Klimagerecht Bauen
Ein Handbuch

Klimagerecht Bauen

Ein Handbuch

Gerhard Hausladen
Petra Liedl
Mike de Saldanha

Birkhäuser
Basel

Inhalt

7 **Vorwort**

11 **Klima**
12 Einführung
14 Klimaelemente
20 Klimafaktoren
30 Klimazonen
38 Außenklima und Raumklima
40 Klima und Gebäudekonzeption

Kühl

45 Kühl
46 Klima in der kühlen Klimazone
48 Klima und Bauen
52 Gebäudestruktur
54 Gebäudehülle
56 Gebäudetechnik
58 Planungsregeln für Moskau

Gemäßigt

61 Gemäßigt
62 Klima in der gemäßigten Klimazone
64 Klima und Bauen
68 Gebäudestruktur
70 Gebäudehülle
72 Gebäudetechnik
74 Planungsregeln für München

Subtropen

77 Subtropen
78 Klima in den Subtropen
80 Klima und Bauen
84 Gebäudestruktur
86 Gebäudehülle
88 Gebäudetechnik
90 Planungsregeln für Shanghai

Tropen

93 Tropen
94 Klima in den Tropen
96 Klima und Bauen
100 Gebäudestruktur
102 Gebäudehülle
104 Gebäudetechnik
106 Planungsregeln für Bangalore

Wüsten

109 Wüsten
110 Klima in den Wüsten
112 Klima und Bauen
116 Gebäudestruktur
118 Gebäudehülle
120 Gebäudetechnik
122 Planungsregeln für Dubai

Ökonomie

125 Ökonomie
126 Kosten und Energie
130 Wärmeschutz
132 Sonnenschutz
134 Raumkonditionierung
136 Energieerzeugung
138 Klima und Systemkosten

Glossar

141 Glossar
142 Außenklima
144 Energiesystem Gebäude
146 Gebäudehülle
148 Licht
150 Raumklima
152 Raumkonditionierung
154 Energieerzeugung

Anhang

157 Anhang
158 Städte in den Klimazonen
168 Literatur und Links
171 Sachwortverzeichnis
175 Autoren und Dank

Vorwort

Durch den weltweiten ökonomischen Fortschritt und den damit einhergehenden wachsenden Wohlstand hat die Bautätigkeit insbesondere in Asien und den arabischen Ländern sowie in Russland und Südamerika stark zugenommen. Aufgrund des Bestrebens, den Lebensstandard schnell zu verbessern, verändern sich in diesen Regionen Architektur und Städtebau innerhalb weniger Jahre, während die Baukultur im „alten Europa“ sich über Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte entwickelte.

Der Internationale Stil, der in Europa und Amerika enorm verbreitet war, führte zu einer von klimatischen Aspekten losgelösten Architektur. Zu einer Architektur, der es primär um die Formensprache ging und die aus einer Zeit stammt, in der es ein Zeichen von Leistungsfähigkeit war, den klimatischen Anforderungen mit Hilfe von Technik und Energie Rechnung zu tragen. Leider führte dies häufig zu unausgewogenen Lösungen, die unter Berücksichtigung der gestiegenen Komfortansprüche einen enormen Verbrauch von Elektrizität und fossilen Brennstoffen zur Folge hatten. Ziel muss heute eine Architektur sein, die ähnlich wie die tradierten Bauweisen auf die klimatischen Gegebenheiten reagiert. Denn es ist wesentlich sinnvoller, klimatischen Herausforderungen baulich zu begegnen, als sie ausschließlich mit Technik zu bewältigen.

In China, Indien oder der arabischen Welt besteht überwiegend ein Problem mit der Behaglichkeit im Sommer, insbesondere aufgrund der enormen solaren Einstrahlung. Eine weitere Herausforderung besteht in tropischen und subtropischen Gebieten in der hohen Luftfeuchtigkeit. Hier ist eine Luftentfeuchtung notwendig, was meist einen hohen Energie- und Technikeinsatz erfordert.

Im Rahmen der Nutzung von passiven Energiequellen wie Erdsonden zur Kühlung oder von regenerativen aktiven Systemen wie solarer Kühlung müssen die Klimabedingungen am Standort genau analysiert werden. Um adäquate leistungsfähige Lösungen zu entwickeln, ist es nur eingeschränkt sinnvoll, Konzepte aus dem europäischen und nordamerikanischen Raum in Länder anderer Klimazonen zu übertragen.

Um ganzheitliche Konzepte entwickeln zu können, die auch in anderen Ländern und Klimazonen funktionieren, sind klimatische und kulturelle Gegebenheiten wie etwa Religion, Tradition oder Wünsche in Bezug auf Behaglichkeit gleichermaßen zu berücksichtigen. Weitere Aspekte sind ökonomische Faktoren sowie technische Gegebenheiten, wie zum Beispiel die Verfügbarkeit von Technik, die Energiepreise oder das vorhandene Know-how für Wartung und Betrieb.

Für ganzheitliche Ansätze ist eine intensive Auseinandersetzung mit den oftmals extremen Klimabedingungen erforderlich. Es sollte daher bereits in den frühen Planungsphasen eines Gebäudes versucht werden, klimatische Aspekte wie Einstrahlung, Lufttemperaturen, Feuchteverhältnisse und Windsituation in die Gebäudekonzeption mit einzubeziehen. Zur adäquaten Berücksichtigung kultureller Aspekte ist das Studium tradierter Bauweisen und auch die Auseinandersetzung mit aktuellen lokalen Trends unerlässlich.

Ziel des Buches

Die rasche Entwicklung der Bautätigkeit führt bei internationalen Projekten zu immer kürzeren Planungszeiten. Oft fehlt es hinsichtlich der Berücksichtigung klimatischer Einflüsse an Planungserfahrung.

Ziel dieses Buches ist es, Architekten und Ingenieure bei der Planung von Gebäuden im internationalen Kontext zu unterstützen, insbesondere in der Konzeptphase. Dazu legt es eine umfassende Analyse der Wechselwirkungen des Klimas mit der Gebäudestruktur und der Gebäudehülle sowie der Gebäudetechnik und dem Energiekonzept vor. Des Weiteren soll es Studierende in ihrem Studium begleiten und ihnen Arbeitsgebiete auf der ganzen Welt eröffnen.

Ein Schwerpunkt des Buches liegt auf der detaillierten Klimaanalyse als Grundlage für eine zukunftsfähige Architektur. So werden die Herausforderungen und Potenziale des Standorts sichtbar, und die Relevanz der einzelnen Klimaelemente Solarstrahlung, Temperatur, Feuchte und Wind für das Planen wird deutlich. Eine bauklimatische Klimaklassifikation definiert Klimazonen basierend auf der Lufttemperatur und der absoluten Feuchte. Anhand dieser Schlüsselfaktoren ist ein erster Überblick im Hinblick auf klimatische Aspekte der Gebäudeplanung möglich.

Exemplarisch wird für die Städte Moskau, München, Shanghai, Bangalore und Dubai – als typische Vertreter ihrer jeweiligen Klimazone – das Klima in Bezug auf das Bauen untersucht, und der Leser erhält Hinweise zu Planungsstrategien.

Aufbau des Buches

Im ersten Kapitel wird das Klima als Schlüsselgröße klimagerechter Architektur beschrieben. Es erfolgt eine Klimaklassifikation nach bauklimatischen Kriterien, aus der sich durch die Kombination der bauspezifischen Klimaparameter Lufttemperatur und absolute Feuchte Konsequenzen für die Raumkonditionierung ablesen lassen, sodass eine erste Übersicht für den Gebäudeplaner möglich wird. Außerdem werden klimatische Unterschiede, die sich aus Breitengrad, Meeresnähe oder Höhenlage ergeben, aufgezeigt.

Wechselwirkungen der Klimaelemente Temperatur, Solarstrahlung, absolute Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit mit der Gebäudekonzeption werden eingehend untersucht und dargelegt. Darüber hinaus werden die Komfortkriterien des Raumklimas hinsichtlich Temperatur und Feuchte erläutert, insbesondere die Empfehlungen der internationalen Norm ASHRAE-55.

Die Städte Moskau, München, Shanghai, Bangalore und Dubai fungieren in den folgenden Kapiteln als exemplarische Vertreter der fünf Klimazonen „Kühl“, „Gemäßigt“, „Subtropen“, „Tropen“ und „Wüsten“, anhand derer die Ergebnisse der Klimaanalyse dargestellt werden. Um einen leichteren Zugang zu ermöglichen, wird zunächst die naturräumliche Vielfalt (vgl. Schultz 2002) beschrieben. Es folgen Planungshinweise zu Baukörperstellung und Kubatur sowie zur Fassadenausbildung. Außerdem bieten diese Kapitel Vorschläge für Raumkonditionierungskonzepte, die in der jeweiligen Klimaregion umgesetzt werden können. Abschließend wird auch das energetische Einsparpotenzial am jeweiligen Standort aufgezeigt. Die Klimagrafiken in diesen Kapiteln sind standortspezifisch, beziehen sich also nur auf die jeweilige Beispielstadt, während die Planungsstrategien für die jeweilige Klimazone allgemein gelten. Aus der bauklimatischen Klimaklassifikation im Kapitel „Klima“ und den Städtetabellen im Anhang können klimatische Besonderheiten entnommen und in Bezug zu den vorgestellten Städten gesetzt werden.

Alle klima- und standortspezifischen Grafiken des Buches wurden auf der Basis der globalen Klimadatenbank Meteonorm mit dem interaktiven ClimaTool erstellt. Mit seiner Hilfe lassen sich die Klimafaktoren Solarstrahlung, Temperatur, Feuchte, Wind und Licht aus baulicher Sicht analysieren und für jeden beliebigen Standort weltweit planergerecht aufbereiten. Dieses Tool stellt auch die Grundlage für die vorgestellte bauklimatische Klimaklassifikation und die Städtetabellen im Anhang dar.

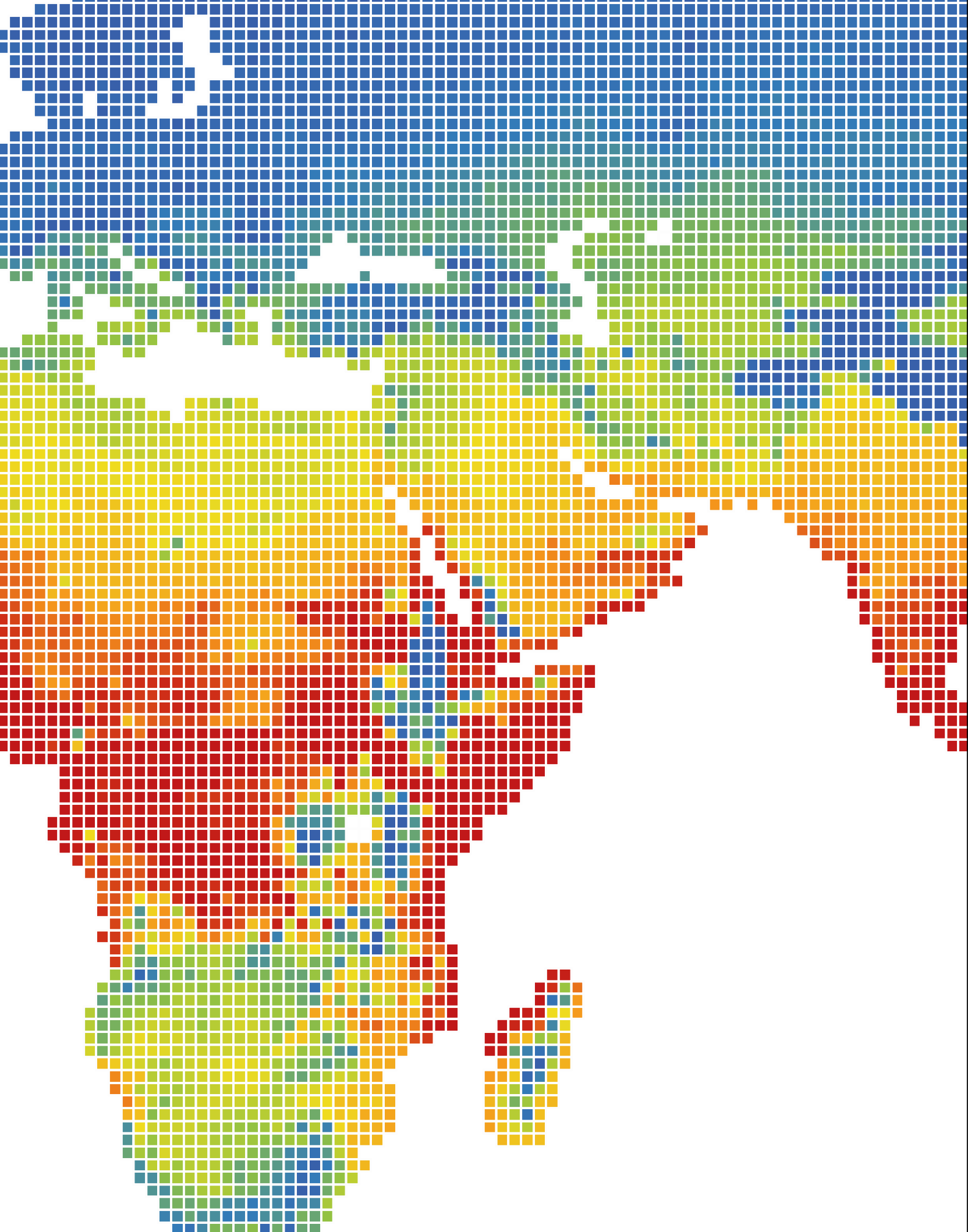
Das Kapitel „Ökonomie“ untersucht die energierelevanten Baukosten. Dabei werden typische Kosten für Wärme- und Sonnenschutzmaßnahmen sowie Raumkonditionierungs- und Energieerzeugungskomponenten aufgeführt. Zudem sind Besonderheiten, die sich aus der Interaktion mit dem Klima ergeben, aus ökonomischer Sicht dargestellt.

Im Glossar werden die wesentlichen Begriffe zu den Themen „Außenklima“, „Energiesystem Gebäude“, „Gebäudehülle“, „Licht“, „Raumklima“, „Raumkonditionierung“ und „Energieerzeugung“ erläutert. Eine Grafik zu jedem dieser Themenbereiche stellt die Begriffe im Zusammenhang dar und gibt so einen Überblick über die Wechselwirkungen zwischen den Einzelaspekten. Die Glossarbegriffe sind in jedem Kapitel in der Marginalspalte zu finden, und der dazugehörige Begriff im Fließtext ist an dem ihm vorangehenden Pfeil erkennbar.

Wir wünschen allen Lesern eine spannende Reise um die Welt!

München, im Juni 2011

Gerhard Hausladen, Petra Liedl, Mike de Saldanha



Klima

Klima und zukunftsfähiges Bauen

Klimatische und demografische Veränderungen prägen das 21. Jahrhundert. Diese werden große Auswirkungen auf zukünftige Gebäudekonzepte haben. Die Bevölkerungsexplosion in vergleichsweise jungen Staaten wird in Zukunft umfangreiche Baumaßnahmen erfordern, die mit europäischen Konzepten nicht mehr zu bewältigen sein werden. Eine detaillierte Klimaanalyse, die die Klimaelemente Solarstrahlung, Temperatur, Feuchte und Wind bauspezifisch untersucht, ist Grundlage für eine zukunftsfähige Architektur. Nur eine Auseinandersetzung mit dem Klima und der traditionellen Architektur vor Ort kann effiziente Gebäude- und optimierte Energiekonzepte hervorbringen.

12 Einführung
14 Klimaelemente
20 Klimafaktoren
30 Klimazonen
38 Außenklima und Raumklima
40 Klima und Gebäudekonzeption

Anteil der Nächte pro Jahr mit Durchschnittstemperaturen kleiner 20 °C [%]

Einführung

Das Wort Klima ist eine Ableitung aus dem altgriechischen Verb klínein („sich neigen“). Es beschreibt die Neigung der Erde in Richtung der Pole. Das Klima kennzeichnet in Abgrenzung zum Wetter einen statistisch ermittelten Zustand der Erdatmosphäre über einen Zeitraum von oft mehreren Jahrzehnten. Dieser ergibt sich durch Beschreibung der relevanten Klimaelemente für einen Standort, eine Region oder die Erde. Das Klima gliedert sich so in das Makro-, Meso- und Mikroklima, die sich vor allem durch ihre räumliche Größe unterscheiden.

Klimaelemente und Klimafaktoren

Das Klima der Erde ist geprägt durch die Einstrahlung der Sonne, die ein Leben auf diesem Planeten erst ermöglicht. Klimaelemente dienen zur Beschreibung des Klimas. Die wichtigsten sind ↙ Lufttemperatur, Niederschlag, ↙ Luftfeuchte, Bewölkung, Wind und ↙ Solarstrahlung. Klimafaktoren sind Prozesse und Zustände, die ein Klima hervorrufen, erhalten oder verändern. Dazu zählen der Breitengrad, die Land-Meer-Verteilung, die lokalen und überregionalen Windsysteme sowie die Höhenlage eines Standorts.

↙ **Außenlufttemperatur** S. 142

Luftfeuchte S. 142

Globalstrahlung S. 142

Atmosphärische Zirkulation

Strahlungshaushalt, Erdrotation und Verteilung der Wasser- und Landmassen bestimmen die atmosphärische Zirkulation auf der Erde. Da sich die Strahlungsbilanz mit der geografischen Breite ändert, ergibt sich ein permanentes Temperaturgefälle zwischen dem Äquator und den Polen. Dies führt zu Luftdruckunterschieden. Je größer diese sind, desto stärker fließen Luftmassen vom Hoch- zum Tiefdruckgebiet. Die Folge sind starke Winde (Abb. 1.1). Durch die Corioliskraft werden die Luftströmungen auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links abgelenkt. Aufgrund einer anderen Land-Meer-Verteilung sind die Zirkulationssysteme auf der Südhalbkugel klarer ausgeprägt.

Makroklima

Das Makroklima erstreckt sich über sehr große geografische und zeitliche Räume. Als Einordnungsmerkmale dienen die Verteilung der Solarstrahlung, die Geländehöhe, die Land-Meer-Verteilung und die globale Zirkulation. Gebiete gleichen Klimas lassen sich zu Klimazonen zusammenfassen. Die Makroklimata stehen dabei in enger Wechselwirkung und beeinflussen sich daher auf vielfältige Weise. Erst aus ihrem dynamischen Zusammenspiel ergibt sich das globale Klima.

Mesoklima

Beim Mesoklima sind die betrachteten Räume und Zeitabschnitte deutlich kleiner als beim Makroklima. Als Regionalklima zeichnet es sich in erster Linie durch natur- und kulturräumliche Elemente aus. Dazu gehören Geländeformen wie Berge, Täler, Küsten, Inseln, aber auch Waldgebiete, Städte und Dörfer. Man spricht dann vom Landschafts- oder Standortklima. Ein für das Bauwesen wichtiges Klima ist in diesem Zusammenhang das Stadtklima.

Mikroklima

Das Mikroklima beschreibt das Klima auf kleinstem Raum in der bodennahen Luftschicht und in sehr kurzen Zeitintervallen. Es wird geprägt durch das Gelände, den Abstand zur Bodenoberfläche sowie deren Beschaffenheit und Bepflanzung. In Städten wird es maßgeblich durch Baumaterialien, Bebauungsdichte, Vegetation, Horizontüberhöhung und Luftströmung bestimmt. Aufgrund seiner stetigen Veränderung kann das Mikroklima nur durch Messungen erfasst und beschrieben werden.

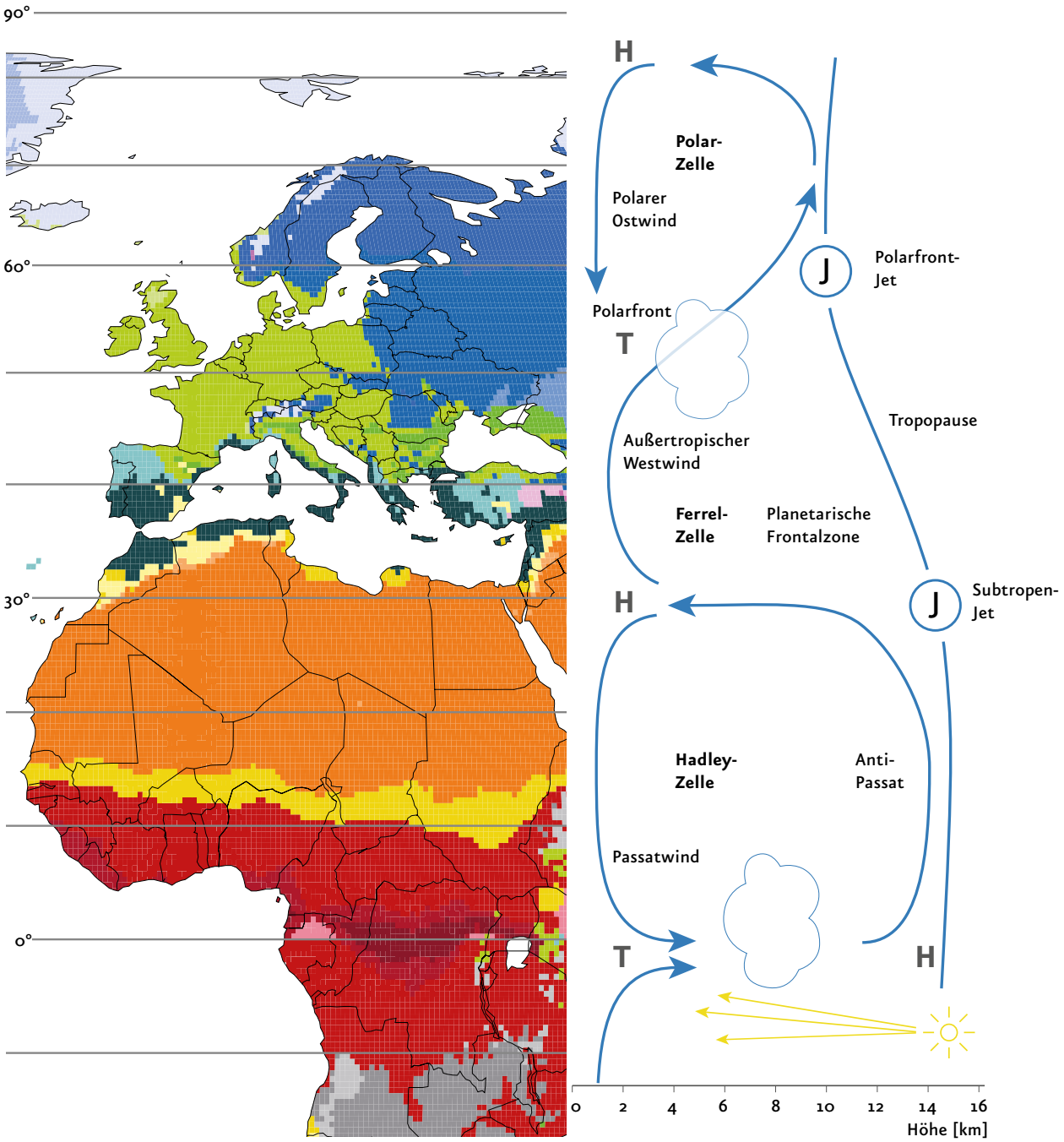


Abb. 1.1 Entstehung der Klimazonen

Die Sonne ist der Motor des Klimas. Aufgrund der unterschiedlich eingestrahlten Energiemenge auf die Erde und der daraus resultierenden Windsysteme entstehen die verschiedenen Klimazonen. Über dem Äquator steigt feuchte Luft auf, erwärmt durch die hohe solare Einstrahlung. Am Boden bildet sich ein Tief, die äquatoriale Tiefdruckrinne, in großer Höhe ein Hoch. Während des Aufsteigens der Luft kondensiert die Feuchtigkeit, es entstehen Wolken. Wird der Wasserdampfsättigungsgrad überschritten, regnet es. Die trockenen Luftmassen strömen in Richtung der Pole und fallen im Bereich der Wendekreise wieder nach unten. Es entsteht ein Hochdruckgebiet mit geringer Luftbewegung, die Rossbreiten. Dabei erwärmen sie sich und nehmen die Feuchtigkeit auf. So entstehen die großen trockenen Wüstengebiete. In Bodennähe strömt die Luft in Form der Passatwinde wieder in Richtung Äquator, und die Luftzirkulation schließt sich. Diese Zirkulation wird als Hadley-Zelle bezeichnet (nach Schönwiese 2003).

Die Farben auf der Karte geben die effektive Klimaklassifikation nach Köppen und Geiger wieder und zeigen eine vorwiegend breitenzonale Gliederung der Klimazonen.

Klimaelemente

Klimaelemente dienen zur Beschreibung des Klimas. Für das Bauen relevante Klimaelemente sind Solarstrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchte und Niederschlag sowie Wind.

Solarstrahlung

Die Solarstrahlung als Licht- und Energiequelle ist ein wesentlicher Planungsparameter, da sie den ↙ Heizwärmebedarf reduziert und das Raumklima im Sommer maßgeblich beeinflusst. Das Ziel einer guten Planung liegt in einer ausreichenden ↙ Tageslichtversorgung mit gutem Ausblick bei gleichzeitiger Steuerung der solaren Wärmeeinträge. Die Helligkeit im Außenraum bestimmt zusammen mit dem ↙ Fensterflächenanteil und der Art der Verglasung die Tageslichtversorgung im Innenraum.

↙ **Heizwärmebedarf** S. 144

Tageslichtversorgung S. 148

Fensterflächenanteil S. 146

Die ↙ Globalstrahlung setzt sich zusammen aus direkter Solarstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung. Der Breitengrad bestimmt maßgeblich die Änderung der Tageslänge, des Einstrahlwinkels (Abb. 1.2) sowie die Art und Intensität der Solarstrahlung im Jahresverlauf (Abb. 1.3). Dies hat Einfluss auf die Verschattung durch gegenüberliegende Baukörper und die Einstrahlung auf die Fassaden. Damit bestimmt der Breitengrad weitgehend die Tageslichtsituation und das ↙ Sonnenschutzkonzept. Auch die Effizienz der solaren Wärmegewinnung und der ↙ solaren Kühlung sowie von ↙ Photovoltaiksystemen hängen davon ab. Der Azimut- und der Höhenwinkel, in denen die Sonne zur Fassade steht, und somit die Intensität der Sonneneinstrahlung ergeben sich aus der ↙ Orientierung des Gebäudes.

Globalstrahlung S. 142

Sonnenschutz S. 146

Solare Kühlung S. 154

Photovoltaik S. 154

Orientierung S. 144

Temperatur

Die Außenlufttemperatur ist abhängig von der solaren Einstrahlung und der Temperatur der zufließenden Luftmassen. Der Jahresgang der Temperatur beeinflusst die Baukörperkonfiguration, den Wärmeschutz und die erforderlichen Lüftungs- und Kühlsysteme.

Der Tagesgang der Temperatur hat Auswirkungen auf die Realisierbarkeit von passiven Kühlstrategien wie ↙ Nachtlüftung und ↙ Bauteilaktivierung mit freier ↙ Rückkühlung. Für eine effiziente Nachtauskühlung sind niedrige Nachttemperaturen in Verbindung mit freiliegender ↙ Speichermasse erforderlich. Zudem ist auch die Häufigkeitsverteilung von Tagen mit extremer Witterung zu analysieren. Sie hat Auswirkungen auf die Wirksamkeit von passiven Kühlmaßnahmen und die Auslegung technischer Systeme.

↙ **Nachtlüftung** S. 152

Bauteilaktivierung S. 152

Kühlturm S. 154

Speichermasse S.144

Die Beschaffenheit des Baugrunds und der darunter liegenden Schichten kann die Nutzung von regenerativer Wärme oder Kälte für Gebäude beeinflussen. Für die thermische Nutzung ist die Feuchte des Bodens entscheidend, ideal ist fließendes Grundwasser.

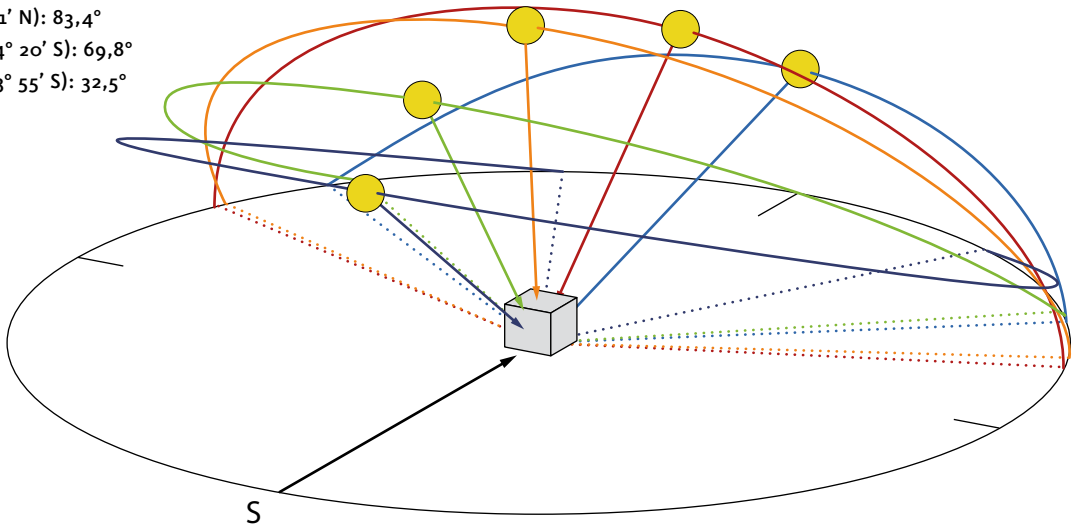
Die Jahresmitteltemperatur stellt sich im Erdreich ab einer Tiefe von ca. 10–15 Metern ein. Knapp unter der Oberfläche stellt sich in etwa die Monatsmitteltemperatur der Außenluft ein. In ca. 1,5 bis 3 Metern ergeben sich abgeschwächte jahreszeitliche Schwankungen. Das Jahresmaximum und -minimum treten dabei mit 2- bis 3-monatiger Verzögerung auf. Das Temperaturniveau im Erdreich kann über Rohrregister, Pfähle, ↙ Sonden oder ↙ Erdkanäle als Wärme- oder Kältequelle genutzt werden.

Erdsonden/ Grundwassernutzung S.154

Erdkanal S. 154

Maximaler Sonnenhöhenwinkel am 21. Juni, 12 Uhr

- Oslo (59° 55' N): 53,5°
- Rom (41° 53' N): 71,2°
- Bilma (18° 41' N): 83,4°
- Kinshasa (04° 20' S): 69,8°
- Kapstadt (33° 55' S): 32,5°



Maximaler Sonnenhöhenwinkel am 21. Dezember, 12 Uhr

- Oslo (59° 55' N): 6,6°
- Rom (41° 53' N): 24,5°
- Bilma (18° 41' N): 47,7°
- Kinshasa (04° 20' S): 61,4°
- Kapstadt (33° 55' S): 79,1°

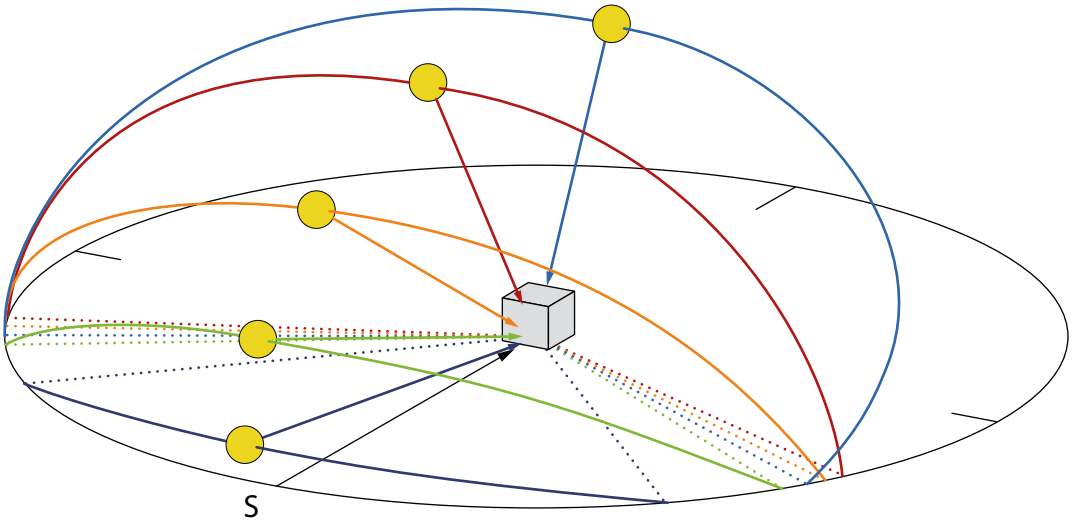


Abb. 1.2 Sonnenverlauf
Verlauf der Sonne am 21. Juni (oben) und am 21. Dezember (unten) mit Sonnenhöhenwinkel und Azimutwinkel für Standorte verschiedener Breiten- und annähernd gleicher Längengrade.

Luftfeuchte

Bei der Luftfeuchte wird zwischen der relativen und der absoluten Luftfeuchte unterschieden. Die absolute Luftfeuchtigkeit ist standortspezifisch und wird maßgeblich von der Nähe zum Meer und den Niederschlägen bestimmt (Abb. 1.5). Sie ist ein wichtiger Faktor für das Raumklima und die Feuchteabfuhr aus Räumen. Während der absolute Gehalt an Wasserdampf im Lauf eines Tages nur geringen Schwankungen unterworfen ist, verändert sich die relative Luftfeuchtigkeit mit der Temperatur. Minimalwerte absoluter Feuchte treten an besonders kalten Tagen auf, Maximalwerte bei hohen Temperaturen.

↙ **Be- oder Entfeuchtung** S. 150

Taupunkttemperatur S. 142

Dezentrales Lüftungsgerät S. 152

Die absolute Feuchte hat Einfluss auf die Notwendigkeit der ↙ Be- oder Entfeuchtung der Zuluft. Außerdem kann die ↙ Taupunktproblematik die Effizienz von Flächenkühlsystemen erheblich reduzieren, sodass eine Zuluftentfeuchtung erforderlich wird. Bei feuchter Außenluft kann eine Kondensatableitung bei ↙ dezentralen Fassadenlüftungsgeräten erforderlich werden.

Je nach Standort können die Niederschlagshäufigkeit, die monatlichen Niederschlagsmengen und die auftretenden maximalen Niederschlagswerte wichtige Planungsdaten darstellen. Neben der Solarstrahlung beeinflusst der Grad der Bewölkung die Temperatur vor allem in Bodennähe. Am Tag können Wolken die Einstrahlung vermindern, in der Nacht kommt es ohne Bewölkung zu einer starken Auskühlung.

Wind

Die Windsituation am Standort spielt für die Planung von Gebäuden eine entscheidende Rolle. Ausschlaggebend ist dabei die Druck- und Sogbelastung auf die Gebäudehülle. Die Umströmung eines Gebäudes ist von den vorherrschenden Windverhältnissen, von der Gebäudeform und der Umgebung abhängig. Meteorologische Angaben können aber nur ein allgemeines Bild von der Richtung und Stärke des Windes am Standort vermitteln. Entscheidend sind die mikroklimatischen Verhältnisse: Dabei spielen die Geländeform, die Form und der Abstand der benachbarten Gebäude sowie der Bewuchs eine Rolle. So kann die umgebende Bebauung auch zu Düseneffekten führen, wodurch sich die ↙ Windgeschwindigkeiten erhöhen.

↙ **Windgeschwindigkeit** S. 142

Bei der Planung können Druck- und Sogbereiche für die natürliche Belüftung genutzt werden. Die Lage von Zu- und Abluftöffnungen muss dabei nach aerodynamischen Gesichtspunkten optimiert werden.

Während übergeordnete Windsysteme in Abhängigkeit von der Jahreszeit wiederkehren, werden regionale Winde stark von der Topografie beeinflusst. Die Rolle der lokalen Winde wird offensichtlich, wenn sich Orte, die geografisch einer Klimazone zugeordnet werden, in ihrem Lokalklima deutlich unterscheiden.

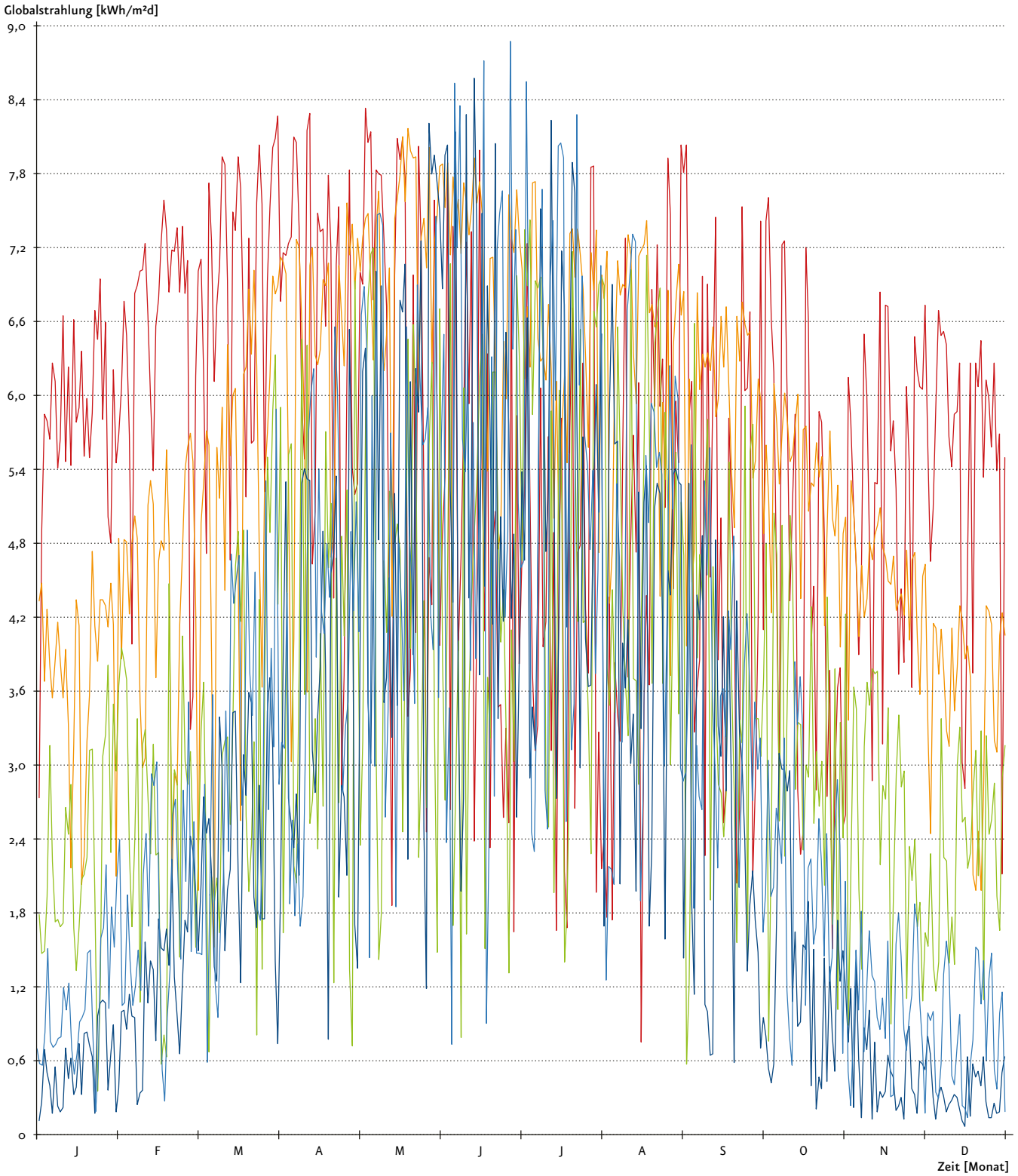


Abb. 1.3 Solarstrahlung

Typischer Verlauf der eingestrahlten Energiemenge in kWh/m²d im Jahresverlauf in der kühlen (Moskau) und gemäßigten (München) Klimazone sowie in den Subtropen (Shanghai), Tropen (Bangalore) und den Wüsten in Meeresnähe (Dubai).

- Kühle Klimazone (Moskau)
- Gemäßigte Klimazone (München)
- Subtropen (Shanghai)
- Tropen (Bangalore)
- Wüsten in Meeresnähe (Dubai)

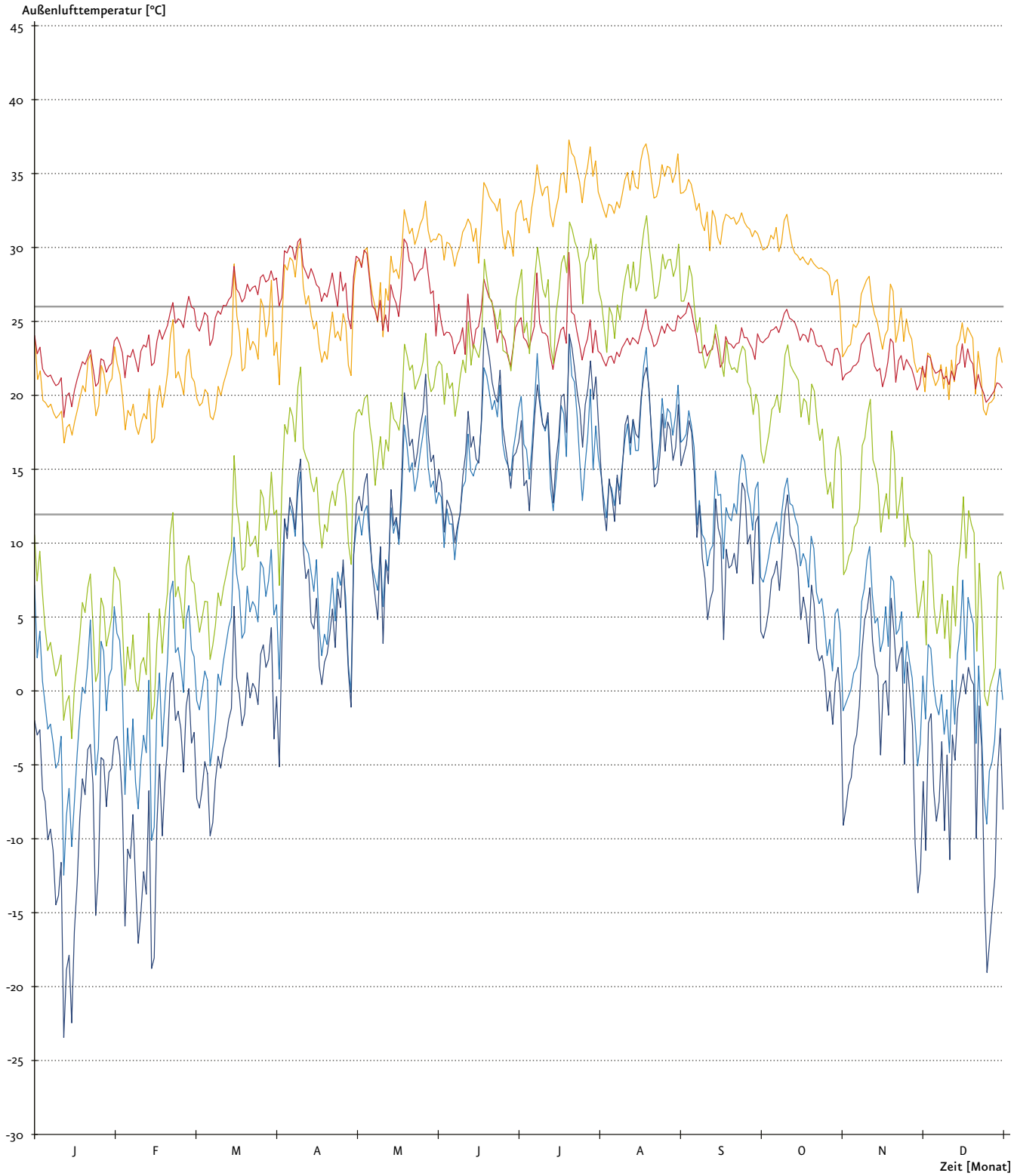


Abb. 1.4 Temperatur

Typischer Verlauf der Tagesdurchschnittswerte der Außenlufttemperatur in °C im Jahresverlauf in der kühlen (Moskau) und gemäßigten (München) Klimazone sowie in den Subtropen (Shanghai), Tropen (Bangalore) und den Wüsten in Meeresnähe (Dubai). Ab 26 °C kann eine Kühlung erforderlich sein. Unterhalb von 12 °C sollte ein Heizsystem eingeplant werden.

- Kühle Klimazone (Moskau)
- Gemäßigte Klimazone (München)
- Subtropen (Shanghai)
- Tropen (Bangalore)
- Wüsten in Meeresnähe (Dubai)