

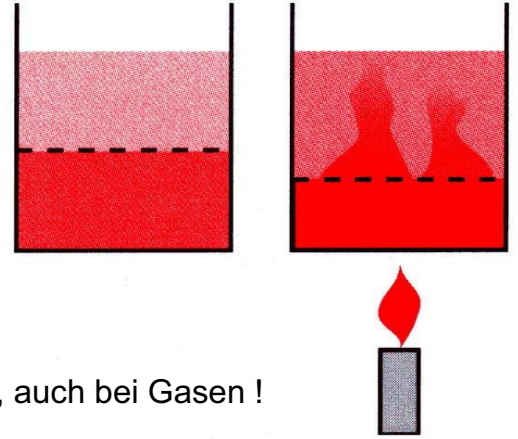
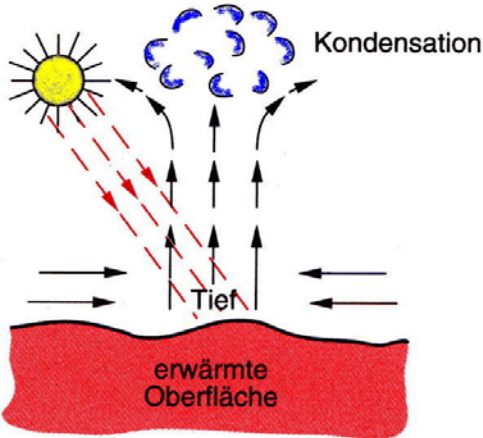
## Wärmetransport

Temperaturdifferenz →

Transport von "warm" nach "kalt"

Maximierung: Kühlung, Heizung

Minimierung: Isolierung



## Konvektion

Transport von Materie, auch bei Gasen !

Meeresströmungen

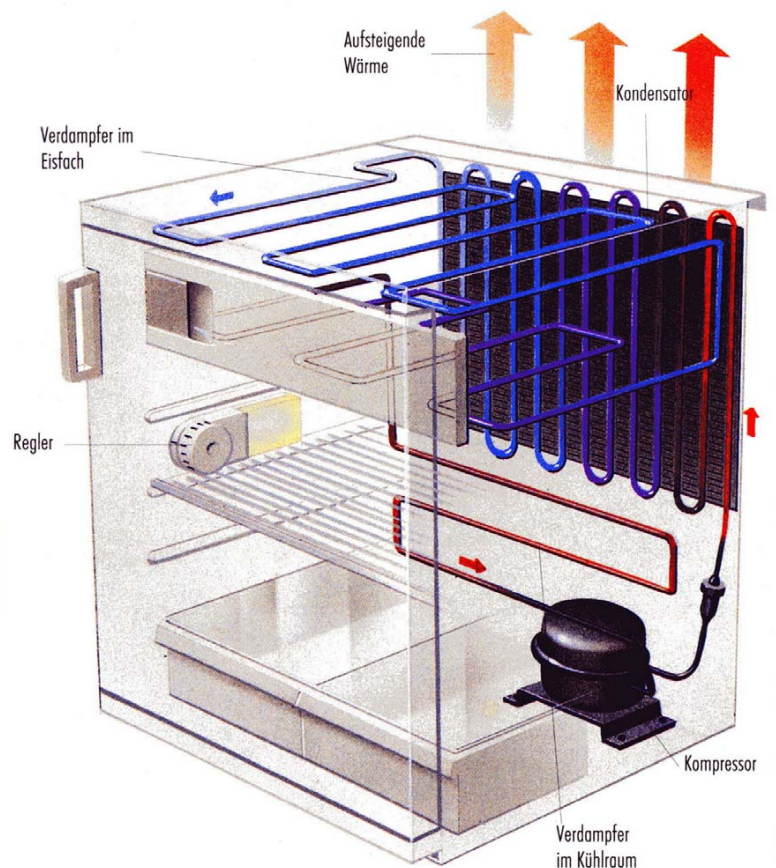
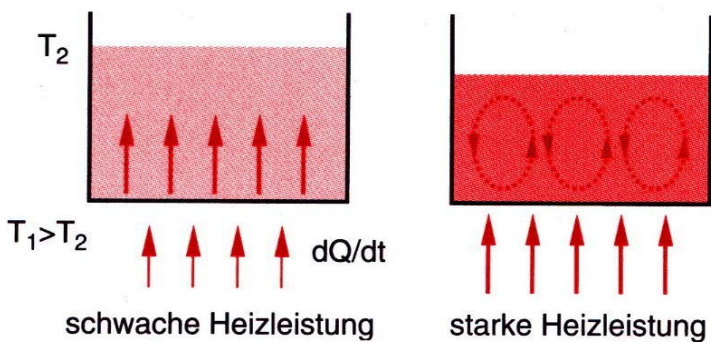
Hoch- / Tiefdruck-Gebiete, Wind etc. → Gewitter

E. Riedle

Physik <sup>LMU</sup>

## Optimale Kühlung im Kühlschrank

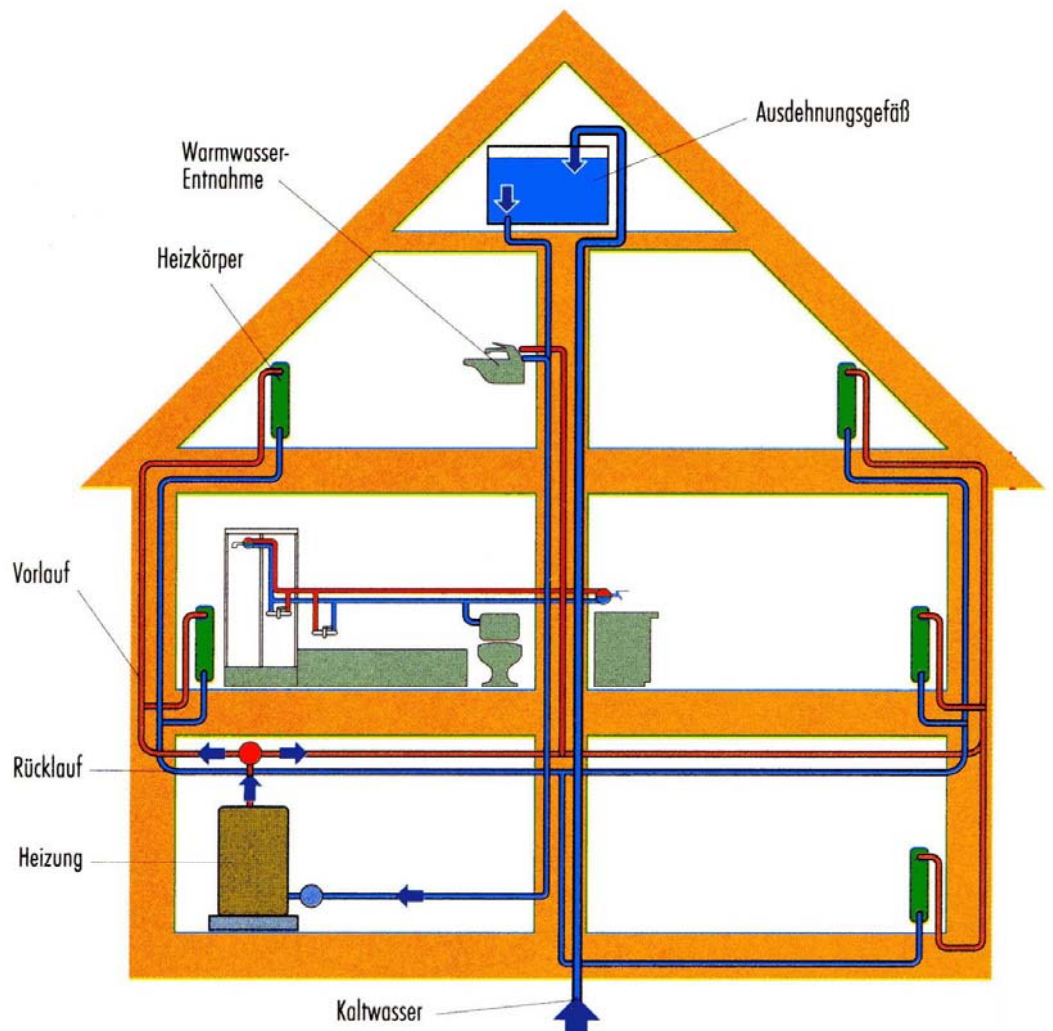
### Bénard-Instabilität



# Heizung im Haus

Wassertransport  
durch  
Konvektion

Luftaustausch  
durch  
Konvektion



(a)

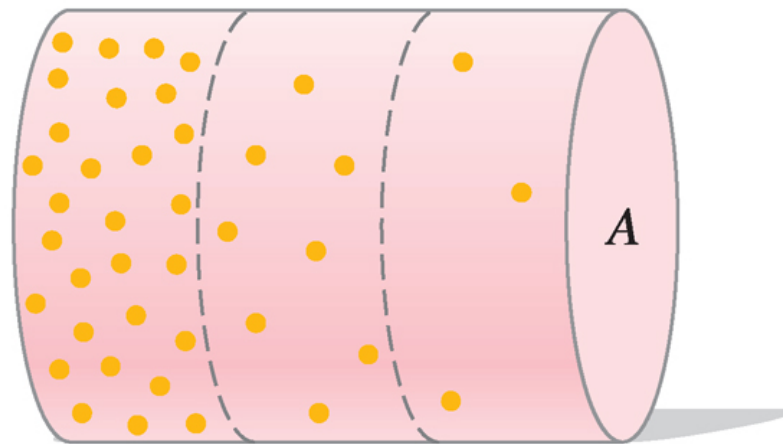


(b)



(c)

**Abbildung 18.14** Ein paar Tropfen eines Farbstoffs breiten sich langsam im Wasser aus, bis sie gleichmäßig verteilt sind.



Region 1; Konzentration =  $c_1$        $\leftarrow \Delta x \rightarrow$       Region 2; Konzentration =  $c_2$

Abbildung 18.15 Diffusion findet von der Region mit höherer Konzentration in die Region mit niedrigerer Konzentration statt (es ist nur eine Molekülsorte dargestellt).

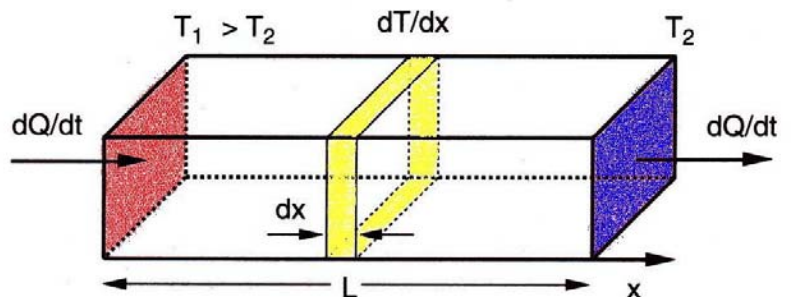
© 2006 Pearson Studium / Abbildung aus Giancoli: Physik, 3. Auflage / ISBN: 3-8273-7157-0

## Wärmeleitung

kein Transport von  
Materie / Festkörper

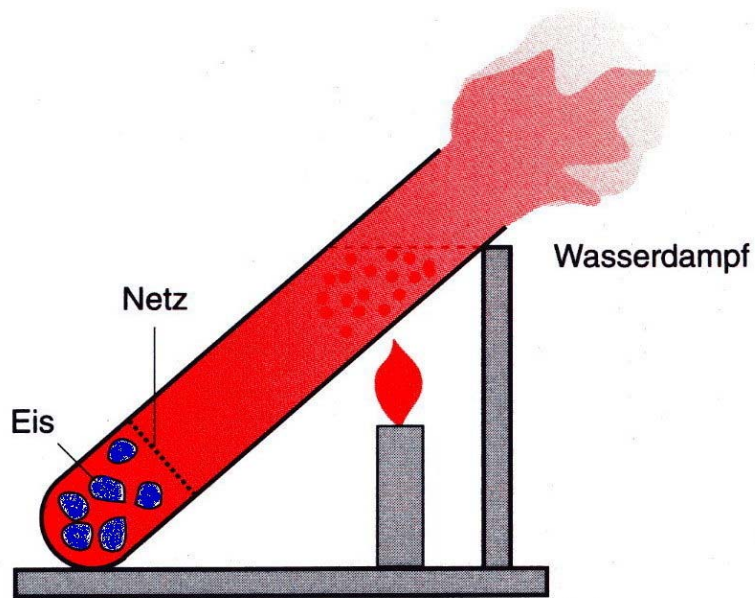
$T_1 > T_2$  Reservoirs

stationärer Fall (ohne Verlust auf  
Seiten):



$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot q \cdot \frac{dT}{dx} \quad \lambda \text{ Wärmeleitfähigkeit, } q \text{ Querschnitt}$$

Wärmeleitfähigkeit	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$		$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
Aluminium	221	Glas	0,8
Eisen	67	Holz	0,13
Gold	314	Eis	2,2
Kupfer	393	Wasser	0,6
Normalbeton	2,1	Luft	0,026
Gasbeton	0,22	CO <sub>2</sub>	0,015



E. Riedle

Physik <sup>LMU</sup>

für homogenen Stab:  $T(x) = -\frac{dQ/dt}{\lambda \cdot q} x + T_1$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{T_1 - T_2}{L} \lambda q$$

allgemein:  $T(x, t)$

$$\frac{dQ_1}{dt} = -\lambda \cdot q \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad | \quad x = x_1, q$$

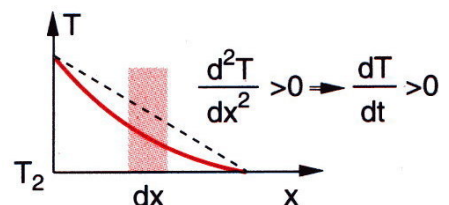
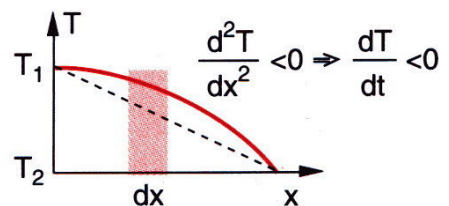
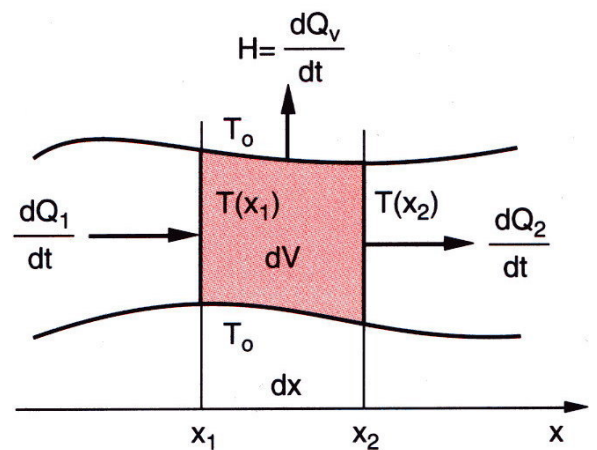
$$T(x_2) = T(x_1) + \frac{\partial T}{\partial x} dx$$

$$\frac{dQ_2}{dt} = -\lambda \cdot q \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left( T + \frac{\partial T}{\partial x} \cdot dx \right)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_1}{dt} - \frac{dQ_2}{dt} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \cdot q \cdot dx = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \cdot dV$$

$$dQ = c \cdot m \cdot dT \quad m = \rho \cdot dV$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$



E. Riedle

Physik <sup>LMU</sup>

Wärmeverlust  $H = dQ_V/dt$  ergibt

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - h \cdot (T - T_0)$$

3D:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \Delta T$$

$\Delta$  Laplace – Operator  $\lambda_T = \lambda/c\rho$  Temperatur – Leitzahl

Übertragung der Schwingungsenergie auf Nachbaratome !

In Metallen überwiegt Beitrag der frei beweglichen Elektronen !

$$\frac{\lambda}{\sigma} = a \cdot T = \frac{\pi^2 k^2}{3e^2} \cdot T$$

Wiedemann-Frantz-Gesetz  
 $\sigma$  elektrische Leitfähigkeit

Ähnliches Verhalten in Gasen !

Temperaturausgleich in Gasen ähnlich schnell wie in Festkörpern

**Flüssigkeiten:**

schwache Kopplung zu Nachbarmolekülen → Wärmeleitung klein

E. Riedle

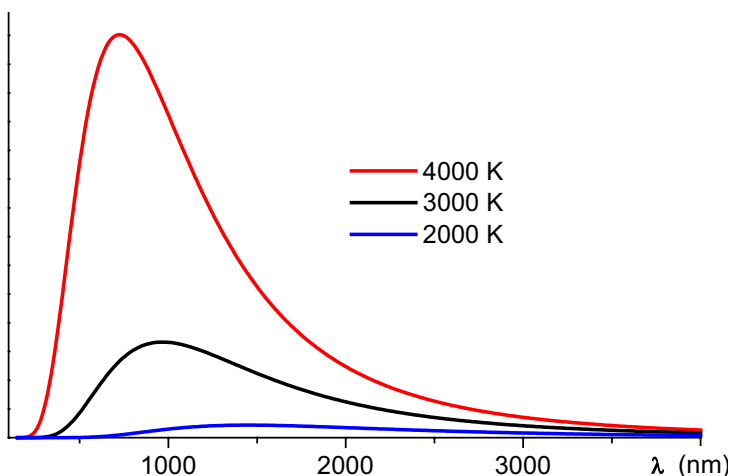
Physik <sup>LMU</sup>

**Gase:**

Wärmeleitung zwischen parallelen Wänden durch Stöße der Gasmoleküle  
 ( $\kappa$  Wärmeleitfähigkeit oder Wärmeübertragungszahl)

$$J_W = \kappa \cdot (T_1 - T_2) \quad \kappa \propto \frac{n \cdot C_V}{\sqrt{m}} \cdot \frac{\sqrt{T_1 \cdot T_2}}{\sqrt{T_1} + \sqrt{T_2}}$$

## Wärmestrahlung



Planck:

$$S_\lambda^* d\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{d\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Stefan-Boltzmann:

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad \sigma = 5,67051 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

Wiensches Verschiebungsgesetz:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} K \cdot m$$

E. Riedle

Physik <sup>LMU</sup>

## Wärmeisolierung

k-Wert beschreibt Wärmetransport pro Fläche

$$\frac{dQ}{dt} = F \cdot \frac{\lambda}{d} (T_{\text{innen}} - T_{\text{außen}}) = k \cdot F \cdot \Delta T$$

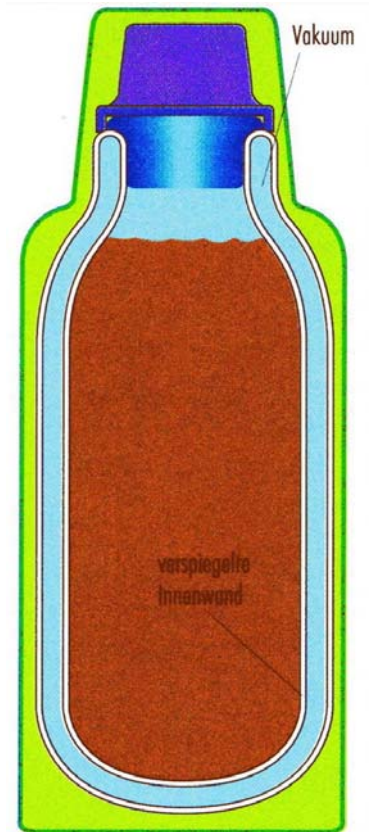
Hausbau: größte Verluste an den Fenstern  
Konvektion, Haftschrift; Infrarotstrahlung

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_i} + \frac{1}{k_g} + \frac{1}{k_a}$$

IR-Reflexionsschicht !

## Niedrigenergiehaus

k-Wert < 0,2 (gemittelt über ganzes Haus)



E. Riedle

Physik <sup>LMU</sup>

## Geschichte der Biergärten in Bayern

Zu verdanken haben wir die Biergärten der katholischen Kirche und zwei ihrer Heiligen. Denn die bayerische Brauordnung aus dem Jahre 1539 legt fest, daß nur zwischen dem Festtag des Heiligen Michael (29. September) und dem Ehrentag des Heiligen Georg (23. April) gebraut werden durfte. In den 6 Monaten dazwischen war es den Münchner Bierbrauern verboten, ihr gutes, süffiges Bier zu produzieren, weil in den Sommermonaten erhöhte Brandgefahr beim Biersieden bestand. Und so wurden in dieser Zeit die Sudpfannen versiegelt. Die Brauer mußten ihr Bier also auf Vorrat herstellen, daher auch das besonders starke, gehopfte und längerlebige "Märzenbier" im Monat März. Doch die Kardinalsfrage blieb: Wie brachte man in einer Zeit wo es noch keine Kühlschränke und kein Kunsteis gab, das Bier über den Sommer?

Die Lösung fanden die pfiffigen Brauer im Bauen von unterirdischen Bierkellern - daher auch heute noch gängige Namen wie Salvator Keller, Hofbräu Keller, Löwenbräu Keller. Ihr Problem allerdings war der relativ hohe Grundwasserspiegel. Das Graben nach Kühlräumen für Märzenbier hatte eine objektive geologische Beschränkung und daher kommen die Kastanien in München. Man sorgte für oberirdische Kühlung durch schattenspendende Gewächse, die über den Bierkellern gepflanzt wurden. Da die Roßkastanie der Baum mit den größten und schattigsten Blättern war, wurde sie zum traditionellen Bierbaum. So simpel ist das Verhältnis von Bier und Kastanie.



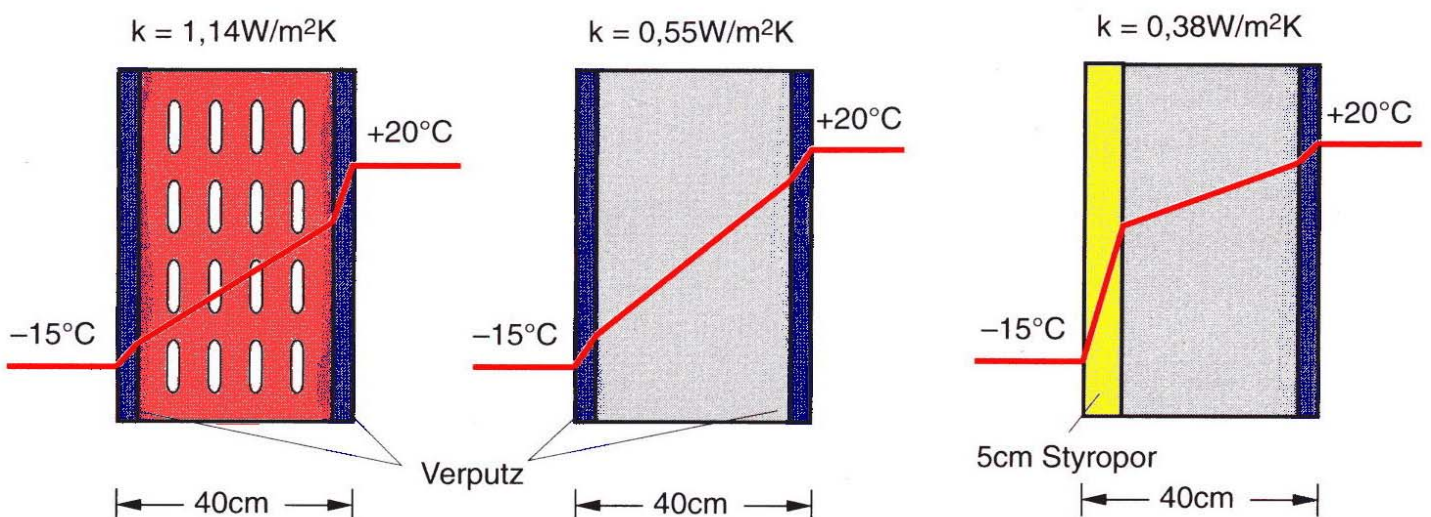


## Doch wie kam's zum Biergarten ?

Ganz ökonomisch halt, wie so oft in der Geschichte. Die Brauer wollten ihr Bier möglichst direkt an den Konsumenten verkaufen, stellten unter Kastanien Tische und Bänke auf und boten Bier frisch vom Faß an. Münchens Wirte, nicht identisch mit den Brauern, liefen dagegen Sturm. Die Brauer - so ihr Argument - wären zur Bierproduktion da, nicht zum Verkauf.

Um eine öffentliche Rebellion vorzugreifen sprach König Ludwig I. (1786-1868) ein Machtwort: Er genehmigte den Bierausschank auf den Kellern und unter den Kastanien, verfügte aber, daß die Brauer kein Essen verkaufen dürften. Wer "auf den Bierkeller" zu einer zünftigen Maß ging, durfte oder mußte seine Brotzeit selber mitbringen. Daher kommt der auch heute noch vielgepflegte Brauch, sich mit vollgepacktem Brotzeitkorb samt Tischtuch und Besteck zum Vespers niederzulassen und dem Wirt lediglich das Bier zu bezahlen. Doch die Zeiten ändern sich. In vielen Bier- oder besser Wirtsgärten wird der Selbstversorger heute ausgesperrt.

## Isolationsverhalten von Wänden



Wärmeisolierung.

- (a) Temperaturverlauf innerhalb der verputzten Ziegelhohlsteinwand eines Hauses
- (b) verputzte Wand mit Bimsbeton
- (c) Bimsbetonwand mit Wärmedämmung durch Styropor

# Isolationsverhalten von Fenstern

