

Thorsten Schütze  
Wolfgang Willkomm

## **KLIMAGERECHTES BAUEN IN EUROPA**

**Planungsinstrumente für klimagerechte, energiesparende  
Gebäudekonzepte in verschiedenen europäischen Klimazonen**

Forschungsvorhaben der Fachhochschule Hamburg  
im fachbereichsübergreifenden Forschungsschwerpunkt  
"Planungsinstrumente für das umweltverträgliche Bauen"  
der Fachbereiche Architektur und Bauingenieurwesen,  
**Abschlussbericht, März 2000**

# INHALT

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1. | Einleitung  | 3  |
| 2. | Grundlagen des klimagerechten Bauens                    | 4  |
| 3. | Daten und Planungsinstrumente                           | 25 |
| 4. | Ausgewählte Klimadaten Europas                          | 36 |
| 5. | Klimaorientierte Gebäudetypen und Bauelemente in Europa | 52 |
| 6. | Planungsanforderungen und Checklisten                   | 74 |
|    | Anhang  | 84 |
|    | - Abbildungsquellen                                     |    |
|    | - Literatur   |    |

## 1. EINLEITUNG

Die **Ausgangsbasis** der vorliegenden Arbeit bildet folgender Zusammenhang: Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Reduzierung sind unbestrittene Herausforderungen für die weitere Entwicklung der menschlichen Gesellschaft. Sie sind möglicherweise entscheidend für ihr Überleben. Am Gesamtenergieverbrauch hat die Beheizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser- und Stromversorgung von Gebäuden einen hohen Anteil. Deshalb können Einsparungen in diesem Bereich einen sehr wirksamen Beitrag zur Lösung des Gesamtproblems leisten. Einige solcher Einsparungen sind zwar durch technische Optimierungen an Geräten und Anlagen erreichbar, sie werden aber erst dann besonders wirksam, wenn sie auf der Basis eines klimagerechten Gebäudes erfolgen. Dessen Konzeption bedarf nicht primär neuer Techniken, sondern einer intelligenten Planung, welche die Zusammenhänge zwischen lokalem Klima und Energieverbrauch genau kennt und im Gebäudeentwurf umsetzt.

Die **Methode** dieses anwendungsorientierten Forschungsvorhabens besteht in der zusammenfassenden Analyse und Darstellung der über lange Zeit entwickelten Grundlagen des klimagerechten Bauens für Orte verschiedener Klimazonen und in der Kombination dieser alten Grundstrategien (z.B. Wärmespeicherung, Wärmedämmung, passive Solarenergienutzung, Querlüftung, Beschattung) mit aktuellen Entwicklungen in den Bereichen Entwurf, Konstruktion, Material- und Energietechnik. Dieser integrative Ansatz soll ökonomische Vorteile - denn entwerferische Intelligenz und Kenntnis erzeugt keine zusätzlichen Kosten - mit innovativer Kreativität verbinden, um eine Sensibilisierung für die jeweiligen besonderen Chancen des Standortes und für das behutsame Einbinden neuer Techniken in eine charakteristische Architektur an diesem Standort zu erreichen. Die heute bereits vorhandenen wichtigsten Analyse- und Planungsinstrumente zur Unterstützung des klimagerechten Bauens werden vorgestellt

und in einen systematischen Zusammenhang mit den Standortbedingungen und der Gebäudenutzung gebracht.

Das **Ziel** dieser Arbeit ist eine Planungshilfe für das Studium und die Berufstätigkeit von Architekten und Ingenieuren. Diese soll in kurzer, leicht handhabbarer Zusammenfassung eine bessere Transparenz des Klimaverhaltens von Gebäuden in Abhängigkeit vom Standort und der Nutzung bieten. Sie soll wesentliche Unterschiede in den Anforderungen und Lösungsmöglichkeiten verschiedener Standorte in Europa aufzeigen. Sie wird dazu Hinweise auf die verfügbaren Daten und Planungsinstrumente geben und durch Checklisten ein systematisches Vorgehen in der Planung erleichtern. Damit ist die Hoffnung verbunden, dass heutige und zukünftige Planer im gemeinsamen Europa eine bessere Berufsqualifikation erhalten, um energiesparende Gebäude in einer dem klimatisch und kulturell geprägten Ort entsprechenden Architektur mit unkomplizierter, nutzerfreundlicher Technik zu günstigen Kosten entwickeln zu können.

Diese Planungshilfe ist eher qualitativer als quantitativer Natur. Sie soll keine Simulationsprogramme, Solardiagramme u.ä. ersetzen, sondern vor allem die Basis liefern, auf der die ersten Entwurfsansätze bereits klimagerecht konzipiert werden können. Erst diese Basis einer guten Kenntnis der ortseigenen Chancen und Alternativen ermöglicht den sinnvollen Einsatz der meisten vorhandenen Planungsinstrumente zur weiteren Optimierung.

## 2. GRUNDLAGEN DES KLIMAGERECHTEN BAUENS

Seit die Menschen Gebäude zu ihrem Schutz errichteten, war der Einfluss der klimatischen Bedingungen am jeweiligen Standort an der Konzeption und Form der Bauten ablesbar. Zu Zeiten, als umfangreiche technische Einrichtungen zur Erzeugung eines vom Außenklima unabhängigen Raumklimas noch nicht zur Verfügung standen, waren klimagerechte Bauweisen mit einer Nutzung der positiven und einer Milderung der negativen Klimaeinflüsse die einzige Möglichkeit, für den menschlichen Organismus erträgliche raumklimatische Bedingungen zu schaffen. Deshalb bietet die traditionelle Architektur in jeder Klimazone ein großes Reservoir geeigneter baulicher Konzepte und Maßnahmen zur Steuerung des Raumklimas durch selektive Nutzung von Außenklimateilfaktoren.

Jahrhundertlang wurden Bauformen und Bauarten den jeweiligen klimatischen Gegebenheiten bestens angepasst. Für die alten Baumeister war es selbstverständlich, bei der Planung von Gebäuden die unterschiedlichen jahreszeitlichen Zyklen von Sommer und Winter, Tag und Nacht sowie die Einflüsse von Sonne, Wind und Niederschlägen zu berücksichtigen.

Ein Blick auf die traditionellen Bauweisen zeigt, dass sich aus geographisch-klimatischen Verhältnissen und lokalen Gegebenheiten spezielle Haustypen und Gebäudekonstruktionen entwickelten. Die Menschen verstanden es, durch Kenntnis und richtige Handhabung klimatischer sowie physikalischer Gesetzmäßigkeiten bei einem Minimum an zugeführter Energie hinreichend behaglich zu wohnen.

Beispiele für klimagerechte, traditionelle Gebäude sind die gut durchlüfteten Pfahlbauten in tropisch-feuchtwarmen Regionen, die fensterarmen, massiven Lehmbauten mit flachem Dach in trocken-heissen Klimazonen, Bauernhäuser im alpenländischen Raum mit flachge-

neigtem, weit überkragendem Dach ebenso wie Bauernhäuser der nördlicheren Küstenregionen mit wesentlich steilerem, tiefgezogenem Dach, das dem Wind möglichst wenig Angriffsfläche bietet. Die Iglus der Eskimos sind mit ihrem optimalen Verhältnis von kühler Gebäudeoberfläche zu warmem Innenvolumen und z.T. Tunnelzugängen als Wärmeschleuse ein vorbildliches Beispiel für klimagerechtes Planen und Bauen bei extremen Bedingungen.

Solche traditionellen Gebäudekonzepte können in der heutigen industriellen Gesellschaft mit ihrer komplexen Organisation und z.T. ihren großstädtischen Ballungsräumen nicht einfach nachgeahmt werden. Sie zeigen jedoch eine Entwurfsgrundlage, mit der die Auseinandersetzung sich lohnt, um bei der Entwicklung des Planungskonzeptes die Voraussetzungen für ein gutes raumklimatisches Funktionieren ohne aufwendige Sekundärtechnik oder zumindest mit reduziertem Energieverbrauch für diese Technik zu schaffen. Deshalb werden zu den nachfolgend beschriebenen Klimazonen und ihren baulichen Anforderungen auch die jeweiligen traditionellen Strategien und Gebäudetypen erläutert.

### 2.1 Klimafaktoren

Unter dem Begriff "Klima" wird hier in Anlehnung an Lexikondefinitionen und einfachere, wissenschaftliche Erläuterungen das für einen längeren Zeitraum typische Zusammenwirken atmosphärischer Zustände und Witterungsvorgänge an der Erdoberfläche in dem für einen Ort oder ein Gebiet (Klimazone) charakteristischen Verlauf verstanden. Das typische Klima einer Region ist also vom Zusammenwirken verschiedener Faktoren abhängig.

Für die Konzeption von Gebäuden, die als Hauptfunktion dem Schutz von Menschen vor ungünstigen Witterungseinflüssen dienen, haben vor allem folgende Klimafaktoren eine besondere Bedeutung:

- die Sonnenstrahlung (direkt und diffus)
- die Lufttemperatur und ihre kurz- und längerfristigen Schwankungen (Tag/Jahr)
- die relative Luftfeuchte (in Abhängigkeit von der Lufttemperatur)
- die Luftbewegungen (Stärke und Richtung)
- die Niederschläge (Mengen und zeitliches Auftreten)

Eine einfache räumliche Einteilung des Klimas unterscheidet in "Makroklima" und "Mikroklima", gelegentlich wird zur weiteren Differenzierung dazwischen noch ein Bereich als "Mesoklima" bezeichnet.

Das **Makroklima** oder "Großklima" wird durch großräumige Bedingungen, wie der Lage einer Region nach Breitengraden und im Zusammenhang mit den kontinentalen Landmassen und den Ozeanen bestimmt. Da das Makroklima als weitgehend unveränderlich durch einzelne Baumaßnahmen angesehen werden kann, stellt es den übergeordneten Rahmen für das klimagerechte Planen und Bauen dar.

Das **Mikroklima** oder "Kleinklima" hängt von den lokalen Bedingungen eines Standortes und seiner unmittelbaren Umgebung ab. Dazu gehören die Vegetation, die Nachbarbebauung und die Lage am Hang, im Tal oder in der Ebene. Das Mikroklima ist durch landschaftsgestaltende und durch bauliche Maßnahmen zu beeinflussen. Seine Auswirkungen auf Gebäude und damit auf das Raumklima können in erheblichem Umfang gesteuert werden.

Das Raumklima oder Gebäudeklima setzt sich aus allen bioklimatischen Faktoren im Inneren und im direkten Umfeld des Gebäudes zusammen und ist für das menschliche Wohlbefinden in und an diesem Gebäude

von ausschlaggebender Bedeutung. Das Raumklima ist ein direktes Resultat des Entwurfskonzeptes und baulicher Maßnahmen, sei es im Zusammenhang mit technischen Anlagen zur Klimatisierung oder auch ohne solche Anlagen.

## 2.2 Klimazonen und bauliche Anforderungen

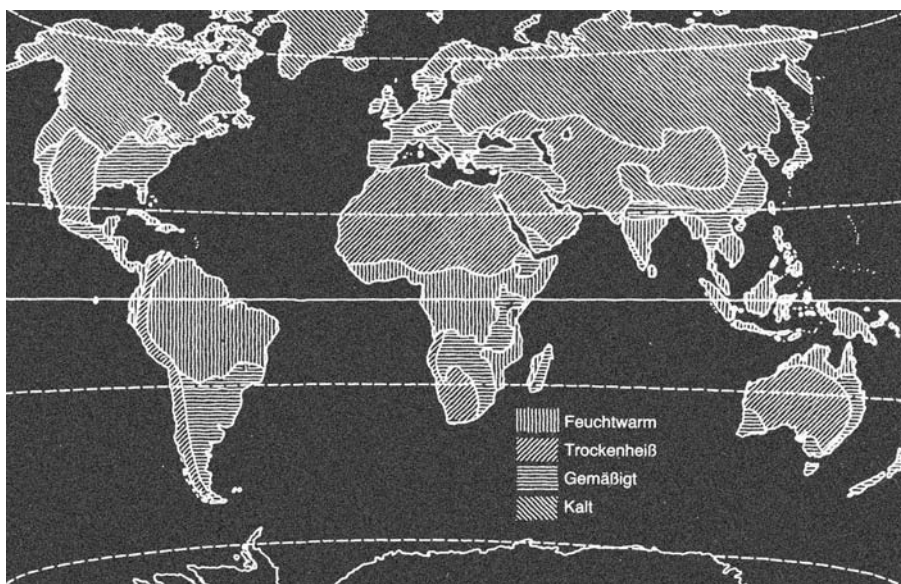
Zum besseren Gesamtverständnis sollen - trotz der Schwerpunktsetzung dieser Arbeit auf europäische Klimazonen - kurz die Hauptklimazonen der Erde mit ihren wesentlichen baulichen Grundanforderungen beschrieben werden. Im Sinne einer überschaubaren Darstellung, die vor allem der Verdeutlichung wichtiger Unterscheidungsmerkmale dient, soll dabei eine übliche, vereinfachte Gliederung vorgenommen werden in:

- feuchtwarme Klimazonen
- trockenheisse Klimazonen
- gemäßigte Klimazonen
- kalte Klimazonen.

Unter Vernachlässigung der besonderen, modifizierenden Einflüsse aus der Höhenlage eines Ortes, aus der jeweiligen Verteilung der Land- und Wassermassen in der Region oder aus speziellen Windverhältnissen (z.B. Monsunklima) liegen diese Klimazonen in der genannten Reihenfolge vom Äquator ausgehend zu den beiden Polen hin in ungefähr parallelen Gürteln um den Erdball. Die beiden ersten Klimazonen liegen zwischen dem nördlichen und südlichen Wendekreis (griechisch "tropikos") und werden als Tropen bezeichnet.

Mit zunehmendem Abstand zum Äquator schließen sich daran die gemäßigten Klimazonen an, zu denen die meisten Länder Europas gehören, und die kalten Klimazonen, zu denen die nördlicheren skandinavischen Regionen gehören. In den gemäßigten Klimazonen werden die den Tropen am nächsten gelegenen, wärmeren Zonen zuweilen als subtropisch bezeichnet.

Karte 1  
Hauptklimazonen der Erde



Die "humiden", **feuchtwarmen Klimazonen** liegen vorwiegend in der Nähe des Äquators. Zu ihnen gehört z.B. das Amazonasgebiet und auch weite Bereiche Süd- und Mittelamerikas, Zentralafrikas und Südasiens. Wegen der teilweise ähnlichen Voraussetzungen für die Konzeption von Gebäuden können hier die Monsunklimazonen Indiens, Hinterindiens und des nördlichen Australiens mit eingeschlossen werden.

Die dominierenden **Klimafaktoren** der feuchtwarmen Klimazonen sind:

- hohe relative Luftfeuchte (60 bis 100 %)
- hohe Niederschlagsmengen (1200 bis 2000 mm/a, im Extrem bis 5000 mm/a)
- geringere tägliche und jährliche Temperaturunterschiede (im Tagesdurchschnitt ca. 7 K, im Jahresdurchschnitt ca. 5 K)
- höchste Tages-Lufttemperaturen im Jahresdurchschnitt ca. 30 °C
- niedrigste Nacht-Lufttemperaturen im Jahresdurchschnitt ca. 25 °C
- hohe Bewölkungshäufigkeit, d.h. hoher Anteil diffuser Strahlung
- bei wolkenlosem Himmel hohe, ansonsten meist durch Bewölkung gemäßigte direkte Sonnenstrahlung

- niedriger Luftdruck
- oft nur geringe Luftbewegung, bei Regenfällen jedoch z.T. Sturmböen
- regionales Vorkommen tropischer Wirbelstürme (Zyklone, Taifune, Hurricans)

Für Baustoffe, die in größerem Umfang Feuchtigkeit aufnehmen, kann Schimmelpilz und der häufige Wechsel von Sonneneinstrahlung und Niederschlägen mit starkem Quellen und Schwinden der Materialien zu vorzeitiger Alterung bzw. Zerstörung führen. Sowohl für die Bausubstanz als auch für die sie umgebenden Aussenanlagen stellen die teilweise mit Stürmen auftretenden, heftigen Regenfälle ein Problem dar.

Die **baulichen Grundanforderungen** an klimagerechte Bauweisen in feuchtwarmen Klimazonen sind:

- Entlastung des menschlichen Organismus vom ungünstigen Einfluss aus Wärme und Luftfeuchte (Schwüle) durch Nutzung von Luftbewegungen zur Unterstützung der Wärmeabgabe über Hautverdunstung
- Schutz von Gebäuden und Bauteilen vor direkter Sonnenbestrahlung und unerwünschter Wärmespeicherung durch Beschattung, Baukörperform und -orientierung

- Schutz von Bauteilen vor Dauerdurchfeuchtung durch gute kontrollierte Regenwasserab-  
leitung und gute Belüftung

Eine klimagerechte Gebäudeplanung in humiden Regionen sollte immer die Nutzung der Luftbewegung zur Reduzierung der Wärme- und Feuchtebelastung von Gebäuden, Menschen und Waren in den Entwurfsprozess einbeziehen. Eine Anlage des Baukörpers mit der Längsachse quer zur vorherrschenden Windrichtung und mit einer geringen Gebäudetiefe in der Hauptdurchlüftungsrichtung kann merklich zur Verbesserung des Raumklimas beitragen.

Eine wirkungsvolle Ausnutzung der natürlichen Luftströmungen kann z.B. durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Querlüftung durch gegenüberliegende Gebäudeöffnungen
- Geringe Gebäude- oder Raumtiefe in Durchlüftungsrichtung
- Orientierung der Lufteintrittsöffnungen zur vorherrschenden Windrichtung während der schwülen Jahres- oder Tageszeiten
- Beschattung der Außenflächen vor den Lufteintrittsöffnungen

- Vermeidung von Durchlüftungsbarrieren im Gebäudeinneren
- Ausnutzung des Kamineffektes zur Warmluftabfuhr
- Anordnung windleitender Elemente im Außenraum (Mauern, Hecken, Bäume)
- Aufständigung von Gebäuden
- Einfügung von offenen Luftgeschossen in Geschossbauten

Die in den feuchtwarmen Klimazonen im Allgemeinen hohen Niederschlagsmengen haben bei den traditionellen Bauweisen oft zu geneigten Dächern mit weiten, die Fassade schützenden Dachüberständen geführt, die auch für moderne Bauten eine klimagerechte Lösung darstellen können.

Auch für eine klimagerechte Ausführungsplanung ist die Nutzung von Luftbewegungen in feuchtwarmen Regionen ein wesentlicher Faktor. Hierbei kommt es insbesondere auf Maßnahmen zum Schutz der Gebäudehülle vor starker Erwärmung an und auf den Einsatz dafür geeigneter Konstruktionen und Baumaterialien.

Die Wärmebelastung eines Gebäudes sinkt bei der Verwendung möglichst allseitig von Luft umströmter Bauteile. Deshalb sind gut hinterlüftete Wandaufbauten und



*Bild 1  
Eine einfache Schutzkonstruktion im tropisch-feuchtwarmen Küstenklima Mexicos mit maximaler Durchlüftung und Hängematten zur Ausnutzung der Luftbewegungen, welche eine Wärmeabgabe des menschlichen Körpers über Hautoberflächen-Verdunstung erleichtern*

Bild 2

Ein aufgeständerter Pfahlbau im feuchtwarmen Klima Paraguays, der in einem sporadischen Überschwemmungsgebiet hochliegende Aufenthaltsräume und eine große, überdeckte Verandah bietet



mehrschalige Dächer für humide Klimazonen besonders geeignet. Wenn sie zudem aus leichten, wenig speicherfähigen Baustoffen bestehen, ist ein schneller Abtransport der aufgenommenen Wärme durch Luftbewegung gewährleistet.

Die Forderung nach geringer Wärmespeicherfähigkeit, d. h. geringer Masse und nach wirkungsvoller Durchlüftung der Räume hat bei den traditionellen Bauweisen in feuchtwarmen Ländern oft zu luftdurchlässigen Wandaufbauten mit geflochtenen Matten aus Palmenblättern, Schilf, Gräsern oder Bambus geführt. Allgemein können für die Gebäudehülle Materialien mit geringer spezifi-

scher Wärmekapazität und hoher Wärmeleitfähigkeit als geeignet angesehen werden.

Eine umlaufende Wärmedämmung im Wand- und Dachaufbau sollte nur bei künstlich klimatisierten Gebäuden vorgesehen werden, da sie bei natürlicher Klimatisierung mit überwiegend gleichen Raumtemperaturen wie beschatteten Aussentemperaturen auch zu einem Wärmestau im Gebäudeinneren führen kann. Lediglich für die Dachflächen mit der Hauptstrahlungsbelastung kann eine Wärmedämmung auch im humiden Klima Vorteile bringen.

Bild 3

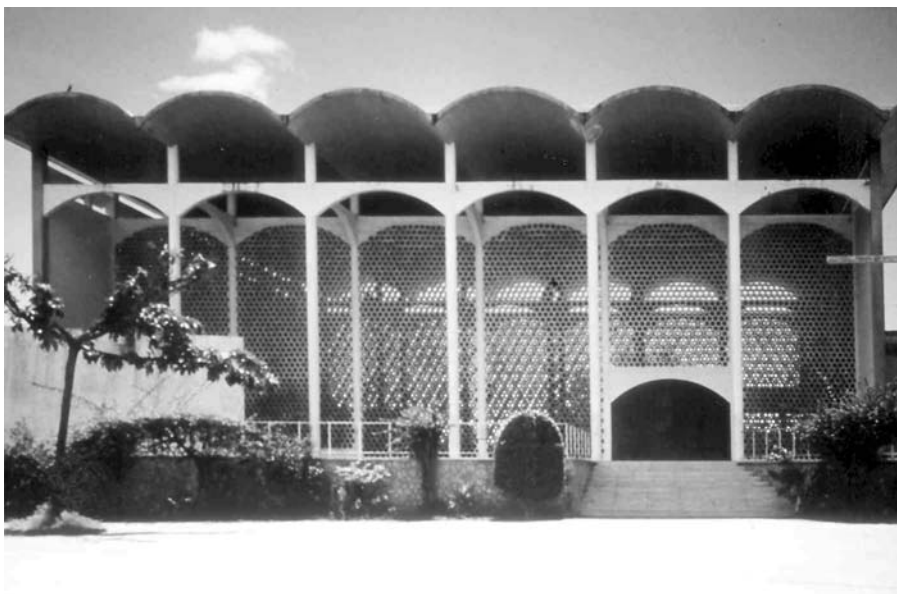
Mehrgeschossige Bauten mit großen Fensteröffnungen und steilen Dächern im Monsunklima der ostafrikanischen Inseln (Lamu, Zanzibar u.a.)





Bild 4

*Optimal durchlüfteter Kirchenbau im feuchtwarmen Küstenklima Tanzanias mit großen Dachüberständen und kürzeren, geschlossenen Ost- und Westfasaden gegen tiefstehende Sonne*



Für belüftete Dachkonstruktionen gelten in humiden Klimazonen erhöhte Anforderungen an die Ausbildung der Luftschichten. Zunächst ist eine ausreichende Luftbewegung durch entsprechend große Lufteintritts- und Luftaustrittsöffnungen zu gewährleisten. Diese Öffnungen sind jedoch besonders sorgfältig gegen Ungeziefer zu schützen. Außerdem sollte auch die Oberseite der inneren Dachschale eine strahlungsreflektierende Oberfläche erhalten, um möglichst wenig der von der äußeren Dachschale abgestrahlten Wärme aufzunehmen.

Bei der Ausbildung von Sonnenschutzeinrichtungen an den Gebäudeöffnungen ist zu beachten, daß die freie Luftbewegung an der Fassade möglichst wenig beeinträchtigt wird. Sie sollten deshalb nur punktwiese mit dem Baukörper verbunden sein. Außerdem vermeidet eine solche Befestigungsweise von Sonnenschutzeinrichtungen eine Wärmeübertragung auf das Gebäude.

Ein Konflikt entsteht aus den z. T. gegensätzlichen Anforderungen der Sturmsicherheit einerseits und der Öffnung von Gebäuden zur Ausnutzung leichter Luftbewegungen andererseits. Ungünstigerweise sind einige der feuchtwarmen Klimazonen auch durch eine Wirbelsturmhäufigkeit gekennzeichnet. Trotzdem können bei Berücksichtigung der Wirkungsweise von Wirbelstürmen einige wesentliche Maßnahmen zur Sicherung der

Bild 5

*Ein Verwaltungsbau im feuchtwarmen Rio de Janeiro mit individuell steuerbaren Sonnenschutzlamellen (vertikale an Ost- und Westfassade, horizontale an der Nordfassade, keine an der Südfassade wegen Lage auf der Südhalbkugel). Große, mehrgeschossige Fassadeneinschnitte bieten eine natürliche Belüftung der Büroräume aus beschatteten und z.T. begrünten Terrassenbereichen*



Bausubstanz getroffen werden. Es müssen vor allem die sonst der guten Querlüftung dienenden Öffnungen auch fest verschließbar sein.

In tropischen Wirbelstürmen treten bei plötzlich sinkendem Luftdruck extreme Windkräfte aus unterschiedlichen Richtungen auf. Fast alle Wirbelstürme werden von starken Regenfällen begleitet, die häufig durch Überflutungen und Unterspülungen zu erheblichen Folgeschäden führen können. Dies erfordert eine besonders sorgfältige Sicherung aller Bauteile gegen hohe Druck- und Sogkräfte sowie eine gute Verankerung der gesamten Konstruktion mit den Fundamenten. Diese ist besonders bei leichten Bauten zum Widerstand gegen die Windsogkräfte von Bedeutung. Die Fundamente selbst müssen durch ausreichende Tiefe und gegebenenfalls durch Ringdrainagen um das Gebäude vor Unterspülung geschützt werden. Für alle Gebäudeöffnungen sind zusätzliche Schutzvorrichtungen sinnvoll, die bei frühzeitiger Sturmwarnung geschlossen werden können.

Zu den "ariden" **trockenheissen Klimazonen** gehören alle Wüsten und Halbwüsten sowie die überwiegend trockenen Steppengebiete (auch als semi-aride Regionen bezeichnet). In diesen Klimazonen befinden sich die Länder der Sahara, des Nahen und Mittleren Ostens, der Südwesten Afrikas und Südamerikas, die inneren Regionen Australiens, Nordindien, Zentral-China sowie die Trockengebiete Nordmexikos und der südwestlichen USA.

Dominierende Klimafaktoren der ariden Klimazonen sind:

- intensive direkte Sonneneinstrahlung
- niedrige relative Luftfeuchte (ca. 10 bis 50%)
- sehr geringe durchschnittliche Niederschlagsmengen (ca. 0 bis 250 mm pro Jahr), jedoch seltene Regenfälle mit kurzzeitig hohen Niederschlagsmengen

- hohe Lufttemperaturen am Tage (Maximaltemperaturen im Jahresdurchschnitt ca. 35 bis 38°C, Einzeltemperaturen in kontinentalen Wüstengebieten über 50°C)
- mittlere, teilweise niedrige Lufttemperaturen während der Nacht (Minimaltemperaturen im Jahresdurchschnitt ca. 16 bis 20°C, Einzeltemperaturen bis zur Frostgrenze möglich)
- hohe tägliche Temperaturschwankungen (durchschnittlich 20 K)
- unterschiedliche, teilweise starke Luftbewegung, in Wüstengebieten als Sand- und Staubstürme
- geringe Bewölkungsdichte, meist klarer Himmel, zeitweise hoher Staubanteil der Luft.

Für den menschlichen Organismus werden die hohen Temperaturen in trockenheißen Klimazonen in ihrer Wirkung gemildert durch die niedrige relative Luftfeuchte. Dadurch wird die zur Kühlung des Körpers erforderliche Verdunstung auf der Haut erleichtert. Da die Lufttemperaturen am Tage oft höher als die menschliche Körpertemperaturen liegen, können Luftbewegungen in der Regel nur abends oder nachts oder zur kühleren Jahreszeit zur Verbesserung des Mikroklimas und des Raumklimas genutzt werden. Für verderbliche Waren und hitzeempfindliche Güter stellen die hohen Tagestemperaturen eine besondere Belastung dar, die in der Regel nur durch künstlich unterstützte Klimatisierung gemildert werden kann. Auf Baustoffe und Bauteile üben vor allem die direkte Sonnenstrahlung und die hohen kurzzeitigen Temperaturschwankungen einen ungünstigen Einfluß aus, der zur Reduzierung der Lebensdauer von Gebäuden und zu Bauschäden führen kann.

Die wesentlichen baulichen Grundanforderungen an klimagerechte Bauweisen in ariden Klimazonen sind:

- der Schutz des menschlichen Organismus vor den Belastungen hoher Wärmeaufnahme

Bild 6

Im trockenheißen Klima Marokkos (mit z.T. kalten Winternächten je nach Höhenlage) sorgen traditionell kompakte, geschlossene Baukörper mit minimierten Fensteröffnungen und schweren Massivwänden aus Lehm für eine Amplitudendämpfung und Phasenverschiebung



durch direkte Sonnenstrahlung und hohe Lufttemperaturen

- der Schutz von Bauteilen und Baustoffen vor direkter Sonnenstrahlung sowie ihre Auswahl und Verwendung unter Berücksichtigung der hohen, kurzzeitigen Temperaturdifferenzen.

Die klimagerechte Siedlungsplanung und die Zuordnung von Gebäuden in ariden Ländern unterliegt grundsätzlich anderen Anforderungen als in feuchtwarmen Regionen. Hier ist nicht die ständige Ausnutzung von Luftbewegungen, sondern der Schutz der Gebäude vor Wärmeaufnahme durch direkte Strahlung oberstes Gebot. Grundprinzipien, die sich zum Teil schon in den antiken Stadtanlagen von Jericho und Babylon finden, sind:

- verwinkelte Führung enger Straßen und Gassen zum Schutz vor heißen Winden und Sandstürmen und zur gegenseitigen Beschattung der Bauten
- Anlage von Vegetations- und Wasserflächen zur Verbesserung des Mikroklimas in der Siedlung oder im Stadtraum
- Anlage von Wind-Barrieren (Vegetation, Mauern, Wälle) am Rande von Siedlungen zur offenen Landschaft

- Bepflanzung von Straßen und Plätzen zur Beschattung der Außenräume.

Die klimagerechte Gebäudeplanung in ariden Ländern muß ebenfalls vorwiegend dem Ziel einer Reduzierung der Wärmeaufnahme durch direkte Sonnenstrahlung auf Bauten dienen. Die Orientierung und die Form der Baukörper haben in diesem Zusammenhang eine wesentliche Bedeutung.

Die traditionellen Bauformen der ariden Zonen zeigen häufig kompakte Baukörper mit im Vergleich zum Volumen möglichst kleinen, strahlungsexponierten Außenflächen. Ost- und Westfassaden sind meist völlig geschlossen. Auch Bauten mit atriumförmigen Innenhöfen finden sich häufig in trockenheißen Ländern. Solche Innenhöfe sind von den angrenzenden Räumen oft durch einen überdachten, schattigen Säulengang getrennt. Sie werden gelegentlich mit Pflanzen und Brunnen oder Wasserbecken versehen und tragen als "grüne Oase" innerhalb des Gebäudes erheblich zur Verbesserung des Raumklimas bei. Vor allem bei den Wohnhäusern der Antike in den halbtrockenen (semi-ariden) Mittelmeerländern war diese Bauform verbreitet.

Bild 7

Enge, schattige Gassen und Innenhöfe in der Wüstenarchitektur Algeriens reduzieren die Strahlungsaufnahme der Bauten und Bewohner; die Dächer dienen als Schlafplätze während der heißesten Zeit



Bild 8

Mit Pergolen und Rankpflanzen beschattete Gebäudezwischenräume und Marktgassen reduzieren die Strahlungsaufnahme im trockenheißen Marokko



Bei der Grundrisskonzeption ist der Benutzungszeitraum von Räumen im Tageslauf für ihre Lage innerhalb des Gebäudes von Bedeutung. Schlafräume in Wohnbauten liegen zweckmäßig im Osten des Gebäudes, wo sie der größten Wärmebelastung am Vormittag ausgesetzt sind und die aufgenommene Wärme bis zum Beginn der Nacht wieder abgegeben haben. Zu den traditionellen Lebensgewohnheiten einiger arider Länder gehört auch die Nutzung von Dachterrassen als Schlafplatz während der kühlen Nachtstunden. Wohnräume können an der Westseite liegen, da sich ihre Wärme-

aufnahme erst in den späten Abend- und Nachtstunden auswirkt, sie während der Nacht aber wieder auskühlen. Ähnliches gilt auch für alle Räume, deren Nutzungsdauer in der Regel am Nachmittag endet, wie z. B. Büros und Schulräume. Eine wirkungsvolle Auskühlung nach der Wärmeaufnahme ist darüber hinaus auch wesentlich von den Baustoffen und der Ausbildung der äußeren Hülle eines Gebäudes abhängig.

Bei den zuweilen sehr hohen Lufttemperaturen können äußere Luftbewegungen am Tage nicht zur Kühlung ge-

Bild 9

*Dicke, speicherfähige Wände mit hellem, reflektierendem Anstrich und kleinen, tiefliegenden Fensteröffnungen an engen, schattigen Gassen bei einem Hotelbau in Marokko*

nutzt werden. Dies gilt vorwiegend für die extrem trockenen Wüstenklimare. In anderen ariden und semiariden Gebieten kann eine Ausnutzung der Luftbewegungen immer dann sinnvoll sein, wenn die Lufttemperaturen noch deutlich unter der menschlichen Körpertemperatur (ca. 35°C) liegen. Insbesondere an den Küsten trägt die Öffnung des Gebäudes zu den kühlenden Brisen vom Meer her zur Verbesserung des Raumklimas bei.

Thermisch bedingte Luftbewegungen können im Gebäudeinneren mit Hilfe des Kamineffektes genutzt werden. Sie beruhen auf der unterschiedlichen Dichte von warmer und kalter Luft und dem daraufhin stattfindenden Druckausgleich. Wichtig sind dabei die Lage der Zuluftöffnungen in einem kühlen, beschatteten Bereich



der Außenwand sowie ein möglichst großer Höhenunterschied zwischen Zuluft- und Abluftöffnungen, der die Luftwechselrate erhöht. Die im Raum erwärmte Luft steigt auf und entweicht durch die hochgelegenen Abluftöffnungen, durch die tiefliegenden Zuluftöffnungen dringt frische, kühlere Luft ein. In traditionellen Bauten wurden häufig einfache Wasserverdunster verwendet, die z.B. in der Nähe der Zuluftöffnungen angeordnet werden können, um der Luft Verdunstungskälte zuzuführen und sie zu befeuchten.

Auch die Anlage von Erdschächten im Haus zur Raumluftkühlung gehört in einigen Regionen zu den natürlichen Klimatisierungsmethoden des traditionellen Bauens. In höheren Gebäuden eignen sich Treppenhäuser, die auch zu kühleren Räumen im Untergeschoß hin ge-

Bild 10

*Doppelschalige Dächer mit einer Außenschale als unterlüfteter Strahlungsreflektor und weißem, reflektierendem Putz am o.g. Hotelbau in Marokko*

öffnet sind, für eine Ausnutzung des Kamineffekts. Aber auch Räume mit funktionsbedingten, größeren lichten Höhen können über diesen Effekt gekühlt werden. Die großen Geschoßhöhen älterer Bauten in trockenheißen Ländern beruhen zum Teil auf dieser Erkenntnis. Eine bauliche Sonderform in Ägypten und dem Mittleren Osten sind sogenannte Windtürme oder "windcatcher" (arab. "Malquaf" oder pers. "Badgir"). Sie erlauben bei dichter Siedlungsbebauung das Eintreten von Luft oberhalb der Innenräume, deren Kühlung beim Herunterströmen an kühlen Stein- oder Lehmwänden und ggf. zusätzlich durch Wasserverdunster im Strömungskanal und das Eintreten in die Innenräume von unten, während die Warmluft zu hohen Öffnungen oder Innenhöfen abströmt.

Von wesentlicher Bedeutung sind alle Maßnahmen zur Beschattung von Bauteilen und Gebäudeöffnungen, die direkter Sonnenstrahlung ausgesetzt sind. Dazu gehören vor allem Dächer, auf welche die starke mittägliche Strahlung annähernd senkrecht auftrifft sowie Ost- und Westfassaden, die der Morgen- und Abendsonne besondere Angriffsflächen bieten. Wenn keine zwingenden Gründe es erfordern, sollten Öffnungen in diesen Teilen vermieden werden. Ansonsten sind sie sorgfältig vor direkter Strahlung zu schützen.

Die Nord- bzw. Süd-Fassaden (je nach Lage zum Äquator) erhalten wegen des steileren Winkels, in dem die Sonnenstrahlung auf sie trifft, weitaus weniger Wärmebelastung. Öffnungen in diesen Außenwänden sind leichter durch Sonnenschutzeinrichtungen zu schützen. Aus den genannten Zusammenhängen ergibt sich, daß für die richtige Anordnung schattenspendender Bauteile alle Fassaden einzeln zu untersuchen sind, da selten die gleiche Sonnenschutzeinrichtung für alle Himmelsrichtungen geeignet ist. Während Gebäudeöffnungen in Nord- oder Südfassaden gegen die hochstehende Sonne in der Regel gut durch einen horizontalen Sonnenschutz abgeschirmt werden können, ist für Fenster und Türen in Ost- oder Westfassaden meist eine vertikale Sonnenschutzeinrichtung sinnvoll, wenn solche

Öffnungen nicht zur entsprechenden Tageszeit völlig geschlossen werden.

Als horizontaler Sonnenschutz eignen sich auskragende Bauteile wie Balkone, Dachüberstände und Vordächer. Außerdem können feststehende oder bewegliche Lamellen, Jalousien und ausstellbare oder verschiebbliche Fensterläden Öffnungen vor hochstehender Sonne schützen. In jedem Fall ist ein außenliegender Sonnenschutz, der das Eindringen der Strahlung durch Fenster verhindert, dem weitaus weniger wirksamen innenliegenden vorzuziehen. Auch tiefe Loggien mit Gebäudeöffnungen in der zurückgezogenen Außenwand sind eine wirkungsvolle Beschattungsmaßnahme.

Für den Schutz gegen die tieferstehende Morgen- und Abendsonne sind vor allem vertikale Lamellen oder schottenförmige Bauteile geeignet, die schräg gedreht vor der Fassade stehen und einen Lichteinfall sowie den Ausblick nach Norden oder Süden zulassen, die direkte Sonnenstrahlung von Osten oder Westen aber abschirmen. Häufig sind Fassaden so orientiert, daß ihre Öffnungen sowohl eines horizontalen als auch eines vertikalen Sonnenschutzes bedürfen. Hierfür haben sich Gitterwerke aus den unterschiedlichsten Materialien (Profilsteine, Metallgeflechte, Holzroste) bewährt, die als Vorsatzschale vor der eigentlichen Fassade angeordnet werden und die gesamte Außenwand einschließlich der Öffnungen schützen. Der wirkungsvollste Sonnenschutz für geschlossene Wände und Dachflächen ist eine separate, strahlungsreflektierende Außenhaut.

Die klimagerechte Ausführungsplanung strebt den Schutz vor direkter Strahlung und hohen Temperaturen an. Die Oberfläche aller der Sonnenstrahlung ausgesetzten Bauteile soll deshalb möglichst hell oder reflektierend sein, der Dach- und Wandaufbau soll eine hohe Temperaturträgheit aufweisen, um die Auswirkungen der Außenlufttemperaturen im Gebäudeinneren zu mildern (Amplitudendämpfung) und den Wärmedurchgang von außen nach innen zu verzögern (Phasenverschiebung).

Diese Anforderungen an Dach und Außenwand wurden in den traditionellen Bauweisen der entsprechenden Regionen durch massive, dickwandige Bauteile mit hoher Wärmespeicherfähigkeit und meist heller Außenoberfläche erfüllt. Solche Bauteile konnten tagsüber große Wärmemengen aufnehmen, die erst in den kühlen Nachtstunden wieder nach innen und vor allem außen abgegeben wurden.

Um bei modernen Bauten ähnliche oder bessere bauphysikalische Eigenschaften zu erreichen, gleichzeitig aber die erheblichen Wanddicken traditioneller Bauweisen zu vermeiden, werden häufig mehrschalige Wand- und Dachaufbauten verwendet. Der äußeren Schale kommt dabei vorwiegend der Schutz vor direkter Sonnenstrahlung zu, um die Wärmeaufnahme der Bauteile zu verringern. Eine hohe Reflexionsfähigkeit ist dafür die beste Voraussetzung. Bei einem derartigen mehrschaligen Wand- und Dachaufbau fällt der inneren Schale die Aufgabe zu, durch hohe Temperaturträchtigkeit den Wärmedurchgang zum Innenraum hin zu verringern und zu verzögern. Ideal ist eine Verzögerung der Auswirkung von Tageshöchsttemperaturen um 12 Stunden, sodass sie erst zur kühlen Nachtzeit die Innenräume erreichen. Eine solche Phasenverschiebung und gleichzeitige Amplitudendämpfung (Abflachung der Temperaturkurve zwischen maximalem und minimalem Wert) ist entweder durch schwere, wärmespeichernde Baustoffe mit großer Materialdicke erreichbar oder durch die Kombination eines schweren Baustoffs mit einem dämmenden Material an der Außenseite.

Die **gemäßigten Klimazonen** der Erde schließen sich nach Norden und Süden an die Tropen an. Zu ihnen gehören die Länder Mittel- und Südeuropas, des südlichen Südamerika, die meisten Regionen der USA, des südlichen Russlands und Chinas, Korea, Japan, Neuseeland, Regionen an der Ost- und Südküste Australiens sowie begrenzte Gebiete im südlichsten Afrika.

Die Klimafaktoren der gemäßigten Zonen weisen im Gegensatz zu den bisher beschriebenen tropischen Kli-

mazonen ein ausgeprägtes Jahreszeitenklima auf, dessen charakteristisches Merkmal große Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter sind. Hierin liegt ihre hauptsächliche Gemeinsamkeit, während ansonsten erhebliche Abweichungen der Klimaverhältnisse einzelner Regionen untereinander zu beobachten sind, je nach ihrer geographischen Breite, kontinentalen Lage oder besonderen Einflüssen aus der Nähe größerer Wassermassen oder bestimmter Meeresströmungen (z. B. Golfstrom).

Die dominierenden **Klimafaktoren** der gemäßigten Zonen sind:

- hohe jährliche Temperaturunterschiede (in Mitteleuropa durchschnittlich ca. 18 bis 20 K)
- mittlere bis geringe tägliche Temperaturunterschiede (in Mitteleuropa durchschnittlich ca. 6 bis 8 K)
- mittlere bis hohe relative Luftfeuchte (in Mitteleuropa ca. 60-80 %)
- mittlere Niederschlagsmengen (in Mitteleuropa ca. 800-1000 mm pro Jahr, in den Übergangsbereichen zu den Tropen ca. 300-400 mm pro Jahr)
- sehr unterschiedliche Sonnenstrahlungsintensität (in Mitteleuropa hoher Anteil diffuser Strahlung bei häufiger Bewölkung, in den Übergangsbereichen zu den Tropen teilweise höhere direkte Strahlungsmengen wegen der längeren Tageslichtdauer als in den Tropen selbst).

Auf der Nordhalbkugel sind Dezember bis Februar die kältesten und Juni bis August die wärmsten Monate. Die Übergangszeiten zwischen der warmen und der kalten Jahreszeit werden in der Regel länger mit zunehmender Entfernung einer Region vom Äquator. Die Grenzgebiete zwischen den gemäßigten Klimazonen und den Tropen, weisen lange, warme Sommer und relativ kurze Winter mit Regenfällen auf. In Europa werden sie als mediterrane Winterregenzone bezeichnet.

Demgegenüber sind die Grenzbereiche zu den kalten Klimazonen (z. B. das südliche Skandinavien) von langen, kalten Wintern und oft nur zwei bis drei warmen Sommermonaten gekennzeichnet. Besonders extreme Temperaturunterschiede in den einzelnen Jahreszeiten sind die charakteristische Erscheinung kontinentaler Klimate (z. B. der Länder im amerikanischen Mittelwesten oder Zentralasien), während die Nähe von Küsten und insbesondere der Einfluß des warmen Golfstroms eine Abschwächung dieser Temperaturextreme hervorrufen, (z. B. in Westeuropa, besonders deutlich im Südwesten Irlands mit subtropischer Vegetation).

Für den menschlichen Organismus bieten die Klimaverhältnisse der gemäßigten Zonen gute Grundvoraussetzungen, sie erfordern aber gleichzeitig einen Schutz vor den extremen Temperaturen des Winters und des Hochsommers.

Da die **baulichen Grundanforderungen** in den einzelnen Ländern innerhalb der gemäßigten Klimazonen sehr voneinander abweichen, erfordert das klimagerechte Bauen in diesen Zonen ein besonderes Einfühlungsvermögen und Erkennen der jeweiligen regionalen Charakteristika. Dies zeigen die traditionellen Bauweisen sehr deutlich.

Die vorrangigsten Anforderungen an das klimagerechte Bauen in den gemäßigten Zonen sind:

- der Schutz vor winterlicher Auskühlung
- der Schutz vor sommerlicher Hitze
- der erforderliche Schutz vor gelegentlichen, in manchen Gegenden häufigen Niederschlägen.

*Bild 11*

*Griechische Inselarchitektur mit kompakten, eng zusammenstehenden Häusern, schattigen Gassen, kleinen Fensteröffnungen und flachen Dächern als Regensammler für Zisternen in einer weitgehend trockenen, sogenannten mediterranen Winterregenzzone*

Die meisten Bauten dieser Klimazonen müssen alle genannten Schutzfunktionen in sich vereinigen. Häufig ist dabei der Einsatz technischer Anlagen unumgänglich. Da diese wiederum - sei es für Heizzwecke oder für die Kühlung - oft hohe Energiemengen benötigen, ist der Zusammenhang zwischen klimagerechten und energiebewußten Bauweisen hier, wie auch in den kalten Klimazonen, besonders intensiv. So wird beispielsweise bei richtiger Konzeption von Siedlungen und Einzelbauten der Energiebedarf für das winterliche Heizen gesenkt durch eine Nutzung der Sonnenstrahlung, der Energiebedarf für die sommerliche Kühlung aber durch eine Abschirmung dieser Strahlung.

Für die klimagerechte Siedlungsplanung sind die Wahl des Standortes, die Orientierung der Siedlung oder Baugruppen und die Art der Zuordnung einzelner Bauten zur natürlichen und gebauten Umgebung wichtige Maßnahmen zur günstigen Beeinflussung von Mikroklima und Raumklima.





Bild 12

Beschattung der Gassen und Gebäudezwischenräume mit Rankpflanzen in der griechischen Inselarchitektur



Die Standortwahl einer Siedlung wie auch eines einzelnen Gebäudes sollte so vorgenommen werden, daß eine Auskühlung durch kalte Winde oder eine Lage in "Kaltluftseen" (Bodensenken, Mulden, geschlossene Täler) weitgehend vermieden, eine Nutzung der direkten Sonnenstrahlung im Winter zur Erwärmung der Bauten aber ermöglicht wird. In Mitteleuropa bedeutet dies in der Regel eine Abschirmung gegen Norden und Nordwesten sowie eine Öffnung nach zu südlichen Richtungen. Die Abschirmung kann durch die Gruppierung der Bauten, Windbarrieren oder auch durch eine verdichtete Bauweise mit kurzen und verwinkelten Straßenzügen geschehen.

Andere Regionen hingegen erfordern eine möglichst windexponierte Lage, wenn sommerliche Höchsttemperaturen die größere Belastung darstellen und eine wirkungsvolle Durchlüftung der Siedlung notwendig werden lassen. Jeder einzelne Standort setzt hier eine sorgfältige Prüfung der ganzjährigen Klimaverhältnisse voraus, um bei entgegengesetzten Anforderungen den richtigen Kompromiß zu finden.

Die klimagerechte Gebäudeplanung in gemäßigten Zonen hat ebenfalls das vorrangige Ziel, im Winter vor Auskühlung zu schützen und dabei möglichst viel Sonnenstrahlung zur Erwärmung des Gebäudes zu nutzen,

Bild 13

Athen - im Sommer eine heiße, trockene Stadt, in der die Menschen sich vereinzelt kleine grüne Oasen geschaffen haben (erkennbar an den Bäumen im Vordergrund)

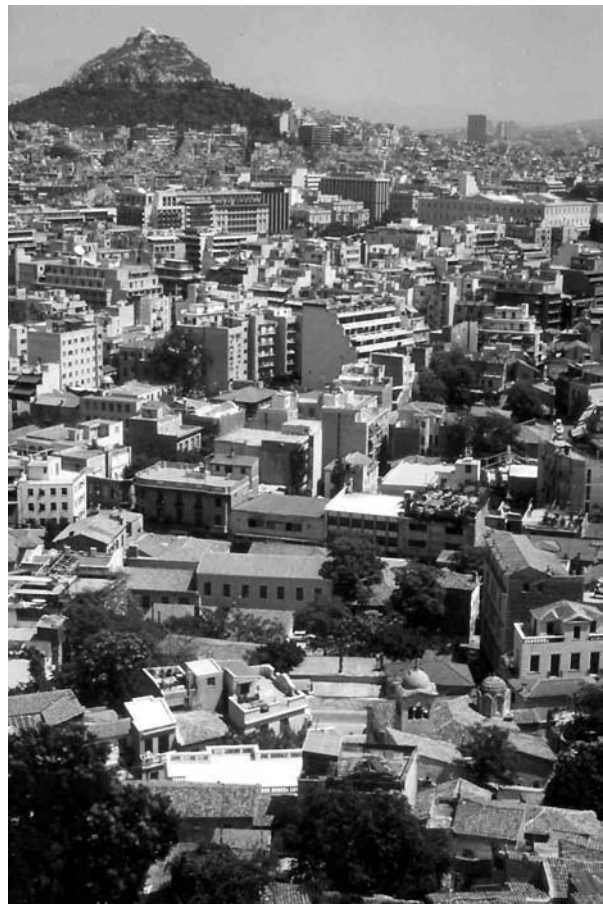


Bild 14

Eine der schattigen Oasen in der heißen, steinernen Stadt. Die Bäume sorgen zusätzlich für eine Luftbefeuchtung (am frühen Morgentau deutlich spürbar) und verbessern auch das Raumklima der angrenzenden Gebäude.



im Sommer hingegen Schutz vor zu intensiver Sonnenstrahlung und die Nutzung der natürlichen Luftbewegungen zur Kühlung zu ermöglichen. Geeignete Maßnahmen hierzu sind:

- die Optimierung des Oberflächen/Volumen-Verhältnisses der Baukörper
- die Wahl von Dachform und Dachüberstand
- die Orientierung des Gebäudes nach Himmels- und Windrichtung
- die Öffnung und Optimierung der nach Süden gerichteten Außenflächen (auf der Nordhalb-

kugel) im Sinne der passiven Nutzung der Solarenergie

- Die Anordnung geeigneter Sonnenschutz- einrichtungen.

Dabei wird die Wahl einer Gesamtkonzeption durch die Kombination dieser Maßnahmen weitgehend von den klimatischen Bedingungen des speziellen Projektstandortes mit beeinflusst.

Wesentliche Grundanforderungen an die klimagerechte Ausführungsplanung in gemäßigten Zonen ist der Wär-

Bild 15

Die toskanische Stadt Siena im nördlichen Italien hat geneigte Dächer - der Winterregen ist ausgiebiger als auf den o.g. griechischen Inseln - aber auch enge, schattige Gassen und kompakte Bauten gegen das klimatische Hauptproblem, die Sommerwärme



Bild 16

Arkadengang auf der Südseite eines Gebäudes in Venedig, ein angenehmer Aufenthaltsort bei tiefstehender Wintersonne mit erwärmten Wänden im Rücken und Sonne im Gesicht und bei hochstehender Sommersonne in schattiger Kühle



meschutz des Gebäudes, d. h. die konstruktive und bauphysikalische Verminderung der winterlichen Wärmeverluste. Ebenso wie der Schutz vor hohen Temperaturen in den ariden Klimazonen, kann auch die Mildern der Auswirkungen niedriger Temperaturen auf das Raumklima durch Wärmespeicherkapazität und Wärmedämmfähigkeit der Bauteile und Baustoffe erreicht werden. Welche Kombination der beiden Materialeigenschaften die angebrachte ist, hängt von der Funktion eines Gebäudes oder bestimmter Räume und ihrem Nutzungszeitraum ab.

Ein wichtiger Bestandteil des Wärmeschutzes ist auch die Fugendichtigkeit der Gebäudehülle und aller Gebäudeöffnungen, die erheblich zur Verringerung des erforderlichen Heizenergiebedarfs im Winter und evtl. auch der Kühllast im Sommer beitragen kann. Da in einigen Ländern der gemäßigten Klimazonen besonders die kalten Jahreszeiten und die Übergangszeiten von starken Winden begleitet werden, erhöhen sich bei undichter Fugenausbildung die Wärmeverluste von Gebäuden erheblich. Besonders sinnvoll sind zusätzlich bewegliche Vorrichtungen aus wärmedämmendem Material, welche nicht benötigte Gebäudeöffnungen (z. B.

Bild 17

Umlaufende Arkadengänge um einen Kleinstadtplatz in Norditalien, im Winter zum Regenschutz, im Sommer als Schatten-spender



Bild 18

Steile Dächer und dichte Außenwandbekleidungen mit wasserableitenden Materialien im regen- und windreichen Klima des Nordens und der Mittelgebirge Deutschlands; die Spuren auf der "regengewaschenen" Seitenwand zeigen die Hauptwindrichtung an, ihr Winkel läßt auf hohe Winstärken schließen



Fenster während der Nacht oder außerhalb des Nutzungszeitraumes eines Gebäudes) verschließen. Solche Vorrichtungen in Form von Klapp-, Schiebe- oder Rolläden verringern die Wärmeverluste an der gesamten Gebäudeöffnung einschließlich der Fugen.

Besondere Klimaerscheinungen, die eine spezielle Berücksichtigung bei der Ausführungsplanung erfordern, sind extreme Niederschlagsmengen in einigen Gebieten (Dacheindeckung, Dachentwässerung), hohe Schneelasten (Lage von Gebäudeöffnungen, Lastannahmen) und die besonders in kontinentalen Lagen der USA auf-

tretenden sommerlichen Tornados (Wirbelstürme) sowie winterliche Blizzards (Eisstürme), welche kurzzeitig die Klimaverhältnisse einer gemäßigten Zone in die extremen Bedingungen der kalten Klimazonen verwandeln.

Die **kalten Klimazonen** schließen sich an die gemäßigten Klimazonen in Richtung der Pole an. Ausgenommen von der Antarktis befinden sich die Länder der kalten Klimazonen ausschließlich auf der Nordhalbkugel. Es sind Kanada, Alaska, einige nördliche Staaten der USA, Grönland, Island sowie ein Teil Skandinaviens, der baltischen Staaten und Russlands.

Bild 19

Energiesparende Altbaumodernisierung in Norddeutschland mit Ziegelbekleidung an windexponierten Außenwandbereichen und vorgesetzten Wintergärten



Bild 20

Tief heruntergezogenes Norddach mit wärmedämmenden Schneemassen an einem Bauernhaus in den Schweizer Alpen



Ist schon das Klima der gemäßigten Zonen im Gegensatz zu den Tropen von ausgeprägten Jahreszeiten bestimmt, so gilt dies in ganz besonderem Maße für die kalten Zonen. Die dominierenden **Klimafaktoren** sind:

- niedrige Jahresdurchschnitts-Temperaturen (0 bis 6°C)
- geringe tägliche Temperaturunterschiede (im Sommer wegen langer Helligkeit, im Winter wegen anhaltender Dunkelheit)
- hohe jährliche Temperaturunterschiede bei kontinentaler Lage (Sibirien 45 - 60 K)
- mittlere bis niedrige jährliche Temperaturunterschiede bei meeresnaher Lage (Island, Norwegen 11 bis 15 K)
- geringe relative Luftfeuchte besonders in den Wintermonaten
- lange Frostperioden (5 bis 9 Monate), zum Teil Dauerfrost in den tieferen Bodenschichten
- geringe Niederschlagsmengen (ca. 250 mm/a in der Arktisrandzone).

Die Klimabedingungen der kalten Zonen machen ein menschliches Überleben für den überwiegenden Teil

Bild 21

Zweigeschossige Südseite des Schweizer Bauernhauses mit integriertem Wintergarten im Erdgeschoss zur Nutzung der Wintersonne



Bild 22

*Bauernhaustyp mit Scheune, wie er in ähnlichen Varianten in Norddeutschland und Skandinavien zu finden ist; steile, tief heruntergezogene Dächer aus wärmedämmendem Schilfrohr (Reet), sehr niedrige Außenwandhöhen, wenige, kleine Fensteröffnungen und zusätzliche Windschutzbepflanzungen schaffen optimalen Schutz vor Auskühlung bei Sturm, Regen und niedrigen Außentemperaturen*



des Jahres von intensiven Schutzmaßnahmen abhängig. Die Hauptbelastung für den menschlichen Organismus stellen die niedrigen Temperaturen dar. Auf Baustoffe und die Lebensdauer von Bausubstanz kann das Zusammenwirken von Feuchtigkeit aus Niederschlägen mit Frosttemperaturen eine negative Auswirkung haben.

Da die Erstellung von Bauten in der Antarktis auf wenige Ausnahmefälle beschränkt ist, sollen hier nur für das Bauen in den kalten Klimazonen der Nordhalbkugel die Grundanforderungen beschrieben werden. Der Unterschied zum Bauen im bisher praktisch unbesiedelten Südpolarbereich besteht jedoch lediglich in der anderen Ausrichtung der Siedlungen und Gebäude zu den Himmelsrichtungen.

Wichtigste **bauliche Grundanforderungen** an das klimagerechte Bauen in kalten Zonen sind der Schutz vor Kälte in den meisten Monaten des Jahres, vor Starkwind und Sturm vor allem in der langen kalten Jahreszeit sowie die bestmögliche Nutzung der Sonnenwärme während des kurzen Sommers.

Die klimagerechte Gebäudeplanung in kalten Regionen muß ebenfalls dem vorrangigen Ziel einer Reduzierung der Wärmeverluste und einer maximalen Nutzung der

Wintersonne zur Heizungsunterstützung dienen. Die bereits erwähnte Optimierung des Oberfläche/ Volumen-Verhältnisses eines Baukörpers zur Verringerung der wärmeabgebenden Außenwände ist in kalten Klimazonen von ganz besonderer Bedeutung. Ein anschauliches Beispiel dafür zeigt die traditionelle Bauform der kältesten von Menschen besiedelten Regionen der Erde, der Eskimo-Iglu. Er besteht aus einer auf der Schnittfläche liegenden Halbkugel, die eine Warmluftglocke bildet, während ein tieferliegender Zugangstunnel oder Kriechgang auf der windabgewandten Seite das Nachströmen der schwereren Kaltluft von außen verhindert. In jedem Fall sind möglichst kompakte Bauformen anzustreben.

Die Orientierung eines Baukörpers wird in Abhängigkeit von der vorherrschenden Richtung kalter Winde mit einer Ausrichtung möglichst großer Fassadenteile nach Süden vorzunehmen sein. Das Zusammenwirken von klimagerechter Form und Orientierung eines Gebäudes hat z. B. zur charakteristischen Wohnhausform der überwiegend kühlen Neuengland-Staaten im Nordosten der USA geführt. Diese als "Saltbox" bezeichnete Bauform hat auf der Nordseite ein tief heruntergezogenes, windabweisendes Dach und auf der Südseite eine hohe, sonnenexponierte Außenwand und dort nur eine kurze Dachfläche. Im Winter werden hier wie auch an

den traditionellen Bauten anderer kalter Regionen an der niedrigen Nordwand unter dem Dachüberstand häufig Holzstapel, Heuballen oder auch Schnee als zusätzliche Dämmung aufgeschichtet.

Bei der Grundrisskonzeption empfiehlt sich eine "Temperaturhierarchie" oder Zonierung der Räume. Nebenräume oder Nebengebäude, wie Garagen und Abstellräume liegen günstig als Pufferbereich an der Nordseite. Dachböden und Kellerräume (letztere insbesondere bei langanhaltendem Bodenfrost) erfüllen dieselbe Funktion. An der Südseite sollte die Möglichkeit zur Aufnahme der Sonnenstrahlung durch größere Fensterflächen geschaffen werden, die allerdings nachts verschließbar sein müssen, möglichst mit gedämmten Klappläden oder Rolläden. Auch hier kann der Anbau von Wintergärten oder teilverglasten Terrassenbereichen die Erwärmung der dahinterliegenden Räume wirkungsvoll unterstützen. Dabei ist auf eine ausreichende Lüftungsmöglichkeit und Sonnenschutz für wärmere Sommertage zu achten. Eingangsbereiche sollten unbedingt mit Windfängen versehen werden.

Bei Gebäuden mit nur zeitweiser Benutzung im Tagesverlauf (Schulen, Büros u.ä.) ist das sorgfältige Verschließen aller Fenster mit dämmenden Vorrichtungen außerhalb des Nutzungszeitraumes eine wirksame

Maßnahme zur Energieeinsparung. In der traditionellen Architektur lag der Heizofen oft im Zentrum des Gebäudes. Räume mit wärmeproduzierenden Anlagen (Maschinen, Heizkessel u.ä.) sollten also während der meisten Zeit des Jahres ihre Wärme an umliegende Räume abgeben, in den wenigen warmen Sommerwochen jedoch gut nach außen entlüftet werden können.

Die klimagerechte Ausführungsplanung basiert auf der Tatsache, daß in kalten Regionen die Gebäudehülle mehr als in allen anderen Klimazonen ein schützendes und trennendes Element zwischen Außenklima und Raumklima darstellt. Sie hat vorwiegend die Aufgabe, den Wärmeabfluß vom Innenraum nach außen auf das unvermeidbare Minimum zu beschränken.

Moderne Gebäude können eine klimagerechte Hülle durch die Kombination mehrerer Schichten mit unterschiedlichen Materialeigenschaften und Funktionen erhalten. Dabei übernimmt die äußere Schicht die Aufgabe des Wind- und Feuchtigkeitsschutzes. An ihrer Innenseite liegt eine gut wärmedämmende Schicht. Diese kann eine Luftschicht, ein Dämmstoff oder beides sein. Die innere Schicht bildet lediglich die Raumboflächen, kann aber ebenfalls die dämmende Wirkung unterstützen. Eine Sonderform des Wind- und Wärmeschutzes ist hier - wie auch in den gemäßigten Klimazonen - die

Bild 23

*Der Eskimo-Iglu hat ein bestmögliches Verhältnis von minimierter, wärmeabgebender Außenfläche zum erwärmten Innenraumvolumen; er besteht aus dem "Dämmstoff" Schnee und hat oft einen tiefliegenden, windgeschützten Tunnelzugang als Schleuse, welche das Abströmen hochsteigender Warmluft verhindert*



Bepflanzung der Südfassade mit blattabwerfenden, aller anderen Fassaden mit immergrünen Pflanzen. So kann die Wintersonne die Südfassade erreichen - ein Aspekt, der bei langer Winterdunkelheit in den Polarkreisregionen allerdings an Bedeutung verliert.

Ein intensiver Schutz vor eindringender Feuchtigkeit ist an allen Bauteilen, vor allem aber an der Dacheindeckung notwendig. Je flacher die Dachneigung gewählt wurde, desto größer ist besonders auf der windzugewandten Luv-Seite die Gefahr eines Wasserrückstaus bei Schnee- und Eisbelag oder aufwärtsgetriebenen Wassers bei Windeinwirkung. Neben der sorgfältig ausgeführten Dacheindeckung selbst sind heute zusätzliche Unterspannbahnen üblich und erforderlich.

Auf die Fugendichtigkeit der Gebäudehülle und insbesondere der Türen und Fenster, die viel zur Reduzierung von Wärmeverlusten beiträgt, wurde bereits im Zusammenhang mit den gemäßigten Klimazonen eingegangen. Sie hat in kalten Zonen naturgemäß eine sehr starke positive Wirkung.

*Bild 24*

*Ein Negativbeispiel wie klimagerechtes Bauen nicht aussieht: maximale Außenoberflächen erzeugen maximale Wärmeabgabe im Winter und maximale Wärmeaufnahme im Sommer; eine zu allen Himmelsrichtungen gleiche Fassade ignoriert alle Möglichkeiten der klimagerechten Kombination von gutem Wärmeschutz und Solarenergienutzung - solche Beispiele gibt es überall, dieses steht zufällig in Frankreich*





### 3. DATEN UND PLANUNGSINSTRUMENTE

Daten und Planungsinstrumente bilden die Grundvoraussetzungen für klimagerechtes Bauen. Dieses Kapitel enthält eine praxisorientierte Auswahl von Datenquellen und von vorhandenen Planungsinstrumenten mit kurzen Hinweisen auf ihre Inhalte und Anwendungsbereiche.

**Nicht klimatische** Daten bieten eine Grundlage zur Beurteilung der regionalen Beeinflussung des Mikroklimas im zu bebauenden Bereich. Während im freien Gelände lediglich die Topografie und die Vegetation beachtet werden müssen, ergeben sich im städtischen Umfeld mit steigender Bebauungsdichte komplexere Klimaverhältnisse. In einigen Fällen bedarf es der Notwendigkeit von eigenen Messungen. Allerdings sollten im Vorfeld alle möglichen Informationsquellen ausgeschöpft werden, um den eigenen Aufwand zu reduzieren.

Bei der Stadtverwaltung (Vermessungsamt) können in der Regel Karten in verschiedenen Maßstäben bezogen werden, auf denen auch das Relief des betreffenden Natur- oder Stadtraumes abzulesen ist. Evtl. existieren sogar digitale Geländemodelle. Zur Einschätzung der "Rauhigkeit" des Stadtraumes (wichtig für die Beurteilung der Luftbewegungen) werden Gebäudehöhen benötigt. Einen diesbezüglichen Überblick erhält man aus Senkrechtluft- und Satellitenbildern. Weitere Informationen, die sich zur Beurteilung der mikroklimatischen Einflüsse eignen sind Geschossflächenzahlen, Einwohnerdichten und Grünflächenanteile.

Eingehende Beschreibungen zur Beurteilung von Klimaverhältnissen in Städten finden sich in dem 1995 erschienenen Buch "Das Klima der Städte" von F. Fezer. Hier werden u.A. die Einflüsse der Stadtgestalt mit ihrer spezifischen Bauweise, Dichte, Höhe und ihren Baumaterialien auf die Bildung von Wärmeinseln beschrieben. Die Informationen über die Zusammenhänge von Luftfeuchte, Wolken und Niederschlag, Windfeldern über

Städten und die klimatischen Aspekte der Siedlungsplanung sind gut erläutert und durch viele, in gut lesbaren Diagrammen ausgewerteten Messungen belegt. Die Anwendung dieser Ergebnisse für die Beurteilung ihrer Einflüsse auf das vorhandene Makroklima erfordert das Vorhandensein meteorologischer Daten.

Topografische **Satellitenbilder** und Daten mit sehr hoher Genauigkeit sind von der Seite "The Global Land One-km Base Elevation (GLOBE) Project" abrufbar (<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/globe.shtml>). Das internationale GLOBE - Projekt hat ein, bis auf einen Kilometer genaues, digitales Geländemodell der Erde erstellt, auf das über das Internet kostenfrei zugegriffen werden kann. Ins Leben gerufen wurde diese Initiative von "Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt", in Zusammenarbeit mit sechs anderen internationalen Institutionen. Stehen keine schnellen Internetverbindungen zum Herunterladen der Daten zur Verfügung, so können diese auch auf CD-Rom, allerdings gegen Gebühr, bei folgender Adresse bestellt werden:

GLOBE DEM Project (E/GC1), NOAA/National Geophysical Data Center, 325 Broadway, Boulder CO 80303, USA, Tel: 303-497-6277, Fax: 303-497-6513, Email: [khoran@ngdc.noaa.gov](mailto:khoran@ngdc.noaa.gov) (ordering information), Email: [dhastings@ngdc.noaa.gov](mailto:dhastings@ngdc.noaa.gov) (technical information)

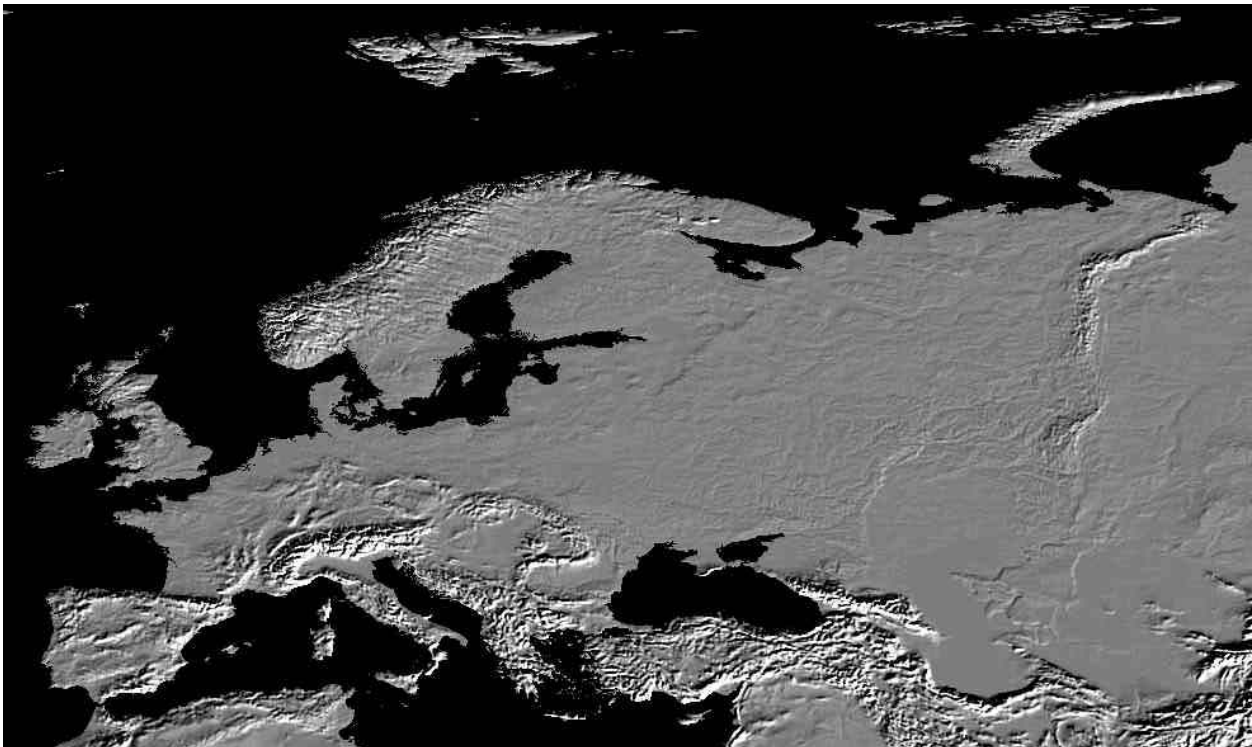
**Klimadatenbanken** in Datenbanken müssen ein breites Spektrum an Informationen liefern, um das Makroklima eines spezifischen Standortes realistisch beschreiben zu können. Nur dann können diese bei der Planung von klimagerechten Gebäuden sinnvoll eingesetzt werden. Es werden Angaben zu folgenden Parametern benötigt:

Temperatur, Luftfeuchte, Windstärke, Windrichtung, Niederschlagsmenge sowie Strahlungsmenge, möglichst differenziert in diffuse und direkte Strahlung. Diese Informationen sollten mindestens in monatliche Mittel-

werte mit Angabe der Minima und Maxima differenziert sein und mindestens den Zyklus eines Jahres abdecken. Bei der Verwendung der Daten ist unbedingt die Lage der spezifischen Messstation zu beachten, um das evtl. abweichende Mikroklima des zu untersuchenden Grundstückes oder Gebietes einschätzen zu können. Sind die Gegebenheiten augenscheinlich sehr unterschiedlich, bietet sich die Recherche nach Klimadaten in dem entsprechenden Gebiet an. Mögliche Quellen können z.B. Hochschulen, Industriebetriebe oder die Stadtverwaltung sein, die über Messstationen verfügen oder die gewünschten Daten zur Verfügung stellen können.

**Datenbanken im Internet** bieten eine Vielzahl von Möglichkeiten, Informationen über das Wetter und Klima auf der Erde zu erhalten. Der überwiegende Anteil informiert über das aktuelle Wetter und Klimaveränderungen oder bietet sehr spezifische Klimadaten, also Informationen, die nicht ohne Aufbereitung als Werkzeug bei der Planung klimagerechter Gebäude genutzt werden

*Karte 2  
Topografisches Satellitenbild Europas*



können. Einige Adressen im Internet bieten allerdings sehr nützliche Informationen, die ggf. anderweitige Recherchen ersparen können.

Institutionen, wie z.B. der Deutsche Wetterdienst (<http://www.dwd.de>) können genaue Klimaprofile für spezifische Standorte erstellen. Nach Auftragserteilung durch den Kunden werden die gewünschten Daten gegen Gebühr bereitgestellt.

Werden Klimainformationen für Standorte benötigt, die sich in der Nähe von Ballungszentren befinden, können brauchbare Daten z.B. von der Seite "Stadtklima" (<http://www.stadtklima.de/webklima/index.htm>), der Universität Freiburg, Meteorologisches Institut, Arbeitsgruppe Stadtklima und Luftreinhaltung, Hebelstr.27, 79085 Freiburg gebührenfrei bezogen werden. Der Server bietet Klimadaten ausgewählter Klimastationen auf der Erde, die dem gleichnamigen Handbuch von M. Müller, Universität Trier, entnommen sind. Bemerkenswert ist allerdings, dass die Daten bereits 1983 veröffentlicht worden sind und sich daher auf ältere Messergebnisse stützen.

**Datenbanken in gedruckter Form** bieten eine weitere Möglichkeit zur Beschaffung von Klimadaten. Erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang drei Werke:

"Klimadaten Europa" ist ein vom Deutschen Wetterdienst 1981 herausgegebenes, dreibändiges Werk. Die nach geografischen Zonen unterteilten Bücher beschreiben jeweils das Klima europäischer Städte. Für jede Stadt werden in tabellarischer Form Angaben gemacht über Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlagsmengen und Sonnenstunden. Die Bilanz umfasst den Zyklus eines Jahres, differenziert nach Monatsmitteln sowie Minima und Maxima. Werte über Strahlungsmengen und Luftbewegungen sind nicht enthalten.

Der "European Solar Radiation Atlas" erschien erstmals 1984. Die dritte überarbeitete Ausgabe wurde 1996 von W. Palz und J. Greif herausgegeben und beschreibt das Gebiet der europäischen Gemeinschaft und benachbarter Länder. Das Buch enthält Angaben über die monatliche Menge der am Erdboden auftreffenden Globalstrahlung, die in Form von Karten und Tabellen dargestellt sind. Die Anteile der diffusen und direkten Strahlung werden ebenso beschrieben wie die unterschiedlichen Strahlungsmengen auf verschiedenen geneigten Flächen. Die Strahlungsdaten sind auch auf zwei mitgelieferten Disketten enthalten, um einen Import in Computerprogramme zu ermöglichen (siehe digitale Planungsinstrumente).

Im Frühjahr 2000 erschien der neue, zweiteilige "European Solar Radiation Atlas (Vol. 1+2)", herausgegeben von K. Scharmer und J. Greif. Das Werk umfasst das Gebiet Europas im weitesten Sinne, vom Ural bis zu den Azoren und von Nordafrika bis zum Polarkreis. Die Daten beziehen sich auf den Beobachtungszeitraum von 1981 bis 1990. Das Buch (European Solar Radiation Atlas Vol. 1) beschreibt die Sonnenstände in Abhängigkeit von der Zeit und der geografischen Lage sowie die Wechselbeziehungen zwischen Sonnenstrahlung und Atmosphäre. Anhand von farbigen Karten werden Angaben zu den Anteilen diffuser und direkter Strahlung an der Globalstrahlung gemacht, wobei die

zeitlichen Schwankungen berücksichtigt werden. Instrumente für die Bodenmessung der Sonnenstrahlung werden beschrieben und ihre Verwendung in Kombination mit Satellitenaufnahmen erläutert. Ein Exkurs beschreibt die Anwendungsmöglichkeiten der Sonnenstrahlung im Ingenieurbau. Abschließend werden die enthaltene Datenbank und ihre Hauptanwendungen beschrieben.

Zur praktischen Nutzung des Atlanten bietet sich die Ergänzung des Buches durch die CD-Rom (European Solar Radiation Atlas Vol.2) an. Der Datenträger enthält eine Datenbank und eine Auswertungssoftware, die Angaben zu Klimadaten in Bezug auf die geografische Lage mit einer Genauigkeit von bis zu 10 km interpolieren kann. Von über 700 Städten sind die wichtigsten Klimadaten gemittelt aufgeführt, von 7 Städten existieren sogar stündliche Werte. Die Beschreibungen vieler Städte beinhalten die Globalstrahlung auf unterschiedlich geneigte Flächen, Anteile der diffusen und der direkten Strahlung, Sonnenscheindauer, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wasserdampfdruck sowie den Luftdruck.

Die Datenbank kann wahlweise über eine geografische Auswahl, anhand einer Landkarte, oder über die Suche eines Stationsnamens bedient werden. Nach der Auswahl sucht das Programm nach allen verfügbaren Daten zu der gewählten Station. Die Algorithmen der Software umfassen die Bereiche Sonnengeometrie, optische Eigenschaften der Atmosphäre und die Ermittlung der winkelbezogenen Strahlungsintensität unter wolkenlosem Himmel im Stundentakt. Außerdem enthalten sind Angaben über das Strahlungsspektrum, die Beleuchtungsstärke und die statistische Auswertung der Daten. Die Grafiken können wahlweise zwei- oder dreidimensional dargestellt werden. Verschiedene Beispiele beschreiben die am weitesten verbreiteten Anwendungen der Sonnenenergie im Ingenieurwesen, wie z.B. thermische Solaranlagen, Photovoltaikanlagen oder Gebäude, die für eine solche Nutzung konzipiert sind. Ein Handbuch erläutert die Anwendung und Bedienung der Software. Die Datenbank kann per Mausclick in andere Pro-

gramme, z.B. zur Gebäudesimulation, exportiert werden. Die Karten stehen zum Transfer in Text- oder Bildbearbeitungsprogramme zur Verfügung.

Hilfreich bei der Materialwahl klimagerechter Bauwerke ist ein **europäischer Baustoffatlas** mit ausgesuchten Entwurfswerkzeugen, auf CD-Rom zu beziehen. Der Atlas wird zweijährig aktualisiert und ist zu beziehen über die "Energy Research Group", University College Dublin, Richview, Clonskeagh, Dublin 14, Ireland. Dieses und weitere Planungsinstrumente können im Internet unter <http://erg.ucd.ie/> bezogen werden. Eine interaktive CD-Rom mit derselben Bezugsquelle ist beim Entwurf von Niedrigenergiehäusern behilflich. Sie enthält ein Gebäudesimulationsprogramm und bietet neben Informationen Musterlösungen in den Bereichen Energieeinsparung, thermischer Komfort, passive Solar-Heizung, natürliche Kühlung, Tageslichtplanung, Umgebung und Gebäude, regionale Wärmeerzeugung sowie Mikroklima und Makroklima.

Die "IBPSA" (International Building Performance Simulation Association, (<http://www.mae.okstate.edu/ibpsa/>)) ist eine nichtkommerzielle Vereinigung von Forschern im Bereich der Gebäudesimulation, Entwicklern und Praktikern, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, sich der Wissenschaft der Gebäudesimulation zu bedienen und diese weiter zu verbreiten. Entwurf, Konstruktion, Betrieb und Komfort von Neubauten und Gebäudebestand sollen damit optimiert werden.

Das Erstellen von standortspezifischen Klimaprofilen durch eigene Messungen kann erforderlich sein, wenn sich trotz umfangreicher Recherche herausstellt, dass für den zu beplanenden Ort keine Klimadaten zur Verfügung stehen. Für das Erstellen von standortspezifischen Klimaprofilen sind zunächst die Grunddaten, wie Wind, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Luftdruck zu ermitteln. Hierfür bieten sich mobile, automatisch arbeitende Wetterstationen an, die in verschiedenen Ausführungen erhältlich sind. Die ermittelten Daten können gespeichert und später auf einen Computer zur

Auswertung übertragen, oder über eine Netzwerkverbindung direkt in einem PC weiterverarbeitet werden. In entlegenen Gebieten können solche Stationen z.B. mit einem Photovoltaikmodul zur Stromversorgung versehen werden, um Wetterdaten völlig autonom aufnehmen zu können. Zur Fernwartung und zum Datenaustausch des Systems besteht die Möglichkeit Funk-Netzwerke zu installieren. Die Messungen sollten mindestens über den Zeitraum eines Jahres erfolgen und optimalerweise auch Informationen zu den Strahlungsverhältnissen liefern. Des Weiteren ist es sinnvoll, möglichst viele Informationen über die geografischen oder städtischen Verhältnisse zusammenzutragen.

**Planungsinstrumente** ermöglichen die Beurteilung und Interpretation der ermittelten Klimadaten, da bewertete Ergebnisse unabdingbar sind, um auf die vorherrschenden, klimatischen Rahmenbedingungen baukonstruktiv und gestalterisch reagieren zu können. Bevor auf die Verwendung von Computerprogrammen eingegangen wird, sollen an dieser Stelle die wichtigsten analogen Planungsinstrumente zur Interpretation der spezifischen Daten vorgestellt werden.

**Komfortdiagramme** sind grafische Hilfsmittel zur Ermittlung des vom Menschen empfundenen Komfortbereichs. Dieser definiert sich hauptsächlich aus den Zusammenhängen von Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftbewegung, also physiologischen Einflussfaktoren. Daneben spielen auch psychologische Einflüsse, wie z.B. hygienische Verhältnisse und die Farbgebung des Umfeldes eine Rolle. Da diese aber subjektiv empfunden werden und somit schwer messbar sind, soll im Rahmen hierauf nicht weiter auf diese eingegangen werden. Die nachfolgend abgebildeten Diagramme sind dem Buch "Tropenbau" (siehe Literatur) entnommen, in dem ausführlich auf die Anwendung in der Praxis eingegangen wird. Die mit einem herkömmlichen Thermometer gemessene Temperatur wird als Trockentemperatur bezeichnet. In Abhängigkeit vom Feuchtegehalt der Luft weicht die vom Menschen gefühlte Temperatur allerdings von der gemessenen Trockentemperatur ab

Diagramm 1  
Psychrometrisches Diagramm  
mit effektiven Temperaturen

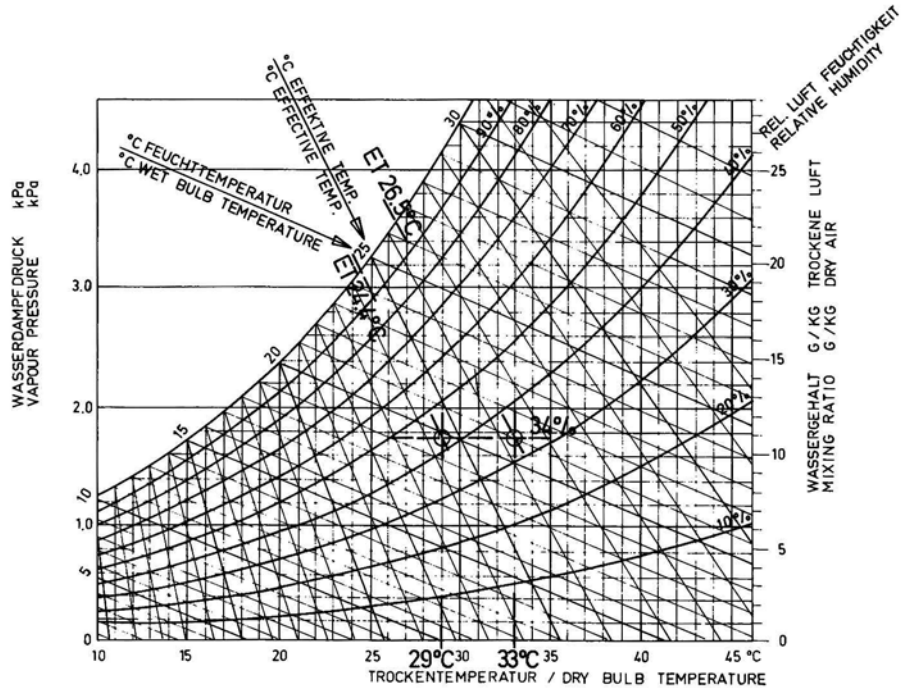
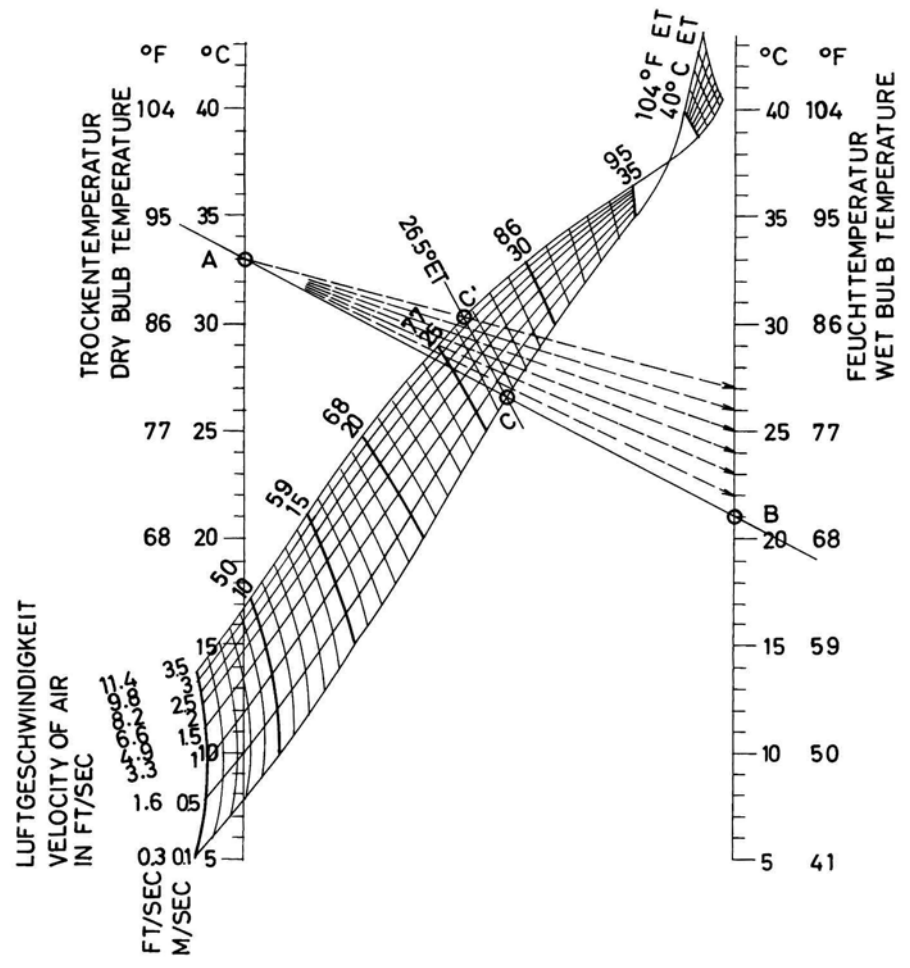


Diagramm 2  
Effektive Temperaturen in Abhängigkeit von Trockentemperatur, Feuchttemperatur und Luftgeschwindigkeit



und wird entweder als kälter oder wärmer als diese empfunden. Der Zahlenwert dieser gefühlten Temperatur wird als effektive Temperatur bezeichnet und kann mit Angaben zur relativen Luftfeuchtigkeit (in %) sowie der Trockentemperatur (in °C) ermittelt werden.

Unter Verwendung eines **psychrometrischen Diagramms** kann die spezifische, effektive Temperatur (in °C) abgelesen werden, die aus diesen Angaben resultiert. Sollen die mittleren Strahlungstemperaturen von Wänden und Decken in die Bilanz mit einbezogen werden, so muss zur Ermittlung der Trockentemperatur ein spezielles, für diese Messung geeignetes Thermometer verwendet werden. Dem Diagramm können auf der Grundlage der gemessenen Werte zusätzlich Angaben

über den spezifischen Wassergehalt (in g pro kg trockene Luft), den Wasserdampfdruck (in kPa) und die Feuchttemperatur in (°C) entnommen werden. Die Feuchttemperatur kann auch direkt mit einem Feuchtthermometer gemessen werden. Dabei wird die Umgebungsluft über einen feuchten Stoffstrumpf gezogen und kühlt dabei entsprechend der relativen Feuchte der Luft ab. Die Feuchttemperatur entspricht demnach bei 100% Luftfeuchte der Trockentemperatur. Aus der Temperaturdifferenz kann wiederum mittels Tabellen, Diagrammen oder Umrechnungsformeln die relative Feuchte ermittelt werden.

Das **Diagramm der effektiven Temperaturen** ermöglicht es, die physisch empfundene Temperatur, welche als effektive Temperatur bezeichnet wird, zu ermitteln.

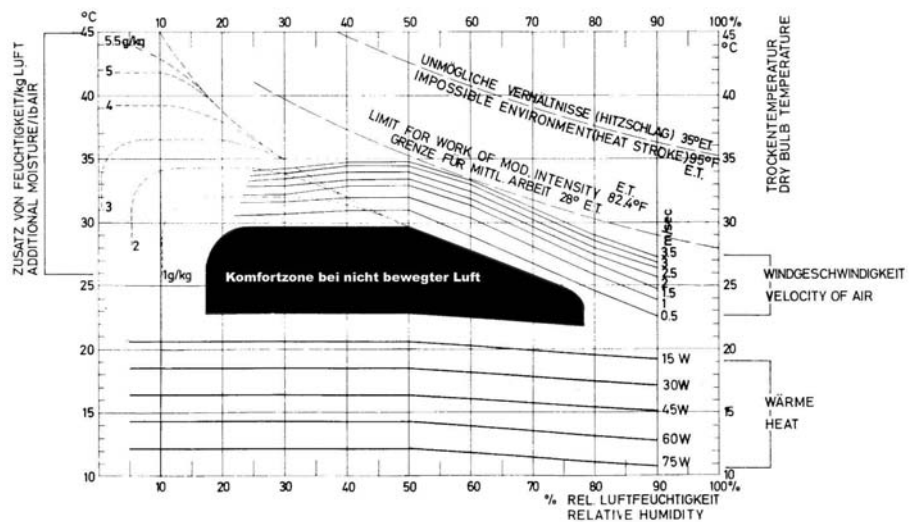


Diagramm 3  
Komfortdiagramm

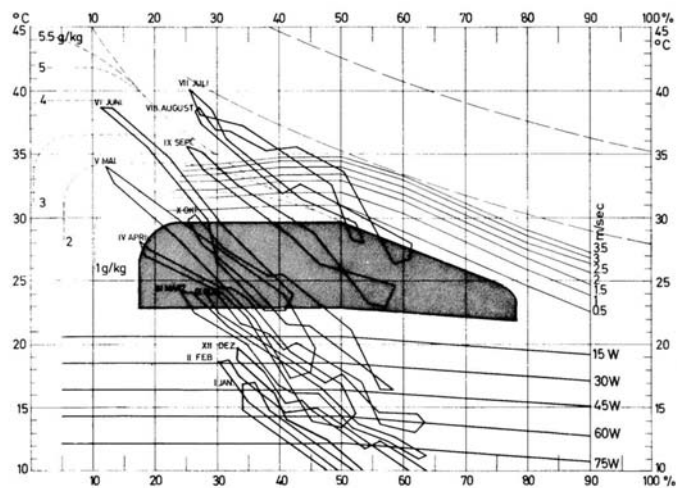


Diagramm 4  
Komfortdiagramm für einen Beispielort mit kontinentalem Klima

Neben den gemessenen Werten für Feuchttemperatur und Trockentemperatur wird der kühlende Effekt von Luftbewegungen in die Bilanz mit einbezogen. Daher ist die effektive Temperatur im Diagramm in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit abzulesen.

Das **Komfortdiagramm** führt die beschriebenen Diagramme in einer Grafik zusammen und definiert den physischen Komfortbereich des Menschen innerhalb der klimatischen Rahmenbedingungen. Für die Analyse eines bestimmten Ortes können die durchschnittlichen Stundenwerte für Trockentemperatur und Luftfeuchte, für jeweils einen Monat des Jahres in das Diagramm übertragen werden. Die verbundenen Punkte definieren den gemessenen Bereich. Dort wo sich diese Flächen mit dem eingezeichneten Komfortbereich überschneiden, bedarf es keiner, das Mikroklima beeinflussender Maßnahmen. Ergänzend finden sich in dem Diagramm Angaben, wie der Komfortbereich bei ungünstigen, natürlichen Bedingungen durch Wärmezufuhr, Luftbewegung und Befeuchtung geschaffen werden kann. Hierbei handelt es sich um ein hilfreiches Werkzeug für Planer, um notwendige, klimaspezifische Maßnahmen schon in der Entwurfsphase berücksichtigen zu können.

**Sonnenstandsdiagramme** eignen sich zur Beurteilung der natürlichen Lichtverhältnisse, in Abhängigkeit von der geografischen Lage des zu beplanenden Grundstücks oder Gebietes. Die Informationen können zur Interpretation von verschiedenen Fragestellungen genutzt werden, wie z.B. der Dauer von Besonnung und Verschattung, der Lage von besonnten und verschatteten Zonen. Sie bilden somit die Grundlage für die Ermittlung von evtl. notwendigen Verschattungsmaßnahmen oder der Zeit und Richtung der nutzbaren Sonnenenergie. Zur Erstellung eines solchen Diagramms wird der Lauf der Sonne über ein Jahr beobachtet und für jeden Monat in stündlich ablesbaren Mittelwerten aufgezeichnet.

Diese Informationen beziehen sich auf den jeweiligen Stand der Sonne in Bezug auf die Himmelsrichtung,

den Azymuthwinkel (angegeben von 0° bis 360°) und auf den Höhenwinkel (angegeben von 0° bis 90°), der den jeweiligen Winkel des Sonnenstandes in Bezug auf die als Ebene angenommene Erdoberfläche des Beobachtungsgebietes angibt. Um diese dreidimensionalen Daten zweidimensional abbilden zu können, werden die ermittelten, monatlichen Sonnenbahnen auf die Horizontebene projiziert, die als Kreisfläche dargestellt ist. Mittelpunkt des Diagramms ist die Abbildung des Zenits, der gleichzeitig den Standort des Beobachters definiert.

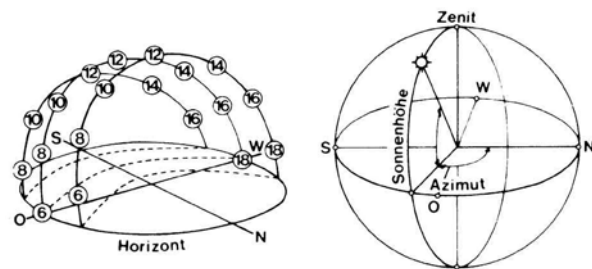


Diagramm 5

Grundlagen für Sonnenstandsdiagramme

- Sonnenbahnen mit Uhrzeiten auf die Grundrissebene herunterprojiziert
- Sonnenhöhe über Horizont und Azimut (Himmelsrichtung des Sonnenstandes gemessen von Nord im Uhrzeigersinn)

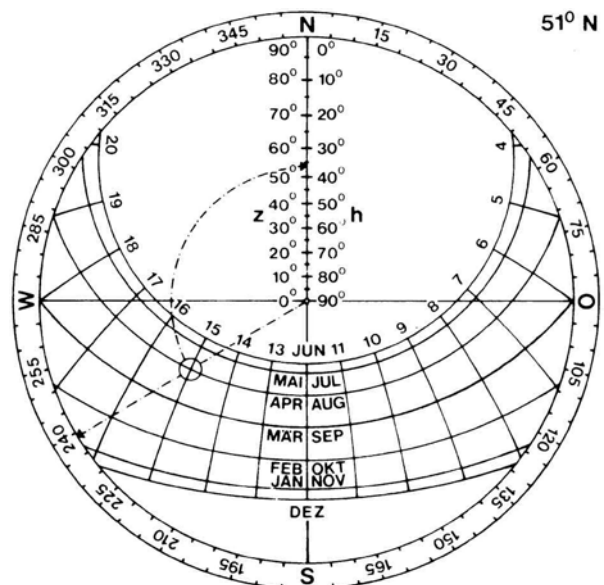


Diagramm 6

Sonnenstandsdiagramm für einen Ort auf 51° nördlicher Breite

Mit dem fertigen, Breitengradspezifischen Sonnenstandsdiagramm steht ein wichtiges Planungswerkzeug zur Verfügung, mit dem über den Zyklus eines ganzen Jahres die Zusammenhänge von Monat, Uhrzeit sowie Azymuth und Höhenwinkel ablesbar sind. Für geplante Gebäude kann damit die Dauer von Besonnung und Verschattung sowie die Lage von besonnten und verschatteten Zonen ermittelt werden.

Mit Hilfe des **Schattenwinkelmessers** wird der Himmelsbereich definiert, der von einem definierten Standort durch ein Hindernis verdeckt wird. Die Verschattungsgrenzen werden über Winkel definiert. Diese ergeben sich aus Projektionen, die vom Standort über die Gebäudekanten gerichtet werden. In der Ansicht kann so der Höhenwinkel in Bezug auf eine horizontale Ebene ermittelt werden. Im Grundriss wird die Lage der vertikalen Gebäudekanten definiert. Die Winkel der Projektionslinien werden bezüglich einer parallel zur betrachtenden Gebäudekante liegenden und durch den Standort laufenden Bezugslinie angegeben. Die ermit-

telten horizontalen und vertikalen Verschattungsgrenzen werden wie beim Sonnenstandsdiagramm stereografisch auf die Horizontalebene projiziert. Die hier definierte Fläche des verdeckten Himmelsbereiches in Bezug auf einen definierten Standort beschreibt das sogenannte Verbauungsbild im Schattenwinkelmesser. Verschattungsgrenzen durch horizontale Kanten werden als exzentrische Kreisbögen, Verschattungsgrenzen durch vertikale Kanten als radiale Linien dargestellt.

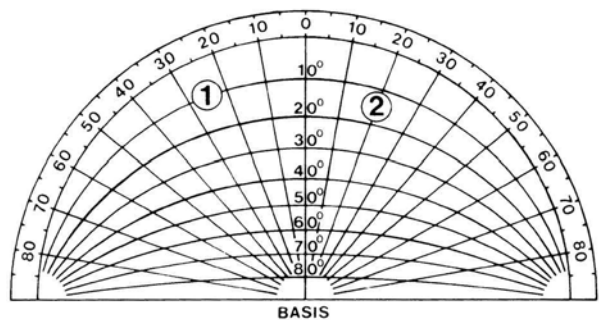


Diagramm 7  
Schattenwinkelmesser mit Bogenlinien (1) für horizontale Schattenkanten und Radiallinien (2) für vertikale Schattenkanten

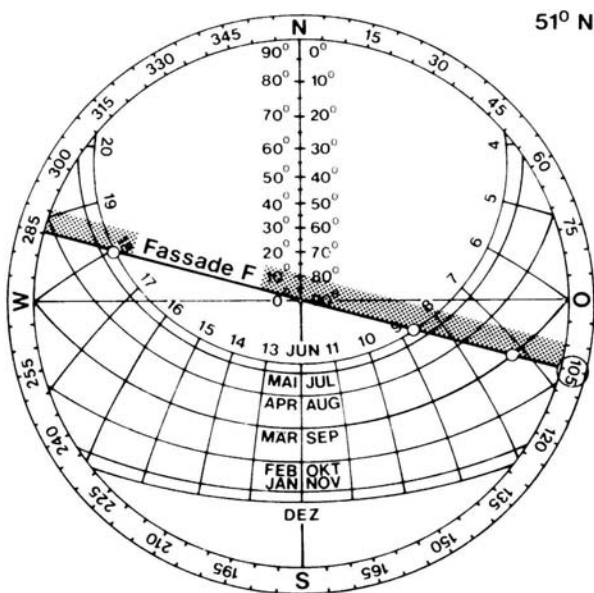


Diagramm 8  
Analyse der Besonnungsdauer einer Fassade F nach Süd-Südwest an einem Standort auf 51° nördlicher Breite ohne eventuelle Verschattungen - nur mit Hilfe des Sonnenstandsdiagramms

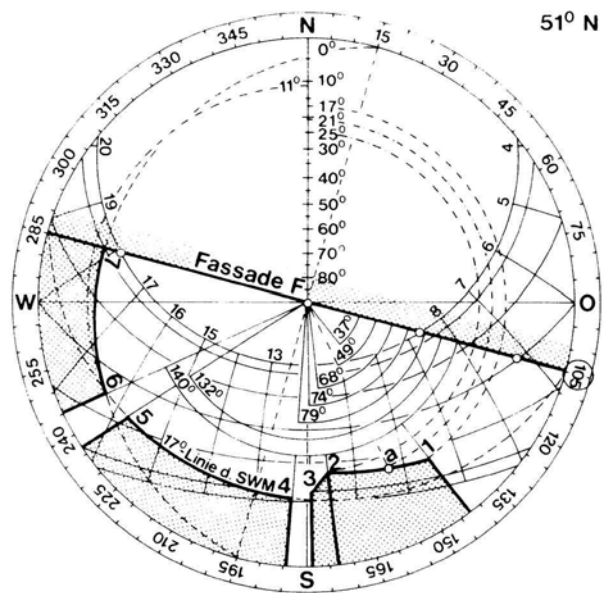


Diagramm 9  
Zusätzliche Analyse der Verschattung durch Nachbarbebauung mit Hilfe des Schattenwinkelmessers (SWM)



Die grafische Überlagerung von Schattenwinkelmesser und Sonnenstandsdiagramm ermöglicht die Definition der, vom Verbauungsbild verdeckten Sonnenbahnen. Dazu werden die Mittelpunkte der Diagramme (Beobachtungspunkte) übereinandergelegt. Die im Grundriss ermittelte Bezugslinie (Basis) des Schattenwinkelmessers wird entsprechend ihrer Orientierung zu den Himmelsrichtungen ( $0^\circ$  bis  $360^\circ$ ) im Sonnenstandsdiagramm ausgerichtet. Zu Zeiten wo sich Verschattungsbild und Sonnenbahnen überlagern, ist der Beobachtungspunkt verschattet. Während der restlichen Zeiten ist der definierte Punkt nicht verschattet. Auf diese Weise können dem Diagramm für alle Monate Angaben über die tägliche Besonnungsdauer und die genauen Verschattungszeiten des Beobachtungspunktes entnommen werden. Wichtig bei der Wahl des Beobachtungspunktes ist seine, für den zu untersuchenden Bereich möglichst repräsentative Position am Gebäude. Kann ein solcher Punkt nicht ermittelt werden, müssen ggf. Diagramme für mehrere repräsentative Punkte erstellt werden. Weiterführende Informationen und eine genaue Anleitung zum Erstellen von Sonnenstandsdiagrammen und Schattenwinkelmessern sind dem Buch "Bauphysik, Planung und Anwendung" zu entnehmen, das im Anhang aufgeführt ist.

Mit den oben aufgeführten Werkzeugen können die makro- und mikroklimatischen Verhältnisse an einem bestimmten Ort umfassend beschrieben werden. Um diese bei der Gebäudeplanung berücksichtigen zu können, bedarf es einer guten Kenntnis der bauphysikalischen Vorgänge in den verwendeten Konstruktionen und Materialien. Grundlage hierfür sind wiederum die spezifischen Materialeigenschaften. Während die wichtigsten Kennwerte z.B. aus Bautabellen entnommen werden können, sind komplexere Zusammenhänge, wie z.B. das Absorptionsvermögen und das dynamische Speicherverhalten verschiedener Stoffe, nur spezieller Fachliteratur zu entnehmen. Diese bauphysikalischen Grundlagen sowie die Dimensionierung von Bauteilen und der Gebäudehülle entsprechend der klimatischen Voraussetzungen werden in dem Buch "Klimagerechtes

Bauen" von B. Keller anhand von vielen Beispielen, Tabellen und Grafiken gut erläutert. Das hier vermittelte, physikalisch und mathematisch untermauerte Wissen ist auf das Wesentliche reduziert. Es kann schon in den frühen Planungsphasen für die Wahl der richtigen Bauteilkonfigurationen in Hinsicht auf die Reduzierung des Energie- und Leistungsbedarfs verwandt werden.

**Digitale Planungsinstrumente** können Aufgrund der Leistungsfähigkeit heutiger Computer sehr komplexe Vorgänge in relativ kurzer Zeit berechnen. Daher sind sie sehr gut für das Erstellen von Klimamodellen sowie thermischen und optischen Simulationen geeignet. Im Rahmen des Thermie Programms der Europäischen Gemeinschaft sind Werkzeuge und Techniken für den Entwurf und die Bewertung von energieeffizienten Gebäuden zusammengefasst worden, unter besonderer Berücksichtigung der weitverbreiteten Nutzung von Computerprogrammen. In der Broschüre "Tools and Techniques for the Design and Evaluation of Energy Efficient Buildings" (diese und andere Dokumente sind kostenlos als PDF-Datei herunterzuladen von der Internetadresse: [http://erg.ucd.ie/erg\\_downloads.html](http://erg.ucd.ie/erg_downloads.html)) werden international weit verbreitete Programme erläutert:

"WIS" ist ein Programm zur Ermittlung der thermischen und solaren Eigenschaften verschiedener Fenstertypen.

"Passport" ist eine Software zur Wärmebedarfsberechnung mit einer tabellarischen, nicht grafischen Eingabeoberfläche.

"Adeline" ist ein, mit dreidimensionalen Räumen arbeitendes, Programm für die Beurteilung des Verhaltens und der Leistung von Tageslicht und künstlicher Beleuchtung. Die enthaltenen Datenbanken umfassen viele verschiedene Tageslichtsysteme zur Beurteilung der Beleuchtungsstärke und den Einfluss des Lichtes auf die Wärmegewinne innerhalb des Gebäudes. Die Ergebnisse werden in dreidimensionalen, farbigen Raumbildern, Perspektiven und Grafiken dargestellt. Das Programm enthält eine CAD-Eingabeoberfläche,

kann \*.dxf -Dateien aus anderen Anwendungen einlesen und verfügt über eine Verbindung zu Energie-Simulationsprogrammen, wie z.B. "SUNCODE", "DOE 2" und "TRNSYS".

"ESP-r" ist eine thermisch-dynamische Simulationsumgebung zur Unterstützung von einfachen bis sehr komplexen Entwurfsaufgaben. Es bietet die Möglichkeit des Projekt-Managements und verwendet Gebäude- und Raumgeometrien, Baustoffe, interne und externe Wärmelasten, Lüftungsverhalten und Energiegewinne durch geplante Anlagen (z.B. Photovoltaiksystemen). Das Programm berechnet aus den Daten Simulationen der Luftbewegungen (z.B. bei Fensterlüftung) und der daraus resultierenden thermischen Effekte. Die Wechselbeziehungen der Daten werden in Form von Netzwerken dargestellt, die zur Auslegung von Gebäude-Kontrollsystemen und zur Anlagensteuerung verwendet werden.

Besonders erwähnenswert sind zwei deutschsprachige, thermische Gebäudesimulationsprogramme, "HELIOS-PC" und "ARCHPASS", die sich wesentlich in Hinsicht auf ihre Einsatzmöglichkeiten in verschiedenen Klimazonen unterscheiden.

"HELIOS" dient zur Heiz- und Kühllastberechnung und arbeitet mit dynamischem 1-Zonen Modell, zeitabhängige Speichervorgänge werden nach der Response-Faktoren-Methode gelöst. Die Eingabe der Projektdaten erfolgt über eine grafische Oberfläche. Folgende Problemstellungen können behandelt und einzeln untersucht werden: direkter Sonnenenergiegewinn durch Fensterflächen, indirekter Sonnenenergiegewinn durch opake Bauteile und Absorberwandsysteme, Lüftungswärmeverluste, interne Wärmequellen, Speichermassen, Boden-, Dach- und Wandflächen gegen Außenklima oder konstantes Klima, Transparente-Wärmedämm-Materialien sowie Fensterflächen. Die Eingabe der Bauteile, ihrer Aufbauten und Eigenschaften sowie der verwendeten Baustoffe erfolgt über Auswahlmenüs, die mit Datenbanken verknüpft sind. Das Programm ar-

beitet mit binären Klimadaten, die in Abhängigkeit vom spezifischen Planungsgebiet in Form von Wetterdateien importiert werden können. Diese können wiederum im Programm "SYNWET" durch Eingabe der jeweiligen Wetterdaten erzeugt werden. Der Standort kann nach Angabe der geografischen Koordinaten und somit weltweit definiert werden. Damit bietet das Programm ein nützliches Planungswerkzeug, das durch individuelle Anpassung der Datenbanken in verschiedenen geografischen und klimatischen Zonen einsetzbar ist.

"ARCHPASS" ist ein speziell für die frühen Planungsphasen entwickeltes Gebäudesimulationsprogramm, das aus zwei Programm-Modulen mit gleich aufgebauten, grafischen Eingabemasken besteht. Mit dem Modul Jahresheizwärmebedarf kann der Jahresheizwärmebedarf, eine Monatsbilanz der Gewinne und Verluste eines Gebäudes und eine energetische Bauteilbilanz erstellt werden. Die Berechnung erfolgt auf Basis des statischen Rechenverfahrens nach der DIN-Vornorm 4108 Teil 6 (EN 832). Die fertige Norm wird als Berechnungsgrundlage in der Energieeinsparverordnung 2000 (EnEV 2000) verwendet und löst die gültige Wärmeschutzverordnung ab. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, den Wärmebedarfsausweis nach der gültigen Wärmeschutzverordnung ausgeben zu lassen. Daher eignet sich das Programm neben der Unterstützung während der Entwurfsphase auch für die Genehmigungsplanung.

Allerdings kann es nicht bei internationalen Planungen eingesetzt werden, da sich die Bilanzierungsverfahren an nationalen Vorschriften orientieren. Bei der Eingabe und Berechnung wird die wärmedämmende Hülle des gesamten Gebäudes bzw. der zu betrachtenden beheizten Zone nach Bauteilfunktion und -orientierung differenziert. Betrachtet werden z.B. Außenwände, Wände gegen unbeheizte Räume, Wände gegen Erdreich, speicherwirksame Innenbauteile, bauliche Verschattung, Lüftung und Heizung. Die zur Verfügung stehenden Materialien und Konstruktionen werden vom Programm vorgegeben. Die Auswahl umfasst eine Liste von in Deutschland üblichen Baukonstruktionen und

geht von vereinfachten Werten für Konstruktionstyp, Baustoff, Wärmespeicherung und Wärmedurchgangskoeffizient aus. Bei der Bedienung des Programms müssen daher eigene und evtl. vom Bestand abweichende Konstruktionen der Programmstruktur untergeordnet werden.

Das Sommer-Modul liefert Daten zum sommerlichen Wärmeschutz und kann das thermische Verhalten von Räumen oder Zonen während einer vierzehntägigen Hitzeperiode ermitteln. "Die Berechnung basiert auf dem international bekannten Programmpaket für dynamische Gebäude- und Anlagensimulation TRNSYS, dabei ist die Anwendung - ihrem Verwendungszweck entsprechend - auf eine thermische Zone beschränkt, im Regelfall ist dies ein besonders exponierter Raum im Gebäude. Einzugeben sind hier die raumbegrenzenden Bauteile, Innenbauteile, bauliche und bewegliche Verschattung, Lüftung, Heizung sowie Wärmelasten. Auf Wunsch gibt es für die Sommer-Anwendung ein Zusatzmodul, mit dem die Kühllastberechnung nach VDI 2078 durchgeführt werden kann" (Programmbeschreibung "Archpass").

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Mehrzahl der vorhandenen Planungsinstrumente gute Hilfestellungen zur energetischen Optimierung von Gebäuden bieten. Dieses ist ein ganz wesentlicher Bestandteil klimagerechter Planung. Allerdings wird auch deutlich, dass die hohe Komplexität der Berücksichtigung aller Klimaparameter und der Nutzeranforderungen durch kein Programm allein, sondern nur durch Beobachtungsfähigkeit und Erfahrung erfolgreich bearbeitet werden kann. Alle Planungsinstrumente können Handlungsspielräume aufzeigen und dienen der Überprüfung von Entwurfskonzepten, können aber nicht die Entwurfsarbeit übernehmen.

#### 4. AUSGEWÄHLTE KLIMADATEN EUROPAS

Die hier vorgelegten Klimadaten zu 15 europäischen Städten erlauben eine erste Einschätzung des jeweiligen Makroklimas. Sie sind nicht in allen Fällen für sämtliche klimatischen Parameter verfügbar und bedürfen vor einer konkreten Projektplanung natürlich immer der Ergänzung durch möglichst ausführliche Informationen zum jeweiligen lokalen Mikroklima. Generell ermöglichen sie aber schon einen Überblick über die besonderen Möglichkeiten der klimagerechten Planung und einer Abstimmung mit den im Kapitel 2 erläuterten Grundlagen für die betreffende Klimazone.

Die vorliegenden Klimadaten machen aber auch differenzierte Vergleiche möglich und zeigen z.T. überraschende Chancen für Orte, an denen sie nicht vermutet werden, z.B. dass Helsinki mehr Sonnenscheinstunden erhält als Kopenhagen, Berlin und sogar Paris. Damit wird einmal mehr unterstützt, dass es sich für alle europäischen Standorte lohnt, die natürlichen Ressourcen Sonne und vorherrschende Winde immer in die Grundüberlegungen jeder Planung einzubeziehen, ohne sich von Vorurteilen beeinflussen zu lassen. Wenn das Studium dieser Daten und die Kenntnis der beschriebenen Grundlagen hierzu einen Anreiz bietet, nämlich mit neugieriger Freude unvermutete Chancen aufzuspüren, dann ist ein wesentliches Ziel dieser Arbeit erreicht. Dann besteht die Hoffnung, dass die Benutzung der Checklisten und der erläuterten, vorhandenen Planungsinstrumente zu kontinuierlicher, fruchtbarer Entwurfsarbeit beiträgt.

Mittlere klimatische Daten für Ankara, Türkei

| Parameter                                      | JAN   | FEB   | MÄR   | APR  | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV   | DEZ   | JAHR  |
|--|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | -0,3  | 1,1   | 5,0   | 10,9 | 16,1 | 18,6 | 22,5 | 22,8 | 18,3 | 13,6 | 8,3   | 2,2   | 11,6  |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | 3,9   | 5,6   | 10,6  | 17,2 | 22,8 | 25,6 | 30,0 | 30,6 | 25,6 | 20,6 | 13,9  | 6,1   | 17,8  |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | -4,4  | -3,3  | -0,6  | 4,4  | 9,4  | 11,7 | 15,0 | 15,0 | 11,1 | 6,7  | 2,8   | -1,7  | 5,6   |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 15,0  | 17,8  | 26,7  | 31,7 | 34,4 | 36,7 | 37,8 | 37,8 | 35,6 | 31,7 | 25,6  | 17,2  | 37,8  |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -25,0 | -24,4 | -16,7 | -6,7 | -0,6 | 1,7  | 6,7  | 4,4  | -1,7 | -2,8 | -17,8 | -25,0 | -25,0 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 78    | 76    | 67    | 56   | 53   | 49   | 43   | 40   | 47   | 55   | 67    | 79    | 59    |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 33    | 30    | 33    | 33   | 48   | 25   | 13   | 10   | 18   | 23   | 30    | 48    | 344   |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    | 98    | 83    | 90    | 96   | 120  | 120  | 103  | 51   | 96   | 77   | 67    | 121   | 600   |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    | 7     | 2     | 8     | 10   | 1    | 3    | dry  | 0    | 0    | 0    | 2     | 14    | 250   |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         | 20    | 20    | 28    | 28   | 38   | 41   | 48   | 25   | 23   | 20   | 28    | 69    | 69    |
| Tage mit Niederschlag                          | 8     | 8     | 7     | 7    | 7    | 5    | 2    | 1    | 3    | 5    | 6     | 9     | 68    |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 96    | 118   | 174   | 210  | 282  | 336  | 384  | 369  | 291  | 226  | 159   | 96    | 2741  |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   | 0     | 0     | 12    | 43   | 77   | 124  | 128  | 119  | 87   | 49   | 17    | 2     | 658   |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Windrichtung                                   |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |

Ankara

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

Mittlere klimatische Daten für Athen, Griechenland

| Parameter                                      | JAN  | FEB   | MÄR  | APR  | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV  | DEZ  | JAHR |
|--|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | 9.3  | 9.9   | 11.3 | 15.3 | 20   | 24.6 | 27.6 | 27.4 | 23.5 | 19   | 14.7 | 11   | 17.8 |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | 12.9 | 13.9  | 15.5 | 20.2 | 25   | 29.9 | 33.2 | 33.1 | 29   | 23.8 | 18.6 | 14.6 | 22.5 |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | 6.4  | 6.7   | 7.8  | 11.3 | 15.9 | 20   | 22.8 | 22.8 | 19.3 | 15.4 | 11.7 | 8.2  | 14   |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 20.9 | 22.5  | 27.8 | 32.2 | 36.2 | 41.9 | 42.3 | 42.6 | 38.4 | 36.5 | 27.7 | 22.2 | 42.6 |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -4.4 | -5.7  | -7   | -3   | 6.2  | 13.6 | 16   | 15.5 | 11.6 | 7.2  | -1.1 | -3.7 | -5.7 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 74   | 70    | 67   | 63   | 59   | 53   | 47   | 47   | 56   | 67   | 73   | 75   | 63   |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 62   | 36    | 38   | 23   | 23   | 14   | 6    | 7    | 15   | 51   | 56   | 71   | 402  |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         | 47   | 61    | 42   | 30   | 50   | 49   | 24   | 39   | 143  | 67   | 57   | 48   | 143  |
| Tage mit Niederschlag                          | 12   | 11    | 10   | 8    | 7    | 5    | 2    | 3    | 4    | 8    | 12   | 12   | 93   |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 149  | 156   | 190  | 215  | 232  | 292  | 364  | 340  | 272  | 210  | 129  | 108  | 2655 |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   | 16   | 17    | 30   | 52   | 91   | 136  | 174  | 160  | 109  | 70   | 36   | 22   | 913  |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             | 1.9  | 2.2   | 2.7  | 1.8  | 1.8  | 1.8  | 2.2  | 2.2  | 1.9  | 1.8  | 2.3  | 2.1  | 2.0  |
| Windrichtung                                   | NE   | NE,SW | NE   | NE   | S    | SW   | NE   | NE   | NE   | NE   | NE   | NE   | NE   |

Athen

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

## Mittlere klimatische Daten für Berlin, Deutschland

| Parameter                               | JAN   | FEB   | MÄR   | APR   | MAI   | JUN   | JUL   | AUG   | SEP   | OKT   | NOV   | DEZ   | JAHR   |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Temperatur (°C)                         | -0,4  | 0,6   | 4,0   | 8,4   | 13,5  | 16,7  | 17,9  | 17,2  | 13,5  | 9,3   | 4,6   | 1,2   | 8,9    |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C) *) | 15,2  | 18,6  | 25,1  | 30,9  | 33,2  | 35,0  | 37,8  | 37,7  | 34,2  | 27,5  | 19,5  | 15,7  | 37,8   |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)   | 1,8   | 3,5   | 7,9   | 13,1  | 18,6  | 21,8  | 23,1  | 22,8  | 18,7  | 13,3  | 7,0   | 3,2   | 12,9   |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)*)  | -21,0 | -26,0 | -16,5 | -6,7  | -2,9  | 0,8   | 5,4   | 4,7   | -0,5  | -9,6  | -16,1 | -20,2 | -26,0  |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)   | -2,9  | -2,2  | 0,5   | 3,9   | 8,2   | 11,4  | 12,9  | 12,4  | 9,4   | 5,9   | 2,1   | -1,1  | 5,1    |
| Tage mit Eis (max. <0°C)                | 9,2   | 5,9   | 1,3   | <0,1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | <0,1  | 1,3   | 7,2   | 24,8   |
| Tage mit Frost (min. <0°C)              | 19,9  | 17,6  | 12,6  | 3,4   | 0,2   | 0     | 0     | 0     | <0,1  | 1,3   | 8,4   | 17,0  | 80,3   |
| Heizgrad-Tage                           | 31,0  | 28,0  | 31,0  | 29,8  | 13,2  | 3,9   | 0,8   | 0,7   | 9,4   | 31,0  | 30,0  | 31,0  | 239,8  |
| Sommertage (>25°C)                      | 0     | 0     | <0,1  | 0,4   | 3,3   | 7,8   | 10,3  | 9,1   | 2,1   | 0,1   | 0     | 0     | 33,1   |
| Heiße Tage (>30°C)                      | 0     | 0     | 0     | 0,1   | 0,2   | 1,2   | 2,5   | 1,6   | 0,1   | 0     | 0     | 0     | 5,6    |
| Tage mit Niederschlag > 0,1 mm          | 17,8  | 14,3  | 15,5  | 14,2  | 14,0  | 14,9  | 13,9  | 13,4  | 14,4  | 14,3  | 17,0  | 18,2  | 181,9  |
| Niederschlag (l/m²)                     | 43,2  | 36,6  | 37,5  | 42,2  | 55,3  | 70,7  | 53,1  | 65,3  | 45,5  | 35,8  | 49,5  | 54,5  | 589,2  |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)      | 3,4   | 3,5   | 3,8   | 3,3   | 3,1   | 3,0   | 2,9   | 2,8   | 2,8   | 2,9   | 3,3   | 3,3   | 3,2    |
| Sonnenhöhe (in Grad, am 15. des Monats) | 16,4  | 24,8  | 35,4  | 47,3  | 56,4  | 60,8  | 59,1  | 51,6  | 40,6  | 29,0  | 19,0  | 14,3  | 37,5   |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)       | 45,4  | 72,3  | 122,1 | 157,7 | 221,6 | 220,9 | 218,0 | 210,2 | 156,3 | 110,8 | 52,4  | 37,4  | 1624,8 |
| Sonnenschein (Std./Tag)                 | 1,5   | 2,6   | 3,9   | 5,3   | 7,1   | 7,4   | 7,0   | 6,8   | 5,2   | 3,6   | 1,7   | 1,2   | 4,4    |
| Globalstrahlung (W/m²)                  | 23    | 48    | 98    | 142   | 195   | 217   | 198   | 160   | 122   | 65    | 27    | 17    | 110    |
| Globalstrahlung(kWh/m² pro Tag)         | 0,52  | 1,14  | 2,34  | 3,39  | 4,66  | 5,18  | 4,73  | 3,82  | 2,91  | 1,55  | 0,64  | 0,40  | 2,62   |

\*) 1909-1999

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: "Beilagen zur Berliner Wetterkarte" (KBD), Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin; Hupfer, P. and Chmielewski, F.-M.: "Das Klima von Berlin", 1990

Berlin

### Mittlere klimatische Daten für Copenhagen, Dänemark

| Parameter                              | JAN        | FEB   | MÄR   | APR  | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV  | DEZ   | JAHR  |
|--|------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)           | 0.1        | -0.1  | 1.9   | 6.6  | 11.8 | 15.6 | 17.8 | 17.3 | 13.9 | 9.3  | 5.4  | 2.5   | 8.5   |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)  | 2.0        | 2.1   | 5.0   | 10.4 | 16.1 | 19.4 | 21.8 | 21.2 | 17.5 | 12.1 | 7.3  | 4.2   | 11.6  |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)  | -2.0       | -2.5  | -0.8  | 3.1  | 7.5  | 11.2 | 13.6 | 13.5 | 10.5 | 6.7  | 3.3  | 0.7   | 5.4   |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)   | 9.9        | 14.0  | 18.5  | 22.1 | 27.7 | 32.7 | 30.7 | 30.5 | 26.7 | 19.9 | 14.4 | 12.3  | 32.7  |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)   | -24.2      | -19.6 | -17.8 | -8.8 | -1.5 | 3.0  | 7.5  | 5.6  | 0.9  | -4.0 | -6.8 | -11.4 | -24.2 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)      | 87         | 85    | 82    | 74   | 65   | 65   | 68   | 70   | 80   | 81   | 86   | 88    | 78    |
| Mittlerer Niederschlag (mm)            | 49         | 39    | 32    | 38   | 43   | 47   | 71   | 66   | 62   | 59   | 48   | 49    | 603   |
| Maximaler Niederschlag (mm)            | 102        | 146   | 82    | 116  | 104  | 133  | 164  | 144  | 138  | 140  | 99   | 115   | 857   |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std. | 13         | 4     | 10    | 14   | 13   | 8    | 30   | 10   | 7    | 2    | 15   | 6     | 466   |
| Minimaler Niederschlag (mm)            | 24         | 24    | 25    | 38   | 38   | 37   | 77   | 41   | 50   | 47   | 34   | 30    | 77    |
| Tage mit Niederschlag                  | 17         | 13    | 12    | 13   | 11   | 13   | 14   | 14   | 15   | 16   | 16   | 17    | 171   |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)      | 36         | 55    | 118   | 161  | 245  | 245  | 239  | 207  | 157  | 87   | 34   | 19    | 1603  |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m²     | 27         | 78    | 153   | 267  | 337  | 413  | 350  | 298  | 194  | 98   | 42   | 24    | 190   |
| Potentielle Verdunstung (mm)           | 2          | 1     | 10    | 35   | 76   | 103  | 118  | 103  | 71   | 43   | 19   | 8     | 589   |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)     | 2.7        | 2.7   | 2.5   | 2.3  | 2.3  | 2.2  | 2.0  | 2.0  | 2.0  | 2.3  | 2.3  | 2.3   | 2.3   |
| Windrichtung                           | Copenhagen |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.



### Mittlere klimatische Daten für Helsinki, Finnland

| Parameter                                      | JAN   | FEB   | MÄR   | APR   | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT   | NOV   | DEZ   | JAHR  |
|--|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | -6.1  | -6.6  | -3.4  | 2.6   | 8.8  | 14.0 | 17.2 | 16.0 | 11.1 | 5.4   | 1.0   | -2.6  | 4.8   |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | -3.4  | -3.9  | 0.1   | 6.4   | 13.5 | 18.6 | 21.6 | 20.1 | 15.0 | 8.1   | 2.9   | -0.5  | 8.2   |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | -8.5  | -9.3  | -6.8  | -0.9  | 4.3  | 9.2  | 12.5 | 11.7 | 7.5  | 2.7   | -1.0  | -4.8  | 1.4   |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 6.8   | 11.8  | 15.0  | 20.5  | 26.1 | 31.2 | 33.1 | 30.1 | 24.3 | 17.8  | 10.7  | 9.4   | 33.1  |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -33.2 | -30.2 | -26.0 | -13.4 | -5.5 | -0.3 | 5.4  | 3.5  | -4.1 | -10.0 | -16.3 | -27.8 | -33.2 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 88    | 86    | 78    | 74    | 64   | 66   | 70   | 75   | 81   | 85    | 88    | 90    | 79    |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 57    | 42    | 36    | 44    | 41   | 51   | 68   | 72   | 71   | 73    | 68    | 66    | 692   |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    | 95    | 110   | 73    | 81    | 85   | 119  | 144  | 171  | 114  | 180   | 147   | 118   | 941   |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         | 12    | 9     | 8     | 8     | 3    | 13   | 12   | 8    | 4    | 11    | 29    | 19    | 493   |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    | 21    | 18    | 22    | 35    | 31   | 56   | 88   | 60   | 57   | 50    | 35    | 40    | 88    |
| Tage mit Niederschlag                          | 20    | 18    | 14    | 13    | 12   | 13   | 14   | 15   | 15   | 18    | 19    | 20    | 191   |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 31    | 63    | 136   | 184   | 270  | 294  | 295  | 251  | 152  | 76    | 30    | 18    | 1799  |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> | 19    | 70    | 197   | 291   | 401  | 478  | 450  | 304  | 187  | 84    | 23    | 12    | 210   |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   | 0     | 0     | 0     | 18    | 65   | 99   | 125  | 104  | 65   | 31    | 3     | 0     | 510   |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             | 4.3   | 4.1   | 3.9   | 3.8   | 3.8  | 3.7  | 3.3  | 3.4  | 3.8  | 3.9   | 4.2   | 4.0   | 3.8   |
| Windrichtung                                   | S     | N     | WNW   | S     | SSW  | SSW  | S    | S    | WNW  | S     | S     | S     | S     |

Helsinki

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

### Mittlere klimatische Daten für Innsbruck, Österreich

| Parameter                                      | JAN   | FEB   | MÄR   | APR  | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV   | DEZ   | JAHR      |
|--|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-----------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | -2.8  | -0.5  | 4.8   | 9.3  | 13.8 | 16.7 | 18.1 | 17.4 | 14.6 | 9.0  | 3.4   | -1.1  | 8.6       |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | 1.1   | 4.2   | 10.7  | 15.5 | 20.2 | 23.5 | 24.8 | 24.0 | 20.8 | 14.7 | 7.5   | 2.3   | 14.1      |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | -6.5  | -4.5  | -0.1  | 3.9  | 7.9  | 11.1 | 12.8 | 12.4 | 9.6  | 4.5  | 0.1   | -4.2  | 3.9       |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 18.5  | 17.5  | 24.8  | 28.6 | 32.6 | 35.9 | 36.9 | 34.5 | 30.7 | 24.8 | 23.0  | 17.9  | 36.9      |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -26.6 | -26.9 | -16.9 | -4.7 | -2.0 | 0.6  | 4.2  | 3.3  | -0.8 | -4.2 | -15.2 | -24.8 | -26.9     |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 77    | 72    | 65    | 63   | 62   | 66   | 69   | 70   | 72   | 73   | 77    | 79    | 70        |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 57    | 52    | 43    | 55   | 77   | 114  | 140  | 113  | 84   | 71   | 57    | 48    | 911       |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    | 115   | 110   | 109   | 113  | 168  | 149  | 243  | 246  | 113  | 170  | 128   | 112   | 1256      |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         | 7     | 3     | 22    | 38   | 37   | 58   | 88   | 66   | 20   | 1    | 24    | 17    | 715       |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    | 58    | 34    | 39    | 39   | 61   | 54   | 65   | 76   | 52   | 49   | 39    | 44    | 76        |
| Tage mit Niederschlag                          | 13    | 13    | 11    | 14   | 15   | 19   | 19   | 17   | 14   | 12   | 12    | 13    | 172       |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 73    | 105   | 158   | 166  | 189  | 190  | 210  | 199  | 177  | 145  | 86    | 68    | 1766      |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> | 0     | 0     | 23    | 50   | 88   | 110  | 120  | 105  | 73   | 41   | 12    | 0     | 622       |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   | 1.2   | 1.3   | 1.4   | 1.6  | 1.5  | 1.4  | 1.2  | 1.2  | 1.2  | 1.2  | 1.2   | 1.2   | 1.3       |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             | W     | W     | E     | E    | E    | E    | E    | E    | E    | E    | W     | W     |           |
| Windrichtung                                   |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       | Innsbruck |

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

### Mittlere klimatische Daten für Lissabon, Portugal

| Parameter                                      | JAN  | FEB  | MÄR  | APR  | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV  | DEZ  | JAHR |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | 10.8 | 11.6 | 13.6 | 15.6 | 17.2 | 20.1 | 22.2 | 22.5 | 21.2 | 18.2 | 14.4 | 11.5 | 16.6 |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | 13.9 | 15.2 | 17.3 | 19.6 | 21.4 | 24.8 | 27.4 | 27.7 | 25.9 | 22.3 | 17.2 | 14.5 | 20.6 |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | 7.8  | 8.1  | 10.0 | 11.5 | 12.9 | 15.4 | 17.0 | 17.3 | 16.5 | 14.2 | 11.0 | 8.5  | 12.5 |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 20.6 | 25.4 | 27.4 | 31.0 | 34.3 | 37.7 | 39.9 | 40.3 | 35.5 | 35.3 | 26.7 | 20.9 | 40.3 |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -0.5 | -1.2 | 2.8  | 4.4  | 6.4  | 9.8  | 12.1 | 13.3 | 10.3 | 6.7  | 3.6  | 0.0  | -1.2 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 78   | 72   | 71   | 63   | 63   | 60   | 55   | 57   | 62   | 67   | 75   | 78   | 67   |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 111  | 76   | 109  | 54   | 44   | 16   | 3    | 4    | 33   | 62   | 93   | 103  | 708  |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    | 237  | 319  | 219  | 227  | 149  | 78   | 55   | 52   | 223  | 243  | 247  | 385  | 1421 |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         | 10   | 1    | 1    | 8    | 2    | 0    | 0    | 0    | 0    | 6    | 0    | 7    | 420  |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    | 59   | 59   | 70   | 35   | 50   | 36   | 18   | 25   | 50   | 64   | 88   | 78   | 88   |
| Tage mit Niederschlag                          | 15   | 12   | 14   | 10   | 10   | 5    | 2    | 2    | 6    | 9    | 13   | 15   | 113  |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 161  | 182  | 206  | 265  | 301  | 330  | 378  | 357  | 279  | 231  | 174  | 159  | 3023 |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> | 195  | 276  | 380  | 527  | 604  | 674  | 705  | 623  | 478  | 339  | 225  | 177  | 434  |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   | 26   | 30   | 43   | 54   | 77   | 89   | 117  | 115  | 92   | 69   | 38   | 27   | 773  |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             | 4.1  | 4.1  | 4.2  | 4.3  | 4.2  | 4.5  | 4.8  | 4.4  | 4.0  | 3.6  | 3.8  | 3.9  | 4.1  |
| Windrichtung                                   | N    | N    | N    | N    | N    | N    | N    | N    | N    | N    | N    | N    | N    |

Lissabon

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

### Mittlere klimatische Daten für London, Großbritannien

| Parameter                                      | JAN  | FEB  | MÄR  | APR  | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV  | DEZ  | JAHR |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | 4,3  | 5,1  | 6,7  | 9,4  | 12,5 | 16,0 | 17,7 | 17,3 | 14,9 | 11,1 | 7,7  | 5,4  | 10,7 |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | 6,3  | 6,9  | 10,1 | 13,3 | 16,7 | 20,3 | 21,8 | 21,4 | 18,5 | 14,2 | 10,1 | 7,3  | 13,9 |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | 2,2  | 2,2  | 3,3  | 5,5  | 8,2  | 11,6 | 13,5 | 13,2 | 11,3 | 7,9  | 5,3  | 3,5  | 7,3  |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 14,3 | 16,1 | 21,4 | 25,5 | 30,2 | 32,7 | 33,8 | 33,1 | 29,9 | 25,6 | 19,0 | 15,1 | 33,8 |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -9,5 | -9,4 | -7,7 | -2,1 | -1,0 | 4,8  | 7,0  | 6,2  | 3,0  | -3,6 | -5,0 | -7,0 | -9,5 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 82   | 79   | 73   | 64   | 64   | 64   | 65   | 64   | 73   | 78   | 83   | 84   | 73   |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 54   | 40   | 37   | 37   | 46   | 45   | 57   | 59   | 49   | 57   | 64   | 48   | 593  |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    | 120  | 127  | 118  | 93   | 102  | 164  | 150  | 150  | 101  | 138  | 172  | 112  | 778  |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         | 21   | 2    | 2    | 2    | 6    | 9    | 10   | 2    | 3    | 4    | 7    | 8    | 435  |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    | 29   | 22   | 28   | 24   | 25   | 36   | 60   | 56   | 46   | 35   | 35   | 26   | 60   |
| Tage mit Niederschlag                          | 15   | 13   | 11   | 12   | 12   | 11   | 12   | 11   | 13   | 13   | 15   | 15   | 153  |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 46   | 64   | 113  | 160  | 199  | 213  | 198  | 188  | 142  | 98   | 53   | 40   | 1514 |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> | 40   | 89   | 148  | 221  | 288  | 350  | 303  | 256  | 198  | 110  | 60   | 34   | 175  |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   | 13   | 16   | 31   | 48   | 76   | 106  | 119  | 105  | 76   | 47   | 25   | 17   | 680  |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Windrichtung                                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

London

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

## Mittlere klimatische Daten für Madrid, Spanien

| Parameter                                      | JAN   | FEB  | MÄR  | APR  | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV  | DEZ  | JAHR  |
|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | 4.9   | 6.5  | 10.0 | 13.0 | 15.7 | 20.6 | 24.2 | 23.6 | 19.8 | 14.0 | 8.9  | 5.6  | 13.9  |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | 8.5   | 11.0 | 14.9 | 18.4 | 21.2 | 26.9 | 30.8 | 29.5 | 25.0 | 18.5 | 12.8 | 8.8  | 18.9  |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | 1.5   | 2.2  | 5.2  | 7.4  | 10.2 | 14.6 | 17.4 | 17.1 | 14.1 | 9.5  | 5.3  | 2.2  | 8.9   |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 18.0  | 22.0 | 25.8 | 30.1 | 33.4 | 38.1 | 39.1 | 38.9 | 35.1 | 29.8 | 22.1 | 17.2 | 39.1  |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -10.1 | -9.1 | -3.5 | -0.6 | 0.6  | 6.4  | 8.5  | 9.2  | 5.0  | -0.4 | -3.0 | -6.5 | -10.1 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 79    | 73   | 68   | 64   | 61   | 54   | 46   | 49   | 59   | 70   | 75   | 78   | 65    |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 38    | 34   | 45   | 44   | 44   | 27   | 12   | 14   | 32   | 53   | 47   | 48   | 438   |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    | 100   | 128  | 123  | 132  | 119  | 59   | 55   | 74   | 115  | 171  | 108  | 181  | 691   |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         | 0     | 0    | 5    | 1    | 9    | 3    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 2    | 241   |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    | 33    | 40   | 56   | 36   | 41   | 48   | 30   | 39   | 53   | 54   | 65   | 30   | 65    |
| Tage mit Niederschlag                          | 7     | 6    | 10   | 9    | 9    | 6    | 2    | 3    | 6    | 8    | 9    | 9    | 84    |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 153   | 173  | 187  | 235  | 279  | 317  | 382  | 352  | 256  | 206  | 157  | 136  | 2824  |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> | 126   | 191  | 261  | 361  | 464  | 551  | 559  | 438  | 311  | 176  | 104  | 91   | 303   |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   | 10    | 15   | 30   | 48   | 79   | 113  | 144  | 135  | 87   | 52   | 22   | 11   | 746   |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             | 2.6   | 2.6  | 2.8  | 3.1  | 2.7  | 2.7  | 2.9  | 2.9  | 2.5  | 2.4  | 2.3  | 2.5  | 2.7   |
| Windrichtung                                   | NE    | NE   | SW   | NE   | SW   | NE   | NE   | NE   | NE   | NE   | NE   | NE   | NE    |

Madrid

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

### Mittlere klimatische Daten für Moskau, Russland

| Parameter                              | JAN   | FEB   | MÄR  | APR  | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT | NOV  | DEZ   | JAHR  |
|--|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|-------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)           | -9.9  | -9.5  | -4.2 | 4.7  | 11.9 | 16.8 | 19.0 | 17.1 | 11.2 | 4.5 | -1.9 | -6.8  | 4.4   |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)  | -7.0  | -5.8  | 0.0  | 8.8  | 17.3 | 21.5 | 23.5 | 21.6 | 15.6 | 7.6 | 0.3  | -4.9  | 8.2   |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)  | -13.7 | -13.5 | -8.5 | -0.3 | 6.0  | 9.7  | 12.4 | 11.0 | 6.2  | 1.1 | -4.6 | -10.3 | -0.4  |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)   | 4     | 6     | 15   | 28   | 32   | 35   | 37   | 37   | 32   | 24  | 13   | 8     | 37    |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)   | -42   | -40   | -32  | -19  | -7   | -2   | 4    | 1    | -5   | -20 | -33  | -39   | -42   |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)      | 85    | 82    | 81   | 68   | 61   | 62   | 67   | 71   | 76   | 82  | 84   | 87    | 76    |
| Mittlerer Niederschlag (mm)            | 31    | 28    | 22   | 35   | 52   | 67   | 74   | 74   | 58   | 51  | 36   | 36    | 57.5  |
| Maximaler Niederschlag (mm)            | 67    | 75    | 98   | 100  | 103  | 174  | 169  | 164  | 131  | 143 | 114  | 82    | 81.9  |
| Minimaler Niederschlag (mm)            | 8     | 9     | 6    | 3    | 2    | 5    | 25   | 1    | 7    | 6   | 11   | 7     | 35.4  |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std. | 20    | 21    | 21   | 25   | 33   | 51   | 79   | 63   | 52   | 42  | 22   | 26    | 79    |
| Tage mit Niederschlag                  | 17    | 15    | 14   | 13   | 12   | 15   | 16   | 16   | 17   | 16  | 17   | 19    | 18.7  |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)      | 30    | 58    | 113  | 161  | 242  | 256  | 258  | 218  | 136  | 73  | 32   | 20    | 159.7 |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m²     | 43    | 81    | 226  | 264  | 403  | 468  | 474  | 366  | 201  | 93  | 48   | 31    | 556   |
| Potentielle Verdunstung (mm)           | 0     | 0     | 0    | 28   | 88   | 114  | 132  | 109  | 64   | 22  | 0    | 0     | 556   |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)     | 5.0   | 4.9   | 5.2  | 4.7  | 4.5  | 3.9  | 3.5  | 3.5  | 4.3  | 4.7 | 4.9  | 4.7   | 4.5   |
| Windrichtung                           | W     | SE    | W    | SE   | N    | NW   | NW   | NW   | W    | W   | SW   | S     |       |

Moskau

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

### Mittlere klimatische Daten für Oslo, Norwegen

| Parameter                              | JAN   | FEB   | MÄR   | APR   | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV   | DEZ   | JAHR  |
|--|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)           | -4.7  | -4.0  | -0.5  | 4.8   | 10.7 | 14.7 | 17.3 | 15.9 | 11.3 | 5.9  | 1.1   | -2.0  | 5.9   |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)  | -2.4  | -1.1  | 3.8   | 9.8   | 15.9 | 19.9 | 22.3 | 20.9 | 15.7 | 9.1  | 3.2   | 0.1   | 9.8   |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)  | -7.3  | -7.1  | -4.1  | 0.9   | 5.9  | 10.1 | 13.0 | 11.9 | 7.8  | 3.1  | -0.8  | -4.1  | 2.4   |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)   | 9.9   | 13.8  | 15.5  | 21.5  | 28.4 | 33.7 | 32.8 | 30.9 | 25.5 | 20.1 | 11.7  | 10.8  | 33.7  |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)   | -26.0 | -21.9 | -21.3 | -14.9 | -3.4 | 1.8  | 3.7  | 3.9  | -2.0 | -7.6 | -15.7 | -20.2 | -26.0 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)      | 84    | 79    | 77    | 66    | 60   | 62   | 67   | 70   | 76   | 80   | 86    | 86    | 74    |
| Mittlerer Niederschlag (mm)            | 49    | 35    | 26    | 44    | 44   | 71   | 84   | 96   | 83   | 76   | 69    | 63    | 740   |
| Maximaler Niederschlag (mm)            |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std. |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Minimaler Niederschlag (mm)            | 33    | 21    | 16    | 29    | 43   | 43   | 46   | 52   | 38   | 50   | 32    | 24    | 52    |
| Tage mit Niederschlag                  | 15    | 13    | 9     | 11    | 10   | 13   | 15   | 14   | 14   | 14   | 16    | 17    | 161   |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)      | 45    | 83    | 152   | 182   | 233  | 244  | 219  | 183  | 138  | 87   | 41    | 25    | 1632  |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m²     | 26    | 74    | 189   | 292   | 434  | 422  | 396  | 300  | 182  | 113  | 32    | 16    | 206   |
| Potentielle Verdunstung (mm)           | 0     | 0     | 0     | 30    | 74   | 106  | 123  | 101  | 64   | 29   | 0     | 0     | 527   |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)     | 2.1   | 1.9   | 2.0   | 2.5   | 2.5  | 2.7  | 2.5  | 2.3  | 2.2  | 2.1  | 2.4   | 1.8   | 2.2   |
| Windrichtung                           | NNE   | NNE   | NNE   | S     | S    | S    | S    | S    | S    | NNE  | NNE   | NNE   | NNE   |

Oslo

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

### Mittlere klimatische Daten für Paris, Frankreich

| Parameter                                      | JAN   | FEB   | MÄR  | APR  | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV  | DEZ   | JAHR  |
|--|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | 3.1   | 3.8   | 7.2  | 10.3 | 14.0 | 17.1 | 19.0 | 18.5 | 15.9 | 11.1 | 6.8  | 4.1   | 10.9  |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | 6.0   | 7.4   | 12.2 | 15.8 | 19.7 | 22.9 | 24.6 | 24.0 | 21.1 | 15.6 | 10.0 | 6.6   | 15.5  |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | 0.9   | 1.3   | 3.6  | 6.3  | 9.5  | 12.7 | 14.5 | 14.3 | 11.9 | 7.9  | 4.5  | 2.0   | 7.5   |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 15.6  | 20.8  | 24.7 | 31.9 | 33.1 | 36.2 | 39.6 | 36.6 | 34.8 | 27.2 | 20.3 | 16.2  | 39.6  |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -17.0 | -16.8 | -7.8 | -3.7 | -1.6 | 1.7  | 4.9  | 5.1  | 0.1  | -4.6 | -8.3 | -13.2 | -17.0 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 84    | 80    | 74   | 68   | 69   | 71   | 70   | 74   | 78   | 81   | 85   | 86    | 77    |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 54    | 43    | 32   | 38   | 52   | 50   | 55   | 62   | 51   | 49   | 50   | 49    | 585   |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    | 115   | 109   | 88   | 84   | 157  | 113  | 161  | 124  | 107  | 156  | 143  | 103   | 813   |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         | 17    | 0     | 0    | 9    | 7    | 10   | 5    | 6    | 12   | 15   | 15   | 10    | 378   |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    | 18    | 17    | 16   | 26   | 29   | 35   | 56   | 37   | 31   | 31   | 27   | 25    | 56    |
| Tage mit Niederschlag                          | 17    | 14    | 12   | 13   | 13   | 12   | 12   | 13   | 13   | 14   | 15   | 16    | 164   |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 64    | 83    | 152  | 185  | 223  | 233  | 231  | 204  | 166  | 122  | 63   | 53    | 1779  |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> | 74    | 128   | 244  | 353  | 439  | 478  | 454  | 383  | 289  | 174  | 84   | 58    | 263   |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   | 9     | 13    | 29   | 51   | 87   | 109  | 124  | 110  | 78   | 44   | 19   | 11    | 684   |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             | 4.4   | 4.3   | 4.2  | 4.5  | 3.9  | 3.4  | 3.7  | 3.3  | 3.4  | 3.3  | 3.7  | 4.1   | 3.9   |
| Windrichtung                                   | W     | W     | E    | NNE  | NNE  | W    | W    | W    | W    | W    | S    | S     | S     |

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

Paris



### Mittlere klimatische Daten für Reykjavik, Island

| Parameter                                      | JAN   | FEB   | MÄR   | APR   | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT   | NOV   | DEZ   | JAHR  |
|--|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | -0.3  | 0.3   | 1.5   | 3.6   | 6.8  | 9.8  | 11.4 | 10.0 | 8.6  | 5.3   | 2.2   | 0.5   | 5.1   |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | 1.8   | 2.5   | 4.0   | 6.2   | 9.8  | 12.4 | 13.9 | 13.6 | 11.0 | 7.4   | 4.1   | 2.4   | 7.4   |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | -2.3  | -2.0  | -1.0  | 0.9   | 3.7  | 7.1  | 8.8  | 8.1  | 6.1  | 3.1   | 0.2   | -1.5  | 2.6   |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 10.0  | 10.1  | 14.2  | 15.2  | 20.6 | 20.7 | 23.4 | 21.4 | 20.1 | 15.7  | 11.5  | 11.4  | 23.4  |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -17.1 | -13.6 | -14.3 | -12.7 | -7.2 | -0.2 | 1.4  | -0.4 | -3.5 | -10.2 | -11.6 | -16.8 | -17.1 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 80    | 77    | 75    | 77    | 71   | 75   | 77   | 76   | 78   | 81    | 80    | 81    | 77    |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 89    | 64    | 62    | 56    | 42   | 42   | 50   | 56   | 67   | 94    | 78    | 79    | 779   |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    | 132   | 174   | 150   | 110   | 96   | 81   | 92   | 110  | 157  | 166   | 212   | 172   | 1082  |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         | 39    | 17    | 19    | 22    | 9    | 16   | 13   | 4    | 15   | 33    | 25    | 27    | 562   |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    | 42    | 40    | 24    | 23    | 19   | 22   | 31   | 35   | 49   | 37    | 29    | 55    | 55    |
| Tage mit Niederschlag                          | 20    | 17    | 18    | 18    | 16   | 15   | 15   | 16   | 19   | 21    | 18    | 20    | 213   |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 24    | 56    | 111   | 136   | 182  | 182  | 180  | 166  | 106  | 72    | 34    | 9     | 1258  |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> | 0     | 0     | 0     | 29    | 35   | 47   | 100  | 88   | 58   | 32    | 10    | 0     | 399   |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   |       |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             |       |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
| Windrichtung                                   |       |       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |       |

Reykjavik

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

### Mittlere klimatische Daten für Rom, Italien

| Parameter                                      | JAN  | FEB  | MÄR  | APR  | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV  | DEZ  | JAHR |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | 6.9  | 7.7  | 10.8 | 13.9 | 18.1 | 22.1 | 24.7 | 24.5 | 21.1 | 16.4 | 11.7 | 8.5  | 15.6 |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | 11.1 | 12.6 | 15.2 | 18.8 | 23.4 | 27.6 | 30.4 | 29.8 | 26.3 | 21.5 | 16.1 | 12.6 | 20.5 |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | 4.5  | 5.4  | 7.2  | 9.8  | 13.3 | 17.2 | 19.6 | 19.4 | 16.9 | 12.8 | 9.3  | 6.4  | 11.8 |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 18.1 | 20.7 | 25.3 | 29.8 | 32.8 | 34.9 | 40.1 | 39.2 | 34.2 | 28.2 | 24.6 | 19.3 | 40.1 |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -5.0 | -5.4 | -1.2 | 0.3  | 2.1  | 9.2  | 11.9 | 13.2 | 8.0  | 2.1  | -2.4 | -5.0 | -5.4 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 77   | 73   | 71   | 70   | 67   | 62   | 58   | 59   | 66   | 72   | 77   | 79   | 69   |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 76   | 88   | 77   | 72   | 63   | 48   | 14   | 22   | 70   | 128  | 116  | 106  | 874  |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    | 179  | 189  | 157  | 144  | 130  | 86   | 55   | 66   | 138  | 425  | 254  | 246  | 1056 |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         | 12   | 1    | 0    | 10   | 5    | 0    | 0    | 0    | 0    | 19   | 21   | 12   | 369  |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    | 43   | 25   | 44   | 31   | 25   | 35   | 33   | 22   | 97   | 91   | 72   | 38   | 97   |
| Tage mit Niederschlag                          | 6    | 6    | 8    | 8    | 6    | 4    | 2    | 2    | 5    | 6    | 8    | 8    | 70   |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 133  | 132  | 205  | 210  | 267  | 282  | 335  | 307  | 243  | 198  | 123  | 102  | 2537 |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> | 143  | 198  | 286  | 387  | 477  | 517  | 532  | 465  | 355  | 252  | 149  | 114  | 323  |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   | 12   | 17   | 32   | 53   | 91   | 124  | 152  | 140  | 99   | 60   | 30   | 15   | 825  |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Windrichtung                                   | NE   | NE   | NE   | SW   | NE   | SW   | NE   | NE.W | NE.W | NE.W | NE.S | NE   |      |

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

Rom

### Mittlere klimatische Daten für Stockholm, Schweden

| Parameter                                      | JAN   | FEB   | MÄR   | APR   | MAI  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OKT  | NOV   | DEZ   | JAHR  |
|--|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Mittlere Lufttemperatur (°C)                   | -2.9  | -3.1  | -0.7  | 4.4   | 10.1 | 14.9 | 17.8 | 16.6 | 12.2 | 7.1  | 2.8   | 0.1   | 6.6   |
| Mittlere maximale Lufttemperatur (°C)          | -0.9  | -0.9  | 2.5   | 8.3   | 14.4 | 19.2 | 21.9 | 20.2 | 15.3 | 9.4  | 4.5   | 1.8   | 9.6   |
| Mittlere minimale Lufttemperatur (°C)          | -5.1  | -5.4  | -3.6  | 1.0   | 6.0  | 10.8 | 14.1 | 13.3 | 9.4  | 4.8  | 1.0   | -1.8  | 3.7   |
| Absolut maximale Lufttemperatur (°C)           | 9.6   | 11.8  | 15.2  | 20.2  | 28.0 | 32.2 | 34.6 | 31.0 | 25.7 | 17.4 | 12.4  | 12.2  | 34.6  |
| Absolut minimale Lufttemperatur (°C)           | -28.2 | -24.9 | -22.0 | -11.3 | -3.3 | 1.0  | 8.0  | 4.8  | 0.1  | -6.5 | -11.0 | -16.3 | -28.2 |
| Mittlere relative Luftfeuchte (%)              | 84    | 80    | 75    | 68    | 60   | 62   | 67   | 73   | 78   | 82   | 87    | 78    | 75    |
| Mittlerer Niederschlag (mm)                    | 43    | 30    | 26    | 31    | 34   | 45   | 61   | 76   | 60   | 48   | 53    | 48    | 555   |
| Maximaler Niederschlag (mm)                    |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Maximaler Niederschlag (mm) in 24 Std.         |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Minimaler Niederschlag (mm)                    | 26    | 23    | 17    | 20    | 36   | 30   | 42   | 47   | 44   | 38   | 39    | 33    | 47    |
| Tage mit Niederschlag                          | 16    | 13    | 10    | 11    | 11   | 13   | 13   | 14   | 14   | 15   | 16    | 27    | 163   |
| Mittlere Sonnenscheindauer (Std.)              | 41    | 76    | 151   | 208   | 292  | 318  | 295  | 248  | 174  | 103  | 41    | 26    | 1973  |
| Strahlung (LY/Tag), LY*11,63=Wh/m <sup>2</sup> | 27    | 81    | 179   | 208   | 374  | 442  | 408  | 328  | 210  | 102  | 41    | 19    | 202   |
| Potentielle Verdunstung (mm)                   | 0     | 0     | 0     | 26    | 69   | 102  | 123  | 103  | 66   | 35   | 8     | 0     | 532   |
| Mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)             | 3.9   | 3.6   | 3.6   | 3.8   | 4.0  | 4.3  | 3.7  | 3.8  | 3.9  | 4.1  | 3.9   | 3.9   | 3.8   |
| Windrichtung                                   | WSW   | W     | WSW   | SW    | NNE  | WSW  | SW   | SW   | WSW  | SW   | SW    | SW    | SW    |

Stockholm

Quelle der Klimadaten: M. Müller, 1983: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Universität Trier. Forschungsstelle Bodenerosion.

## 5. KLIMAORIENTIERTE GEBÄUDETYPEN UND BAUELEMENTE IN EUROPA

Die Umsetzung der beschriebenen Grundlagen des klimagerechten Bauens kann an einer breiten Vielfalt von Gebäudetypen und einzelnen Bauelementen in den verschiedenen Klimazonen Europas demonstriert werden. Hieraus ist nachfolgend eine Auswahl alter und neuer Beispiele dargestellt mit Abbildungen und Kurzbeschreibungen in Stichworten.

Diese Beispiele sind nicht immer repräsentativ für eine größere Klimazone oder auf allen Ebenen des klimagerechten Bauens optimiert. Sie alle verbindet aber das Bemühen, eine am konkreten Ort klimaorientierte Architektur zu realisieren. Wieweit diese Versuche immer gelungen sind, kann nur individuell beurteilt werden. Diese Bewertung fällt bei den traditionellen Bauten oft leichter. Sie können eine wertvolle Basis liefern aber keine Vorlagen für die direkte Nachahmung.

Bei der Suche nach einer Kontinuität der guten grundlegenden Bautraditionen bei gleichzeitiger Weiterentwicklung mit neuen technischen und gestalterischen Mitteln können sie aber in jedem Fall Anregungen bieten für die Beschäftigung mit der großen Bandbreite der bisher möglichen Lösungen und für die Entwicklung eigener Konzepte. So sind die hier gezeigten Beispiele als Diskussionsgrundlage zur Belebung der fachlichen Auseinandersetzung und als Anregung zur Sammlung eigener Beispiele und zur Benutzung der vorhandenen und der hier vorgelegten Planungshilfen gedacht.

Bild 25

Verwaltungsbau der Deutschen Bundesstiftung Umwelt im norddeutschen Osnabrück (Arch. Schneider-Wessling): Hohe Tageslichtausnutzung für die Büroarbeitsplätze, Solarenergienutzung und die klimaregulierende Wirkung alter Baumbestände im Innenhof bzw. umbauten Garten sind wichtige Bestandteile der klimagerechten, energiesparenden Konzeption - neben vielen umweltorientierten technischen Details des Projekts

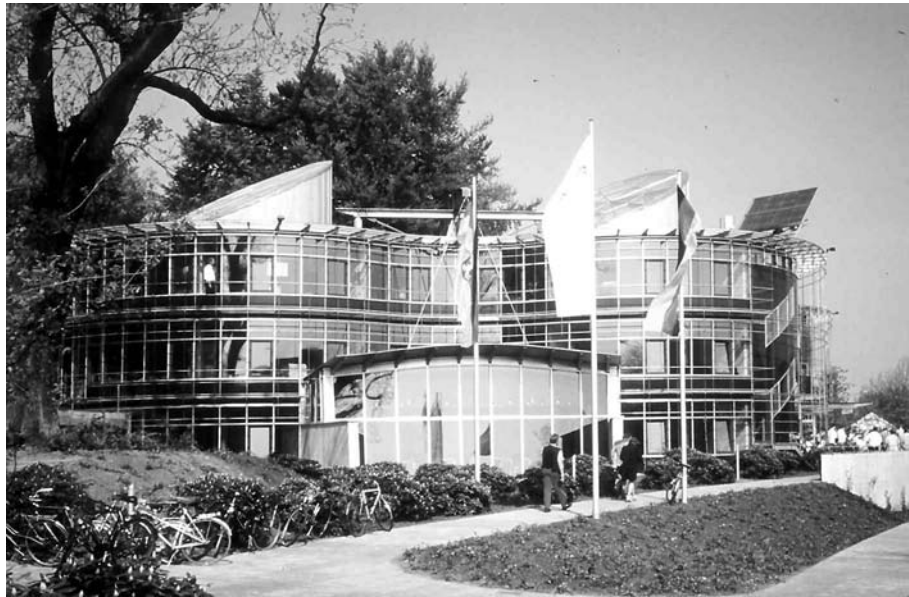


Bild 26

Die Baukörperform schwingt sich in respektvollen Abstand um den alten Baumbestand herum und nutzt den Schatten im Sommer und den Windschutz im Winter



Bild 27

Die Arbeitsräume erhalten ein gefiltertes, blendfrei gedämpftes Licht im Sommer und können bei laublosen Bäumen von der Wintersonne Licht und Wärme erhalten



*Bild 28  
Oberlichter lenken Tageslicht in die zentralen Gebäudezonen*



*Bild 29  
Das Tageslicht der Oberlichter gelangt durch reflektierende, weiße Wände und Glasöffnungen in den Innenwänden und Türen von innen in die Arbeitsräume*





*Bild 30*

*Ein Wohnungsbauprojekt im süddeutschen Freiburg (Proj. Lindenwäldle, Arch. Disch) kombiniert durch nach Süden konvex gebogene Baukörper eine gute passive Nutzung der Solarenergie mit gutem Wärmeschutz auf der kürzeren Nordseite und den geschlossenen, kurzen Ost- und Westgiebeln*

*Bild 31*

*Die Wintergärten bieten auf der gesamten Erdgeschossfassade im Süden einen winterlichen Energiegewinn und werden mit großen Lüftungsöffnungen vor sommerlicher Überhitzung geschützt*





*Bild 32*

*Die geschlossenen, konkav gekrümmten und kürzeren Nordseiten sind im Sinne einer "Temperaturhierarchie" oder Wärmezonierung der Räume mit niedriger temperierten oder unbeheizten Pufferräumen geschützt (Treppenhaus, Windfang, Abstellräume)*

*Bild 33*

*Die völlig geschlossenen Ost- und Westgiebel erhalten zusätzlich zur gedämmten Holzverkleidung einen dicken, windschützenden Pflanzenbewuchs*





*Bild 34*

*Wohnhäuser in der Schweiz  
an einem Südhang, mit Wintergärten zur passiven Solar-  
energienutzung*



*Bild 35*

*Die Nordseite der Häuser ist  
nahezu vollständig in den  
Hang integriert und wird so  
optimal gegen Wind und Aus-  
kühlung geschützt*



*Bild 36*

*Das einfache Pultdach wird  
durch ein dickes Graspolster  
(von recycelten Autoreifen  
gegen Abrutschen gesichert)  
zusätzlich gegen Wind und  
Kälte geschützt*





*Bild 37*

*Bei einem energetischen Sanierungsprojekt in Kopenhagen wurde die denkmalgeschützte Nordfassade zur Straße nur durch Wärmeschutzfenster verbessert, da die Fassade erhalten werden mußte; die westliche, geschlossene Brandwand erhielt ein Wärmedämm-Verbundsystem*



*Bild 39*

*Ein großer Laubbaum bietet zusätzlichen sommerlichen Sonnenschutz und freie Einstrahlung im Winter*

*Bild 38*

*Die Südseite zum Hof ohne strenge Denkmalschutzaufgaben wurde fast flächendeckend mit einer vorgesetzten Wintergartenstruktur zur solaren Energiegewinnung und als wirksamer, unbeheizter (!) Wärmepuffer versehen; große Fensteröffnungen in der Wintergartenverglasung vermeiden sommerliche Überhitzung*



Bild 40

Ein Wohnungsneubauprojekt in der holländischen Altstadt von Zwolle (Arch. van Eyck) schafft einen größeren, windgeschützten Innenhofbereich als grüne "Oase" mit ausreichenden Öffnungen in den Eckbereichen der Baukörper zur Vermeidung stehender "Kaltluftseen"



Bild 41

Mit ihrer Nord- und Westseite liegen die Gebäude optimal geschützt dicht hinter der alten Stadtmauer - im flachen, sturmreichen Holland ein wesentlicher Wärmeschutzvorteil



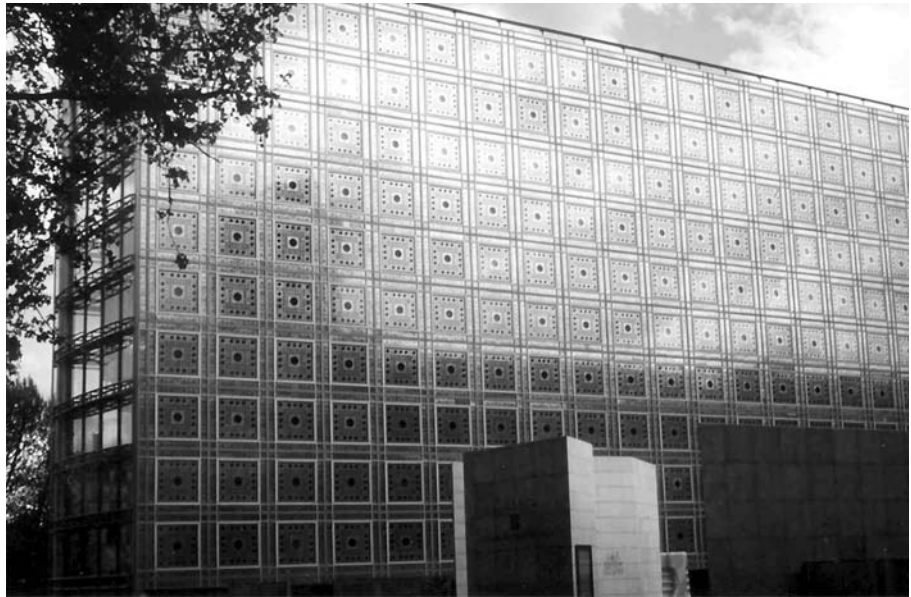
Bild 42

Die Südfassaden erhielten Wintergärten im Erdgeschoss und kleine, tiefe Loggien mit Schatten bei hochstehender Sommersonne in den Obergeschossen



Bild 43

Der Fassadenausschnitt zeigt die Loggia und die außen angeschlagenen (d.h. nach außen öffnenden) Fenster - eine in Regionen mit kalten Stürmen bewährte Konstruktion, die bei Winddruck dichter ist als nach innen öffnende Fensterflügel



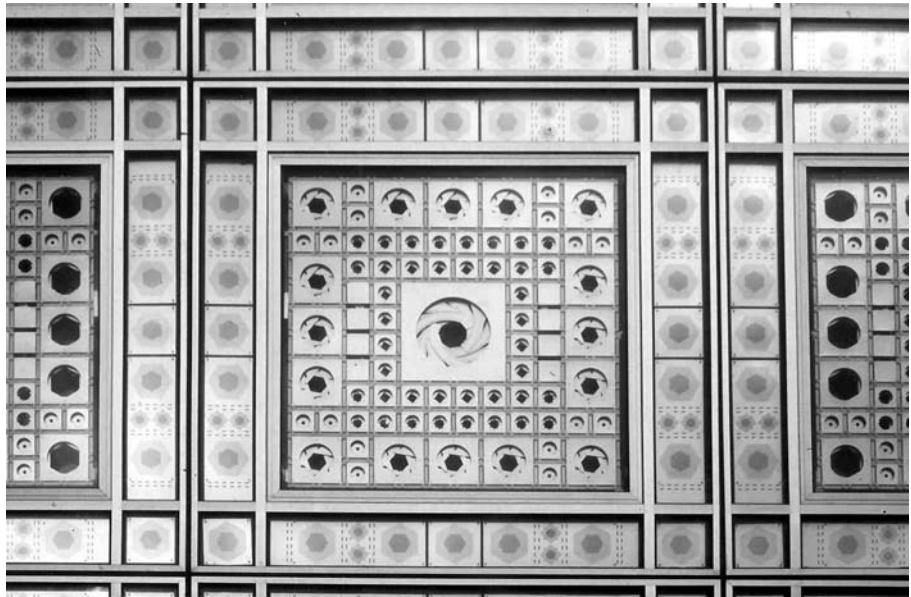
*Bild 44*

*Das arabische Kulturzentrum "L'Institut du Monde Arabe" in Paris (Arch. Nouvel) hat eine Südfassade aus differenzierten Elementen zur Steuerung der Sonneneinstrahlung, die einer Kamerablende ähnelt; die Elemente aus beweglichen Blechen sind zwischen zwei Glasscheiben integriert*

*Bild 45*

*Der Lesesaal bei geöffneten "Blenden" zur maximalen Tageslichtausnutzung im Winter oder bei bedecktem Himmel - über Fotozellen oder manuell gesteuert*





*Bild 46*

*Fassadenausschnitt mit einem einzelnen teilweise geschlossenen Element zwischen geöffneten Elementen; so wird eine individuelle Steuerung des Licht- und Energiedurchgangs für einzelne Räume oder Fassadenbereiche möglich*

*Bild 47*

*Die Fassade bei Wintersonne mit einem Öffnungsgrad, der in Anpassung an die aktuell gemessene Strahlung die optimale Ausnutzung von Sonnenenergie und Tageslicht ermöglicht; die Elemente sollen traditionelle, arabische Gitterstrukturen von Fassaden assoziieren*

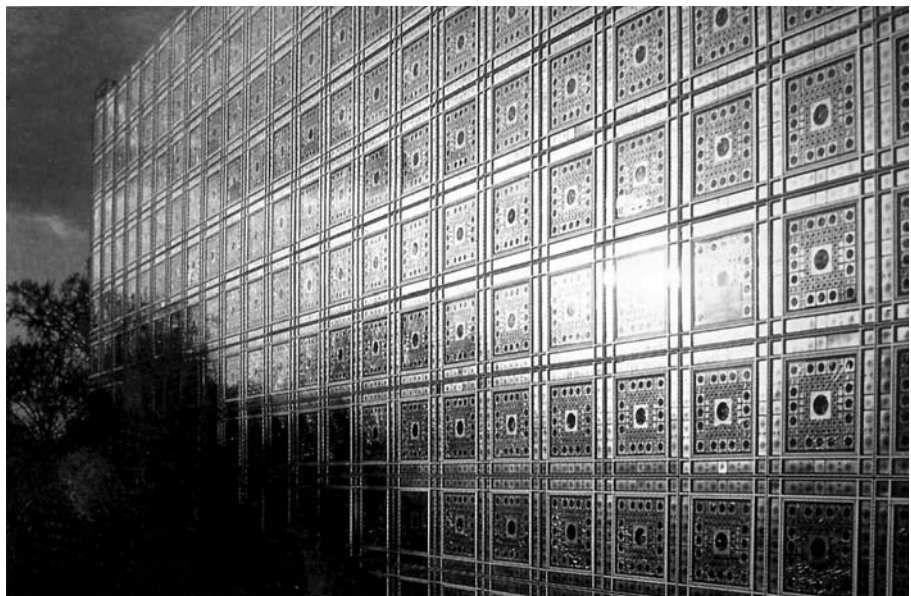


Bild 48

Ein Wohnungsneubau in Venedig mit den alten Klimastrategien der geschlossenen, monolithischen Außenwände mit relativ sparsamem Fensteranteil und Fensterläden



Bild 49

In den tiefen Fensterlaibungen der dicken Außenwände finden die gefalteten Fensterläden im geöffneten Zustand Platz; sie dienen überwiegend dem sommerlichen Sonnenschutz



Bild 50

Ein weiterer Wohnungsneubau in Venedig mit hohem Anteil geschlossener Wandflächen, kleinen Fenstern und schattigen Loggien





*Bild 51*

*Die sogenannte "Basilika" des Renaissance-Baumeisters Palladio im norditalienischen Vicenza hat umlaufende, tiefe Loggien; diese erhalten Licht und Wärme der tiefstehenden Wintersonne und gelangen mit der höhersteigenden Sonne zum Sommer immer mehr in den Schatten*

*Bild 52*

*Der Innenraum der südlichen Loggien an einem sonnigen Märztag*





Bild 53

Ein Bankgebäude auf der griechischen Insel Rhodos als kompakter, massiver Baukörper mit relativ geringem Öffnungsanteil in Anlehnung an traditionelle Klimastrategien dieser warm-trockenen Mittelmeerregion



Bild 54

Mehrgeschossiger Wohnungsbau in Likovrissi/Athen (in der Bauphase, Arch. Tombazis) mit Südloggien und Solarkollektoren in der Dachfläche





*Bild 55*  
*Pergolastruktur zur sommerlichen Beschattung einer Südfassade*  
*und Terrasse in der einfachen Inselarchitektur Griechenlands*

*Bild 56*  
*Südfassade mit integrierter, schattiger Loggienreihe einer alten Villa*  
*im portugiesischen Seebad Cascais bei Lissabon*



*Bild 57*

*Einfaches Strandhaus an der Costa de Caparica bei Lissabon; der außen umlaufende Gang mit eigener Überdachung beschattet die gesamte Fassade - ein Bauelement, dass sich auch in traditionellen Bauten der Tropen findet*



*Bild 58*

*Individuell steuerbarer Sonnenschutz durch vertikale Schiebeelemente an einem Verwaltungsbau in Rom*

Bild 59

Ein Museumsbau in Oslo (Kunstneres Hus) als kompakter, weitgehend geschlossener Baukörper mit Oberlichtern für die Ausstellungsräume und großen Südöffnungen im Restaurantbereich mit Schutz- und Schattendach über der Südterrasse



Bild 60

Ausstellungssaal des Museums mit Oberlicht; die Museumsfunktion kommt dem winterlichen Wärmeschutz im kalten Norwegen (aber auch dem sommerlichen in einem wärmeren Land) entgegen, denn im Dachbereich ist eine viel kleinere Öffnung für die gleiche Lichtmenge nötig als bei Fenstern in der Wand





*Bild 61*

*Ein Fischerhaus an der schottischen Westküste mit niedrigen, massiven Außenwänden, kleinen Öffnungen und einem dicken Strohdach bietet guten Wärme- und Sturmschutz*

*Bild 62*

*Das flachgeneigte, dämmende Strohdach ist gegen Stürme gesichert durch eine flächige Befestigung mit Maschendraht und Beschwerung mit Steinen*





*Bild 63  
Ein Gasthof in Schottland mit heruntergezogener Nordseite und hoher Südfassade sowie größeren Fenstern zur Nutzung der Wintersonne*

*Bild 64  
Fassadendetail aus Schottland mit Sonnenerker und hausintegriertem Windfang*



Bild 65

Die Kunsthochschule in Glasgow (Arch. Mackintosh), ein Bauwerk aus der städtischen Tradition des frühen 20. Jahrhunderts mit massiven Außenwänden und größeren integrierten Glasflächen (hier in der Westfassade)



Bild 66

Ausschnitt der Westfassade, Kunsthochschule in Glasgow

Bild 67

Überglasteter Hof als klimageschützter, lichtdurchfluteter "Innenraum" aus der Jugendstilepoche, Glasgow



Bild 68

Energetisch sanierter Wohnungsbau in Dänemark mit einer großflächigen, vor die Südfassade gestellten Balkon- und Wintergartenstruktur







*Bild 69*

*Einfache Ergänzung von Balkonen zu Wintergärten durch die Bewohner selbst, an ca. 100 Jahre alten Wohnhäusern im norddeutschen Hannover*

*Bild 70*

*Eine besondere und kostengünstige Form des Wind- und Wärmeschutzes ist die fast vollständige "Einkleidung" dieses Hauses in Dänemark mit einem "grünen Pelz" aus Kletter- bzw. Rankpflanzen (z.B. Efeu, Knöterich, wilder Wein)*



## 6. PLANUNGSANFORDERUNGEN UND CHECKLISTEN

Die wichtigsten Planungsanforderungen für die Entwicklung klimagerechter Gebäudekonzepte in Abhängigkeit von ihrem konkreten Standort in Europa können gegliedert werden nach:

### 6.1 Planungsanforderungen

- Makroklima-Anforderungen
- Mikroklima-Anforderungen
- Nutzungsbezogene Klimaanforderungen

Grundlegende und typische Anforderungen aus dem Makroklima einer größeren Region bilden die Basis der ersten Planungsüberlegungen. Spezielle Anforderungen aus dem Mikroklima des unmittelbaren Standortes und seiner direkten Umgebung bilden den konkreten Handlungsspielraum. Besondere Anforderungen aus der geplanten Nutzung des Gebäudes und seiner Umgebung sind vor allem gekennzeichnet durch die Wechselwirkungen zwischen Klimaverlauf und Nutzungszeiträumen sowie Nutzungsart.

Die systematische Überprüfung dieser Anforderungen vom ersten Moment der Bearbeitung einer Planungsaufgabe an ist eine notwendige Voraussetzung für klimagerechtes Bauen. Sie soll durch die folgenden Checklisten erleichtert werden. Diese sind entsprechend den drei genannten Anforderungsgruppen aufgebaut. Die Checklisten dienen zur möglichst vollständigen Überprüfung der Chancen und Einschränkungen aus den Bedingungen von Makro- und Mikroklima sowie aus den Nutzungen. Sie verbinden die Aussagen zu den Grundlagen des klimagerechten Bauens und zu den Beispielen aus verschiedenen europäischen Regionen mit den Hinweisen zu den Planungsinstrumenten.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Planungsmaßnahmen auf das jeweilige **Makroklima** weitgehend nur reagieren können und dieses als gegeben ansehen müssen. Über seine Modifikationen durch globale Klimaveränderungen besteht noch keine Sicherheit bezüglich ihrer genauen Größenordnungen und ihres zeitlichen Verlaufs. Geschweige denn sind bisher verlässliche Prognosen verfügbar über eventuell eintretende Synergie- oder Kompensationseffekte (z.B. globale Erwärmung und Abkühlung in Europa durch Golfstrom-Veränderungen). Infolge dieser Unsicherheit der planerischen Konsequenzen - sollen wir in Europa für ein künftig wärmeres oder kühleres Klima bauen? - kann die Reaktion auf mögliche Veränderungen des Makroklimas nur in einer gewissen Flexibilität der Planung liegen auf der Basis der bisherigen, langfristigen Makroklima-Charakteristika. Eine solche flexible Planung für anpassungsfähige Gebäude ist gleichzeitig ohnehin von Vorteil für Anpassungen an Veränderungen der Nutzung, des Nutzerverhaltens und der sich entwickelnden Material- und Anlagentechnik.

Das **Mikroklima** des konkreten Gebäudestandortes und seines Umfeldes kann im Gegensatz zum Makroklima erheblich durch die Planung selbst beeinflusst und im günstigen Fall verbessert werden. Die hierbei zu berücksichtigenden Planungsanforderungen und die daraus entstehenden Maßnahmen wirken also in zwei Richtungen, auf das Gebäude und auf seine Umgebung, die dann ihrerseits in der Rückwirkung wieder das Gebäude beeinflusst.

Die **Nutzung** eines geplanten Bauwerks wird in Art und Umfang überwiegend durch den Auftraggeber vorgegeben. Die Planung kann hier jedoch durch eine frühzeitige Entwicklung von Konzept-, Entwurfs- und Detailalternativen Möglichkeiten ausarbeiten zur zeitlichen und räumlichen Organisation der Funktionen mit Nutzungs-

kombinationen, die raumklimatische und energieökonomische Vorteile aufweisen. Hierzu gehören z.B. Mehrfachnutzungen bestimmter Räume zu verschiedenen Zeiten, Temperaturhierarchien der Raumanordnung (warmer Kern und kühle Hüllräume) oder sogenannte "Energiekaskaden" zur gestaffelten Restenergienutzung (z.B. Abwärme) bei hintereinander liegenden Räumen.

Für die Benutzung der drei Checklisten ist zu beachten, dass die Checkliste 1 "Makroklima-Anforderungen" als erste Grundlage für den Einstieg in einen Planungsprozess dienen soll. Die Checklisten 2 "Mikroklima-Anforderungen" und 3 "Nutzungsbezogene Klimaanforderungen" sind immer parallel in ihrer gegenseitigen Wechselwirkung während des gesamten Planungsprozesses zu nutzen.

## 6.2 Checklisten zur klimagerechten Gebäudeplanung in Europa

### CHECKLISTE 1: Makroklima-Anforderungen

- **Kurzbeschreibung** des regionalen Makroklimas in Stichworten (z.B. südeuropäische Höhenregion mit langen, trockenen Sommern und 2- bis 3-monatiger Winterperiode mit mäßigem Regen und Heizbedarf je nach Höhenlage)  
 .....  
 .....  
 .....
- Regionale **Bautraditionen** in Stichworten, ggf. mit Abbildungen im Anhang zur Checkliste (z.B. massives Natursteinmauerwerk, kleine Fassadenöffnungen, flachgeneigte Ziegeldächer, tiefe Laibungen mit Klappläden)  
 .....  
 .....  
 .....
- Allgemeine, regionale **Makroklimadaten**, möglichst mit Hinweis auf die Erhebungsorte und -zeiträume (ggf. Klimatabelle - falls erhältlich - als Anhang beifügen)

| Monatsdaten                            | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| - mittlere Durchschnittstemperatur °C  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| - mittlere Maximaltemperatur °C        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| - mittlere Minimaltemperatur °C        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| - mittlere Niederschlagsmenge mm       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| - mittlere relative Luftfeuchte %      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| - mittlere Windgeschwindigkeiten m/sec |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| - vorherrschende Windrichtungen        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

- mittlere Anzahl der Frosttage
- zusätzl. Angaben (Orkane, Erdbeben, Nebel,...):

.....

.....

.....

· **Solare Daten** der Region (ggf. Tabelle und Sonnenstandsdiagramm - falls erhältlich - als Anhang beifügen)

| Monats- oder Jahresdaten           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Jahr |
|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------|
| - Sonnentage d                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |
| - Sonnenscheinstunden h            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |
| - Globalstrahlung W/m <sup>2</sup> |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |
| - Anteil direkter Strahlung %      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |
| - Anteil diffuser Strahlung %      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |
| - zusätzl. Angaben:                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |      |

.....

.....

.....

· **Gebäudebezogene Auswertung** der regionalen Makroklimadaten in Stichworten (später differenzieren mit den Prüfpunkten der Checklisten 2 und 3)

- Monate mit Heizbedarf für Wohngebäude: .....
  - Monate mit Kühlbedarf für Wohngebäude: .....
  - Monate mit Heizbedarf für Bürogebäude: .....
  - Monate mit Kühlbedarf für Bürogebäude: .....
  - Besondere Heiz- und Kühlanforderungen sonstiger Gebäudetypen: .....
- .....
- .....
- Sonnenscheintage/-stunden in der Heizperiode:.....

· Besondere **klimatische Probleme** der Region und ihr zeitliches Auftreten (Monate, Dauer in Tagen, tagsüber oder nachts)

- sehr hohe relative Luftfeuchte: .....
- sehr niedrige relative Luftfeuchte: .....
- kalte Starkwind- und Sturmhäufigkeit: .....
- warme Starkwind- und Sturmhäufigkeit: .....
- sehr hohe, kurzzeitige Niederschlagsmengen: .....
- lange, anhaltende Niederschlagszeiten: .....
- starke Schneefälle: .....

- anhaltende Frostperioden: .....
  - häufiges Auftreten von Nebel: .....
  - kombiniertes Auftreten von Sturm und Regen: .....
  - kombiniertes Auftreten von hoher Luftfeuchte und Frost: .....
  - sonstige Nachteile:.....
- .....

· **Besondere Chancen** des regionalen Klimas zur natürlichen Klimatisierung  
(ggf. Beispiele mit Stichworten, Skizzen und Abbildungen als Anhang beifügen)

- direkte Sonnenstrahlung in der Heizperiode: .....
  - nutzbare Winde in der Hitze- bzw. Schwüleperiode: .....
  - nutzbare Luftströmungen aus der Land-Wasser-Erwärmung zur Querlüftung in Küstenlagen: .....
  - nutzbare Vegetation zur Beschattung: .....
  - günstige Geländepositionen in der Topografie (Sonnenhänge, Windschutz an Leehängen, Belüftung an Luvhängen, Kaltluftseen, Frischluftschneisen etc.):
- .....
- .....
- sonstige Vorteile: .....
- .....

· **Zusätzliche Hinweise und Anlagen:**

.....

.....

## CHECKLISTE 2: Mikroklima-Anforderungen

- **Kurzbeschreibung** des lokalen Mikroklimas am Bauplatz in Stichworten (z.B. dichtbebaute städtische Umgebung, Windschutz im Westen durch hohe Gebäude, sommerliche Teilverschattung im Süden durch Alleebäume, .....)

.....  
.....  
.....

- **Mikroklimadaten**, soweit erhältlich mit Hinweis auf Datenquelle und Erhebungszeitraum.

Folgende möglichen Datenquellen überprüfen:

- Checkliste 1 "Makroklimadaten" immer zum Vergleich heranziehen
- Klimakarten der Stadtplanungs- oder Vermessungsämter (z.B. Wind und Temperaturen, Topografie, Stadtraumrelief und "Rauhigkeit" - siehe Kapitel 3)
- Luftaufnahmen oder Satellitenbilder (Quellen siehe Kapitel 3)
- Vorhandene Wetterstationen/Messstationen der näheren Umgebung (Informationen bei Stadtverwaltung oder örtlichem Wetteramt)
- Klimaaufzeichnungen von Nutzern der Nachbarfunktionen (z.B. Industrieanlagen, Freibäder/Sportanlagen, Flughäfen, technische Schulen/Hochschulen)
- Eigene Klimadatenerfassung/mobile Messstationen
- Genaue Standortanalyse der Witterungsfolgen wie z.B. Strumschäden, Wuchsrichtung von Bäumen, Moos- und Flechtenbildung nach Himmelsrichtungen, Spuren von Überschwemmungen, Dauerfeuchte, Blitzschlag, hoher Sonneneinstrahlung

Zusätzliche **spezielle Standortdaten**, sofern abweichend von Makroklimadaten:

- Vorherrschende Windrichtungen, -stärken und -zeiten:

.....  
.....

- Windschutz/Abdeckung der natürlichen Luftbewegung durch Nachbargebäude, Vegetation oder Topografie:

.....  
.....

- Niederschlagsmengen (Regen) und zeitliches Auftreten:

.....  
.....

- Schneemengen und zeitliches Auftreten:

.....  
.....

- Bodenfrost:

.....

- Nebelbildung:

.....  
- Überschwemmung/Probleme der Oberflächenentwässerung:

.....  
- Sonstige Mikroklimafaktoren, die auf dem Grundstück zu beachten sind:

.....  
.....  
· **Zusätzliche, lokale Solardaten** auf der Basis der Makroklimadaten aus Checkliste 1:

- Verschattungen der Grundstücksflächen - Ausmaß und zeitliches Auftreten überprüfen durch Sonnenstandsdiagramme (siehe Kapitel 3) und Eintragung der Nachbarbebauung und Bäume (beifügen als Anlage):

.....  
.....  
.....  
- Verschattungen möglicher, geplanter Bauten auf dem Grundstück - überprüfen durch Anwendung der o.g. Sonnenstandsdiagramme für verschiedene mögliche Gebäudeorientierungen und Gebäudehöhen sowie durch Arbeitsmodelle im Umgebungsmodell oder durch Simulation (Software siehe Kapitel 3):

.....  
.....  
- Besondere Reflexionswirkungen der Solarstrahlung durch Nachbarfassaden oder Wasserflächen (im Sonderfall Schneeflächen):

.....  
.....  
- Lokale Einschränkungen der solaren Einstrahlung (z.B. häufiger Bodennebel, Talnebel, Schnee auf horizontalen und flachgeneigten Flächen) :

.....  
.....  
· **Gebäudebezogene Auswertung** der Mikroklimadaten - Eintragung im Lageplan als Anlage beifügen

- Nutzbare Grundstücksbereiche zur solaren Energiegewinnung (Umfang und Zeit-räume):

- Nutzbare Gebäudeteile und -flächen zur solaren Energiegewinnung (Dächer, Fassaden/je nach Geschoss, Nebengebäude):

.....

.....

.....

- Nutzbare Verschattungen von Grundstücksflächen und geplanten Gebäuden:

.....

.....

.....

- Grundstücksbereiche mit besonders guter Querlüftung (Umfang und Zeiträume):

.....

.....

.....

- Grundstücksbereiche mit besonders gutem Windschutz (Umfang und Zeiträume):

.....

.....

.....

- Sonstige mikroklimatische Vor- oder Nachteile des Grundstücks:

.....

.....

.....

- Vorhandene **klimaorientierte Nachbargebäude** (ggf. Zeichnungen, Fotos, Beschreibungen als Anhang beifügen) und deren Nutzererfahrungen:

.....

.....

- **Zusätzliche Hinweise** und Anlagen zum Mikroklima auf dem Baugrundstück oder den alternativ zu bewertenden Baugrundstücken:

.....

.....

.....

- **Vergleichende Bewertung** bei Alternativgrundstücken:

|              | Mikroklimatische Vorteile | Nachteile |
|--------------|---------------------------|-----------|
| Grundstück A | .....                     | .....     |
| Grundstück B | .....                     | .....     |
| Grundstück C | .....                     | .....     |



### CHECKLISTE 3: Nutzungsbezogene Klimaanforderungen

- **Klimaorientierte Auswertung des Nutzungsprogramms** zur Ermittlung des Zeitraums und Umfangs notwendiger Klimatisierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Checkliste 2

- Eintragung der ermittelten Klimadaten in Komfortdiagramme (siehe Kapitel 3 - Diagramme beifügen als Anlage) für die verschiedenen Nutzungsbereiche entsprechend ihrem besonderen Heizungs- oder Kühlungsbedarf:

Nutzungsbereich:.....

Nutzungsbereich:.....

Nutzungsbereich: .....

- Klimaorientierte **Nutzungsanordnungen** auf dem Grundstück oder im Bauwerk (Eintragungen im Lageplan als Anlage beifügen)

- Anordnung der Nutzungen mit hohem Heizenergiebedarf (Höhe und Dauer):

.....  
.....

- Anordnung der Nutzungen mit niedrigerem Heizenergiebedarf (Höhe und Dauer):

.....  
.....

- Anordnung der Nutzungen ohne Heizenergiebedarf:

.....  
.....

- Anordnung der Nutzungen mit hohen Anforderungen an natürliche Querlüftung:

.....  
.....

- Anordnung der Nutzungen mit geringen oder ohne Anforderungen an Querlüftung:

.....  
.....

· Klimaorientierte **Grundrissorganisation** (in Vorentwurfsalternativen eintragen und als Anlage beifügen)

- Raumerschliessungen zur Förderung der besseren Querlüftung (Aussengänge, offene Flure in Hauptwindrichtung, gegenüberliegende Türen mit Lüftungsfunktion):

.....  
.....  
.....

- Raumanordnungen und -dimensionierungen zur Förderung der Querlüftung (kurze Raumausdehnung in Durchlüftungsrichtung, Anordnung an windexponierten Gebäudeseiten, Vermeidung von Luftstrombarrieren durch Bauteile oder Nachbarräume):

.....  
.....  
.....

- Raumanordnungen zur besseren Heizwärmeausnutzung (Zusammenfassung von Räumen mit gleichem Wärmeniveau, Nutzung von Abwärme für Nachbarräume, Temperaturhierarchien - siehe Kapitel 2 - und Pufferräume):

.....  
.....  
.....

- Raumanordnungen zu Solarenergieausnutzung (Himmelsrichtung, Zeitraum):

.....  
.....  
.....

· Klimaorientierte **Baukörperkonzeption** (überprüfen in Zeichnungen, Arbeitsmodellen und ggf. Simulationen - als Anlage beifügen)

- Baukörperdimensionierung und -orientierung zur Ausnutzung von Luftbewegungen:

.....  
.....  
.....

- Baukörperdimensionierung und -orientierung zur Schaffung und Nutzung windgeschützter Bereiche/Fassaden/Außenräume:

.....  
.....  
.....

- Baukörperausbildung und -orientierung zur Unterstützung des Wärmeschutzes/der Wärmebewahrung (Kompaktheit, Dichte, Reduzierung der Auskühlungsflächen):

.....  
.....  
.....

- Baukörperform und -orientierung zur Nutzung der Solarenergie (Himmelsrichtungen, Öffnungen, Dachformen):

.....  
.....  
.....

- **Sonstige Maßnahmen der klimagerechten Nutzungskonzeption** (Außenanlagen, Nutzungskombinationen mit Nachbarbebauung, Gebäudeerweiterungen):

.....  
.....  
.....

- **Rückkopplung aller Entwurfsschritte mit den Checklisten 2 und 3:**

Entwurfsstand vom: ..... klimatisch überprüft: .....  
Entwurfsstand vom: ..... klimatisch überprüft: .....  
Entwurfsstand vom: ..... klimatisch überprüft: .....

### Abbildungsquellen:

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Karte 1                               | Schütze, T. (nach Olgyay, V.)                         |
| Karte 2                               | The Global Land One-km Base Elevation (GLOBE) Project |
| Bild 1 bis 8, 11 bis 60 und 68 bis 70 | Willkomm, W.  |
| Bild 9 u. 10                          | Weber, W.   |
| Bild 61 bis 67                        | Schütze, T.   |
| Diagramme 1 bis 4                     | Lippsmeier, G.  |
| Diagramme 5 bis 9                     | Schild, E. e.a.                                       |

### Literatur:

|   |   |
|---|---|
| Bauphysik, Planung und Anwendung                  | E. Schild, H.-F. Casselmann, G. Dahmen und R. Pohlenz 1982, ISBN 3-528-08662-9  |
| Das Klima der Städte                              | Fritz Fezer, 1995, ISBN 3-62300841-9  |
| European Solar Radiation Atlas, 3. Ausgabe        | W. Palz und J. Greif 1996, ISBN 3-540-61179-7   |
| European Solar Radiation Atlas, Vol.1             | K. Scharmer und J. Greif 2000, ISBN : 2-911762-21-5   |
| European Solar Radiation Atlas, Vol.2             | K. Scharmer und J. Greif 2000, ISBN : 2-911762-22-3   |
| Luft und Klima als Planungsfaktor im Umweltschutz | U. Reuter, J. Baumüller, U. Hoffmann 1991, ISBN 3-8169-0571-4   |
| Design with Climate                               | V. Olgyay, Princeton University Press 1963  |
| Solararchitektur für Europa                       | A. Schneider 1996, ISBN 3-7643-5384-8   |
| Solarenergie in Architektur und Stadtplanung      | T. Herzog 1996, ISBN 3-7913-1652-4  |
| The Climatic Dwelling                             | Teacher's Resource Package, Energy Research Group, UCD, Dublin 1995   |
| Photovoltaik in Gebäuden                          | H. Hullmann 2000, ISBN 3-8167-4716-7  |
| Solar Dach Fibel                                  | T. Delzer und K.-H. Remmers 1998, zu beziehen im Internet unter: <a href="http://www.solarpraxis.de">http://www.solarpraxis.de</a> , oder: <a href="mailto:shop@solarpraxis.de">shop@solarpraxis.de</a> |
| Sonnenenergie für eine umweltschonende Baupraxis  | H. Weik 1995, ISBN 3-8169-1256-7  |
| Tropenbau   | G. Lippsmeier 1980, ISBN 3-7667-0536-9  |