

DIE TEMPERIERUNG

Temperieren statt „Heizen – Dämmen – Feuchtesanieren – Klimatisieren“

Die "Temperierung" ist eine alternative Methode der Wärme-Verteilung, die durch ihre vom Stand der Technik abweichenden Merkmale („Sockelheizrohre statt Heizkörper“, „Dauerbetrieb statt Nachtabenkung“) die **Trockenlegung und Schadsalzinaktivierung**, die Raumbeheizung sowie die Stabilisierung des Raumklimas erreicht, und zwar „direkt“, d.h. durch die Temperierung der Raum- bzw. Gebäudehülle. Dabei werden die Ziele der Regelwerke zu Wärme- und Feuchteschutz erfüllt, ohne daß weitere Maßnahmen erforderlich sind (Befreiung nach § 11, Absatz 3 Wärmeschutzverordnung; s. Anlage III, III a und III b).

Einfache Anlagentechnik

Die Methode wurde in den Jahren 1982 bis 1988 von der Landesstelle in Zusammenarbeit mit bayerischen Baubehörden in öffentlichen Bauvorhaben erarbeitet. Dabei gelang es nicht nur, die konservatorischen, denkmalpflegerischen, bauphysikalischen und physiologischen Nachteile zu eliminieren, die der Stand der Technik auf den Gebieten Heizen, **Feuchtesanieren** und Klimatisieren hervorruft, sondern zugleich den für diese Aufgaben erforderlichen Kosten- und Energieaufwand zu minimieren.

Die Vereinfachung gelang, da die Methode **im Laufe der Zeit auf empirischem Wege** von allem "Ballast" befreit werden konnte, der bei konventioneller Planung entsteht. So entfiel die Überdimensionierung als Folge üblicher Wärmebedarfsberechnung, die nicht berücksichtigt, daß die „Wandheizung“ den Wärmebedarf von Haus und Mensch deutlich mindert („Wärmedämmung“ durch Verdrängung der Porenfeuchte bei porösen bzw. durch höhere Wärmespeicherung bei porenfreien Baustoffen, geringerer Luftwechsel durch wesentlich geringere Raumlufttemperatur, größere Behaglichkeit dank zugfreiem Strahlungsklima bereits bei geringeren Raumtemperaturen). Entsprechendes gilt für den hohen Kostenaufwand für die (elektronische) Regelung, die heute als nötig angesehen wird, da die bei kontinuierlicher „Wandheizung“ auftretenden Selbstregeleffekte ignoriert werden (Dämpfung der Raumwirkung von Wärmeüberangeboten durch Wärmespeicherung, Kompensation von Wärmedefiziten durch Freisetzung von Speicherwärme, „Verschlechterung“ des Wärmeübergangs vom Rohr an die Speichermasse beim Auftreten von „Fremdwärme“).

Verringerter baulicher Aufwand

Dank der physikalischen Effekte **reduziert** sich auch der **bauliche Aufwand**: Mit Ausnahme des Daches erübrigen sich Wärmedämmung und Feuchtesperre an erd- und außenluftberührten Bauteilen, da die Ziele dieser Maßnahmen (Verringerung der durch Wärmeleitung verursachten Energieverluste, Vermeidung von Bauteilschäden durch Kondensation) auf physikalischem Wege erreicht werden. Entsprechendes gilt für die Lüftungswärmeverluste, die besser verringert werden durch Beheizung der Außenbauteile ohne Beteiligung der Raumluftmasse, als durch Austausch vorhandener Kasten- bzw. Verbundfenster gegen eine hochwertige Wärmeschutzverglasung

Da die Raumwärme in den Bauteilen und der Raumausstattung gespeichert ist und der Energieinhalt der (unbeheizten) Raumluft gering ist, kann die Lüftung des Raumes in Bereichen ohne Klimaanspruch durch Fensterlüftung erfolgen. Der museale Bereich benötigt zur Stabilisierung der relativen Raumluftfeuchte eine kontrollierte Lüftung. In Gebäuden mit geringerer Besucherfrequenz (Luftwechselraten bis 0,5 Raumvolumen pro Stunde) kann die Lüftung auf einfache Abluftventilatoren ohne Wärmerückgewinnung beschränkt werden, die im Hochsommer zur Nachtkühlung eingesetzt werden können. In stark besuchten Museen, in denen Lüftungsanlagen erforderlich sind, kann die zu fördernde Luftmenge stark reduziert werden (auf max. 5 m³ pro Person und Stunde), da die Aufgaben „Heizung“ und „Luftentfeuchtung“ und - bei außenliegendem Sonnenschutz und sinnvoll beschränkter Kunstlichtleistung - auch die der Raumkühlung entfallen. Die Aufbereitung der wegen des Strahlungsklimas entsprechend geringen Zuluftmenge erfordert nur geringe Nacherwärmung und Befeuchtung im Winter, wie auch nur eine geringe Kühlung bei hohen Außentemperaturen im Sommer.

Geschichte des Prinzips

Das Prinzip der *konstruktiven Verknüpfung von Gebäudehülle und Heizung* ist mindestens 2000 Jahre alt. Bei der römischen Hypokaustenheizung floß der Rauch des außenliegenden Holzofens durch den Bodenhohlraum in die vor der tragenden Wand montierten Hohlziegel (alle Außenwände waren damit belegt) und verlies über Tonrohre im Dachaufbau das Haus. Der Bodenhohlraum diente nicht dazu, den Fußboden zur Raumheizfläche zu machen (wie bei der heutigen Fußbodenheizung), sondern er stellte vielmehr die einfachste Vorrichtung zur gleichzeitigen Versorgung mehrerer Außenwände mit gleich viel Energie dar. Die Hypokaustenheizung war also eine Wandheizung mit Bodentemperierung. Die Umkehrung des Gedankens war der Kachelofen, der die meisten Effekte mit wesentlich geringerem baulichen Aufwand erreichte, nämlich durch Bestrahlung der Außenwände von der gegenüberliegenden Raumseite aus. Eine physikalisch sinnvolle Variante war die Schwerkraftheizung, da die Leitungen ungedämmt in die Gebäudehülle integriert waren.

Ursachen der ganzheitlichen Wirkung

Der gleitende Dauerbetrieb von Heizrohren in Massekontakt, die am Wandsockel montiert sind, führt nämlich zu einem *Wärmestau im Rohrnahbereich* und einem stetigen minimalen *Warmluftauftrieb*, hervorgerufen vom „heißen“, die Rohre abdeckenden Putzstreifen (bis zu 45 °C), der die Wandfläche darüber bedient. Dadurch wird (wie im Sommer) eine gleichförmige Oberflächentemperatur der Wand erzeugt bzw. gehalten und somit auf einfachste Weise die physikalische Aufgabe des Heizens erfüllt: Diese besteht nämlich nicht darin, wie heute üblich, die Luft des Raumes zu beheizen, sondern darin, die *Auskühlung der Wandoberflächen zu verhindern*, damit auch im Winter, bei ständigem Wärmeabfluss über die Gebäudehülle, sowohl die freien Wandflächen wie die (ebenfalls nicht auskühlenden) wandnahen Ausstattungsschichten und Möbel genügend Wärme abstrahlen, wie sie es im Sommer, bei „von außen beheizter“ Gebäudehülle, tun.

Diese ganzflächige Wärmeabstrahlung der Wand wird erzeugt durch die *Wärmeschwingung der Moleküle der raumseitigen Schicht der Außenbauteile*, die durch den Warmluft-Auftrieb auf ganzer Fläche auf einem *Mindestniveau* gehalten wird. Dies gilt auch für Wandflächen hinter Mobiliar oder Bildern bzw. hinter Wandverkleidungen, wenn für den Auftrieb ein **Mindestabstand** zur Maueroberfläche bzw. ein vertikal durchgehender Hohlraum eingehalten wird (min. 2 cm). Die Ergänzung der Wärmeverluste des Gebäudes geschieht also ohne Umweg über die Raumluftmasse unmittelbar an den Wärmeverlustflächen selbst, unabhängig von Möblierung bzw. Wandnutzung und ohne Rohrregister. Das Ergebnis ist ein Strahlungsklima, bei dem Temperatur und relative Luftfeuchte im ganzen Raum gleichförmig sind. Darüber hinaus treten weitere relevante Effekte ein:

- Energetisch relevant ist, daß durch den Wegfall der freien Thermik und durch die „kraftschlüssige“ Rohr-Wand-Verbindung die bei konventionellen Heizverfahren auftretenden Verluste bei der Wärme-Übertragung entfallen, so daß auch kleine Wärmemengen nutzbar werden.
- Physiologisch relevant ist, daß – wie im Sommer im ungeheizten Raum – das Wärmeempfinden nicht durch die Beheizung der Lunge beim Einatmen der Heizluft, sondern von der Wärmestrahlung hervorgerufen wird, die von den Wand- und Mobiliaroberflächen ausgeht ("Strahlungsheizung" ohne Zugerscheinung und Staubumwälzung).
- Konservatorisch und **bauphysikalisch relevant** ist, daß **nirgendwo Wasserdampfkondensation** auftritt, da die Wandtemperatur nicht unter der Lufttemperatur liegt, und daß die Außenbauteile trocknen dank des in ihnen wirksamen geringen, aber stetigen ganzflächigen Wärmegefälles ("Thermische Bauphysik"). Auf diesen Effekten beruht auch die **Ausschaltung der aufsteigenden Feuchte** und die **Inaktivierung der Schadsalze**, so daß neben konventionellen Horizontal- und Vertikalsperren auch der Mehraufwand für Sanierputz entfällt. Ebenso sind bereits vorhandene bakterielle und pflanzliche Holzschädlinge nicht mehr aktiv, Neubefall ist unmöglich (rel. Luftfeuchte im gesamten Raum unter 65 %). Zusätzlicher Bedarf an Luftentfeuchtung besteht nicht. Luftbefeuchtung wird nur bei Frost in geringem Maße erforderlich.

Verringerter Energiebedarf

Wegen der Abhängigkeit des Energiebedarfs von Temperatur und Feuchtegehalt der *Gebäudehülle* und der Höhe der Raumlufttemperatur stellt sich auf Dauer ein geringer Jahres-Energiebedarf ein: Bei Wohnanforderungen (s. Anlage II) sind es 15 bis 40 kWh/(m³·a), je nach Wandstärke und Verhältnis von Gebäudehüllfläche zu umbautem Raum): Für das Gesamtvolumen (nicht nur die "Nutzfläche") sind 1.5 bis 4 l Öl bzw. m³ Erdgas pro m³ umbauten Raum und Jahr für "Heizung" erforderlich, incl. der außerhalb der "Heizperiode" in nichtunterkellerten Erdgeschoßräumen benötigten 5 - 15 Watt pro m Wandsockel (in Kellern 30 W) für die "thermische Horizontal- und Vertikalsperre" (Trockenlegung mit Wärme). Es werden also die Forderungen wesentlicher Verordnungen und Baunormen unmittelbar erfüllt (Wärmeschutz-, Heizungsanlagenverordnung, DIN 4108 etc.), so daß die Befreiung von den konstruktiven Auflagen der Regelwerke wirksam wird, da ihr Ziel "durch *andere Maßnahmen ...erreicht*" wird (s. § 11/3 WSV und § 11 HeizAnIV).

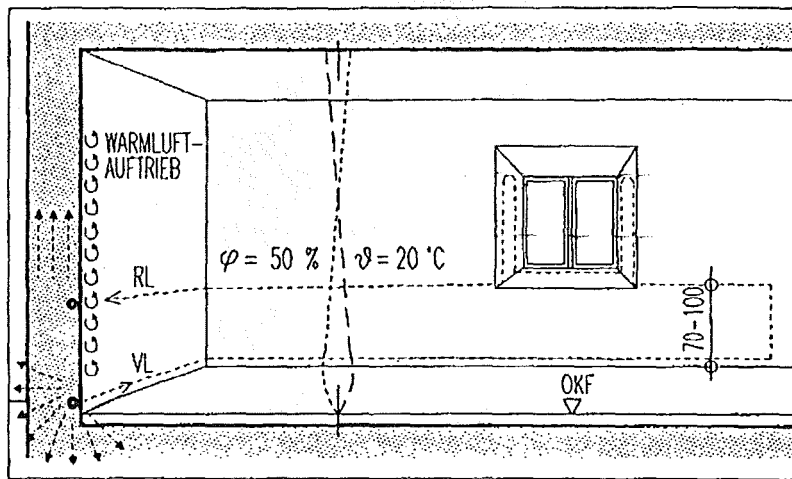
Fazit

Durch diese ganzheitliche Gesamtwirkung stellt die „Temperierung“ eine kostensenkende Alternative zum Stand der Technik dar auf den Gebieten der *Raumbeheizung*, des *Feuchte- und Wärmeschutzes*, der *Bausanierung* und (bei Luftwechselkontrolle) der *Klimastabilisierung*. Ferner vereinfacht und *verbilligt* die Methode die *Museumsklimatisierung* und stellt ein bei geringem Energieeinsatz optimales Mittel zur *Konservierung von Architektur und Ausstattung* von Baudenkmälern, Freilichtmuseumsgebäuden und behausten Ausgrabungen dar. Sie erlaubt sogar die *Beherrschung von Großräumen* (Kirchen, Fabrikhallen). Wegen des physikalischen Wirkungsprinzips werden diese Vorteile bei sämtlichen Konstruktionsarten erreicht, d.h. in Alt- und Neubauten, bei Leicht- bis Schwerstbauweise wie in Fachwerkbauten oder Gebäuden mit Glasfassaden und in Burgen oder Bergkellern.

Temperierheizung

Die Temperierung der Gebäudehülle stellt eine Alternative zu den konventionellen Methoden der Gebäudeheizung und des Feuchteschutzes, insbesondere bei Sanierungen alter Bausubstanz, dar: Auf eine Wärmedämmung und Feuchtesperre nach außen wird bewußt verzichtet. In der Regel am Außenwandssockel, aber auch in Brüstungshöhe oder um Fensterleibungen eingeputzte Warmwasser-Heizrohre (oder elektrische Heizkabel) bewirken bei minimalem Materialaufwand eine gleichmäßige Temperierung der Gebäudehülle und gleichzeitig eine Austrocknung des Mauerwerks.

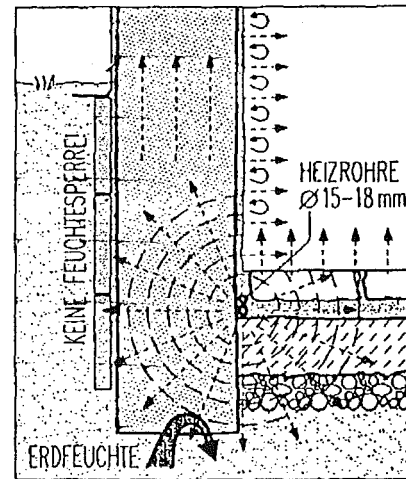
Neben dem Feuchteschutz der Bausubstanz (Verringerung der Wärmeverluste!) bewirkt diese Heizungsart bei geringem Energieaufwand eine gleichförmige, niedrige Temperaturkurve im Raum. Wegen der dadurch bedingten gleichmäßig verteilten stabilen Luftfeuchte entsteht ein stabiles Raumklima, was vor allem bei konservatorischen Aufgaben in der Denkmalpflege bis hin zu Kirchenheizungen wichtig ist. Einzelheiten siehe [H.09].



H 169/1 Sockel-Brüstungs-Temperierheizung (Schema n. [H.09])

Dieses von H. Großschmidt entwickelte System wird vor allem bei der Sanierung von älteren Gebäuden, Freilichtmuseen, Kirchen usw. angewendet, da gleichzeitig mit der Heizung eine Austrocknung der Außenwände stattfindet, die eine „thermische Horizontalsperre“ bildet, was einen Stillstand der aufsteigenden Feuchte bewirkt.

Durch Verhinderung des Feuchtenachschubs aus der Erdbereitung und dadurch trockene Wand tritt eine dauerhafte Verbesserung des k-Wertes ein („speicherfähiger Dämmstoff“).



H 169/2 Detail Sockel-Heizrohre

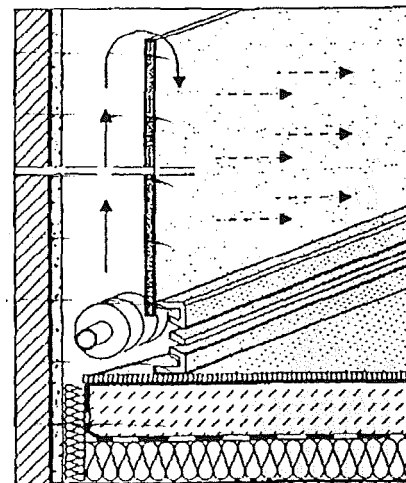
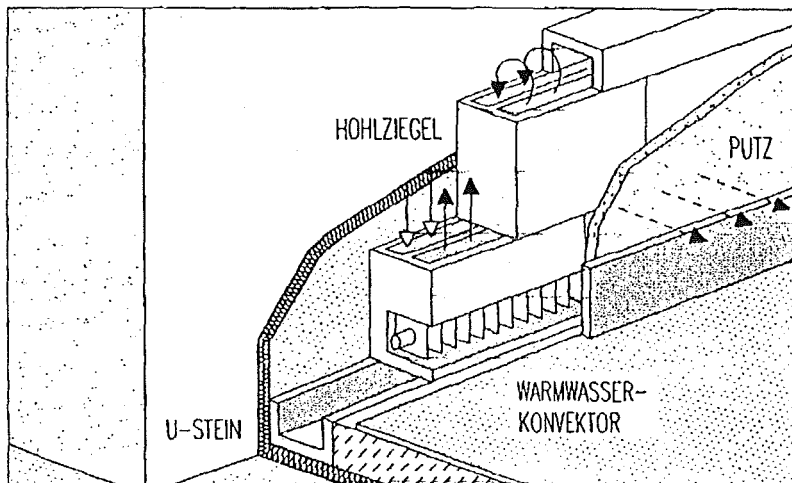
H II
HEIZUNG

Hypokaustenheizung

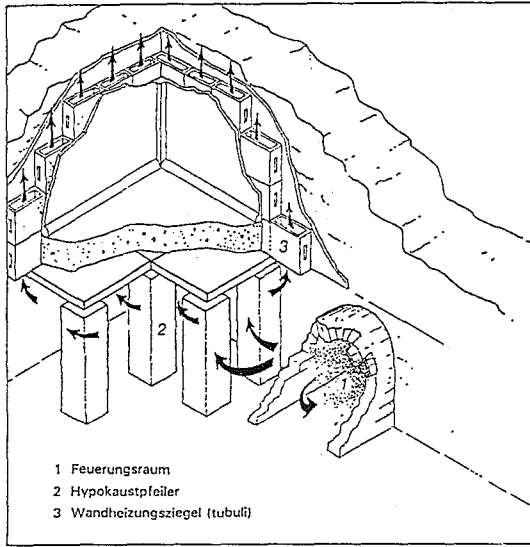
Wand-Hypokaustenheizungen werden mit Warmluft betrieben, die entweder direkt von einem Warmluftheizgerät erzeugt wird (s. Kap. H 6.2.2) oder als Konvektorheizung über eine Art Rippenrohrheizkörper im Sockelbereich erzeugt wird.

Als vorgesetzte Wandschalen kommen Gipskartonplatten, Kalksand-Luftkanalsteine, Langlochziegel-Elemente, vorgemauerte, quergestellte und verputzte Lochziegel usw. in Frage. Die Luftzirkulation kann ggf. durch einen Ventilator unterstützt werden.

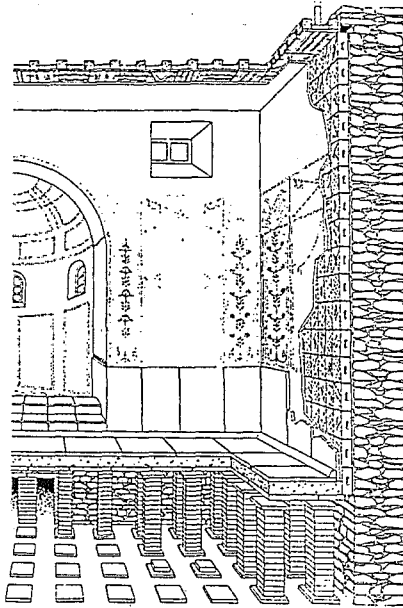
Die zirkulierende Warmluft wird in vor die Wand gestellten Hohlkammern bzw. -kanälen geführt, die über die Wandflächen eine milde Strahlung an den Raum abgeben. Eine kurzfristige Beeinflussung der Wärmeabgabe ist allerdings nicht möglich.



Feuchteschutz und "Raumbeheizung" vor 2000 Jahren

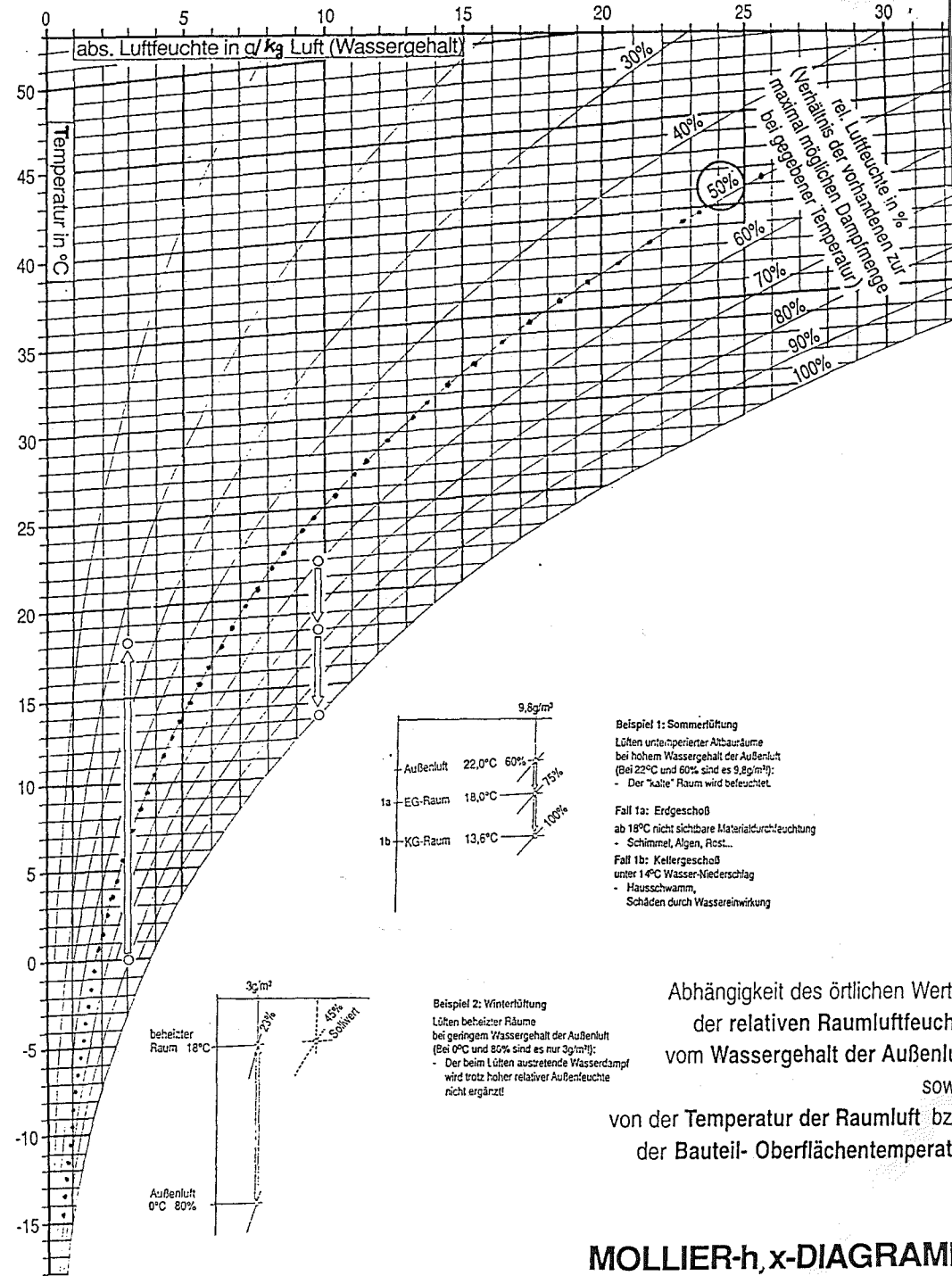
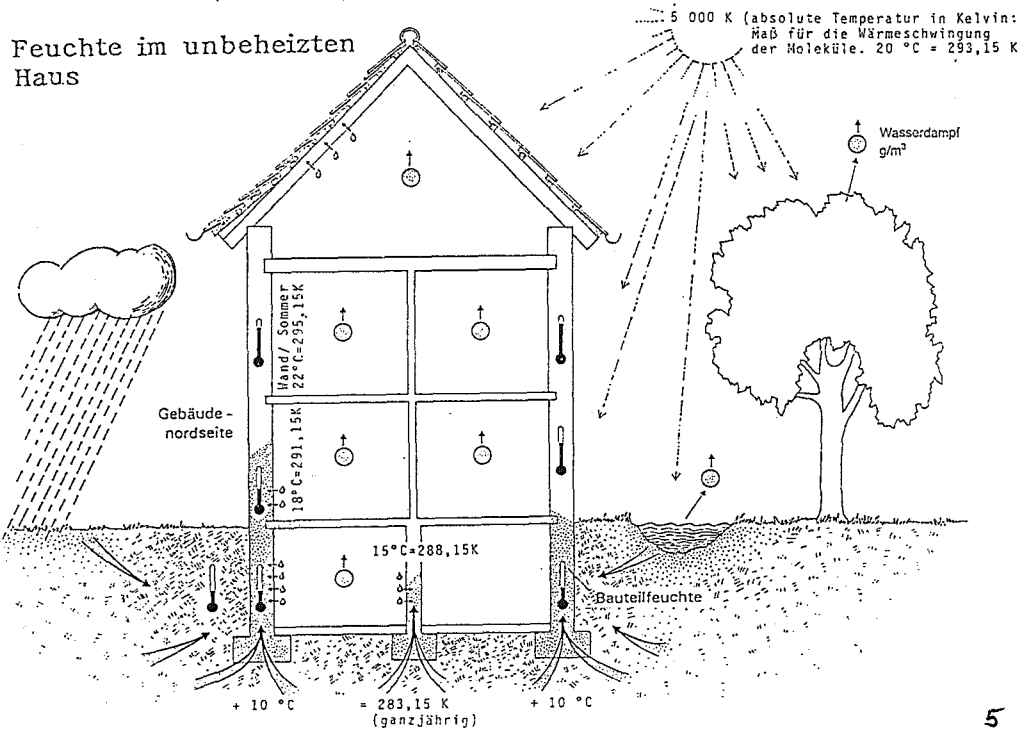


Schema einer Hypokaustenheizung



Weißenburger Thermen

Feuchte im unbeheizten Haus



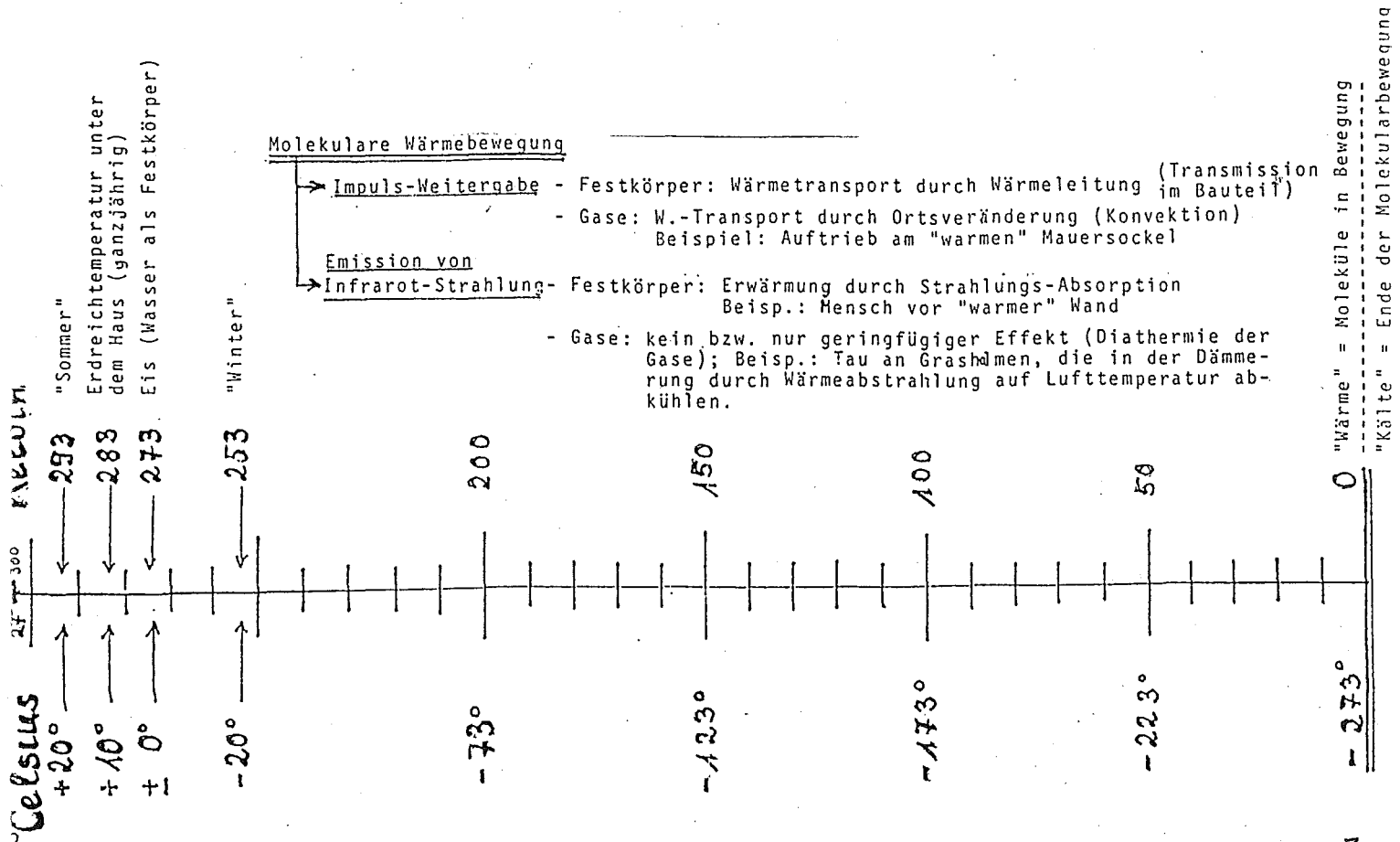
„Warm“/„kalt“ (Exkurs Temperatur)

Wärme ist eine Stoffeigenschaft. Physikalisch gesehen ist die Temperatur ein Maß für den Bewegungszustand der Moleküle. Dies wird deutlich, wenn man nicht die auf Einzelstoffe bezogenen Temperaturskalen (wie die auf den Erstarrungspunkt des Wassers bezogene Celsius-Skala) betrachtet, sondern die Skala der absoluten Temperatur (Kelvin-Skala): Oberhalb des Absoluten Nullpunkts (- 273,15 °C) herrscht „Wärme“, d.h. die Moleküle sind in mehr oder weniger heftiger Schwingung, Impulse werden weitergegeben (z.B. an die Luftmoleküle, die eine sonnenbeschienene Wand oder eine Heizkörperoberfläche berühren und die aufgenommene Energie durch Auftrieb nach oben transportieren) und Wärmestrahlung wird abgegeben. Während diese durch die „Lücken“ zwischen Gas-Molekülen, z.B. Luft, hindurchgeht, wird sie von der „dichten Packung“ der Moleküle der Festkörper, z.B. menschlicher Körper, Wände, Mobiliar etc., unter Anstieg der Temperatur absorbiert.

Bei dieser Betrachtung wird leichter verständlich, warum z.B. **Kellerräume** in wenigen Wochen trocken und warm werden, wenn in der Wand-Boden-Ecke eingemörtelte Sockelheizrohre kontinuierlich „heizen“: Das Schwingungsverhalten der Mauerwerksmoleküle wird zunächst von der Erdreichtemperatur bestimmt, die dank Akkumulation der Erdkern-Abwärme unter dem Haus ganzjährig ca. 283 K ($\cong + 10\text{ °C}$) beträgt. Durch Wärmeleitung, d.h. direkte Impulsweitergabe von den Rohr-Oberflächenmolekülen an die Festkörper-Umgebung, wird die Materialtemperatur im Rohrnahbereich deutlich gesteigert, der Raumsockel wird zum umlaufenden „Radiator-Konvektor“ (s. „Wirkungsmechanismus“ S.8).

Dessen geringe Leistung (z.B. 30 W pro Meter bei 40 °C Wassertemperatur) reicht aus, um ein um 8 bis 10 K höheres Schwingungsverhalten der Oberflächenmoleküle der Raumhülle (d.h. eine „Raumtemperatur“ von 18 bis 20 °C) herzustellen und dauerhaft aufrechtzuerhalten - dank der außen anstehenden „Natur-Energie“ und der im raumnahen Mauerwerksbereich mit dem sinkenden Porenwassergehalt sinkenden **Wärmeleitfähigkeit**. Bereits bei geringer Steigerung der Molekularschwingung der Poren-Oberflächenmoleküle wird nämlich die elektrostatische Haftung der Wassermoleküle im Porenraum, die durch deren Dipolform möglich ist, mechanisch aufgebrochen (1 Wh genügt für 1 g H₂O) und die nun wieder beweglichen Einzelmoleküle („Dampf“) durch die ständig folgenden Impulse nach außen verdrängt.

Ein häufig angetroffenes, jedoch meist falsch analysiertes Beispiel ist **Schimmel in der Fensterleibung** im Winter bei Heizkörperheizung: Die Oberflächentemperatur des von der Konvektion besser erreichten, daher trockenen Wandpfeilers ist z.B. 20 °C (293 K), die der schlechter versorgten Leibung dagegen „nur“ 16 °C (289 K). Wegen der Dipolform der bei Wohnnutzung in der Raumluft reichlich enthaltenen Dampf-Moleküle genügt die nur wenig geringere kinetische Energie der „kälteren“ Leibungsmoleküle nicht mehr, um die Durchfeuchtung des Bauteils durch ständiges Kapillarkondensat zu verhindern. Weder durch Lüften noch durch Außendämmung kann dieser Mechanismus sicher und mit geringem Aufwand beherrscht werden, sehr einfach dagegen durch Verbesserung der Wärmeverteilung, z.B. durch Umlenkung des Heizluftkreislaufs in die Wandebene durch eine Verkleidung des Heizkörpers, die nur noch seitlichen Luftzutritt erlaubt.



Wirkungsmechanismus

Bei Dauerbetrieb von wärmeleitend an den erdberührten Wänden montierten Sockelheizrohren bewirkt die radiale (allseitige) Wärmeübertragung durch Verstärkung der Molekularschwingung, analog zu Beobachtungen an zeitweilig sonnenbestrahlten Wandflächen, eine Reihe thermodynamischer Effekte (s. 1./2.), deren Zusammenwirken den Aufwand für Sanierung, Installation, Instandhaltung und den Jahresheizwärmebedarf deutlich mindern. Im Ergebnis wird der Sockel selbst zum „Radiator-Konvektor“. Analoges gilt für die außenluftberührten Geschoß-Sockel, bei nur zeitweisem Wärmebedarf („Heizperiode“), da ohne Erdberührung die Sonnenwärmeakkumulation ungestört ist. Wärmespannungen, Regen- und Frostbelastung der Gebäudehülle werden verringert.

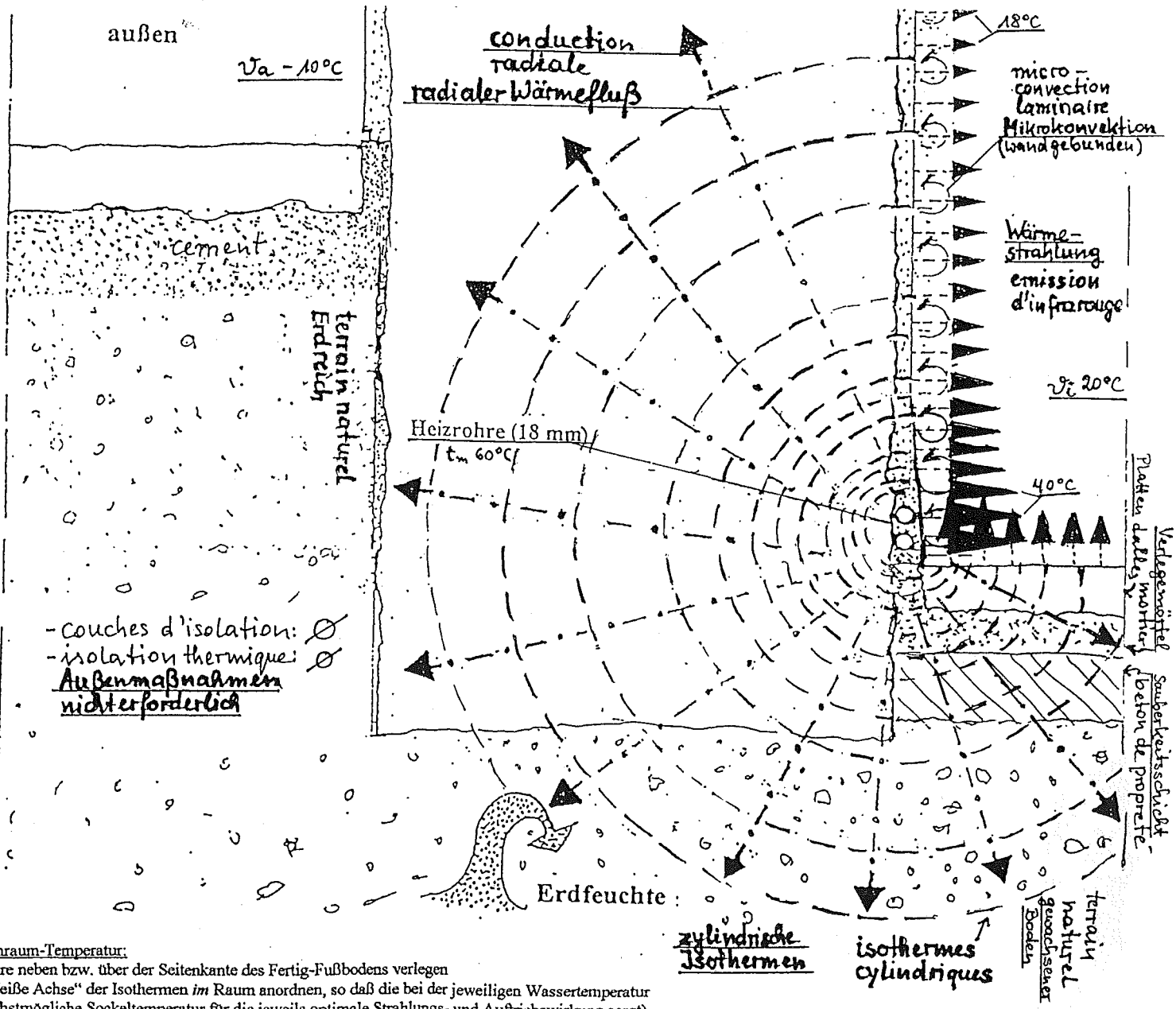
(Mindestinstallation: 1. Kreis: 1 Ringleitung entlang aller Außenwände, Ø 18 mm; 2. Kreis (nur bei Erdberührung): beidseitig um alle Innenwände, Seitenwechsel in Bohrung ca. 80 cm von Außenwand, Ø 15 - 18 mm. Vorlauftemperatur: Trocknungsphase: beide Kreise min. 50 °C; Dauerbetrieb: Kr. 1: gleitend nach Bedarf, Kr. 2: min. 25 °C). Regelung: Vorlaufthermostat-Ventil mit Anlegefühler am Rücklauf („selbstregelnd“), oder: je 1 Ringleitung um den halben Grundriss, Rücklauf an den Trennwandsockeln, Rücklauf-Temperaturbegrenzer am Ende der Rücklaufrohre.

1. Primäreffekte (Rohr-Nahbereich):

- **Sockeltrocknung** (radiale Wasserverdrängung nach mechanischer Überwindung der Haftung des Wasserdampf-Dipols. Verdunstung gegen Außenluft), Wärmeakkumulation (in Form zylindrischer Isothermen), Teil 1 der Heizwirkung (verstärkte Infrarotstrahlung gegen Wandbodenecke), thermische Horizontal- und Vertikalperre (Ausschaltung des Dipoleffektes auch im Bauteil-Außenbereich, d.h.: keine neue Diffusion), Inaktivierung der Bauteilsalze (mechanische Abstoßung der Wassermoleküle dank höherer Wärmeschwingung der Salzmoleküle, schadensfreie Salzkristallisation im Inneren bzw. zeitweilige, unschädliche Ausblähung an der Oberfläche).

2. Sekundäreffekte (Wand-Oberfläche):

- **Wärmeluftauftrieb** (Verstärkung der Molekularschwingung der sockelnahen Luftschicht, als Folge der vergrößerten Schwingungs-Amplitude der Oberflächenmoleküle des Sockels, d.h. unabhängig von der Wärmestrahlung), Teil 2 der Heizwirkung (Erhöhung der Oberflächentemperatur der Wand als Folge dieser Minimalkonvektion), Wandtrocknung (Wasserverdrängung gegen Außenluft durch den in das Bauteil hinein wirksamen Wärmefluß), Kondensatschutz (mechanische Abwehr des Dipoleffektes der Wasserdampf-Moleküle der Raumluft durch die vergrößerte Amplitude der Oberflächen-Moleküle der Wand-Fläche), „Wärmedämmung“ (Energieeinsparung durch k-Wert-Optimierung - 1 % weniger Porenfeuchte ≈ 10 % geringere Wärmeleitfähigkeit des Baustoff - und geringere Raumluft-Temperatur).



Wohnraum-Temperatur:
- Rohre neben bzw. über der Seitenkante des Fertig-Fußbodens verlegen
(„Heiße Achse“ der Isothermen im Raum anordnen, so daß die bei der jeweiligen Wassertemperatur höchstmögliche Sockeltemperatur für die jeweils optimale Strahlungs- und Auftriebswirkung sorgt)