

# Ressourcen schonen

## Minimallösungen für Temperieranlagen

Energetische Gebäudesanierung,  
Trockenlegung,  
Schimmelvermeidung,  
bezügliche Räume

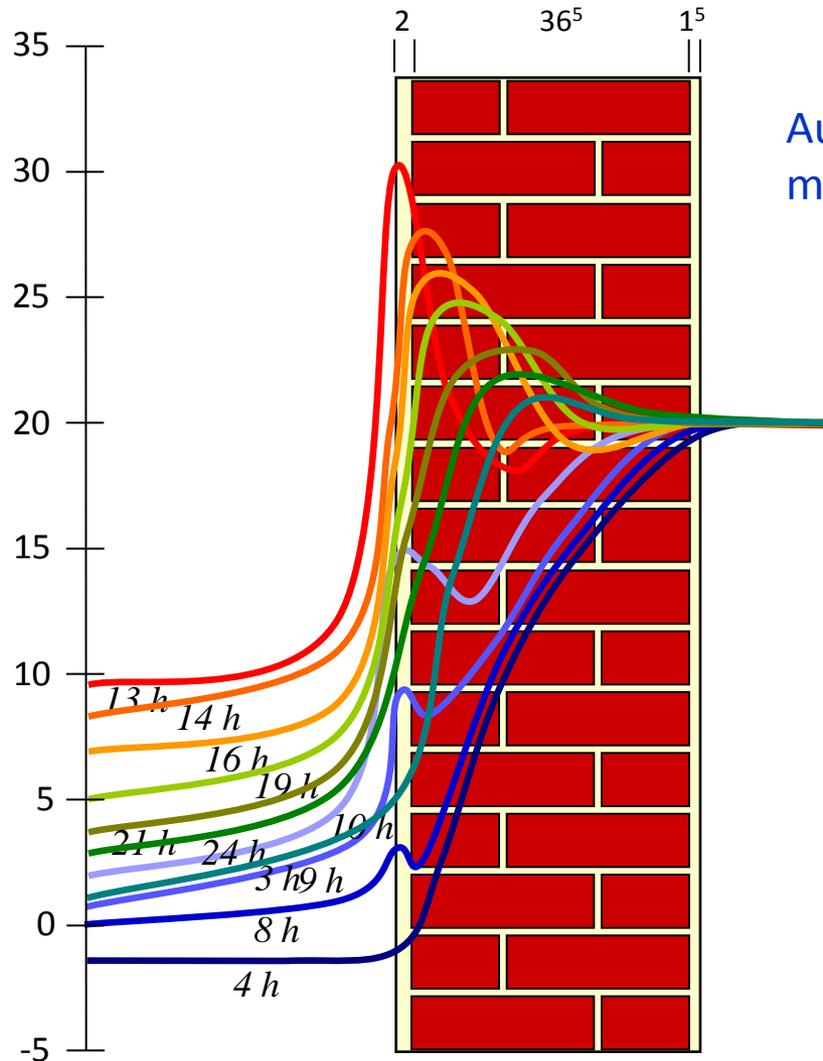
durch

## Temperierung der Gebäudehülle

# Justus Knecht Gymnasium, Bruchsal „Jugend forscht“, 8. Klasse (1982)

Süd-Südwest-Wand  
Temperaturvergleich  
Innen-außen 24 Std  
Februar, - 2... + 9 °C

Änderung der Temperatur  
der äußeren Oberfläche  
durch Wärmestau in  
ungedämmtem Massiv-  
Mauerwerk



Auf- und Entladevorgang einer  
massiven SSW-Wand

!!! Februar 1982 !!!

# Temperatur des klaren „Himmels“, der Stratosphäre

- 60 °C

tagaus , tagein, summers wie winters

- Die Gebäudehülle speichert Umwelt- und Heizwärme besser, wenn die nächtliche Abstrahlung durch unverminderten Heizbetrieb gepuffert wird
- Bereits diffuse Zustrahlung (am Tage) mindert den Wärmedurchgang
- „Tagabsenkung“ ist die Folge – ohne Regelung
- **Nachtsenkung** der Heizung negiert diese Tatsachen (und spart daher nix!)



# Energieeffizienz vor 2000 Jahren

(Römische Hypokausten-Wandheizung, 10 nach Chr.)

## Leistung:

bei einer Außentemperatur von  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Germanien etc., nicht Rom!)  
und ungedämmten Bruchsteinwänden (U-Wert ???)

- Wandoberflächentemperatur  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Badewassertemperatur  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$
- kein Kondensat am Fresko
- kein Zug am nassen, nackten Körper
- keine aufsteigende Bodenfeuchte

Alle Effekte ergeben sich als  
*Kollateral-Nutzen*  
der physikalisch optimalen „Heizung“:

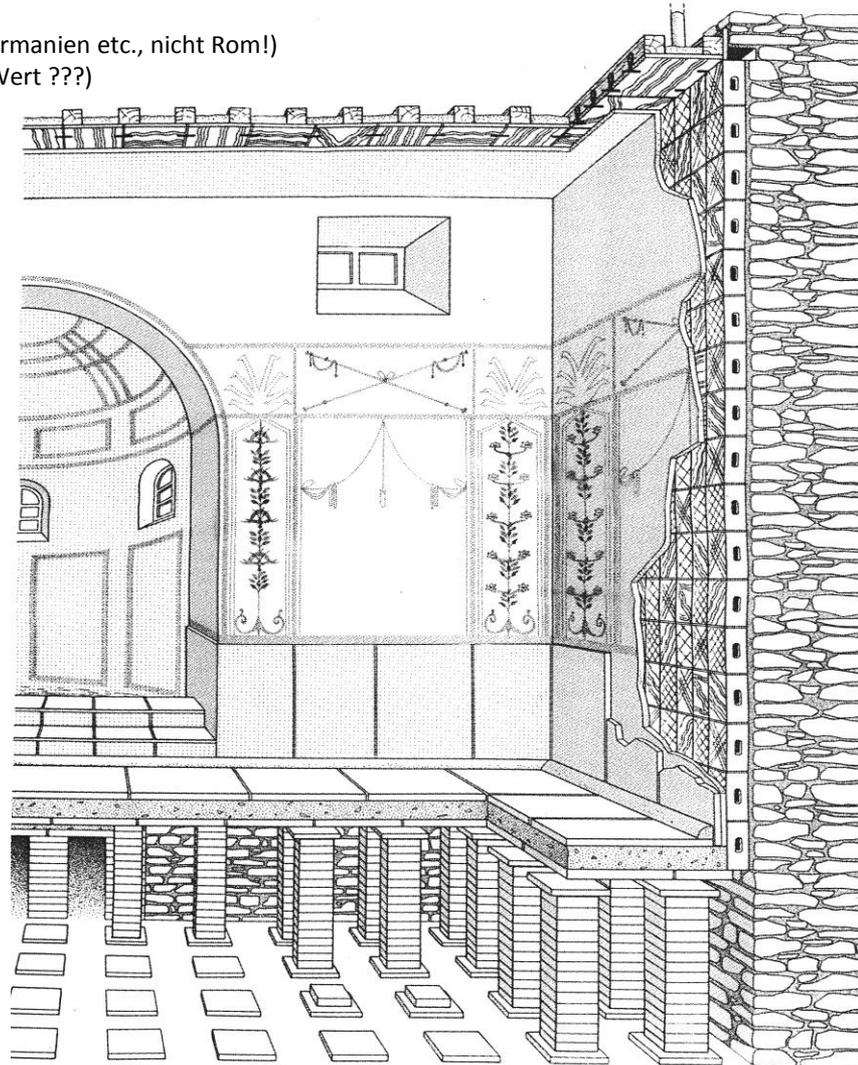
Deckung des Wärmebedarfs durch

- *umweglose,*
- *kontinuierliche*

Wärmeübertragung  
an die Gebäude*hülle*

Hypokaustum:

- Verteiler des Heizmediums  
dank des leichten Anstiegs des Bodens  
und des Unterdrucks in der Tubulatur  
fließen die Abgase aus dem „Fuchs“  
zu allen Außenwänden



Tonrohr (einer der „Schornsteine“)

Querkanal, erlaubt  
Strömung des Rauches  
zu den Schornsteinen

Tubuli (abgasführende Hohlziegelschicht)

**Präfurnium:  
Beheizung des Baderaums  
und des Badewassers:**

***Durchlauferhitzer***

- Wasserspiegel im Badebecken: Einlauf
- Bodenhöhe des Badebeckens: Rückfluss
- „Dämmung“ des Wasserspeichers durch Speichermasse: der Steinmantel vergrößert die Speicherkapazität



Heizungspuffer römisch: „Dämmung“ durch Speichermasse (Wandmasse der Raumecke, 2 neue Wände, Sand)



## Hot Spots (reine Wärmestrahler): schön und physiologisch richtig

- Als der Missbrauch des wichtigsten Lebensmittels, der Luft im Raum, durch Aufheizung zwecks Wärmeverteilung (Konvektion) noch nicht Heizroutine war



# Energieeinsparung durch „Sanierung“ einer Heizkörperheizung (1):

## Umlenkung des Heizluftkreislaufes in die Wandebene

Tischlerplatten in Kontakt mit den Heizkörperrippen

Wandverkleidung als Hängefläche



**Austritt der Heizluft**

aus der oberen Querfuge

**Nachströmung der Luft**

durch die Seitenfugen

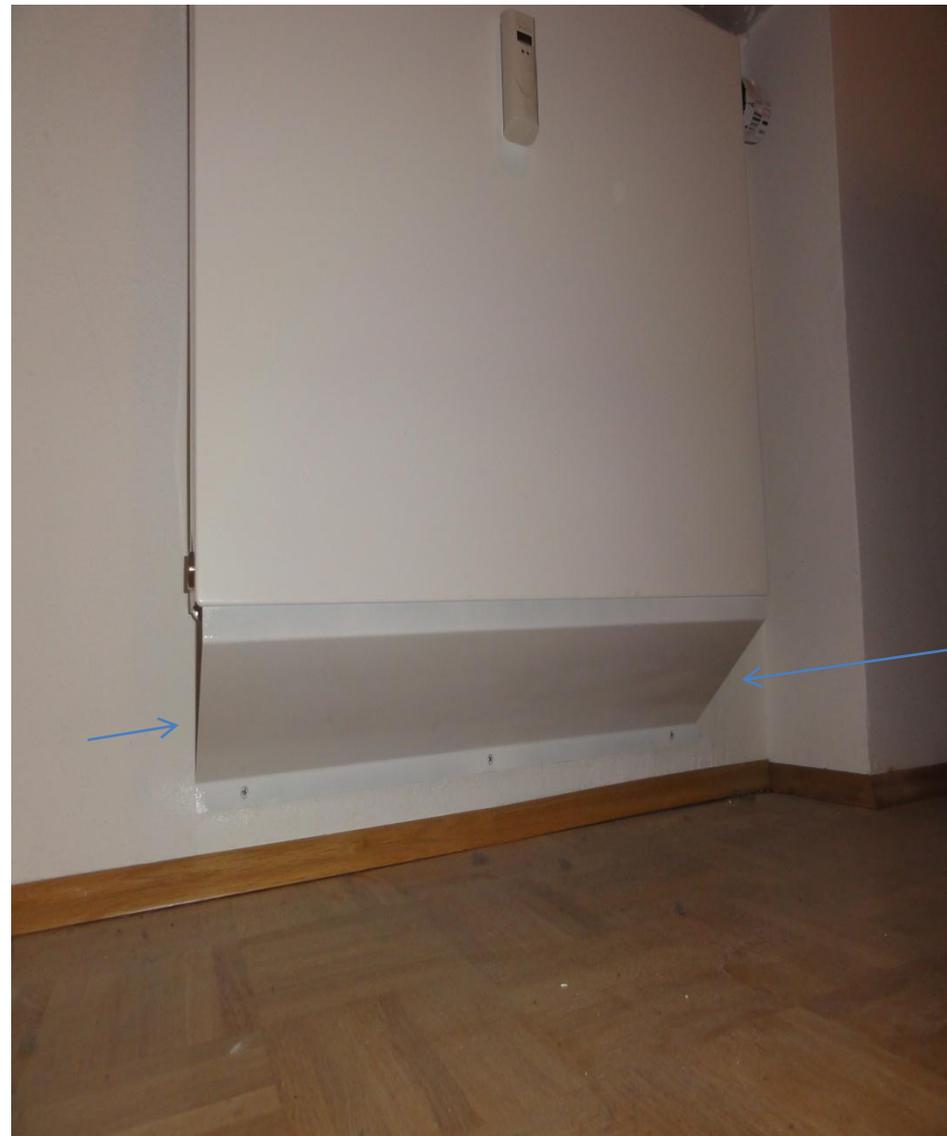
aus den Fensterbankschlitzen

über die Oberkante der Wandpaneele

**Raumluftwalze ausgeschaltet**

München, Alter Hof (Infostelle)

Bayreuth, Kunstmuseum



Kompaktheizkörper : Heizluft-Umlenkung durch Z-Profilblech (auch bei Nischenposition wirksam)  
- Wärmestrahlung ohne Zugerscheinungen

## Sanierung einer Heizkörperheizung (2):

Regel: Außenwand ohne Fenster = Außenwand ohne Heizelement  
Daher: Nachrüstung einer Rohrschleife ( $\varnothing$  15 mm!) erforderlich



**Raumluftwalze** - Ursache aller Nachteile der konventionellen Beheizung:

- Zug, ungleiche Wandtemperaturen,
- Kapillarkondensat in kälteren Wandbereichen mit der Folge der Schimmelbildung,
- höhere Verluste durch Wärmeleitung,
- höhere Verluste auf dem Luftweg, Staubverteilung

**Zur Vermeidung der Raumluftwalze** müssen **alle Außenwände direkt und ohne Umweg beheizt** werden. Bei fensterlosen Wänden genügt die Ergänzung einer Sockelschleife (auf Putz in Anstrich, unter Putz).

# Kellersanierung und Beheizung (Veranstaltung)



Gelände-Oberkante

Unterteil des Heizkörperthermostats  
- zum Einputzen mit Schlauch  
geschützt

Je 1 Heizrohrschleife entlang  
jeder Hälfte der Außenwandsockel,  
Regelung am Ende durch Rücklauf-  
temperaturbegrenzer

Lange Wand:

Putzschiene, gegen Steine gelehnt

Außenwand im *Veranstaltungsraum*: **Sockelschleife + 3. Rohr**

Heizrohre geschlitzt, da Putz bis Brüstung verloren war

# Veranstaltungsraum im KG, Endzustand

(Alpinmuseum München)

Gelände-Oberkante

Thermostat des  
3. Heizrohrs

Boden nicht  
gedämmt  
(Parkett auf Beton)



# Keller: Trockenlegung und Raumbeheizung durch Sockelheizrohre auf Putz, angemörtelt (Alpinmuseum München)

**Außenwände:** 2 Heizrohre

**Trennwände:** Einrohr-Ringleitung



**Außenwand, kurze Wandabschnitte:**

**Schablone:** Brett (Höhe 8 – 10 cm) an Kantholz



**Trennwand, kurze Wandabschnitte:**

**Schablone:** Leiste (Höhe 5 cm) an flach liegender Leiste



Fertiges Sockelprofil vor Anstrich



unten: Sockelschleife um die rechte Hälfte eines nichtunterkellerten Erdgeschosses (vom Heizraum aus)

Heizraum

oben: die Ende der 1. davon gespeisten Brüstungsschleifen



oben: noch 1. Brüstungsschleife



Links: Abzweigung der 1. Brüstungsschleife



Ende der 2. Brüstungsschleife

Ende der 1. Brüstungsschleife

Ende der 2. Brüstungsschleife

Heizkörper-Thermostat (Unterteil)

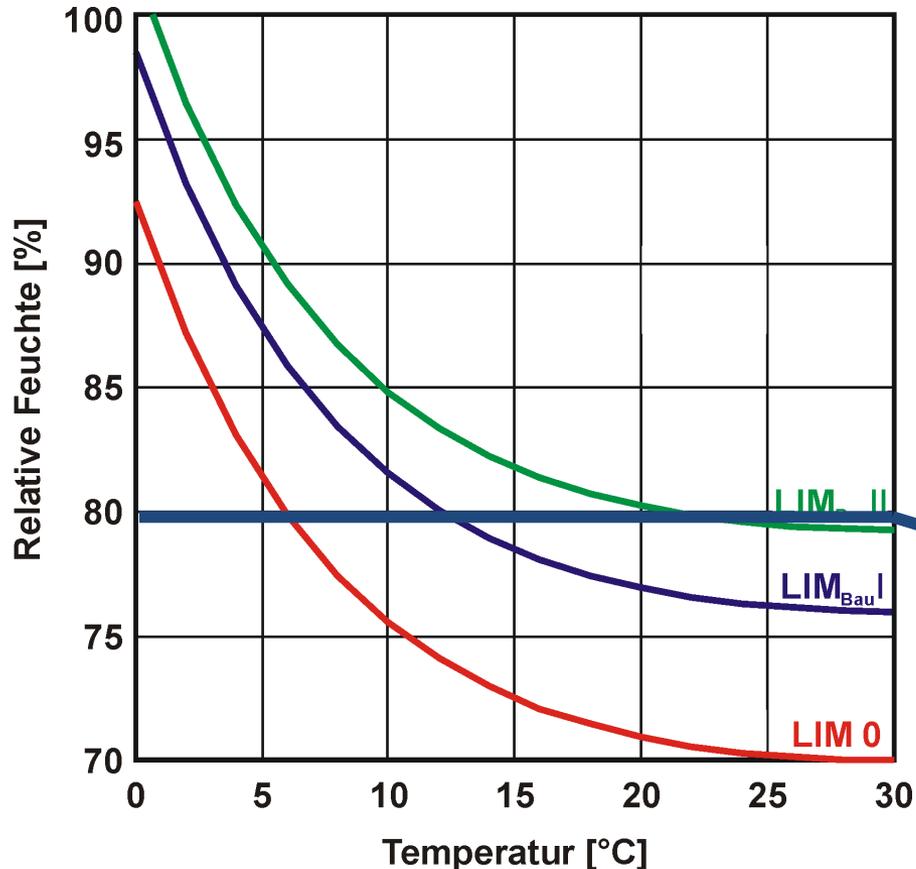
Heizkörperverschraubung  
(hinter der letzten Abzweigung)



Ende der linken Sockelschleife    Ende der rechten Sockelschleife

„Wissenschaftliche“ Betrachtung eines Alltagsproblems durch die Fraunhofergesellschaft:  
Man beachte die Untergrenze für das Schimmelpilzwachstum: 70 % rel. Luftfeuchte an der Materialoberfläche,  
Fälle II und I sind unmöglich bei „römischer“ Heizung

## Beurteilung von Schimmelpilzwachstum



### Substratgruppen

- II biologisch kaum verwertbar (z.B. mineralische Baustoffe)**
- I biologisch gut verwertbar (z.B. Tapeten, Verschmutzung)**
- 0 optimales Substrat (biologische Vollmedien)**

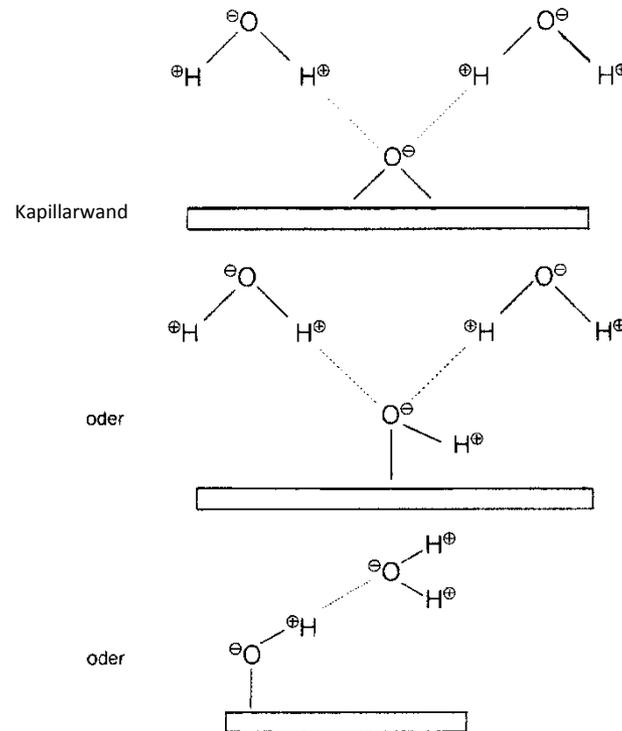
Grenzwert der DIN 4108-3

## Wasserstoffbrücke

Bauteiloberflächen, die kälter als die Raumluft sind, nehmen Feuchte aus der Raumluft auf („Kondensation“).

Wegen der Anziehungsfähigkeit des *dipolförmigen Wassermoleküls* findet die Feuchteaufnahme jedoch schon bei geringem Temperaturunterschied durch unsichtbares Kapillarkondensat statt, d.h. durch Bildung von Wasserstoffbrücken an Sauerstoffatomen oder OH-Gruppen an der inneren Oberfläche von Kapillaren, da die Wärmeschwingung dieser Bindungspartner der Wasserstoff-Brücke nicht mehr ausreicht, die Adhäsion des Wassermoleküls abzuwehren.

Die Raumbeheizung über Wandtemperierung vermeidet dies, da die Wandoberfläche grundsätzlich nicht kälter als die Raumluft bzw. der darin enthaltene Wasserdampf ist.

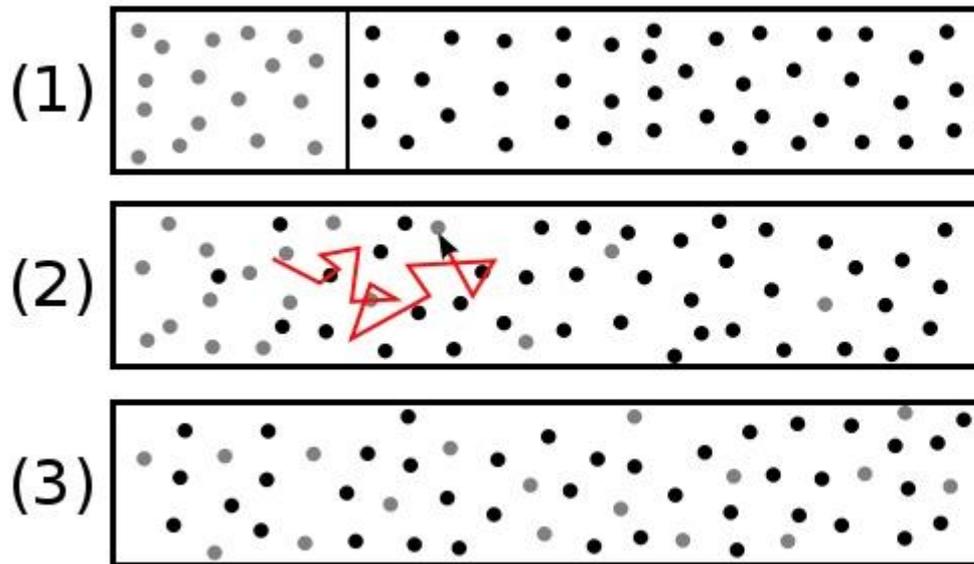


## Diffusion:

- Die Bewegung von beweglichen Molekülen in Stoffen mit beweglichen (nicht im Wege stehenden) Molekülen (unpolare Gase oder Flüssigkeiten können in Gasen oder Flüssigkeiten im Konzentrationsgefälle „diffundieren“ (1 – 3 = 3 Stadien des Konzentrationsausgleichs)

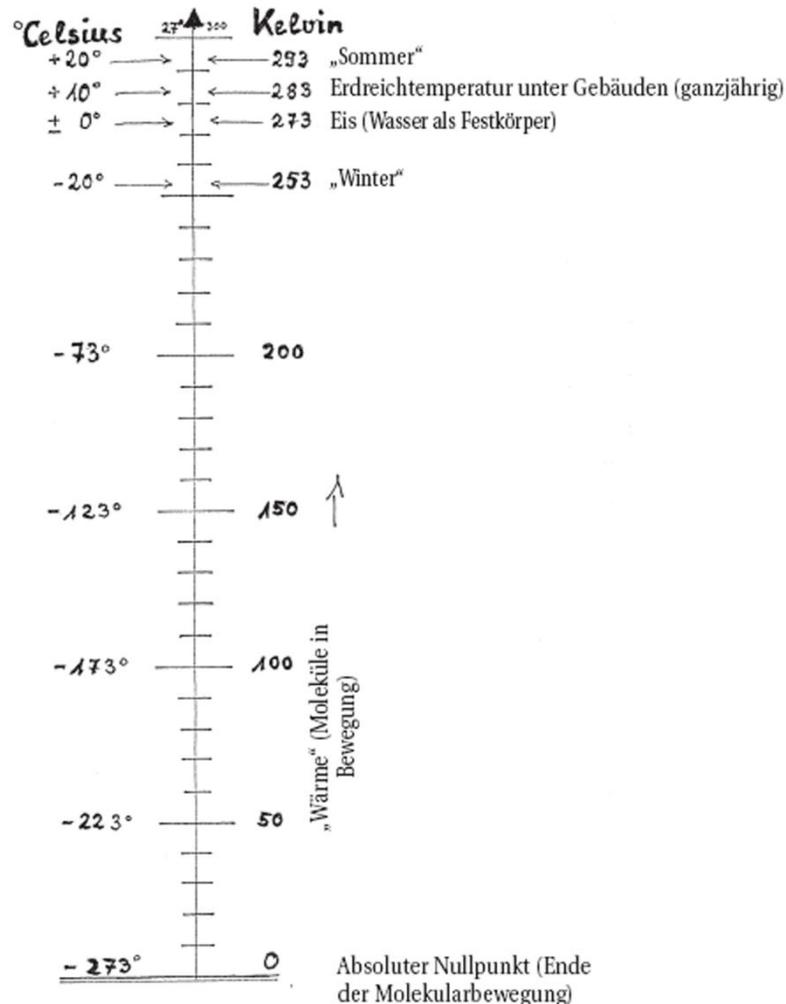
„Diffusion“ von Wassermolekülen im Kapillarsystem von Mauerwerk ist wegen der polaren Bauweise nicht möglich:

„Wasserdampf“ (Wasser gasförmig) reichert sich durch Wasserstoffbrücken im Bauteilquerschnitt an, wenn das Bauteil kälter als die Wassermoleküle ist (hygroskopische oder praktische Bauteilfeuchte als Basis des U-Werts). „Wandheizung“ (Temperierung, Sockelleistenheizung) verdrängt Altfeuchte nach außen und schützt das Kapillarsystem vor Neuaufnahme von Dampf aus der Wohnnutzung)



# Vergleich der **Temperaturskalen** von Celsius und Kelvin

Die **Celsius**-Skala bezieht sich auf die Zustandsänderung von Wasser.



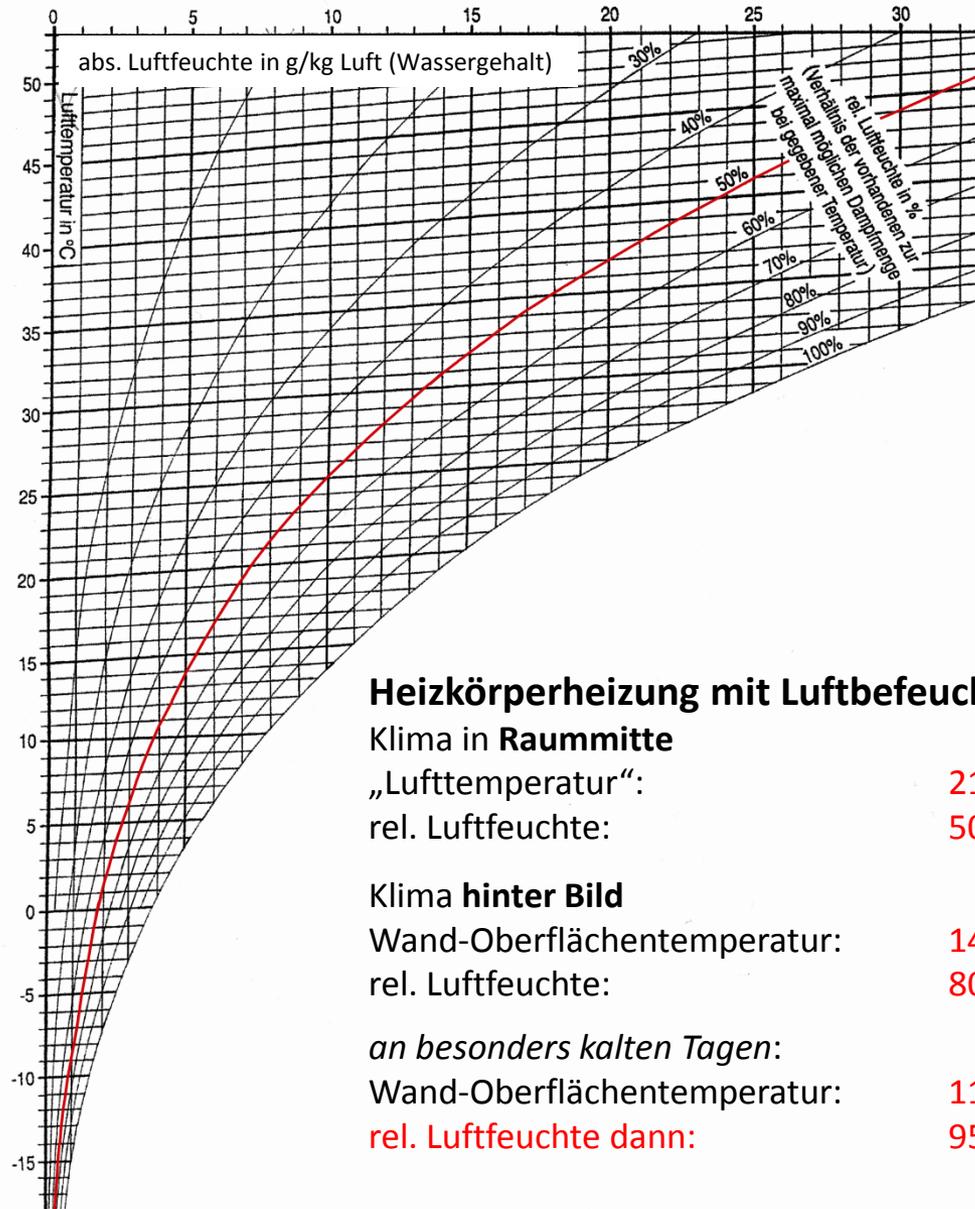
Die Absolute Temperatur in **Kelvin** (K) ist ein Maß für die Wärmeschwingung der Moleküle eines Stoffes.

# Mollier-h-x-Diagramm

Begriff  
„Relative Luftfeuchte“:

Der örtliche Wert der r. LF. ist abhängig vom Wassergehalt der Luft und von der Oberflächen-Temperatur der jeweiligen Stelle

Beispiel: Tizians „Nympe und Schäfer“  
Kunsthistorisches Museum Wien  
(Messungen: Maria Ranacher)



## Heizkörperheizung mit Luftbefeuchtung

Klima in **Raummitte**

„Lufttemperatur“: 21,5 °C  
rel. Luftfeuchte: 50,0 % = 8 g/kg

Klima **hinter Bild**

Wand-Oberflächentemperatur: 14,1 °C  
rel. Luftfeuchte: 80 % = 8 g/kg

*an besonders kalten Tagen:*

Wand-Oberflächentemperatur: 11,0 °C  
rel. Luftfeuchte dann: 95,0 % = 8 g/kg

**Bei Wandtemperierung dagegen homogene Luftfeuchte**

h = Enthalpie (kJ/kg)  
x = Absolutfeuchte (g/kg)

## Thema „Innendämmung“ die „Rettung“ für Baudenkmäler?

- nach der 1. Messperiode der FHG (1983)  
wegen *Feuchteproblemen* in der – dank der  
Dämmung - nicht mehr beheizten Wand  
*aus dem Messprogramm genommen*

### Haupt-Qualitäten **kontraproduktiv:**

**hydrophil:** wasseraufnahmefähig  
- Erhöhung der Leitfähigkeit

**kapillaraktiv:** Wohnfeuchte wird an die  
Wand weitergegeben

**diffusionsoffen:** gute Bewegung der Feuchte  
im Querschnitt

**nicht brennbar:** wie Mauerwerk ohne Dämmung,  
nur teurer

### Bei **Wandtemperierung**

durch Heizrohre (Temperieranlage)  
oder  
durch Heizluftumlenkung (Heizkörper, s. nächste Folien)

sind diese „Qualitäten“ sinnlos



**Innendämmung**

# Die Temperierung

## Wirkungsmechanismus

in „historischer“ Situation: Bauteile ohne Wärmedämmung und Feuchtesperre,  
durch **kontinuierliches Wärmeangebot** trocken gehalten

Lange Pfeile: radiale Wärmeverteilung durch Wärmeleitung im Material der Wandbodenecke

Rote Kreise: Wärmestau mit zylindrischen Isothermen.

Doppelpfeil: Strahlungsaustausch mit den Festkörpern (Innenwänden und Mobiliar)

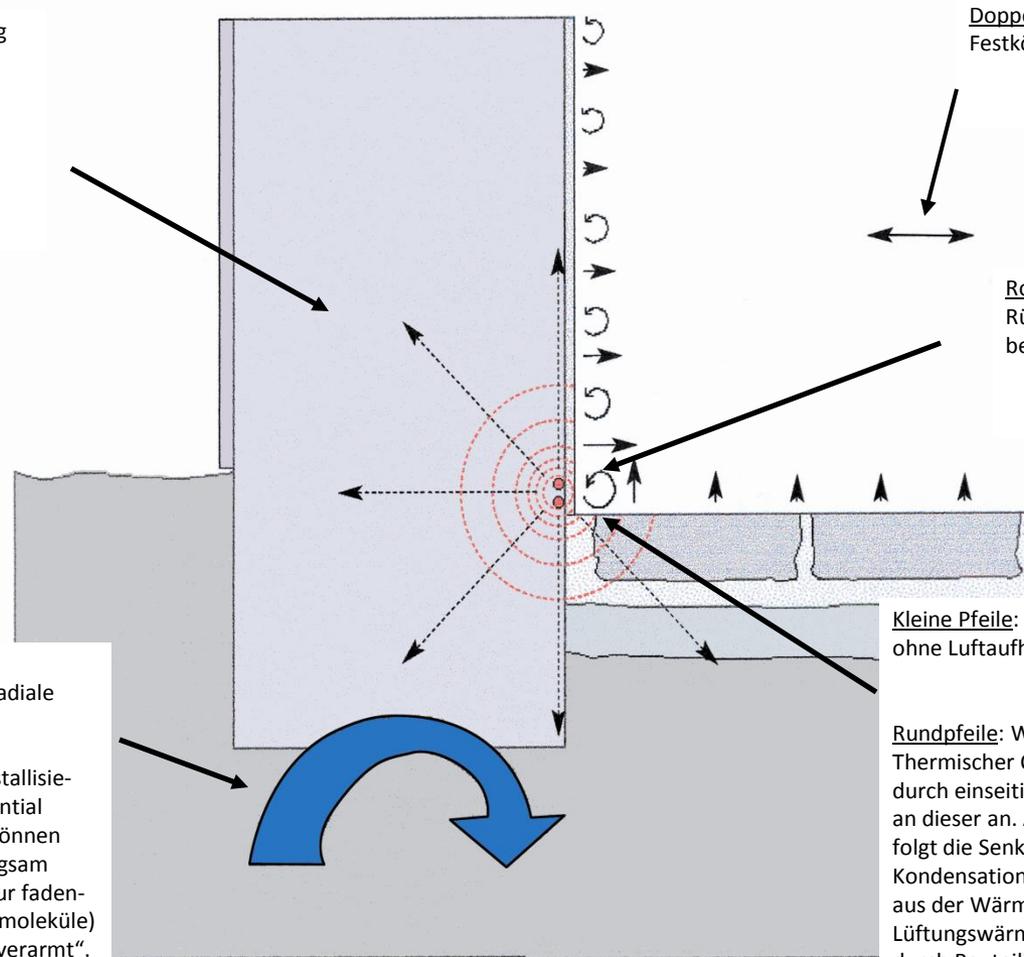
Rote Punkte: Heizrohrschleife (Vor- und Rücklauf, CU blank,  $\varnothing$  15 mm) im Innenputz bei 10 + 5 mm Überdeckung

Kleine Pfeile: Wärmeabstrahlung der Bauteiloberfläche ohne Luftaufheizung

Rundpfeile: Wärmeverteilung durch Konvektion. Thermischer Coanda-Effekt: Der Warmluft-Auftrieb liegt durch einseitige Entwärmung durch die Wandoberfläche an dieser an. Aus der Temperierung der Wandoberfläche folgt die Senkung der Wärmeleitfähigkeit (Schutz vor Kondensation und Feuchteverdrängung im Wärmegefälle), aus der Wärmeabstrahlung folgt die Senkung der Lüftungswärmeverluste (Dämmen), durch Bauteilbeheizung)

Blauer Pfeil: Bodenfeuchte.

- *Thermische Horizontalsperre* durch die radiale Wärmeausbreitung mit der Folge von zylindrischen Isothermen
- die Bodensalze im Sockelquerschnitt kristallisieren im Kapillarraum ohne Schadenspotential durch „*Verarmungskristallisation*“: Sie können sich hinter der sich in den Kapillaren langsam nach außen zurückziehenden Feuchte nur fadenförmig bilden, da der Elektrolyt (Wassermoleküle) im radialen Wärmegefälle nach außen „verarmt“.



# Bergstollen

(Obersalzberg, Bunkeranlagen)

## Aufenthaltsräume

Filmraum



Rohre zur Verstärkung der Abstrahlung *gestrichen*

Hörraum



## Primärdokumentbereich



Rohre *ungestrichen*: Räume kühl, keine Kondensation mehr

# Kirchentemperierung (Trockenlegung, Kondensatschutz und Raumtemperierung)



Sockelfliesen entfernt



Heizschleife verlegt (Cu halbhart)

## Kirchenheizung konventionell (Bankheizung)

- Verstaubung der Raumschale, Zugscheinung, keine Feuchtesanierung



Raumschale: Vorzustand (nach Einbau der Temperierung)

Rechts: entstaubte Sockelzone

Sockelheizrohre verlegt und eingeputzt

- Mindest-Raumtemperatur im Winter: 15 °C

**Kirchentemperierung mit Sockel-  
und „Konzertschleife“:**  
ohne konservatorische Mängel  
18 °C möglich

Obergrenze der Altschäden durch  
aufsteigende Feuchte →

Wegen der ständig neu auftretenden  
Sockelschäden und der Wandkälte wurde  
in den 1930er Jahren eine Holzvertäfelung  
montiert. Dazu wurden die Pfeilerprofile  
z. T. abgeschlagen.

Bei der Sanierung wurde die Vertäfelung  
entfernt und die Profile rekonstruiert.





## Türkreuzung mit 3 Rohren (Sockelschleife + 3. Rohr = Brüstungsrohr)



### Rohrabdeckung mineralisch

Oberkante der Abdeckung bündig mit Bodenbelag

Auffüllung mit rohrscheitelbündigem Mörtelbett  
(vor Abdeckung mit Solnhofer)

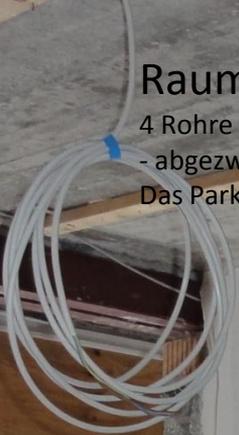
Abdeckung mit 20 mm Schiefer

# Raumerweiterung (Bestand Baujahr 1967)

4 Rohre entlang der Glaswand vor Abdeckung mit 20 mm Solnhofer

- abgezeigt vom alten Verteilnetz

Das Parkett wurde bis zum Natursteinfries ergänzt



Brüstungsschleife

Sockelschleife



**Zweck des Heizens:** **Auskühlung des Raumes verhindern!**

**Heizbedarf wann?** - in der Jahreszeit, in der die Speichergewinne der Gebäudehülle zu gering sind (Abstrahlphase (Nacht) länger als Zustrahlphase (Tag), Einstrahlwinkel der Sonne flach)

**Es genügt also** - **die Abkühlung der Außenwand, der Verlustfläche zu verhindern**  
- **statt „den Raum“ zu beheizen**

**unsinnige Lösung:**

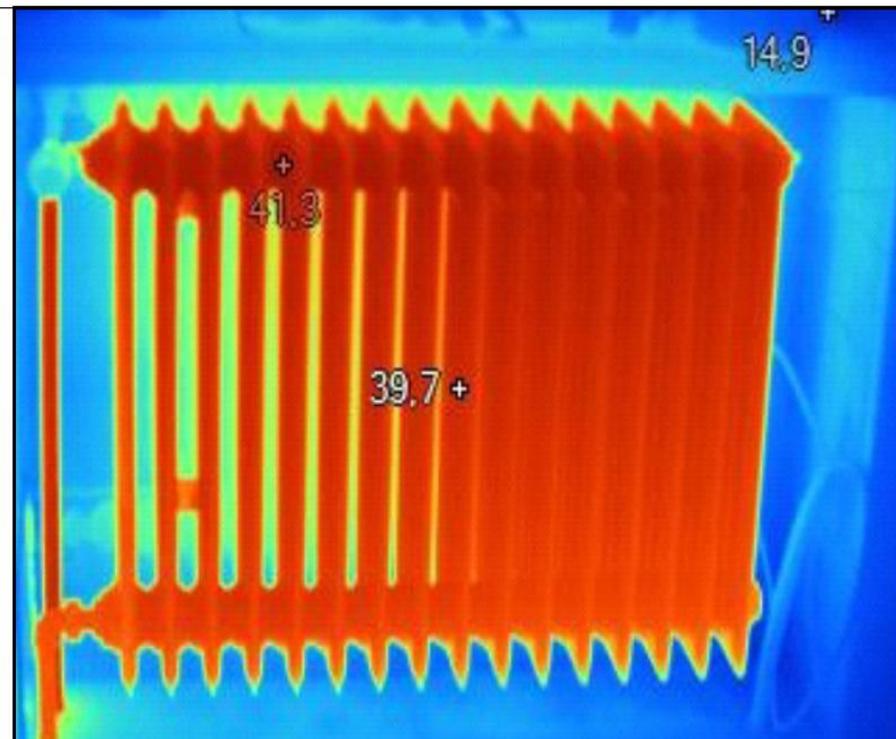
### Heizkörper

Bereitstellung der für den Raum „berechneten“ Wärmemenge

- auf einer kleinen Teilfläche
- in Rippen, um die Wärme durch Luftaufheizung zu verteilen.

### Folgen:

- Heißluftatmung, Störung der Wärmeregulation des Körpers
- Verstaubung, Raumluftwalze, Zug (höherer Wärmebedarf)
- großer Umweg des Heizmediums Luft,
- hohe Verluste auf dem Luftweg



**angemessene Lösung:**

### 1-2 heiße Putzstreifen

Wärmebereitstellung durch 2-4 Heizrohre

Wärmeangebot

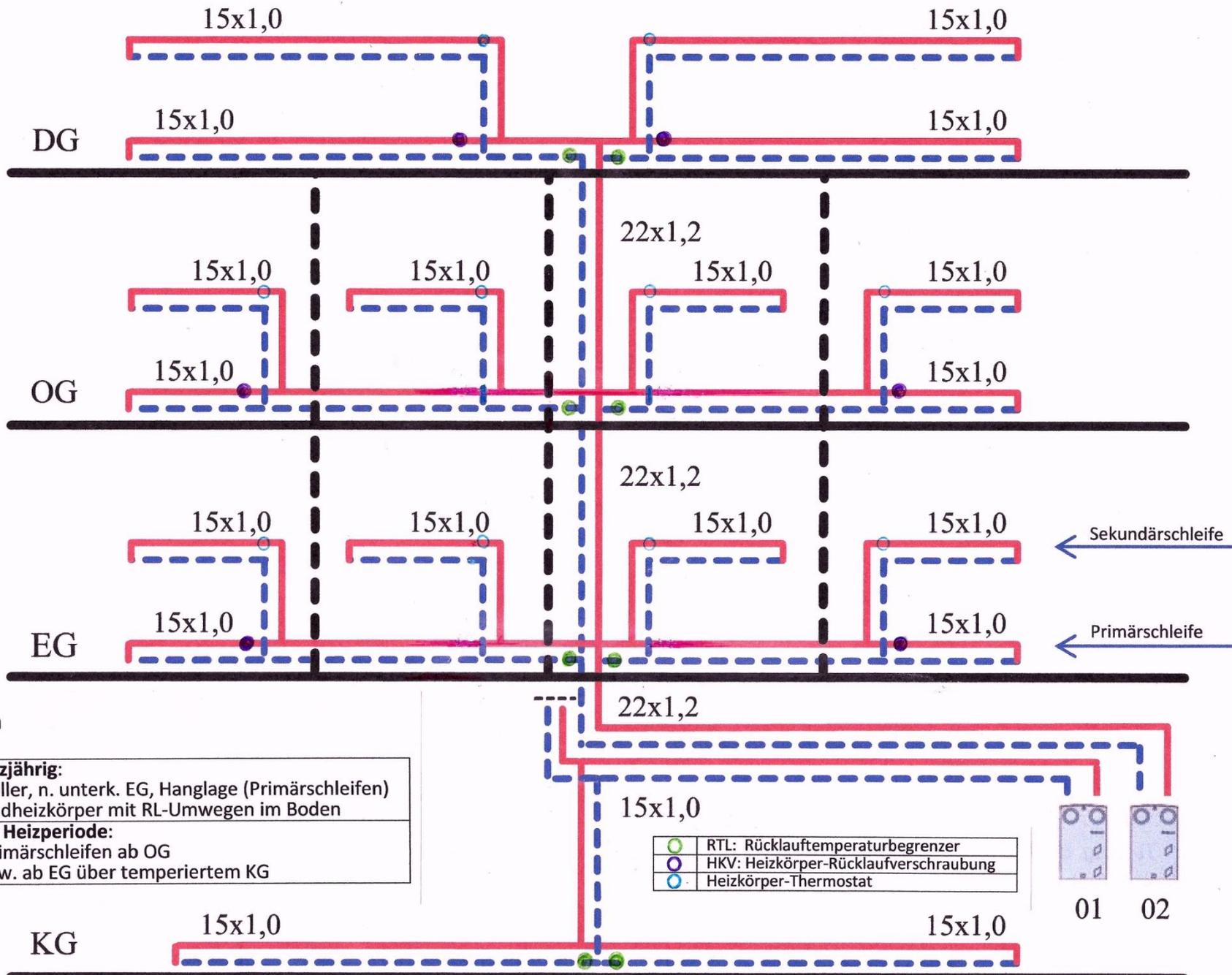
- linear, waagrecht auf ganzer Wandlänge

### Folgen:

- Kaltluftatmung, Wärmeabgabe beim Ausatmen
- kein Zug (geringerer Wärmebedarf)
- kein Umweg, der minimale Auftrieb reicht für die

**Glas ist undurchlässig für langwellige Wärmestrahlung:**  
Die Wärmeabstrahlung der 2 Zuschauer wird reflektiert





## Ventile

### Heizkörper-Thermostat

- in jeder Sekundärschleife,  
an beliebiger Stelle



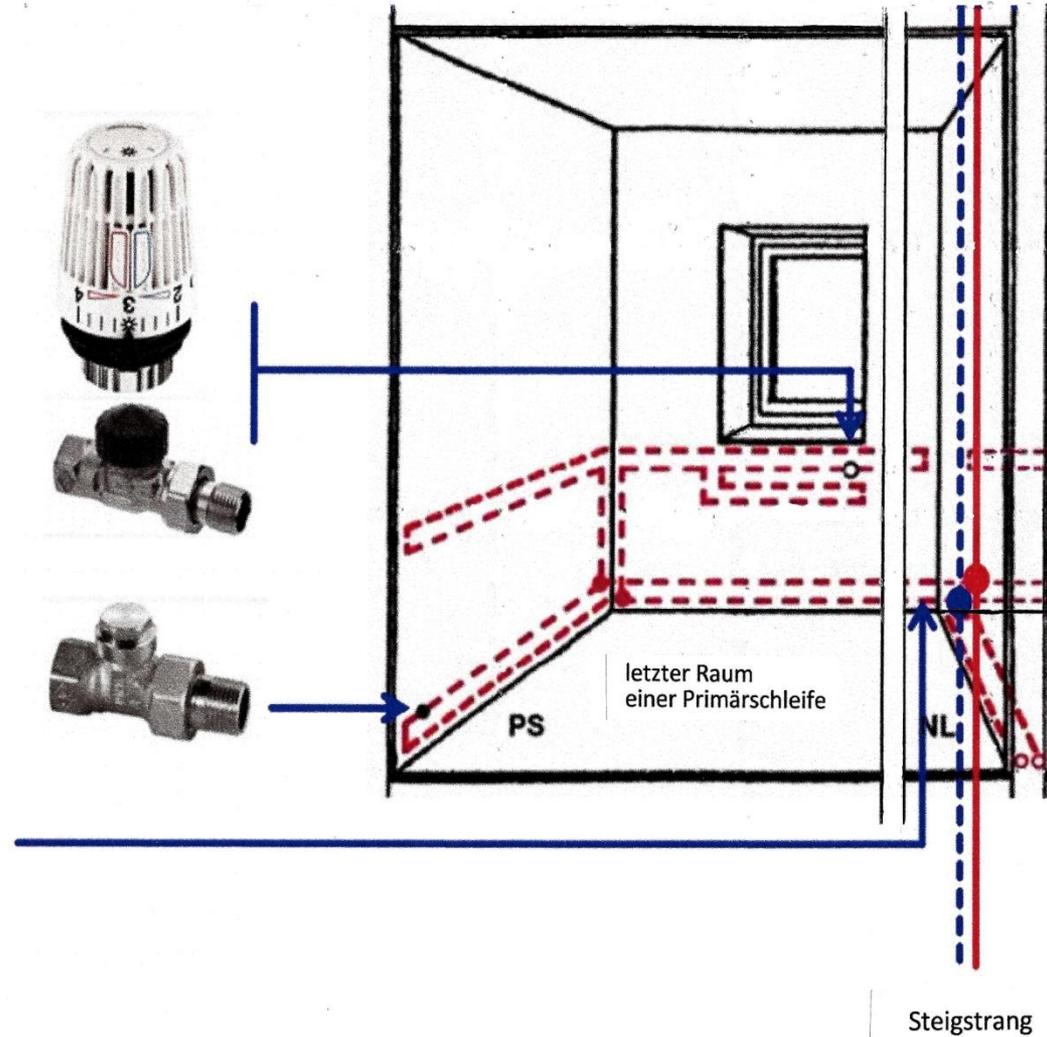
### Heizkörper-Rücklaufverschraubung

- am Ende jeder Primärschleife,  
im letzten Raum hinter der Sekundärabzweigung



### RTL: Rücklauftemperaturbegrenzer

- im Rücklauf jeder Primärschleife,  
vor dem Eintritt in den Steigstrang



**Eh. Schule von Kallmünz (Opf.):**  
Der traut sich was, der Herr Pirkl!  
1.000 m Heizrohr, oberstes Rohr auf der Brüstung





18.11.2014 00:47







Uuuups, Hochwasser hob das – zu leichte – Bungalow-Gebäude, weil sein Keller DIN-gemäß feuchteschutz war:  
Bodenplatte auf Kies („kapillarbrechende Schicht“),  
Kies an den Wänden (Dränage)



Ein Fall für Erst- und Rückversicherung: *Beschädigtes Haus in Sachsen-Anhalt nach dem Elbe-Hochwasser im August*

Uuuups, Hochwasser brachte den schwimmenden Estrich zum Schwimmen, weil er DIN-gemäß gebaut war:  
- mit Kunststoff-Randstreifen (Wasser konnte eintreten)  
- auf 2 Dämmschichten, die untere als Granulat (Wasser konnte sich ausbreiten)



Uuuups, plötzlicher Dauerregen konnte über eine 4 m breite Fehlstelle der Dränagen-Kiesschicht den Betonkeller anheben, da er DIN-gemäß auf Kies (kapillarbrechende Schicht) gebaut war



# „Effektiver Wärmeschutz verschiedener Ziegel-Außenwandkonstruktionen“

Messungen der Fraunhofergesellschaft in Holzkirchen 1983

## Messergebnisse zum Wärmeschutz:

### 1. Dämmstärke

- 23 cm Dämmstärke (4a):
  - Verbrauch 3 % geringer als bei 10 cm Dämmstärke (5)
  - (Effekt = „Hintergrundsrauschen“ der Messung)

### 2. Speichermasse

- 49 cm ungedämmte Porenziegel (rho 0,8. 3):
  - Verbrauch 8 % geringer als bei 23 cm Dämmung
  - bei Altziegel (rho 2,0) wäre der Verbrauch noch geringer

### 3. Dass bei hoher Dichte (= z.B. unporosierte „Alt“-Ziegel) die Einsparung deutlich höher ist, lässt sich ableiten aus:

- 36,5 cm Porenziegel, Raum mit Fenster (1):
  - Verbrauch 12 % höher als gleicher Raum ohne Fenster (2) – größere Speichermasse
- 2-schaliges Mauerwerk (schwerer Blendziegel, rho 1,6 Luftspalt, 24 cm Porenziegel, mit Fenster. 6):
  - gleicher Verbrauch wie 36,5 Poren-Ziegel ohne Fenster (2)
  - Solarspeicherung in den ersten 10 cm Speichermasse
  - siehe geringen Verbrauch in Fachwerkbauten mit schwerer Gefachfüllung und Strahlungsheizung (Grundofen)

## Weitere Messergebnisse (1984):

### 4. Tageslichtstrahlung / Wärmebedarf

- bereits die diffuse Zustrahlung (Morgen) mindert den Wärmedurchgang

### 5. Oberflächenfarbe / Strahlungsabsorption

- nichtweiße Oberflächen: gute Absorption
- weiße Oberflächen: starke Reflexion
- = geringere Wärmeaufnahme aus der Tageslichtstrahlung

### 6. Nachtabsenkung bringt keine Einsparung

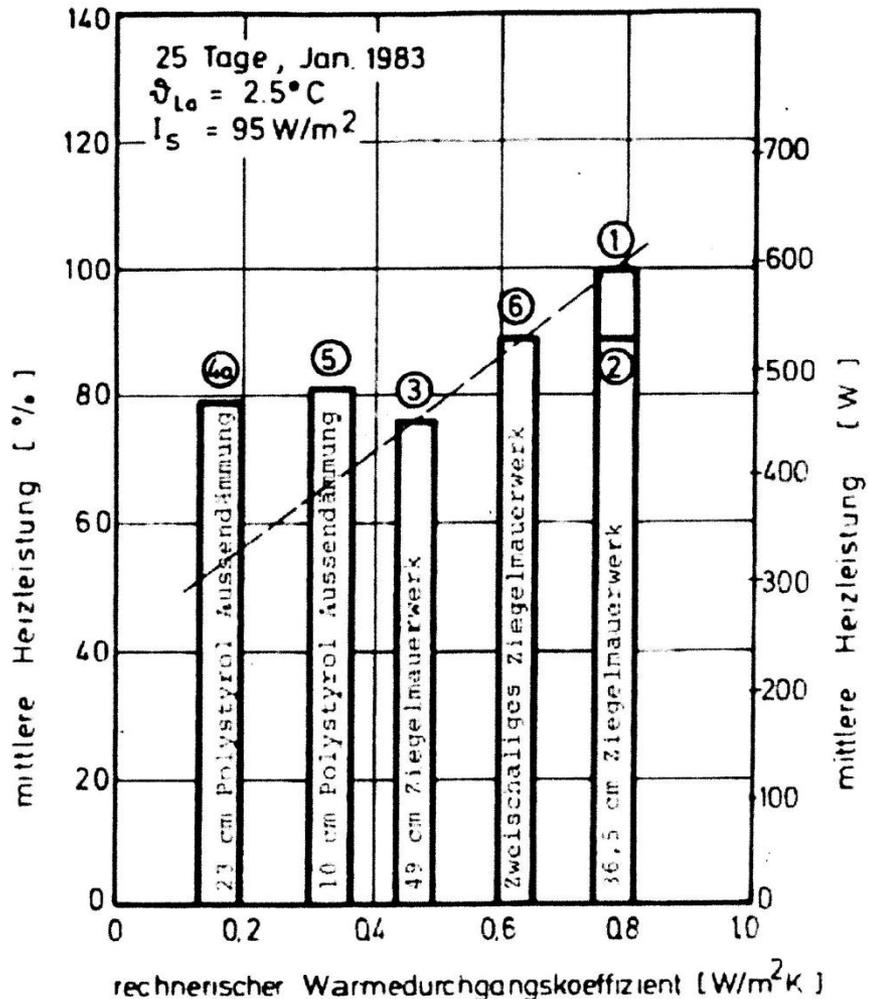


Bild 9: Gemessene mittlere Heizleistung in der 2. Messperiode (Januar 1983), in der ...

## Die lustige Verteilung der Wärmeverluste, damit jede Branche mitverdienen kann

Bei üblicher Heizkörperheizung = Luftheizung geht die Wärme aber hauptsächlich über die Thermik verloren:

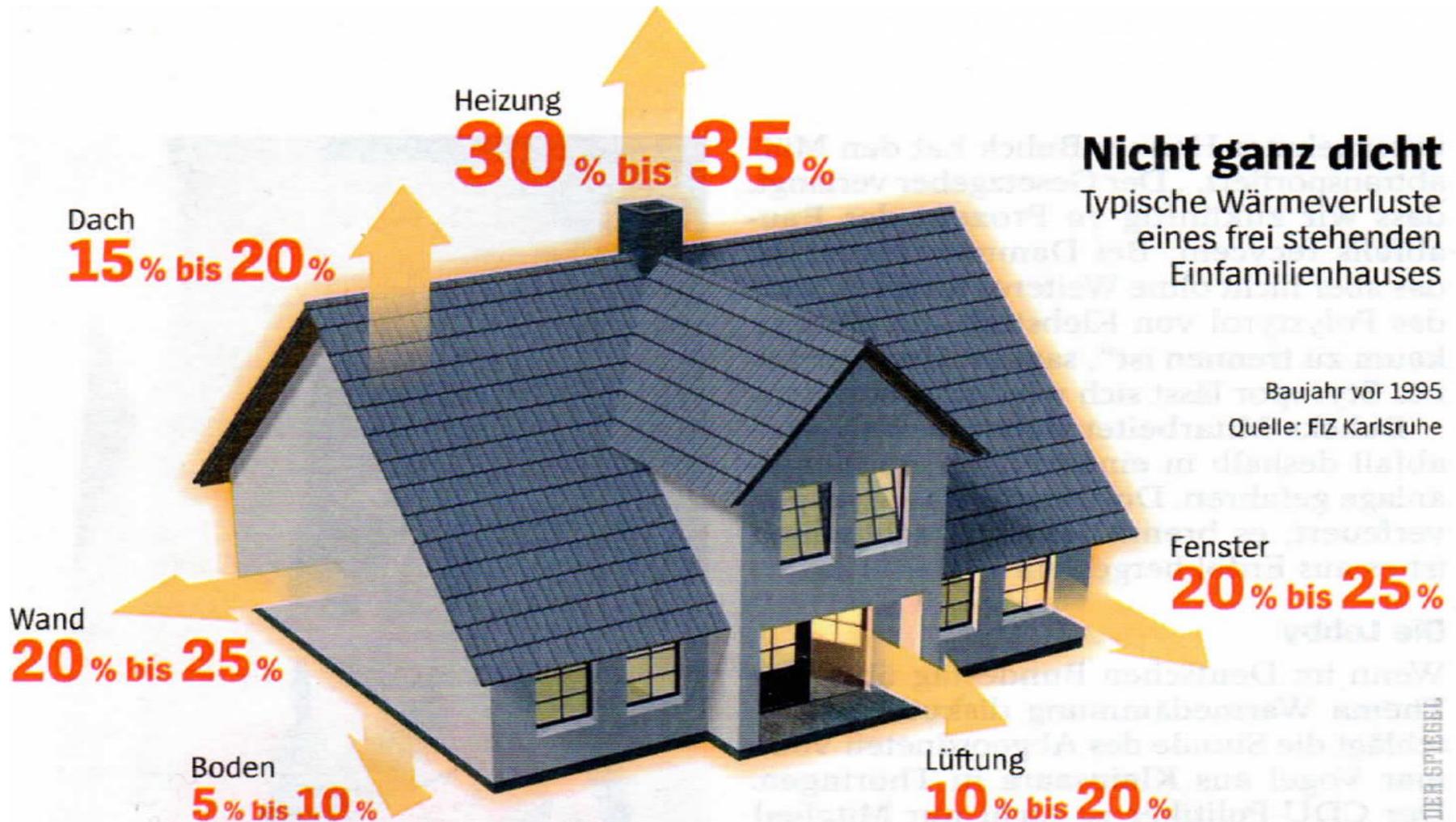
**Interne Verluste:** Aufstieg der Luft (= des Heizmediums!!!) zur Decke, ins Treppenhaus

**Externe Verluste:** Austritt des Heizmediums durch Fugen und Öffnungen. Man beachte die unsinnigen Angaben:

- 10-20 % bei gekippten Fenstern im OG und offener Haustür, aber

- 20-25 % Wärmeleitungsverluste (Wand),

Schall- und Wärmeleitung geschehen aber durch Impulsweitergabe. Dichte Gefüge bewirken also eine starke Impulsdämpfung. Schallschutz“-Steine leisten daher optimalen Wärmeschutz



# Reichs-Waschmaschine

Bundeskanzleramt Berlin = Sitz der obersten Physikerin

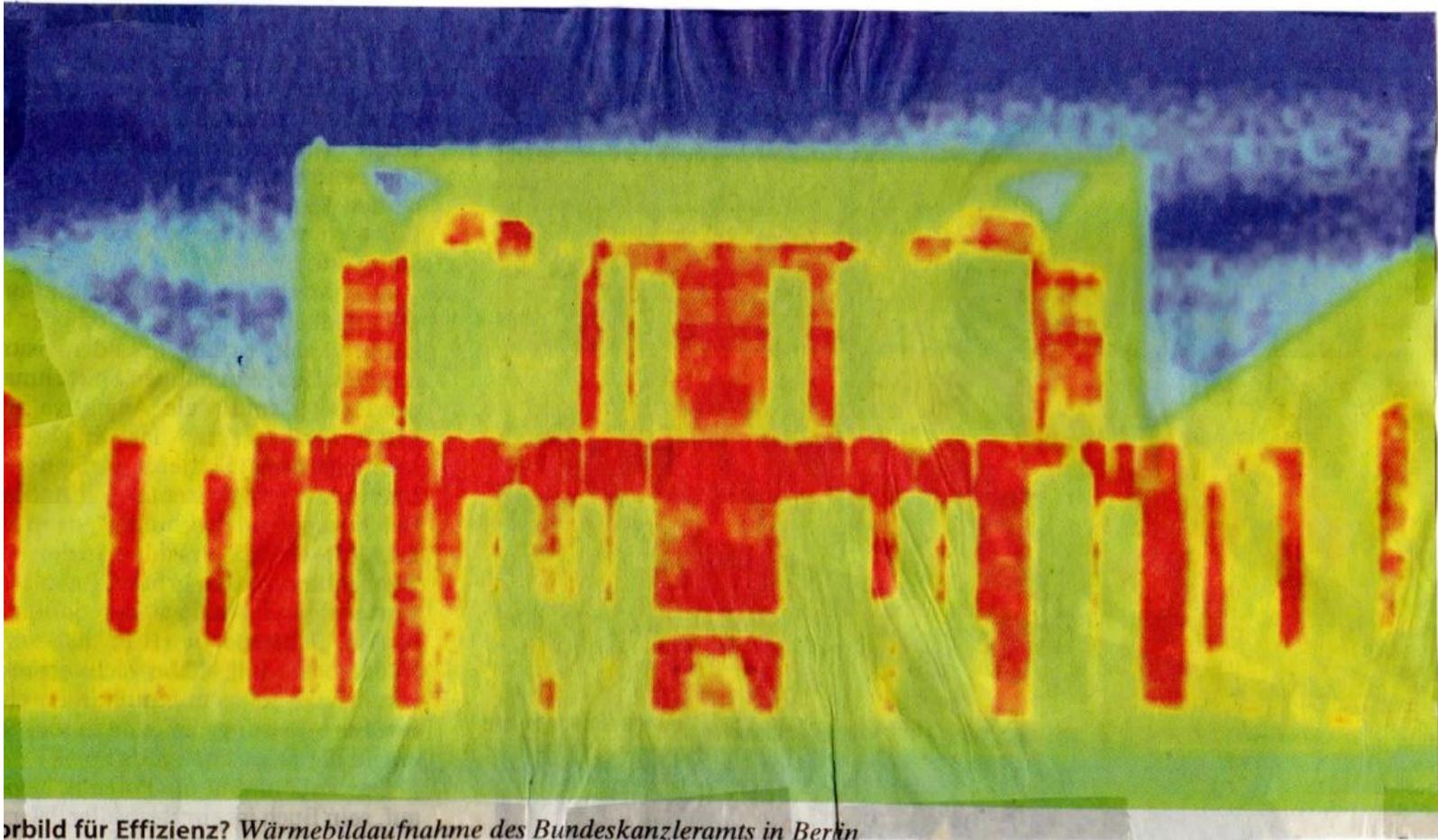
Glashaus mit freischwebenden (nicht raumbildenden) BetonTeilen



**Gelbgrün:** Strahlung von freien, nicht raumbildenden, speicherfähigen Bauteilen

**Rot:** vom Glas reflektierte Strahlung

Abbildung aus dem Wirtschaftsteil (!) der FAZ (!)



# Thema „Thermografie“

05.03.2002, vor Tagesanbruch (5:45 - 6:55), - 4,5 °C, Vortag sonnig, Rohre seit 12 Std auf 60 °C Vorlauf



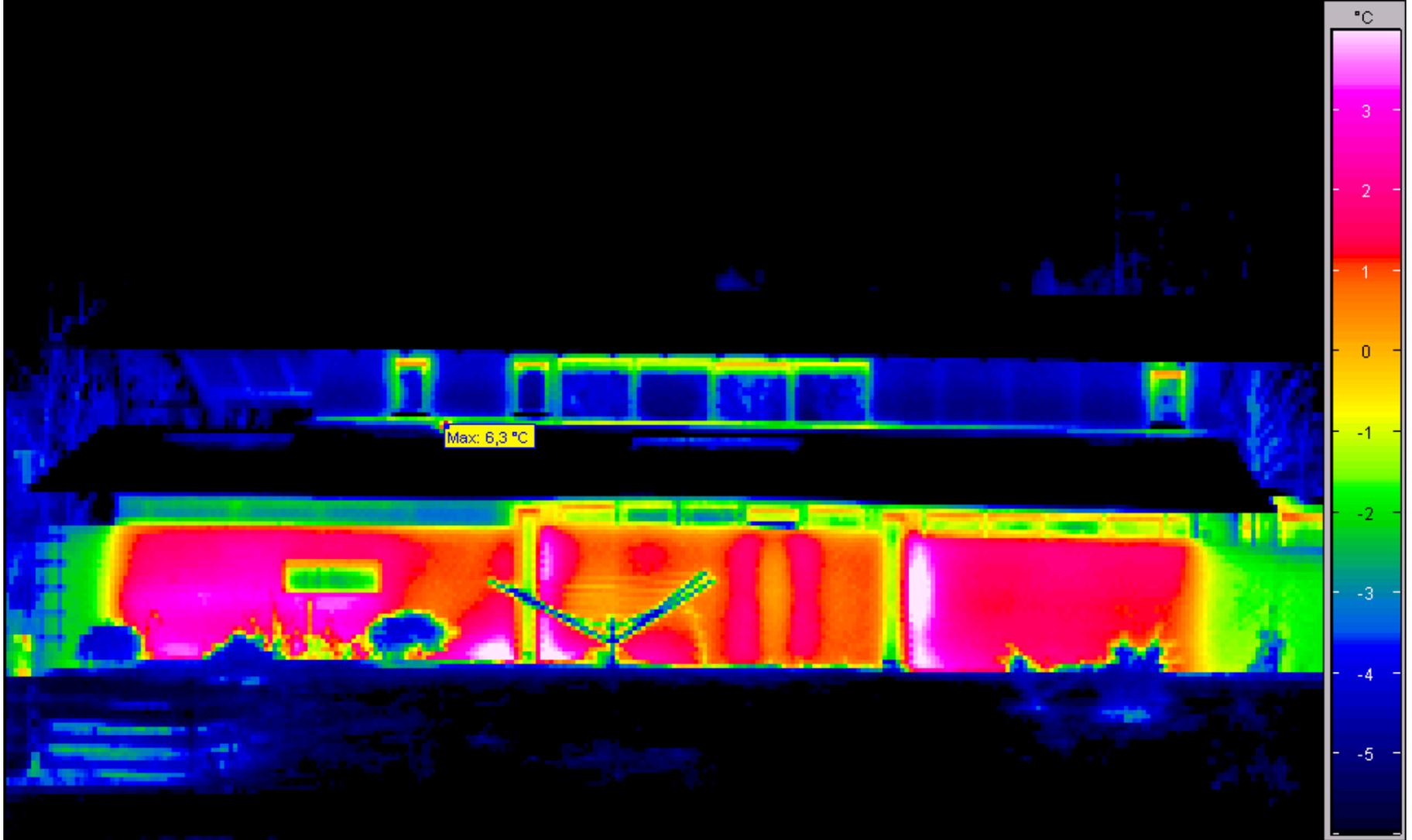
Freiplatz | ..... Küche ..... Hauswand beheizt ..... Diele ..... | ..... Hofmauer Nord

- je 2 Rohre an Sockel  
und + 90 cm

- 4 Heizrohre  
(Abstand 50 cm)

**Beton 27 cm ohne Wärmedämmung**

**Aufnahme: Mitte Juli, Spätnachmittag !!!**



Freiplatz | **Küche**

- je 2 Rohre an Sockel und + 90 cm

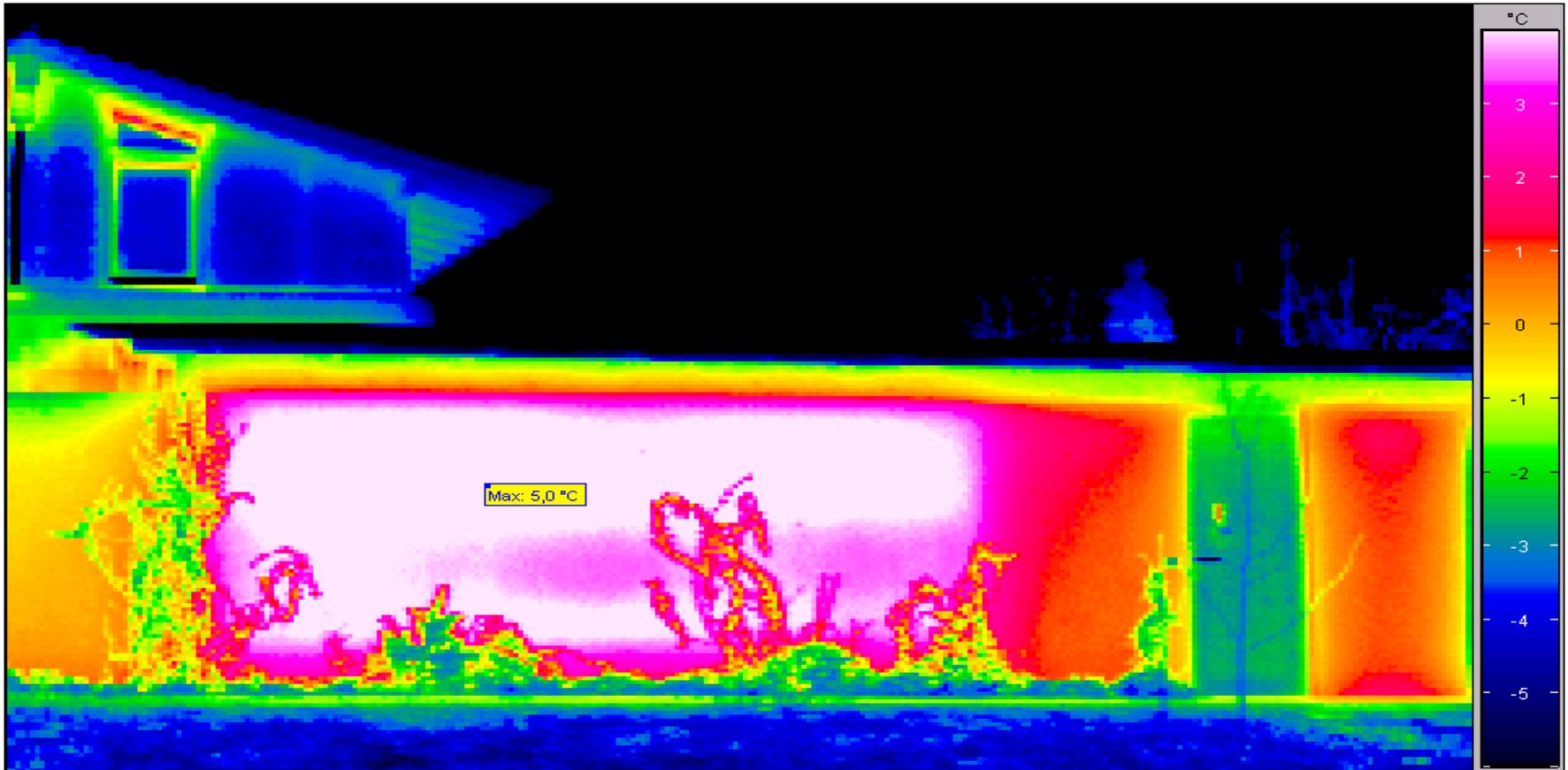
Seile des Wäscheständers

**Diele** | Hofmauer Nord

- 4 Heizrohre im Abstand von 50 cm

**Beton 27 cm ohne Wärmedämmung**

Abstand 50 cm



Hofmauer | Atelier: je 2 Rohre an Sockel und + 90 cm (VL 60 °C, RL 52 °C)

| Garage: +2 °C | Holztür |

.....Beton 27 cm, ohne Wärmedämmung.....

Außentemperatur- 4,5 °C, vor Tagesanbruch, klarer Himmel = Himmelsstrahlung – 60 °C

**Thermografie zeigt Wärmestrahlung! Hier als Folge von zuvor aufgenommener Zustrahlung, also von **Wärmegewinn****

- in Abhängigkeit vom Rohgewicht (also von der Speichermasse) eines Materials und
- in Abhängigkeit von der Einstrahlungsdauer (also von der Himmelsrichtung)
- nicht als Folge von Wärmedurchgang von innen nach außen, sein zeigt also keinen Wärmeverlust

Buntfarben: Je höher („schlechter“) der U-Wert, desto höher die Wärmespeicherfähigkeit und die Abstrahlung nach einer Nacht  
 Blau, Schwarz : Je schlechter der U-Wert, desto höher der Wärmeschutz durch Wärmespeicherung

- „effektiver U-Wert“ (nach Prof. Claus Meier)

Je besser der U-Wert, desto geringer die Wärmespeicherfähigkeit, desto geringer die Abstrahlung nach einer Nacht:

Ein Wärmeschutznachweis auf der Basis der U-effektiv-Werte erspart Bestandsbauten mit Massivmauerwerk die Wärmedämmung