
Bauphysik

Feuchte: Grundlagen, Taupunktunterschreitungen, Raumklima, Lüftung

Prof. Dr.-Ing. Petra Rucker-Gramm

*Vorlesungsunterlagen nur für studentische
Zwecke. Eine Weitergabe oder Vervielfältigung,
auch auszugsweise,
ist nur nach schriftlicher Genehmigung
durch die Verfasserin erlaubt.*

Aggregatzustände von Wasser

- **Eis**

$< 0^{\circ}\text{C}$

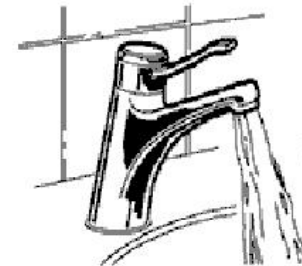
fest



- **Wasser**

Zusammenhalt der Wassermoleküle durch die Oberflächenspannung

flüssig

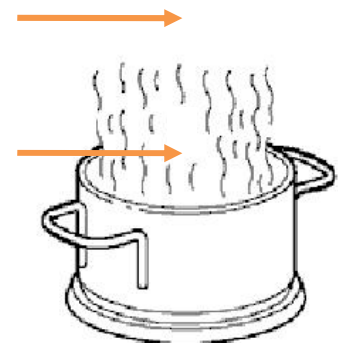


- **Wasserdampf**

die Moleküle sind frei beweglich (unsichtbar)

$> 100^{\circ}\text{C}$

gasförmig
(=unsichtbar)
dampfförmig



Aggregatzustände von Wasser

- **drei Aggregatzustände von Wasser**

Abkühlung ↑

fest (Eis)

flüssig („Wasser“)

gasförmig (Wasserdampf)

Erwärmung ↓

- **Definition Feuchte**

Wasser in verschiedenen Aggregat- und Bindungszuständen in einem anderen wasseraufnahmefähigen Stoff (z. B. Luft, Baustoff)

„Platzbedarf“ Wasser vs. Eis

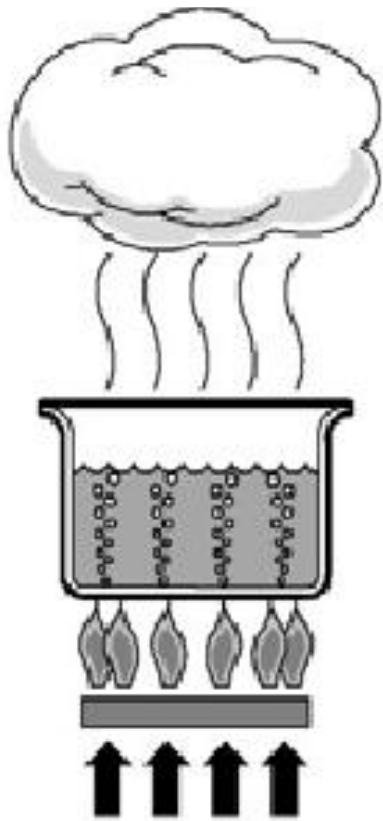


→ Volumenzunahme

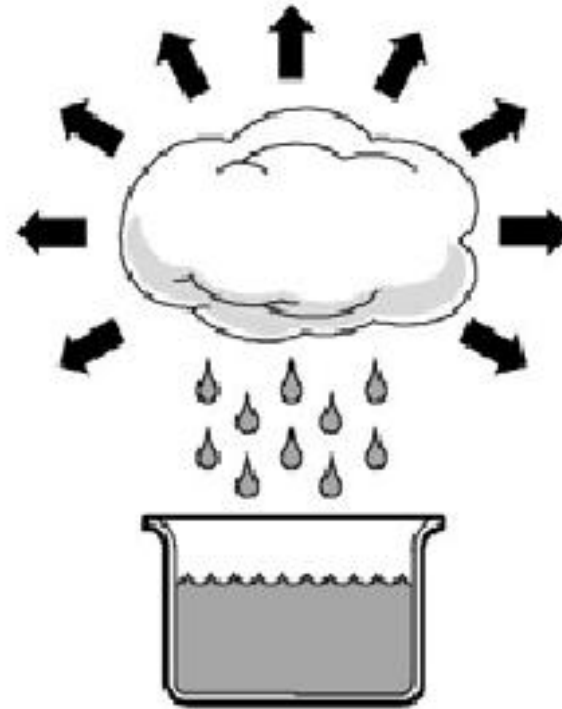


„Platzbedarf“ Wasser vs. Wasserdampf

Wärmezufuhr



Wärmeabfuhr



→ ?????

„Platzbedarf“ Wasser vs. Wasserdampf

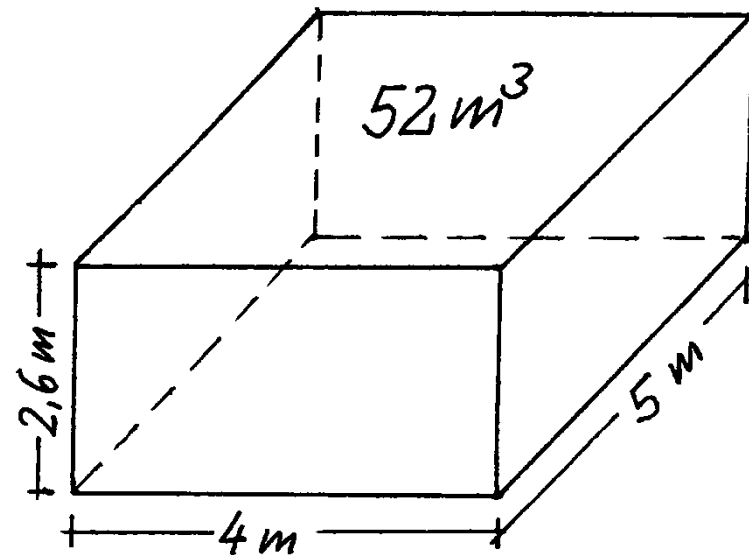


> 100°C



Volumen Wasserdampf
>> Volumen Wasser

Ein Liter Wasser würde nach dem Verdampfen
einen Raum mit 20 m² Grundfläche füllen
(bei 22° C)



[Dr. Krus]

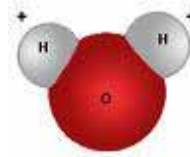
1 Liter Wasser
(1 dm³, 1 kg)



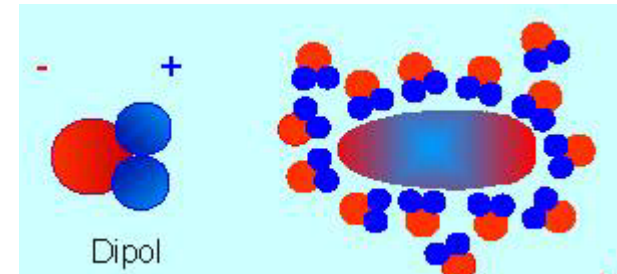
flüssig

Die Eigenschaften von Wasser

Das Wassermolekül H_2O



.... ist stark polar

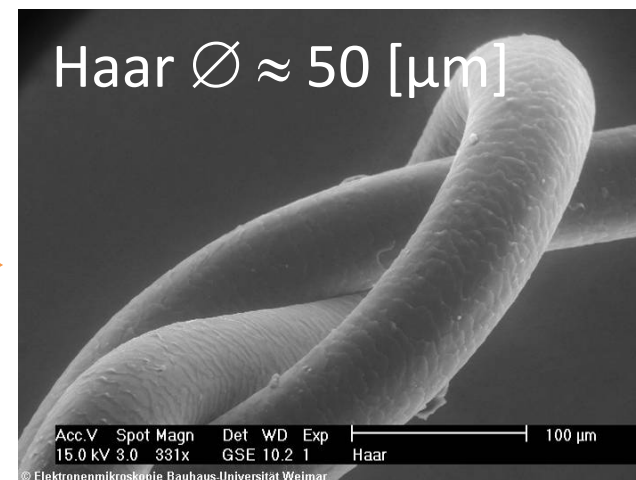


.... hat eine große Oberflächenspannung

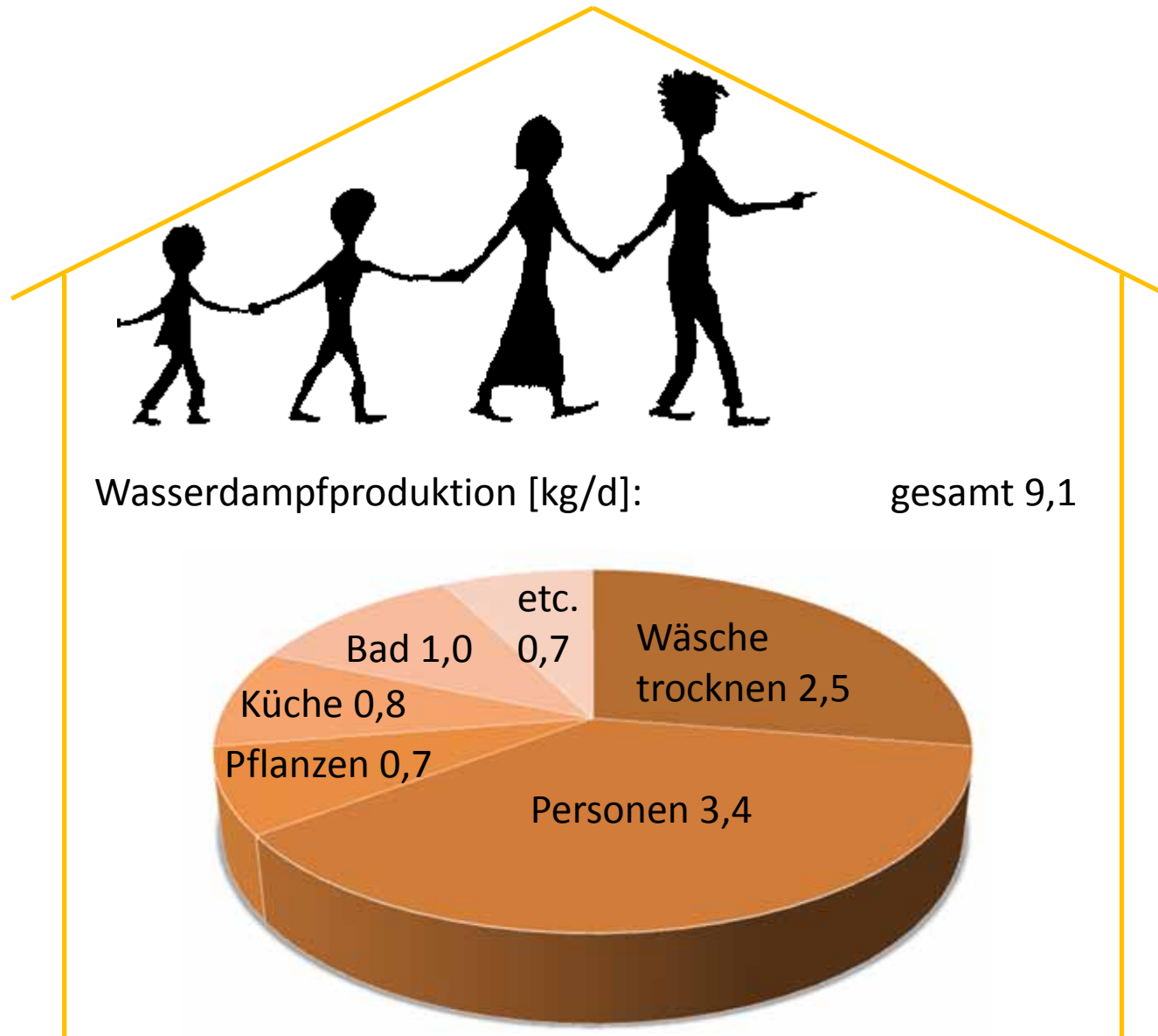
.... hat eine große Wärmespeicherkapazität

.... ist sehr klein ($\varnothing = 0,28 \text{ nm}$)

→
× rd. 180.000



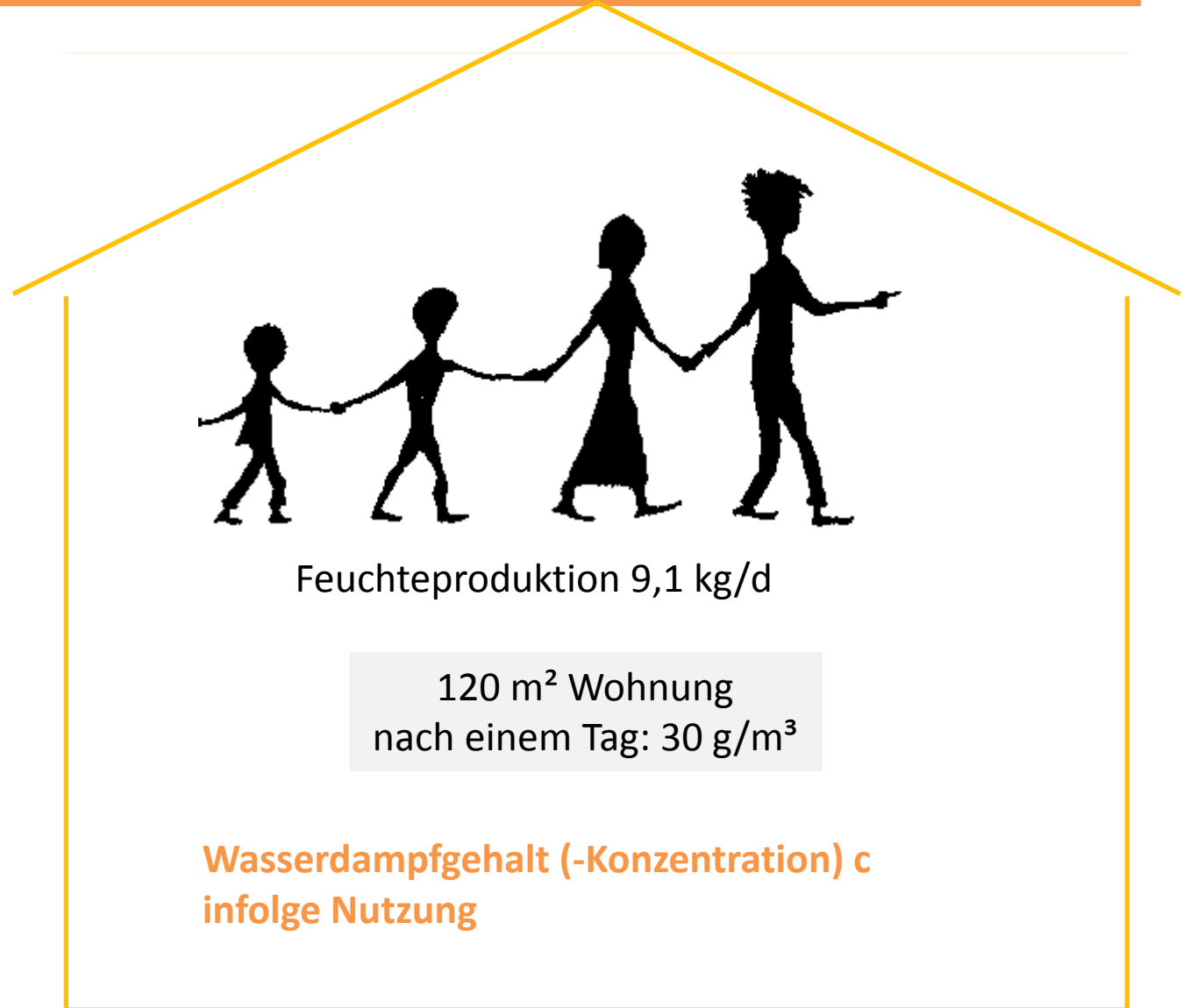
Feuchteproduktion im Innenraum



Feuchteproduktion im Innenraum

	Art	Feuchteabgabe [g/h]
Mensch	leichte Aktivität	30 - 60
	mittelschwere Arbeit	120 - 200
	schwere Arbeit	200 - 300
Bad	Wannenbad	ca. 700
	Duschen	ca. 2600
Küche	Koch- und Arbeitsvorgänge	600 - 1200
Pflanzen	Zimmerblumen	5 - 10
	Topfpflanzen	7 - 15
	Mittelgroßer Gummibaum	10 - 20
	Wasserpflanzen	6 - 8
Wäsche	4,5 kg geschleudert	50 - 200
	4,5 kg topfnass	100 - 500
Freie Wasseroberfläche	pro m ²	ca. 40

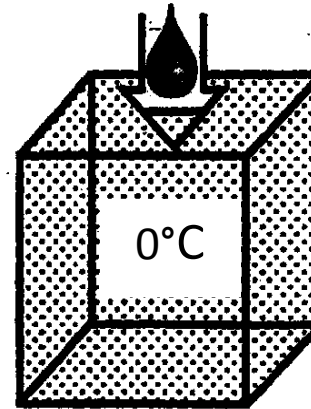
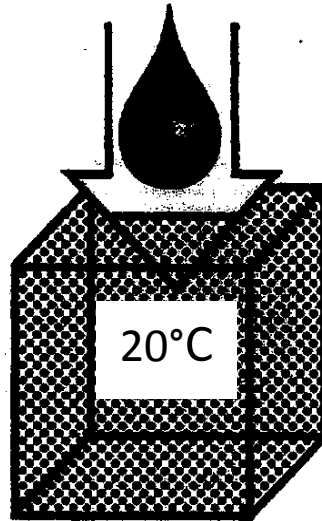
Feuchteproduktion im Innenraum



Wasserdampfgehalt der Luft

$$c_s = 17,5 \text{ g/m}^3$$

$$p_s = 2337 \text{ Pa}$$



$$c_s = 5 \text{ g/m}^3$$

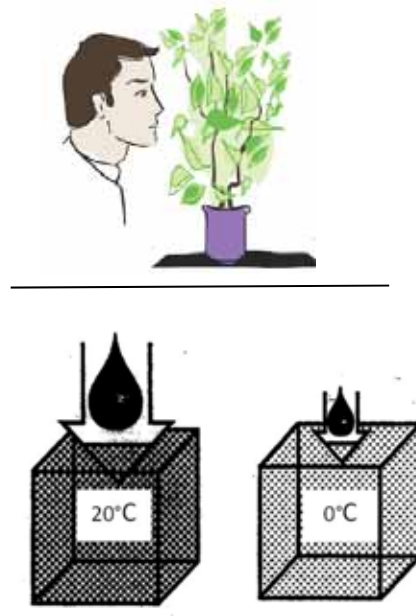
$$p_s = 872 \text{ Pa}$$

- Luft nimmt in Abhängigkeit von ihrer Temperatur nur eine bestimmte Menge Wasserdampf (= **Wasserdampfsättigungskonzentration** c_s) auf.
- Der Partialdruck des Wasserdampfs p_D kann temperaturabhängig nur einen bestimmten maximalen Wert (= **Wasserdampfsättigungsdruck** p_s) annehmen.
- Das Verhältnis zwischen tatsächlicher **Konzentration** c bzw. **Dampfdruck** p_D und den maximal möglichen Werten c_s bzw. p_s ist die relative Luftfeuchte φ :

$$\varphi = \frac{c}{c_s} = \frac{p_D}{p_s}$$

Relative Feuchte und Taupunktunterschreitung

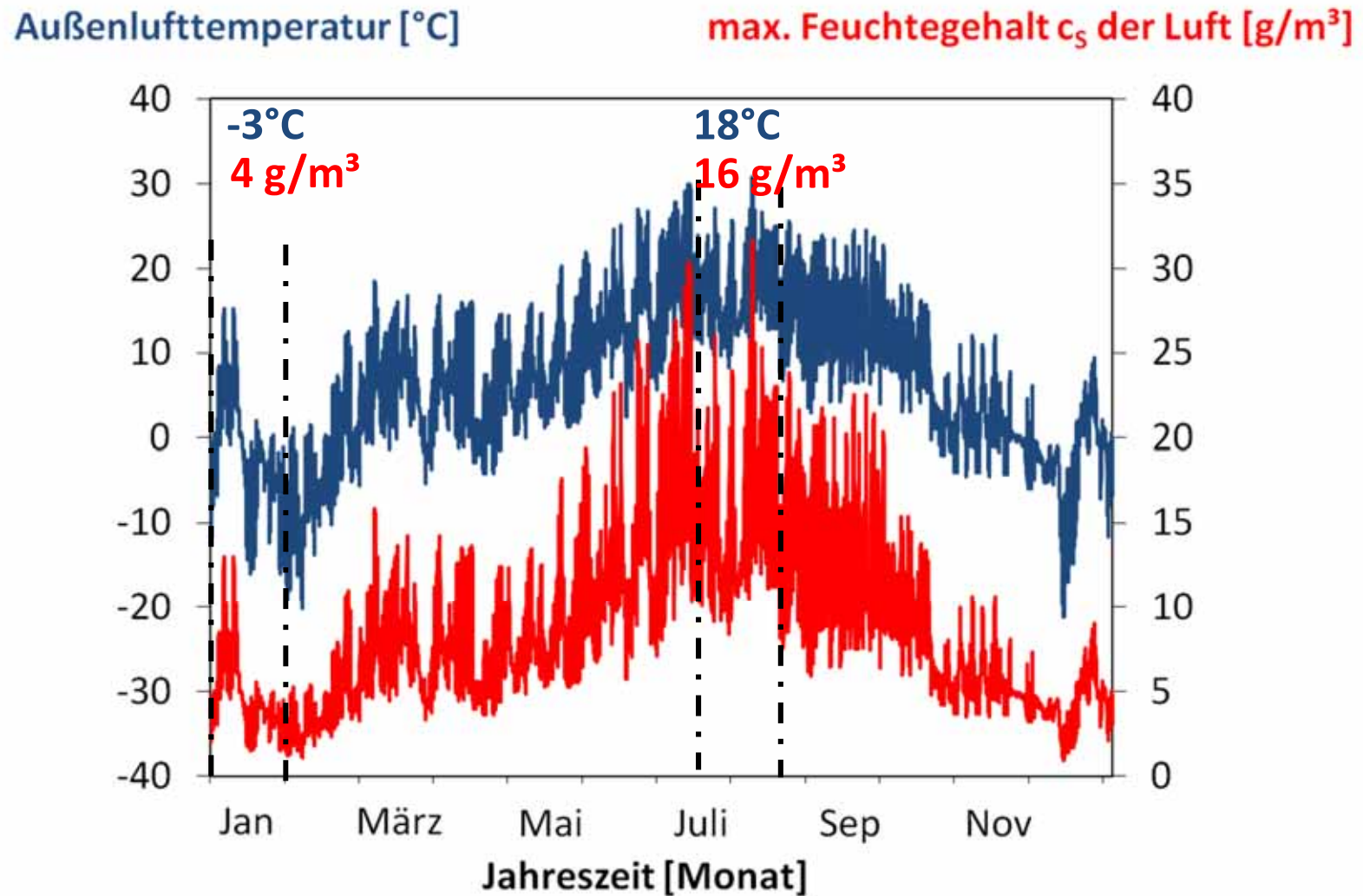
$$\varphi = \frac{c}{c_s} = \frac{p_D}{p_s}$$



Die relative Luftfeuchte φ nimmt Werte zwischen 0 und 1 bzw. 0 % r.F. und 100 % r.F. an

→ Tauwasserausfall sobald $\varphi \geq 100\%$ r.F., d.h. :
absolute Feuchte $c > c_s$ bzw. Wasserdampfpartialdruck $p_D > p_s$

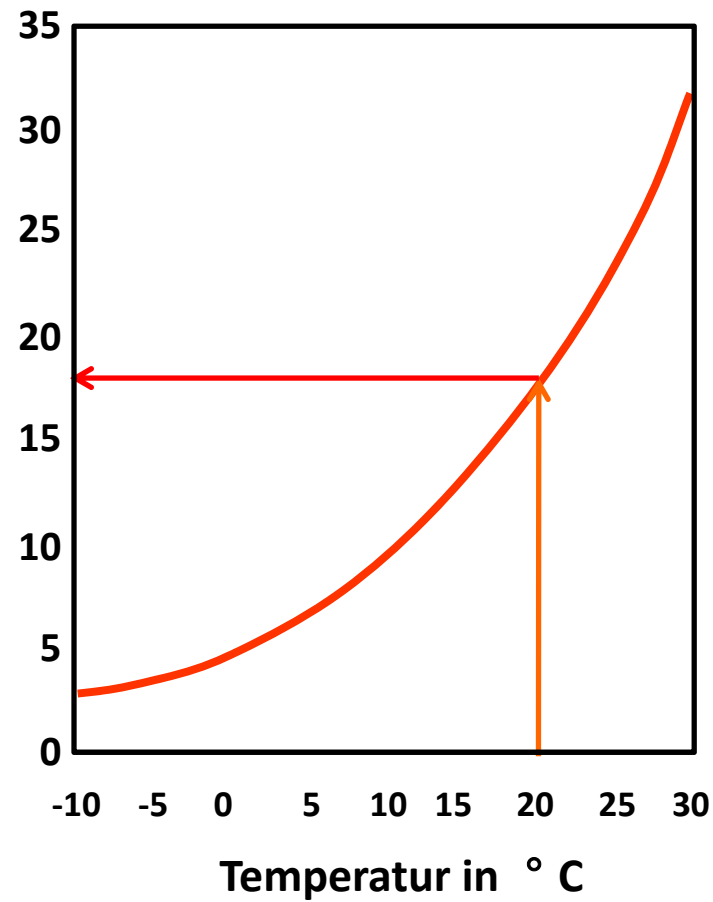
Unser Klima



Wasserdampfsättigungsgehalt c_s (max. Feuchtegehalt)

max. Feuchtegehalt c_s der Luft in g/m^3

20 ° C
 $c_s = 17,5 \text{ g/m}^3$



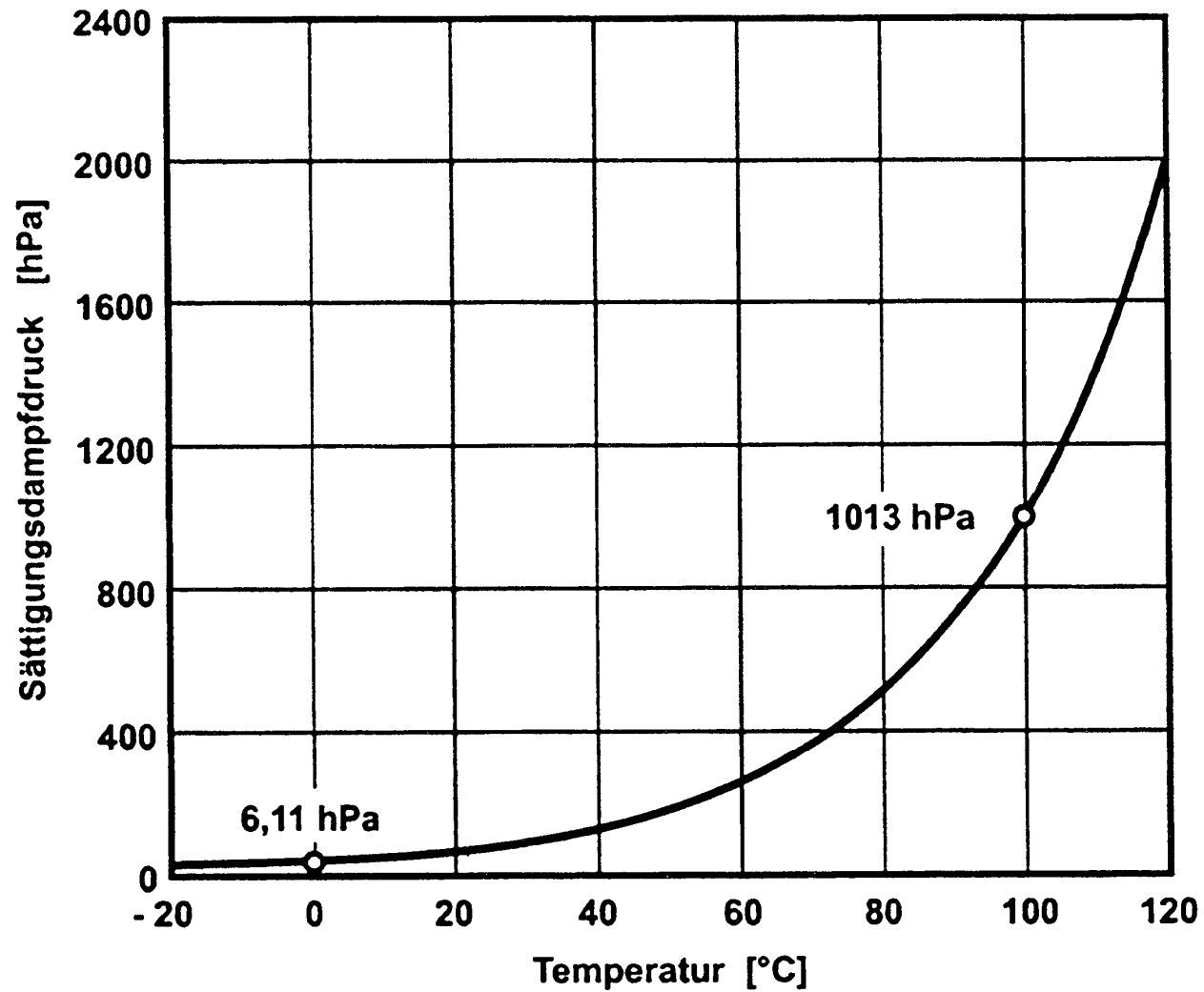
Wasserdampfpartialdruck p_D

Zusammenhang zwischen dem Wasserdampfpartialdruck p in der Luft und der Konzentration von Wasserdampf in der Luft c [g/m³]:

$$c = \frac{p}{R_D \cdot T}$$

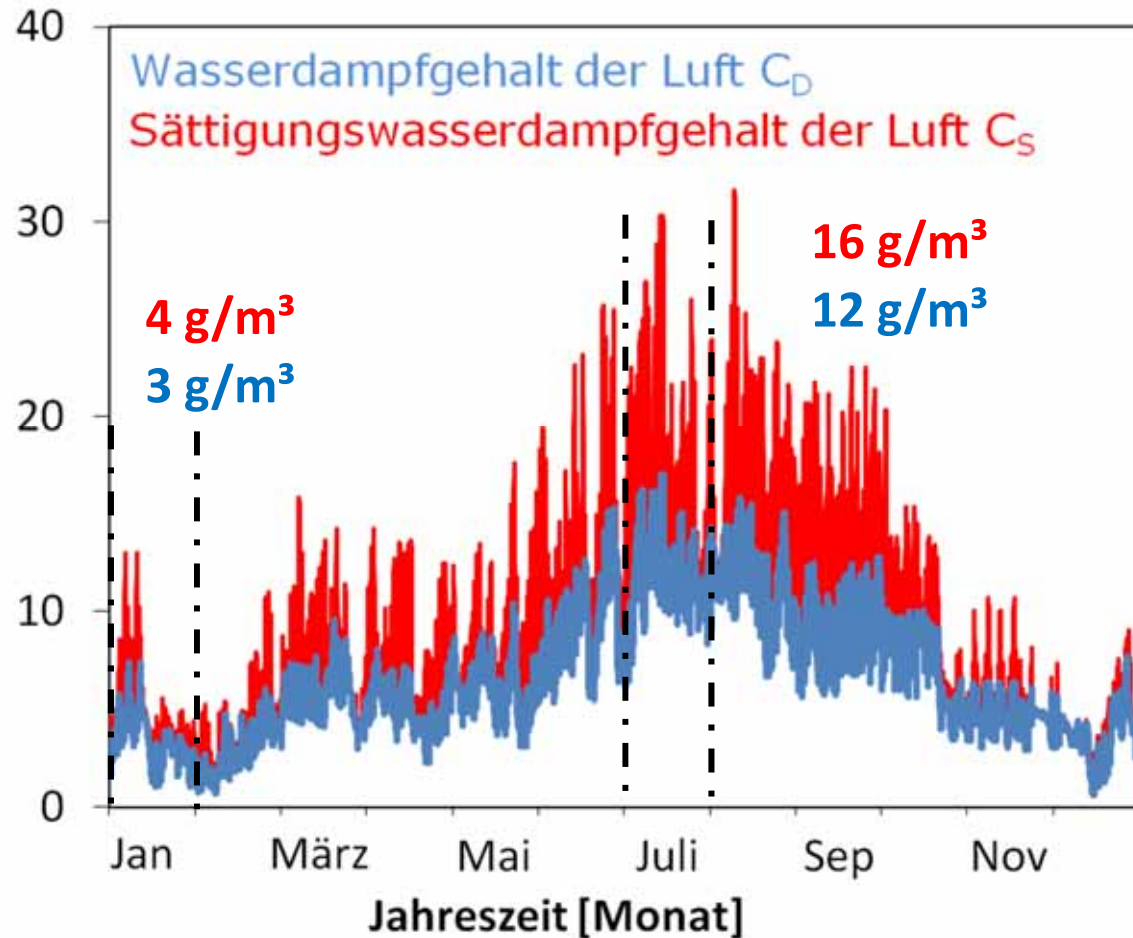
Wasserdampfsättigungsdruck p_s

Sättigungsdampfdruck p_s



tatsächlicher (c_D) und max. Wasserdampfgehalt (c_S) der Luft

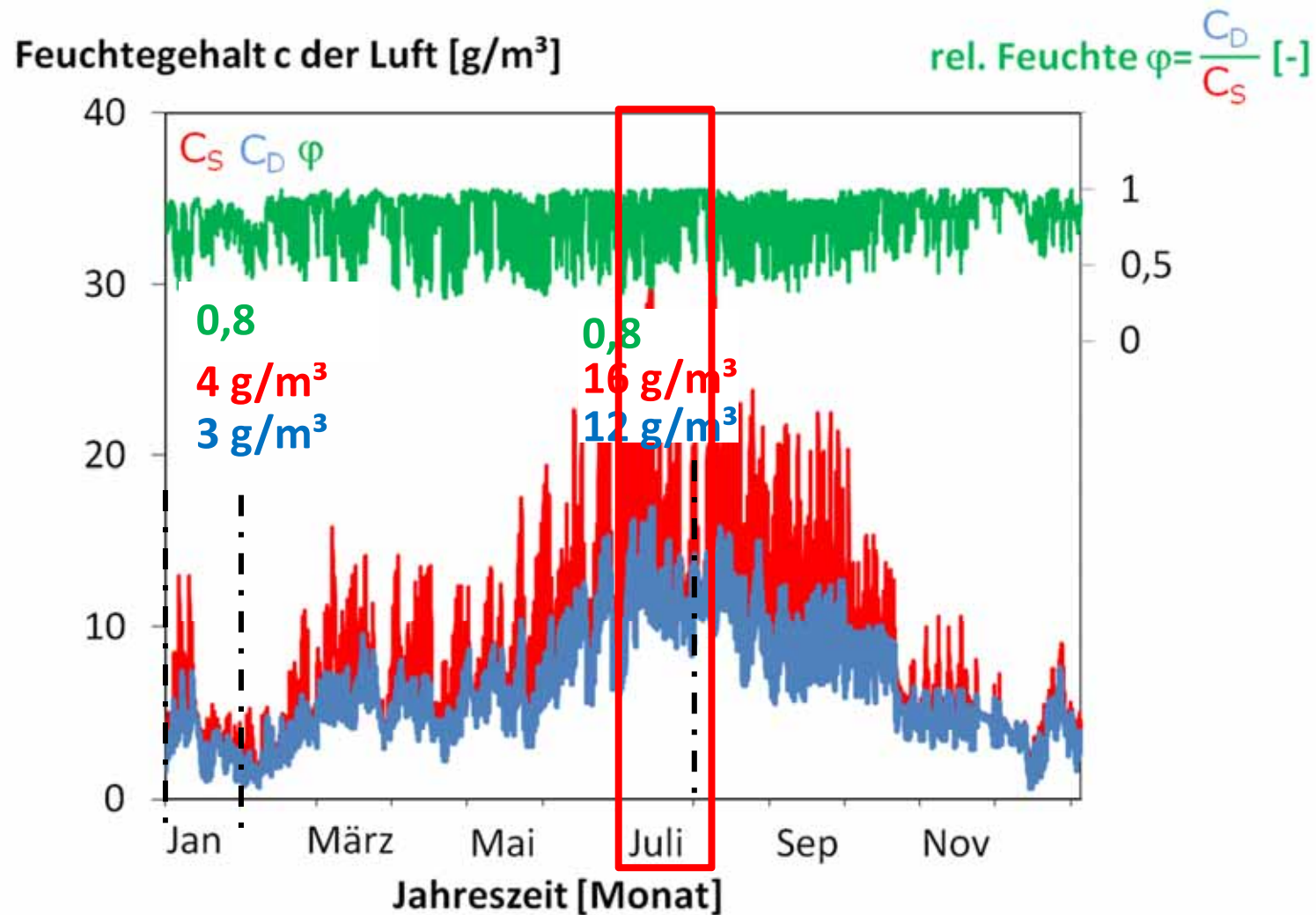
Feuchtegehalt c der Luft [g/m^3]



=absolute Feuchte

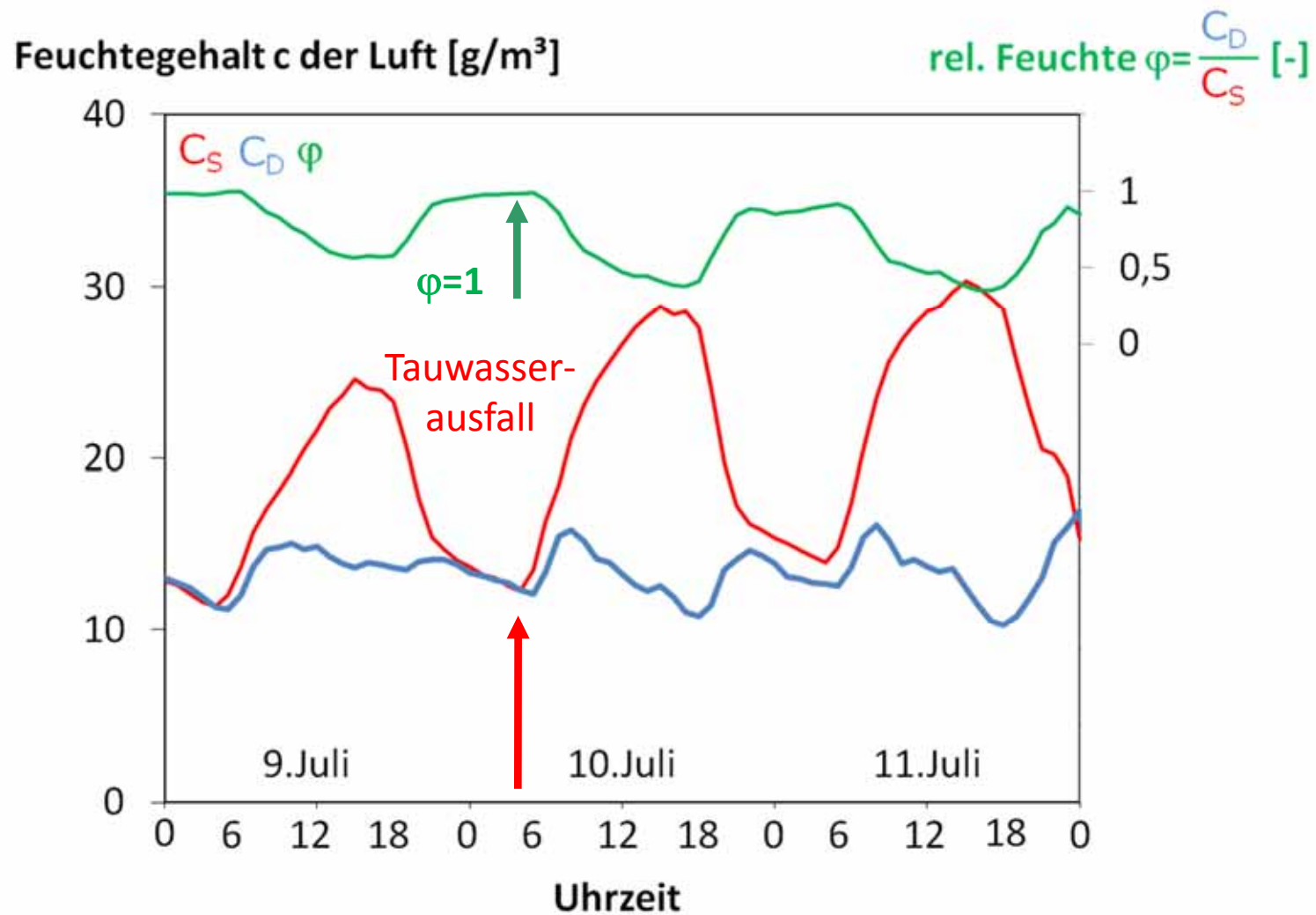
- Die Außenluft enthält im Sommer rd. viermal so viel Feuchte wie im Winter

Die relative Luftfeuchte



- die relative Feuchte liegt relativ konstant über das Jahr hinweg bei rd. 80 %r.F.

Die relative Feuchte: Beispiel 10. Juli 1991



Die relative Feuchte: Beispiel 10. Juli 1991

9. Juli nachmittags 16 Uhr



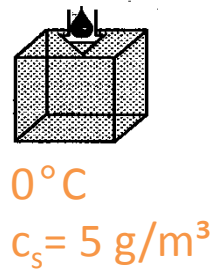
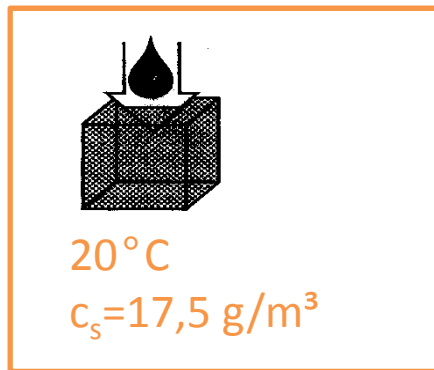
Temperatur: 21 °C
max. Luftfeuchtegehalt c_s : 18,4 g/m³
Feuchtegehalt der Luft c : 14,0 g/m³
rel. Feuchte: 76 % r.F.

10. Juli morgens 6 Uhr



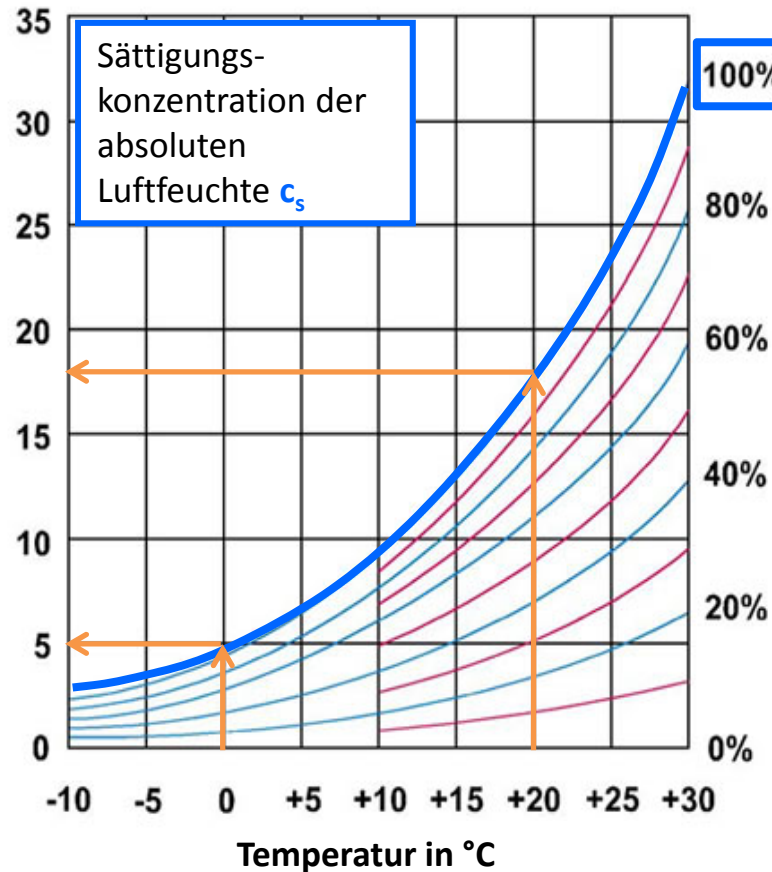
Temperatur: 14 °C
max. Luftfeuchtegehalt c_s : 13,7 g/m³
Feuchtegehalt der Luft c : 13,7 g/m³
rel. Feuchte: 100 % r.F.

Taupunktunterschreitungen



Wasserdampfgehalt c
 der Luft in g/m^3

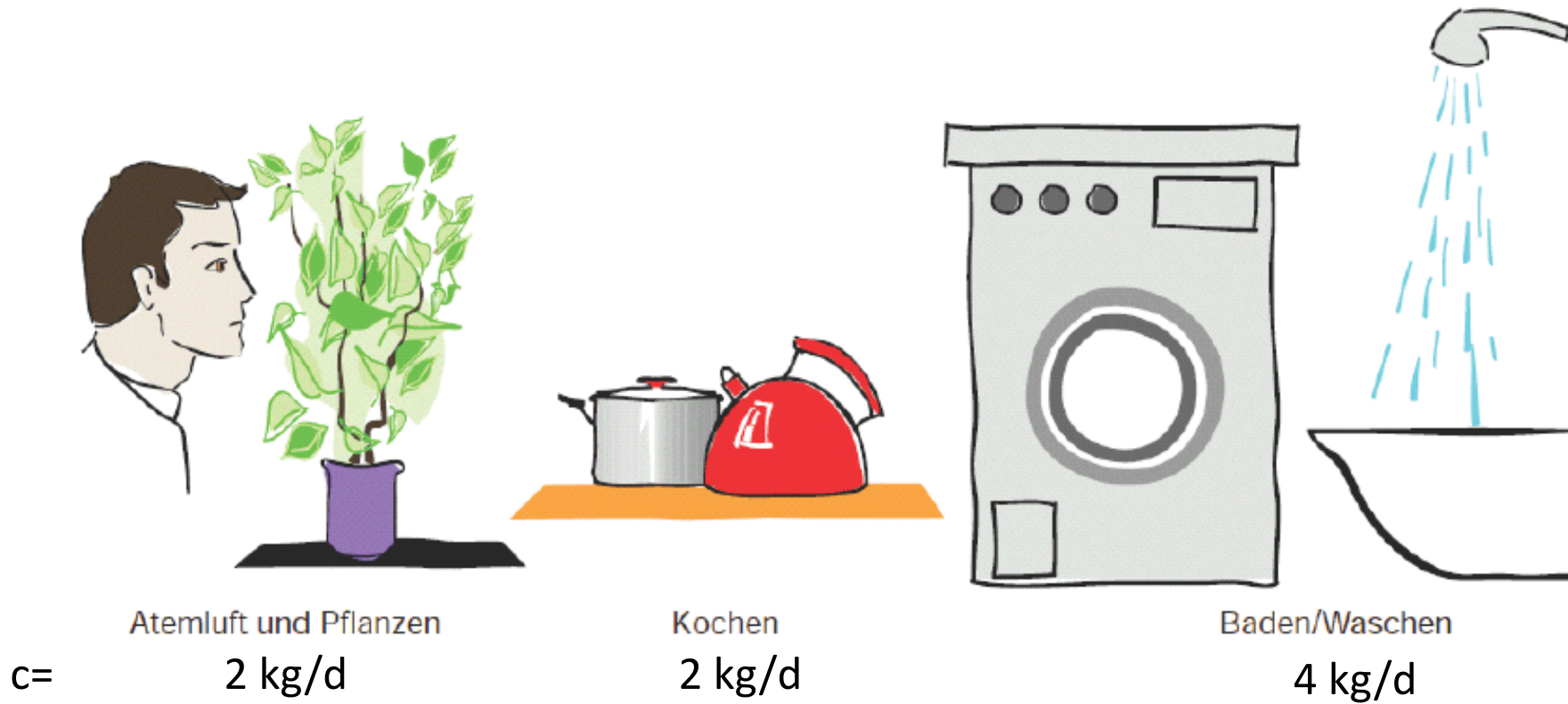
relative
 Luftfeuchte in % $= \frac{c}{c_s}$



$$c = c_s$$

→ Bei Abkühlung von 20°C auf 0°C Tauwasserausfall $\Delta = 12,5 \text{ g/m}^3$

Feuchteproduktion infolge Nutzung



- Taupunkttemperatur ϑ_s



Folgen zu hoher Feuchtegehalte

$c_D < c_S$



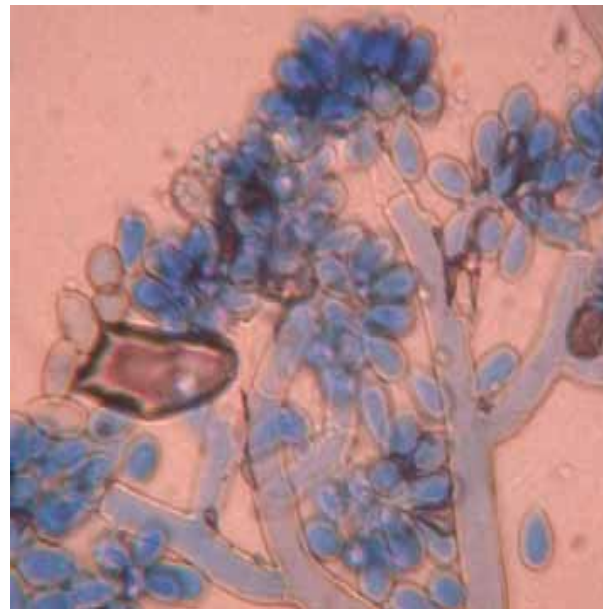
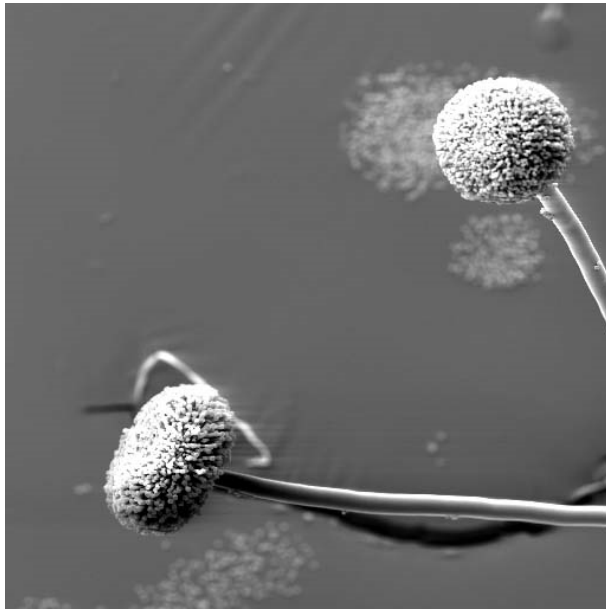
$c_D = c_S, \varphi = 1$



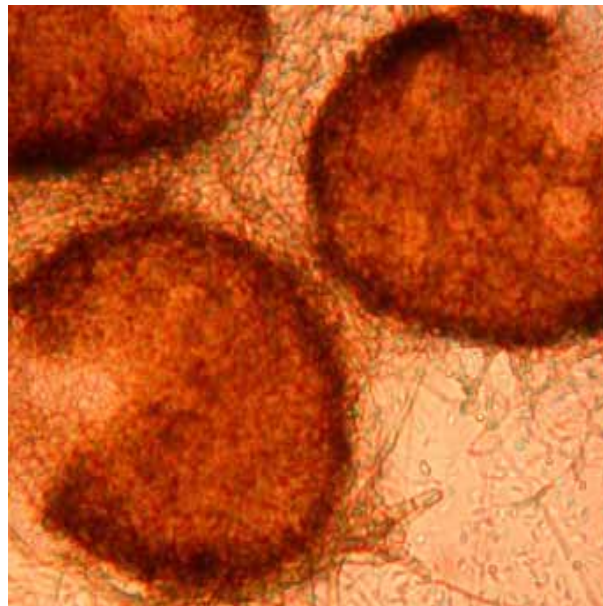
?



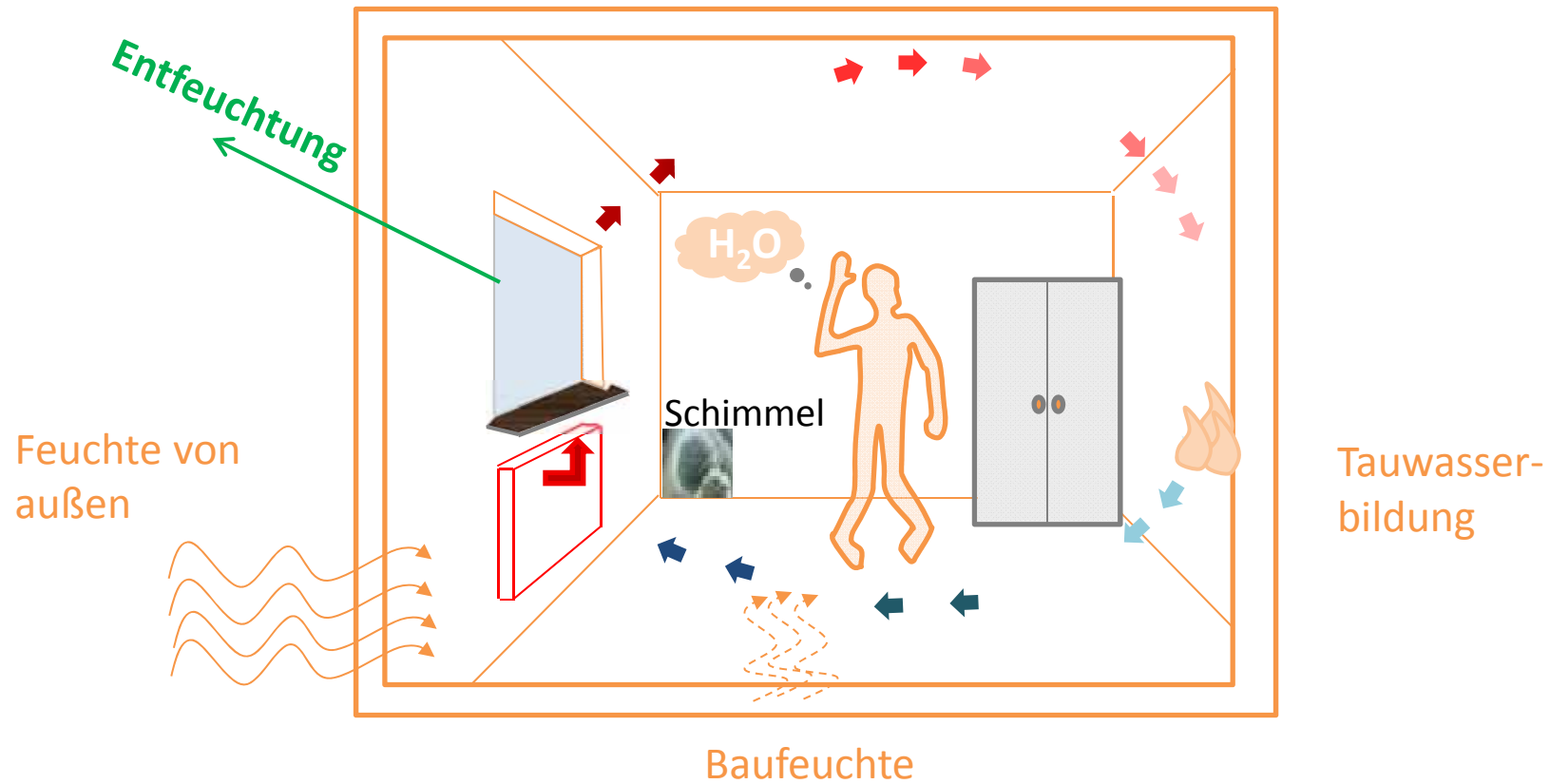
Folgen zu hoher Feuchtegehalte



Wohlfühlklima ab 75%r.F.



Feuchtehaushalt, Beispiel Untergeschoss



Tauwasser- und Schimmelpilzvermeidung in der Norm

Norm 4108-2

Tauwasser- und Schimmelpilzvermeidung

Raumluftbedingungen

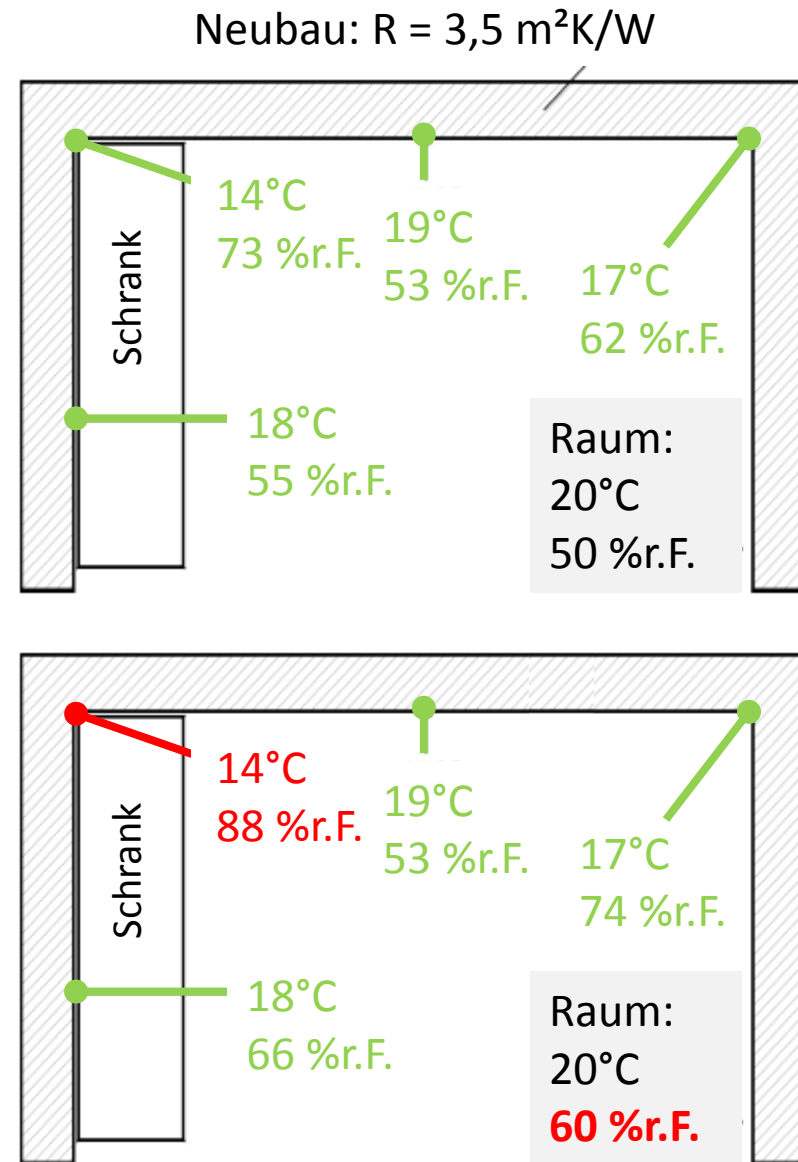
20°C/50% r.F.

Kritische Oberflächenfeuchte

80%

Kritische Oberflächentemperatur

12,6°C



Ein Beispiel aus der Praxis



Feuchte- und Schimmelpilzprobleme an der Innenwand einer Souterrain-Wohnung

Messung am 27.08.09, 18.30 h nach ausgiebigem Lüften

Außenluft: 26,8 °C, 64 % rel. F.
Innenluft: 20,1 °C, 81 % rel. F.

gemessene
Temperaturen in °C

Ein Beispiel aus der Praxis



Feuchte- und Schimmelpilzprobleme an der Innenwand einer Souterrain-Wohnung

Messung am 27.08.09, 18.30 h
nach ausgiebigem Lüften

Außenluft: 26,8 °C, 64 % rel. F.
Innenluft: 20,1 °C, 81 % rel. F.

aus Daten für Innenluft berechnete relative Luftfeuchten in %

Lüftungsfalle: Taupunktunterschreitungen an den Kellerwänden?

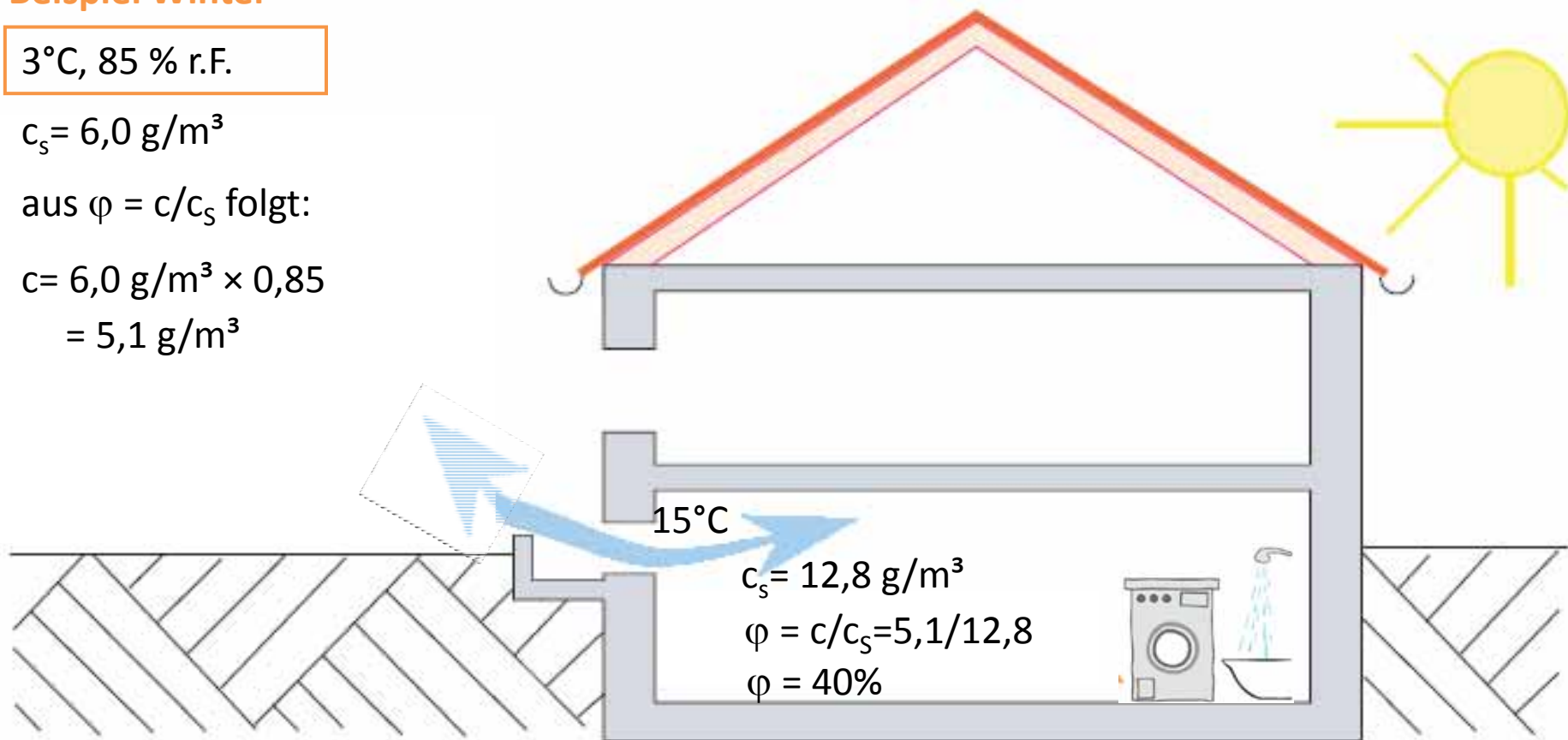
Beispiel Winter

3°C, 85 % r.F.

$$c_s = 6,0 \text{ g/m}^3$$

aus $\varphi = c/c_s$ folgt:

$$c = 6,0 \text{ g/m}^3 \times 0,85 \\ = 5,1 \text{ g/m}^3$$



→ In der Heizperiode ist hauptsächlich nutzungsbedingte Feuchte durch Lüftung abzuführen.

Lüftungsfalle: Taupunktunterschreitungen an den Kellerwänden?

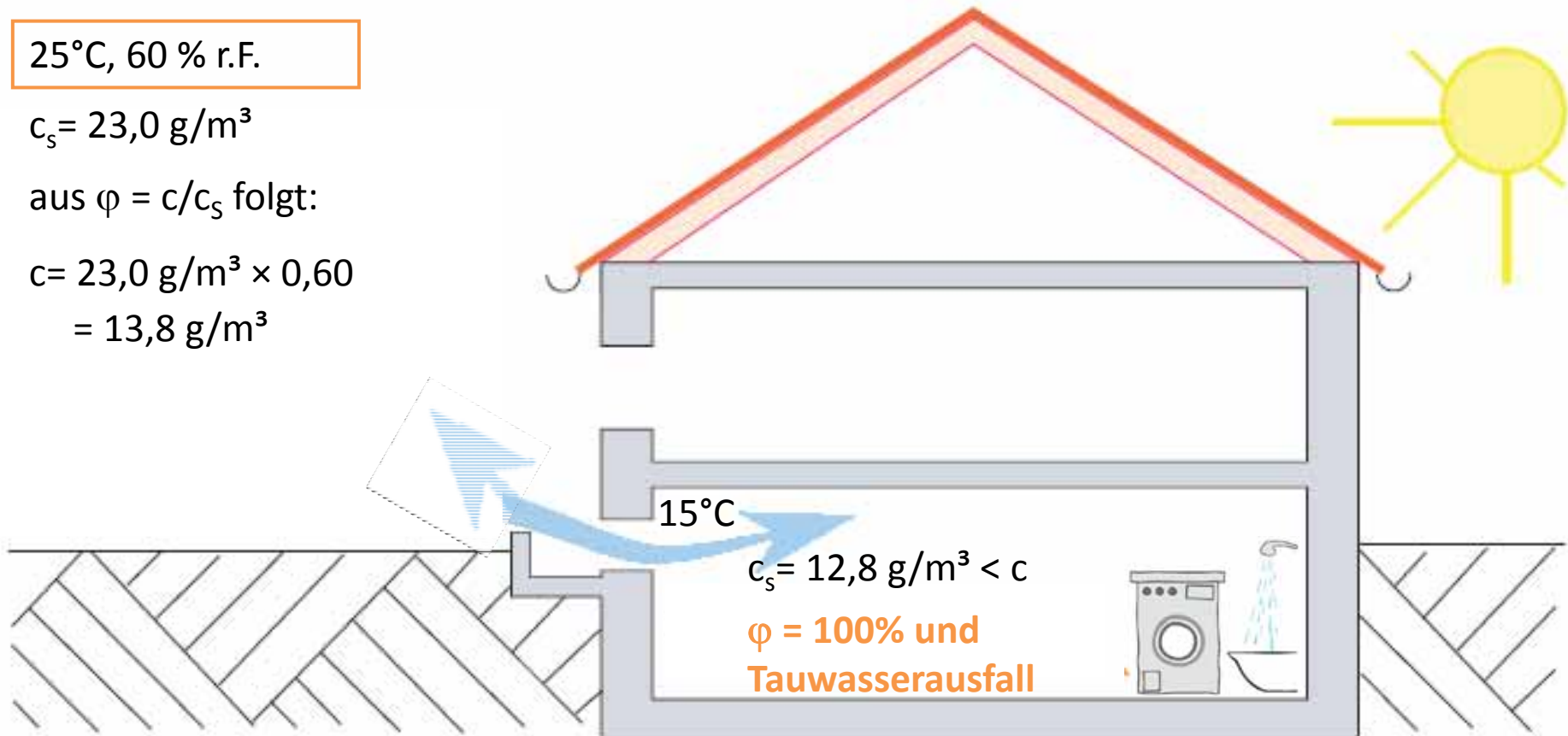
Beispiel Sommer

25°C, 60 % r.F.

$c_s = 23,0 \text{ g/m}^3$

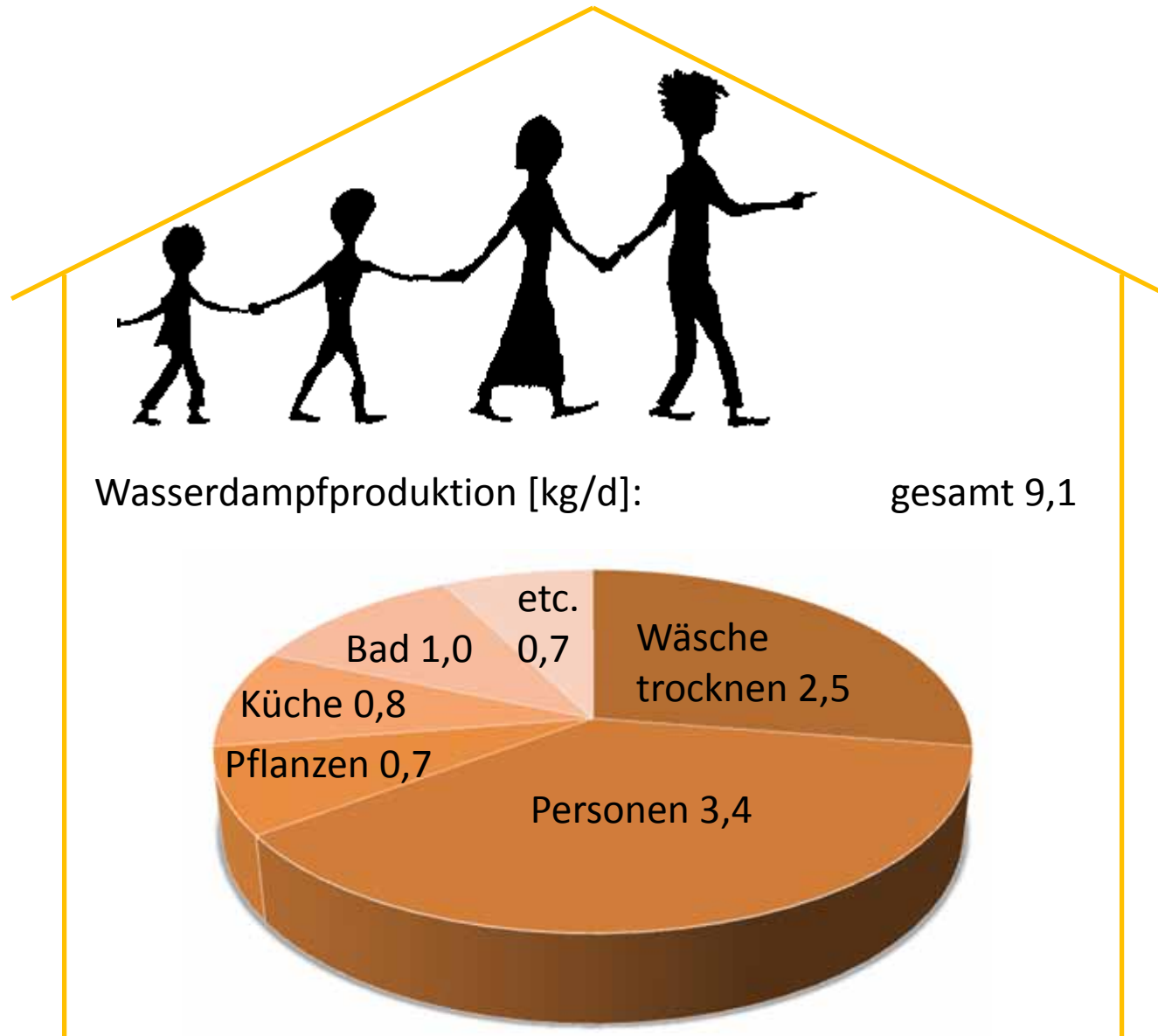
aus $\varphi = c/c_s$ folgt:

$c = 23,0 \text{ g/m}^3 \times 0,60$
 $= 13,8 \text{ g/m}^3$

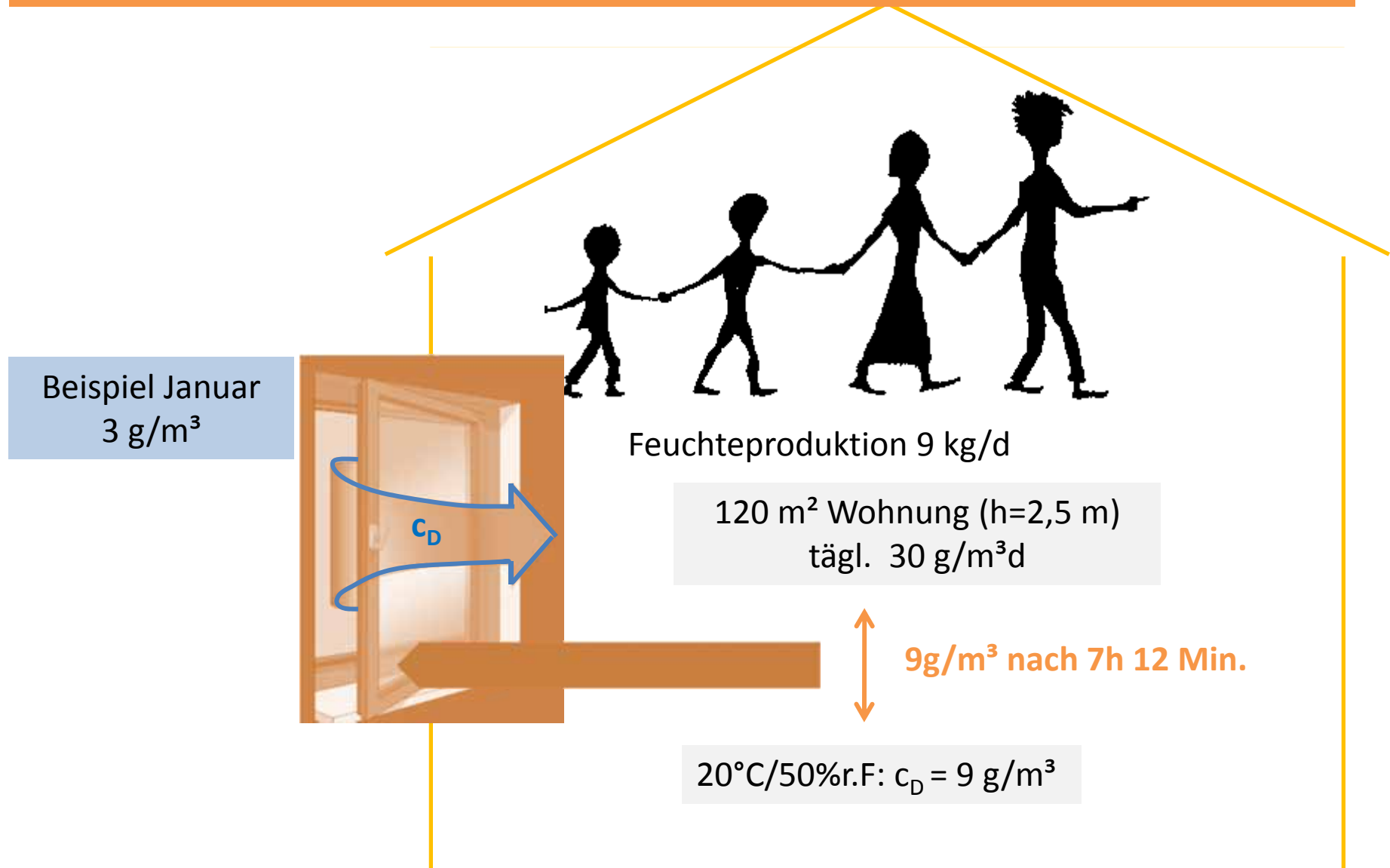


→ Im Sommer kann die Raumluftfeuchte nur mit vorgetrockneter Außenluft abgeführt werden.

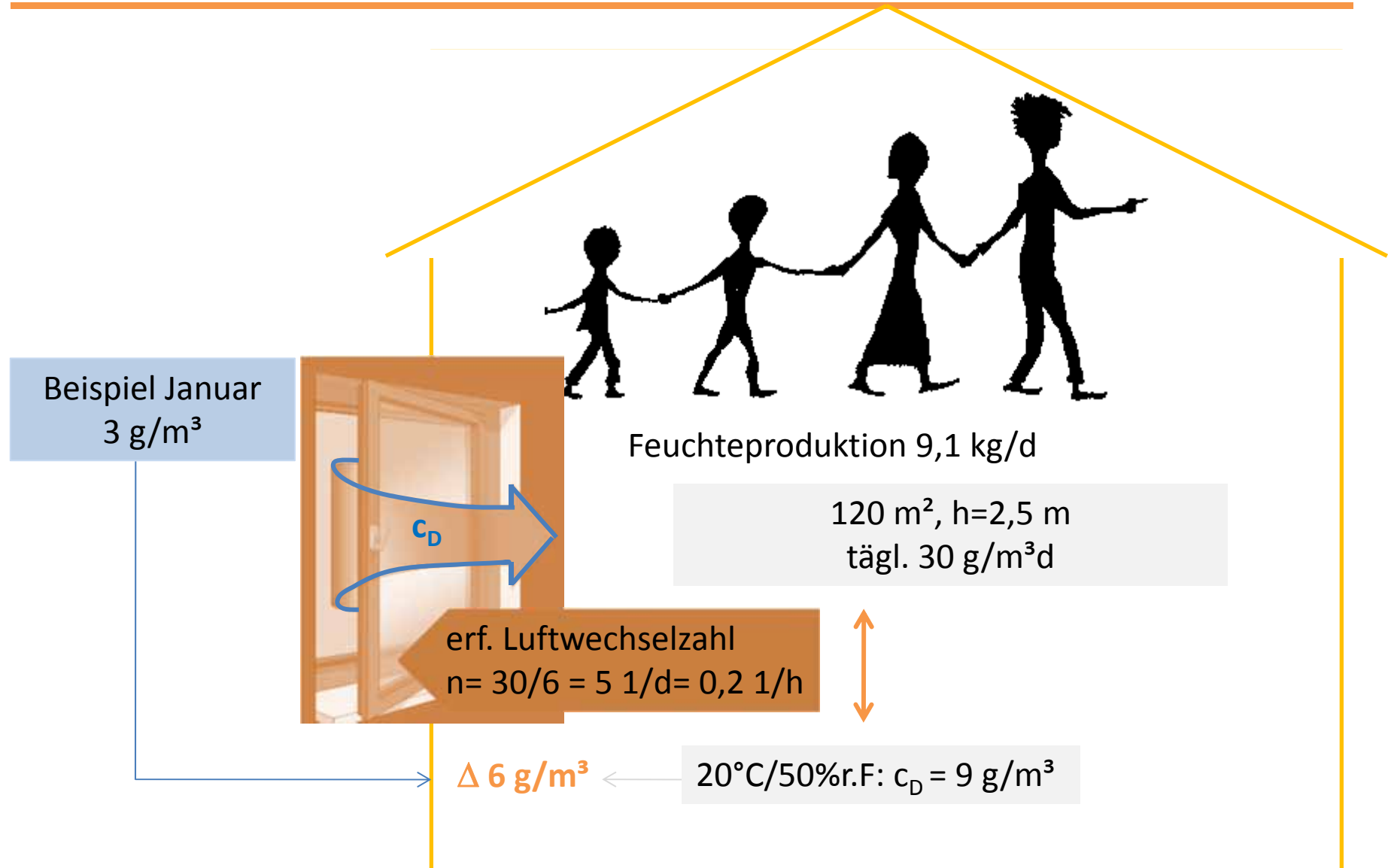
Feuchtequellen in Innenräumen



Feuchtequellen und Lüftung



Feuchtequellen und Lüftung



April ($c = 7 \text{ g/m}^3$) → $\Delta 2 \text{ g/m}^3$ → $n=0,6 \text{ 1/h}$

Juli ($c = 12 \text{ g/m}^3$) → $\Delta >0 \text{ g/m}^3$ → gezieltes Lüften erforderlich

Luftwechselzahlen n je nach Lüftungsart [1/h]

Fenster und Türen dicht	0,1 - 0,3
Fenster gekippt:	0,8 - 2,5
Fenster ganz offen:	9 – 15
Querlüftung	20 – 40



Wasserdampf 4-Personen-Haushalt (120 m²)
 $n = 0,2$ (=5 × Luftaustausch am Tag)

	Minuten (Ø)
Fenster gekippt ($n=0,8-2,5$)	248
Fenster offen ($n=9-15$)	27
„Durchzug“ (20-40)	11

Quellen

- Vorlesung FH Rosenheim Prof. Klaus Sedlbauer, Dr. Martin Krus, Fraunhofer-Institut für Bauphysik
- Vorlesung Prof. Schulz FH Frankfurt

An dieser Stelle **danke** ich **Dr. Andreas Holm, Dr. Martin Krus** und **Prof. Klaus Sedlbauer** vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik, dass sie so hilfsbereit waren, mir die Unterlagen der von ihnen entworfenen Vorlesung an der FH Rosenheim zu Lehrzwecken an der FH Frankfurt zur Verfügung zu stellen.

Genauso danke ich **Prof. Schulz**, dass er mich bei der Gestaltung der Vorlesung beraten und unterstützt hat und mir seine Unterlagen zur Verfügung gestellt hat.