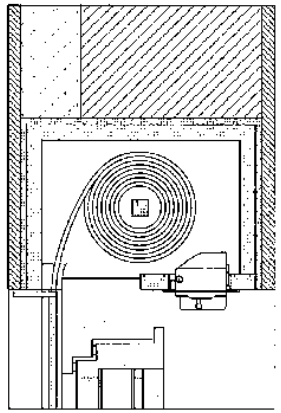
Anforderungen an Zulufteinrichtungen:

- *keine Wärmebrücke in den Außenwänden*
- *Schalldämmmaß mindestens dem Fenster entsprechend*
- *Öffnungseinstellung erkennbar*
- *ohne Werkzeug leicht zu reinigen*
- *leicht bedienbar*
- *Zuluft regelbar*
- *schlagregensicher*
- *Schutz gegen das Eindringen von Insekten*

Anordnungsbeispiele der Zulufteinrichtung



zwischen Fenster und Heizkörper (Serie MLL-ZE)



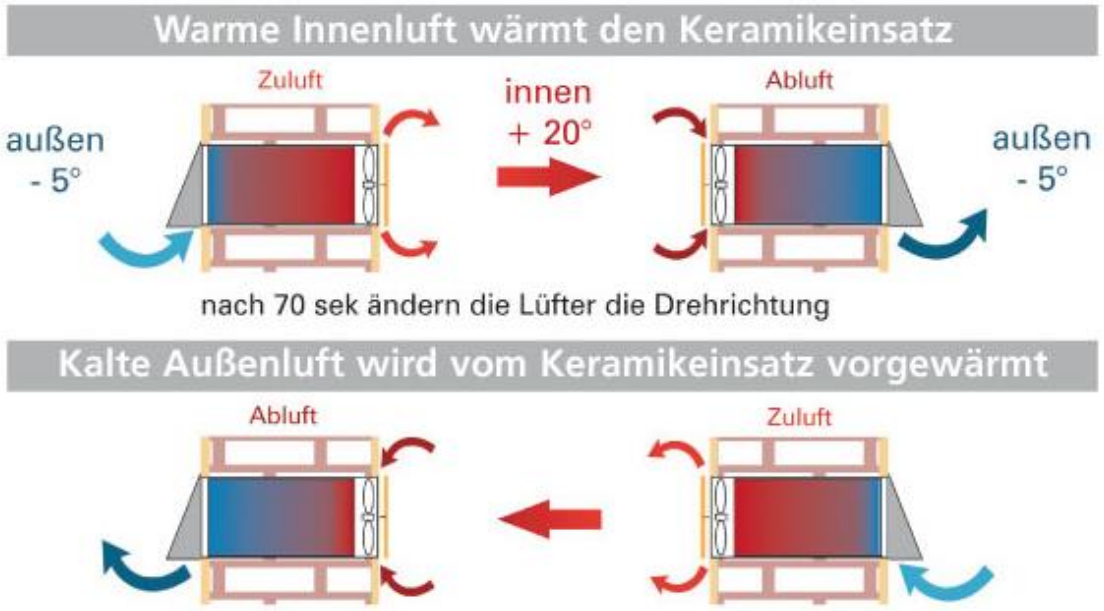
im Rolladenkasten (Serie MLL-ZER)

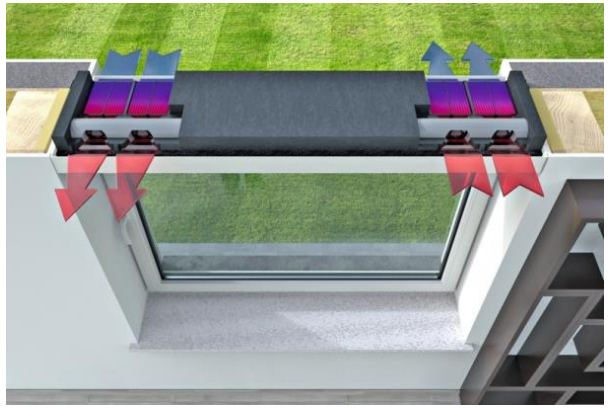
Vorteile	Nachteile/Einschränkungen
▪ Geregelter Luftwechsel ▪ Geringes Schimmelpilzrisiko ▪ Führungsgrößen: Feuchte/CO_2 ▪ Geringe Lärmbelastung durch Ventilator	▪ Üblicherweise keine energetischen Vorteile gegenüber Fensterlüftung, da keine WRG ▪ Behaglichkeit ▪ ALD geeignet bis R_w = 35 dB

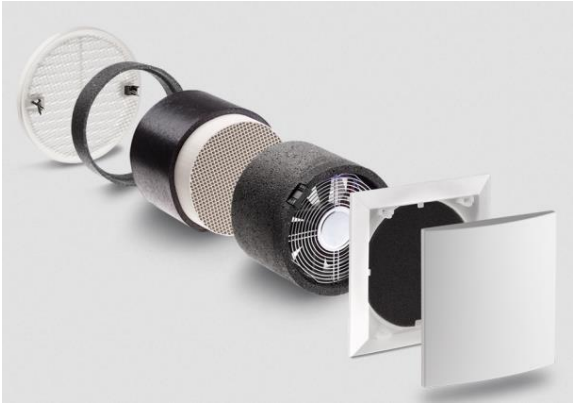
Lüftung von Wohnungen

System – dezentrale Zu- und Abluftanlage

Dezentrale Zu-und Abluftanlage mit regenerativem Wärmetauscher





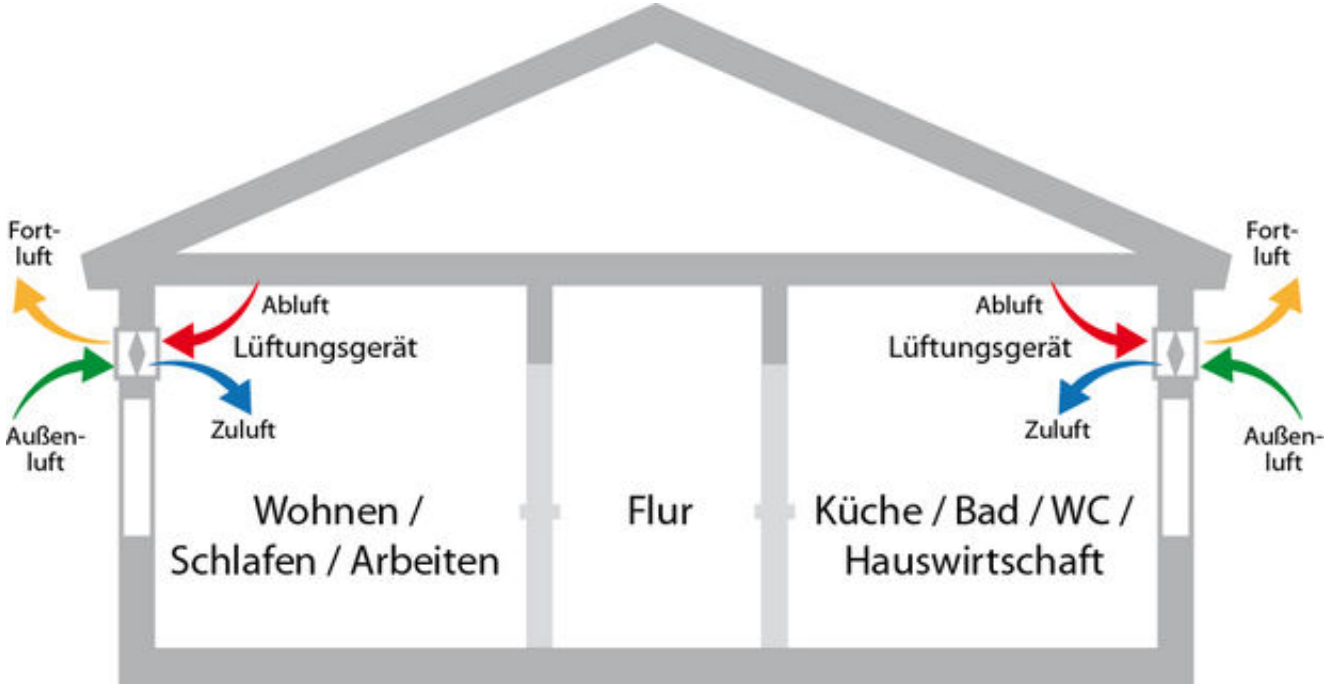


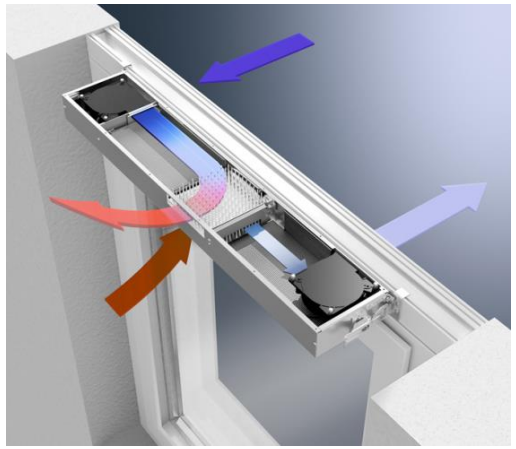
Vorteile	Nachteile/Einschränkungen
▪ Geregelter Luftwechsel ▪ Führungsgrößen: Feuchte/CO_2 ▪ Einfacher Einbau, geringe Investition ▪ Hohe Energieeffizienz durch WRG und Feuchteübertragung ▪ Raumweise und wohnungsweise Kombination möglich	▪ Regelmäßiger Reinigungs- und Wartungsaufwand ▪ Schallübertragung Außenlärm ▪ Lärmbelastung Ventilator

Lüftung von Wohnungen

System – dezentrale Zu- und Abluftanlage

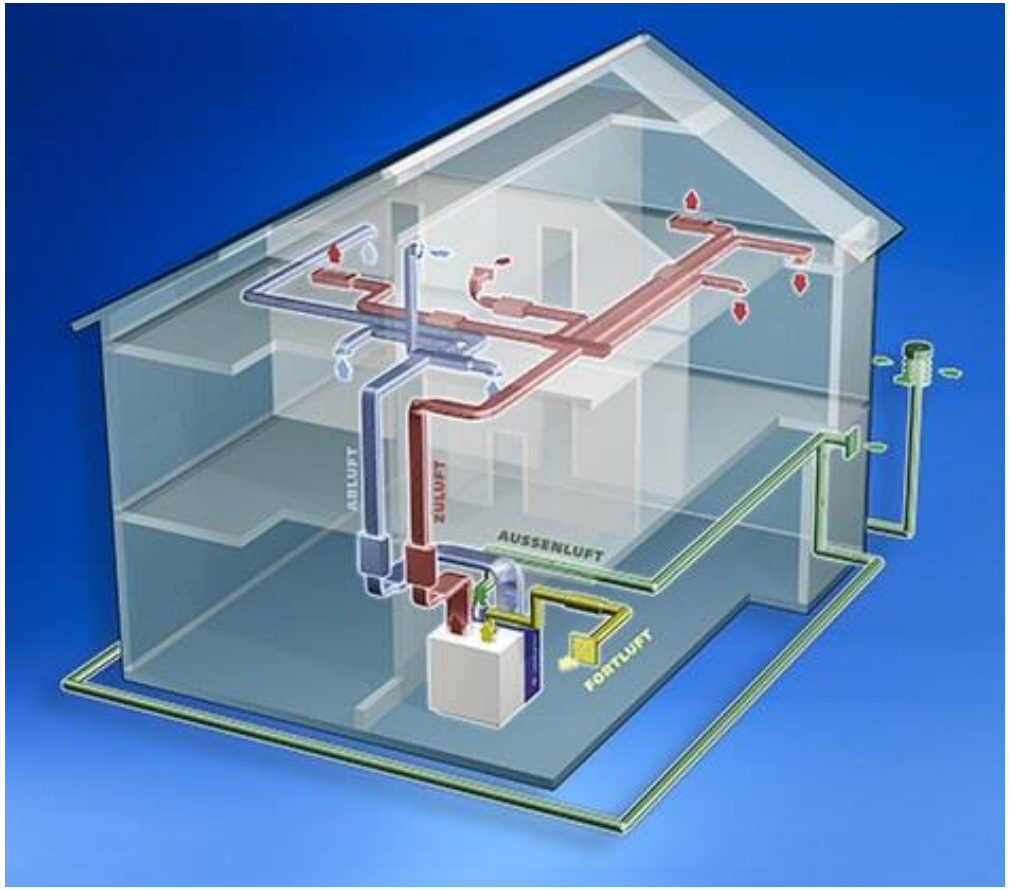
Dezentrale Zu-und Abluftanlage mit Wärmeübertragung





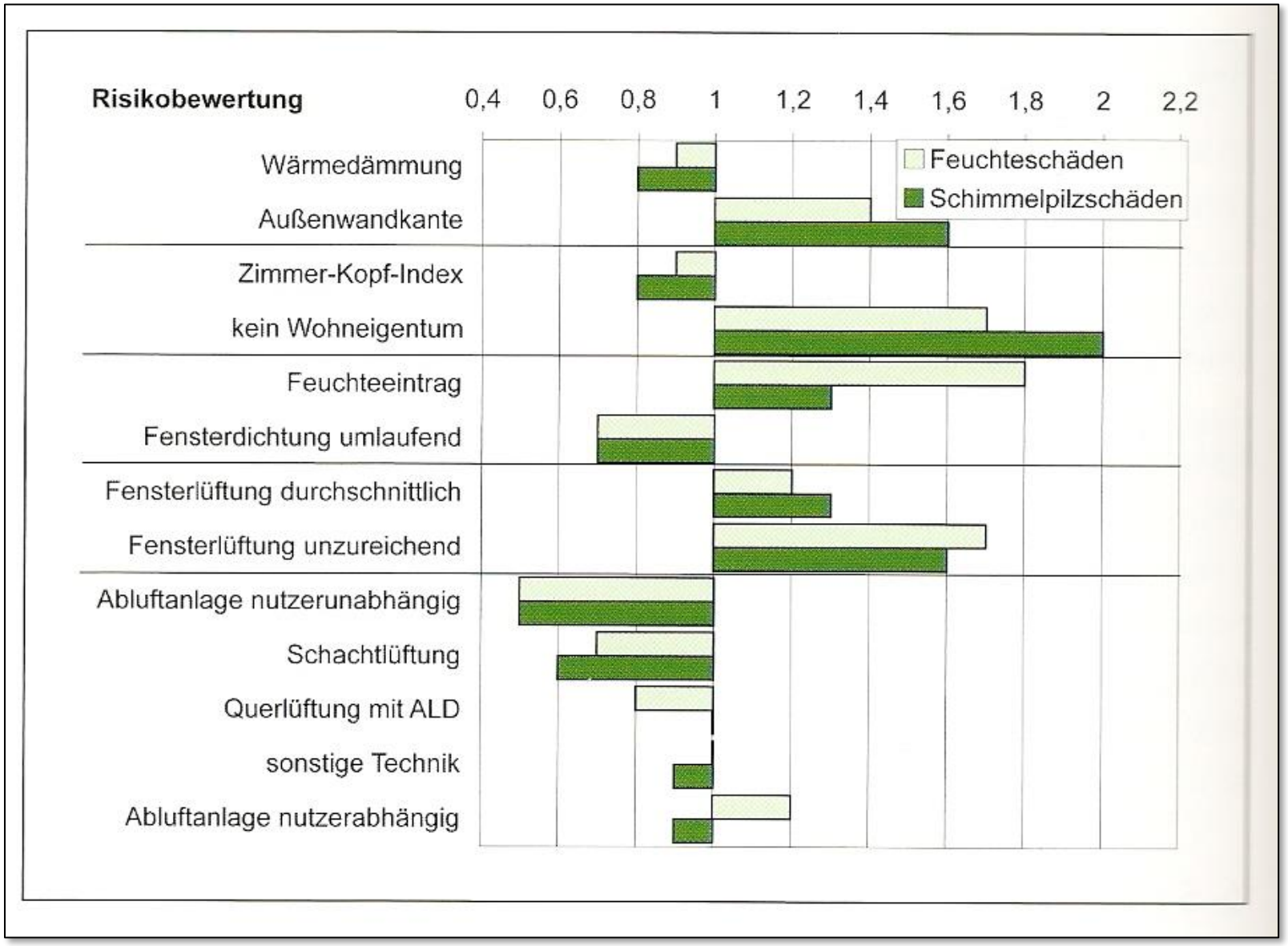
Vorteile	Nachteile/Einschränkungen
▪ Geregelter Luftwechsel ▪ Führungsgrößen: Feuchte/CO_2 ▪ Einfacher Einbau, geringe Investition ▪ Hohe Energieeffizienz durch WRG	▪ Regelmäßiger Reinigungs- und Wartungsaufwand ▪ Lärmbelastung Ventilator ▪ Schallübertragung Außenlärm ▪ Keine Feuchteübertragung

Zentrale Zu-und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung



Vorteile	Nachteile/Einschränkungen
▪ Geregelter Luftwechsel ▪ Führungsgrößen: Feuchte/CO_2 ▪ Geringe Lärmbelastung durch Ventilator ▪ Hohe Energieeffizienz durch WRG und Feuchteübertragung ▪ Kombinierbar mit Erdreichwärmetauscher	▪ Regelmäßiger Reinigungs- und Wartungsaufwand ▪ Schallübertragung Kanalsystem/ Lüftungsrauschen

Fensterlüftung – Risikobewertung Schimmelbildung



Risikofaktoren für Feuchte- bzw. Schimmelpilzschäden:

Referenzfall mit Risiko = 1:

- gute Fensterlüftung,
- ohne Lüftungsanlage

Werte > 1: höheres Risiko

Werte < 1: geringeres Risiko als Referenzfall

Quelle: Vorkommen, Ursachen und gesundheitliche Aspekte von Feuchteschäden in Wohnungen von S. Brasche und W. Bischof, 2003

Machen Sie alles richtig
bei der energetischen Gebäudesanierung

Prof. Wolfgang Sorge

Luftdichtheit für Energieeinsparung
Raumlüftung für Hygiene

WOLFGANG SORGE
INGENIEURBÜRO
FÜR BAUPHYSIK
Beratende Ingenieure VBI

beraten
planen
prüfen