

# IBDM GmbH

Innovative Beratung Dienstleistung Messtechnik

**Dipl.-Ing. Detlef Malinowsky**

Optimale Kombinationen von Heizung und Lüftung



Der Unterschied zwischen  
Theorie und Praxis  
ist generell in der Praxis  
größer als in der Theorie.



# Agenda

- Lüftungssysteme im Wohngebäude – Typen, Vor- und Nachteile
- Heizsysteme im Wohngebäude – Typen, Vor- und Nachteile
- Temperaturbegriffe im Raumklima
- Einführung in das h-x-Diagramm (Mollier-Diagramm)
- Relative und absolute Luftfeuchte sowie Taupunkt
- Das optimale Zusammenspiel von Heizen und Lüften



# Einleitung



**Durch eine gute Wärmedämmung, moderne Fenster und ein luftdichtes Gebäude kann richtig viel Energie und Geld eingespart werden**



**Doch neben der Energie, haben so Feuchtigkeit und Schadstoffe nahezu keine Möglichkeit mehr, das Gebäude zu verlassen**



**Vor allem in sanierten-, Effizienz-, Passiv-, Nullenergie- oder Plusenergiehäusern kann dieses zum Problem werden, wenn nicht richtig gelüftet wird**



**Lüftungsanlagen gewinnen damit immer mehr an Bedeutung**



# Vorteile und Nachteile einer Lüftungsanlage



**Eine Lüftungsanlage bietet Vorteile (aber auch Nachteile), die wir Ihnen hier vorstellen:**

| Vorteile                                            | Nachteile                           |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Senkt die Heizkosten                                | Nicht immer in Altbauten einsetzbar |
| Macht das Haus Allergiker-freundlich                | Teilweise hohe Anschaffungskosten   |
| Belastung durch Hausstaubmilben nimmt ab            | Stromverbrauch steigt               |
| Schnell regulierbare Lufttemperatur                 |                                     |
| Lärmschutz, weil Fenster geschlossen bleiben können |                                     |



## Unterschied: Zentrale oder dezentrale Lüftungsanlage wählen?

Da nicht jede Lüftungsanlage für jeden Gebäudetypen ideal geeignet ist, sind hier die wichtigsten Unterschiede mit Ihren Unterarten.

| Gebäude                      | Lüftungsanlage            |
|------------------------------|---------------------------|
| Altbau (unsaniert)           | Keine Lüftungsanlage      |
| Altbau (teilsaniert)         | Kompaktgerät              |
| Altbau (vollständig saniert) | Dezentrale Lüftungsanlage |
| Neubau                       | Zentrale Lüftungsanlage   |

Insgesamt lässt sich jedoch sagen, dass dezentrale Lüftungsanlagen eher für sanierte Altbauten und zentrale Lüftungsanlagen eher für Neubauten eingesetzt werden sollten.



# Die dezentrale Abluftanlage

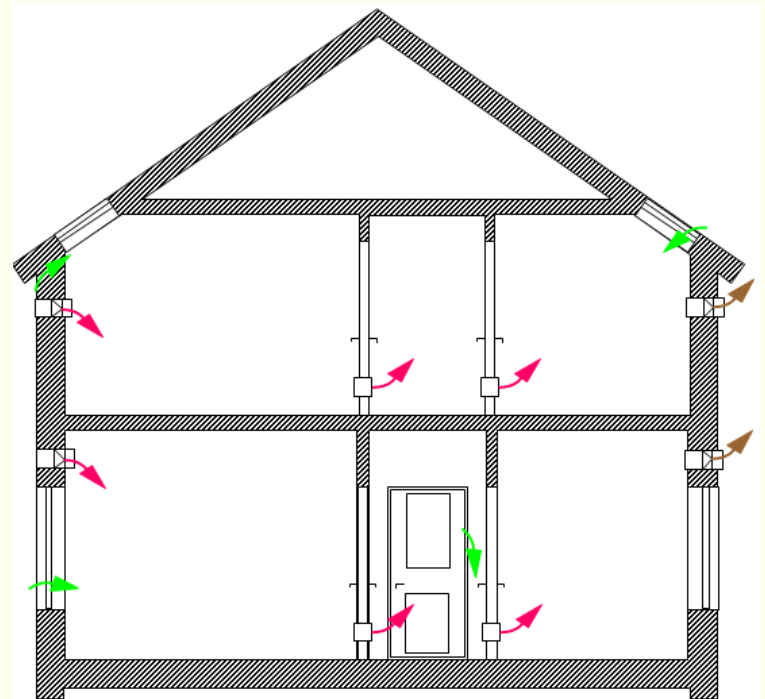


## Dezentrale Lüftungsanlage (Abluftanlage)

Dezentrale Lüftungsanlagen als Abluftanlagen eignen sich besonders in Räumen, in denen Feuchtigkeit und unangenehme Gerüche abgeführt werden sollen. Hierfür eignen sich dezentrale Abluftanlagen, da sie schnell und mit wenig Aufwand auch nachträglich installiert werden können.



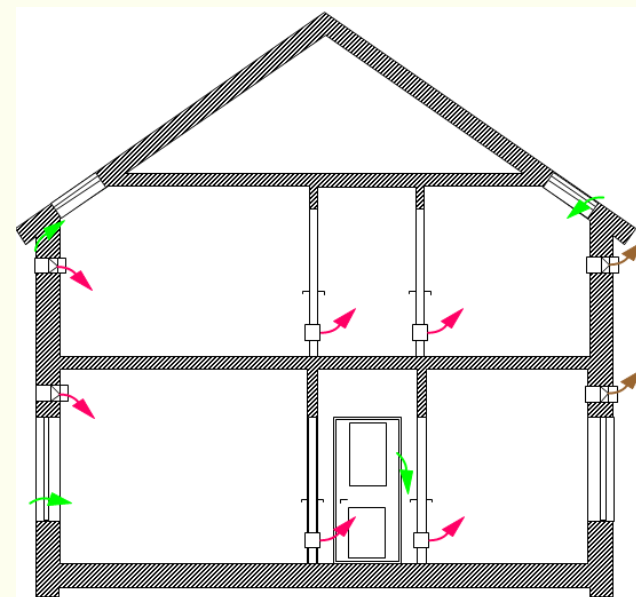
Quelle: Lunos



# Dezentrale Abluftanlage

## Dezentrale Abluftanlagen funktionieren folgendermaßen:

- Ein oder mehrere Zimmer werden über einen kleinen Kanal mit der Außenluft verbunden.
- Auf der gegenüberliegenden Seite des Gebäudes befindet sich ein Ventilator, der einen Unterdruck im Raum erzeugt und somit die feuchte, „schlechte“ Luft absaugt.
- Der Betrieb der Anlage kann manuell über die Raumbeleuchtung oder über Feuchtigkeits- und CO<sub>2</sub>-Sensoren aktiviert werden. Die Variante der Sensoren stellt dabei die energieeffizienteste dar, da die Anlage nur bei Bedarf betrieben wird.
- Die Zuluft wird passiv bereitgestellt. Dies geschieht entweder durch einfache Nachströmungen bzw. Lüftungsschlitze in Türen und Fenstern.



## Wie effizient ist eine dezentrale Abluftanlage?

Dezentrale Abluftanlagen arbeiten raumweise und innerhalb eines Gebäudes unabhängig voneinander, eine Wärmerückgewinnung findet **nicht** statt.



**Dies mindert die Effizienz!**

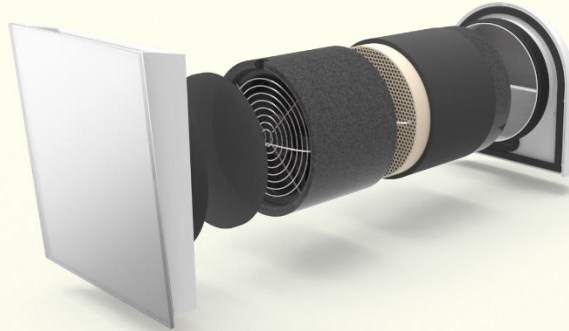


# Die dezentrale Zu- und Abluftanlage



## Dezentrale Zu- und Abluftanlage

- Raumweise dezentrale Zu- und Abluftanlagen werden in der Regel neben dem Fenster oder im Bereich der Fensterbank installiert.
- Anders als bei reinen Abluftanlagen ist die Abluft- und Zuluft Regelung hier in einem einzigen Gerät integriert.
- Entsprechend wird im Außenwandbereich des betreffenden Raums ein Durchlass für die Geräteinstallation benötigt.
- Durch das kombinierte Zu-/Abluftsystem gelangt beständig Frischluft in den Raum, wobei durch zusätzliche Filter auch Pollen und Staub aus der Zuluft gefiltert werden können.
- Die Stärke der Außenluftzufuhr kann dabei individuell stufenweise geregelt werden.



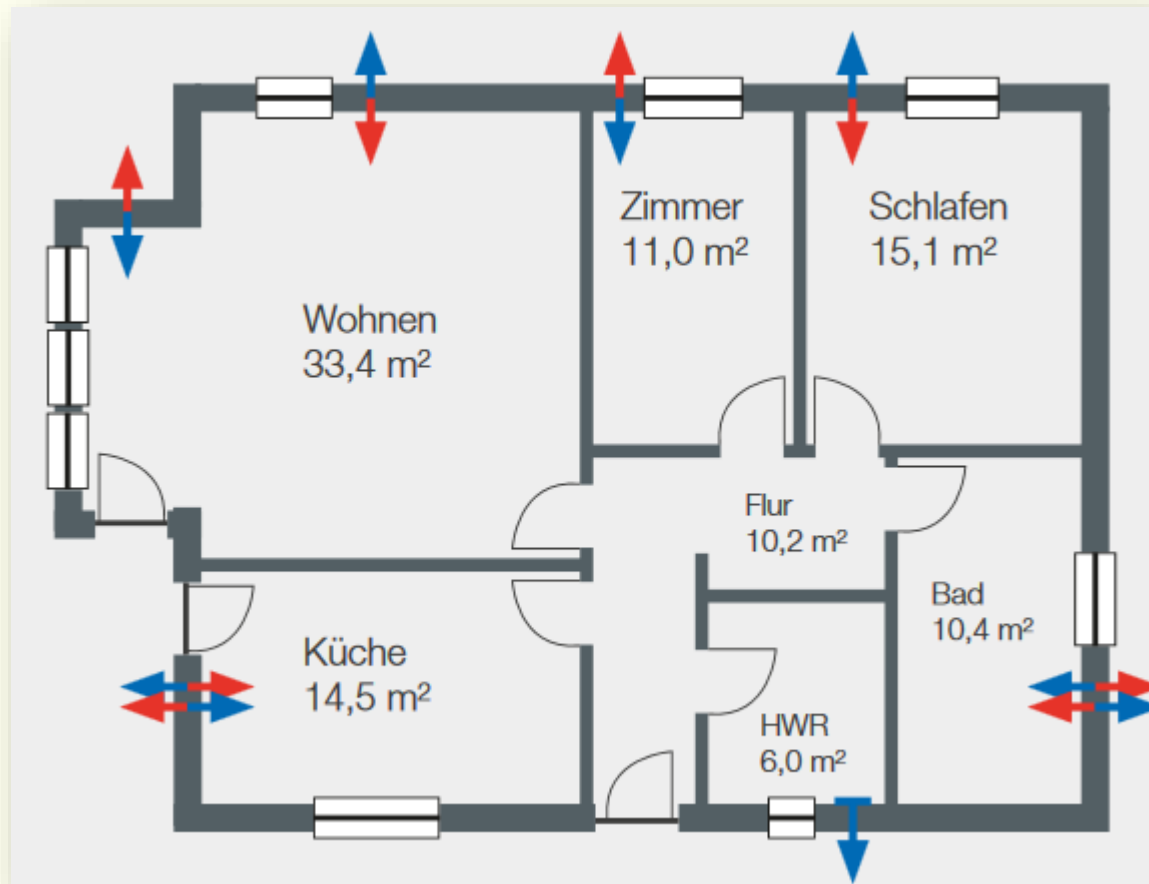
Quelle: Lunos

## Weitere Informationen dezentraler Zu- und Abluftanlagen?

- Erhältlich sind dezentrale Zu- und Abluftanlagen pro Raum bereits ab 750 Euro.
- Damit liegen sie preislich immer noch weit unter zentralen Zu- und Abluftanlagen, die mit mehreren tausend Euro zu Buche schlagen.
- Mit optional dazu gekauften Feuchte- und/oder CO<sub>2</sub>-Sensoren kann zusätzlich Energie gespart werden, denn diese registrieren den Qualitätsgehalt der Luft vollautomatisch und passen den Betrieb der dezentralen Zu- und Abluftanlage entsprechend an.
- Wirklich Energie sparen lässt sich aber hier nur mit einer eingebauten Wärmerückgewinnung (WRG), denn durch die Abluft gelangt auch warme Raumluft nach außen, deren enthaltene Wärmeenergie ohne eine WRG verloren geht.



# Dezentrale Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung



## Wie effizient sind dezentrale Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung?

- **Bis zu 95 Prozent Wärmerückgewinnung** sind nach Herstellerangabe bei einer dezentralen Zu- und Abluftanlage mit Wärmeübertrager möglich!
- Der Einbau erfolgt dabei relativ problemlos, da das aufwändige Verlegen von Lüftungskanälen, wie sie für eine zentrale Zu- und Abluftanlage nötig ist, entfällt.
- Die elektrische Leistung liegt – je nach Hersteller – bei ca. 2 - 6 Watt pro Gerät.
- Mit einem Anschaffungspreis von ca. 800 Euro pro Gerät und einer möglichen Energieeinsparung von rund 150 Euro pro Jahr ist die dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ein wahrer Energiesparer.



# Vorteile und Nachteile einer dezentralen Lüftungsanlage

| Vorteile dezentrale Lüftungsanlage                       | Nachteile dezentrale Lüftungsanlage                         |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Kostengünstiger als zentrale Lüftungsanlagen             | Hoher Kostenaufwand bei der Anschaffung im gesamten Gebäude |
| Nachträglicher Einbau in Altbauten leicht zu realisieren | Höhere Lärmbelastung bei mehreren Anlagen                   |
| Geringe bauliche Maßnahmen notwendig                     | Gefahr des Luftkurzschlusses                                |
| Wärmerückgewinnung kann eingesetzt werden                | Klimatisierung nur bedingt möglich                          |
| Bei der Belüftung weniger Räume kostengünstiger Betrieb  | Geringere Energieeinsparung als zentrale Anlagen            |
| Individuelle Luftsteuerung möglich                       |                                                             |



# Die zentrale Lüftungsanlage



# Zentrale Lüftungsanlage

- Zentrale Lüftungsanlagen eignen sich am besten, um in luftdichten Gebäuden, wie Passivhäuser oder Nullenergiehäuser, für den nötigen Luftwechsel zu sorgen.
- Mit ihnen kann beim Lüften ein Großteil der Energie eingespart werden.
- Grund dafür sind sehr effektive Wärmerückgewinnungen, die integriert werden können.
- Eingesetzt werden diese Systeme zum Großteil in Neubauten, da eine nachträgliche Installation im Altbau in der Regel mit großem baulichen und finanziellen Aufwand verbunden ist.
- Der Einbau von zentralen Lüftungsanlagen muss exakt durchgeplant werden, sodass in allen Räumlichkeiten ein ausreichender Luftwechsel stattfinden kann.
- Außerdem sollte darauf geachtet werden, dass die gesamte Anlage mit Lüftungskanälen, Filtern und eventuell Brandschutzklappen so ausgelegt wird, dass eine leichte und einfache Wartung möglich ist.
- Ist dies nicht der Fall, kann auf Dauer kein hygienischer Betrieb gewährleistet werden.

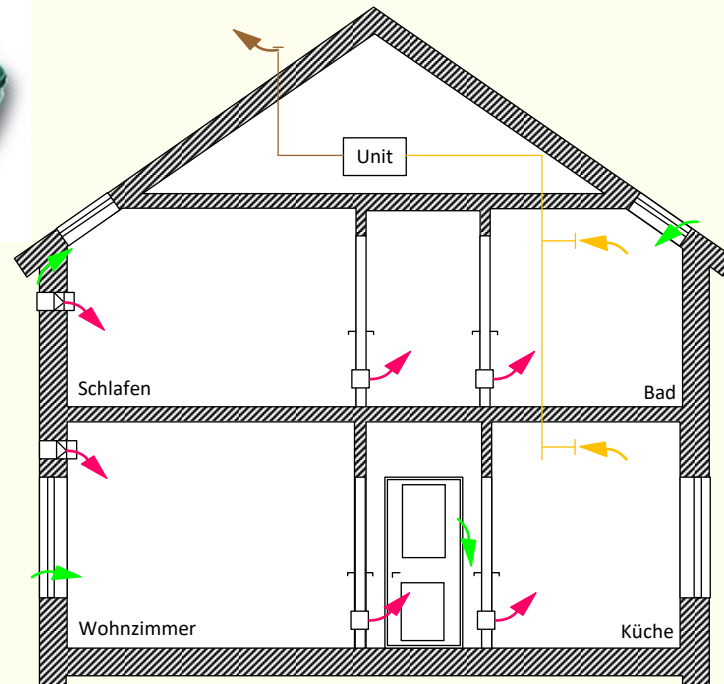


# Die zentrale Abluftanlage



## Zentrale Abluftanlage

Eine zentrale Abluftanlage besteht aus einem zentralen, mindestens zweistufigen Abluftventilator für das Gebäude, Abluftventilen in den geplanten Ablufträumen wie Küche, Bad oder WC, einem zentralen Abluftkanalsystem, idealerweise mit Schalldämpfern, und Zuluft-Durchlässen in den Wohnräumen.



## Wie effizient ist eine dezentrale Abluftanlage?

- Zentrale Abluftanlagen entlüften ein Gebäude mit einem zentralen Abluftventilator, hat keine Wärmerückgewinnung. Die Nachströmung geschieht über Nachströmungen in Wände oder Schlitz in Fensterleibungen.
- Bei einer Abluftanlage wird Wohnräumen mit der abgesaugten Luft auch Heizenergie entzogen.



**Dies verschlechtert die Effizienz!**



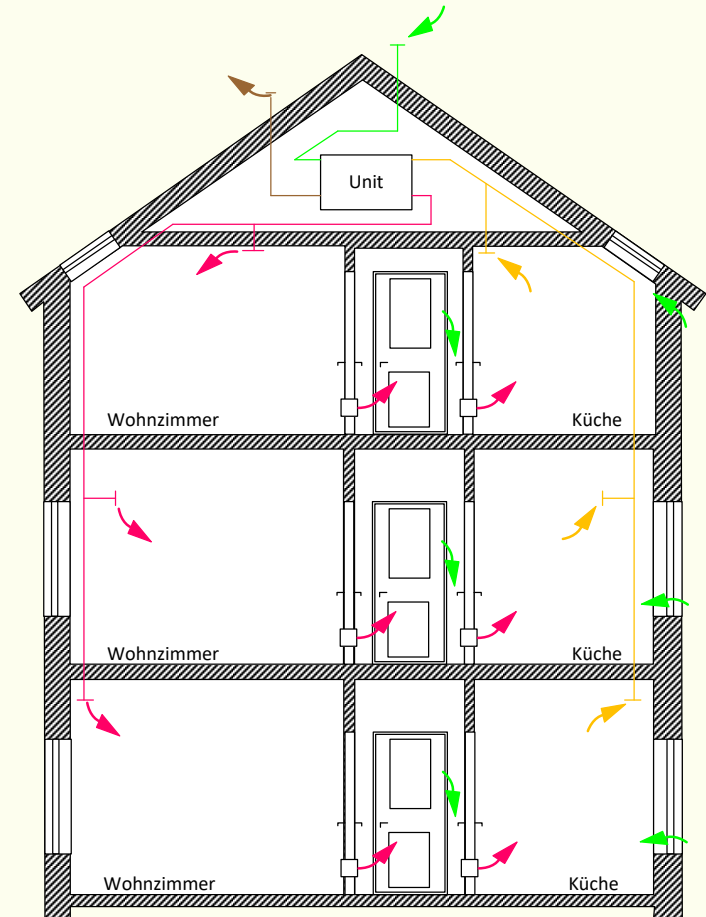
# **Die zentrale Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung**



# Zentrale Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

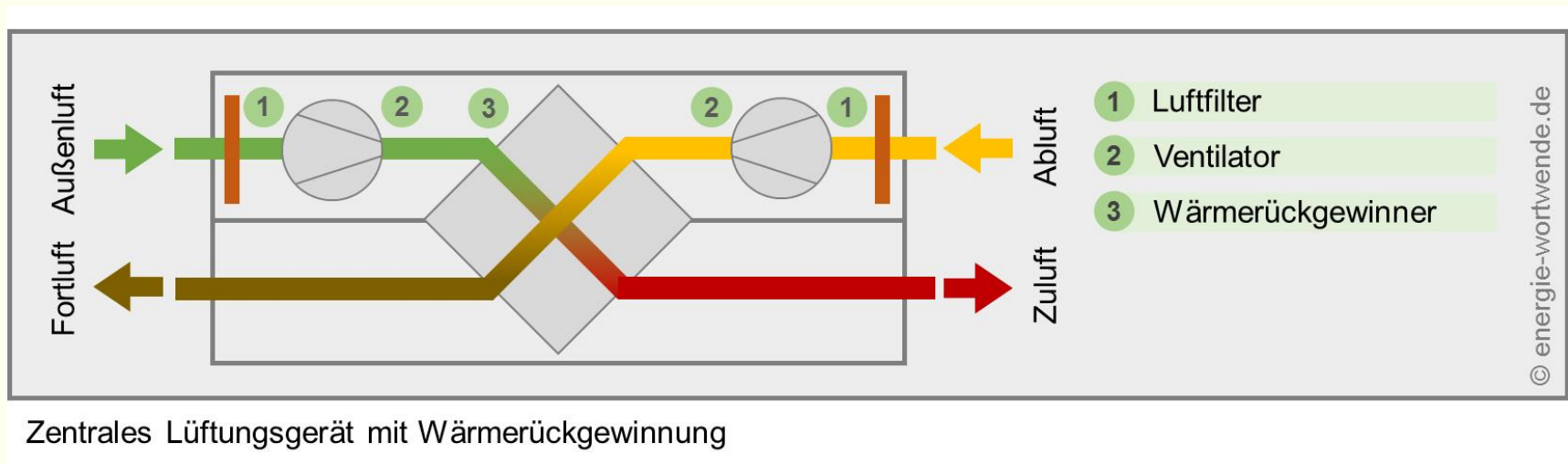
**Eine zentrale Zu- und Abluftanlage funktioniert ähnlich wie eine reine Abluftanlage:**

- Auch hier wird über ein Abluftkanalsystem verbrauchte Luft in feuchtebelasteten Räumen wie Küche, Bad, WC abgesaugt und über Dach fortgelüftet.
- Anders als bei einer Abluftanlage wird bei einer zentralen Zu- und Abluftanlage jedoch die erforderliche Zuluft an zentraler Stelle von außen angesaugt, gefiltert, und über ein Zuluftkanalnetz den Räume zugeführt.
- Hierdurch besteht die Möglichkeit einer Wärmerückgewinnung aus der Abluft, einer Nachheizung der Zuluft sowie einer zentralen oder raumweisen Regelung der Zuluft.



## Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

Die zentrale Zu- und Abluftanlage ist ideal für luftdichte Niedrigenergie- und Passivhäuser, da durch die zentrale Lüftungstechnik die Anforderungen an die Sicherstellung des hygienischen Mindestluftwechsels ideal mit Wohnkomfort, Wärmerückgewinnung und Energieeinsparung verbunden werden können.



## Wie effizient ist eine zentrale Zu- und Abluftanlage?

Eine zentrale Zu- und Abluftanlage mit WRG ist der „Mercedes“ unter Lüftungsanlagen und schlägt finanziell kräftig zu Buche.

Gut 12.000 Euro muss man für ein ca. 150 qm großes Einfamilienhaus einplanen.  
Dazu kommen Betriebskosten für Filter und Wartung, ferner Stromkosten von 120-170 Euro pro Jahr, bei ganzjährigem Betrieb.

Dafür bietet Ihnen eine zentrale Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung im Gegenzug eine Einsparung bei den Heizkosten sowie ganzjährig einen deutlichen Gewinn an Wohnkomfort, Behaglichkeit, Unabhängigkeit und Sicherheit.



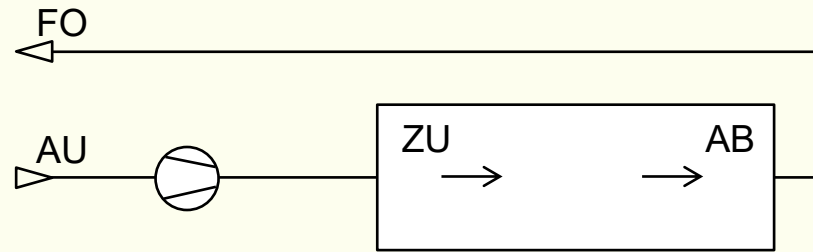
## Vorteile und Nachteile einer zentralen Lüftungsanlage

| Vorteile zentrale Lüftungsanlage                                                                         | Nachteile zentrale Lüftungsanlage                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Hohe Energieeinsparungen können realisiert werden                                                        | Anschaffung ist sehr kostenintensiv              |
| Geringere Lärmbelästigung als in dezentralen Anlagen durch zentrale Anlagenteile und Schallschutzklappen | Nur bedingt in Altbauten einsetzbar              |
| Keine Gefahr des Luftkurzschlusses bei richtiger Planung                                                 | Hoher baulicher Aufwand                          |
| Klimatisierung der Zuluft möglich                                                                        | Höherer Wartungsaufwand für hygienischen Betrieb |
| Einzelne Regulierbarkeit der Räume                                                                       |                                                  |

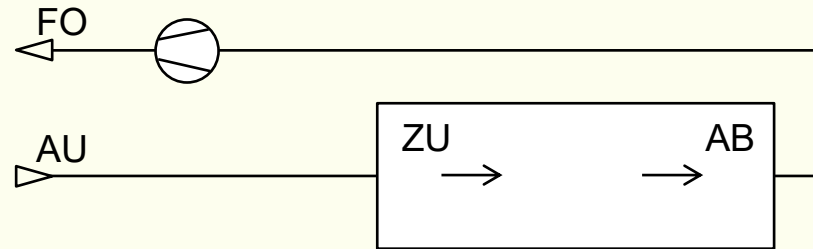


# Zusammenfassend: Grundsätzliche Luftführung in der Lüftungstechnik

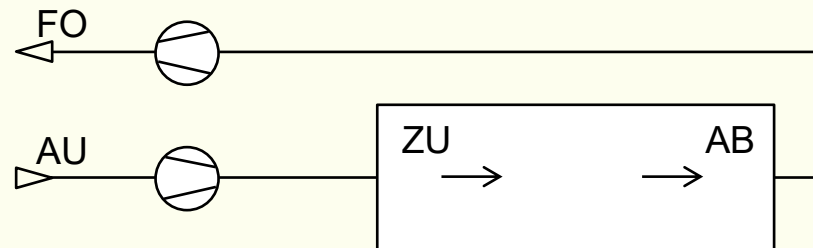
Überdrucklüftung



Unterdrucklüftung



Verbundlüftung



## Tipp

Wer aus baulichen Gründen keine zentrale Lüftungsanlage einbauen kann oder die hohen Investitionskosten scheut, muss deswegen nicht auf gute Luft verzichten.

Für Bestandsimmobilien bietet sich – evtl. auch, wenn die Anforderungen an die Luftdichtheit der Gebäudehülle nur bedingt erfüllt werden können – eine dezentrale Abluftanlage an.

Diese kann relativ unkompliziert auch in einzelnen Räumen installiert werden.



# Anlagenkomponenten im Wohnungsbau



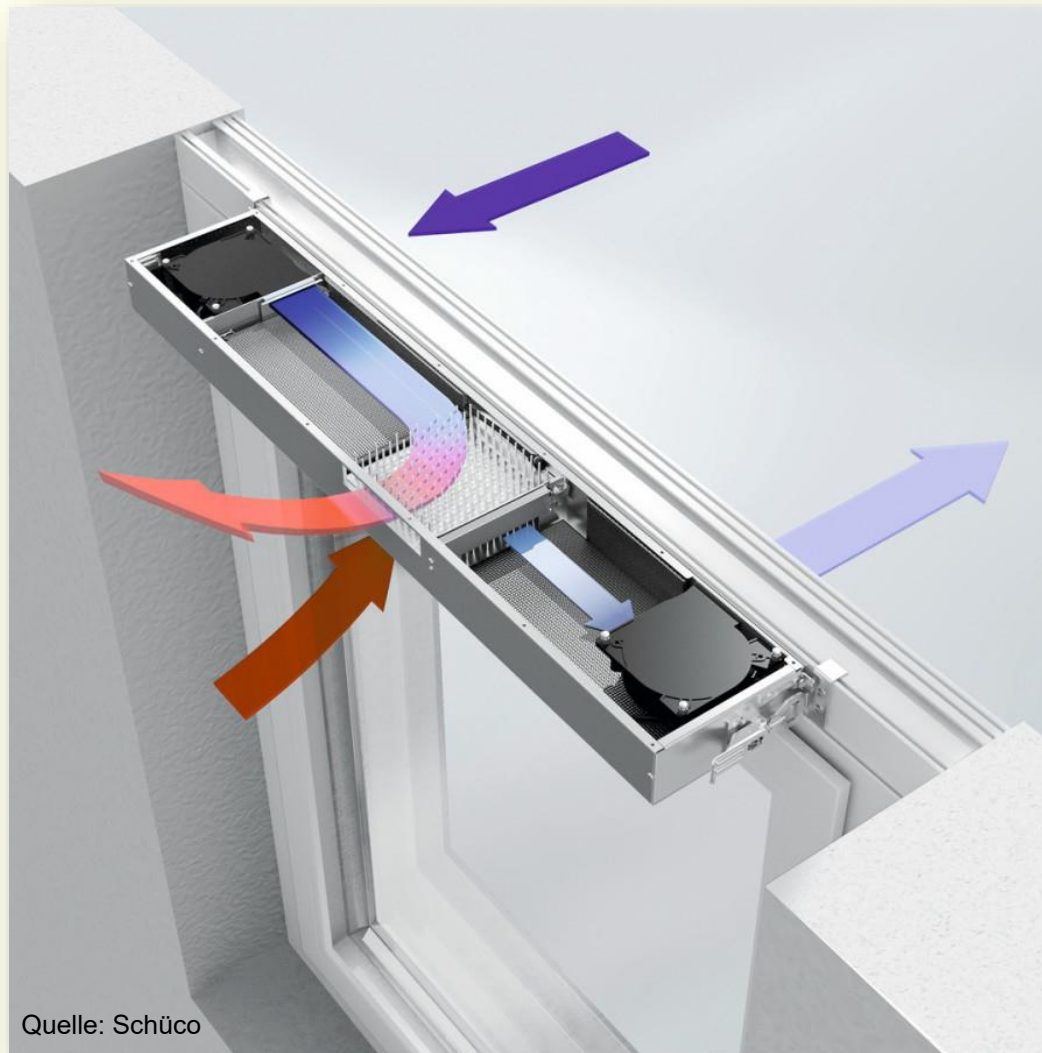
Quelle : EBH Haus



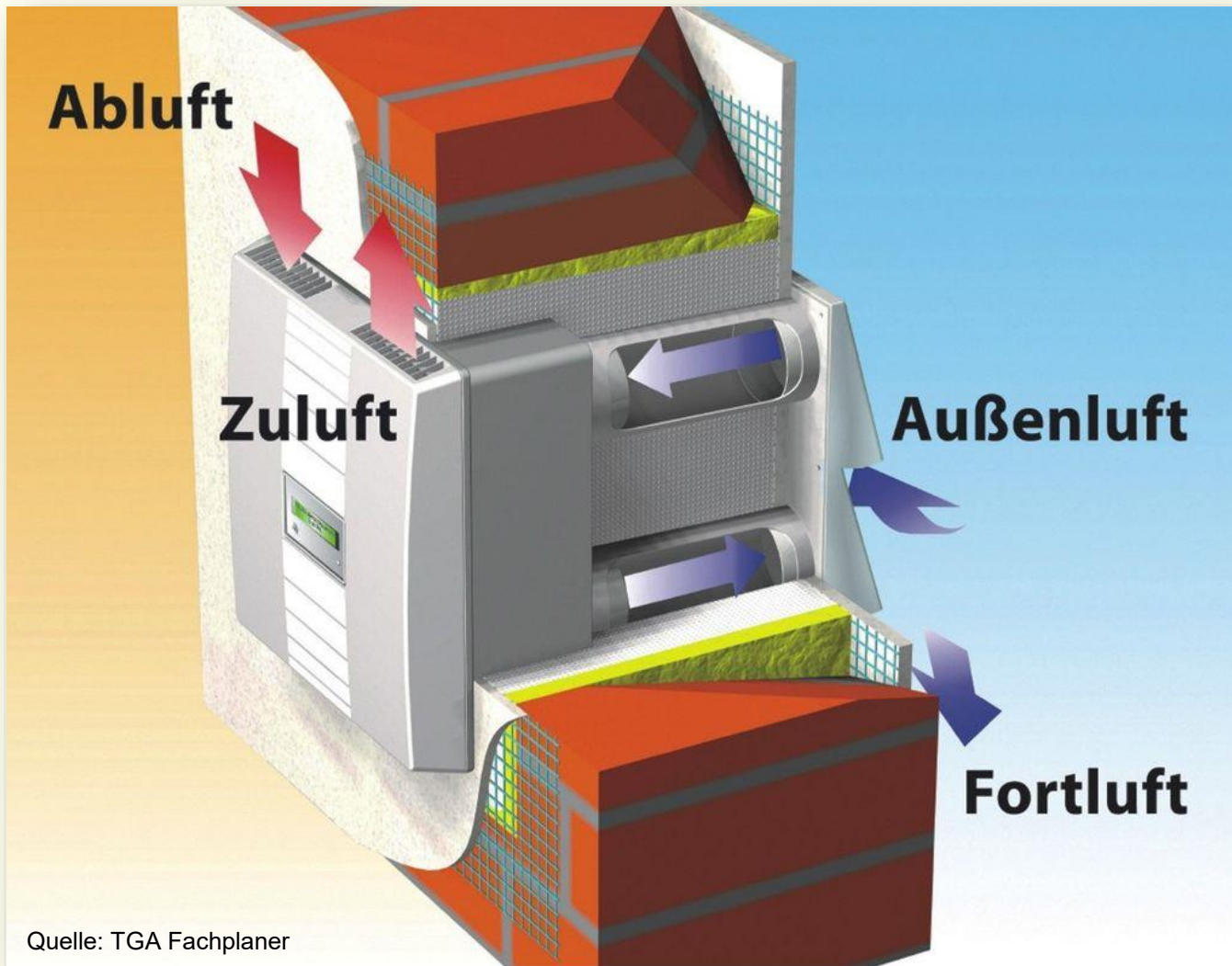
Quelle : Ambientebau.net



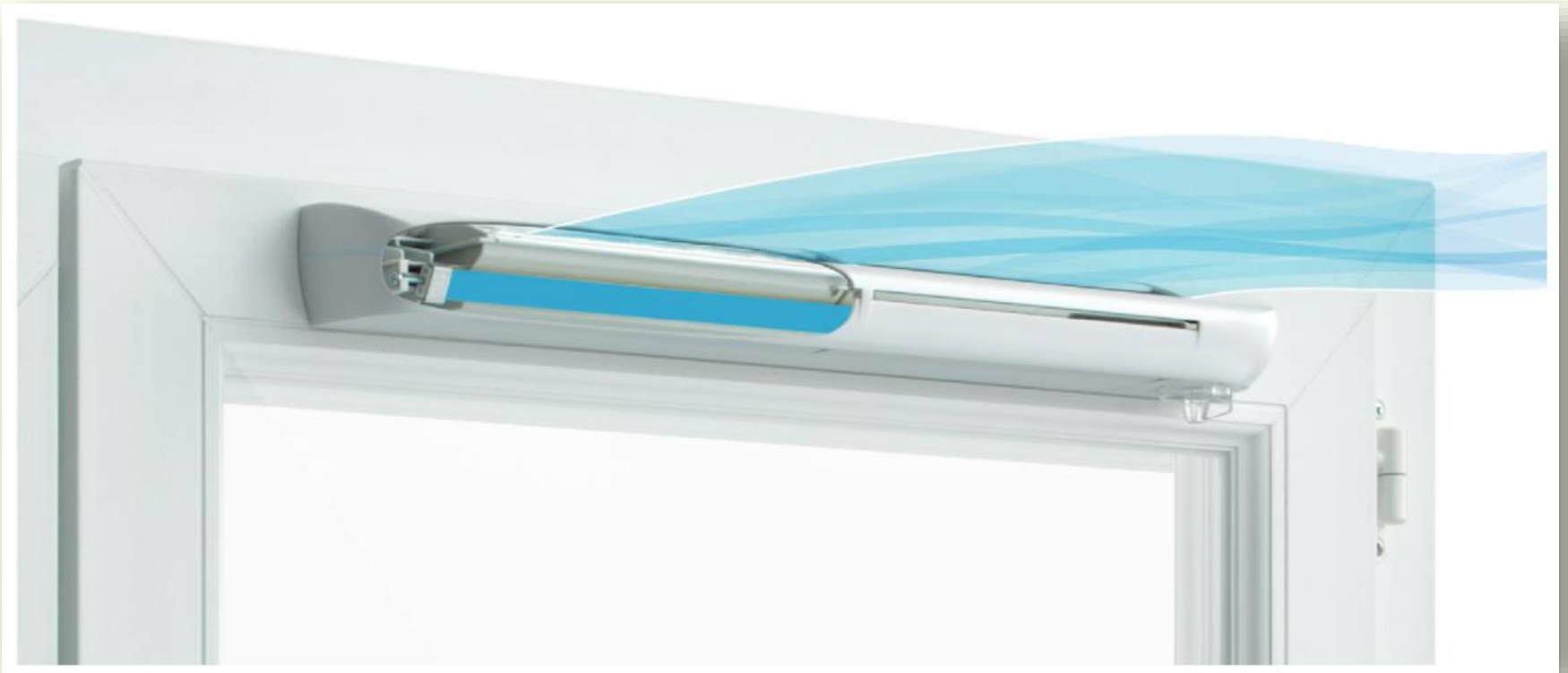
# Anlagenkomponenten im Wohnungsbau



# Anlagenkomponenten im Wohnungsbau



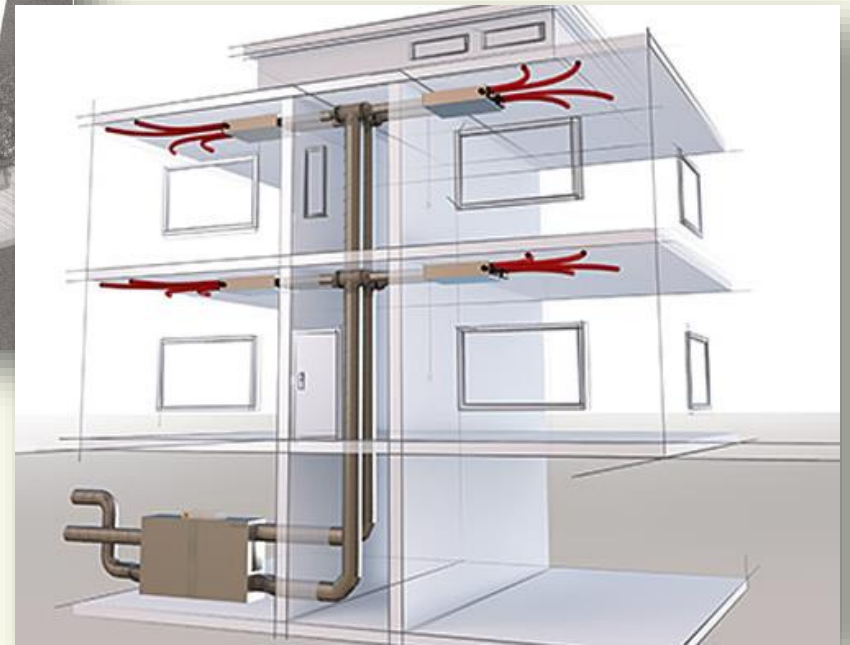
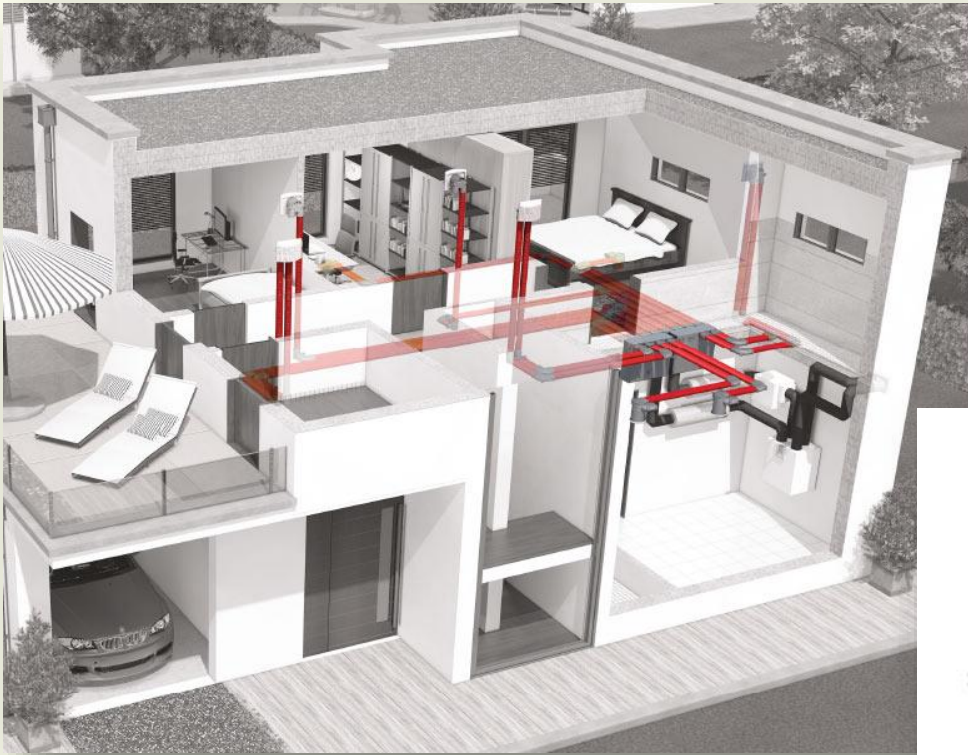
# Anlagenkomponenten im Wohnungsbau



Quelle: Aereco



# Anlagenaufbau im Wohnungsbau



Quelle: Vallox.de



Optimale Kombinationen von Heizung und Lüftung

**(BDM)**

# Anlagenaufbau im Wohnungsbau

## Zentrales Lüftungsgerät



Quelle: elektro.net



Quelle: Vallox.de

# Anlagenkomponenten im Wohnungsbau

## Kanalsystem/Rohrsysteme



Quelle: Vallox.de

# Anlagenkomponenten im Wohnungsbau

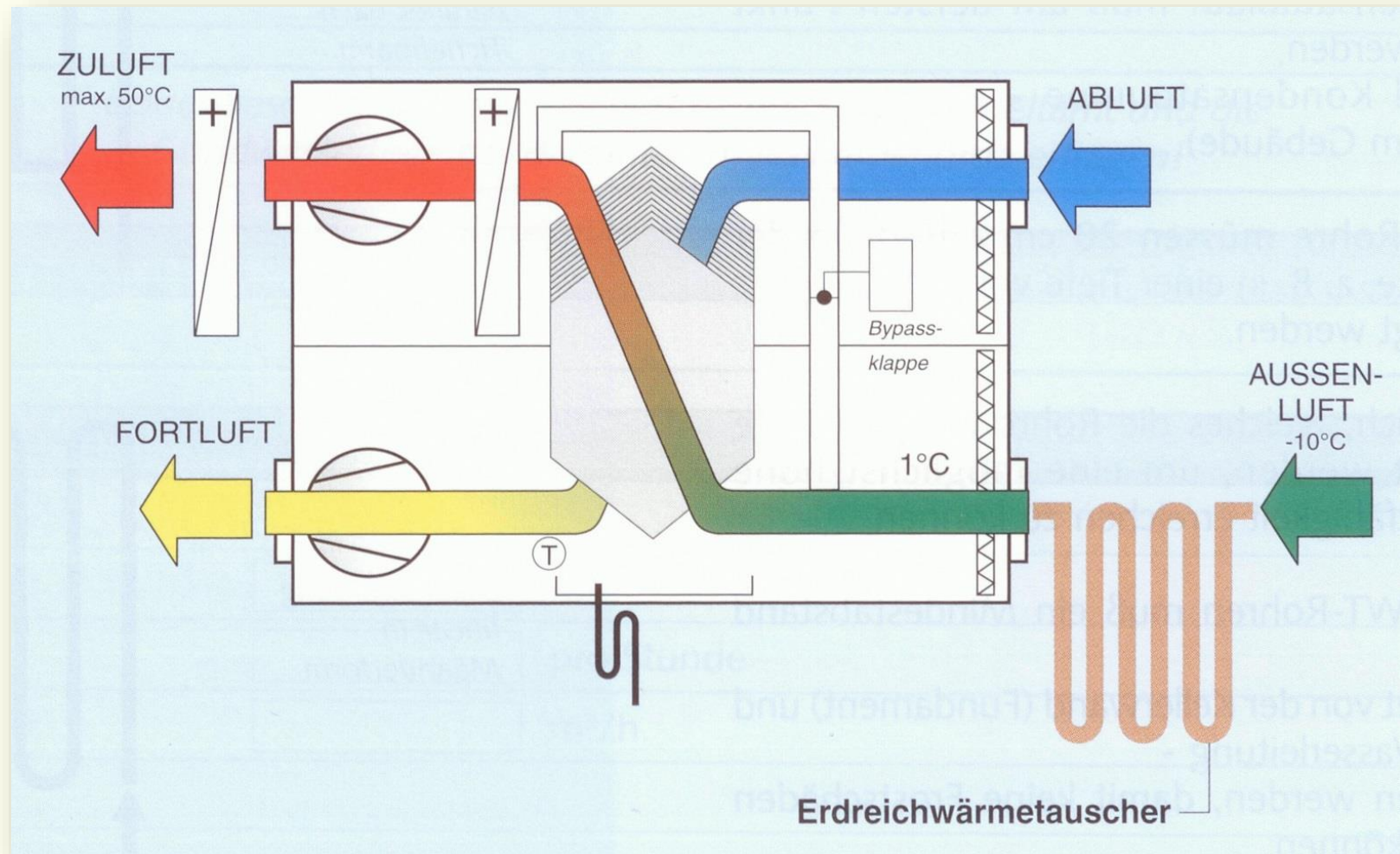
## Luftauslässe



Quelle: Vallox.de

# Anlagenkomponenten im Wohnungsbau

## Erdwärmetauscher

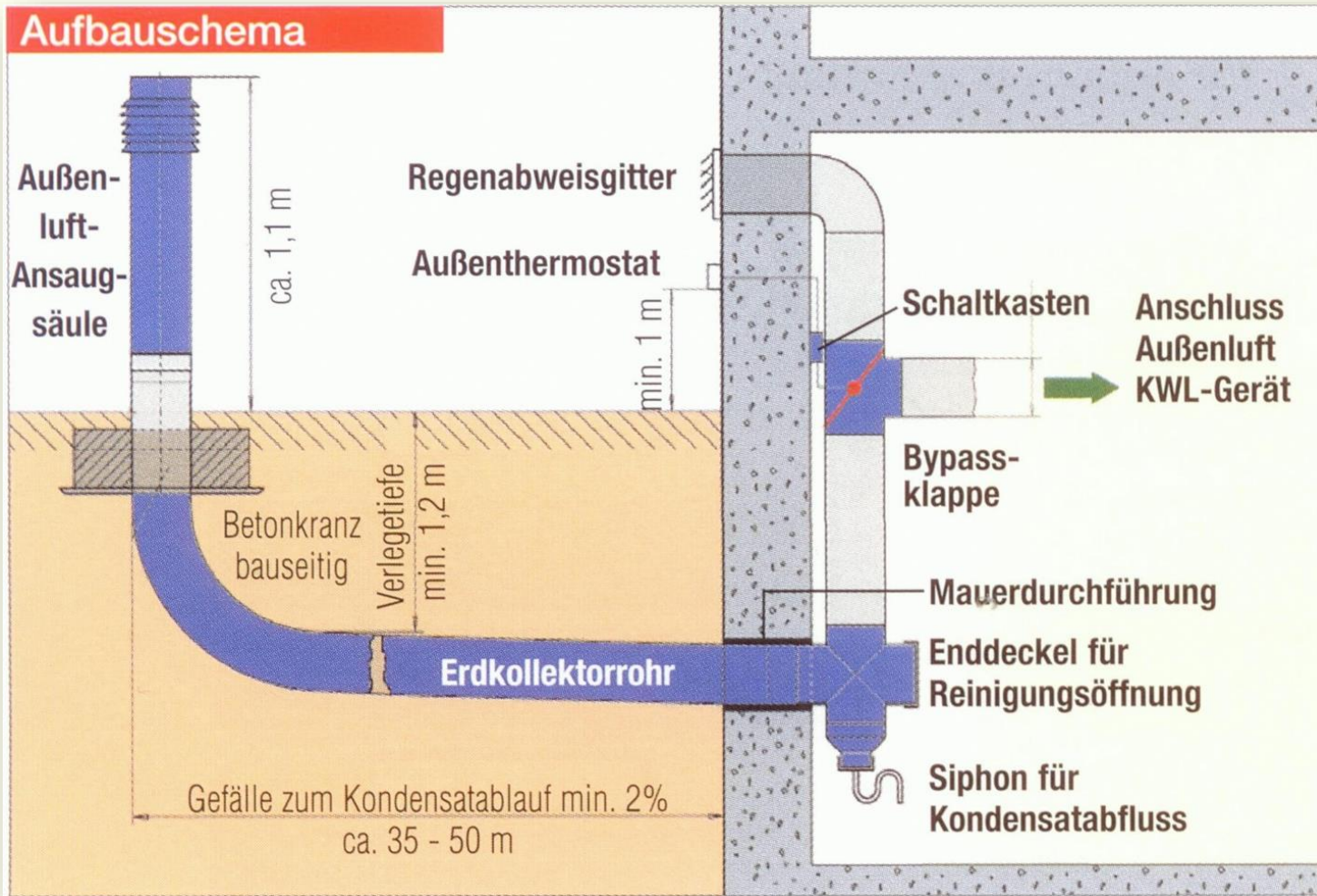


Quelle: Westaflex



# Anlagenkomponenten im Wohnungsbau

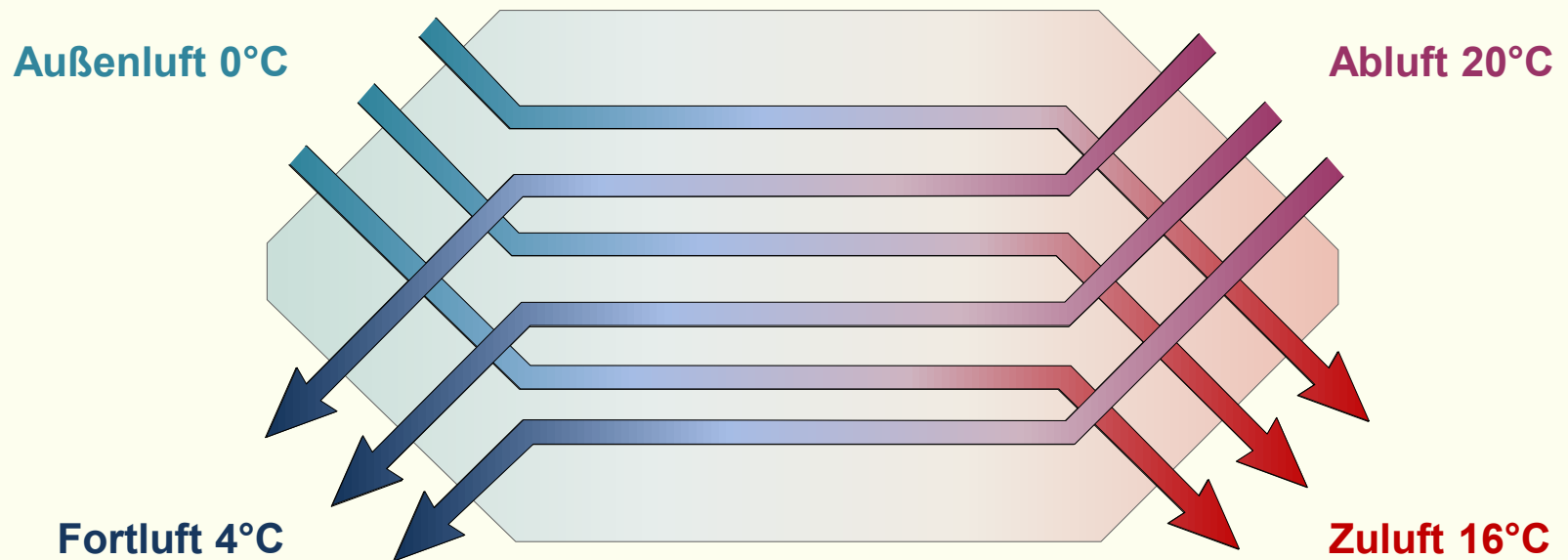
## Erdwärmetauscher



Quelle: Westaflex



## Wärmerückgewinnung



# Anlagenkomponenten müssen gepflegt werden!

## Filter



Quelle: Elmar Sättle

## Verschmutzte Luftkanäle



## Anlagenkomponenten müssen gepflegt werden!

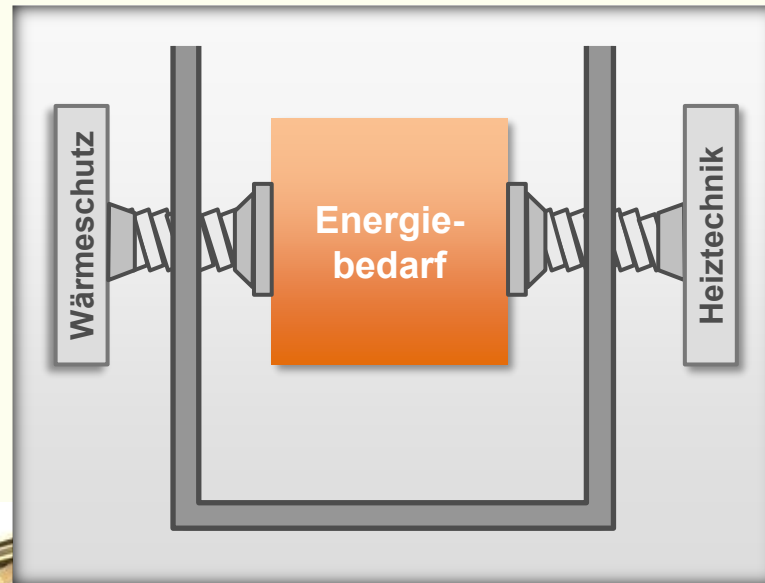
- Schlecht positionierte Außenluftansaugung einer RLT-Anlage kann ein Klimasystem im Hinblick auf die Zuluft Qualität ruinieren
- Aus hygienischen Gründen sollten pro Nutzer ca. 50 m<sup>3</sup>/h Außenluft in den Raum eingebracht werden



# Die Heizsysteme im Wohngebäude

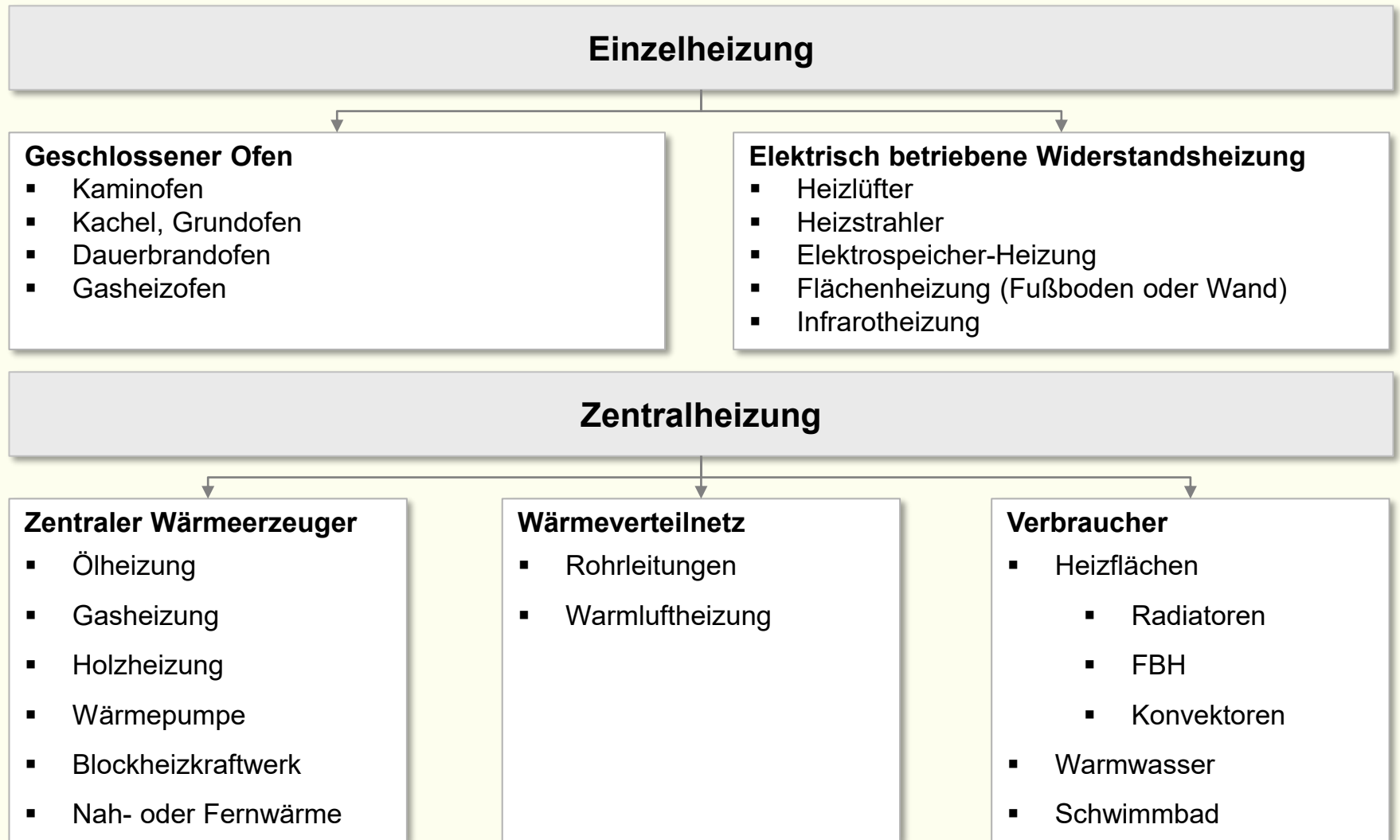


## Was kommt zuerst?

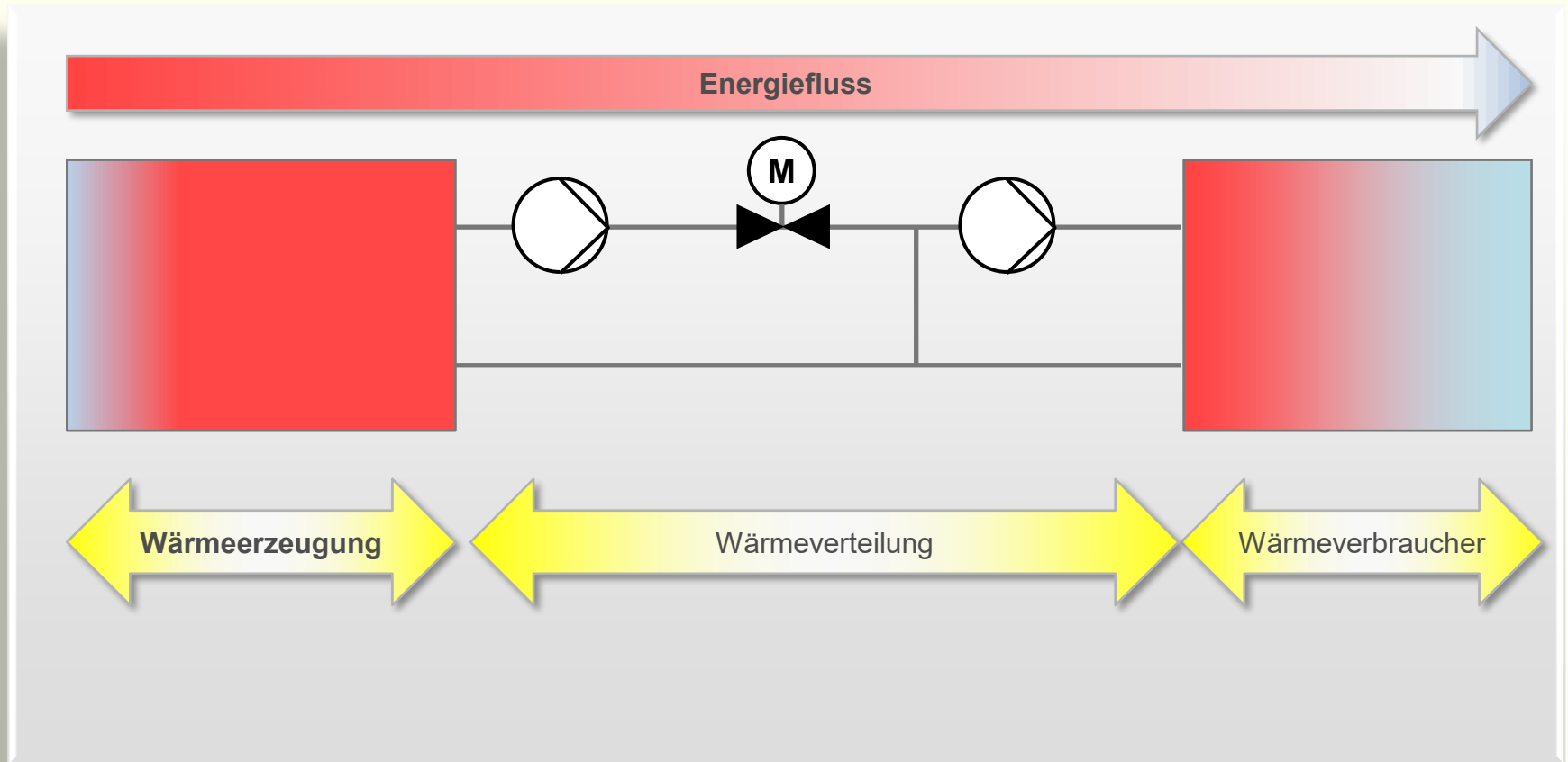


***Die Energiewende kann in Ihrem  
Heizungskeller beginnen!***

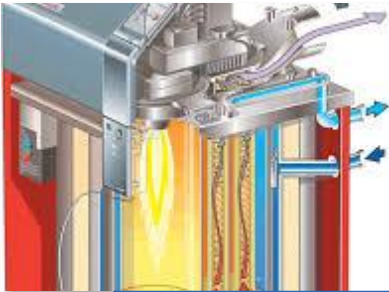




# Aufbau einer Heizungsanlage



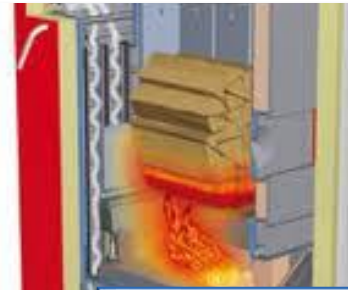
# Zentraler Wärmeerzeuger



Ölheizung



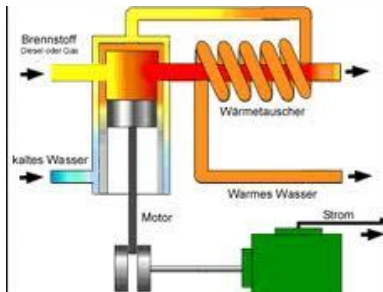
Gasheizung



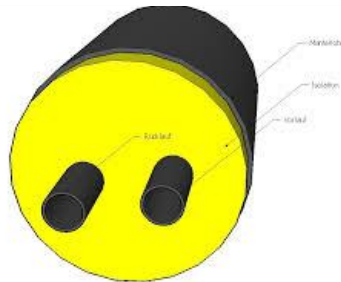
Holzheizung



Wärmepumpe



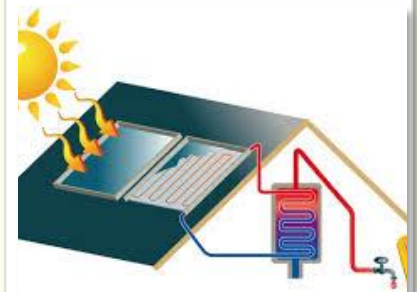
Blockheizkraftwerk



Fernwärme



Wärmetauscher



Solarthermie



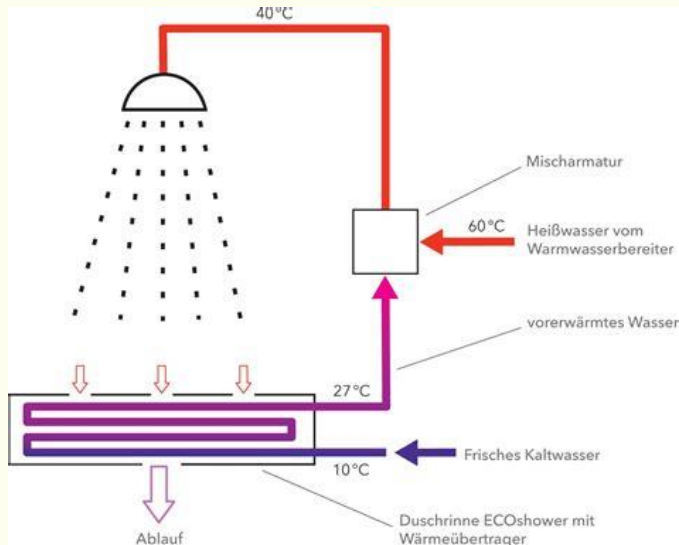
## Innovative Wärmeerzeuger



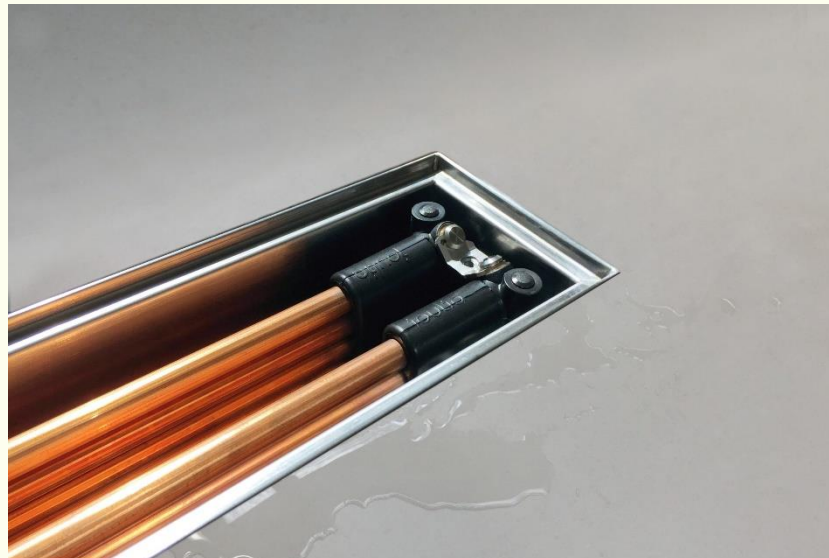
Quelle: Quirit



# Innovative Wärmeerzeuger (Duschrinne mit Wärmerückgewinnung)



<https://swb-herten.de>



<https://www.baulinks.de>

<https://www.vbau.com>



## Temperaturbegriffe im Raumklima



# Alexander von Humboldt

Der deutsche Naturforscher und Geograph **Alexander von Humboldt** gab in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine Definition des Begriffes „**KLIMA**“, dem auch heute nichts wesentliches hinzuzufügen ist.

## Klima umfasst danach:

„alle Veränderungen der Atmosphäre, die unsere Sinne merklich affizieren (reizen), nämlich Temperatur, Feuchte, Veränderungen des barometrischen Luftdrucks, Wind, die Größe der elektrischen Spannung, die Reinheit der Atmosphäre oder ihre Vermengung mit mehr oder minder schädlichen gasförmigen Exhalationen (Ausdünstungen); endlich den Grad habitueller (regelmäßig auftretend) Durchsichtigkeit und Heiterkeit des Himmels, welche nicht bloß wichtig ist für die vermehrte Wärmestrahlung des Bodens, die organische Entwicklung des Gewächses und die Reifung, sondern auch für die Gefühle und die ganze Seelenstimmung“



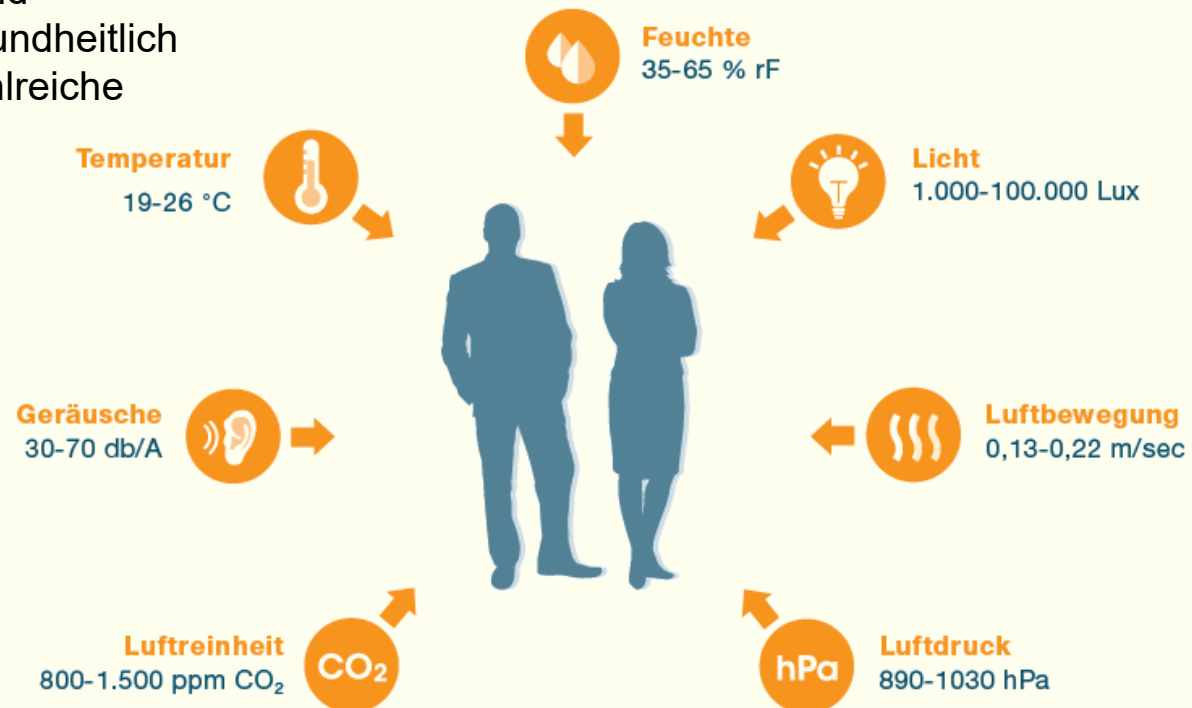
# Der Mensch

## Luft:

Damit Menschen sich in Büros und Wohnräumen behaglich und gesundheitlich unbedenklich fühlen, müssen zahlreiche Umgebungsfaktoren aufeinander abgestimmt werden.

Der Mensch benötigt **mindestens 10.000l bzw. 14 kg** Luft am Tag

Durch die Anlagentechnik darf die Luftqualität nicht verschlechtert werden.



## Die Norm DIN 1946-6:2019-12

„Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung“

### Anwendungsbereich

Die Norm legt fest, **wann und wie eine Lüftung erforderlich ist**, um:

- hygienische Raumluftqualität sicherzustellen,
- Feuchte- und Schimmelschäden zu vermeiden,
- Energieverluste zu minimieren.

Sie gilt für:

- Neubauten,
- größere Sanierungen,
- Wohnungen, Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser.



## Die EN 16798 wird bei Nichtwohngebäuden angewendet

| Standard / TR              | Alte Nummer                     | Inhalt                                                                          |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| EN 16798-1<br>TR 16798-2   | 08.2022<br>EN 15251             | Innenraumklimabedingungen und Nutzungsprofile                                   |
| EN 16798-3<br>TR 16798-4   | 08.2022<br>EN 13779             | Anforderungen an die Leistung von Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme |
| EN 16798-5<br>TR 16798-6   | EN 15241                        | Energieberechnungen für Lüftungssysteme                                         |
| EN 16798-7<br>TR 16798-8   | EN 15242                        | Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Luftvolumenströme                        |
| EN 16798-9<br>TR 16798-10  | EN 15243<br>(Teile)             | Berechnungsmethoden für energetische Anforderungen von Kühlsystemen             |
| EN 16798-11<br>TR 16798-12 | EN 15243<br>(Teile)             | Lastberechnungen                                                                |
| EN 16798-13<br>TR 16798-14 | EN 15243<br>(Teile)             | Berechnungsmethoden für Kälteanlagen                                            |
| EN 16798-15<br>TR 16798-16 | EN 15243<br>(Teile)             | Berechnungsmethoden für den Energiebedarf von Kälteanlagen - Speicherung        |
| EN 16798-17<br>TR 16798-18 | 08.2022<br>EN 15239<br>EN 15240 | Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen                               |

Die Normenreihe **EN 16798** befasst sich in **neun Teilen plus neun technischen Reports** mit der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Mit dem Erscheinen der Weißdrucke wurden viele bisherige Normen ungültig!



## Zuordnung der Kategorien

| Kategorie<br>DIN EN<br>16798-1 | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Kategorie<br>DIN EN ISO<br>7730 |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| I                              | <ul style="list-style-type: none"><li>• hohes Maß an Erwartungen</li><li>• empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z.B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Kinder und ältere Personen</li></ul> | A                               |
| II                             | <ul style="list-style-type: none"><li>• normales Maß an Erwartungen</li><li>• empfohlen für neue und renovierte Gebäude</li></ul>                                                                                                                                                                | B                               |
| III                            | <ul style="list-style-type: none"><li>• annehmbares, moderates Maß an Erwartungen</li><li>• kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden</li></ul>                                                                                                                                            | C                               |
| IV                             | <ul style="list-style-type: none"><li>• Werte außerhalb der oben genannten Kategorien</li><li>• Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden</li></ul>                                                                                                      | -                               |



# Der Mensch

Die Hautoberfläche des Menschen ist das Hauptorgan zur **Wärmeregulierung**.

Über die Blutgefäße und Hautnerven erhält das Gehirn Wärme- bzw. Kältesignale. Das Gehirn veranlasst entsprechende Körperfunktionen zur Aufrechterhaltung des **Wärmegleichgewichts**.



|                          |                            |                       |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------|
| <b>Hautflächen:</b>      | Kopf                       | 0,126 m <sup>2</sup>  |
|                          | Rumpf                      | 0,648 m <sup>2</sup>  |
|                          | Arme/Hände                 | 0,342 m <sup>2</sup>  |
|                          | Beine/Füße                 | 0,684 m <sup>2</sup>  |
|                          | Gesamt:                    | 1,800 m <sup>2</sup>  |
| <b>Körpertemperatur:</b> | Innen                      | 37 °C                 |
|                          | Hautfläche                 | 31 °C                 |
| <b>Wärme (mittl.):</b>   | Fühlbare Abgabe            | 80 W                  |
|                          | Latente Abgabe             | 30 W                  |
|                          | Gesamt/h.                  | 110 W                 |
| <b>Wasserdampf:</b>      | Abgabe                     | 45 g/h                |
| <b>Puls und Atmung:</b>  | Pulsschläge                | 75/min                |
|                          | Zahl der Atemzüge          | 16/min                |
|                          | CO <sup>2</sup> -Ausatmung | 20 l/h                |
|                          | Atemluftmenge              | 0,5 m <sup>3</sup> /h |

## Aktivitätsgrad (met)

### DIN EN 16798-1 2022:3 (13779)

Wärmeerzeugung durch Personen bei unterschiedlichen Aktivitäten (Lufttemperatur 24 °C)

| Aktivität                                                      | Gesamte Wärme |            | Sensible Wärme |
|----------------------------------------------------------------|---------------|------------|----------------|
|                                                                | [met]         | [W/Person] | [W/Person]     |
| Angelehnt                                                      | 0,8           | 80         | 55             |
| Ruhig sitzend                                                  | 1             | 100        | 70             |
| Sitzende Tätigkeit<br>(Büro, Schule, Labor)                    | 1,2           | 125        | 75             |
| Stehend,<br>leichte Tätigkeit<br>(Laden, Labor, etc.)          | 1,6           | 170        | 85             |
| Stehend,<br>mittelschwere Tätigkeit<br>(Maschinenarbeit, etc.) | 2             | 210        | 105            |



## Bekleidung (clo)

### Was ist „clo“?

- Die Bekleidung spielt beim Wärmeaustausch zwischen Körperoberfläche und Umgebung eine wesentliche Rolle
- Die Abgabe von Wärme ist beeinflussbar durch die Art der Bekleidung und dem hieraus resultierenden Wärmeleitwiderstandes
- Der Kennwert für den Isolationswert der Bekleidung ist die clothing-Einheit **clo**.

| Bekleidung | clo |
|------------|-----|
| ohne       | 0   |
| leicht     | 0,5 |
| mittel     | 1,0 |
| warm       | 2,0 |



# Behaglichkeitsmessung

## Auslegungsvoraussetzungen für Bekleidung und Aktivität in Bürogebäuden:

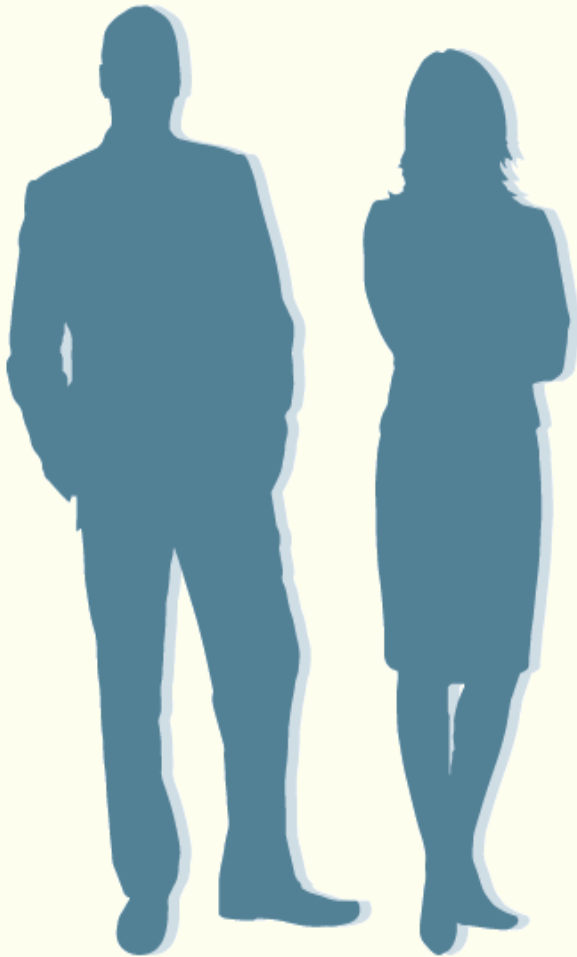
| Parameter  | Üblicher Bereich (clo)                     | Standardwert für die Auslegung     |
|------------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| Bekleidung | Sommer: 0,5 bis 0,7<br>Winter: 0,8 bis 1,0 | Sommer: 0,5 clo<br>Winter: 1,0 clo |
| Aktivität  | 1,0 met bis 1,4 met                        | 1,2 met                            |

**met:** Bewertung der menschlichen Tätigkeit

**clo:** Bewertung der Bekleidung



## Bekleidung (clo)



### Bekleidungswiderstand (clo)

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| <i>T-Shirt</i>     | <i>0,15</i> |
| <i>kurze Hose</i>  | <i>0,10</i> |
| <i>Unterwäsche</i> | <i>0,06</i> |
| <i>Socken</i>      | <i>0,05</i> |
| <b>Summe</b>       | <b>0,36</b> |

### Vereinfachte Annahme

Sommer: 0,5 clo  
Winter: 1,0 clo

## Die Messgröße Temperatur



# Temperatur

## Die Temperatur

- ist neben der Zeit die meistgemessene Größe
- wird vom Menschen als Wärme oder Kälte empfunden (subjektive Einschätzung)
- ist ein Maß für die im Körper innenwohnende Energie (allgemeine Physik)
- beschreibt die Qualität und Intensität der Wärme (Wärmelehre)



# Temperatur

**Temperatur** ist das Maß  
für die in einem Körper  
innewohnende **Energie!**

**oder anschaulich**

Temperatur beschreibt,  
wie intensiv sich die  
Teilchen eines Körpers  
**bewegen!**



# Temperatur

Ich messe **nie** die **Temperatur**  
meines Mediums, ich messe **nur**  
die Temperatur meines **Sensors!**



# Temperatur

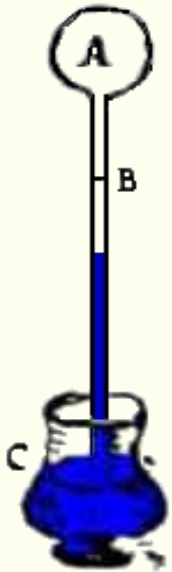
Eine unmittelbare Messung der inneren kinetischen Energie ist **nicht möglich**.



**Kinetische Energie** ist die Energie, die ein Körper aufgrund seiner Bewegung besitzt.

# Galileo Galilei

**1596:** Erfindung des neuzeitigen Thermoskops



- **A:** einseitig geschlossenes Glasrohr
- **B:** Vorratsgefäß mit Wasser (B)
- **C:** Erwärmung der Luft im Glasrohr führt zu ihrer Ausdehnung  
Wasser wird im Glasrohr nach unten gedrückt
- Temperaturanzeige = Wasserpegel



**Galileo Galilei**  
**1594-1642**

**Aber:** kein konstanter Luftdruck und somit keine Reproduzierbarkeit!

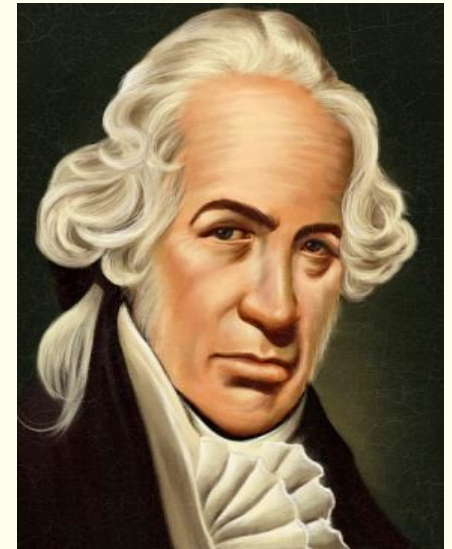
# Thomas Fahrenheit

**1715:** Erfindung des ersten Thermometers mit reproduzierbarer Temperaturskala

## Bestimmung von drei Fixpunkten:

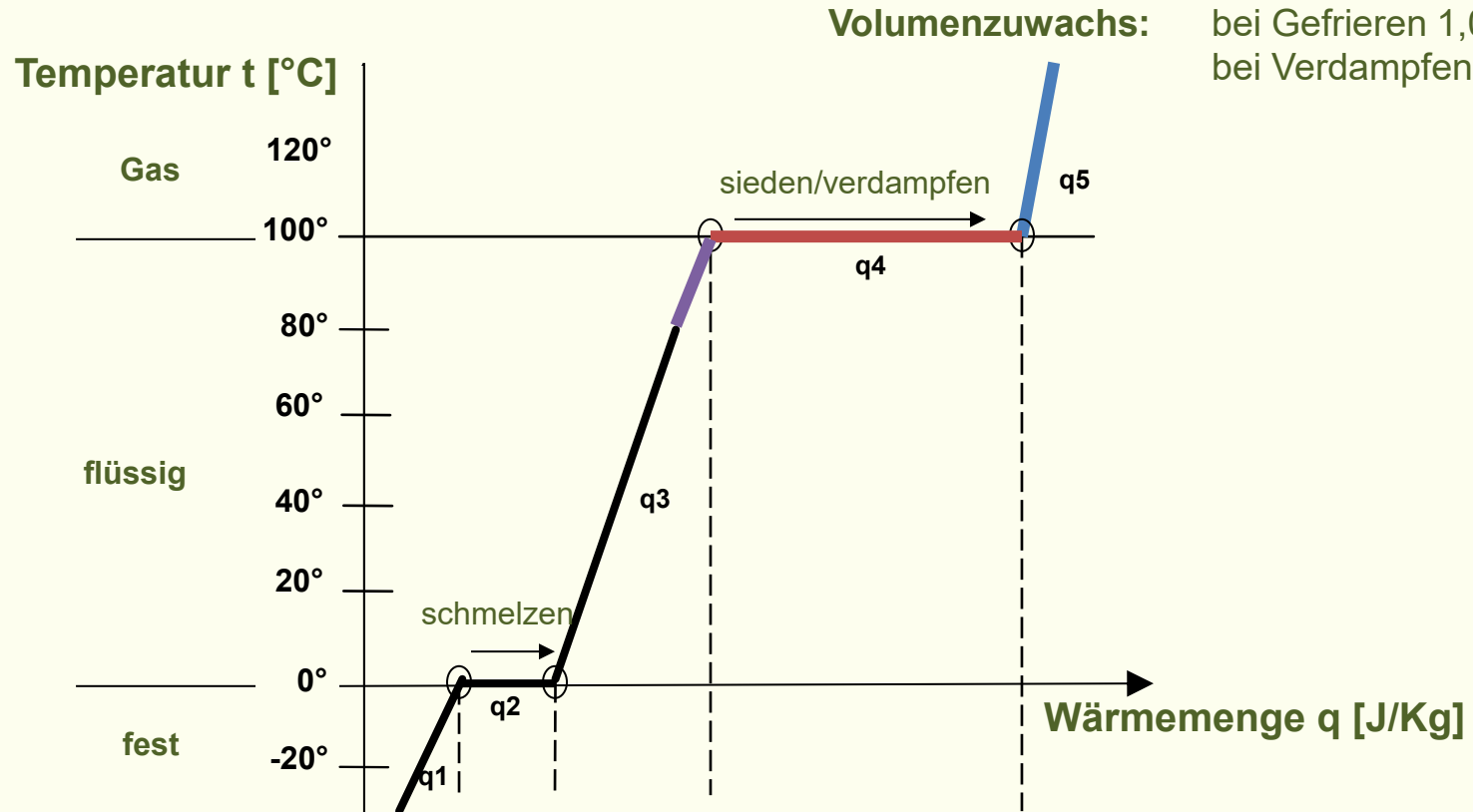
- 0°F: Gefrierpunkt einer Mischung aus Eis, Wasser und Salz
- 32°F: Gefrierpunkt des Wassers
- 100°F: Körpertemperatur eines Menschen

Verwendeter Füllstoff → **Quecksilber**



**Thomas Fahrenheit**  
**1686-1736**





spezifische Wärmekapazität  $q^1 = q^3 = q^5 = 4,2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

Schmelzwärme  $q^2 = 334 \text{ kJ/kg}$

Verdampfungswärme  $q^4 = 2257 \text{ kJ/kg}$

**Merke:** Die größte Wärmeenergie entzieht das Wasser seiner Umgebung beim sieden/verdampfen!

# Lord Kelvin

**1852:** Einführung der Kelvinskala auf Basis der Wärmetheorie

**Absoluter Nullpunkt:** 0 K

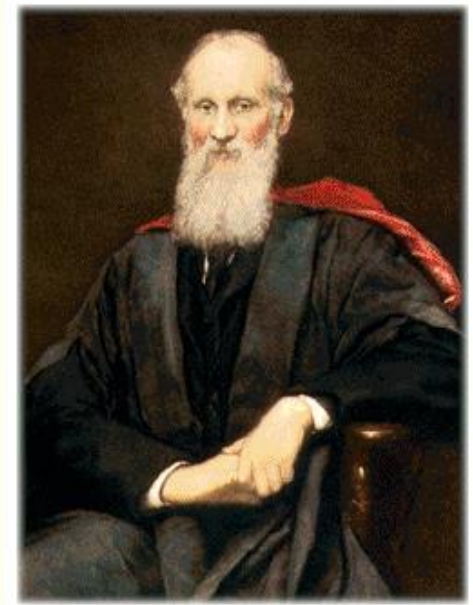
**Ruhezustand aller Moleküle im Körper:**

- 273,15 K = Gefrierpunkt des Wassers
- 373,15 K = Siedepunkt des Wassers

**Kelvin:** thermodynamische Einheit für Temperatur

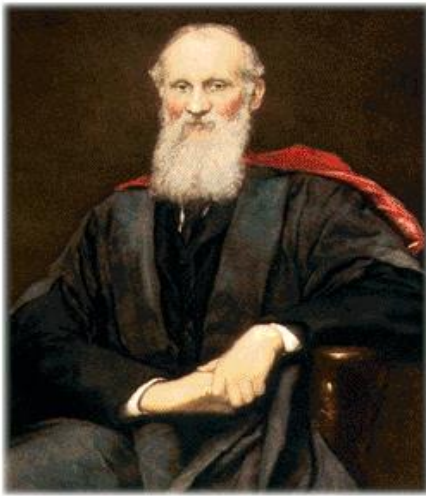
**Unterschied zu Celsius:**

Verschobener Nullpunkt  $-273,15\text{ °C} = 0\text{ K}$



**Lord Kelvin**  
**1824-1907**

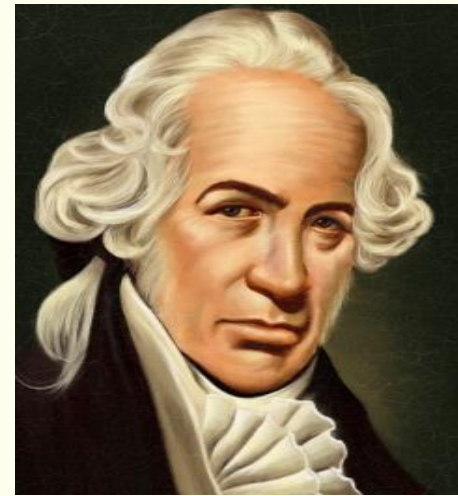
# Messgrößen in der Raumklimatechnik



K

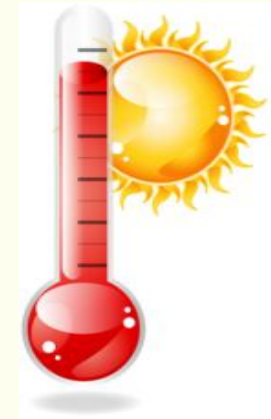
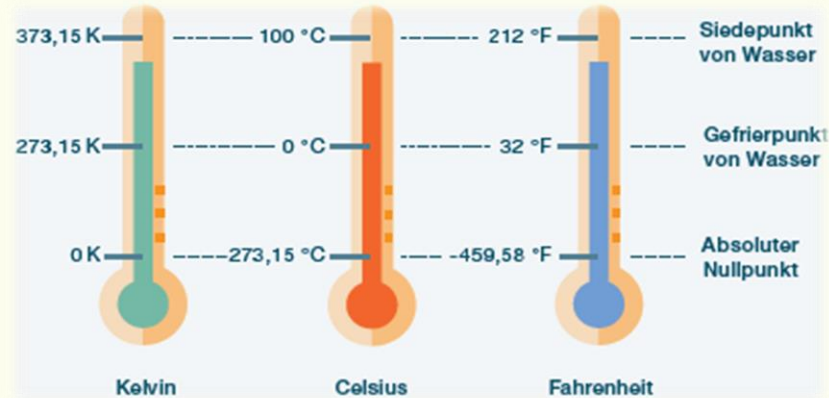


°C



°F

## Temperatur

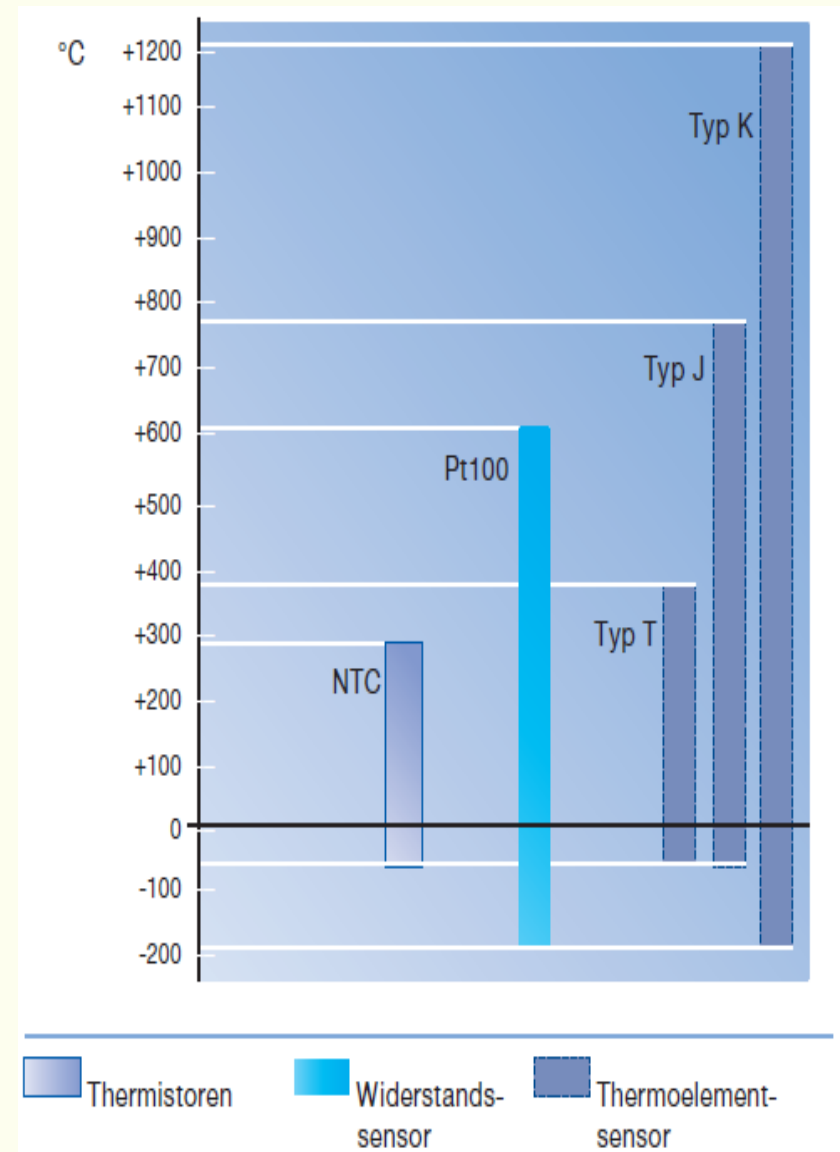


# Auswahl des geeigneten Temperatursensors

Die Messaufgabe bestimmt den Fühlertyp.

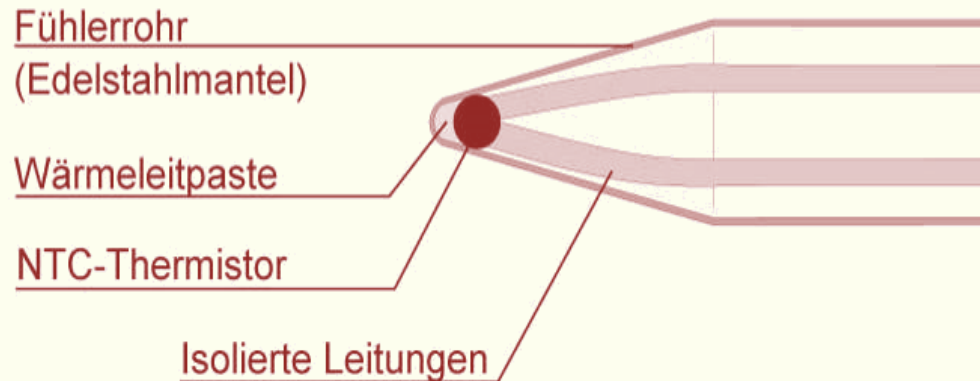
Die Auswahl des geeigneten Temperatursensors erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Messbereich
- Genauigkeit
- Messort-/Bauform
- Ansprechzeit
- Beständigkeit



# Der NTC - Temperatursensor

## Bauform:



**Messbereich:** -50...+150 °C

|                     |                |                      |
|---------------------|----------------|----------------------|
| <b>Genauigkeit:</b> | +50...-25,1 °C | ± 0,4 °C             |
|                     | -25...+74,9 °C | ± 0,2 °C             |
|                     | +75...+150 °C  | ± 0,5 % vom Messwert |

**Einsatzgebiet:**

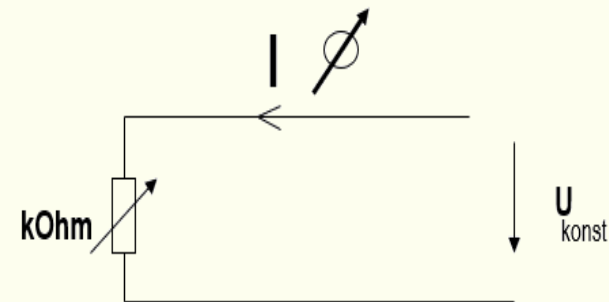
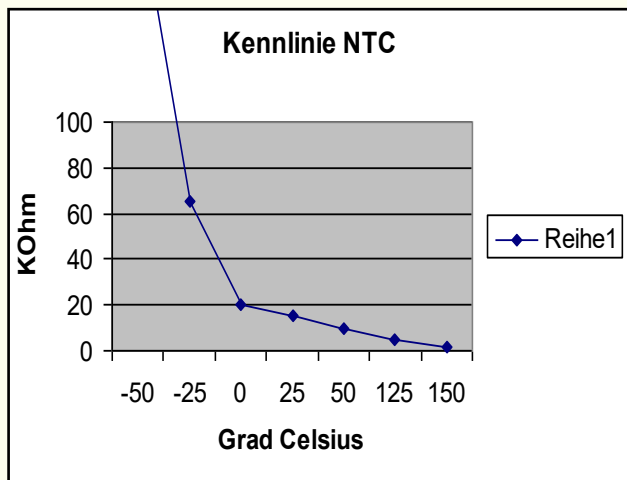
- Genau
- Langsam
- kleiner Messbereich



# Widerstandsthermometer NTC - PT 100

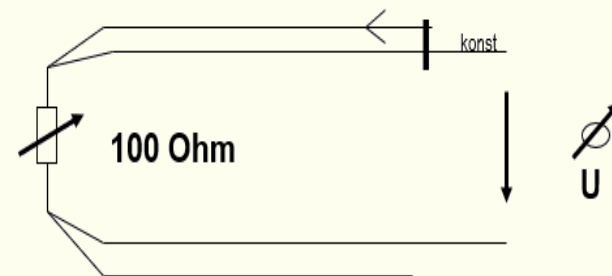
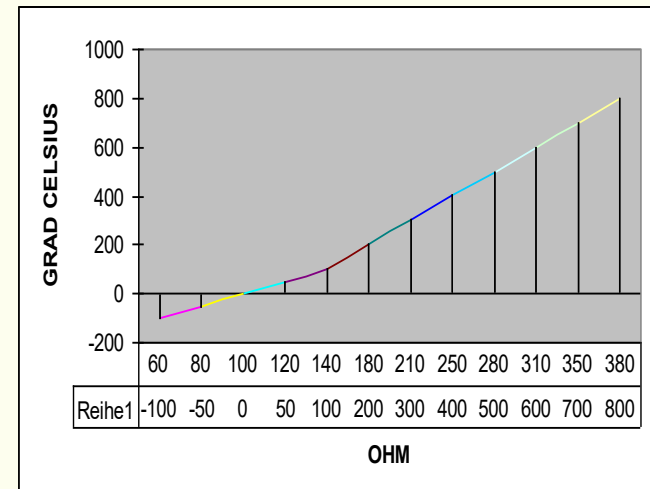
## NTC:

Negativer Temperatur-Koeffizient  
...5 k $\Omega$ .../...10 k $\Omega$ ...

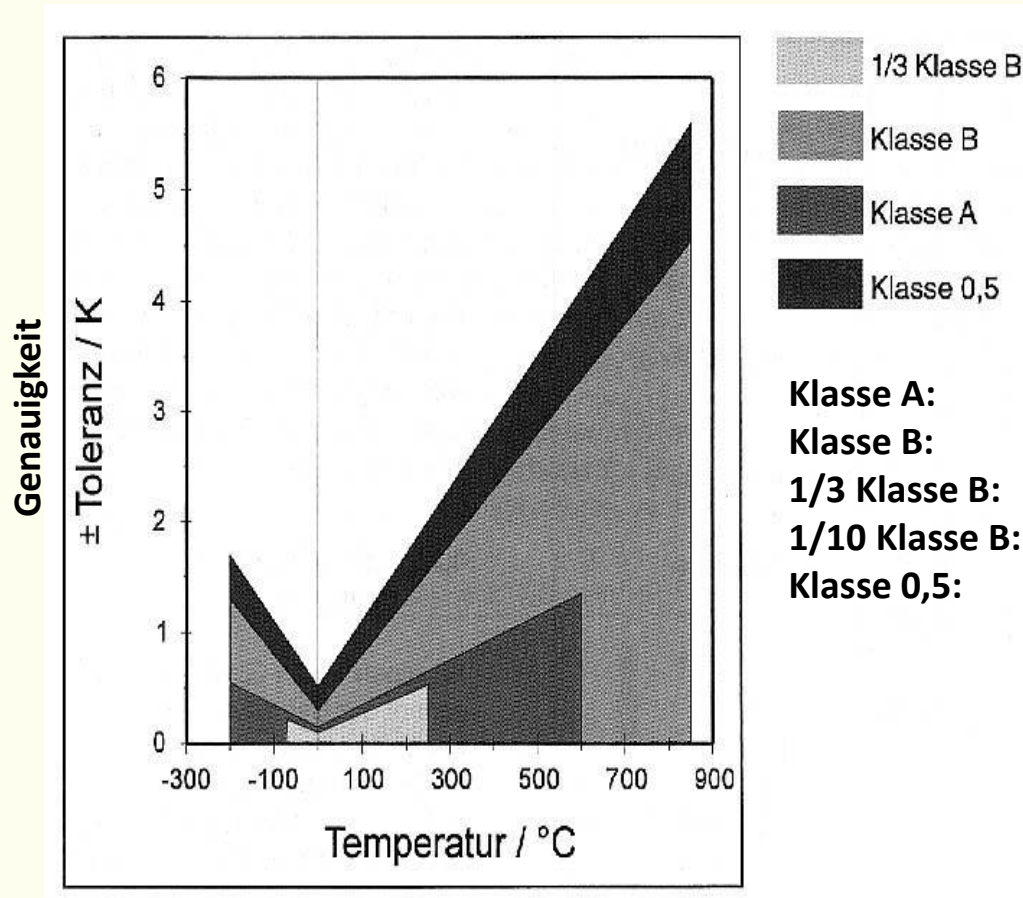


## PT 100:

Positiver Temperatur-Koeffizient  
...60 Ohm.../...380 OHM...



# PT 100



**Klasse A:**

**Klasse B:**

**1/3 Klasse B:**

**1/10 Klasse B:**

**Klasse 0,5:**

$$\pm (0,15 + 0,0020 \cdot |t|)$$

$$\pm (0,30 + 0,0050 \cdot |t|)$$

$$\pm (0,10 + 0,0017 \cdot |t|)$$

$$\pm (0,03 + 0,0005 \cdot |t|)$$

$$\pm (0,50 + 0,0060 \cdot |t|)$$

t = gemessene Temperatur in °C (Betrag | t |)

**Einsatzgebiet:** genau  
langsam  
großer Messbereich

# Thermoelement NiCr-Ni

**Bauform:** Mantel TE, TM, TI  
**Messbereich:** -70...+1270 C°

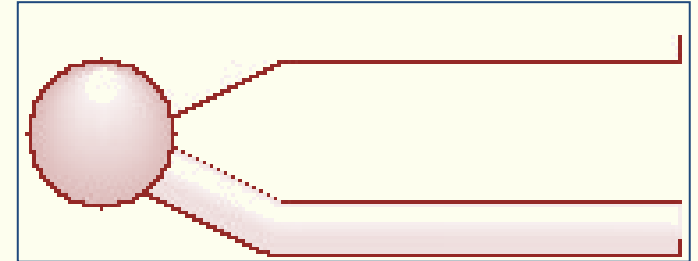
**Grenzabweichung:** z.B. Typ K DIN IEC 584

Klasse 1 1,5 oder 0,004 · |t|

Klasse 2 2,5 oder 0,0075 · |t|

Klasse 3 2,5 oder 0,015 · |t|

**Einsatzgebiet:** sehr schnell  
sehr großer Messbereich  
tolerierbare Ungenauigkeit

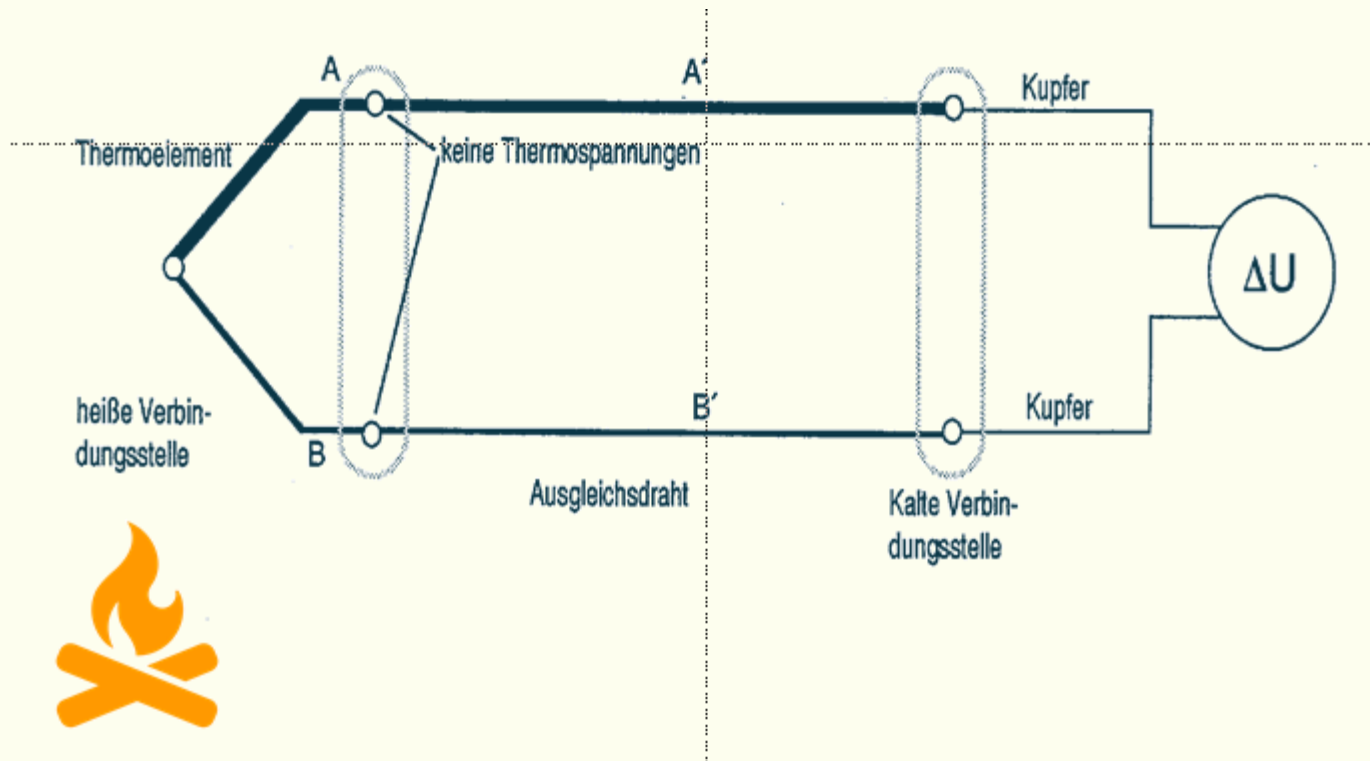


# Thermoelement

## Typ K:

|         |       |
|---------|-------|
| -200 °C | -6 mV |
| 0 °C    | 0 mV  |
| 200 °C  | 8 mV  |

d.h. ca. 3...4 mV / 100 °C



# Klasse der Grenzabweichung für Thermopaare

## Klassen der Grenzabweichung für Thermopaare (Vergleichsstellen-Temperatur 0°C)

| Klasse                             | 1                                                      | 2                             | 3 <sup>2</sup>               |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Grenzabweichungen <sup>1</sup> (±) | 0,5°C oder $0,004 \cdot  t $                           | 1°C oder $0,0075 \cdot  t $   | 1°C oder $0,015 \cdot  t $   |
| Verwendungsbereich Typ T           | -40°C bis +350°C                                       | -40°C bis +350°C              | -200°C bis +40°C             |
| Grenzabweichungen <sup>1</sup> (±) | 1,5°C oder $0,004 \cdot  t $                           | 2,5°C oder $0,0075 \cdot  t $ | 2,5°C oder $0,015 \cdot  t $ |
| Typ E                              | -40°C bis +800°C                                       | -40°C bis +900°C              | -200°C bis +40°C             |
| Verwendungsbereich Typ J           | -40°C bis +750°C                                       | -40°C bis +750°C              | ---                          |
| Typ K                              | -40°C bis +1000°C                                      | -40°C bis +1200°C             | -200°C bis +40°C             |
| Grenzabweichungen <sup>1</sup> (±) | 1°C oder<br>$(1 + (t-1100) \cdot 0,003]^\circ\text{C}$ | 1,5°C oder $0,0025 \cdot t$   | 4°C oder $0,005 \cdot t$     |
| Verwendungsbereich Typ R u. S.     | 0°C bis +1600°C                                        | 0°C bis +1600°C               | ---                          |
| Typ B                              | ---                                                    | +600°C bis +1700°C            | +600°C bis +1700°C           |

<sup>1</sup> Als Grenzabweichungen gelten die festgelegten Werte in °C oder die auf die tatsächliche Temperatur in °C bezogenen Prozentsätze. Es gilt jeweils der größere Wert.

<sup>2</sup> Thermopaare und Thermodrähte werden üblicherweise so geliefert, daß die Grenzabweichungen nach obenstehender Tabelle für den Temperaturbereich oberhalb -40°C eingehalten werden. Die Abweichungen für Thermopaare des gleichen Materials können bei Temperaturen unterhalb von -40°C größer sein als die in Klasse 3 festgelegten Grenzabweichungen. Wenn Thermopaare benötigt werden, die die Grenzabweichungen nach den Klassen 1,2 und/oder 3 einhalten sollen, muß dies vom Besteller angegeben werden, wobei üblicherweise eine spezielle Selektion des Materials notwendig ist.



# Grundbegriffe der Messtechnik / Messeinheit

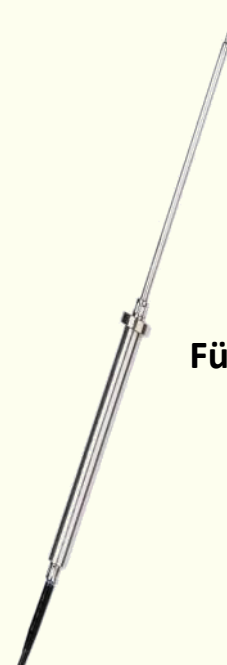
- **Sensor:** Bauteil, das den physikalischen Messwert in ein elektrisches Signal umsetzt
- **Messgerät:** Das Messgerät setzt Fühlersignale in Anzeigewerte um
- **Fühler:** nimmt den Sensor auf. Es gibt verschiedene Fühlerbauformen für die unterschiedlichen Anwendungen

Messgerät



Sensor  
im Fühler

Fühler



## Datenblatt fiktives Thermometer

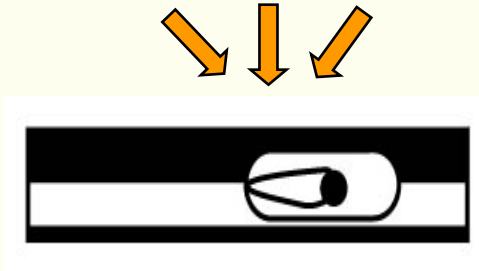


|    |              |                         |
|----|--------------|-------------------------|
| 4) | 25,73 °C     | + 2,5 K Grenzabweichung |
| 3) | 23,23 °C     | + 1%                    |
| 2) | 23,0 °C      | + 1 Digit               |
| 1) | <b>22 °C</b> | <b>Ausgangswert</b>     |
| 2) | 21,0 °C      | - 1 Digit               |
| 3) | 20,79 °C     | - 1%                    |
| 4) | 18,29 °C     | - 2,5 K Grenzabweichung |

### Ein Digital-Thermometer:

- zur sekundenschnellen Messung an Oberflächen, in Flüssigkeiten, weichplastischen Medien, Luft/Gasen, an kleinsten Objekten etc.
- Für alle Anwendungen, wo eine Auflösung von 1°C ausreicht
- **Messbereich:** -50 °C bis 1150 °C
- **Auflösung:** 1 °C
- **Genauigkeit:** besser 1% ± 1 Digit (von -20...+550°C)
- **Fühleranschluss:** für NiCr-Ni (Typ K) Kl. 2  
Temperaturfühler mit 2-poligem Norm-Flachstecker

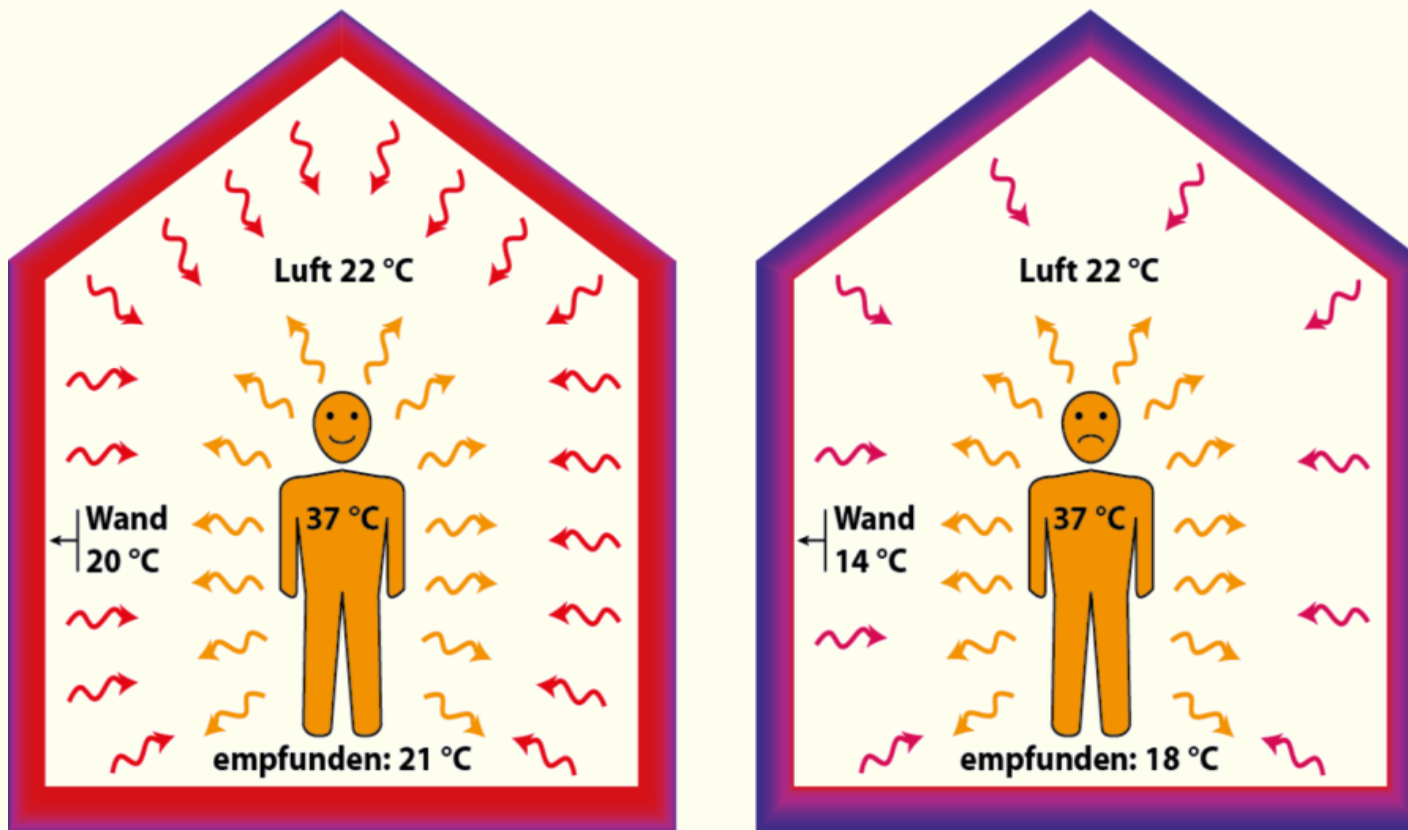
## Messung in Lufttemperatur



- Die Lufttemperatur ist mit einem strahlungsgeschützten Thermometer zu messen
- Der vertikale Temperaturgradient der Raumluft und darf 2 K/m nicht überschreiten
- EN 16798-1 2022:3 DIN ISO 7730 AR 3.5 bzw. (EN 13779/15251)
- optimale Ansprechzeit: 1,5 m/sec.  
t99 ab ca. 7 sec.

„Wenn nicht anders vereinbart, muss die **Lufttemperatur** für einen Bereich in der **Mitte des Raumes** bei einer **Höhe von 0,6 m über dem Boden** gelten.“

## Messung der Raumtemperatur mit Wärmestrahlung ist die empfundene Temperatur oder auch operative Temperaturmessung



$$\text{Empfundene Temperatur} = \frac{\text{Lufttemperatur} + \text{Strahlungstemperatur der Oberfläche}}{2}$$

# Messung der Raumtemperatur (Wärmestrahlung, empfundene Temperatur, operative Temperaturmessung)

Bauform nach Glück:

## Genauigkeit:

die gemessene Temperatur stimmt auf  $\pm 0,41 \text{ K}$   
mit der Empfindungstemperatur des Menschen überein

$t_{99}$ : ab ca. 20 min.



## Raumtemperatur

- Geringer Einfluss der relativen Luftfeuchte auf die Behaglichkeit
- Vernachlässigung der Luftgeschwindigkeit
- Empfindungstemperatur ermittelbar aus:

$$\vartheta_{op} \approx \frac{\vartheta_L + \vartheta_S}{2} \equiv \vartheta_E \equiv \vartheta_i$$

$\vartheta_{op}$  operative Temperatur

$\vartheta_L$  Lufttemperatur

$\vartheta_S$  Strahlungstemperatur

$\vartheta_E$  Empfindungstemperatur

$\vartheta_i$  Raumtemperatur

- Es setzt sich die empfundene Temperatur zu gleichen Teilen aus der Luft- und der Strahlungstemperatur zusammen
- Je mehr sich beide Temperaturen angleichen, desto gleichmäßiger ist die Erwärmung des Menschen
- Der Temperaturunterschied sollte weniger als 3K betragen



## Schon gewusst...?

### Studie der Universität Maastricht (Niederlande) in 2015:

Auf einer Skala mussten männliche und weibliche Probanden einschätzen, ob diese die Raumtemperatur im Büro als zu kalt oder zu warm empfanden, wie stark die Luft zirkulierte und wie feucht die Raumluft war

Wenig überraschendes Ergebnis: **Frauen frieren schneller**

### Ursache:

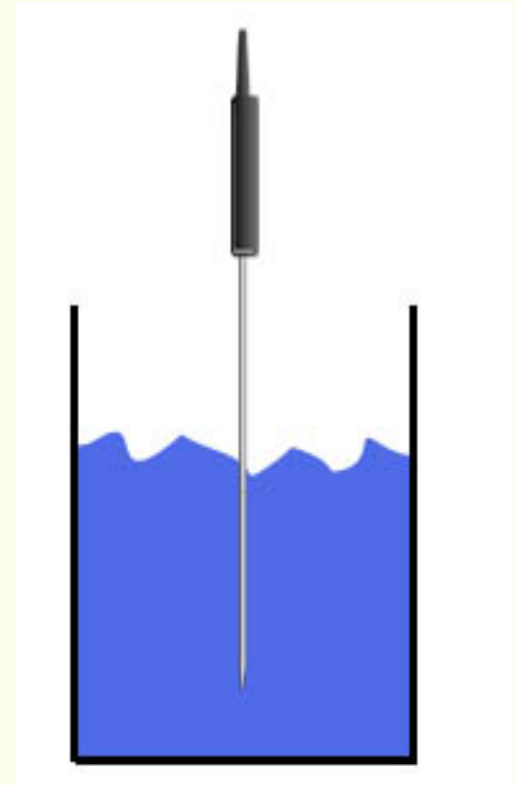
- Der männliche Körper produziert bei einem Gewicht von 70 kg rund 60-70 W Wärmeenergie pro m<sup>2</sup> Hautoberfläche
- Bei Frauen sind es jedoch max. 48 W. Büro-Klimasysteme sind aber meist auf den männlichen Wärmebedarf eingestellt
- Sie basieren nämlich auf dem thermischen Komfort-Modell, das in den 1960er Jahren entwickelt und seitdem nicht mehr angepasst wurde

# Messen in Flüssigkeiten

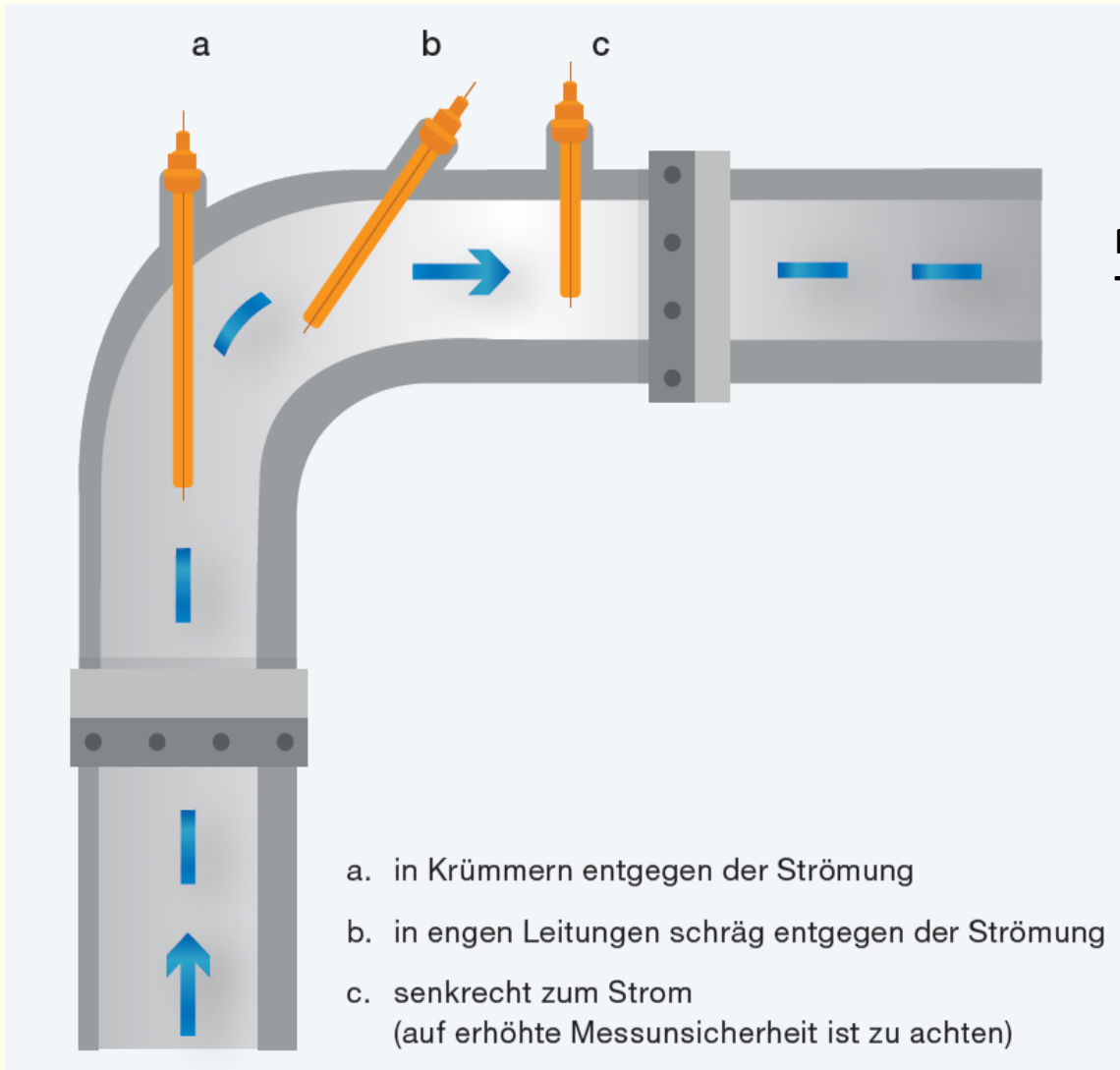
1. Für „industrielle“ Thermometer sollte eine Eintauchtiefe von 5 Durchmessern für eine Genauigkeit von 1 Prozent ausreichend sein
2. Für gute Laborthermometer wird eine Eintauchtiefe von 10 Durchmessern empfohlen, für eine Genauigkeit von 0,01 Prozent
3. Für beste Laborpraxis empfehlen sich Eintauchtiefen von 15 Durchmessern für eine Genauigkeit von 0,0001 Prozent

## Tipps:

- Eintauchtiefe: 10 x Fühlerdurchmesser
- Masseverhältnis: Fühler/Sensor/Medium beachten
- optimale Ansprechzeit: Bewegtes Medium
- $t_{99}$ : ab ca. 0,5 Sekunden



## Messung im Rohr

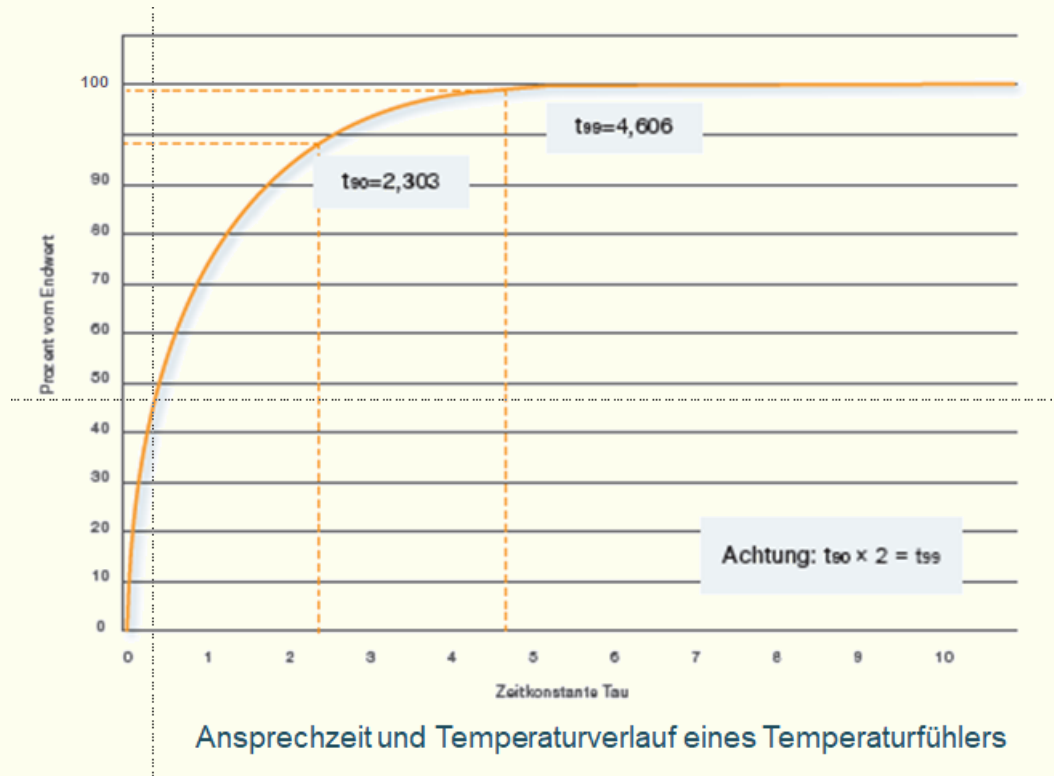


**Montageempfehlung der  
Temperaturfühler gemäß DIN 12599**



# Ansprechzeit von Fühlern

- Ein Temperaturfühler benötigt eine gewisse Zeit, um die Temperatur des Stoffes anzunehmen, den er misst
- Ein Fühler hat die Temperatur des Mediums/Stoffes angenommen, wenn er **99%** des Endwertes erreicht hat
- Diese Zeit heißt  $t_{99}$  - Zeit



# Thermografie

Der Thermograf sieht die Welt mit anderen Augen



# Klimaregel

## Raumtemperatur:

- Winter: 22 °C +/- 2 K
- Sommer: 24 °C +/- 2 K bzw. 6 °C kälter zu außen

## Raumluftfeuchte:

- zwischen 30-60 %



## Die Messgröße Feuchtigkeit



# Darstellung der Luftfeuchte

Dampfkonzentration

Dampfdruck

Wassergehalt

Feuchtegrad



Relative Feuchte

Taupunkttemperatur

Absolute Feuchte



## Feuchtekenngößen und deren Einheiten

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| ➤ <u>Absolute Feuchte</u>   | $g_w / m_G^3$           |
| ➤ <u>Relative Feuchte</u>   | %                       |
| ➤ <u>Dampfdruck</u>         | Pa                      |
| ➤ <u>Taupunkttemperatur</u> | $^{\circ}\text{C } t_d$ |
| ➤ <u>Volumenanteil</u>      | Vol %                   |
| ➤ <u>Feuchtegrad</u>        | $g_w / kg_L$            |
| ➤ <u>Dampfkonzentration</u> | $g_w / cm_G^3$          |
| ➤ <u>Wasserdampfgehalt</u>  | $g_w / kg_G$            |
| ➤ <u>Enthalpie</u>          | $\text{kJ} / kg_G$      |

|               |   |                        |
|---------------|---|------------------------|
| <u>Index:</u> | w | Wasser                 |
|               | L | Luft (trocken)         |
|               | G | Gemisch (feuchte Luft) |

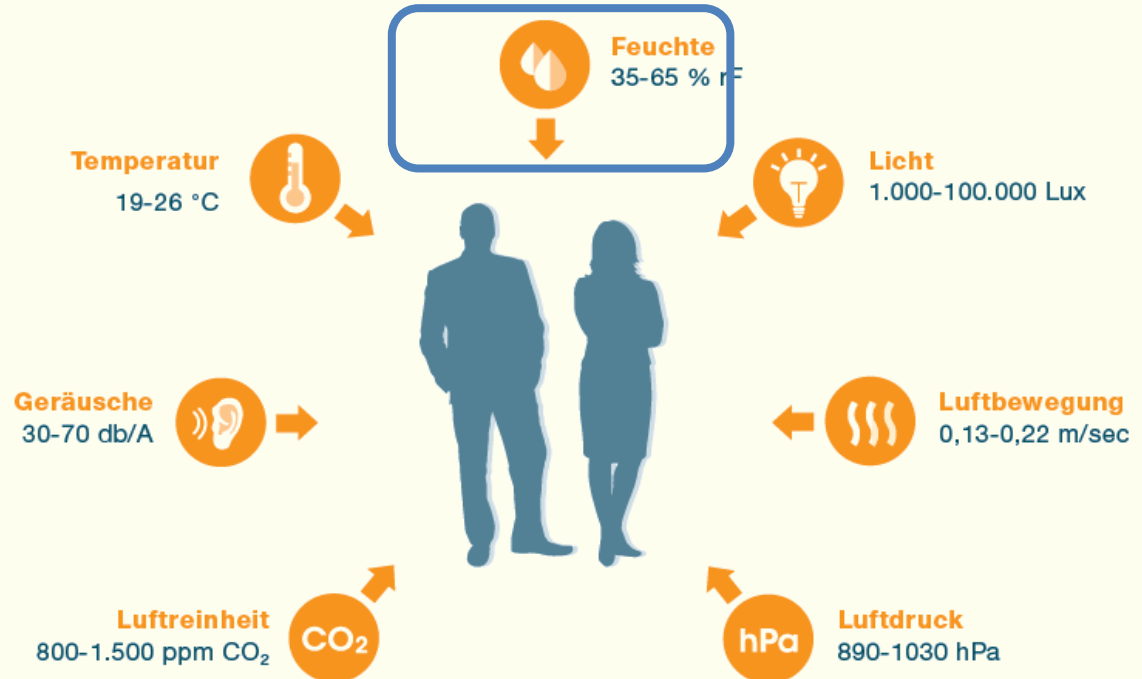


# Der Mensch

## Behaglich oder unbehaglich?

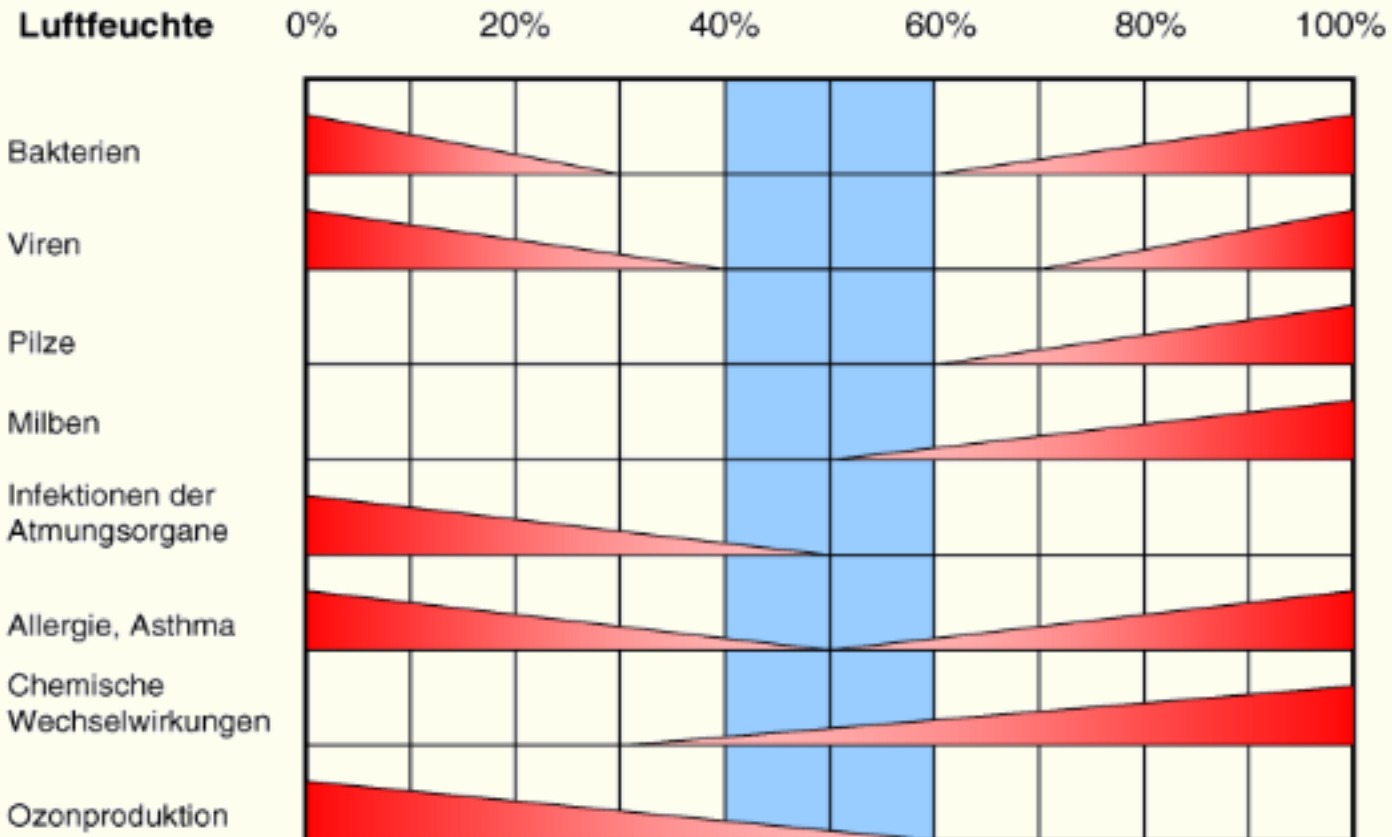
Damit Menschen sich in Büros und Wohnräumen behaglich und gesundheitlich unbedenklich fühlen, müssen zahlreiche Umgebungsfaktoren aufeinander abgestimmt werden.

Der Mensch benötigt in Ruhe 10.000l bzw. 14kg Luft am Tag



## Gesundheitsaspekte % r.F.

### Raumluftfeuchte und menschlich-biologische Wechselwirkungen



Gegenüberstellung der hygienischen Wirkungsänderungen in Abhängigkeit der relativen Raumluchtfeuchte  
Entwicklung biologischer Organismen und Wechselwirkungen mit menschlichen Organen und der Umgebung

*Nach Scofield und Sterling ASHRAE-Journal 34*



## Weg einer Schimmelbildung



## Was benötigt der Schimmel um sich zu vermehren?

Schimmel ist ein natürlicher Bestandteil unserer Umwelt und jahreszeitlich schwankend, immer in unterschiedlicher Konzentration, in der Raumluft vorhanden.

**Er wird meistens in die Wohnung eingelüftet oder durch Personen oder Gegenstände eingebracht.**

Schimmel braucht zum überleben und vermehren:

- Luft zum schnaufen (Sauerstoff)
- Schweinebraten zum Essen (Nährstoff Luft / Oberfläche)
- bequemen Untergrund (optimale Oberfläche)
- und viele weitere Faktoren
- **aber immer ausreichende FEUCHTE! (auf der Bauteiloberfläche!)**



## Feuchtelasten

### Durchschnittliche Feuchteproduktion in der Wohnungswirtschaft

| Ursache  | Anreicherung mit Wasserdampf   | Mittelwert<br>[Gramm Feuchte /h] | Tagesmenge<br>[Liter] |
|----------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Mensch   | leichte Aktivität              | 30-60                            | 0,72l-1,44 (24h)      |
|          | mittelschwere Arbeit           | 120-200                          | 0,96-1,60 (8h)        |
|          | schwere Arbeit                 | 200-300                          | 1,60-2,40 (8h)        |
| Pflanzen | Topfpflanzen z.B. je Veilchen  | 5-10                             | 0,12-0,24 (24h)       |
|          | Grünpflanzen z.B. je Gummibaum | 10-20                            | 0,24-0,48 (24h)       |
| Kochen   | je Kochvorgang                 | <b>60-1500</b>                   | 0,12-3,00 (2h)        |
| Baden    | je Wannenbad                   | ~700                             | 0,7                   |
|          | je Duschen                     | <b>~2600</b>                     | <b>2,6</b>            |
| Waschen  | 4,5kg schleudern und trocknen  | 20-200                           | 0,02-0,2              |
| Trocknen | 4,5 kg tropfnass trocknen      | 100-500                          | 0,10-0,50             |

*Bei einem 3-4 Personenhaushalt können dies ca. 10 Liter Feuchte sein!*



## Gesundheitsaspekte % r.F.

### Fazit:

Bakterien fühlen sich **ab etwa 70 % relativer Luftfeuchte** besonders wohl,  
bei **feuchten Oberflächen oder Kondenswasser** sogar noch stärker.

Deshalb gilt z. B. nach **VDI 6022 und DIN 1946-6**:

„Raumluchtfeuchte dauerhaft zwischen **30 % und 60 % r. F.** halten“ –

das minimiert **mikrobiologisches Wachstum** und **hygienische Risiken**.



# Was ist Luftfeuchte?

## Beispiel:

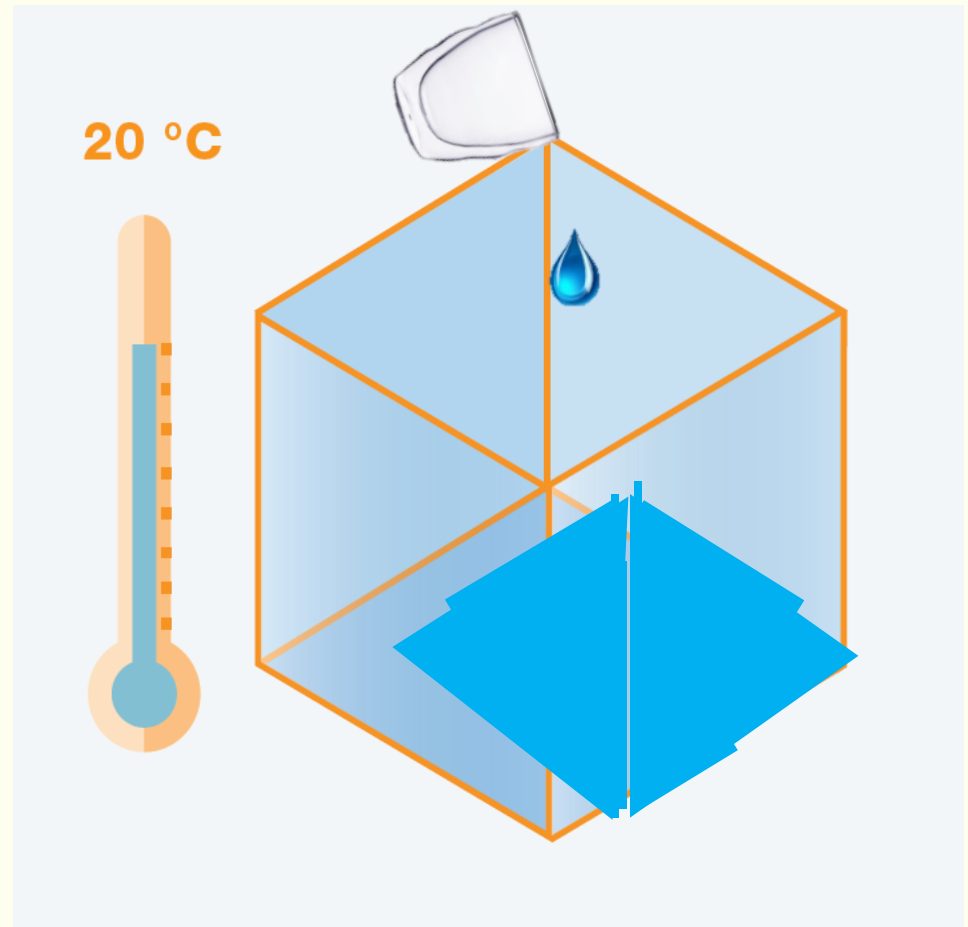
1m<sup>3</sup> Luft bei 20°C

Die Luft wird mit einem Schnapsglas  
Wasser angereichert...(10g)

## Luft gesättigt oder ungesättigt?

## Ergebnis:

Bei 20 °C und 10 g/m<sup>3</sup> liegt die **relative  
Luftfeuchte bei etwa 58 %**  
→ also **noch deutlich unter Sättigung**.



# Was ist Luftfeuchte?

## Beispiel:

1m<sup>3</sup> Luft bei 10°C

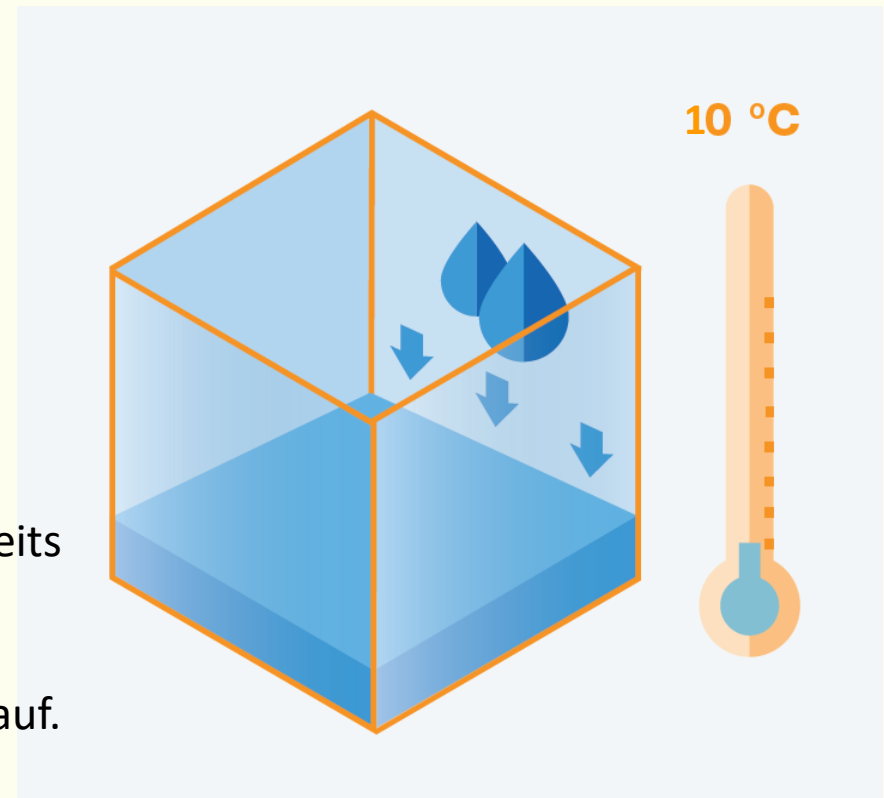
Die Luft wird mit einem Schnapsglas  
Wasser angereichert...(10g)

## Luft gesättigt oder ungesättigt?

### Ergebnis:

Ja — bei 10 °C und 10 g/m<sup>3</sup> ist die Luft bereits  
übersättigt!

Sie kann den Wasserdampf nicht mehr  
vollständig halten, und Kondensation tritt auf.

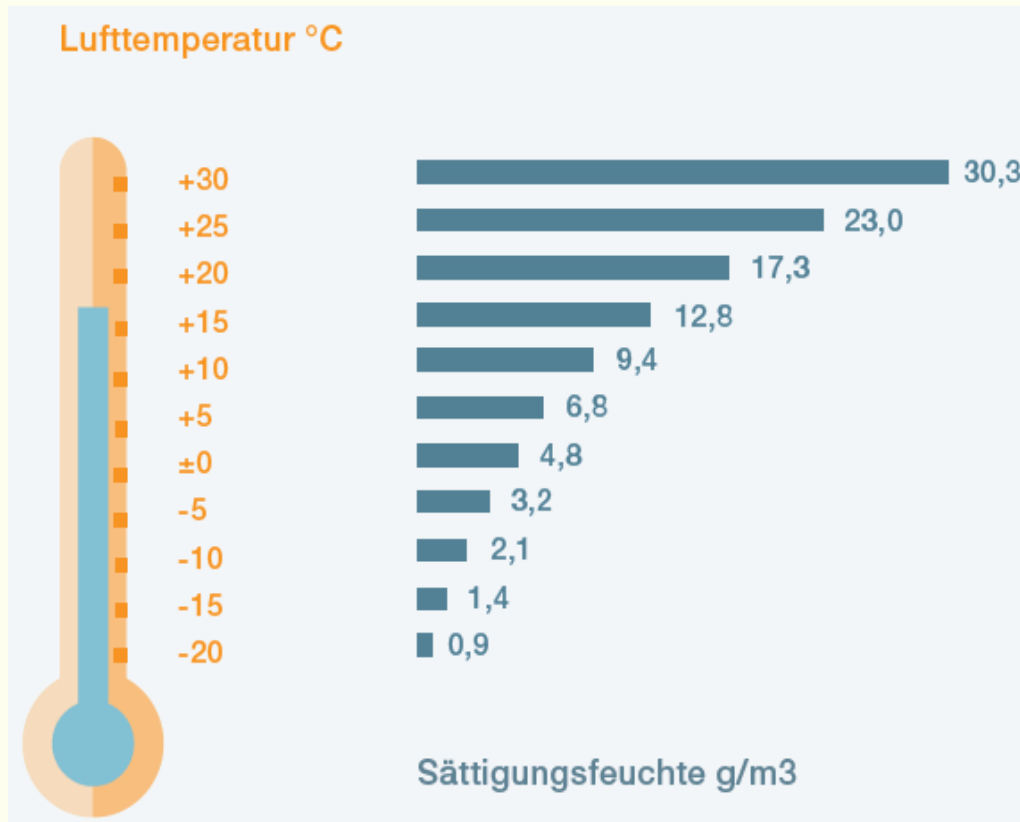


### Merke:

Wenn die Temperatur sinkt, steigt bei  
konstantem Wassergehalt die relative Feuchte!



# Sättigungsgrenzen in Abhängigkeit der Temperatur



Die **Sättigungsfeuchte** gibt an, wie viel Gramm Wasserdampf pro Kubikmeter Luft maximal aufgenommen werden können.

Die **Sättigungsfeuchte** entspricht damit immer einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100 %.



# Übersicht Messverfahren

## Messverfahren unter Ausnutzung von:

- **Langenänderungen**
  - **Faserhygrometer**
- **Temperaturänderungen**
  - **Psychrometer**
- **Elektrischen Änderungen**
  - **Keramische Sensoren**
  - **Resistive Sensoren**
  - **Dünnschichtsensoren**
- **Optischen Änderungen**
  - **Taupunktspiegel**
  - **IR-Absorption**



# Feuchte-Messverfahren

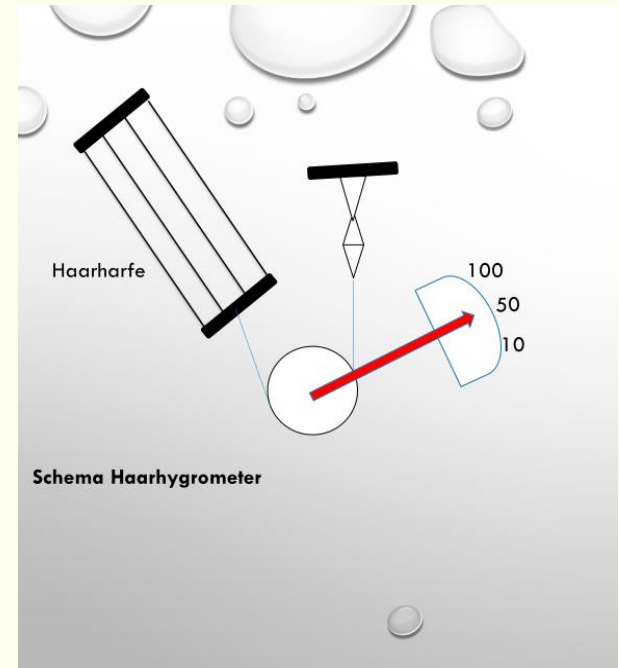
## Haarhygrometer:

### Vorteile:

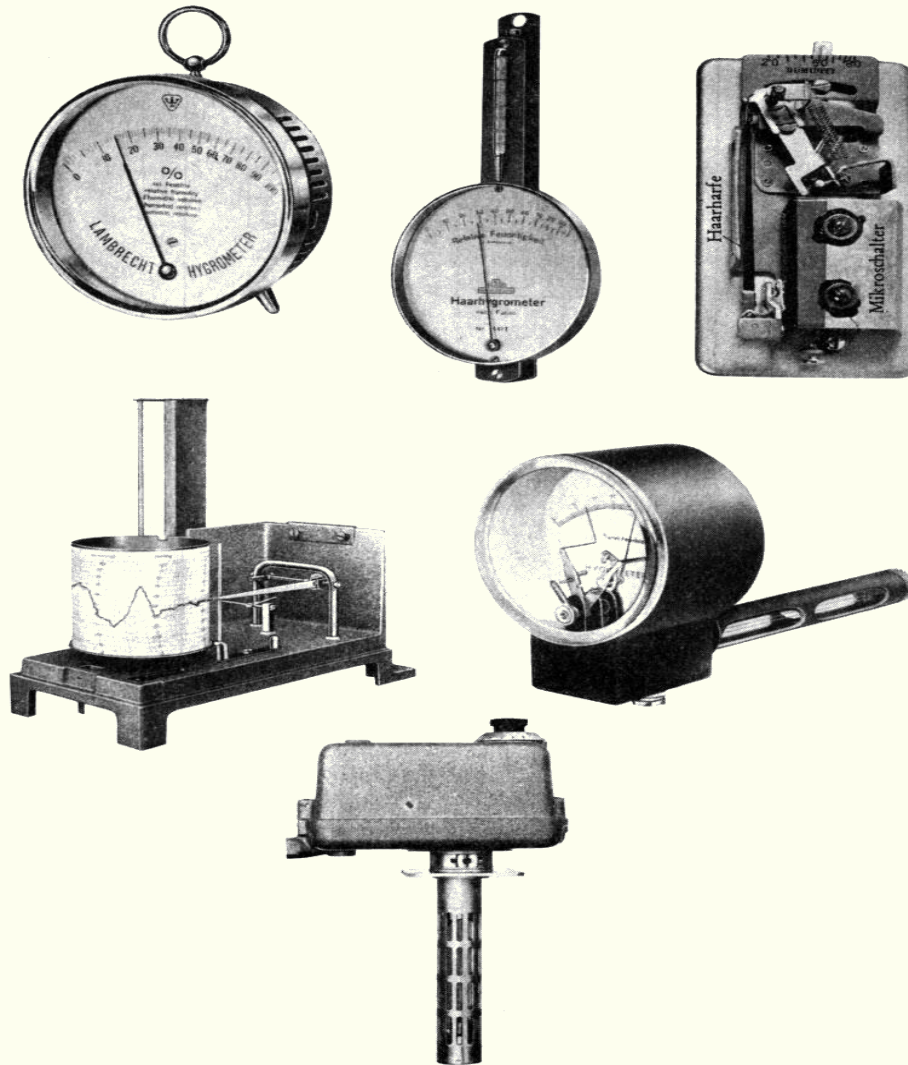
- einfache und in der Anschaffung preiswerte Messtechnik
- Low-Cost-Anwendung

### Nachteile:

- hoher Wartungsaufwand
  - häufiges Regenerieren der Haare
- einsetzbar nur von 15% bis 85% rF und bis max. 50°C.
- sehr hohe Ungenauigkeiten (nicht definierbar)
- langsame träge Messung



## Bauformen: Haarhygrometer:



# Feuchte - Messverfahren

## Aspirationspsychrometer:

### Vorteile:

- bei sorgfältiger Handhabung ist eine Genauigkeit von 2-3% rF möglich

### Nachteile:

- nicht für punktuelle Messungen einsetzbar
- aufwendige Handhabung (*praktisch von jeder Messung muss mit destilliertem Wasser befeuchtet werden*)
- vor jeder wichtigen Messung muss ein Temperaturangleich an die Umgebung stattfinden und der Strumpf gewechselt werden



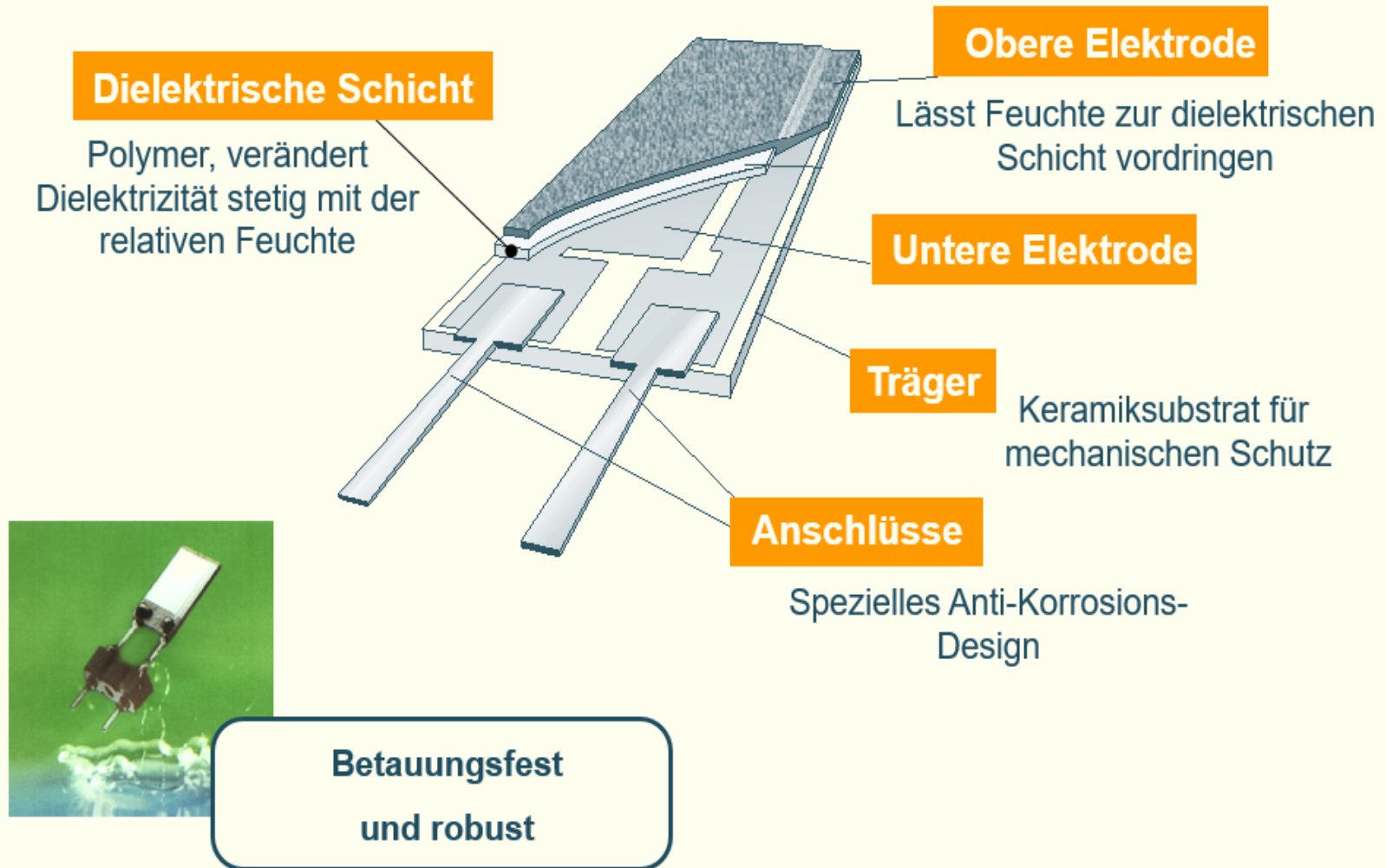
## Psychrometer: Feuchtekugel und Trockenkugel

- Die **Trockenkugel** (= Prozesstemp.) misst 22°C
- Die **Feuchtekugel** (mit feuchtem Textil bedeckt) misst 19°C  
→ Differenz: 3 K
- Aus der Tabelle ist ablesbar, dass 75% rF herrschen

| %rF aus Trocken- und Feuchtekugel-Temperaturen |                                                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Trocken-<br>kugel °C                           | Psychrometer-Temperatur-Differenz (Trocken-Feucht) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                                                | 0,5                                                | 1   | 1,5 | 2   | 2,5 | 3   | 3,5 | 4   | 4,5 | 5   | 5,5 | 6   | 6,5 | 7   |
| -9                                             | 85                                                 | 71  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| -8                                             | 87                                                 | 73  | 59  | 45  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| -7                                             | 87                                                 | 74  | 62  | 49  | 36  | 24  |     |     |     |     |     |     |     |     |
| ...                                            | ...                                                | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 21                                             | 96                                                 | 91  | 87  | 83  | 79  | 75  | 71  | 67  | 64  | 60  | 56  | 52  | 49  | 45  |
| 22                                             | 96                                                 | 92  | 88  | 83  | 80  | 75  | 72  | 68  | 64  | 61  | 57  | 54  | 50  | 47  |
| 23                                             | 96                                                 | 92  | 88  | 84  | 80  | 76  | 72  | 69  | 65  | 62  | 58  | 55  | 51  | 48  |
| ...                                            | ...                                                | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 28                                             | 96                                                 | 93  | 89  | 86  | 82  | 79  | 75  | 72  | 68  | 65  | 62  | 59  | 56  | 53  |
| 29                                             | 96                                                 | 93  | 89  | 86  | 82  | 79  | 76  | 72  | 69  | 66  | 63  | 60  | 57  | 54  |
| 30                                             | 96                                                 | 93  | 89  | 86  | 83  | 79  | 76  | 73  | 70  | 67  | 64  | 61  | 58  | 55  |



# Kapazitiver Feuchtesensor

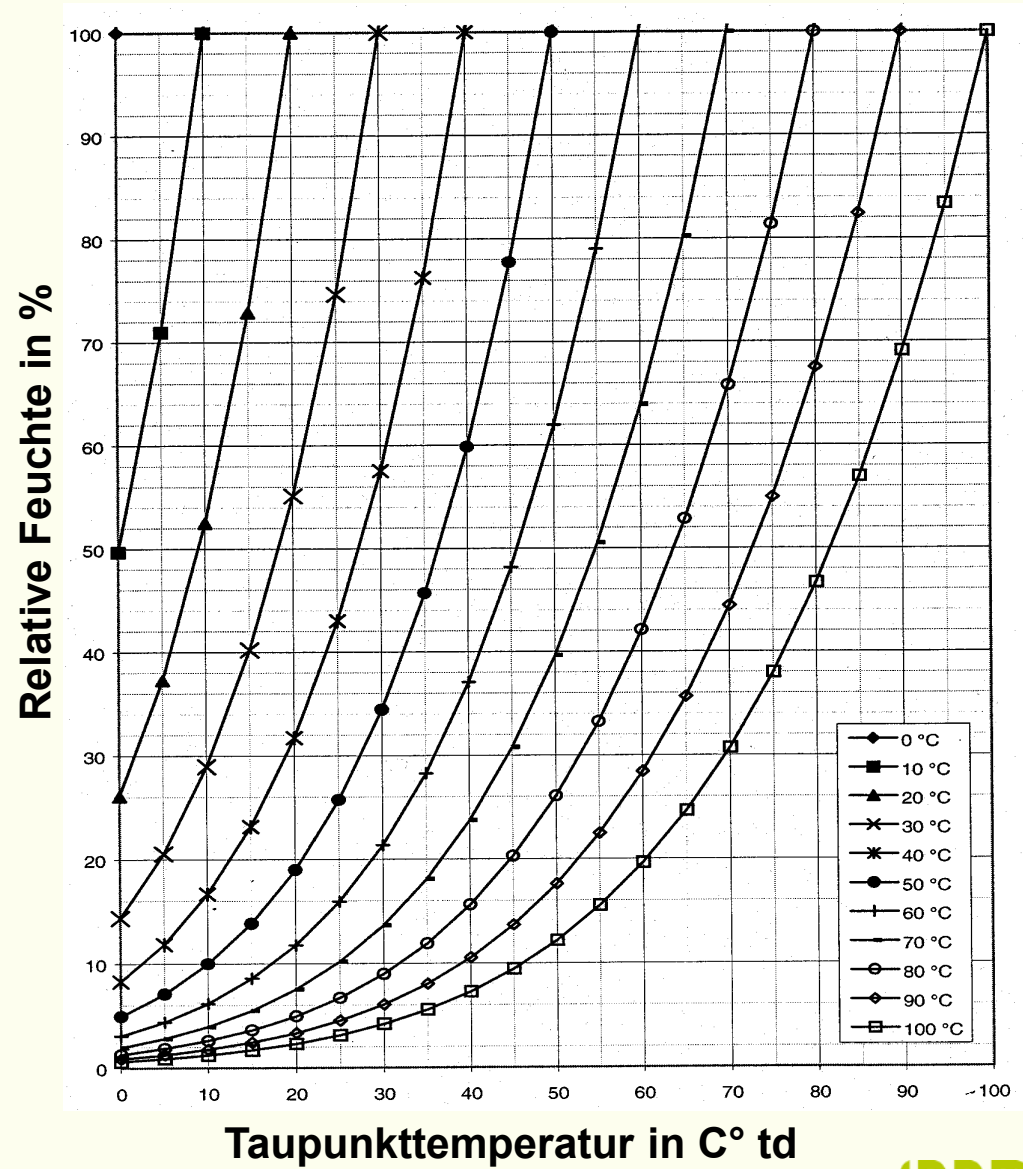


**Wo liegt der  
„Taupunkt“?**



## % r.F. als Funktion der Taupunkttemperatur

- **Relative Feuchte** als Funktion der Taupunkttemperatur bei verschiedenen Temperaturen.



# Schimmel /-pilze

- **100.000 bekannte Arten**
- 200 Arten in Gebäuden,
  - davon 30 als Wandbefall
- ca. 10 Arten sind Feuchteindikatoren
- ca. 5 Arten gelten vorrangig  
als gesundheitsgefährdend



# Schimmel in der Ecke ?!

| Taupunkttemperatur |                                                               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|---------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Lufttemp           | Taupunkttemperatur in °C bei einer relativen Feuchtigkeit von |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                    | 30%                                                           | 35%  | 40%  | 45%  | 50%  | 55%  | 60%  | 65%  | 70%  | 75%  | 80%  | 85%  | 90%  | 95%  |
| 30°C               | 10,5                                                          | 12,9 | 14,9 | 16,8 | 18,4 | 20,0 | 21,4 | 22,7 | 23,9 | 25,1 | 26,2 | 27,2 | 28,2 | 29,1 |
| 29°C               | 9,7                                                           | 12,0 | 14,0 | 15,9 | 17,5 | 19,0 | 20,4 | 21,7 | 23,0 | 24,1 | 25,2 | 26,2 | 27,2 | 28,1 |
| 28°C               | 8,8                                                           | 11,1 | 13,1 | 15,0 | 16,6 | 18,1 | 19,5 | 20,8 | 22,0 | 23,2 | 24,2 | 25,2 | 26,2 | 27,2 |
| 27°C               | 8,0                                                           | 10,2 | 12,2 | 14,1 | 15,7 | 17,2 | 18,6 | 19,9 | 21,1 | 22,2 | 23,3 | 24,3 | 25,2 | 26,1 |
| 26°C               | 7,1                                                           | 9,4  | 11,4 | 13,2 | 14,8 | 16,3 | 17,6 | 18,9 | 20,1 | 21,2 | 22,3 | 23,3 | 24,2 | 25,1 |
| 25°C               | 6,2                                                           | 8,5  | 10,5 | 12,2 | 13,9 | 15,3 | 16,7 | 18,0 | 19,1 | 20,3 | 21,3 | 22,3 | 23,2 | 24,1 |
| 24°C               | 5,4                                                           | 7,6  | 9,6  | 11,3 | 12,9 | 14,4 | 15,8 | 17,0 | 18,2 | 19,3 | 20,3 | 21,3 | 22,3 | 23,1 |
| 23°C               | 4,5                                                           | 6,7  | 8,7  | 10,4 | 12,0 | 13,5 | 14,8 | 16,1 | 17,2 | 18,3 | 19,4 | 20,3 | 21,3 | 22,2 |
| 22°C               | 3,6                                                           | 5,9  | 7,8  | 9,5  | 11,1 | 12,5 | 13,9 | 15,1 | 16,3 | 17,4 | 18,4 | 19,4 | 20,3 | 21,2 |
| 21°C               | 2,8                                                           | 5,0  | 6,9  | 8,6  | 10,2 | 11,6 | 12,9 | 14,2 | 15,3 | 16,4 | 17,4 | 18,4 | 19,3 | 20,2 |
| 20°C               | 1,9                                                           | 4,1  | 6,0  | 7,7  | 9,3  | 10,7 | 12,0 | 13,2 | 14,4 | 15,4 | 16,4 | 17,4 | 18,3 | 19,2 |
| 19°C               | 1,0                                                           | 3,2  | 5,1  | 6,8  | 8,3  | 9,8  | 11,1 | 12,3 | 13,4 | 14,5 | 15,5 | 16,4 | 17,3 | 18,2 |
| 18°C               | 0,2                                                           | 2,3  | 4,2  | 5,9  | 7,4  | 8,8  | 10,1 | 11,3 | 12,5 | 13,5 | 14,5 | 15,4 | 16,3 | 17,2 |
| 17°C               | -0,6                                                          | 1,4  | 3,3  | 5,0  | 6,5  | 7,9  | 9,2  | 10,4 | 11,5 | 12,5 | 13,5 | 14,5 | 15,3 | 16,2 |
| 16°C               | -1,4                                                          | 0,5  | 2,4  | 4,1  | 5,6  | 7,0  | 8,2  | 9,4  | 10,5 | 11,6 | 12,6 | 13,5 | 14,4 | 15,2 |
| 15°C               | -2,2                                                          | -0,3 | 1,5  | 3,2  | 4,7  | 6,1  | 7,3  | 8,5  | 9,6  | 10,6 | 11,6 | 12,5 | 13,4 | 14,2 |
| 14°C               | -2,9                                                          | -1,0 | 0,6  | 2,3  | 3,7  | 5,1  | 6,4  | 7,5  | 8,6  | 9,6  | 10,6 | 11,5 | 12,4 | 13,2 |
| 13°C               | -3,7                                                          | -1,9 | -0,1 | 1,3  | 2,8  | 4,2  | 5,5  | 6,6  | 7,7  | 8,7  | 9,6  | 10,5 | 11,4 | 12,2 |
| 12°C               | -4,5                                                          | -2,6 | -0,1 | 0,4  | 1,9  | 3,2  | 4,5  | 5,7  | 6,7  | 7,7  | 8,7  | 9,6  | 10,4 | 11,2 |
| 11°C               | -5,2                                                          | -3,4 | -1,8 | -0,4 | 1,0  | 2,3  | 3,5  | 4,7  | 5,8  | 6,7  | 7,7  | 8,6  | 9,4  | 10,2 |
| 10°C               | -6,0                                                          | -4,2 | -2,6 | -1,2 | 0,1  | 1,4  | 2,6  | 3,7  | 4,8  | 5,8  | 6,7  | 7,6  | 8,4  | 9,2  |

Aus Wendehorst - Bautechnische Zahlentafeln 26. Auflage Teubner Stuttgart

## DIN 4108

Außentemperatur: -5 °C  
 Innentemperatur: 20 °C  
 Raumfeuchte: 50 % rF  
 Ecke OF Temperatur: 12,6 °C

## Beispiel 1

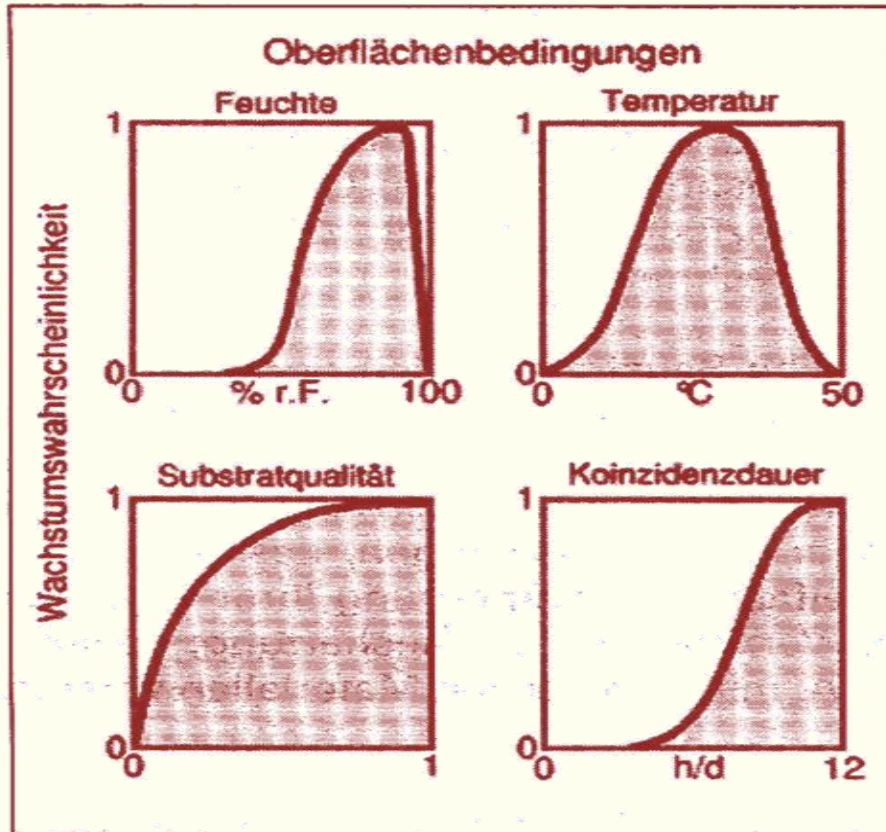
Außentemperatur: -10 °C  
 Innentemperatur: 22 °C  
 Raumfeuchte: 30 % rF  
 Ecke OF Temperatur: 9 °C

## Beispiel 2

Außentemperatur: 10 °C  
 Innentemperatur: 20 °C  
 Raumfeuchte: 60 % rF  
 Ecke OF Temperatur: 14 °C

Die Oberflächentemperatur an kritischen Stellen (z. B. Raumecke, Fensterlaibung) sollte mindestens 3 K über dem Taupunkt liegen.

## Voraussetzungen für Schimmelbefall



### Substratqualität:

Materialeigenschaften, die mikrobielles Wachstum begünstigen (z. B. Feuchtegehalt, Nährstoffverfügbarkeit, Oberflächenstruktur)  
z.B. Tapeten, Gipskarton, Holz

### Koinzidenzdauer:

Zeitspanne, in der an einer Bauteiloberfläche gleichzeitig eine **hohe relative Feuchte ( $\geq 80\%$ )** und eine **temperaturgünstige Bedingung ( $5\text{--}35\text{ °C}$ )** vorliegen.

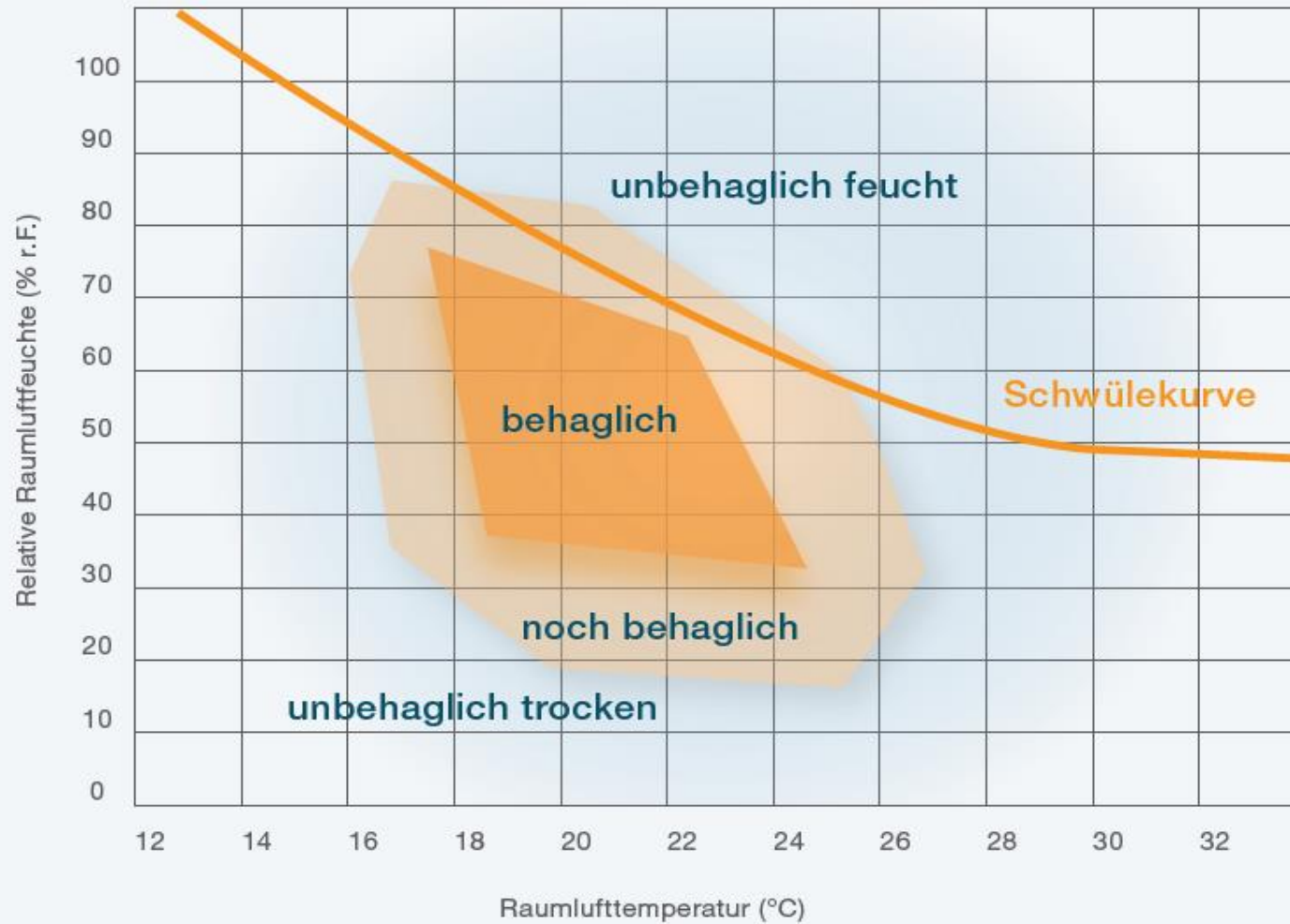
Erst wenn **beide Zustände länger gemeinsam bestehen**, kann **mikrobielles Wachstum** einsetzen.

**Abb. 2/3.1: Einflussparameter für Schimmelpilzbildung auf Bauteiloberflächen<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> <http://www.hoki.ibp.fhg.de>

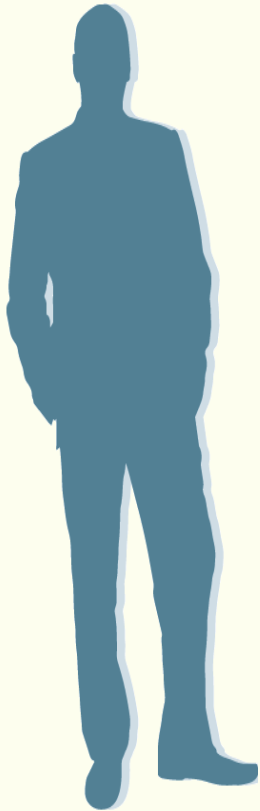


## Behaglichkeitsdiagramm - Schwülekurve



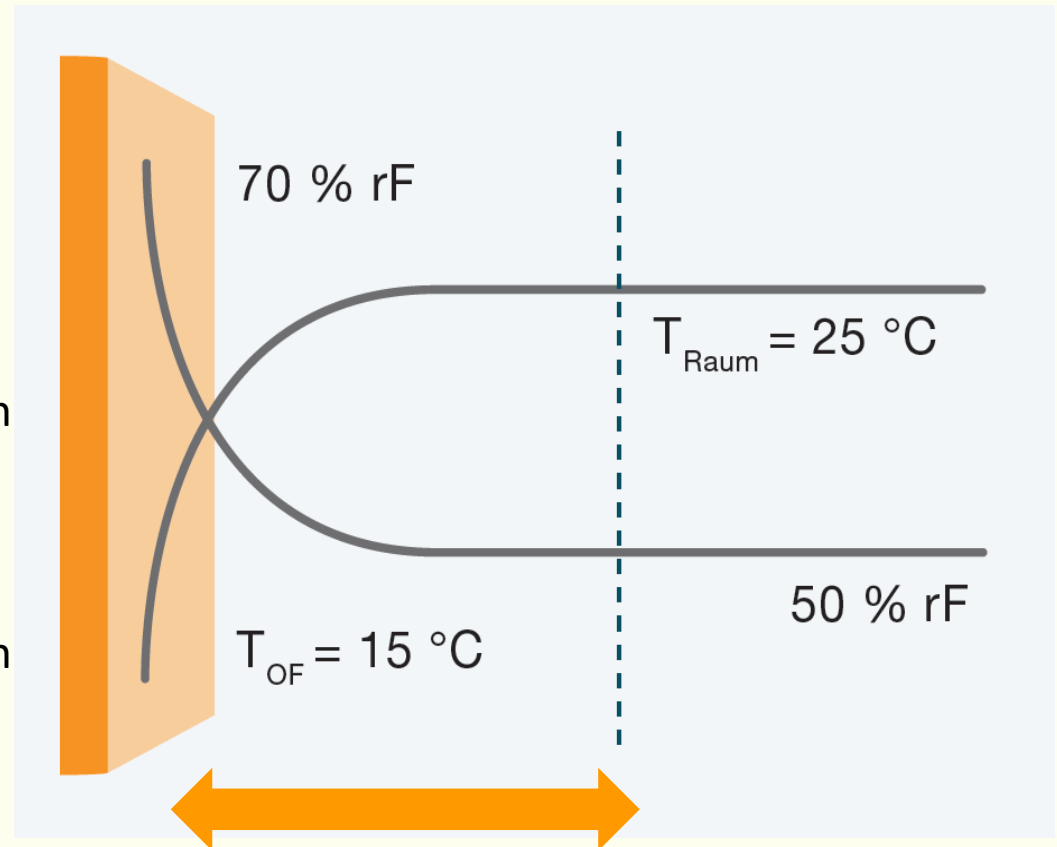
# Relative Feuchte in Räumen

## Wo messe ich mit einer Thermographie Kamera?



50% r.F. (bei 25°C)  
>30 cm von Wänden  
**oder**

66% r.F. (bei 20 °C)  
>50 cm von Wänden



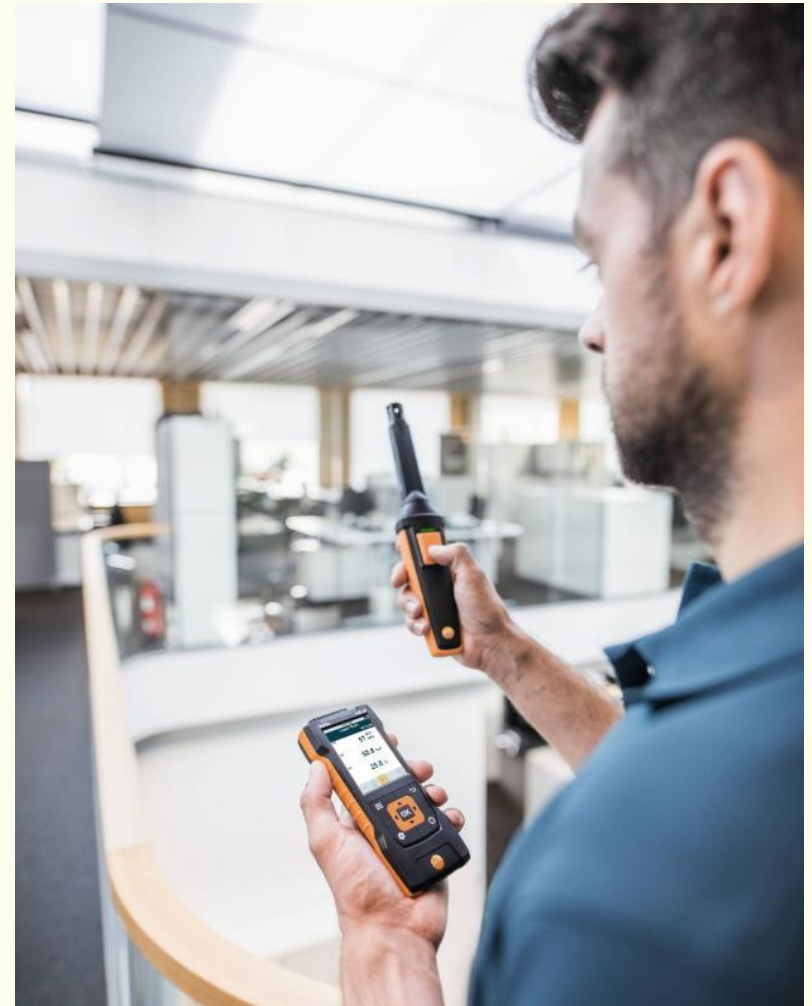
Nach **DIN EN ISO 7726** und gängigen  
Praxisrichtlinien (VDI 6022, DIN 4108-2)

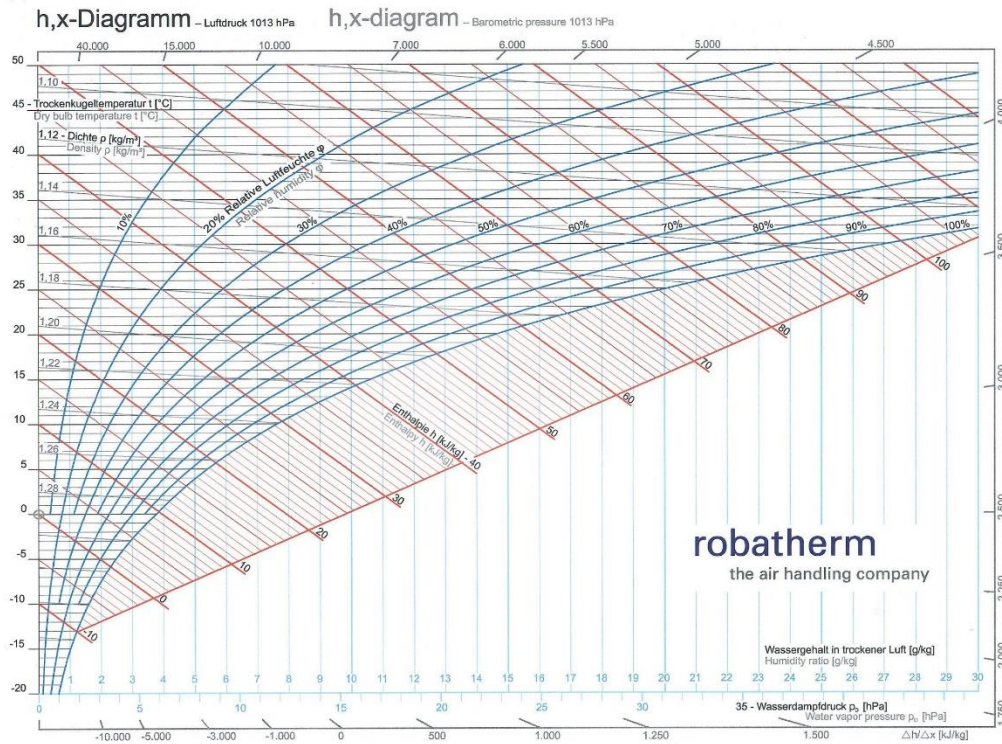
**Mindestabstand** von der Wand zur Messstelle  
für repräsentative Raumklimamessung



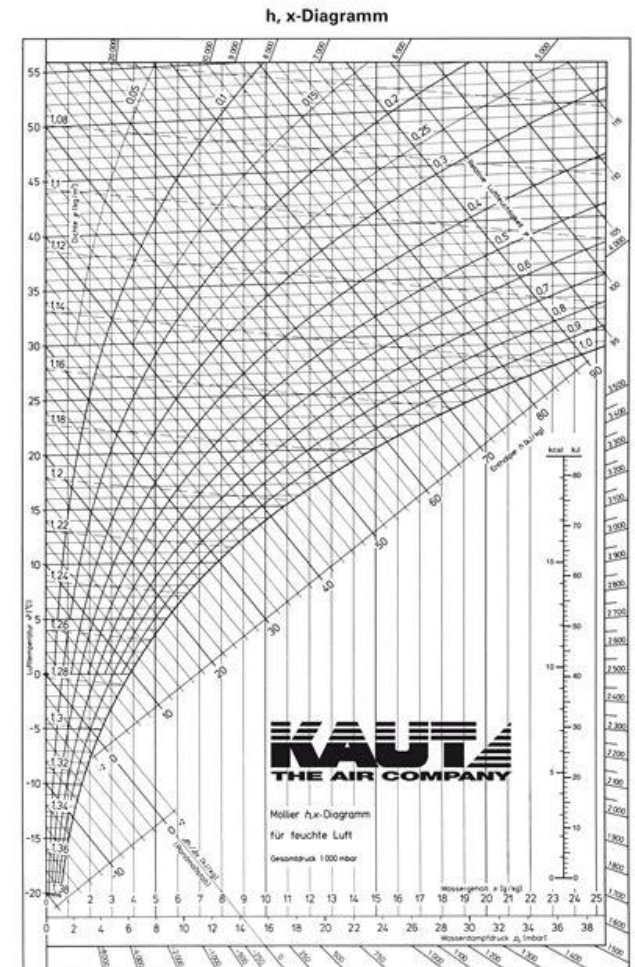
## Messfehler oder Messeffekt

- ist das Gerät kalibriert?
- mit Messgerät „gesprochen“?
- Fühler temperiert?
- am richtigen Ort, in der richtiger Höhe gemessen?

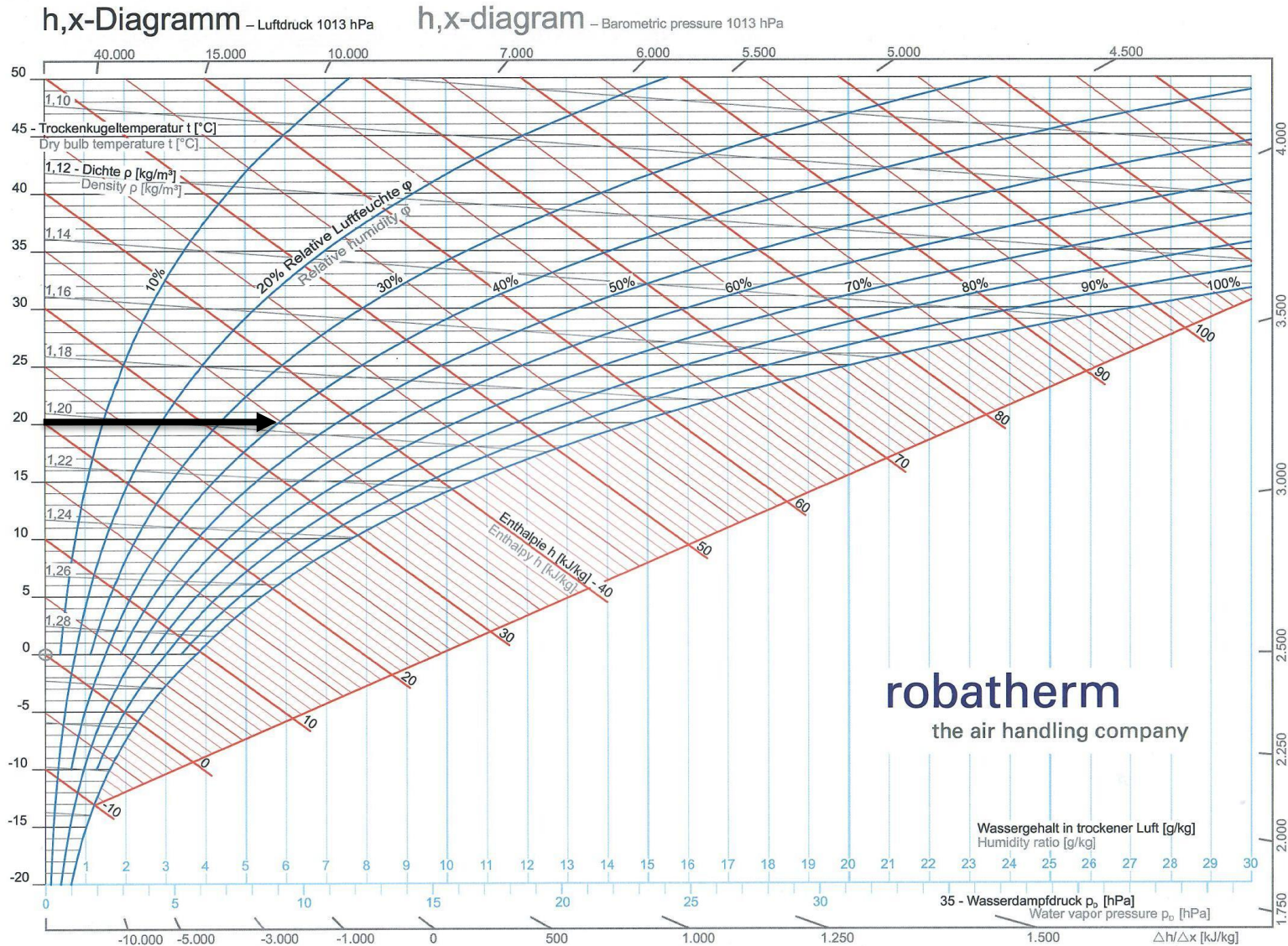




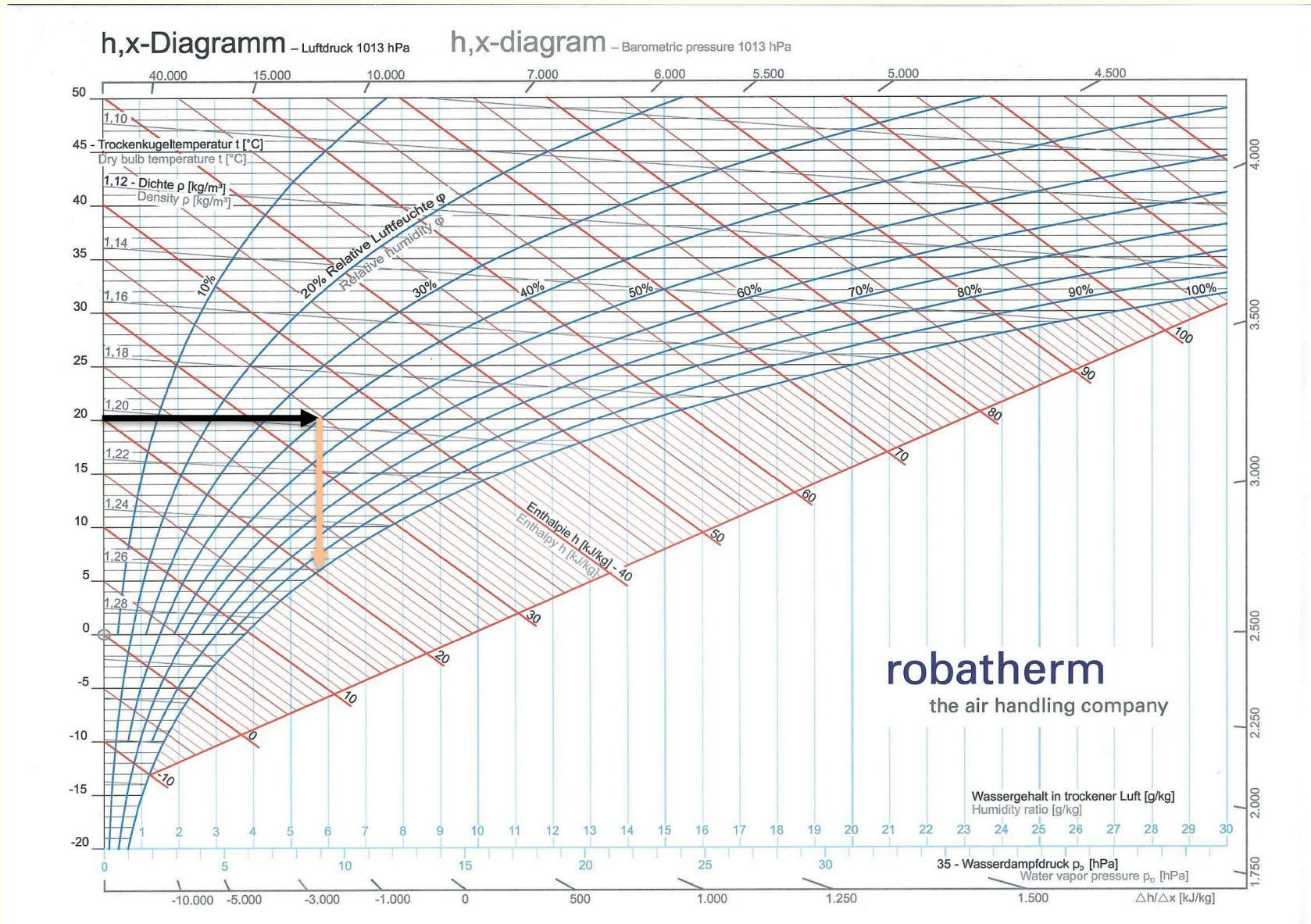
## Einführung in das h-x-Diagramm (Mollier-Diagramm)



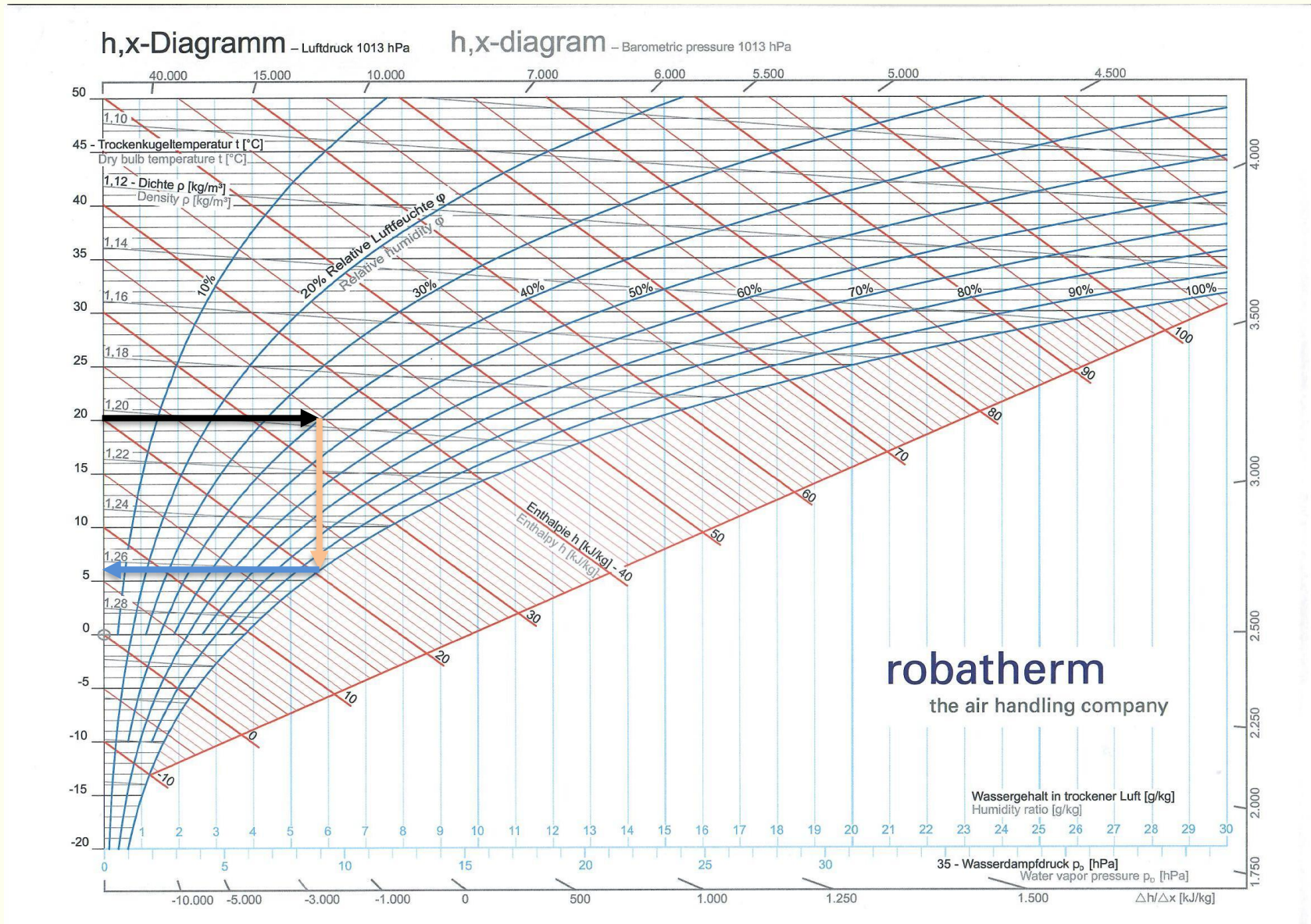
# Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 40%



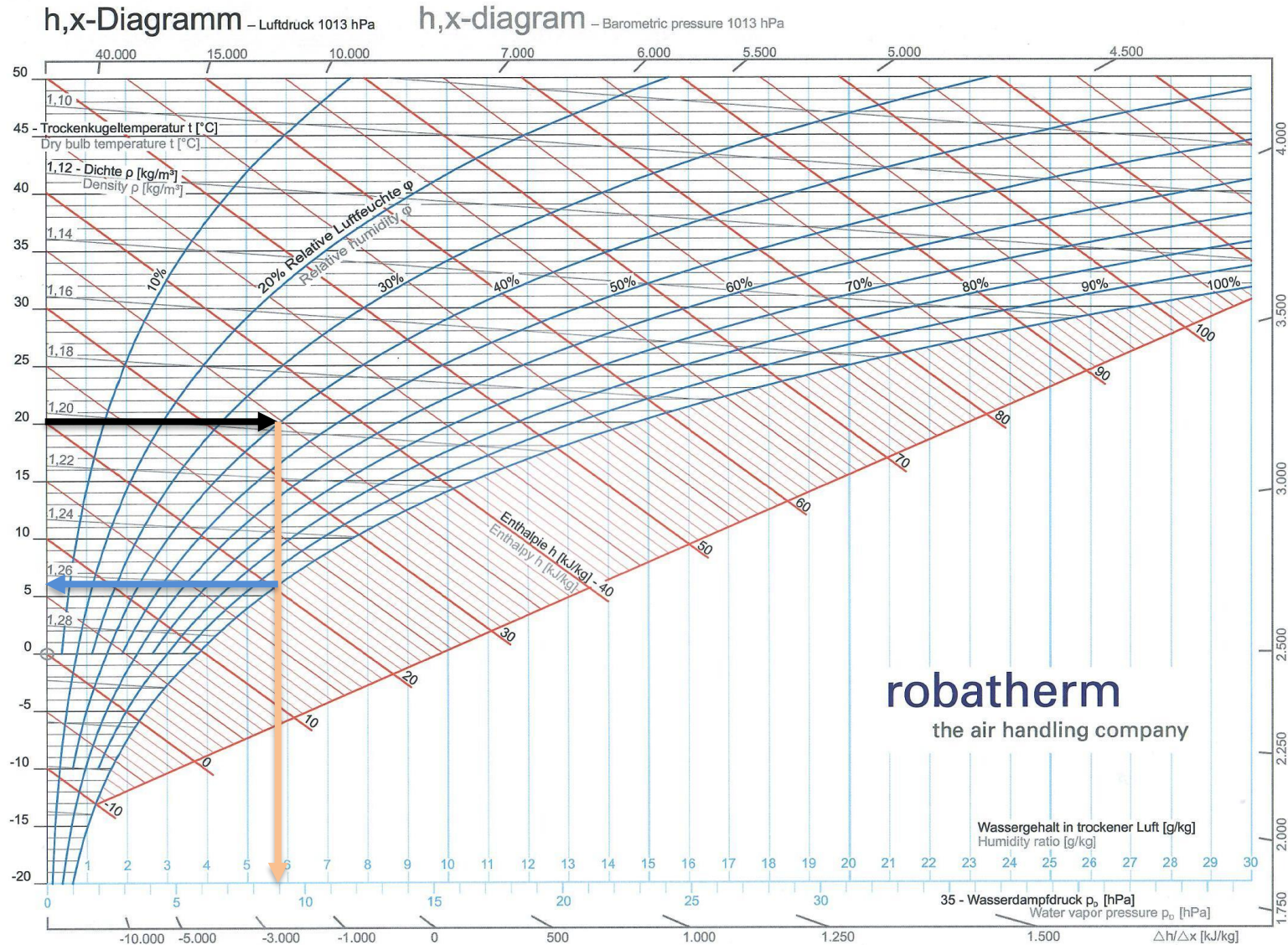
# Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 40%



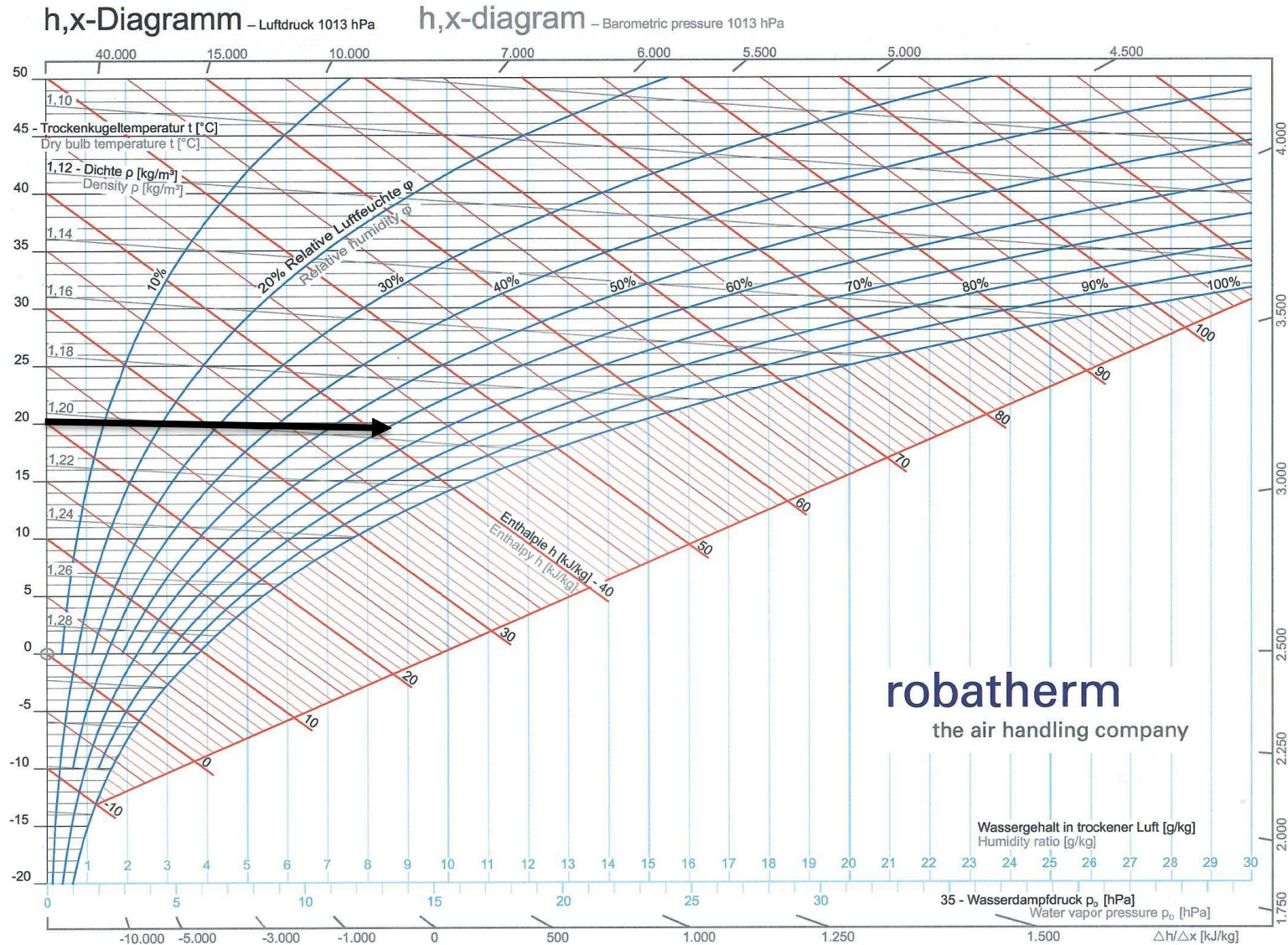
Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 40% - Wasser fällt bei ca. 6°C Oberflächentemperatur aus.



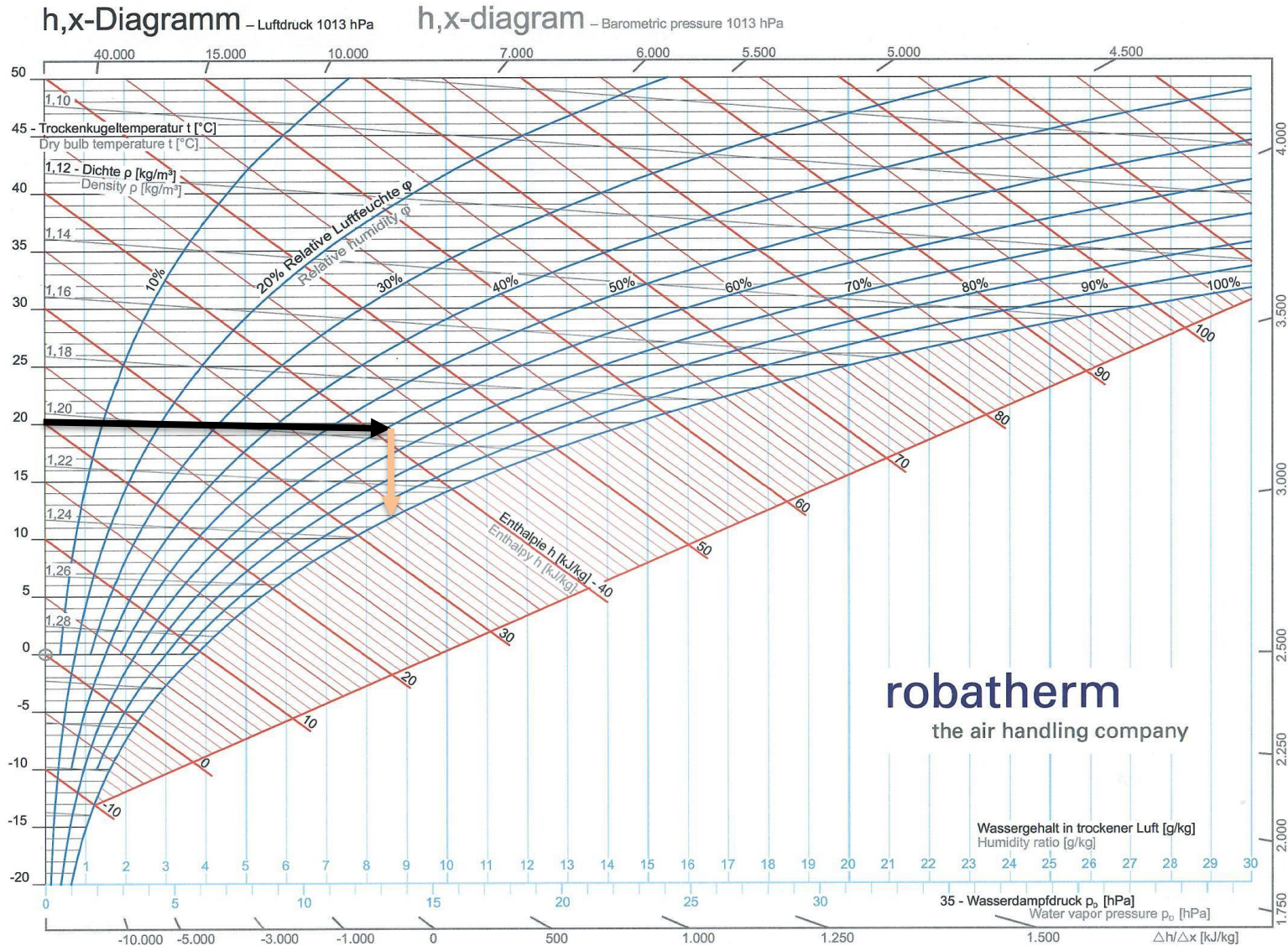
Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 40% - absolute Feuchte ca. 5,8 g/kg Luft



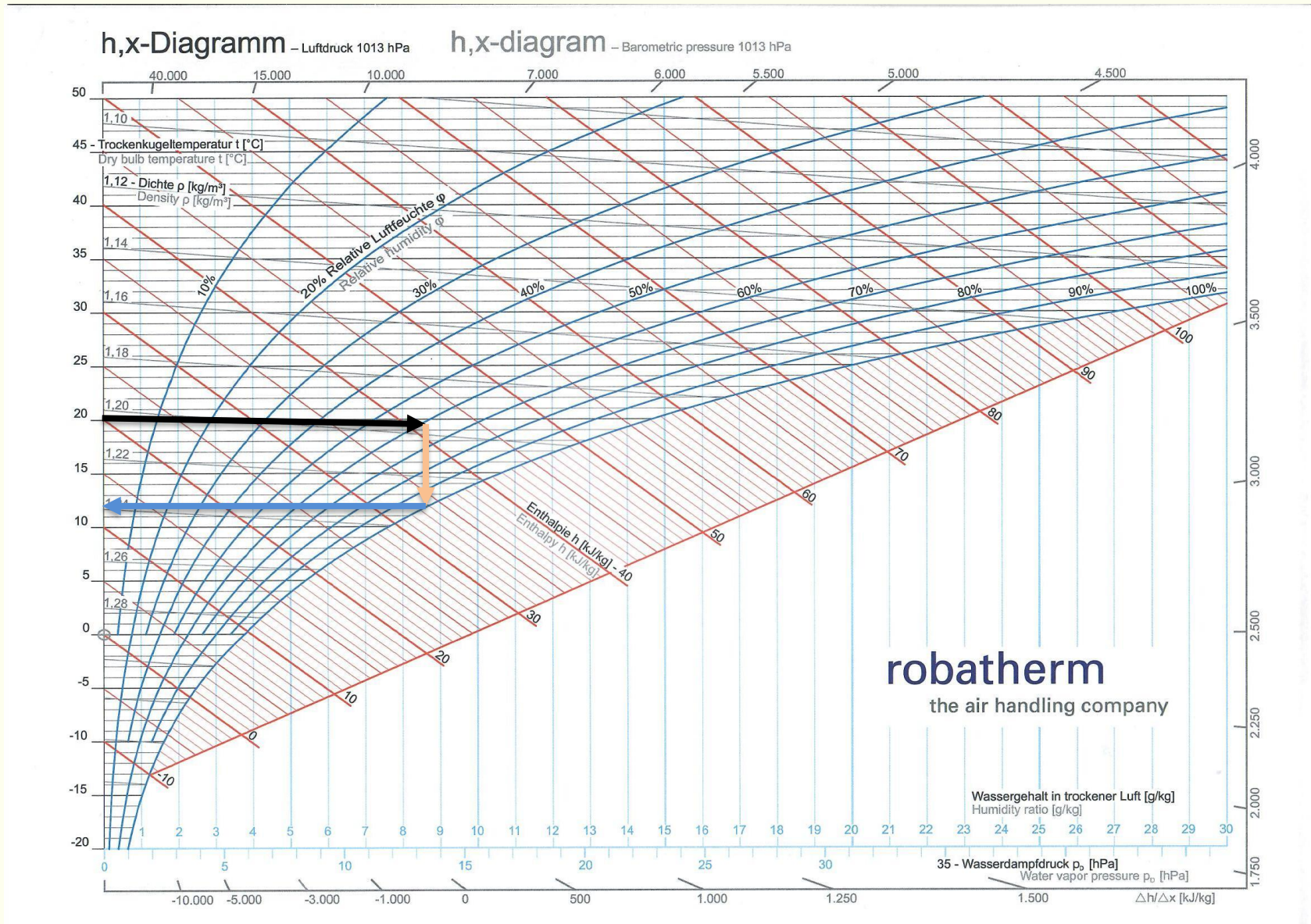
# Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 60%



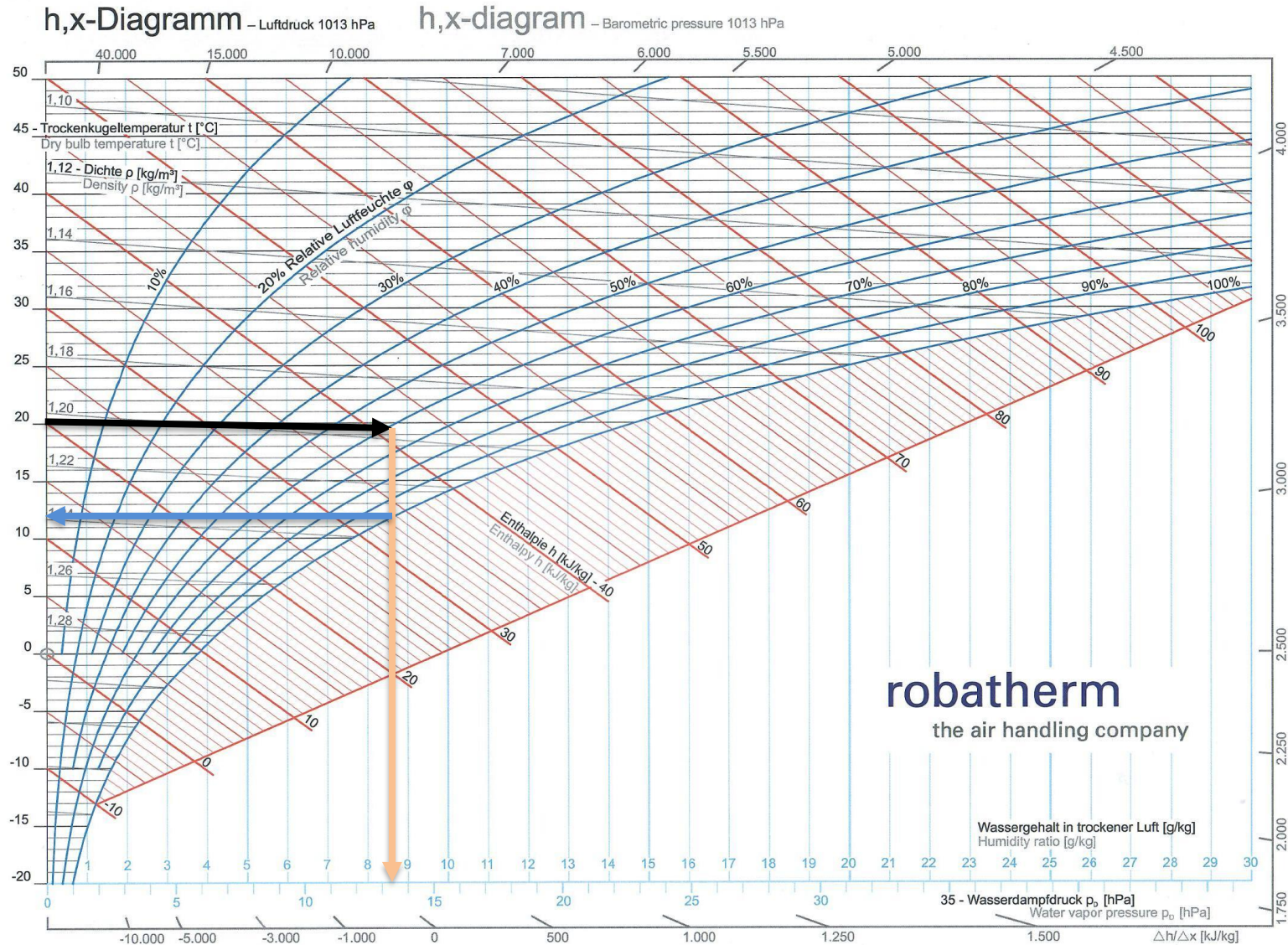
# Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 60%



Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 60% - Wasser fällt bei ca. 12°C Oberflächentemperatur aus.



Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 60% - absolute Feuchte ca. 8,7 g/kg Luft



## Was lernen wir:

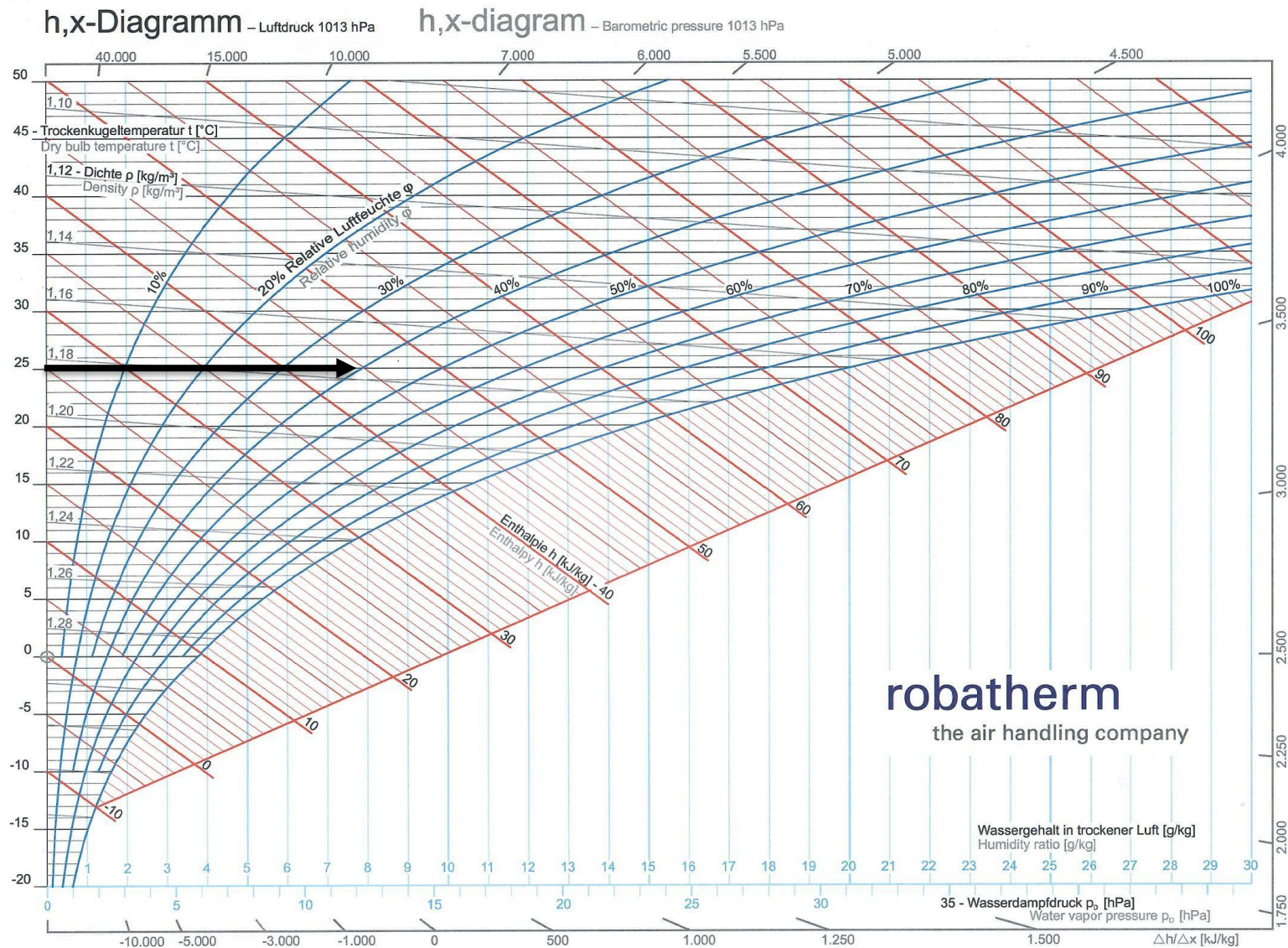
Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 40% - absolute Feuchte ca. 5,8g/kg Luft,  
Taupunkttemperatur bei 6°C Oberflächentemperatur.

Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 60% - absolute Feuchte ca. 8,6g/kg Luft ,  
Taupunkttemperatur bei 12°C Oberflächentemperatur.

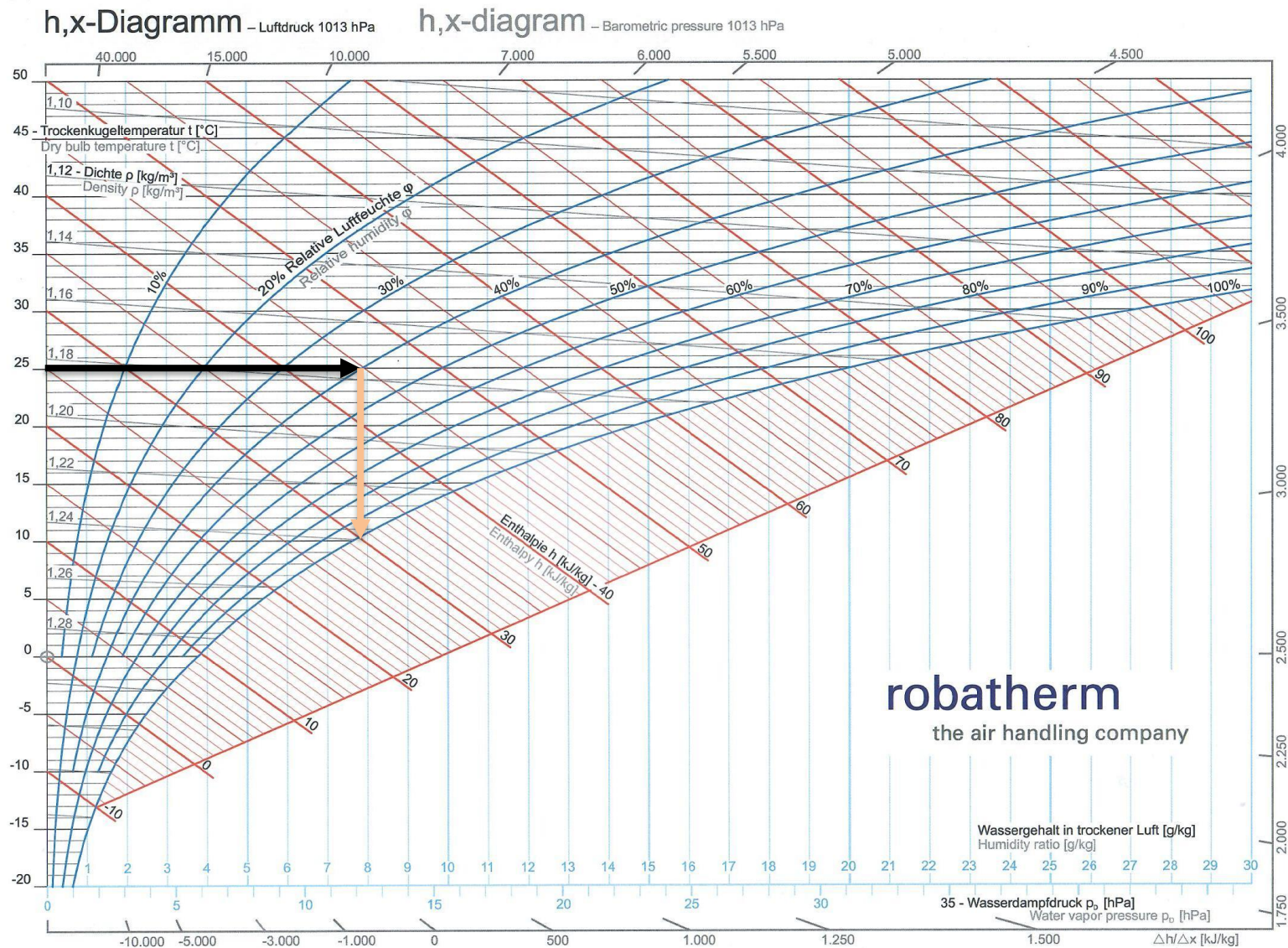
**Je höher die relative Luftfeuchtigkeit, desto näher ist die Luft an der  
Sättigung (Taupunkt) — und bei fallender Oberflächentemperatur  
kondensiert das Wasser früher!**



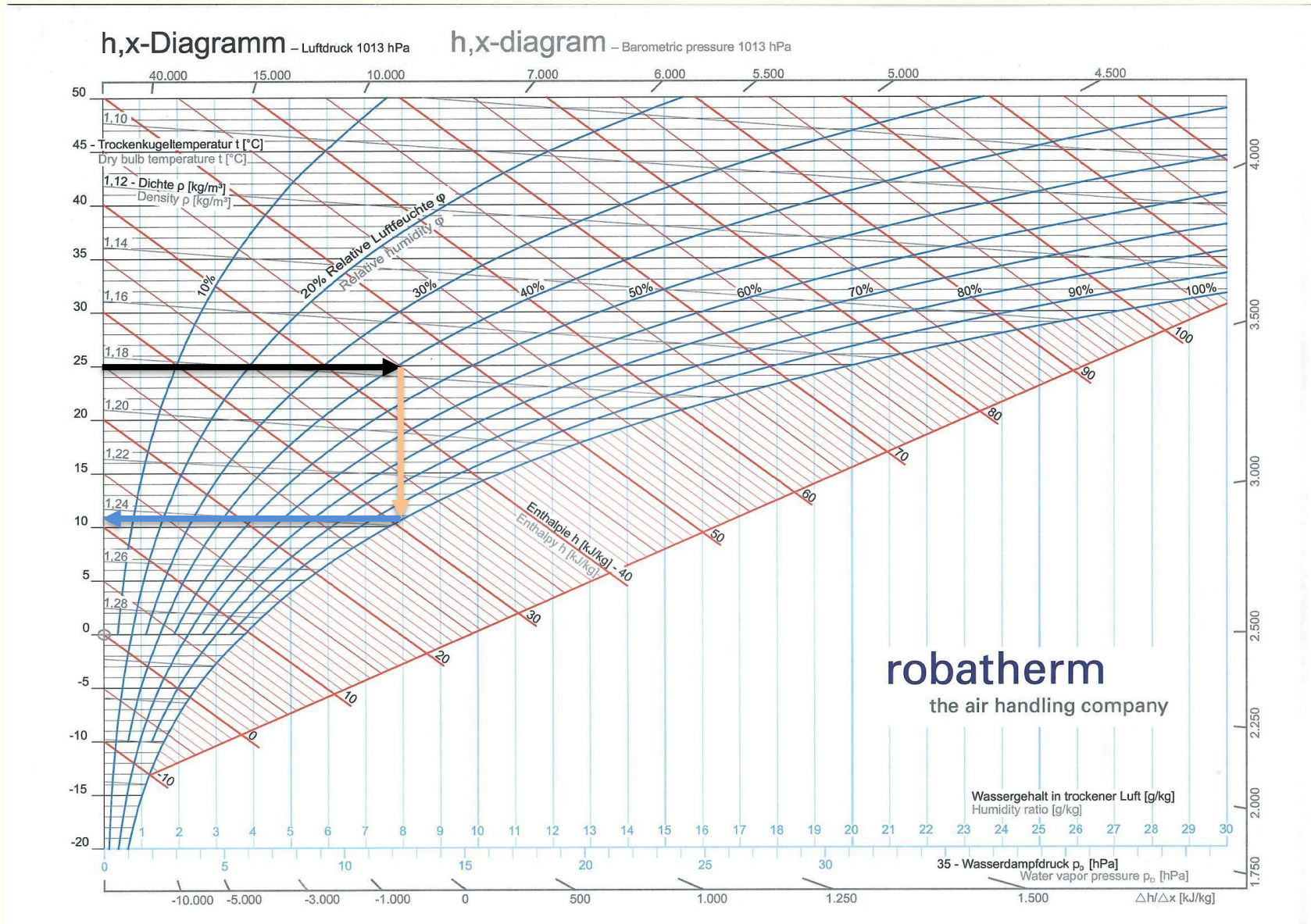
# Lufttemperatur 25°C - relative Luftfeuchtigkeit 40%



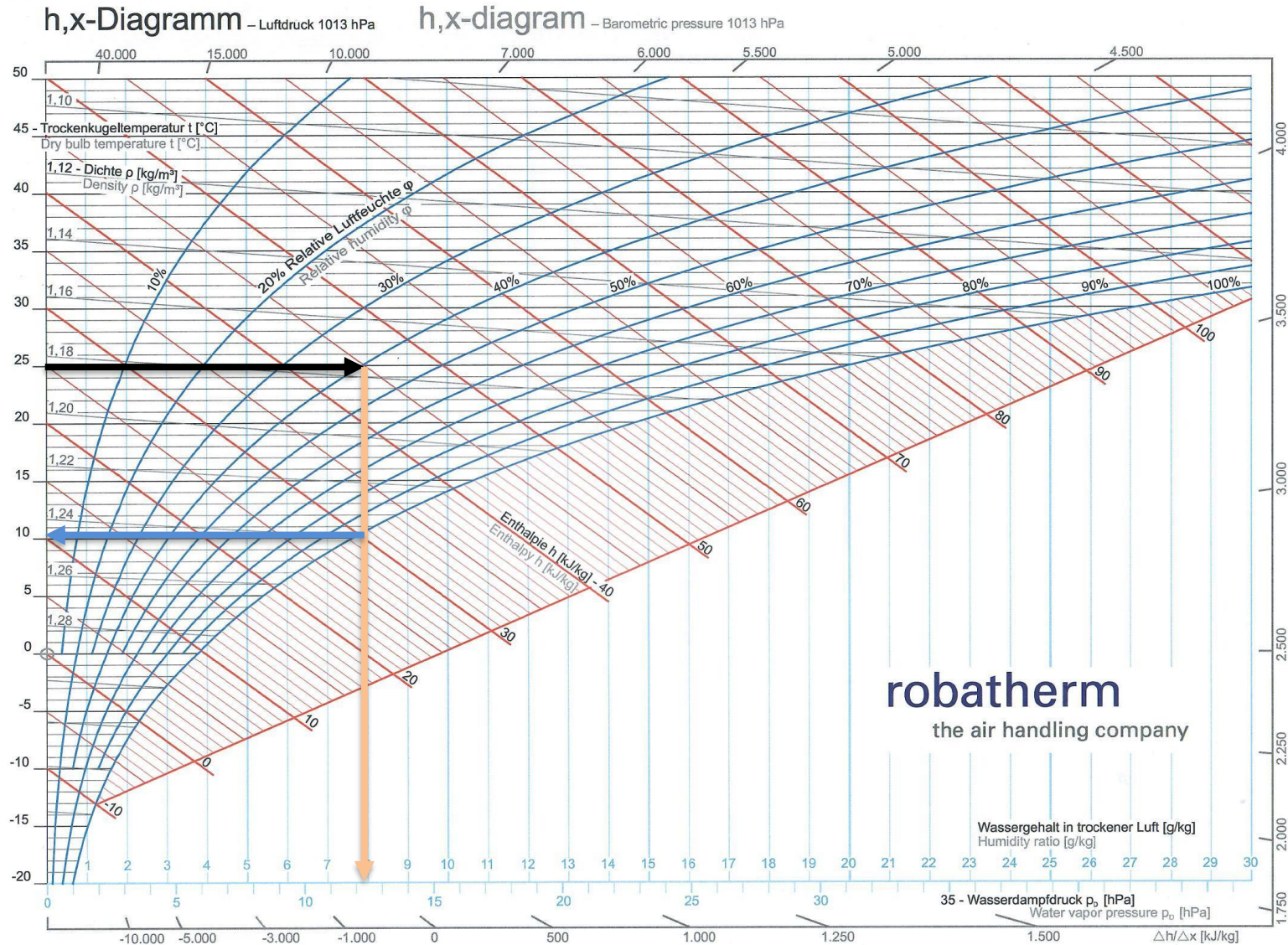
# Lufttemperatur 25°C - relative Luftfeuchtigkeit 40%



Lufttemperatur 25°C - relative Luftfeuchtigkeit 40% - Wasser fällt bei ca. 11°C Oberflächentemperatur aus.



Lufttemperatur 25°C - relative Luftfeuchtigkeit 40% - absolute Feuchte ca. 8 g/kg Luft



## Was lernen wir:

Lufttemperatur 20°C - relative Luftfeuchtigkeit 40% - absolute Feuchte ca. 5,8 g/kg Luft,  
Taupunkttemperatur bei 6°C Oberflächentemperatur.

Lufttemperatur 25°C - relative Luftfeuchtigkeit 40% - absolute Feuchte ca. 8 g/kg Luft ,  
Taupunkttemperatur bei 11°C Oberflächentemperatur.

**Warme Luft kann viel Wasser speichern – und je feuchter sie ist, desto früher  
kondensiert Wasser beim Abkühlen!**

## **Das optimale Zusammenspiel von Heizen und Lüften**



## Zusammenfassung verschiedene Heizsysteme

Die Raumluft kann durch verschiedene Heizsysteme erwärmt werden:

- Die Konvektionsheizung über Heizkörper ist die am verbreitetste

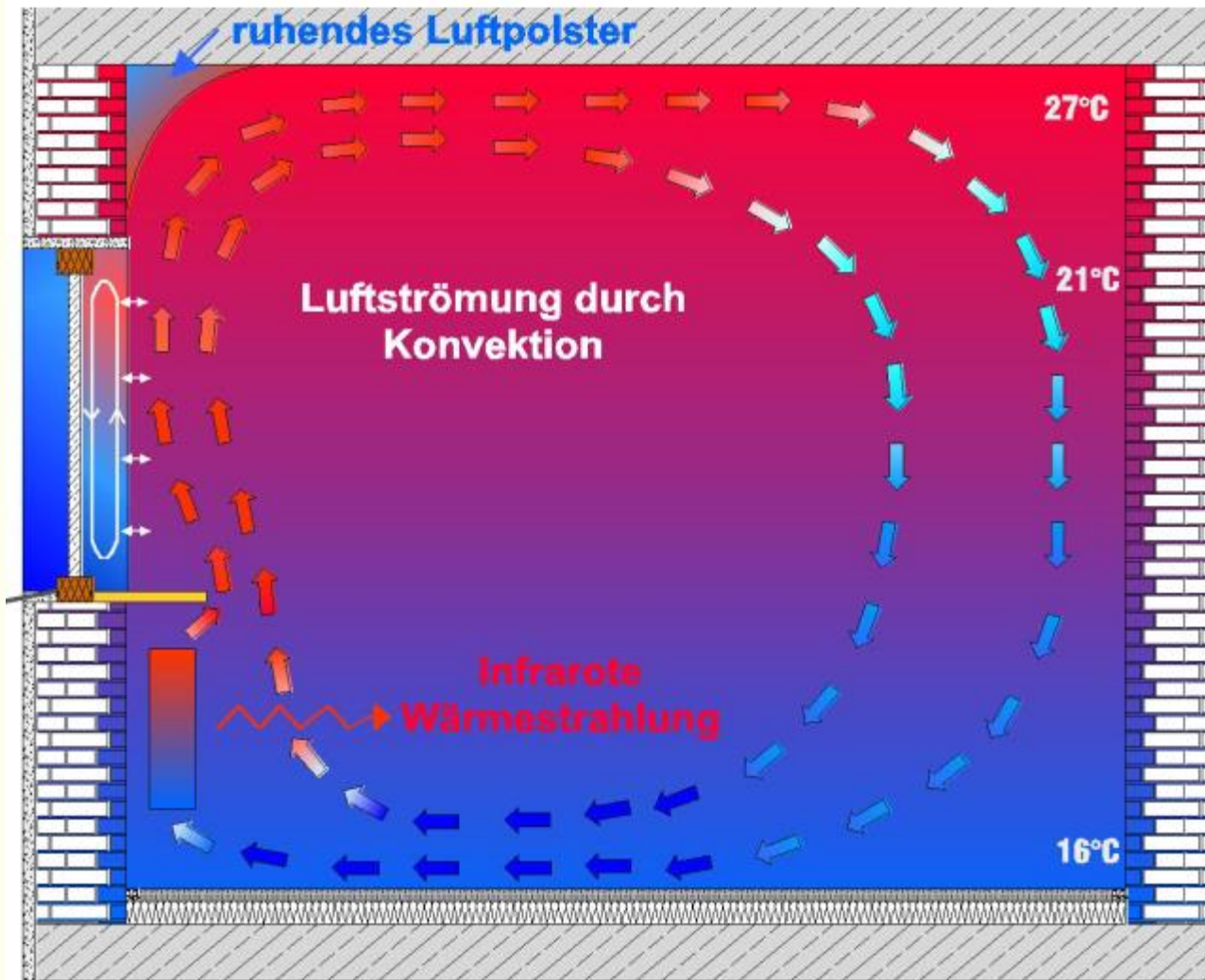
Heizungsart, über die statische Heizung versorgt.

- Direkt befeuerte Gasöfen.
- Flächenheizungen als Fußboden-, Wand- oder Deckenheizung.
- Strahlungsheizung als Kachelofen oder Strahlungsplatten.
- Luftheizungen.
- Mobile elektrische Heizlüfter, Radiatoren, Ölheizungen usw.

und viele weitere, die hier schon aufgeführt wurden.



## Raumströmung ohne Möblierung



## Raumströmung mit Möblierung



## Raumströmung mit Vorhängen

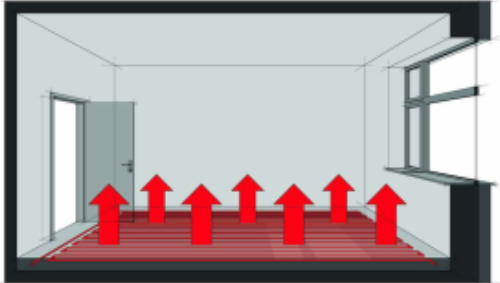
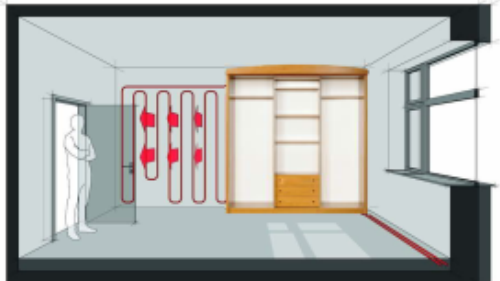
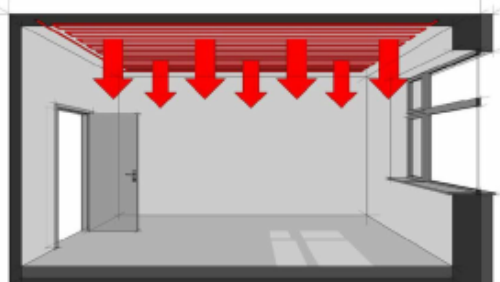


Normale Radiatoren geben die Wärme zu ca. 1/3 als Strahlungswärme und den Rest über Konvektion ab. Oft ist durch die Platzierung der Heizkörper oder durch die Möblierung, ein ausreichender Wärmetransport an alle Wandflächen nicht gegeben.

Ein geschlossener Wandvorhang verhindert die Wärmeübertragung der Heizflächen

## Flächenheizung

Flächenheizungen leben von **Fläche**, die Wärme abgeben kann. Die Möblierung ist entscheidend für die Raumtemperatur und Energieeffizienz.



Quelle: Heizspar.de

Nur bei der Deckenheizung ist die Möblierung unkritisch, die Effizienz der Wand- und Fußbodenheizung kann durch Möbel stark eingeschränkt werden.



Wo abstellen?

# Wärmeverteilung eines Heizsystems

Das Zusammenspiel von:

- einer der Außentemperatur angepassten Vorlauftemperatur,
- der hydraulischen Wärmeverteilung im System (Hydraulischer Abgleich),
- der optimalen Wärmeverteilung und -abgabe am Heizkörper,

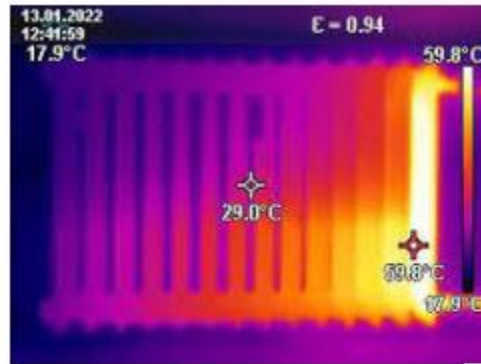
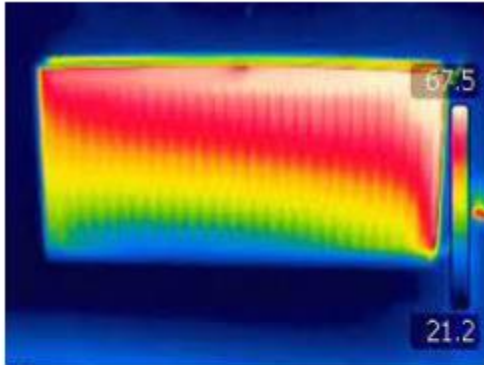
ist entscheidend für die Energieeffizienz und damit auch für den Energieverbrauch.

Wenn alles optimal aufeinander abgestimmt ist, kann auch mit niedrigen Vorlauftemperaturen und geringen Volumenströmen, die gleiche Raumwärme erzielt werden.

Solche Energieeinsparungen sind dauerhaft und nicht nur kurzfristig wie derzeit gewünscht.



# Wärmeverteilung der Heizkörper



*Entlüften!*



## Heizen über offenstehende Türen

Gerade das Schlafzimmer wird oft nur durch die offenstehende Türe mit der Raumluft des Ganges erwärmt.

- Da aber  $1\text{m}^3$  Mauerwerk ungefähr so viel Energie speichern kann wie  $\sim 1.000\text{m}^3$  Luft, werden die Wandflächen im Schlafzimmer dadurch nicht ausreichend temperiert.
- In der Nähe des Schlafzimmers befindet sich meist das Bad.
- Wenn nach der Badnutzung die Bad-Türe geöffnet wird, strömt die feuchte Luft, aufgrund des hohen Dampfdruckgefälles, sehr schnell in das Schlafzimmer.
- Die feuchte Luft führt an den kalten Wandoberflächen zu hohen Oberflächenfeuchten, was fast immer Schimmelwachstum zur Folge hat.
- **Energetischer und zur Schimmelvermeidung sicher, ist das Schließen der Schlafzimmertüre und die Temperierung von Schlafräumen über die statische Heizung.**

# 1. Ziel

Ein gesundes, behagliches Raumklima mit minimalem Energieverbrauch:

- **Vermeidung von Feuchte und Schimmelbildung**
- **Sicherung der Luftqualität**
- **Reduzierung von Wärmeverlusten**



## 2. Grundprinzipien

| Faktor                   | Heizen                                                   | Lüften                                             |
|--------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Ziel                     | Raumtemperatur konstant halten                           | Feuchte und Schadstoffe abführen                   |
| Steuergröße              | Lufttemperatur                                           | CO <sub>2</sub> -/Feuchtegehalt der Luft           |
| Einfluss auf Taupunkt    | Je wärmer die Luft, desto mehr Wasser kann sie aufnehmen | Lüften senkt die relative Feuchte                  |
| Risiko bei Fehlbedienung | Zu starkes Heizen → Energieverlust, trockene Luft        | Zu langes Lüften → Wärmeverlust, kalte Oberflächen |



### 3. Physikalischer Hintergrund

**Warme Luft kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen** (→ relative Feuchte sinkt beim Heizen).

**Kalte Luft enthält wenig absolute Feuchte**, aber nach Erwärmung im Raum wird sie sehr „trocken“.

**Zu hohe Luftfeuchte** (über 60 %) führt bei kalten Oberflächen schnell zu **Kondensat und Schimmelbildung**.

**Ideale Raumwerte:**

Temperatur: **20–22 °C**

Relative Luftfeuchte: **40–55 %**

CO<sub>2</sub>: unter **1000 ppm**



## 4. Richtiges Verhalten im Alltag

### Lüften:

- **Stoßlüften** statt Kipplüften  
→ Fenster 5–10 Minuten weit öffnen, **2–4× täglich**
- **Querlüften** (gegenüberliegende Fenster öffnen) verbessert Luftaustausch enorm
- **Nach Duschen, Kochen oder Schlafen** sofort lüften
- **Feuchtequellen vermeiden** (Wäsche in Wohnung, Aquarien etc.)



## 4. Richtiges Verhalten im Alltag

### Heizen:

- Räume **gleichmäßig beheizen** (nicht stark abkühlen lassen)
- **Thermostate moderat einstellen** – jeder Grad weniger spart ~6 % Heizenergie
- **Heizkörper freihalten, Hydraulischer Abgleich prüfen**
- **Luftzirkulation sicherstellen** – keine Möbel direkt vor Heizflächen



## 5. Optimale Kombination

| Situation                                  | Maßnahme                                     |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Hohe Luftfeuchte (&gt;60 %)</b>         | Stoßlüften, ggf. leicht nachheizen           |
| <b>Trockene Luft (&lt;35 %)</b>            | Kürzer lüften, ggf. Luftbefeuchter einsetzen |
| <b>Nach Abwesenheit (z. B. Urlaub)</b>     | Räume langsam aufheizen, kurz lüften         |
| <b>Mit Wärmerückgewinnung (RLT-Anlage)</b> | Luftmengen regelmäßig prüfen, Filter warten  |



## 6. Technische Unterstützung

- **Hygrostat / CO<sub>2</sub>-Sensor:** automatische Lüftung bei zu hoher Feuchte oder CO<sub>2</sub>
- **Feuchtegeführte Fensterlüfter** oder **Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung**
- **Smart-Home-Systeme** koppeln Heizung und Lüftung dynamisch  
→ z. B. Feuchte- oder Präsenzabhängige Steuerung



## 7. Fazit

- **Heizen ohne Lüften = Schimmelrisiko.**
- **Lüften ohne Heizen = Energieverschwendung.**  
Wenn man **lüftet, aber nicht heizt**, kühlt der Raum aus –  
und die zum Aufheizen benötigte Energie wird **später umso größer**.

Nur das **gezielte Zusammenspiel** aus beiden schafft ein dauerhaft gesundes und energieeffizientes Raumklima.





# Fragen und Antworten



# **IBDM GmbH**

**Innovative Beratung Dienstleistung Messtechnik**

**Dipl.-Ing. Detlef Malinowsky**

## **Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Bitte stellen Sie weitere Fragen an  
[detlef.malinowsky@ibdm.de](mailto:detlef.malinowsky@ibdm.de)**

