

Städtebauliche Klimafibel

Hinweise für die Bauleitplanung



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR VERKEHR UND INFRASTRUKTUR

Städtebauliche Klimafibel

Hinweise für die Bauleitplanung

Impressum

Herausgeber:

Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg
Hauptstätter Straße 67
70178 Stuttgart

Völlig überarbeitete Neuauflage der
Städtebaulichen Klimafibel 1998,
(damalige Bearbeitung: Prof. Dr. Jürgen Baumüller,
Ulrich Hoffmann, Dr. Ulrich Reuter)

Fachliche Bearbeitung der Neuauflage 2012:

(2. aktualisierte Auflage Juli 2015)
Dr. Ulrich Reuter, Stuttgart
Dipl.-Ing. Rainer Kapp, Stuttgart

Technische Bearbeitung:

Titelgrafik: Dipl.-Ing. (FH) Rainer Haas, AD Stuttgart
Fotos, sofern nicht angegeben:
Landeshauptstadt Stuttgart und Prof. Dr. J. Baumüller

Gesamtherstellung:

Druckfrisch Verlag für Druckerzeugnisse, Stuttgart
Ökologische und nachhaltige Druckproduktion auf
Circle Silk Premium White, 100% Recyclingpapier –
spart Rohstoffe und vermindert die Abgasemissionen,
FSC® zertifiziert und mit EU Eco-Label ausgezeichnet.

„Vernünftige Einsicht zu haben, ist die grösste Tugend,
und Weisheit ist es, Wahres zu reden und gemäss der
Natur zu handeln, indem man auf sie hört.“

Heraklit, griechischer Philosoph



Auf 100%
Recyclingpapier
gedruckt



Ökodruckfarben
auf Basis nachwach-
sender Rohstoffe



Energie-Effizienz-
Produktions-
konzept



Klimaneutral
und emissionsarm
gedruckt



Für diese Druck-
produktion wird
ein Baum gepflanzt

Inhaltsverzeichnis

<ul style="list-style-type: none"> ■ 1. Das Klima als öffentlicher Belang in der Bauleitplanung 14 ■ 2. Charakteristik und Erscheinungsformen des Stadtklimas 21 <ul style="list-style-type: none"> ■ 2.1 Allgemeines 21 ■ 2.2 Urbaner Wärmehaushalt 23 ■ 2.3 Urbane Wärmeinsel 26 ■ 2.4 Feuchte/Niederschlag/Vegetation 30 ■ 2.5 Wind 34 ■ 2.6 Bioklima 39 ■ 2.7 Luftaustausch 42 ■ 2.8 Schadstoffemissionen 43 <ul style="list-style-type: none"> ■ 2.8.1 Der Verkehr als Schadstoffquelle 46 ■ 2.8.2 Rechnerische Abschätzung der Verkehrsimmissionen 51 ■ 2.9 Schadstoffbelastung und Grenzwerte 54 <ul style="list-style-type: none"> ■ 2.9.1 Grenz-/Beurteilungswerte 56 ■ 2.10 Schadstoffwirkung 60 ■ 2.11 Der Klimawandel 62 <ul style="list-style-type: none"> ■ 2.11.1 Klimawandel in Deutschland 64 ■ 2.11.2 Vermeidung des Klimawandels 67 ■ 2.11.3 Anpassung an den Klimawandel 69 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 3. Energiebewusste Bauleitplanung 71 <ul style="list-style-type: none"> ■ 3.1 Allgemeines 71 ■ 3.2 Die Sonne als Energiequelle 74 <ul style="list-style-type: none"> ■ 3.2.1 Globalstrahlung 75 ■ 3.2.2 Sonnengeometrie 82 ■ 3.2.3 Hilfsmittel zur Untersuchung der Besonnungsverhältnisse 93 ■ 3.2.4 Tageslichtbeleuchtung 100 ■ 3.3 Die Lufttemperatur als Einflussgröße energiebewusster Planung 103 <ul style="list-style-type: none"> ■ 3.3.1 Kennwerte zur Beschreibung des thermischen Niveaus 103 ■ 3.3.2 Lokalklimatische Gesichtspunkte 105 ■ 3.4 Der Wind als Einflussgröße energiebewusster Planung 109 <ul style="list-style-type: none"> ■ 3.4.1 Windstatistik 113 ■ 3.4.2 Folgerungen aus der Windstatistik 116 ■ 3.4.3 Windzunahme mit der Höhe 117 ■ 4. Methoden der Informationsgewinnung für die Planung (Messungen, Windkanal, Numerische Modellierung) 120 <ul style="list-style-type: none"> ■ 4.1 Messungen 120 <ul style="list-style-type: none"> ■ 4.1.1 Stationäre Messungen 122 ■ 4.1.2 Messungen mit mobilen Messeinrichtungen 122 ■ 4.1.3 Tracereexperimente 126 ■ 4.1.4 Vertikalsondierungen 127 ■ 4.2 Windkanal 128 <ul style="list-style-type: none"> ■ 4.2.1 Allgemeines 128 ■ 4.2.2 Funktionsweise und Untersuchungsmethoden 131 <ul style="list-style-type: none"> ■ 4.2.2.1 Sichtbarmachung von Strömungen oder Schadstoffausbreitung durch Rauch 134
--	--

■ 4.2.2.2	Windgeschwindigkeitsmessungen	136
■ 4.2.2.3	Messung der Konzentrationsverteilung bei Ausbreitungsversuchen	137
■ 4.2.3	Standorte von Windkanälen	138
■ 4.3.	Numerische Modellierung von Strömungs- und Transportvorgängen	140
■ 4.3.1	Das Windfeldmodell DIWIMO	145
■ 4.3.2	Die Kaltluftabflussmodelle KALM und KLAM 21	148
■ 4.3.3	Das Modell STREET zur Abschätzung verkehrsbedingter Schadstoffbelastung	150
■ 4.3.4	Das Modell RLuS 2012 zur Berechnung der Schadstoffausbreitung an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung	151
■ 4.3.5	Das Modell PROKAS zur Berechnung der Schadstoffbelastung an Straßen	153
■ 4.3.6	Das mikroskalige Modell MISKAM	155
■ 4.3.7	Mesoskalige geländeklimatische Modelle	158
■ 4.3.8	Die Stadtklimamodelle RayMan, ENVI-met und MUKLIMO_3	159
■ 5.	Klima und Lufthygienekarten als Hilfsmittel in der Bauleitplanung (Beispiel: Klimaatlas Verband Region Stuttgart)	161
■ 5.1	Einleitung	161
■ 5.2	Infrarot-Thermographie	164
■ 5.3	Meteorologische Grundlagenkarten	166
■ 5.4	Kaltluftentstehung und -abfluss, Windfeldberechnungen	168
■ 5.5	Lufthygienische Karten	169
■ 5.6	Prognose der Auswirkungen des Klimawandels: Jahresmitteltemperatur und Bioklima	170

■ 5.7	Klimaanalyse-Karte	174
■ 5.8	Karte mit Hinweisen für die Planung	185
■ 6.	Empfehlungen für die Planung	192
■ 6.1	Erhaltung und Gewinnung von Vegetationsflächen	193
■ 6.1.1	Landschafts- und Grünordnungsplan	193
■ 6.1.2	Maßzahlen zur Beschreibung der „grünen“ Nutzung	196
■ 6.1.3	Vermeidung der Bodenversiegelung durch Grün- und Wasserflächen	198
■ 6.1.4	Dachbegrünung	204
■ 6.1.5	Fassadenbegrünung	211
■ 6.2	Sicherung des lokalen Luftaustauschs	218
■ 6.2.1	Kaltluftentstehung	218
■ 6.2.2	Frischluftzufuhr	221
■ 6.2.3	Grünzüge	226
■ 6.2.4	Günstige Siedlungs- und Bebauungsformen	227
■ 6.3	Maßnahmen zur Luftreinhaltung	232
■ 6.3.1	Bereich Gewerbe und Industrie	234
■ 6.3.2	Bereich Hausbrand	236
■ 6.3.3	Bereich Verkehr	241
■ 6.4	Planungsbezogene Stadtklimauntersuchungen	246
■ 7.	Literaturverzeichnis	249
■ 8.	Thematische Websites	272

■ 1. Das Klima als öffentlicher Belang in der Bauleitplanung

Belastungen der Umwelt gehen meistens mit der Inanspruchnahme von Flächen für entsprechend belastende Nutzungen einher, so dass es sinnvoll ist, mit den Mitteln der Regional- und Stadtentwicklung eine vorsorgende Planung im Sinne des Umweltschutzes zu betreiben. Das Umweltrecht umfasst demzufolge neben seinem ursprünglichen Schwerpunkt im gewerblichen Bereich heute verstärkt auch die räumliche Planung. Die kommunale Ebene der Bauleitplanung gilt dabei als wichtiges Instrument, das zum Schutz des Klimas und zur Luftreinhaltung wesentlich beitragen kann; denn mit dem aus dem Flächennutzungsplan einer Gemeinde entwickelten Bebauungsplan entscheidet sich rechtsverbindlich, ob Grund und Boden umweltverträglich genutzt werden. Diesem Sachverhalt tragen verschiedene gesetzliche Anforderungen Rechnung.

Das BAUGESETZBUCH (BauGB) fordert in § 1 Abs. 5, dass die Bauleitpläne eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung gewährleisten, die die sozialen, wirtschaftlichen und umweltschützenden Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen miteinander in Einklang bringt. Bauleitpläne sollen dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln, sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern, sowie die städtebauliche Gestalt und das Orts- und Landschaftsbild baukulturell zu erhalten und zu entwickeln.

Nach § 1 Abs. 6 BauGB sind bei der Aufstellung der Bauleitpläne insbesondere zu berücksichtigen:

„7. die Belange des Umweltschutzes, einschließlich des Naturschutzes und der Landschaftspflege, insbesondere

- a) die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen, Boden, Luft, Klima und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen sowie die Landschaft und die biologische Vielfalt, ...
- c) umweltbezogene Auswirkungen auf den Menschen und seine Gesundheit sowie die Bevölkerung insgesamt, ...
- e) die Vermeidung von Emissionen ...,
- f) die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die sparsame und effiziente Nutzung von Energie,
- g) die Darstellungen von Landschafts- und Grünordnungsplänen sowie von sonstigen Plänen, insbesondere des Wasser-, Abfall- und Immissionsschutzrechts,
- h) die Erhaltung der bestmöglichen Luftqualität in Gebieten, in denen die ... festgelegten Immissionsschutzgrenzwerte nicht überschritten werden,
- i) die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Belangen des Umweltschutzes nach den Buchstaben a, c und d,“

Insbesondere mit Buchstabe h) werden die Anforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bezüglich gebietsbezogener Strategien zur Luftreinhaltung (vgl. §§ 49, 50 BImSchG) als Abwägungsbelang für die Bauleitplanung übernommen.

Die ergänzenden Vorschriften des § 1a BauGB konkretisieren diese abwägungspflichtigen umweltschützenden ökologischen Belange, die in ihrer Gesamtheit auch das Klima günstig beeinflussen:

Neben einer Bodenschutzklausel, in der auch beispielhaft auf die Möglichkeiten durch Wiedernutzbarmachung von Flächen, Nachverdichtung und andere Maßnahmen zur Innenentwicklung verwiesen wird, sind Bodenversiegelungen ausdrücklich auf das notwendige Maß zu begrenzen (§ 1a Abs 2).

Mit § 1 a (3) BauGB gehört auch der Ausgleich zu erwartender Eingriffe in Natur und Landschaft zu den umweltschützenden Belangen in der Abwägung. Der Ausgleich erfolgt durch geeignete Darstellungen nach § 5 BauGB im Flächennutzungsplan bzw. durch Festsetzungen nach § 9 im Bebauungsplan („Flächen“ bzw. „Flächen oder Maßnahmen zum Ausgleich“).

Hier ist auf den Zusammenhang hinzuweisen, dass es zu den Zielen des Natur- und Landschaftsschutzes gehört, die Regenerationsfähigkeit und nachhaltige Nutzungsfähigkeit der Naturgüter (Boden, Wasser, Klima, Tier- und Pflanzenwelt) auf Dauer zu sichern (vgl. § 1 Abs. 1 Nr. 2 NatSchG)

Im Rahmen des Europarechtsanpassungsgesetzes Bau – EAG Bau (Umsetzung der Plan-UP-Richtlinie (2001/42/EG) in nationales Recht) war es im Jahr 2004 erforderlich geworden, das BauGB zu ändern. Dies wurde zum Anlass genommen, das BauGB insgesamt zu überarbeiten.

Für die Belange des Umweltschutzes wird mit § 2 Abs. 4 BauGB für die Bauleitplanung eine Umweltprüfung verlangt, in der die voraussichtlichen erheblichen Umweltauswirkungen ermittelt, beschrieben und bewertet werden. Nach § 2a wird gefordert, außer der Begründung zum Bauleitplanentwurf auch einen Umweltbericht als gesonderten Teil der Begründung beizufügen. Somit ist eine eigenständige Regelung zur Umweltverträglichkeitsprüfung für bestimmte Bauleitpläne wie im bisherigen § 1a Abs. 2 Nr. 3 nicht mehr erforderlich.

Dementsprechend wird in § 17 UVPG klargestellt, dass Bebauungspläne i. S. des § 2 Abs. 3 Nr. 3 und insbesondere Vorhaben nach Nr. 18.1 bis 18.9 der Anlage 1 nach den Vorschriften des BauGB durchzuführen sind.

Die Vorgaben des bisherigen § 1 Abs. 5 Satz 2 Nr. 7 mit dem entsprechenden Regelungsgehalt der bisherigen §§ 1a und 2a sowie mit den Vorgaben des Anhangs I der Plan-UP-Richtlinie und des

Anhangs IV der Projekt-UVP-Richtlinie werden in § 1 Abs. 6 Nr. 7 (s. o.) zusammengeführt. Inhaltlich neu im Vergleich zu der bisher geregelten Umweltverträglichkeitsprüfung nach der Projekt-UVP-Richtlinie ist, dass die Prüfung nicht auf nachteilige Umweltauswirkungen beschränkt ist.

Im Ansatz vergleichbare Forderungen einer auch dem vorsorgenden Umweltschutz verpflichteten Bauleitplanung hatte schon die am 1.1.1977 in Kraft getretene Neufassung des damaligen Bundesbaugesetzes enthalten, womit dem 1974 entwickelten Vorsorgeprinzip des BUNDES-IMMISSIONSCHUTZGESETZES (BImSchG) Rechnung getragen wurde. Dieses formuliert mit § 50 einen Grundsatz, der jede planende Institution bindet:

„Bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen sind die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen, dass schädliche Umwelteinwirkungen auf die ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienender Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete soweit wie möglich vermieden werden.“

Nach § 4 (1) BauGB holt die Gemeinde die Stellungnahmen der Behörden und sonstigen Träger öffentlicher Belange, deren Aufgabenbereich durch die Planung berührt wird, möglichst frühzeitig ein. Die Träger öffentlicher Belange sind entsprechend zu unterrichten und zur Äußerung auch im Hinblick auf den erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad der Umweltprüfung aufzufordern.

Für die Behandlung der Planungsfaktoren Luft und Klima ist allerdings keine bestimmte Behörde oder Stelle als Träger Öffentlicher Belange speziell zuständig. Die traditionellen Ansätze für Klimaschutz und Luftreinhaltung liegen schwerpunktmäßig in den Bereichen

- Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Nachbarschaftsschutz (Immissionsschutz, Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen)
- Orts- und Umwelthygiene (aus vorwiegend medizinischer Sicht)
- Natur- und Landschaftsschutz.

Unterschiedliche am Planverfahren Beteiligte können somit diesen Belang im Anhörungsverfahren vertreten, insbesondere weil Luft und Klima allgegenwärtig sind und sich somit auch Berührungspunkte zu anderen Belangen ergeben.

Die Gemeinden haben die Aufgabe, die erheblichen Umweltauswirkungen, die auf Grund der Durchführung der Bauleitpläne eintreten zu überwachen. Dadurch sollen sie in der Lage sein, unvorhergesehene nachteilige Auswirkungen frühzeitig zu ermitteln und geeignete Maßnahmen zur Abhilfe zu ergreifen. Sie nutzen dabei die im Umweltbericht anzugebenden Überwachungsmaßnahmen sowie die Informationen der Behörden nach § 4 BauGB.

Durch das Gesetz zur Erleichterung von Planungsvorhaben für die Innenentwicklung der Städte vom 21.12.2006 wurde das BauGB mit Wirkung vom 01.01.2007 dahingehend geändert, dass unter bestimmten Bedingungen Bebauungspläne für die Wiedernutzbarmachung von Flächen, für Nachverdichtung oder andere Maßnahmen der Innentwicklung in einem beschleunigten Verfahren ohne Durchführung einer Umweltprüfung aufgestellt werden können (sog. Bebauungsplan der Innenentwicklung). Die zur Anwendung dieses Verfahrens zulässige Grundfläche darf bis weniger als 20.000 Quadratmeter oder als 70.000 Quadratmeter betragen, wenn auf Grund einer überschlägigen Prüfung die Einschätzung erlangt wird, dass der bebauungsplan voraussichtlich keine erheblichen Umweltauswirkungen hat, die nach § 2 Abs. 4 Satz 4 BauGB in der Abwägung zu berücksichtigen wären (Vorprüfung des Einzelfalls). Die Behörden und sonstigen Träger öffentlicher Belange, deren Aufgabenbereiche durch die Planung berührt werden können, sind an der Vorprüfung des Einzelfalls zu beteiligen.

Eine weitere Überarbeitung erfolgte 2011 durch das „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden“ § 1a (5) BauGB regelt nun, dass den Erfordernissen des Klimaschutzes sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden soll. Das

Baugesetzbuch und die BAUNUTZUNGSVERORDNUNG (BauNVO) bieten somit differenzierte Möglichkeiten für eine klimagerechte Stadtplanung. Der gesetzliche Katalog zulässiger Festsetzungen in Bebauungsplänen ist hinsichtlich des Klimaschutzes nochmals erweitert worden (§ 9 (1), (1a) BauGB). Dabei gibt es freilich keine Festsetzung, welche für sich alleine genommen ein zuträgliches Stadtklima bewirken könnte.

Die Rechtsinstrumente des Städtebaulichen Vertrages (§ 11 BauGB) und des Vorhaben- und Erschließungsplanes (§ 12 BauGB) kommen der Berücksichtigung stadtklimatischer Belange in verschiedener Hinsicht entgegen:

So ermöglicht die Darstellung des konkreten Vorhabens im VEP die Untersuchung und Bewertung aller baukörperabhängigen klimatischen Auswirkungen auf die Umgebung. Dies hat Bedeutung für die Aspekte Besonnung und Belichtung, Möglichkeiten der Solarnutzung sowie für die bioklimatischen Bedingungen.

Mit dem Instrument des Städtebaulichen Vertrages ist u.a. die Vereinbarung von Energieversorgungskonzepten mit ihren technischen Einzelheiten (beispielsweise Solarthermie) möglich. Ebenso können Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden formuliert werden. Städtebauliche Verträge können somit als Zielbindungsverträge auch zur Durchsetzung klimaschützender Maßnahmen herangezogen werden.

Der großräumige Klimaschutz ist als öffentlicher Belang bei der Bauleitplanung zu berücksichtigen. Dies ergibt sich auch aus dem Grundgesetz, das mit Artikel 20 a den Umweltschutz als Staatsziel benennt. Danach müssen unbestimmte Rechtsbegriffe (z. B. „Allgemeinwohl“) im Lichte dieses Staatsziels ausgelegt werden.

Das 2011 novellierte BauGB enthält nun Regelungen, mit denen die städtebaulichen Voraussetzungen für Klimaschutz und Klimaanpassungen geschaffen oder verbessert werden sollen. Die Neuregelungen erstrecken sich insbesondere auf die planerische Abwägung,

die Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten in Bauleitplänen, die Zulassung von Vorhaben und auf das besondere Städtebaurecht (Artikel 1: Änderung des Baugesetzbuches (s. oben bei BauGB); Artikel 2: Änderung der Planzeichenverordnung 1990).

Neben den bereits zitierten § 1 (5) und § 1a (5) sei hier die Regelung in BauGB § 171a (3) zitiert, dass Stadtumbaumaßnahmen dem Wohl der Allgemeinheit dienen. Sie sollen insbesondere dazu beitragen, dass (Ziffer 1) die Siedlungsstruktur den Erfordernissen von Bevölkerung und Wirtschaft sowie den allgemeinen Anforderungen an den Klimaschutz und die Klimaanpassung angepasst wird. Schließlich wurden mit den §§ 248 und 249 Sonderregelungen zur sparsamen und effizienten Nutzung von Energie und zur Windenergie in der Bauleitplanung aufgenommen.

■ 2. Charakteristik und Erscheinungsformen des Stadtklimas

■ 2.1 Allgemeines

Ausbildung und Ablauf des Wetters erfolgen nach physikalischen Gesetzen, wobei die rasche zeitliche Änderung des Zustandes der Atmosphäre hierfür typisch ist.

Das Klima hingegen ist definiert als der mittlere Zustand der atmosphärischen Witterungsbedingungen mit ihren Schwankungsbereichen an einem bestimmten Ort. Die geographische Lage sowie die Höhe des Ortes sind, wie die Nähe zu größeren Wasserflächen, entscheidende Einflussgrößen. Beschrieben wird das Klima durch die Klimaelemente Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Luftdruck, Wind, Bewölkung und Strahlung.

Aus dieser Begriffsbestimmung ergibt sich, dass es „das Klima“ quantifiziert durch eine Messgröße nicht gibt. Es können somit meist nur Messungen, Beobachtungen und Wertungen bezogen auf einzelne Elemente des Klimas vorgenommen werden. Meteorologische Begriffsbestimmungen zur Regionalplanung sind als Arbeitsmaterial der Akademie für Raumforschung und Landesplanung veröffentlicht (SCHIRMER, 1988). In der Bioklimatologie (Wirkung des Klimas auf den Menschen) versucht man auch, verschiedene Klimaelemente miteinander zu verknüpfen und meist subjektiv zu bewerten, wie dies zum Beispiel bei der thermischen Belastung („Schwüle“) durch die Kombination von Lufttemperatur, Luftfeuchte und Strahlung der Fall ist.

Eine der Hauptaufgaben des Klimatologen liegt in der Synthese aller Klimaelemente unter Berücksichtigung ihrer gegenseitigen Abhängigkeiten sowie äußerer Einflussgrößen (z.B. Oberflächenart, Relief, Bebauungsstruktur).

Außer durch oftmals zeit- und kostenaufwendige Messungen kann faktisch jedermann durch Beobachtung in der Natur klimatische

Gegebenheiten wahrnehmen und zum Teil bewerten. Hierzu gehören beispielsweise die Beobachtung von Rauchfahnen als Hinweis auf die Windrichtung und atmosphärische Temperaturschichtung, die Vegetation und ihre Entwicklung als Indikator für die Temperatur und Niederschlagsverhältnisse sowie Bodennebelbereiche als Hinweis auf lokale Kaltluftseen. Ferner seien erwähnt die Beobachtung von Frostschäden und lokalen Wolkenbildungen.

Während das Klima in der freien Landschaft weitgehend von natürlichen Gegebenheiten abhängig ist, bildet sich in Stadtlandschaften ein durch Bauwerke beeinflusstes Klima aus, das Stadtklima. Man versteht heute unter dem Begriff Stadtklima aber auch die Veränderung der natürlichen Zusammensetzung der Luft durch anthropogene Einflüsse (Luftschadgase und Aerosole).

Jede Bebauung beeinflusst die einzelnen Klimaelemente. Große Baugebiete setzen sich in klimatischer Hinsicht deutlich von der sie umgebenden Landschaft ab. Die wesentlichen Ursachen, die zur Ausbildung eines eigenen Stadtklimas führen, liegen in der weitreichenden Veränderung des Wärmehaushaltes und des örtlichen Windfeldes. Hinzu kommt eine starke Anreicherung der Stadtluft mit Schadstoffen aus den Quellen von Hausbrand, Verkehr, Industrie und Kraftwerken. Die Ausprägung eines typischen Stadtklimas ist in erster Linie abhängig von der Stadtgröße, aber auch von der Geländeform, der Bebauungsstruktur und dem Freiflächenanteil.

Während es in den Städten Klimaelemente gibt, die sich stadtteilbezogen nur wenig unterscheiden (z.B. Sonnenstrahlung, Niederschlag), weisen andere Klimaelemente, bedingt durch das Wärmespeichervermögen der Baustoffe, die Versiegelung des Bodens, durch veränderten Wasserhaushalt sowie durch Abwärme, zum Teil recht große räumliche Unterschiede auf (z.B. Temperatur, Windverhältnisse). Kleinräumliche Unterschiede sind im Bereich von Gebäuden, Straßenzügen und Grünanlagen zu finden.



Abb. 2/1 Stadtlandschaft

■ 2.2 Urbaner Wärmehaushalt

Gegenüber der freien Landschaft ist in einer Stadt die Energiebilanz, die im Wesentlichen durch die kurzwellige Einstrahlung der Sonne und die langwellige Abstrahlung von Wärme bestimmt wird, stark verändert. Die Einflussgrößen des urbanen Wärmehaushaltes sind in der **Abbildung 2/2** schematisch dargestellt (ROBEL et al., 1978). Durch Luftbeimengungen (Schadgase und Aerosole) in der Stadtatmosphäre wird die Sonnenstrahlung (Streuung und Absorption) abgeschwächt. Im ultravioletten Strahlungsbereich liegt die Abnahme im Sommer bei ca. 5%, im Winter bei bis zu 30%. Die Globalstrahlung (direkte Sonnenstrahlung und diffuse Himmelsstrahlung) kann in Städten bis zu 20% geringer sein. Die Sonnenscheindauer verringert sich um bis zu 15% (LANDSBERG, 1981).

Durch die Oberflächenversiegelung und den damit verbundenen geringeren Grünflächenanteil ist die Verdunstung reduziert, was eine Erhöhung der Temperatur in den Städten bewirkt.

Durch den relativ hohen Anteil von Schadgasen, die langwellige Wärmestrahlung absorbieren können (z.B. Kohlendioxid), ist die effektive Abstrahlung reduziert, was zu einer Erwärmung der Stadtatmosphäre führt (lokaler Treibhauseffekt).

Einflussgrößen des urbanen Wärmehaushalts

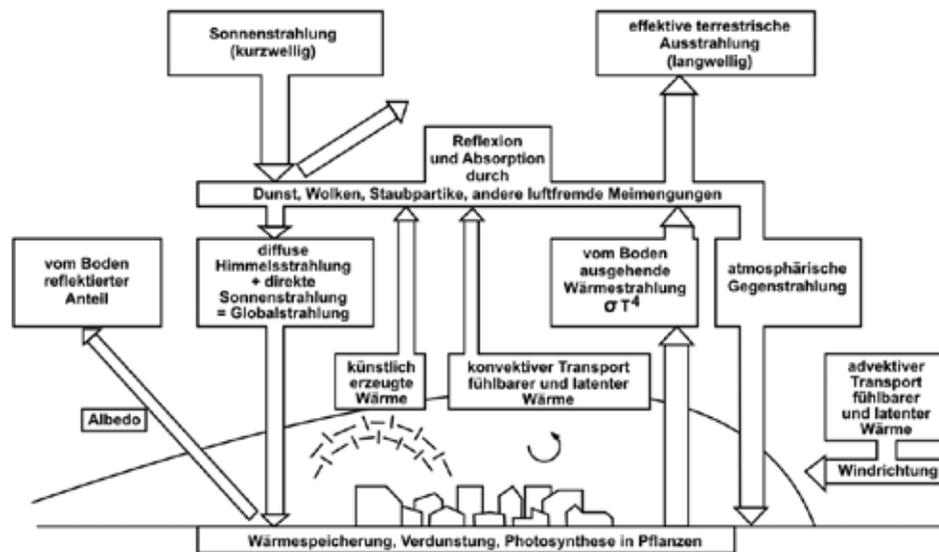


Abb. 2/2 Einflussgrößen des urbanen Wärmehaushalts, Quelle: ROBEL et al., 1978

Infolge der städtischen Baumassen erfolgt eine Wärmespeicherung der einfallenden Strahlung, was sich darin zeigt, dass die täglichen Maximaltemperaturen in einer Stadt gegenüber dem Umland später eintreten und die Schwankungsbreite des Temperaturverlaufes geringer ist (Abb. 2/3). In der Nacht geben die Steinmassen die Wärme nur langsam wieder ab. Sie sind auch am Morgen noch relativ warm.

In einer Stadt finden die Energieumsetzungen zu einem großen Teil nicht im Erdbodenniveau sondern auch im Bereich des Dachniveaus bzw. der oberen Stockwerke der Häuser statt.

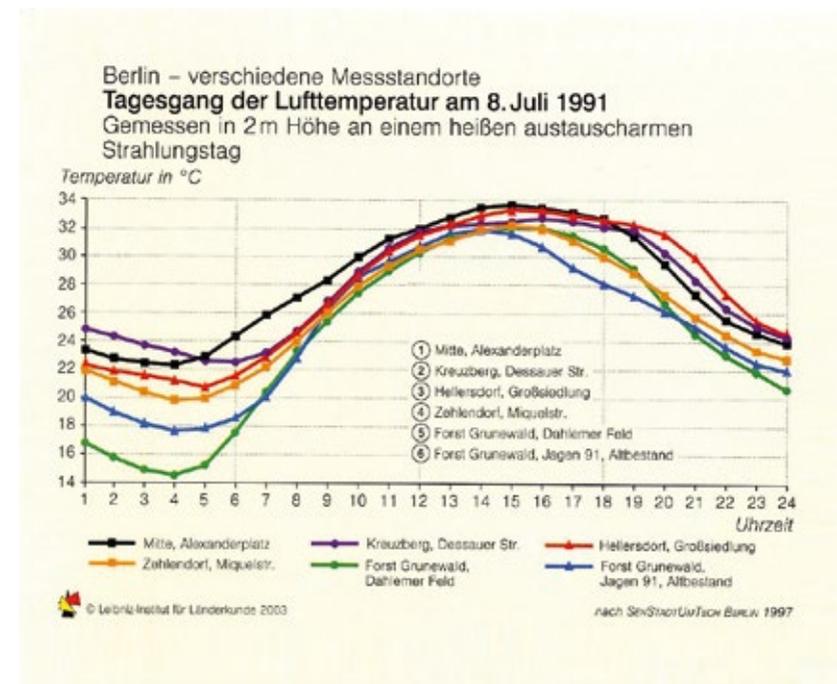


Abb. 2/3 Tagesgang Lufttemperatur, Datenquelle: Senatsverwaltung Berlin, Quelle: Leibniz-Institut für Länderkunde, 2003

Ein nicht zu vernachlässigender Faktor in Städten ist die anthropogene Wärmezeugung, die ebenfalls zu einer zusätzlichen Erwärmung speziell auch im Winter während der Heizperiode führt. Sie hängt u.a. von der Einwohnerdichte als auch vom Pro-Kopf-Energieverbrauch ab. In mitteleuropäischen Städten kann von einem urbanen Jahresmittel von etwa 30 W/m² ausgegangen werden (KUTTLER, 2010).

2.3 Urbane Wärmeinsel

Hinsichtlich der Temperatur tragen Städte stets zu einer Erwärmung bei, was jedoch nicht unbedingt eine negative Eigenschaft des Stadtklimas sein muss. Städte sind im Jahresmittel um 1 bis 2 Grad wärmer als die sie umgebende Landschaft. Besonders große Temperaturunterschiede treten jedoch in Strahlungsnächten bei den täglichen Temperaturminima auf (MATZARAKIS, et. al, 2008; KUTTLER, 2011).

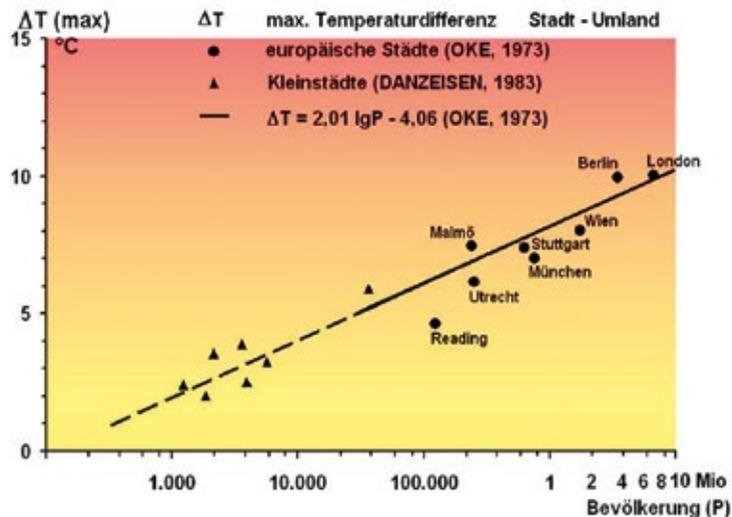


Abb. 2/4 Maximale Temperaturunterschiede in europäischen Städten

Abbildung 2/4 zeigt diesen Zusammenhang für europäische Städte in Abhängigkeit von der Stadtgröße. Für Millionenstädte kann der maximale Temperaturunterschied über 10 Grad betragen. Man erkennt aber auch, dass bei kleineren Städten durchaus ein merkbarer Wärmeinseleffekt feststellbar ist.

Untersuchungen in München (BRÜNDL et al, 1986) haben gezeigt, dass die Temperaturen in den Stadtquartieren stark vom Versiegelungsgrad abhängen.

Der langfristige Mittelwert der Lufttemperatur im Baugebiet steigt nach Vollzug aller Baumaßnahmen je 10% Versiegelungsgrad um ca. 0,2 Grad über die Temperatur der unbebauten Umgebung. Bei Strahlungswetterlagen erhöht sich je 10% Versiegelungsgrad die mittlere Tagesmitteltemperatur um 0,3 bis 0,4 Grad, das mittlere Tagesmaximum um ca. 0,3 Grad und das mittlere Tagesminimum der Lufttemperatur um 0,5 bis 0,6 Grad (**Abb. 2/5**).

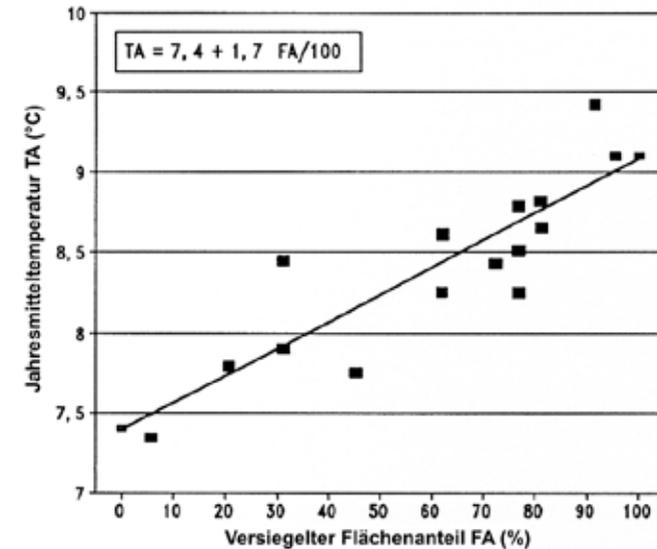


Abb. 2/5 Regressionsbeziehung zw. Versiegelungsgrad und Temperatur, Quelle: BRÜNDL et al, 1986

Eine wahrnehmbare positive Wirkung übt dieses generell höhere Temperaturniveau der Städte auf die innerstädtische Vegetation aus. Die Wirkung kommt im Vorhandensein zahlreicher wärmeliebender Pflanzenarten in Vorgärten und Grünanlagen sowie in der verlängerten Vegetationsperiode zum Ausdruck. Auch ist in Städten häufiger die Möglichkeit zu Freizeitaktivitäten im Freien gegeben. Ebenso ist der Heizenergiebedarf reduziert.

Unterschiedliche Bodenoberflächenarten erwärmen sich bei windstarkem Wetter an wolkenlosen Sommertagen recht unterschiedlich. Dies hängt vom Absorptionsvermögen, aber auch von der Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und der Verdunstungsfähigkeit des Untergrundes ab.

Während beispielsweise Asphalt 80% bis 90% der einfallenden Strahlung absorbiert, beträgt dieser Anteil bei einer weißen Mauer nur 20% bis 35%. Ergebnisse von Temperaturmessungen schwanken zwischen weniger als 30°C und fast 50°C (LORENZ, 1973). Den Tagesgang der Temperatur verschiedener Materialien und Oberflächen an einem Hochsommertag zeigt die **Abbildung 2/6**.

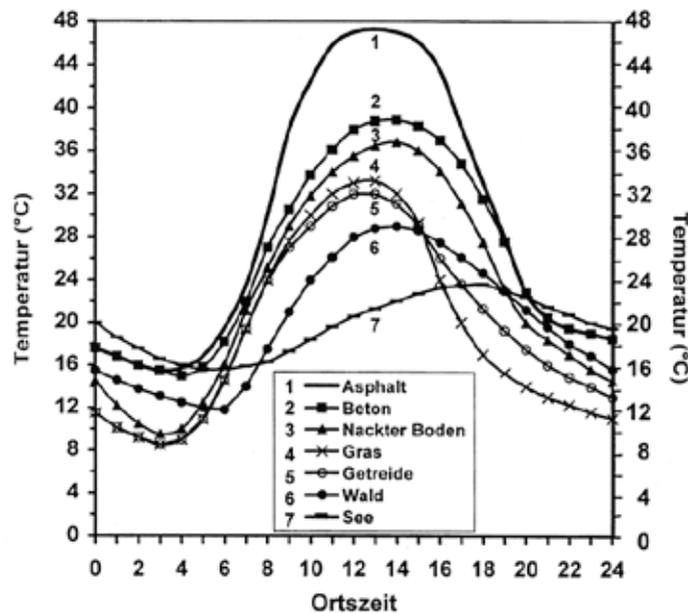


Abb. 2/6 Temperaturen verschiedener Oberflächen, Sommertag, Quelle: FEZER 1975

Außer den Materialeigenschaften der Oberflächen ist für die Temperaturverhältnisse in einer Stadt die Gebäudeanordnung und Gebäudehöhe von Bedeutung. In sehr engen Straßenschluchten kommt es zu Verschattungseffekten, was zu einer Verzögerung der Erwärmung im Straßenraum führt.

Durch die Horizontverengung ist jedoch auch die Wärmeabstrahlung der Oberflächen vermindert, was eine Verringerung der nächtlichen Abkühlung in Straßen bewirkt.

Das Zusammenspiel der genannten Faktoren führt innerhalb der Stadt mit ihren unterschiedlichen Strukturen und Bebauungsdichten zu einem Mosaik unterschiedlicher thermischer Mikroklimata, die sich gegenüber dem Umland zu einer deutlich abgegrenzten Wärmeinsel bzw. einem Wärmearchipel zusammenfügen. Erkennbar sind diese Gegebenheiten in infraroten Wärmebildern (z. B. Thermalkarte Verband Region Stuttgart, Kapitel 5.2) anhand der räumlich stark differenzierten Oberflächentemperaturen.

Die Ausprägung der Wärmeinsel in Stuttgart zeigt auch die folgende Darstellung (**Abb. 2/7**) der Temperaturverteilungen (HAMM, 1969). Im Sommer wie auch im Winter ist nach derselben Untersuchung der Wärmeinseleffekt in gleicher Größenordnung zu beobachten. Die größten Temperaturunterschiede betragen in Stuttgart zwischen der Innenstadt und den Randzonen des Stadtkessels ca. 6 Grad.

Vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels und der notwendigen Anpassung an den unvermeidbaren Anteil des Klimawandels ist die städtische Wärmeinsel Gegenstand zahlreicher Forschungsprojekte geworden (z. B. EU-Projekt UHI, 2011 – 2014).

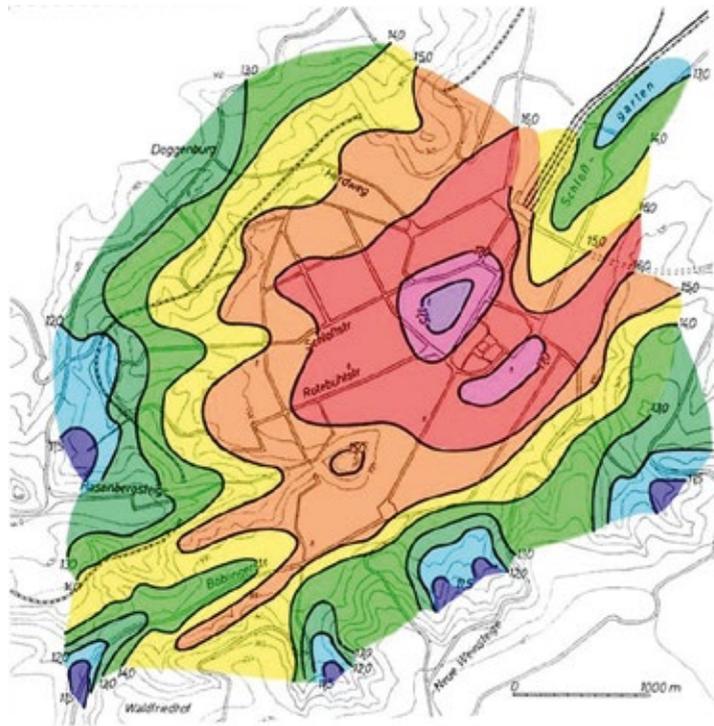


Abb. 2/7 Temperaturverteilung am frühen Morgen in Stuttgart, Quelle: HAMM, 1969

■ 2.4 Feuchte/Niederschlag/Vegetation

In der freien Landschaft wird ein erheblicher Teil der Strahlung zum Verdunsten des im Boden und im Bewuchs gespeicherten Wassers verwandt. Dieser Anteil ist wesentlich höher als der durch die Schattenwirkung von Gebäuden auf die Temperatur bewirkte Effekt.

Die Vegetation, insbesondere der Wald, übt zudem eine große Filterwirkung aus. So zeigen sich in innerstädtischen Parkanlagen deutlich geringere Staubbelastungen als in den Bauquartieren. Dies unterstreicht die hohe stadtklimatische Bedeutung von innerstädtischen Grünflächen.

Gemeinsame Eigenschaft sämtlicher Vegetationsformen ist die Verhinderung der Bodenversiegelung, der sich konkrete klimatische Auswirkungen zuordnen lassen:

Über bebauten, versiegelten Oberflächen verdunsten nur kleinere Wassermengen. Dies ist ein sehr wesentlicher Faktor für den Temperaturüberschuss bebauter Gebiete. Die Abflussbeiwerte zur Ermittlung des Regenwasserabflusses gem. DIN 1986 zeigen, dass bei Pflaster mit Fugenverguss, Schwarzdecken oder Betonflächen 90% des Niederschlagswassers in die Kanalisation abfließen (vgl. Kap. 6.1.4, Tab. 6/2).

Der Einfluss der zur Verdunstung nicht zur Verfügung stehenden Wassermengen auf die Lufterwärmung wird durch folgenden Vergleich deutlich: Zur Verdampfung von 1 l Wasser sind bei normalem Luftdruck ca. 2250 kJ Wärmeenergie erforderlich. Mit der gleichen Wärmemenge können aber 100 m³ Luft um 18 Grad erwärmt werden.

Wegen des im wärmeren Baugebiet verminderten Wasserdampfdrucks stellt sich zur feuchteren und kühleren Umgebung ein starker Dampfdruckgradient und ein entsprechendes Verdunstungspotential ein, was als sog. Oasen-Effekt am Rande des bebauten Gebietes die Lufttemperatur geringer ansteigen lässt und gleichzeitig die Verdunstung im benachbarten feuchteren Gebiet erhöht. Insofern übt die eine Grünfläche umgebende Bebauung eine nachteilige „Fernwirkung“ auf die in städtischen Ballungsräumen oasenartig eingestreuten Grünflächen aus.

Die Bedeutung der Sauerstoffproduktion durch urbane Vegetationsflächen muss differenziert betrachtet werden (ROBEL, 1975; BERNATZKY, 1985; MÜRB, 1992):

Man kann davon ausgehen, dass der Sauerstoffanteil des Gasgemisches Luft seit etwa 200 Mio. Jahren konstant etwa 21% beträgt. Folglich muss seither ein bemerkenswert stabiles Gleichgewicht zwischen der assimilatorischen Sauerstoffproduktion und den sauerstoffverbrauchenden Prozessen bestehen. Letztere haben infolge technisch-industrieller Verbrennungsvorgänge in der Gegenwart

stark zugenommen. Der Sauerstoffverbrauch durch Lebewesen und technische Prozesse wird jedoch über Luftaustauschbewegungen immer wieder so schnell ausgeglichen, dass im Lebensbereich von Mensch und Pflanze nur Konzentrationsschwankungen von 1/100 bis 1/1000 Volumenprozent beobachtet werden. Schwankungen dieser Größe sind jedoch für die sauerstoffverbrauchenden Tiere und Menschen ohne Bedeutung. Für die Wirksamkeit der Atmung ist nämlich der Sauerstoffpartialdruck ausschlaggebend, welcher sich entsprechend dem Luftdruck verändert. Daraus folgt, dass größerer Luftdruckfall bei Wetterumschlag, insbesondere aber bei Aufenthalt in größerer Höhe weitaus atmungswirksamer ist als die geringfügigen Konzentrationsschwankungen des Sauerstoffs in der Luft.

Bei der Assimilation nehmen die chlorophyllhaltigen Pflanzen Kohlendioxid aus der Luft auf und setzen Sauerstoff frei. Um den Sauerstoff-Jahresbedarf eines Menschen zu decken, muss eine Pflanzenbestandsfläche von etwa 130 m² über den ganzen Sommer assimilieren, wenn man für den Quadratmeter pflanzenbestandener Bodenfläche eine jährliche Sauerstoffproduktion von 2 kg ansetzt. Nach BERNATZKY (1985), weist eine 100-jährige freistehende Buche von 25 m Höhe eine äußere Blattfläche von 1.600 m² auf, so dass sich eine Sauerstoffproduktion für 10 Menschen pro Jahr ergibt.

Nicht unberücksichtigt bleiben darf jedoch, dass der Sauerstoff, den die Pflanzen beim Prozess der Photosynthese freisetzen, kein bleibender Gewinn für die Atemluft ist. Etwa ein Drittel davon wird beim Vorgang der pflanzlichen Atmung verzehrt, wobei die Pflanzen unter Aufnahme von Sauerstoff organische Substanz abbauen, während die verbliebenen zwei Drittel bei der Zersetzung abgestorbener pflanzlicher Substanz in längeren Abbauvorgängen verbraucht werden. Ein dauerhafter Sauerstoffgewinn kann nur stattfinden, wenn es zu langfristigen Konservierungen organischer Substanz kommt, was z.B. bei der Bildung von Kohle- und Erdölablagerungen der Fall war. Produktionsstätten für Sauerstoff mit positiver Bilanz sind vor allem die Ozeane: Ihr Phytoplankton liefert rd. 70% des auf der Erde verbrauchten Sauerstoffs. Die restlichen 30% kommen von den Landpflanzen und hier besonders von den großen kontinentalen Waldgebieten. Unsere Grünflächen und

Wälder haben nur eine örtlich begrenzte, stabilisierende Wirkung auf den Sauerstoffgehalt der Luft, die bei der Vielzahl bodennaher Feuerstätten und Verbrennungsmotoren aber nicht vernachlässigt werden darf. Es sollte allerdings vermieden werden, die städtischen Parkanlagen und Grünflächen als Lungen der Stadt zu bezeichnen, da ihre diesbezügliche Funktion nur gering ist.

Aufgrund des Wärmeinseleffektes in Städten ist die relative Luftfeuchtigkeit dort geringer als im Umland, wenngleich sich die absolute Feuchte insbesondere durch die Einbringung von Wasserdampf durch Verbrennungsprozesse vom Umland nur gering unterscheidet. Im Jahresmittel ist die Feuchte in der Stadt um ca. 6% geringer als im Umland. Besonders große Unterschiede sind bei der Taubildung vorhanden (in den Städten bis zu 65% weniger). **Abbildung 2/8** zeigt als Beispiel die gemessene Feuchteverteilung im Stadtgebiet von Karlsruhe an heiteren windstillen Sommerabenden (FIEDLER, 1979).



Abb. 2/8 Verteilung der relativen Luftfeuchte, Quelle: FIEDLER, 1979

Im Gegensatz zu früheren Literaturhinweisen ist in Städten die Nebelhäufigkeit, bedingt durch den verstärkten Wärmeinseleffekt und den starken Rückgang der Staubbelastung, gegenüber dem Um-

land inzwischen geringer. Auch hat die mittlere Sichtweite in den Städten erheblich zugenommen.

In den Städten ist die Niederschlagsmenge, die Schauerartigkeit und die Zahl der Regentage um 5 bis 10% größer, die Zahl der sommerlichen Gewittertage um 15 bis 20%. Dabei tritt der stärkste Niederschlag vor allem im Lee der Städte auf. Verstärkte Hagelartigkeit konnte bisher über Stadtgebieten in der Bundesrepublik nicht nachgewiesen werden. Tage mit Schneefall sind in Städten weniger häufig als in der freien Landschaft, auch bleibt der Schnee dort infolge der höheren Temperaturen weniger lang liegen (KUTTLER, 2010).

2.5 Wind

Ein besonderes Merkmal der Stadt ist die Veränderung der Windverhältnisse sowohl hinsichtlich der Windrichtung als auch bezüglich der Windgeschwindigkeit. Die größere Oberfläche und Rauigkeit einer städtischen Bebauung bewirkt durch die erhöhte Reibung eine Verminderung der Windgeschwindigkeit. Sie kann im Jahresmittel bis zu 30% niedriger sein. Insbesondere nimmt die Häufigkeit von Windstillen um bis zu 20% zu, was auch zu einer Verminderung des Luftaustausches führt und damit den Schadstofftransport behindert.

In der **Abbildung 2/9** kommt zum Ausdruck, dass sich die vertikalen Windprofile über der Innenstadt, dem Stadtrand und dem Freiland stark unterscheiden. Neben der Abnahme der Windgeschwindigkeit zum Stadtzentrum hin erkennt man auch die im Stadtkern höher reichende Störung des Windfeldes (ROBEL et al., 1978).

Jedoch kann in der Stadt auch die Böigkeit durch Wirbelbildung an hohen Gebäuden zunehmen, was in Bodennähe zu Zegerscheinungen und teilweisen Nutzungseinschränkungen im Nahfeld der Gebäude führt (**Abbildung 2/10**) (GANDEMER, 1977).

Die Darstellung zeigt skizzenhaft die Umströmung von Gebäuden, an denen es strömungsbedingt zu Wirbelbildungen kommt. Die Ver-

wirbelung der Luft im Nahfeld der Gebäude hat insbesondere Auswirkungen auf den Abtransport von Schadstoffen aus Kaminen und anderen bodennahen Schadstoffquellen. Die Störung des Windfeldes durch Gebäude reicht in der Regel bis zu einer Entfernung, die der zehnfachen Gebäudehöhe entspricht.

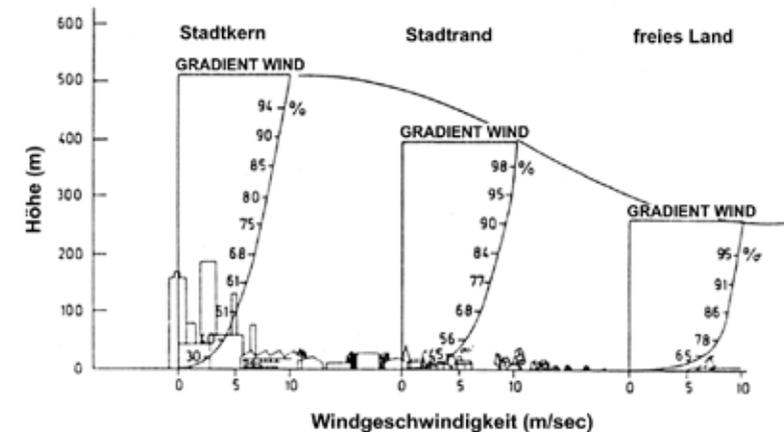


Abb. 2/9 Vertikales Windprofil über Innenstadt, Stadtrand und Freiland, Quelle: ROBEL et al., 1978

Von Bedeutung für die Luftbewegung in Stadtgebieten können auch lokale Windsysteme sein, die sich insbesondere bei schwachem überregionalem Wind ausbilden. Dabei unterscheidet man zwischen *topographisch* bedingten Systemen und *durch Bebauung* bedingten Windsystemen.

Erstere, zu denen Hangwinde sowie Berg- und Talwinde gehören, sind stark durch das vorhandene Relief geprägt. Die **Abbildung 2/11** verdeutlicht skizzenhaft die Zirkulation bei Hang-, Berg- und Talwind (LILJEQUIST, 1994). Diese Zirkulation ist vor allem bei Städten in Tal- und Kessellagen von Bedeutung, da sie zum Schadstoffabtransport sowie zur Frischluftzufuhr beiträgt. Die Ausprägung der vor allem nachts bodennah stattfindenden Kaltluftflüsse ist abhängig von der Größe der Kaltluft produzierenden Flächen sowie von der Hangneigung.

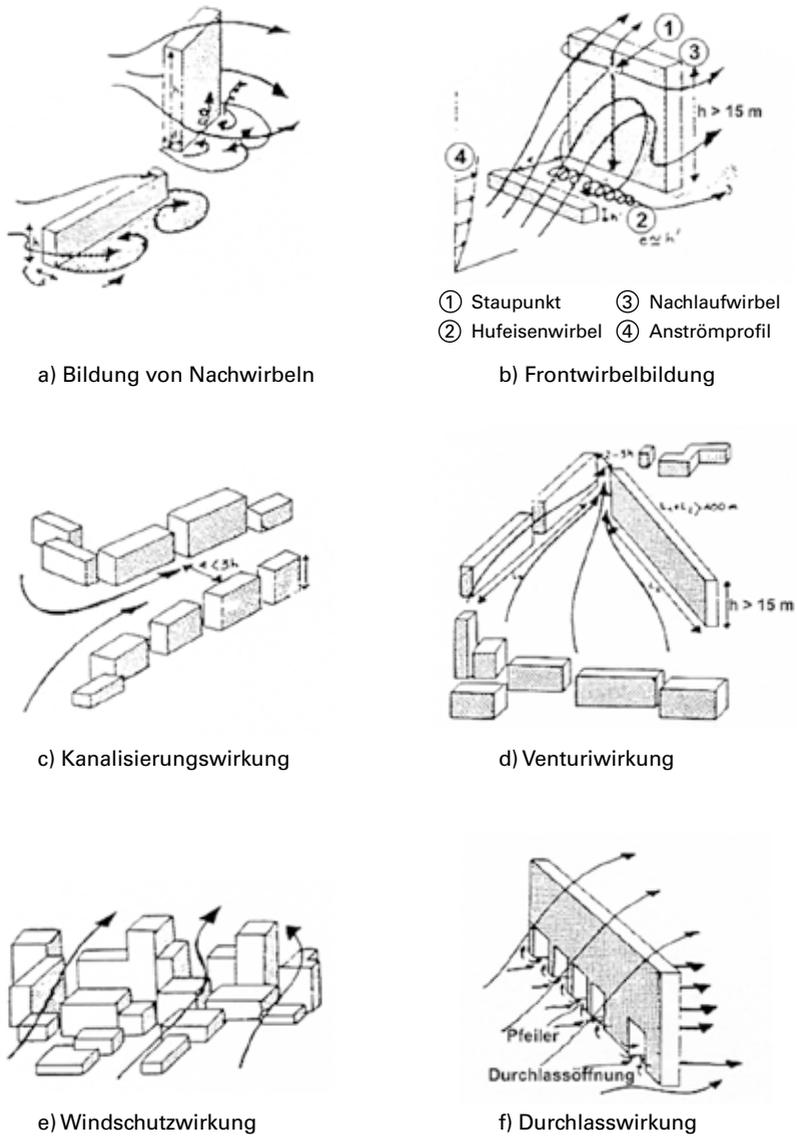


Abb. 2/10 Strömungsbeeinflussung durch Gebäude, Quelle: GANDEMER, 1977

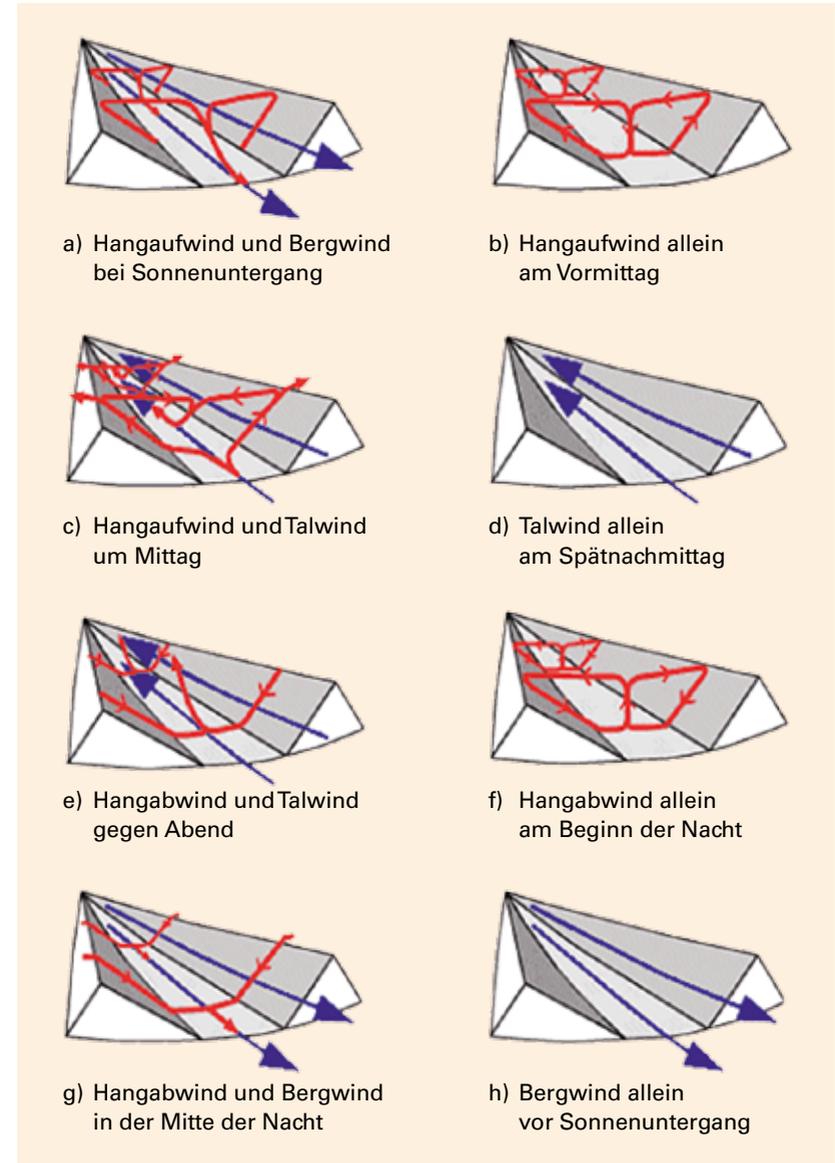


Abb. 2/11 Unterschiedliche Stadien Berg-/Talwindensystem, Quelle: LILJEQUIST, 1994

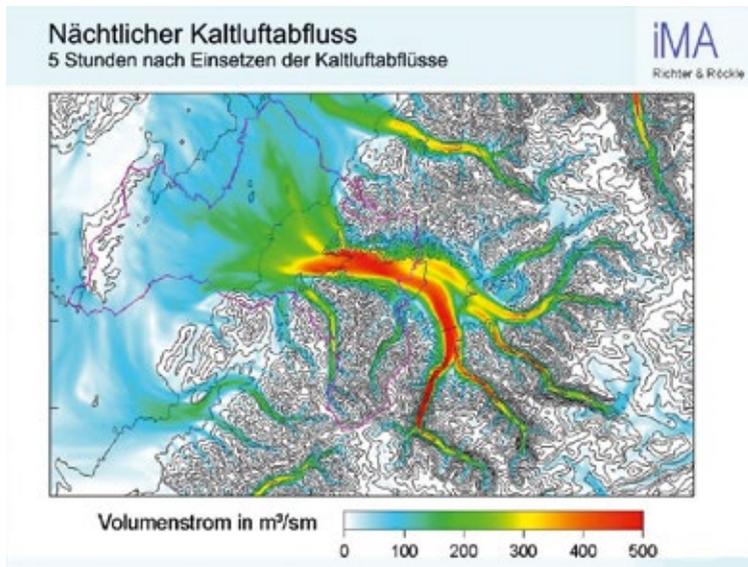
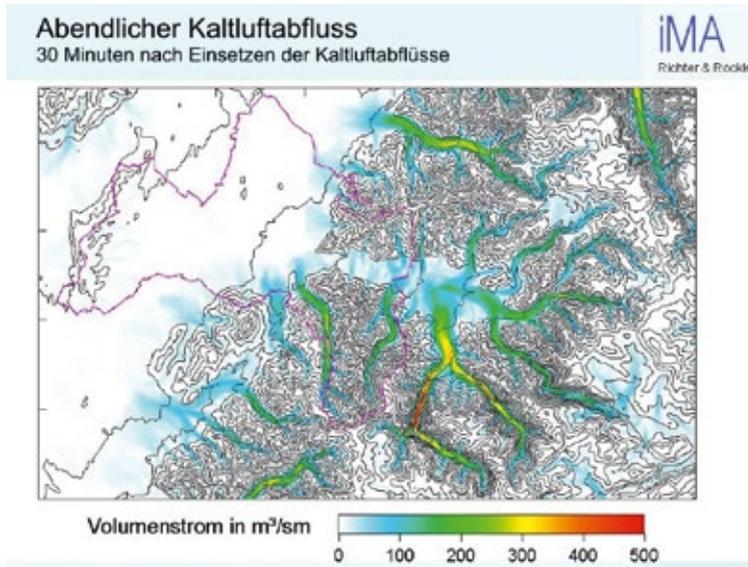


Abb. 2/12 u. 13 Entwicklung von Kaltluftströmen, RICHTER u. RÖCKLE, 2003

Die **Abbildungen 2/12 und 2/13** zeigen das Anwachsen des Kaltluftstromes in Freiburg i. Breisgau (RICHTER u. RÖCKLE, 2003).

Letztere, so genannte Flurwinde, sind sehr viel schwerer nachweisbar und weniger ausgeprägt. Sie haben ihre Bedeutung bei Städten mit gering ausgeprägtem Relief und sind stadteinwärts gerichtet (BARLAG, KUTTLER (1991), HUPFER, KUTTLER, (1998), WEBER, KUTTLER (2003)).

Für die Windgeschwindigkeit gelten die folgenden Umrechnungen:

Meter pro Sekunde	1 m/s	= 1,943 Knoten = 3,600 km/h
Kilometer pro Stunde	1 km/h	= 0,540 Knoten = 0,278 m/s
Knoten (Seemeile pro Std.)	1 kn	= 1,852 km/h = 0,515 m/s

Tab. 2/1 Umrechnungstabelle für die Windgeschwindigkeit

2.6 Bioklima

Meteorologische Elemente wirken auf den Menschen nicht getrennt ein. Daher ist eine kombinierte Bewertung notwendig. Von besonderer Bedeutung ist der thermische Wirkungskomplex, da hier alle Klimatelemente eine Rolle spielen, die den Wärmehaushalt des Menschen direkt beeinflussen. In diesem Zusammenhang werden komplexe Größen wie Schwüle, Behaglichkeit, empfundene Temperatur herangezogen. Eine Bewertung dieser Größen ist subjektiv und von der Tageskonstitution des einzelnen Menschen abhängig.

Vor allem ist es die zeitweise Überwärmung der Stadt, die sich bioklimatisch negativ auswirken kann. Das Anhalten der Überwärmung in der Nacht bei abnehmender Windgeschwindigkeit kann dazu führen, dass der Schlaf nachteilig beeinflusst wird. Aber auch am Tage kann die Überwärmung vor allem in Verbindung mit

höherer Luftfeuchtigkeit und intensiver Sonneneinstrahlung als sehr belastend empfunden werden. Die eintretende thermische Belastung führt auch zum Nachlassen der Leistungsfähigkeit.

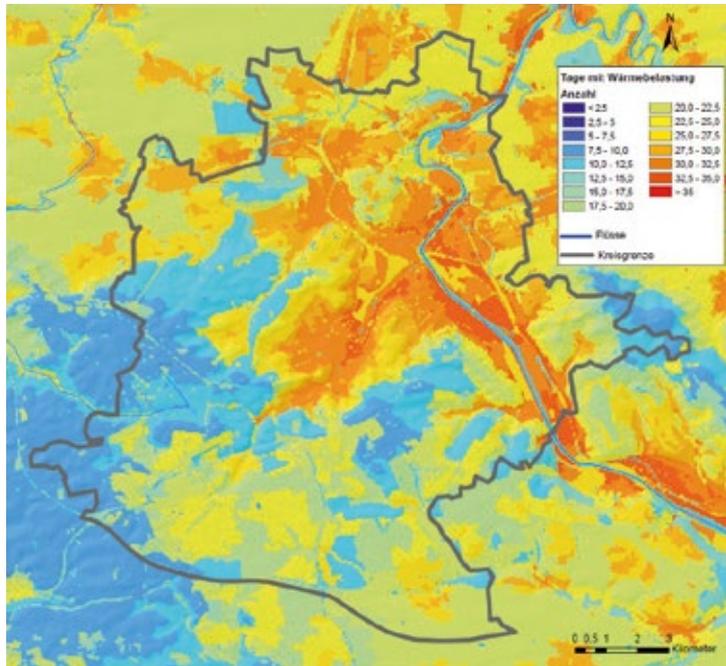


Abb. 2/14 Tage pro Jahr mit Wärmebelastung. Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

Die Bewertung des thermischen Wirkungskomplexes basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers. Aufbauend auf dieser Gleichung wird die Behaglichkeitsgleichung nach FANGER (1972) als Regelanwendung empfohlen. Zur Angabe des Grades der Unbehaglichkeit bzw. Behaglichkeit wurde von Fanger der Index PMV (Predicted Mean Vote) geschaffen. Er gibt die mittlere subjektive Beurteilung einer größeren Personengruppe wieder. Für diesen PMV Index gibt es auch entsprechende Messgeräte.

Eine Kopplung dieses Ansatzes mit den solaren und terrestrischen Strahlungsflüssen hat unter dem Namen „Klima-Michel-Modell“ (JENDRITZKY et al., 1990), unter anderem wegen der Möglichkeit zur flächenhaften Darstellung, eine weite Verbreitung als planerisches Werkzeug gefunden.

Folgende Tabelle gibt die bei den jeweiligen PMV-Werten zu erwartenden thermischen Empfindungen und Belastungsstufen wieder.

PMV	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe	Biologische Wirkung
-3,5	sehr kalt	extrem	Kältestress
-2,5	kalt	stark	.
-1,5	kühl	mäßig	.
-0,5	leicht kühl	schwach	.
0,0	behaglich	keine	keine
0,5	leicht warm	schwach	.
1,5	warm	mäßig	.
2,5	heiß	stark	Wärmebelastung
3,5	sehr heiß	extrem	

Tab. 2/2 Predicted Mean Vote (PMV)

Für vertiefende thermophysiologische Betrachtungen steht außerdem das Wärmehaushaltsmodell „MEMI“ (HÖPPE, 1984) zur Verfügung, das sich für Spezialfälle, in denen medizinische Belange im Vordergrund stehen, besonders eignet. Hieraus wurde die Bewertungsgröße PET (Physiologische Äquivalente Temperatur) entwickelt. Einzelheiten zur bioklimatischen Bewertung des Stadtklimas können der VDI-Richtlinie VDI 3787, Blatt 2 (2008) bzw. dem Handbuch Bioklima und Lufthygiene (MORISKE et al., 2006) entnommen werden.

2.7 Luftaustausch

Bei starker Luftbewegung ist ein Luftaustausch auch in Städten gewährleistet. Ein Abtransport von Schadstoffen kann stattfinden.

Problematischer sind dagegen die Verhältnisse bei windschwachen Wetterlagen (z. B. bei anhaltendem Hochdruckeinfluss). Wenn gleichzeitig der vertikale Luftaustausch stark behindert ist, handelt es sich um eine austauscharme Wetterlage. Bei solchen Verhältnissen sind lokale Windsysteme mit Frischluftzufuhr von besonderer Bedeutung.

Entscheidend für fehlenden Luftaustausch ist das Vorhandensein einer Temperaturinversion, die einen vertikalen Abtransport von Schadstoffen unterbindet. Bei einer Inversion nimmt die Temperatur in einer Luftschicht mit der Höhe zu. Dies bedeutet, dass sich am Boden kältere und damit schwerere Luft als in der Höhe befindet (**Abb. 2/15**).

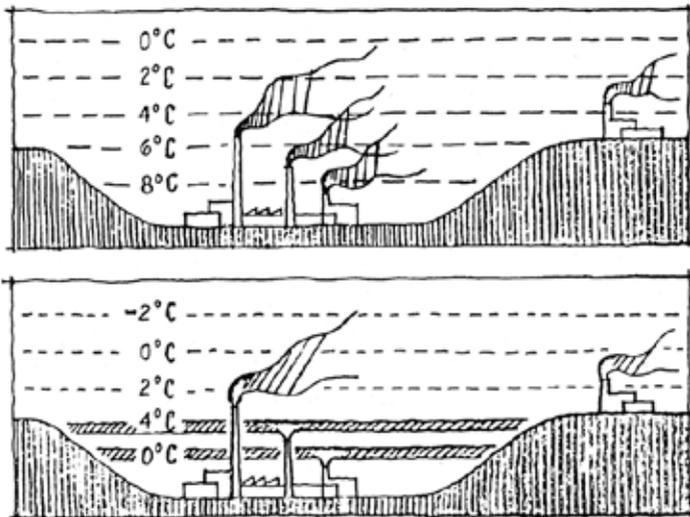


Abb. 2/15 Temperaturschichtungen und Schadstoffausbreitung

Wetterlagen mit Inversionen, die auch tagsüber andauern, treten bevorzugt im Winter auf, da es durch die geringe Sonnenhöhe und kurze Sonnenscheindauer zu keiner entscheidenden Erwärmung des Bodens sowie der bodennahen Luftschicht kommt.

Besonders begünstigt wird die Ausbildung derartiger Situationen auch in Beckenlandschaften und Tälern, den bevorzugten Lagen städtischer und industrieller Ansiedlungen.

2.8 Schadstoffemissionen

Speziell in den Städten werden täglich große Schadstoffmengen durch Verkehr, Hausheizungen, Industrie und Kraftwerke in die Atmosphäre ausgestoßen.

Bei der großen Vielzahl dieser Stoffe hat es sich als zweckmäßig erwiesen, Hauptkomponenten, die auch überregionale Bedeutung haben, als Leitkomponenten näher zu untersuchen. Es sind dies:

- Stickoxide (NO_x)
- Feststoffe/Partikel (insbesondere Fein- und Feinststäube (PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$))
- Organische Verbindungen (C_nH_m) (insbesondere Benzol)
- Kohlenstoffmonoxid (CO)
- Schwefeldioxid (SO_2)

CO und SO_2 sind dabei heute von untergeordneter Bedeutung. Bedingt durch die globalen Aspekte der Klimaveränderung werden seit einigen Jahren auch die Emissionen an Kohlenstoffdioxid (CO_2) näher betrachtet (s. Kap. 2.11).

Die **Abbildung 2/16** zeigt die emittierten Mengen ausgewählter Schadstoffe in Stuttgart (2008) für verschiedene Quellengruppen, während in der **Abbildung 2/17** die Entwicklung der verkehrlichen Schadstoffemissionen in Stuttgart von 1996 bis 2008 dargestellt ist.

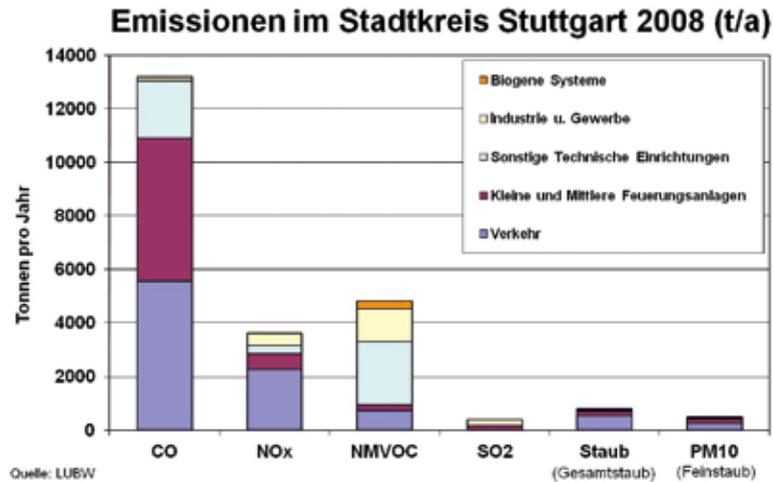


Abb. 2/16 Schadstoffemissionen verschiedener Quellengruppen, Quelle: LUBW

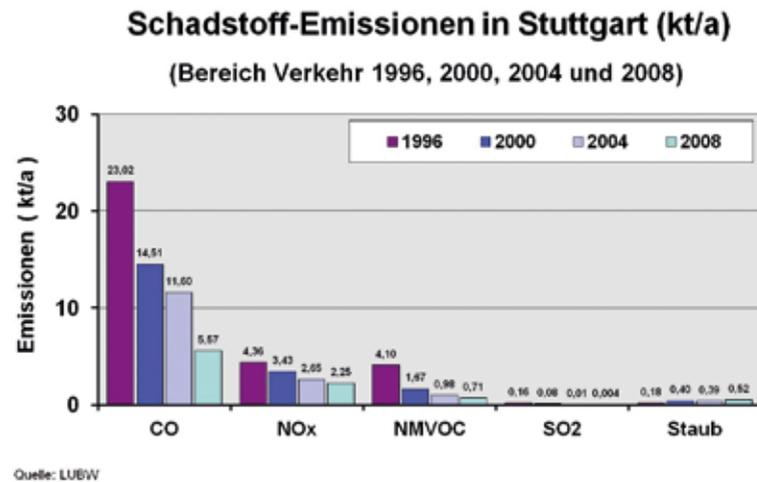


Abb. 2/17 Entwicklung der Schadstoffemissionen, Quelle: LUBW

Insbesondere bei Kohlenstoffmonoxid und Stickoxiden wird der vorherrschende Einfluss des Verkehrs auf die Emissionen deutlich.

Entscheidend für die Luftbelastung ist neben der Höhe, in der die Emissionen in die Atmosphäre gelangen, auch die Verteilung der Emissionen im Stadtgebiet. Die **Abbildung 2/18** zeigt als Beispiel die Stickoxidemissionen in der Region Stuttgart. Gut zu erkennen sind die Planquadrate mit hohen Emissionen im Bereich der Schnellstraßen und bei Einzelquellen wie Kraftwerken bzw. Heizungszentralen.

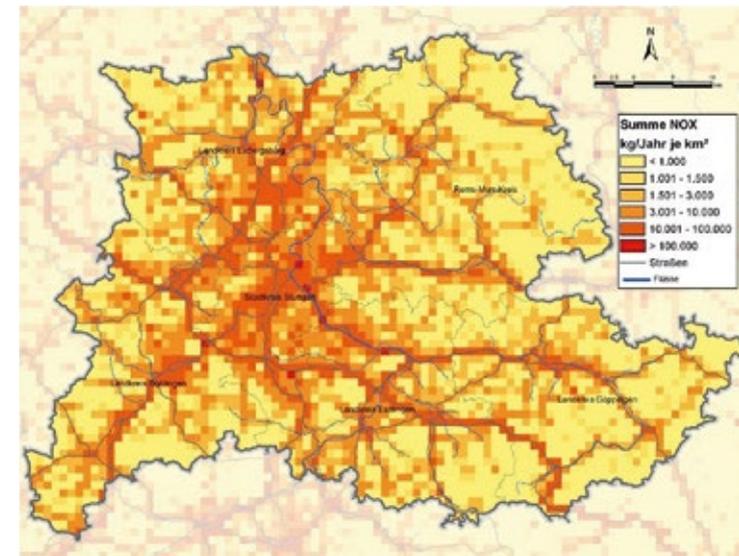


Abb. 2/18 Räumliche Verteilung der Stickoxidemissionen (2004), Datenquelle: LUBW, Quelle: KLIMAAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

Abhängig von Schadstoffkomponente und Quellenart sind die Emissionen nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt. Heizungsbedingte Schadstoffe weisen einen deutlichen Jahrgang auf. Verkehrsbedingte Emissionen sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt (außer Ferienzeiten).

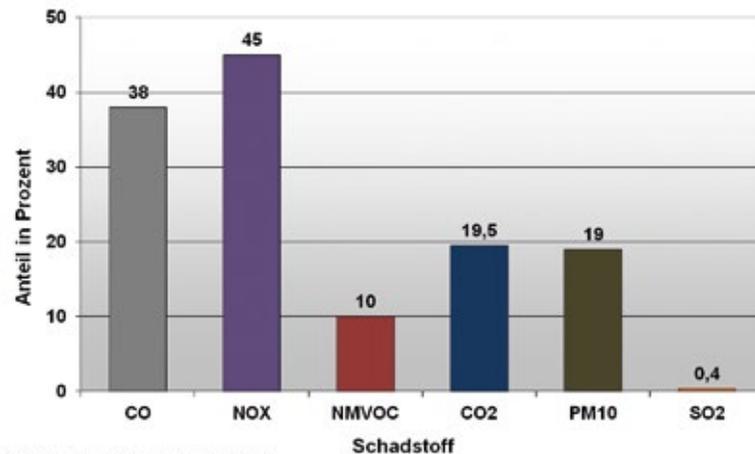
2.8.1 Der Verkehr als Schadstoffquelle

Die Zunahme des motorisierten Individualverkehrs (MIV) stellt hohe Anforderungen an die Verkehrspolitik. Vielerorts spricht man heute von einem Verkehrskollaps auf den Straßen speziell in den Ballungsgebieten. Verbunden mit dieser Verkehrszunahme ist eine erhebliche Umweltbelastung insbesondere durch Lärm und Luftschadstoffe.

Die Emissionen haben jedoch nicht nur lokale und regionale Bedeutung. Mit den CO₂-Emissionen aus dem Verkehr hat dieser Aspekt eine völlig neue, globale Dimension erhalten (s.a. Kap. 2.11).

Das Auto beherrscht den Personen- und den Güterverkehr in der Bundesrepublik Deutschland. So wurden 2009 von den 1123 Mrd. Personenkilometern etwa 80% mit dem privaten Pkw abgewickelt und von den 583 Mrd. Tonnenkilometern des Güterverkehrs rund 71% vom Lkw.

Den Anteil des Straßenverkehrs an den Schadstoffemissionen in der Bundesrepublik Deutschland bezogen auf das Jahr 2009 zeigt die **Abbildung 2/19**.



Quelle: UBA, Daten zur Umwelt, 2009

Abb. 2/19 Straßenverkehrsanteil an den Schadstoffemissionen, Quelle: UBA

So lag der verkehrsbedingte Schadstoffausstoß bei PM₁₀ bei 19%, bei den Stickoxiden (als NO_x) bei 45% und bei den Kohlenwasserstoffen (NMVOC) bei 10%. Für das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) beträgt der Anteil 19,5%.

Die EU-Kommission hat ein Weißbuch mit dem Titel „Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem“ (KOM(2011) 144) vorgelegt. Mit dem Weißbuch werden die künftigen Herausforderungen für den Verkehrsbereich (Ölabhängigkeit des Verkehrs als Energiequelle, CO₂-Ausstoß, Mengenwachstum, Kostenwachstum durch Überlastung der Infrastruktur, Verkehrssicherheit) in den Blick genommen. Darauf aufbauend werden zehn Ziele für ein wettbewerbsorientiertes und ressourcenschonendes Verkehrssystem genannt (DStGB, 2011).

Die zehn Ziele sind ambitioniert. Es handelt sich u. a. um

1. Halbierung der mit konventionellem (fossilem) Kraftstoff betriebenen Pkw bis 2030, deren völlige Abschaffung in Städten bis 2050. In städtischen Zentren soll die Stadtlogistik bis 2030 CO₂-frei sein.
2. Reduzierung der CO₂-Emissionen in der Seeschifffahrt um 40% bis 2050. Im Flugverkehr soll der Anteil „CO₂-emissionsarmer nachhaltiger Flugkraftstoffe“ auf 40% steigen.
3. 30% des Straßengüterverkehrs mit einer Transportdistanz über 300 Kilometer sollen bis 2030 von der Straße auf die Verkehrsträger Eisenbahn und Schiff verlagert werden. Bis 2050 sollen sogar mehr als 50% verlagert werden.
4. 2050 soll es ein europäisches Eisenbahn-Hochgeschwindigkeitsnetz geben. Das Netz soll bis 2030 die 3-fache Größe des bestehenden Netzes haben.
5. Bis 2030 soll ein EU-weites multimodales transeuropäisches Netz-Verkehr (TEN) mit dazugehörigen Informationsdiensten bestehen.
6. Bis 2050 Anbindung aller Flughäfen des TEN-Verkehrs an das Schienennetz. Darüber hinaus sollen alle Seehäfen des TEN-Verkehrs an das Schienengüterverkehrsnetz angeschlossen werden.

7. Einführung eines modernisierten Flugverkehrsmanagements bis 2020 und Vollendung des gemeinsamen europäischen Luft-raums. Darüber hinaus soll das europäische globale Satelliten-navigationsystem Galileo bis 2020 eingeführt sein.
8. Schaffung des Rahmens für ein europäisches multimodales Verkehrsinformations-, Management- und Zahlssystem bis 2020.
9. Senkung der Zahl der Verkehrsunfalltoten bis 2050 auf nahe Null. Bis 2020 soll eine Halbierung der Zahl der Unfalltoten im Straßenverkehr erreicht werden.
10. Umfassendere Anwendung der Nutzer- bzw. Verursacherfinanzierung im Verkehrsbereich zur Beseitigung von Wettbewerbsverzerrungen und ein größeres Engagement des Privatsektors. Das Verkehrssystem soll dazu so umgebaut werden, dass aus dem Verkehrssystem heraus Erträge generiert werden, welche die Finanzierung zukünftiger Verkehrsinvestitionen gewährleisten.

Bei der Verbrennung des Ottokraftstoffes bzw. des Dieselkraftstoffes im Automotor entstehen Schadstoffe. Dabei treten die folgenden Schadstoffkomponenten in besonderem Maße hervor:

- Kohlenwasserstoffe
- Stickoxide (NO_x) = Stickstoffmonoxid und -dioxid (NO , NO_2)
- Partikel unterschiedlicher Größe, z. B. Feinstäube (PM_{10})

Ausgangspunkt für die Betrachtung sowohl der emissionsseitigen als auch der immissionsseitigen Abgasbelastung von Straßen ist der spezifische Schadstoffausstoß von Kraftfahrzeugen, der sich mit dem jeweiligen Betriebszustand stark verändert. Auch bestehen große Unterschiede im Emissionsverhalten zwischen Diesel- und Ottomotoren.

Die Emissionsraten der in den Autoabgasen enthaltenen Schadstoffkomponenten erhält man durch Multiplikation des zeitlichen Verkehrsaufkommens mit den sogenannten Abgas-Emissionsfaktoren, die auf die Emission eines einzelnen PKW bzw. LKW durchschnittlicher Beschaffenheit bezogen sind.

Die Kfz-Emissionen hängen von den Fahrgeschwindigkeiten und

Fahrweisen ab. Aus auf Fahrverhaltenswerten beruhenden Fahr-mustern werden sogenannte Verkehrssituationen zusammengefasst. **Tabelle 2/3** gibt einen Überblick über unterschiedliche Verkehrssituationen unter Angabe der mittleren Fahrgeschwindigkeiten.

Grundlage für die Bestimmung der Abgasemissionsfaktoren ist das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (INFRAS, 2010).

AB120:	Autobahn, Tempolimit 120 km/h
AB100d:	Autobahn, Tempolimit 100 km/h, dichter Verkehr
AB80d:	Autobahn, Tempolimit 80 km/h, dichter Verkehr
ABS80d:	Städtische Autobahn, Tempolimit 80 km/h, dichter Verkehr
AOS-HVS80:	Städtische Autobahn, Tempolimit 80 km/h
AOS-HVS80d:	Städtische Autobahn, Tempolimit 80 km/h, dichter Verkehr
AOS-HVS70:	Städtische Autobahn, Tempolimit 70 km/h
AOS-HVS60:	Städtische Autobahn, Tempolimit 60 km/h
AOS-HVS60d:	Städtische Autobahn, Tempolimit 60 km/h, dichter Verkehr
AOS-HVS50:	Städtische Autobahn, Tempolimit 50 km/h
AOS-HVS50d:	Städtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, dichter Verkehr
AOS-HVS50g:	Städtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, gesättigter Verkehr
IOS-NS40:	Städtische Neben- bzw. Erschließungsstraße, Tempolimit 40 km/h
IOS-NS40g:	Städtische Neben- bzw. Erschließungsstraße, Tempolimit 40 km/h, gesättigter Verkehr

Tab. 2/3 Beispiele verschiedener Verkehrssituationen für unterschiedliche Straßentypen; Quelle: LOHMEYER nach INFRAS, 2010

In den Faktoren sind auch Straßensteigungen sowie Kaltstartzuschläge zu berücksichtigen. Bei kaltem Motor sind die Abgasemissionen erhöht, da der Katalysator noch nicht voll funktionsfähig ist. Es können in der Datenbank zur Berechnung der Emissionsfaktoren sowohl unterschiedliche Fahrzeugkategorien (z. B. PKW, LKW, Busse, Motorräder) als auch Fahrzeugbezugsjahre gewählt werden.

Tabelle 2/4 listet beispielhaft Emissionsfaktoren auf. Auffällig sind im Fall von NO_x und Staub die etwa um den Faktor 10 höheren Emissionen der LKW gegenüber den PKW.

Für die Beurteilung der Schadstoffbelastung an Straßen werden in der Regel verschiedene Rechenmodelle eingesetzt (s. Kap. 4.3). Üblicherweise sind dies Gaußmodelle, Lagrangemodelle und Boxmodelle, letztere speziell für Straßenschluchten.

Zur Simulation der Schadgasausbreitung von Straßen und zur Quantifizierung der sich ergebenden Immissionsbelastung kommen auch Windkanaluntersuchungen in Betracht (s. Kap. 4.2).

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz (g/km) 2010							
Verkehrssituation	Geschwindigkeit (Pkw)	NO _x		PM ₁₀ /PM _{2,5} (nur Abgase)		PM ₁₀ (nur Abrieb/Aufwirbelung)		PM _{2,5} (nur Abrieb)	
		LV	SV	LV	SV	LV	SV	LV	SV
AB120	122,0	0,395	1,523	0,0087	0,0212	0,022	0,2	0,011	0,048
AB100d	92,8	0,274	1,716	0,0062	0,0275	0,022	0,2	0,012	0,053
AB80d	75,5	0,218	1,878	0,0054	0,0278	0,022	0,2	0,015	0,056
ABS80d	71,0	0,216	2,042	0,0055	0,0318	0,022	0,2	0,016	0,059
AOS-HVS80	70,1	0,226	2,239	0,0052	0,0372	0,022	0,2	0,016	0,060
AOS-HVS80d	56,4	0,269	2,687	0,0063	0,0366	0,022	0,2	0,018	0,066
IOS-HVS70	66,2	0,286	2,404	0,0095	0,0335	0,022	0,2	0,017	0,053
IOS-HVS60	52,0	0,287	2,847	0,0094	0,0360	0,022	0,2	0,019	0,057
IOS-HVS60d	43,0	0,311	3,502	0,0101	0,0386	0,022	0,2	0,021	0,062
IOS-HVS50	45,0	0,298	3,605	0,0100	0,0423	0,04	0,38	0,021	0,062
IOS-HVS50d	37,0	0,687	4,447	0,0115	0,0602	0,05	0,45	0,022	0,062
IOS-HVS50g	30,8	0,361	4,655	0,0107	0,0551	0,06	0,6	0,022	0,062
IOS-NS40	36,8	0,347	4,538	0,0112	0,0616	0,04	0,38	0,022	0,062
IOS-NS40g	23,1	0,469	6,253	0,0140	0,0749	0,06	0,6	0,022	0,062

Tab. 2/4 Emissionsfaktoren in g/km je Kfz für das Prognosejahr 2015, Quelle: LOHMEYER nach INFRAS, 2010

2.8.2 Rechnerische Abschätzung der Verkehrsimmissionen

Zur Abschätzung der Schadstoffbelastung an Straßen ist es notwendig die Kausalbeziehung **Emission – Transmission – Immission** modellhaft möglichst exakt nachzubilden. Das Ergebnis ist ein sogenanntes Ausbreitungsmodell. Dabei gehen als Eingangsgrößen Angaben über den Verkehr (Verkehrsaufkommen, Fahrverhalten), die Meteorologie (Windströmung und Ausbreitungsbedingungen) und die geometrischen Randbedingungen (Topographie) ein (**Abb. 2/20**).

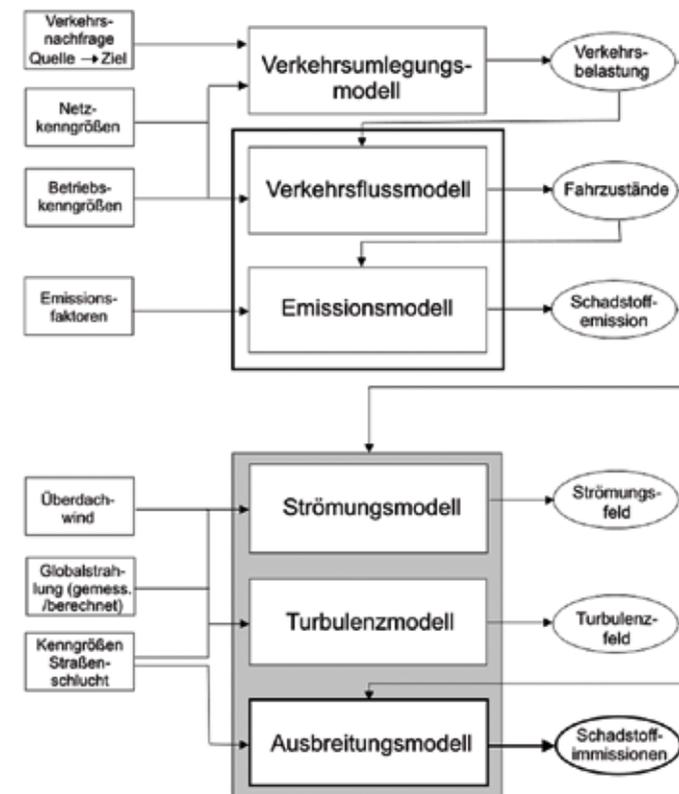


Abb. 2/20 Ablaufschema Ausbreitungsrechnung, Quelle: GEOMET, 1987

Ein üblicher Ansatz für die Berechnung ist die Annahme einer Gaußverteilung (Gaußmodelle) für die Konzentrationen an der als Linienquelle aufzufassenden Straße (meist ohne Randbebauung) (z. B. Prokas-Modell (s. Kap. 4.3.5)).

Ein mehr empirischer Ansatz wird im Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung (MLuS-02 geänderte Fassung 2005) (s. Kap. 4.3.4) angewandt, indem die Abklingfunktionen einzelner Schadstoffe in Abhängigkeit von der Entfernung aus Messungen festgelegt werden.

Wesentlich aufwendiger ist die Berechnung der Konzentrationen nach einem Lagrange-Modell. Hier werden an festen Punkten im Straßenraum feste Teilchen als Repräsentanten für einen Luftschadstoff in die Atmosphäre abgegeben und deren Wege rechnerisch verfolgt (Trajektorien). Da die Teilchen so klein sein müssen, dass sie den Turbulenzen in der Atmosphäre direkt folgen, ergibt die Berechnung vieler solcher Trajektorien (einige Zehntausende!) eine räumliche Verteilung, die der Schadstoffkonzentrationsverteilung entspricht.

Für Straßenschluchten kommen auch Boxmodelle zum Einsatz. Verwiesen wird auf das Kapitel 4.3 und auf die Zusammenstellung bei LUBW (2010).

Im Gegensatz zu der Ausbreitung von Schadstoffen an relativ frei liegenden Straßen erfolgt die Ausbreitung in Straßenschluchten (**Abb. 2/21**) durch die dort auftretende Wirbelbildung unter stark veränderten Verhältnissen (**Abb. 2/22**). Insbesondere ist in Straßenschluchten durch die vorhandene Randbebauung von einer Verschlechterung des Abtransportes von Schadstoffen auszugehen, wobei hier die Straßenbreite und die Höhe der Randbebauung eine entscheidende Rolle spielt. Bedingt durch die mit der Wirbelbildung auftretenden Transportvorgänge werden zudem Luv- und Leeseiten des Straßenzuges unterschiedlich belastet.



Abb. 2/21 Straßenschlucht mit hohem Verkehrsaufkommen

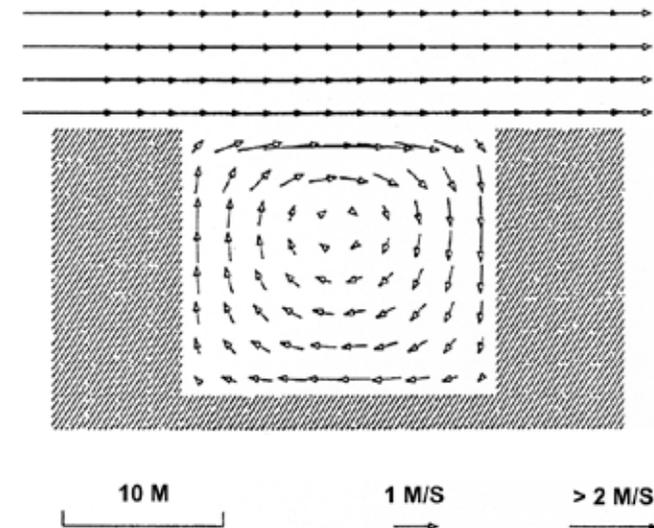


Abb. 2/22 Schematische Darstellung der Verwirbelung in Straßen bei Queranströmung

■ 2.9 Schadstoffbelastungen und Grenzwerte

Die große Vielzahl von Stoffen in Stadtatmosphären, so wurden bei Untersuchungen der Luft in Städten schon mehr als 1000 verschiedene Stoffe nachgewiesen, lässt es nicht zu, alle Komponenten regelmäßig zu erfassen. Die sich ausbildende Dunstglocke über der Stadt, in extremer Form als Smog bezeichnet, belastet nicht nur die Menschen, sie setzt auch die Helligkeit herab und vermindert die Sonneneinstrahlung und die Sonnenscheindauer.

Eine starke Anreicherung der Stadtluft mit Schadstoffen ist bei Inversionswetterlagen gegeben. Die **Abbildung 2/23** zeigt eine Inversionssituation in Stuttgart. Je höher die Untergrenze der Inversion liegt, desto größer ist der städtische Durchmischungsraum. Die Konzentrationen, die sich bei den verschiedenen Schadstoffen einstellen, hängen zudem von den typischen Quellhöhen ab. Bei niedriger Inversionsuntergrenze wirken sich hauptsächlich verkehrsbedingte Emissionen (niedrige Austrittshöhe) aus. Bei ansteigender Inversionsuntergrenze steigen industrielle Anteile an, da nun auch höhere Quellen in die Durchmischungsschicht gelangen.

Seit Mitte der 60er Jahre werden die Schadstoffe in Baden-Württemberg regelmäßig untersucht. Während bei Schwefeldioxid und Gesamtstaub deutliche Abnahmen in der Luftbelastung erkennbar sind, sind die Schadstoffkomponenten Stickstoffdioxid und Feinstaub weiterhin hoch. Bedingt ist dies durch den ständig weiter zunehmenden Verkehr. Vor allem in Städten sind teilweise in Straßenschluchten die Grenzwerte überschritten (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART; REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART, 2005 und 2010).

Klassische Smogsituationen ergeben sich heute nicht mehr. Unter Smog versteht man die aus dem Englischen übernommene Wortkombination aus „smoke“ = Rauch und „fog“ = Nebel zur Beschreibung eines Zustandes großer Luftverschmutzung mit teilweise sichtbaren Luftverunreinigungen über städtischen und industriellen Ballungsräumen. Heute steht die Bezeichnung Smog für hohe Schadstoffbelastungen in der Luft ganz allgemein, das heißt auch ohne das Vorhandensein von Nebel.



Abb.2/23 Inversionssituation in Stuttgart

Das Problem der Belastung der Luft mit Schadstoffen ist in Städten nicht neu. So findet man z.B. bei Seneca (66 nach Christus) die Äußerung:

„Sobald ich der schweren Luft Roms entronnen war und dem Gestank der rauchenden Kamine, dem aus ihnen quellenden Ruß und den pestilenzartigen Dämpfen, fühlte ich eine Veränderung meines Wohlbefindens.“

Der Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und der Gesundheit ist schon lange bekannt. Am deutlichsten wurde dies jedoch bei Smogkatastrophen mit überdurchschnittlichen Todesfällen, wie z. B. 1952 in London, wo über 4.000 Menschen starben.

Neben hoher Luftbelastung bei Inversionswetterlage im Winter, bedingt durch Abgase aus Heizungen und Autos, gibt es auch im Sommer Smoglagen. Hier ist der Verursacher in erster Linie der Autoverkehr mit seinen Abgasen (z. B. Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid). Infolge schlechten Luftaustausches verbunden mit starker Sonneneinstrahlung kommt es zu chemischen Umwandlungen der Gase in der Atmosphäre und zur Bildung von Photooxidantien. Zu den wichtigsten Stoffen zählt hier vor allem das Ozon (O_3) und Peroxiacetylnitrat (PAN) neben Peroxiden, Aldehyden und anderen.

■ 2.9.1 Grenz-/Beurteilungswerte

Die in der TA Luft (Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz) genannten Immissionswerte (s. a. **Tab. 2/5**) dienen der lufthygienischen Beurteilung „genehmigungsbedürftiger Anlagen“. Unterschieden werden dabei der Immissions-Jahreswert (Konzentrationswert eines Stoffes gemittelt über ein Jahr), der Immissions-Tageswert (Konzentrationswert als Tagesmittel mit der zugehörigen zulässigen Überschreitungshäufigkeit (Anzahl der Tage pro Jahr) und der Immissions-Stundenwert (Konzentrationswert als Stundenmittel mit der zugehörigen zulässigen Überschreitungshäufigkeit (Anzahl der Stunden pro Jahr). Werden diese Werte an bestimmten Beurteilungspunkten nachweislich eingehalten, sind die Voraussetzungen für die Genehmigung einer Anlage gegeben.

Der Nachweis wird geführt, indem für den jeweiligen luftverunreinigenden Stoff Immissionskenngrößen für die Gesamtbelastung aus den Kenngrößen für die Vorbelastung und die Zusatzbelastung gebildet und mit den zugehörigen Immissionswerten verglichen werden. Die Zusatzbelastung ist der Immissionsbeitrag, der durch das beantragte Vorhaben voraussichtlich hervorgerufen wird. Die Ermittlung der Vorbelastung erfolgt nach dem gleichfalls in der TA Luft festgelegten Verfahren, das sich auf einzelne Beurteilungspunkte bezieht.

Die Immissionswerte der TA Luft sind also keine Planungsrichtwerte, sie werden vielmehr häufig auf entsprechende Beurteilungssituationen übertragen, da sie den immissionsschutzrechtlichen Begriff der „schädlichen Umwelteinwirkung“ bzw. des „Schutzes der menschlichen Gesundheit und vor erheblichen Belästigungen oder erheblichen Nachteilen“ definieren, in Teilbereichen analog zu den Grenzwerten der 39. BImSchV (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen).

Diese haben besondere Bedeutung erlangt, da hierzu Messungen direkt im Straßenraum erforderlich sind. Mit der Überschreitung dieser Grenzwerte muss in stark befahrenen Stadtstraßen gerechnet werden. Der 39. BImSchV liegt die Luftqualitätsrahmenrichtlinie

der EU zugrunde (EU 2008/50/EG). Bei Überschreitung der Grenzwerte sind Luftreinhaltepläne zu erstellen, die es ermöglichen, verkehrslenkende bzw. verkehrsbeschränkende Maßnahmen durchzuführen, um schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen zu reduzieren (REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART, 2005 und 2010). In zahlreichen stark befahrenen Straßenschluchten in den Städten sind die Grenzwerte für NO_2 und Staub (PM_{10}) überschritten und werden es auch noch weiterhin sein.

Für die Bauleitplanung hat dies zur Folge, dass man auch in Zukunft bei der Planung die Auswirkungen von Straßen nicht nur bezüglich des Lärms, sondern auch bezüglich der Abgasbelastung intensiv zu untersuchen und in der Planung zu berücksichtigen hat.

Gesundheitsbezogene Leitwerte wurden von der Weltgesundheitsorganisation (WHO, 2011) erlassen. Die Festlegung „Maximaler Immissions-Werte“ (MI-Werte) (VDI-RICHTLINIE 2310) durch die VDI Kommission Reinhaltung der Luft zielt darauf ab, eine Gesundheitsschädigung des Menschen, insbesondere auch von Kindern, Alten und Kranken, selbst bei langfristiger Einwirkung zu vermeiden und Tiere, Pflanzen und Sachgüter vor Schädigung zu schützen. Zur Gesundheit gehört dabei auch das Wohlbefinden des Menschen, das von seiner biologischen und materiellen Umwelt mitbestimmt wird. Bei den MI-Werten handelt es sich um rein wirkungsbezogene, wissenschaftlich begründete und aus praktischen Erfahrungen abgeleitete Werte mit medizinischer oder naturwissenschaftlicher Indikation. Sie berücksichtigen nicht die technische Realisierbarkeit.

Schadstoff	Immissionswerte TA Luft	MI-Werte VDI 2310	Leitwerte WHO	Grenz- und Zielwerte 39. BlmSchV	Richtwerte Dt. Bäder- verband
SO ₂	I1	50	-	-	-
	I2	-	-	-	-
	24 h	125 ^m	300	20	125 ^m
	1 h	350 ^l	-	-	350 ^l
	1/2 h	-	1000	-	-
	10 min	-	-	500	-
NO ₂	I1	40	20	40	15 - 34 ^b
	I2	-	-	-	30 - 50 ^b
	24 h	-	50	-	-
	1 h	200 ^c	-	200	200 ^c
	1/2 h	-	-	-	-
O ₃	I1	-	-	-	-
	I2	-	-	-	-
	8 h	-	100	100	120 ^o
	1 h	-	-	-	180/ 240 ^k
	1/2 h	-	120	-	-
PM ₁₀	I1	40	75 ^f	20	40
	I2	-	-	-	-
	24 h	50 ⁱ	150/ 250 ^{e,f}	50	50 ⁱ
	1 h	-	500 ^f	-	-

PM _{2,5}	I1	-	-	10	25 ⁿ	-
	24 h	-	-	25	-	-
CO	I1	-	10000	-	-	-
	I2	-	-	-	-	-
	24 h	-	10000	-	-	-
	8 h	-	-	-	10000	-
	1/2 h	-	50000	-	-	-
Benzol	I1	5	-	-	5	4 - 5
	I2	-	-	-	-	8 - 10

I₁: arithmetischer Jahresmittelwert

I₂: 98-Perzentil bei Messdauer 1 Jahr (d.h. 2% der Messwerte liegen oberhalb des I₂-wertes)

b je nach Ortsbereich; I₂-Werte als 14-Tage Mittelwerte

c 18 zugelassene Überschreitungen pro Jahr

d Kriterium gilt nur für 2 aufeinanderfolgende Werte

e an aufeinanderfolgenden Tagen bzw. einmalige Exposition

f Gesamtstaub

i 35 zugelassene Überschreitungen pro Jahr

k 180: Schwellenwert für Unterrichtung der Bevölkerung

240: Schwellenwert für Auslösung des Alarmsystems

l 24 zugelassene Überschreitungen pro Jahr

m 3 zugelassene Überschreitungen pro Jahr

n Zielwert bis 01.01.2015

o höchstens 25 Überschreitungen pro Jahr

Tab. 2/5 Grenz- und Richtwerte in µg/m³ mit Erläuterungen

2.10 Schadstoffwirkung

Luftverunreinigungen wirken sowohl auf die Vegetation, als auch auf den Menschen und seine Gesundheit. Gerade bei Atemwegserkrankungen wie Asthma, Bronchitis, Pseudokrupp, aber auch Lungenkrebs werden als Entstehungsursache unter anderem luftgetragene Schadstoffe vermutet.“ Neben der Auswirkung kurzfristig auftretender hoher Spitzenbelastungen sind hier auch die Langzeitbelastungen zu beachten (LANDESAMT NRW, 2012; UBA, 2012).

Als die häufigsten durch Luftverunreinigungen hervorgerufenen Erkrankungen haben sich herausgestellt:

- Reizerscheinungen der Augen sowie der Luftwege durch Schwefeldioxid und Stickstoffoxide,
- entzündliche Veränderungen der Lungen, verursacht ebenfalls durch Schwefeloxid in Verbindung mit Staubpartikeln,
- Zellschädigungen durch Metalle und Ruß,
- Störung des Sauerstoffaustausches des Blutes durch Kohlenmonoxid,
- Tumore infolge der Einwirkungen einiger Kohlenwasserstoffe,
- psychosomatische Schäden, die in Form allgemeiner Leistungs- und Konzentrationsschwäche sowie Schlafstörungen auftreten.

Die Schemadarstellung (Abb. 2/24) zeigt wichtige Zusammenhänge zwischen städtischer Verdichtung und den daraus resultierenden Folgen (HAGEL, 1974).

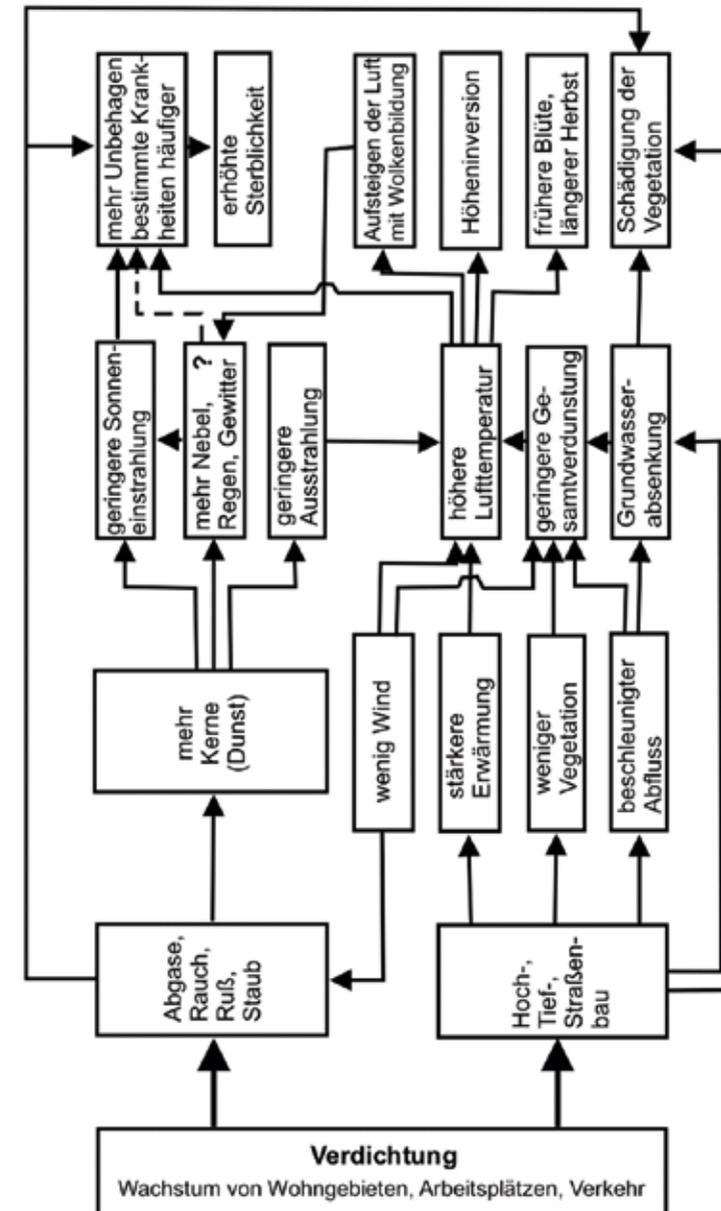


Abb. 2/24 Schemadarstellung nach HAGEL, 1974

2.11 Der Klimawandel

In den vergangenen 100 Jahren ist es auf der Erde wärmer geworden. Seit Anfang des 20. Jahrhunderts stieg die globale Jahresmitteltemperatur um 0,74 Grad Celsius (°C). Der Weltklimarat, der auch unter seiner englischen Abkürzung IPCC bekannt ist, führt das mit „sehr hoher Wahrscheinlichkeit“ – das heißt mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 90 Prozent – auf menschliche Einflüsse zurück.

Hauptursache für die eingetretene Entwicklung ist die Nutzung fossiler Brennstoffe, durch die weltweit ca. 32 Mrd. Tonnen CO₂ pro Jahr emittiert werden (2010) (Quelle: Climate Service Center, Geesthacht) und dies mit um ca. 2,5% jährlich steigender Tendenz.

Vor allem seit 1950 zeigt die Temperatur-Trendkurve steil nach oben. Auf der Nordhalbkugel lagen die Durchschnittstemperaturen in der zweiten Jahrhunderthälfte sehr wahrscheinlich höher als während jedes anderen 50-Jahr-Zeitraums in den vergangenen 500 Jahren. Wahrscheinlich überstiegen sie sogar die Werte der letzten 1300 Jahre oder sogar eines noch längeren Zeitraumes (Quelle: Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 2007, SPM WG I, S. 10, dt. Fassung). Gebirgsgletscher und Schneedecken schrumpfen weltweit, der Meeresspiegel stieg im 20. Jahrhundert um durchschnittlich 17 Zentimeter.

Emittiert die Menschheit weiter ungebremst klimaschädliche Gase in die Atmosphäre, erwarten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einen Temperaturanstieg bis Ende des Jahrhunderts um 1,8 bis 4,0 Grad Celsius (°C) – einige Experten halten sogar 6,4 Grad Celsius für möglich.

Am wärmsten wird es vermutlich über dem Festland und in den Polarregionen. Das arktische Eis schmilzt weiter. Einige Modelle gehen sogar davon aus, dass es in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts während des Sommers fast ganz verschwindet. Unter anderem dadurch könnte der Meeresspiegel steigen – bis zum Jahr 2100 um 18 bis 59 Zentimeter.

Auch die Stärke und die Verteilung der Niederschläge werden sich sehr wahrscheinlich ändern: Während es in höheren Breiten vermutlich feuchter wird, regnet es in den meisten subtropischen Landregionen weniger. Damit würde sich ein Trend fortsetzen, der bereits zu beobachten ist.

Darüber hinaus berechnen die Klimamodelle voraus, dass Hitzewellen, lokale Starkniederschläge und Wirbelstürme häufiger und noch heftiger werden könnten. **Abbildung 2/25** zeigt die Entwicklung der Durchschnittstemperaturen 1850 – 2005.

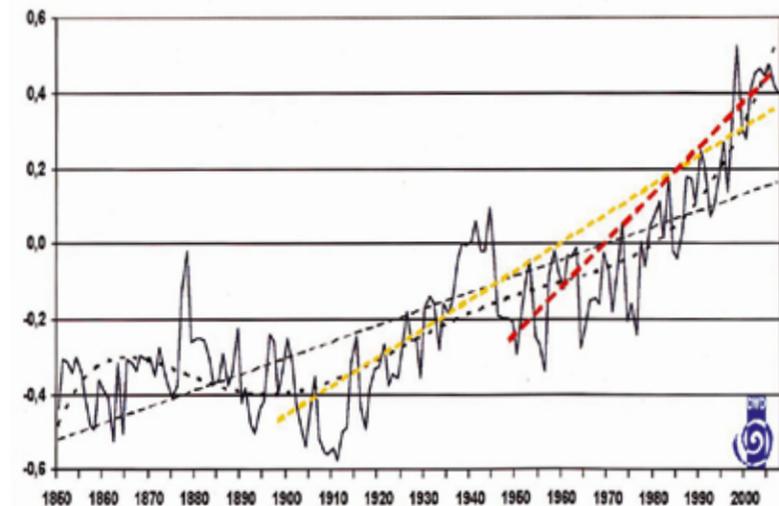


Abb. 2/25 Entwicklung der Durchschnittstemperaturen, Datenquellen: <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs> sowie Deutscher Wetterdienst (DWD) Quelle: BMU, 2009

Der lineare Trend seit 1850 (schwarze Linie), seit 1900 (gelbe Linie) und seit 1950 (rote Linie) wird immer steiler. Die Trendkurve (polynomische Anpassung der Zeitreihe) zeigt den dramatischen Anstieg seit Ende der siebziger Jahre (schwarze Kurve).

Abbildung 2/26 zeigt die Erwärmung der Erdoberfläche in Szenarien. Wären die Treibhausgas-Emissionen auf dem Niveau des Jahres 2000 eingefroren worden, wäre die orange Linie zu erwarten gewesen. Die grauen Balken rechts zeigen die wahrscheinliche Bandbreite des Temperaturanstiegs, wie sie die sechs Szenarien des Weltklimarates prognostizieren (IPCC 2007).

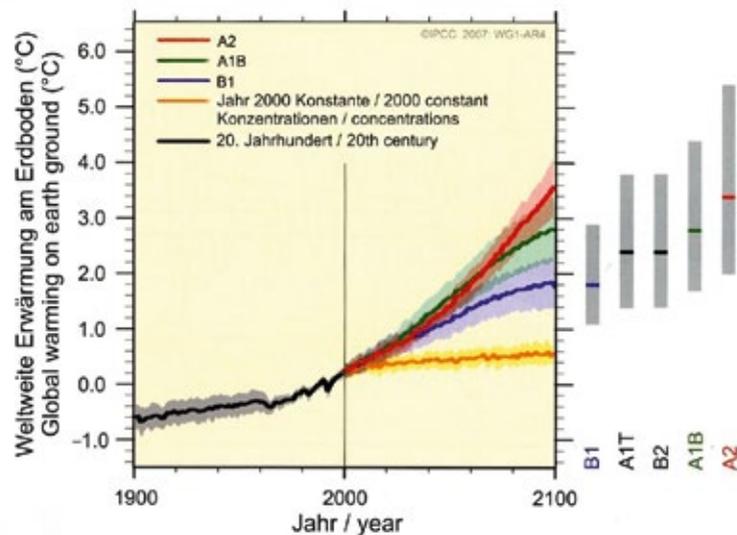


Abb. 2/26 Erwärmung der Erdoberfläche, Quelle: BMU, 2009

2.11.1 Klimawandel in Deutschland

Seit 1901 ist die Durchschnittstemperatur in Deutschland um knapp 0,9 Grad Celsius (°C) gestiegen. Von 2000 bis 2009 registrierten die Meteorologen das wärmste Jahrzehnt seit mindestens 130 Jahren. Vor allem im Südwesten Deutschlands zeigten die Thermometer höhere Werte – im Saarland waren es durchschnittlich 1,2 Grad Celsius mehr im Jahr. Dagegen wurde in Mecklenburg-Vorpommern nur ein Plus von 0,4 Grad Celsius gemessen.

Zudem regnet es inzwischen mehr. Um etwa neun Prozent nahmen die Niederschläge seit Anfang des 20. Jahrhunderts zu, haben die Meteorologinnen und Meteorologen festgestellt. Besonders feucht war es in den vergangenen 15 Jahren – mit nur vier Ausnahmen.

Während heutzutage die Regentonnen im Frühjahr bis zum Juni wesentlich voller werden als früher, ist es im Juli und August durchschnittlich trockener. Zwar registrierten die Forscherinnen und Forscher in den Wintermonaten ebenfalls mehr Niederschläge – doch das ist wegen der großen Unterschiede von Jahr zu Jahr statistisch noch nicht eindeutig.

Und wie geht es weiter? Die globalen Klimamodelle sind zu großmaschig, um daraus genaue regionale Vorhersagen abzuleiten. Mindestens 120 Kilometer breit ist die horizontale Gitterweite, manchmal betragen die Abstände sogar mehr als 200 Kilometer. Deshalb werden auch Verfahren zur Regionalisierung eingesetzt. Einige übertragen beobachtete Klimainformationen von Klimastationen in die Zukunft, andere verfeinern die weltweiten Berechnungen mit Hilfe von physikalisch-numerischen Verfahren auf ein kleineres räumliches Gitter mit Abständen von bisher minimal zehn Kilometern. Für Deutschland werden heute vier regionale Klimamodelle REMO, CLM, WETTREG und STAR genutzt.

Wer über die Zukunft spricht, hat stets Unsicherheiten zu berücksichtigen. Bei den globalen und regionalen Klimamodellen bedeutet das: Mehrere schwer abzuschätzende Faktoren könnten sich letztendlich gegenseitig ausgleichen – oder auch aufaddieren.

Wie viele Treibhausgase künftig in die Atmosphäre gelangen werden, hängt von vielen Einflüssen ab und ist insofern nicht vorhersehbar. Hier spielt hinein, wie sich Bevölkerung, Wirtschaft und Energiepreise entwickeln, wie das Land genutzt wird und inwieweit sich Technologien für geringen Treibhausgas-Ausstoß durchsetzen können. Auch ist derzeit nicht sicher zu bestimmen, wie klimawirksam verschiedene Treibhausgas-Emissionen tatsächlich sind.

Um mit diesen Unsicherheiten umzugehen und dabei handlungsfähig zu bleiben, wurden Emissionsszenarien vereinbart, die der

Weltklimarat definiert hat. Diese Szenarien beschreiben mögliche Entwicklungen der menschlichen Gesellschaft und unserer Umwelt. Sie bilden die Randbedingungen für die Klimamodellierung. Doch klar ist: Die Modelle können immer nur Annäherungen an die Wirklichkeit sein, denn das echte Klima ist weitaus komplizierter. Sämtliche Faktoren des Systems „Klima“ abzubilden ist unmöglich. Je ferner man in die Zukunft blickt und je kleiner der regionale Ausschnitt ist, desto unsicherer werden die Prognosen. Dagegen erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, die Wirklichkeit zu treffen, wenn mehrere Modelle übereinander gelegt werden können. In Deutschland gibt es immerhin vier Regionalmodelle, mit denen jeweils drei Emissionsszenarien durchgerechnet wurden. Weitere Berechnungen werden folgen.

Zu den Auswirkungen des Klimawandels in Baden-Württemberg sei verwiesen auf MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT (2012).

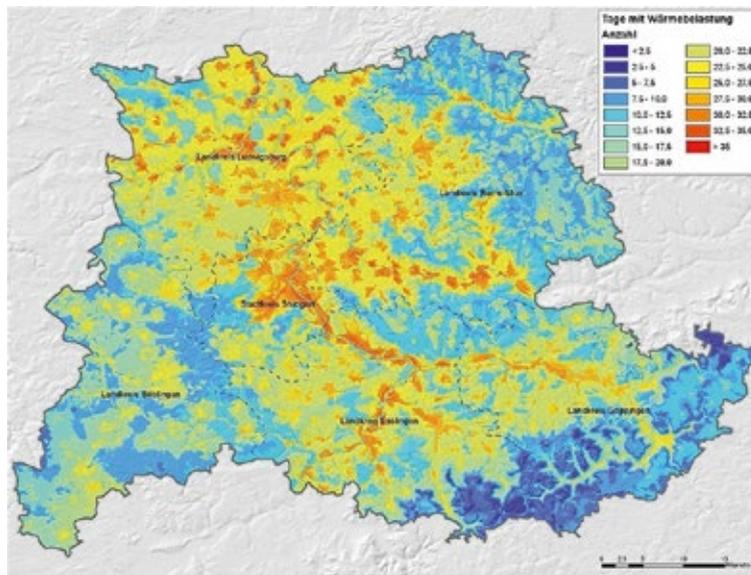


Abb. 2/27 Wärmebelastung derzeit (1971 – 2000), Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

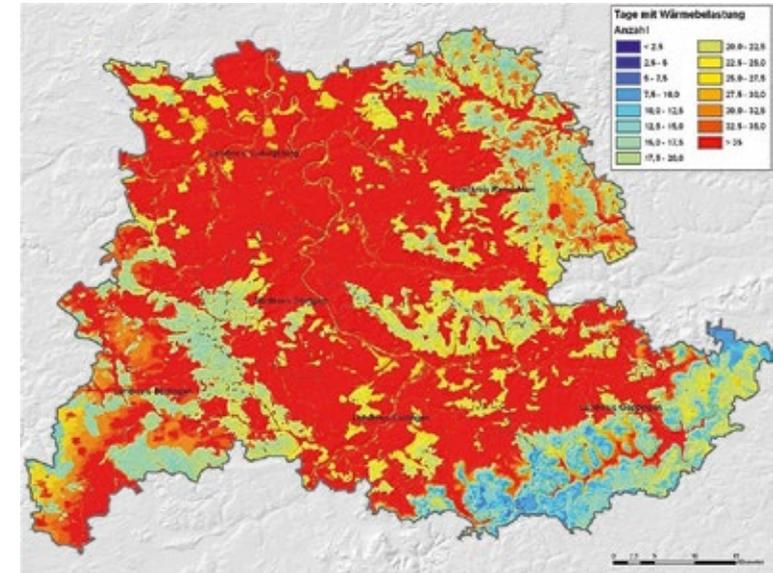


Abb. 2/28 Wärmebelastung zukünftig (2071 – 2100), Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

Die **Abbildungen 2/27** und **2/28** zeigen beispielhaft für den Großraum Stuttgart, wie sich die Zahl der Tage mit Wärmebelastung in diesem Jahrhundert verändern könnte und was dies für den Betroffenenheitsgrad der Bevölkerung bedeuten würde.

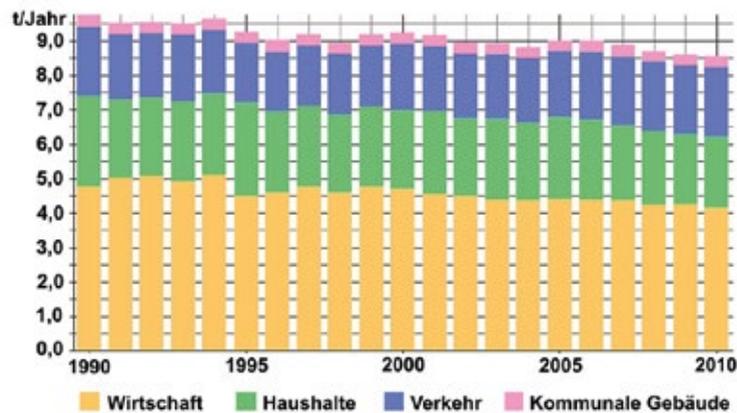
2.11.2 Vermeidung des Klimawandels

In internationalen Vereinbarungen wurden Vereinbarungen zur Vermeidung des Klimawandels getroffen. Als Folge der UN Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro haben mehr als 192 Staaten eine Klimarahmenkonvention ratifiziert, mit der sich die Vertragsstaaten verpflichten, die Stabilisierung der Treibhausgase auf einem Niveau zu erreichen, das eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert. Im Juni 2012 fand mit Rio +20 erneut ein Gipfeltreffen in Brasilien statt, das unter dem Titel „Konferenz der Vereinten Nationen über nachhaltige Entwicklung“ lief. Die Rio-Ziele wurden in weiteren Konferenzen,

so 1997 in Kyoto, konkretisiert. Das Kyoto-Protokoll legte verbindliche Reduktionen der Treibhausgase bis 2012 fest. Die Vertragsstaaten haben inzwischen einen Fahrplan über Verhandlungen für eine zweite Verpflichtungsperiode vereinbart. Mit dem Vertragswerk der Konferenz von Rio haben sich die Unterzeichnerstaaten, so auch Deutschland, für eine zukunftsfähige nachhaltige Entwicklung ausgesprochen. Sie haben sich ausdrücklich verpflichtet, auch auf kommunaler Ebene eine „lokale Agenda 21“ anzustoßen. Lokale Agenda 21 bedeutet frei übersetzt: Was zu tun ist auf lokaler Ebene, um im 21. Jahrhundert die Zukunft unserer Kinder zu sichern.

Folglich sind Städte und Gemeinden mit ihren Bürgerinnen und Bürgern aufgerufen, der Bedrohung durch den Treibhauseffekt entgegenzutreten. Das weitere Ansteigen der klimaschädlichen Emissionen, die zum Großteil durch Verbrennung fossiler Energieträger

CO₂-Emissionen¹⁾ pro Einwohner in Stuttgart 1990 - 2010



¹⁾ 2010 vorläufig, mit Vorkette, nationaler Strom/Fernwärmemix für Import

Abb. 2/29 CO₂-Entwicklung in Stuttgart

entstehen, muss verhindert werden. Städte und ihre Einwohner spielen bei der Reduzierung der Treibhausgase eine bedeutende Rolle. Hier gibt es erhebliche Potentiale, diese Gase zu mindern. Dies betrifft insbesondere den Raumwärmebereich und den Verkehrssektor (**Abb. 2/29**).

Viele größere Städte haben inzwischen Klimaschutzkonzepte erarbeitet. So hat auch die Landeshauptstadt Stuttgart ein Klimaschutzkonzept entwickeln lassen (LANDESHAUPTSTADT STUTT GART, 1997), das umfassende Maßnahmen zum Klimaschutz enthält.

Mit Bezug zur Planung sind insbesondere zu nennen:

- Verkehrsreduzierende Bauleitplanung
- Förderung des Radverkehrs
- Städtische Parkraumkonzepte
- Siedlungsstrukturelle Maßnahmen
- Energiebewusste Bauleitplanung
- Förderung der Niedrigenergiebauweise
- Förderung der Nahwärmeversorgung aus Blockheizkraftwerken
- Planung von Standorten für Windenergieanlagen

Wirksamer Klimaschutz verlangt von allen Beteiligten Anstrengungen, auch in finanzieller Hinsicht, um Maßnahmenkonzepte nicht nur zu entwickeln sondern auch umzusetzen.

2.11.3 Anpassung an den Klimawandel

Der Klimawandel schreitet voran und ist nicht vollständig zu vermeiden. Daher ist es notwendig, sich an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels anzupassen. Seit einigen Jahren laufen hierzu zahlreiche Bemühungen. Die Bundesregierung hat inzwischen eine Deutsche Anpassungsstrategie (BMU, 2009) und einen Aktionsplan Anpassung (BMU, 2011) entwickelt. Auch das Land Baden-Württemberg und zahlreiche Städte arbeiten an entsprechenden Konzepten (z.B. SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG BERLIN, 2011; LANDESHAUPTSTADT STUTT GART, 2012). Auswirkungen und Anpassungsnotwendigkeiten gibt es in zahlreichen Sektoren, z.B. Menschliche Gesundheit, Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Verkehr, Tourismus, Naturschutz und biologische Vielfalt, aber auch für das Bauwesen sowie die Raum-, Regional- und Stadtplanung. Vorgabe für die Stadtplanung könnte z.B. ein systematisches Anlegen von Ventilationschneisen sein, die ein möglichst tiefes Eindringen von Umlandfrischluft ins Stadtinnere gewährleisten. Darüber hinaus würde sich empfehlen, den

Anteil urbaner Grünflächen zu vergrößern (LOZAN J. L. et al., 1998, LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, 2010).

An dieser Stelle sei daher besonders auf das Kapitel 3 „Energiebewusste Bauleitplanung“ und das Kapitel 6 „Empfehlungen für die Planung“ verwiesen.

■ 3. Energiebewusste Bauleitplanung

■ 3.1 Allgemeines

Rund 789 Mio. Tonnen des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid wurden 2009 in der Bundesrepublik ausgestoßen und belasten somit unser globales Klima. Von den über 67 Mio. Tonnen, die in Baden-Württemberg 2010 energiebedingt ausgestoßen wurden, stammen 26% aus den Wärme-Kraftwerken, 27% aus den Haushalten, insbesondere aus dem Heizbereich, 15% aus dem Industriebereich und 31% vom Verkehr. Da außer Kohlenstoffdioxid bei den Hausheizungen auch noch Luftschadstoffe wie Stickstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid und Feinstaub anfallen, muss es ein wichtiges Ziel zukünftiger Planung sein, den (fossilen) Brennstoffverbrauch durch Energieeinsparung und Nutzung regenerativer Energien zu reduzieren. Dies soll im Bereich Energieeinsparung nicht nur durch eine bessere Wärmedämmung von Neubauten und Nachbesserung von Altbauten (ENEV, 2009) erreicht werden, sondern auch die Möglichkeiten einer zielgerichteten Bauleitplanung sollten genutzt werden.

Das gesamte Einsparpotential auszuschöpfen, macht sich dreifach bezahlt:

- durch Verringerung der Verbrauchskosten
- durch Schonung der Energievorräte und
- durch Reduzierung von Treibhausgas- und Schadstoffemissionen.

Im Jahr 1992 hat die internationale Staatengemeinschaft mit der UN-Klimarahmenkonvention maßgebliche Klimaschutzziele festgelegt. Das daraus entstandene 2-Grad-Ziel basiert in seiner heutigen Form auf Darstellungen im Dritten Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), die 2009 nochmals überarbeitet wurden. Es handelt sich dabei um eine politische Definition der in der Rahmenkonvention grundsätzlich festgelegten Verhinderung einer „gefährlichen anthropogenen Störung des Klimasystems“. Offiziell wurde das 2-Grad-Ziel erst auf der UN-Klimakonferenz in Cancún im Dezember 2010 anerkannt. Um dieses Ziel einzuhalten müssten die globalen Treibhausgas-Emissionen zwischen 2015 und 2021 zu sinken beginnen, weiterhin müssten sie

im Jahr 2020 zwischen 40 und 48,3 Mrd. Tonnen liegen. Bis 2050 müsste eine Reduzierung um 48 % bis 72 % im Vergleich zum Jahr 2000 erreicht sein. (UNEP, 2010)

Daraus abgeleitet, verfolgt das Klimabündnis Europäischer Städte (1600 Mitglieder, davon 92 Städte und Gemeinden aus Baden-Württemberg), das Ziel einer 10%igen Minderung alle 5 Jahre mit dem Gesamtziel einer 50%igen einwohnerspezifischen Minderung bis 2030 gegenüber 1990.

Die Bundesregierung hat ein „Integriertes Energie- und Klimaprogramm“ entwickelt. Damit will Deutschland bis zum Jahr 2020 den Ausstoß von CO₂-Emissionen gegenüber dem Basisjahr 1990 um 40 % reduzieren. Die EU-Klimainitiative „Konvent der Bürgermeister“, der auch zahlreiche bundesdeutsche Städte angehören, möchte eine mindestens 20%ige Reduktion bis 2020 und hat explizit auch energetische Ziele (Effizienz, erneuerbare Energie) definiert. Eine Minderung von 30 % bis 2020 gibt die Landesregierung Baden-Württemberg in ihrem Klimaschutzkonzept 2020 Plus an. Bis 2050 strebt das Land als Vision gegenüber 1990 eine Minderung der Treibhausgasemissionen von 80 % an.

Die dringende Notwendigkeit einer drastischen CO₂-Reduzierung bedeutet einschneidende Eingriffe in die Energiepolitik. Insbesondere gilt es, die beträchtlichen Energiesparpotentiale auszuschöpfen, wobei ein wichtiger Bereich nach wie vor im Bauen und Wohnen liegt bzw. im sparsamen Energieeinsatz für Wärme, Licht und Kraft.

Der einzige Nachteil der „Energiequelle“ Energieeinsparung ist lediglich der negative Beiklang des Wortes „sparen“. Wo vom Sparen die Rede ist, assoziiert man die Begriffe Mangel und Komfortverlust. Dies stimmt jedoch für den hier angesprochenen Sachverhalt keineswegs, zu sehen an den Einsparungsmöglichkeiten bezüglich der Heizenergie allein durch bauliche Maßnahmen.

Die Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung ist an den gesamten CO₂-Emissionen Deutschlands mit einem Anteil von etwa 31 % (2010) beteiligt. Eine deutliche Senkung erscheint trotz des erforderlichen Neubausvolumens möglich, weil dieses Ziel – im Gegensatz zu anderen Energieumwandlungssektoren – ohne neue Zukunftstechnologien – mit vorhandenen Baustoffen und bewährten

Techniken zur Vermeidung unnötigen Energiebedarfs erreicht werden kann (Informationsplattform der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) über wirtschaftliche Einsparmöglichkeiten im Alt- und Neubau unter <http://www.zukunft-haus.info>). Weitere Hinweise und Informationen finden sich z.B. auch beim Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und im Internet unter <http://www.klima-sucht-schutz.de>.

Während im Gebäudebestand die Nachbesserung der Wärmedämmung von Außenbauteilen, das Dichten von Fenstern und Türen sowie Verbesserungen oder Erneuerungen der Heizanlagen und ihrer Regelung wichtige Ansatzpunkte für Energieeinsparung sind, geht die Konzeption von Energieeffizienzhäusern weit über den Einsatz verstärkt energiesparender Bauteile hinaus:

Wird das Gebäude als ein im Energieaustausch mit der Umwelt befindliches System verstanden, ermöglicht dies die energetisch intelligente Planung und Ausführung. Eine energieeffiziente Bauleitplanung gestattet das optimale Zusammenwirken von Verlustsenkung und Gewinnung von Raumwärme. Im Vordergrund stehen dabei kompakte Gebäude und bestmögliche Voraussetzungen zur aktiven und insbesondere auch zur passiven Sonnenenergienutzung, wobei die Sonnenwärme zur Unterstützung der Gebäudeheizung mit dem Ziel verwendet wird, einen möglichst großen Teil des Wärmebedarfs zu decken, ergänzt durch eine effiziente Wärmeversorgung. Die Umsetzung derartiger Überlegungen setzt einen die Energieproblematik berücksichtigenden Städtebau, also eine solar-energetische optimierte Stadtplanung voraus. Hinweise hierzu finden sich auch in der SOLARFIBEL – Städtebauliche Maßnahmen (Hrsg.: WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, Stuttgart, 5. Auflage März 2008 und bei YUDELSON J., 2009).

Die planungsrechtlichen Werkzeuge für energiesparende kompakte Bauweisen, optimierte Abstandsverhältnisse, Gebäudeausrichtung und Dachneigung gehen aus Kapitel 6 hervor, insbesondere aus 6.1.4, 6.2.4 und 6.3.2. Das Rechtsinstrument des Städtebaulichen Vertrags (§ 11 BauGB) ermöglicht die Vereinbarung von Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden (Energieeffizienzbauweise) und die Realisierung baugebietsbezogener Wärme- und Energieversorgungskonzepte.

Bei den standortbezogenen meteorologischen Einflussgrößen für energiebewusste Planung ist zwischen großräumigen klimatischen Unterschieden (etwa zwischen Nordseeküste und Kaiserstuhl) und den topographisch bedingten mikroklimatischen Variationen des Klimas zu unterscheiden. Dieser kleinräumige Aspekt steht hinsichtlich der Klimaparameter Sonneneinstrahlung, Lufttemperatur und Windverhältnisse im Mittelpunkt der nachfolgenden Abschnitte. Hinweise zum Energiesparen im Altbau finden sich im Programm **Zukunft Altbau** des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (<http://www.zukunftaltbau.de>).

■ 3.2 Die Sonne als Energiequelle

Die physikalische Grundgröße Energie ist ein Maß für die Fähigkeit, Arbeit zu leisten. Sie kann in vielen verschiedenen Formen vorkommen, zum Beispiel als Wärmeenergie. Sie wird in denselben Einheiten gemessen wie die physikalische Arbeit, nämlich in Joule (J) – durch Gesetz als grundlegende Energieeinheit festgelegt – oder (u.a.) in Kilowattstunden (kWh) bzw. Wattsekunden (Ws). Es gilt die Umrechnung $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$. Leistung ist die Energie pro Zeiteinheit, gemessen in Watt (W) oder Joule pro Sekunde (J/s).



Abb. 3/1 Die Sonne – unsere wichtigste Energiequelle

Neben den folgenden Ausführungen wird die SOLARFIBEL des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg für weitere Detailbetrachtungen empfohlen.

■ 3.2.1 Globalstrahlung

Unsere wichtigste Primärenergiequelle ist die Sonne. Sie bestimmt mit ihrer Strahlung den Energiehaushalt der Atmosphäre. Die gesamte kurzweilige Bestrahlungsstärke bezogen auf eine horizontale Fläche wird als Globalstrahlung bezeichnet.

Man gibt die Globalstrahlung in der Einheit W pro m^2 oder in kJ pro Minute und cm^2 an, wobei es sich um eine „Energieflussdichte“ oder „Leistungsdichte“ handelt. Es gelten folgende Umrechnungen: **$1 \text{ kJ/min cm}^2 = 1,67 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2$** sowie **$41,67 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ kWh/m}^2 \text{ d}$** Strahlungssummen über Stunden, Tage oder Monate nennt man „Bestrahlung“ oder „Energiedichte“ und verwendet entsprechend die Einheiten kJ/cm^2 bzw. kWh/m^2 . Hier gilt die Umrechnung: **$1 \text{ kJ/cm}^2 = 2,78 \text{ kWh/m}^2$**

Bei der Globalstrahlung handelt es sich um die Summe der Strahlungsflüsse aus der direkten Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung. Diese Unterscheidung beruht auf dem Sachverhalt, dass auch im Falle der abgeschatteten Sonne (z. B. durch Gebäude) bzw. bei bedecktem Himmel Tageshelligkeit besteht und somit die diffusen Anteile des Sonnenlichts als Himmelsstrahlung wirksam werden.

Die Bedeutung der Himmelsstrahlung insbesondere für die im Abschnitt 3.2.4 zu besprechende Tageslichtbeleuchtung ergibt sich aus der für unsere Breiten häufig vorhandenen Bewölkung. Bei bewölktem Himmel erhöht sich nämlich dieser Anteil der Globalstrahlung, doch nur bis zu einer Bedeckung des Himmelsgewölbes von 6/10 bis 8/10.

Da es sich – bezogen auf die horizontale Fläche – bei der diffusen Himmelsstrahlung und der direkten Sonnenstrahlung um größenordnungsmäßig etwa gleichgroße Anteile handelt, würde eine alleinige Betrachtung der Sonnenstrahlung für den Energiehaushalt zu völlig falschen Werten führen.

Die direkte Sonnenstrahlung hat bei heiterem Himmel ihr Maximum. Sie kann durch die Angabe der Sonnenscheindauer eines Ortes näherungsweise beschrieben werden. Mit dem Sonnenschein unmittelbar verbunden ist aber auch die Erscheinung des Schattens. (Die auf dem Schattenwurf beruhende Sonnenuhr „zählt die *heiteren* Stunden nur.“) Die für Licht und Schatten maßgeblichen Verhältnisse der Sonnengeometrie werden näher im Abschnitt 3.2.2 behandelt.

Die mittlere Jahressumme der Globalstrahlung beträgt z. B. in Stuttgart-Hohenheim für den 30jährigen Zeitraum 1961 bis 1990 402 kJ/cm², was einem Durchschnittswert der jährlichen Strahlungsleistung von 127 W/m² oder 1 116 kWh/m² a entspricht.



Abb. 3/2 Messgerät zur Erfassung der Globalstrahlung (UV-Anteil), Scintec AG, Rottenburg

In **Abbildung 3/3** wird die Verteilung der durchschnittlichen Sonnenscheindauer und der jährlichen Energielieferung der Sonne auf 1 m² Erdoberfläche für den Bereich der Bundesrepublik dargestellt. Die Sonnenscheindauer umfasst hier die Spanne zwischen 1300 und 2000 Jahresstunden, während sich die Globalstrahlung zwischen den Werten 780 bis 1240 kWh/m² a bewegt.

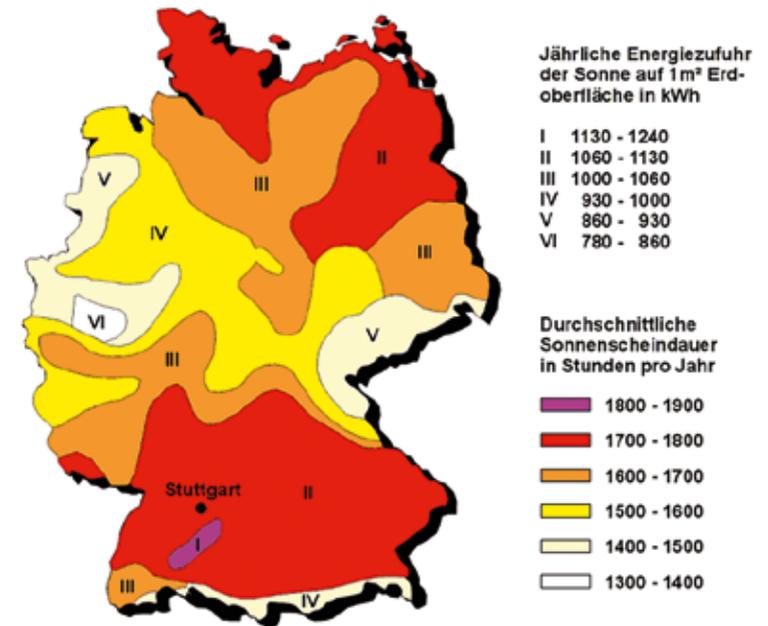


Abb. 3/3 Sonnenscheindauer in Deutschland, Quelle: Bayerisches Staatsministerium des Inneren, 2010

Die folgende **Abbildung 3/4** zeigt die mittleren jährlichen Einstrahlungsverhältnisse in Baden-Württemberg.

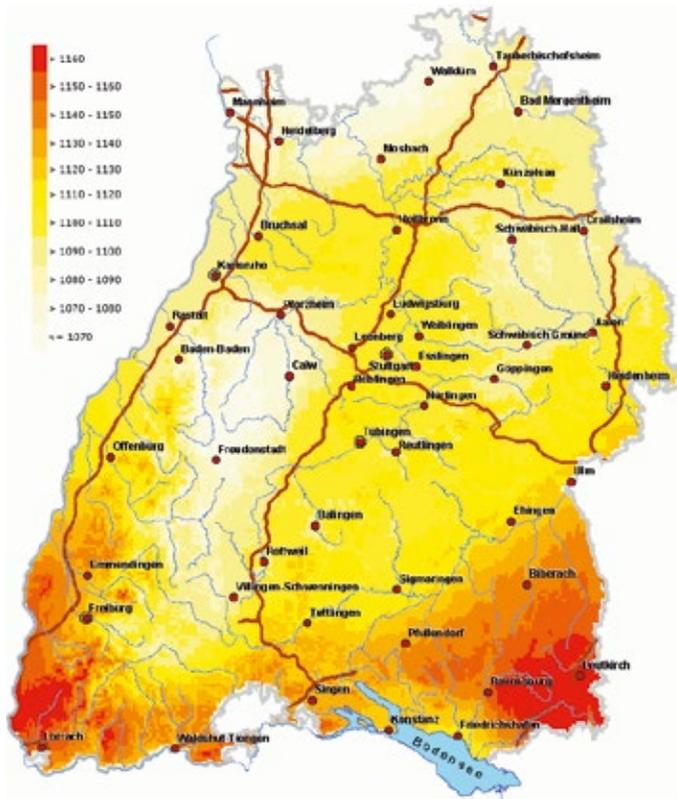


Abb.3/4 Mittlere jährliche Solareinstrahlung in kWh/m²,
Quelle: LUBW

Die Werte der Globalstrahlung korrelieren sehr eng mit der Sonnenscheindauer, was aus der **Tabelle 3/1** hervorgeht. Dort sind für Stuttgart-Hohenheim die mittleren monatlichen Globalstrahlungssummen aufgeführt. Ferner ist in der Tabelle die mittlere tatsächliche (gemessene) Sonnenscheindauer in Monatsstunden der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer gegenübergestellt. Der Jahrgang von tatsächlicher und astronomisch möglicher Sonnenscheindauer ist Gegenstand von **Abbildung 3/5**.

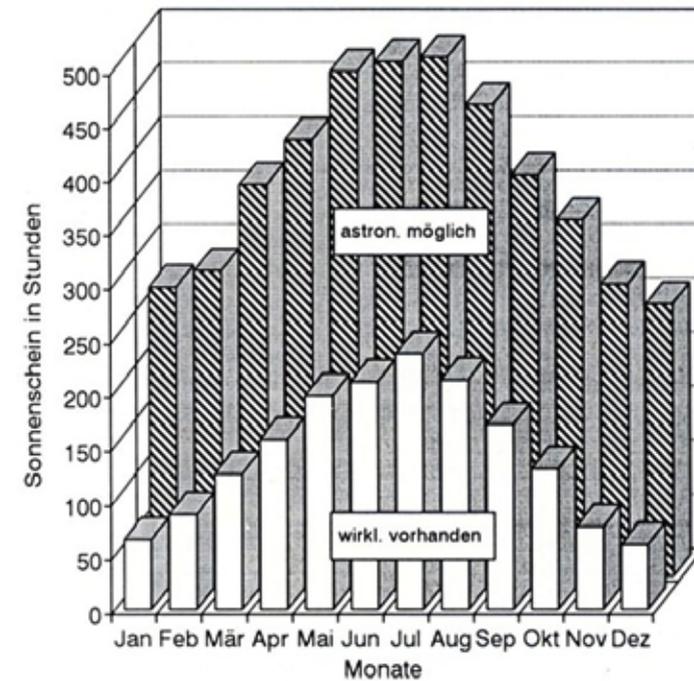


Abb. 3/5 Sonnenscheindauer in Stuttgart (1961 - 1990), Quelle:
INSTITUT FÜR PHYSIK, UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Für energetische Betrachtungen im Zusammenhang mit dem Raumwärmebedarf interessieren die Strahlungsverhältnisse während der Heizperiode bzw. Heizzeit von September bis Mai. Dazu geht aus **Abbildung 3/5** hervor, dass aufgrund der Bewölkung gerade in den Wintermonaten die tatsächliche Sonnenscheindauer gegenüber der astronomisch möglichen stark abfällt. Dieser Sachverhalt wird durch die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit dargestellt (vgl. dazu **Tabelle 3/1**).

Monat	Globalstrahlung kJ/cm ²	Sonnenscheindauer (h)	Möglicher Sonnenschein (h)	Sonnenscheinwahrscheinlichkeit (%)
Januar	11,1	64,5	267	24
Februar	17,0	87,4	282	31
März	31,4	125,0	363	34
April	42,4	156,6	405	39
Mai	53,4	197,7	468	42
Juni	56,5	210,6	477	44
Juli	58,4	236,7	481	49
August	49,6	212,1	437	49
September	37,1	170,1	372	46
Oktober	23,6	130,1	329	40
November	12,3	76,8	270	28
Dezember	8,8	60,0	251	24
Jahr	401,6	1727,6	4402	39

Tab. 3/1 Monats- und Jahressummen der Globalstrahlung, der gemessenen und der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer sowie der Sonnenscheinwahrscheinlichkeit in Stuttgart-Hohenheim (langjähriges Mittel); Quelle: INSTITUT FÜR PHYSIK, UNIVERSITÄT HOHENHEIM

Folgende **Abbildung 3/6** gibt einen Überblick über die mittleren Jahressummen der Globalstrahlung in Deutschland. Die für Anwendungen im Bereich der Solartechnik erforderlichen detaillierten Statistiken der Globalstrahlung und ebenso expositionsbezogene Auswertemöglichkeiten findet man im umfangreichen EUROPÄISCHEN STRAHLUNGSATLAS (European Solar Radiation Atlas, E.S.R.A., 2000). Die Daten liegen dabei auf CD-ROM vor. Im Internet sind auch kostenlose Datenbanken verfügbar, z.B. unter <http://www.satellite.com> (THE EUROPEAN DATABASE OF DAY-LIGHT AND SOLAR RADIATION).

Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland
Mittlere Jahressummen, Zeitraum: 1981 - 2010

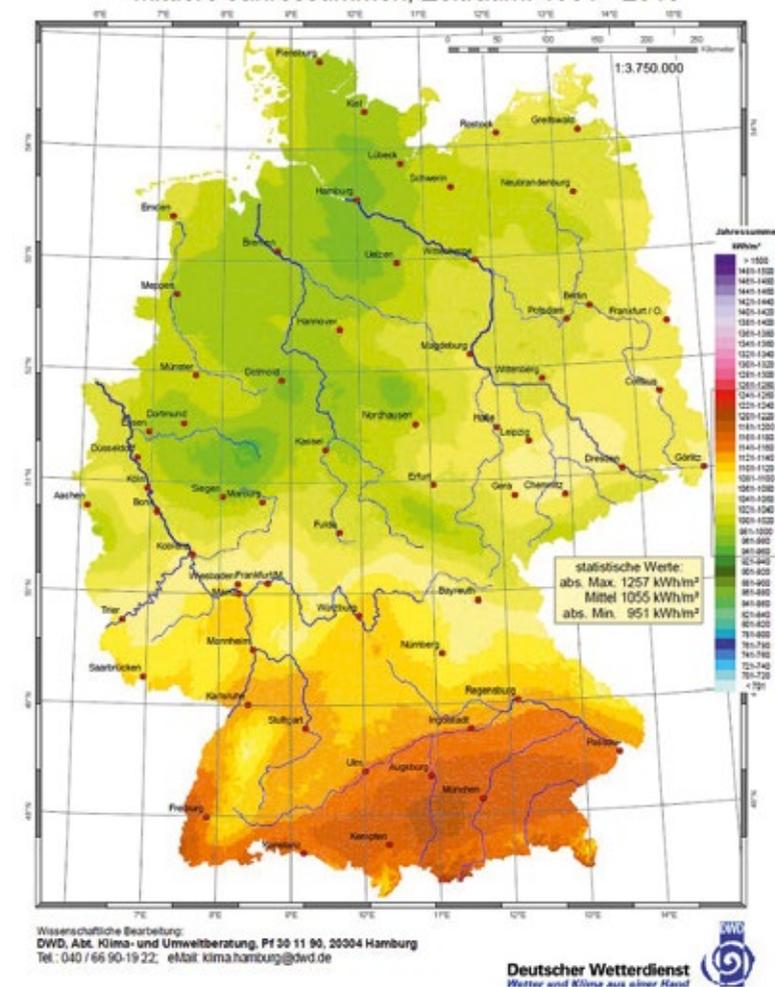


Abb. 3/6 Globalstrahlung in kWh/m², Quelle: DWD

■ 3.2.2 Sonnengeometrie

Die Globalstrahlung hat ihr Maximum in Richtung auf den jeweiligen Sonnenstand. Sonnenenergienutzung beruht somit auch in der einfachsten Form auf optimaler Exposition der für den Energieumsatz vorgesehenen bzw. bauphysikalisch dafür geeigneten Flächen und ihrer Verschattungsfreiheit.

Grundlagen und wesentliche Arbeitshilfen zur Berechnung der Strahlung enthalten neben o.g. Datenbanken auch die VDI-RICHTLINIE 3789, Blatt 2, (1994) und die SOLARFIBEL, WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2007).

Exposition

Die Orientierung von Flächen nach Himmelsrichtung und Neigungswinkel führt zu unterschiedlichen Einstrahlungsbeträgen, wobei die tages- und jahreszeitlichen Veränderungen des Sonnenstandes zu berücksichtigen sind. (Zwischen Sommer- und Wintersonnenwende ändert sich der Sonnenstand (Sonnenhöhe) am Mittag um immerhin 47 Grad!) So verschiebt sich im Winter das Strahlungsmaximum wegen des niedrigeren Sonnenstandes zu stärker nach Süden geneigten Flächen.

Eine einfache Arbeitshilfe zur Beurteilung einer Flächenorientierung zur Nutzung der jährlichen Sonnenenergieeinstrahlung stellt die aus BIASIN u. DIETRICH (1992) entnommene **Abbildung 3/7** dar.

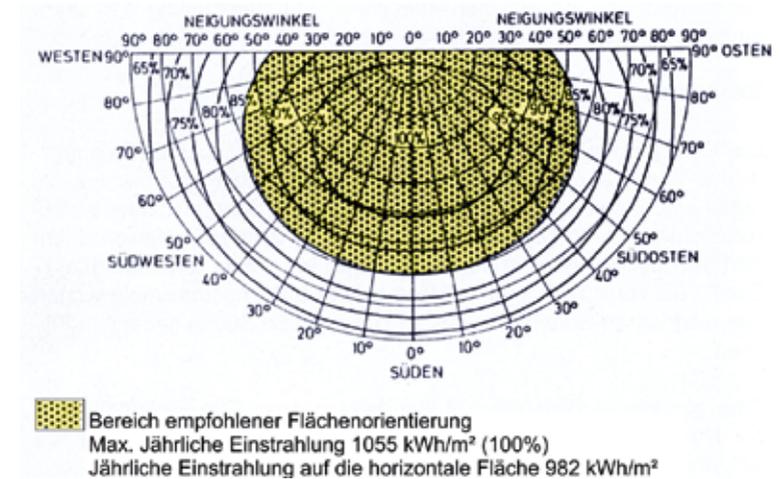


Abb. 3/7 Einstrahlungsdiagramm aus BIASIN u. DIETRICH, 1992

In diesem Diagramm wird von einer mittleren jährlichen Einstrahlung auf die horizontale Fläche von 982 kWh/m² ausgegangen. Im Falle einer nach Süden orientierten und um 30° geneigten Fläche ergibt sich ein Maximum der jährlichen Einstrahlung von 1 055 kWh/m².

In Bezug auf diesen gleich 100% gesetzten Maximalwert bedeuten alle anderen Richtungsorientierungen und Neigungswinkel geringere prozentuale Strahlungsausbeuten. Betrachtet man die Verhältnisse im Falle einer Gebäudewand (Neigungswinkel 90°), stellt man für Orientierungen im Himmelshalbkreis zwischen Ost über Süd nach West eine vergleichsweise geringe Veränderung gegenüber der nach Osten und Westen abnehmenden Sonnenhöhe fest, d. h. die jährliche Einstrahlung bleibt im Bereich zwischen ca. 60% und 68% des Maximalwertes. Dies bedeutet allerdings weitaus weniger Strahlungsgewinn als im Falle einer horizontalen Fläche, die im Einstrahlungsdiagramm bei 93% läge. Nur der von der 93%-Kurve umschlossene Expositionsbereich bedeutet somit eine die horizontale Fläche übertreffende Strahlungsausbeute.

Zur Bewertung passiver Sonnenenergienutzung durch Fensterflächen ist es erforderlich, die Angaben für Wände unterschiedlicher Orientierung differenzierter zu betrachten: In der **Abbildung 3/8**

sind unter Einbeziehung auch nördlicher Wandorientierungen Jahressgänge der mittleren monatlichen Globaleinstrahlung (aufgeteilt nach Diffusstrahlung und Direktstrahlung) beispielhaft für Stuttgart dargestellt.

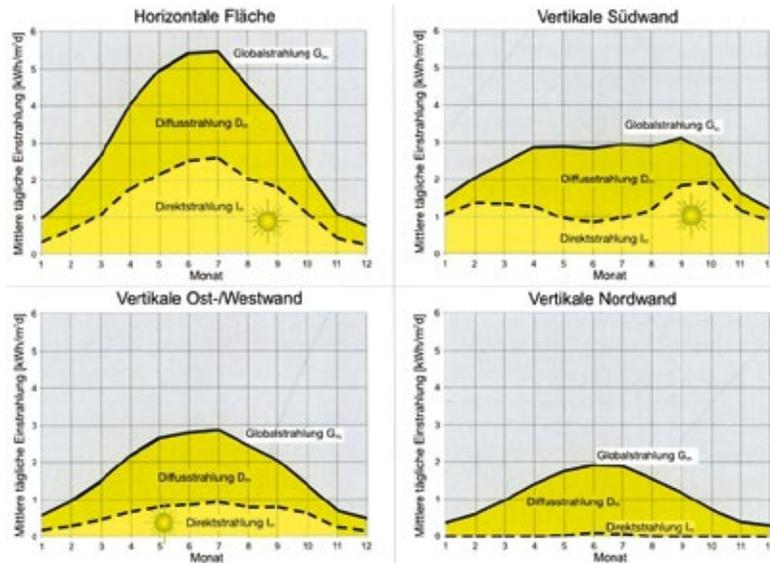


Abb. 3/8 Mittlere mtl. Globalstrahlung auf verschiedene orientierte Flächen, Quelle: SOLARFIBEL, WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG, 2007

Folgendes wird dabei offensichtlich:

Die höhere Globalstrahlung an heiteren Tagen mit nahezu wolkenlosem Himmel ist mit geringeren Anteilen der diffusen Himmelsstrahlung verbunden. Allerdings verteilt sich die Diffusstrahlung bei völlig bedecktem Himmel nahezu gleichmäßig auf alle Himmelsrichtungen mit einem Intensitätsmaximum im Zenit. Im Mittel jedoch, d.h. bei Berücksichtigung der mittleren Bewölkungsverhältnisse ergibt sich für den diffusen Strahlungsanteil ein Wertebereich von etwa der Hälfte (Südwand) bis zu 95% (Nordwand).

Der unter mittleren Bedingungen hohe diffuse Strahlungsanteil bewirkt also einen gewissen Ausgleich der Globalstrahlung bei unterschiedlicher Orientierung. Die Globalstrahlung auf Ost- bzw. Westwand beträgt im Mittel 81% derjenigen der Südwand. Der Vergleichswert für das Verhältnis Nordwand zu Südwand beträgt rund 48%.

Der energetische Vorteil einer Südorientierung gegenüber der Ost-/Westorientierung kommt hauptsächlich während der Heizzeit zur Geltung. Vor allem während der Monate November, Dezember und Januar zeigen sich deutliche Strahlungsdefizite bei den von Süden abweichenden Expositionen. Bei Betrachtung der Heizzeit schneidet dann auch die Nordwand noch wesentlich ungünstiger ab als im Vergleich der Jahresmittelwerte.

Ein weiterer Gesichtspunkt spricht für die Südexposition von Gebäudebreitseiten bzw. größerer Fensterflächen: In der Realität der gebauten Stadt ergibt sich bei niedrigem Sonnenstand (morgens und abends, insbesondere in den Wintermonaten) aufgrund umgebender Bebauung stets eine gewisse Horizontüberhöhung („Verschattung“), die späteren Sonnenaufgang und früheren Sonnenuntergang bewirkt. Somit besteht für den Südhimmel eine größere Chance der Verschattungsfreiheit, wodurch die Südexposition zusätzlich an Bedeutung gewinnt. Dabei vermindert eine Orientierung der Fenster eines Gebäudes ausschließlich nach Süden den Energieverbrauch um etwa 10%.

Abb. 3/9 zeigt den Einfluss der Orientierung der Hauptfassade auf den Jahresheizwärmebedarf bei unterschiedlichen Energiestandards. Die Berechnung gilt für ein Beispielgebäude mit $A/V = 0,73$ und 16% Fensterflächenanteil. Bei Gebäuden, die die Anforderungen der EnEV 2009 erfüllen, erhöht sich der Heizwärmebedarf bei einer Abweichung von der Südorientierung vergleichsweise schwach. Ein Gebäude mit einem um 30% erhöhten Standard reagiert dagegen deutlich sensibler, da die solaren Einträge bei diesen Gebäuden einen größeren Anteil an der Wärmebilanz des Gebäudes haben.

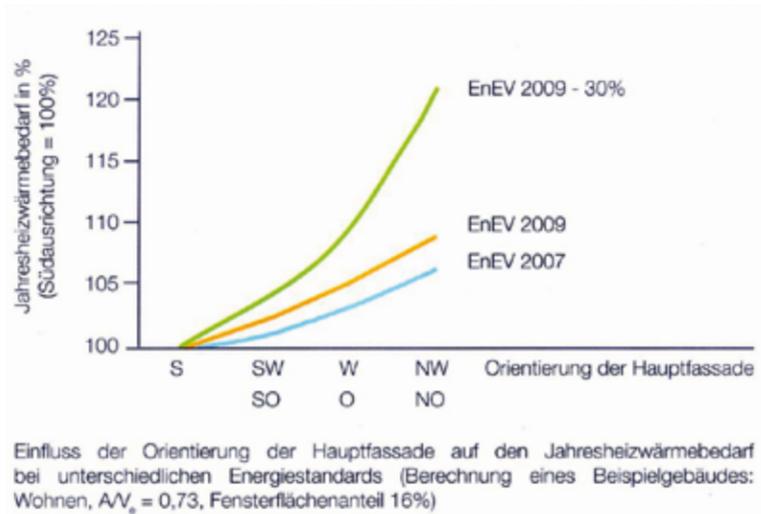


Abb. 3/9 Einfluss auf den Heizwärmebedarf, Quelle: BAYRISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNEREN, 2010

Verschattung

Verschattung bedeutet Verminderung der astronomisch möglichen Besonnung durch Horizontüberhöhung (z.B. Berge) oder umgebende Baulichkeiten. Vor allem bei Tallagen und nordexponierten Lagen, aber auch im Bereich dichter städtischer Bebauung ergeben sich empfindliche Einschränkungen der Sonnenscheindauer.

Aufgrund der Verschattung bei niedrigem Sonnenstand erhalten Nordhänge mit Neigungen bis 10° im Winter 10% bis 30% weniger Globalstrahlung als südlich exponierte Lagen. Nordhangbebauungen sollten daher so weit wie möglich vermieden werden, da diese mikroklimatischen Nachteile nur unzureichend durch andere bauliche oder siedlungsstrukturelle Maßnahmen kompensiert werden können (DÜTZ u. MÄRTIN, 1982).

Hilfreich für die Planung sind berechnete Solarkarten die diese Zusammenhänge verdeutlichen. Die **Abbildung 3/10** zeigt die direkte

Sonnenstrahlung als Jahresmittel für das Stadtgebiet von Stuttgart. Die Unterschiede der Einstrahlung bei unterschiedlicher Hanglage sind deutlich zu erkennen.

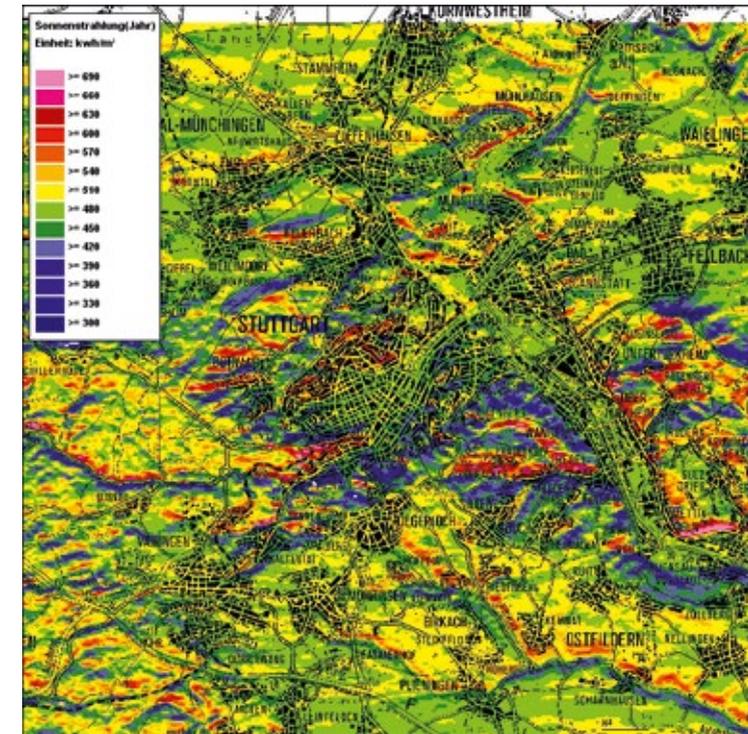


Abb. 3/10 Direkte Sonnenstrahlung, Quelle: SOLARATLAS STUTTGART

In **Abbildung 3/11** ist das Ergebnis einer Computerberechnung der Solareinstrahlung für ein geplantes Baugebiet wiedergegeben (GORETZKI, 2012). Obgleich man hier auf den ersten Blick wegen der günstigen Exposition beste Voraussetzungen zur passiven Sonnenenergienutzung erwartet hätte, zeigt die Simulation für die Heizperiode aufgrund von Hangverschattung (als Folge der Geländeform) eine teilweise um bis zu 50% verminderte Einstrahlung.

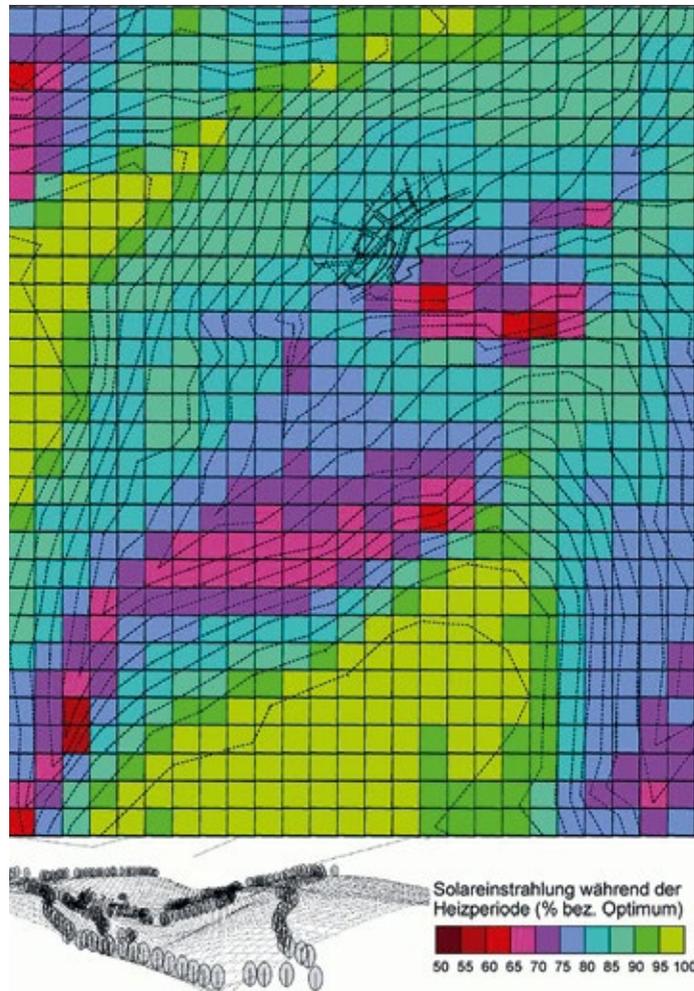


Abb. 3/11 Solareinstrahlung unter Berücksichtigung der Geländeform, Quelle: GORETZKI, 2012

Mit Hilfe des Polarkoordinaten-Diagramms **Abbildung 3/12** kann die astronomisch mögliche Sonnenscheindauer eines Standortes, aber auch ihre Einschränkung durch Horizontüberhöhung und Verschattung aus den für unterschiedliche Jahreszeiten geltenden Sonnenkurven ermittelt werden. Das Diagramm gilt streng nur für die angegebenen Koordinaten, ist aber in dieser Form mit genügender Genauigkeit in Baden-Württemberg zu verwenden.

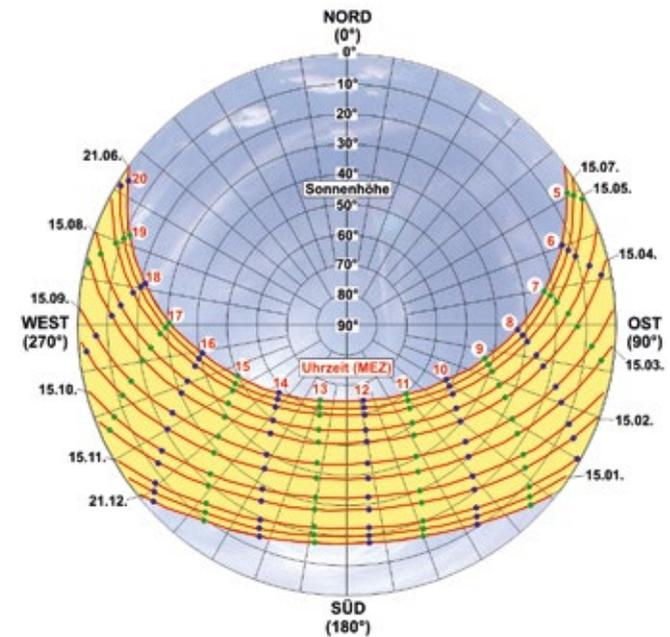


Abb. 3/12 Besonnungsdiagramm für 48° 46" nördl. Breite, 9° 11" östl. Länge

Bei der angegebenen geographischen Breite ergeben sich die Extremwerte des Sonnenstandes um 12 Uhr Ortszeit (nicht **MEZ!**) zu:

64,5° (21. Juni, Sommer-Sonnenwende) bzw.
17,6° (21. Dezember, Winter-Sonnenwende)

Für andere Termine und Uhrzeiten kann der Sonnenstand aus **Abbildung 3/12** gleichfalls entnommen werden.

Sonnenbahnen anderer Orte und beliebiger Tage können abgefragt werden unter der Internetadresse:

http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_sonnenstand

Die punktierten Linien geben die Uhrzeit in MEZ (!) an. Die konzentrischen Kreise sind mit einer Grad-Skala der Sonnenhöhe versehen. Den gesuchten Sonnenstand erhält man durch das Aufsuchen des Schnittpunktes einer durchgezogenen Datumskurve mit einer punktierten Uhrzeit-Kurve. Am Schnittpunkt lassen sich der Winkel der Sonnenhöhe (konzentrische Kreise) sowie der Sonnen-Azimut (Himmelsrichtung der Sonne) ablesen, letzterer indem man den Schnittpunkt mit dem Mittelpunkt des Diagramms verbindet und aus der Kompass-Skala die zugehörige Himmelsrichtung abliest.

Überträgt man in ein solches Diagramm das Gelände- oder Verbauungsbild aus der Perspektive des zu untersuchenden Ortes, gibt der durch Horizontüberhöhung nicht verdeckte Kurvenbereich der Sonnenbahn die noch verbleibende Besonnungsmöglichkeit an. Damit lässt sich die Verschattung etwa durch vorhandene oder geplante Bebauung im südlichen Teil der Himmelshalbkugel beurteilen. Diese Methode wird ausführlich bei TONNE (1954) (vgl. Kap. 3.2.3) beschrieben.

Das Verbauungsbild muss in Zentralprojektion in das Diagramm übertragen werden, so wie es sich als Spiegelbild auf einer verspiegelten Halbkugel abbilden würde, die auf der Horizontebene aufliegt. Der Mittelpunkt des Diagramms entspricht somit dem Zenit, auf den sämtliche senkrechte Baulinien radial zulaufen. Der Außenkreis des Diagramms entspricht dem Horizont. Parallel zum Horizontkreis verlaufende Raumkanten bzw. horizontale Baulinien werden je nach ihrer Höhe auf den konzentrischen Kreisen abgebildet.

Dabei ist zu beachten, dass die Dachkante eines langen, geraden Gebäudes dem Betrachter bei größeren Seitenwinkeln unter einem kleineren Höhenwinkel erscheint, so dass das Verbauungsbild gemäß der Variation des Höhenwinkels die konzentrischen Kreise entsprechend schneidet.

Im Gelände selbst ist der Einsatz einer Kamera mit Fischaugen-Objektiv empfehlenswert. Unter Einbeziehung der Himmelsrichtung kann das so gewonnene Bild mit den Solarkurven des Polardiaagrammes überlagert werden. Die **Abbildung 3/13** zeigt ein Ergebnis für den Standort Marktplatz-Mitte in Stuttgart.

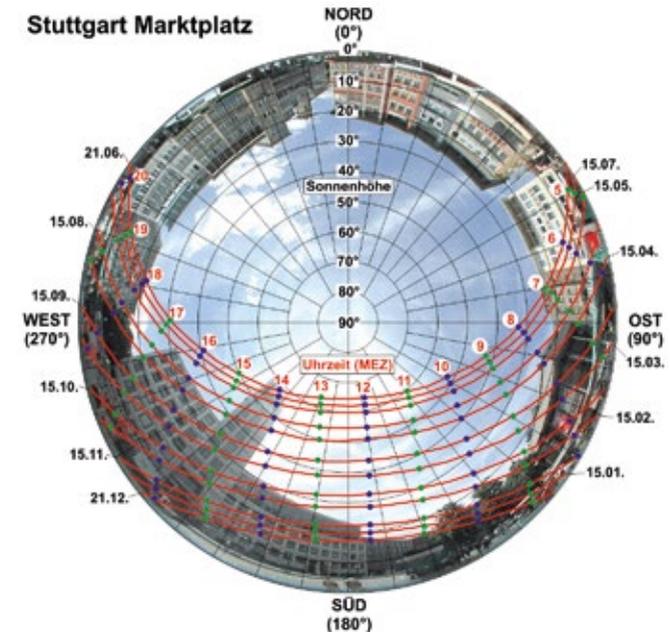


Abb. 3/13 Besonnungsdiagramm mit Bebauung

Zur Beurteilung der Besonnungsverhältnisse kann die DIN 5034-1 herangezogen werden. Diese enthält verschiedene Kriterien für Mindestanforderungen an eine astronomisch mögliche Besonnungsdauer. Nach der derzeitigen Fassung vom Juli 2011 sollte die mögliche Besonnungsdauer in mindestens einem Aufenthaltsraum einer Wohnung zur Tag- und Nachtgleiche vier Stunden betragen. Soll auch eine ausreichende Besonnung in den Wintermonaten sichergestellt sein, sollte die mögliche Besonnungsdauer am 17. Januar mindestens einer Stunde betragen. Nachweisort ist

die Fenstermitte in der Fassadenebene. Als Besonnung gilt, wenn die Sonne über dem natürlichen Horizont als auch mindestens 6 Grad über dem wahren Horizont steht. Steile Geländeerhöhungen oder Baumbewuchs gelten ebenfalls als Verbauung. In der Vorgängerversion der DIN 5034-1 vom Oktober 1999 war die Besonnung am Stichtag 17. Januar von mindestens einer Stunde noch das alleinige Kriterium. Es wurde damals definiert, dass eine Wohnung als ausreichend besonnt gilt, wenn in ihr mindestens ein Wohnraum ausreichend besonnt wird.

GRANDJEAN, GILGEN (1973) fordern im Hinblick auf die Anforderungen des gesunden Wohnens eine mindestens dreistündige Besonnungsdauer für einen mittleren Wintertag (8. Februar), wobei der Lichteinfallswinkel mindestens 15° zur Fensterfläche betragen muss.

Sofern sich durch entsprechend gewählte Gebäudeabstände diese Minimalanforderung an die Besonnungsmöglichkeit nicht erfüllen lässt oder wo dies wegen der sich ergebenden Abstände städtebaulich nicht erwünscht ist, sollte mittels abgestaffelter Gebäudehöhen die Besonnung der Südfassaden (Ausrichtung der Gebäudelängsachsen vorwiegend in Ost-West-Richtung) gewährleistet werden. Die höheren Bebauungsformen sind dabei im Norden vorzusehen.

Eine Untersuchung der Besonnungsverhältnisse ergibt sich häufig aus der Notwendigkeit, zur Vermeidung sommerlicher Aufheizung einen wirksamen baulichen Sonnenschutz zu planen. Dies erfolgt am günstigsten in Form von Dachüberständen oder Balkonen, die bei richtiger Dimensionierung die sommerliche Sonneneinstrahlung abschirmen, ohne die während der Heizperiode gewünschte Einstrahlung zu behindern. Gleichfalls geeignet sind in dieser Hinsicht auch Laubbäume, da diese im Gegensatz zu Nadelbäumen ihr schattenspendendes Laub abwerfen.

■ 3.2.3 Hilfsmittel zur Untersuchung der Besonnungsverhältnisse

Horizontoskop

Ein einfaches, sehr nützliches Hilfsmittel zur Anfertigung von Verbauungsbildern einer bestehenden Standortsituation ist das von TONNE entwickelte und vom Institut für Tageslichttechnik in Stuttgart vertriebene „Horizontoskop“ (s. **Abbildung 3/14**), das heute nicht mehr verfügbar, aber doch wegen seiner Anschaulichkeit hilfreich ist. Es besteht aus einer Plexiglashalbkugel mit ebenem, gleichfalls durchsichtigem Boden, die auf eine Diagrammscheibe gemäß **Abbildung 3/12** aufgelegt werden kann. Am zu untersuchenden Ort wird die horizontal zu haltende Vorrichtung mittels eines integrierten Kompasses eingenordet. Auf der spiegelnden Plexiglashalbkugel bildet sich dann bei Betrachtung von oben das Verbauungsbild in Zentralprojektion ab und wird auf diese Weise in das darunter liegende Diagramm eingespiegelt, was eine Sofortbeurteilung ermöglicht.

Computer-Simulationsprogramme

Diese Verschattungsdiagramme lassen sich natürlich beim Vorhandensein digitaler Pläne auch mit entsprechenden Simulationsprogrammen erzeugen. Diese sind speziell für die Berechnung der Verteilung der kurzwelligen Strahlung (Sonnenstrahlung) in einem Modellgebiet ausgelegt und damit sowohl für Untersuchungen in Stadtgebieten als auch bei geländeklimatologischen oder agrarmeteorologischen Fragestellungen anwendbar, da neben der Konstellation abschattender Objekte auch der Verlauf der Geländetopographie berücksichtigt wird. Beispielsweise können mit RayMan (MATZARAKIS et al., 2010) neben der Beantwortung diverser stadtklimatischer Fragen auch Horizontogramme bzw. Schattenwürfe berechnet und dargestellt werden (s. **Abbildungen 3/15 und 3/16**).

Zur Beurteilung der Besonnungsverhältnisse komplexer Siedlungsstrukturen sind anspruchsvollere Hilfsmittel erforderlich. Dazu hat GORETZKI (1990, 2012) als Grundlage für die energetische Simulation ein Computer-Modell (GOSOL) entwickelt, das neben der Bewertung der solarenergetischen Eigenschaften eines Planungskonzeptes auch dessen räumliche Darstellung ermöglicht.

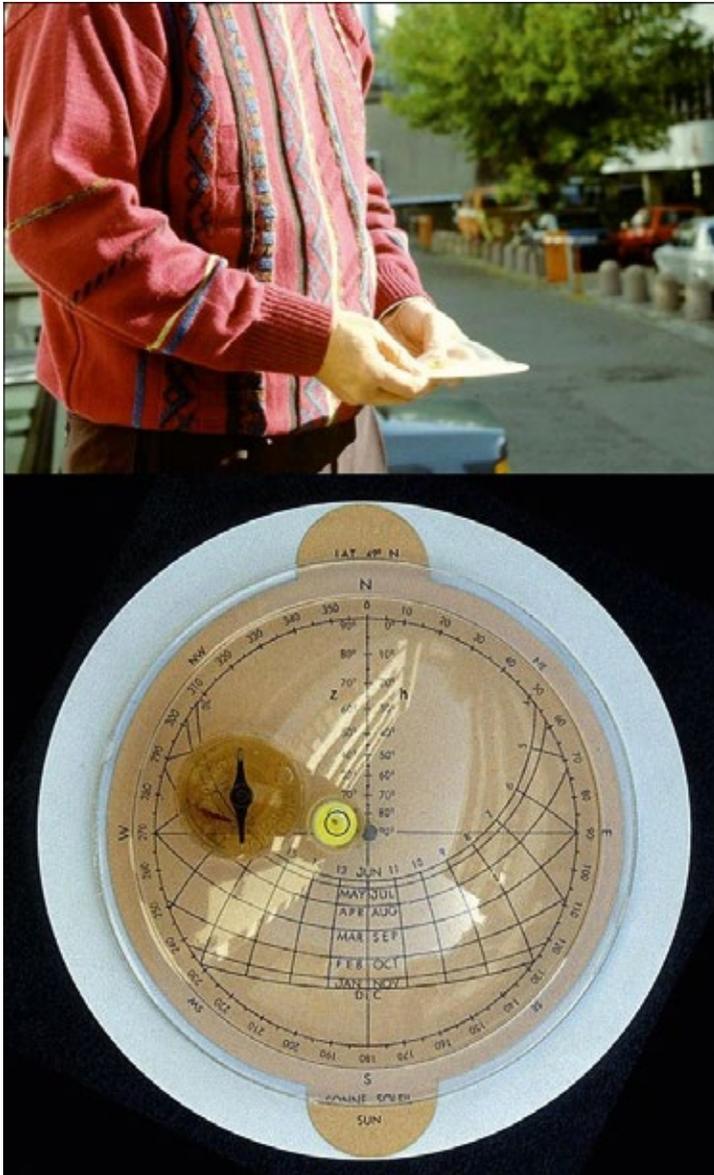
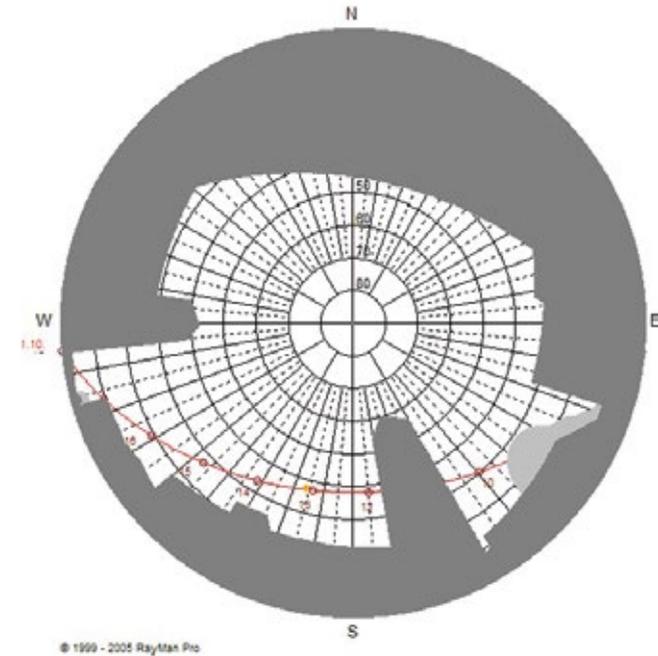


Abb. 3/14 Horizontoskop im Einsatz



© 1999 - 2005 RayMan Pro

Abb. 3/15 Horizontogramm berechnet mit RayMan

Grundlage ist ein dreidimensionales Computermodell aus Gebäuden, Vegetation mit jahreszeitlich wechselnder Belaubung sowie Topographie. Besonderes Spezifikum von GOSOL, das auch mit der Umschreibung „solar+energetisch“ zum Ausdruck gebracht werden soll, ist die Erstellung von vollständigen Energiebilanzen für jedes einzelne Gebäude bzw. in Form von Summen- und Mittelwerten für den gesamten Bebauungsplanungsgriff. Die Heizwärmebilanzen beinhalten sowohl die gebäudespezifischen Wärmeverluste (abhängig von Wärmeschutzstandard, Heizsystem und Gebäudegeometrie) als auch die hiermit in Wechselwirkung stehenden nutzbaren passiven und thermischen Solargewinne bei der jeweiligen Gebäudeorientierung und Verschattungssituation. Die Bilanzierung der beiden Antagonisten Wärmegewinne und Verluste in der Zielgröße



Abb. 3/16 Darstellung von Schattenwürfen mit RayMan,
Quelle: MATZARAKIS, RUST, 2007

„wohnflächenspezifischer Heiz- oder Primärenergiebedarf“ ermöglicht es Fehloptimierungen zu vermeiden. Zudem kann das Potential für photovoltaische Sonnenenergienutzung ermittelt und damit eine Gesamtenergiebilanz des Planbereichs erstellt werden.

Für jedes einzelne Gebäude im Untersuchungsgebiet werden außerdem die Ursachen für verminderte Solargewinne bzw. den

erhöhten Heizenergiebedarf quantitativ ermittelt und zwar aufgeschlüsselt nach:

- ungünstiger Gebäudeorientierung
- Verschattung durch Nachbargebäude
- Verschattung durch Vegetation
- Verschattung durch Geländeformen.

Mit Hilfe dieser Kennwerte können gezielt Ansatzpunkte für eine solar+energetisch erfolgversprechende Optimierung der Planung herausgearbeitet werden.

Zur Bewertung der Wohnqualität hinsichtlich ausreichender Besonnung kann außerdem DIN-gerecht die an einem klaren Tag mögliche Besonnungsdauer oder die monatliche reale Besonnungsdauer unter Einbeziehung der Bewölkungshäufigkeit im Tagesgang von einzelnen Farbkartierung bzw. Verschattungssilhouette dargestellt werden. Weiter wird der Anteil der Gebäude ermittelt, welche definierte Mindestanforderungen an die Besonnungsdauer nicht erfüllen.

Alle Ergebnisse werden neben Tabellen auch als Farbkarten dargestellt. Dabei kann zur Kontrolle des Optimierungserfolgs auch die Ausgangsvariante mit einer Optimierungsvariante verglichen und für den jeweiligen Kennwert als Farbkarte dargestellt werden.

Abbildung 3/17 zeigt als Ergebnis einer solchen Berechnung den solaren Verlust durch Baumverschattung. In **Abbildung 3/18** wird für die gleiche untersuchte Hausgruppe der solare Verlust durch ungünstige Ausrichtung angegeben.

Die vom Wirtschaftsministerium Baden Württemberg herausgegebene SOLARFIBEL zeigt anhand von Beispielen die Möglichkeiten einer energiebewussten Bauleitplanung auf.



Abb. 3/17 Solarer Verlust durch Baumbeschattung, GORETZKI, 2012



Abb. 3/18 Solarer Verlust durch ungünstige Gebäudeausrichtung, GORETZKI, 2012

Untersuchung des Schattenwurfs an physikalischen Modellen

Sofern für Windkanaluntersuchungen (s. Kap. 4.2) oder aus anderen Gründen ein physikalisches Modell der geplanten baulichen Maßnahmen erstellt wird, bietet sich eine Verschattungsuntersuchung mittels Beleuchtung des Modells an. Dazu übernimmt eine starke Lichtquelle die Funktion der Sonne, wobei die geometrischen Beziehungen bezüglich der Wahl von Tag und Stunde mit dem wahren Sonnenstand übereinstimmen müssen. Die sich ergebenden Verschattungsbilder werden dann photographisch dokumentiert und in Form von Horizontogramm (zeitlicher Zusammenhang an einem bestimmten Ort) bzw. Schattenwurfdarstellung (räumlichen Zusammenhang zu einem bestimmten Termin) ausgewertet.

■ 3.2.4 Tageslichtbeleuchtung

Beleuchtungsstärke

Eine angemessene Tageslichtbeleuchtung unserer Aufenthaltsräume beeinflusst das Wohlbefinden nachhaltig positiv. Dies gilt sowohl für Wohn- als auch für Arbeitsräume. Natürliches Tageslicht hat komplexe physische und psychische Auswirkungen auf den menschlichen Organismus, es wirkt sich auf die Produktivität am Arbeitsplatz aus und kann nicht unerheblichen Beitrag zur Senkung der Energiekosten leisten.

Es gibt jedoch Defizite in der sachgerechten Kontrolle und Umsetzung dieser normativ geregelten Anforderungen. Als Folgen sind die Beeinträchtigung der Helligkeit in den Wohnräumen, eine behinderte Sichtverbindung nach Außen und damit verminderte Wohnqualität für die Bewohner zu nennen.

Gründe für die Nichtbeachtung dieser Anforderungen sind häufig die Unkenntnis der entsprechenden Normen und die Kompliziertheit der dort vorgegebenen Nachweisverfahren (LANDESAMT FÜR GESUNDHEIT UND SOZIALES MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2007).

Tageslichtbeleuchtung im städtebaulichen Sinn meint die Versorgung der Gebäude und der nicht bebauten Flächen mit Tageslicht auch bei bedecktem Himmel. Im Unterschied zur Besonnung geht es hier um ungerichtetes, diffuses Tageslicht. Dabei betrachtet man den vollständig bedeckten Himmel als Lichtquelle, der von der Sonne um so mehr erhellt wird, desto höher sie steht. Das diffuse Tageslicht ist unabhängig von der Himmelsrichtung und damit auch unabhängig von der Orientierung der Fenster.

Die Beleuchtungsstärke ist das Maß für den auf eine Fläche fallenden Lichtstrom. Die Maßeinheit ist das Lux (= 1 Lumen/m²).

Im Freien schwanken die Beleuchtungsstärken je nach Tages- und Jahreszeit zwischen 0 und 100 000 Lux. (Wenn die Sonne 20° hoch steht, sind bei bedecktem Himmel und freiem Horizont als horizontale Beleuchtungsstärke ca. 11 000 Lux zu erwarten.).

Tageslichtquotient

An einem Punkt in einem Zimmer herrscht je nach der Fenstergröße und -lage, Verbauung, Farbe der Wände und je nach Möblierung usw. bei bedecktem Himmel stets der gleiche Prozentsatz der gesamten Horizontalbeleuchtung bei freiem Horizont. Diesen konstanten Prozentsatz bezeichnet man als Tageslichtquotient (in Prozent).

Der Außenreflexionsanteil trägt mit ca. 10 % nur wenig zur Beleuchtungsstärke im Raum bei. Eine Ausnahme bilden weiße Außenflächen direkt vor dem Fenster. Der Innenreflexionsanteil erhellt besonders die rückwärtige Raumhälfte, sofern der Raum mit hellen Flächen ausgestattet ist. Der Himmelslichtanteil leistet jedoch den weitaus größten Beitrag zur Raumhelligkeit.

Die DIN 5034-1 Tageslicht in Innenräumen, Teil 1 Allgemeine Anforderungen beschreibt die Ziele und genauen Forderungen an die Tageslichtbeleuchtung. Das Maß ist der Tageslichtquotient.

Die Helligkeit z.B. in Wohnräumen (und Arbeitsräumen, die von dem durch die Fenster eindringenden Tageslicht erzeugt wird, ist

ausreichend, wenn der Tageslichtquotient auf einer horizontalen Bezugsebene, gemessen in 0,85 m über dem Fußboden in halber Raumtiefe und 1 m Abstand von den Seitenwänden mindestens 0,9% im Mittel, und am ungünstigsten Punkt wenigstens 0,75% beträgt.

Die DIN 5034-3 Tageslicht in Innenräumen, Teil 3 Berechnung enthält die umfangreichen geometrischen Zusammenhänge und Berechnungsalgorithmen zur Berechnung des Tageslichtquotienten.

Eine optimale Tageslichtbeleuchtung und damit Einsparungsmöglichkeit für Lichtstrom bieten hochreichende Fenster, Oberlichter, Dachlaternen und Shed-Dächer.

Die bauordnungsrechtlich festgelegten Mindestabstände zwischen benachbarten Gebäuden tragen lediglich dem Gesichtspunkt ausreichender Tageslichtbeleuchtung Rechnung. Für Wohnnutzung ist allerdings davon auszugehen, dass nicht nur eine ausreichende, sondern eine gute Tageslichtbeleuchtung angestrebt wird. Somit geht es in der planerischen Abwägung keineswegs nur um die Vermeidung unzumutbarer Verhältnisse.

Der Wechsel von hellen und schattigen Straßen und Plätzen, der durch die Anordnung der Gebäude bewirkt wird, ist ein wesentliches Merkmal städtebaulicher Gestaltung. Dazu sind die Gebäude ihrerseits in unterschiedlichem Maße auf Tageshelligkeit angewiesen, was unter Umständen größere Bebauungsabstände und entsprechend gestaffelte Bebauungshöhen erfordert.

■ 3.3 Die Lufttemperatur als Einflussgröße energiebewusster Planung

Ein wesentlicher, wenn auch von der Sonnenstrahlung nicht unabhängiger Faktor für den Wärmebedarf einer Bebauungsform ist das Außentemperaturniveau der jeweiligen Standortfläche (GERTH, 1989). Eine energetisch günstige Bebauung bedeutet, dass thermische Standortnachteile vermieden werden und dass innerhalb der durch normierte Kennwerte beschriebenen Klimaregion relative thermische Gunstlagen vorrangig besiedelt werden, sofern alternative Entscheidungen möglich sind.

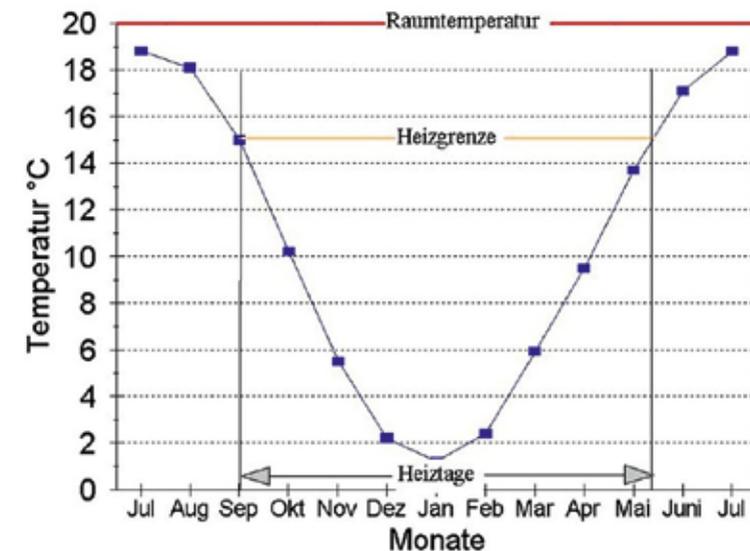


Abb. 3/19 Heizgradtage in Stuttgart

■ 3.3.1 Kennwerte zur Beschreibung des thermischen Niveaus

In den Richtlinien VDI 2067, Bl. 1, und VDI 3807, Bl. 1, sind u.a. für 29 Orte in Baden-Württemberg die für den Heizenergieverbrauch maßgeblichen thermischen Kennwerte zusammengestellt. In diesem Zusammenhang werden die folgenden hier verkürzt definierten

technischen Begriffe verwendet. Die in Baden-Württemberg vorkommenden Extremwerte ergänzen die entsprechenden Definitionen.

Die Heizzeit wird rein kalendermäßig festgesetzt und dauert vom 1. September bis zum 31. Mai, also neun Monate.

Die Heizperiode fällt in die Heizzeit und kann auf der Grundlage der vergangenen Witterung nur nachträglich angegeben werden. Sie ist im Herbst durch das erstmalige Unterschreiten bzw. im darauffolgenden Frühjahr durch das erstmalige Überschreiten der Außentemperatur 15 °C (als übergreifendes Fünftagesmittel) festgelegt.

An einem Heiztag liegt das Tagesmittel der Lufttemperatur unter 15 °C. Die Anzahl der Heiztage bezieht sich gesondert auf die Monate der Heizzeit sowie auf die Sommermonate Juni, Juli und August. In Trochtelfingen (Schwäbische Alb) gibt es während der Heizzeit im Mittel 269,9 Heiztage, in Heidelberg 235,7 Heiztage. Die mittlere Außentemperatur während der Heizzeit beträgt z.B. in Trochtelfingen 3,0 °C, in Heidelberg 6,3 °C.

Die Gradtagzahl für die Heizzeit ist die Summe der Differenzen zwischen der mittleren Raumtemperatur von 20 °C und den Tagesmitteln der Lufttemperatur über alle Heiztage (vom 1. September bis 31. Mai). Bei der Gradtagzahl für die Heizperiode werden nur die Heiztage berücksichtigt, die zwischen Beginn und Ende der Heizperiode liegen. Für Trochtelfingen beträgt die Gradtagzahl für die Heizzeit 4597 Kd/a, für Heidelberg 3226 Kd/a (Kd/a = Kelvin x Tag/Jahr).

Die Heizgradtage (**Abb. 3/19**) schließlich sind die Summe der Differenzen zwischen der Heizgrenztemperatur von 15 °C und den Tagesmitteln der Außentemperatur über alle Kalendertage mit einer Tagesmitteltemperatur unter 15 °C. Die mittleren Heizgradtage $G_{15,m}$ belaufen sich für Trochtelfingen auf 3425 Kd/a und für Heidelberg auf 2065 Kd/a.

Mit diesen Angaben ist zugleich die in Baden-Württemberg vorkommende regionale Spanne klimatischer Kennwerte umgrenzt, die den Energieverbrauch wesentlich bestimmen. Dabei spielen vor allem die Unterschreitung der Heizgrenztemperatur von 15 °C

(Gradtagzahl bzw. Heizgradtage) und die maximale Temperaturdifferenz zwischen innen und außen eine wesentliche Rolle.

Grundlage zur Berechnung des Jahreswärmebedarfs ist zunächst das Normblatt DIN EN 12831, nach dem der Norm-Wärmebedarf eines Gebäudes zu ermitteln ist. Nach der Richtlinie VDI 2067 kann dann der jährliche Wärmeverbrauch in der Heizzeit vorausberechnet werden. Danach bedeutet eine Erhöhung der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen im Mittel der Heizzeit um 1 °C eine Zunahme des Heizenergieverbrauchs von rund 6%.

■ 3.3.2 Lokalklimatische Gesichtspunkte

Im Folgenden sollen die lokalen Einflüsse behandelt werden, die auf kleinstem Raum oft erhebliche Abweichungen von den für die Klimaregion typischen Temperaturwerten mit der Folge abweichenden Energieverbrauchs verursachen können.

Wärmeinseleffekt der Bebauung

In der **Abbildung 2/2** sind die Einflussgrößen des urbanen Wärmehaushalts dargestellt, deren Zusammenwirken eine Wärmeinsel im Siedlungsbereich entstehen lässt. In der **Abbildung 2/4** wird dieser Wärmeinseleffekt quantifiziert. Wie erwähnt, ist mit diesem Befund eine nicht unerhebliche Reduzierung des Heizenergiebedarfs verbunden, die für eine Großstadt auf 10% bis 15% zu schätzen ist. Es handelt sich dabei um einen der wenigen Vorteile, welche städtische Bebauung und damit verbundene Bodenversiegelung in klimatischer Hinsicht zu bieten haben.

Temperaturabnahme mit der Höhe

Es entspricht einer physikalischen Gesetzmäßigkeit, dass die mittlere Lufttemperatur mit zunehmender Höhenlage eines Ortes abnimmt. Im Jahresmittel beträgt diese höhenbedingte Temperaturabnahme durchschnittlich 0,5 °C pro 100 m Höhenstufe. Im Sommer und Frühjahr erhöht sich der Betrag der Temperaturabnahme auf ca. 0,6 °C pro 100 m Höhenstufe, während er im Herbst auf 0,4 °C und im Winter auf ca. 0,3 °C pro 100 m zurückgeht.

In **Abbildung 3/20** ist die jahreszeitliche Höhenabhängigkeit der Temperaturmittelwerte graphisch dargestellt. Somit ist davon auszugehen, dass in größerer Höhe über dem Meeresspiegel gelegene Orte aufgrund niedrigerer Außentemperaturen einen erhöhten Heizwärmebedarf aufweisen. Dieser an sich richtige Sachverhalt kann jedoch durch topographisch bedingte mikroklimatische Effekte überlagert werden.

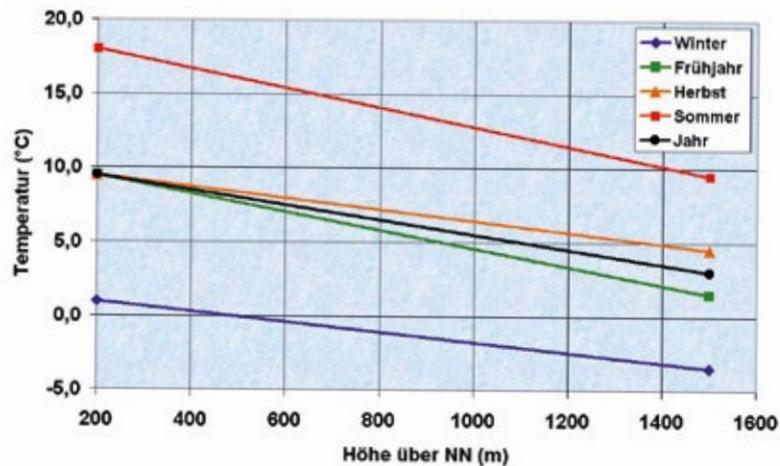


Abb. 3/20 Jahresmitteltemperaturen für Orte in unterschiedlichen Höhenlagen, Quelle: DWD

Kaltluftammel- und Kaltluftstaugebiete

Geländemulden, Senken und Täler wirken als nächtliche Kaltluftammelgebiete. Die dort in windschwachen wolkenarmen Strahlungsnächten von den Kaltlufteinzugsgebieten der Hänge und Höhen zusammenfließende Kaltluft lässt niedrige nächtliche Temperaturminima entstehen, die am Tage – insbesondere im Sommer – durch die für Täler typischen Übertemperaturen im statistischen Mittel wieder ausgeglichen werden. Extrem niedrige nächtliche Temperaturminima ergeben sich, wenn eingeflossene Kaltluft an Strömungshindernissen zu einem stagnierenden Kaltluftsee aufgestaut wird. Es sind dies auch jene spät- und frühfrostgefährdeten Bereiche, in welchen frostempfindliche Sonderkulturen nicht möglich sind oder zumindest häufig geschädigt werden (vgl. Abschnitt 6.2.4 und **Abb. 6/22**).

Im Interesse einer energiebewussten Planung sind Kaltluftammelgebiete, insbesondere aber Kaltluftstaugebiete für eine Besiedlung zu meiden. Die geländeklimatischen Nachteile können hier durchaus mit einem um 20% höheren Heizenergieverbrauch zu Buche schlagen.

Dunst- und Nebelhäufigkeit

Gegenden mit großer Dunst- und Nebelhäufigkeit sind während der austauschärmeren Heizzeit gleichermaßen durch ein herabgesetztes Temperaturniveau und verminderte Sonneneinstrahlung gekennzeichnet. Es handelt sich dabei meistens um die oben erwähnten Kaltluftammelgebiete und Kaltluftstaugebiete in Tal- und Muldenlage, aber auch um ebene offene Landschaften mit Gewässern und Feuchtgebieten. Ausdruck der vorhandenen Austauscharmut ist die große Häufigkeit von Bodeninversionen der Temperatur, die durch die **Abbildungen 3/21 und 3/22** erläutert werden.

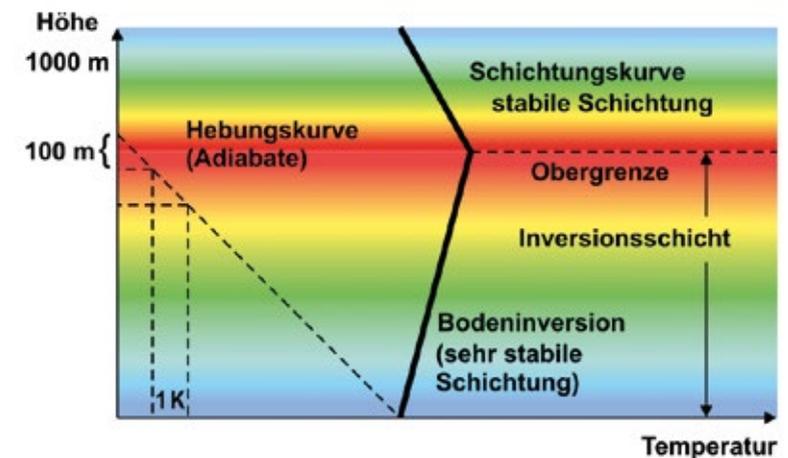


Abb. 3/21 Vertikales Temperaturprofil mit Bodeninversion

Während normalerweise die Lufttemperatur mit der Höhe in der freien Atmosphäre um etwa 1°C pro 100 m abnimmt, erfolgt im Bereich einer Temperaturinversion eine Temperaturzunahme mit der Höhe, z. B. aufgrund von zufließender Warmluft in der Höhe. Inversionen bedeuten eine Sperre für den vertikalen Luftaustausch und begünstigen somit das Auftreten von Dunst und Nebel,

insbesondere wenn sie dem Erdboden direkt aufliegen. Man spricht dann von einer Bodeninversion, wobei die Gründe für das Vorhandensein einer bodennahen Kaltluftschicht meist in der Austauscharmut und starken nächtlichen Abkühlung der Erdoberfläche liegen. Bodeninversionsgefährdete Bereiche sind aufgrund ihres ungünstigen thermischen Niveaus und des zu erwartenden vermehrten Heizenergieaufwandes für die Besiedlung wenig geeignet.

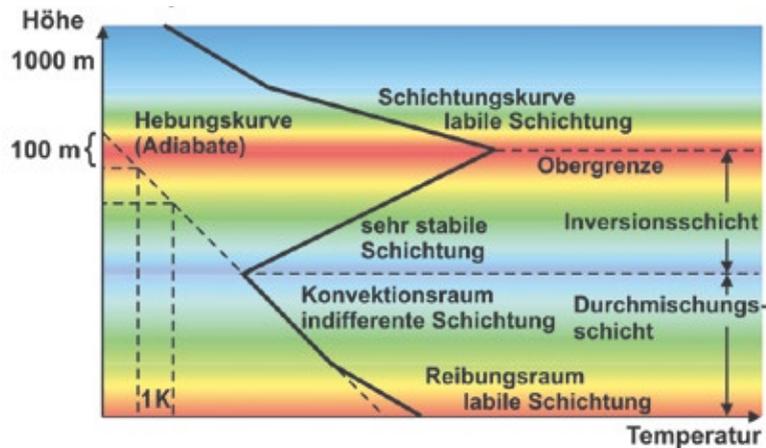


Abb. 3/22 Vertikales Temperaturprofil mit Höheninversion



Abb.3/23 Kaltluftsee, sichtbar durch Nebelbildung

Empfehlungen

Aus energetischen Gründen sind in jedem Fall die temperaturbegünstigten südost- bis südwestorientierten Halbhöhenlagen für eine Besiedlung am besten geeignet. Durch bewaldete Bergkuppen und Hangschultern können diese Lagen gegen Kaltlufteinbrüche der Hochebenen geschützt werden.

Zur Vermeidung von thermisch ungünstigen Lagen bei Standortplanungen empfiehlt sich zunächst eine gründliche Betrachtung der topographischen Situation. Auch die Art der bisherigen landwirtschaftlichen Nutzung kann Anzeichen für thermisch ungünstige Verhältnisse geben. Es existieren für Baden-Württemberg verschiedene vom Deutschen Wetterdienst ausgearbeitete Klimakarten zum thermischen Komplex. Für örtliche Fragestellungen sind Detailberechnungen über Sonderuntersuchungen notwendig.

In diesem Zusammenhang erweist sich die im Abschnitt 5.2 vorgestellte Infrarot-Thermographie von besonderem Wert. Die im Abschnitt 5.7 beschriebenen Klimaanalysekarten berücksichtigen Fragen der Heizenergie durch die Kartierung von Kaltluftsammlgebieten und Kaltluftstaubereichen. Auch werden in derartigen Karten bodeninversionsgefährdete Bereiche sowie Gebiete mit verstärktem Auftreten von Dunst und Nebel hervorgehoben. Auch Bioklimadaten, wie z. B. im KLIMAATLAS DES VERBANDES REGION STUTTGART (2008) sind wertvolle Unterlagen.

■ 3.4 Der Wind als Einflussgröße energiebewusster Planung

Wie alle meteorologischen Parameter ist auch der Wind keine von der Sonnenstrahlung unabhängige Einflussgröße. Da der Wind mechanische Kräfte zerstörerischen Ausmaßes ausüben vermag und seine Wirkung u.a. Verwehung, Mischung und Transport luftfremder Stoffe umfasst, kommt dieser Größe gerade im Bauwesen und in der Energiewirtschaft eine besondere Bedeutung zu. Dies schlägt sich auch in den traditionellen und heute perfektionierten Formen der Windkraftnutzung nieder. Auf die diesbezüglichen

Aktivitäten sei aus Gründen der Aktualität hingewiesen. So hat das Land Baden-Württemberg einen Windatlas (Abb. 3/24) erarbeitet, der einen Überblick über die Potentiale in Baden-Württemberg gibt.

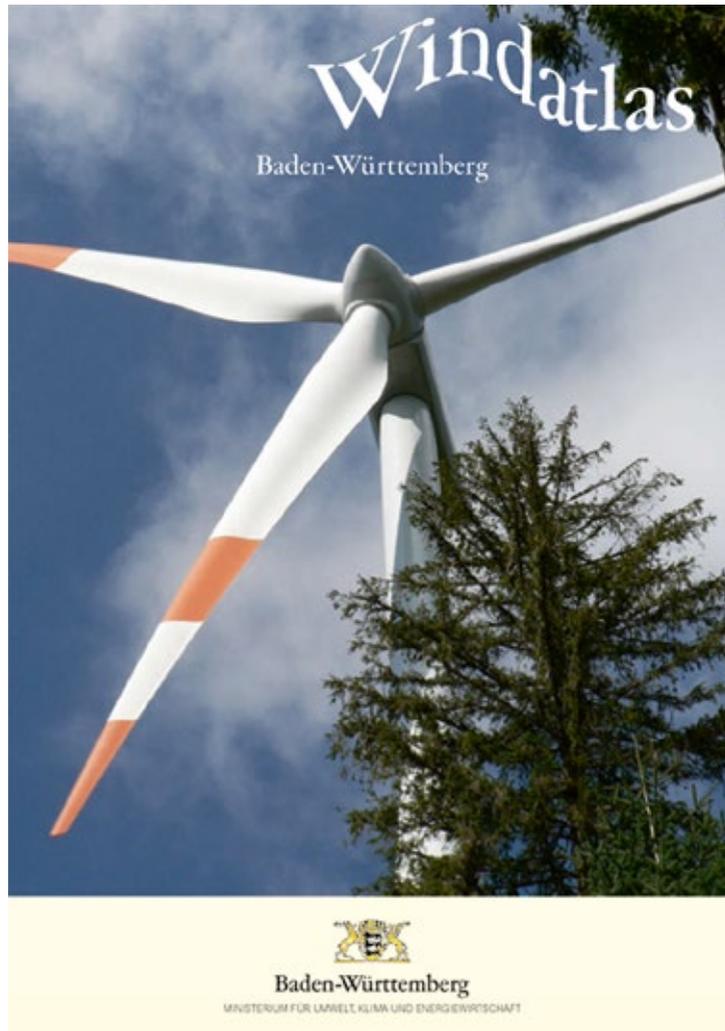


Abb. 3/24 Windatlas Baden-Württemberg, Quelle: MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT, 2011

Am 09.05.2012 wurde durch den Landtag Baden-Württemberg die Novelle des Landesplanungsgesetzes verabschiedet, mit dem Ziel, der Windenergie mehr Raum zu geben. Die Regionalverbände können künftig nur noch Vorranggebiete für die Windenergie ausweisen. Die bestehenden Vorrang- und Ausschlussgebiete für Standorte regionalbedeutsamer Windkraftanlagen werden hingegen zum 01.01.2013 aufgehoben. Die Gemeinden können dann nach § 35 (3) 3. BauGB die Vorhaben zur Windenergienutzung steuern, soweit dies aus städtebaulichen Gründen erforderlich ist.

Mit dem WINDENERGIEERLASS BADEN-WÜRTTEMBERG (2012) liegen Handreichungen und Leitlinien für Behörden und Planungsträger zur Vereinheitlichung der Planungspraxis vor. Er enthält Ausführungen zu Planungsgrundlagen und -hinweisen für die Regional- und Bauleitplanung und erläutert die Voraussetzungen für die immissionsschutzrechtliche Genehmigung von Windenergieanlagen.

Im Zusammenhang mit dem energiebewussten Planen und Bauen im Sinne dieser Fibel geht es jedoch nicht um die Windkraftnutzung, sondern um die Eigenschaft des Windes, durch Wärmeübergang und Wärmetransport den Wärmebedarf von Räumen wesentlich zu beeinflussen. Über Fugen bzw. Undichtigkeiten in den Außenbauteilen bestimmt der Wind auch die Luftwechselrate von Räumen. Dabei möglicherweise auftretende Zugbelastungen können von den jeweiligen Raumnutzern im Interesse eines behaglichen Aufenthalts oft nur durch übermäßiges Heizen ausgeglichen werden, weshalb die ENEC (2009) die Fugendurchlässigkeit von Türen und Fenstern beschränkt. (Begrenzung der Lüftungswärmeverluste).

In der DIN EN 12831 (Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs) wird dem Faktor Wind durch die Parameter „Lage“ (normal oder frei), durch die „Gegend“ (windschwach oder windstark) und die „Bauart“ (Einzel- oder Reihenhauses) Rechnung getragen. Die mittleren Windgeschwindigkeiten umfassen in Deutschland die Spanne vom 2 m/s bis 7 m/s. Die Windgeschwindigkeit wirkt sich auf den Heizwärmeverbrauch aus. Je besser allerdings die Wärmedämmung und die Fugendichtigkeit, d.h. der bauliche Wärmeschutz, desto geringer wirkt sich die Windgeschwindigkeit aus. Bei Vermeidung extrem windexponierter Lagen beeinflusst der Wind den

Wärmeverlust insbesondere neuer Gebäude nur gering. Im Folgenden sollen die Informationen vermittelt werden, die es ermöglichen, eine Standortsituation bzgl. ihrer Windverhältnisse zu beurteilen. Im Interesse einer energiesparenden Bebauung geht es dabei um möglichst windschwache, turbulenzarme Standorte.



Abb. 3/25 Windmesser (Schalenstern-Anemometer)

Nicht unerwähnt bleiben darf jedoch, dass dieser Aspekt oft mit den Belangen der Luftreinhaltung und der stadtklimatischen Frage optimaler Durchlüftung konkurriert. Gerade im windschwachen Südwesten Deutschlands hat das Argument, durch ausreichend belüftete Standortflächen den Nachteilen allgemeiner Austauscharmut wie Luftverschmutzung, Schwüle und Nebelhäufigkeit zu begegnen, großes Gewicht. Es sollte deshalb bei Berücksichtigung der energetischen Einflussgröße Wind das Hauptaugenmerk darauf gelegt werden, extrem ungünstige, d. h. besonders windexponierte Standorte zu vermeiden bzw. kompakte Bauweisen zu bevorzugen. Durch die Untersuchung von Planungsalternativen wären dann gegebenenfalls Kompromisse mit anderen Planungsfaktoren herzustellen.

3.4.1 Windstatistik

Der Wind hat die Eigenschaft, in den Größen, die ihn kennzeichnen, keine Konstanz zu zeigen, sondern kurzfristig Geschwindigkeit und Richtung zu ändern. Die Auswertung meist langjähriger Beobachtungen bzw. Messungen liefert eine Windstatistik. Die Windrose gibt die prozentuale Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Windrichtungen (aus denen der Wind kommt) gemäß der Kompass-Skala an. Die Häufigkeit für das Auftreten von Windstille (Calmen) ist meistens in einem freien Feld in der Mitte des Diagramms verzeichnet. Für Anwendungen im Bereich der Energiewirtschaft empfiehlt sich eine Betrachtung der jahreszeitlichen Windrichtungsverteilung, bzw. des Sommers und des Winters wie im Beispiel der **Abbildung 3/26** gezeigt.

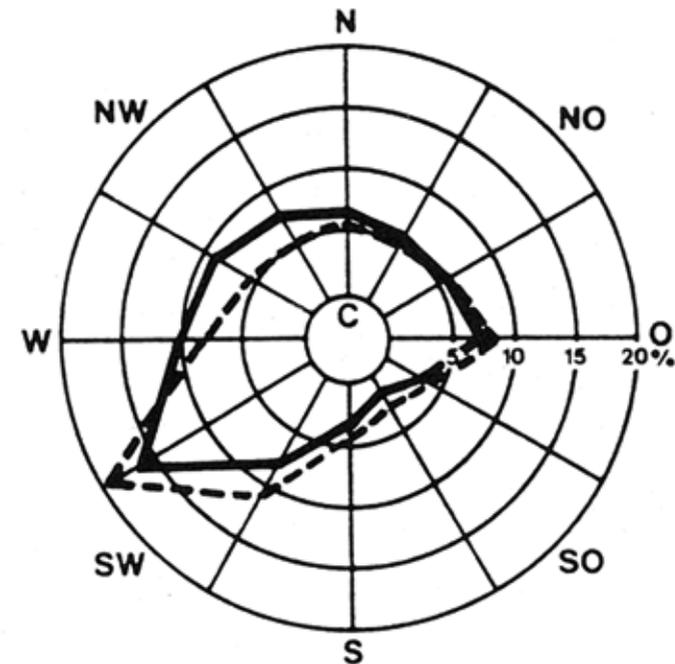


Abb. 3/26 Windrose S-Flughafen, Sommerhalbjahr: durchgezogene Linie, Winterhalbjahr: gestrichelte Linie, Quelle: DWD

Die Einbeziehung der Windgeschwindigkeit vervollständigt die Information über die mittleren Windverhältnisse. So wird in der Häufigkeits-Stärke-Windrose (kurz: Stärkewindrose) die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Windgeschwindigkeitsbereiche für jede Windrichtung gesondert dargestellt. Im Fall der **Abbildung 3/27** wurde eine Darstellungsart gewählt, welche die Windrichtungshäufigkeiten zweier Geschwindigkeitsbereiche, nämlich der sehr schwachen und der sehr starken Winde gegenüberstellt.

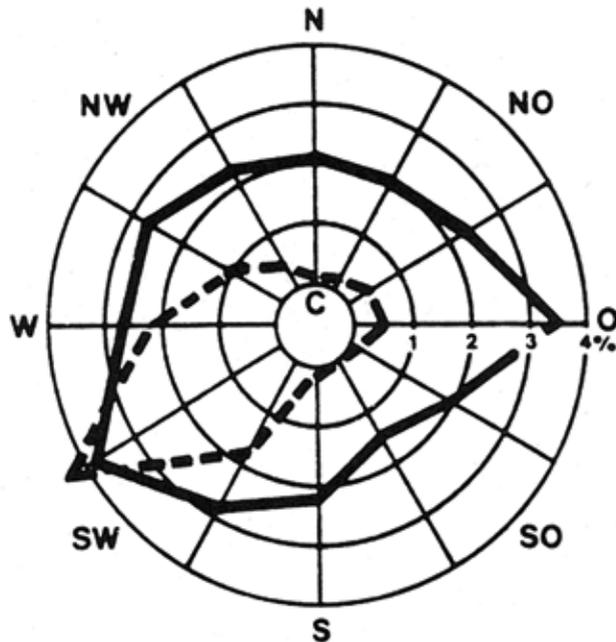


Abb. 3/27 Stärkewindrose S-Flughafen, schwache Winde (0,5 bis 1,5 m/s): durchgezogene Linie, starke Winde (> 5,5 m/s): gestrichelte Linie, Quelle: DWD

Die Darstellung zeigt, dass am Messort die Richtung der häufigsten Winde (Hauptwindrichtung) mit der Richtung der im Mittel stärksten Winde identisch ist. Gleichzeitig erweist sich die Windrichtung Ost als typische Schwachwindrichtung, welche in diesem unteren Stärkebereich der Hauptwindrichtung an Häufigkeit nur geringfügig nachsteht.

Tabelle 3/2 gibt eine Übersicht der mittleren Windgeschwindigkeit nach Monaten und Windrichtungen sowie für das Jahresmittel für Mannheim (2,5 m/s).

Richtung	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	Mittel
Januar	1,9	2,0	1,9	1,8	3,3	4,3	4,2	3,0	3,1
Feb.	1,9	2,4	2,6	2,0	2,8	3,7	3,2	2,3	2,5
März	2,1	2,3	2,5	1,8	3,1	4,3	3,7	2,9	3,0
April	2,4	3,0	2,8	1,8	2,7	3,5	3,5	2,9	2,8
Mai	2,0	2,4	2,8	1,8	2,4	3,0	3,1	2,5	2,4
Juni	2,0	2,2	2,0	1,5	2,2	3,1	3,3	2,6	2,3
Juli	2,0	2,0	1,8	1,7	2,2	2,9	3,2	2,4	2,2
August	1,8	2,0	1,8	1,8	2,2	2,8	2,7	2,2	2,1
Sept.	1,6	1,9	1,5	1,4	2,6	3,1	3,2	2,0	2,1
Okt.	1,5	1,5	1,8	1,5	2,7	3,2	3,0	1,7	2,1
Nov.	1,6	2,2	2,1	1,2	3,0	3,9	3,7	2,1	2,7
Dez.	1,6	1,6	1,4	1,5	3,2	4,1	3,9	2,5	2,8
Jahr	1,9	2,2	2,2	1,7	2,8	3,6	3,4	2,5	2,5

Tab. 3/2 Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s; Mannheim 1976 - 1986, aus DIN 4710

Am stärksten sind im Mittel Südwestwinde (3,6 m/s), während es die Südostwinde im Mittel nur auf 1,7 m/s bringen. In Mannheim sind im Jahresverlauf der Januar (3,2 m/s) und der März (3,0 m/s) und der Dezember (2,8 m/s) die windstärksten Monate. Allgemein werden in Deutschland im November die höchsten und im August und September die geringsten Windgeschwindigkeiten gemessen (vgl. dazu DIN 4710, Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauches).

Eine Temperaturwindrose bedeutet die Kombination von Zeitreihen des Windes und der Lufttemperatur. Sie beantwortet die Frage, welche Temperaturen am Messstandort auftreten, wenn der Wind aus einer bestimmten Richtung weht. Da sommerliche Ostwinde mit hohen Lufttemperaturen verbunden sind, während östliche Winde im Winter Kälte bedeuten, ist es nicht sinnvoll, die Daten zu einer Jahresstatistik zu vereinen. Hier führt nur die in **Abbildung 3/28** gewählte jahreszeitliche Differenzierung zu verwertbaren Informationen.

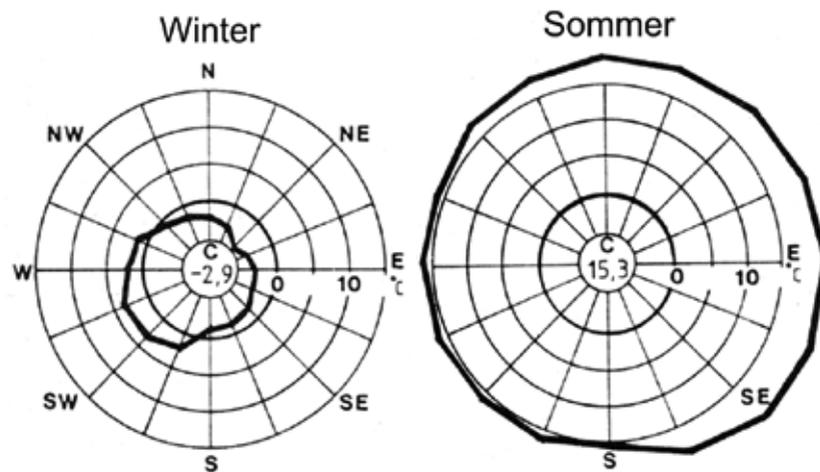


Abb. 3/28 Jahreszeitliche Temperaturwindrosen, Stuttgart-Vaihingen, C = Calme = Windstille

■ 3.4.2 Folgerungen aus der Windstatistik

Für eine energiebewusste Planung sind zwei Windrichtungen von allgemeinem Interesse: Die Hauptwindrichtung im westlichen Richtungsquadranten ist die Richtung der häufigsten und zugleich auch stärksten Winde, vor allem im Winter. Östliche Winde sind nicht so häufig und mit niedrigeren Windgeschwindigkeiten verbunden. Sie treten im Winter jedoch im Zusammenhang mit besonders niedri-

gen Lufttemperaturen auf. Da insbesondere nach Westen orientierte Räume einen durch den Wind bedingten erhöhten Wärmebedarf haben, wirken sich hier windabschirmende Maßnahmen, mindestens jedoch die Vermeidung ausgesprochener West-Exposition günstig auf den Heizwärmeverbrauch aus. Nach Osten orientierten Außenwänden sollte ebenfalls bezüglich der Wärmeisolierung und Fugendichtheit besondere Aufmerksamkeit zukommen, wobei auch hier eine geschützte Lage zu empfehlen ist.

In stark windbelasteten Gebieten empfiehlt es sich, zur Reduzierung von Druck- und Sogkräften bezüglich der Hauptwindrichtung durch Schrägstellung der Baukörper die Angriffsfläche des Windes zu vermindern. Bei einer Drehung der Baukörperlängsachsen um 45° gegen die Hauptwindrichtung kann bei gestaffelter Gebäudeanordnung Windschatten für weiter hinten liegende Häuser bewirkt werden. Bezüglich der Hauptwindrichtung gilt es jedoch, Lücken- und Düsenwirkungen durch die Baukörperstellung zu vermeiden. Gegebenfalls müssen im Bereich von Gebäudelücken – am besten pflanzlicher – Windschutz vorgesehen werden. (s. a. **Abb. 2/10**).

■ 3.4.3 Windzunahme mit der Höhe

Mit zunehmender Höhe über Grund vermindert sich die den Wind bremsende Wirkung von Strömungshindernissen am Boden, so dass infolge der abnehmenden Bodenreibungskräfte die Windgeschwindigkeit mit der Höhe anwächst (s.a. **Abb. 2/9**).

Auf Bergkuppen herrscht somit ein höheres Windgeschwindigkeitsniveau, was wegen der herabgesetzten Bodenreibungskräfte auch für ebene hindernisfreie bzw. „ausgeräumte“ Landschaften gilt. In der Höhe exponiert gelegene Siedlungen unterliegen deshalb in besonderem Maße den heizenergieverzehrenden Windeinwirkungen. Dieser energetische Nachteil wird im Fall von Hochhäusern noch verstärkt, da diese stets in die Zone höherer Windgeschwindigkeit hineinragen. Aufgrund des bei Hochhäusern besonders ungünstigen Verhältnisses der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (A) zum hiervon eingeschlossenen Bauwerksvolumen (V)

ergibt sich ein sog. Kühlrippeneffekt (großes A/V - Verhältnis). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Hochhäuser als markante Strömungshindernisse den Turbulenzzustand der Windströmung erhöhen, was den Austausch und die Wärmetransmission auch in Bodennähe sowie in der Umgebung der Hochhausbebauung steigert.



Abb. 3/29 „Kühlrippeneffekt“ einer Hochhausbebauung auf Bergkuppe als Negativbeispiel

Empfehlungen

Durch ausreichende Wärmeisolierung und Fugendichte der Gebäude lassen sich energetisch nachteilige Windwirkungen auf baulicher Seite weitgehend vermeiden. Durch ein entsprechendes städtebauliches Konzept kann Heizwärmeverlust zusätzlich vermieden werden.

Die Notwendigkeit den Windschutz berücksichtigender Baukonzeptionen ist auch eine Frage der auftretenden Windgeschwin-

digkeiten und somit in Küstennähe weit größer als im süddeutschen Binnenland. Im Falle windexponierter Standorte in ausgeräumter Landschaft sowie im Bereich von Kuppenlagen sollten die nachstehenden Elemente eines Windschutzkonzeptes jedoch stets geprüft werden:

- Kompakte Bauform unter Vermeidung von dem Wind zugewandten Breitseiten sowie mit dem Ziel optimalen Windschattens im Inneren der Siedlung,
- Baukörpergestaltung mit möglichst kleinem auf die Gesamtsiedlung bezogenen A/V - Verhältnis (Idealbild: Kugel und Würfel),
- Anlage oder Ausnutzung von vorhandenem Windschutz (immergrüne Gehölze) gegenüber westlichen und östlichen Winden,
- Vermeidung oder Entschärfung zugiger Bauungslücken und Durchlässe.

Bei vermutlich windbelasteten Großprojekten ist eine Untersuchung des Bauungsmodells im Windkanal (Kap. 4.2) oder durch Strömungssimulation (Kap. 4.3) sinnvoll.

■ 4. Methoden der Informationsgewinnung für die Planung

(Messungen, Windkanal, Numerische Modellierung)

■ 4.1 Messungen

Die stationären Mess- und Beobachtungsnetze, wie z. B. das synoptisch-klimatologische Netz des Deutschen Wetterdienstes oder die Ländermessnetze zur Luftüberwachung wurden für andere Fragestellungen konzipiert als für die der Stadtklimatologie und Stadtplanung. Um kleinräumige Strukturen und Unterschiede des Klimas oder der Luftsituation zu erfassen, müssen deshalb spezielle Mess- und Erfassungsmethoden entwickelt werden.

Sofern möglich, sollten jedoch die Messstationen schon vorhandener Netze eingebunden werden, da an diesen Messstellen in der Regel Langzeitdaten vorliegen, während bei speziellen Untersuchungen die Messzeiten meist begrenzt sind. So ist es möglich, temporäre Messungen an vorhandene Langzeitmessreihen anzupassen.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) unterhält 170 hauptamtliche Klimastationen, die durch über 2500 nebenamtliche Klima- und Niederschlagsstationen ergänzt werden. Mit weiteren knapp 1.500 phänologischen Beobachtungsstellen sowie Wetterradar, Strahlungs-, Ozon- und aerologischen Messtationen ist dies die Grundlage für die Gewinnung meteorologischer Daten. Damit betreibt der DWD das dichteste und eines der zuverlässigsten Stationsnetze in Europa. Auch bei den Luftmessstationen kann auf vorhandene Messnetze der Länder zurückgegriffen werden. Das Land Baden-Württemberg betreibt 36 vollautomatische Stationen (2012). Davon 26 Stationen in Siedlungsgebieten (städtischer Hintergrund), 2 Stationen im ländlichen Hintergrund und 8 Verkehrsstationen, deren Daten in Karlsruhe bei der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) gesammelt und ausgewertet werden (**Abb. 4/1**).



Abb. 4/1 Luftüberwachungsmessnetz in Baden-Württemberg, Quelle: LUBW, Stand 2014

Das Umweltbundesamt betreibt deutschlandweit ein eigenes Messnetz u. a. mit Stationen in Rottenburg und am Schauinsland. (<http://www.umweltbundesamt.de/luft/luftmessnetze/ubamessnetz.htm>).

■ 4.1.1 Stationäre Messungen

In Gebieten mit einem ausgeprägten Relief, wie es z.B. in Süddeutschland häufig gegeben ist, treten kleinräumige Klimaunterschiede auf, die ein relativ dichtes Messnetz erfordern, wobei üblicherweise die Klimaelemente Lufttemperatur, Luftfeuchte, die Windrichtung und -geschwindigkeit und der Niederschlag im Vordergrund stehen. Die Messdauer sollte dabei mindestens ein Jahr umfassen, damit alle jahreszeitlichen Unterschiede erfasst werden. Bei orientierenden Messungen, z.B. von Kaltluftflüssen, können die Messzeiträume auch kürzer sein.

Je nach Fragestellung werden ergänzend auch Luftschadstoffmessungen durchgeführt. Häufig stehen dabei stark verkehrsbedingte Luftschadstoffe, wie Stickstoffdioxid und Feinstaub im Vordergrund, während Ozon als großräumiges Problem keine unmittelbare stadtplanerische Bedeutung hat. Um von punktuellen Messergebnissen zu flächenhaften Aussagen zu kommen, ist es erforderlich, numerische Verfahren anzuwenden um – je nach Randbedingungen und Gelände – die Strömungs- und Ausbreitungssituation beschreiben zu können (s.a. Kap. 4.3).

■ 4.1.2 Messungen mit mobilen Messeinrichtungen

Um der hohen räumlichen und zeitlichen Variation stadtklimatischer Parameter Rechnung zu tragen, sind auch ergänzende Messungen mit mobilen Messeinrichtungen sinnvoll. Diese können aus der Luft, mit dem Kraftfahrzeug, Fahrrad aber auch zu Fuß erfolgen. Kombinierte Klima-Luftmesswagen gleichen dabei in ihrer Ausstattung den Messstationen, können also alle gängigen meteorologischen Größen und Luftschadstoffe zeitgleich erfassen (**Abb. 4/3**). Müssen auch abgelegene Orte vermessen werden, ist möglicherweise Geländetauglichkeit des Fahrzeugs erforderlich. Mit Hilfe von Navigationssystemen lassen sich definierte Messpunkte metergenau anfahren.



Abb. 4/2 Messstation für Luftschadstoffe, Stuttgart-Bad Cannstatt, Betreiber: LUBW

Je nach Aufgabenstellung kann die Messdauer an einem Ort erheblich variieren. Dabei sind mindestens die Einstellzeiten der einzelnen Messgeräte und das Abklingen von Störungen durch das eigene Fahrzeug abzuwarten. Für eine örtlich repräsentative

Probenahme sind ggf. weitere Anforderungen zu berücksichtigen. Ist gleichzeitiges Messen an verschiedenen Orten erforderlich, kommen mehrere Messfahrzeuge zum Einsatz, ansonsten kann (z. B. bei Rastermessungen) mit einem Fahrzeug eine Route abgefahren werden. Die für eine vergleichende Betrachtung notwendige zeitliche Repräsentativität wird hier auf längere Sicht durch Variation der Startzeit bzw. des Startpunktes erzielt, so dass beispielsweise über ein Jahr verteilt jeder Messpunkt zu verschiedenen Tages-, Wochen- und Jahreszeiten angefahren wird. Sinnvoll ist jedoch immer auch ein Abgleich mit einer kontinuierlich arbeitenden Messstation im Untersuchungsgebiet.



Abb. 4/3 Mobile Messeinrichtung für Luftschadstoffe und meteorologische Größen

Die **Abbildung 4/4** zeigt das Ergebnis von Temperaturmessfahrten im Bereich eines großen innerstädtischen Parks und seiner Umgebung. Im Vergleich niedrigere Lufttemperaturen herrschen im Park und der unmittelbaren Umgebung. Ein tieferes Eindringen kühler Luft in die bebaute Umgebung ist nur dort möglich, wo das Relief das Ausbilden einer Kaltluftströmung unterstützt.

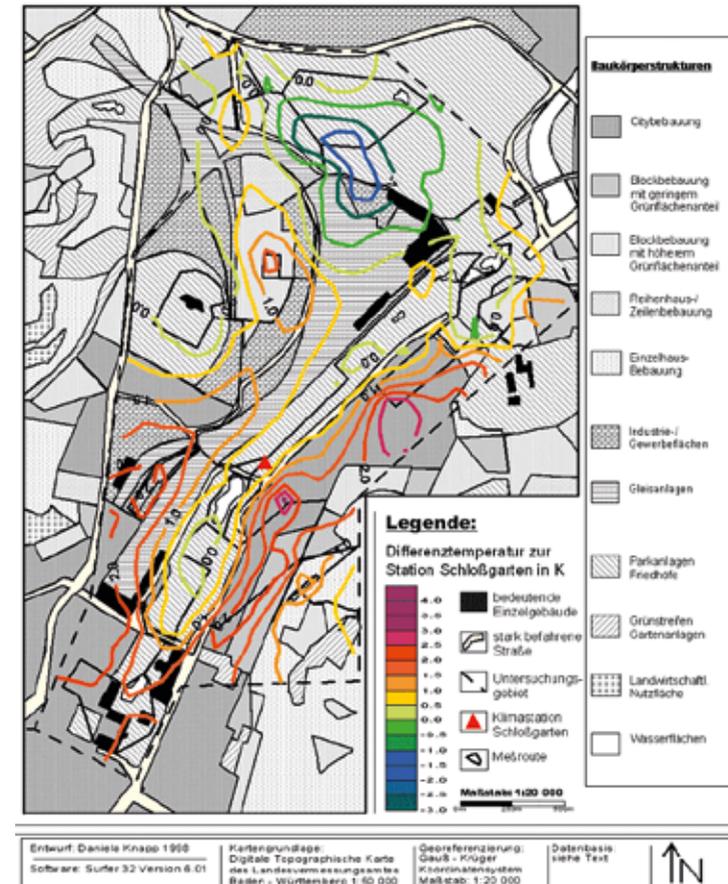


Abb. 4/4 Lufttemperaturverteilung im Bereich der innerstädtischen Parkanlagen in Stuttgart, gewonnen aus Messfahrten; KNAPP, 1998

Flächenhafte Informationen erhält man u.a. mittels Fernerkundungsmethoden (z. B. Thermalaufnahmen mit Infrarotsensor durch Befliegung bzw. durch Satelliten). Es entstehen dadurch in hoher räumlicher Auflösung gleichzeitig Daten für wenige ausgewählte Zeitpunkte (s.a. Kap. 5.2).

4.1.3 Tracerexperimente

Um Strömungs- und Transportvorgänge zu erfassen, wird ein Tracer (engl. Trace: Spur) ausgebracht, der dann verfolgt bzw. gemessen werden kann. Im einfachsten Fall besteht der Tracer aus Rauch. Dieser meist farbige Rauch vermischt sich mit der strömenden Luft, wird mit dieser transportiert und kann so z. B. fotografisch dokumentiert und ausgewertet werden. Üblicherweise werden Rauchpatronen zur Markierung von Kaltluftströmungen benutzt, da diese relativ langsam fließen und die vertikale Durchmischung gering ist. Die **Abbildung 4/5** zeigt den Einsatz einer Rauchpatrone zur Sichtbarmachung eines Kaltluftflusses.



Abb. 4/5 Kaltluftabfluss, markiert durch Rauchnebel, Quelle: KUTTLER und DÜTEMEYER, 2003

Aufwendiger ist der Einsatz von Tracergasen wie z. B. Schwefelhexafluorid (SF_6). Hier wird der Tracer an einer ausgesuchten Stelle freigesetzt und entlang der vermuteten Strömung an vielen Stellen dessen Konzentration bestimmt (**Abb. 4/6**), indem in regelmäßigen Zeitabschnitten Luftproben gesammelt werden. Die Auswertung (Konzentrationsbestimmung) erfolgt dann im Labor. Als Tracer eignen sich Gase, die rein anthropogen, chemisch stabil (inert), ungiftig und mit Standardmethoden bestimmbar sind.

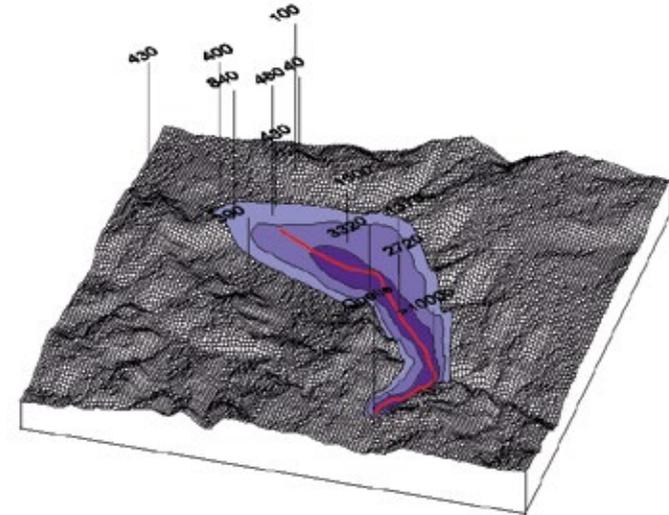


Abb. 4/6 Konzentrationsverteilung des Tracergases SF_6 in der Nacht über die gesamte Messdauer in ppb, rote Linie: mittels KALM berechnete Kaltlufttrajektorie (s.a. Kap. 4.3.2; BAUMBACH, 1999)

4.1.4 Vertikalsondierungen

Die Untersuchung der räumlichen Ausdehnung klimatischer Prozesse erfordert auch die Berücksichtigung der „dritten Dimension“ und somit die Erfassung vertikaler Strukturen der Stadtatmosphäre. Dafür kommen traditionell Messungen mit Hilfe ballongetragener freifliegender Radiosonden oder Fesselballonaufstiege in Frage. Bodengestützte Messverfahren mit der Möglichkeit kontinuierlicher Vertikalsondierung sind **SODAR** und **LIDAR**. Dabei werden hörbare Schallwellen (**SONAR-RaDAR**) oder Laser-Lichtwellen (**Light-RaDAR**) in die Atmosphäre abgestrahlt und die jeweiligen Rückstreuungen gemessen (Doppler-Effekt). Daraus lassen sich Windrichtung und -geschwindigkeit in einzelnen Höhenschritten zwischen ca. 20 m und 600 m erfassen. Das **RADAR**-Verfahren ist für Schichten oberhalb von 600 m sinnvoll einsetzbar.

■ **4.2 Windkanal**

■ **4.2.1 Allgemeines**

Die Anforderungen an die Ermittlung und Darstellung von Umweltauswirkungen im Bereich der Bauleitplanung sind ständig gestiegen, nicht zuletzt auch durch Änderungen im BauGB selbst. Zum einen ist dies sicherlich auch der Sensibilisierung der Bevölkerung im Umweltbereich geschuldet, zum anderen trägt die immer dichtere Besiedlung in unserem Land dazu bei, indem konfliktrichtige Nutzungen immer mehr zusammenwachsen.

Diese höheren Anforderungen haben dazu geführt, dass in speziellen Fällen auch zeitlich und finanziell aufwändigere Untersuchungsmethoden angewandt werden, zumal auch materielle Einbußen bzw. Schäden auf dem Spiel stehen. Eine dieser Methoden ist die Verwendung des Windkanals für planerische Fragestellungen.

Im Windkanal lassen sich grundsätzlich quantitativ untersuchen

- eine Änderung der großräumigen Durchlüftung im Planungs- und angrenzenden Gebiet
- die baukörperbedingte Modifikation der kleinskaligen Ausbreitung von Schadstoffen oder Gerüchen
- die Änderung des Windkomforts durch geplante Bauvorhaben

Insbesondere lassen sich im Windkanal Strömungs- und Ausbreitungsvorgänge auch für Entscheidungsträger/Gremien sehr anschaulich darstellen.

Typische Anwendungsbeispiele sind:

- Vermeidung störender Windströmungen in der Umgebung von Hochhäusern
- Wirkung von Plätzen und Straßen auf die Durchlüftung von Stadtgebieten
- Reduzierung von Schneeverwehungen an Straßen oder Abwehungen von Halden

- Positionierung der Außenluftansaugungen von Klimaanlage
- Verbreitung von Gerüchen ausgehend von Gewerbebetrieben, Deponien und Massentierhaltung
- Ausbreitung von Emissionen bei Störfällen

Der Untersuchungsbereich kann je nach Fragestellung einige Meter (lokaler Windkomfort) bis zu einigen Kilometern (Durchlüftung von Stadtgebieten) betragen.

Zur Beurteilung des Windkomforts notwendige Kriterien unterscheiden sich üblicherweise dahingehend, dass sie sich entweder auf den Stundenmittelwert der Windgeschwindigkeit (**Tab. 4/1**) oder auf die Böenwindgeschwindigkeit (**Tab. 4/2**) beziehen. In der sich in Arbeit befindlichen VDI – Richtlinie 3787, Blatt 4 „Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten und deren Bewertung“ wird versucht, ein einheitliches Bewertungsverfahren zu formulieren.

Windgeschwindigkeit (m/s)	Effekt
Bis ca. 1.5	Ruhe, keine merkliche Luftströmung
Ca. 1.6 - ca. 3.3	im Gesicht fühlbare Luftströmung
Ca. 3.4 - ca. 5.4	Wind bewegt leichte Fahnen
Ca. 5.5 - ca. 7.9	Papier fliegt auf, Frisur wird zerstört
Ca. 8.0 - ca. 10.7	Windkraft am Körper deutlich spürbar
Ca. 10.8 - ca. 13.8	Regenschirme mit Mühe zu benutzen
Ca. 13.9 - ca. 17.1	Schwierigkeiten beim Gehen

Tab. 4/1 Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Wirkung des Windes auf den Menschen (nach STIEMER, 1977)

Böenwindgeschwindigkeit	Überschreitungshäufigkeit	Beurteilungskriterien
< 6 m/s > 6 m/s	- max. 5%	keine Windkomfortprobleme zulässig in Parks, Wartebereichen, Straßencafes, auf Spielplätzen,
> 6 m/s > 15 m/s	max. 20% max. 0.05%	zulässig auf Flächen für kurzzeitigen Aufenthalt (weniger strenges Kriterium) bzw. die schnell überschritten werden
> 8 m/s	max. 1%	zulässig in Warte- und Sitzbereichen
> 10 m/s	max. 1%	zulässig auf Flächen für kurzzeitige Aufenthaltszeit (strenges Kriterium)
> 13 m/s	max. 1%	zulässig an Gebäudeecken zulässig für problemloses Laufen
> 13 m/s	> 1%	unangenehm, lästig, Windschutz
> 18 m/s	> 1%	Gefahr

Tab. 4/2 Kriterien zur Beurteilung der Windverhältnisse für ein bestimmtes Objekt, Quelle: LOHMEYER et al., 1992

■ 4.2.2 Funktionsweise und Untersuchungsmethoden

Bei stadtklimatologischen Untersuchungen im Windkanal ist es notwendig, ein der Natur entsprechendes Windprofil zu erzeugen. Im Windkanal wird dies erzeugt, indem die nach Passieren der Einlaufdüse zunächst gleichförmige und turbulenzarme Strömung durch sogenannte Wirbelgeneratoren und über Rauigkeitselemente (s. **Abb. 4/7**) geleitet wird. Die Wirbelgeneratoren verbauen den Strömungsquerschnitt unten stärker als oben und formen damit das typische Grenzschichtprofil vor, bevor die durch Bodenrauigkeit erzeugte Scherturbulenz in die Strömung hineinwachsen kann (**Abb. 4/8**). Grenzschichtwindkanäle benötigen daher eine gewisse Mindestlänge im Verhältnis zur nutzbaren Teststrecke.



Abb. 4/7 Turbulenzgeneratoren und Rauigkeitselemente im Grenzschichtwindkanal Wotan, Quelle: UNIVERSITÄT HAMBURG, INSTITUT FÜR METEOROLOGIE

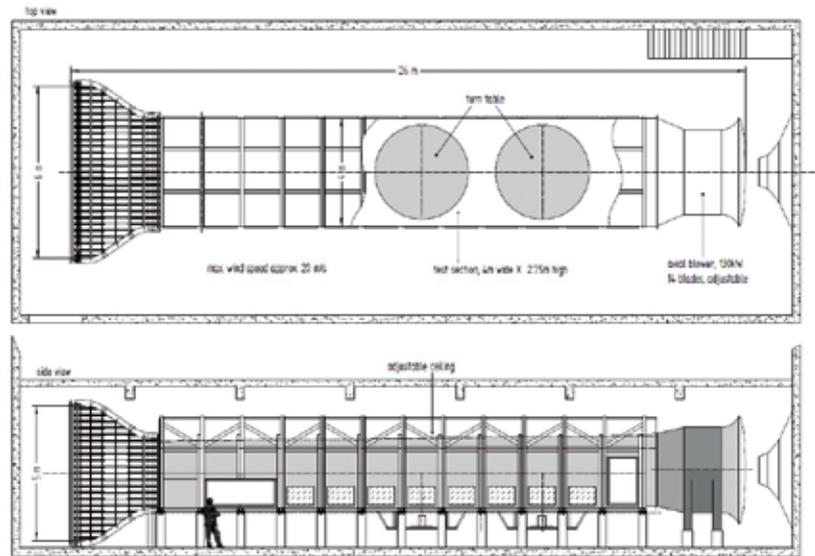


Abb. 4/8 Aufbau eines Grenzschichtwindkanals von oben und von der Seite, Quelle: UNIVERSITÄT HAMBURG, INSTITUT FÜR METEOROLOGIE

Im Rahmen dieser Fibel kann auf die Theorie der Windkanalmodellierung nicht näher eingegangen werden, verwiesen sei hier auf die Fachliteratur (z.B. PLATE, 1982; SCHATZMANN et al., 1986). Wesentlich ist bei strömungsmechanischen Untersuchungen, dass die entsprechenden Modellgesetze (Ähnlichkeitskriterien) erfüllt sind und somit die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die natürlichen Verhältnisse sichergestellt ist. Dies ist der Fall, wenn die Längen im Modell ein festes Verhältnis zu den Längen in der Natur aufweisen und die anströmende Grenzschicht sowie die Umströmung der Hindernisse „ähnlich“ zur Natur sind. Die reale Größe der zu untersuchenden Modelle hängt von den einzelnen Windkanälen und den Fragestellungen ab. Vielfach können Modelle mit Durchmessern von 2 Metern und mehr untersucht werden. Die **Abbildung 4/9a** zeigt exemplarisch das Modell eines Stadtgebiets im Windkanal, die **Abbildung 4/9b** das Windkanalmodell zur Untersuchung zweier geplanter Hochhäuser in bereits bebauten Umgebung.



Abb. 4/9a Modell im Windkanal, Quelle: UNIVERSITÄT HAMBURG, INSTITUT FÜR METEOROLOGIE

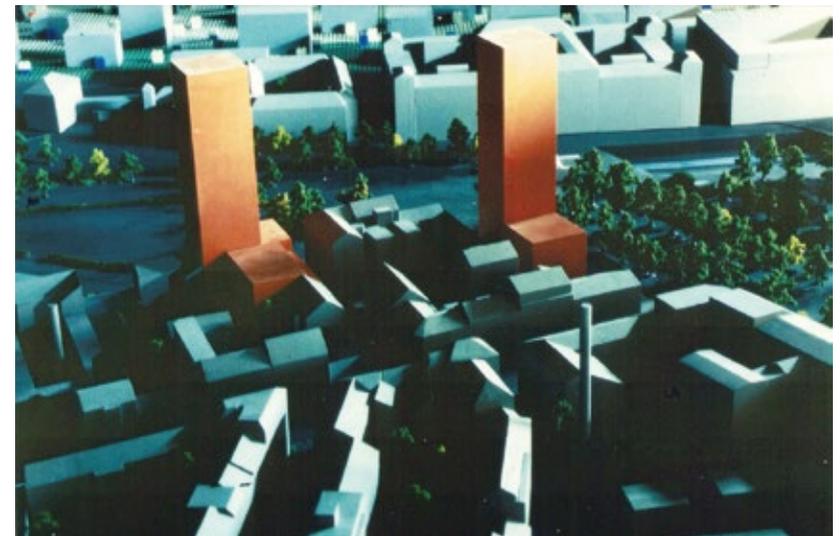


Abb. 4/9b Windkanalmodell zweier geplanter Hochhäuser in einer städtischen Bebauung, Quelle: INGENIEURBÜROTHEURER

Der Vorteil des Windkanals gegenüber Messungen vor Ort liegt darin, dass sowohl Istzustand als auch Planungen (inkl. Alternativen) sehr schnell erfasst und vermessen werden können. Allerdings liegt ein gewisser Zeitaufwand in der Erstellung eines geeigneten physikalischen Modells. Die Stärken von Windkanaluntersuchungen auch gegenüber Modellrechnungen sind die hohe räumliche und vor allem auch zeitliche Auflösung. So treten keine Probleme mit Gebäudekonturen auf, auch runde Formen (beispielsweise Kuppeln) lassen sich naturgetreu nachbilden. Weiter lassen sich auch instationäre Strömungs- und Ausbreitungsvorgänge, wie Windrichtungs-, Geschwindigkeits- und Konzentrationsfluktuationen durch die Messung von Zeitreihen erfassen (THEURER, 2012).

Abhängig von der jeweiligen Fragestellung, aber auch von der erforderlichen Genauigkeit der Aussagen werden im Windkanal verschiedene Messmethoden eingesetzt, Häufig bedarf es auch nur einer rein qualitativen Aussage. Nachfolgende beschriebene Untersuchungsmethoden werden üblicherweise verwendet.

■ 4.2.2.1 Sichtbarmachung von Strömungen oder Schadstoffausbreitung durch Rauch

Vor dem Modell wird durch entsprechende Einrichtungen Rauch in die Grenzschicht eingeblasen, die Strömung wird sichtbar. Durch den Rauch werden Besonderheiten der Strömungsveränderung wie z. B. Nachlaufwirbel etc. erkennbar (Abb. 4/10a und 4/10b). Zur Visualisierung einer Schadstoffausbreitung wird an den potentiellen Schadstoffquellen (z.B. Schornstein) Rauch eingeblasen. Die Verteilung des Rauches im Untersuchungsgebiet und seine Verdünnung wird sichtbar und lässt sich fotografieren oder als Film festhalten. Quantitative Aussagen über die auftretenden Konzentrationen sind jedoch nicht möglich. Für eine grundsätzliche Demonstration der jeweiligen Problematik kann diese Darstellung jedoch sehr hilfreich sein.



Abb. 4/10a Nachlaufzone eines Gebäudes im Windkanal, durch Rauch sichtbar gemacht, Quelle: INGENIEURBÜROTHEURER

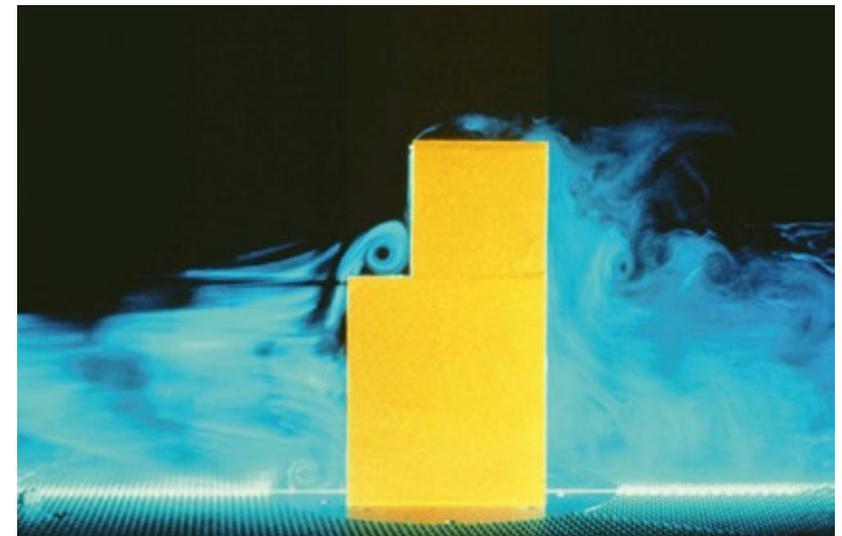


Abb. 4/10b Vertikales Strömungsfeld an einem Gebäude im Windkanal, durch Rauch sichtbar gemacht, Quelle: UNIVERSITÄT KARLSRUHE, INSTITUT FÜR HYDROMECHANIK

4.2.2.2 Windgeschwindigkeitsmessungen

Veränderungen des Windfeldes, wie sie z.B. durch Gebäude verursacht werden, lassen sich auf einfache Art dadurch untersuchen, dass das physikalische Modell flächig mit Sand bestreut und die lokale Erosion der Sandauflage bei verschiedenen Stärken der Anblasgeschwindigkeit registriert wird. Man erhält so Angaben über die Bereiche in der Umgebung der Gebäude, bei denen die Windgeschwindigkeit zu- oder abnimmt (**Abb. 4/11**).

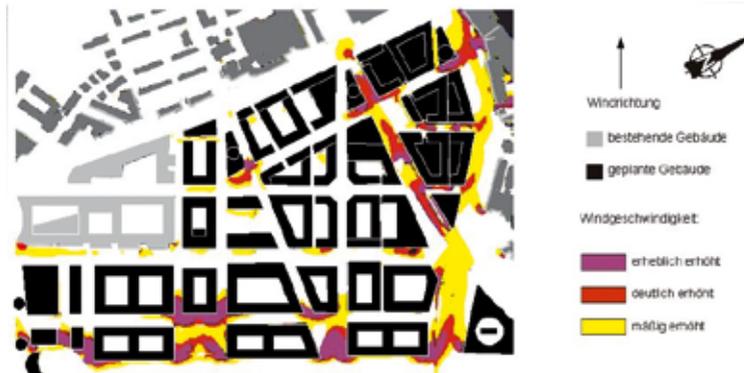


Abb. 4/11 Visualisierung erhöhter Windgeschwindigkeiten durch Sanderosionsuntersuchungen, Quelle: BLAZEK et al. 1998

Um Strömungsgeschwindigkeiten und deren schnelle zeitliche Änderung exakt feststellen zu können, kommen beispielsweise Hitzdraht- oder Laser-Doppler-Anemometer (LDA) zum Einsatz. Aufgrund ihrer geringen Abmessungen lassen sich erstere gut im Modell platzieren (**Abb. 4/12**, links). LDA messen berührungslos (**Abb. 4/12**, rechts). Beide Systeme zeichnen sich durch kurze Reaktionszeiten, wie sie zur Erfassung von Geschwindigkeitszeitreihen im Windkanal erforderlich sind, aus.

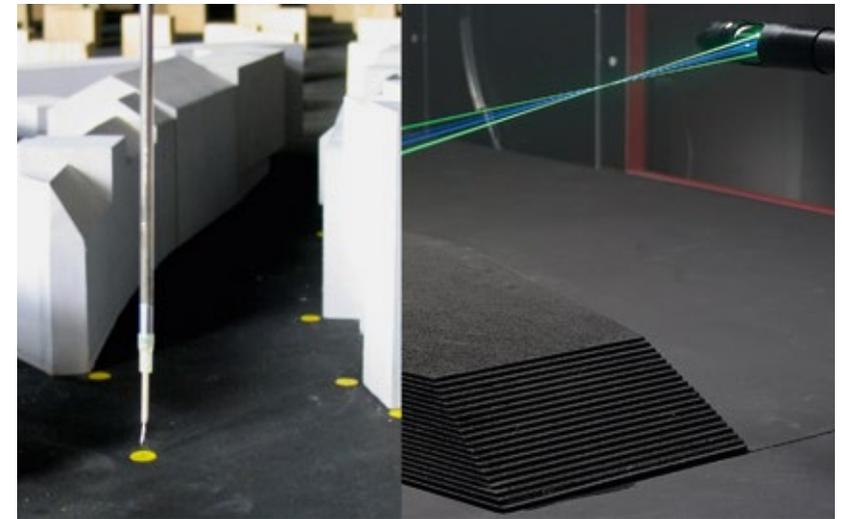


Abb. 4/12 links: Hitzdraht-Anemometer in Straßenschlucht, Quelle: INGENIEURBÜROTHEURER, rechts: Laser-Doppler-Anemometer, Quelle: UNIVERSITÄT HAMBURG, INSTITUT FÜR METEOROLOGIE

4.2.2.3 Messung der Konzentrationsverteilung bei Ausbreitungsversuchen

Zur quantitativen Erfassung von Schadstoffen im Windkanal werden Schadstoffquellen mit Hilfe eines geeigneten Tracergases wie CO_2 , Schwefelhexafluorid (SF_6) oder HC simuliert. An den gewünschten Immissionsmesspunkten werden im Modell Proben genommen und analysiert, so dass die Konzentrationen in Abhängigkeit von den übrigen Parametern wie Windrichtung und Windgeschwindigkeit bestimmt werden können. Analysegeräte wie das Fast-FID mit HC als Tracer erlauben dabei hohe zeitliche Auflösungen der Konzentrationen (**Abb. 4/13**).

Grenzschichtwindkanäle können üblicherweise nur neutrale Temperaturschichtungen der Atmosphäre simulieren. Diese Einschränkung betrifft insbesondere die Untersuchung nächtlicher Kaltluftflüsse.



Abb. 4/13 Kanüle eines Fast-FID im HH-Modell, Quelle: UNIVERSITÄT HAMBURG, INSTITUT FÜR METEOROLOGIE

4.2.3 Standorte von Windkanälen

Windkanäle, in denen stadtklimatologische Untersuchungen durchgeführt werden, gibt es bei verschiedenen Institutionen:

Standort	Typ	Geschwindigkeitsbereich	Abmessungen
D-38106 Technische Universität Braunschweig Institut für Stahlbau Beethovenstraße 51	Grenzschicht	0 - 25 m/s	1,40 m x 1,25 m x 1,25 m
D-30167 Universität Hannover Institut für Mechanik Appelstraße 11			
D-44801 Ruhr-Universität Bochum Arbeitsgruppe Aerodynamik und Strömungsmechanik im Bauwesen	Grenzschicht	0 - 30 m/s	1,70 m x 1,70 m x 1,60 m

Standort	Typ	Geschwindigkeitsbereich	Abmessungen
D-52146 Ruscheweyh Consult GmbH Würselen Schumanstraße 29	Grenzschicht		1,00 m x 1,60 m
D-52074 RWTH Aachen Institut für Stahlbau Seffenter Weg 200	Grenzschicht	0 - 35 m/s	2,50 m x 1,70 m x 2,50 m
D-62074 Institut für Industrie-aerodynamik Aachen Welkenrather Str. 120	Grenzschicht	23 m/s	2,70 m x 1,50 m x 2,50 m
D-75217 Wacker Ingenieure Birkenfeld	Grenzschicht		1,85 m x 2,50 m
D-76128 Karlsruher Institut für Technologie KIT, Institut für Hydromechanik, Labor für Gebäude- und Umweltaerodynamik Kaiserstr. 12	Grenzschicht	0 - 20 m/s	2,00 m x 1,00 m
	Grenzschicht	0 - 45 m/s	1,50 m x 1,50 m
	Göttinger Bauart	0 - 25 m/s	1,05 m x 0,72 m
A-1040 TU Wien Institut für Strömungsmechanik und Wärmeübertragung			
D-70569 Universität Stuttgart Institut für Aero- und Gas-dynamik Pfaffenwaldring 21	Laminar	Re = 500 000 bis 5 x 10 ⁶	
	Modell	Re = 30 000 bis 400 000	
	Böen	0 - 17 m/s	
D-67374 Ingenieurbüro Theurer Hanhofen An den Gewerbewiesen 16	Grenzschicht		2,00 m x 1,40 m
D-20146 University of Hamburg - Meteorological Institute EWTLE Environmental Wind	Grenzschicht		

Tab. 4/3 Standorte von Windkanälen

Da sich die aufgelisteten Windkanäle in ihrer Größe sowie der Art der Luftführung, den einstellbaren Windgeschwindigkeiten, der Art der Grenzschichterzeugung, den Rauigkeitsparametern, der Messtechnik aber auch in den typischen Anwendungsbereichen stark unterscheiden, wird empfohlen, bei der Vergabe von Windkanaluntersuchungen Sachverständige einzuschalten. Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

■ 4.3 Numerische Modellierung von Strömungs- und Transportvorgängen

Die numerische Modellierung beruht auf der mathematischen Lösung von mehreren abhängigen (und/oder unabhängigen) Differentialgleichungen. In der Regel beruhen diese Gleichungssysteme auf physikalischen Modellen, die der jeweiligen Fragestellung gemäß vereinfacht wurden. Die die physikalischen Vorgänge im Bereich Stadtklima beschreibenden Gleichungen sind weitgehend bekannt, so dass inzwischen für viele stadtklimatische Fragestellungen entsprechende numerische Modelle entwickelt wurden.

Viele dieser Modelle lassen sich – anwenderfreundlich verpackt – auch auf leistungsfähigen Arbeitsplatzrechnern einsetzen und liefern in vergleichsweise kurzer Zeit aussagekräftige Ergebnisse. Dennoch bedarf es der Erfahrung bezüglich der Anwendbarkeit im konkreten Fall und bei der Parametrisierung von Modellen. Häufig sind eine Fülle von messtechnisch zu gewinnenden Daten aus dem Untersuchungsgebiet als Eingangsdaten erforderlich. Insofern wird empfohlen, im konkreten Planungsfall einschlägige Fachgutachterbüros zu konsultieren.

Einen Überblick über Modelle und Modellanwendungen findet man im Internet unter http://www.met.fu-berlin.de/~dmg/promet/30_12/3_Gross.pdf, bezüglich Modellierung verkehrsbedingter Immissionen auch im Leitfaden der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg, Download unter <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/> Ähnlich wie im Windkanal lassen sich mit numerischen Modellen

auch Auswirkungen von Planungen und künftige Situationen berechnen und darstellen, während Messungen sich notgedrungen immer auf die Analyse beschränken. Allerdings bietet die Modell-anwendung nur eine begrenzte räumliche Auflösung, weiterhin kann die Realität nur unvollständig abgebildet werden bzw. müssen zur Generierung der Modellatmosphäre Eingangsdaten bereitgestellt werden, die aus Messungen im betreffenden Untersuchungsraum stammen. Idealerweise sollten die Modellergebnisse gleichfalls durch Messungen verifiziert werden.

Windkanalmodellierungen werden durchgeführt, wenn detailgetreue Analysen in einem Untersuchungsgebiet z.B. zur Strömungsdynamik, Ausbreitung von Luftverunreinigungen und zur Klärung human-biometeorologischer Probleme erforderlich sind oder Fragen der Windlast und des Windkomforts geklärt werden sollen. Nachteilig sind hier die eingeschränkten Möglichkeiten zur Untersuchung von Schwachwindströmungen, unterschiedlichen atmosphärischen Schichtungen, Feuchtefeldern und zeitlichen Zustandsänderungen meteorologischer Parameter (s. a. Abschnitt 4.2.2.3 und VDI-Richtlinie 3783 Bl. 12).

Im mesoskaligen Modellbereich liegt die räumliche Auflösung zwischen einigen Dekametern und mehreren Kilometern. Manche Rechengitter lassen sich dabei zum Modellrand hin spreizen, ermöglichen also einen Fokus auf einen engeren Untersuchungsbereich unter Berücksichtigung der Umgebung. Die zur Verfügung stehenden prognostischen Modelle (z.B. FITNAH und METRAS) lassen sich auf unterschiedlichste städtebauliche und planerische Fragestellungen anwenden, so z.B. die Modellierung von Windfeldern, von Kaltluftabflüssen und die Ausbreitung von Luftschadstoffen. Mikroskalige Modelle (z.B. ABC oder MISKAM) behandeln kleinräumige Fragestellungen mit einer Auflösung von bis zu etwa einem Meter (s.a. VDI-Richtlinien 3782 Bl. 1,3,5,7 und 3783 Bl. 6 bis 10,13,14).

Neben physikalisch anspruchsvollen Modellen gibt es auch statistische Verfahren, zum Beispiel komplexe Interpolationen, zur Berechnung und Darstellung von flächenhaften Informationen zu einzelnen Klimatelementen aus punktuellen Messergebnissen.

Hierbei sind auch Geographische Informationssysteme (GIS) und die darin zur Verfügung stehenden Berechnungsalgorithmen von Bedeutung. Teilweise lassen sich auch anspruchsvollere Modelle in GIS integrieren bzw. bieten geeignete Schnittstellen. Durch die bessere Integration können Arbeitsprozesse optimiert werden, z. B. hinsichtlich Datenhandling, Bereitstellung von Grundlagendaten, Variantenverwaltung und insbesondere auch bei Modellergebnissen, die aufgrund sich ändernder Randbedingungen regelmäßig fortgeschrieben werden müssen. In einer Gesamtschau lassen sich in einem GIS für ein Untersuchungsgebiet weitere Themen (z. B. Bodenfunktion, Naturschutz) mit einbeziehen. Grundsätzlich stehen damit auch WebGIS-Funktionalitäten zur Verfügung. Letztlich könnte auf dieser Basis ein Planungsmanagementsystem bzw. Entscheidungshilfemittel für den Abwägungsprozess entstehen, d. h. Planung und Simulation der Umweltauswirkungen erfolgen innerhalb des GIS. Planer und Entscheidungsträger können Auswirkungen einer Planung oder Variante direkt visualisieren. Bei entsprechender Planreife wäre dann auch eine Internetveröffentlichung möglich, z. B. für die öffentliche Auslegung.

Idealerweise liegen also auch Grundlagendaten wie Gelände-(Höhen-), Gebäudedaten oder kleinräumige Daten zur Flächennutzung

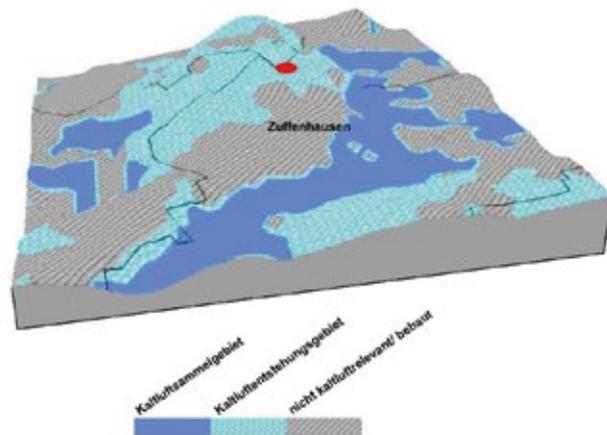


Abb. 4/14 Geländemodell mit Kaltluftflächen, Quelle: AMT FÜR UMWELTSCHUTZ STUTTGART

GIS-intern vor. Zum einen lassen sie sich von dort vergleichsweise problemlos für die Modellanwendung nutzen, zum anderen stehen zur Datenauswertung und Visualisierung alle GIS-Funktionalitäten zur Verfügung.

So können aus den Daten Höhenlinienpläne sowie Größe und Richtung von Geländeneigungen oder Oberflächenkrümmungen abgeleitet werden. Besonders anschaulich sind aus den Daten produzierte perspektivische Ansichten, bei denen sowohl die Betrachtungsrichtung als auch der Betrachtungswinkel (Höhe) frei gewählt werden kann. Die **Abbildungen 4/14 und 4/15** zeigen Anwendungsbeispiele.



Abb. 4/15 Gebäudemodell Stuttgart-Mitte, Quelle: STADT STUTTGART, GEOINFORMATIONSSYSTEME

Im Rahmen von ATKIS[®], einem bundesweit einheitlichen Projekt der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV), stellt das Landesvermessungsamt von Baden-Württemberg u. a. digitale Orthophotos (DOP), das digitale Landschaftsmodell (DLM) und das digitale Geländemodell (DGM) zur

Verfügung. Das DGM hält für ganz Baden-Württemberg hochgenaue Höheninformationen unabhängig vom Maßstab vor (s. **Abb. 4/16**). Es besteht aus mehr als 35 Milliarden Geländepunkten, die in einem regelmäßigen Gitter angeordnet sind. Die dazugehörigen dreidimensionalen Koordinaten wurden aus der Befliegung mit einem Laserscansystem und einer weiteren Verarbeitung der Daten gewonnen.

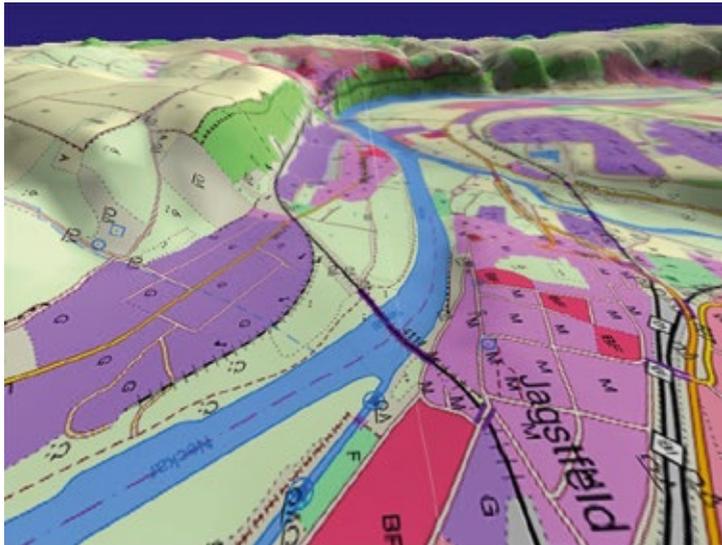


Abb. 4/16 Digitales Geländemodell, Quelle: LANDESMESSUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG

Testdaten können heruntergeladen werden unter:
http://www.lv-bw.de/lvshop2/produktinfo/testdatencd_rom/rubrik/daten/Testdaten.html

Nachfolgend werden beispielhaft einige gängige Modellanwendungen beschrieben:

■ 4.3.1 Das Windfeldmodell DIWIMO

Für viele umweltrelevante Fragestellungen ist die Kenntnis des Windfeldes in Bodennähe von Bedeutung. Täler, Kuppen und andere orografische Charakteristiken sowie die Landnutzung beeinflussen das bodennahe Windfeld. Eine Möglichkeit, den Orographieeinfluss in der Fläche und an einzelnen Punkten quantitativ zu erfassen, bietet die diagnostische Windfeldmodellierung, z. B. mit dem Modell DIWIMO (SCHÄDLER, LOHMEYER, 1996).

Das Modell kann u.a. für folgende Fragestellungen eingesetzt werden:

- Bereitstellung von Windfeldern für Ausbreitungsmodelle
- Abschätzung der Beeinflussung des Windfeldes durch geplante Baumaßnahmen (Halden, Deponien, Erweiterungen von Siedlungsgebieten) bereits im Planungsstadium
- Übertragung von Windstatistiken auf Standorte, an denen keine Windmessungen vorliegen
- Erstellung synthetischer Windstatistiken
- Erstellung von Bodenwindkarten (z. B. für Windenergienutzung)

In der **Abbildung 4/17** ist beispielhaft das Ergebnis einer Berechnung mit dem Modell DIWIMO wiedergegeben. Man erkennt, dass in einem Gebiet mit ausgeprägtem Relief die großräumige Anströmung in Bodennähe z.T. erheblich verändert wird. Dies betrifft zum einen die Veränderung in der Windgeschwindigkeit, deutlich erkennbar bei der gezeigten Anströmung aus Nordwest im Innenstadtbereich von Stuttgart und im Neckartal, zum anderen aber auch in der Windrichtung. So treten bei der nordwestlichen Anströmung im Nesenbachtal, das in den Innenstadtkessel von Stuttgart mündet, sogar südwestliche Windrichtungen auf.

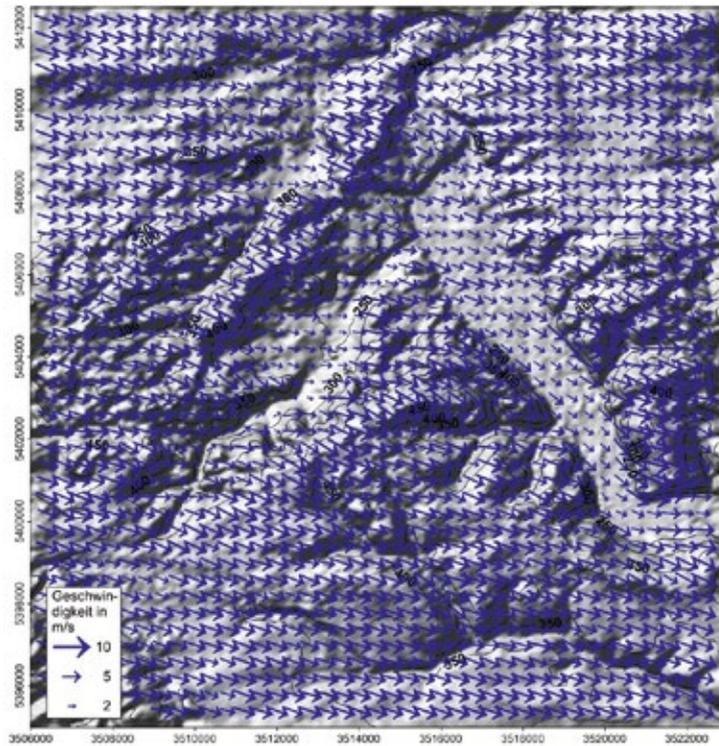


Abb. 4/17 Windfeld in Stuttgart in 10 m Höhe bei nord-westlicher Anströmung berechnet mit DIWIMO, Quelle: SCHÄDLER und LOHMEYER 1996

Das gezeigte Beispiel wurde mit einer Gitterweite von 250 m gerechnet. Im Einzelfall, z. B. bei kleineren Gebieten, ist es angemessen, mit engeren Gitterabständen zu rechnen. Die Berechnung verschiedener Anströmrichtungen gestattet es, sofern die Richtungsverteilung der großräumigen Anströmung bekannt ist, synthetische Windrosen zu berechnen (Abb. 4/18).

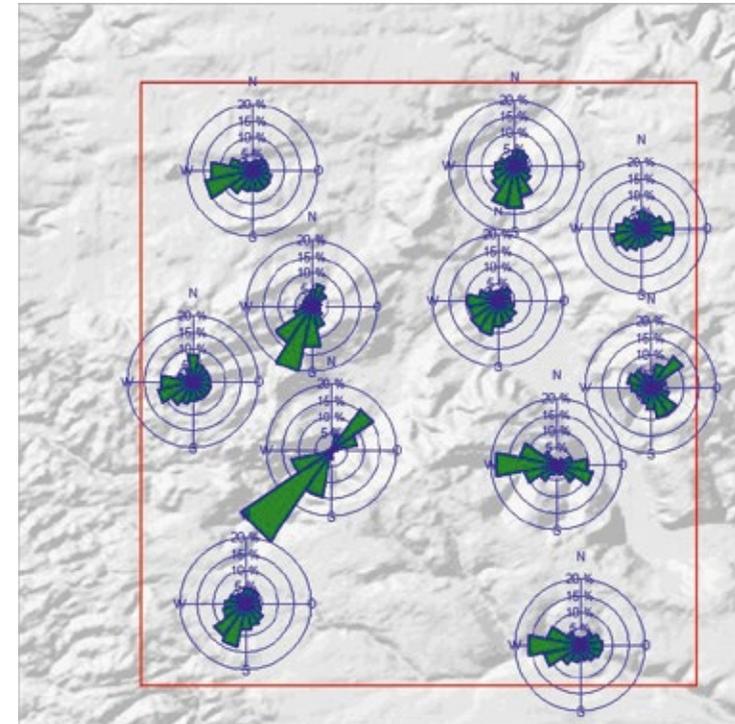


Abb. 4/18 Beispiele synthetischer Windrosen in Stuttgart, berechnet auf der Grundlage von DIWIMO, Quelle: SCHÄDLER und LOHMEYER, 1996

Seit 2003 wird das Windfeld von Stuttgart online halbstündlich berechnet und im Internet veröffentlicht (http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_windfeld). Für das ganze Land stehen im 500m Raster ermittelte Windrosen auf der Seite der LUBW zur Verfügung. Diese werden mit einem mesoskaligen Modell berechnet (siehe 4.3.7).

■ 4.3.2 Die Kaltluftabflussmodelle KALM und KLAM 21

Das Modell KALM (SCHÄDLER, LOHMEYER 1996) ist ein Kaltluftabflussmodell. Es berechnet die zeitliche Entwicklung der Kaltluftströmung bei gegebener zeitlich konstanter Kaltluftproduktionsrate. Neben der Kaltluftschichthöhe werden die horizontalen Windgeschwindigkeiten und der Kaltluftvolumenstrom berechnet.

Durch Kopplung der von KALM berechneten Windfelder mit Ausbreitungsmodellen, z.B. LASAT (JANICKE, 1996, VDI 3945 Blatt 3) kann die Schadstoffausbreitung in Kaltluftflüssen berechnet werden. Die **Abbildung 4/19** zeigt ein Berechnungsbeispiel des Modells KALM für die Kaltluftvolumenstromdichte im Stadtgebiet von Stuttgart.

Die Kaltluftvolumenstromdichte ist diejenige Kaltluftmenge in m^3 ,

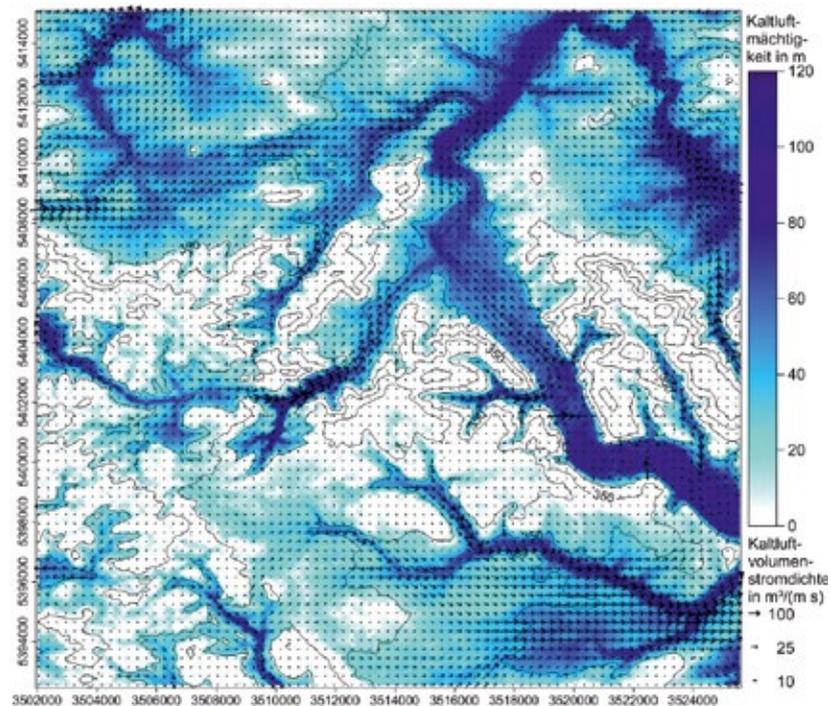


Abb. 4/19 Volumenstromdichte und Kaltluflhöhe, Quelle: LOHMEYER (Klimaatlas Verband Region Stuttgart), 2008

die pro Sekunde durch einen 1 m breiten Streifen zwischen der Erdoberfläche und der Obergrenze der Kaltluftschicht, welcher senkrecht zur Strömung steht, fließt; ihre Einheit ist m^3/ms . In ausgeprägten Kaltluftsystemen kann der Abfluss mehrere Millionen Kubikmeter pro Stunde betragen, bei Mächtigkeiten von bis zu einigen Dekametern. Höher gelegene Flächen und Oberläufe von Tälern erweisen sich dabei als Kaltluft-Produktionsgebiete, während die Mittel- und Unterläufe von Tälern sowie niedrig liegende Ebenen Kaltluftsamml- und -staugebiete sind. Da die letztgenannten Gebiete oft auch dicht besiedelt sind, können sie durch die mit der Bebauung verbundene Aufwärmung und Vermischung eine „kaltluftvernichtende“ Wirkung haben.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) bietet ebenfalls ein Kaltluftabflussmodell (KLAM 21) an. KLAM 21 ist ein 2-dimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftflüssen und -ansammlungen in orographisch gegliedertem Gelände. Es hat sich in zahlreichen amtlichen Gutachten zur Stadt-, Regional- und Landesplanung bewährt (www.dwd.de). Die **Abbildungen 4/20 und 4/21** zeigen ein Berechnungsbeispiel.

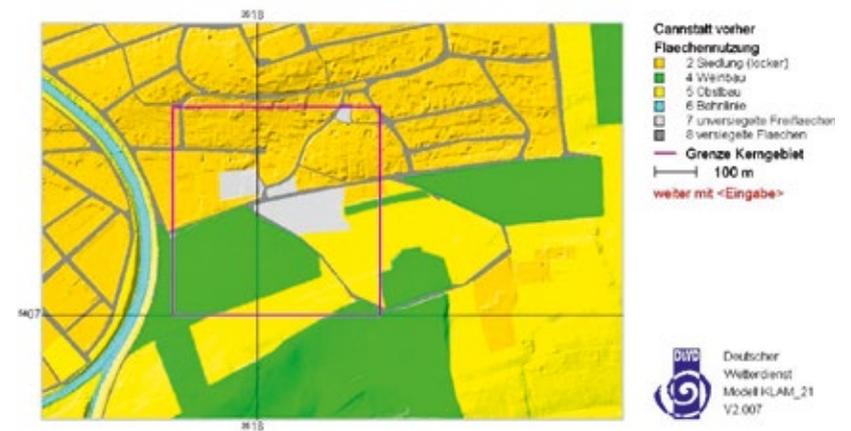


Abb. 4/20 Flächennutzung und Gelände in KLAM 21, Quelle: AMT FÜR UMWELTSCHUTZ STUTTGART

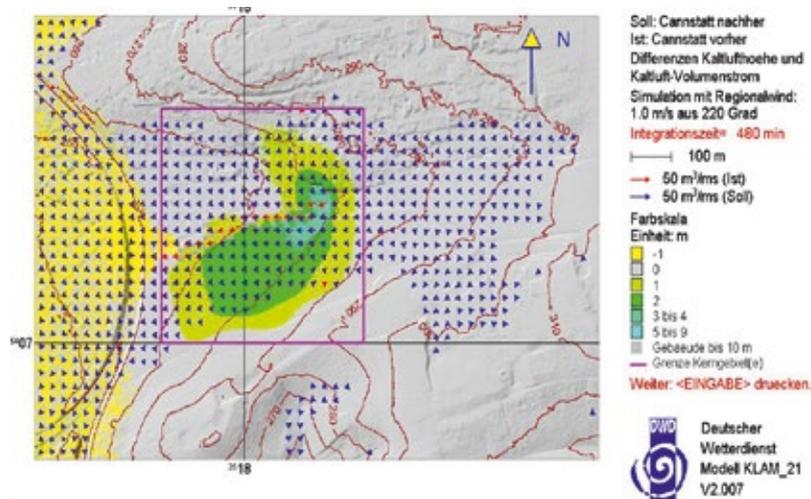


Abb. 4/21 Differenzen Kaltluflhöhe und Kaltluftvolumenstrom in KLAM 21, Quelle: AMT FÜR UMWELTSCHUTZ STUTTGART

■ 4.3.3 Das Modell STREET zur Abschätzung verkehrsbedingter Schadstoffbelastung

Auf der Basis des Modells MISKAM (s. Kap. 4.3.6) wurde zur einfachen Bewertung verkehrsbedingter Immissionen das Screening-Modell STREET (PFEIFER et al., 1996; VDI 3782, Blatt 8, www.kttumwelt.com) entwickelt. Ausgehend von Verkehrsmengen, dem Bezugsjahr der Fahrzeugflotte, dem Fahrmuster, der Straßenkategorie und Art der Vorbelastung sowie den meteorologischen Parametern Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit werden Jahresmittelwerte und Perzentilwerte der Schadstoffe berechnet. Dabei wurden die spezifischen Strömungs- und Ausbreitungsverhältnisse der betrachteten Straßenkategorien zuvor mit MISKAM detailliert simuliert und als Datengrundlage bereitgestellt. Das Modell lässt sich auch für Straßenkreuzungen und Einmündungen verwenden. Die Straßenkategorien berücksichtigen gleichermaßen bebauten wie unbebauten Gelände. Das Screening-Modell wird insbesondere für Fragestellungen der Einhaltung von Grenzwerten nach der 39. BImSchV angewendet. STREET 5.10 (2004) läuft unter Windows.

■ 4.3.4 Das Modell RLuS 2012 zur Berechnung der Schadstoffausbreitung an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung

Aufgrund der Einführung der 39. BImSchV und Aufhebung der 22. BImSchV sowie einer Vielzahl neuerer Erkenntnisse ist eine grundlegende Aktualisierung des bisherigen Merkblattes (MLuS-02) notwendig geworden. Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen hat es deshalb im Benehmen mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen grundlegend überarbeitet und als „Richtlinien zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung – RLuS 2012“ herausgegeben. Diese kann beim Verlag der Forschungsgesellschaft bezogen werden: FGSV Verlag GmbH, Wesselingener Straße 17, 50999 Köln, Telefon: 02236/384630, Fax: 02236/384640, E-Mail: info@fgsv-verlag.de



Abb. 4/22 Die Straße (Autoverkehr) als Schadstoff(-linien-)quelle

In dem Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 29/2012 (Sachgebiet 12.2 Umweltschutz; Luftreinhaltung) wird empfohlen, bei Immissionsabschätzungen nach den RLuS 2012 das aktualisierte Berechnungsprogramm anzuwenden. Es ist PC-basiert und bei Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, An der Roßweid 3, D-76229 Karlsruhe erhältlich. Das Modell ermöglicht, die mittlere jährliche Belastung und die Kurzzeitbelastung der verkehrsbedingten Schadstoffe an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung (**Abb. 4/22**) abzuschätzen. Die Richtlinie gilt nur für die Berechnung der Belastungen an ebenen Straßen in nicht stark gegliedertem Gelände. Da es sich auch um eine rechnerische Abschätzung handelt, bedürfen Fälle mit besonderer Tragweite (z. B. bei Grenzwertüberschreitungen) gegebenenfalls eines detaillierten Fachgutachtens.

RLuS ist anwendbar bei:

- Verkehrsstärken über 5000 Kfz/24h
- Geschwindigkeiten über 50 km/h
- Trogtiefen und Dammhöhen unter 15 m
- Längsneigung der Straße unter 6 %
- zwei und mehr Fahrstreifen
- Lücken innerhalb der Randbebauung > 50 %
- Abstände zwischen den Gebäuden und dem Fahrbahnrand > 2 Gebäudehöhen
- Gebäudebreite < 2 Gebäudehöhen
- Abstand von der Straße bis 200 m

RLuS 2012 enthält ein Emissionsmodul, das auf Basis des HBEFA3.1 grundlegend überarbeitet wurde. Die Emissionsberechnung kann nunmehr für die Bezugsjahre 2005 bis 2030 erfolgen. Aktualisiert wurden auch die PM10-Emissionsfaktoren für nicht motorbedingte Emissionen. Neu hinzugekommen ist die Ermittlung der nicht motorbedingten PM2.5-Emissionen (Reifen-, Straße- und Bremsabrieb). Die gebietstypischen Vorbelastungswerte wurden anhand vorliegender Messdaten aus den Jahren 2000 bis 2006 aktualisiert. Die Abschätzungen der immissionsseitigen Wirkungen von Lärm-

schutzwänden- und -wällen wurden auf der Grundlage von mikroskaligen Modellrechnungen (MISKAM) quantifiziert und mit Windkanalmessungen bzw. Ergebnissen aus der Literatur abgeglichen. Es können Lärmschutzwände und Lärmschutzwälle bis 10 m Höhe berücksichtigt werden. Als NO-NO₂-Konversionsmodell wird ein vereinfachtes Chemiemodell (Gleichgewichtsreaktionen der Stoffe NO₂, NO und Ozon) verwendet. Die Einflüsse direkter NO₂-Emissionen sowie von Ozon-Hintergrundbelastungen werden dabei berücksichtigt. Die Funktion zur Abschätzung der Überschreitungshäufigkeiten des NO₂-Stundengrenzwertes wurde anhand von Messdaten der Jahre 2000 bis 2009 aktualisiert.

■ 4.3.5 Das Modell PROKAS zur Berechnung der Schadstoffbelastung an Straßen

Das Modell PROKAS (BÖSINGER, 1996; VDI 3782 Blatt 8) berechnet die Schadstoffbelastung ausgehend von Straßen auf der Basis eines Gauß'schen Ausbreitungsmodells für einzelne Straßenabschnitte und für Straßennetze. Für die Berechnung der Immissionen in Straßen mit dichter Randbebauung wird ein integriertes Bebauungsmodul eingesetzt, in das Ergebnisse einfließen, die auf Berechnungen mit MISKAM (s. Kap. 4.3.6) sowie Ergebnissen aus Windkanalversuchen mit Feldexperimenten basieren.

Die Emissionsdichten der einzelnen Straßenabschnitte werden im Wesentlichen aus den Verkehrsmengen, dem Fahrmuster, dem Bezugsjahr und aus zeitlichen Emissionsganglinien über die Emissionsfaktoren (vgl. Kap. 2.8.1) vorgegeben.

Für die Anwendung von PROKAS ist ferner eine repräsentative Ausbreitungsklassenstatistik mit Angaben über die Windgeschwindigkeits-, Windrichtungs- und Ausbreitungs-Klassenverteilung erforderlich.

Flächenhafte Immissionsberechnungen

Die **Abbildung 4/24** stellt flächenhafte Immissionsberechnungen für Stickstoffdioxid (Prognose) dar, die durch eine Kombination der Modelle PROKAS und LASAT (Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport) und des Kaltluftmodells KALM entstanden ist. Emissionsseitig berücksichtigt sind hier neben dem Straßenverkehr auch die anderen Schadstoff-Quellengruppen (Hausbrand, Industrie und Gewerbe).

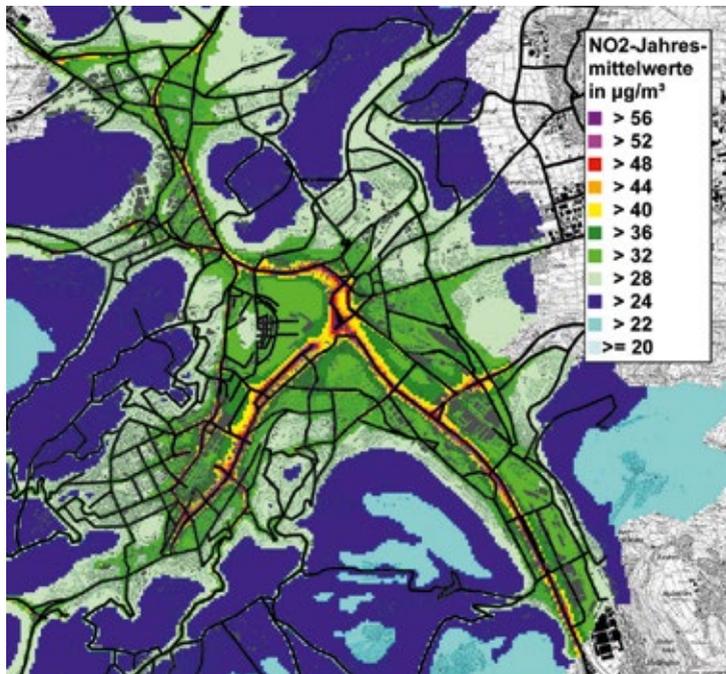


Abb. 4/24 Flächenhafte NO₂-Belastung in Stuttgart (Ausschnitt), Prognose für 2015, Quelle: LOHMEYER, 2009

Das Ausbreitungsmodell LASAT (JANICKE, VDI 3945 Blatt 3) berechnet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, indem für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen der Transport und die turbulente Diffusion durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert wird (Lagrange-Simulation). Die Windinformationen werden dabei über dreidimensionale Windfelder eingespeist. LASAT bietet die Möglichkeit das Gelände und dessen Einfluss explizit zu berücksichtigen.

Weitere Informationen zu flächenhaften Berechnungen stehen zur Verfügung unter: http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?luft_flaechenbelastung_stgt

4.3.6 Das mikroskalige Modell MISKAM

Das Programm MISKAM (EICHHORN, 2010; VDI 3782 Blatt 8) ist einer der anspruchsvollsten Vertreter einer ganzen Reihe mikroskaliger Modelle. MISKAM ist ein dreidimensionales Strömungs- und Ausbreitungsmodell zur kleinräumigen Prognose von Windverteilungen und Immissionskonzentrationen in Straßen bis hin zu Stadtteilen. MISKAM gestattet die explizite Behandlung von Gebäuden, auch von dichter Straßenrandbebauung, so dass die Besonderheiten des Strömungsgeschehens in der Umgebung von Gebäuden simuliert werden können. Schadstoffquellen als Punkt- oder Linienquellen können beliebig im Modellgebiet verteilt sein. Der Aufgabenbereich von MISKAM liegt im Bereich kleinräumiger Prozesse mit Ausdehnungen bis zu einigen 100 m. MISKAM ist somit speziell für Fragen der Straßen- und Stadtplanung geeignet. Mit WinMISKAM existiert auch eine entsprechende Windows-Version. Die **Abbildungen 4/25 bis 4/28** zeigen ein Berechnungsbeispiel aus Stuttgart.

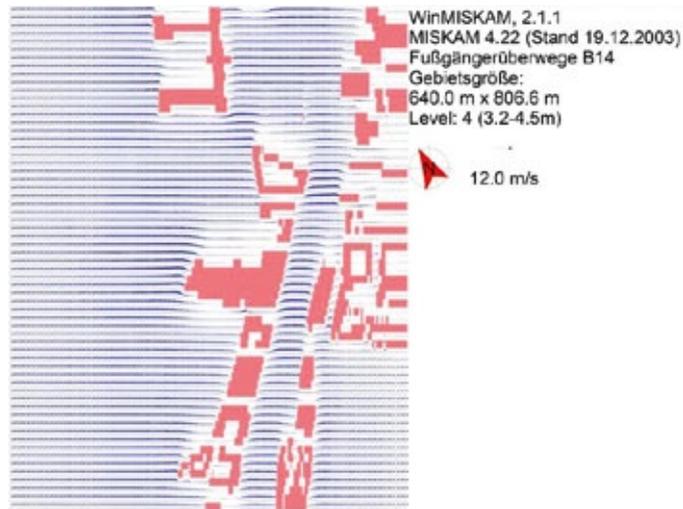


Abb. 4/25 WinMISKAM, Strömungsfeld bei Südwest-Anströmung (Ausschnitt)

In **Abbildung 4/25** ist das Strömungsfeld bei Hauptwindrichtung (Südwest) dargestellt. Der Straßenraum wird also in Längsrichtung angeströmt, so dass nur geringe Kanalisierungseffekte entstehen und die Gebäudewirkung gut zu erkennen ist.

Die **Abbildung 4/26** zeigt das zugrundeliegende Gebäudemodell, **Abbildung 4/27** die auf Basis der örtlichen Windstatistik berechneten Stickoxidimmissionen, d. h. in diese Ergebnisse sind die Strömungsfelder bei unterschiedlicher Anströmung und deren Gewichtung nach Häufigkeit eingerechnet.

Abbildung 4/28 wurde mit Hilfe eines GIS (Geographisches Informationssystem) durch Verschneidung zweier MISKAM-Ergebnisdteien (Nullfall – Planfall) erzeugt.

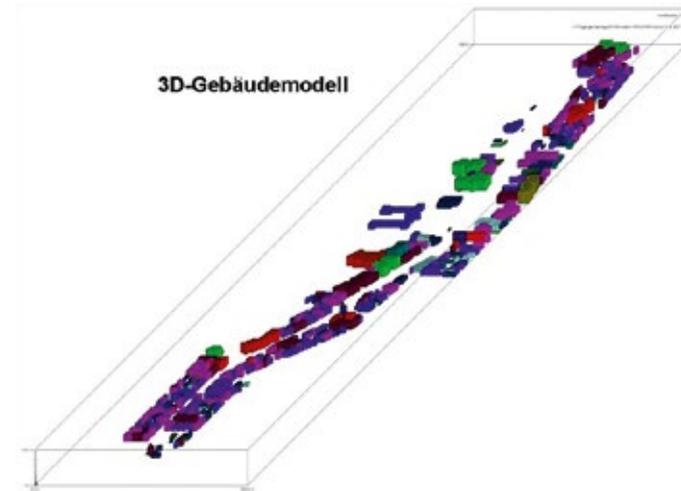


Abb. 4/26 Gebäudemodellierung in WinMISKAM

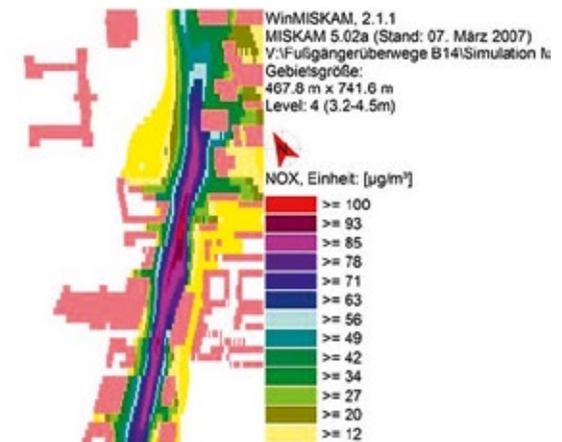


Abb. 4/27 WinMISKAM, Immissionenberechnung



Abb. 4/28 Nullfall-Planfallvergleich im GIS

■ 4.3.7 Mesoskalige geländeklimatische Modelle

Mesoskalige Modelle können Bebauungsstrukturen nur stark parametrisiert darstellen (z. B. über die Porosität wie in FITNAH, GROSS, 1991). Dagegen sind mikroskalige Modelle in der Lage, die einzelnen Baukörper detailliert darzustellen und Prozesse an einzelnen Gebäuden oder sogar Gebäudeteilen zu betrachten. Der Haupteinsatzbereich von **mesoskaligen Modellen** liegt in der Beschreibung von regionalen durch die topographische und thermische Situation verursachten Windverhältnissen. Das generierte Windfeld kann

dann zum Zwecke der Ausbreitungsrechnung weiterverwendet werden. Zur Auflösung der sich tageszeitlich verändernden Vorgänge im Gelände ist es notwendig, dass diese Modelle prognostisch über einen bestimmten Simulationszeitraum, hier zumeist 24 Stunden und mehr, betrieben werden. Nur so ist es möglich, die verschiedenen physikalischen Eigenschaften der im Modell vorhandenen Strukturen und deren Auswirkungen auf das Mesoklima numerisch nachzubilden. Beispiele für mesoskalige Modelle im Bereich der Gelände- und Stadtklimatologie sind: FITNAH (GROSS, 1991), METRAS (SCHLÜNZEN, 1988,1990).

Im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) wurden von der Arbeitsgemeinschaft METCON Umweltmeteorologische Beratung/Ingenieurbüro Rau mit dem prognostischen mesoskaligen Modell METRAS-PC synthetische Windstatistiken in einer räumlichen Auflösung von 500 m für das gesamte Bundesland berechnet. Diese Windstatistiken sind vor allem für Fragen des Immissionsschutzes im Rahmen der TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) und GIRL (Geruchsimmissionsrichtlinie) berechnet worden. Sie können jedoch auch für Anwendungen in der Bauleitplanung und allgemeine klimatische Fragestellungen genutzt werden. Die LUBW stellt die synthetische Windstatistiken zur Verfügung unter: <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/>

■ 4.3.8 Die Stadtklimamodelle RayMan, ENVI-met und MUKLIMO_3

Die Anwendung des Modells RayMan (s.a. Kap. 3.2.3), das am Meteorologischen Institut der Universität Freiburg entwickelt wurde (MATZARAKIS et al., 2000; MATZARAKIS und MAYER, 2000) und dessen Software frei verfügbar ist (<http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman>), eignet sich für die Erarbeitung von Bioklimakarten oder vergleichbaren Kartendarstellungen sowie für die human-biometeorologische Bewertung von planungsbedingten Änderungen der mikroklimatischen Bedingungen. Der Kern von RayMan ist die Simulation der kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse nach der VDI-RICHTLINIE 3789 Blatt 2 (1994). Dafür werden neben Angaben zu Datum und Zeit sowie geographischer Lage des Untersuchungs-

ortes Informationen über Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Bedeckungsgrad des Himmels und Luftrübung benötigt. Zusätzlich müssen die Albedo der Umschließungsflächen und ihre Raumwinkelanteile bekannt sein.

Das mikroskalige Modell ENVI-met ermöglicht die numerische Betrachtung von urbanen Strukturen als gesamtheitlichen Wirkungskomplex unter besonderer Berücksichtigung der kleinskaligen Umweltgestaltung wie Straßenbegrünung, Gebäudestrukturen oder verschiedenen Versiegelungsmaterialien. Das Rechenmodell stellt eine große Zahl verschiedener Variablen vom Strömungsfeld über die Temperatur bis zur Turbulenzverteilung als Simulationsergebnisse zur Verfügung und erlaubt somit eine Betrachtung der komplexen physikalischen Prozesse und deren Zusammenspiel in Form des Mikroklimas.

Das mikroskalige Modell MUKLIMO_3 (SIEVERS, 1990) ist die Erweiterung des ursprünglichen Modells MUKLIMO von zwei auf drei Dimensionen. Es löst bebaute Gebiete detailliert auf und ist als Gitterpunktmodell in der Lage, charakteristische atmosphärische Abläufe darin über einen Zeitraum von mehreren Stunden aufzulösen. Bei Bedarf können auch größere Gebiete mit unaufgelöster Bebauung modelliert werden. Zur Untersuchung von Strömungsverhältnissen und Ausbreitungen von Luftschadstoffen im lokalen Bereich eignet sich besonders die Basisversion von MUKLIMO_3. Bei dieser PC-lauffähigen Version wird auf die thermodynamischen Module verzichtet und sie unterstützt den Anwender bei der grafischen Kontrolle der Modellkonfiguration und der Darstellung der Ergebnisse.

■ 5. Klima- und Lufthygienekarten als Hilfsmittel in der Bauleitplanung

(Beispiel: Klimaatlas Verband Region Stuttgart)

■ 5.1 Einleitung

In der Stadtplanung haben Grundlagenuntersuchungen zu Klima und Luft besonders in Verdichtungsräumen große Bedeutung für eine qualifizierte Flächennutzungs- und Bebauungsplanung. Vor dem Hintergrund des Klimawandels steigt diese Bedeutung weiter. Da sich die betreffenden Aussagen auf einen Planungsraum beziehen, empfiehlt sich die Benutzung von Karten als Informationsgrundlage. Karten sind in diesem Zusammenhang ein ganz wesentliches Arbeitsmittel der Planer, aber auch ein bedeutender Informationsträger für Politiker und die interessierte Öffentlichkeit. Dies bedeutet, dass auch zur Durchsetzung klimatischer und lufthygienischer Gesichtspunkte raumbezogene kartographische Darstellungen notwendig sind.

Für die Erstellung entsprechender Kartenwerke kommen die messtechnische Erfassung der einzelnen Parameter mit kartenmäßiger Darstellung in Betracht, aber auch die rechnerische Simulation mit statistischen Regressionsmodellen (GERTH, 1986) bzw. durch mesoskalige physikalische Modelle (siehe Kapitel 4.3.7).

Je aussagekräftiger und überzeugender die klimatischen und lufthygienischen Phänomene dargelegt werden, desto mehr wächst auch die Chance einer sachgerechten Berücksichtigung in der Planung.

Bereits 1992 wurde für das Gebiet des ehemaligen Nachbarschaftsverbandes (NACHBARSCHAFTSVERBAND STUTTGART, 1992) ein Klimaatlas erarbeitet. Diese Untersuchung wurde später auf das Gebiet des Verbandes Region Stuttgart ausgedehnt und erweitert (Verband Region Stuttgart, 2008). Die Datenerfassung und die weitere Bearbeitung erfolgten mittels eines geografischen Informationssystems (GIS). Dieser Ansatz erlaubt auch Analyseschritte mittels

spezieller GIS-integrierter Modellsoftware, wie z. B. die Berechnung von Windfeldern oder Kaltluftabflüssen, sowie die Verschneidung unterschiedlicher Klimadaten.

Im Rahmen der Erhebung von Grundlagendaten wurden 2005 drei Infrarotbefliegungen des gesamten Untersuchungsgebietes vorgenommen. Zusätzlich hat der Deutsche Wetterdienst ein einjähriges umfangreiches Bodenmessprogramm (Temperatur, Feuchte und Wind) durchgeführt und aus diesen Daten mit statistischen Verfahren flächenhafte Darstellungen verschiedener Klimaelemente erstellt. Lufthygienische Informationen wurden eingearbeitet aus den Emissionskatastern, aus den Daten der Immissionskataster für den Großraum Stuttgart und den Luftmessstationen aus dem Landesmessnetz. Aufgenommen wurden auch Karten auf der Basis des KLIMAATLAS BADEN-WÜRTTEMBERG (LUBW, 2006). Die Untersuchungsergebnisse sind zusammengefasst in Analysekarten im Maßstab 1:20000 (was dem Flächennutzungsplan entspricht) dargestellt. Als weiterer Schritt wurden dann bewertete Karten mit klimatisch-lufthygienischen Hinweisen für die Planung erstellt.

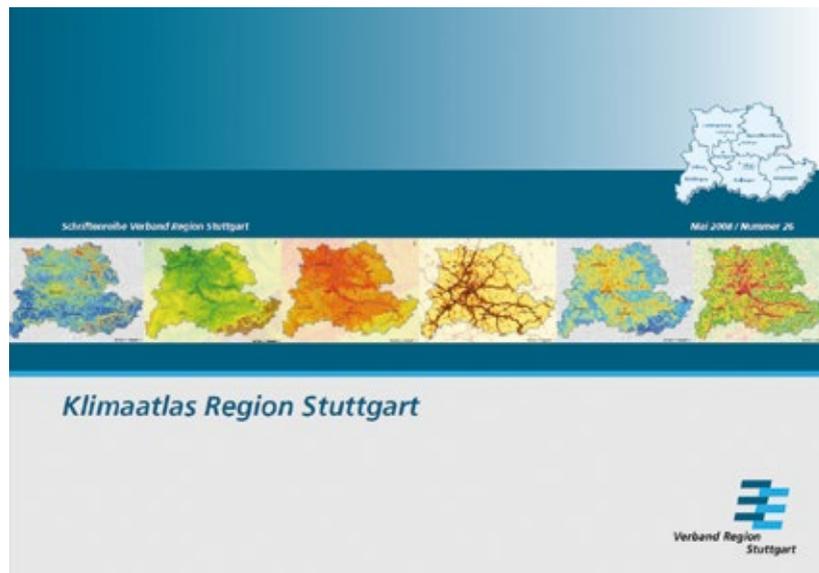


Abb. 5/1 KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

Der Zweck von Planungshinweisen ist es in erster Linie, die Planer zu einer stärkeren Berücksichtigung der Klimagesichtspunkte zu bewegen (BECKRÖGE, 1990, VERBAND REGION STUTTGART, 2008). Deshalb sollte ein Planungsvorhaben an den Vorgaben aus der Karte „Planungshinweise“ gemessen werden.

Ist eine eindeutige Klimaverträglichkeit nicht gegeben, so muss durch Planer und Politiker unter objektiver Gewichtung der Umweltverträglichkeit gegenüber anderen Belangen abgewogen werden. Diese Abwägung kann grundsätzlich die Konsequenzen haben, dass die Planung nicht weiter verfolgt wird, dass man die klimatisch-lufthygienischen Belange zurückstellt oder dass die Planung so modifiziert wird, dass negative klimatische und lufthygienische Auswirkungen möglichst gering ausfallen. In diesem Fall sind meist Detailgutachten notwendig.

Insbesondere die Klimatopkarten und die Planungshinweiskarten bieten für die Flächennutzungsplanung (FNP) der Städte und Gemeinden in der Region geeignete Daten um gemäß Baugesetzbuch die siedlungsklimatischen Belange bei der Aufstellung der FNP mit berücksichtigen zu können. Auch für die Strategische Umweltprüfung – die für Flächennutzungspläne ebenfalls durchzuführen ist – kann der digitale Klimaatlas 2008 herangezogen werden. Denn mit diesem liegt ein einheitlicher Datensatz vor, mit dem zukünftig alle Kommunen in der Region arbeiten können. Die Klimadaten werden allen Städten und Gemeinden zur Verfügung gestellt. Darauf hinzuweisen ist, dass der Digitale Klimaatlas für die Ebene der Bebauungsplanung erste Hinweise geben kann, hier aber vertiefte Untersuchungen notwendig werden um kleinräumige Situationen richtig bewerten zu können.

In Baden-Württemberg liegen neben dem KLIMAATLAS BADEN-WÜRTTEMBERG aktuell weitere Klimaatlantent vor, so beispielsweise für die Regionen Bodensee-Oberschwaben und Südlicher Oberrhein. Länderübergreifend (Frankreich, Schweiz, Deutschland) erschien bereits 1996 der Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd – Atlas Climatique du Fossé Rhéan Méridional.

5.2 Infrarot-Thermographie

Mit der Infrarot-Thermographie erhält man ein Bild der momentanen Temperaturverteilung an der Erdoberfläche mit hohem Auflösungsvermögen, wie es mit keinem stationären Messnetz zu erreichen wäre. Mit dem messenden Photometer im Flugzeug wird die Landschaft zeilenweise abgetastet (bei Flughöhe 3000 m Bodenauflösung von etwa 10 m mal 10 m).

Die Infrarot-Thermographie ist in ihrer Aussagekraft nicht in jeder Hinsicht unproblematisch, da einzelne IR-Wärmeaufnahmen keine fertigen Aussagen zum Klima als vielschichtigem Problem vermitteln. Die gemessenen Oberflächentemperaturen sind vor allem nicht identisch mit den örtlichen Lufttemperaturen.

Durch die Infrarot-Thermographie erhält man jedoch Hinweise auf siedlungsbedingte Unterschiede von Temperaturstrukturen (z. B. Wärmeinseln, Kaltluftammelgebiete, Kaltluftabflussgebiete) in einem Stadtgebiet. Die Durchführung von mindestens zwei Überfliegungen (abends und morgens) ermöglicht es, Informationen über das Abkühlungsverhalten einzelner Gebiete zu erhalten (**Abb. 5/2 und 5/3**). Es sind ferner Hinweise zu erhalten bezüglich klimatischer Vorranggebiete, örtlicher Klimatatsachen wie z. B. lokale Luftaustauschprozesse, Kaltluftstau, Konfliktsituationen zu bestehenden Nutzungen sowie zur Entwicklung einer weiterführenden Messstrategie für Bodenmessungen.

Solche Schlussfolgerungen erfordern jedoch eine realistische Vorstellung vom Zusammenwirken der meteorologischen Parameter in der bodennahen Luftschicht, Kenntnis der örtlichen Geländeverhältnisse und Nutzungen und weitere meteorologische Informationen.

In den Infrarotbildern entspricht die gewählte Temperaturfarbskala wahrnehmungspsychologischen Gesichtspunkten (rot= warm, blau=kalt). Bei den dunklen Flächen handelt es sich um Freiflächen mit niedriger Vegetation; sehr stark abkühlende Oberflächen sind dunkelblau dargestellt. Als warm fallen beispielsweise die Gewässer und Innerortsbereiche mit den jeweiligen Straßenstrukturen auf.

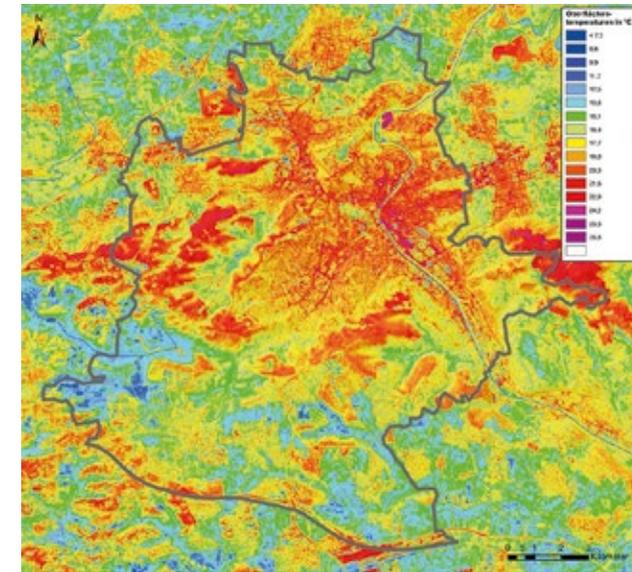


Abb. 5/2 Thermalkarte, Abendsituation, Stadtgebiet Stuttgart, Datenquelle: AMT FÜR UMWELTSCHUTZ, LANDESHAUPTSTADT STUTTGART

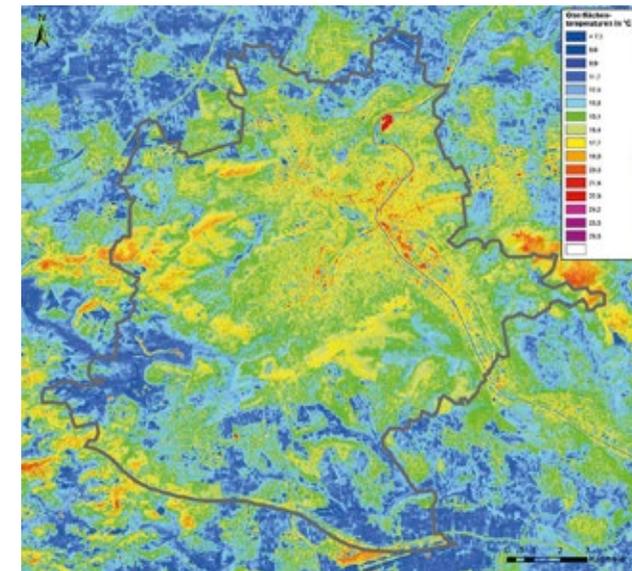


Abb. 5/3 Thermalkarte, Morgensituation, Stadtgebiet Stuttgart, Datenquelle: AMT FÜR UMWELTSCHUTZ, LANDESHAUPTST. STUTTGART

■ 5.3 Meteorologische Grundlagenkarten

Während eines einjährigen Zeitraumes wurde vom Deutschen Wetterdienst im Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Stuttgart ein temporäres Messnetz (12 Stationen in unterschiedlichen Höhenlagen und in Gebieten unterschiedlicher Nutzung) betrieben, mit dem Ziel, die Temperatur-, Feuchte- und Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet zu erfassen. Aus den Messdaten wurden in Abhängigkeit von Höhe und Nutzung mit einem statistischen Verfahren (GERTH, 1986) flächendeckende Karten der Klimaelemente (z.B. Jahresmittel der Lufttemperatur, mittleres tägliches Minimum und Maximum der Lufttemperatur, Jahresmittel der Windgeschwindigkeit und Schwachwindhäufigkeit) und daraus abgeleiteter Größen berechnet wie z. B. Tage mit Wärmebelastung.

Die **Abbildung 5/4** zeigt die mittlere jährliche Temperaturverteilung. Man erkennt deutlich, die sich aus der Höhenlage des Gebietes ergebenden Unterschiede in der Temperatur, aber auch die wärmeren dichter bebauten Gebiete.

Aus der Verteilung der mittleren täglichen Minima der Lufttemperatur geht hervor, dass hochgelegene Bereiche durch niedrige Minimum-Temperaturen gekennzeichnet sind. Tiefer gelegene Bereiche weisen im Allgemeinen höhere Minimum-Temperaturen auf und sind durch Violett gekennzeichnet. In den tiefer gelegenen Gebieten fallen auch schmale und relativ stark eingeschnittene Täler und Mulden durch bläuliche Farbtöne auf, da dort die Ansammlung der Kaltluft zu tiefen Minimum-Temperaturen führt.

In der **Abbildung 5/5** ist die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit dargestellt. Insgesamt ist die Region windschwach mit mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten zum Teil unter 1 m/s in den bebauten Strukturen. Nur in den höheren Lagen im Süden treten etwas höhere Windgeschwindigkeiten auf.

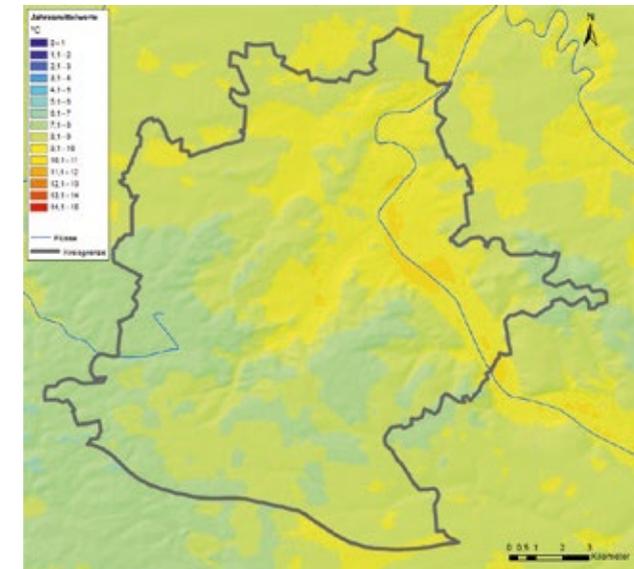


Abb. 5/4 Mittlere jährliche Temperaturverteilung, Stadtgebiet Stuttgart, Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART 2008

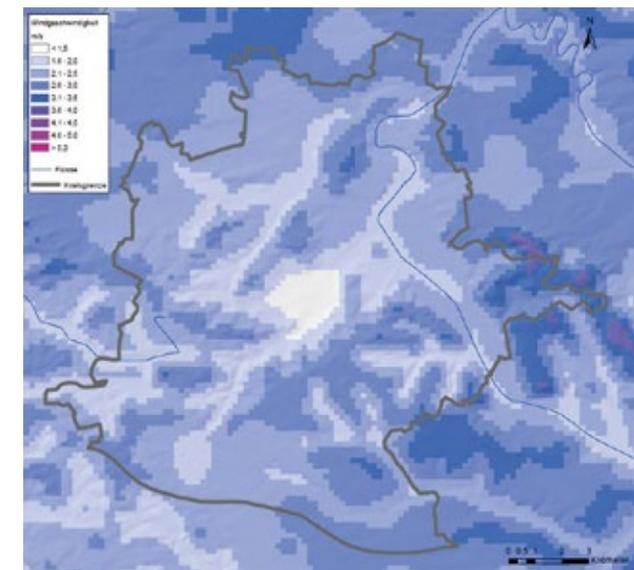


Abb. 5/5 Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit, Stadtgebiet Stuttgart, Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

■ 5.4 Kaltluftentstehung und -abfluss, Windfeldberechnungen

Der digitale Klimaatlas Region Stuttgart hat nicht nur eine räumliche Ausdehnung erfahren, sondern auch technisch-inhaltlich neue Aspekte aufgegriffen. So konnten auf der Grundlage des digitalen Höhenmodells und der Infrarot-Thermografie regionsweite Berechnungen der Kaltluftmächtigkeit (**Abb. 5/6**) und des Kaltluftabflusses vorgenommen werden. Da Kaltluftentstehungs- und Kaltluftsammelgebiete während austauscharmer Wetterlagen die nächtliche Frischluftzufuhr bewirken, haben sie für die Belüftung der Siedlungsgebiete eine wesentliche Funktion. Auch vertiefte Erkenntnisse über die Windverhältnisse sind dem digitalen Klimaatlas zu entnehmen. Synthetische Windfeldberechnungen erlauben eine Beurteilung auch der kleinräumigen, lokalen Windverhältnisse in der Region. Da der Wind (charakterisiert durch die Windgeschwindigkeit und Windrichtung) die Ausbreitung von Luftschadstoffen

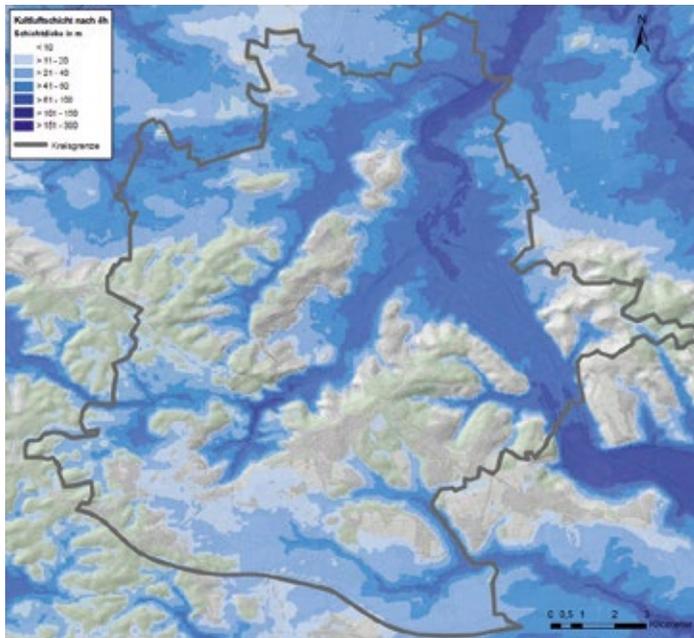


Abb. 5/6 Kaltluftmächtigkeit nach 4 h im Stadtgebiet Stuttgart, Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTART, 2008

bestimmt, ist er bedeutsam für die lufthygienischen Verhältnisse. Die aus den Aspekten Wind und Kaltluft gewonnenen Kenntnisse über die Belüftungssituation der besiedelten Bereiche stellen eine wichtige Beurteilungsgrundlage für die Planung, sowohl auf regionaler als auch auf kommunaler Ebene dar.

■ 5.5 Lufthygienische Karten

Angaben zur Luftbelastung liegen aus dem Untersuchungsgebiet durch die vom Land Baden-Württemberg erhobenen Emissionskataster vor.

Der Atlas enthält auch daraus abgeleitete Karten mit hoher potentieller Luftbelastung, berechnet aus den Emissionen und der Durchlüftungssituation (s. **Abb. 5/7**).

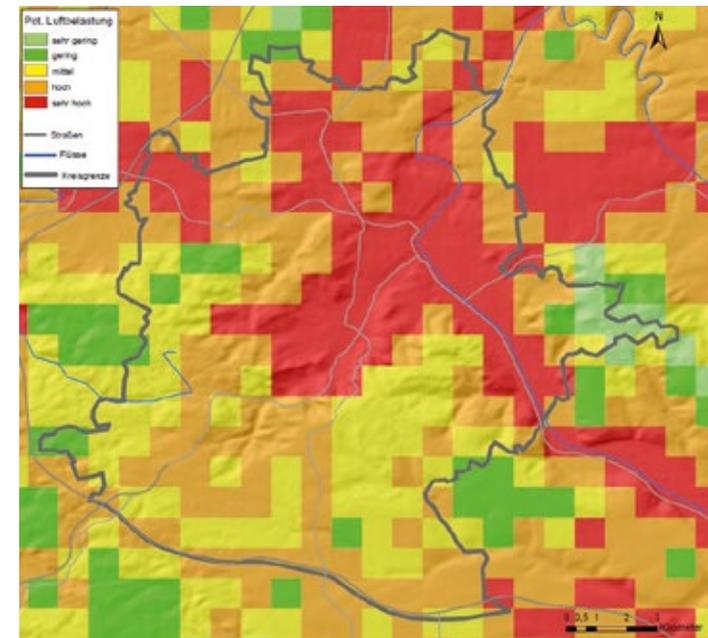


Abb. 5/7 Potentielle Luftbelastung im Stadtgebiet Stuttgart, Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTART, 2008

5.6 Prognose der Auswirkungen des Klimawandels: Jahresmitteltemperatur und Bioklima

Neben der vertieft betrachteten siedlungsklimatische Situation, werden auch im Zuge des globalen Klimawandels auftretende Veränderungen näher beleuchtet. Der Blick in die Zukunft beschäftigt sich dabei mit der Veränderung der Jahresmitteltemperatur und den daraus resultierenden Auswirkungen auf das Bioklima. Die Klimaprognosen des Weltklimarates (IPCC) gehen global von einer Temperaturerhöhung in diesem Jahrhundert von etwa 1,4 bis 5,8 Grad Celsius aus.

Die Temperaturen haben ihrerseits wiederum starken Einfluss auf das Bioklima. Unter Bioklima ist die Gesamtheit aller atmosphärischen Einflussgrößen auf den Menschen zu verstehen. Einwirkungen wie Hitze, Kälte und Luftfeuchte beeinflussen das Wohlbefinden, die Leistungsfähigkeit und die Gesundheit der Bevölkerung in starkem Maße. Der Klimaatlas zeigt zum Einen die aufgrund langjähriger Messungen nachgewiesene Ist-Situation bezüglich Wärmebelastung und Kältereiz auf. So ist derzeit auf rund 5% der Regionsfläche mehr als 30 Tage mit Wärmestress durch hohe gefühlte Temperaturen zu rechnen. Wie zahlreiche epidemiologische Studien belegen wird in diesen Fällen das Anpassungsvermögen empfindlicher Personen – insbesondere bei entsprechender Prädisposition im Bereich des Herz-Kreislauf-Systems und der Atemwege – schneller überfordert. Dies kann zu einer Zunahme der Todesfälle führen.

Angesichts der Temperaturzunahme infolge des Klimawandels wird deshalb über die derzeitige Situation hinausgehend auch der Blick in die Zukunft gerichtet. Dies geschieht in Form einer Prognose, die auf der Annahme beruht, dass sich im Falle einer Klimaerwärmung die Tage mit Wärmebelastung verdoppeln. Im Ergebnis hätten dann weite Bereiche der Region Stuttgart (57% der Fläche) mehr als 30 Tage mit Wärmebelastung zu erwarten, d.h. ein weitaus größerer Teil der Bewohner wird dann einer hohen sommerlichen Wärmebelastung ausgesetzt sein. Die Legende zu den Bioklima-Karten zeigt das Spektrum von 2,5 bis 35 Tagen.

Die Karten stellen die vom Deutschen Wetterdienst ermittelte Ist-Situation (**Abb. 5/8a**) der Prognose mit der Temperaturzunahme um 2 Grad Celsius (**Abb. 5/8b**) gegenüber.

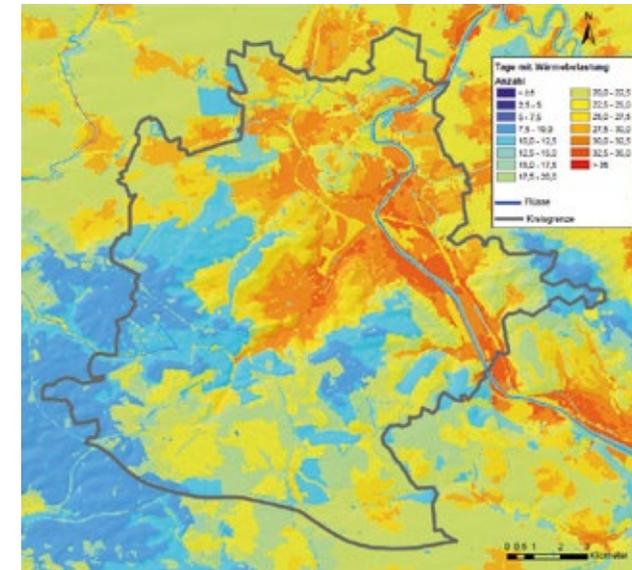


Abb. 5/8a Bioklima, Tage mit Wärmebelastung 1971 – 2000, Quelle: KLIMAAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

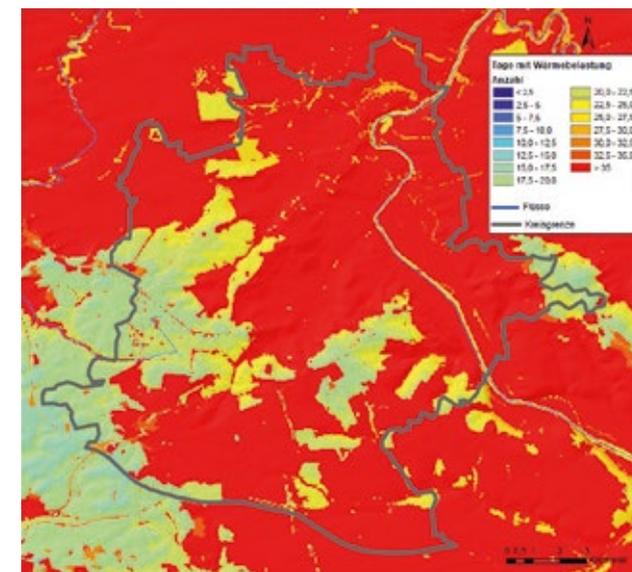


Abb. 5/8b Bioklima, Tage mit Wärmebelastung Prognose 2071 – 2100, Quelle: KLIMAAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

Die Prognose zeigt, dass auf die Raumplanung in dieser Hinsicht große Herausforderungen zukommen. Die Sicherung von klimatischen Ausgleichsflächen, auf denen Frisch- und Kaltluft produziert wird sowie die Gewährleistung einer ausreichenden Durchlüftung sind dabei von großer Bedeutung.

Die Klimaveränderungen treffen mit ihren Auswirkungen praktisch alle Lebensbereiche. Um für eine bestimmte Region die Klimafolgen zu prognostizieren und entsprechende Betroffenheiten zu erheben, werden sogenannte Vulnerabilitätsstudien durchgeführt, die dann z.B. auch regionale Prognosekarten zu Sturmschadenrisiko, Baumarteneignung und Vulnerabilität der Bevölkerung (s. **Abb. 5/9**) beinhalten.

Im Rahmen eines Modellprojektes wurde für die Region Stuttgart beispielsweise dargelegt, dass sie überdurchschnittlich von den Klimafolgen betroffen sein wird. Zu diesen Folgen gehören häufi-

gere Hochwasserereignisse, die Verdrängung wärmeempfindlicher Pflanzen, eine Zunahme der Erosionsgefahr und nicht zuletzt eine stärkere Belastung der Menschen durch zunehmende Hitze.

Der Verband Region Stuttgart setzt deshalb bei Maßnahmen gezielt an überörtlich relevanten Aspekten an, etwa um klimarelevante Freiflächen zu sichern. Weitere Informationen stehen mit dem Abschlussbericht „Vulnerabilität in der Region Stuttgart“ zur Verfügung. Dieser steht unter <http://www.region-stuttgart.org/vrs/main.jsp?navid=438> auch zum Download bereit. Zukünftig sollten also in Klimanalysen und entsprechenden Kartendarstellungen stets auch die durch den Klimawandel zu erwartenden künftigen Situationen und die entsprechenden Vulnerabilitäten dargestellt werden.



Abb. 5/9 Vulnerabilität in der Region Stuttgart, Quelle: INSTITUT FÜR RAUMORDNUNG UND ENTWICKLUNGSPLANUNG, Verband Region Stuttgart

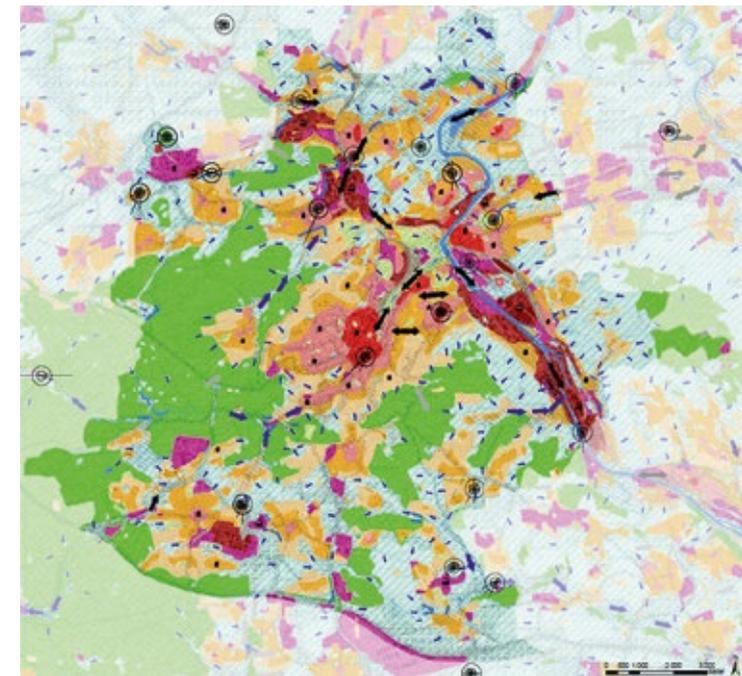


Abb. 5/10 Klimaanalyse-Karte, Stadtgebiet Stuttgart, Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

5.7 Klimaanalyse-Karte

Ein wesentlicher Bestandteil der Untersuchung war die Erstellung einer Klimaanalyse-Karte, die die lokalklimatischen Gegebenheiten in diesem Gebiet als flächenhafte Übersicht darstellt (Abb. 5/10 und Abb. 5/11). Das bereits beschriebene Datenmaterial, topographische Karten, Stadtkarten, Flächennutzungsplan und Luftbildplan bilden hierzu wesentliche Grundlagen.

Die Ausweisung der Klimatope und der Kaltluftammelgebiete ist nicht parzellenscharf; es ergeben sich Toleranzen bis zu 100 m, da sowohl die inhaltliche Festlegung der Grenzen unter Berücksichtigung von Übergangsbereichen als auch die Zeichengenauigkeit aufgrund der verwendeten Arbeitsmaterialien einkalkuliert werden muss. Für genauere Aussagen sind fachliche Detailgutachten notwendig. Die in den Karten verwendeten Signaturen und Symbole entsprechen weitgehend der VDI Richtlinie 3787, Blatt 1, die bis 2013 überarbeitet wird.

Klima-Analyse

Legende Klimatope

-  **Bahnanlagen-Klimatop:**
Extremer Temperaturtagesgang, trocken, windoffen, Luftleitbahn.
-  **Industrie-Klimatop:**
intensiver Wärmeeinstelleffekt, z.T. starke Windfeldstörung, problematischer Luftaustausch, hohe Luftschadstoffbelastung (großräumig bedeutend).
-  **Gewerbe-Klimatop:**
starke Veränderung aller Klimaelemente, Ausbildung des Wärmeeinstelleffektes, teilweise hohe Luftschadstoffbelastung.
-  **Stadtkern-Klimatop:**
intensiver Wärmeeinstelleffekt, geringe Feuchte, starke Windfeldstörung, problematischer Luftaustausch, Luftschadstoffbelastung.
-  **Stadt-Klimatop:**
starke Veränderung aller Klimaelemente gegenüber dem Freiland, Ausbildung einer Wärmeinsel, Luftschadstoffbelastung.
-  **Stadtrand-Klimatop:**
wesentliche Beeinflussung von Temperatur, Feuchte und Wind; Störung lokaler Windsysteme.
-  **Gartenstadt-Klimatop:**
geringer Einfluss auf Temperatur, Feuchte und Wind.
-  **Grünanlagen-Klimatop:**
ausgeprägter Tagesgang der Temperatur und Feuchte, klimatische Ausgleichsfläche in der Bebauung.
-  **Wald-Klimatop:**
stark gedämpfter Tagesgang von Temperatur und Feuchte, Frisch-/Kaltluftproduktion, Filterfunktion.
-  **Freiland-Klimatop:**
ungestörter stark ausgeprägter Tagesgang von Temperatur und Feuchte, windoffen, starke Frisch-/Kaltluftproduktion.
-  **Gewässer-Klimatop:**
thermisch ausgleichend, hohe Feuchtigkeit, windoffen.

Abb. 5/11 Teil 1 der Legende zur Klimaanalyse-Karte, Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

Klima-Analyse

Legende Kaltluftbereiche

-  Kaltluftproduktionsgebiete:
nächtliche Kalt-/Frischlufthproduktion auf Freiflächen
-  Kaltluftammelgebiete:
Kaltluftsammlung in relativen Tieflagen, Kaltlufttransportbahnen.
-  Kaltluftstau durch Strömungshindernis.
-  Bodeninversionsgefährdete Gebiete.

Luftaustausch

-  Berg-/Talwindssystem: intensiver Kaltluftstrom
-  Hangabwinde: flächenhafter Kaltluftabfluss.
-  Luftleitbahn unbelastet: Täler, Sattellagen.
-  Luftleitbahn belastet: Emittenten in Tälern, Sattellagen.

 Windrose: Windrichtungshäufigkeiten

Belastung durch Emissionen

-  Straße mit extremer Verkehrsbelastung: extreme Luft-/Lärmbelastung.
-  Straße mit sehr hoher Verkehrsbelastung: sehr hohe Luft-/Lärmbelastung.
-  Straße mit hoher Verkehrsbelastung: hohe Luft-/Lärmbelastung.
-  Gewerbe und Industrie: relativ hohe Schadstoffemissionen.
-  Wohnen: relativ hohe Hausbrandemissionen.

Abb. 5/11 Teil 2 der Legende zur Klimaanalyse-Karte, Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

Klimatope

Klimatope beschreiben Gebiete mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen. Diese unterscheiden sich vornehmlich nach dem thermischen Tagesgang, der vertikalen Rauigkeit (Windfeldstörung), der topographischen Lage bzw. Exposition und vor allem nach der Art der realen Flächennutzung. Als zusätzliches Kriterium spezieller Klimatopewird das Emissionsaufkommen herangezogen. In besiedelten Räumen die mikroklimatischen Ausprägungen im wesentlichen durch die reale Flächennutzung und insbesondere durch die Art der Bebauung bestimmt werden, sind die Klimatope nach den dominanten Flächennutzungsarten bzw. baulichen Nutzungen benannt.

Gewässer-Klimatop

Das Gewässer-Klimatop (insbesondere großflächige Gewässer) hat gegenüber der Umgebung einen ausgleichenden thermischen Einfluss durch schwach ausgeprägte Tages- und Jahresgänge; dort sind die Lufttemperaturen im Sommer tagsüber niedriger und nachts höher als in der Umgebung. Das Gewässer-Klimatop zeichnet sich durch hohe Luftfeuchtigkeit und Windoffenheit aus.



Abb.5/12 Beispiel eines Freiland-Klimatopes

Freiland-Klimatop

Das Freiland-Klimatop weist einen extremen Tages- und Jahresgang der Temperatur und Feuchte sowie sehr geringe Windströmungsveränderungen auf. Damit ist eine intensive nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion verbunden. Dies trifft insbesondere auf ausgedehnte Wiesen- und Ackerflächen sowie auf Freiflächen mit sehr lockerem Gehölzbestand zu.

Wald-Klimatop

Das Wald-Klimatop zeichnet sich durch stark gedämpfte Tages- und Jahresgänge der Temperatur und Feuchte aus. Während tagsüber durch die Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts relativ milde Temperaturen auf. Zudem wirkt das Blätterdach als Filter gegenüber Luftschadstoffen, so dass die Waldklimatope als Regenerationszonen für die Luft und als Erholungsraum für den Menschen geeignet sind.



Abb. 5/13 Beispiel eines Wald-Klimatopes



Abb. 5/14 Beispiel eines Grünanlagen-Klimatopes

Grünanlagen-Klimatop

Innerörtliche, parkartige Grünflächen wirken aufgrund des relativ extremen Temperatur- und Feuchte-Tagesganges und der damit verbundenen Kalt- und Frischluftproduktion ausgleichend auf die bebaute und meist überwärmte Umgebung. Größere Grünflächen dienen als Ventilationsschneisen. Innerörtliche Grünflächen mit dichtem Baumbestand stellen durch Verschattung tagsüber kühle Ausgleichsflächen mit hoher Luftfeuchtigkeit gegenüber der erwärmten Umgebung dar.

Gartenstadt-Klimatop

Das Gartenstadt-Klimatop umfasst bebaute Flächen mit offener, ein- bis dreigeschossiger Bebauung und reichhaltigen Grünflächen. Gegenüber dem Freiland-Klimatop sind alle Klimatelemente leicht modifiziert, wobei eine merkliche nächtliche Abkühlung stattfindet und Regionalwinde nur unwesentlich gebremst werden.



Abb. 5/15 Beispiel eines Gartenstadt-Klimatopes



Abb. 5/16 Beispiel eines Stadtrand-Klimatopes



Abb. 5/17 Beispiel eines Stadt-Klimatopes

Stadttrand-Klimatop

Das Stadttrand-Klimatop wird durch dichter stehende, maximal 3-geschossige Einzelgebäude, Reihenhäuser oder Blockbebauung mit Grünflächen oder durch maximal 5-geschossige freistehende Gebäude mit Grünflächen bestimmt. Die nächtliche Abkühlung ist stark eingeschränkt und im Wesentlichen von der Umgebung abhängig. Die lokalen Winde und Kaltluftströme werden behindert, während Regionalwinde stark gebremst werden.

Stadt-Klimatop

Mehrgeschossige geschlossene Bebauung mit wenig Grünflächenanteilen und freistehenden Hochhäusern prägt das Stadt-Klimatop. Bei starker Aufheizung am Tage ist die nächtliche Abkühlung sehr gering. Dadurch entsteht gegenüber der Umgebung ein Wärmeinseleffekt mit relativ niedriger Luftfeuchtigkeit. Die dichte und hohe Bebauung beeinflusst die regionalen und überregionalen Windsysteme in erheblichem Umfang, so dass der Luftaustausch einge-



Abb. 5/18 Beispiel eines Stadtkern-Klimatopes

schränkt ist und eine insgesamt hohe Schadstoffbelastung besteht. In den Straßenschluchten sind sowohl hohe Luftschadstoff- und Lärmbelastungen als auch böenartige Windverwirbelungen anzutreffen.

Stadtkern-Klimatop

Dichte und hohe innerstädtische Bebauung mit sehr geringen Grünanteilen führt tagsüber zu starker Aufheizung und nachts zur Ausbildung einer deutlichen Wärmeinsel bei durchschnittlich geringer Luftfeuchtigkeit. Die massive Bebauung führt zusammen mit der ausgeprägten Wärmeinsel zu bedeutender Beeinflussung der regionalen und überregionalen Winde. Insgesamt besteht eine hohe Schadstoffbelastung. In den Straßenschluchten treten neben böenartigen Windverwirbelungen hohe Luftschadstoff- und Lärmbelastungen auf.



Abb. 5/19 Beispiel eines Gewerbe-Klimatopes

Gewerbe-Klimatop

Das Gewerbe-Klimatop entspricht im Wesentlichen dem Klimatop der verdichteten Bebauung, d.h.: Wärmeinseleffekt, geringe Luftfeuchtigkeit, erhebliche Windfeldstörung. Zusätzlich sind vor allem ausgedehnte Zufahrtsstraßen und Stellplatzflächen sowie erhöhte Emissionen zu nennen. Im nächtlichen Wärmebild fällt teilweise die intensive Auskühlung im Dachniveau großer Hallen auf (insbesondere mit Blechdächern), während die von Gebäuden gesäumten Straßen und Stellplätze weiterhin stark erwärmt bleiben.

Industrie-Klimatop

Das Industrie-Klimatop ist mit dem Stadtkern- und Stadt-Klimatop vergleichbar, weist aber großflächige Verkehrsflächen und weit höhere Emissionen auf (immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen). Bei intensiver Aufheizung am Tage bildet sich auch nachts aufgrund der Ausdehnung versiegelter Flächen eine

deutliche Wärmeinsel aus, obwohl die Dächer der Hallen teilweise bemerkenswert auskühlen. Die am Boden befindlichen Luftmassen sind erwärmt, trocken und mit Schadstoffen angereichert. Die massiven Baukörper und die bodennahe Erwärmung verändern das Windfeld wesentlich.

Bahnanlagen-Klimatop

Das Bahnanlagen-Klimatop ist durch eine intensive Erwärmung am Tag und eine rasche nächtliche Abkühlung gekennzeichnet; allerdings liegen die Oberflächentemperaturen dort höher als im Freiland. Die Gleiskörper sind aufgrund ihrer geringfügigen Überbauung windoffen und dienen in bebauten Gebieten oftmals als Luftleitbahnen bzw. Luftaustauschflächen. Ihre Berücksichtigung als Klimatop erfolgt ab einer Breite von ca. 50 m, d.h. nur im Falle mehrgleisiger Bahnstrecken.

Kaltluftbereiche, Besonderheiten der Reliefstruktur

Die Belüftung der Siedlungsgebiete durch Kaltluftfluss hat eine wesentliche Funktion insbesondere während austauscharmer Wetterlagen. Deshalb sind die Kaltluftentstehungs- und Kaltluft-sammelgebiete, welche die nächtliche Frischluftzufuhr bewirken, in dieser Karte besonders gekennzeichnet. Weitere Darstellungen sind Kaltluftstaubereiche, Verengungen in Tälern, Hangabwinde, Berg- und Talwinde und Luftleitbahnen für regionale Winde sowie Angaben zur Luftbelastung.

Belastungen durch Verkehrsemissionen

Die Hauptverkehrsstraßen wurden anhand der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV), die aktuellen Zählungen und Berechnungen entnommen sind, in drei Gruppen unterteilt und durch die Breite der Rasterbänder differenziert dargestellt.

Piktogramme

Mittels Piktogrammen sind Gebiete erhöhter Hausbrand- bzw. Verkehrsemissionen, intensiv emittierender Betriebe sowie Gebiete mit hoher Staubemission und Wärmebelastung (Abgrabungen) in den jeweiligen Klimatopflächen gekennzeichnet. Weitere Piktogramme weisen auf lokale Besonderheiten hin, die für die betreffenden Flächen Bedeutung haben.

Das Piktogramm **Immissionsbelastung** hebt Gebiete mit hoher Schadstoffbelastung in bodeninversionsgefährdeten Bereichen hervor. Dabei handelt es sich um stark abkühlende Kaltluftsammlergebiete, die aufgrund nahegelegener Schadstoffemittenten hohe Luftbelastungswerte aufweisen.

In bodeninversionsgefährdeten Gebieten und Tallagen entsteht häufig **Boden-/Talnebel**. Die Signatur **abgehobene Inversion** bezieht sich auf ausgedehnte und dominante Wärmeinseln in bebauten Gebieten. Durch die relativ hohe Oberflächentemperatur und die damit verbundene Turbulenz bildet sich keine Bodeninversion (vgl. Abb. 3/20 in Kap. 3.3.2); die Inversionsuntergrenzen liegen folglich einige Dekameter über Grund.

Die **Windfeldveränderungen** weisen auf hohe Gebäude (Hochhäuser mit mindestens 10 Geschossen) oder besondere Geländeerhebungen (Auffüllberge, Halden) hin, an denen die Windgeschwindigkeit gebremst, die Windrichtung umgelenkt und die Strömungsturbulenz erhöht wird.

Die **Windrose** stellt die prozentuale Verteilung der Windrichtungshäufigkeit im Jahresmittel an einem Messpunkt dar.

Die **Luftbelastungswindrose** kombiniert die oben beschriebene Windrose mit Immissionsmessungen und gibt die mittlere gemessene Schadstoffkonzentration unter dem Einfluss der jeweiligen Windrichtung an.

5.8 Karte mit Hinweisen für die Planung

Die Karte mit Hinweisen für die Planung (**Abb. 5/20** und **Abb. 5/21**) enthält eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalyse-Karte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange. Die Flächenkennzeichnungen geben Hinweise zur Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen, aus denen sich klimatisch begründete Anforderungen und Maßnahmen im Rahmen der Bauleitplanung ableiten lassen.

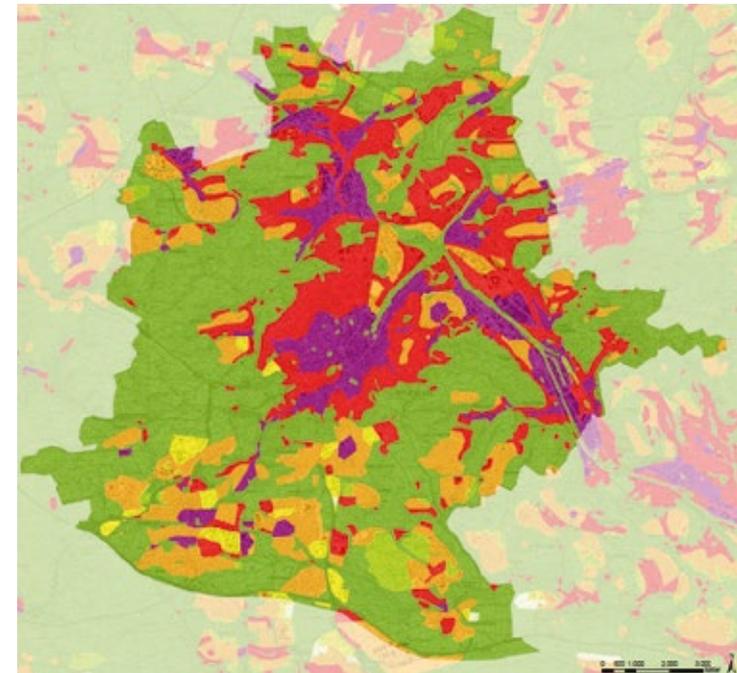


Abb. 5/20 Planungshinweiskarte, Stadtgebiet Stuttgart, Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

Planungshinweise

Legende Freiflächen

-  **Freiflächen mit bedeutender Klimaaktivität:**
Klimaaktive Freiflächen in direktem Bezug zum Siedlungsraum.
Hohe Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen.
-  **Freiflächen mit weniger bedeutender Klimaaktivität:**
Keine direkte Zuordnung zu besiedelten Wirkungsräumen.
Geringere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen.
-  **Freiflächen mit geringer Klimaaktivität:**
Geringer Einfluss auf besiedelte Wirkungsräume oder Freiflächen innerhalb eines ausgedehnten Klimapotenzials.
Relativ unempfindlich gegenüber begrenzten nutzungsändernden Eingriffen.

Siedlungsflächen

-  **Bebaute Gebiete mit geringer klimarelevanter Funktion:**
Keine nennenswerte klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung und Bebauungsverdichtung.
-  **Bebaute Gebiete mit klimarelevanter Funktion:**
Geringe klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung z. B. Arrondierung, Schließen von Baulücken.
-  **Bebaute Gebiete mit bedeutender klimarelevanter Funktion:**
Erhebliche klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung.
-  **Bebaute Gebiete mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen:**
Verdichtete Siedlungsräume bzw. störende Bauwerke.
Unter stadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftig.

Belastung durch Emissionen

-  Straße mit extremer Verkehrsbelastung: extreme Luft-/Lärmbelastung.
-  Straße mit sehr hoher Verkehrsbelastung: sehr hohe Luft-/Lärmbelastung.
-  Straße mit hoher Verkehrsbelastung: hohe Luft-/Lärmbelastung.

Bei Planungen im Einwirkungsbereich dieser Straßen sind ggf. Immissionsprognosen erforderlich.

Abb. 5/21 Legende zur Karte mit Hinweisen für die Planung, Quelle: KLIMAATLAS VERBAND REGION STUTTGART, 2008

Die Hinweise für die Planung beziehen sich vornehmlich auf bauliche Nutzungsänderungen. Eine Änderung der Vegetationszusammensetzung hat i.d.R. geringere klimatische Auswirkungen

als großflächige Versiegelungsmaßnahmen und die Errichtung von Bauwerken.

Es handelt sich auch bei den Planungshinweisen um keine parzellenscharfen Aussagen, und es ergeben sich hier gleichfalls Toleranzen von bis zu 100 m.

Vertiefende Detailfragen im Zusammenhang mit Bebauungsplänen müssen gegebenenfalls durch gesonderte Gutachten erarbeitet werden, insbesondere in Bereichen hoher klimatisch-lufthygienischer Empfindlichkeit.

Neben lokalen Besonderheiten liegen den Hinweisen für die Planung folgende Prinzipien zugrunde:

Vegetationsflächen haben eine bedeutende Wirkung auf das Lokalklima, da sie einerseits die nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion verursachen und andererseits bei hohem Baumanteil tagsüber thermisch ausgleichend sind. Innerstädtische und siedlungsnahen Grünflächen beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv; zudem fördern Vegetationsflächen am Siedlungsrand den Luftaustausch. Größere zusammenhängende Vegetationsflächen stellen das klimatisch-lufthygienische Regenerationspotential dar. Insbesondere bei vorhandenem räumlichem Bezug zum Siedlungsraum sind sie für den Luftaustausch sehr wichtig. Deshalb sollten Freiflächen aus klimatischer Sicht für bauliche Nutzungen möglichst nicht in Anspruch genommen werden.

Auch eine Verbauung von Tallagen ist nachteilig zu beurteilen, da dort einerseits bei Schwachwindlagen der Kalt- und Frischlufttransport stattfindet und sie andererseits als Luftleitbahnen für stärkere regionale Winde dienen.

Die Hanglagen in ausgedehnten besiedelten Gebieten, insbesondere wenn in den Talzonen Bebauung existiert, sollen unbebaut bleiben, da dort ein intensiver Kalt- und Frischlufttransport stattfindet (aus energetischen Gründen ist eine Südhangbebauung allerdings erwünscht s. a. Kap.3). Dasselbe gilt für Schneisen und Klingen innerhalb der Hänge. Sattellagen in bebauten Bergrücken dienen als Luftleitbahnen und sollen nicht zugebaut werden.

Aus klimatisch-lufthygienischer Sicht empfiehlt sich eine Umrandung der Siedlungen mit möglichst weiträumigen Grünzonen sowie eine Durchdringung von Ortschaften mit Grünzügen, welche sich an den orographischen Merkmalen orientieren (Belüftungsschneisen, Luftleitbahnen), um damit den Luftaustausch zu fördern.

Einer Zersiedelung der Landschaft durch zahlreiche Streusiedlungen sowie der Entstehung von abriegelnden Bebauungsgürteln, etwa durch das Zusammenwachsen benachbarter Ortslagen, ist entgegenzuwirken. Bei städtischen Siedlungen muss auf entsprechend große nahegelegene Frisch- und Kaltluftproduktionsgebiete und Belüftungsbahnen geachtet werden.

Bei der Ansiedlung von Gewerbe- und Industriebetrieben ist zu berücksichtigen, dass die unmittelbar angrenzenden Wohngebiete nicht aufgrund der lokalen Windverhältnisse durch erhöhte Immissionen belastet werden.

Im Folgenden werden die einzelnen Kartenkennzeichnungen der Karte „Hinweise für die Planung“ näher beschrieben.

Freiflächen

Freiflächen mit bedeutender Klimaaktivität: direkter Bezug zum Siedlungsraum wie z.B. innerstädtische und siedlungsnahe Grünflächen oder solche, die im Einzugsgebiet eines Berg-/Talwindsystems liegen, unbebaute Täler, Klingen und Geländeeinschnitte, große zusammenhängende Freiflächen neben dicht besiedelten Räumen. Diese Flächen sind mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet; d.h. bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen führen zu bedenklichen klimatischen Beeinträchtigungen. Dasselbe gilt für Maßnahmen, die den Luftaustausch behindern.

Freiflächen mit weniger bedeutender Klimaaktivität: keine direkte Zuordnung zum Siedlungsraum oder nur eine geringe Kaltluftproduktion (z.B. Schotterflächen, Brachflächen), geringere Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen. Maßvolle

Bebauung, die den regionalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt, ist möglich.

Klimatisch bedeutsame lokale Gegebenheiten wie z.B. Klingen, Schneisen, Bachläufe etc. sind jedoch bei der Planung zu berücksichtigen. Für eine möglichst geringe klimatische Beeinträchtigung sind die Erhaltung von Grünflächen und Grünzügen, Dach- und Fassadenbegrünungen und möglichst geringe Gebäudehöhen sowie windoffene Gebäudeanordnungen zu empfehlen.

Freiflächen mit geringer Klimaaktivität: geringer Einfluss auf Siedlungsgebiete, von Siedlungen abgewandt, für die Kalt- und Frischluftproduktion relativ unbedeutend; dort sind bauliche Eingriffe mit nur geringen klimatischen Veränderungen verbunden; z.B. Kuppenlagen, großflächige, gut durchlüftete Gebiete mit schwach ausgeprägten Reliefverhältnissen abseits der Siedlungsgebiete.

Aus klimatischer Sicht sind in diesen Gebieten selbst Bauwerke wie Hochhäuser oder großflächige Gewerbebetriebe möglich. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass bzgl. der Hauptwindrichtung die Durchlüftungsmöglichkeit erhalten bleibt. Zudem ist das schon vorhandene Emissionsaufkommen zu beachten, so dass in der Nähe von Gewerbestandorten und stark frequentierten Verkehrswegen keine empfindlichen Nutzungen geplant werden sollten.

Siedlungsflächen

Bebaute Gebiete mit geringen klimarelevanten Funktionen: bebaute Gebiete ohne hohe thermisch-lufthygienische Belastungen, die benachbarte Siedlungsbereiche nicht wesentlich beeinträchtigen.

Ihnen ist keine nennenswerte klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen und Bebauungsverdichtung zuzuschreiben (z.B. bebaute, gut durchlüftete Kuppenlagen).

Es ist darauf zu achten, dass bestehende Belüftungsmöglichkeiten erhalten werden und zusätzliche Emissionen keine nachteilige

Wirkung auf Siedlungsräume nach sich ziehen. Durch Dach und Fassadenbegrünung und Beibehaltung von Grünflächen kann einer thermischen Belastung vorgebeugt werden.

Bebaute Gebiete mit klimarelevanten Funktionen: z.B. locker bebaute und durchgrünte Siedlungen bzw. Siedlungsränder, die nachts merklich abkühlen und relativ windoffen sind, oder gut durchlüftete verdichtete Siedlungsbereiche (z.B. Kuppenlagen). Diese Gebiete führen weder zu intensiver thermisch-lufthygienischer Belastung noch zu Beeinträchtigungen des Luftaustausches und weisen im Allgemeinen geringe klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeiten gegenüber Nutzungsintensivierungen auf.

Damit sind z.B. Arrondierungen an den Siedlungsrändern und das Schließen von Baulücken gemeint, wobei das in diesem Gebiet vorhandene bauliche Nutzungsmaß beibehalten werden sollte.

Bei der Planung von Baumaßnahmen in diesen so ausgewiesenen Flächen ist die Bodenversiegelung so gering wie möglich zu halten. Sie kann durch Schaffung von Vegetationsflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünung ausgeglichen werden.

Bebaute Gebiete mit bedeutender klimarelevanter Funktion: Locker bebaute, stark durchgrünte Gebiete mit geringen Gebäudehöhen am Siedlungsrand mit nahezu ungestörtem Luftaustausch; auch Hanglagen, an deren Fuß sich bebaute Gebiete befinden, wobei diese Hanglagen auch zur Kaltluftbildung beitragen; Gebiete mit vereinzelt freistehenden Hochhäusern und Grünflächen; verdichtete Siedlungsbereiche, deren klimatisch-lufthygienische Belastung nicht übermäßig hoch ist.

Die genannten Gebiete weisen alle eine erhebliche klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf.

Weitere Bau- und Versiegelungsmaßnahmen führen zu negativen Auswirkungen auf die klimatische Situation. Für diese Gebiete wird eher eine Vergrößerung des Vegetationsanteils und eine Sicherung bzw. Erweiterung der Belüftungsflächen empfohlen.

Bebaute Gebiete mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen: verdichtete Siedlungsräume, die klimatisch-lufthygienisch stark belastet sind; wozu auch jene bebauten Bereiche zählen, in denen der Luftaustausch maßgeblich durch Bauwerke behindert ist. Diese Gebiete sind unter stadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftig (Erhöhungen des Vegetationsanteils, Verringerung des Versiegelungsgrades und Verringerung des Emissionsaufkommens, insbesondere der Verkehrsemissionen, Schaffung bzw. Erweiterung von möglichst begrünten Durchlüftungsbahnen, ggf. Entfernung oder Verlagerung störender Bauwerke).

Straßen mit hoher Schadstoff- und Lärmemission: Diese Signatur kennzeichnet alle Hauptverkehrsstraßen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als ca. 15.000 Fahrzeugen pro Tag. Die dadurch entstehenden hohen Schadstoff- und Lärmemissionen müssen bei Planungen beachtet werden.

Empfindliche Nutzungen wie Wohngebiete, Erholungsgebiete und ackerbauliche Nutzflächen sollten nur in angemessenen Abständen zur Straße bzw. mit adäquaten Schutzmaßnahmen geplant werden (*Immissionsprognose erforderlich!* (s.a. Kap. 4.2 und 4.3)).

■ 6. Empfehlungen für die Planung

Bei einer klimagerechten Bauleitplanung gilt es, Kenntnisse über die Wirkungszusammenhänge in der Planungspraxis konsequent umzusetzen. Dies kann mit Beschränkung auf den jeweiligen örtlichen Geltungsbereich nur mit dem im Baugesetzbuch vorgesehenen Rechtsinstrumenten erfolgen, speziell mit den Darstellungen im Flächennutzungsplan, den rechtsverbindlichen Festsetzungen des Bebauungsplanes, im Vorhaben- und Erschließungsplan sowie durch Vereinbarungen in einem „Städtebaulichen Vertrag“. Nicht rechtsverbindliche aber hilfreiche strategische Instrumente sind Rahmenplanungen, in denen auch klimatisch zusammenhängende Gebiete betrachtet und „überplant“ werden können oder die gezielte Betrachtung von bestehenden Bauflächen, die brach gefallen sind oder aus anderen Gründen einer veränderten Nutzung zugeführt werden sollen.

Da es keine bestimmte Festsetzung gibt, die für sich alleine die Sicherung eines gesunden Stadtklimas bewirken könnte, kommt es darauf an, dass die Summe der Darstellungen und Festsetzungen im Gesamtergebnis den klimatischen Erfordernissen Rechnung trägt. Dabei ist jedoch der in § 9 (1) BauGB festgelegte Grundsatz zu beachten, dass alle Festsetzungen **städtebaulich begründet** sein müssen.

Mit Blick auf den planerischen Handlungsbedarf sollten folgende Ziele klimagerechter Planung verfolgt werden:

- Verbesserung der Aufenthaltsbedingungen bzgl. des Behaglichkeits-/Bioklimas
- Verbesserung der Siedlungsdurchlüftung
- Förderung der Frischluftzufuhr durch lokale Windsysteme
- Verminderung der Freisetzung von Luftschadstoffen und Treibhausgasen
- Ermittlung und sachgerechte Bewertung vorhandener oder zu erwartender Belastungen
- Sachgerechte Reaktion auf Belastungssituationen durch Anpassung von Nutzungskonzepten

Insbesondere die Verbesserung der Aufenthaltsbedingungen, aber auch die Förderung der Frischluftzufuhr gewinnen durch die sich abzeichnenden Folgen des Klimawandels noch an Bedeutung, beispielsweise hinsichtlich der Ausbildung von Wärmeinseln in dicht bebauten Gebieten und möglicher planerischer Gegenmaßnahmen (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART (2010), HEFT 3/2010, Stuttgart und KAPP, REUTER (2011))

Da die Ausbildung des Stadtklimas wie im Kapitel 2 dargestellt, überwiegend auf der Umwandlung von Vegetationsflächen zur gebauten Stadt beruht, liegt in der Erhaltung und Wiedergewinnung der natürlichen Vegetation ein Schwerpunkt klimagerechter Stadtplanung.

■ 6.1 Erhaltung und Gewinnung von Vegetationsflächen

■ 6.1.1 Landschafts- und Grünordnungsplan

„Habt Ehrfurcht vor der Pflanze, alles lebt durch sie!“
(Spruch über dem Eingang zum Botanischen Garten in Berlin)

Wie GROSSMANN (1989) ausführte, sollte dies nicht nur für den botanischen Bereich gelten, sondern auch Richtschnur für den Umgang mit lebender Vegetation im täglichen Gebrauch sein.

Durch Naturschutz und Landschaftspflege ist dem Trend einer kontinuierlich zunehmenden Verdrängung der Vegetationsflächen infolge Überbauung und Versiegelung der Siedlungsgebiete, insbesondere in den Ballungsräumen entgegenzusteuern (MÜRBE, 1992). In diesem Sinne fordert das Naturschutzgesetz Baden-Württemberg, die freie und besiedelte Landschaft als Lebensgrundlage und Erholungsraum des Menschen so zu schützen, zu pflegen, zu gestalten und zu entwickeln, dass u. a. die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts sowie die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter (Boden, Wasser, Luft, Klima, Tier- und Pflanzenwelt) nachhaltig gesichert werden.



Abb. 6/1 Innerstädtische Grünfläche

Zur Verwirklichung der Ziele von Naturschutz und Landschaftspflege dienen im Rahmen der Bauleitplanung Landschaftspläne und Grünordnungspläne. Sie umfassen eine Bestandsaufnahme der natürlichen Gegebenheiten sowie der Nutzungsansprüche an das betreffende Gebiet. Zu den zu untersuchenden Naturpotentialen zählen u. a. auch Klima und Lufthygiene mit einer ökologischen Bewertung der festgestellten Gegebenheiten und Nutzungskonflikte. In diesem Sinne formuliert das Bundesnaturschutzgesetz in seiner novellierten Form vom 29.07.2009 unter § 1 Abs. 3 den Grundsatz: „Zur dauerhaften Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes sind insbesondere ... Nr. 4) Luft und Klima auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu schützen; dies gilt insbesondere für Flächen mit günstiger lufthygienischer Wirkung wie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete oder Luftaustauschbahnen; dem Aufbau einer nachhaltigen Energieversorgung insbesondere durch zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien kommt besondere Bedeutung zu.“

Die im Landschaftsplan enthaltenen Elemente werden in den Flächennutzungsplan eingearbeitet. Darstellungen im Landschaftsplan oder im Grünordnungsplan werden, soweit erforderlich und geeignet, in die Bebauungspläne aufgenommen und durch entsprechende Festsetzungen rechtsverbindlich.

Dafür kommen die folgenden Festsetzungsmöglichkeiten nach § 9 (1) BauGB in Betracht:

- Nr. 10 die Flächen, die von Bebauung freizuhalten sind und ihre Nutzung,
- Nr. 15 die öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe,
- Nr. 18 (a) die Flächen für Landwirtschaft und (b) Wald,
- Nr. 20 die Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft,
- Nr. 25 (a) das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstige Bepflanzungen (b) Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern.

Nach § 9 (1 a) BauGB ergibt sich im Rahmen der naturschutzrechtlichen Eingriffs-/Ausgleichsregelung die Festsetzungsmöglichkeit von Flächen oder Maßnahmen zum Ausgleich im Sinne des § 1 a (3) BauGB. Diese können auf den Grundstücken, auf denen Eingriffe in Natur und Landschaft zu erwarten sind, oder an anderer Stelle sowohl im sonstigen Geltungsbereich des Bebauungsplanes als auch in einem anderen Bebauungsplan festgesetzt werden.

Im Rahmen der Flächennutzungsplanung können gemäß dem neuen § 5 (2 a) BauGB die Flächen zum Ausgleich im Sinne des § 1 a (3) BauGB im FNP den Flächen, auf denen Eingriffe in Natur und Landschaft zu erwarten sind, ganz oder teilweise zugeordnet werden.

Zum System der integrierten Landschaftsplanung gehören außer Landschaftsplan und Grünordnungsplan (auf der Ebene der Bauleitplanung) noch die Elemente Landschaftsrahmenprogramm (auf der Ebene des Landesentwicklungsplans Baden-Württemberg) und Landschaftsrahmenplan (auf der Ebene der Regionalplanung). Dieser auf die Raumplanung bezogenen Maßstäblichkeit entsprechen je unterschiedliche Erscheinungsformen des Klimas. In jeder dieser Stufen können ineinander greifend bis zur Umsetzung beim einzelnen Bebauungsplan die Weichen für eine auch lokalklimatisch sinnvolle Grünplanung gestellt werden (vgl. Abschnitt 6.2.3).

■ 6.1.2 Maßzahlen zur Beschreibung der „grünen“ Nutzung

Eine Quantifizierung der klimatischen Auswirkungen der Grün- ausstattung städtebaulicher Planungen wurde – soweit dies auf der Grundlage gesicherter Erkenntnisse möglich ist – teilweise im Kapitel 2 vorgenommen. Sie wird auch in den nachfolgenden Planungsempfehlungen noch eine Rolle spielen.

Für die Zwecke der Grünplanung wurden verschiedene Ansätze entwickelt, um das Vegetationspotential einer Fläche quantitativ zu beschreiben. Aus klimatischer Sicht muss dabei die Uneinheitlichkeit denkbarer Vegetationsformen (z. B. Grasfläche, Wald, Kartoffelacker, Maisfeld) beachtet werden (Abb. 6/2). Dazu kommt, dass sich die lebende Pflanze ständig verändert, d. h. sie keimt, wächst, hat Ruhe- und Vegetationsperioden, wirft das Laub ab oder behält es viele Jahre, altert und stirbt schließlich ab (GROSSMANN, 1989).

Verschiedene Modelle gehen davon aus, dass durch eine wie auch immer definierte „Pflanzen-Mengen-Zahl“ das Verhältnis von Vegetation zur Grundfläche eines Grundstücks ausgedrückt werden sollte. In diesem Zusammenhang wurden durch POHL et al. (1984) die „Grünvolumenzahl (GVZ)“ und die „Bodenfunktionszahl (BFZ)“ bekannt.

Am Beispiel der „Phytomassenzahl (PMZ)“ nach SCHERER (1973) (siehe GROSSMANN, 1989) kann das Prinzip der Pflanzenmengen-



Abb. 6/2 Ackerland als Kaltluftsammlgebiet

berechnung (Phytomasse) in der Form einer gewissen Hierarchie der Vegetationsformen abgelesen werden (Tab. 6/1a).

Offener Boden	0,5
Rasen	1,0
Wiese	1,5
Stauden bis 1 m Höhe	2,0
Kleingehölze bis 1 m	3,0
Hecken bis 2 m	4,0
Nadelgehölze bis 3 m	4,5
Laubgehölze bis 3 m	5,0
Nadelgehölze 3 m bis 5 m	6,0
Laubgehölze 3 m bis 5 m	7,0
Nadelbäume bis 10 m	8,0
Laubbäume bis 10 m	9,0
Nadelbäume über 10 m	11,0
Laubbäume über 10 m	14,0

Tab. 6/1a Phytomassenzahl für unterschiedliche Vegetationsformen

Die Zuordnung von „Phytomasse“ pro Quadratmeter nicht überbauter Grundstücksfläche zu den genannten Vegetationsformen soll zugleich deren Leistungsfähigkeit im Hinblick auf verschiedene bio-ökologische Komponenten beschreiben, u. a. Staubfiltereffekt, Verdunstung, Windschutz, Schattenspende.

Aus siedlungsklimatischer Sicht ist anzumerken, dass es sich dabei um keinen absoluten Wertmaßstab handeln kann und dass die genannten unterschiedlich ausgeprägten Eigenschaften nicht losgelöst von der konkreten Standortsituation und der speziellen Problemstellung als klimatischer Nutzen gelten können. So weisen beispielsweise nächtlich stark abkühlende Grasflächen (PMZ nur 0,5) als Bestandteil von Kaltluftentstehungsgebieten (s. Abschnitt 6.2.2) einen durchaus hohen lokalklimatischen Nutzen auf. Umgekehrt hat der an sich hoch einzuschätzende Wald die nachteilige Eigenschaft, als Strömungshindernis die Ventilation herabzusetzen. Gerade dieser „Nachteil“ ist es aber, auf dem die Staubfilterwirkung des Waldes beruht. Im Falle einer Windschattenanpflanzung (vgl. Abschnitt 3.4.2) oder im Beispiel der **Abb. 6/17** für ein „verkorktes Hindernis“ handelt es sich sogar um einen gewünschten Effekt, was den schwierigen Umgang mit pauschalen klimatischen Vor- und Nachteilen aufzeigt. Ebenso sind auch vermeintliche Vor- oder Nachteile von Straßenbäumen vor diesem Hintergrund standortbezogen zu sehen (s. hierzu auch 6.3.3 Anpflanzungen als Immissionsschutz).

■ 6.1.3 Vermeidung der Bodenversiegelung durch Grün- und Wasserflächen

Die stadtklimatischen Folgen der Bodenversiegelung sind bereits im Kapitel 2 beschrieben. Der Grad der Bodenversiegelung (**Abb. 6/3**) innerhalb einer Siedlung wird durch die überbauten Grundstücksflächen bestimmt. Zu den dafür maßgeblichen baulichen Anlagen gehören:

- Gebäude,
- sonst. bauliche Anlagen, Nebenanlagen i.S. von § 14 BauNVO,
- Garagen, Stellplätze und Verkehrsflächen mit Wasser undurchlässigen Belägen.

Die BauNVO 1990 legt Obergrenzen für den überbaubaren Flächenanteil von Grundstücken fest und nimmt damit auf einen wesentlichen Parameter des Stadtklimas Einfluss. Ausführliche Informationen zur Begrenzung der Bodenversiegelung findet man bei BUNZEL (1992) bzw. RISCH (2005), weiterhin hat die EUROPÄISCHE KOMMISSION (2012) Leitlinien zur Begrenzung der Bodenversiegelung herausgegeben.

Eine große Anzahl kleinerer Grünflächen trägt über ihre Summenwirkung zu einer Verminderung thermischer Belastungen bzw. des Wärmeinsel-Effektes bei, sofern sie eng vernetzt sind und eine stadträumlich sinnvolle Anordnung aufweisen (z. B. mit den Hauptbelüftungsachsen korrespondieren).

Anpflanzungen von Bäumen und Sträuchern entlang von Straßen führen besonders innerhalb bebauter Gebiete zu einer Reduzierung der Aufheizung und dienen damit dem thermischen Ausgleich in überwärmten Stadtstrukturen. Großkronige Bäume mit entsprechendem Schattenwurf schaffen behagliche schattige Aufenthaltsbereiche. Andererseits können Anpflanzungen zur Reduzierung der Windgeschwindigkeit führen und damit den Abtransport von Schadstoffen beeinflussen. Außerhalb der Bebauung stellen Wald- und Pflanzstreifen unter Umständen Hindernisse für Kaltluftabflüsse dar (vgl. Abschnitt 6.2.2).

Eine messbare klimatische Fernwirkung kommt nur bei sehr ausgedehnten Grünflächen der Größenordnung von mindestens 50 ha zustande. Die Wirkung kleinerer Grünflächen beruht indessen auf dem „Platzhaltereffekt“ mit einer Verdrängung anderer stadtklimatisch nachteiliger Nutzungen.

Tab 6/1b bietet hierzu einen Überblick über weltweit untersuchte Parkanlagen.

Größe in ha (gerundet)	Lage	Park	Gestaltung	PCI _{max} in K	Reichweite in m	Quelle
3	Kumamoto (Kyushu)	Kengung Shinto Shrine	Bäume	2,5 (15 Uhr)	50	Saito et al. 1990
5	Vancouver	Trafalgar Park	Gras, Baumrand, teilweise bewässert	5,0 (nachts) Messfahrt	200 bis 300	Spronken-Smith & Oke 1998
18	Berlin	Stadtpark Steglitz	-	1,0 (abends)	80 bis 140	von Stülpnagel 1987
30	Mainz	Stadtpark	-	2,0 (mogens)	< 300	Naumann 1981
44	Stuttgart	Schlossgarten	-	1,3 (Jahresmittel) 3,8 (Tagesmittel)	200	Knapp 1998
80	Kopenhagen	Falledparken	Gras und Bäume	2,1 (21 Uhr)	100	Ellasson & Upmanis 2000
125	Berlin	Kleingärten Priesterweg	Garten	5,4 (abends)	250	von Stülpnagel 1987
156	Göteborg	Slotsskogen	-	3,3 (18 Uhr) Station	250	Ellasson & Upmanis 2000
212	Berlin	Tiergarten	Wald/ Gras	4,3 (abends)	200 bis 300	von Stülpnagel 1987
525	Mexico-City	Chapultepec	Mix (Bäume, Gras, nicht bewässert)	4,0 (Trockenzeit) 1,0 (Regenzeit)	2000	Jauregui 1990

Tabelle 6/1b Übersicht über Größe, Lage, maximalen Kühleffekt (PCI_{max}), Reichweite innerstädtischer Parkanlagen (Zusammenstellung von KUTTLER 2010b nach BONGARDT 2006)



Abb. 6/3 Bodenversiegelungskarte, Quelle: AMT FÜR UMWELTSCHUTZ, LANDESHAUPTSTADT STUTTART, 2008



Abb. 6/4 Dichte Bebauung mit geringem Grünanteil
(Stuttgart-West)

Rechtliche Grundlagen

Es kommen hier die im Abschnitt 6.1.1 genannten Festsetzungsmöglichkeiten infrage, für deren Zulässigkeit die städtebauliche Erforderlichkeit in Bezug auf die Erfüllung der Durchgrünungsfunktion maßgebend ist. Durch Festsetzung der Mindestmaße von Baugrundstücken gemäß § 9 (1) 3. BauGB kann unerwünschter baulicher Verdichtung und damit der Bodenversiegelung entgegen gewirkt werden.

Für vorhandene Wasserflächen und ihre Uferbepflanzung kann im Bebauungsplan eine Bindung für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und Gewässern festgesetzt werden (§ 9 (1) 25.(b) BauGB). Wasserflächen können im Flächennutzungsplan gemäß § 5 (2) 7. BauGB dargestellt bzw. im Bebauungsplan gemäß § 9 (1) 16. BauGB festgesetzt werden.

Im Bebauungsplan kann auch festgesetzt werden, dass Stellplätze und Garagen außerhalb der überbaubaren Grundstücksflächen nur unter der Geländeoberfläche hergestellt (§ 9 (1) 4 BauGB i.V.m. § 12 (4) BauNVO) oder dass sie auf den nicht überbaubaren Grundstücksflächen nicht hergestellt werden dürfen (§ 23 (5) BauNVO).

Nach § 19 (4) BauNVO werden in Bebauungsplänen die Flächen von Stellplätzen und Garagen einschließlich ihrer Zufahrten, auch wenn es sich um unterirdische Garagen handelt, bei der Ermittlung der zulässigen Grundfläche mitgerechnet. Für derartige Anlagen sieht die BauNVO eine begrenzte Überschreitungsmöglichkeit vor. Die Gemeinde wird sich daher mit der Frage hiervon abweichender Regelungen im jeweiligen Bebauungsplanverfahren zu befassen haben, um einerseits Flächen möglichst unversiegelt zu belassen andererseits aber durch konzentrierte Bebauung und Parkierung für das Stadtklima besonders wichtige zusammenhängende Freiflächen zu erhalten.

Nach § 74 (1) 3. LANDESBAUORDNUNG (LBO) ist der Erlass örtlicher Bauvorschriften über die Gestaltung und Nutzung der unbebauten Flächen der bebauten Grundstücke möglich. Hiernach können weitergehende Vorschriften über die Begrünung der Baugrundstücke ggf. auch für die Stellplatzflächen getroffen werden. Regelungen nach § 74 LBO können zusammen mit dem Bebauungsplan beschlossen werden.

6.1.4 Dachbegrünung

Außer durch größere und kleinere Grünflächen im Stadtgebiet lassen sich durch Dachbegrünungen stadtklimatische Defizite in Bezug auf den Feuchtigkeitshaushalt und das thermische Milieu mindern (DEUTSCHER DACHGÄRTNER VERBAND, 2011). Dazu kommen noch bauphysikalische Vorteile von Dachbegrünungen. Dächer bieten in Städten und Gemeinden bisher vielfach ungenutzte Flächenreserven für die Schaffung von Grünflächen (**Abb. 6/5**). Während sich in den Ballungsgebieten Wohn-, Büro- und Industriegebäude zur Begrünung anbieten, sind es in ländlicheren Gebieten vor allem Garagen und Nebengebäude, die häufig flache oder gering geneigte Dachflächen (bis 15 Grad) besitzen.



Abb. 6/5 Beispiel einer Dachbegrünung

Auf derartigen Dächern ist es fast immer mit vergleichsweise geringem Aufwand möglich, eine vielgestaltige Vegetation zu schaffen.

Wenngleich diese Dächer nicht immer aktiv nutzbar sind, z.B. als Sitzplatz im Grünen, so können im Gegensatz zu monotonen Kies-,

Bitumen- oder Blechflächen begrünte Dächer stets das Klima verbessern, Schadstoffe ausfiltern und Energie bei der Heizung einsparen.

Eine messbare Fernwirkung kommt begrünten Dachflächen dabei nicht zu, doch lässt sich die Wirkung vieler kleiner Einzelflächen in einer Baustruktur summieren.

Klimatische Wirkungen

Positive **thermische** Effekte von Dachbegrünungen beziehen sich vorwiegend auf die Minderung der Temperaturextreme im Jahresverlauf (KOLB, 1989). **Abbildung 6/6** zeigt beispielhaft die Temperaturentwicklung auf der Dachhaut von Flachdächern unterschiedlichen konstruktiven Aufbaus an Sommertagen mit hoher Einstrahlung.

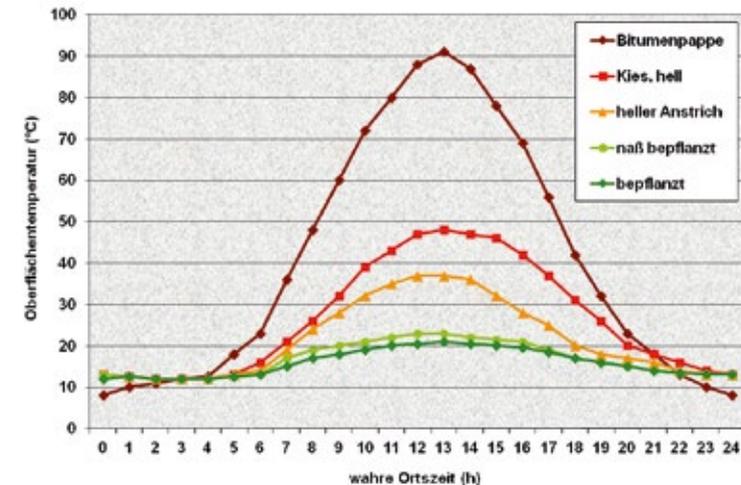


Abb. 6/6 Zeitliche Temperaturverläufe von Flachdächern mit unterschiedlicher Außenoberfläche an einem strahlungsreichen Sommertag, Quelle: GERTIS et al. 1977

Während Kiesdächer und schwarze Bitumenpappe sich auf etwa 50°C bis über 80°C aufheizen, betragen die maximalen Temperaturen bei bepflanzt Dächern etwa 20°C bis 25°C.

In klaren Winternächten sinkt die Temperatur unbepflanzter Dächer auf bis zu -20°C. Die jährliche Temperaturschwankung beträgt somit ungefähr 100 Grad. Begrünte Dächer kühlen sich im Winter nur auf wenig unter 0°C ab, so dass hier die Jahresschwankung nur etwa 30 Grad beträgt.

Im Sommer wird über einem Dachgarten ein großer Teil der eingestrahlten Sonnenenergie zur Verdampfung von Wasser umgesetzt (vgl. Kapitel 2.4). Zur Verdampfung von 1 Liter Wasser sind bei normalem Luftdruck ca. 2250 kJ erforderlich, ohne dass dabei die Temperatur ansteigt. Mit der gleichen Wärmemenge können aber 100 m³ Luft um 18 Grad erwärmt werden.

Im Sommer sind Dachbegrünungen für darunter liegende Räume insgesamt eine wirksame Maßnahme zum Schutz vor sommerlicher Hitze. Im Winter kommt es durch die Vegetation und das Dachsubstrat zu einer Verminderung des Wärmedurchganges und somit zu einer erhöhten Wärmedämmung.

Auswirkungen auf den Wasserhaushalt

Alle offenen Vegetationsflächen sind in der Lage, Oberflächenwasser zu speichern. Je nach Art wird das Niederschlagswasser unterschiedlich lange in den oberen Schichten gehalten und fließt dann abzüglich der Verdunstungs- und Transpirationsrate ab. Die nachfolgende **Tabelle 6.2** gibt an, welcher Anteil des Regenwassers durch die Kanalisation abgeleitet wird (Abflussbeiwerte).

Bei Dächern werden etwa 80% bis 100% des Niederschlags in die Kanalisation geleitet, bei Dachgärten jedoch nur ca. 30%. Der Rest wird durch Verdampfung wieder an die Stadtluft abgegeben und trägt somit entscheidend zur Reduzierung des Feuchtemangels der oberflächenversiegelten Stadt bei. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünungen ist darin begründet, dass sie die Niederschläge zeitverzögert abgeben. Die Stadtentwässerung wird erheblich entlastet und die Hochwassergefahr wird gemindert (RÜNGELER, 1998).

Die im Mai 2008 erschienene aktualisierte Fassung der DIN 1986-100 „Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056“ enthält alle neuen Anforderungen und Lösungsansätze im Bereich der Regenentwässerung. Sie

ist damit wieder ein kompaktes Regelwerk für die Planung und Ausführung von Entwässerungsanlagen in Deutschland, in dem alle wesentlichen Bestimmungen für die Praxis enthalten sind.

Art der Flächen	Abflussbeiwert
1) Wasserundurchlässige Flächen	
Dachflächen/ Betonflächen/ Rampen	1,0
Befestigte Flächen mit Fugendichtung/ Schwarzdecken (Asphalt)/Pflaster mit Fugenguss	1,0
Kiesdächer	0,5
begrünte Dachflächen für Intensivbegrünung/ Extensivbegrünung ab 10 cm Aufbaudicke	0,3
begrünte Dachflächen für Extensivbegrünung unter 10 cm Aufbaudicke	0,5
2) Teildurchlässige und schwach ableitende Flächen	
Betonsteinpflaster, in Sand oder Schlacke verlegt, Flächen mit Platten	0,7
Flächen mit Pflaster, mit Fugenanteil > 15%, z. B. 10 cm x 10 cm und kleiner	0,6
wassergebundene Flächen	0,5
Kinderspielplätze mit Teilbefestigungen	0,3
Sportflächen mit Dränung (Kunststoff-Flächen, Kunstrasen)	0,6
Sportflächen mit Dränung (Tennenflächen)	0,4
Sportflächen mit Dränung (Rasenflächen)	0,3
3) Wasserdurchlässige Flächen ohne oder mit unbedeutender Wasserableitung	
Parkanlagen und Vegetationsflächen, Schotter- und Schlackeboden, Rollkies, auch mit befestigten Teilflächen/Gartenwege mit wassergebundener Decke	0,0
Einfahrten mit Rasengittersteinen	0,0

Tab. 6/2 Abflussbeiwerte verschiedener Flächen, DIN 1986-100 (2008)

Anhand dieser Werte lassen sich auch Abwassergebührenordnungen konzipieren, die – entsprechend der Entlastungswirkung für die Stadtentwässerung – abgestufte Gebühren festsetzen. Eine solche indirekte Förderung von Bestandsgebäuden kann auch noch durch direkte Bezuschussung (z.B. Förderprogramm Dachbegrünung) ergänzt werden.

Die vielfach untersuchten und wissenschaftlich belegten ökologischen, bauphysikalischen und städtebaulichen Nutzeffekte sprechen dafür, Dachbegrünung in den Rang eines Postulats zu erheben. Weitere Informationen hält auch der Deutsche Dachgärtnerverband in Form eines Leitfadens (DEUTSCHER DACHGÄRTNERVERBAND, 2011) und im Internet bereit (<http://www.dachgaertnerverband.de>).

Rechtliche Grundlagen

Gemäß § 74 (3) 2. LANDESBBAUORDNUNG (LBO) können die Gemeinden durch Satzung für das Gemeindegebiet oder abgegrenzte Teile des Gemeindegebiets bestimmen, dass u.a. Anlagen zum Versickern von Niederschlagswasser herzustellen sind, um die Abwasseranlagen zu entlasten, Überschwemmungsgefahren zu vermeiden und den Wasserhaushalt zu schonen. Auch wenn dabei wasserwirtschaftliche Aspekte im Mittelpunkt stehen, wirken Maßnahmen dieser Art der Bodenversiegelung und ihren nachteiligen klimatischen Folgen entgegen.

Dachbegrünungen können im Bebauungsplan rechtsverbindlich festgesetzt werden. Dabei beruht die Dachform (Flachdach) auf § 74 LBO und die Begrünung auf § 9 (1) 25 BauGB, der die Gemeinde u.a. zur Festsetzung von Bepflanzungen für Teile baulicher Anlagen ermächtigt.

Wie jede andere Festsetzung darf auch diese nur nach gerechter Abwägung aller berührten Belange getroffen werden (§ 1 (7) BauGB). Zu bedenken sind z.B. das Brandverhalten, der Feuchtigkeits- und Korrosionsschutz sowie die Kosten der Bepflanzung einschließlich eventuell höherer Baukosten wegen der zusätzlichen Dachlasten. In der Begründung zum Bebauungsplan ist darauf einzugehen.

Beispiel für derartige Festsetzungen:

„Begrüntes Flachdach; die Dachflächen sind bei einer Erdschicht von mindestens 40 cm zu bepflanzen und so zu erhalten. Ausnahmsweise können Lichtkuppeln, Glasdächer und Terrassen zugelassen werden, wenn sie dem Nutzungszweck des Gebäudes dienen und untergeordnet sind (§ 9 (1) 25. BauGB).“

oder:

„Flachdächer (0 Grad-15 Grad) sind mindestens mit einem Anteil von 60% der Dachflächen – ausgenommen Flächen für technische Dachaufbauten – bei einer Substratschicht von mindestens 8 cm mit Gräsern, bodendeckenden Gehölzen und Wildkräutern zu bepflanzen und so zu unterhalten (§ 9 (1) 25. BauGB). Ausnahmen für Anlagen zur Gewinnung von Solarenergie können zugelassen werden.“

Festsetzungen zur Dachbegrünung können auch als örtliche Bauvorschrift nach § 74 (1) 1. LBO erlassen werden.

Die Festsetzungsmöglichkeiten von Zweckbestimmung, Stellung und Gestalt von Dachflächen und Dachaufbauten nach den Gestaltungsvorschriften der LBO unterstützen auch das Ziel, Anlagen der (Solar-) Energiegewinnung (Kollektor- oder Photovoltaikanlagen) im Sinne einer langfristig wirkenden Option zu ermöglichen (BUNZEL et al., 1997).

Konflikte zwischen den Belangen der Solarenergienutzung und der mit Dachbegrünung verbundenen Zielsetzung sind weniger zu erwarten, da die für Solarnutzung prädestinierten stärker geneigten Dächer für Bepflanzung nicht geeignet sind.

Dennoch ist auch die Kombination grünes Flach-/Pultdach und aufgeständerte PV-Anlage möglich und sie bietet sogar Vorteile: Da der Wirkungsgrad von Solarzellen auch temperaturabhängig ist und die sommerliche mittägliche Aufheizung somit die Stromproduktion reduziert, könnte eine geschickt platzierte PV-Anlage auf einem Gründach durch Kühlung einen Mehrertrag liefern. Bislang fehlt dazu allerdings der wissenschaftliche Nachweis. Zu beachten ist, dass die Wasserversorgung der Begrünung ebenso wie ausreichend Licht/Sonnenstrahlung auch unter den Modulen gewährleistet ist. Die Vegetation unter den PV-Modulen verändert sich von vollsonnigen Standorten bevorzugenden Arten hin zu eher „Allerweltsarten“. Die Artenzahl wird auf PV-Dächern durch die Erhöhung der Standortvariabilität insgesamt zunehmen. Und damit sind auch Pflegemaßnahmen erforderlich, die zu hoch aufwachsende Pflanzen rechtzeitig entfernen. **Abbildung 6/7** zeigt ein gelungenes Beispiel für eine auf einem Gründach installierte PV-Anlage in Dresden.



Abb. 6/7 Dachbegrünung mit Photovoltaikanlage, Quelle: STADT DRESDEN

6.1.5 Fassadenbegrünung

Die Begrünung von Fassaden erfolgt nicht ausschließlich aus klimatischen und bauphysikalischen Gründen, sondern auch aus ästhetischen. So spiegelt z. B. eine mit wildem Wein bewachsene Fassade im Wechselspiel der Farben der Blätter die einzelnen Jahreszeiten wieder (**Abb. 6/8**).



Abb. 6/8 Bewachsenes Haus mit wildem Wein im Herbst in Stuttgart



Abb. 6/9 Fassadenbegrünung in Stuttgart

Zur Begrünung von Fassaden eignen sich vor allem Kletterpflanzen. Dabei unterscheidet man Selbstklimmer (z.B. Efeu, Kletterhortensie), windende Arten (z.B. Geißblatt, Hopfen), rankende Arten (z.B. Clematis, Wein) und Spreizklimmer (z.B. Kletterrose, Brombeere). Der Vorteil von Kletterpflanzen besteht darin, dass bei Nutzung einer kleinen horizontalen Bodenfläche eine große Menge von Biomasse gebildet wird. Die **Tabelle 6/3** zeigt beispielhaft Auswahlkriterien für mehrjährige Kletterpflanzen. Bei der FACHVEREINIGUNG BAUWERKSBEGRÜNUNG E.V. (www.fbb.de/fassadenbegruenung/pflanzenlisten/pflanzen-bodengebundene-begruenung) bzw. bei GUNKEL (2004) finden sich ebenfalls umfangreiche Empfehlungen und Auswahlmöglichkeiten nach verschiedenen Kriterien.

Pflanzenart	Lateinische Bezeichnung	Kletterhöhe (m)	Licht (1)			Laub (2)	Bemerkung
			a	b	c		
Strahlengriffl	<i>Actinida arguta</i>	5-8	+	+		so	wärmebedürftig
Kiwipflanze	<i>Actinida chinensis</i>	4-8	+	+		so	wärmebedürftig
Akebie	<i>Acebia quinata</i>	5-8	+	+		so	wärmebedürftig
Pfeifenwinde	<i>Aristolochia makrophylla</i>	6-10			+	so	guter Regenschutz
Rotbeerige Zaunrube	<i>Bryonia dioica</i>	2-4	+	+		so	giftig
Trompetenblume	<i>Campsis radicans</i>	6-10	+	+		so	wärmebedürftig
Baumwürger	<i>Celastrus orbiculatus</i>	- 12	+	+	+	so	giftig
Waldrebe	<i>Clematis</i>	- 10	+	+	+	so	anspruchlos
Zaunwinde	<i>Convolvulus sepium</i>	1-3	+	+	+	so	anspruchlos
Spindelstrauch	<i>Euonymus fortunei</i>	2-3	+	+	+	im	schnellwachsend
Knöterich	<i>Fallopia aubertii</i>	10-15	+	+	+	im	langsamwachsend
Efeu	<i>Hedera helix</i>	- 30				so	nicht winterfest
Hopfen	<i>Humulus lupulus</i>	4-6			+	so	blüht im Winter
Kletterhortensie	<i>Hydrangea petiolaris</i>	6-7			+	so	langsamwachsend
Winterjasmin	<i>Jasminum nudiflorum</i>	2-3	+	+		im	nicht winterfest
Staudenwicke	<i>Lathyrus latifolius</i>	2-3	+	+		so	giftig
Geißblatt	<i>Lonicera</i>	3-6	+	+		so	benötigt Kletterhilfe
Fünffingiger Wilder Wein	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	8-15	+	+		so	Selbstklimmer
Dreilappiger Wilder Wein	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	10-15	+	+	+	so	benötigt Kletterhilfe
Kletterrose	<i>Rosa</i>	2-5	+	+		so	geschmackv. Früchte
Brombeere	<i>Rubus fruticosus</i>	- 5	+	+	+	so	bedingt winterfest
Immergrüne Brombeere	<i>Rubus hennyi</i>	- 5	+	+		so	nur vereinzelt erlaubt
Echter Wein	<i>Vitis</i>	10-15	+	+		so	stabile Kletterhilfe
Blauregen	<i>Wisteria sinensis</i>	8-12	+	+		so	

1) Erforderliche Lichtverhältnisse a: sonnig, b: halbschattig, c: schattig
 2) Belaubung so: sommergrün, im: immergrün

Tab. 6/3 Mehrjährige Kletterpflanzen und Kriterien zur Auswahl von Begrünungen, Quelle: KIESSL und RATH

Klimatische Wirkungen

Fassadenbegrünung weist folgende positive Eigenschaften auf:

- Verbesserung der Wärmedämmung durch Luftpolsterbildung
- Verringerung des Wärmeverlustes durch Windabbremmung
- Verringerung des Wärmeverlustes durch Änderung der Strahlungsverhältnisse
- Umwandlung von Windenergie in Wärme
- Kühlwirkung durch Verdunstung sowie durch Absorption und Reflexion der Sonnenstrahlen im Blattwerk
- Feuchteproduktion durch Verdunstung
- Schutz der Fassade vor starker Temperatur-, UV- und Schlagregenbeanspruchung

Untersuchungen, wie sie von KIESSL und RATH (1989) durchgeführt wurden, ergaben folgende Ergebnisse (**Abb. 6/10**):

Strahlungsbelastung durch die Sonne

Eine voll ausgebildete Fassadenbegrünung schützt im Sommer vor intensiver Sonneneinstrahlung und kann je nach Begrünung 40% bis 80% der auftreffenden Sonnenstrahlung reflektieren bzw. im Blattwerk absorbieren. Will man erreichen, dass im Winter die Sonneneinstrahlung die Hauswand erreicht (vgl. Kap. 3), muss man auf Kletterpflanzen zurückgreifen, die im Winter ihre Blätter abwerfen (z. B. wilder Wein, **Abb. 6/8**).

Windverhältnisse

Das Blattwerk einer grünen Fassade verändert die Strömungsverhältnisse an der Bauwerksoberfläche erheblich. Durch eine dichte Begrünung bildet sich vor der Hauswand ein ruhiges Luftpolster aus. Die Windgeschwindigkeiten liegen dort im Mittel unter 0,5 m/s.

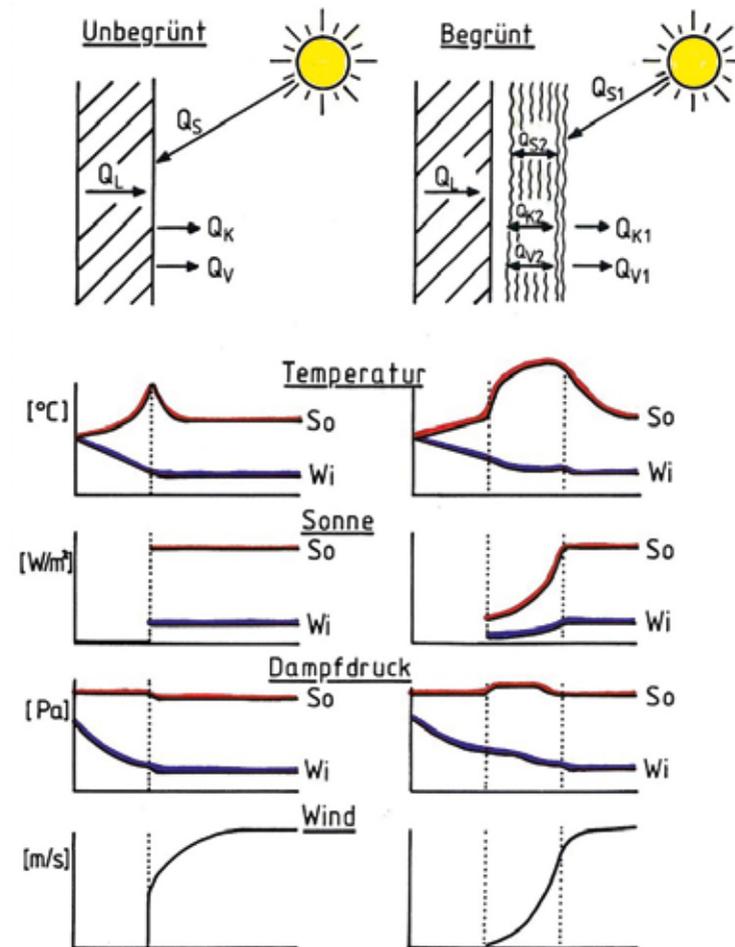


Abb. 6/10 Schema-Darstellung erfasster Mikroklima-Parameter an begrünter bzw. unbegrünter Fassade sowie qualitative Profilverläufe der dabei wesentlichen Messgrößen für Sommer und Winter. Quelle: KIESSL und RATH, 1989

Oberflächentemperaturen

Durch das Blattwerk wird die Strahlungsbilanz an der Hauswand verändert. Zudem bewirken auch das Luftpolster und die Verdunstung eine Veränderung der thermischen Bedingungen. An strahlungsreichen Sommertagen wurden die Tagesamplituden an begrünten Wänden im Vergleich mit unbegrünten um bis zu 30 Grad gedämpft. Im Winter lagen die Oberflächentemperaturen einer immergrünen Wand um ca. 2 Grad höher als die der unbegrünten. Im Mittel ergaben sich unter den begrünten Fassaden je nach Orientierung im Sommer um 1 bis 2 Grad niedrigere Wandtemperaturen.

Wärmeverluste

Eine Fassade mit voll entwickeltem, dichtem immergrünem Bewuchs bewirkt eine Wärmeverlustminderung um ca. 6%. Das unterstreicht nachdrücklich, dass eine grüne Fassade zwar einen Beitrag zum Wärmeschutz liefert, aber einen optimalen baulichen Wärmeschutz nicht ersetzt!

Luftfeuchtigkeit innerhalb der Begrünung

Die Luftfeuchteveränderungen bei der Begrünung sind in der Regel geringer als allgemein vermutet wird. Sie liegen im Winter bei Erniedrigungen um 2% bis 8% und im Sommer bei Erhöhungen von 4% bis -20% gegenüber einer unbegrünten Wand.

Schlagregen

Grüne Fassaden stellen einen wirksamen Schutz gegen Schlagregen dar. Voll ausgebildetes Blattwerk verhindert die Schlagregenbelastung an der Hauswand.

Allgemein ist festzuhalten, dass Fassadenbegrünungen vor allem die mikroklimatischen Verhältnisse an den Gebäuden selbst verbessern, jedoch keine Fernwirkungen zu erwarten sind.

Im Zusammenhang mit Fassadenbegrünungen werden häufig auch Probleme angesprochen, insbesondere Bauteilfeuchte und Wandbeschädigung. Hierzu ist festzustellen, dass bei obigen Untersuchungen keine nachteiligen Feuchtwirkungen festgestellt wurden, sondern durch den Regenschutz eher von einer Feuchteschutzwirkung der Bauteile gesprochen werden kann. Bei intaktem Mauerwerk und Verputz sind Schäden durch Begrünungen in der Regel nicht zu erwarten. Inwieweit bei hohen Gebäuden durch die große Biomasse (Gewicht) ein Problem an der Fassade auftreten kann, ist noch nicht abschließend erforscht.

Weitergehende Informationen zu den vielseitigen Möglichkeiten, Gebäude mit modernen Vegetationstechniken bietet das „Handbuch Bauwerksbegrünung“ (KÖHLER, ANSEL et al., 2012)

Rechtliche Grundlagen

Der geregelten Begrünung von Gebäudefassaden kommt eine bislang wenig beachtete Bedeutung für eine nachhaltige ökologische und sozio-ökonomische Entwicklung der Städte zu. Allerdings ergeben sich auch planungs-, straßen- und haftungsrechtliche Probleme und Regelungen hinsichtlich der hoheitlichen Festsetzung und verwaltungsvertraglichen Vereinbarung von Fassadenbegrünungen (CHILLAT, 2002).

Fassadenbegrünungen können in Bebauungsplänen ebenso wie die Dachbegrünungen unter den gleichen Voraussetzungen rechtsverbindlich festgesetzt werden (vgl. Abschnitt 6.1.4).

Beispiel für eine derartige Festsetzung: „Ein Drittel der Fassadenfläche ist zu begrünen. Technisch begründete Ausnahmen können zugelassen werden (§ 9 (1) 25 BauGB).“

Die Möglichkeit, örtliche (bauordnungsrechtliche) Bauvorschriften über die äußere Gestaltung baulicher Anlagen nach § 74 (1) 1 LBO zu erlassen, bleibt unberührt.

■ 6.2 Sicherung des lokalen Luftaustausches

Flächen mit starker nächtlicher Abkühlung (abhängig von Bodenart, Bewuchs und Umfang der baulichen Nutzung) oder mit großer „Reliefenergie“ (abhängig von Hangneigung, Hangform, Oberflächengestalt) tragen zur Ausbildung lokaler, thermisch induzierter Windsysteme bei. Die topographischen Gegebenheiten haben im Zusammenhang mit dem lokalen Luftaustausch nicht nur eine passive, die Windströmung durch Abbremsung, Umlenkung oder Kanalisierung beeinflussende Funktion. Sie übernehmen vielmehr bei windschwachen Strahlungswetterlagen eine durchaus aktive Rolle, weshalb es berechtigt ist, im Hinblick auf die damit verbundenen klimaökologischen Ausgleichsleistungen von „klimaaktiven Flächen“ zu sprechen.

Der Begriff „klimaaktive Fläche“ bezieht sich sowohl auf die thermischen wie auch auf die reliefbedingten Voraussetzungen des lokalen Luftaustauschs und damit auf das Gesamtsystem Kaltluftentstehungsgebiet – Kaltluftabflussbahn bzw. Frischluftschneise. Die dadurch bewirkten Luftaustauschprozesse beruhen auf den meist nächtlichen Temperaturunterschieden benachbarter Räume. Je nach räumlicher Größenordnung bezeichnet man sie als „Kaltluftflüsse“, „Hangabwinde“ oder „Bergwinde“. Am Rande großer Städte (auch des Flachlandes) spricht man von „Flurwinden“ (KUTTLER, 1993) (vgl. Abschnitt 4.3.2).

■ 6.2.1 Kaltluftentstehung

Grünes Freiland, d. h. Wiesen, Felder, Brachland und Gartenland mit niedriger Vegetationsdecke produzieren aufgrund ihrer nächtlichen Auskühlung größenordnungsmäßig 10 bis 12 Kubikmeter Kaltluft pro Quadratmeter und Stunde, was bei fehlendem Abfluss die Kaltluftobergrenze um 0,2 m/min ansteigen lässt. In einer Stunde kann sich also eine 12 m dicke Kaltluftschicht bilden. Die hohe Kaltluftproduktivität grünen Freilandes ist zudem mit der Eigenschaft verbunden, dass von hier abfließende Kaltluft in nur geringem Maß durch Strömungshindernisse gebremst wird.



Abb. 6/11 Eine Stuttgarter Frischluftschneise

Waldgebiete wirken ebenfalls als nächtliche Kaltluftproduzenten. Im Waldbestand kühlt sich im Gegensatz zum Freiland ein größeres Luftvolumen ab, erreicht jedoch nicht die tiefen Temperaturen der Freiflächen. Die Baumkronen-Oberfläche des belaubten Waldes bzw. des immergrünen Nadelholzwaldes schirmt den Waldboden zur Atmosphäre ab und reguliert den Wärmeumsatz so, dass der Stammraum tagsüber nicht so stark aufgeheizt wird wie die bodennahe Luftschicht über Freiflächen und sich zur Nachtzeit auch nicht extrem abkühlt. Diese den Tagesgang der Lufttemperatur ausgleichende Wirkung ermöglicht es, dass stadtnahe Wälder auch am Tage Kaltluft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen. Besonders günstig für die Abkühlung bei Tag sind Waldgebiete, die an Nord- und Osthängen geringer Sonneneinstrahlung unterliegen.



Abb. 6/12 Kaltluftproduktion und -abfluss an bewaldeten Hängen

Rechtliche Grundlagen

Es kommen hier grundsätzlich die im Abschnitt 6.1.1 genannten Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten in Betracht. Bei der Festsetzung von Flächen für die Landwirtschaft oder Wald ist indes zu beachten, dass mit der Festsetzung zumindest auch land- bzw. forstwirtschaftliche Anliegen geregelt werden sollen. Die Festsetzung von Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, kann in der Regel nur innerhalb der Baugebiete aus städtebaulichen Gründen erfolgen. Dazu gehören neben der Gestaltung des Orts- und Landschaftsbildes unter anderem auch die Sicherung der Aussicht in Hanglagen sowie die Erfordernisse einer guten Durchlüftung. Die auf diesen Flächen konkret festzusetzende Nutzung richtet sich nach dem jeweiligen städtebaulichen Zweck.

■ 6.2.2 Frischluftzufuhr

Wenn Kaltluftentstehungsgebiete im Einzugsbereich der Täler und Hangeinschnitte (Klingen) liegen, die zur Siedlung führen, sind damit die natürlichen Bahnen der Zufuhr frischer Kaltluft vorgegeben, da die kühlere Luft stets zu den tieferen Stellen des Geländes fließt. Die Intensität hängt von der Größe des Einzugsgebietes, der Hangneigung, der Weite der Täler und der Hindernisfreiheit ab. Saubere Frischluft kann durch lokale Luftströme aber nur dann herangeführt werden, wenn die Natur in der Umgebung und in den größeren Parkanlagen der Städte noch intakt und durch Schadstoffe nicht übermäßig vorbelastet ist.

Hindernisse für den Kaltluftfluss können sein: Talverengungen, Dämme, Lärmschutzwälle oder -wände, Baumriegel quer zum Talverlauf, vor allem aber Verbauungen durch größere Gebäude oder gar geschlossene Siedlungskörper. An Hindernissen staut sich die Kaltluft mit stark absinkenden Temperaturen und vermindertem Luftaustausch im Bereich vor und hinter dem Hindernis (Gefahr von Früh- und Spätfrost, verstärkte Nebelbildung). Vor allem über bebauten Gebieten führt die Zuführung von Wärme zur Verminderung von Reichweite und Wirkung des Kaltluftflusses.

Unter diesem Aspekt sind auch Straßenzüge zu sehen, welche in Strömungsrichtung der Kaltluft verlaufen, auch wenn sie als hindernisfreie Schneisen für den bodennahen Luftaustausch insgesamt förderlich sind. Bei talquerenden Straßen indessen spielt die Thermik des schmalen Straßenbandes eine untergeordnete Rolle, wobei in diesem Fall die Hinderniswirkung reliefverändernder Maßnahmen (Straßendämme, Lärmschutzeinrichtungen) dominiert.

Die übergemeindliche Planung hat dafür zu sorgen, dass regionale Entstehungsgebiete der Kaltluft ihre spezielle Funktion erfüllen können. Dazu gehört die Freihaltung der offenen Flächen von Bebauung und gegebenenfalls auch von Aufforstung.

Soweit zur Stadt hin geneigte Hänge bereits bewaldet oder für eine Bewaldung vorgesehen sind, ist zwischen Waldrand und Bebauung jeweils eine ausreichend große Fläche freizuhalten, um den Abfluss der bei Tag besonders wertvollen Kaltluft aus dem Stammraum des Waldes zu gewährleisten.

Die Täler und sonstigen für die Frischluftzufuhr wichtigen Taleinschnitte sind als Frischluftbahnen zu erhalten und sollten insbesondere weitgehend von einer Bebauung freigehalten werden. Eine starke Behinderung stellen querstehende Gebäude im unteren Talverlauf dar. Aber auch stärkere Niveausprünge im Längsprofil des Tales sind zu vermeiden. Quer zum Tal verlaufende Baumreihen und Baumgruppen sind ebenfalls für den bodennahen Luftaustausch hinderlich. Soweit im Einzelfall erforderlich, kann durch Abholzung oder Auslichtung eine Behinderung der Kaltluftströme beseitigt werden. Gegebenenfalls ist durch Aufforstung an anderer Stelle in der Art einer Verkorkung eine gewollte Richtungsänderung der Luftströme zu bewirken. Siedlungskörper sollten nicht in die Täler hineinwachsen.

Rechtliche Grundlagen

Die Freihaltung der Frischluftbahnen ist durch entsprechende Nutzungsdarstellungen und Festsetzungen in den Bauleitplänen sicherzustellen (z. B. als Grünfläche, Sport und Spielanlagen oder

als Fläche für die Landwirtschaft). Auch die Festsetzung der Mindestgröße von Baugrundstücken (§ 9 (1) 3. BauGB) kann im Sinne von Abschnitt 6.1.3 die Durchlüftungsmöglichkeit eines Gebietes fördern.

Im der Begründung zum Flächennutzungsplan (§ 5 (5) BauGB) bzw. in der Begründung zum Bebauungsplan (§ 9 (8) BauGB) ist auf die lokalklimatische Bedeutung der betreffenden Flächen für die Frischluftversorgung des Siedlungsraumes besonders einzugehen.

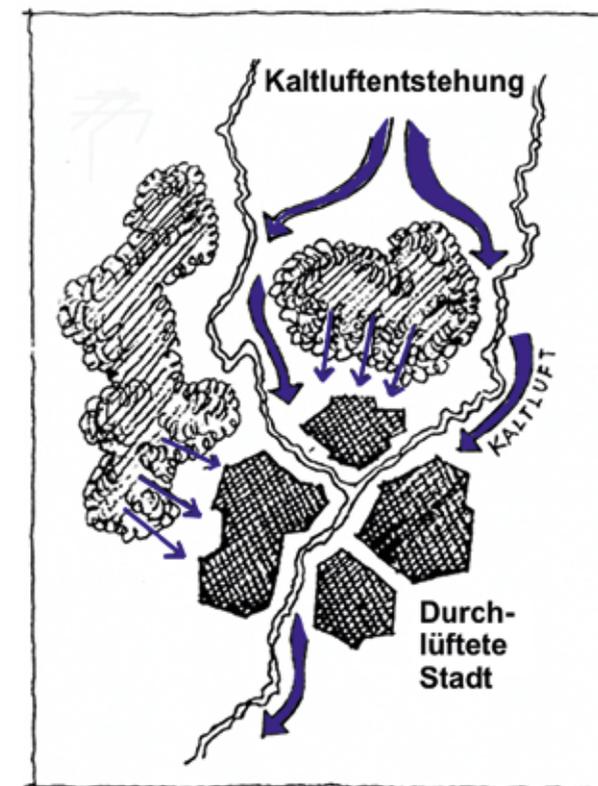


Abb. 6/13 Durchlüftete Stadt

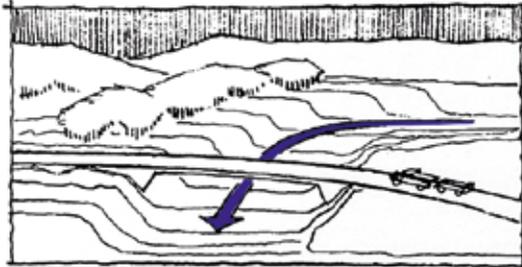
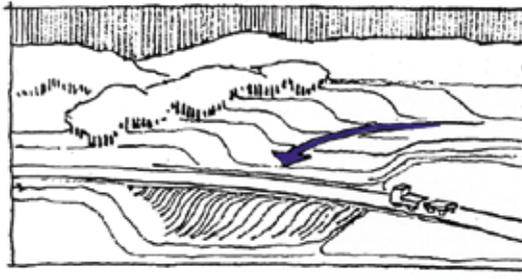


Abb. 6/14 Damm als Hindernis; Brücke
bremst Kaltluftstrom nicht

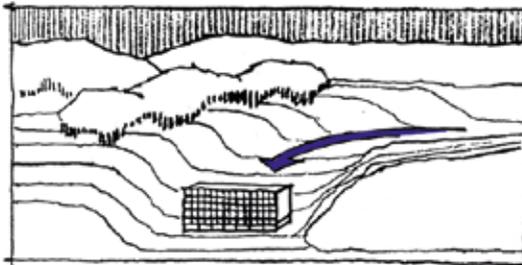
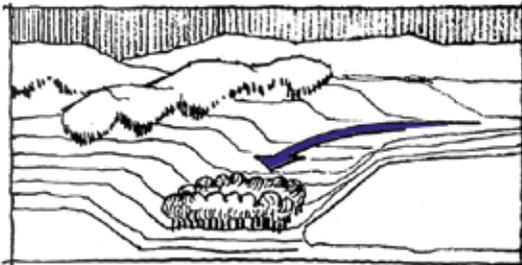


Abb. 6/15 Baumriegel als Hindernis;
Bebauung als Hindernis

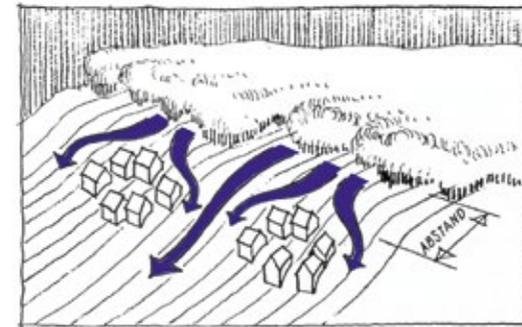


Abb. 6/16 Hangbebauung

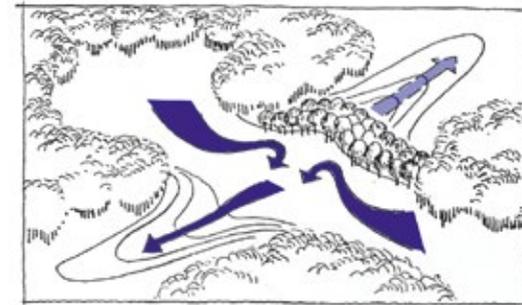


Abb. 6/17 „Verkorkung“

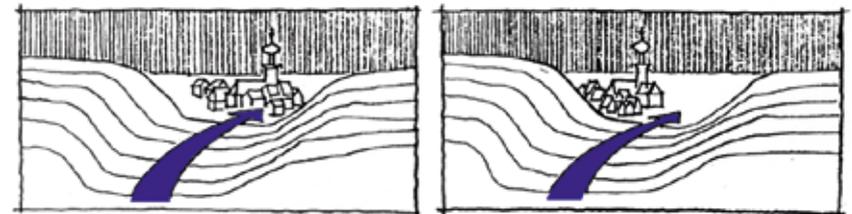


Abb. 6/18 Umlenkung einer
Kaltluftströmung

6.2.3 Grünzüge

Neben der Bedeutung der Grünflächen für die Freihaltung von Frischluftbahnen ist ihre Funktion als Gliederungselement in der Siedlungslandschaft besonders zu beachten. Grünflächen sind dabei umso wirkungsvoller, je ausgedehnter sie sind. Genügend Grünflächenanteile haben eine klimaregulierende Funktion. Besonders günstig ist im Allgemeinen die Anlage von Wiesenflächen mit lockerem Baumbestand und Sträuchern.

Zur Trennung von Wohngebieten und den emittierenden Industrie- und Gewerbegebieten sowie den stark befahrenen Durchgangsstraßen sind Grüngürtel besonders geeignet. Sie wirken als Abstandshalter, begünstigen den Luftaustausch und bewirken eine Verdünnung der Luftschadstoffe (vgl. Abschnitt 6.3.3). Zudem halten sie wie ein Filter staubförmige Schadstoffe zurück. Grünzäsuren stellen nicht nur stadträumliche Gliederungselemente dar, sondern bedeuten zugleich auch Unterbrechungen der für den Siedlungsraum charakteristischen Wärmeinsel, was kleinräumige Luftaustauschvorgänge zwischen unterschiedlich temperierten Bereichen und zwischen den so gegliederten Orts- bzw. Stadtteilen fördert.

Rechtliche Grundlagen

Die Realisierung einer im Sinne des Stadtklimas sinnvollen Zuordnung von bebauten und unbebauten (Grün-) Flächen bedarf eines darauf abgestimmten Ineinandergreifens von Landschaftsplan/Flächennutzungsplan und Grünordnungsplan/Bebauungsplan (vgl. Abschnitt 6.1.1). Klima- und Lufthygienekarten stellen dabei – wie im Kapitel 5 dargelegt – eine unverzichtbare fachliche Grundlage dar.

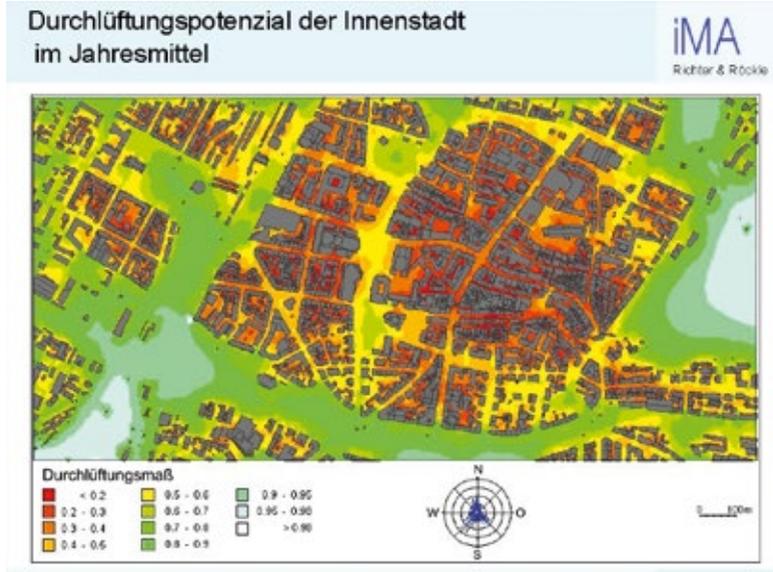


Abb. 6/19 Durchlüftungspotential der Innenstadt von Freiburg im Jahresmittel, Quelle: IMA, Richter & Röckle, 2003

6.2.4 Günstige Siedlungs- und Bauungsformen

Gliederung der Siedlungskörper

Damit die Luft auch bei schwachen Strömungen von außen in die Stadt eindringen und sie durchlüften kann, sollten die Siedlungskörper keine allzu große Flächenausdehnung und Bebauungsdichte aufweisen. Die Bebauung am Stadtrand darf keinen abriegelnden Bebauungsgürtel bilden. Sie soll vielmehr in aufgelockerter Form erfolgen.

Hangbebauung

Bei Städten in Tal und Kessellagen sind Art und Umfang der Hangbebauung für das Stadtklima von großer Bedeutung. Die Bebauung der Hanglagen sollte, wenn sie nicht überhaupt ganz vermieden werden kann, offen, mit angemessen niedrigem Nutzungsmaß unter Erhaltung verhältnismäßig großer nicht überbauter Flächen

auf den Baugrundstücken und mit großen Abständen der einzelnen Gebäude untereinander erfolgen. Zeilenbebauung parallel zum Hang bildet für Hangwinde ein wesentliches Hindernis. Günstiger sind in dieser Hinsicht Bauzeilen senkrecht zum Hang; sie behindern allerdings parallel zum Hang verlaufende Winde. Senkrecht zum Hang orientierte Lüftungsschneisen sollten unbedingt freigehalten werden, wobei zusammenhängende Freiflächen gegenüber verstreuten, oftmals auch versiegelten Abstandsflächen zu bevorzugen sind. Hangbebauung sollte grundsätzlich niedrig bleiben und die natürlichen Hindernishöhen (Baumhöhen) möglichst nicht überschreiten, um günstige bodennahe Strömungsverhältnisse zu gewährleisten. Insbesondere bei flachen Hängen kommt eine punktförmige Bebauung mit größeren Grün- und Freiflächen einer guten Durchlüftung sowie der Kaltluftproduktion sehr entgegen.

Südhanglagen sind für das Wohnen besonders attraktiv. Wie der **Abbildung 6/27** zu entnehmen ist, erweist sich die Bebauung süd-exponierter Hänge auch aus energetischen Gründen als vorteilhaft. Bei einer solchen Planungsentscheidung sollten jedoch die oben behandelten geländeklimatischen Aspekte nicht unbeachtet bleiben. Die sich aus energiebewusster Planung ergebenden Bauungskonzepte werden in der Regel mit den Belangen des örtlichen Klimas nicht im Konflikt stehen. Ein Beispiel dafür ist die in jeder Hinsicht ungünstige Beurteilung von engen Tälern, Mulden und Kaltluftseen als Siedlungsflächen.

Hochhausbebauung

Mit einer Massierung von Hochhäusern oder Bauwerken, welche ihre Umgebung wesentlich überragen, werden die örtlichen Windverhältnisse dahingehend verändert, dass bei gesteigerter Windböigkeit der freie Windstrom gebremst wird (Zunahme der Vertikalkomponente des Windes auf Kosten der horizontalen Windgeschwindigkeit). Daraus kann trotz örtlich gesteigerter Ventilation bzw. Windturbulenz eine stadträumliche Abnahme der Winddurchlüftung resultieren. Eine systematische Höherzonung städtischer Bebauung hat auch die nachteilige Wirkung, dass Schornsteinabgase vorhandener Gebäude nicht mehr in den freien Windstrom gelangen und somit die Luftverschmutzung am Ort trotz unver-

änderter Schadstoffquellrate zunimmt. Deshalb sollte jede Bebauung in ihrer Höhendimensionierung den Umgebungsverhältnissen angepasst sein. Die Planung von Hochhäusern erfordert große Sorgfalt, um aerodynamisch unerwünschte Nebenwirkungen und unbehaglich zugige Aufenthaltsbereiche zu vermeiden. Auf diesem Gebiet haben sich Modelluntersuchungen im Windkanal bewährt (Vgl. Abschnitt 4.2).

Die energetisch nachteilige Eigenschaft von Hochhäusern, in die Zone höherer Windgeschwindigkeiten aufzuragen und ein ungünstiges Verhältnis von wärmeübertragender Umfassungsfläche zum Bauwerksvolumen aufzuweisen (A/V-Verhältnis), wird im Abschnitt 3.4.3 behandelt.

Rechtliche Grundlagen

Zur Sicherung eines gesunden Stadtklimas sollen Bebauungspläne, insbesondere in Bereichen, die für die Durchlüftung der Stadt von Bedeutung sind, umfassende Festsetzungen enthalten. Die Bebauungspläne sollen, soweit sie Baugebiete festsetzen, in jedem Falle die Anforderungen des § 30 (1) BauGB erfüllen. Das Maß der baulichen Nutzung ist durch die Grundflächenzahl (GRZ) und die Höhe der baulichen Anlagen (HbA) festzusetzen (§ 16 (3) BauNVO). Die überbaubaren Grundstücksflächen sind eng auszuweisen. Größere Wahlmöglichkeiten für die Anordnung der Gebäude beim Vollzug des Bebauungsplanes durch die Ausweisung großer überbaubarer Grundstücksflächen, die mit entsprechender Festsetzung der Baugrenzen im wesentlichen die ganzen Baugrundstücke überbaubar machen, können in den klimatisch kritischen Zonen nicht eingeräumt werden. Auch Festsetzungen über die Stellung der baulichen Anlagen sowie über die – meist offene – Bauweise (§ 9 (1) 2. BauGB) werden regelmäßig erforderlich sein. Um eine bestimmte Auflockerung der Bebauung sicherzustellen, kann u. a. die Mindestgröße der Baugrundstücke festgesetzt werden (§ 9 (1) 3. BauGB).

Diese planungsrechtlichen Werkzeuge lassen sich auch im Interesse einer energiesparenden kompakten Bauweise mit optimierten Abstandsverhältnissen, Gebäudeanordnungen und -ausrichtungen einsetzen.

Größere Flächen, die nach Lage, Bodenqualität und Umfang für eine landwirtschaftliche Nutzung geeignet sind und von der Bebauung ganz freigehalten werden sollen, können als Flächen für die Landwirtschaft festgesetzt werden (§ 9 (1) 18.(a) BauGB). Sind sie hierfür nicht geeignet, eine Freihaltung aber gleichwohl erforderlich, kommt eine Festsetzung als Grünfläche (§ 9 (1) 15. BauGB) oder als von Bebauung freizuhaltende Fläche und ihre anderweitige Nutzung (z. B. Kleingärten) in Betracht (§ 9 (1) 10. BauGB).

Auf den Baugrundstücken können auch die Stellplätze und Garagen sowie ihre Einfahrten konkret festgesetzt werden (§ 9 (1) 4. BauGB). Gegebenenfalls kann für Stellplätze und Garagen eine Festsetzung als Gemeinschaftsanlage (§ 9 (1) 22. BauGB) getroffen werden. Für Baugebiete oder Teile von Baugebieten, für die Gemeinschaftsstellplätze oder Gemeinschaftsgaragen festgesetzt werden, ist die Zulassung von Stellplätzen und Garagen auf den Baugrundstücken auszuschließen (§ 12 (6) BauNVO). Soweit erforderlich, sind (sowohl im Bauland wie auf Verkehrsflächen, Grünflächen usw.) Anpflanzungen und Pflanzbindungen festzusetzen (§ 9 (1) 25 BauGB).

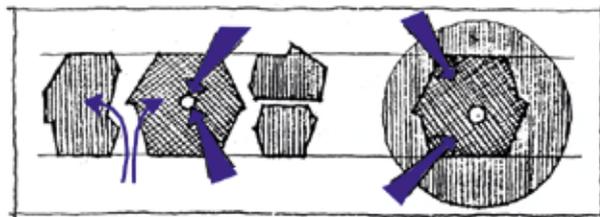


Abb. 6/20 Gliederung der Siedlungskörper



Abb. 6/21 Randbebauung

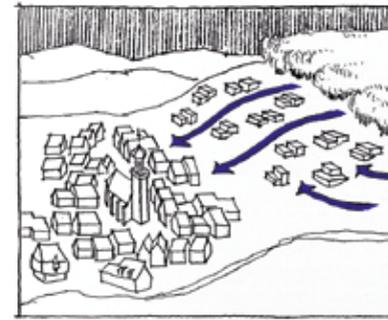


Abb. 6/22 Durchlässige Hangbebauung



Abb. 6/23 Keine hangparallele Zeilenbebauung



Abb. 6/24 Hangbebauung mit talparalleler Riegelwirkung

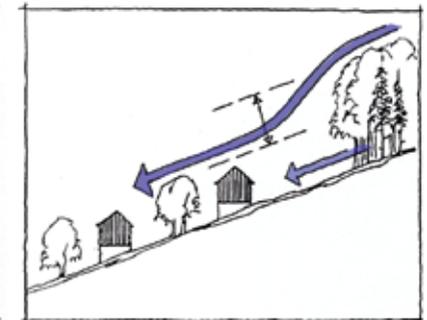


Abb. 6/25 Höhe der Hangbebauung

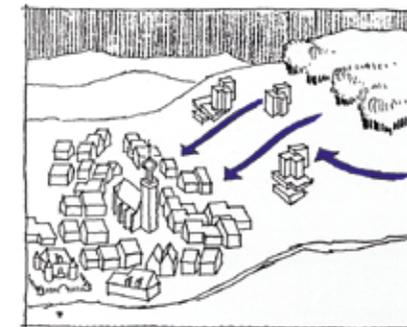


Abb. 6/26 Punktförmige Hangbebauung

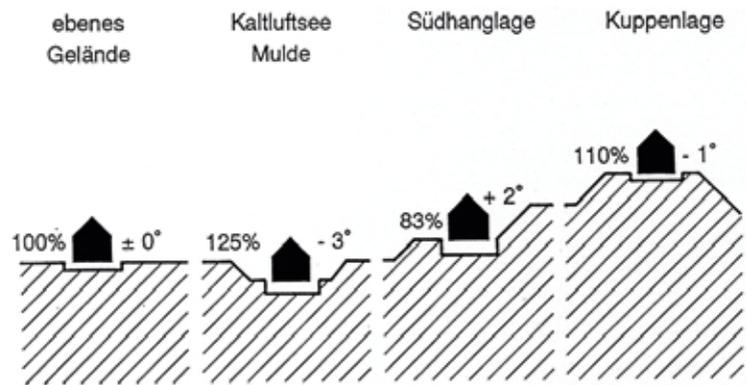


Abb. 6/27 Wärmeverluste und Temperaturen in Abhängigkeit von der topographischen Standortsituation, Quelle: BUNZEL et al. 1997

■ 6.3 Maßnahmen zur Luftreinhaltung

Eine wesentliche Verbesserung des Stadtklimas kann durch die Verringerung der Emissionen und damit einer Reduzierung der Luftverschmutzung erreicht werden. Die Verkehrsplanung und Konzepte der Energieversorgung sind im kommunalen Bereich besonders geeignet, auf die Schadstoffemission Einfluss zu nehmen. Ebenso spielen Zustand und Versorgung der kommunalen Gebäude eine wichtige Rolle, auch hinsichtlich einer Vorbildfunktion für private Gebäudeeigentümer.

Am anderen Ende der Kausalkette Emission (Freisetzung) - Transmission (Ausbreitung) - Immission (Einwirkung) kann eine sachgerechte planerische Reaktion auf erkannte und richtig bewertete Immissionsbelastungssituationen das Ausmaß von „Betroffenheit“ mindern.

Die dritte Säule der planerischen Luftreinhaltung betrifft das Bindeglied zwischen Emissionen und Immissionen: Die zeitliche und räumliche Variation der Luftbelastung hängt bei gegebener Schadstoffquellrate von den meteorologischen Ausbreitungsbedingun-

gen ab. In welchem Umfang die gebaute Stadt hier Einfluss nimmt, geht aus Kapitel 2 hervor. Die Berücksichtigung der Ausbreitungsklimatologie ist nicht nur im Hinblick auf die richtige Standortwahl bei der Industrieansiedlung notwendig, sondern ebenso bei weiteren emittierenden Nutzungen wie Müllverbrennungsanlagen, Mülldeponien, Kläranlagen sowie bei der Trassierung neuer Straßen. Für besonders immissionsempfindliche Einrichtungen wie Krankenhäuser, Freibäder, Spielplätze, Altersheime sind spezielle Standortüberlegungen unerlässlich.

Das Planungsrecht und das Immissionsschutzrecht weisen zahlreiche Verflechtungen und Querbezüge auf, welche in der städtebaulichen Planung beachtet werden müssen. So ist es nicht denkbar, dass Festsetzungen zum Immissionsschutz im Bebauungsplan hinter den immissionsschutzrechtlich normierten Anforderungen zurückbleiben oder diese gar außer Kraft setzen.



Abb. 6/28 Hausbrandemissionen

■ 6.3.1 Bereich Gewerbe und Industrie

Immissionsschutz und Baurecht

Aufgrund des im Bundes-Immissionsschutzgesetz verankerten Verursacherprinzips steht die einzelne emittierende Anlage im Mittelpunkt der Maßnahmen zur Luftreinhaltung. Deren wesentlichstes Element ist das immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren.

Im Hinblick auf die zulässige Immissionsbelastung im Einwirkungsbereich einer zu genehmigenden Anlage konkretisiert die „Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ (Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, TA Luft) die gebotene Rücksichtnahme auf die Nachbarschaft, trifft dabei aber keine Unterscheidungen nach der städtebaulichen Schutzbedürftigkeit des von Schadstoff-Immissionen betroffenen Gebietes. Anders als beim Lärmschutz gelten somit die Immissionswerte der TA Luft in allen Baugebietsarten gemäß § 1 (2) BauNVO gleichermaßen.

Die Gebietsverträglichkeit einer emittierenden Anlage ergibt sich allein aus der baurechtlichen Zulässigkeit des Vorhabens gemäß der Baunutzungsverordnung (BauNVO) und den entsprechenden Festsetzungen des Bebauungsplanes.

Dabei bemisst sich die Schutzwürdigkeit eines Gebiets nach dem, was dort planungsrechtlich zulässig ist. Insofern beinhaltet die mit §§ 2 bis 10 BauNVO vorgenommene Typisierung von Baugebietsarten zugleich eine der jeweiligen Zweckbestimmung des Gebiets entsprechende Immissionsschutz-Rangfolge. Dies betrifft sowohl die Emissionsträchtigkeit als auch die Immissionsempfindlichkeit der dort zulässigen Nutzungen.

Nach § 15 (3) BauNVO ist die Zulässigkeit von Anlagen in den Baugebieten nicht allein nach den verfahrensrechtlichen Einordnungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und der auf seiner Grundlage erlassenen Verordnungen zu beurteilen. Damit wird klargestellt, dass je nach Einzelfall immissionsschutzrechtlich

„genehmigungsbedürftige Anlagen“ auch außerhalb von Industriegebieten untergebracht werden dürfen. Bei typisierender Betrachtung ist nämlich davon auszugehen, dass nach § 4 BImSchG „genehmigungsbedürftige Anlagen“ (meistens produzierendes Gewerbe) ohne Einschränkung nur in Industriegebieten (GI) zulässig sind, während i.d.R. Gewerbegebiete (GE) und Mischgebiete (MI) den nicht genehmigungsbedürftigen gewerblichen Anlagen vorbehalten sind. Besonders hinzuweisen ist auf die mit § 1 (4) BauNVO vorgesehene Möglichkeit, ein Baugebiet nach der Art zulässiger Nutzungen sowie nach der Art der Betriebe und Anlagen und deren besonderen Bedürfnissen und Eigenschaften zu gliedern. Diese Gliederungsmöglichkeit kann zur Verhinderung der Ansiedlung luftverunreinigender Betriebe in besonderen Situationen (z. B. in stadtklimawirksamen Luftaustauschbahnen oder Übergangsbereichen zu anderen Nutzungen) auch in einem Industriegebiet herangezogen werden.

Besonders hinzuweisen ist auf die mit § 1 (4) BauNVO vorgesehene Möglichkeit, ein Baugebiet nach der Art zulässiger Nutzungen sowie nach der Art der Betriebe und Anlagen und deren besonderen Bedürfnissen und Eigenschaften zu gliedern. Diese Gliederungsmöglichkeit kann zur Verhinderung der Ansiedlung luftverunreinigender Betriebe in besonderen Situationen (z. B. in stadtklimawirksamen Luftaustauschbahnen oder Übergangsbereichen zu anderen Nutzungen) auch in einem Industriegebiet herangezogen werden.

Nach § 50 BImSchG sind „bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen, dass schädliche Umwelteinwirkungen ... auf die ... dem Wohnen dienenden Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete ... so weit wie möglich vermieden werden. Bei ... Planungen in Gebieten, in denen die ... Immissionsgrenzwerte und Zielwerte nicht überschritten werden, ist bei der Abwägung der betroffenen Belange die Erhaltung der bestmöglichen Luftqualität als Belang zu berücksichtigen.“

Als Arbeitshilfe in der praktischen Umsetzung einer entsprechenden Flächenzuordnung kann beispielsweise der sogenannte Abstandserlass des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen herangezogen werden.

Immissionsklimatologie

Im Genehmigungsverfahren für größere emittierende Anlagen sowie im Zusammenhang mit vorgeschriebenen Störfall-Analysen haben mittels Ausbreitungsrechnung oder durch experimentelle Simulation gewonnene Immissionsprognosen eine große Bedeutung (vgl. dazu Kapitel 4).

Grundsätzlich sollten Industrie- und Gewerbegebiete mit ausreichenden Schutzabständen durch trennende Grünzüge an der windabgewandten Seite der Siedlungen ausgewiesen werden. Die Hauptwindrichtung gibt die Himmelsrichtung an, aus der die im Mittel häufigsten und zugleich im Mittel stärksten Winde kommen. Dies ist im Südwesten Deutschlands meistens West bis Südwest. In östlicher oder nordöstlicher Richtung von einer Schadstoffquelle findet man deshalb bei freier Ausbreitung die im Mittel höchste Schadstoffkonzentration. Bei den weit weniger häufigen austauscharmen Wetterlagen stellen sich unter Schwachwind einfluss (östliche bis südliche Windrichtungen) die Spitzenwerte der Immissionsbelastung ein. Ausbreitungsrechnungen zeigen deshalb im Jahresmittel ein Immissions-Nebenmaximum meist nordwestlich vom Schadstoff-Emittenten. Die alte auf die Hauptwindrichtung bezogene städtebauliche Regel hat demnach – mit der genannten Einschränkung – durchaus noch Gültigkeit.

6.3.2 Bereich Hausbrand

Für die im Interesse der Luftreinhaltung und des Klimaschutzes anzustrebende Emissionsminderung ist die Art der Energieversorgung bzw. die Wahl der eingesetzten Brennstoffe von erheblicher Bedeutung.

Tabelle 6/4 zeigt einen Überblick der spezifischen Schadstoff-Emissionen verschiedener Heizsysteme, die im Bereich Hausbrand und Kleingewerbe im Einsatz sind. Dabei stellen sich Erdgasheizkessel als die bezüglich der konventionellen Schadstoffe insgesamt „saubersten“ heraus. Übertroffen werden sie allerdings im Sektor Klimaschutz bezüglich der Kohlenstoffdioxidemissionen von Holzheizungen, die wiederum hohe Schadstoff-, v. a. Staubemissionen

aufweisen. Einen guten Kompromiss stellt nach derzeitigem Stand das Erdgas Mini-BHKW dar. Durch die Umstellung/Erneuerung von Heizsystemen haben sich die lufthygienischen Verhältnisse unserer Städte, insbesondere in den neuen Bundesländern, mit Abnahme der Schwefeldioxid-, Kohlenmonoxid- und Staubbelastung grundlegend verbessert. Durch Steigerung der Energieeffizienz und den Einsatz erneuerbarer Energieformen müssen nun die Kohlenstoffdioxidemissionen deutlich reduziert werden.

Schadstoffe	CO ₂ g/kWh	SO ₂ g/kWh	NO _x g/kWh	CO g/kWh	Staub g/kWh
Heizsystem					
Heizöl - Niedertemperaturkessel	371	750	266	215	34
Erdgas - Niedertemperaturkessel	295	179	234	166	10
Erdgas - Brennwertkessel	252	154	200	145	9
Elektroheizung, 100% Kohlestrom	1075	1056	525	246	26
Elektroheizung, 85% Kohlestrom	968	980	494	232	27
Elektro-Wärmepumpe Luft, 100% Kohlestrom	342	347	178	115	12
Elektro-Wärmepumpe Boden, 100% Kohlestrom	288	294	152	104	11
Elektro-Wärmepumpe Wasser, 100% Kohlestrom	270	277	144	101	11
Erdgas-Blockheizkraftwerk, klein	-97	-82	400	383	12
Biogas-Blockheizkraftwerk, klein	-411	855	1365	1183	166
Holzpellet-Feuerungen	83	847	1020	2709	317
Solarkollektoranlage + Holzheizung	30	469	269	15901	196
Holzheizung, Scheitholz	15	401	272	14120	276
Kaminofen, Scheitholz	24	335	142	12130	298

Tab. 6/4 Emissionsfaktoren verschiedener Heizsysteme (nach GEMIS, Globales Emissions-Modell integrierter Systeme, Öko-Institut, Freiburg), Datenquelle Holzfeuerungen: LUBW in Zusammenarbeit mit Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Universität Stuttgart (IVD)

Der im Rahmen dieser Klimaschutzbemühungen propagierte Einsatz von Holz als nachwachsender Brennstoff muss aus rein luft-hygienischer Sicht in Ballungsräumen durchaus auch kritisch betrachtet werden. Jedenfalls bedarf die Holzverbrennung moderner Feuerungsanlagen, in denen hinsichtlich Beschickung, Ausbrandverhalten, Rauchgasbehandlung und Kaminausführung der Stand der Technik realisiert ist. In der Summe ist dies häufig nur bei größeren i.d.R. gewerblichen Anlagen betriebswirtschaftlich sinnvoll.

Im häuslichen Bereich besteht bei Scheitholzverbrennung die Gefahr, dass ungeeignetes, nicht trocken gelagertes oder behandeltes Holz, oft noch unter falscher Bedienung des Ofens eingesetzt wird. Insbesondere zu niedrige Kaminhöhen – wobei unzureichend berücksichtigte Dachaufbauten oder höhere Nachbargebäude (Hanglagen!) eine Ableitung der Rauchgase „in den freien Windstrom“ behindern – führen dann zu entsprechenden Nachbarschaftsbeschwerden. Wie deren Bearbeitung zeigt, verführt eine derartige Holzfeuerstätte gelegentlich auch zur unerlaubten Abfallverbrennung.



Abb. 6/29 Hausbrand, Emissionen aus vielen Quellen



Abb. 6/30 Hausbrand, Emissionen aus Kohleeinzelofen

Rechtliche Grundlagen

Emissionsminderung

§ 9 (1) 23. a. BauGB bietet eine bebauungsplanmäßige Festsetzungsmöglichkeit zur direkten Emissionsminderung: Danach können im Bebauungsplan Gebiete festgesetzt werden, in denen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bestimmte luftverunreinigende Stoffe nicht oder nur beschränkt verwendet werden dürfen.

Diese als „Verbrennungsverbot“ für die fossilen Brennstoffe, vor allem Kohle, bekannte Festsetzung erfordert ein begründetes städtebauliches Interesse an der Sicherung unterhalb der Gefährdungsgrenze liegender Nutzungsqualitäten, wobei die Beschränkung oder der Ausschluss von leichtem Heizöl nicht aus Gründen seines Schwefelgehaltes erfolgen darf. Auch muss nachgewiesen sein, dass die unzulässigen oder nur beschränkt zulässigen Brennstoffe die Luft erheblich verunreinigen.

Die Festsetzung eines Verbrennungsverbotes setzt wie jede andere Festsetzung ihre Erforderlichkeit im planungsrechtlichen Sinne voraus. Im Übrigen können klimatische und topographische Gegebenheiten (z. B. die Existenz von Frischluftschneisen) eine städtebauliche Begründung für ein Verbrennungsverbot tragen.

Im Hinblick auf die mögliche Beschränkung der Verwendung luftverunreinigender Brennstoffe kann durch geeignete textliche Festsetzung im Bebauungsplan die lufthygienische Chancengleichheit der Brennstoffe Gas und Heizöl hergestellt werden, indem zur Begrenzung der Schadstoffemission Grenzwerte festgesetzt werden, die ggf. auch durch Maßnahmen zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs (moderne Heizungstechnik oder verstärkte Wärmedämmung der Außenwände) erreicht werden können. Diese Festsetzungen bestimmen dann in ihrer Gesamtheit die „beschränkte Verwendung“.

Energieeffizienz (Erzeugung, Nutzung und Bauweise) und erneuerbare Energien

Nach § 9 (1) 23. b. BauGB besteht nach Neuregelung durch das Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes (s. Kapitel 1) die Möglichkeit, Gebiete festzusetzen, in denen bei der Errichtung von Gebäuden oder bestimmten sonstigen baulichen Anlagen bestimmte bauliche und sonstige technische Maßnahmen für die Erzeugung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung getroffen werden müssen. Bezüglich der nach dem ERNEUERBARE-ENERGIEN-WÄRMEGESETZ, 2008 (EEWärmeG) bestehenden Wahlmöglichkeiten stellt sich allerdings die Frage, ob eine bauplanungsrechtliche Festlegung auf eine *bestimmte Form* der erneuerbaren Energien städtebaulich zu rechtfertigen wäre. Dass es im Einzelfall solche Gründe geben kann, ist sicherlich nicht ausgeschlossen, zumal die Klimaschutz-Novelle bisherigen Auffassungen entgegentritt, nach denen Festsetzungen nur im Hinblick auf örtlich begrenzte Gegebenheiten zu rechtfertigen sind.

Das Rechtsinstrument des Städtebaulichen Vertrags (§ 11 BauGB) bietet analog zu den Festsetzungsmöglichkeiten ebenfalls erweiterte

Regelungsmöglichkeiten zu energetischen Fragestellungen. So können neben technischen Regelungen zur dezentralen und zentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung auch (ggf. über die Energieeinsparverordnung (2009) hinausgehende) Anforderungen an die energetische Qualität von Gebäuden formuliert werden. Die Festsetzung dafür erforderlicher Flächen für Versorgungsanlagen und -leitungen erfolgt wie bisher auf Grundlage von § 9 (1) 12. u. 13. BauGB.

Erneuerbare-Wärme-Gesetz in Baden-Württemberg

Nach dem in Baden-Württemberg am 1.1.2008 in Kraft getretenen Gesetz muss die Wärmeversorgung bei Neubauten, für die ab 1. April 2008 die Bauunterlagen erstmalig eingereicht wurden, zu mindestens 20 Prozent über erneuerbare Energien wie Sonnenenergie, Erdwärme und Wärmepumpen oder Biomasse gedeckt werden. „Die Quote kann zumeist bereits über eine solarthermische Anlage auf dem Dach erreicht werden.“ Für den Gebäudebestand wurde ab 2010 ein Anteil regenerativer Energien von zehn Prozent vorgeschrieben, der immer dann erfüllt werden muss, wenn es zum Austausch der Heizungsanlage kommt. Ersatzweise kann die Verpflichtung durch eine verbesserte energetische Dämmung erfüllt werden. Das Ziel ist, den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern. Wenn das auf eine andere Weise (z. B. Kraft-Wärme-Kopplung) erreicht werden kann, wird dies auch anerkannt.

■ 6.3.3 Bereich Verkehr

Verkehrsplanung

Maßnahmen der Verkehrsplanung wie die Herausnahme von Durchgangsverkehr aus Wohngebieten, Umgehungsstraßen im Falle belasteter Ortsdurchfahrten, Förderung des öffentlichen Personennahverkehrs bzw. des Rad- und Fußgängerverkehrs, also des so genannten Umweltverbundes tragen zur Herabsetzung der Luftbelastung bei.

Die Zusammenhänge zwischen Tempolimit und den kraftfahrzeugbedingten Emissionen gehen aus Abschnitt 2.8.2 hervor.

In **Abbildung 6/31** wird der Gesichtspunkt verkehrsberuhigter städtischer Zonen durch die Bündelungsfunktion von Hauptstraßen mit angrenzender abschirmender Bebauung und unterirdischer Parkierungerschließung hervorgehoben.

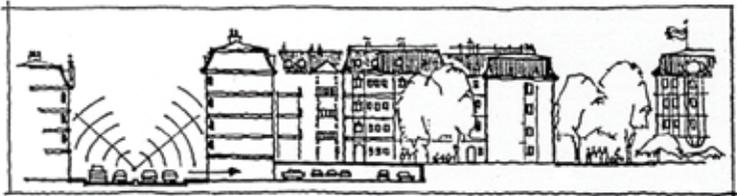


Abb. 6/31 Maßnahmen der Verkehrsplanung

Da im Bereich stark befahrener Straßen von Nutzungseinschränkungen auszugehen ist, macht die Planung bzw. die entsprechende bebauungsplanmäßige Festsetzung von Straßen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als etwa 10.000 Kfz/24 h eine Ermittlung der Abgas-Immissionsbelastung für den straßennahen Bereich erforderlich. Die für Immissionsprognosen zur Verfügung stehenden Werkzeuge sind Gegenstand der Abschnitte 4.3.3 bis 4.3.6.

Bewertung der Abgasimmissionsbelastung

Für die Bewertung der berechneten Schadstoffbelastung von Straßen oder in Straßenräumen sind im Hinblick auf planerische Maßnahmen die schon bestehende Belastung sowie die beabsichtigte Nutzung in der Nachbarschaft der Straße bedeutsam. Auch wird man bei Planungssituationen im bestehenden innerstädtischen Verkehrsnetz möglicherweise zu einer anderen Bewertung kommen als im Falle einer Neuplanung von Straße und Wohngebiet, etwa im Zuge einer künftigen Ortsumfahrung. Eine große Bedeutung auf die Abgasbelastung hat die Straßengeometrie, so ist beispielsweise bei einer Verdoppelung der Straßenbreite, mit einer Halbierung der Immissionsbelastung auszugehen.

Insbesondere bei Neuplanungen von Wohngebieten sollten zur Beurteilung die Vorsorge-Werte der WHO herangezogen werden (vgl. dazu Abschnitt 2.9). Bei der Abwägung über die Zulassung von Wohnnutzung, die gerade in Besonderen Wohngebieten (WB) erhalten oder fortentwickelt werden soll oder in Kerngebieten (MK) zur Stadtbelebung erwünscht ist, sind jedoch die Grenzwerte der 39. BImSchV (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen) im Hinblick auf erforderliche planerische Maßnahmen in jedem Fall zu berücksichtigen.

In der Praxis hat sich oft eine abgestufte Vorgehensweise bewährt: z. B. führt das Überschreiten von Vorsorgewerten zu einer planerischen Reaktion (Kennzeichnung im Bebauungsplan nach § 9 (5) 1. BauGB). Die Vorsorgewerte können beispielsweise auch als in Abwägungsprozessen bei Planungen zu berücksichtigende Zielwerte von den kommunalen Gremien beschlossen werden. Überschreitungen von Immissionsgrenzwerten der 39. BImSchV erfordern individuelle Maßnahmen (Festsetzungen von Schutzvorkehrungen nach § 9 (1) 24. BauGB). Sie sind als gravierende lufthygienische Befunde im Rahmen der Bauleitplanung jedoch immer noch „der Abwägung zugänglich“. Grenzwertüberschreitungen in einem Planungsgebiet sind danach in begründeten Fällen möglich. Dann ist allerdings darzulegen, durch welche Maßnahmen (auch außerhalb des Plangebietes) eine Verbesserung erreicht werden kann. Eine Planungsentscheidung für künftige Wohnnutzung dürfte unter diesen Bedingungen jedoch in der Regel fragwürdig sein, da bei Überschreitung der Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit gesunde Wohnverhältnisse in diesen Bereichen grundsätzlich in Frage gestellt werden müssen.

Bei Überschreiten der Grenzwerte der 39. BImSchV sind unabhängig davon Luftreinhaltepläne und Pläne für kurzfristige Maßnahmen (Aktionspläne) aufzustellen.

Immissionsmindernde Einflüsse

Die kraftfahrzeugbedingten Schadstoffkonzentrationen nehmen mit zunehmender Entfernung zu einer Straße in der Regel stark ab. Diese Abnahme gilt mit Einschränkungen auch für das Stickstoff-

dioxid. Da die von der Straße ausgehende Lärmbelastung ebenfalls mit der Entfernung abnimmt, ist bei sensiblen Nutzungen (Wohnen, Erholung etc.) durch entsprechende Schutzabstände sicherzustellen, dass sowohl die Lärmschutzanforderungen als auch die oben genannten Immissionskriterien der 39. BImSchV als Mindestanforderungen eingehalten werden.

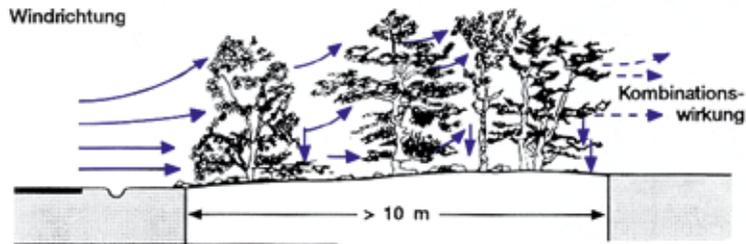


Abb. 6/32 Gehölzpflanzung aus Laub- und Nadelgehölzen; Reduzierung der Immissionen möglich

In Straßenschluchten mit enger Randbebauung ergeben sich keine Möglichkeiten für Schutzabstände. Auch Immissionsschutzeinrichtungen wie Lärmschutzwälle und -wände sowie dichte Bepflanzungen scheiden hier als ansonsten durchaus wirksame Abhilfemaßnahmen gegen die Abgasbelastung aus. Dafür bewirkt geschlossene Randbebauung eine erhebliche Belastungsreduktion auf der straßenabgewandten Seite sowie im Bereich der Hinterbebauung. Auch in den oberen Geschossen der Straßenrandbebauung ergeben sich i.d.R. geringere Immissionsbelastungen als unten in der Straße.

Anpflanzungen als Immissionsschutz

Die Minderung von Schadstoffen durch Anpflanzungen von Bäumen und Sträuchern kommt zum einen durch die mechanische Filterwirkung der Pflanzen zustande (Schwerkraftabscheidung), was sich insbesondere bei staub- oder tröpfchenförmigen Schadstoffen auswirkt, und zum anderen durch die Veränderung des Windfeldes. Empfehlenswert ist eine Gehölzpflanzung aus einem Gemisch von Laub- und Nadelgehölzen, wie sie in der **Abbildung 6/32** dargestellt ist. Allerdings zeigen neuere Untersuchungen (WAGNER, 2012) dass biogenes Isopren in urbanen Räumen an sonnigen Tagen mit

hohen Temperaturen eine wichtige Ozonvorläufersubstanz darstellt, da klimawandelbedingt in Zukunft mit häufigeren stabilen Hochdruckwetterlagen im Sommer zu rechnen ist, sollte darauf geachtet werden, nicht Isopren emitierende Baumarten bei Neu-/Ersatzanpflanzungen zu bevorzugen.

Damit unterscheidet sich der Einfluss von Anpflanzungen auf die Verbesserung der Immissionssituation bei Schadstoffen an Straßen von der Möglichkeit, durch Vegetation Schallminderung an Straßen zu bewirken (STÄDTEBAULICHE LÄRMFIBEL, 2013).

Rechtliche Grundlagen (Immissionsschutz)

Nach § 9 (1) 24. BauGB können im Bebauungsplan festgesetzt werden „die von der Bebauung freizuhaltenen Schutzflächen und ihre Nutzung, die Flächen für besondere Anlagen und Vorkehrungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sowie die zum Schutz vor solchen Einwirkungen oder zur Vermeidung oder Minderung solcher Einwirkungen zu treffenden baulichen und sonstigen technischen Vorkehrungen.“

Nach § 9 (5) 1. BauGB sollen im Bebauungsplan Flächen gekennzeichnet werden, bei deren Bebauung besondere bauliche Vorkehrungen gegen äußere Einwirkungen erforderlich sind.

Beispiel einer Festsetzung nach § 9 (1) 24. BauGB:

„In den mit „L“ gekennzeichneten Bereichen sind Aufenthaltsräume beispielsweise von Wohnungen, Büros oder Läden nur dann zulässig, wenn sie ausschließlich von der straßenabgewandten Gebäudeseite belüftet werden.“

Eine andere Festsetzungsmöglichkeit:

„MK3: Kerngebiet nach § 7 BauNVO; Wohnungen sind ab dem dritten Obergeschoss zulässig (§ 7 (2) 7. BauNVO).“

Kennzeichnung:

Wenn die Konfliktbewältigung der Ausgestaltung bei den Einzelvorhaben überlassen werden kann, kommt eine Kennzeichnung

als Fläche, bei deren Bebauung Vorkehrungen gegen Verkehrslärm und Kfz-Abgasimmissionen zu treffen sind, gemäß § 9 (5) BauGB in Betracht.

■ 6.4 Planungsbezogene Stadtklimauntersuchungen

Lufthygienische und meteorologische Untersuchungen können planerische Problemlösungen wesentlich unterstützen. Meteorologische Messungen, aber auch die anderen in Kapitel 4 vorgestellten Untersuchungsmethoden erfordern angemessene Bearbeitungszeiträume. So sollte eine stationäre Klima-Messreihe mindestens eine jede meteorologische Jahreszeit mit einschließen und somit ein Jahr umfassen. Dazu kommt die Bearbeitungszeit für die Auswertung. Bei anderen Methoden sind die Zeit für den Modellbau (Windkanal), das Warten auf geeignete Wetterlagen (Tracergas-Versuche, ambulante Messungen), das Einholen von Genehmigungen für das Betreten/Befahren des Untersuchungsgebietes oder für das Aufstellen von Messeinrichtungen sowie die Bereitstellung verwertbarer Karten- bzw. Datengrundlagen für Modellrechnungen bei den Bearbeitungsfristen zu berücksichtigen.

Um Verzögerungen im Ablauf städtebaulicher Planungen wegen noch ausstehender Gutachten zu vermeiden, sollte die Notwendigkeit planungsbezogener Untersuchungen rechtzeitig erkannt werden. Wurden beizeiten systematisch Grundlagendaten über das örtliche Klima erhoben, verkürzen sich die Bearbeitungszeiträume in der Regel beträchtlich. Dazu kommt der große Vorteil von Klima- und Lufthygienekarten, bereits im Vorfeld einer Planung Auskunft über standortbedingte Restriktionen und damit über die Klimarelevanz des Vorhabens erhalten zu können. So haben viele Städte bereits solche Stadtklimauntersuchungen durchführen lassen. Auch im Zusammenhang mit Klimawandel-Anpassungskonzepten (s. Abschnitt 2.11.3) werden derartige Untersuchungen notwendig. Als Folge baulicher Maßnahmen treten in der Regel nur sehr geringe örtliche Veränderungen des Klimas auf. Diese bewegen sich bei isolierter Betrachtung der konkreten Maßnahme nahe der Nachweiskante oder im Bereich der natürlichen räumlichen und zeitlichen Schwankungsbreite der Klimaparameter. Der Hinweis auf die

klimatische Summenwirkung zur bestehenden Bebauung bedeutet kein Eingeständnis der Bedeutungslosigkeit einer Planung, sondern ist im Hinblick auf die reale Erscheinung des „Stadtklimas“ ein durchaus sachgerechtes Argument. Kleinräumige Veränderungen des Klimas als Folge einer Nutzungsänderung haben nur dann planungsrelevante Bedeutung, wenn sich damit wertende Begriffe wie „vorteilhaft“ oder „nachteilig“ verbinden lassen.

Da eine universell gültige Bewertung des Klimas nicht existiert, ist es oft schwer zu beurteilen, ob durch ein Planungsvorhaben klimatische Unzuträglichkeiten zu erwarten sind. Wie die Gutachterpraxis zeigt, geht es andererseits oft um sehr konkrete Sachverhalte, z. B. Ertragseinbußen bei frostempfindlichen Sonderkulturen durch Kaltluftstau. Die Wertminderung von Grundstücken aufgrund von Einwirkungen aus der Nachbarschaft oder der „Raub“ von Licht, Luft und Sonne sind gleichfalls häufiger Anlass für Nachbarschaftsklagen. Verschiedene meteorologische Disziplinen können hier zur fachgutachtlichen Klärung des Sachverhalts beitragen:

- Human-Biometeorologie (Fragen der thermischen Belastung, Passantenbelästigung durch Zugigkeit, Abkühlungsreize, Immissionsbelastung),
- Agrarmeteorologie (Anbaubedingungen für Sonderkulturen)
- Technische Klimatologie (Fragen der technischen Sicherheit, Wind- und Schneelasten, Glatteisbildung und Nebelhäufigkeit, Dimensionierung von Kanalnetzen und Regensammelbecken, Heizwärmebedarf, Standortfragen energiewirtschaftlich bedeutender Anlagen, Einsatz alternativer regenerativer Energien),
- Immissionsklimatologie (Fragen der Schadstoffausbreitung und ihrer technischen Beurteilung).

Neuerungen in der Behandlung der Umwelt- und damit auch der Klimabelange in der Bauleitplanung ergaben sich in Deutschland durch die Umsetzung der von der EU geforderten „Strategischen Umweltprüfung (SUP)“. In der Folge wurde die SUP durch das Europarechtsanpassungsgesetz Bau (EAG Bau) für die Bauleitplanung in das Baugesetzbuch (dort als sog. „Umweltprüfung (UP)“) integriert (24. Juni 2004; in Kraft seit dem 20. Juli 2004 - BGBl. I S. 1359). Durch diese gesetzliche Regelung wird bei raumbedeut-

samen Planungen ein eigener Umweltbericht ggf. in Verbindung mit entsprechenden Untersuchungen erforderlich.

Zusätzlich werden Klimaschutz *und* Klimaanpassung durch Neu-/Änderungsregelungen und Ergänzungen im BauGB durch das Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung von Städten und Gemeinden (s. Kapitel 1, BATTIS et al. (2011)) aufgewertet. Insbesondere der neue § 1a. (5) schreibt die doppelte Zielrichtung kommunaler Klimaschutzpolitik und deren Abwägungsrelevanz fest: „Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden. Der Grundsatz nach Satz 1 ist in der Abwägung nach § 1 Absatz 7 zu berücksichtigen.“

Der FNP wird als gesamtgemeindliches Planungsinstrument gestärkt, seine Steuerungs- und Koordinierungsfunktion gegenüber Klimaschutz- und Energiekonzepten hervorgehoben. Die Aufstellung von Teilflächennutzungsplänen ist möglich und es können Anlagen, Einrichtungen und sonstigen Maßnahmen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, dargestellt werden. Hierunter ist beispielsweise auch die Darstellung von Kalt-/Frischlufschneisen zu verstehen.

Auch im Bereich städtebaulicher Sanierungsmaßnahmen sowie Stadtumbaumaßnahmen wird die Aufgabe einer klimagerechten Stadtentwicklung verstärkt betont. Weiter in den Vordergrund rückt die Sicherung und Entwicklung brachliegender und freigelegter Flächen, die ein großes Potential für eine klimagerechte Stadtentwicklung darstellen, insbesondere auch für eine stadtklimarelevante Grünflächenpolitik (z. B. hinsichtlich Kaltluftproduktion).

Insgesamt wird dadurch weiterhin ein entsprechender Bedarf an Klimauntersuchungen bestehen.

Aber auch darüber hinaus wird unter den sich abzeichnenden Folgen des Klimawandels verstärkt zu prüfen sein, inwieweit durch Stadtklimauntersuchungen planerische Lösungskonzepte ermöglicht werden, die geeignet sind, präventiv auch unter der Maßgabe eines Innenentwicklungsvorrangs eine dauerhafte klimagerechte Entwicklung zu sichern.

■ 7. Literaturverzeichnis

Abstandserlass – Abstände zwischen Industrie- bzw. Gewerbegebieten und Wohngebieten im Rahmen der Bauleitplanung und sonstige für den Immissionsschutz bedeutsame Abstände, Nordrhein-Westfalen, 6. Juni 2007, MBl. Nr. 29 vom 12.10.2007 S. 659.

Barlag A.B., Kuttler W. (1991)
The Significances of Country Breezes for Urban Planning
Energy and Buildings, 15-16, p. 291-297

Battis, Ulrich et al. (2011)
in Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht
Nr. 15/2011, S. 897-960, 30. Jahrgang, 15. August 2011

Baugesetzbuch (BauGB)
Neufassung vom 24.6.2004 (BGBl. I S. 2414), zul. geändert
durch Art. 1 des Gesetzes vom 22. Juli 2011 (BGBl. I S. 1509)

Baumbach G., Vogt U., Hansen S. (1999)
Messungen der Kaltluftströme und Luftverunreinigungs-
Vertikalprofile im Plangebiet „Stuttgart 21“
Heft 15, Schriftenreihe Untersuchungen zur Umwelt „Stuttgart 21“
Hrsg.: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz

Baunutzungsverordnung (BauNVO)
Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke
vom 23.1.1990 (BGBl. I S. 132), zul. geändert am 22.04.1993
(BGBl. I S. 466)

- Bayerisches Staatsministerium des Innern,
Oberste Baubehörde (2010)
Energie und Ortsplanung, Arbeitsblätter für die
Bauleitplanung Nr. 17
- Beckröge, W. (1990)
Klimakarten in der Stadtplanung
in Schriftenreihe Umweltmeteorologie, Band 15
Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft, Düsseldorf
- Bernatzky A. (1985)
Leitlinien für einen menschengerechten Städtebau
Beiträge zur Landespflege in Rheinland-Pfalz (10), Oppenheim
- Biasin K., Dietrich B. (1992)
Niedrigenergiehaus – energetische und gestalterische Aspekte
Energiewirtschaftl. Tagesfr., 42. Jg.(1992), Heft 11 S. 730-740
- Blazek R., Nagel T., Schädler G. (1998)
Kleinskalige klimatisch-lufthygienische Untersuchungen für das
Gebiet A der Planung Stuttgart 21 – Bebauungsplan und neuer
Bahnhof, Heft 13, Untersuchungen zur Umwelt „Stuttgart 21“
Hrsg.: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz
- Bodenschutzkonzept Stuttgart (BOKS)
Schriftenreihe des Amts für Umweltschutz, Heft 4/2006
Hrsg.: Landeshauptstadt Stuttgart
- Bösinger R. (1996)
Qualitätssicherungspapier PROKAS
Hrsg.: Ing. Büro Dr. Ing. Achim Lohmeyer, Karlsruhe
- Bründl W., Mayer H., Baumgartner A. (1986)
Untersuchung des Einflusses von Bebauung und
Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse
in bayerischen Großstädten; Abschlußbericht zum Teilprogramm
„Klimamessungen München“ Hrsg.: Bayerisches Staatsministeri-
um für Landesentwicklung und Umweltfragen
- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit, Dem Klimawandel begegnen –
Die Deutsche Anpassungsstrategie, Berlin, März 2009,
www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php
- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit, Aktionsplan Anpassung der Deutschen
Anpassungsstrategie an den Klimawandel, August 2011,
www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/47641.php
- BMVBS, Bauen und Wohnen,
www.bmvbs.de
- Bundes-Immissionsschutzgesetz i. d. Fassung der Bekanntmachung
vom 26.09.2002 (BGBl. I S. 3830), zul. geändert durch Artikel 2
des Gesetzes vom 27.6.2012 (BGBl. I S. 1421)
- BNatSchG – Bundesnaturschutzgesetz
Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege vom 29. Juli 2009
(BGBl. I Nr. 51 vom 06.08.2009 S. 2542; 28.07.2011 S. 1690 11;
06.10.2011 S. 1986 11a; 06.12.2011 S. 2557 11b;
06.02.2012 S. 148 12)

- Bunzel A. (1992)
Begrenzung der Bodenversiegelung; Planungsziele und Instrumente, Deutsches Institut für Urbanistik
Beiträge zur Stadtforschung (8), Berlin
- Bunzel A., Hinzen A., Ohligschläger G. (1997)
Umweltschutz in der Bebauungsplanung
Hrsg.: Umweltbundesamt, Bauverlag Wiesbaden und Berlin
- Chilla, Tobias; Stephan, Alexander; Böger, Ralf; Radtke, Ulrich:
Fassadenbegrünung als Instrument einer nachhaltigen Stadtentwicklung
In: Zeitschrift für Umweltrecht, Jg. 13 (2002); Nr. 4, S. 249-257
ISSN: 0943-383X, Zeitschriftenaufsatz/Fach: Geowissenschaften
- Deutscher Dachgärtner Verband (2011)
Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen
Nutzen – Fördermöglichkeiten – Praxisbeispiele
Hrsg.: Wolfgang Ansel et. al.
Verlag Deutscher Dachgärtner Verband e. V. (DDV), Nürtingen
- Deutscher Heilbäderverband, Deutscher Tourismusverband (2005)
akt. 2011, Begriffsbestimmungen – Qualitätsstandards für die Prädikatisierung von Kurorten, Erholungsorten und Heilbrunnen, 12. Auflage
- Deutscher Wetterdienst und Landesanstalt für Umwelt
Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2006),
Klimaatlas Baden-Württemberg
www.lubw.baden-wuerttemberg.de und CD-Version
- Deutscher Wetterdienst (2011)
www.dwd.de/solarenergie
- DIN 1986-100 (2008)
Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke
Bestimmungen für die Ermittlung der lichten Weiten und Nennweiten für Rohrleitungen
Ausg. 5/2008; Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN 12831 (2003), Beiblatt 1 (2004) und Änderung A1 (2005)
Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast
- DIN 4710 (2003), Berichtigung (2006)
Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland
- DIN 5034 Bl. 1 (2011), Tageslicht in Innenräumen
Teil 1 Allgemeine Anforderungen
- DIN 5034 Bl. 3 (2007), Tageslicht in Innenräumen
Teil 3 Berechnung
- DSTGB (2011)
www.dstgb.de/dstgb/Schwerpunkte/Verkehrspolitik/Weitere Informationen/Weißbuch Verkehr der EU-Kommission/white_paper_com(2011)_144_de.pdf

- Dütz A., Martin H. (1982)
Energie und Stadtplanung
Leitfaden für Architekten, Planer und Kommunalpolitiker
Erich Schmidt Verlag, Berlin
- EEWärmeG – Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (7. August 2008)
(BGBl. I S. 1658), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 68 des
Gesetzes vom 22. Dezember 2011 (BGBl. I S. 3044) geändert
worden ist.
- Eichhorn J., Kniffka A. (2010)
The numerical flow model MISKAM: State of development and
evaluation of the basic version
Meteorologische Zeitschrift, Vol 19 No. 1, pp. 081-90
- Emissionskataster Baden-Württemberg S. 38 – Daten 2008 (2011)
www.ekat.baden-wuerttemberg.de
- ENEV (2009)
Energieeinsparverordnung vom 24.7.2007
(BGBl. I S. 15199 geändert durch Art. 1 der Verordnung vom
29.4.2009 (BGBl. I S. 954)
- Erneuerbare-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg (EWärmeG) (2007)
Landtagsdrucksache 14/1969, 7.Nov.2007
- EU 2008/50/EG, Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des
Rates vom 21.5.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa,
Amtsblatt der Europäischen Union vom 11.6.2008, L 152/1

- Europäische Kommission (2012)
Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen
Leitlinien für bewährte Praktiken zur Begrenzung,
Milderung und Kompensierung der Bodenversiegelung
- Europäischer Strahlungsatlas
Scharmer K., Greif J. (2000)
(The European Solar Radiation Atlas, E.S.R.A.)
Vol. 1: Fundamentals and maps,
Les Presses de l'École des Mines, Paris, 2000
- Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.
Saarbrücken, www.fbb.de
- Fanger P. (1972)
Thermal Comfort, Analysis and Application in
Environmental Engineering
New York: McGraw Hill
- Fezer F. (1975)
Lokalklimatische Interpretation von Thermal-Luftbildern
in Bildmessung und Luftbildwesen, S. 152-158
- Fiedler F. (1979)
Modifikation der Luftfeuchte in einem Stadtgebiet
promet/Meteorol. Fortbildung (9) 4, S. 12-16
- Gandemer J. (1977)
Wind environment around buildings: aerodynamic concepts
Proceedings, 4. International Conference on wind effects on
buildings and structures
Cambridge University Press, S. 423-432

- Geomet (1987)
Ermittlung der durch Kfz-Emissionen verursachten Immissionsfelder verschiedener Straßentypen
Forschungsbericht 1 04 02 432/01 des Umweltbundesamtes
- Gerth W. P. (1986)
Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen
Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 171, Offenbach
- Gerth M. (1989)
Topographie beeinflusst heiztechnische Kenngrößen
HLH, Bd. 40, Nr. 4, S. 189-193
- Gertis, K.; Wolfseher, U. (1977)
Veränderungen des thermischen Mikroklimas durch Bebauung, Gesundheits-Ingenieur 1/2 1977, S.1-10
- Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)
vom 12.02.1990 (BGBl. I S. 205)
- Gesetz zur Änderung des Landesplanungsgesetzes
Baden-Württemberg vom 22. Mai 2012
(GBl. Nr. 8 vom 25.05.2012, S. 285)
- Goretzki P. (1990)
Stadtplanung als Instrument zur Energieeinsparung durch passive Sonnenenergienutzung
Erläuterung zur Programmanwendung GOSOL, Stuttgart
- Goretzki P. (2012)
www.gosol.de
- Grandjean E., Gilgen A. (Hrsg.) (1973)
Umwelthygiene in der Raumplanung
Ott Verlag Thun und München
- Großmann M. (1989)
Materialien zum Vortrag: Instrumente der Grünordnung als Äquivalenz zur Bauleitplanung? – Bodenfunktionszahl/Grünvolumenzahl/Phytomassenzahl, Seminar Bebauungsplan – Grünordnungsplan, Haus der Technik, Essen
- Groß G., Etling C.
Numerische Simulationsmodelle
promet, Jahrg. 30, Nr. 1/2, 28-38 (November 2003)
Deutscher Wetterdienst 2003, Download unter
http://www.met.fu-berlin.de/~dmg/promet/30_12/3_Gross.pdf
- Gunkel R. (2004)
Fassadenbegrünung
Kletterpflanzen und Klettergerüste,
Verlag Eugen Ulmer
- Hagel J. (1974)
Luftverschmutzung über einer Großstadt
in Kosmos Wandbilder für den Unterricht
- Hamm J. M. (1969)
Untersuchungen zum Stadtklima von Stuttgart
Tübinger Geogr. Studien, Heft 29, Tübingen

- Höppe P. (1984)
Die Energiebilanzgleichung des Menschen,
Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Uni München Nr. 49
- Hupfer P., Kuttler W. (Hrsg.) (1998)
Witterung und Klima
(10. Auflage), B.G. Teubner, Stuttgart-Leipzig
- Impuls-Programm Altbau – Energiesparen im Altbau – (2003)
Landesgewerbeamt Baden Württemberg
- INFRAS (2010); Handbuch für Emissionsfaktoren des
Straßenverkehrs, Version 3.1, Februar 2010,
INFRAS, Bern, <http://www.hbefa.net>
- IPCC 2008, Klimaänderung 2007, Synthesebericht
Deutsche Übersetzung,
Hrsg.: Dt. IPCC Koordinierungsstelle, Berlin 109 S.
- Janicke L. (1996)
Ausbreitungsmodell LASAT, Handbuch zu Version 2.52
(mit Update auf 2.53), Ing.-Büro Dr. Lutz Janicke, Dunum
- Jendritzky G., Menz G., Schmidt-Kessen W., Schirmer H. (1990)
Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen
Komponente im Bioklima des Menschen,
Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell
Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung
Nr. 114, Hannover
- Kapp R., Reuter U. (2011)
Stadtklima und Planung in Stuttgart,
In CONTUREC: Schriftenreihe des Kompetenznetzwerkes
Stadtökologie – Die Natur der Stadt im Wandel des Klimas –
eine Herausforderung für Ökologie und Planung, Darmstadt
- KEA Kommunale Energieagentur Baden-Württemberg
Karlsruhe, www.kea-bw.de
- Kießl K., Rath J. (1989)
Auswirkungen von Fassadenbegrünungen auf den Wärme-
und Feuchtehaushalt von Außenwänden und Schadensrisiko
Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik,
FtB-4/1989, Stuttgart
- Klima sucht Schutz
www.klima-sucht-schutz.de/energiesparen.html
- Knapp D. (1998)
Klimamessungen im Plangebiet „Stuttgart 21“ –
eine Analyse thermisch induzierter Ausgleichsströmungen an
städtischen Grünanlagen
Heft 12, Untersuchungen zur Umwelt „Stuttgart 21“
Hrsg.: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz
- Köhler M., Ansel W. et al. (2012)
Handbuch Bauwerksbegrünung.
Planung – Konstruktion – Ausführung
Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

Kolb W. (1989)
in Dachbegrünung, Hrsg.: Bayer. Landesanstalt für Weinbau und
Gartenbau, Abt. Landespflanze, Veitshöchheim

Kuttler W. (1993)
Planungsorientierte Stadtklimatologie –
Aufgaben, Methoden und Fallbeispiele -
Geographische Rundschau Nr. 45, Heft 2, S. 95- 106

Kuttler W., Dütemeyer D. (2003)
Umweltmeteorologische Untersuchungsmethoden
promet 30, Nr. 1/2, S. 15 - 27

Kuttler W. (2010)
Urbanes Klima, Teil 1
Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 70, S. 329–340

Kuttler W. (2010b)
Urbanes Klima, Teil 2
Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 70, S. 378-382

Kuttler W. (2011)
Climate Change in urban areas, Part 1, effects
Environmental Sciences Europe 23, 12 S.
<http://www.enveurope.com/content/23/1/11>

Landesamt für Gesundheit und Soziales Mecklenburg-
Vorpommern (2007)
www.service.mvnet.de/_php/download.php?datei_id=45884

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (2012)
www.lanuv.nrw.de/gesundheits/wirkung-mensch.htm

Landeshauptstadt Stuttgart,
Download unter [www.stadtklima-stuttgart.de/
index.php?luft_messdaten_überschreitungen](http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?luft_messdaten_überschreitungen)

Landeshauptstadt Stuttgart (2008)
Umweltaspekte in der räumlichen Planung
Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, Heft 1/2008
Stuttgart 2008, ISSN 1438-3918

Landeshauptstadt Stuttgart (2010)
Der Klimawandel – Herausforderung für die Stadtklimatologie
Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, Heft 3/2010

Landeshauptstadt Stuttgart (Hrsg.) (1997)
Klimaschutzkonzept Stuttgart (KLIKS)
Gutachter: ENERKO GmbH, Aldenhoven
Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, Heft 3/1997

Landeshauptstadt Stuttgart (2012)
Klimawandelanpassungskonzept Stuttgart (KLIMAKS)
Vorlage für den Gemeinderat, beschlossen im Dezember 2012

Landsberg H. E. (1981)
The Urban Climate. International Geophysics Series
Vol. 28, New York

LBO – Landesbauordnung für Baden-Württemberg
Baden-Württemberg
Fassung vom 5. März 2010, (GBl. Nr. 7 vom 20.04.2010 S. 357,
ber. 05.03.2010 S. 416; 25.01.2012 S. 65)

- Leibniz-Institut für Länderkunde (2003)
Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland
Band 3, Klima Pflanzen und Tierwelt, Leibniz-Institut für Länderkunde, Leipzig Spektrum Akademischer Verlag, Berlin
- Liljequist G.H. (1994)
Allgemeine Meteorologie
Friedrich Vieweg Verlag, Braunschweig
- Lohmeyer A., Bächlin W., Plate E.J., Seitz R. (1992)
Frankfurt Main Center, Klima- und Immissionsgutachten
Auftraggeber: Deutsche Grundbesitz Investmentgesellschaft mbH, Frankfurt
- Lohmeyer (2009)
Flächendeckende Immissionsberechnungen für das Stadtgebiet von Stuttgart
Gutachten im Auftrag der Landeshauptstadt Stuttgart
- Lorenz D. (1973)
Meteorologische Probleme bei der Stadtplanung
FBW Blätter, Folge 5, Stuttgart
- Lozan J.-L., Graßl H., Hupfer P. (Hrsg.) (1998)
Warnsignal Klima
Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg
- LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2010)
Modellierung verkehrsbedingter Immissionen – Anforderungen an die Eingangsdaten – Grundlage HBEFA 3.1
Download unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de
- LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2012),
Windatlas Baden-Württemberg
- Matzarakis A., Röckle R., Richter C.-J., Höfl H.-C., Steinicke W., Streifeneder M., Mayer H.
Planungsrelevante Bewertung des Stadtklimas am Beispiel von Freiburg im Breisgau; Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft; 68, 2008, Nr. 7-8, S. 334-340
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft
- Matzarakis A., Rutz F., Mayer H. (2010)
International Journal of Biometeorology
Volume 54, Number 2 (2010), S. 131 - 139
DOI: 10.1007/s00484-009-0261-0, Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.) (2012)
Klimawandel in Baden-Württemberg
Fakten – Folgen – Perspektiven
- Moriske, H.-J., Endlicher, W. et al
Handbuch für Bioklima und Lufthygiene
Aktuelles Grundwerk (Lieferung 1 - 18, Stand: Dezember 2006)
1. Ausgabe Oktober 1998, Wiley-VCH, Weinheim
- Mürb, R. (1992)
Materialien zum Vortrag/Seminar: Bebauungsplan – Grünordnungsplan, Beitrag der Landschaftsplanung
Haus der Technik, Essen

- Nachbarschaftsverband Stuttgart (Hrsg.) (1992)
Klimauntersuchung für das Gebiet des Nachbarschaftsverbandes Stuttgart und angrenzende Teile der Region Stuttgart, Klimaatlas
- Nagel, T., Bächlin W., Lohmeyer A. (1996)
Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung im Zusammenhang mit der Planung „Stuttgart 21“
Heft 2, Untersuchungen zur Umwelt „Stuttgart 21“
Hrsg.: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz
- NatSchG – Naturschutzgesetz
Gesetz zum Schutz der Natur, zur Pflege der Landschaft und über die Erholungsvorsorge in der freien Landschaft, Baden-Württemberg, vom 13. Dezember 2005 (GVBl. Nr. 18 vom 13.12.2005 S. 745; 17.12.2009 S. 809)
- Pfeifer T., Frank W., Kost W. J., Dröscher F. (1996)
Das Screening-Modell STREET; Wissenschaftliche Dokumentation, TÜV Energie und Umwelt GmbH, Filderstadt
- Plate E. (Hrsg.) (1982)
Engineering meteorology
Elsevier scientific publishing company, Oxford
- Pohl W., Schulze H.-D., Großmann M. (1984)
Gutachten: Werte für die Landschaftsplanung – Grünvolumenzahl und Bodenfunktionszahl
Schriftenreihe der Umweltbehörde Hamburg (Heft 9/1984)
- Regierungspräsidium Stuttgart (2005 und 2010)
Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart – Teilplan Landeshauptstadt Stuttgart, Fortschreibung Februar 2010

- Richter C.J., Röckle R., Höfl H.C., Matzarakis A. (2003)
Ansatz zur Objektivierung von Planungshinweisen im Rahmen der Flächennutzungsplanung am Beispiel der Stadtklimauntersuchung Freiburg i. Brsg., Fachtagung Mettools, Essen
- Richtlinie 2001/42/EG (SUP) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 197/30 vom 21.07.2001
- Risch B. (2005)
Neue Instrumente zur Begrenzung des Bodenverbrauches: Eine Untersuchung am Maßstab des Bundesrechts und des Rechts des Freistaates Sachsen. Duncker & Humblot, Berlin
- RLuS 2012
Richtlinien zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung, 2012;
Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 29/2012, Forschungsgesellschaft Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- RLuS 2012 Berechnungsprogramm, PC-basiert
Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe
- Robel F. (1975)
Vegetation, Topographie und Stadtklima
Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen. Folge 4, Stuttgart
- Robel F., Hoffmann U., Riekert A. (1978)
Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot Thermographie. Beiträge zur Stadtentwicklung Nr. 15, Landeshauptstadt Stuttgart

- Rümmler R. (1984)
Grüne Staubfilter aus Laubgehölzen aufgebaut
TASPO-Magazin Nr. 4, S. 24-27, Braunschweig
- Rüngeler S. (1998)
Die Funktion von Dachbegrünungen in urbanen Wasserkreisläufen
Diplomarbeit zur Erlangung des Grades eines Diplom-Ingenieurs,
Technische Universität Berlin
- Schädler G., Lohmeyer A. (1996)
Kaltluft- und Windfeldberechnungen für Stuttgart
Heft 1, Untersuchungen zur Umwelt „Stuttgart 21“
Hrsg.: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz
- Schatzmann M., König G., Lohmeyer A. (1986)
Physikalische Modellierung mikrometeorologischer Vorgänge
im Windkanal
Meteorol. Rdsch., 39. Jg., Heft 2, S. 44-59, Berlin, Stuttgart
- Senatsverwaltung Stadtentwicklung und
Umweltschutz Berlin (Hrsg.) (2011)
Stadtentwicklungsplan Klima
Vertrieb: Kulturbuch-Verlag GmbH, Berlin
- Schirmer H. (1988)
Meteorologische Begriffsbestimmungen zur Regionalplanung
Arbeitsmaterial Nr. 133
Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover
- Solaratlas Stuttgart
www.stadtklima-stuttgart.de unter „Klima“ – „Solaratlas“
- Solarfibel (2007)
Hrsg.: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg
5. Auflage, 2007
- Städtebauliche Lärmfibel (2013)
Hinweise für die Bauleitplanung
Hrsg.: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur
Baden-Württemberg
Online-Version: <http://www.staedtebauliche-laermfibel.de>
- Städtebauliche Lärmfibel (2001)
Hinweise für die Bauleitplanung
Hrsg.: Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr
des Landes Brandenburg (Hrsg.)
- Statistisches Landesamt Baden Württemberg (2011)
Daten zur Umwelt
- Stiemer S.F. (1977)
Windumströmung von Gebäuden und Gebäudeklima
In: E. Franke (Editor) Stadtklima, Karl Krämer Verlag Stuttgart
- TA Luft (2002)
Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-
Immissionsschutzgesetz. Technische Anleitung zur Reinhaltung
der Luft vom 24.07.2002 (GMBI. S. 511)
- Theurer, Wolfgang (2012)
Modellierung umweltmeteorologischer Fragestellungen im
Windkanal – noch aktuell? In Wissenschaftliche Mitteilungen aus
dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig,
BAND 49, S. 20 ff, Hrsg.: A. Raabe, METTOOLS_VIII Tagungsband

Tonne F. (1954)

Besser bauen mit Berücksichtigung von Besonnung und Tageslicht (Anleitung zum Horizontoskop)
Institut für Tageslichttechnik, Stuttgart, www.ift-stuttgart.de

Umweltbundesamt (2004)

Klimaschutz in Deutschland bis 2030, Endbericht zum Forschungsvorhaben Politiksznarien III, Forschungsbericht 20141142 UBA-FB 000752
www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2822.pdf

Umweltbundesamt (2009)

Daten zur Umwelt
Erich Schmidt Verlag, Berlin und Daten zur Umwelt – Ausgabe 2009 – vollständige CD-ROM, Begleitbroschüre und Faltblatt

Umweltbundesamt (2010)

Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, Bezug über Infrac AG, Mühlemattstraße 45. CH-3007 Bern, www.hbefa.net

Umweltbundesamt 2012

Impacts of air pollution on human health, ecosystems and cultural heritage
www.umweltbundesamt.de/luft/downloads/ceh_impact.pdf

UNEP - United Nations Environment Programme

Information Note
How Close Are We to the Two Degree Limit?
UNEP Governing Council Meeting & Global Ministerial Environment Forum, 24-26 February, 2010 Bali, Indonesia

UVPG

Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung i. d. F. der Bekanntmachung vom 24.2.2010 (BGBl. S. 94); zul. geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 17.8.2012 (BGBl. S. 1726)

Verband Region Stuttgart (2008)

Klimaatlas Region Stuttgart, www.region-stuttgart.org

VDI 2067 Bl.1 (09/2000)

Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung

VDI 2310

Maximale Immissions-Werte

VDI 3782 Bl. 1

Umweltmeteorologie; Atmosphärische Ausbreitungsmodelle. Gauß'sches Ausbreitungsmodell für Luftreinhaltepläne

VDI 3782 Bl. 7 (2002)

Umweltmeteorologie; Kfz-Emissionsbestimmung

VDI 3783 Blatt 6 (1992)

Regionale Ausbreitung von Luftverunreinigungen über komplexem Gelände; Modellierung des Windfeldes

VDI 3783 Bl. 10 (2001)

Umweltmeteorologie; Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle; Gebäude- und Hindernisumströmung

- VDI 3783 Bl. 12 (2000)
Umweltmeteorologie; Physikalische Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen in der atmosphärischen Grenzschicht; Windkanalanwendungen
- VDI 3945 Bl. 3 (2000)
Umweltmeteorologie; Atmosphärische Ausbreitungsmodelle; Partikelmodell
- VDI 3787 Blatt 1 (1997)
Umweltmeteorologie; Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen
In Überarbeitung bis 2013
- VDI 3787 Blatt 2 (2008),
Umweltmeteorologie; Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung
Teil I: Klima
- VDI 3787 Blatt 5 (2003)
Umweltmeteorologie; Lokale Kaltluft
- VDI 3787 Blatt 9 (2004)
Umweltmeteorologie; Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in der räumlichen Planung
- VDI 3789 BL. 2 (1994)
Umweltmeteorologie; Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen; Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung

- VDI 3807 Bl. 1 (03/2007)
Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude; Grundlagen
- Wagner, Patrick, Kuttler, Wilhelm (2012)
Biogenes Isopren und sein Einfluss auf die sommerliche Ozonbelastung in urbanen Räumen am Beispiel der Stadt Essen
Posterpräsentation auf der 9. Deutschen Klimatagung, Freiburg
- Weber S., Kuttler W. (2003)
Analyse der nächtlichen Kaltluftdynamik und -qualität einer stadtklimarelevanten Luftleitbahn
Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 63, Nr. 9, S. 381 -386
- WHO (2011)
Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide – global update 2005
WHO publication, 2011
- Windenergieerlass Baden-Württemberg vom 9.5.2012,
GABI. 30.05.2012, 60. Jg. Nr. 7, 413 ff
- Yudelson J. (2007)
Green Building A to Z: Understanding the Language of Green Building; New Society Publishers
- Yudelson J. (2009)
Green Building Trends Europe. Island Press, Washington D.C.
39. BImSchV vom 2.8.2010, BGBl. I S. 1065
Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen

■ 8. Thematische Websites (Links)

Einstiegsseite zu „Stadtklima Stuttgart“

<http://www.stadtklima-stuttgart.de>

Sonnenbahnen beliebiger Orte und beliebiger Tage

http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_sonnenstand

Städtebauliche Klimafibel Online (aktuelle Version)

<http://www.staedtebauliche-klimafibel.de>

Luftmessnetze in den Bundesländern und Nachbarstaaten

<http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/L-links.htm>

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz

Baden-Württemberg:

Daten- und Kartendienst (Solare Einstrahlung, Windstatistik etc.)

http://brsweb.lubw.baden-wuerttemberg.de/brs-web/index.xhtml?AUTO_ANONYMOUS_LOGIN

Emissionskataster

<http://www.ekat.baden-wuerttemberg.de>

Klimaatlas Baden-Württemberg

http://www2.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/abt5/klimaatlas_bw/

Online-Forum Stadtökologie auf CD-ROM

<http://www.difu.de/publikationen/difu-berichte-41997/online-forum-stadtoekologie-auf-cd-rom.html>

Klimaschutz in Kommunen – Praxisleitfaden

<http://www.leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/leitfaden/a2-klimaschutz-und-stadtplanung.html>

Informationen und Wissenswertes rund um den Globalen Klimaschutz auch mit kommunalen Projekten

(gefördert von BMU und UBA)

<http://www.klimabuendnis.org/home.html?&L=1>

Datenbank für Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

http://www.tatenbank.anpassung.net/Tatenbank/DE/Home/home_node.html

Wiki zur Anpassung an den Klimawandel

<http://www.klimascout.de/>

Geodatenserver-Ruhrgebiet mit Karten, Luftbildern und Rauminformationen Online

<http://www.metropoleruhr.de/regionalverband-ruhr/karten-geodaten.html>

Portal zur nachhaltigen Innenentwicklung von Städten und Gemeinden in Baden-Württemberg

<http://www.innen-bw.de>

Deutsche Akademie für Städtebau und Landesplanung

<http://www.dasl.de>

Fachausschuss FA UMET der DMG

(Deutsche Meteorologische Gesellschaft)

http://www.dmg-ev.de/fachausschuesse/umet/umet_index.htm

Landesvermessungsamt Baden-Württemberg – Testdaten

http://www.lv-bw.de/lvshop2/produktinfo/testdatencd_rom/rubrik/daten/Testdaten.html

KTT Umweltberatung und Software Dr. Kunz GmbH, Saarbrücken

<http://www.kttumwelt.com>



Zusammenschluss von Städten, die Projekte zur Energieeinsparung verfolgen (englische Seiten)

<http://www.energie-cites.eu>

EPA's Heat Island Side

<http://www.epa.gov/heatisland/>

Urban Heat Island

http://www.rsat.com/apps/uhi_app/UHI_DOC.html

International Association for Urban Climate

<http://www.urban-climate.org/wp3/>

Climatic Design of Buildings - An Overview

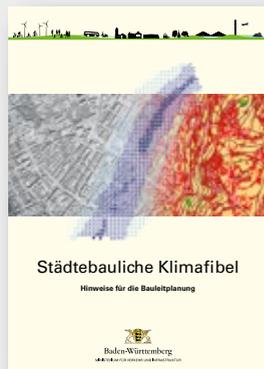
<http://www.arch.hku.hk/~cmhui/teach/65156-7.htm>

Sustainable Urban Design and Climate

<http://www.bom.gov.au/climate/index.shtml>

Passive Solar Guidelines

<http://www.greenbuilder.com/sourcebook/PassSolGuide1-2.html>



**Online-Version der aktuellen
Städtebaulichen Klimafibel:**
www.staedtebauliche-klimafibel.de





Baden-Württemberg

Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg
Hauptstätter Str. 67 · 70178 Stuttgart · www.mvi.baden-wuerttemberg.de