

HAWK - HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE  
WISSENSCHAFT UND KUNST

*Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer*

Baukonstruktion und Bauphysik in der Fakultät Bauwesen in Hildesheim

**Vorlesungsskripte zur Bauphysik  
Masterstudium**

Stadtbauphysik

## 1 Einleitung

### 1.1 Kurzeinführung in die Meteorologie

### 1.2 Begriffsdefinitionen

Wetter - ist der Zustand und die Änderung der unteren Atmosphäre an einem Ort

- Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Wind
- Strahlung, Wolken, Niederschlag, Sicht
- Beispiel: Gewitter, Nebel bei Inversion

Wetterlage – ist die räumliche Zusammenfassung des Wetters

Witterung – ist der Wetterablauf mehrerer Tage

Klima - ist der mittlere Ablauf des Wetters über Jahrzehnte:

- charakteristischer Ablauf der Witterung
- Niederschlagsmenge/a, Sonnenscheindauer, etc.
- gilt für ein Gebiet  $\Rightarrow$  typische Fauna, Flora
- Beispiel: Mediterran, kontinental

### 1.3 Atmosphäre

Ist eine Lufthülle, entstanden durch Ausgasen des Gesteinsmaterials, die die Erde umgibt. Sie erzielt eine Schutzfunktion vor ultravioletter Strahlung und Meteoriten.

Zusammensetzung:

- Stickstoff (N<sub>2</sub>): 78,08 %
- Sauerstoff (O<sub>2</sub>): 20,95 %
- Argon (Ar): 0,93 %
- Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>): 0,033 %
- Neon, Helium, Methan, Wasserstoff, Ozon, Radon: < 0,1 %

- Vertikale Gliederung:

- bis 12 km: Troposphäre
- bei 12 - 18 km: Tropopause
- bis 50 km: Stratosphäre
- bis 90 - 100 km: Mesosphäre
- darüber: Thermosphäre

In der Troposphäre spielt sich das gesamte Wetter ab. In ihr nehmen die Temperaturen von unten nach oben mit 6,5 K/km ab. Hierbei ist vertikale Temperaturänderung 200 mal größer als die Temperaturänderung mit der geographischen Breite. In den untersten 0,3 bis 3 km existieren die größten Veränderungen des vertikalen Temperatureaufbaus.

- 0 km: 5 - 15 °C
- 10 km: - 50 °C
- Vergleich 20 km: - 56 °C

Es nimmt die Dichte der Luft nach oben ab.

- 9/10 der Atmosphärenmasse in den ersten 16 km

- 99 % in den untersten 30 km

## 1.4 Luftbewegung und Wind

Windgeschwindigkeiten und Beaufort-Skala:

Beaufort-Skala	Bezeichnung	Windgeschwindigkeit	
		[m/s]	[km/h]
0	Windstille	0 - 0,2	0 - 0,7
1	schwacher Wind	0,9	3,2
2	leichte Brise	2,5	9,0
3	schwache Brise	4,4	15,8
4	mäßige Brise	6,7	24,1
5	frische Brise	9,3	33,4
6	starker Wind	12,3	44,3
7	steifer Wind	15,5	55,8
8	stürmischer Wind	19,0	68,4
9	Sturm	22,6	80,6
10	schwerer Sturm	26,6	95,8
11	orkanartiger Sturm	30,6	110,2
12	Orkan	34,8	125,3
13	Wirbelstürme	39,2	141,1
14	Wirbelstürme	43,8	157,7
15	Wirbelstürme	48,6	175,0
16	Wirbelstürme	53,5	192,6
17	Wirbelstürme	> 56	> 201

Entstehung horizontaler Luftbewegungen:

- Ausgleich zwischen kalten und warmen Luftmassen,
- kalte Luft strebt nach Süden, warme nach Norden,
- Coriolis-Kraft lenkt die Strömung ab.

Entstehung vertikaler Luftbewegungen:

- horizontaler Wind wird durch Berge abgelenkt,
- warme Luft steigt auf

Luftbewegung ist unterschiedlich räumlich verteilt:

- großräumige Strömungssysteme (z.B. Jetstream)
- kleinräumig (z.B.: Aufsteigende Luft über einer Stadt)

## 1.5 Wasserdampf, Kondensation, Wolken

Nebel- oder Wolkenbildung ist eine Folge von:  
kondensierendem Wasserdampf (Taupunkttemperaturunterschreitung)

Gründe für Abkühlung:

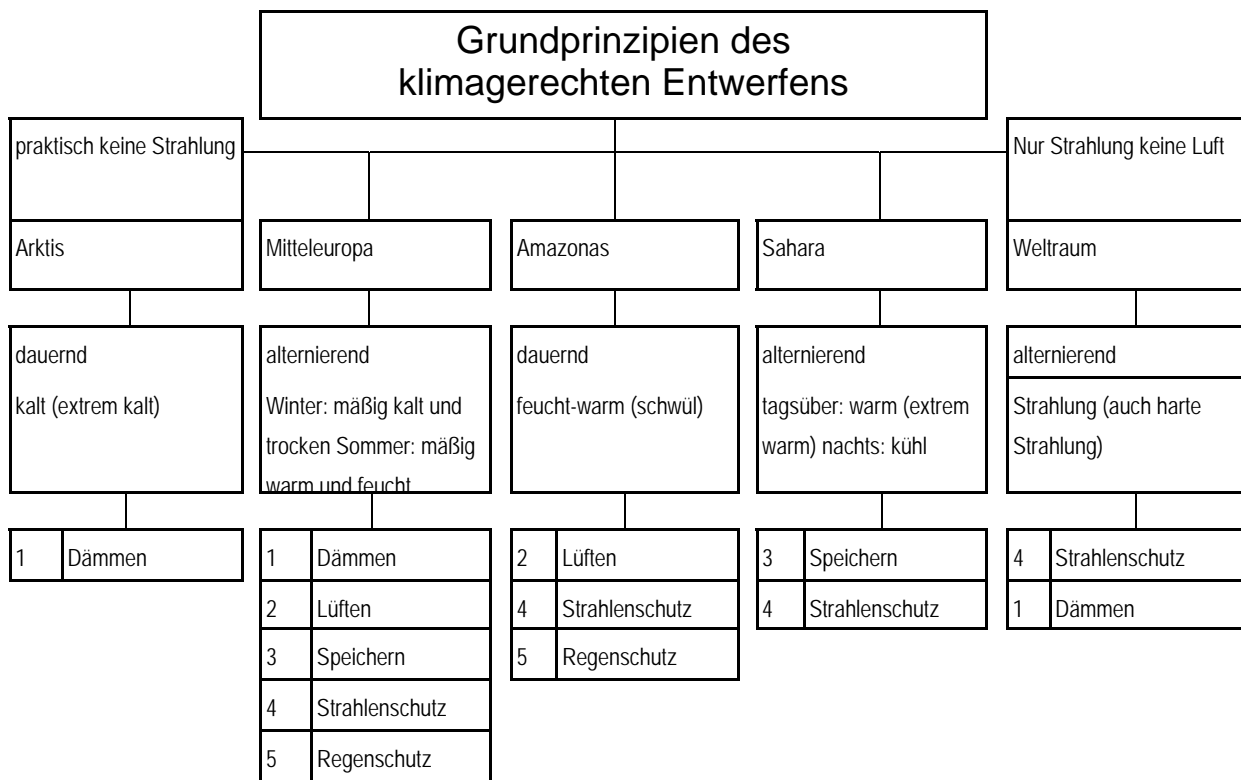
- warme Luft trifft auf kalte oder v.v. ⇔ meteorologische Fronten
- aufsteigende Luft kühlt ab, Wolkenbildung ab Kondensationshöhe:
  - Konvektion: Gewitter
  - Hebung: Bergnebel
- nächtliche Abstrahlung (vgl. Inversion):
  - Strahlungsnebel
  - Tau

1.6 Klimagerechtes Bauen

Bauphysik ist eine der wenigen technischen Disziplinen, die nicht einfach einem Technologietransfer von einem Land in ein anderes unterworfen werden darf. Die Klimabedingungen eines Landes erfordern eigene bauphysikalische Konzeptionen zur Gewährleistung der Funktionssicherheit und der Behaglichkeit von Gebäuden.

Großräumig kann man die Erde in vier Klimagebiete einteilen:

- kalte bzw. extrem kalte Gebiete wie die Antarktis, weite Bereiche von Kanada, Grönland und Sibirien sowie die Tibet-Hochebene
- gemäßigte Gebiete wie Mitteleuropa, Gebiete der Vereinigten Staaten und Asiens
- trocken-warme Gebiete wie in Afrika, im Vorderen Orient und in Australien
- feucht-warme Gebiete wie in Mittel- und Südamerika, Afrika und auf den indonesischen sowie melanesischen Inseln



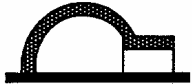
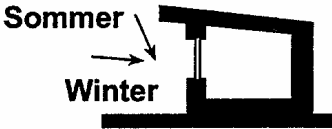

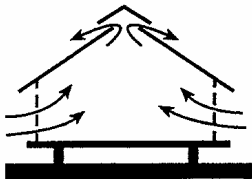
Schematische Darstellung der Grundprinzipien klimagerechten Bauens. Die bauphysikalisch richtige Reak-

tion ist jeweils im unteren Teil des Bildes wiedergegeben

Die Anforderungen der einzelnen Klimazonen erfordern eine angepasste Bautechnologie, d.h.

- erforderliche Maßnahmen müssen in den Entwurf und in die Konstruktion von Gebäuden eingehen
- in kalten Klimagebieten sind Gebäude mit minimaler Oberfläche und gut gedämmten Bauteilen (vgl. der traditionelle Iglu der Eskimos) richtig
- gemäßigttes Klima erfordert guten Wärmeschutz und passive Solararchitektur
- in trocken-warmen Klimagebieten werden massive Bauteile und geschlossene Bauformen benötigt, d.h. die Speicherfähigkeit der Massivbauteile soll so groß sein, damit die tagsüber eingestrahlte Sonnenenergie zur Temperierung der Räume während der Nacht bereitgehalten werden kann, die relativ kühl sein kann
- Bauteile in feucht-warmen Gebieten dürfen keine Speicherfähigkeit besitzen, hier sind leichte Bauteile ohne Wärmespeicher- und Wärmedämmvermögen einzusetzen, die gut durchlüftet werden

Die Grundprinzipien klimagerechten Bauens stellen so die „Reaktion des Planers und Konstrukteurs dar, mit der er auf die lokale Klimavorgabe antworten muss. Die Bauentwürfe müssen diesen verschiedenen Klimabeanspruchungen am Standort konsequent Rechnung tragen. Wichtig ist, neben der Art der Klimabeanspruchung, vor allem ihr Zeitcharakter. Dies bedeutet, dass die jeweiligen Klimaeinflüsse dauernd gleich bleibend wirken oder sich alternierend verhalten.

<b>Kalt</b>		<b>Minimale Oberfläche Hochgedämmt</b>
<b>Gemäßigt</b>		<b>Passive Solarenergienutzung Wirtschaftlich optimaler Wärmeschutz Sonnenschutz im Sommer</b>
<b>Trocken-warm</b>		<b>Geschlossener Innenhof mit Wasser (Verdunstung) Speichernde Bauteile Kleine Fenster außen, große verschattete Öffnungen innen</b>
<b>Feucht-warm</b>		<b>Extrem leichte Bauteile (Nicht dämmend, nicht speichernd) Aufgestellter Bau (Regen, Durchlüftung) Vorgezogener Sonnen- und Regenschutz Große Lüftungsquerschnitte</b>

Schematische Darstellung geeigneter Gebäudeentwürfe für die einzelnen Klimagebiete

In den einzelnen Klimagebieten kann mit bauphysikalischen Mitteln das Innenraumklima weitgehend so gestaltet werden, dass komfortable Verhältnisse entstehen. Wenn bauliche Maßnahmen allein nicht mehr zum gewünschten Erfolg führen, müssen diese sinnvoll mit Maßnahmen des technischen Ausbaues ergänzt werden. Bauliche Maßnahmen sollten jedoch den Vorrang haben und die Installationstechnik nur im unbedingt erforderlichen Umfang eingesetzt werden. In folgender Tabelle ist dargestellt, in welcher

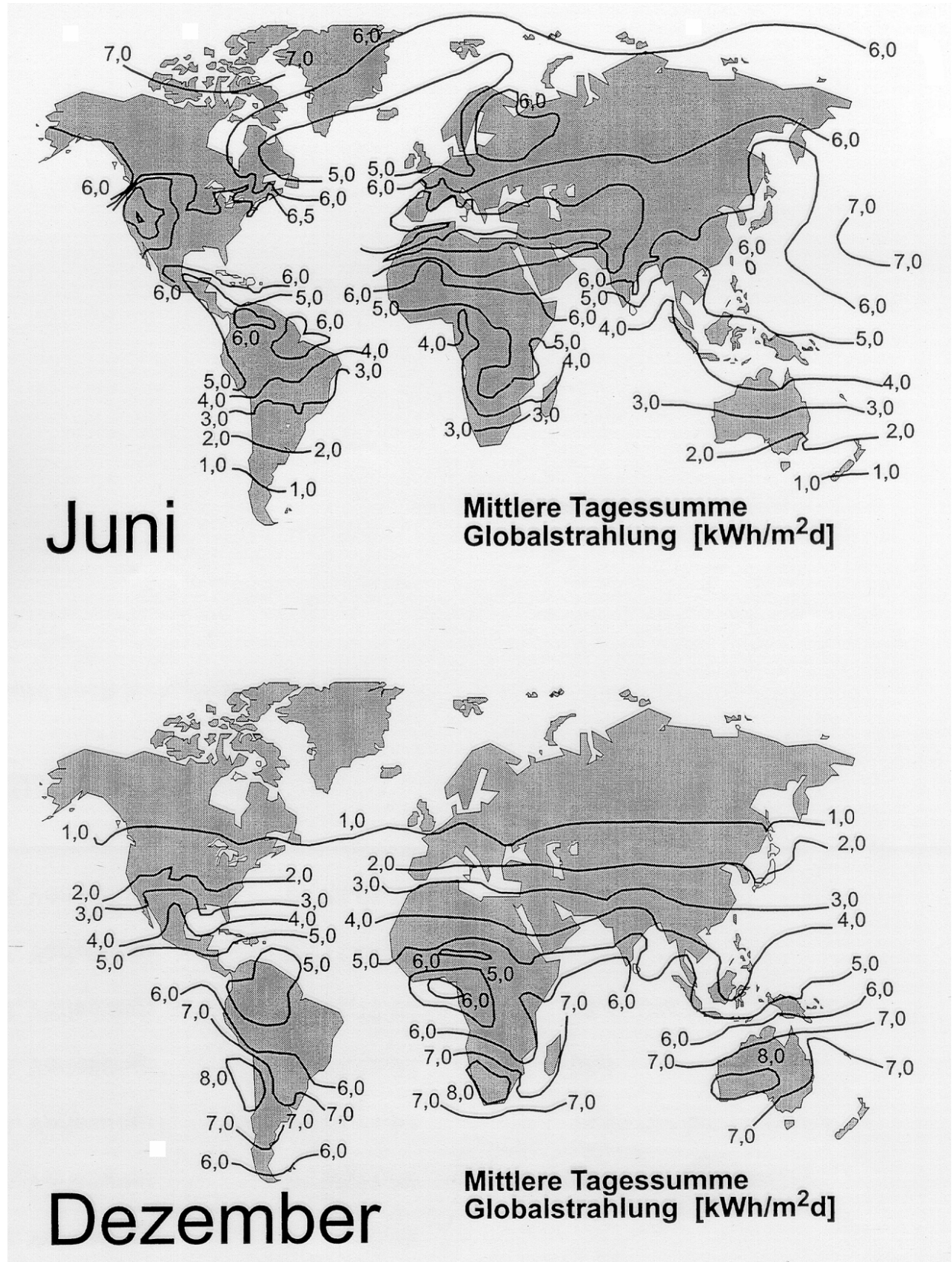
Größenordnung der Durchgriff des Außenklimas auf das Innenklima allein mit baulichen Maßnahmen verändert werden kann. Hierbei kann allein durch eine sinnvolle Gestaltung der den Raum umhüllenden transparenten und nicht transparenten Flächen kann die Einwirkung der Sonnenstrahlung bis zu 90 % verhindert werden. Durch ungünstige bauphysikalische Maßnahmen kann die Amplitude der Raumluft sich auf das Ein- einhalbfache der Außenluft einstellen, d. h. man ist im Raum einer stärkeren Temperaturbelastung ausgesetzt als außen.

#### Bereiche des Einflusses des Außenklimas auf das Innenklima (Raumklima)

Klimaelement	Bereich der raumseitig spürbaren Schwankung
Sonneneinstrahlung auf nicht transparente Außenbauteile	15 % bis 90 % der absorbierten Strahlung
Sonneneinstrahlung auf Fensterflächen	10 % bis 90 % der Außenlufttemperaturamplitude
Amplitude der Raumlufttemperatur	10 % bis 150 % der Außenlufttemperaturamplitude
maximale Raumlufttemperatur	- 10 K bis + 10 K gegenüber der maximalen Außenlufttemperatur
minimale Raumlufttemperatur	0 K bis + 7 K gegenüber der maximalen Außenlufttemperatur
durchschnittliche Luftgeschwindigkeit innen (Fenster geöffnet)	15 % bis 60 % der äußeren Windgeschwindigkeit
lokale Luftgeschwindigkeit innen	10 % bis 120 % der äußeren Windgeschwindigkeit
Dampfdruck der Raumluft	0 Pa bis 1000 Pa über dem äußeren Dampfdruck

- um die bauphysikalisch richtigen Maßnahmen für das Klimagebiet des Standortes zu treffen, müssen folgende für das klimagerechte Entwerfen erforderlichen meteorologischen Daten verfügbar sein:
  - **tages- und jahreszeitliche Schwankungen:**
    - der **Außenlufttemperatur**
    - der **Sonneneinstrahlung**
    - der **Außenluftfeuchte**

- Häufigkeiten der **Windgeschwindigkeit** und der **Windrichtung**
- jährliche **Niederschlagshäufigkeit**
- **Datenbeschaffung** erfolgt durch:
  - **örtliche Wetterstationen** (z.B. nächstgelegener Flughafen)
  - **eigene Messungen**
- dabei bereitet die Information über die **Sonneneinstrahlung** fast immer **Probleme**, da nicht nur weltweit, sondern selbst innerhalb Europas erhebliche Unterschiede der Sonneneinstrahlung vorhanden sind

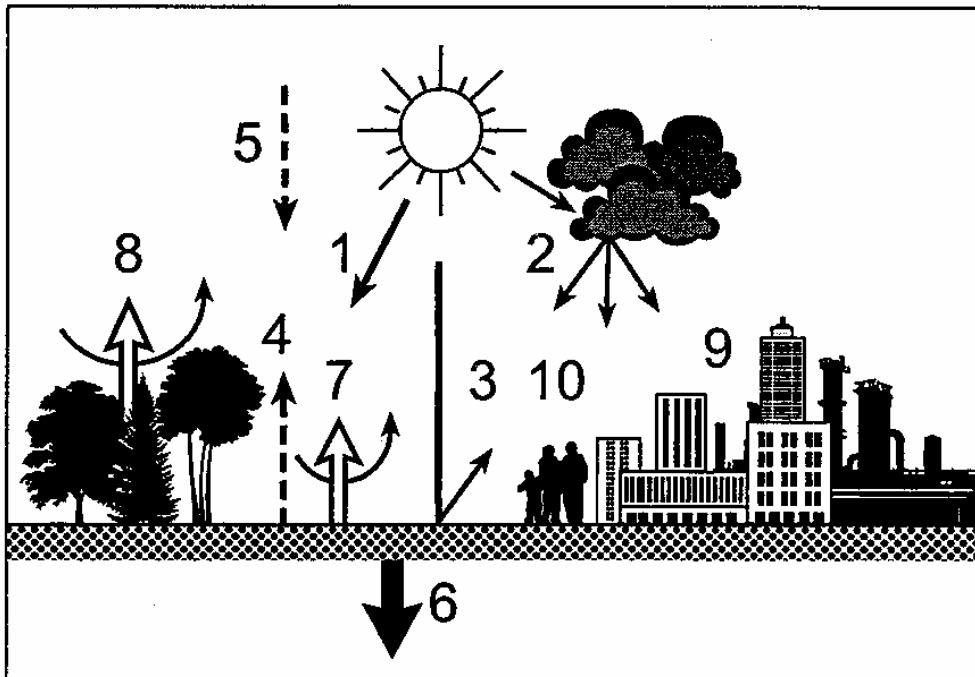


Linien gleicher mittlerer Tagessumme der Globalstrahlung aller gebiete der Erde für die Monate Juni (oben) und Dezember (unten)



### 3 Städtische Energiebilanz

- zur Beurteilung der bauphysikalischen Auswirkungen der sich in der bodennahen atmosphärischen Grenzschicht abspielenden Effekte auf die einzelnen Gebäude, kann die sog. **städtische Energiebilanz** aufgestellt werden



- 1 Direkte kurzwellige Sonneneinstrahlung
- 2 Diffuse kurzwellige Sonneneinstrahlung
- 3 Reflektierte kurzwellige Sonneneinstrahlung
- 4 Langwellige Emission
- 5 Langwellige Gegenstrahlung der Atmosphäre
- 6 Bodenwärmestrom
- 7 Luftwärmestrom
- 8 Latenter Wärmestrom (Verdunstung)
- 9 Künstliche Wärmequellen
- 10 Natürliche Wärmequellen

Schematische Darstellung der **Energieübertragungsvorgänge** in der **bodennahen atmosphärischen Grenzschicht**

- der absorbierte **Strahlungsanteil** berechnet sich aus der kurzwelligen Sonneneinstrahlung und der **Albedo** der absorbierenden Flächen:

$$I_k = (1 - a) I \quad [W/m^2] \quad (8-1)$$

$$I_k: \quad \text{absorbierte kurzwellige Strahlung} \quad [W/m^2]$$

I:	kurzwellige Sonneneinstrahlung	[W/m <sup>2</sup> ]
a:	Albedo	[-]

- die **effektive langwellige Strahlung** ist gleich der absorbierten langwelligen Gegenstrahlung der Atmosphäre abzüglich der emittierten langwelligen Strahlung der Oberfläche:

$$I_1 = I_L - I_0 \quad [\text{W/m}^2] \quad (8-2)$$

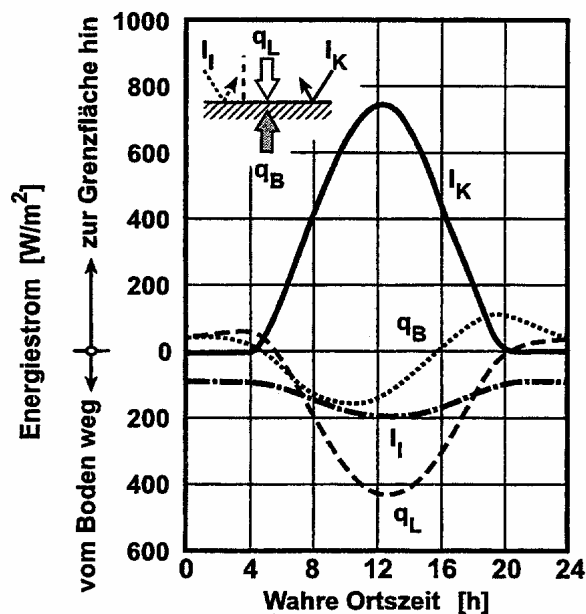
I <sub>1</sub> :	effektive langwellige Strahlung	[W/m <sup>2</sup> ]
I <sub>L</sub> :	absorbierte langwellige Gegenstrahlung der Atmosphäre	[W/m <sup>2</sup> ]
I <sub>0</sub> :	emittierte langwellige Strahlung der Oberfläche	[W/m <sup>2</sup> ]

- Damit lautet die **thermische Bilanz des Gebietes**:

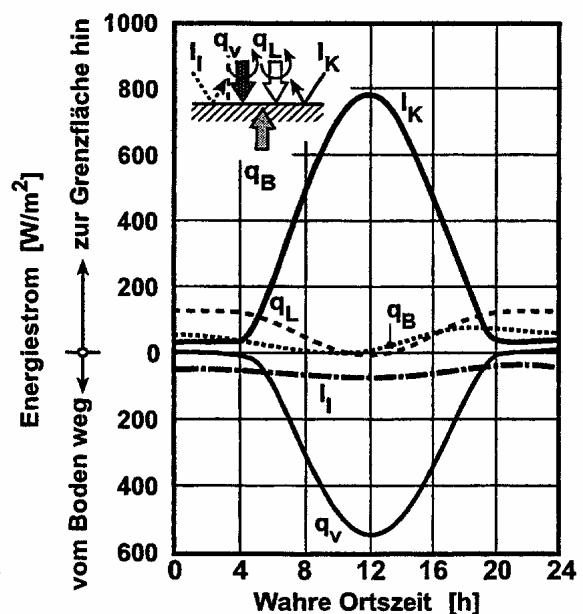
$$q = I_k + I_l + q_L + q_B + q_v + q_a = 0 \quad [\text{W/m}^2] \quad (8-3)$$

q:	thermische Bilanz des Gebietes	[W/m <sup>2</sup> ]
I <sub>k</sub> :	absorbierte kurzwellige Strahlung	[W/m <sup>2</sup> ]
I <sub>L</sub> :	absorbierte langwellige Gegenstrahlung der Atmosphäre	[W/m <sup>2</sup> ]
q <sub>L</sub> :	Luftwärmefluß	[W/m <sup>2</sup> ]
q <sub>B</sub> :	Bodenwärmefluß	[W/m <sup>2</sup> ]
q <sub>v</sub> :	Verdunstungswärmefluß	[W/m <sup>2</sup> ]
	beinhaltet die freiwerdende latente Wärme durch den Massenstrom von den verdunstenden Oberflächen	
q <sub>a</sub> :	Wärmeabgabe der natürlichen bzw. künstlichen Wärmequellen	[W/m <sup>2</sup> ]

## Trocken



## Feucht



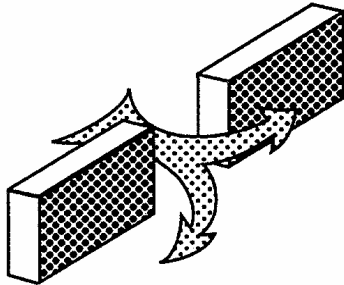
Tageszeitliche Verläufe verschiedener Energieflüsse im Boden und in der bodennahen Atmosphäre bei links trockener, rechts regennasser Oberfläche während eines strahlungsreichen Sommertages.

- die tageszeitlichen Verläufe der **Energieflüsse** in **trockenem Erdreich** und in den darüberliegenden atmosphärischen Luftschichten sind in obigem linken Bild dargestellt:
  - die Energieflüsse, die zur Oberfläche hin gerichtet sind, die also einen Beitrag zur Temperaturerhöhung dieser Fläche liefern, sind positiv gezeichnet
  - man erkennt, daß tagsüber praktisch nur diese kurzwellige Sonneneinstrahlung zur Erwärmung der Grenzfläche beiträgt
  - die konvektive Wärmeabgabe an die Luft und die Wärmeleitung in die tieferen Bodenschichten wirken „oberflächenkühlend“.
  - in der Nacht kehren sich die Richtungen dieser Energieflüsse um; lediglich die langwellige Strahlungsübertragung führt auch tags zur Kühlung des Bodens
- die geschilderten Wärmeübertragungsvorgänge werden vollkommen verändert, wenn **Feuchtephänomene** mit im Spiel sind (obiges rechtes Bild):

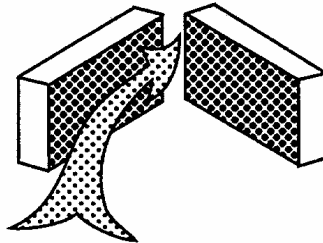
die Rolle der im trockenen Fall vorhandenen konvektiven Wärmeübertragung  $q_L$  an die Luft übernimmt bei feuchter Grenzfläche der latente Wärmestrom  $q_v$

#### 4 Gebäudeaerodynamik

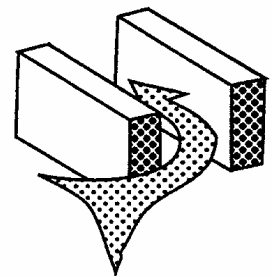
### Lückeneffekt



### Düseneffekt



### Umlenkeffekt

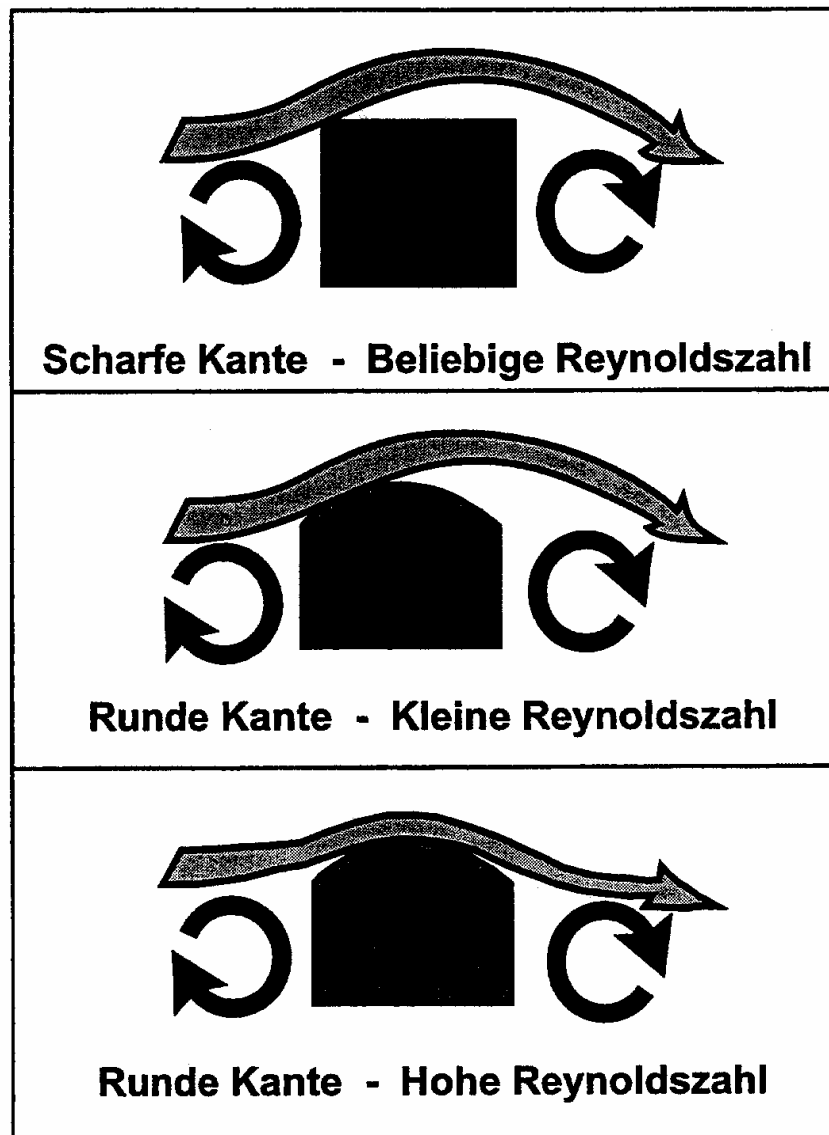


Typische Effekte auf die Windströmung infolge Gebäudeanordnung

- Wichtige **aerodynamische Auswirkungen von Bauwerksanordnungen** sind in obigem Bild schematisch erläutert:
  - bei Gebäudeanströmung entsteht generell auf der **Luvseite** ein Überdruck, auf der **Leeseite** ein Unterdruck
  - bei versetzt stehenden Hochhäusern wird die Luft von der Vorderseite des einen Gebäudes zur Rückseite des anderen Gebäudes angesaugt, d.h. die Strömung wird beschleunigt und senkrecht zur ursprünglichen abgelenkt: „**Umlenkeffekt**“
  - der sog. „**Lückeneffekt**“ ergibt sich immer dann, wenn Gebäude in einer Reihe stehen und einen kleinen Stirnflächenabstand besitzen; dabei überlagern sich die Abrißströmungen an den jeweiligen Seitenkanten. Die ohnehin um Ecken erhöhte Bodengeschwindigkeit wird noch verstärkt.
  - für stumpf aneinanderstoßende Gebäude ergibt sich ein **düsenartiger Effekt**; der sich verkleinernde Gebäudeabstand begrenzt die Strömung auf einen immer engeren Raum, die Stromlinien drängen sich zusammen, die Windgeschwindigkeit

wird stark beschleunigt

- je nach Anordnung von Häusern und Gebäuden werden die **Windgeschwindigkeiten**:
  - stellenweise bis zum Dreifachen der natürlichen Windströmung **erhöht** oder
  - an anderen Stellen, auf ein Viertel bis Drittel **reduziert**



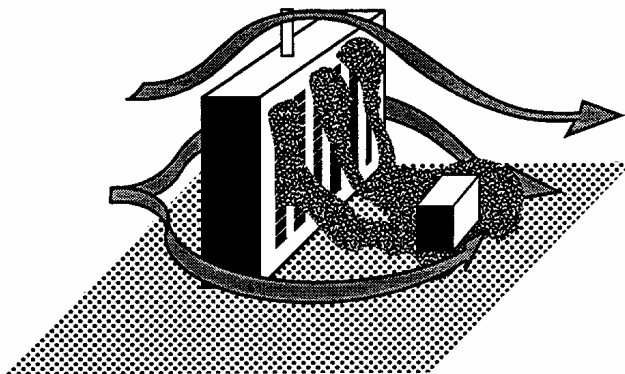
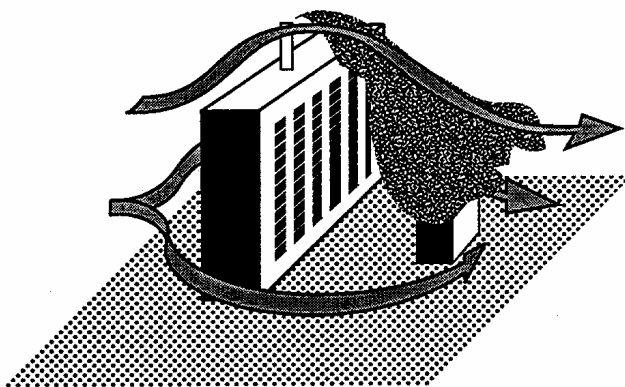
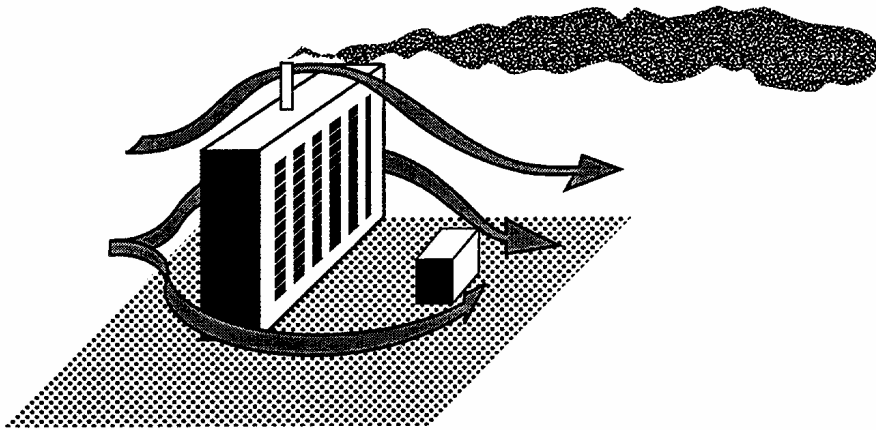
Schematische Darstellung der Abhängigkeit der Lage des Ablösepunktes von der Gebäudeform.

- kritisch in Bezug auf hohe Geschwindigkeiten sind **Ecken und Kanten von Häusern**; dabei ist vor allem auf den Fußgänger- bzw. Eintrittsbereich zu achten (Gefahr für Passanten)
- zusätzlich führen diese Gebiete infolge ihrer erhöhten **Windgeschwindigkeit** zu verstärktem **Wärmeaustausch** mit der Umgebung:
  - dies beeinflusst die Auslegung und den Betrieb von Heizungsanlagen

- Klagen über unbehagliche Temperaturverhältnisse in Wohnungen mit Ecklage an windreichen Wintertagen sind bekannt
- ändert man die **Dachform des Gebäudes**, so verlagert sich der **Ablösepunkt** der über das Dach geführten **Strömung** (vgl. obiges Bild)
- die Verstärkung der Windgeschwindigkeit muß nicht immer schädlich sein:
  - ein **mangelnder Luftaustausch** führt gerade in den Ballungsgebieten zur Anreicherung von Schadstoffen aus Rauch- und Abgasquellen
  - eine **Verbauung** quer zur Strömungsrichtung durch geschlossene Häuserreihen am Stadtrand sollte vermieden werden
  - **Lücken** sind nur dann hilfreich, wenn durch versetzte Häuserzeilen die Strömung nicht abgelenkt wird
  - wünschenswert sind **parallel angeordnete Häuserzeilen**, die den Wind nicht sperren, sondern ihn im gewollten Sinne verstärken
  - ebenso ist eine lockere Hochhausbebauung der Stadtperipherie aus diesem Gesichtspunkt vorteilhaft

es muß daher im allgemeinen ein sinnvoller Kompromiß zwischen den (unerwünschten) **Zugeffekten** und der (erwünschten) **Zufuhr an Frischluft** gefunden werden

- **Luftverschmutzungsprobleme:**
  - existieren nicht nur bei Schwachwindsystemen
  - eine **Unterdruckzone** führt Luft aus großen Höhen zum Boden und umgekehrt Bodenluft zu den einzelnen Stockwerken; Luftverunreinigungen, die sich in dieser Zone befinden oder dort entstehen, können dann nur sehr langsam durch turbulente Schwankungen daraus entfernt werden
- die **lokale Schadstoffbelastung** kann auch bei starken Windverhältnissen extreme Werte annehmen; man sollte dieser Frage daher insbesondere bei Hochhausbauten verstärkt Aufmerksamkeit schenken.

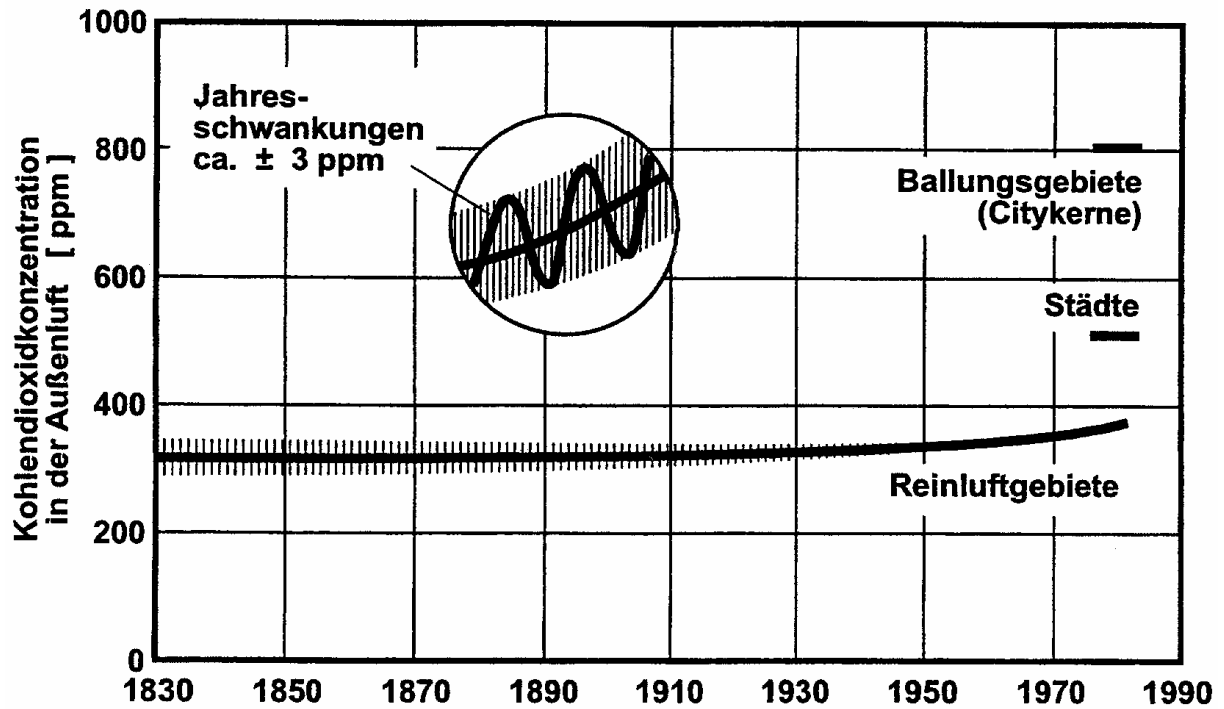


Auswirkung der Strömung um ein Gebäude auf die Verteilung der Emissionen von Kleinf Feuerungsanlagen in Wohngebieten:

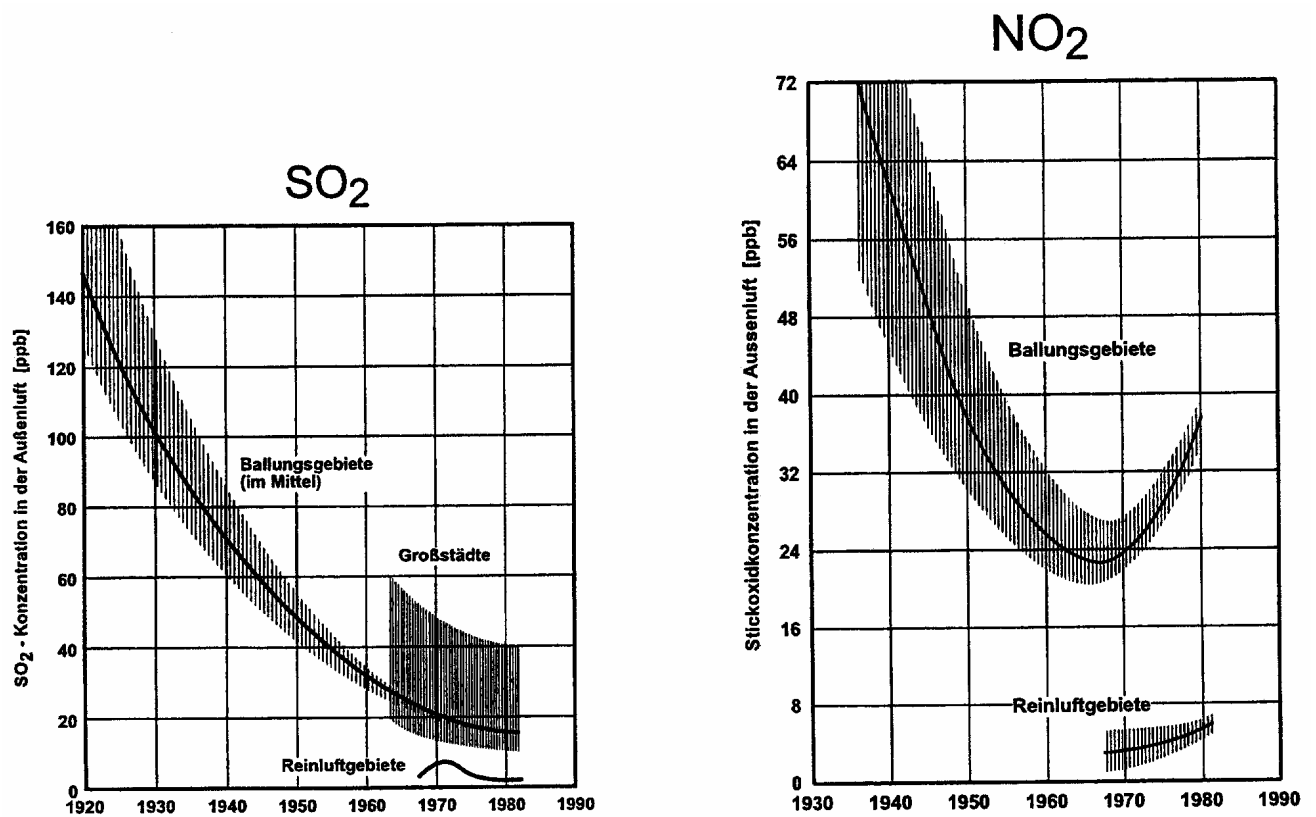
- in der oberen Abbildung werden die Schadstoffe weit oberhalb des Unterdruckgebietes emittiert, der Boden erhält Frischluft und an der Fassade strömt die Luft von der Grünfläche hoch
- in der Situation bei der mittleren Darstellung sammeln sich Schadstoffe, infolge zu geringer Emissionshöhe des Schornsteins, nahe des Bodens an; die Bewohner des kleinen Hauses erleiden erhebliche Belastungen
- umgekehrt kann - wie im unteren Fall - auch Schadstoffemission vom Boden (z.B. auch Verkehrsabgase) die Fassade des Hochhauses hochgeführt werden.
- die Schadstoffkonzentration wird in den letzten beiden Fällen besonders groß, weil sie im Unterdruckgebiet praktisch „gefangen“ ist und nur sehr schlecht entweichen kann

## 5 Städtische Emissionen

- der **Einsatz** jeglicher **Energieformen** zeitigt gewisse **ökologische Auswirkungen** auf die Umwelt:
  - in bezug auf die in der **Außenluft** und im **Niederschlag** vorhandenen **Immissionen**
  - sowie auf die an Atmosphäre bzw. Geosphäre abgegebenen **Emissionsstoffe**, die allerdings nicht in jedem Fall Schadstoffe für den Menschen zu sein brauchen
- Immissionen und Emissionen rühren nicht nur von energetischen Prozessen her, vielmehr ist das gesamte Industrie- und Lebenssystem daran beteiligt
- es ist schwierig, die heizenergetischen Einflüsse daraus herauszulösen und für sich darzustellen:
  - bei **Immissionsbetrachtungen** ist dies quantitativ praktisch unmöglich, weil aufgrund von atmosphärischen Transportvorgängen Vermischungen und großräumige Verfrachtungen stattfinden
  - dennoch haben sich zwischen Ballungs- und Reinluftgebieten deutliche Konzentrationsunterschiede herausgebildet
- unter **Reinluftgebieten** versteht man ländliche Gebiete, die dünn besiedelt sind und überwiegend landwirtschaftlich genutzt werden.
- **Ballungsgebiete** dagegen sind belastete Zonen, d. h. städtisch verdichtete Gebiete mit großem Verkehrs- und Industrieaufkommen sowie dichter Wohnbebauung
- unter den emittierten Spurenstoffen gibt es solche, die die menschliche Gesundheit unmittelbar beeinflussen und solche, die dem Menschen primär nicht schaden, aber für die Natur und den geophysikalischen Raum unserer Umwelt Nachteile mit sich bringen:
  - beispielsweise ist ein steigender **CO<sub>2</sub>-Gehalt der Außenluft** bis zur sogenannten „Pettenkofergrenze“ von 1000 ppm für den Menschen zunächst nicht gesundheitsschädlich, hingegen sind nachteilige Veränderungen des Klimas bzw. der Biosphäre zu erwarten
  - ähnlich verhält es sich mit der fallenden **Ozonkonzentration in der Atmosphäre**
  - die **Spurenstoffe** Ozon (O<sub>3</sub>), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Staub weisen deutliche Unterschiede zwischen Ballungs- und Reinluftgebieten auf
- beim **langzeitlichen** Verlauf des **Kohlendioxidgehaltes** in der Außenluft ergibt sich eine deutlich steigende Tendenz bis in die Gegenwart und zwar sowohl in Reinluft- als auch in Ballungsgebieten; dies ist auf die steigenden Emissionen beim Abbrand von Kohle, Öl und Gas (Abfackeln!), auf die Reduktion der „Biosenke“ durch Abholzen größerer Waldflächen der Erde sowie auf die intensivere Bodenbearbeitung und auf die Trägheit der ozeanischen Wassermassen als CO<sub>2</sub>-Senke zurückzuführen



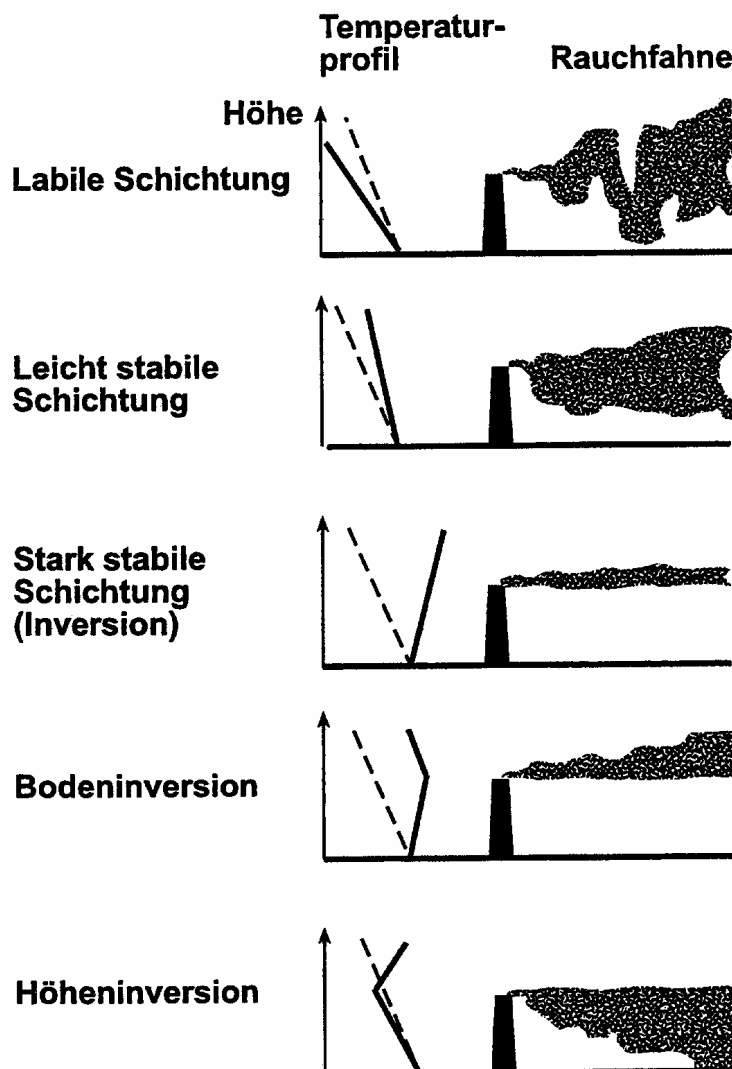
Langzeitlicher Verlauf der Kohlendioxidkonzentration in der Außenluft von Reinluft- und Ballungsgebieten der nördlichen Hemisphäre; die Schraffur gibt die Meßtoleranzen und die Streubereiche wieder.



Langzeitlicher Verlauf der Schwefeldioxid- (links) und Stickoxidkonzentration (rechts) in der Außenluft von Reinluft- und Ballungsgebieten. Die Schraffur gibt die Meßtoleranzen und Streubereiche wieder.



- in den Ballungsgebieten spielen insbesondere die **Feuerungsanlagen** und der **Verkehr** eine große Rolle (vgl. obige Bilder):
  - bei der **Schwefeldioxidkonzentration** sind Ballungsgebiete stärker belastet als Reinluftgebiete
  - trotz dieser Tendenz können in Großstädten dennoch fallweise höhere Gehalte vorhanden sein
  - bemerkenswert ist der  $\text{SO}_2$ -Anstieg in Reinluftgebieten während der Jahre 1967 bis 1973; dies dürfte auf die Wirkung der „hohen Schornsteine“ zurückzuführen sein, die aus den Ballungsgebieten - bevor dort Begrenzungsmaßnahmen ergriffen wurden - großräumig Schwefeldioxid „verteilt“ haben
- der Verlauf des **Stickoxidgehaltes** in obigem Bild zeigt, daß Ballungsgebiete in der Vergangenheit stark belastet waren. Die Belastung geht bis Ende der 60er Jahre auf ca. 24 ppb zurück und steigt dann vor allem wegen der Verkehrszunahme in den Ballungs- und Reinluftgebieten wieder an



Schematische Darstellung zu den Temperaturverteilungen über die Höhe und zum Schadstofftransport bei verschiedenen Wetterlagen.

- die **heizungsbedingten Emissionen** im Winter in Ballungsgebieten tragen zu Umweltgefahren bei; das haben die bisher gegebenen **Smogalarmsituationen** gezeigt. Sie treten auf, wenn sich über den Ballungsräumen **austauscharme Inversionswetterlagen** ausbilden (vgl. obiges Bild)
- die **labile**, d. h. günstige **Schichtung** (oben im Bild), bei der ein Schadstoffaustausch möglich ist, wird dadurch charakterisiert, daß die Temperatur der Luft oberhalb der Ballungsgebiete stärker nach oben abnimmt, als es dem sog. Adiabatenprofil entspricht
- ist die Abnahme schwächer, dann treten **stabilere Luftsituationen** auf, die in bezug auf die Abfuhr der emittierenden Schadstoffe ungünstig sind
- dreht sich das Temperaturprofil gar um (**Inversion**), dann ergeben sich vollstabile Situationen, die keinen Austausch mehr aufweisen:
  - der „Kaltluftsee“ bleibt unten liegen
  - die Inversion kann am Boden oder in der Höhe auftreten

während solcher Wettersituationen ist in Ballungsgebieten keinerlei Emission erwünscht; Beschränkungen von Verkehr oder Industriebetrieben sind äußerst schmerzlich. Wenn die Raumbeheizung durch Energiesparmaßnahmen, d. h. durch „Nichtverbrauch“, die Emissionen reduziert, wirkt dies zur Winterzeit für die Ballungsgebiete sehr entlastend

- **Hausbrandemissionen** aus **Kleinf Feuerungsanlagen** können in Ballungsgebieten auch während austauschfreudiger, windreicher Tage in mikroklimatischer Hinsicht bedenklich sein:
  - vgl. Darstellung der Auswirkung der Strömung um ein Gebäude auf die Verteilung der Emissionen von Kleinf Feuerungsanlagen in Wohngebieten
  - man kann die **Schadstoffbelastung** der **Luft** erheblich reduzieren, indem man den **Energieverbrauch** auf ein notwendiges **Minimum** reduziert
  - Energieeinsparung bei Wohnungsbeheizung und Reduzierung der heizungsbedingten Emissionen sind die Aufgaben der Bau- und Heizungstechnik
  - während Maßnahmen an technischen Anlagen meist nur die Vorortemissionen reduzieren, wirken die Maßnahmen des baulichen Wärmeschutzes auf das Gesamt-emissionsspektrum; d.h. sie helfen z. B. auch Emissionen zu reduzieren, die in Großfeuerungsanlagen entstehen
  - eine **sinnvolle Energieeinsparung** ist aber dann gegeben, wenn die sowohl anlagentechnischen als auch wärmeschutzbedingten Maßnahmen optimal aufeinander abgestimmt sind