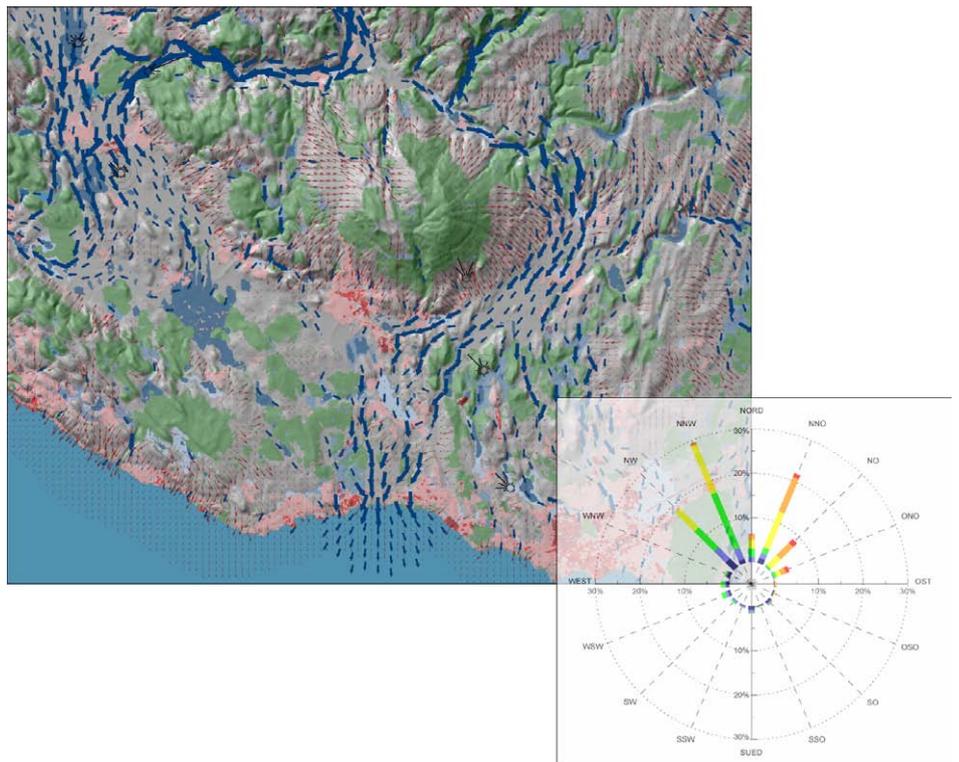




REGION Bodensee - Oberschwaben

Klimafibel

Ergebnisse der Klimaanalyse für die Region Bodensee-Oberschwaben und ihre Anwendung in der regionalen und kommunalen Planung



Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

in Zusammenarbeit mit den Landkreisen
Bodenseekreis, Ravensburg und Sigmaringen

INFO HEFT

No. 11

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben
Info Heft No. 11

Klimafibel

Ergebnisse der Klimaanalyse für die Region
Bodensee-Oberschwaben und ihre Anwendung
in der regionalen und kommunalen Planung

In Zusammenarbeit mit

- Landkreis Bodenseekreis
- Landkreis Ravensburg
- Landkreis Sigmaringen

Bearbeitung durch

- Prof. Dr. Andreas Schwab, Pädagogische Hochschule Weingarten

unter Mitwirkung von:

- Denis Zachenbacher, Pädagogische Hochschule Weingarten
- Dipl. Geogr. Rainer Beuerle und Dipl. Ing. Harald Winkelhausen,
Regionalverband Bodensee-Oberschwaben
- Dipl. Ing. Jutta Bachmann und Dipl. Ing. Gottfried Hage,
HHP Hage+Hoppenstedt, Rottenburg a.N. (Kapitel 5)

Ravensburg
August 2010

Herausgeber: Regionalverband Bodensee-Oberschwaben
Hirschgraben 2, 88214 Ravensburg
Tel.: (0751) 36354-0 Fax (0751) 36354-54
E-mail: info@bodensee-oberschwaben.de
Internet: <http://www.bodensee-oberschwaben.de>

Verfasser: Prof. Dr. Andreas Schwab, Denis Zachenbacher, Pädagogische Hochschule Weingarten
Dipl. Geogr. Rainer Beuerle, Dipl. Ing. Harald Winkelhausen, Regionalverband Bodensee-Oberschwaben
Dipl. Ing. Jutta Bachmann und Dipl. Ing. Gottfried Hage, HHP Hage+Hoppenstedt (Kap. 5)

Druck: druckidee, Jochen Abt e.K., Mooswiesen 13/1, 88214 Ravensburg

Vorwort

Die öffentliche Auseinandersetzung mit dem Klima hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Vor allem die bereits sichtbaren und für den Menschen unmittelbar spürbaren Auswirkungen des Klimawandels verdeutlichen seine Bedeutung als zentrales Zukunftsthema, nicht nur auf globaler und nationaler, sondern auch auf regionaler und kommunaler Ebene. Neben den wichtigen Maßnahmen zum Klimaschutz rücken dabei die Strategien zur Anpassung an die sich ändernden Klimabedingungen zunehmend in den Fokus. Für die regionale und kommunale Planung stellt insbesondere der durchschnittliche Temperaturanstieg und die erhöhte Anreicherung von Luftschadstoffen in dicht besiedelten Räumen eine große Herausforderung dar. Bei der zukünftigen Siedlungsentwicklung und Stadtplanung muss daher vor allem eine ausreichende Durchlüftung durch die Erhaltung und Aufwertung der vorhandenen Frisch- und Kaltluftströme sichergestellt werden.

In der Region Bodensee-Oberschwaben sind Inversionswetterlagen in Verbindung mit schlechten Durchlüftungsverhältnissen vor allem im Bodenseebecken und in Teilen des Schussenbeckens zu beobachten. Die Berücksichtigung von klimatischen und lufthygienischen Aspekten bei Planungsvorhaben war dort jedoch aufgrund einer unbefriedigenden Datengrundlage bisher nicht in angemessener Weise möglich. In den Jahren 2008 und 2009 wurde aus diesem Grund im Auftrag des Regionalverbandes sowie der Landkreise Bodenseekreis, Ravensburg und Sigmaringen die regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO) durchgeführt. Die Ergebnisse der von Prof. Dr. Andreas Schwab, Pädagogische Hochschule Weingarten bearbeiteten Studie sind in Form eines dreibändigen wissenschaftlichen Abschlussberichts (im Folgenden abgekürzt: WAB) dokumentiert.

Die hier vorliegende Klimafibel fasst im ersten Teil (Kapitel 1-4) die wesentlichen Ergebnisse von REKLIBO in kompakter Form zusammen. Neben allgemeinen Informationen zur klimatischen Situation in der Region werden sowohl das durchgeführte Messprogramm als auch die Resultate der flächendeckenden Modellrechnungen beschrieben und anhand von Grafiken und Kartenausschnitten anschaulich erläutert. Ein zweiter Schwerpunkt der Klimafibel befasst sich mit der Anwendung der Klimaanalyse im Rahmen der regionalen und kommunalen Planung (Kapitel 5-6). Auf der regionalen Planungsebene werden die REKLIBO-Ergebnisse im Zielkonzept für das Schutzgut "Klima und Luft" des Landschaftsrahmenplans (derzeit in Bearbeitung) analysiert und in aggregierter Form kartographisch dargestellt. Im Regionalplan werden darauf aufbauend Regionale Grünzüge und Grünzäsuren modifiziert bzw. neu festgelegt. Diese sind weitestgehend von einer Bebauung freizuhalten.

Auf der Ebene der Bauleitplanung (Flächennutzungspläne, Bebauungspläne) bietet die Klimafibel eine konkrete Handlungsanleitung zur Anwendung der REKLIBO-Ergebnisse. Anhand von Leitfragen und Ankreuz-Formularen können Aussagen zur thermischen und lufthygienischen Situation im betrachteten Planungsraum abgeleitet werden. Wie die abschließende klimatische Bewertung eines Standorts und die daraus resultierenden Handlungsstrategien in Form eines Steckbriefs "Klima und Luft" zusammengefasst werden können, zeigt ein fiktives Anwendungsbeispiel. Die zur Bearbeitung notwendigen Dokumentvorlagen und Formulare, aber auch Informationsquellen wie Karten und Geodaten befinden sich auf beigefügter DVD.

Insofern soll die Klimafibel als praxisnahe Handreichung für die Regional-, Stadt- und Ortsplanung dienen.



Hermann Vogler
Verbandsvorsitzender



Wilfried Franke
Verbandsdirektor

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einleitung	9
2 Die Bedeutung von Klima und Luft in der räumlichen Planung	10
2.1 Wärmebelastung durch hohe Temperaturen und Schwüle	10
2.2 Schlechte Durchlüftung bei geringen Windgeschwindigkeiten und Inversionswetterlagen ...	12
2.3 Entlastung durch lokale Windsysteme	13
2.3.1 Hangwindsysteme und Berg-Tal-Windsysteme	14
2.3.2 Flurwindsysteme (Stadt-Umland-Windsysteme)	16
2.3.3 Land-See-Windsysteme	16
2.4 Auswirkungen des globalen Klimawandels	17
2.5 Bedeutung des Klimas in der räumlichen Planung	18
2.6 Zusammenfassung	19
3 Klimatische Einordnung der Region Bodensee-Oberschwaben	20
3.1 Allgemeine Beschreibung der Region	20
3.2 Klimatische Einordnung der Region	21
3.2.1 Großklimatische Einordnung	21
3.2.2 Mittlere Lufttemperaturen und Anzahl der Sommertage	21
3.2.3 Wind	22
3.2.4 Inversionshäufigkeit	23
3.2.5 Durchlüftungsverhältnisse	24
3.2.6 Wärmebelastung	24
3.3 Zusammenfassung	24
4 Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO)	25
4.1 Fragestellungen, Ziele und Konzeption der Klimaanalyse	25
4.2 Messprogramm	26
4.2.1 Angewandte Messmethoden und Auswahl der Messgebiete	26
4.2.2 Interpretation der Messergebnisse	26
4.3 Modellrechnungen	30
4.3.1 Reliefanalytische Verfahren	30
4.3.2 Kaltluftabflussmodellierung mit KLAM_21	30
4.3.3 Umsetzung in Klimaanalysekarten	31
4.3.4 Interpretation der Modellrechnungen	33
4.4 Vergleich von Messergebnissen und Modellergebnissen	35
4.5 Zusammenfassung	35

5	Anwendung der regionalen Klimaanalyse im Rahmen der Regional- und Landschaftsrahmenplanung.....	36
5.1	Klima und Luft in der Regional- und Landschaftsrahmenplanung	36
5.2	Anwendung im Landschaftsrahmenplan Bodensee-Oberschwaben	36
5.2.1	Analyse von Klima und Luft.....	36
5.2.2	Zielkonzept Klima und Luft.....	37
5.2.3	Handlungsansätze	39
5.3	Anwendung im Regionalplan Bodensee-Oberschwaben.....	39
6	Anwendung der regionalen Klimaanalyse im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung.....	41
6.1	Gesamträumliche Betrachtung.....	42
6.2	Standörtliche Betrachtung.....	44
6.2.1	Bewertung der Bedeutung von Hangabwind- und Talabwindssystemen.....	45
6.2.2	Notwendigkeit von Detailuntersuchungen.....	52
6.3	Handlungsstrategien	52
6.4	Fiktives Anwendungsbeispiel	53
7	Schlussbemerkung und Ausblick	56
8	Literatur	57
Anhang	58

1 Einleitung

Die Karten des Klimaatlas von Baden-Württemberg (LUBW, 2006) zeigen innerhalb unseres Bundeslandes drei großflächige Bereiche, in denen von relativ hoher Wärmebelastung und schlechten Durchlüftungssituationen ausgegangen werden muss. Neben der Oberrheinebene und dem Mittleren Neckartal handelt es sich dabei um das Bodenseebecken samt dem nördlich angrenzenden Schussenbecken. Auch die Täler der Donau und ihrer Nebenflüsse gelten als schlecht durchlüftet.

In solchen Gebieten müssen bei konkreten Planungsaufgaben Fragen nach der Standorteignung auch unter klimatisch-lufthygienischen Gesichtspunkten betrachtet werden. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die zu erwartende Erwärmung im Rahmen des aktuellen Klimawandels. Es ist wichtig, Aspekte der Klimaanpassung in Planungsvorhaben einzubeziehen.

Vorraussetzungen dafür sind insbesondere gesicherte Kenntnisse über den Istzustand des regionalen und lokalen Klimas. In der Region Bodensee-Oberschwaben wurden bislang jedoch nur vereinzelt großmaßstäbige Klimastudien durchgeführt.

Aufgrund dieses mangelhaften Kenntnisstands beauftragten der Regionalverband Bodensee-Oberschwaben und die Landkreise Bodenseekreis, Ravensburg und Sigmaringen den Fachbereich Geographie der Pädagogischen Hochschule Weingarten mit der Durchführung einer „Regionalen Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO)“.

Im Dezember 2009 wurden die Ergebnisse dieser Studie in Form eines umfassenden dreibändigen wissenschaftlichen Abschlussberichts samt Klimaatlas für die Region vorgestellt (abgekürzt: WAB).

Die hier vorliegende Klimafibel fasst die Ergebnisse in möglichst kompakter Form zusammen (Kapitel 2, 3 und 4) und beschreibt, wie sie auf der regionalen und kommunalen Planungsebene (Landschaftsrahmenplanung/Regionalplanung, Bauleitplanung) angewendet werden können und wo die Grenzen der Anwendbarkeit liegen (Kapitel 5 und 6). So ist z.B. aufgrund der angewandten Methoden und der entsprechenden Zielmaßstäbe der Kartenerzeugnisse eine umfassende Bewertung von Einzelbauvorhaben nicht möglich ist.

2 Die Bedeutung von Klima und Luft in der räumlichen Planung

Klima und Luft sind Bestandteile des Ökosystems und wirken unter anderem über Niederschlag, Sonneneinstrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und die Luftqualität auf den Landschaftshaushalt, die Artenvielfalt sowie die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen. Damit haben sie eine große Bedeutung für Wohn- und Arbeitsverhältnisse, Erholung und Tourismus, für die Landwirtschaft sowie für die Lebensräume von Tieren und Pflanzen. Klimatische und lufthygie-

nische Aspekte sind deshalb auch in der räumlichen Planung, insbesondere bei der Siedlungsentwicklung von großer Bedeutung.

In der hier vorliegenden Klimafibel wird der Schwerpunkt auf die Aspekte Lufttemperatur und Wind gelegt. Bei bestimmten Wetterlagen treten im Zusammenhang mit diesen Elementen besondere Belastungssituationen auf, die im Folgenden näher beschrieben werden.

2.1 Wärmebelastung durch hohe Temperaturen und Schwüle

Ein gesunder Mensch besitzt im Allgemeinen eine gute Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche atmosphärische Bedingungen (bei extremer Kälte wird er sich z.B. geeignet kleiden oder geschützte Bereiche aufsuchen). Bei hohen Temperaturen sind diese Anpassungsmöglichkeiten jedoch begrenzt. Problematisch wird es dann vor allem für Menschen mit Herz-Kreislauf- oder Atemwegsproblemen. Dies zeigt sich unter anderem auch in Statistiken, die den Zusammenhang zwischen Sterblichkeitsdaten aus Baden-Württemberg und den thermischen Umgebungsbedingungen beleuchten. Bei besonders hohen „gefühlten Temperaturen“¹ weicht demnach die Sterblichkeitsrate vom Normalwert deutlich nach oben ab (Laschewski u. Jendritzky, 2002, in NATIONALATLAS, 2003).

Hohe Temperaturen verbunden mit Schwüle und geringen Windgeschwindigkeiten können also extreme Belastungssituationen bzw. Stress erzeugen (Wärmebelastung, Hitzestress). Daher ist es wichtig, das Auftreten von Wärmebelastung bei regionalen und kommunalen Planungen (Landschaftsrahmenplanung, Regionalplanung, Bauleitplanung) in die Betrachtungen einzubeziehen und wenn möglich zu verhindern. Zunächst stellt sich deshalb die Frage, wo mit besonders häufigen bzw. mit besonders ho-

hen Belastungssituationen zu rechnen ist. Zur Klärung dieser Frage können Karten des Klimatlas von Baden-Württemberg (LUBW, 2006) herangezogen werden.

Wärmebelastung in Baden-Württemberg

In unserem Bundesland ist Wärmebelastung demnach am häufigsten im Oberrheingraben (teilweise an über 35 Tagen), aber auch im Neckartal sowie im Bereich des Bodensees und dem angrenzenden Schussenbecken zu erwarten, in den Hochlagen von Schwarzwald und Schwäbischer Alb dagegen kaum. Dies entspricht der allgemeinen Kenntnis, dass die thermischen Bedingungen eines Ortes in erster Linie höhenabhängig sind. Stark modifizierend wirken jedoch auch die Geländeform (Beckenlagen, Tallagen) sowie die Art der Landnutzung. Innerhalb weniger Kilometer können die bioklimatischen Verhältnisse deshalb sehr große Unterschiede aufweisen.

Besonders deutlich zeigt sich dies bei einem Vergleich von Wald- und Siedlungsflächen. Der Wald reduziert mit seiner thermisch ausgleichenden Wirkung die Wärmebelastung; innerhalb bebauter Gebiete nimmt sie gegenüber den umliegenden Freiflächen zu. Dies geht auf den sogenannten städtischen Wärmeinseleffekt zurück.

¹ Unter der gefühlten Temperatur versteht man die von einem Menschen wahrgenommene Umgebungstemperatur, die sich aufgrund verschiedener Faktoren (u.a. Luftfeuchte und Wind) von der gemessenen Lufttemperatur unterscheidet. Es handelt sich um ein Maß für das thermische Wohlbefinden eines Menschen.

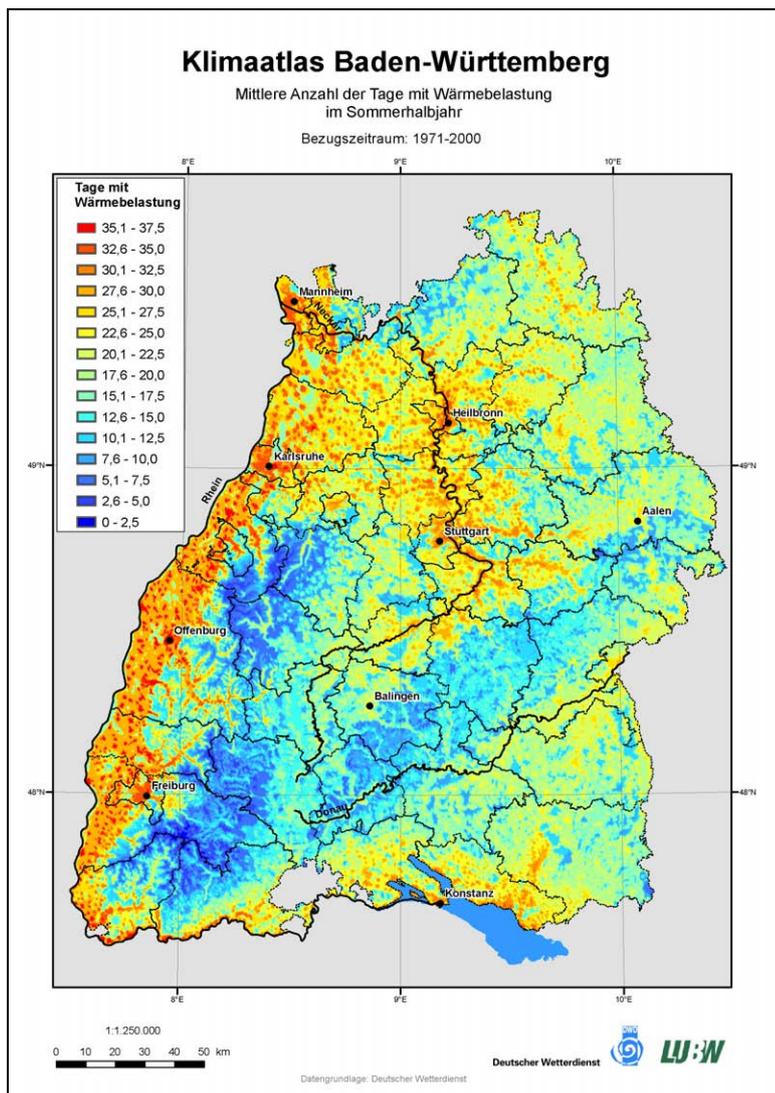


Abb. 1 : Anzahl der Tage mit Wärmebelastung im Sommerhalbjahr
Bezugszeitraum 1971-2000
(aus LUBW, 2006)

Besondere Belastung der Städte durch den städtischen Wärmeineffekt

Durchschnittlich sind Städte im Jahresmittel um 1 bis 2 °C wärmer als die sie umgebende Landschaft. Besonders große Temperaturunterschiede treten jedoch in windarmen Strahlungsnächten auf. Sie sind zudem stark abhängig von der Größe der Stadt, der Bebauungsdichte und dem jeweiligen Versiegelungsgrad. Für Millionenstädte kann der maximale Temperaturunterschied über 10 Grad betragen. Aber auch bei kleineren Städten ist durchaus ein merkbarer Wärmeineffekt feststellbar (vgl. STÄDTEBAULICHE KLIMAFIBEL, 2008 und Abb. 2).

Die Ursachen für den städtischen Wärmeineffekt sind vielfältig. Entscheidend ist sicherlich die Tatsache, dass durch die Oberflächenversiegelung und dem damit verbundenen geringeren Grünflächenanteil die Verdunstung stark reduziert ist. Große Anteile der einfallenden Sonnenenergie führen somit tagsüber direkt zur Erwärmung der städtischen Baumassen. Die tagsüber in den Baumassen gespeicherte Energie wird während der Nacht nur langsam wieder abgegeben. Siedlungen sind deshalb auch am Morgen noch relativ warm. Dies gilt sowohl für die Oberflächen als auch für die bodennahen Luftschichten.

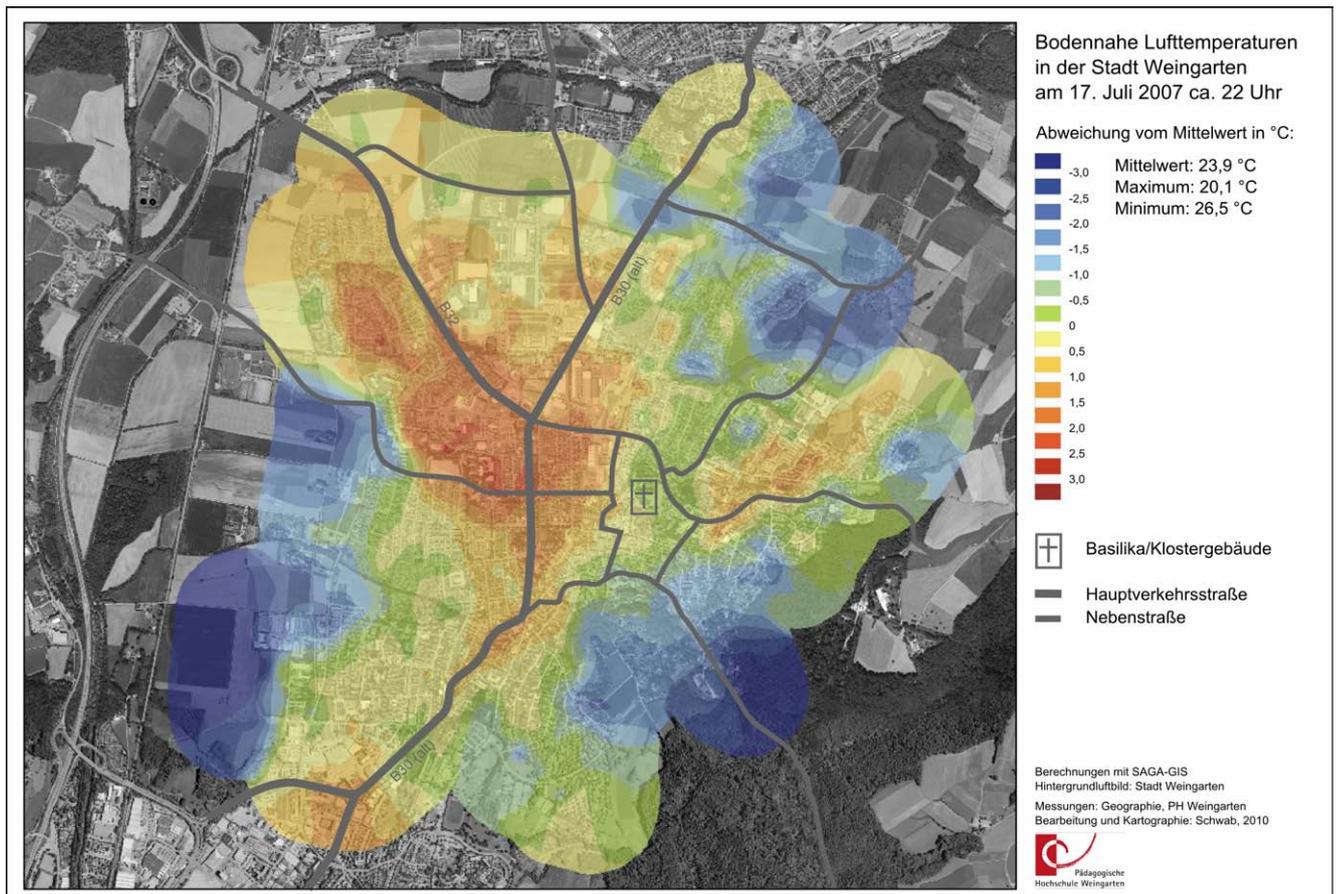


Abb. 2: Bodennahe Lufttemperaturen in der Stadt Weingarten am 17. Juli 2007. Deutlich sind die Temperaturunterschiede zwischen Umland und Siedlungszentrum zu erkennen.

2.2 Schlechte Durchlüftung bei geringen Windgeschwindigkeiten und Inversionswetterlagen

Bei geringen horizontalen Windgeschwindigkeiten und behindertem vertikalen Luftaustausch besteht vor allem in Ballungsgebieten die Gefahr der Anreicherung von Luftschadstoffen.

Der Einfluss des Reliefs

Einen großen Einfluss auf den bodennahen Wind hat das Geländere relief. Erhebungen stellen sich dem Wind als Hindernis entgegen und müssen um- und überströmt werden. Im Gipfelbereich von Hügeln und Bergen kommt es deshalb häufig zu erheblichen Windgeschwindigkeitszunahmen, während der Wind im Leebereich eines Berges durch Wirbelbildung stark abgebremst werden kann (NATIONALATLAS, 2003, S. 52).

In Tälern oder Becken kommt es in der Regel zu einer Abschwächung des Windes. Im Bereich von Talverengungen können Kanalisierungs- und Düsen effekte jedoch auch zu einer Geschwindigkeitszunahme führen.

Verminderte Durchlüftung in Siedlungsgebieten

Auch die Ausprägung der Landnutzung hat Einfluss auf die Windgeschwindigkeiten. So kommt es etwa durch die Errichtung von Bauwerken zu einer Erhöhung der Oberflächenrauigkeit und somit zu einer Veränderung der Strömungsbedingungen für den bodennahen Luftaustausch. Als Folge sind die Windgeschwindigkeiten in Siedlungsgebieten im Vergleich zum Umland allgemein reduziert, auch Windstillen treten vermehrt auf. Die Durchlüftungsverhältnisse sind also vergleichsweise schlecht.

Besondere Gefahr bei Inversionswetterlagen

Eine erhöhte Gefahr der Schadstoffanreicherung besteht bei sogenannten Inversionswetterlagen. Bei solchen Wetterlagen liegt wärmere Luft über kälterer Luft. Diese auch als „Temperaturumkehr“ bezeichnete Situation führt dazu, dass ein vertikaler Luftaustausch unterbunden wird.

Eine besondere Neigung zur Bildung von Inversionen besteht in Tiefländern sowie Becken- und Tallagen. Hier kommt es während windschwacher Strahlungswetterlagen nachts zur Ansammlung von Kaltluft, die aufgrund der Reliefsituation nicht in ausreichendem Maße abfließen kann (s.u.). Sie kühlt dann von der Erdoberfläche her extrem ab. Bei herbstlichen und winterlichen Hochdruckwetterlagen ist dies häufig mit Nebelbildung verbunden. Löst sich eine solche Nebelschicht tagsüber nicht mehr auf, kann sich die Temperaturinversion verstärken. Die Sonnenstrahlen erwärmen dann nur noch die Höhenlagen, die oberhalb der Nebelgrenze liegen.

Durchlüftungsverhältnisse in Baden-Württemberg

Aus den Informationen über bodennahe Windverhältnisse und Inversionshäufigkeiten können nach bestimmten Kriterien Karten der Durchlüftungsverhältnisse erstellt werden. Die entsprechende Karte aus dem Klimaatlas von Baden-Württemberg (LUBW, 2006) zeigt die erwarteten Strukturen:

Bei geringen Inversionshäufigkeiten in Verbindung mit hohen Windgeschwindigkeiten sind die Durchlüftungsverhältnisse gut.

2.3 Entlastung durch lokale Windsysteme

In Gebieten mit erhöhter Wärmebelastung und schlechten Durchlüftungsverhältnissen sind lokale Windsysteme (Hangwindsysteme, Berg-Tal-Windsysteme, Flurwindsysteme, Land-See-Windsysteme) für die Lebensbedingungen der Menschen in Siedlungen von großer Bedeu-

Dies betrifft vor allem die höher gelegenen, windstarken Regionen von Schwarzwald und Schwäbischer Alb.

Großräumig schlecht durchlüftet (geringe Windgeschwindigkeit in Verbindung mit hoher Inversionshäufigkeit) sind die Oberrheinebene, das mittlere Neckartal sowie das Bodenseebecken zusammen mit dem südlichen und mittleren Schussenbecken. In besonderem Maße trifft dies nach den obigen Anmerkungen auf die größeren Städte dieser Teilräume zu.

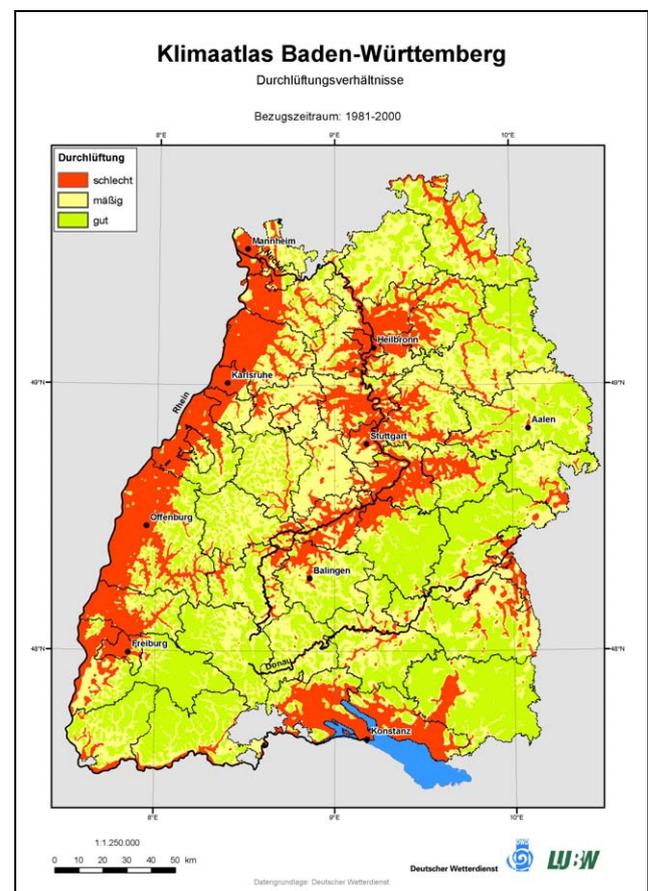


Abb. 3: Durchlüftungsverhältnisse in Baden-Württemberg, Bezugszeitraum 1981-2000 (aus LUBW, 2006)

tung, da sie die belasteten Bereiche mit frischer bzw. kühler Luft versorgen können. Sie werden deshalb im Folgenden ausführlich beschrieben.

2.3.1 Hangwindssysteme und Berg-Tal-Windsysteme

Kaltluftentstehung

In wolkenlosen Nächten kann die Erdoberfläche nahezu ungehindert Energie ins Weltall abstrahlen, wodurch sie sich merklich abkühlt. Sobald die Temperatur der Erdoberfläche jene der bodennahen Luft unterschreitet, wirkt erstere wie eine Kühlfläche. Die Luft darüber kühlt sich daran ab – es entsteht „bodennahe Kaltluft“. Die Intensität der Abkühlung ist in erster Linie abhängig von der Bodenbedeckung. Wiesen, Äcker und Wälder gelten als wichtige Kaltluft produzierende Flächen. Versiegelte Flächen und Wasserflächen scheiden als solche aus.

Kaltluftfluss – Hangabwinde und Talabwinde

Auf ebenem Gelände würde sich im Laufe einer Nacht mit der Zeit eine immer mächtigere und schwerere Kaltluftschicht bilden. Die vom Boden her abgekühlte Luft hat jedoch eine vergleichsweise hohe Dichte. Daher setzt sie sich an Hängen mit hinreichendem Gefälle talabwärts in Bewegung. Die Winde wehen nun von den Hängen in die Täler bzw. Becken (Hangabwinde) (vgl. Abb. 5 und Abb. 6). Hat sich Kaltluft in einem Tal angesammelt, kann auch eine talabwärts gerichtete Luftströmung entstehen. Solch ein Wind wird Bergwind bzw. Talabwind genannt (vgl. Abb. 4).

Die auftretenden Windgeschwindigkeiten im Kaltluftfluss werden entscheidend mitbestimmt von der Größe der Kaltlufteinzugsgebiete, den Anteilen der verschiedenen Landnutzungen sowie den Neigungsverhältnissen im Kaltlufteinzugsgebiet. Diese Zusammenhänge sind im Rahmen zahlreicher empirischer Studien auch formelhaft beschrieben worden. Hier soll die qualitative Angabe genügen.

Die Geschwindigkeit des Kaltluftabflusses steigt mit zunehmender Größe der Einzugsgebiete und zunehmenden Geländeneigungen. Je größer allerdings ein Talsystem ist, desto mehr Zeit wird benötigt, bis der Kaltluftfluss die Talmündung in messbarer Stärke erreicht.

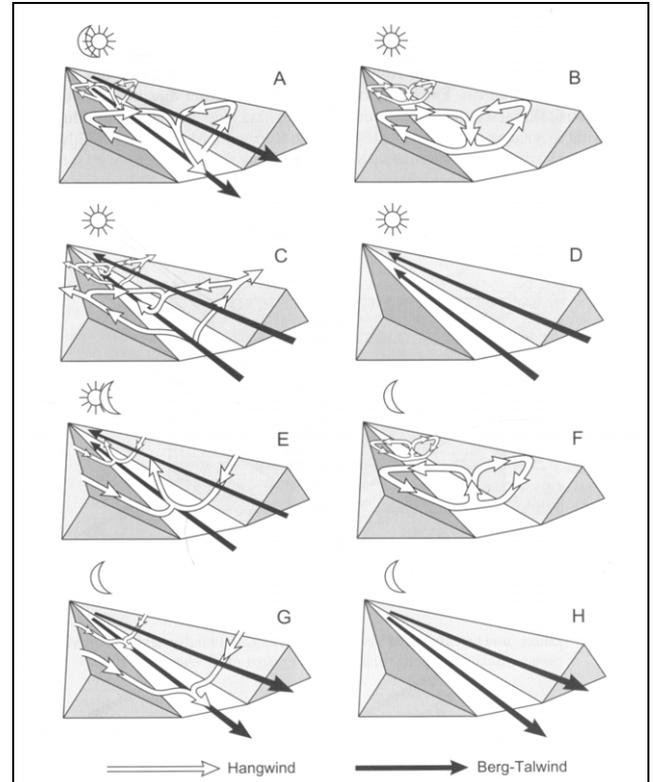


Abb. 4: Das idealisierte Berg-Tal-Windsystem bei symmetrischer Hangerwärmung und Hangabkühlung (nach Defant 1949, in BENDIX, 2004, S. 167)

Treten im Tal Schwellen oder Engstellen auf, so kann der Kaltluftstrom periodisch unterbrochen sein, es kommt zu Kaltluftpulsationen (BENDIX, 2004, S. 173). Solche schwankenden Geschwindigkeiten des Kaltluftstroms sind aber auch an Hängen zu beobachten. Vor allem bei weniger starken Neigungsverhältnissen ist hier immer wieder eine verstärkte bodennahe Abkühlung nötig, bevor es zu einem markanten Abfluss von Kaltluft kommen kann.



Abb. 5: Rauchversuche zur Visualisierung von Hangauf- und Hangabwinden am 11.10.06 nordwestlich von Baintd-Friesenhäusle. Eine Stunde vor Sonnenuntergang sind noch hangaufwärts gerichtete Luftbewegungen zu beobachten. Während des Sonnenuntergangs herrscht annähernd Windstille. Eine Stunde nach Sonnenuntergang haben bereits Hangabwinde eingesetzt. (Fotos: Schwab 2006)

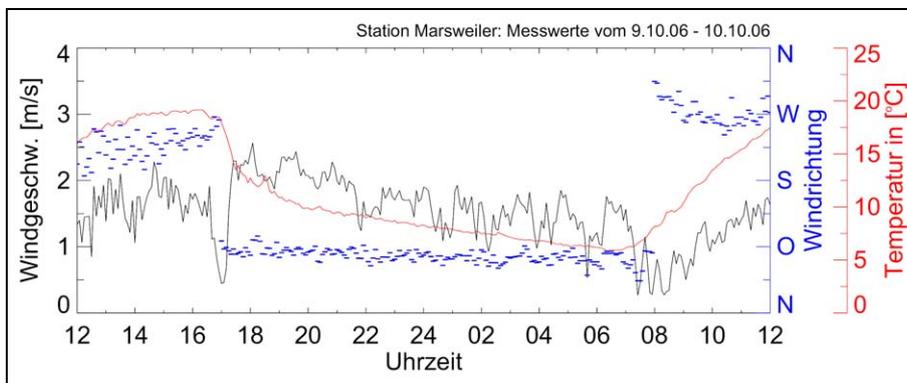


Abb. 6: Verlauf von Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur an der Station Baintd-Marsweiler vom 9.10.2006 auf 10.10.2006. Gut zu erkennen ist die Tagesperiodik der Windrichtungen mit einem kontinuierlich wehenden nächtlichen Hangabwind.

Beeinflussung von Kaltluftabflüssen durch Siedlungen

Siedlungen können Kaltluftströmungen deutlich beeinflussen. In der Regel werden Hangabwinde und Bergwinde deutlich gebremst und damit abgeschwächt. Es kann jedoch in bestimmten Situationen auch zu einer Kanalisierung und damit zu einer Verstärkung der lokalen Windsysteme kommen. Entscheidend sind dabei Höhe und Anordnung von Gebäudekörpern.

Wenn geschlossene Siedlungsränder quer zur Windrichtung verlaufen, kann es in Verbindung mit spezifischen Reliefsituationen auch zur Ausbildung von Kaltluftstaugebieten (Kaltluftseen) kommen. Solche Kaltluftansammlungen, die vor allem in schwach geneigten Tälern und Beckenlagen in klaren Strahlungs Nächten auftreten, führen zu einer erhöhten Kältebelastung und zu einer Verschlechterung der lufthygienischen Situation, da die Häufigkeit bodennaher

Inversionen hier stark erhöht ist und vertikale bzw. horizontale Luftaustauschprozesse häufig unterbunden sind (s.o.).

Umkehrung der Situation in den Tagstunden

Während der Tagstunden kehren sich die Verhältnisse in der Regel um. Bedingt durch die an Hängen verstärkte Erwärmung bodennaher Luftschichten kommt es zu einem thermisch bedingten Aufsteigen. Als Ausgleichsströmungen wehen die sogenannten Hangaufwinde bzw. Tal(auf)winde nun in entgegengesetzter Richtung (vgl. Abb. 4 B/C/D, Abb. 5, Abb. 6).

Neben diesen reliefbedingten lokalen Windsystemen sind mit den Flurwinden und den Land-See-Winden zwei weitere Systeme bekannt, die lediglich auf die unterschiedlich starke Erwärmung verschiedener Oberflächen zurückgehen.

2.3.2 Flurwindssysteme (Stadt-Umland-Windssysteme)

Der Flurwind ist ein in Städten ausgeprägtes Lokalwindsystem, welches im Idealfall auf das Stadtzentrum hin ausgerichtet ist und nachts bzw. morgendlich auftritt. Induziert wird er durch Temperatur- und Druckunterschiede zwischen Stadt und Stadtumland, die sich wiederum speziell bei warm-trockenen, austauscharmen und windschwachen Hochdruckwetterlagen entwickeln (SCHÖNWIESE, 2003, S. 176).

Als Motor für den Flurwind gilt der Wärmeinselleffekt über dem Stadtgebiet (s.o.). Die über der Stadt aufgeheizte Luft steigt konvektiv auf. Dadurch ergibt sich zunächst in der Höhe ein Druckgefälle von der Stadt zum Umland. Die daraus resultierenden Luftbewegungen erzeugen am Boden ein umgekehrtes Druckgefälle vom Umland zum Stadtgebiet. Kühlere Luft aus dem Umland strömt so in Bodennähe in das Stadtgebiet ein.

2.3.3 Land-See-Windssysteme

Auch Land-See-Winde können zur Verbesserung der Durchlüftungssituation beitragen. Im Hinblick auf die Entstehung sind sie den Flurwinden sehr ähnlich. Auch hier sorgt die unterschiedlich starke Erwärmung der beteiligten Oberflächen für die Entstehung von Luftdruckunterschieden und die damit verbundenen Ausgleichsströmungen.

Entscheidend ist das Verhalten der Wasserflächen. Sie wirken als Wärmespeicher, der tagsüber viel Energie aufnehmen und nachts wieder abgeben kann. Dadurch weisen Wasserflächen einen gegenüber Landflächen gedämpften Temperaturgang auf. Tagsüber sind sie kühler, nachts und am frühen Morgen jedoch wärmer als Landflächen. Entsprechend kommt es tagsüber zur Ausdehnung der Luft über Land, was letztlich auflandige Winde (Seewind) zur Folge hat. Abends und nachts herrscht eine umgekehrte Situation mit ablandigen Winden (Landwind) (vgl. Abb. 7).

Für die Entstehung ausgeprägter Land-See-Winde sind ausreichend große Wasserflächen nötig. Von der Größe der Wasserflächen hängt

Da für den Grad der Ausprägung einer Wärmeinsel die Stadtgröße ausschlaggebend ist, steigt auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Flurwinden mit zunehmender Stadtgröße. Flurwinde erreichen selten größere Windgeschwindigkeiten als 1-2 m/s und werden durch Reibungseinflüsse wie Bewuchs oder Bebauung sehr leicht abgebremst oder sogar komplett aufgelöst. Die Mächtigkeit der Luftströmung bewegt sich im Meter- bis Dekameter-Bereich.

Dennoch sind auch Flurwinde für die Belüftung von Städten durchaus nützlich, weil sie im Stadtgebiet als Frischluftzubringer dienen und eventuell belastete Luft erneuern.

auch die Reichweite der jeweiligen Winde auf den See hinaus bzw. ins Hinterland des Sees ab. Deutlich messbare Land-See-Windssysteme treten an allen Meeresküsten auf. Sie können aber auch im Uferbereich von sehr großen Binnengewässern nachgewiesen werden.

Für den Bodensee sind Land-See-Winde mehrfach belegt (vgl. WELLER 2001). Über die Reichweite gibt es jedoch recht unterschiedliche Aussagen. Während einige Autoren nur die direkten Uferregionen als Wirkungsbereiche sehen, verweisen andere auf Extremsituationen, in denen Seewinde bis südlich von Ravensburg, also fast 20 km ins Hinterland nachweisbar sein sollen.

Fallen die Uferbereiche stark zum See hin ab, so weisen die entsprechenden Hang- und Talwindssysteme eine Tagesperiodik auf, die mit jener des Land-See-Windsystems vergleichbar ist. Es ist daher oft schwierig, mit Hilfe bodennaher Messungen die beiden Systeme voneinander zu trennen. Sie verstärken sich vielmehr gegenseitig.

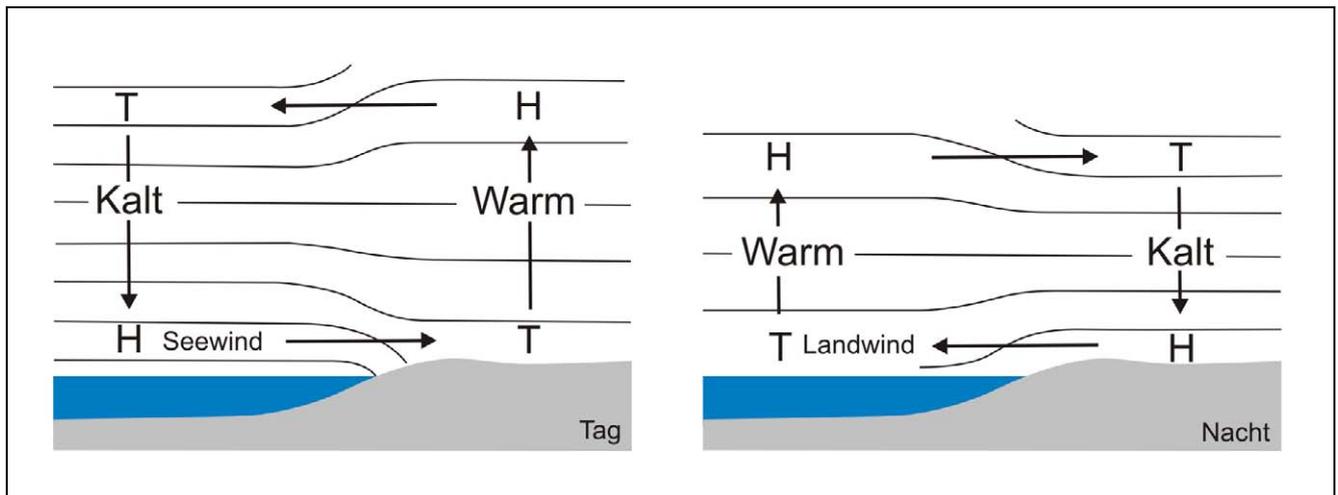


Abb. 7: See-Wind am Tag und Land-Wind in der Nacht als Ergebnis der unterschiedlichen Erwärmung von Land- und Wasseroberflächen und der daraus resultierenden Druckfelder. Die Linien stellen isobare Flächen dar. (Entwurf: Schwab, verändert nach GOSSMANN, 1988, S. 139)

2.4 Auswirkungen des globalen Klimawandels

Im Kontext des globalen Klimawandels ist von einer allgemeinen Erwärmung auszugehen. Damit verbunden sind in unserer Region kürzere Frost- und längere Vegetationsperioden, aber auch eine Häufung extremer Wetterereignisse (Sturm, Hochwasser etc.). Als Konsequenz wird es zu Veränderungen der Ökosysteme kommen, die letztlich auch für den Menschen als Teil dieser Systeme von Bedeutung sein werden.

Die Folgen auf die verschiedenen Nutzungen in Baden-Württemberg und die Möglichkeiten der Anpassung wurden unter anderem in den Verbundprojekten KLIWA² und KLARA³ untersucht. Detaillierte Informationen zum Projekt KLARA findet man im entsprechenden Forschungsbericht (STOCK & GERSTENGARBE 2005) sowie auf der Internetseite der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6991/, Zugriff: 12.08.2010).

Unter anderem muss von Verschiebungen bei der Zusammensetzung der Pflanzen- und Tierwelt (auch der Schädlinge) ausgegangen werden, die landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Anbaubedingungen werden sich wandeln, im Bereich des Tourismus ist z.B. von einer Verlängerung der Badesaison auszugehen.

Zunahme der Wärmebelastung

Für das allgemeine Wohlbefinden des Menschen von großer Bedeutung ist die Tatsache, dass die Anzahl der Hitzetage deutlich zunehmen wird. Damit erhöht sich die Wärmebelastung der Bevölkerung erheblich. Für die Zukunft (bis 2055) wird landesweit mit jährlich 180 bis 400 zusätzlichen hitzebedingten Todesfällen gerechnet (STOCK & GERSTENGARBE 2005). Vor diesem Hintergrund und angesichts der Erfahrungen aus dem Extremjahr 2003 ist in Baden-Württemberg seit 2005 ein Hitzewarnsystem im Einsatz. Auch die regionale Klimaanalyse der Region Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO) und die hier vorliegende Klimafibel setzt sich schwerpunktmäßig mit dem Thema Wärmebelastung auseinander.

² KLIWA steht für Klimaveränderungen und Wasserwirtschaft (www.kliwa.de, 12.08.2010)

³ KLARA steht für Klimawandel, Auswirkungen, Risiken und Anpassung

2.5 Bedeutung des Klimas in der räumlichen Planung

Aus den bisherigen Ausführungen wird deutlich, dass gerade in Gebieten mit erhöhter Wärmebelastung und schlechten Durchlüftungsverhältnissen bei konkreten Planungsaufgaben Fragen nach der Standorteignung auch unter klimatisch-lufthygienischen Gesichtspunkten zu betrachten sind. Dies gilt gemäß NatSchG § 16 Abs. 3 Nr. 4f unter anderem bei der Aufstellung von Landschaftsrahmenplänen und gemäß BauGB §1 Abs. 6 Nr. 7a bei der Aufstellung von Bauleitplänen (Flächennutzungsplänen, Bebauungsplänen).

Im Hinblick auf die Veränderungen durch den globalen Klimawandel kommt diesem Aspekt sogar eine verstärkte Bedeutung zu. Alle Bereiche des öffentlichen Lebens müssen sich mit dem Klimawandel auseinandersetzen, Anpassungsstrategien entwickeln und Beiträge zum Klimaschutz erbringen.

Um die Fragen der Standorteignung auf einem möglichst gesicherten Kenntnisstand beantworten zu können, sind regionale Klimaanalysen hilfreich. Sie sollen unter anderem die derzeit wirksamen Zusammenhänge zwischen Klima, Luftqualität und dem Lebensraum der Bevölkerung aufzeigen („Istzustand“) und die Beurteilung voraussichtlicher Nutzungsänderungen aus klimatologischer Sicht ermöglichen (Vorsorgeprinzip), um räumlich differenzierte Planungsempfehlungen ableiten zu können (REKLISO, 2006, Wiss. Abschlussbericht, S. 2).

Aufgrund des bislang mangelhaften Kenntnisstands über Kaltluft- und Frischluftströme in der Region beauftragten der Regionalverband Bodensee-Oberschwaben und die Landkreise Bodenseekreis, Ravensburg und Sigmaringen den Fachbereich Geographie der Pädagogischen Hochschule Weingarten mit der Durchführung der „Regionalen Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO)“.

2.6 Zusammenfassung

Zusammenfassend lassen sich folgende Punkte festhalten:

Wetter und Klima können das Wohlbefinden, die Leistungsfähigkeit und letztlich auch die Gesundheit des Menschen stark beeinflussen (Bioklima). Besonders belastend sind Wetterlagen mit hohen Temperaturen und Schwüle. Dann kommt es zu Wärmebelastung und Hitzestress.

Der Grad der Wärmebelastung hängt von Höhenlage, Relief und Landnutzung ab. Besonders gefährdet sind Städte (städtischer Wärmeinseleffekt) in Beckenlagen.

Bei geringen horizontalen Windgeschwindigkeiten und vermindertem Vertikalaustausch tritt außerdem die Gefahr der Anreicherung von Luftschadstoffen auf. Man spricht dann von schlechten Durchlüftungsverhältnissen. Besondere Bedeutung kommt hier den sogenannten Inversionswetterlagen zu. Wiederum sind Städte in Beckenlagen besonders gefährdet.

Bei kritischen Wetterlagen (windschwache Strahlungswetterlagen) können lokale Windsysteme Entlastung bringen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den reliefbedingten Hangwind- und Talwindssystemen sowie den landnutzungsabhängigen Flurwind- und Land-See-Windsystemen.

Angesichts des globalen Klimawandels wird die Anzahl der Hitzetage und damit die Wärmebelastung der Bevölkerung in den kommenden Jahren deutlich zunehmen.

Bei konkreten Planungsaufgaben sind Fragen nach der Standorteignung auch unter klimatisch-lufthygienischen Gesichtspunkten zu betrachten. Im Hinblick auf die Veränderungen durch den globalen Klimawandel kommt diesem Aspekt sogar eine verstärkte Bedeutung zu.

Regionale Klimaanalysen sollen die derzeit wirksamen Zusammenhänge zwischen Klima, Luftqualität und dem Lebensraum der Bevölkerung aufzeigen („Istzustand“) und räumlich differenziert Planungsempfehlungen aussprechen.

Aufgrund des bislang mangelhaften Kenntnisstands über Kaltluft- und Frischluftströme in der Region beauftragten der Regionalverband Bodensee-Oberschwaben und die Landkreise Bodenseekreis, Ravensburg und Sigmaringen den Fachbereich Geographie der Pädagogischen Hochschule Weingarten mit der Durchführung einer „Regionalen Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO)“.

Die Ergebnisse dieser Studie werden in den folgenden Abschnitten zusammenfassend vorgestellt.

3 Klimatische Einordnung der Region Bodensee-Oberschwaben

3.1 Allgemeine Beschreibung der Region

Eine ausführliche Beschreibung der Region mit umfangreichem Karten- und Bildmaterial findet man im Wissenschaftlichen Abschlussbericht von REKLIBO (abgekürzt WAB), Band 1, Kapitel 3. Wesentliche Teile sind im Folgenden zusammengefasst.

Als eine der zwölf Regionen von Baden-Württemberg liegt die Region Bodensee-Oberschwaben im äußersten Südosten des Landes an der Grenze zu Bayern sowie – über den Bodensee hinweg – zur Schweiz und zu Österreich. Sie besteht aus den Landkreisen Sigmaringen und Ravensburg sowie dem Bodenseekreis. Nach der naturräumlichen Gliederung Deutschlands von MEYNEN & SCHMITHÜSEN (1962) hat der Raum, der eine Fläche von insgesamt 3.500 km² umfasst, Anteil am oberschwäbischen Alpenvorland, den Iller-Lech-Platten und an der Schwäbischen Alb. Als kleinere Einheiten können zusätzlich das markante Durchbruchstal der Donau durch die Schwäbische Alb zwischen Tuttlingen und Sigmaringen, das nördlich des Obersees gelegene „Höchsten-Bergland“ sowie das südliche und mittlere Schussenbecken genannt werden. Letzteres erstreckt sich als Zweigbecken des Bodenseebeckens von Friedrichshafen nach Norden bis zum Altdorfer Wald.

Der Untersuchungsraum weist einige typische Landschaftselemente auf, die gerade im Hinblick auf die Ausprägung lokalklimatischer und lufthygienischer Eigenschaften von Bedeutung sind. In den meisten Fällen gehen sie auf die formbildenden Prozesse der Kaltzeiten zurück. Im Einzelnen sind zu nennen:

- das Bodenseebecken
- weitere weitgespannte Beckenlandschaften (ehemalige Zungenbecken)
- markante Höhenzüge (Endmoränen)
- Hügellandschaften (Drumlinder)
- kleinere sanft nach Norden zur Donau abfallende Täler (Schmelzwasserrinnen)

- kurze steile zum Bodensee oder zu den tiefen Becken hin orientierte Kerb- bzw. Kerbsohlentäler (Tobel)
- einzelne, markante Erhebungen (u.a. Höchsten-Bergland mit Gehrenberg und Adelegg)

Aufgrund ihrer Größe separat zu nennen sind:

- das Durchbruchstal der Donau mit den Tälern der nördlichen Zuflüsse
- das Deggenhausertal
- das Argental
- der Gehrenberg

Die Landnutzung in der Region wird dominiert von landwirtschaftlich genutzten Flächen (ca. 55 %). Ca. 32 % des Untersuchungsraumes sind waldbedeckt. Dabei handelt es sich sowohl um einzelne größere zusammenhängende Gebiete (z.B. Tettlinger Wald, Altdorfer Wald, Wagenhart, Sigmaringer Forst usw.), als auch um sehr kleine Flächen wie etwa die bewaldeten Kuppen kleinerer Hügel. Ca. 11 % werden von Siedlungs- und Verkehrsflächen eingenommen (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Flächenerhebung 2009).

Intensive menschliche Eingriffe im Hinblick auf die Oberflächengestaltung finden auch durch den Kiesabbau statt. In Bezug auf die Gesamtfläche der Region erscheinen diese Eingriffe zwar relativ unbedeutend. Lokal betrachtet sind die Veränderungen im Bereich von Kiesgruben jedoch erheblich, da neben der reinen Oberflächenbedeckung auch das Kleinrelief stark umgestaltet wird.

Die Region gehört zu den ländlich geprägten Räumen in Baden-Württemberg. Mit dem Gebiet zwischen Friedrichshafen und Ravensburg-Weingarten gibt es nur einen einzigen Verdichtungsraum. Zusammen mit den angrenzenden Randzonen umfasst er das südliche und mittlere Schussenbecken. Hier leben ca. 220.000 Menschen. Insgesamt hat die Region Bodensee-Oberschwaben ca. 615.000 Einwohner.

3.2 Klimatische Einordnung der Region

3.2.1 Großklimatische Einordnung

Das Klima der Region Bodensee-Oberschwaben wird durch die Lage im Bereich der Westwindzone bestimmt. Ozeanische und kontinentale Einflüsse wechseln sich ab und gestalten das Witterungsgeschehen sehr vielfältig. Niederschläge fallen in jedem Monat. Die Jahresniederschlagsmengen variieren zwischen ca. 700 mm entlang der Donau und bis über 1.500 mm im Allgäu. Die starke Zunahme der Niederschläge mit zunehmender Alpennähe geht auf Steigungsregeneffekte im Stau der Alpen zurück.

Bei den Temperaturen und Windverhältnissen zeigen sich sehr kleinräumige Unterschiede. Sie sind auf die unterschiedliche Wirkung von Höhenlage, Relief und Bodenbedeckung zurückzuführen.

3.2.2 Mittlere Lufttemperaturen und Anzahl der Sommertage

Bei der Betrachtung der mittleren Lufttemperaturen und der Anzahl der Sommertage (Tage mit Temperaturen über 25 °C) ergeben sich im Untersuchungsraum folgende Erkenntnisse:

- Unter dem Landesdurchschnitt liegen die Temperaturen im Allgäu, auf der schwäbischen Alb und im Bereich des Hohenstaufen-Berglands.
- Deutlich darüber liegen sie rund um den Bodensee und im Schussenbecken.
- Eine thermische Sonderstellung nimmt die Uferregion des Bodensees ein: Milde Wintertemperaturen nur knapp unter dem Gefrierpunkt finden ihre Erklärung im Wärmespeichervermögen des Seewassers. Die Frostgefahr ist dadurch vermindert.
- Die Zahl der Sommertage (Tage mit über 25 °C) liegt in besonders warmen Lagen bei 41-45 (Konstanz, Friedrichshafen, Ravensburg-Weingarten) (städtischer Wärmeinselleffekt).

In abgeschwächter Form gilt dies auch für die auftretenden Inversionshäufigkeiten. Im Folgenden sollen diese regionalen Modifikationen beschrieben werden. Zur besseren Einordnung erfolgt in der Regel ein kurzer Vergleich mit den Extremwerten in Baden-Württemberg. Als Informationsgrundlage wurden Karten des Klimatlas von Baden-Württemberg (LUBW, 2006) sowie der Nationalatlas der Bundesrepublik Deutschland (2003) herangezogen.

- Für die erweiterte Uferregion um den Bodensee und das Schussenbecken kann von 36-40 Sommertagen pro Jahr ausgegangen werden.
- Die kältesten Regionen (Hohenstaufen-Bergland, Aalegg, Schwäbische Alb) weisen 21-25 Sommertage auf.

Damit zeigt sich die bekannte Höhenabhängigkeit der thermischen Verhältnisse.

Zum Vergleich: Innerhalb von Baden-Württemberg schwankt die Anzahl der Sommertage zwischen 0 Tagen in den Hochlagen von Schwarzwald und Schwäbischer Alb und bis zu 60 Tagen in der Oberrheinebene.

3.2.3 Wind

Aufgrund der Lage innerhalb der Westwindzone dominieren an vielen Standorten Winde aus Südwest bis West. Hochdruckwetterlagen mit Kern über Mitteleuropa führen jedoch auch zu Winden aus nordöstlichen Richtungen. Solche Winde sind im Untersuchungsraum als sogenannte Bise bekannt. Dem Klimaatlas von Baden-Württemberg (LUBW, 2006) sind folgende Werte zu entnehmen:

- Die mittleren Windgeschwindigkeiten (10 m über Grund) liegen in der Region Bodensee-Oberschwaben meist im Bereich zwischen 2,6 und 3,5 m/s.
- Höhere Werte (bis 4,6 m/s) werden im Allgäu, im Bereich des Hohenstaufen-Berglandes und nördlich der Donau auf der Schwäbischen Alb erreicht.
- Besonders windschwach (2,0-2,3 m/s) sind die Tallagen (z.B. Deggenhauser Tal, Täler rund um das mittlere Schussenbecken, Donautal, Ablachtal, Täler von Schmeie und Lauchert).
- Auch größere Siedlungsflächen (Friedrichshafen, Ravensburg-Weingarten) und große zusammenhängende Waldgebiete (z.B. Altdorfer Wald, Tettlinger Wald) sind relativ windschwach.

Damit bestätigen sich im Untersuchungsraum auch hinsichtlich der Windgeschwindigkeiten die bekannten Gesetzmäßigkeiten (vgl. Kap. 2):

- Tiefländer, Becken und Täler sind relativ windschwach.
- Bergländer weisen deutlich höhere Windgeschwindigkeiten auf.

Einen bedeutenden Einfluss hat auch die jeweilige Landnutzung: Im Bereich von Siedlungen und Waldflächen sind die bodennahen Windgeschwindigkeiten deutlich reduziert.

Zum Vergleich: Die mittleren Windgeschwindigkeiten liegen in den höchsten Lagen des Schwarzwalds bei ca. 6 m/s, in den Großstädten des Bundeslandes liegen sie teilweise unter 1,7 m/s.

Diese Zusammenhänge zeigen sich auch bei einem Vergleich der Stationen Illensee und Ravensburg (vgl. Abb. 8).

Die Station Illensee liegt südlich des Illmen-sees auf einem Höhenzug nordöstlich des Deggenhauser Tals. Ihre exponierte Lage inmitten des Hohenstaufen-Berglandes zeigt sich deutlich in der Dominanz der Winde aus südwestlicher Richtung (Lage in der Westwindzone der Mittelbreiten). Ein sekundäres Windrichtungsmaximum liegt im nordöstlichen Sektor (Hochdruck mit Kern über Mitteleuropa).

Geringfügig verschoben sind diese Windrichtungsmaxima an der Station Ravensburg (Innenstadt-Station). Bedingt durch die Lage am Südrand des mittleren Schussenbeckens ergeben sich hier offensichtlich Kanalisierungseffekte. Es fällt ferner auf, dass die Windgeschwindigkeiten in Ravensburg merklich geringer sind.

Es muss an dieser Stelle betont werden, dass es sich bei den vorgestellten Stärkewindrosen um Jahresmittelwerte handelt. Es lässt sich deshalb nicht direkt auf die Durchlüftungs- und lufthygienischen Verhältnisse schließen, da sich besondere Belastungssituationen auf wind-schwache Strahlungswetterlagen konzentrieren. In dieser Hinsicht sind Informationen über die Inversionshäufigkeit von großer Aussagekraft.

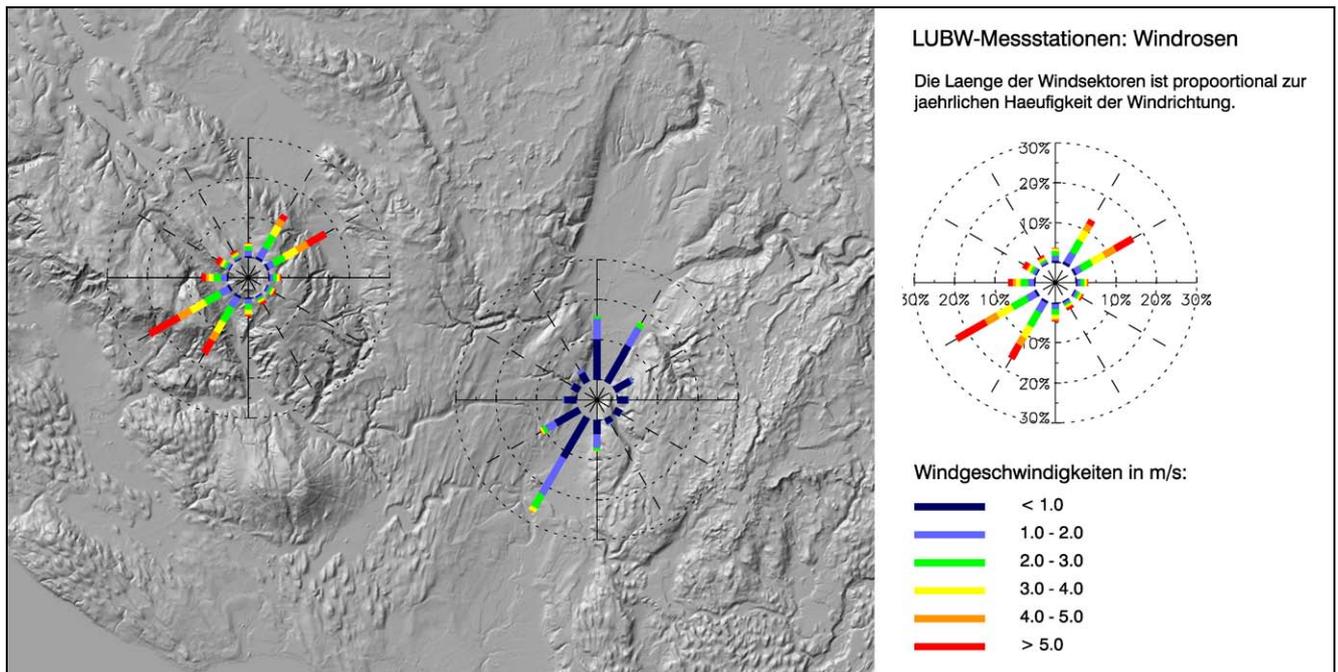


Abb. 8: Stärkewindrosen der LUBW-Messstationen Illmensee und Ravensburg (Ausschnitt aus WAB, 2009, Band 1, Anhang, Karte 16)

3.2.4 Inversionshäufigkeit

Dem Klimaatlas von Baden-Württemberg (LUBW, 2006) sind folgende Werte zu entnehmen:

- Große Teile des Bodenseebeckens einschließlich des südlichen und mittleren Schussenbeckens weisen über 225 Inversionstage pro Jahr auf.
- Auch Teile des Donautals gehören mit über 200 Tagen noch zu den inversionsgefährdeten Gebieten.
- Erwartungsgemäß sind die Höhenlagen im Untersuchungsraum wesentlich weniger inversionsgefährdet (75-125 Tage). So ragen z.B. der Sipplinger Berg und der Gehrenberg aus dem inversionsreichen Bereich heraus. Dies gilt jedoch auch für die wesentlich größeren Flächen östlich und westlich des Schussenbeckens. Die geringste Inversionsgefahr besteht im Bereich der Adelegg (< 75 Tage).

Zum Vergleich: Großflächige Gebiete, die ebenfalls über 225 Inversionstage pro Jahr verzeichnen, gibt es in Baden-Württemberg nur noch entlang des Oberrheins und entlang des mittleren Neckars.



Abb. 9: Nebel im Schussenbecken am Morgen des 9.11.2008. Blickrichtung WSW (Foto: Schwab, 2008)

3.2.5 Durchlüftungsverhältnisse

Bereits in Kap. 2 wurden die Durchlüftungsverhältnisse in Baden-Württemberg großräumig betrachtet. Demnach sind große Teile der Oberrheinebene, das mittlere Neckartal sowie das Bodenseebecken zusammen mit dem südlichen und mittleren Schussenbecken schlecht durchlüftet (hohe Inversionshäufigkeit, relativ geringe

Windgeschwindigkeiten). Dies gilt auch für das Durchbruchstal der Donau westlich von Sigmaringen und die tiefen Tallagen der Ablach. Gute Durchlüftungsverhältnisse sind in allen höher gelegenen Gebieten außerhalb der Talstrukturen anzutreffen.

3.2.6 Wärmebelastung

Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit geringer Luftbewegung auf. Die in Kap. 2 erklärten Zusammenhänge mit Höhenlage, Relief und Landnutzung lassen sich auch in der Region Bodensee-Oberschwaben gut nachvollziehen.

- Am häufigsten ist demnach in den großen, tiefgelegenen Beckenlandschaften mit Wärmebelastung zu rechnen.
- Die größeren Waldflächen (z.B. Altdorfer Wald) treten als geringer belastete Areale deutlich hervor.
- Für die flächengrößten Siedlungen werden über 30, vereinzelt sogar über 32,5 Tage mit Wärmebelastung angenommen.

Zum Vergleich: Für die am stärksten belasteten Städte in der Oberrheinebene (z.B. Karlsruhe) werden bis zu 37 Tage Wärmebelastung angenommen. In Ulm hingegen muss aufgrund von Höhenlage und Reliefsituation nur mit ca. 25-27 Tagen gerechnet werden.

Im Kontext des globalen Klimawandels ist auch in der Region Bodensee-Oberschwaben mit einer steigenden Anzahl an Hitzetagen und mit einer allgemein zunehmenden Wärmebelastung zu rechnen. Erschwerend kommt die Ausweitung der Siedlungsentwicklung insbesondere im wärmebelasteten Bodenseeraum hinzu.

3.3 Zusammenfassung

- Aufgrund der Lage in der Westwindzone dominieren in der Region Westwinde bzw. Südwestwinde.
- Die Niederschläge nehmen mit zunehmender Nähe zu den Alpen zu (Steigungsregen).
- Die vielfältigen Landschaftsformen (Täler, Becken, Hügellandschaften, Höhenzüge, einzelne Erhebungen) und die Landnutzungsverteilung führen zu einer starken regionalen Differenzierung von Wind, Lufttemperatur, Wärmebelastung und Durchlüftungsverhältnissen.
- Vor allem in den Städten in Beckenlage bzw. Tallage ist mit einer hohen Wärmebelastung und schlechten Durchlüftungsverhältnissen zu rechnen.
- Dies betrifft auch den einzigen Verdichtungsraum der Region (Friedrichshafen-Ravensburg-Weingarten), aber auch Städte und Ortschaften entlang des Bodenseeuferes und in den Tälern der Donau und ihrer Zuflüsse.
- Städte und Ortschaften in den höher gelegenen Teilgebieten dürften hingegen aktuell kaum mit Durchlüftungsproblemen bzw. Wärmebelastung zu kämpfen haben.
- Im Hinblick auf den aktuellen Klimawandel ist jedoch allgemein mit einer deutlichen Zunahme der Wärmebelastung zu rechnen.

4 Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO)

4.1 Fragestellungen, Ziele und Konzeption der Klimaanalyse

Aus den allgemeinen Erläuterungen aus Kapitel 2 und 3 ergeben sich folgende Fragestellungen, die für die Klimaanalyse von zentraler Bedeutung sind:

- Wo liegen besonders klimakritische Gebiete in der Region Bodensee-Oberschwaben?
- Wo liegen bedeutende Kaltluft- bzw. Frischluftströme und ihre jeweiligen Einzugsgebiete?
- Welche Eigenschaften weisen diese Kaltluft- bzw. Frischluftströme auf?
- Wie wirken sie auf besonders klimakritische Gebiete?
- Welche Handlungsstrategien sind für die räumliche Planung daraus abzuleiten?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde im Rahmen von REKLIBO ein zweiteiliger Ansatz entwickelt und verfolgt.

In ausgewählten Teilgebieten der Region wurden umfangreiche *Messprogramme* durchgeführt, um Aussagen zur lokalen Durchlüftungssituation insbesondere in den klimakritischen Gebieten machen zu können.

Eine flächendeckende Analyse der klimatischen Situation in der Gesamtregion wurde durch die Anwendung verschiedener *Rechenmodelle* erreicht, mit deren Hilfe nächtliche Kaltluftbewegungen und potentielle Kaltluftstaugebiete bestimmt werden können.

Hinweis zu den verwendeten Daten

Im Rahmen der Modellrechnungen und zur kartographischen Umsetzung der Modell- und Messergebnisse wurden verschiedene digitale Datensätze verwendet. Auf großformatigen Karten wird jeweils auf die Herkunft dieser Daten hingewiesen (s. REKLIBO-Klima Atlas). Aus layouttechnischen Gründen und aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde bei einigen kleineren Abbildungen auf diese Angabe verzichtet, zumal es sich dabei häufig nur um einen Ausschnitt aus Abbildungen des Gesamttraumes handelt. Es sei deshalb an dieser Stelle explizit auf die folgenden Datenquellen verwiesen:

- Digitales Geländemodell (DGM 5m), Digitale Orthophotos (DOP) und Verwaltungsgrenzen: Copyright: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007)
- Landnutzungsdaten: Landsat TM5, Ebene 3, 1996/1997
- Digitales Geländemodell (SRTM 90m): Frei verfügbare Fernerkundungsdaten (Shuttle Radar Topography Mission - SRTM), 2000

4.2 Messprogramm

Das umfangreiche Messprogramm ist in Band 3 des wissenschaftlichen REKLIBO-Abschlussberichts (abgekürzt: WAB) ausführlich dokumentiert.

Mit den folgenden Ausführungen sollen die Ergebnisse möglichst kompakt zusammengefasst werden.

4.2.1 Angewandte Messmethoden und Auswahl der Messgebiete

Zur Erfassung wichtiger Kaltluft- und Frischluftströme wurden folgende Messmethoden angewandt (vgl. WAB, 2009, Band 3, Kap. 3.2):

- Messungen mit festen Wetterstationen an 23 Standorten zur Erfassung der bodennahen Lufttemperatur und der bodennahen Windverhältnisse
- Ergänzende Handmessungen zur Bestimmung von Reichweiten der Kaltluft- bzw. Frischluftströme insbesondere in Siedlungsbereichen
- Temperaturmessfahrten zur Bestimmung von Kaltluftstaugebieten
- Vertikalsondierungen zur Bestimmung der Vertikalstruktur von Kaltluft- bzw. Frischluftströmen

Die ausgewählten Messgebiete (vgl. WAB, 2009, Band 3, Abb. 9, S. 20) liegen innerhalb der Region in relativ stark belasteten Teilräumen (Durchlüftung, Wärmebelastung). Außerdem haben sie im Hinblick auf die für die Region typischen Landschaftselemente (vgl. Kap. 3.1) exemplarischen Charakter. Damit liefern sie unter anderem einen wertvollen Beitrag zur Validierung der Modellergebnisse.

In Ergänzung zu den punktuell erfassten Werten wurden im Rahmen weiterer Projekte auf kommunaler Ebene auch flächenhafte Thermalkartierungen für einzelne Städte durchgeführt. Mit den Ergebnissen lassen sich differenzierte Aussagen zur Wärmebelastung machen (vgl. Abb. 2).

4.2.2 Interpretation der Messergebnisse

Aus den REKLIBO-Messergebnissen konnten folgende Kenntnisse über nächtliche Kaltluft- und Frischluftströme gewonnen werden:

Hangabwinde in der Region Bodensee-Oberschwaben

- An allen gewählten Hangstandorten im Untersuchungsraum sind Hangabwinde zu beobachten.
- Die Geschwindigkeiten der beobachteten Hangabwinde hängen stark von den jeweiligen Neigungsverhältnissen ab.
- An den hoch gelegenen Hängen sind Hangabwinde während der ganzen Nacht nachweisbar. Besonders deutlich ist dies an der Station „Gehrenberg“ zu beobachten (vgl. Abb. 10 und Abb. 11).
- Die dabei auftretenden Windgeschwindigkeiten nehmen während der zweiten Nachthälfte ab.
- An Messstandorten im Übergangsbereich von Hang zu Ebene sind die Windgeschwindigkeiten deutlich geringer. Außerdem erfolgt die Abnahme der Geschwindigkeit an solchen Standorten deutlich früher.
- An Talhängen kommt es immer wieder zur Überlagerung von Hangabwinden und talabwärts gerichteten Luftbewegungen.
- Besonders in steilen engen (Kerb-)Tälern dominieren bereits relativ früh am Abend Talabwinde.

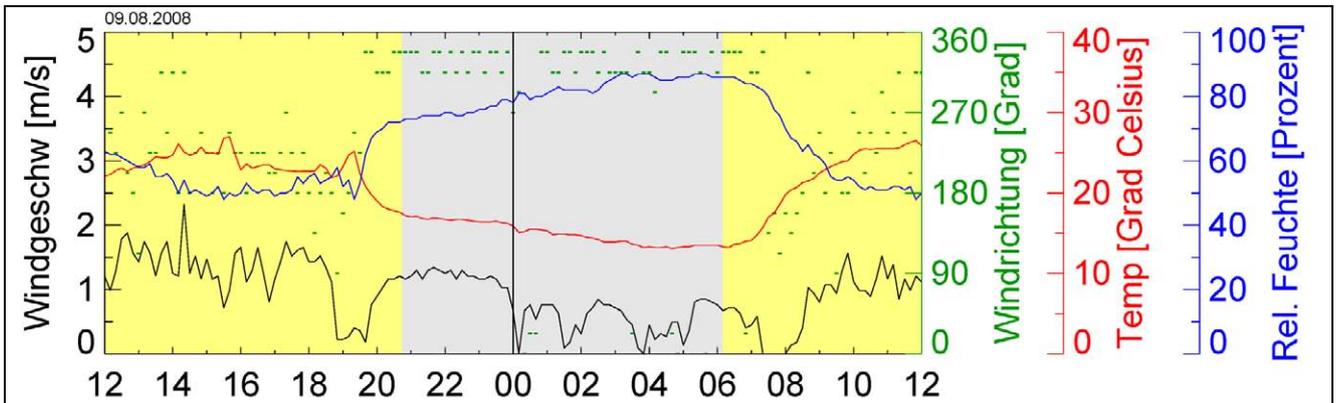


Abb. 10: Tagesdiagramm der Station Gehrenberg vom 09.08.2008 auf 10.08.2008. Zu erkennen sind Hangabwinde aus nördlicher Richtung, die mit wenigen Unterbrechungen die gesamte Nacht über anhalten.

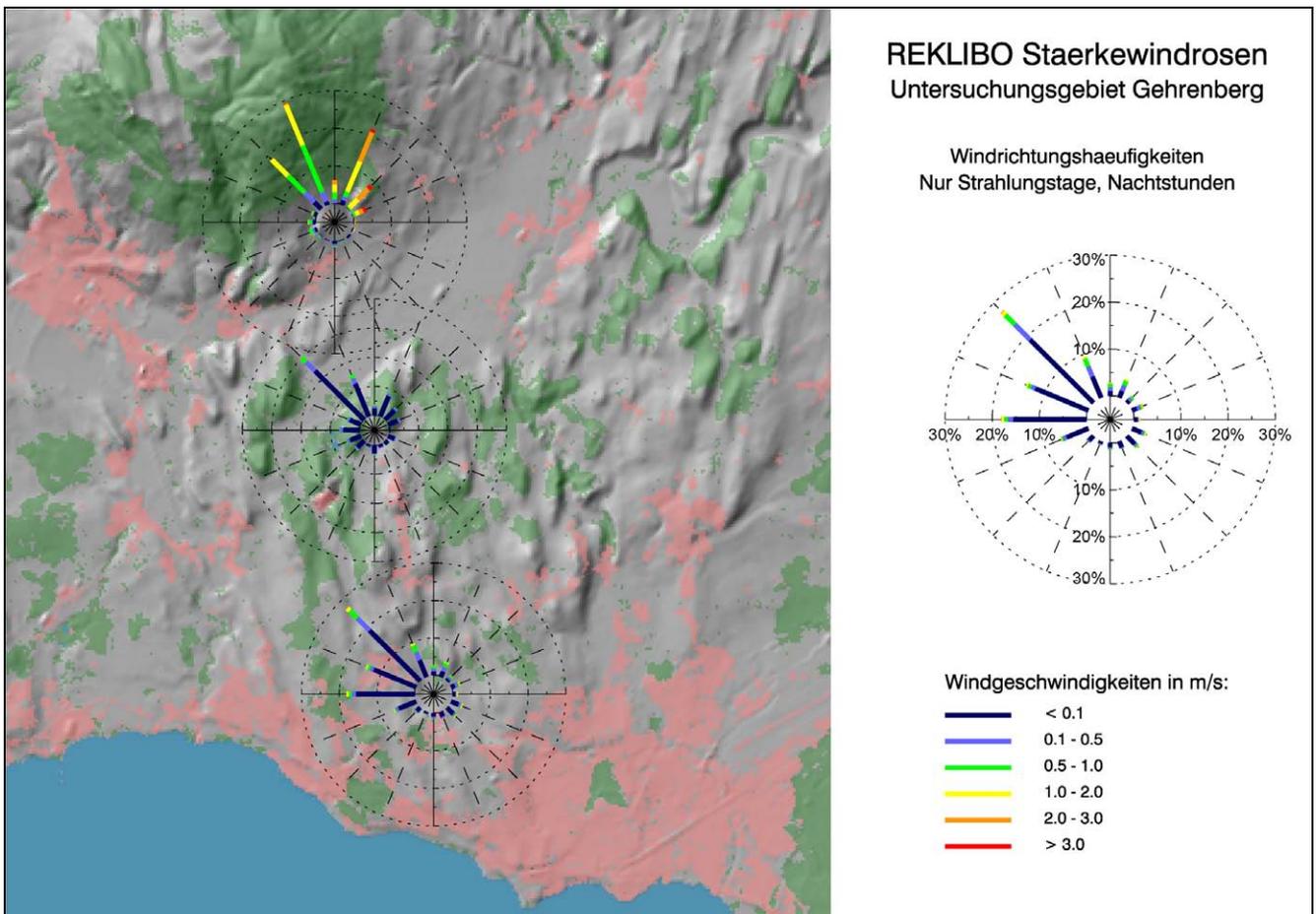


Abb. 11: Häufigkeiten von Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten in windschwachen Strahlungsnächten vom 13.06. bis 30.09.2008 im Untersuchungsraum Gehrenberg-Friedrichshafen, dargestellt als Stärkewindrosen (vgl. WAB, 2009, Band. 3, S. 97).

Talabwinde in der Region Bodensee-Oberschwaben

- An nahezu allen Messstationen in Tal- bzw. Beckenlage ist eine deutliche Tagesperiodik zu erkennen (vgl. z.B. Abb. 12).
- Die Nachtsituation mit Talabwinden ist dabei wesentlich deutlicher ausgeprägt.
- Eindeutige Talaufwinde können aus den statistischen Analysen selten abgeleitet werden.
- Standorte mit einer starken Tendenz zur Ausbildung von Kaltluftseen zeigen bodennah nur eine schwache Tagesperiodik (Beispiel Station „Sigmaringen-Ost“).
- An Standorten am Ausgang größerer Becken setzen nächtliche Kaltluftbewegungen mit einer deutlichen Verzögerung ein. Besonders markant ist dies am Standort „Weiherstobel“ südlich des Mittleren Schussenbeckens zu beobachten (WAB, 2009, Band 3, Kap. 4.7).
- An den Ausgängen der zahlreichen steilen Tobel im südlichen Teil des Untersuchungsraumes sind durchweg nächtliche Talabwinde zu beobachten (WAB, 2009, Band 3).
- Jedoch ist auch in Tälern mit nur gering geneigter Talsohle eine Tagesperiodik nachweisbar (Bsp. Argental, WAB, 2009, Band 3, Kap. 4.4).
- Die Talabwinde überprägen im Laufe des Abends und der Nacht häufig die zuvor etablierten Hangabwinde.
- Dort, wo Hangabwinde aufgrund von Relief und Landnutzung besonders markant ausgeprägt sind, kann es jedoch auch zu Situationen mit Windscherung kommen. In Bodennähe werden dann weiterhin Hangabwinde beobachtet, obwohl die Luftbewegungen in der Höhe talabwärts gerichtet sind.
- Bei stark ausgeprägten Talabwinden kommt es bei ausreichender vertikaler Mächtigkeit zu Überströmeffekten über Sättel und Kämme hinweg.
- Bei der Interpretation der gemessenen bodennahen Windgeschwindigkeiten ist darauf zu achten, dass hier nur bedingt auf die Stärke von Volumenströmen rückgeschlossen werden kann. Konkrete Standorteigenschaften, wie etwa die Lage im Bereich von Talverengungen (Düsen- oder Kanalisierungseffekte) oder Kaltluftseen beeinflussen die gemessenen Werte deutlich und erschweren insbesondere einen Vergleich zwischen verschiedenen Tälern.
- Die Frage nach einer Verzahnung von reliefbedingten Hang- und Talwindssystemen mit den im Uferbereich des Bodensees zu erwartenden Land-See-Winden ist mit den angewandten Methoden nur schwer zu beantworten. Für das Gebiet zwischen Langenargen und Argental kann für die Zeit kurz vor Einsetzen der nächtlichen Talabwinde ein noch landeinwärts gerichteter Seewind vermutet werden.
- Die Vertikalsondierungen zeigen die Komplexität der beschriebenen Phänomene im Hinblick auf ihren vertikalen Aufbau (Windscherung).

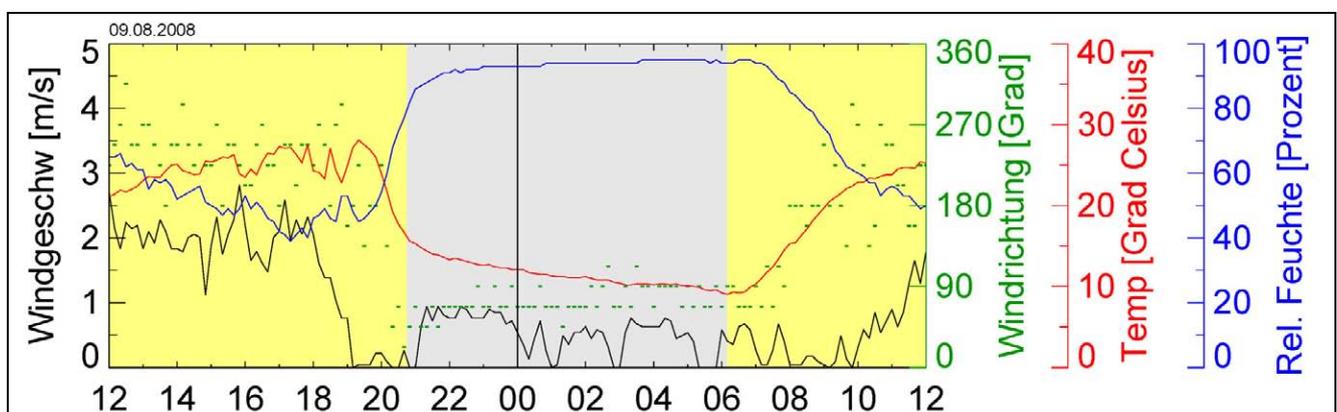


Abb. 12: Tagesdiagramm der Station Deggenhausertal vom 09.08.2008 auf 10.08.2008. Zu erkennen sind Talabwinde aus östlicher Richtung, die mit wenigen Unterbrechungen die gesamte Nacht über anhalten.

Gliederung nach Landschaftseinheiten

Gliedert man den Gesamtraum nach den in Kapitel 3.1 vorgestellten typischen Landschaftseinheiten, so lassen sich folgende Erkenntnisse festhalten:

Beckenlandschaften

Größere Beckenlandschaften im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes, die sich zum Bodensee hin öffnen, zeigen bodennah nach Süden gerichtete Kaltluftbewegungen. Beobachtet wurden solche Talabwinde in bzw. aus Beckenlandschaften heraus südlich des mittleren Schussenbeckens und im Salemer Becken. An den Beckenrändern sind Hangabwinde festzustellen, deren Stärke stark von den Hangneigungen abhängt. Dies ist z.B. nördlich von Baintd (vgl. Pilotstudie bei Marsweiler), südöstlich von Ravensburg, östlich von Tettngang und östlich von Salem der Fall. Talabwinde aus Beckenlandschaften setzen im Vergleich zu solchen aus engen Kerbtälern zeitlich verzögert ein. Trotz der Kaltluftbewegungen müssen solche Beckenlandschaften aber auch als Kaltluft-sammelgebiete angesehen werden. Dies zeigen insbesondere die durchgeführten Temperaturmessfahrten zwischen Tettngang und Eriskirch bzw. zwischen Erbisreute und Baienbach.

Donautal mit nördlichen Zuflüssen

Der Talverlauf der Donau mit zahlreichen Talweitungen und Talverengungen hat einen wesentlichen Einfluss auf die bodennahen Kaltluftbewegungen. Häufig kommt es zur Bildung von Kaltluftseen. Es ist jedoch anzunehmen, dass diese in der Höhe von Talabwindensystemen überströmt werden.

Steile Täler im südlichen Teil

In den steilen Tälern im südlichen Teil des Untersuchungsraumes konnten deutliche nächtliche Kaltluftbewegungen nachgewiesen werden. Namentlich sind unter anderem die folgenden zu nennen: das Deggenhausertal, das Argental im Bereich des Unterlaufs zwischen Laimnau und Langenargen, sowie die kleinen Täler rund um das mittlere Schussenbecken (Schussentobel, Täler von Wolfegger- und Ettishofer Aach und Scherzachtobel etc.).

Schwach geneigte Täler im Norden

Die nach Norden gerichteten, weniger stark eingetieften und nur schwach geneigten ehemaligen Schmelzwasserrinnen waren über das durchgeführte Messprogramm nicht abgedeckt. Die Aussagen zu diesen Landschaftselementen stützen sich demnach allein auf die Ergebnisse der Modellrechnungen (vgl. Kap. 4.3 bzw. WAB, 2009, Band 2).

Hügellandschaften

Die im Süden verbreiteten großflächigen Hügellandschaften (Drumlinder) wurden mit den Messungen zwischen Gehrenberg und Friedrichshafen exemplarisch erfasst. Die hier zu beobachtende Tagesperiodik deutet vor allem auf lokale Einflussfaktoren hin. Ein großräumiges Durch- bzw. Überströmen der Hügellandschaft durch entsprechende Talabwindensysteme kann nur vermutet werden (Vertikalsondierung). Es ist jedoch auszuschließen, dass die Reichweite von Hangabwindensystemen angrenzender Höhenzüge dazu ausreicht. Auffällig sind die reliefbedingten Kaltluftseen, die mit Hilfe der durchgeführten Temperaturmessfahrten gut herausgearbeitet werden konnten.

Markante Höhenzüge (Endmoränen)

Die markanten Endmoränenzüge innerhalb des Untersuchungsgebietes waren über das durchgeführte Messprogramm nicht abgedeckt. Die Aussagen zu diesen Landschaftselementen stützen sich demnach allein auf die Ergebnisse der Modellrechnungen (vgl. Kap. 4.3 bzw. WAB, 2009, Band 2).

Markante Erhebungen

Größere Erhebungen zeigen je nach Exposition und Neigung mehr oder weniger früh einsetzende, unterschiedlich starke und unterschiedlich lang anhaltende Hangabwinde. Der Gehrenberg kann hier als hervorragendes Beispiel herangezogen werden.

4.3 Modellrechnungen

Mit Messungen können immer nur Informationen für wenige Punkte gewonnen werden. Eine Übertragbarkeit auf andere Standorte mit ähnlichen Standorteigenschaften ist zwar prinzipiell möglich, dennoch gilt: Eine flächendeckende Analyse der klimatischen Situation in der Gesamtregion wird erst durch die Anwendung von Rechenmodellen erreicht. Zur Berechnung nächtlicher Kaltluftbewegungen kommen Ver-

fahren unterschiedlicher Komplexität in Frage. Als Datengrundlage dienen immer digitale Geländemodelle zur Beschreibung des Reliefs und Landnutzungsdaten zur Beschreibung der Oberflächenbedeckung. Im Rahmen von REKLIBO wurden diese Datensätze aus flächenhaft vorliegenden möglichst aktuellen Ausgangsdaten aufbereitet (vgl. WAB, Band 2).

4.3.1 Reliefanalytische Verfahren

Für eine erste grobe Abschätzung potentieller Kaltluftbewegungen kamen verschiedene reliefanalytische Verfahren zum Einsatz. Sie liefern unter anderem die folgenden Ergebnisse:

- Größe von Kaltluft-Einzugsgebieten
- Landnutzungsanteile in Kaltluft-Einzugsgebieten
- Neigungsverhältnisse in Kaltluft-Einzugsgebieten
- abflusslose Hohlformen als potentielle Kaltluftstaugebiete
- horizontabhängige Sonnenuntergangszeiten als potentielle Startzeiten der Kaltluftproduktion

Eine umfassende Dokumentation der Verfahren und eine Beschreibung der Ergebnisse findet man im WAB, Band 2, Kap. 3.2). In der hier vorliegenden Klimafibel steht die Modellierung mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21 im Mittelpunkt.

4.3.2 Kaltluftabflussmodellierung mit KLAM_21

KLAM_21 wurde vom Deutschen Wetterdienst (DWD) entwickelt und wird von dessen Abteilung „Klima- und Umweltberatung“ zur Beurteilung von Kaltluftsituationen eingesetzt. Das Programm ist in der Lage, Kaltluftbewegungen in ihrer Dynamik im Laufe einer Nacht flächenhaft zu erfassen. Laut DWD hat es sich in zahlreichen Gutachten zur Standort-, Stadt- und Regionalplanung bewährt (SIEVERS, S. 5). Die theoretischen Grundlagen und die Handhabung des Modells wurden von SIEVERS (2005) ausführlich erläutert. Im WAB, 2009, Band 2, Kap. 3.3 werden die entscheidenden Punkte zusammenfassend dargestellt.

KLAM_21 berechnet unter anderem die zeitliche Entwicklung von:

- Kaltluftmächtigkeiten
- mittleren Windgeschwindigkeiten des Kaltluftflusses
- Windgeschwindigkeiten in einer frei zu wählenden Höhe im Kaltluftfluss
- Kaltluft-Volumenströmen (abgeleitet aus Kaltluftmächtigkeit und mittlerer Windgeschwindigkeit)

Kartographische Umsetzung

Für Überblicksdarstellungen des gesamten Untersuchungsraums wurden diese Werte klassifiziert und mit sinnvollen Farbpaletten versehen (vgl. Abb. 13). Um auch die Richtungen der Kaltluftbewegungen wiederzugeben, wurden bei großmaßstäbigen Karten Pfeil-Darstellungen gewählt. Eine Auswahl dieser Karten wurde im Klimaatlas der Region Bodensee-Oberschwaben zusammen gestellt und in Band 2 des WAB ausführlich beschrieben (WAB, 2009, Band 2, Kap. 4).

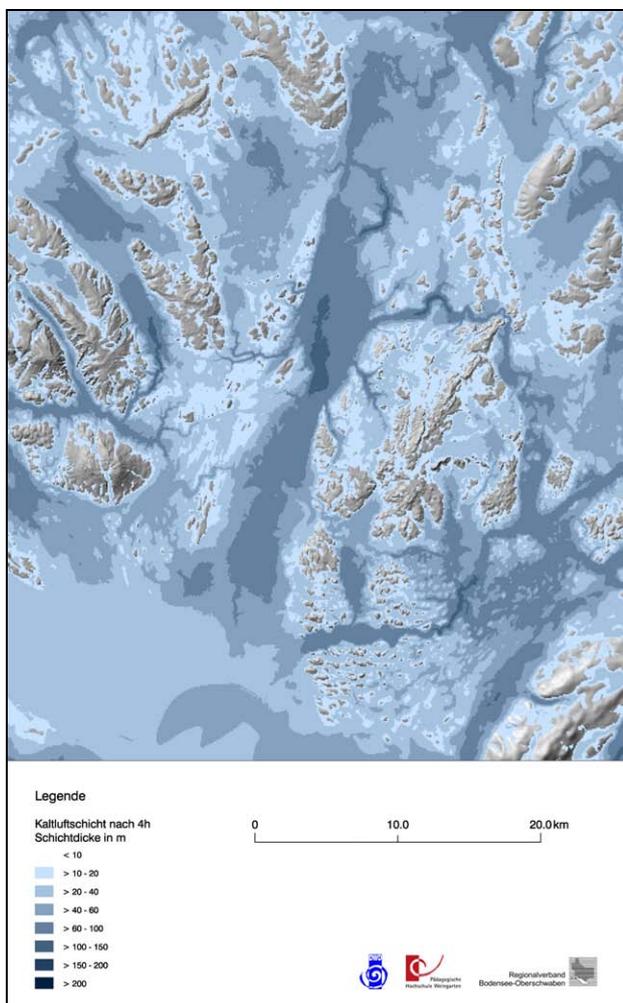


Abb. 13: Darstellung der modellierten Kaltluftmächtigkeiten nach vier Stunden Simulationszeit. Ausschnitt aus WAB, 2009, REKLIBO-Klimaatlas, Karte E3c)

4.3.3 Umsetzung in Klimaanalysekarten

Um die zentralen Aussagen der Modellergebnisse und Messergebnisse in möglichst übersichtlicher Form zusammenzufassen, wurde ein Konzept zur Erstellung einer Klimaanalysekarte entwickelt. Neben Informationen zur Verteilung der klimarelevanten Landnutzungsklassen und zu potentiellen Kaltluftstaugebieten beinhalten die Karten vor allem Informationen zum Luftaustausch durch nächtliche Kaltluftbewegungen bei windschwachen Strahlungswetterlagen.

Da nächtliche Kaltluftbewegungen für größere Siedlungen vor allem in den frühen Abendstunden von Bedeutung sind (Abkühlungseffekte, Luftaustauscheffekte), wurde zur Darstellung wichtiger Bergwind- und Hangwindgebiete auf relativ frühe Zeitschnitte der Kaltluftabflussmodellierung zurückgegriffen (s.u.).

Die folgenden Fragen können mit der Karte gut beantwortet werden:

- Wo ist in den frühen Abendstunden mit kräftigen Hangabwindssystemen zu rechnen?
- Wo ist in den frühen Abendstunden mit kräftigen Talabwindssystemen zu rechnen?
- Wo liegen die Einzugsgebiete dieser Windsysteme?
- Welche Reliefverhältnisse herrschen im Einzugsgebiet dieser Systeme?
- Welche Landnutzung liegt im Einzugsgebiet und im Wirkungsbereich dieser Systeme vor?
- Wo wirken die Systeme auf besonders belastete Siedlungsräume?
- Wie weit wirken die Systeme gegebenenfalls in den Siedlungskörper hinein?
- Wo ist verstärkt mit Kaltluftstau zu rechnen (erhöhte Gefahr der Schadstoffanreicherung)?

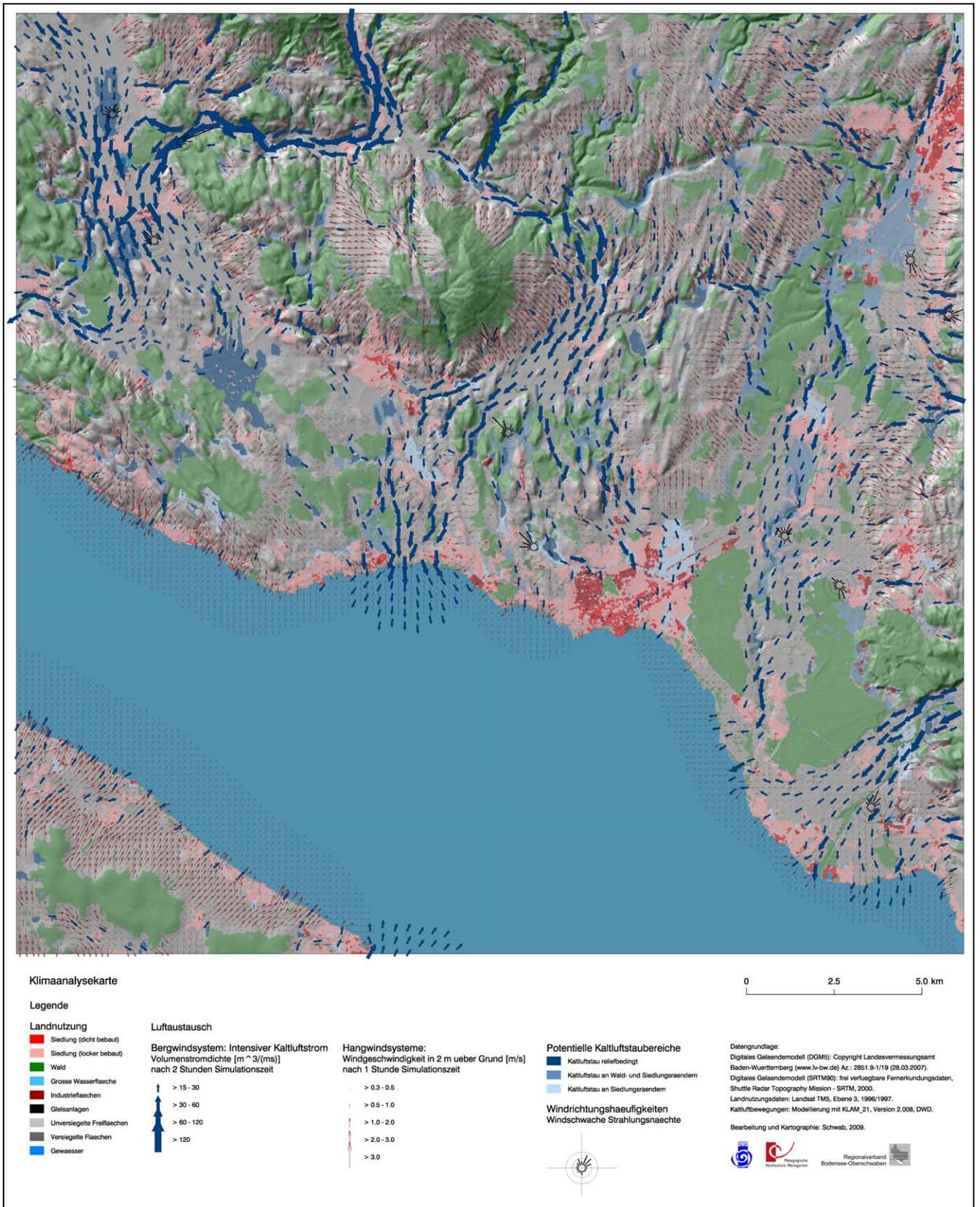


Abb. 14: Klimaanalysekarte für den Raum Gehrenberg-Friedrichshafen (aus WAB, 2009, Band 2, S. 46)

4.3.4 Interpretation der Modellrechnungen

Für die typischen Landschaftseinheiten der Region (vgl. Kap. 3.1), lassen sich aus den Ergebnis- und Analysekarten unter anderem folgende Erkenntnisse ableiten (vgl. pdf-Dokumente auf beigefügter DVD in den Unterordnern von ..\Klimafibel\Geodaten_Karten\):

Bodenseebecken

- Das Bodenseebecken, anfangs noch kaltluftfrei (Bodensee als Wärmespeicher), fungiert aufgrund der von allen Seiten zuströmenden Kaltluft als großes Kaltluftsammelgebiet.
- Für seine teilweise recht steilen Hänge werden vor allem für die frühen Abendstunden markante Hangabwinde berechnet. Mit zunehmender Modellzeit „ertrinken“ diese Hänge dann jedoch in der angesammelten Kaltluft.

Weitere Beckenlandschaften

- Auch alle anderen weitgespannten Beckenlandschaften fungieren als Kaltluftsammelgebiete, die sich je nach Beckengröße und Charakter der Kaltlufteinzugsgebiete unterschiedlich stark und unterschiedlich schnell mit Kaltluft füllen.
- Becken, die sich zum Bodensee hin öffnen, zeigen im Laufe der Nacht aber auch intensive Kaltluftbewegungen. Dies gilt insbesondere für das Mittlere Schussenbecken, das Salemer Becken und das Wilhelmsdorfer Becken.
- An Engstellen können Düseneffekte auftreten (Bsp. Ravensburg).
- Sind die Beckenränder steil ausgebildet und die Becken selber dicht besiedelt, so sind die den Siedlungen zugewandten Hänge von großer Bedeutung (hohe bodennahe Windgeschwindigkeiten). Dies ist z.B. rund um Ravensburg und Weingarten und östlich von Tettang der Fall.
- Mit zunehmender Simulationsdauer weisen jedoch nur noch die höher gelegenen steilen Hänge große Windgeschwindigkeiten auf. Die niedriger gelegenen sind dann bereits in der angesammelten Kaltluft der Beckenlandschaften „ertrunken“.

Kurze steile zum Bodensee oder zu den tiefen Becken hin orientierte Täler (Tobel)

- Hierzu gehören unter anderem das Tal der Rotach östlich des Gehrenbergs und die kleinen Täler rund um das Mittlere Schussenbecken.
- In diesen Tälern sammelt sich die Kaltluft bereits früh nach Simulationsbeginn.
- Je nach Größe des Einzugsgebiets, Neigungsverhältnissen und Landnutzungsanteilen kommt es rasch zu intensiven Volumenströmen.
- An Engstellen können Düseneffekte auftreten (vgl. Talausgang der Wolfegger Aach).
- Auch das Überströmen von Sattellagen ist an einigen Stellen zu beobachten.
- Gegen Ende der Simulation kommt es vereinzelt zu Rückstauwirkungen aus den großen Kaltluftsammelgebieten in die Täler hinein. Vor allem in den Tälern mit nur schwach geneigter Talsohle führt dies in deren Unterläufen zu einer Verringerung der talabwärts gerichteten Volumenströme.

Kleinere sanft nach Norden zur Donau abfallende Täler (Schmelzwasserrinnen)

- Auch in diesen Tälern sammelt sich Kaltluft früh nach Simulationsbeginn.
- Trotz nur schwach geneigter Talsohlen werden auch hier hohe Volumenströme berechnet.
- Nordöstlich von Krauchenwies führen Verengungen im Andelsbachtal zu Düseneffekten.
- Durch die großräumige Kaltluftansammlung im Bereich der Donau kommt es auch hier zu Rückstauwirkungen, so dass die berechneten Volumenströme in der zweiten Nachthälfte abnehmen.

Markante Höhenzüge

- Die markanten wallartigen Höhenzüge (Endmoränen) sind in den ersten drei Stunden Modellzeit noch überwiegend kaltluftfrei. Dann „ertrinken“ auch sie allmählich in der stetig anwachsenden Kaltluftschicht. Am Ende ragen nur noch die höchsten Endmoränenzüge heraus (Frankenbuch, Atzenberger Höhe, Endmoräne bei Roßberg, Waldburgrücken).
- Dort, wo Hangabwinde auf Siedlungen gerichtet sind, kann eine hohe Belüftungsfunktion angenommen werden. Beispiele hierfür sind unter anderem die nördlichen Teile von Aulendorf und die östlichen Teile von Bad Waldsee.

Hügellandschaften

- Die Hügellandschaften im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes liegen zwar etwas erhöht, aber meist sehr nahe am Bodensee. In Abhängigkeit ihrer Höhenlage liegen auch sie früher oder später innerhalb der großen Kaltluftansammlung im Bodenseebecken. Relativ früh in der Nacht ist das z.B. im Bereich des Markdorfer Drumlinfelds zu beobachten, etwas später im Bereich des Wangener Drumlinfelds.
- Deutliche Luftleitbahnen sind im Bereich der Hügellandschaften nur selten zu erkennen. Eine Ausnahme bildet das Markdorfer Drumlinfeld südlich des Gehrenbergs. Hier wird für die frühen Abendstunden ein Kaltluftstrom aus dem Rotachtal berechnet.

Donautal mit nördlichen Zuflüsse

- Großräumig betrachtet bildet sich im Laufe einer Nacht im Bereich der Donau und ihrer Zuflüsse ein zweites großes Kaltluftsammlgebiet.
- Innerhalb dieses Gebietes nehmen die Volumenströme trotz der nur schwach geneigten Talsohle der Donau während einer simulierten Nacht ständig zu. Es kommt zu Überströmeffekten.
- Damit sind jedoch nicht automatisch hohe bodennahe Windgeschwindigkeiten verbunden. In den flachen Talsohlenbereichen können sich vielmehr Kaltluftseen bilden, die von Talabwinden überströmt werden.

Das Argental

- Auch im Bereich des Argentals werden für die simulierte Nacht zunehmende Kaltluftmächtigkeiten berechnet.
- Hohe Volumenströme konzentrieren sich zunächst auf die Täler von Oberer und Unterer Argen.
- Im Laufe der Nacht kommt es zunehmend zu Überströmeffekten. Die Hügellandschaft wird dann eher flächenhaft belüftet.

Das Deggenhausertal

- Im Bereich des Deggenhausertals werden bereits nach zwei Stunden Simulationsdauer sehr hohe Volumenströme berechnet.
- Aufgrund der hervorragenden Abflussbedingungen (Neigungsverhältnisse) halten diese die ganze Nacht über an.

Markante Erhebungen/Gehrenberg

- Die markanten Erhebungen des Untersuchungsraumes bleiben bis zum Ende der Simulation kaltluftfrei.
- Dort, wo größere Siedlungen angrenzen, kann den entsprechenden Hangabwindssystemen eine große Belüftungswirkung zugesprochen werden.
- Der Gehrenberg kann hier als Beispiel herangezogen werden. Die von seinen südwestexponierten Hängen abfließende Kaltluft verbessert die Durchlüftungssituation der Stadt Markdorf.

Weitere Anmerkungen

- Dort, wo größere Talstrukturen fehlen und in den Hochlagen sind erwartungsgemäß nur relativ geringe Volumenflüsse zu beobachten.
- Teilweise sind Luftleitbahnen aber auch dort zu erkennen, wo kein tiefes Einschneiden eines Flusses vorliegt, die Lage im Relief aber dennoch zu einer Kanalisation der Kaltluftbewegungen führt. Beispielhaft liegt eine solche Situation westlich des Schussentobels zwischen Aulendorf und Mochenwangen vor (vgl. REKLIBO-Klimaatlas, Karte A3b).

4.4 Vergleich von Messergebnissen und Modellergebnissen

Vergleiche der Messergebnisse mit den Ergebnissen der Kaltluftabflussmodellierung zeigen in nahezu allen Situationen eine gute Übereinstimmung. Abweichungen ergeben sich dort, wo sich im Laufe der Nacht innerhalb der Kaltluft mehrschichtige Prozesse ausbilden, namentlich Situationen mit Windscherung zwischen bodennahen Hangabwinden und darüber wehenden Talabwinden. Das verwendete Kaltluftabflussmodell des Deutschen Wetterdienstes ist als Zweischichten-Modell mit einer einzigen Kaltluftschicht und einer Schicht der übergeordneten Strömung nicht in der Lage, solche Verhältnisse zu simulieren. Bodennah gemessene

Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen können an solchen Standorten dann nur in den frühen Abendstunden mit den Modellergebnissen übereinstimmen.

Besonders auffällig ist die gute Übereinstimmung von Messergebnissen und Modellergebnissen im Hinblick auf das zeitliche Einsetzen von Talabwinden. Beide Methoden weisen hier die engen steilen Täler des südlichen Untersuchungsraumes als Gebiete mit besonders früh und kräftig einsetzenden Talabwinden aus (Deggenhausertal, Tobel rund um das Mittlere Schussenbecken).

4.5 Zusammenfassung

In der Region Bodensee-Oberschwaben waren bislang nur relativ geringe Kenntnisse über lokale Windsysteme vorhanden, obwohl in Teilen der Region schlechte Durchlüftungsverhältnisse vorherrschen und in den größeren Städten in Beckenlagen häufig mit Wärmebelastung zu rechnen ist. Aufgrund dieses mangelhaften Kenntnisstands wurde die „Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO)“ in Auftrag gegeben. Ein umfangreiches Messprogramm wurde durchgeführt und verschiedene Rechenmodelle zur flächenhaften Analyse angewandt.

Dabei kam das Kaltluftabflussmodell KLAM_21 des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zum Einsatz, um flächenhafte Aussagen über die potentiell auftretenden Kaltluftbewegungen (Kaltluftmächtigkeiten, Kaltluftgeschwindigkeiten und Kaltluftvolumenströmen) im Laufe einer idealen Strahlungsnacht machen zu können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass innerhalb des Untersuchungsraumes nächtliche Kaltluft- bzw. Frischluftströme als weitverbreitetes Phänomen zu beobachten sind. Sowohl Hangabwinde als auch Talabwinde treten mit beeindruckenden Regelmäßigkeiten auf.

Die Windgeschwindigkeiten und vertikalen Mächtigkeiten der Kaltluftbewegungen sind wegen der Reliefverhältnisse (relativ geringe Höhenunterschiede) jedoch nicht mit solchen in Mittelgebirgs- oder Hochgebirgstälern zu vergleichen. Gerade deshalb dürften sie jedoch besonders sensibel auf entsprechende Nutzungsänderungen reagieren.

Die umfangreichen Ergebnisse von REKLIBO stellen eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die räumliche Planung dar, um eine klimatologisch verträgliche Steuerung der weiteren Siedlungsentwicklung zu erreichen und damit auch in klimatischer Hinsicht günstige Lebensbedingungen in der Region dauerhaft zu sichern.

Die beiden folgenden Kapitel zeigen, wie die Ergebnisse möglichst gewinnbringend und in möglichst differenzierter Form im Hinblick auf Landschaftsrahmenplanung, Regionalplanung und kommunale Bauleitplanung interpretiert und bewertet werden können.

5 Anwendung der regionalen Klimaanalyse im Rahmen der Regional- und Landschaftsrahmenplanung

5.1 Klima und Luft in der Regional- und Landschaftsrahmenplanung

Die Regionalplanung hat die Aufgabe, die sozialen und wirtschaftlichen Ansprüche mit der dauerhaften Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang zu bringen. Klima und Lufthygiene stellen einen wichtigen Teilaspekt der natürlichen Lebensgrundlagen dar. Sie wurden im Rahmen der regionalen Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO) intensiv untersucht. Weitreichende Informationen und Empfehlungen liegen insbesondere zur bioklimatischen Situation vor.

In der Landschaftsrahmenplanung werden jedoch auch noch weitere Aspekte des Landschafts- und Naturhaushaltes aufgearbeitet und berücksichtigt wie z.B. die Tier- und Pflanzenwelt, der Boden oder das Wasser. Schließlich werden diese Einzelaspekte auch in ihrem räumlichen Zusammenwirken betrachtet und die Themen des menschlichen Wohlbefindens berücksichtigt. Klima und Luft bilden also nur einen Teilaspekt der Landschaftsrahmenplanung. Im Landschaftsrahmenplan sind auch Fragen des Klimawandels näher zu betrachten, insbesondere dort, wo sich aus den zu erwartenden

Klimaveränderungen Konsequenzen für die Raumentwicklung ergeben.

Eine wesentliche Aufgabe des Landschaftsrahmenplans ist eine raumbezogene Konkretisierung von Zielen zum Schutz und zur Entwicklung von Natur und Landschaft, also auch zu Klima und Luft. Der Landschaftsrahmenplan Bodensee-Oberschwaben (derzeit in Bearbeitung) kann im Themenbereich Klima und Luft v.a. auf die umfangreichen Ergebnisse der regionalen Klimaanalyse (REKLIBO) zurückgreifen (vgl. 5.2.1).

Aus diesen Zielen für Klima und Luft (vgl. 5.2.2) können Handlungsansätze zur Aufwertung und Entwicklung der klimatischen Funktionen abgeleitet werden (vgl. 5.2.3). Sie stellen einen Orientierungs- und Handlungsrahmen für die Regionalplanung dar (vgl. 5.3) und sind fachliche Vorgabe für die kommunale Planungsebene, den Landschaftsplan. In Kapitel 6 werden die Aussagen zur kommunalen Bauleitplanung konkretisiert.

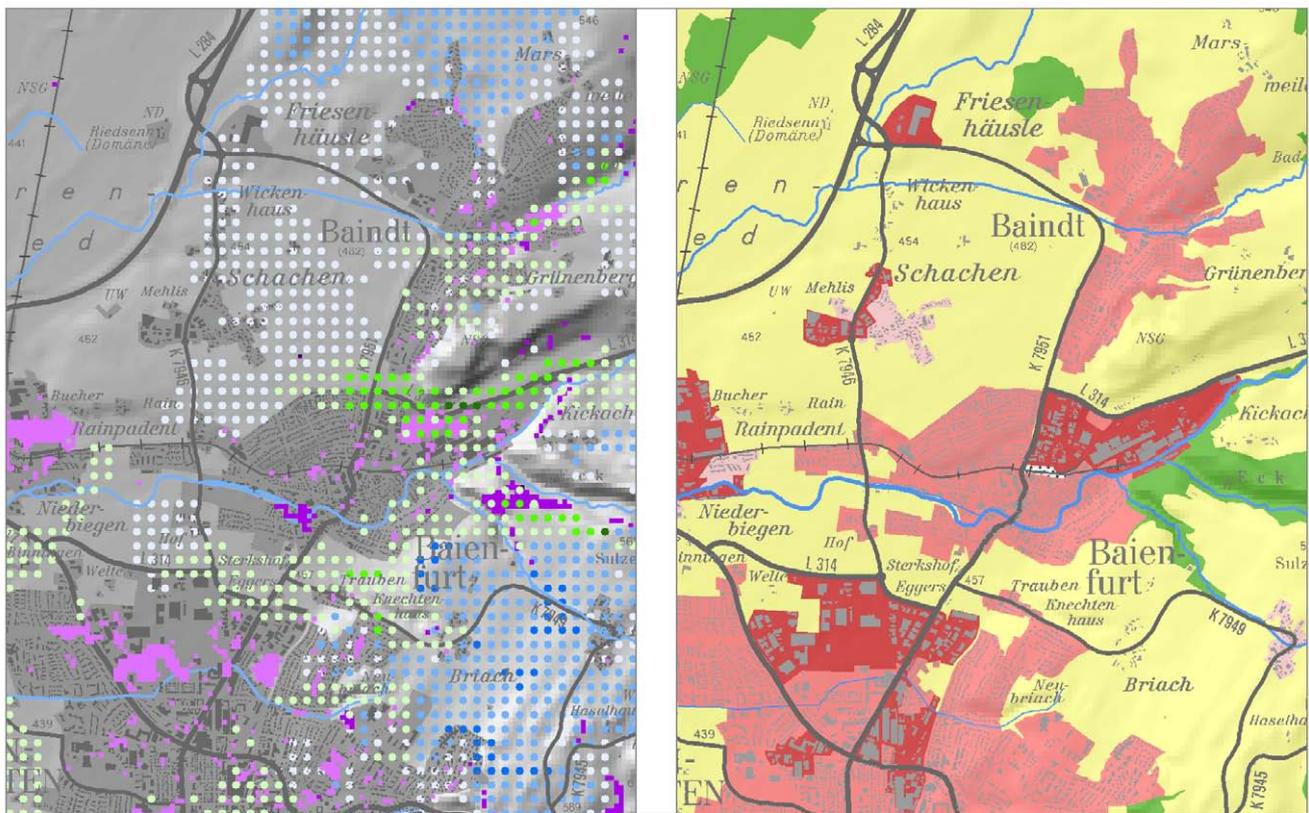
5.2 Anwendung im Landschaftsrahmenplan Bodensee-Oberschwaben

5.2.1 Analyse von Klima und Luft

Die Landschaftsanalyse des Landschaftsrahmenplans Bodensee-Oberschwaben übernimmt die zentralen Ergebnisse von REKLIBO und setzt sie in die Gesamtsystematik des Planwerkes um. Die in der Klimaanalyse verwendeten Klassifizierungen und Schwellenwerte werden beibehalten, sodass eine direkte Vergleichbarkeit und Nutzung gewährleistet ist. Aufgenommen in das Informationssystem des Landschaftsrahmenplanes werden insbesondere die Windgeschwindigkeit der Hangabwindssysteme, die Kaltluftvolumenströme der Bergwindssysteme, die Kaltluftstaubereiche sowie die Beurtei-

lung der Landnutzungsklassen hinsichtlich ihrer bioklimatischen Bedeutung (Ableitung sogenannter Klimatope). Letztere basiert auf der aktuelleren und detaillierteren Landnutzungs-klassifizierung des Landschaftsrahmenplans.

Die nachfolgende Abb. 15 zeigt hierzu einen Planausschnitt im Bereich von Weingarten. Im Gegensatz zur Klimaanalysekarte (vgl. Kap. 4.3.3) werden zur Darstellung von Hangwind- und Bergwindssystemen Punktsignaturen verwendet, wodurch sich flächenhafte Aussagen einfacher ableiten lassen.



Bergwindssystem

Kaltluftvolumenstromdichte nach 2 h Simulationszeit

- > 15 - 30 m³/ms
- > 30 - 60
- > 60 - 120
- > 120

Hangwindssystem

Windgeschwindigkeit in 2 m ü.G. nach 1 h Simulationszeit

- > 0,5 - 1,0 m/s
- > 1,0 - 2,0
- > 2,0 - 3,0
- > 3,0

Kaltluftstaubereich

- Kaltluftstau reliefbedingt
- Kaltluftstau an Wald- und Siedlungsrandern
- Kaltluftstau an Siedlungsrandern

Klimatope

- Wald-Klimatop
- Freiland-Klimatop
- Gewässer-Klimatop
- Dorf-Klimatop
- Stadt-Klimatop
- Industrie- und Gewerbe-Klimatop
- Bahnanlagen-Klimatop

Abb. 15: Übertragung der Analyseergebnisse aus REKLIBO 2009 in den Landschaftsrahmenplan Bodensee-Oberschwaben

5.2.2 Zielkonzept Klima und Luft

Grundlagen für die Festlegung des Zielkonzepts im Landschaftsrahmenplan sind der in der Klimaanalyse ermittelte aktuelle Zustand von Bioklima und Lufthygiene und das aktuelle klimaökologische Leistungs- und Funktionsvermögen der Region. Mit den abgeleiteten Zielen soll das regionale Nutzungsmuster klimaökologisch optimiert werden. Denn Art und Intensität, die

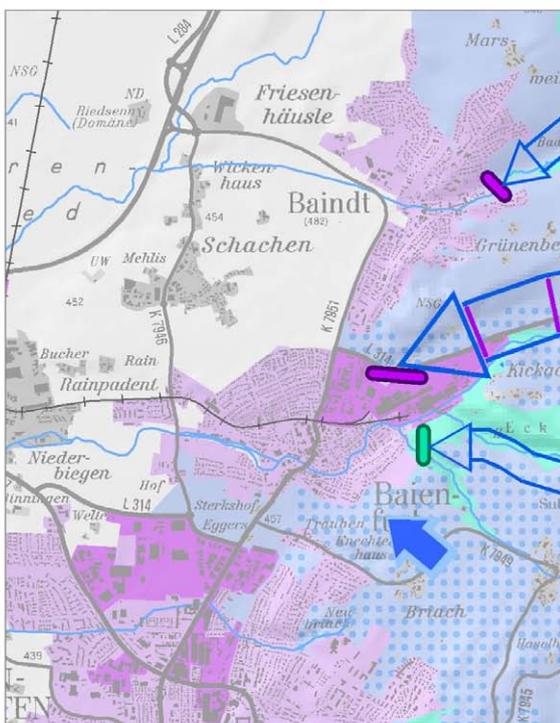
räumliche Verteilung und Ausdehnung der einzelnen Nutzungen beeinflusst unter bestimmten Voraussetzungen sowohl die lufthygienische Situation als auch das Lokalklima maßgeblich. Daraus ergeben sich aus klimaökologischer Sicht Gebiete mit besonderem Schutzbedarf und Gebiete mit besonderem Entwicklungsbedarf, die in Karten dargestellt werden.

So sind z.B. rund um den Bodensee und im Schussenbecken die bioklimatischen und luft-hygienischen Belastungen besonders hoch (vgl. Kap. 3.2.5 und Kap. 3.2.6). Insbesondere für größere Siedlungsbereiche spielt die Optimierung der Flächennutzung zur Minderung der vorhandenen Belastungen eine große Rolle. Im vorliegenden Fall wurden deshalb nur Siedlungen ab einer Größe von 1 km² berücksichtigt.

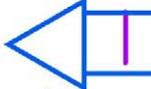
Für die regionale Betrachtung der Luftaustauschprozesse stehen größere Luftleitbahnen mit ausreichendem Kaltluftvolumenstrom im Vordergrund, die diesen Siedlungen Frisch- und Kaltluft zuführen. Daneben sind auch großflächige Hangwindssysteme mit höheren Windgeschwindigkeiten relevant. Sie wirken in der Regel jedoch nur im Stadtrandbereich. Luftaustauschsysteme sind zu erhalten und aufzuwerten, indem die für den Luftaustausch und die Kalt- und Frischluftproduktion relevanten Hänge und Täler von weiterer Bebauung oder Bewaldung freigehalten und bestehende Barrieren

oder Belastungen langfristig behoben bzw. in ihrer Wirkung gemindert werden. Hierzu gehören z.B. bestehende Waldbereiche in Luftleitbahnen oder Emittenten von Luftschadstoffen im Einzugsbereich der Luftaustauschsysteme.

Im Folgenden sind Ziele der Landschaftsrahmenplanung für die einzelnen klimaökologischen Funktionen in der Region Bodensee-Oberschwaben anhand eines Beispiels im Raum Weingarten dargestellt (Abb. 16). Aus einem Vergleich mit den oben gezeigten Karten wird deutlich, wie vorgegangen wurde: Auf der Basis einer visuellen Auswertung der REKLIBO-Ergebnisse wurden wichtige Luftaustauschsysteme und klimaökologisch wirksame Ausgleichsflächen lokalisiert. Um besonders wichtige Kaltluftentstehungsgebiete hervorzuheben, wurde zusätzlich anhand der Kaltluftvolumenstromdichte und der Windgeschwindigkeit eine Selektion vorgenommen (Bereich der bedeutenden Hangwindssysteme und Luftleitbahnen).



Erhaltung und Aufwertung der Luftaustauschsysteme

-  Erhaltung und Aufwertung regionalbedeutsamer Luftleitbahnen
-  Erhaltung lokal bedeutsamer Luftleitbahnen
-  Erhaltung regionalbedeutsamer Hangwindssysteme
-  Aufwertung der Leitbahnfunktion durch langfristige Umgestaltung des Siedlungsrandes
-  Aufwertung der Leitbahnfunktion durch langfristigen Waldrückbau

Erhaltung und Aufwertung der klimaökologisch wirksamen Ausgleichsräume

-  Kaltluftentstehungsgebiet - Flur- (allgemeine/besondere Bedeutung)
-  Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiet -Wald -

Sanierung und Aufwertung der bioklimatisch und lufthygienisch belasteten Räume > 1 km²

-  Gewerbe und dicht bebaute Siedlungsbereiche

Abb. 16: Zielkonzept für das Schutzgut Klima und Luft – Landschaftsrahmenplan Bodensee-Oberschwaben (Entwurf)

5.2.3 Handlungsansätze

Aus dem Zielkonzept leitet der Landschaftsrahmenplan Bodensee-Oberschwaben ein schutzgutübergreifendes Leitbild und entsprechende Handlungsansätze u.a. auch für Klima und Luft ab. Er trifft zu einen Aussagen über die Sicherung der Flächen mit besonderer Bedeutung für Bioklima und Lufthygiene, zum anderen über die Aufwertung und Entwicklung der klimatischen Funktionen in der Region.

Die Aufwertung und Entwicklung umfasst z.B. folgende Punkte:

- Vergrößerung der Kalt- und Frischlufteinzugsgebiete z.B. durch Beseitigung von vorhandenen Hindernissen

- Vermehrung der Kaltluftbildung z.B. durch Entsiegelung und Nutzungsumwidmung von Flächen
- Minderung der Schadstoffemissionen und –immissionen z.B. durch Verbesserungen im technischen Umweltschutz

Im Landschaftsrahmenplan werden im Hinblick auf den Klimawandel auch Klimaanpassungsstrategien und -maßnahmen aufgezeigt. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel sind von allen Bereichen des öffentlichen Lebens auch Beiträge zum Klimaschutz zu erbringen. Der sinnvolle Einsatz von erneuerbarer Energie und die Möglichkeiten einer effizienten Energienutzung spielen dabei eine wichtige Rolle.

5.3 Anwendung im Regionalplan Bodensee-Oberschwaben

Die aus dem Zielkonzept und dem Leitbild des Landschaftsrahmenplans abgeleiteten Handlungsansätze sind auch Grundlage für die Festlegungen zur regionalen Freiraumstruktur im Regionalplan. Sie dienen außerdem zur Überprüfung der klimaökologischen Verträglichkeit von Aussagen anderer Fachkapitel des Regionalplans und geben Hinweise für eine nachhaltige Nutzungsstruktur. Zur Integration der Ziele für Klima und Luft in den Regionalplan sind verschiedene Instrumente möglich. Im Mittelpunkt stehen dabei die Regionalen Grünzüge und Grünzäsuren.

Regionale Grünzüge

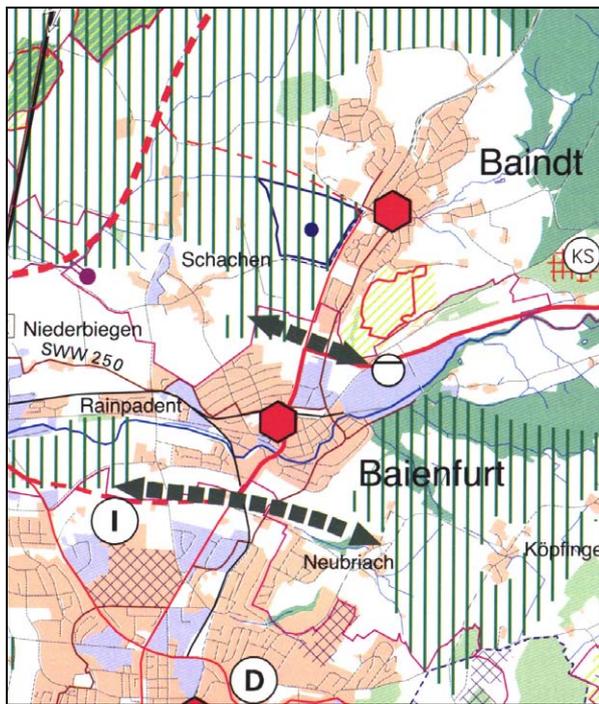
Durch die Ausweisung als regionaler Grünzug werden Freiflächen innerhalb von Entwicklungsachsen weitestgehend von einer Bebauung freigehalten. Durch eine differenzierte Darstellung und Zuordnung von Zielen kann ein regionaler Grünzug weitere Aufgaben für ein günstiges Bioklima und gute Luftqualität übernehmen. Hierzu gehört z.B. die Abgrenzung von Flächen für die Kalt- und Frischluftproduktion oder für die Luftzirkulation. Aus diesen Aufgaben können Entwicklungsziele wie z.B. die Rücknahme von Aufforstungen abgeleitet werden.

Grünzäsuren

Die Regionalen Grünzüge stehen in einem engen funktionalen Zusammenhang mit den Grünzäsuren. Grünzäsuren sichern Grün- und Freiflächen zwischen Siedlungseinheiten vor weiterer Bebauung. Sie erhalten damit wichtige zusammenhängende Freiraumverbindungen zwischen Grünzug und Siedlung, die für die Kaltluft- und Frischluftproduktion und den Luftaustausch von großer Bedeutung sind. So sind bspw. im Schussenbecken Regionale Grünzüge und Grünzäsuren u.a. zur Erhaltung und Entwicklung der bioklimatischen und lufthygienischen Funktionen des Naturraumes sinnvoll. In Außenbereichen, die im Bereich wichtiger Luftaustauschsysteme oder klimaökologisch wirksamer Ausgleichsräume liegen, sollte eine weitere Bebauung so weit wie möglich vermieden und die Funktionen für Bioklima und Lufthygiene langfristig aufgewertet werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die bereits dargestellte Situation im Bereich von Weingarten in der Raumnutzungskarte des geltenden Regionalplans. Die dort ausgewiesene Grünzäsur und der regionale Grünzug haben ihre Begründung u.a. im bioklimatischen Zusammen-

hang. Auf Grundlage der Klimaanalyse sowie der weiteren Aussagen des Landschaftsrahmenplans ist dieser Bereich auch in Zukunft von einer Bebauung freizuhalten. Die Sicherung dieser Zielsetzung erfolgt über die regionalplanerischen Instrumente Grünzäsur und Grünzug.



Regionale Siedlungsstruktur (Kap.2)

-  Siedlungsbereich (Siedlungsschwerpunkt)
-  Gemeinde mit Eigenentwicklung
-  Schwerpunkt für Industrie und Gewerbe
-  Schwerpunkt für Dienstleistungseinrichtungen

Regionale Freiraumstruktur (Kap.3)

-  Regionaler Grünzug
-  Grünzäsur
-  Schutzbedürftiger Bereich für Naturschutz und Landschaftspflege
-  Schutzbedürftiger Bereich für die Landwirtschaft
-  Schutzbedürftiger Bereich für die Forstwirtschaft
-  Schutzbedürftiger Bereich für die Wasserwirtschaft
-  Schutzbedürftiger Bereich für den Abbau oberflächennaher Rohstoffe
-  Bereich zur Sicherung von Rohstoffvorkommen

Bereiche für Trassen und Infrastrukturvorhaben (Kap.4)

-  Freihaltetrassen für den Straßenverkehr
-  Freihaltetrassen für den Schienenverkehr

Abb. 17: Ausschnitt aus der Raumnutzungskarte (Maßstab 1:50.000) des Regionalplans Bodensee-Oberschwaben 1996

6 Anwendung der regionalen Klimaanalyse im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung

Bei der Aufstellung von Bauleitplänen (Flächennutzungspläne, Bebauungspläne) sind gemäß BauGB §1 Abs. 6 Nr. 7a die Auswirkungen auf Luft und Klima zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere in Gebieten mit erhöhter Gefahr von Wärmebelastung und Schadstoffanreicherung (vgl. Kap. 2). Viele Anwendungssituationen sind denkbar, in denen klimatisch-lufthygienische Gesichtspunkte eine wichtige Rolle spielen (vgl. Kasten).

Anwendungssituationen

- Ausweisung eines Neubaugebietes in Hanglage am Stadtrand
- Zentrumsnahe Siedlungsverdichtung
- Siedlungserweiterung, die zu einem „Zusammenwachsen“ bisher noch räumlich getrennter Siedlungen führen würde
- Ausweisung eines neuen Gewerbegebietes am Rande einer Siedlung in Tallage
- Standortsuche für ein Unternehmen mit zu erwartenden hohen Emissionen
- Planung einer Straße mit zu erwartendem hohen Verkehrsaufkommen
- bioklimatische Mängel bzw. lufthygienische Belastungen in bestimmten Stadtgebieten
-

Grundsätzlich gilt es zu klären, welche Auswirkungen eine kleinklimatisch wirksame Veränderung der Erdoberfläche oder eine emittierende Nutzung auf benachbarte bzw. im Einwirkungsbereich liegende empfindliche Nutzungen unter anderem im Hinblick auf Temperaturveränderungen, Luftaustauschprozesse und Immissionsbelastungen haben wird.

Landschaftsrahmenplan und Regionalplan liefern über ihre Festlegungen hier erste Hinweise. Diese werden ergänzt durch Informationen aus dem Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW 2006), dem Online-Datendienst der LUBW (Stationsdaten, Modellergebnisse) sowie insbesondere durch die Ergebnisse von REKLIBO.

Zusammen mit einer allgemeinen Ortskenntnis können damit die folgenden Fragen geklärt werden.

- Wo tritt vermehrt Wärmebelastung auf?
- Wo ist mit schlechten Durchlüftungsverhältnissen zu rechnen?
- Wo liegen Gebiete hoher lufthygienischer Belastung?
- Welche Belüftungsverhältnisse herrschen bei übergeordneter Strömung?
- Wo liegen bedeutende Hangabwind- und Talabwindssysteme bei windarmen Strahlungswetterlagen?
- Wo gibt es ggf. weitere lokale Frischluftströme?

Entsprechende Leitfragen sollten zunächst immer mit Blick auf den Gesamtraum beantwortet werden (vgl. Kap. 6.1). Gehen aus dem Fazit einer solchen gesamträumlichen Betrachtung klimakritische Standorte hervor, sind der betroffene Standort (Planungsraum) und benachbarte Siedlungsräume im Hinblick auf die gleichen Leitfragen näher zu untersuchen (vgl. Kap. 6.2).

Auf der Basis dieser standörtlichen Betrachtung sind schließlich Handlungsempfehlungen abzuleiten, durch die eine Verschlechterung der vorhandenen Situation vermieden bzw. eine Verbesserung erreicht werden kann (vgl. Kap. 6.3). Sie beziehen sich auf den Zielbereich Thermische Situation und den Zielbereich Lufthygiene.

Im Folgenden werden die angesprochenen Leitfragen zusammen mit den zu ihrer Beantwortung hilfreichen Informationsquellen (Karten, Datensätze) aufgelistet. Wo es hilfreich bzw. nötig erscheint, werden allgemeine Hinweise zur Auswertung vorangestellt. Die wesentlichen Ergebnisse können in einer steckbriefartigen Zusammenfassung festgehalten werden (vgl. Kap. 6.4). Die zur Bearbeitung notwendigen Formulare (Fragenkataloge, Entscheidungsbaum, Steckbrief) befinden sich in digitaler Form auch auf der beigefügten DVD. Dort werden nähere Angaben gemacht, wo genau die jeweiligen Informationsquellen zu finden sind.

6.1 Gesamträumliche Betrachtung

Leitfragen zur gesamträumlichen Betrachtung

Hinweis:

Der nachfolgende Fragenkatalog befindet sich in digitaler Form auch auf der beigefügten DVD. Dort werden nähere Angaben gemacht, wo genau die jeweiligen Informationsquellen zu finden sind (DVD-Verzeichnisse, URLs).

Leitfrage 1a:

Welche klimarelevanten Festlegungen treffen Landschaftsrahmenplan (derzeit in Bearbeitung) und Regionalplan in Bezug auf den Gesamttraum?

- Informationsquelle 1: Landschaftsrahmenplan – insbesondere Karte Zielkonzept für das Schutzgut Klima und Luft
 - Luftaustauschsysteme
 - Kalt-/Frischluftentstehungsgebiete
- Informationsquelle 2: Regionalplan - insbesondere Raumnutzungskarte
 - Regionale Grünzüge
 - Grünzäsuren

Leitfrage 2a:

Liegen der betrachtete Raum oder benachbarte Räume in einem Gebiet mit Wärmebelastung?

- Informationsquelle 1: Karte der Wärmebelastung aus Klimaatlas Baden-Württemberg
 - Bei der Bewertung der Karte ist zu berücksichtigen, dass es durch den allgemeinen Klimawandel langfristig zu einer deutlichen Zunahme der Temperaturen, insbesondere auch zur Zunahme sommerlicher Hitzeperioden kommen wird.
- Informationsquelle 2: Landschaftsrahmenplan – Karte Zielkonzept für Schutzgut Klima und Luft
 - Bioklimatisch und lufthygienisch belastete Räume

Leitfrage 3a:

Liegen der betrachtete Raum oder benachbarte Räume in einem Gebiet mit schlechten Durchlüftungsverhältnissen?

- Informationsquelle 1: Karte der Durchlüftung aus Klimaatlas Baden-Württemberg
- Informationsquelle 2: Landschaftsrahmenplan – Karte Zielkonzept für Schutzgut Klima und Luft
 - Bioklimatisch und lufthygienisch belastete Räume

Leitfrage 4a:

Wo liegen Gebiete mit einer besonders hohen Schadstoffkonzentration?

- Informationsquelle 1: Allgemeine Ortskenntnis
 - Bei fehlenden großen Emittenten ist der Kfz-Verkehr als Hauptquelle von Schadstoffen zu nennen. Insofern ist die Lage von Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen von besonderer Bedeutung.
- Informationsquelle 2: Landschaftsrahmenplan – Karte Zielkonzept für Schutzgut Klima und Luft
 - Bioklimatisch und lufthygienisch belastete Räume

Leitfrage 5a:

Wie werden der betrachtete Raum oder benachbarte Räume bei einer gleichmäßigen übergeordneten Strömung belüftet?

- Allgemeine Hinweise:
 - Stärkewindrosen geben Auskunft über die mittleren Windverhältnisse.
 - Zu klären ist die relative Lage der Siedlung(en) zur Hauptwindrichtung.
 - Eine optimale Belüftung im Hinblick auf die mittleren Windrichtungen liegt vor, wenn der Siedlungsrand luvseitig zur Hauptwindrichtung möglichst offen gestaltet ist und die Siedlung hier von möglichst großen zusammenhängenden Freiflächen umgeben ist.
- Informationsquelle 1: Windrosendarstellungen der LUBW (Stärkewindrosen aus repräsentativen Messdaten, sonst. Synthetische Windrosen aus Modellrechnungen)
- Informationsquelle 2 (falls vorhanden): Windrosendarstellungen einer repräsentativen REKLIBO-Station (alle Messtage, alle Messstunden)

Leitfrage 6a:

Wo liegen bedeutende Hangabwind- und Talabwindssysteme und ihre Einzugsgebiete bei wind-schwachen Strahlungswetterlagen?

- Allgemeine Hinweise:
 - Räumliche Zusammenhänge sind über die eigene Gemarkungsfläche hinaus zu betrachten, um zu erkennen, ob weitere Kommunen von geplanten Bauvorhaben betroffen sein könnten.
 - Wichtig ist hier auch, das Zusammenwirken von Hang- und Talabwinden zu berücksichtigen.
- Informationsquelle 1: Landschaftsrahmenplan – Karte Zielkonzept für Schutzgut Klima und Luft
 - Luftaustauschsysteme
 - Kalt-/Frischlufitentstehungsgebiete
- Informationsquelle 2: Klimaanalysekarte aus REKLIBO

Leitfrage 7a:

Wo ist mit weiteren lokalen Windsystemen (Flurwinde, Land-See-Winde) zu rechnen, die eine positive Belüpfungsfunktion auf den betrachteten Raum oder benachbarte Räume haben?

- Allgemeine Hinweise:
 - Aufgrund der auftretenden Siedlungsgrößen und der dominierenden Wirkung des Reliefs ist in der Region Bodensee-Oberschwaben nicht mit dem Auftreten nennenswerter Flurwinde zu rechnen.
 - Land-See-Winde sind im Rahmen anderer Studien für den Bodensee mehrfach belegt worden (vgl. WELLER 2001). Diese lokalspezifischen Erkenntnisse sind bei der Beantwortung dieser Frage heranzuziehen.
 - Wegen der gewählten Modellansätze sind den REKLIBO-Karten keine Aussagen zur Wirkung von Land-See-Windsystemen zu entnehmen.

Leitfrage 8a:

Welches Fazit ergibt sich für den Gesamttraum im Hinblick auf Wärmebelastung, Durchlüftung und lokale Frischluftströme?

- Gehen aus dem Fazit klimakritische Standorte hervor, sind bei kommunalen Planungsvorhaben im betrachteten Raum der jeweilige Standort (Planungsraum) und benachbarte Siedlungsräume im Hinblick auf die gleichen Leitfragen, ggf. unter Einbeziehung weiterer Informationsquellen näher zu untersuchen (vgl. Kap. 6.2).

6.2 Standörtliche Betrachtung

Sind Teile des betrachteten Gebiets bei der gesamträumlichen Betrachtung als klimakritisch eingeordnet worden, so muss bei der Bewertung von Einzelstandorten im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung möglichst differenziert vorgegangen werden. Hierzu können die gleichen Leitfragen und häufig auch die gleichen Informationsquellen eingesetzt werden wie bei der gesamträumlichen Betrachtung.

Um unnötige Dopplungen zu vermeiden, wird bei der folgenden Auflistung auf eine wiederholende Angabe von allgemeinen Hinweisen und Informationsquellen verzichtet. Nur dort, wo zusätzliche Informationsquellen nötig oder hilfreich sind, werden entsprechende Angaben gemacht.

Bei der Auswertung der Quellen ist der Fokus jetzt auf den eigentlichen Standort (Planungsraum) und die angrenzenden Stadtgebiete zu richten.

Leitfragen zur standörtlichen Betrachtung

Hinweis:

Der nachfolgende Fragenkatalog befindet sich in digitaler Form auch auf der beigefügten DVD. Dort werden nähere Angaben gemacht, wo genau die jeweiligen Informationsquellen zu finden sind (DVD-Verzeichnisse, URLs).

Leitfrage 1b:

Welche klimarelevanten Festlegungen treffen Landschaftsrahmenplan (derzeit in Bearbeitung) und Regionalplan in Bezug auf den Planungsraum und benachbarte Siedlungsräume?

Leitfrage 2b:

Ist am Standort (im Planungsraum) oder in benachbarten Siedlungsräumen von einer besonders hohen Wärmebelastung auszugehen?

- Allgemeiner Hinweis:
 - Entscheidend für den Grad der Wärmebelastung sind die Lage innerhalb des Stadtgebiets und die Dichte der Bebauung. Mit zunehmender Zentrumsnähe und zunehmendem Versiegelungsgrad nehmen die Wärmeinseleffekte zu.
- Zusätzliche Informationsquelle 1: Allgemeine Ortskenntnis
- Zusätzliche Informationsquelle 2 (optional): Thermalkarte des Stadtgebiets

Leitfrage 3b:

Ist am Standort (im Planungsraum) oder in benachbarten Siedlungsräumen von besonders schlechten Durchlüftungsverhältnissen auszugehen?

- Zusätzliche Informationsquelle: REKLIBO-Klimaanalysekarte, Kaltluftstaubereiche

Leitfrage 4b:

Ist am Standort (im Planungsraum) oder in benachbarten Siedlungsräumen von besonders hohen Schadstoffkonzentrationen auszugehen?

- Zusätzliche Informationsquelle (optional): Messungen zur Schadstoffkonzentration bzw. Zählungen zum Verkehrsaufkommen.

Leitfrage 5b:

Wie werden der Standort (Planungsraum) und die benachbarten Siedlungsgebiete bei einer gleichmäßigen übergeordneten Strömung belüftet?

Leitfrage 6b:

Liegen der Standort (Planungsraum) oder benachbarte Siedlungsgebiete bei windschwachen Strahlungswetterlagen im Einflussbereich bedeutender Hangabwind- und Talabwindssysteme bzw. innerhalb ihrer Einzugsgebiete?

• Hinweise:

- Zur differenzierten Bewertung der Bedeutung von Hangabwind- bzw. Talabwindssystemen wird in Kapitel 6.2.1 ein Verfahren vorgestellt. Dabei sind die Leitfragen 6b.1 bis 6b.4 jeweils getrennt für Hangabwinde bzw. Talabwinde zu beantworten.

Leitfrage 6b.1:

Entsteht/kommt der Kaltluftstrom über Flächen ohne Emittenten von Luftschadstoffen, d.h. handelt es sich um einen Frischluftstrom?

Leitfrage 6b.2:

Welche Intensität bzw. Empfindlichkeit weist der Kaltluftstrom auf?

Leitfrage 6b.3:

Wie ist die Belüftungsfunktion des Kaltluftstroms einzuschätzen?

Leitfrage 6b.4:

Wie sind die vorhandenen Freiflächen im Kontext der auftretenden Windsysteme zu bewerten?

Leitfrage 7b:

Liegt der Standort (Planungsraum) oder benachbarte Siedlungsgebiete im Einflussbereich anderer lokaler Frischluftströme (Flurwinde, Land-See-Winde) bzw. innerhalb ihrer Einzugsgebiete?

Leitfrage 8b:

Welches Fazit ergibt sich für den Standort (Planungsraum) und die benachbarten Gebiete im Hinblick auf Wärmebelastung, Durchlüftung und die Wirkung lokaler Kaltluft- und Frischluftströme?

6.2.1 Bewertung der Bedeutung von Hangabwind- und Talabwindssystemen

Die Bewertung von Freiflächen im Einzugsgebiet und im Wirkungsraum von Hangabwinden bzw. Talabwinden ist komplex. Die im Folgenden vorgestellte Methode nutzt dazu die vorliegenden Kenntnisse aus REKLBO. Unter der Voraussetzung, dass überhaupt mit der Wirkung eines Kaltluftstroms zu rechnen ist, müssen zunächst drei Leitfragen zur Schadstoffbelastung, zur Intensität und Empfindlichkeit sowie zur Belüftungsfunktion des Kaltluftstroms beantwortet werden. Als Hilfe dienen ausführ-

liche Fragenkataloge. Die abschließende Bewertung im Sinne eines Planungshinweises erfolgt über einen „Bewertungsbaum“ (vgl. Abb. 18). Hangabwinde und Talabwinde sind aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften dabei getrennt zu betrachten.

Leitfragen zur Bewertung der Bedeutung von Hangabwind- und Talabwindssystemen

Hinweis:

Zur Beantwortung der nachfolgenden Leitfragen sind Fragenkataloge für Hangabwinde bzw. Talabwinde abzuarbeiten. Sie befinden sich in digitaler Form auf der beigefügten DVD im Unterordner (..\Klimafibel\Formulare\..). Dort werden nähere Angaben gemacht, wo genau die jeweiligen Informationsquellen zu finden sind (DVD-Verzeichnisse, URLs).

Leitfrage 6b.1:

Entsteht/kommt der Kaltluftstrom über Flächen ohne Emittenten von Luftschadstoffen, d.h. handelt es sich um einen Frischluftstrom?

- Allgemeine Hinweise
 - Kaltluftströme haben grundsätzlich eine kühlende Wirkung. Sie können jedoch nur dann eine positive lufthygienische Wirkung entfalten, wenn sie vergleichsweise unbelastete Luft heranzuführen.
 - Es ist deshalb zu entscheiden, ob der Kaltluftstrom als belastet oder unbelastet einzuordnen ist.
- Methode: Fragenkataloge für Hangabwinde bzw. Talabwinde, Teil 1
- Informationsquelle: Allgemeine Ortskenntnis, Ergebnisse aus Leitfrage 4a und 4b

Leitfrage 6b.2:

Welche Intensität bzw. Empfindlichkeit weist der Kaltluftstrom auf?

- Allgemeine Hinweise
 - Die Intensität von Kaltluftströmen hängt ab von der Größe der Einzugsgebiete sowie den Neigungsverhältnissen und Landnutzungsmustern im Einzugsgebiet.
 - Ferner ist von Bedeutung, ob im Bereich der Kaltluftströmung Strömungshindernisse (Gebäude, Bewuchs, Straßendämme, etc.) vorhanden sind.
 - Im Vergleich zu Talabwinden gelten Hangabwindssysteme als sehr empfindlich gegenüber flächenhafter Bebauung.
 - Die Empfindlichkeit eines Talabwindes gegenüber flächenhafter Bebauung hängt stark von seiner Intensität ab.
 - Intensive Talabwinde sind durchaus in der Lage, ganze Städte zu durchströmen. Es kann jedoch auch zu Situationen kommen, in denen Siedlungsgebiete von Talabwinden überströmt werden, ohne dass sich dies merkbar auf die bodennahen Windverhältnisse auswirkt.
- Methode: Fragenkatalog für Hangabwinde bzw. Talabwinde, Teil 2
- Informationsquellen: Klimaanalysekarte und weitere Modellergebnisse von REKLIBO

Leitfrage 6b.3:

Wie ist die Belüftungsfunktion des Kaltluftstroms einzuschätzen?

- Allgemeine Hinweise:
 - Entscheidend ist der Charakter ihrer Wirkungsräume und die Intensität und Dauer der Wirkung.
 - Siedlungsstrukturen (Straßen, Gebäude, Bewuchs) können über Größe, Ausrichtung und Verlauf das Eindringen des Kaltluftstroms begünstigen (Luftleitbahnen) und somit den Wirkungsraum vergrößern.
 - Je höher die Belastungssituation in den Wirkungsräumen und je mehr Menschen davon betroffen sind, umso höher ist die Belüftungsfunktion einzuschätzen.

- Spätere Veränderungen der Siedlungsausdehnung müssen ggf. mitbedacht werden. Beispiel: Ein Talabwind, der beim aktuellen Siedlungsmuster nicht auf eine Siedlung hin ausgerichtet ist, könnte bei einer entsprechenden Siedlungsausdehnung die neu geschaffenen Stadtteile belüften.
- Methode: Fragenkataloge für Hangabwind- und Talabwindssysteme, Teil 3
- Informationsquellen: Klimaanalysekarte und weitere Modellergebnisse von REKLIBO

Leitfrage 6b.4:

Wie sind die vorhandenen Freiflächen im Kontext der auftretenden Windsysteme zu bewerten?

- Methode: Bewertungsbaum
 - Aus der Beantwortung der Leitfragen 6b.1, 6b.2 und 6b.3 und dem in Abb. 18 dargestellten „Bewertungsbaum“ lässt sich die Bedeutung der Windsysteme bzw. die Bedenklichkeit einer potentiellen Nutzungsänderung grob abschätzen und eine Handlungsempfehlung ableiten.
 - Die Bewertung erfolgt dabei getrennt für die Zielbereiche Thermische Situation und Luftthygiene.

Fragenkatalog zur Einschätzung eines Hangabwindsystems

Allgemeiner Hinweis:

- Bewerten Sie die Stimmigkeit der einzelnen Aussagen (1 = „trifft nicht zu“, 3 = „trifft voll zu“).
- Bewerten Sie abschließend aus dem Gesamteindruck der Einzelbewertungen.

Teil 1: Schadstoffbelastung eines Hangabwindes	1	2	3
Im Einzugsgebiet des Hangabwindes liegen große Gewerbeflächen mit starken Emissionen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ortskenntnis, Landschaftsrahmenplan			
Im Einzugsgebiet des Hangabwindes liegen Straßen mit großem Verkehrsaufkommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ortskenntnis, Verkehrszählungen (falls vorhanden)			

Teil 2: Intensität bzw. Empfindlichkeit eines Hangabwindes	1	2	3
Der Hangabwind hat ein vergleichsweise großes Einzugsgebiet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Landschaftsrahmenplan, Klimaanalysekarte			
Die Freiflächenanteile im Einzugsgebiet des Hangabwindes sind hoch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Landschaftsrahmenplan, Klimaanalysekarte, Ortskenntnis			
Die Geländeneigungen im Einzugsgebiet des Hangabwindes sind hoch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Neigungskarte, Klimaanalysekarte, Ortskenntnis			
Die bodennah gemessenen/modellierten Geschwindigkeiten des Hangabwindes sind hoch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Klimaanalysekarte, Messdaten (falls vorhanden): Trifft nicht zu: 0-0,5 m/s, trifft voll zu: > 1 m/s			
Der gemessene/modellierte Hangabwind ist in der Vertikalen sehr mächtig und überragt das Dachniveau deutlich (um ein Vielfaches).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Karte der Kaltluftmächtigkeiten (nach 1h Modellzeit), Messdaten (falls vorhanden): < 20 m = trifft nicht zu, >40 m = trifft zu			
Der gemessene/modellierte Hangabwind dringt weit in die Siedlung ein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Klimaanalysekarte, Messdaten (falls vorhanden): < 100 m = trifft nicht zu, > 500 m = trifft voll zu			

Wenn hier viele Aussagen voll zutreffen, handelt es sich um einen intensiven Hangabwind mit relativ niedriger Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen. (Hinweis: Im Vergleich zu Talabwinden sind Hangabwindssysteme grundsätzlich als empfindlicher zu bewerten)

Teil 3: Belüftungsfunktion des Hangabwindes	1	2	3
Der gemessene/modellierte Hangabwind wirkt auf einen Siedlungsbereich, in dem viele Menschen wohnen bzw. arbeiten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Klimaanalysekarte, Ortskenntnis			
Der gemessene/modellierte Hangabwind wirkt auf Siedlungsteile mit relativ hoher Gefahr von Wärmebelastung (z.B. Siedlungszentrum).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ortskenntnis, Messdaten (falls vorhanden): Thermalkartierung			
Der gemessene/modellierte Hangabwind wirkt auf Siedlungsteile mit relativ hoher Gefahr von Schadstoffbelastung (z.B. Nähe zu Emittenten oder Hauptverkehrsstraßen).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ortskenntnis, Karten mit Emittenten, Straßenkarten, Messdaten (falls vorhanden)			
Der gemessene/modellierte Hangabwind setzt bereits früh am Abend ein.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Klimaanalysekarte, Messdaten (falls vorhanden): „früh“ = innerhalb der ersten Stunde nach Beginn der Simulation (bzw. Sonnenuntergang)			

Wenn hier viele Aussagen voll zutreffen, handelt es sich um einen Hangabwind mit hoher Belüftungsfunktion.

Fragenkatalog zur Einschätzung eines Talabwindsystems
--

Allgemeiner Hinweis:

- Bewerten Sie die Stimmigkeit der einzelnen Aussagen (1 = „trifft nicht zu“, 3 = „trifft voll zu“).
- Bewerten Sie abschließend aus dem Gesamteindruck der Einzelbewertungen.

Teil 1: Schadstoffbelastung eines Talabwindes	1	2	3
Im Einzugsgebiet des Talabwindes liegen große Gewerbeflächen mit starken Emissionen. Ortskenntnis, Landschaftsrahmenplan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Im Einzugsgebiet des Talabwindes liegen Straßen mit großem Verkehrsaufkommen. Ortskenntnis, Verkehrszählungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil 2: Intensität bzw. Empfindlichkeit eines Talabwindes	1	2	3
Der Talabwind hat ein vergleichsweise großes Einzugsgebiet. Landschaftsrahmenplan, Klimaanalysekarte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Freiflächenanteile im Einzugsgebiet des Talabwindes sind hoch. Landschaftsrahmenplan, Klimaanalysekarte, Ortskenntnis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Geländeneigungen im Einzugsgebiet des Talabwindes sind hoch. Neigungskarte, Klimaanalysekarte, Ortskenntnis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die modellierten Volumenströme des Talabwindes sind hoch. Klimaanalysekarte: keine Bergwindpfeile = trifft nicht zu, Volumenstrom > 60 = trifft voll zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der gemessene/modellierte Talabwind ist in der Vertikalen sehr mächtig und überragt das Dachniveau deutlich (um ein Vielfaches). Karte der Kaltluftmächtigkeiten (nach 2 h Modellzeit), Messdaten (falls vorhanden): < 20 m = trifft nicht zu, >40 m = trifft zu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der gemessene/modellierte Talabwind hält die ganze Nacht über an. Karten der Volumenströme (alle Zeitschnitte), Messdaten (falls vorhanden)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der gemessene/modellierte Talabwind durchströmt bzw. überströmt das gesamte Siedlungsgebiet. Klimaanalysekarte, Karten der Volumenströme (alle Zeitschnitte), Messdaten (falls vorhanden)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wenn hier viele Aussagen voll zutreffen, handelt es sich um einen intensiven Talabwind mit niedriger Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen.

Teil 3: Belüftungsfunktion des Talabwindes	1	2	3
Der gemessene/modellierte Talabwind wirkt auf einen größeren Siedlungsbereich, in dem viele Menschen wohnen bzw. arbeiten. Klimaanalysekarte, Ortskenntnis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der gemessene/modellierte Talabwind wirkt auf Siedlungsteile mit relativ hoher Gefahr von Wärmebelastung (z.B. das Siedlungszentrum). Ortskenntnis, Messdaten (falls vorhanden): Thermalkartierung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der gemessene/modellierte Talabwind wirkt auf Siedlungsteile mit relativ hoher Gefahr von Schadstoffbelastung (z.B. Nähe zu Emittenten oder Hauptverkehrsstraßen). Ortskenntnis, Karten mit Emittenten, Straßenkarten, Messdaten (falls vorhanden)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der gemessene/modellierte Talabwind setzt bereits früh am Abend ein und hält die ganze Nacht über an. Klimaanalysekarte, Karten der Volumenströme (alle Zeitschnitte); Messdaten (falls vorhanden) „Früh“ = innerhalb der ersten beiden Stunden nach Beginn der Simulation (bzw. Sonnenuntergang)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wenn hier viele Aussagen voll zutreffen, handelt es sich um einen Talabwind mit hoher Belüftungsfunktion.

Beispiele

Mit den beiden folgenden Grafiken soll das prinzipielle Vorgehen veranschaulicht werden. Im ersten Fall steht der Zielbereich Thermische Situation im Mittelpunkt. Beim zweiten Beispiel

werden Planungsempfehlungen im Hinblick auf die lufthygienische Situation abgeleitet.

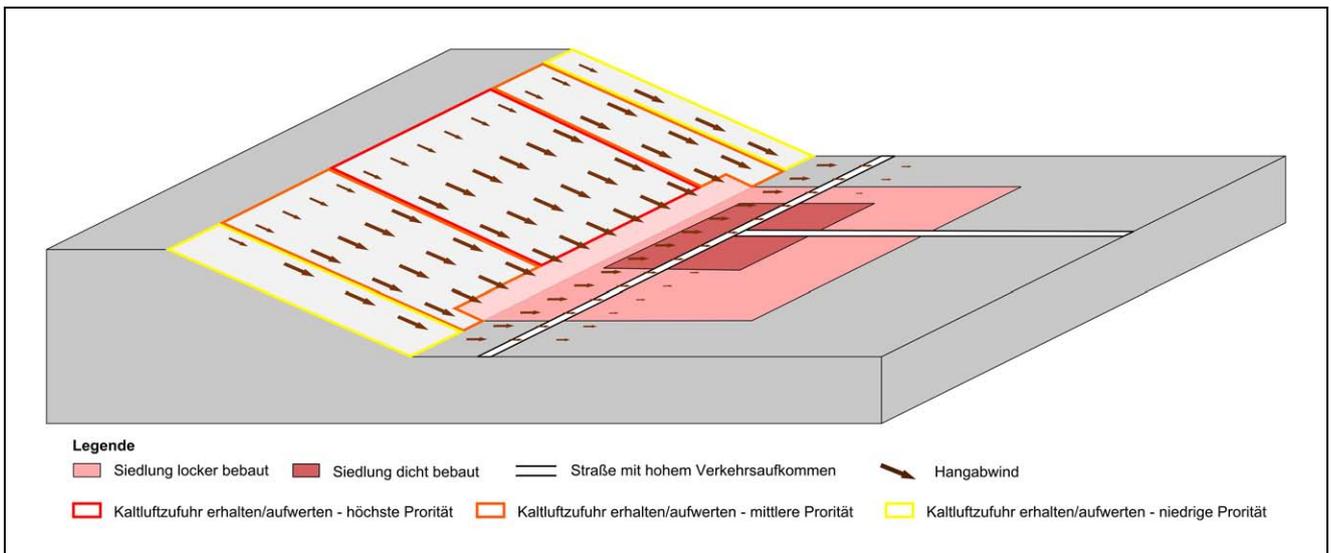


Abb. 19: Fall 1: In diesem Beispiel wird eine Siedlung betrachtet, die bei windschwachen Strahlungswetterlagen von einem nächtlichen Hangabwindssystem belüftet wird. Vor allem dort, wo die Hangabwinde besonders belastete Stadteile (Wärmebelastung durch Lage im Zentrum und hohe Bebauungsdichte, Schadstoffbelastung durch hohes Verkehrsaufkommen) belüften, ist die Kaltluftzufuhr unbedingt zu erhalten bzw. nach Möglichkeit sogar aufzuwerten (rot umrandeter Bereich). Dort, wo die Hangwinde keine Siedlungsgebiete belüften sind Eingriffe weniger kritisch zu bewerten (gelb umrandete Bereiche).

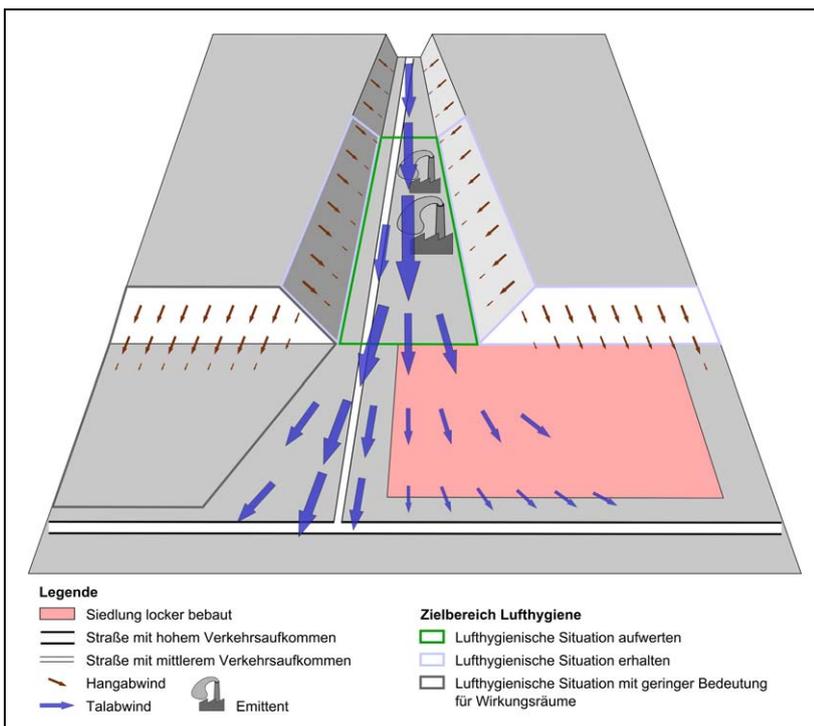


Abb. 20: Fall 2: In diesem Beispiel wird eine Siedlung betrachtet, die bei windschwachen Strahlungswetterlagen vor allem von einem nächtlichen Talabwind belüftet wird. Allerdings liegen im Einzugsgebiet dieses Kaltluftstroms bedeutende Emittenten, so dass mit der Kaltluft Schadstoffe in die Siedlung eindringen. Folgende Planungsempfehlungen zur Aufwertung der lufthygienischen Situation erscheinen sinnvoll: Vorschlag 1: Umsiedlung der Emittenten, Vorschlag 2: Umlenkung des Kaltluftstroms an der Siedlung vorbei beispielsweise durch gezielte Aufforstung.

6.2.2 Notwendigkeit von Detailuntersuchungen

Geht aus dem Fazit der standörtlichen Betrachtung nicht eindeutig hervor, dass eine geplante Nutzungsänderung im Hinblick auf die klimatisch-lufthygienische Situation unbedenklich ist, so werden Sondergutachten bzw. Detailuntersuchungen nötig. Im Rahmen solcher Gutachten sind konkrete Handlungsempfehlungen zu entwickeln, wie durch eine sinnvolle Gestaltung

des Bauvorhabens die negativen Auswirkungen auf das Lokalklima minimiert werden können. Kap. 6.3 gibt hier einen allgemeinen Überblick.

Wie mit vergleichsweise einfachen Messverfahren vorab differenziertere Aussagen möglich sind, wird in Band 3 des Wissenschaftlichen Abschlussberichts beschrieben.

6.3 Handlungsstrategien

Für eine überblicksartige Zusammenstellung möglicher Handlungsstrategien zum Erhalt bzw. zur Aufwertung der thermischen und lufthygienischen Situation kann auf Prinzipien und Formulierungen zurückgegriffen werden, die unter anderem in der Städtebaulichen Klimafibel (Innenministerium Baden-Württemberg, 2004) und im Abschlussbericht der Regionalen Klimaanalyse Südlicher Oberrhein (REKLISO, S. 89 ff) aufgelistet sind.

Mit einer positiven Wirkung von lokalen Windsystemen ist dort zu rechnen, wo die angezeigten Luftleitbahnen bzw. Kaltlufteinzugsgebiete weitestgehend frei von Emittenten sind. Diese positive Wirkung kann erhalten werden, wenn:

- auf den entsprechenden Flächen keine Emittenten angesiedelt werden
- durch das Freihalten der entsprechenden Flächen die Entstehungsgebiete der Kaltluft erhalten bleiben
- durch die Vermeidung von Strömungshindernissen die Luftbewegungen nicht gebremst werden
- durch eine offene Gestaltung der Ortsränder eine möglichst hohe Eindringtiefe in die Siedlungskörper hinein erreicht wird

Insbesondere gilt:

- Die Freihaltung breiter zusammenhängender Freiraumkorridore parallel zur Talachse fördert den Luftaustausch. Dies gilt besonders in Talräumen, in denen durch das Geländere relief eine starke räumliche Kanalisierung der bodennah fließenden Luftströmungen erfolgt.

- Quer zu den Kalt- und Frischluftströmen angeordnete, ungegliederte Siedlungskörper wirken auf diese stark bremsend.
- Ein vollständiges Zusammenwachsen von Siedlungsteilen und Ortslagen behindert den Luftaustausch ebenfalls.

Die Eindringtiefe der Frischluft in den Siedlungskörper wird positiv beeinflusst:

- durch eine Anordnung der Gebäudekörper und Straßenfluchten längs zu den Ausgleichströmungen
- durch Grünzüge innerhalb der Siedlungsflächen: Sie dienen als Belüftungsschneisen bzw. Luftleitbahnen
- wenn Gebäudehöhen und Bebauungsdichten an den Siedlungsrändern deutlich unter jenen der Siedlungskerne liegen

Ausführliche und mit Grafiken veranschaulichte Planungsempfehlungen für die kommunale Bauleitplanung findet man in Kapitel 6 der STÄDTEBAULICHEN KLIMAFIBEL, 2008.

Natürlich beziehen sich die dort genannten Hinweise auf eine möglichst optimale klimatische bzw. lufthygienische Situation. In bestimmten Fällen können sich jedoch durchaus Abwägungsprobleme ergeben. So wären etwa SO- bis SW-orientierte Hangbereiche aufgrund ihrer thermischen Gunst unter energetischen Gesichtspunkten (Nutzung der Sonnenenergie durch Photovoltaikanlagen) für eine Besiedlung besonders gut geeignet. Demgegenüber steht jedoch ihre wichtige Bedeutung als Kaltlieferanten. Bei einer baulichen Nutzung sind die dadurch entstehenden Konflikte durch eine sinnvolle Bauleitplanung zu minimieren.

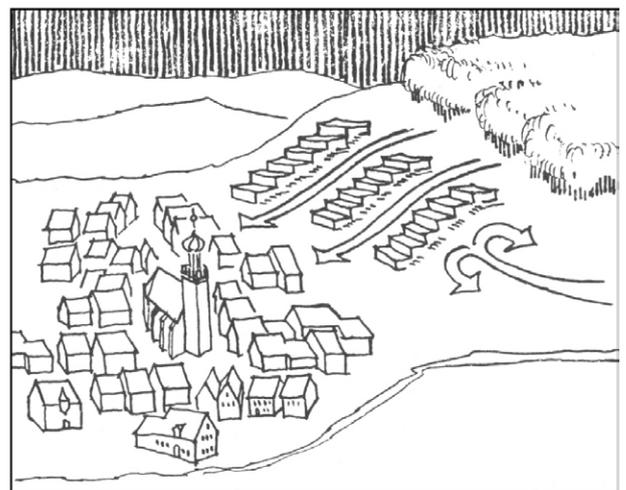
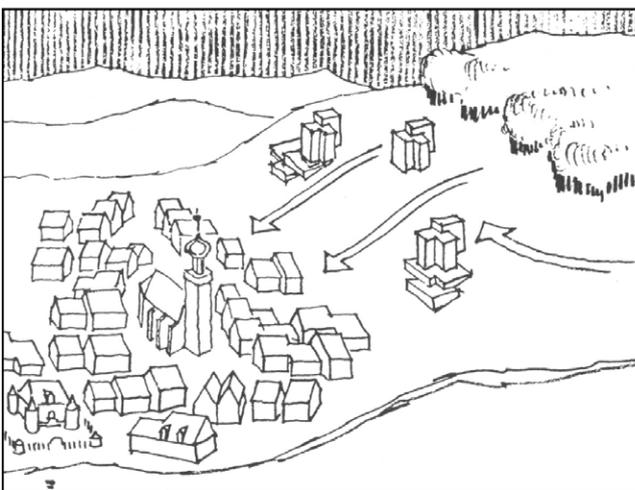
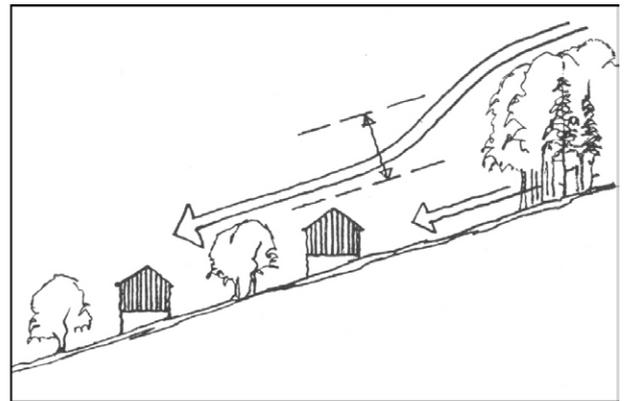
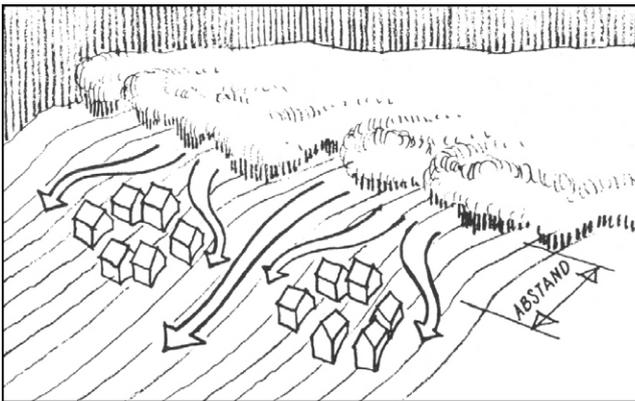


Abb. 21: Empfehlungen zur Bebauung von Hanglagen aus der STÄDTEBAULICHEN KLIMAFIBEL (2008) (a) Abstand von Waldrändern möglichst hoch halten, (b) die Gebäudehöhe sollte die Höhe bestehender Hindernisse nicht überschreiten, (c) punktförmige Bebauung anstreben, (d) Gebäude längs zur Richtung der Hangwinde ausrichten, dabei allerdings auch andere dominierende Windrichtungen beachten, insbesondere Richtung von Talabwinden.

6.4 Fiktives Anwendungsbeispiel

Die Anwendbarkeit des beschriebenen Verfahrens wurde in einem Praxistest untersucht. Dabei kamen verschiedene Bearbeiter bei der Bewertung klimakritischer Gebiete durch Abarbeitung der genannten Schritte zu plausiblen und sehr ähnlichen Ergebnissen. Das Verfahren scheint deshalb gut geeignet, den genannten Anforderungen gerecht zu werden und eine differenzierte Bewertung der REKLIBO-Ergebnisse insbesondere im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung zu ermöglichen.

Im Folgenden wird das Verfahren an einem fiktiven Fallbeispiel konkretisiert. Betrachtet wird hierzu eine relativ große Siedlung, die am

Rande einer schlecht durchlüfteten Beckenlandschaft und gleichzeitig am Ausgang eines Tals liegen soll. Es wird angenommen, dass die umgebenden Hänge nur sehr kleine Einzugsgebiete haben. Der eigentliche Planungsraum liegt am Siedlungsrand im Bereich des Talausgangs (vgl. Abb. 22).

Aus Messungen und Modellrechnungen geht hervor, dass am Talausgang mit dem Auftreten eines nächtlichen Talabwindes zu rechnen ist, der beim aktuellen Landnutzungsmuster die Siedlung belüftet, gleichzeitig aber auch dazu beiträgt, dass sich im vorgelagerten Becken ein regional bedeutsamer Kaltluftstrom

ausbilden kann. Die Hangabwinde sind hingegen schwächer ausgeprägt und wirken lediglich in den frühen Abendstunden. Die in Form eines Steckbriefs zusammengefassten Bewertungsergebnisse dieses fiktiven Beispiels sind

der folgenden Seite zu entnehmen. Die dieser Bewertung zugrunde liegenden Antworten auf die einzelnen Leitfragen sind den Dokumenten auf der beigefügten DVD zu entnehmen.

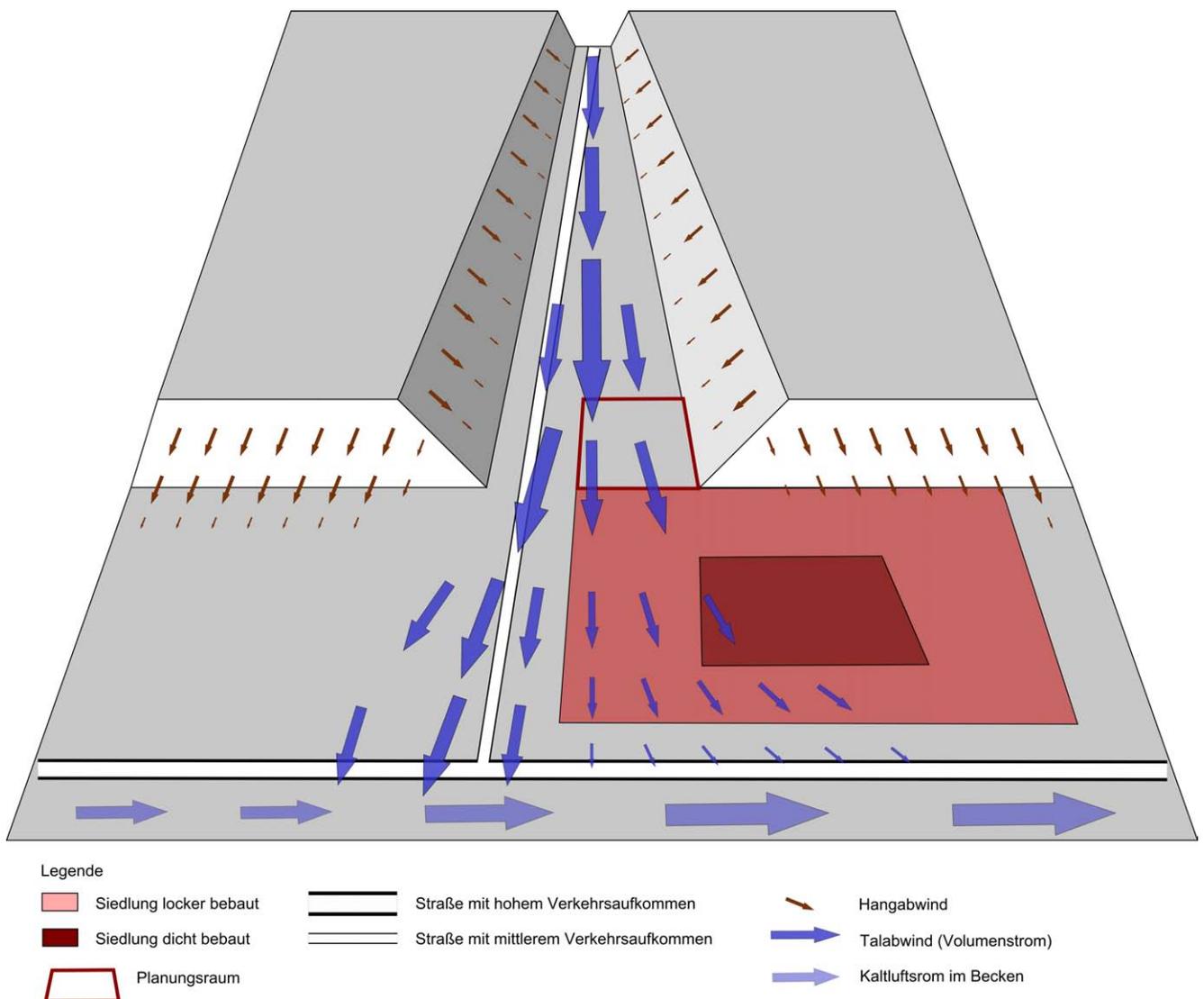


Abb. 22: Fiktives Anwendungsbeispiel: Siedlung am Rande einer Beckenlandschaft und gleichzeitig am Ausgang eines Tals. Die umgebenden Hänge haben nur kleine Kaltlufteinzugsgebiete. Der eigentliche Planungsraum liegt am Siedlungsrand im Bereich des Talausgangs.

Standort-Steckbrief "Klima und Luft" für die Bauleitplanung (fiktives Beispiel):

Stadt/Gemeinde: Windingen

Gemarkung: Windingen

Planungsvorhaben: Bebauungsplan

Standort: Alte Mühle

1. Fazit zur gesamträumlichen Betrachtung

- *Der Gesamtraum ist eine Beckenlandschaft mit schlechten Durchlüftungsverhältnissen und vergleichsweise hoher Wärmebelastung.*
- *Große Einzel-Emittenten fehlen. Die Hauptquelle für Luftschadstoffe stellt der Straßenverkehr dar. Die größten Belastungen sind entlang der Bundesstraßen zu erwarten.*
- *Bei windschwachen Strahlungswetterlagen wird das Becken belüftet durch das Zusammenspiel von Hangabwinden und Talabwinden, die eng miteinander verzahnt sind. So entsteht etwa ein Kaltluftstrom im Becken durch den Zufluss der Kaltluft von den Hängen und aus den Tälern.*
- *Kaltluftströmen, denen auf den ersten Blick keine Wirkung auf Siedlungsräume zugewiesen werden kann, können also indirekt doch zur Belüftung von Siedlungen beitragen.*
- *Eine standörtliche Betrachtung ist für Planungsvorhaben in diesem Raum unerlässlich.*

2. Fazit zur standörtlichen Betrachtung

- *Durch die großräumige Beckenlage ist mit hoher Wärmebelastung und schlechter Durchlüftungssituation zu rechnen.*
- *Auf den Planungsraum wirkt bei windschwachen Strahlungswetterlagen ein schwaches Hangabwindssystem, dem jedoch nur eine mittlere Belüftungsfunktion zugewiesen werden kann.*
- *Für die Belüftung des Planungsraums und der angrenzenden Siedlungsgebiete von deutlich größerer Bedeutung ist ein Talabwindssystem, dessen Kaltluft über vorhandenen Freiflächen im Einzugsgebiet des Tals entsteht. Große Einzel-Emittenten fehlen hierbei, es handelt sich dadurch um einen Frischluftstrom.*
- *Der Planungsraum am Siedlungsrand hat für den Talabwind eine lenkende Funktion. Beim aktuellen räumlichen Siedlungsmuster werden Teile des Talabwindes an der Siedlung vorbei gelenkt.*
- *Die Intensität des Talabwindes nimmt beim Durchströmen der Siedlung ab. Trotz relativ großer Volumenströme ist also eine Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsveränderungen vorhanden.*
- *Der Erhalt des Talabwindes sollte höchste Priorität haben.*
- *Bei einer Bebauung des Areals ist eine vertiefende Untersuchung in Form eines detaillierten Gutachtens deshalb unbedingt erforderlich.*

3. Handlungsempfehlungen

- *Auf vorhandenen Freiflächen im Einzugsgebiet des Talabwindes sowie im Planungsraum selbst sollten keine Emittenten angesiedelt werden, um den Frischluftstrom aus dem Tal zu erhalten.*
- *Durch das Freihalten dieser Flächen sollen die Kaltluftentstehungsgebiete erhalten werden. Zusätzliche Strömungshindernisse sollten vermieden werden.*
- *Eine offene Gestaltung der Siedlungsränder sollte angestrebt werden, um eine hohen Eindringtiefe der Luftleitbahn zu erreichen.*
- *Ebenso sollte ein Freiraumkorridor im betreffenden Tal freigehalten werden, um den Talabwind nicht frühzeitig abzubremsen oder zu unterbrechen.*
- *Ein baukörperlicher Aufriss quer zu den Luftströmen sollte vermieden werden.*
- *Gebäudekörper und Straßenfluchten sollten möglichst längs zu den Luftströmen des Talabwindes angelegt werden.*
- *Gebäudehöhen und Bebauungsdichte im Planungsraum sollte möglichst unterhalb der Werte des Siedlungskernes liegen.*

Datum

Bearbeiter

7 Schlussbemerkung und Ausblick

Die umfangreichen Ergebnisse der Regionalen Klimaanalyse für die Region Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO) stellen eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die räumliche Planung dar, um in klimatischer Hinsicht günstige Lebensbedingungen in der Region dauerhaft zu sichern.

Der Landschaftsrahmenplan Bodensee-Oberschwaben (derzeit in Bearbeitung) kann im Themenbereich Klima und Luft auf diese Ergebnisse zurückgreifen. Die aus dem Zielkonzept und dem Leitbild des Landschaftsrahmenplans abgeleiteten Handlungsansätze sind auch Grundlage für das Kapitel Regionale Freiraumstruktur im Regionalplan. Zur Integration der Ziele für Klima und Luft dienen hier vor allem die Regionalen Grünzüge und Grünzäsuren.

Auch innerhalb der kommunalen Planung wurden die Ergebnisse von REKLIBO bereits verwendet. So wurde für den Gemeindeverband Mittleres Schussental 2009 eine Detailuntersuchung durchgeführt, die auf den zuvor gewonnen Erkenntnissen und Erfahrungen aufsetzt und in wesentlich größerem Maßstab thermische Belastungssituationen und lokale Luftaustauschprozesse unter die Lupe nimmt (Abschlussbericht derzeit in Bearbeitung).

Mit der hier vorliegenden Klimafibel werden im Wesentlichen zwei Hauptziele verfolgt. Zum einen sollen die Ergebnisse von REKLIBO einer breiten Öffentlichkeit in möglichst kompakter Form zugänglich gemacht werden (Kap. 1-4). Zum anderen soll den Fachleuten auf der regionalen und kommunalen Planungsebene, wie z.B. Ortsbaumeistern, Stadtplanern, Landschaftsplanern und Regionalplanern eine Anleitung an die Hand gegeben werden, wie die umfangreichen Ergebnisse möglichst gewinnbringend ausgewertet und bewertet werden können (vgl. Kap. 5 und 6).

Unter der Annahme eines sich fortsetzenden Klimawandels ist davon auszugehen, dass die bereits jetzt in der Region Bodensee-Oberschwaben auftretenden Belastungssituationen, insbesondere die sommerliche Wärmebelastung, in den kommenden Jahrzehnten eher noch zunehmen werden. Dabei werden die auftretenden räumlichen Muster im Prinzip jedoch gleich bleiben. Ebendiese räumlichen Muster wurden im Rahmen von REKLIBO flächenhaft hergeleitet.

Jedoch können in Zukunft durch markante Nutzungsänderungen neue klimatisch-lufthygienische Belastungsräume entstehen - vermutlich auf einem insgesamt höheren thermischen Belastungsniveau. Klimatische Ausgleichsprozesse wie nächtliche Kaltluftströme erlangen dann eine noch größere Bedeutung.

Insofern wird auch die Bedeutung der Ergebnisse von REKLIBO für die räumliche Planung in den kommenden Jahren eher noch zunehmen. Es wird verstärkt darauf ankommen, die Handlungsmöglichkeiten der räumlichen Planung sinnvoll auszuschöpfen, um eine klimatologisch verträgliche räumliche Steuerung der weiteren Siedlungsentwicklung zu erreichen.

Es darf jedoch nicht erwartet werden, dass mit den jetzt vorliegenden Ergebnissen alle bestehenden oder künftigen klimatischen (und lufthygienischen) Einzelprobleme unmittelbar lösbar wären. In klimakritischen Bereichen werden gegebenenfalls zusätzlich vertiefende Untersuchungen in Form von Detailgutachten durchgeführt werden müssen.

8 Literatur

- Bendix, J. (2004): Geländeklimatologie. – Berlin, Stuttgart.
- Gossmann, H. (1988): Die Atmosphäre. Physikalische Grundlagen, Wetterabläufe und Planetarische Zirkulation. – In: Nolzen, H. (Hrsg.): Handbuch des Geographie-Unterrichts, Bd 10/1: Physische Geofaktoren. – Köln.
- Häckel, H. (1999): Meteorologie. 4. Auflage. – Stuttgart.
- Klimaatlas Baden-Württemberg (2006): Hrsg.: LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz. – Mannheim.
- Klimaatlas Region Stuttgart (2008): Hrsg.: Verband Region Stuttgart. = Schriftenreihe Verband Region Stuttgart, Nummer 26.
- Leibnitz-Institut für Länderkunde (Hrsg.) (2003): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Klima, Pflanzen- und Tierwelt. – Heidelberg, Berlin.
- LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (Hrsg.) (2006): Klimaatlas Baden-Württemberg, CD-ROM. – Mannheim. Online-Version: www.lubw.baden-wuerttemberg.de
- LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (Hrsg.) (2009): Daten- und Kartendienst der LUBW. (www.lubw.baden-wuerttemberg.de, Zugriff: 10.01.2009)
- Meynen, E. & J. Schmithüsen (Hrsg.) (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands 1953-62. – Bad Godesberg.
- Nationalatlas der Bundesrepublik Deutschland (2003): Klima, Pflanzen- und Tierwelt. Hrsg.: Leibnitz-Institut für Länderkunde. - Heidelberg, Berlin.
- Regionalverband Südlicher Oberrhein (Hrsg.) (2006): Regionale Klimaanalyse Südlicher Oberrhein (REKLISO) – Freiburg.
- Regionalverband Südlicher Oberrhein (Hrsg.) (2006): Regionale Klimaanalyse Südlicher Oberrhein - Wissenschaftlicher Abschlussbericht auf Begleit-CD. – Freiburg.
- Schönwiese, C.-D. (2003): Klimatologie. 2. Auflage. – Stuttgart.
- Sievers, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Theoretische Grundlagen, Anwendung und Handhabung des PC-Modells. = Berichte des DWD, H. 227. – Offenbach.
- Städtebauliche Klimafibel (2008): Aktualisierte Online-Version der gedruckten Fassung - (www.staedtebauliche-klimafibel.de, 12.8.2010)
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2009): Landesinformationssystem, <http://www.statistik-bw.de>, Zugriff: 22.06.2009
- Stock, M. & Gerstengarbe, F.-W. (2005): KLA-RA: Klimawandel - Auswirkungen, Risiken, Anpassung. – Potsdam, – PIK Report No. 99.
- Verband Region Stuttgart (2008): Klimaatlas Region Stuttgart. = Schriftenreihe Verband Region Stuttgart, Nummer 26.
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (1997): Umweltmeteorologie; Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. = VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1. – Düsseldorf.
- WAB (2009): Wissenschaftlicher Abschlussbericht der Regionalen Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLBO). Band 1 – 3. Hrsg.: Regionalverband Bodensee-Oberschwaben, Landkreise Bodenseekreis, Ravensburg, Sigmaringen. Bearbeitung: Schwab, A. und Zachenbacher, D. Online-Version (www.rvbo.de Rubrik Projekte).
- Walther, H. M. (1999): Einfluss der thermischen Bedingungen auf die tägliche Mortalität in Baden-Württemberg. Institut für Meteorologie und Klimaforschung Universität Karlsruhe (TH) Forschungszentrum Karlsruhe.
- Weller, Friedrich (2001): Vermindert der Bodensee die Frostgefahr in seinem Umland? – In: Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, Heft 119, 2001.
- Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (2004): Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung. Aktualisierte Online-Version der gedruckten Fassung (www.staedtebauliche-klimafibel.de, 12.8.2010)

Anhang

Der Klimafibel für die Region Bodensee-Oberschwaben ist eine DVD mit folgenden Inhalten beigelegt:

Unterordner ..Klimafibel

..Klimafibel\Formulare

Fragenkataloge zur Bewertung der klimatisch-lufthygienischen Situation als editierbare Word-Dokumente und der Bewertungsbaum als pdf-Dokument.

- (1) Leitfragen Gesamträumliche Betrachtung.doc
- (2) Leitfragen Standörtliche Betrachtung.doc
- (2a) Fragenkatalog Hangabwind.doc
- (2b) Fragenkatalog Talabwind.doc
- (2c) Bewertungsbaum Kaltluftstrom.pdf
- (3) Steckbrief (Fazit).doc

..Klimafibel\Anwendungsbeispiel

Vollständig ausgefüllte Formulare für das in Kapitel 6.4 vorgestellte fiktive Anwendungsbeispiel.

- (1) Leitfragen Gesamträumliche Betrachtung Anwendungsbeispiel.pdf
- (2) Leitfragen Standörtliche Betrachtung Anwendungsbeispiel.pdf
- (2a) Fragenkatalog Hangabwind Anwendungsbeispiel.pdf
- (2b) Fragenkatalog Talabwind Anwendungsbeispiel.pdf
- (3) Steckbrief (Fazit) Anwendungsbeispiel.pdf

..Klimafibel\Geodaten_Karten

Ergebnisse der Modellrechnungen mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21 des DWD. Die Ergebnisse liegen vor als Karten mit Legende (pdf-Format) sowie zur Nutzung im GIS als georeferenzierte TIFF-Bilder.

Die Daten bzw. Karten sind nötig, wenn in konkreten Planungsvorhaben das vorgestellte Verfahren angewandt wird. Sie sind in folgenden Unterordnern abgelegt:

..Klimafibel\Geodaten_Karten\Kaltluftgeschwindigkeiten_bodennah

Die modellierten Geschwindigkeiten der Kaltluft in 2 m über Grund (Einheit: m/s):

[_Kaltluftgeschwindigkeiten_bodennah.pdf](#)

- alle Zeitschnitte als Karten in DIN A3 in einer Datei
- geeignet, um sich einen Überblick über die zeitliche Entwicklung im Gesamttraum zu machen
[wv_2m_h01.tif, wv_2m_h02.tif,, wv_2m_h12.tif](#)
- georeferenzierte TIFFs zur Integration in ein GIS
- zur gewählten Klassifizierung vergleiche Kartenlegende im pdf-Dokument

..Klimafibel\Geodaten_Karten\Kaltluftmächtigkeiten

Die modellierten Kaltluftmächtigkeiten (Einheit: m):

[_Kaltluftmächtigkeiten.pdf](#)

- alle Zeitschnitte als Karten in DIN A3 in einer Datei
- geeignet, um sich einen Überblick über die zeitliche Entwicklung im Gesamttraum zu machen
[hkl_h01.tif, hkl_h02.tif,, hkl_h12.tif](#)
- georeferenzierte TIFFs zur Integration in ein GIS
- zur gewählten Klassifizierung vergleiche Kartenlegende im pdf-Dokument

..Klimafibel\Geodaten_Karten\Kaltluftvolumenstroeme

Die modellierten Kaltluftvolumenströme (Einheit: m³/(ms)):

[_Volumenströme.pdf](#)

- alle Zeitschnitte als Karten in DIN A3 in einer Datei
- geeignet, um sich einen Überblick über die zeitliche Entwicklung im Gesamttraum zu machen
[volstrom_h01.tif](#), [volstrom_h02.tif](#),, [volstrom_h12.tif](#)
- georeferenzierte TIFFs zur Integration in ein GIS
- zur gewählten Klassifizierung vergleiche Kartenlegende im pdf-Dokument

..\Klimafibel\Geodaten_Karten\Klimaanalysekarten

Klimaanalysekarte als zusammenfassende Darstellung der Modellrechnungen

[_Klimaanalysekarte_Blatt_Nord.pdf](#), [*_Ost.pdf](#), [*_Sued.pdf](#)

- Drei Kartenblätter mit Legende zur Abdeckung der Gesamtregion im Maßstab 1:50.000

[Klimaanalysekarte_Blatt_Nord.tif](#), [*_Ost.tif](#), [*_Sued.tif](#)

- georeferenzierte TIFFs zur Integration in ein GIS
- zur gewählten Klassifizierung vergleiche Kartenlegende im pdf-Dokument

[Klimaanalyse_A3-Teilkarten_Blattschnitte.pdf](#)

- Zum schnellen Auffinden der für den Betrachtungsraum relevanten Kartenblätter.

[Klimaanalysekarte30_50_3465605_5233915.pdf](#), ...

- Teilkarten im DIN A3-Format in den Maßstäben 1:50.000 bzw. 1:100.000
- Abgelegt in den Unterverzeichnissen [..\Teilkarten_M50](#) und [..\Teilkarten_M100](#)

..\Klimafibel\Messstationen_Grafiken

[_Lage_REKLIBO_Messstationen.pdf](#)

- Überblickskarte über die Standorte der REKLIBO-Messstationen
[Windrosen_Gehrenberg.pdf](#), [Windrosen_Raderach.pdf](#),
- Windrosendarstellungen der Ergebnisse aller REKLIBO-Messstationen

..\Klimafibel\Infoheft 11

[Infoheft 11 Klimafibel.pdf](#)

- Vorliegende Klimafibel im pdf-Format

Unterordner ..\Wissenschaftlicher Abschlussbericht

..\Wissenschaftlicher Abschlussbericht

[REKLIBO_Abschlussbericht_Band_1.pdf](#), [*_Band_2.pdf](#), [*_Band_3.pdf](#)

- Wissenschaftlicher Abschlussbericht der Regionalen Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben in drei Bänden

[REKLIBO_Klimaatlas.pdf](#)

- Klimaatlas der Regionalen Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben mit Karten im DIN A3-Format

Nachfolgende Hefte sind in der Reihe „Informationen“ bereits erschienen und können schriftlich, telefonisch oder per E-Mail beim Regionalverband Bodensee-Oberschwaben angefordert werden (Anschrift s. Impressum). INFO-HEFTE, die ab dem Jahr 2003 erschienen sind, können auch als PDF-Dokument von der Homepage des Regionalverbandes (www.rvbo.de) heruntergeladen werden.

Aus der Reihe INFO-HEFTE sind erschienen:

1999	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 1: 25 Jahre Regionalplanung in Bodensee-Oberschwaben
2000	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 2: Pendlerverkehr in Bodensee-Oberschwaben
2001	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 3: Bevölkerungsentwicklung von 1900 bis 2000 in der Region Bodensee-Oberschwaben
2003	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 4: Synergie-Effekte durch Kooperationen; in Zusammenarbeit mit kommunalen und staatlichen Partnern im Bereich EDV / GIS
2003	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 5: Bevölkerungsprognosen für die Region Bodensee-Oberschwaben
2004	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 6: Verkehr in der Region Bodensee-Oberschwaben; Kraftfahrzeugbestand, Ausgewählte Straßenverkehrszählungen, Pendlerverkehr (vergriffen)
2005	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 7: Rankings und Online-Erhebungen. Die Region Bodensee-Oberschwaben im bundesdeutschen Vergleich
2005	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 8: Regenerative Energien in der Region Bodensee-Oberschwaben
2006	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 9: Entwicklung des Fachkräftenachwuchses in der Region Bodensee-Oberschwaben; in Zusammenarbeit mit der Industrie- und Handelskammer Bodensee-Oberschwaben
2008	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 10: Energieholz in der Region Bodensee-Oberschwaben und im Landkreis Biberach; in Zusammenarbeit mit dem Regionalverband Donau-Iller
2010	Regionalverband Bodensee-Oberschwaben	No. 11: Klimafibel Ergebnisse der Klimaanalyse für die Region Bodensee-Oberschwaben und ihre Anwendung in der regionalen und kommunalen Planung; in Zusammenarbeit mit den Landkreisen Bodenseekreis, Ravensburg, Sigmaringen und der Pädagogischen Hochschule Weingarten