

Eberhard-Karls-Universität Tübingen  
Geographisches Institut  
Sommersemester 2008  
HS Klimawandel, Klimageschichte der Erde, Klimatologie  
Leitung: PD Dr. Stefan Klotz

# **Das Meso- und Mikroklima**

Silke Brand  
Landkutschersweg 10/7  
72072 Tübingen  
silke.brand@student.uni-tuebingen.de  
8. Semester Geographie (LA)  
6. Semester Deutsch (LA)

## Inhalt

1. Einleitung .....	1
2. Definition .....	1
2.1 Mikroklima.....	3
2.2 Mesoklima.....	6
3. Messung .....	9
3.1 Direkte, bodengebundene Messverfahren.....	9
3.2 Indirekte, bodengebundene Messverfahren .....	10
3.3 Indirekte, bodengebundene Profilmessungen .....	10
3.4 Indirekte, Flugkörper gestützte Messverfahren.....	10
3.5 Klimamodelle.....	11
5. Einflüsse auf Flora und Fauna.....	11
6. Stadtklima .....	11
7. Zusammenfassung.....	16
Literatur.....	17

# 1. Einleitung

Diese Arbeit soll sich mit kleinräumigerem Klima, nämlich dem Mikro- und Mesoklima beschäftigen. Zunächst soll eine Definition gegeben und die Messmethoden beschrieben werden. Danach wird auf die Veränderlichkeit und die Auswirkungen eingegangen. Ein letzter und wichtiger Punkt wird das Stadtklima sein.

# 2. Definition

Um überhaupt über das Mikro- und Mesoklima sprechen zu können, ist zunächst eine Abgrenzung der beiden Begriffe notwendig. Grundsätzlich ist die Feststellung, dass das regionale Mikro- und Mesoklima nicht unabhängig von den globalen Klimaverhältnissen gesehen werden kann und durch diese beeinflusst wird.

Eine mögliche Einteilung der Klimate, die in der Klimatologie häufig verwendet wird, führen Weischert/Endlicher an: Hier wird allgemein in Mikro-, Meso- und Makroklima unterschieden (Weischert/Endlicher 2008: 19). Diese Einteilung erfolgt über extrinsische<sup>1</sup> Faktoren. Anders ist dies in der Meteorologie, wo Skalen über intrinsische<sup>2</sup> Faktoren erstellt werden (Bendix 2004: 24). Die hier betrachteten Klimadimensionen des Meso- und Mikroklimas bewegen sich zeitlich zwischen 1 Sekunde und einem Tag, vertikal zwischen einem Zentimeter und einem Kilometer und horizontal zwischen einem Zentimeter und hundert Kilometer. Das Meso- und Mikroklima hat also eine horizontale, eine vertikale und eine zeitliche Dimension (Weischert/Endlicher 2008: 19).



Abb.1

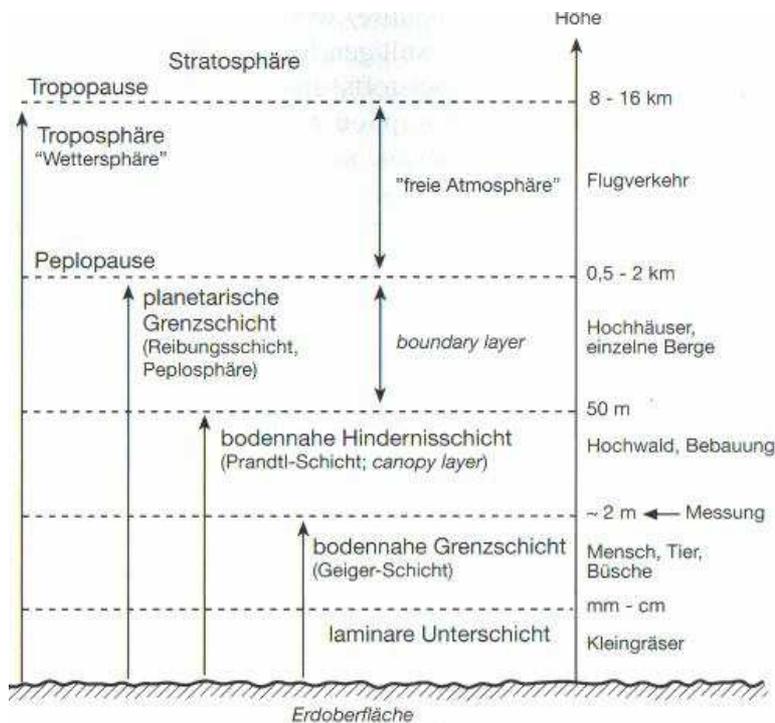
Es gibt zwei entscheidende Faktoren für die Ausprägung eines Mikro- oder Mesoklima: Bodenbedeckung und das Relief: Das Klima in einem Wald ist anders als auf einer

<sup>1</sup> Von außen kommend

<sup>2</sup> Von innen kommend

Wiese, schneebedeckter Boden verhält sich anders als anthropogen beeinflusster; ein geneigter, nach Süden exponierter Hang erhält eine andere Strahlung als ein Hang in Nordlage (Kuttler 2005: 319).

Das Meso- und Mikroklima finden in der planetaren Grenzschicht (Peplosphäre) statt.



Vertikalgliederung der Troposphäre (verändert nach Schönwiese 2003)

Abb. 2

Ihre Mächtigkeit beträgt über den Ozeanen 0,5km, über den Landflächen 1-2km. Sie ist nochmals in mehrere Schichten eingeteilt, die eine unterschiedliche Ausdehnung haben. Die laminare Grenzschicht hat nur eine geringe Mächtigkeit von wenigen Millimetern. Sie liegt zwischen der Energieumsatzfläche, also dem Boden, einer Pflanze, etc. und der Atmosphäre. In ihr herrscht ein hoher Reibungswiderstand, was zu nahezu vollständiger Windstille führt. Hier überwiegt der molekulare Transport von Wärme, Wasserdampf und Impuls. Über der laminaren Grenzschicht liegt die bodennahe Grenzschicht, die bis in ca. zwei Metern Höhe reicht. In ihr nimmt die Windgeschwindigkeit nach oben hin zu, da Reibungswiderstände weniger werden. Statt molekularem Austausch überwiegen hier bei entsprechender Luftbewegung effizientere, turbulente Transportvorgänge. Bis zu dieser Schicht spricht man vom Mikroklima. Bis in etwa 50m Höhe reicht die Prandl-Schicht (bodennahe Luftschicht). In ihr nimmt der abbremsende Einfluss der Erdoberfläche ab und es kommt zu einer Zunahme der Windgeschwindigkeiten. Als letzte Schicht der Peplosphäre folgt die Oberschicht, die von zunehmender Windgeschwindigkeit und Richtungswechseln der Winde gekennzeichnet ist; außerdem kommt es häufiger zu Inversionen (Bendix 2005: 31).

Nachdem nun grob die Größenordnungen und die ausschlaggebenden Faktoren für Meso- und Mikroklima genannt wurden, sollen die beiden Typen nun genauer definiert werden.

## **2.1 Mikroklima**

Der Begriff Mikroklima beschreibt den Raum der Luft in Bodennähe. Deshalb findet auch die Oberflächengestaltung, die Bodeneigenschaft und -bedeckung, das Mikorelief, ein Baum, etc. direkten Einfluss. Über all diesen Bereichen können unterschiedliche Klimabedingungen herrschen, da sie sich unterschiedlich erwärmen und eine unterschiedliche Rauigkeit bieten (Bendix 2004: 31). Das Mikroklima steht in Abhängigkeit zum Großklima und ist in dieses eingebettet (Kuttler 2005: 315).

Die kleinräumigen Klimate werden durch die Größe der Strahlungsbilanz bestimmt. Dies lässt sich am Besten an Hand des Beispiels autochoner Witterung beschreiben. Diese Witterung, auch Strahlungswetter<sup>3</sup> genannt, wird gekennzeichnet durch windschwache Sommertage und Wolkenarmut. In Folge dessen sind hohe Ein- und Ausstrahlungswerte möglich, so dass während des Tages ein vertikaler Temperaturgradient mit stark überadiabatischer, labiler Schichtung besteht. Diese Situation wird Einstrahlungstyp genannt. Während des Abends und in der Nacht ist die Strahlungsbilanz negativ und die Schichtung ist eher stabil. Es bildet sich eine Boden-/Strahlungsinversion aus. Dies wird Ausstrahlungstyp genannt, obwohl die Ausstrahlungswerte unter denen des Tages liegen können, wo dies aber durch die Einstrahlung überlagert wird (Kuttler 2005: 318f).

Der Austausch von Wärme erfolgt in der laminaren Grenzschicht durch molekularen Transport, wofür ein Temperaturgradient bestehen muss. Da dieser sehr groß sein muss, spielt dieser Austauschprozess nur eine geringe Rolle (Bendix 2004: 39f). Erst oberhalb dieser untersten Schicht wird der Wärmeaustausch durch den Einfluss von Wind, was an Hand von Mikrowirbeln der Fall ist, effektiver (Bendix 2004: 32ff).

Das Mikroklima und die Strahlungsbilanz werden auch durch den Untergrund beeinflusst: Verschiedene Oberflächen haben verschiedene thermische Eigenschaften und können somit unterschiedliche thermische Mikroklimata ausbilden. Meist bestimmen Pflanzenbestände die Oberfläche, was jedoch nicht immer der Fall ist, z.B. in Wüsten oder Hochgebirgsregionen. Bei einem unbewachsenen Boden stehen Dichte, Struktur, Zusammensetzung, Porenvolumen, Wasserleitfähigkeit und Feuchtigkeit im

---

<sup>3</sup> Diese Wetterlage wird bei den meisten Untersuchungen als beispielhaft angeführt

Vordergrund (Kuttler 2005: 318). Ein gut wärmeleitender Boden ist zum Beispiel ein verdichteter Ackerboden. Über einem solchen ist der Temperaturgang ausgeglichen. Im Gegensatz dazu steht z.B. ein trockener Moorboden, in dem viel Luft vorhanden ist, die sich schnell erwärmen und abkühlen kann. Über diesen Böden ist der Temperaturgang wesentlich extremer. Zudem besteht ein Unterschied zwischen trockenen und feuchten Böden. Ein feuchter hat bei gleicher Strahlung eine geringere Oberflächentemperatur, da es mit Zunahme der Feuchte zu einem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit und –kapazitätsdichte, der Temperaturleitfähigkeit und des Wärmeübergangs kommt, weil die Bodenpartikel von Haftwasser<sup>4</sup> umgeben werden (Kuttler 2005: 324).

Bei Strahlungswetterlagen reagiert die Bodentemperatur spiegelbildlich zur Abnahme der Lufttemperatur in die Höhe, wobei der Gradient aber weniger stark ausgeprägt ist. (Kuttler 2005: 319)

Wenn zwei Böden nebeneinander liegen, die eine unterschiedliche Zusammensetzung oder einen unterschiedlichen Bewuchs haben, können in der bodennahen Luftschicht durch die thermischen Unterschiede Mikrozirkulationssysteme entstehen (Kuttler 2005: 322f).

Am stärksten wird das Mikroklima durch die verschiedenen Bewuchsformen des Bodens beeinflusst. Beispielhaft soll dies an zwei Extremen beschrieben werden: Zum einen an niedrigen Pflanzendecken bis einem Meter über dem Grund, wozu man Wiesen und Getreidefelder zählen kann, zum anderen an einem Waldbestand.

Die Strahlung wird schon bei der niedrigen Pflanzendecke so beeinflusst, dass sie nicht mehr voll auf den Boden trifft. Der Umsatz der Strahlung erfolgt dort, wo sich die erste dichte Oberfläche befindet (Bendix 2004: 32). Wo die Strahlungsreferenzfläche liegt, ist abhängig davon, wie hoch der Bestand ist. Die Bodentemperatur ist dagegen von der Dichte des Bestands. Bei einem sehr dichten Bestand staut sich die Luft und die Schwankungen erreichen den Boden nur abgeschwächt oder auch verzögert (Kuttler 2005: 333f).

Bei einem Waldbestand muss man zunächst nach Baumarten und der Dichte des Bestandes differenzieren. Außerdem ist es wichtig, welchen Raum die Baumkronen einnehmen. Sie sind der Bereich des Waldes des Waldes, in dem der Strahlungsumsatz am höchsten ist. Außerdem nimmt dort der Lichteinfall am stärksten ab. So kann es vorkommen, dass das Klima im Kronendach sich stark vom Klima im Stammraum oder am Boden unterscheidet (Bendix 2004: 32). In der Nacht sind die Unterschiede

---

<sup>4</sup> Wasser im Boden, das gegen die Schwerkraft an den Bodenteilchen festgehalten wird (Leser, H. 2005: 329)

zwischen Waldboden und dem Kronendach nicht sehr ausgeprägt. Anders ist dies am Tag: Hier steigt durch die fehlende Einstrahlung die Temperatur am Boden weniger an als im Kronenraum. So erklärt sich auch, dass die Schwankungen im Bereich des Bodens viel geringer sind als im Kronendach. Auch der Wind wirkt sich im Kronendach stärker aus als am Boden. Je höher die Windgeschwindigkeit, desto weiter dringt er aber ein. Dadurch, dass unterhalb des Kronenraums kaum Luftbewegung vorkommt, wirkt sich Schadstoffeintrag längerfristig aus, da die Schadstoffe nur langsam abtransportiert werden. Andererseits hat der Wald auch eine Filterwirkung und trägt zur Verbesserung der Luftqualität bei. Eine typische Verteilung gibt es beim Niederschlag. Zunächst wird im Kronenraum viel Wasser gebunden. Ein Teil davon verdunstet von dort auch wieder oder wird direkt von der Pflanze aufgenommen (Interzeption). Der andere Teil kommt mit Verzögerung am Waldboden an. Viel Wasser läuft direkt am Stamm ab und bewirkt, dass der Bewuchs um den Stamm ausgeprägter ist als an anderen Stellen (Kuttler 2005: 337ff).

Wenn im Winter Schnee liegt, verändern sich die Eigenschaften eines Geländes. Neuschnee bedingt hohe kurzweilige Albedowerte, bei Altschnee sind diese nicht so hoch. Zwischen der Schneedecke liegt zum Teil ein hoher Temperaturgradient vor, was für Pflanzen und Tieren, die vom Schnee bedeckt sind, von Vorteil ist, da es ihnen einen Kälteschutz bietet. Von einer Schneedecke ist ein Untergrund mit kurzem Bewuchs natürlich stärker betroffen als ein Waldbestand, da sich die Schneedecke viel gleichmäßiger ausbreiten kann (Kuttler 2005: 325f).

Nun sollen noch die Temperatur- und Windverhältnisse über Gewässern betrachtet werden. Wie stark sich ein Unterschied zur Landoberfläche ausprägt, hängt von der Größe der Wasseroberfläche und Tiefe des Gewässers ab. Außerdem spielen Einfallswinkel und Intensität der Strahlung und die Trübung des Wassers eine Rolle. Von ihnen hängt ab, wie tief die Strahlung unter die Wasseroberfläche geht und dort Erwärmung verursacht. Durch Bewegung an der Wasseroberfläche und den Sonnenstand wird dies zusätzlich beeinflusst. Allgemein kann man sagen, dass es auf einem offenen Ozean niedrigere Temperaturschwankungen gibt als bei einem flachen Tümpel. Im Gegensatz zur Landoberfläche weist ein Gewässer eine geringere Rauigkeit auf und hat kaum Bremswirkung auf Winde. Über Wasser ist naturgemäß eine erhöhte Luftfeuchtigkeit festzustellen, wobei diese über Pflanzenbeständen, bedingt durch die Transpiration, noch höher ist. Auch hier können Zirkulationssysteme, z.B. zwischen Land- und Wasserfläche, entstehen (Kuttler 2005: 325).

Auch die Luftfeuchtigkeit hat einen Einfluss auf das Mikroklima. Das Wasser gelangt durch Verdunstungsprozesse in die Atmosphäre. Dort wird es durch turbulente Diffusion<sup>5</sup> transportiert. Bei Vegetation liegen durch die Evapotranspiration der Pflanzen natürlich andere Werte vor als über unbewachsenem Boden. Die Verteilung der Luftfeuchtigkeit im unteren Bereich der Atmosphäre kann man in einen Nasstyp und in einen Trockentyp einteilen. Beim Nasstyp herrschen am Boden meist die höchsten Luftfeuchtigkeitswerte und nehmen dann mit der Höhe ab. Beim Trockentyp ist dies genau umgekehrt. Dies liegt daran, dass am Boden durch Kondensation Tau entsteht und somit der bodennahen Luft Feuchtigkeit entzogen wird. Der Nasstyp tritt meist am Tag, der Trockentyp in der Nacht auf Doppelwelle des Wasserdampfgehalts (Kuttler 2005: 326f).

Auch die Windgeschwindigkeiten sind an einen Tagesgang gekoppelt. Über dem Boden (8m Höhe) sind sie tagsüber am höchsten, in größeren Höhen nachts. Dies liegt an der labilen Luftschichtung am Tag, durch die dann ein Kontakt zwischen den Luftmassen möglich ist, was die Windgeschwindigkeit in der Höhe reduziert, am Boden dagegen erhöht (Kuttler 2005: 327f). Bei entsprechender Topologie können sich auch kleinräumige Zirkulationen herausbilden. An Hängen sind dies Auf- und Abwinde. Aufwinde entstehen, wenn sich durch Sonneneinstrahlung der exponierte Hangteil erwärmt wird, während der andere Teil, meist der Talboden, im Schatten liegt und somit kühler bleibt. Durch die Erwärmung werden die Isothermen gehoben und die Luft fließt dann den Hang hinauf. Dort kühlt sie sich wieder ab und sinkt auf den Talboden. Abends kühlt sich die Luft in den höheren Hanglagen schneller ab als die Luft am Boden und es kommt zu einer Umkehrung der Zirkulation (Kuttler 2005: 361). Da die meisten Täler jedoch asymmetrisch erwärmt werden, kann sich die Situation auf einen Hangteil beschränken (Bendix 2004: 168ff).

## ***2.2 Mesoklima***

Das Mesoklima wird in der Forschung auch Stadt-, Gelände- und Regionalklima genannt, wobei durch diese Bezeichnungen ein spezifischer Raumbezug dargestellt wird (Weischert/Endlicher 2008: 19). Es wird durch natur- und kulturräumliche Gliederungselemente charakterisiert (Kuttler 2005: 315). Unter Berücksichtigung dieser werden die lokalen Klimaverhältnisse untersucht (Weischert/Endlicher 2008: 292).

---

<sup>5</sup> Bei der turbulenten Diffusion werden durch kurze Nebenbewegungen von Luftteilchen die anderen Luftteilchen in der Umgebung beeinflusst (Bendix 2004: 40f)

Diese Klimadimension erstreckt sich subregional bis lokal und schließt Talschaften, Städte und Ballungsräume ein. In diesem Rahmen ergeben sich komplexe Verknüpfungen zwischen Relief, Klima, Oberflächenbedeckung und menschlichen Aktivitäten (Weischert/Endlicher 2008: 286). Darauf wird später noch näher eingegangen.

Auch mesoklimatische Ausprägungen treten häufig bei Hochdruckwetterlagen auf, da erst dann Bedingungen herrschen, die geländeklimatologische Differenzierungen zulassen. Deshalb wird das Mesoklima auch oft Schönwetterklima genannt (Bendix 2004: 26).

Dadurch, dass verschiedene Landschaftstypen nebeneinander liegen, ist die Prandlschicht, die als erste Schicht eher den mesoklimatischen Bedingungen unterliegt, nicht homogen aufgebaut. Die charakteristischen Merkmale werden jeweils von der Landschaftseinheit bestimmt, über der die Luftschicht liegt. Die einzelnen Typen, die sich dadurch bilden, werden interne Grenzschichten genannt. In größeren Höhen kommt es zu einer Überlagerung der einzelnen Schichten.

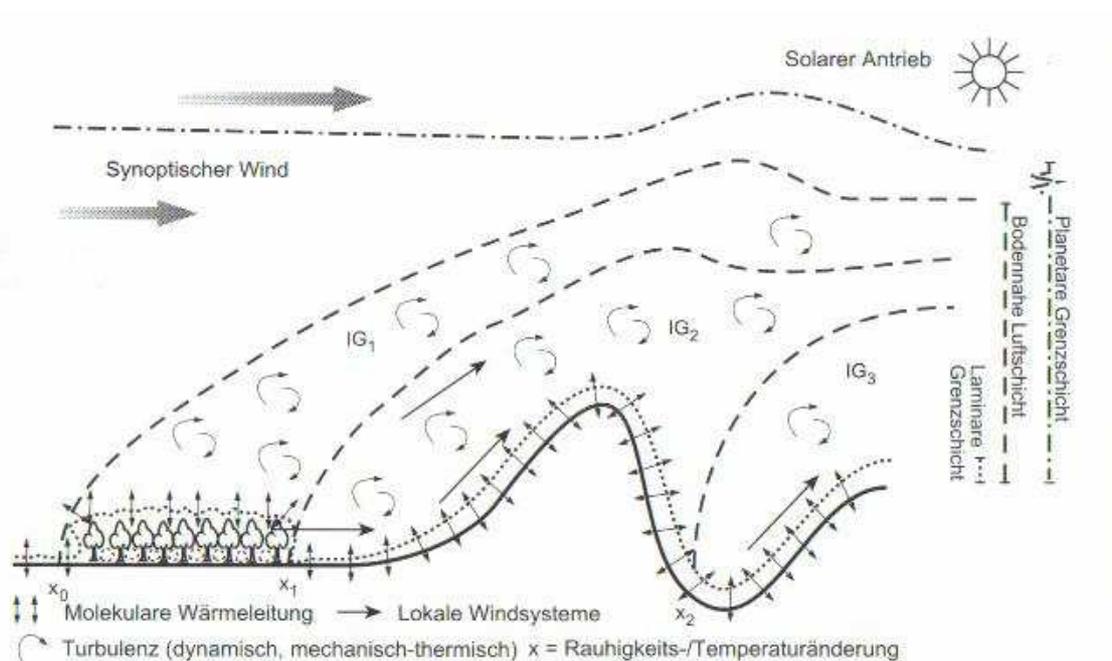
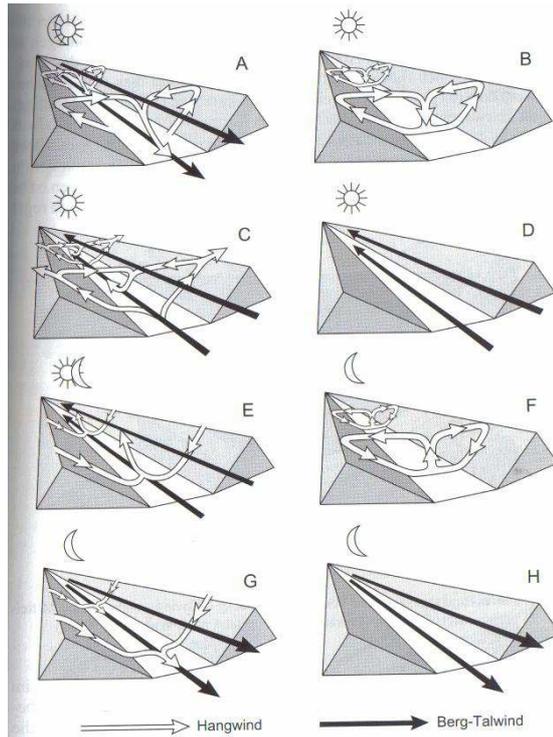


Abb. 3

Wenn man die planetare Grenzschicht in ihrer Gesamtheit betrachtet, kann man einen Tagesgang erkennen. Am Tag entsteht eine Mischungsschicht, in der die Temperatur mit der Höhe abnimmt. Diese Schicht kann bis 3 km mächtig werden. Gegen Abend nimmt diese Schicht ab, bleibt aber als Restschicht durchaus bis zum frühen Morgen erhalten. Unter der Restschicht entwickelt sich in der Nacht durch die negative Strahlungsbilanz eine Inversionsschicht. Diese verhindert einen vertikalen Austausch der Luftmassen. Da in die Restschicht auch Luft aus den höheren Bereichen der Atmosphäre eindringt, ist sie auch als Entrainmentschicht bekannt.



In den Abendstunden ist das Druckverhältnis zwischen Berg und Tal recht ausgeglichen und es kommt zu einer Phase der Windstille. Nach Sonnenuntergang kühlt die Luft in den höheren Lagen schneller ab als im Tal und die Zirkulation dreht sich um, der Bergwind setzt ein (Bendix 2004: 160). Bei Strahlungswetterlagen kann es durch die Ansammlung von kalter Luft in Tälern und Senken zu so genannten Kaltluftseen kommen. Diese Ansammlung ist aber immer vom Relief abhängig (Bendix 2004: 25, Weischet/Endlicher 2008: 293).



Ein weiteres mesoklimatisches Element sind Windsysteme wie Föhn oder Bora. Beim Föhn überfließt Luft, die sich auf der Luvseite feuchtadiabatisch abgekühlt hat, ein Gebirge und wärmt sich auf der Leeseite trockenadiabatisch auf. Dies führt zu einem warmen und trockenen Wind. Der Bora ist im Gegensatz dazu ein kalter Fallwind (Kuttler 2005: 361ff).

Abb.5

### 3. Messung

#### 3.1 Direkte, bodengebundene Messverfahren

Bei diesem Messverfahren werden Daten zu den einzelnen Klimaelementen an Punkten in bestimmten Messhöhen erfasst. Dabei stehen die Sensoren in direktem Kontakt zum Medium, das vermessen werden soll (in-Situ) (Bendix 2004: 185). In den meisten Fällen werden die Messungen mit automatischen Klimastationen durchgeführt. Diese beinhalten Geräte zur Erfassung von Temperatur, Luftfeuchte, Wind, Einstrahlung, Niederschlag, Bodentemperatur und –feuchte. Für den Aufbau und den Standort gibt es Normen, die eingehalten werden müssen, um vergleichbare Ergebnisse zu liefern. Die Daten werden per Datalogger abgefragt und gespeichert. Dazu werden Datum, Uhrzeit

und Systemdaten vermerkt. Da der Speicherplatz begrenzt ist, müssen die Daten von Zeit zu Zeit auf ein externes Medium übertragen werden (Bendix 2004: 186ff).

### ***3.2 Indirekte, bodengebundene Messverfahren***

Messungen können auch ohne direkten Kontakt des Sensors zum Element durchgeführt werden. Die Sensoren sind aber trotzdem im Bereich des zu vermessenden Elements installiert. Die Daten werden durch elektromagnetische Strahlung verschiedener Wellenlängen oder durch Schallwellen erfasst. Um korrekte Messungen durchführen zu können, muss die Wechselwirkung zwischen dem Schall/der Strahlung und dem Zustand des Mediums bekannt sein (Bendix 2004: 185). Mit dieser Art der Messungen lassen sich die Daten oft schneller erheben, da die Geräte auch kurzfristige Änderungen wahrnehmen. Außerdem sind feinere Messungen möglich. Sie bergen aber auch Fehlerquellen und haben einen erhöhten Wartungsbedarf (Bendix 2004: 203ff).

### ***3.3 Indirekte, bodengebundene Profilmessungen***

Bei dieser Messmethode ist kein direkter Kontakt zum zu vermessenden Element nötig. An bestimmten Punkten in spezifischen Messhöhen werden die Daten durch elektromagnetische Strahlung verschiedener Wellenlängen oder Schallwellen gewonnen. Elements Dies ist eine sehr einfache Möglichkeit Zeit- Höhenprofile zu erstellen ohne Ballonsysteme zu benötigen. Die Messmethode nennt man bodengebundene Fernerkundung (Bendix 2004: 185). Die Messungen dienen dazu, den Zustand der Atmosphäre zu erfassen. Dazu wird von einer Station am Boden ein Signal in die Grenzschicht gesendet. Stellenweise wird es reflektiert und kann dann wieder von der Bodenstation empfangen werden. Anhand der Laufzeit und der Signalstärke können nun Aussagen über den Zustand der Atmosphäre getroffen werden. Diese Methode wird bei der Erfassung von Wolken, Temperatur-, Luftfeuchtigkeits- und Windmessung angewandt (Bendix 2004: 211ff).

### ***3.4 Indirekte, Flugkörper gestützte Messverfahren***

Mit Flugzeugen und Satelliten können unabhängig vom Boden Daten erfasst werden. Auch hier ist der Informationsträger elektromagnetische Strahlung, wobei die Entfernung zum Objekt ein Problem darstellt, da Störgrößen an Einfluss gewinnen können. Außerdem ist es nicht möglich, zeitlich hochaufgelöste Erfassungen der Messwerte vorzunehmen. Der Vorteil ist aber, dass man eine vollständige Flächen-

abdeckung erreicht, qualitativ Abhängig vom Sensor ist. Die vollständige Flächenabdeckung erreicht man bei Punktmessungen nur durch aufwendige Methoden (Bendix 2004: 186)

### **3.5 Klimamodelle**

Klimamodelle stellen die kostenintensivste Variante der Messverfahren dar, da für ihre Erstellung große Rechnerleistungen benötigt werden. Die Daten für die Modellierung werden dabei häufig aus GIS-Systemen herangezogen. Mit den Modellen lassen sich Prognosen für die zukünftige Entwicklung des Klimas erstellen (Bendix 2004: 229ff).

## **5. Einflüsse auf Flora und Fauna**

Flora und Fauna können sich ihrem jeweiligen Standort anpassen. Die Tierwelt hat, im Gegensatz zu den Pflanzen, die Möglichkeit ihren Standort bei sich verändernden Bedingungen zu wechseln, passt sich aber genauso oft auch den Bedingungen der Umgebung an. Manche Arten bevorzugen dann Schattenbereiche, während andere eher an sonnigen Standorten zu finden sind (Geiger/Aron, Todhunter 1995: 408ff).

Bei der Verbreitung von Tieren und Pflanzen gibt es auch Spezialisierungen von Arten auf bestimmte Klimabedingungen, so dass sie stellenweise nur auf kleinstem Raum zu finden sind. Wenn mehrere angepasste Arten zusammenleben, kommt es zur Ausbildung von Biotopen mit charakteristischen Eigenschaften, wie zum Beispiel in Hohlwege, Trockenmauern oder Magerwiesen.

## **6. Stadtklima**

Durch die starke anthropogene Beeinflussung durch Bebauung und Verkehr ist das Klima in Städten<sup>6</sup> von dem ihrer Umgebung zu unterscheiden. Wie stark sich diese Beeinflussung tatsächlich auf das Klima auswirkt, hängt von verschiedenen Faktoren ab, z.B. der Stadtgröße, vorhandenen Industrieanlagen, Baustruktur oder der topographischen Lage (Kuttler 2005: 372).

Untersuchungen zum Klima in den Städten gab es schon bei den Griechen und Römern, aber erst in jüngerer Zeit befasst man sich ausführlicher mit diesem Thema (Kuttler 2005: 371).

---

<sup>6</sup> Hiermit sind europäische und nordamerikanische Städte gemeint



Die UCL hat ihre untere Grenze am Boden, ihre obere liegt in etwa auf Gebäudehöhe. Sie ist sehr turbulent und steht in Abhängigkeit von der Art der Bebauung. Die UTWL ist nicht immer vorhanden und wird daher vernachlässigt. Der Anteil der darüber liegenden UCFL an der gesamten Grenzschicht beträgt ca. 5-10%. Die abschließende UML kann, abhängig von Windverhältnissen und Tageszeit, eine Mächtigkeit von mehreren hundert Metern haben. In der Nacht tritt die städtische Abluffahne auf, die bis weit über das Umland reichen kann und in manchen Fällen auch den Boden erreicht. Dadurch wird die städtische Luftbelastung durch die anthropogene Aktivität ins Umland getragen.

Die Strahlungsbilanz für die Stadt lautet bei wolkenlosem, niederschlagsarmen Wetter wie folgt:

$$Q + Q_{\text{anthr}} + Q_{\text{met}} + Q_{\text{H}} + Q_{\text{E}} + Q_{\text{B}} = 0$$

Dabei ist  $Q$  = Strahlungsbilanz,  $Q_{\text{anthr}}$  = anthropogene Wärmeflussdichte<sup>8</sup>,  $Q_{\text{met}}$  = metabolische Wärmeflussdichte<sup>9</sup>,  $Q_{\text{H}}$  = fühlbare Wärmeflussdichte,  $Q_{\text{E}}$  = latente Wärmeflussdichte,  $Q_{\text{B}}$  = Bodenwärmestrom.

Die Strahlungsbilanz kann durch Verkehrswege, Bebauung oder Vegetation verändert werden. Außerdem wirken sich die verschiedenen Faktoren am Tag und in der Nacht unterschiedlich aus (Kuttler 2005: 382).

Stark verändert sind die Feuchtigkeits- und Niederschlagsverhältnisse in der Stadt. Durch die Versiegelung kommt es zu einem raschen Abfluss des Niederschlags in das Kanalsystem. Dadurch und da es nur eine geringe Pflanzendecke gibt, ist die Verdunstung gering und es wird nur wenig Energie für den latenten Wärmestrom benötigt. Deshalb ist mehr Energie für den Strom fühlbarer Wärme vorhanden. Zusätzliche Energie kommt von anthropogener Wärmeproduktion, die durch schlechte Isolation, Verkehr, Hausbrand oder Industrieanlagen erzeugt wird. Sie kann bis zu einem Drittel der gesamten Strahlungsbilanz ausmachen (Weischet/Endlicher 2008: 286f). Die Stadt unterscheidet sich vom Umland auch durch die erhöhte Niederschlagswahrscheinlichkeit. Durch die verstärkte Bodenreibung und die erhöhten Oberflächentemperaturen gibt es zur normalen Energiebilanz ein zusätzliches Input. Dies führt zum Beispiel zu einem erhöhten Gewitterisiko über den Städten (Weischet/Endlicher 2008: 289). Die Niederschlagswahrscheinlichkeit ist aber an Tages- und Jahreszeiten gebunden. Im Sommer ist sie durch die Überhitzung der Stadt weitaus größer als an

---

<sup>8</sup> Emissionen: Aus anthropogener Quelle abgegebene Stoffe (Weischet/Endlicher 2005: 290)

<sup>9</sup> Die durch den Menschen freigesetzte Wärme

kalten Wintertagen. Im Winter tritt kann als zusätzlicher Niederschlag so genannter Industrieschnee auftreten. Er bildet sich in der Nähe von Punktquellen, z.B. Wassertürmen, wo es zum Ausstoß von zusätzlichen Partikeln kommt (Kuttler 2005: 409).

Wie schon zuvor angedeutet, ist eine Veränderung im Strahlungs- und Wärmehaushalt zum Umland besonders in der Nacht zu sehen. Dies kommt durch die erhöhte Energiefreisetzung aus den Gebäuden und geteerten Flächen und dem höheren Speicherwärmestrom. Durch die Energieabgabe an die Atmosphäre, die auch in der Nacht erfolgt, wird der bodennahen Luft gantztägig Wärme zugeführt. Zusammen mit der verringerten Luftbewegung findet wenig Austausch zwischen Land und Stadt statt. Man spricht hier dann auch von der „städtischen Wärmeinsel“. Am ausgeprägtesten ist dieses Phänomen in Nächten, besonders im Sommer. Im Jahresmittel beträgt der Unterschied zwischen Stadt und Land 2-3K, in Extremfällen bis zu 10K. Tagsüber kann es in der Stadt 0,5-1K kälter sein als im Umland, da es Schattenwurf gibt und der Energieumsatz nicht am Boden erfolgt. Dabei ist die Struktur innerhalb der Stadt nicht homogen, sondern kann an manchen Stellen besondere Ausprägung erreichen, während andere Teile kaum beeinflusst werden. Dies ist lageabhängig und geschieht oft im Zusammenhang mit bestimmten Witterungslagen und Windsystemen (Weischet/Endlicher 2008: 287ff). Datenerhebungen dazu erfolgen entweder durch stationäre Messstellen oder bei Messfahrten (Kuttler 2005: 391). Die Wärmeinseln sind, genauso wie die übrige UBL, geschichtet. Im unteren Bereich ist die Bodenwärmeinsel zu finden, auf die die Temperatur des Untergrundes sich stark auswirkt und ist an die bebauten Gebiete gekoppelt. Darüber liegt die Stadthindernisschichtwärmeinsel, die bis zur mittleren Dachhöhe reicht. Hier spielen die Auswirkungen der Bebauung die größte Rolle. Die Luftmassen in diesem Bereich können auch Auswirkungen auf das Umland haben. Die oberste Schicht ist die Stadtgrenzschichtwärmeinsel. Diese wird stellenweise schon von den Winden oberhalb der UBL beeinflusst. Dadurch entsteht dann auch die Abluftfahne (Kuttler 2005: 391).

Die Wärmeinseln können sich positiv und negativ auf Umwelt und Menschen auswirken. Eine positive Folge was den Energieverbrauch in der Stadt anbelangt ist die Verkürzung der Frostperiode und zu einer geringeren Anzahl von Frosttagen. Dadurch liegt der Schnee kürzer und der Energieverbrauch ist geringer, da weniger geheizt werden muss. Die verlängerte Wachstumsperiode führt dazu, dass neue Pflanzentypen (Neophyten) in die Städte einwandern. Dazu zählt beispielsweise der Götterbaum.

Negative Auswirkungen der Wärmeinseln ergeben sich meist in den Sommermonaten. Zu dieser Jahreszeit wird die Hitze in den Städten gestaut und es ist schwül, worauf manche Menschen mit Hitzestress reagieren.

Deshalb ist es wichtig, Frischluftschneisen mit Vegetation zu erhalten, bzw. neue anzulegen, in denen über lokale Winde kühlere Luft in die Stadt geführt werden kann. (Weischet/Endlicher 2008: 289).

Wie schon im vorherigen Abschnitt angeschnitten, weist die Stadt auch ein anderes Windsystem als das Umland auf. Dies ist charakterisiert durch geringere Windgeschwindigkeiten, mehr Zeiten ohne Wind und die Lenkung des Windes durch die Bebauung, wobei hier durch die Kanalisierung durchaus auch hohe Windgeschwindigkeiten erreicht werden können (Kuttler 2005: 409)

Innerhalb des Stadtgebietes ist in den meisten Fällen der Luftaustausch stark eingeschränkt, da nur wenig Luftbewegung stattfindet. Dadurch kommt es zu einem Stau der Wärme und einer Konzentration der Luftverschmutzung. Bei Städten in Tallage sind die Verhältnisse besonders ungünstig.

Ein städtisches Windphänomen ist der Flurwind. Diese Ausgleichsströmung entsteht durch die Überwärmung der Stadt im Vergleich zum Umland. Zwischen Stadt und Land muss dabei ein Druckunterschied vorherrschen durch den bodennah Luft in die Stadt eindringt, da dort am Boden niedriger Luftdruck herrscht. In der Stadt steigt sie durch Erwärmung in der Höhe und fließt dann wieder ins Umland. Die Flurwinde erreichen meist nur eine geringe Stärke (Kuttler 2005: 412f).

Wenn man die Stadtluft betrachtet, darf man den Aspekt der Luftverschmutzung nicht außen vor lassen. Die meisten Schadstoffe werden durch den motorisierten Verkehr freigesetzt. Hierbei spielen  $\text{NO}_x$  und CO eine wichtige Rolle da sie zur Ozonbildung beitragen. Im Sommer kommt es auch häufig zur Entstehung von Smog. Dies geschieht, wenn bei einer Inversionswetterlage sich in der Stadtluft Schadstoffe konzentrieren. Dies wirkt sich schädlich auf die Umwelt aus. (Kuttler 2005: 420, 503f)

Durch gezielte Maßnahmen ist es möglich das Stadtklima zu verbessern. Zum einen ist dies das Verringern des Verkehrs innerhalb der Stadt, um somit die Schadstoffabgabe an die Luft zu reduzieren. Dies kann zum Beispiel durch den Ausbau des ÖPNV oder durch verkehrsberuhigte Bereiche geschehen. Weiterhin kann die Bebauung so verbessert oder neu gestaltet werden, dass das Klima positiv beeinflusst wird. An Altbauten kann z.B. durch Dämmung die Energieeffizienz erhöht werden. Neubauten

können zum einen in Energiesparweise gebaut werden, zum anderen können sie so ausgerichtet werden, dass sie keine Frischlaufschneisen blockieren. Bei der Planung von neuen Stadtteilen ist es zudem möglich, auf genügend Grünflächen zu achten (Kuttler 2005: 422f).

## **7. Zusammenfassung**

Der Forschung zur Meso- und Mikroklimatologie, insbesondere der Stadtklimatologie kommt in den letzten Jahren immer mehr Bedeutung zu. Dieser kleinräumige Klimabereich ist wichtig, da er sich schnell verändern kann und sich direkt auf Pflanzen, Tiere und auch den Menschen auswirkt. Er kann aber deshalb auch am einfachsten beeinflusst werden, indem man zum Beispiel die Bebauung in einer Stadt besser den Umgebungsbedingungen anpasst oder man in der Umgebung durch Aufforstung etc. Einfluss auf das Klima nimmt. In Zukunft werden Modellierungen in diesem Bereich immer wichtiger werden, um zum Beispiel den Auswirkungen des Klimawandels besser begegnen zu können.

## **Literatur**

Bendix, J. (2004): Geländeklimatologie. Stuttgart

Geiger, R, Aron, R.H., Todhunter, P. (1995): The Climate Near The Ground.  
Braunschweig/Wiesbaden

Kuttler, W.: Mikro- und Mesoklima, Stadtklima. – In: Hupfer, P., Kuttler, W. (Hrsg)  
(2005): Witterung und Klima – Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie.  
Wiesbaden

Leser, H. (Hrsg.)(2005): Wörterbuch Allgemeine Geographie. München

Weischet, W., Endlicher, W. (2008): Einführung in die Allgemeine Klimatologie.  
Stuttgart

## **Abbildungsnachweis**

Abb.1 Weischet/Endlicher 2008: 19

Abb.2 Weischet/Endlicher 2008: 43

Abb.3 Bendix 2004: 32

Abb.4 Bendix 2004: 37

Abb.5 Bendix 2004: 167

Abb.6 Kuttler 2005: 380