

# Lufthygiene und Klima

Ein Handbuch zur  
Stadt- und Regionalplanung

Herausgeber:  
Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI  
und DIN  
H. Schirmer, W. Kuttler, J. Löbel, K. Weber

**VDI** VERLAG

## 5.2.3 Siedlungen

### 5.2.3.1 Klimagerechtes Bauen

W. Kuttler

#### Einleitung

Schon seit frühester Zeit sucht der Mensch Schutz vor den Unbilden der Witterung in Behausungen, die in der Vergangenheit aus natürlichen, klimaverträglichen Baustoffen der jeweiligen Region bestanden. Durch die Wahl geeigneter Baumaterialien und durch die Gestaltung der Häuser paßte er sich den entsprechenden klimatischen Verhältnissen so gut wie möglich an.

Bekanntere Beispiele hierfür findet man in den verschiedenen Klimazonen charakterisierenden landschaftstypischen Hausformen. Derartig klimagerecht gebaute Häuser bieten nicht nur einen weitgehenden Schutz vor Witterungseinflüssen, sondern schaffen auch erträgliche klimatische Innenraumbedingungen; eine Voraussetzung, die insbesondere in extremen Klimazonen vielfach lebensnotwendig ist.

Heutzutage nimmt die Zahl der klimaangepaßt gebauten Siedlungen immer mehr ab, da durch die Verwendung künstlicher Baumaterialien sowie unter Einbeziehung der Klimatisierungstechnik ein von den äußeren Witterungseinflüssen weitgehend unabhängiges Innenraumklima gewährleistet werden kann.

Allerdings bewirkt der Einsatz der genannten Baustoffe und die Konzentrierung von Gebäuden, Straßen und Menschen auf engem Raum die als Stadtklima hinreichend bekannte nachteilige Veränderung des Außenklimas im mikro- und mesoskaligen Bereich.

Zur Verbesserung der klimatisch-lufthygienischen Verhältnisse in unseren Städten sind daher Maßnahmen durchzuführen, die insbesondere das einzelne Gebäude, aber auch den gesamten Stadtkörper betreffen.

Von baulicher Seite kann z.B. durch eine gute Wärmedämmung und durch die Sicherstellung einer optimalen Ausnutzung der Sonnenstrahlung zu Heizzwecken der Energieverbrauch und damit die Emissionsbelastung wirkungsvoll reduziert werden.

Wenn mit GEIGER et al. (1977, S. 304) unter klimagerechtem Bauen die Durchführung baulicher Maßnahmen verstanden wird, durch die ein Innenraumklima erreicht werden soll, "das auf wirtschaftliche Weise dem Bewohner

zuträgliche Verhältnisse garantiert", dann stellen die vorab genannten Vorschläge hierfür eine wesentliche Voraussetzung dar.

Nachfolgend soll anhand einiger Beispiele aus den mittleren Breiten auf die entsprechende Problematik näher eingegangen werden.

#### Gebäudebezogene Maßnahmen zur Erhöhung der Energieausnutzung und zur Verbesserung der thermischen Behaglichkeit

Heizwärmeverluste an Gebäuden werden in ihrer Höhe sowohl durch den Aufbau und die Art der Hauswände, durch den Anteil und die Orientierung der Fensterflächen als auch durch vorhandene Wärmebrücken bestimmt.

Da der Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert) von modernem gut isoliertem Mauerwerk mittlerweile Werte zwischen 0,5 und 0,9 aufweist, stellen Hauswände bezüglich einer guten Wärmedämmung kein großes Problem mehr dar. Dagegen verursachen Fenster die größten Wärmeverluste an einem Gebäude. Gemessen an der eingesetzten Heizenergie, beläuft sich der hierdurch nach außen abfließende Wärmestrom auf rund 40 %.

Um diese Verluste möglichst gering zu halten, bevorzugte man beim Wohnungs- und Gewerbebau lange Zeit relativ kleine Fensterflächen. Hierdurch wurde zwar der unerwünschte Wärmeabfluß eingeschränkt, gleichzeitig verhinderte man jedoch einen sich insbesondere an wolkenlosen Wintertagen ergebenden erheblichen Energiegewinn durch die Sonneneinstrahlung - ein Faktor, der nicht nur für große Bürohäuser von Bedeutung sein kann.

Seitdem jedoch großflächige Isolierverglasungen zur Verfügung stehen, ist es möglich, die Einstrahlung durch die Wintersonne für die Raumbeheizung besser auszunutzen und die durch die Fensterflächen bedingten Energieverluste zu reduzieren. Dies belegen auch die von GERTIS und HAUSER (1979) durchgeführten Untersuchungen, auf die nachfolgend Bezug genommen wird.

An einem winterlichen "wolkenlosen Idealtag" mit einer maximalen Sonneneinstrahlungsintensität von  $800 \text{ W/m}^2$  wurden für einen südexponierten Büroraum innerhalb eines größeren Bürogebäudes die Energiegewinne und -verluste ermittelt. Wie Abb. 5.2.3.1/1 zu entnehmen ist, stellt sich über die Mittagszeit ein solarer Einstrahlungsgewinn von fast  $500 \text{ W/m}^2$  ein, dem zur gleichen Zeit ein Transmissionswärmeverlust durch Fenster ( $30 \text{ W/m}^2$ ) sowie durch schweres ( $30 \text{ W/m}^2$ ) bzw. leichtes ( $5 \text{ W/m}^2$ ) Mauerwerk entgegensteht.

Nachts bzw. frühmorgens verursachen die Fensterflächen allerdings die höchsten Wärmeverluste (bis zu  $80 \text{ W/m}^2$ ).

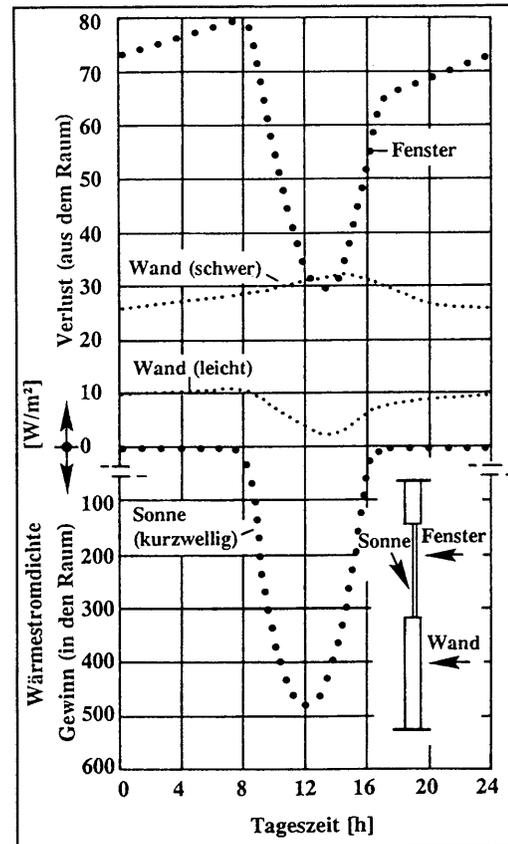


Abb. 5.2.3.1/1: Zeitverläufe der Wärmestromdichten an verschiedenen Stellen einer Fassade während eines wolkenlosen Wintertages (Büroraum inmitten eines größeren Bürogebäudes)  
 Sonne: Kurzwellige Wärmeeinstrahlung durch ein Südfenster (Doppelglas), wolkenloser Tag.  
 Fenster: Transmissionswärmeverluste durch ein Südfenster (Doppelglas)  
 Wand (schwere und leichte Außenwand): Wärmestromdichte an der Innenoberfläche einer nach Süden orientierten Wand schwerer bzw. leichter Bauart  
 Quelle: GERTIS und HAUSER (1979)

Der sich tagsüber z.Zt. der Einstrahlung einstellende Energiegewinn ist abhängig von dem jeweiligen Anteil der Fensterfläche an der Gesamtfassadenfläche.

Besteht z.B. eine südexponierte Außenwand zu 25 % aus Fensterfläche, kann ein konstantes Niveau der Raumlufttemperatur von 22 °C gehalten werden. Würde der Anteil auf 50 % erhöht, so lägen die Temperaturen während der Mittagszeit bereits über diesem Wert und führten zu einer leichten Überwärmung des Raumes. Bei einer zu 100 % verglasten Fassade stiegen die Raumlufttemperaturen schließlich bis zu 26 °C an. Diese Übertemperatur müßte dann sogar entweder durch Lüftung reduziert oder durch das Anbringen von Jalousien von vornherein vermieden werden.

Vergleicht man einmal die Energiegewinne bzw. Energieverluste, die sich durch unterschiedlich große und in verschiedenen Richtungen exponierte Fensterflächen ergeben, mit denjenigen, die für fensterlose Hausfassaden ermittelt wurden, dann zeigt sich (Abb. 5.2.3.1/2), daß bei nach Norden, Osten und Westen orientierten Fenstern die Wärmeverluste dominieren, während bei Südfenstern die Gewinne überwiegen. Räume mit nach Süden ausgerichteten Fenstern benötigen bei einem Fensterflächenanteil von 40 % nur noch 75 % der Heizenergie, die man für einen Raum aufwenden müßte, dessen Fassade fensterlos ist. Bis zu 25 % der Energie könnte somit eingespart werden. Bei diesem Wert handelt es sich jedoch um einen Idealwert, für dessen Berechnung real auftretende Strahlungseinbußen, z.B. durch baubedingte Verschattung oder Trübung der Atmosphäre durch Dunst, nicht berücksichtigt wurden.

In der Praxis muß deshalb von einem niedrigeren Energiegewinn ausgegangen werden, der nur noch etwa 15 % erreicht. Allerdings nehmen die Verluste an den nicht der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzten Wänden ab, da der Anteil der diffusen Strahlung bei trüber Atmosphäre ansteigt und somit auch zu einem Energiegewinn der nord-, ost- und westexponierten Seitenflächen führt.

Es wurde eingangs darauf hingewiesen, daß der Energieverlust durch Fenster insbesondere des Nachts groß ist. Durch das Anbringen eines nächtlichen Wärmeschutzes, z.B. in Form von Rolläden, kann ein unerwünschter Wärmeabfluß allerdings wirksam bekämpft werden. Legt man für einen derartig installierten "Wärmedeckel" einen k-Wert von  $1,2 W/(m^2 \cdot K)$  zugrunde, so zeigt sich, daß für Fenster aller Lagerrichtungen deutliche Energiegewinne zu verzeichnen sind. Im Falle der Südfenster werden bei einem Fensterflächenanteil von 40 % nur 25 % der Heizenergie benötigt, die für einen Raum aufzuwenden wäre, der hinter einer fensterlosen Fassade liegt (Abb. 5.2.3.1/3). Weitere Möglichkeiten, um unkontrollierte Wärmeabflüsse wirkungsvoll zu reduzieren, sind durch Verwendung von besonders gut isolierendem Fensterglas gegeben.

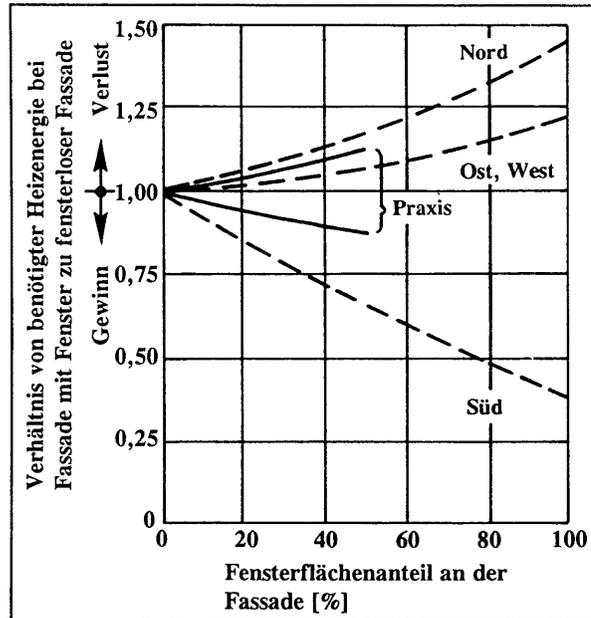


Abb. 5.2.3.1/2: Verhältnis von benötigter Heizenergie bei Fassade mit Fenster zu fensterloser Fassade in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil und von der Orientierung

Gestrichelte Kurven: wolkenloser Wintertag  
 Zugrundegelegte Daten: Doppelverglasung der Fenster (Klar-  
 glas)  
 Raum in schwerer Bauart (inmitten eines größeren Bürogebäu-  
 des)  
 Quelle: GERTIS und HAUSER (1979)

Während die Wärmeschutzverordnung von 1982 für Fensterglas noch k-Werte vorschrieb, die  $3,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  nicht überschreiten durften, erreichen heutige Isolierverglasungen mit Wärmedurchgangskoeffizienten von 1,3 bereits Dämmwerte, die denen von Mauerwerk schon sehr nahekommen.

Der gute Wärmeschutz dieser Fenster wird dadurch erreicht, daß auf der nach außen gerichteten Seite der inneren Scheibe eine dünne Silber- oder Zinnschicht aufgedampft ist, wodurch die langwellige Strahlung absorbiert, die kurzwellige

hingegen durchgelassen wird. Der Raum zwischen den beiden Scheiben ist nicht mehr mit Luft, sondern mit dem Edelgas Argon gefüllt, das nur zu  $2/3$  den Wärmeleitwert von Luft erreicht. Ein Einsatz des noch besser isolierenden

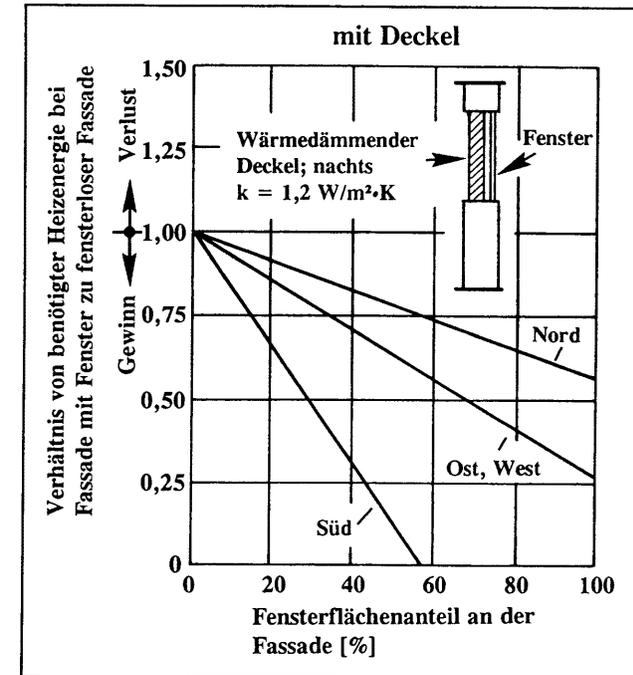


Abb. 5.2.3.1/3: Heizleistungsverhältnis in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil und von der Orientierung, wenn nachts über eine wärmedämmende Abdeckung vor dem Fenster angebracht wird.

Zugrundegelegte Daten: Doppelverglasung der Fenster (Klar-  
 glas)  
 Raum in schwerer Bauart (inmitten eines größeren Bürogebäu-  
 des). Durchschnittlicher Wintertag  
 Quelle: GERTIS und HAUSER (1979)

Kryptons (1/3 der Wärmeleitfähigkeit von Luft) scheidert zur Zeit jedoch noch an den hohen Kosten.

Werden Maßnahmen zur Wärmedämmung an Gebäuden durchgeführt, kann der Transmissionswärmeverlust durch das Mauerwerk und die Fenster auf den niedrigen Wert von etwa 20 Watt pro Quadratmeter Wohnfläche gesenkt werden (STEIMLE 1985). Allerdings nützen die besten Maßnahmen wenig, wenn durch die notwendige Raumlüftung ein Großteil der Energie für die Erwärmung der kühleren Außenluft auf Innenraumtemperaturen wieder verbraucht wird. Geht man einmal davon aus, daß eine stündliche Lüftererneuerungsrate von 0,8 erforderlich ist, dann bedeutet dies für einen 100 m<sup>3</sup> großen Raum, daß 80 m<sup>3</sup> Luft pro Stunde auf Innenraumtemperatur gebracht werden müssen. Die hierfür erforderliche Heizenergie beträgt unter "normalen" Bedingungen etwa 25 Watt pro Quadratmeter Wohnfläche (STEIMLE 1985). Da dieser Wert um 20 % größer ist als der Transmissionswärmeverlust durch Wände und Fenster, wird die Lüftungswärme zu einer dominierenden Größe bei Wärmehaushaltsberechnungen hochwärmegedämmter Gebäude.

Eine Raumlüftung sollte deshalb nicht durch das Öffnen von Türen oder Fenstern erfolgen, sondern, um Energie zu sparen, durch ein Lüftungssystem, das an eine Wärmerückgewinnung gekoppelt ist. Hierbei können Rückgewinnungsgrade bis zu 50 % erreicht werden.

Die genannten Maßnahmen führen nicht nur zu einem geringeren Heizwärmeverbrauch und dadurch zur Energieeinsparung, sondern auch zu einer Verbesserung des Innenraumklimas, da unter diesen Voraussetzungen nur noch gelegentlich die Notwendigkeit besteht, das installierte Heizungsheizungssystem in Betrieb nehmen zu müssen. Auf diese Weise kann eine gewünschte thermische Behaglichkeit in den Übergangsjahreszeiten und während des Winters in Innenräumen weitgehend sichergestellt werden.

Um auch in den Sommermonaten ein angenehmes Raumklima zu schaffen, sollte gewährleistet sein, daß die Bewohner in erster Linie vor Hitzestress geschützt werden, und zwar möglichst unter Vermeidung des Einsatzes energieverbrauchender Klimatisierungsanlagen. Als Schutz vor zu starker Sonneneinstrahlung durch großflächige Fensterflächen bieten sich z.B. Jalousien an, die an der Außenfassade angebracht werden sollten.

Da die Innenraumbehaglichkeit aber nicht nur durch die Lufttemperatur bestimmt wird, sondern insbesondere auch von den Strahlungstemperaturen der Wände abhängt, müssen auch diese vor zu hohen Oberflächentemperaturen geschützt werden.

Des Nachts, wenn sich die Bewohner überwiegend in geschlossenen Räumen aufhalten, können sich die tagsüber bei starker Einstrahlung an der Hauswand auftretenden hohen Temperaturen aufgrund des langsamen Eindringens der Wärmewelle durch das Mauerwerk als Hitzestress bemerkbar machen.

Schon durch eine helle Farbgebung der Außenfassade lassen sich im Vergleich zu einer dunklen Hauswand die Oberflächentemperaturen und damit der Wärmetransport ins Innere des Hauses wirkungsvoll senken. So läßt sich z.B. die Außenoberflächentemperatur einer Westwand (schwarzer Anstrich) an einem strahlungsreichen Sommertag von 65 °C auf unter 40 °C (weißer Anstrich) reduzieren (KÜNZEL und GERTIS 1969).

Eine weitere, darüber hinaus auch ökologisch sehr sinnvolle Möglichkeit, eine Wandüberwärmung zu vermeiden, stellt die Begrünung eines Hauses durch pflanzlichen Bewuchs dar.

Untersuchungen, die hierzu an baugleichen bewachsenen und unbewachsenen Hauswänden während sommerlichen Strahlungswetters vorgenommen wurden, belegen dies eindrucksvoll.

Es zeigte sich (Abb. 5.2.3.1/4), daß die Oberflächentemperatur an einer unbewachsenen Außenwand wesentlich höher war als an einer Fassade mit Efeubewuchs (*Hedera helix*). Auch wies letztere eine geringere Tagestemperaturamplitude auf. Die Nachtwerte an der unbewachsenen Außenwand lagen allerdings um bis zu 3 K unter denjenigen der begrünten Wand. Vergleicht man jedoch die für die thermische Behaglichkeit des Raumes wesentlich maßgeblichere Strahlungstemperatur an der Wandinnenseite, dann zeigt sich (Abb. 5.2.3.1/5), daß durch den pflanzlichen Bewuchs um 2 K niedrigere Temperaturen erreicht werden als bei einer unbewachsenen Hauswand. Darüber hinaus sind kaum Temperaturschwankungen zu beobachten und das durchschnittliche Temperaturniveau liegt im Tagesverlauf bei annähernd 21 °C, womit ein Wert erreicht wird, der dem von HÖPPE (1988) genannten "Orientierungswert für optimale Schlafraumbedingungen" entspricht.

Auch mit Hilfe einer Begrünung von Flachdächern können die klimatischen Wohlfahrtswirkungen eines Hauses nachhaltig verbessert werden, wie dies Vergleichsuntersuchungen von HÖSCHELE und SCHMIDT (1974) an einer begrünten und einer mit Kies bedeckten Dachfläche belegen.

Die hierzu durchgeführten Messungen wurden auf einer 2.200 m<sup>2</sup> großen Dachfläche vorgenommen, die zu 1.200 m<sup>2</sup> mit *Cotoneaster dammeri radicans*, *Amelanchier canadensis*, *Malus sargentii*, *Potentilla fruticosa* »Longacre«, *Pyracantha coccinea* »Bad Zwischenahn« und Polyantharosen begrünt war und zu 1.000 m<sup>2</sup> aus einer hellen Kiesauflage bestand.

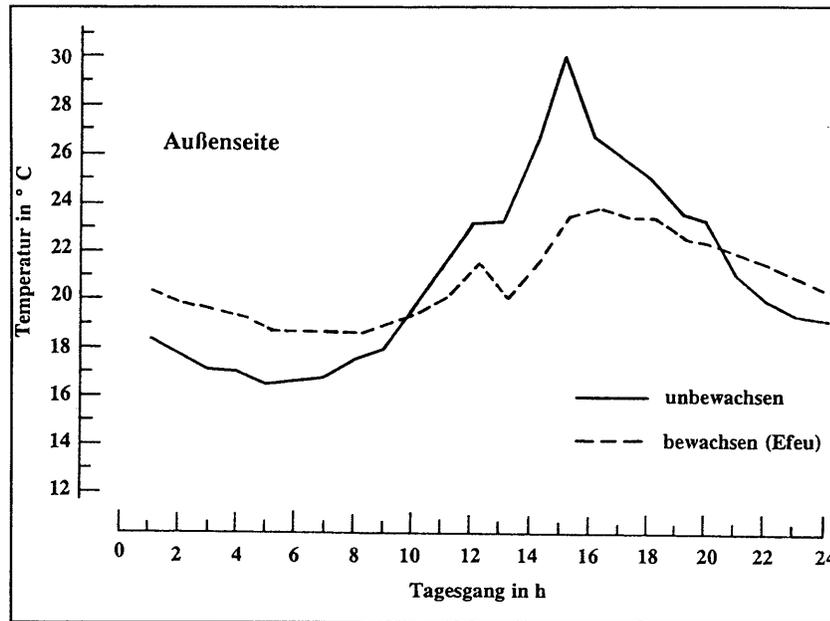


Abb. 5.2.3.1/4: Mittlerer Tagesgang der Wandoberflächentemperatur an der Außenseite (Westseite) während einer Sommerwoche (29.7.-3.8.1983)  
Quelle: BARTFELDER und KÖHLER (1987)

In Tabelle 5.2.3.1/1 sind die wichtigsten Ergebnisse für einen Sommertag und für den Jahresdurchschnitt zusammengestellt. Ergänzend ist darauf hinzuweisen, daß das begrünte Dach bei hoher Lufttemperatur beregnet wurde.

Hinsichtlich der Reflexionseigenschaften zwischen Kies- und Gründach wurde für die pflanzenbestandene Fläche ein Wert der visuellen Albedo von 0,15 und für die helle Kiesauflage ein solcher von 0,38 bestimmt. Aus der geringeren Reflexionswirkung der begrünten Fläche resultiert für die unmittelbare Umgebung eine Verbesserung des Lichtklimas im Vergleich zum Kiesdach.

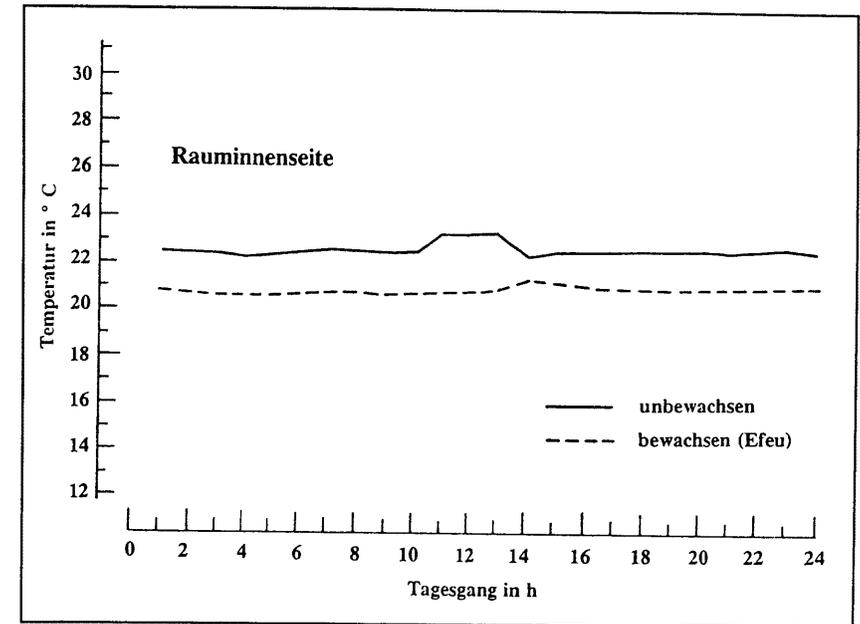


Abb. 5.2.3.1/5: Mittlerer Tagesgang der Wandoberflächentemperatur an der Innenseite (Westseite) während einer Sommerwoche (29.7. - 3.8.1983)  
Quelle: BARTFELDER und KÖHLER (1987)

Während eines warmen Sommertages wird auf der begrünten Fläche der größte Teil der Strahlungsenergie für die Verdunstung ( $585 \text{ W/m}^2$ ) aufgewendet. Mit  $85 \text{ W/m}^2$  gelangt nur ein geringer Teil über den Bodenwärmestrom ins Gebäude und - über den fühlbaren Wärmestrom - nur  $70 \text{ W/m}^2$  in die Luft. Beim Kiesdach ist zwar die kurzwellige Strahlungsbilanz aufgrund des höheren Albedowertes kleiner, aber der fühlbare Wärmestrom mit  $210 \text{ W/m}^2$  dreimal höher als beim Gründach. Auch sorgt der höhere Bodenwärmestrom bei der Kiesauflage ( $210 \text{ W/m}^2$ ) für eine stärkere Ableitung der Energie in das Gebäude. Das unterschiedliche Verhalten der Strahlungs- und Energiebilanz führt dazu, daß bei einer Lufttemperatur von  $25 \text{ °C}$  das Gründach nur eine um  $5 \text{ K}$  höhere Oberflächentemperatur erreicht, das Kiesdach hingegen einen um  $15 \text{ K}$  höheren Wert. Im Jahresmittel fallen die Unterschiede zwischen beiden Dachauflagen natürlich nicht so hoch aus. Allerdings wird nach wie vor der größte Anteil der

Tabelle 5.2.3.1/1: Abschätzung der Komponenten des Wärmehaushalts für ein begrüntes Dach (Grün) und ein Kiesdach (Kies) (Quelle: HÖSCHELE und SCHMIDT 1974)

	Sommermittag		Jahresmittel		
	Grün (feucht)	Kies (trocken)	Grün		Kies
			mit Beregnung	ohne Beregnung	
Lufttemperatur ( $d_L$ )	25	25	10	10	
Wasserdampfdruck ( $e_L$ )	16	16	10	10	
Windgeschwindigkeit	1,0	1,0	2,5	2,5	
Globalstrahlung (G)	1.000	1.000	140	140	
Albedo ( $r_k$ )	0,15	0,38	0,15	0,18	0,36
Kurzweilige Strahlungsbilanz ( $Q_k$ )	+ 850	+ 620	+ 120	+ 115	+ 90
$Q_k = (1 - r_k)G$					
Langweilige Strahlungsbilanz ( $Q_L$ )	- 110	- 200	- 50	- 55	- 60
Konvektiver Wärmeübergang (L)	- 70	- 210	- 15	- 30	- 40
Verdunstung (V)	- 585	0	- 60	- 35	- 10
Energie	0,8	0	0,086	0,050	0,014
Wassermenge	- 85	- 210	+ 5	+ 5	+ 10
Bodenwärmestrom (B)					
Bodenoberflächentemperatur ( $d_0$ )	30	40	11	11,5	12
$\delta d = d_0 - d_L$	+ 5	+ 15	+ 1	+ 1,5	+ 2

Bilanzgleichung:  $Q_k + Q_L + L + V + B = 0$   
 Negatives Vorzeichen bedeutet Energieverlust  
 Positives Vorzeichen bedeutet Energiegewinn

Strahlungsenergie beim Gründach für die Verdunstung aufgewendet, wobei für die berechnete pflanzenbestandene Dachfläche im Vergleich zur nicht berechneten ein fast doppelt so hoher Wert erreicht wird. Beim Kiesdach hingegen erfolgt der größte Teil des Energietransportes über den fühlbaren Wärmestrom, während nur ein geringer Teil für die Verdunstung verbraucht wird und damit latent in die Atmosphäre gelangt. Hieran zeigt sich sehr deutlich der Unterschied zwischen einer "versiegelten" und einer begrünten Fläche. Bei letztgenannter wird der begünstigende Einfluß einer zusätzlich erfolgenden Beregnung offenkundig.

Eine Beurteilung der klimatischen Wohlfahrtswirkung von Dachbegrünungen sollte für den Nah- und Fernbereich getrennt erfolgen. Im Nahbereich wird für eine unmittelbar an die Grünfläche angrenzende Fensterfront sowohl lichtklimatisch als auch thermoklimatisch eine Verbesserung gegenüber einem Kiesdach erzielt. Die Bepflanzung senkt die maximalen Außentemperaturen um etwa 5 K und die durch die Fenster eindringende kurzweilige Strahlung um 5 % bis 10 %. Hieraus ergibt sich für das Raumklima - bei geschlossenen Fenstern - eine um 1 K bis 2 K niedrigere Innenraumtemperatur.

Für den Fernbereich können signifikante Änderungen in bezug auf die Temperaturverminderung und die Erhöhung der Luftfeuchte, die auf ein einzelnes Gründach zurückzuführen sind, nicht belegt werden. Allerdings weisen HÖSCHELE und SCHMIDT (1974) zu Recht auf den sog. "Ansteckungseffekt" hin, wonach von einer Zunahme der stadtklimatischen Wohlfahrtswirkungen für größere Flächen dann auszugehen ist, wenn es nicht bei einer Einzelmaßnahme bleibt. Mit einer Vielzahl bepflanzter Flachdächer dürften bei Summation der Einzeleffekte die oben beschriebenen positiven klimatischen Auswirkungen auch für eine größere Stadtfläche gewährleistet sein. Bei dieser Überlegung sollte berücksichtigt werden, daß die gesamte Blattoberfläche einer Dachbegrünung die bis zu 10-fache Größe ihrer Überdeckungsfläche aufweisen kann. Bei Einsatz spezieller, für Dachbegrünungen geeigneter Pflanzen, kann sogar eine Blattoberfläche erreicht werden, die etwa 100 mal so groß ist wie die Dachfläche. Eine positive Auswirkung auf das Stadtklima könnte schon erwartet werden, wenn rund 10 % aller Gebäudeflächen entsprechend begrünt wären.

Um eine wirksame Verbesserung des klimatisch-lufthygienischen Wirkungskomplexes in unseren Städten zu erzielen, sollten die vorgenannten Maßnahmen Hand in Hand gehen mit Planungsempfehlungen für das gesamte Stadtgebiet. Dazu zählen z.B. die Auflockerung bebauter Flächen durch verdunstungsaktive Freiflächen und die Schaffung bzw. Erhaltung von Ventilationsbahnen zur Förderung des Luftaustausches zwischen Stadt und Umland.

**Literatur**

- Bartfelder F, Köhler M (1987) Experimentelle Untersuchungen zur Funktion von Fassadenbegrünung. Dissertation, TU Berlin
- Geiger W, Gertis K, Schäfer U, Valko P (1977) Klimagerechtes Bauen. Interdisziplinäre Zusammenarbeit am konkreten Beispiel. Die Bautechnik 9, S 304-312
- Gertis K, Hauser G (1979) Energieeinsparung infolge Sonneneinstrahlung durch Fenster. KI Klima + Kälte - Ingenieur 3, S 107-111
- Höppe P (1988) Bewertung des Einflusses des Stadtklimas auf das Raumklima. In: Ahrens D, Mayer H (Hrsg) (1988): Fachtagung "Umweltmeteorologie" München 1988. Münchener Universitäts-Schriften, Fakultät für Physik, Nr 61, S 88-98
- Höschele K, Schmidt H (1974) Klimatische Wirkungen einer Dachbegrünung. Garten und Landschaft, 6, S 334-337
- Künzel H, Gertis K (1969) Thermische Verformung von Außenwänden. Betonstein-Zeitung 35, S 528-535
- Steimle F (1985) Das hochwärmedämmte Haus als Voraussetzung neuer Heiztechnologien. Das Bauzentrum, H 3, S 6-13.