Regionalverband
Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

REKLIBO

Wissenschaftlicher Abschlussbericht - Band 3

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben
Pädagogische Hochschule Weingarten
LANDKREIS BODENSEEKREIS
LANDKREIS RAVENSBURG
LANDKREIS SIGMARINGEN

Regionalverband
Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

REKLIBO

Wissenschaftlicher Abschlussbericht - Band 3

Wissenschaftliche Bearbeitung:

Prof. Dr. Andreas Schwab und Denis Zachenbacher
Pädagogische Hochschule Weingarten,
Kirchplatz 2, 88250 Weingarten

Erstellt im Auftrag des Regionalverbandes
Bodensee-Oberschwaben und der Landkreise
Bodenseekreis, Ravensburg und Sigmaringen

04.12.2009

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben
Pädagogische Hochschule Weingarten
Landkreis Bodenseekreis
Landkreis Ravensburg
Landkreis Sigmaringen

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Regionale Klimaanalyse in der Region Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO) 2

2.1 Fragestellungen 2
2.2 Konzeption 3
2.3 Datenrechte 3

3 Grundlagen des Messprogramms 4

3.1 Allgemeines Konzept 4

3.2 Verwendete Messmethoden und Darstellungsarten 4
3.2.1 Vorbemerkungen 4
3.2.2 Betrieb einfacher Funkwetterstationen 4
3.2.3 Durchführung von Handmessungen 10
3.2.4 Durchführung der Vertikalsondierungen 12
3.2.5 Durchführung von Temperaturmessfahrten 16

3.3 Statistische Auswertung der Daten 19

3.4 Lage der Untersuchungsgebiete 20

4 Ergebnisse in den Untersuchungsräumen 21

4.1 Untersuchungsgebiet „Überlingen“ 21
4.1.1 Beschreibung des Untersuchungsraums 21
4.1.2 Fragestellungen 22
4.1.3 Messverfahren und Messstandorte 23
4.1.4 Beschreibung der Messergebnisse 26
4.1.5 Interpretation der Messergebnisse 42
4.1.6 Fazit 44
4.1.7 Vergleich mit den Modellrechnungen 45

4.2 Untersuchungsgebiet „Salemer Becken“ 50
4.2.1 Beschreibung des Untersuchungsraums 50
4.2.2 Fragestellungen 51
4.2.3 Messverfahren und Messstandorte 52
4.2.4 Beschreibung der Messergebnisse 56
4.2.5 Interpretation der Messergebnisse 72
4.2.6 Fazit 74
4.2.7 Vergleich mit den Modellergebnissen 75

4.3 Untersuchungsgebiet „Gehrenberg-Friedrichshafen“ 80
4.3.1 Beschreibung des Untersuchungsraums 80
4.3.2 Fragestellungen 81
4.3.3 Messverfahren und Messstandorte 82
4.3.4 Beschreibung der Messergebnisse 87
4.3.5 Interpretation der Messergebnisse 120
4.3.6 Fazit 122
4.3.7 Vergleich mit den Modellrechnungen 123

4.4 Untersuchungsraum „Argental“ 128
4.4.1 Beschreibung des Untersuchungsraumes 128
4.4.2 Fragestellungen 129
4.4.3 Messverfahren und Messstandorte 130
4.4.4 Beschreibung der Messergebnisse 133
4.4.5 Interpretation der Messergebnisse 152
4.4.6 Fazit 154
4.4.7 Vergleich mit den Modellergebnissen 155

4.5 Untersuchungsgebiet „Meckenbeuren-Tettnang“ 160
4.5.1 Beschreibung des Untersuchungsraums 160
4.5.2 Fragestellungen 161
4.5.3 Messverfahren und Messstandorte 162
4.5.4 Beschreibung der Messergebnisse 166
4.5.5 Interpretation der Messergebnisse 195
4.5.6 Fazit 196
4.5.7 Vergleich mit den Modellergebnissen 197

4.6 Untersuchungsgebiet „Sigmaringen“ 202
4.6.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes 202
4.6.2 Fragestellungen 203
4.6.3 Messverfahren und Messstandorte 204
4.6.4 Beschreibung der Messergebnisse 208
4.6.5 Interpretation der Messergebnisse 229
4.6.6 Fazit 231
4.6.7 Vergleich mit den Ergebnissen der Modellrechnungen 232

4.7 Untersuchungsgebiet „Mittleres Schussenbecken“ 237
4.7.1 Beschreibung des Untersuchungsraums 237
4.7.2 Fragestellungen 239
4.7.3 Messverfahren und Messstandorte 240
4.7.4 Beschreibung der Messergebnisse 250
4.7.5 Interpretation der Messergebnisse 322
4.7.6 Fazit 325
4.7.7 Vergleich mit den Modelldaten 326

5 Zusammenfassung und Fazit 331

6 Literatur 334

1 Einleitung

Die Studie „Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO)“ wurde im Auftrag des Regionalverbandes Bodensee-Oberschwaben und der Landkreise Sigmaringen, Ravensburg und Bodenseekreis erstellt. Die wissenschaftliche Bearbeitung erfolgte durch Prof. Dr. Andreas Schwab und Denis Zachenbacher aus dem Fachbereich Geographie der Pädagogischen Hochschule Weingarten.

Die Erstellung der Studie erfolgte in enger Kooperation und regelmäßiger Absprache von Auftraggeber und Auftragnehmer. Die zur Anwendung gekommenen Methoden, die dargestellten Inhalte und die Form der Ergebnisaufbereitung wurden im Rahmen regelmäßiger Arbeitstreffen ausführlich diskutiert und gemeinsam festgelegt. Der vorliegende Bericht dokumentiert die verwendeten Daten und Methoden sowie die damit erzielten Ergebnisse. Er ist in drei Bände unterteilt.

In Band 1 wird zunächst dargestellt, welche Rolle Klima und Lufthygiene in der räumlichen Planung spielen. Die anschließende Beschreibung des Untersuchungsraumes umfasst Aussagen zur naturräumlichen Gliederung, zu Geologie und Relief sowie zur Landnutzung. Sie wird abgeschlossen durch eine ausführliche klimatische Einordnung des Raumes. Hierzu wurde in erster Linie auf die Karten des Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2006) zurückgegriffen. Aus dieser klimatischen Einordnung, insbesondere aus den Karten zur Wärmebelastung und zu den Durchlüftungsverhältnissen in der Region ergeben sich zahlreiche Fragestellungen, denen im Rahmen von REKLIBO nachgegangen wurde. Eine kurze Beschreibung der dabei zugrunde liegenden Konzeption schließt den ersten Band ab.

Im Mittelpunkt von Band 2 steht die Erstellung von Klimaanalysekarten für die Region Bodensee-Oberschwaben. Zunächst werden dazu die methodischen Ansätze ausführlich dargelegt. Im anschließenden Kartenteil werden Grundlagenkarten, Ergebniskarten und Analysekarten näher beschrieben und interpretiert. Zur Überprüfung der Modellergebnisse wurde ein umfangreiches Messprogramm durchgeführt.

Der hier vorliegende Band 3 stellt die dabei zur Anwendung gekommenen Messkonzepte vor und geht anschließend ausführlich auf die Messergebnisse ein. Die Messungen fanden in sieben Teilräumen statt, die so gewählt wurden, dass sie als exemplarisch für bestimmte Landschaftstypen in der Region Bodensee-Oberschwaben gelten können. Aus den entsprechenden Reliefverhältnissen und dem räumlichen Muster der Landnutzungen ergaben sich spezifische Fragestellungen, die unterschiedliche Messkonzepte erforderlich machten. Die Beschreibung und Interpretation der Messergebnisse ist deshalb nach diesen Teilräumen gegliedert und schließt jeweils mit einem Vergleich mit den Modellergebnissen ab.

Anwendungsbereich der regionalen Klimaanalyse

Die Ergebnisse der regionalen Klimaanalyse stellen eine wichtige Bewertungsgrundlage für den Landschaftsrahmen- und Regionalplan (Regionale Grünzüge und Grünzäsuren) sowie die kommunale Bauleitplanung (Landschaftsplan) dar. Für die Bewertung von Einzelbauvorhaben sind die in den Karten dargestellten Ergebnisse aufgrund des Zielmaßstabs (1 : 50.000 und kleiner) nicht geeignet. Die korrekte Interpretation der Ergebnisse der Klimaanalyse erfordert im Übrigen ein fundiertes klimatologisches Fachwissen.

2 Regionale Klimaanalyse in der Region Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO)

In Baden-Württemberg gibt es drei großflächige Bereiche, in denen von schlechten Durchlüftungssituationen ausgegangen werden muss. Neben der Oberrheinebene und dem Mittleren Neckartal handelt es sich dabei um das Bodenseebecken samt dem nördlich angrenzenden Schussenbecken. Innerhalb der Region Bodensee-Oberschwaben gelten aber auch die Täler der Donau und ihrer Nebenflüsse als schlecht durchlüftet (s. Band 1).

Bei windschwachen Strahlungswetterlagen kommt es hier häufig zur Ausbildung von Inversionen. Durch den damit verbundenen reduzierten vertikalen und horizontalen Luftaustausch verschlechtern sich die lufthygienischen Verhältnisse. In größeren Städten können so Belastungssituationen entstehen (s. Band 1).

Große Bedeutung erlangen dann lokale Windsysteme, insbesondere nächtliche Bergwinde und Hangabwinde. Sie können in ihren Wirkungsräumen die tagsüber mit Schadstoffen angereicherte Luft durch frische Luft ersetzen (Frischluftströme) und für Abkühlung sorgen. Während solche Windsysteme im Rahmen regionaler Klimaprojekte in der Oberrheinebene und im Raum Stuttgart über Jahrzehnte intensiv untersucht wurden, sind in der Region Bodensee-Oberschwaben bislang nur relativ geringe Kenntnisse über lokale Windsysteme vorhanden. Im Vergleich etwa zum Schwarzwald-Westrand mit den großen Höhenunterschieden und entsprechend mächtigen Berg-Tal-Windsystemen (z.B. Höllentäler bei Freiburg) sind hier die Reliefverhältnisse wesentlich bescheidener, so dass nicht zwangsläufig mit einem häufigen und kräftigen Auftreten solcher Phänomene zu rechnen ist.

Eine besondere Situation ergibt sich durch die große Wasserfläche des Bodensees. Aus der Literatur ist bekannt, dass sich zumindest im ufernahen Bereich dadurch regelmäßig ein Land-See-Windsystem ausbildet, das seinerseits für einen zusätzlichen Luftaustausch sorgen kann.

2.1 Fragestellungen

Dadurch ergeben sich folgende konkrete Fragestellungen, die für die Klimaanalyse von zentraler Bedeutung sind:

- Gibt es in der Region nächtliche Kalt- und Frischluftströme aus Tälern (nächtliche Bergwinde, Talabwinde) bzw. an Hängen (Hangabwinde)? Wenn ja:
- Mit welchen Häufigkeiten und Intensitäten treten sie auf?
- Wie weit reichen sie in die jeweiligen Vorländer hinein?
- Mit welchen vertikalen Mächtigkeiten ist dabei zu rechnen?
- Wie verzahnen sie sich nächtliche Bergwinde und Hangabwinde untereinander?
- Wie verzahnen sich Hangwind- und Talwindsysteme ggf. mit dem Land-See-Windsystem des Bodensees?
- Wo ist mit starken bodennahen Inversionen (Kaltluftseen) zu rechnen?
- Wo liegen bedeutende Frischluft produzierende Flächen?
- Welche Siedlungsräume profitieren besonders von den positiven Wirkungen?
- In welchen Siedlungsräumen ist mit besonderen Belastungssituationen zu rechnen?
- Wie können die Freiflächen hinsichtlich ihrer Durchlüftungsaktivität bewertet werden?
- Welche Konsequenzen für Raumordnung und Städtebau sind daraus abzuleiten?

Somit hat die Klimaanalyse das übergeordnete Ziel, klimakritische Bereiche flächendeckend zu ermitteln und entsprechende Handlungsstrategien vorzuschlagen. Dabei ist auf eine praktische Anwendbarkeit zu achten. Die Ergebnisse sollen für die Landschaftsrahmen- und Regionalplanung sowie die kommunale Bauleitplanung verwertet werden können, indem eine

Bewertung hinsichtlich planungsrelevanter Belange vorgenommen wird. Insbesondere gilt es, Grundlagen für die Abgrenzung landschaftlicher Raumeinheiten zu schaffen, aus denen verbindliche Festlegungen im Zuge der Regionalplan-Fortschreibung abgeleitet werden können (Regionale Grünzüge und Grünzäsuren). Der Bewertung von Freiflächen kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu.

2.2 Konzeption

Um zu einer möglichst großmaßstäblichen Darstellung klimakritischer Bereiche zu kommen, wurde im Rahmen von REKLIBO ein zweistufiger Ansatz entwickelt und verfolgt.

Eine flächendeckende Analyse der klimatischen Situation in der Gesamtregion wird durch die Anwendung verschiedener Rechenmodelle erreicht, mit deren Hilfe nächtliche Kaltluftbewegungen und potentielle Kaltluftstaugebiete bestimmt werden können. Neben vergleichsweise einfachen numerischen Ansätzen kommt hier in erster Linie das Kaltluftabflussmodell des Deutschen Wetterdienstes (KLAM_21) zum Einsatz (vgl. Band 2).

Um die Modellergebnisse zu überprüfen, werden gezielte Messprogramme in den klimakritischen Bereichen der Region durchgeführt. Diese Messungen ermöglichen ihrerseits weitergehende Aussagen zur lokalen Durchlüftungssituation in den ausgewählten Teilgebieten.

Eine zusammenfassende Darstellung der Modellergebnisse und der wesentlichen Messergebnisse erfolgt in Form von Klimaanalysekarten. Als hilfreiche Ergänzung für die Auswertung der Klimaanalysekarten dienen Analysemethoden zur Bestimmung siedlungsrelevanter Kaltlufteinzugsgebiete und Luftleibahnen, die auf den Daten der verwendeten Rechenmodelle basieren (vgl. Band 2).

Um eine praktische Anwendbarkeit der erzeugten Ergebnis- und Analysekarten zu erreichen, werden die genauen Inhalte und Darstellungsformen in enger Abstimmung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer festgelegt.

Die im Rahmen des Messprogramms angewandten Methoden und die Messergebnisse sind Gegenstand des hier vorliegenden Band 3 des Abschlussberichts.

2.3 Datenrechte

Im Rahmen von REKLIBO wurden verschiedene digitale Datensätze verwendet, die dem Auftraggeber zur internen Verwendung zur Verfügung stehen. Hierbei handelt es sich um digitale Geländemodelle, Landnutzungsdaten und digitale Orthophotos. Auf großformatigen Karten wird jeweils auf die Herkunft dieser Daten hingewiesen. Aus layouttechnischen Gründen und aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde bei einigen kleineren Abbildungen auf diese Angabe verzichtet, zumal es sich dabei häufig lediglich um einen Ausschnitt aus Abbildungen des Gesamtraumes 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.

3 Grundlagen des Messprogramms

3.1 Allgemeines Konzept

Die Regionale Klimaanalyse REKLIBO hat das übergeordnete Ziel, in der Region Bodensee-Oberschwaben klimakritische Bereiche flächendeckend zu ermitteln und entsprechende Handlungsstrategien vorzuschlagen. Ein zweistufiger Ansatz wird verwendet:

Neben einer rechnergestützten flächenhaften Analyse der Durchlüftungssituation (nächtliche Kaltluftbewegungen, potentielle Kaltluftstaugebiete), wurden gezielte Messprogramme in den klimakritischen Bereichen der Region durchgeführt. Mit Hilfe dieser Messungen sollten die Modellergebnisse überprüft und weitergehende Aussagen zur lokalen Durchlüftungssituation in den ausgewählten Teilgebieten gemacht werden können.

Das beschränkte finanzielle Budget des Projekts erforderte den Einsatz möglichst *einfacher, kostengünstiger Messmethoden* und die inhaltliche Konzentration auf die oben formulierten konkreten Ausgangsfragestellungen.

Durch die engen zeitlichen Vorgaben (Messungen im Sommer und Herbst 2008) war ferner ein *hoher Personalaufwand* nötig. Von großem Nutzen war hier die Möglichkeit, Geographie-Studierende der Pädagogischen Hochschule Weingarten in die Arbeiten einzubeziehen. Durch deren außerordentlich hohes Engagement und den oft unentgeltlichen Einsatz war es möglich, innerhalb eines relativ kurzen Zeitraumes ein vergleichsweise *dichtes Messnetz* einzurichten und zu betreuen.

Im Folgenden werden die angewandten Messmethoden und Darstellungsarten vorgestellt.

3.2 Verwendete Messmethoden und Darstellungsarten

3.2.1 Vorbemerkungen

Der komplette Messzeitraum zwischen Juni und Oktober 2008 lag innerhalb der *Mitteleuropäischen Sommerzeit (MESZ)*. Daher sind alle Zeiten in REKLIBO in MESZ angegeben. Die einzige Ausnahme bildet der zweite Handmesstag im Untersuchungsgebiet „Überlingen“. Er fand am 18.03.2009 statt und lag somit „außerhalb der Sommerzeit“. Die Uhrzeiten sind hier deshalb in *Mitteleuropäischer Normalzeit (MEZ)* angegeben.

- Alle Temperaturen werden in Grad Celsius [°C] angegeben, im Fall von Temperaturdifferenzen in Kelvin [K].
- Alle Windrichtungen werden entweder in Form von Himmelsrichtungen oder im Gradmaß angegeben. In vielen Fällen werden sie zugunsten der Lesbarkeit in Kurzform ausgedrückt (Bsp.“ WNW“ = Westnordwest). Die Windrichtungsangaben beziehen sich immer auf die Herkunft der Luftbewegungen. Seltene Ausnahmen sind sprachlich entsprechend hervorgehoben.
- Alle Windgeschwindigkeiten sind in [m/s] angegeben.

3.2.2 Betrieb einfacher Funkwetterstationen

Ziel:

Zur Bestimmung der Häufigkeit und Intensität potentiell auftretender Kaltluftabflüsse in Bodennähe wurden einfache Funkwetterstationen eingesetzt. Sie zeichnen Windgeschwindigkeit, Windrichtung sowie Lufttemperatur und Luftfeuchte in 2 m über Grund kontinuierlich auf.

Geräte und ihre Funktionsweise:

Bei den festen Funkwetterstationen handelt es sich um ein Produkt der Firma TFA Dostmann mit der exakten Bezeichnung „NEXUS Funkwetterstation“. Es handelt sich dabei um ein Geräteset bestehend aus einer Basisstation, einem kombinierten Windsensor bestehend aus Windfahne und Schalenkreuzanemometer und einem Thermohygrometer. Der ebenfalls enthaltene Regenmesser kam nicht zum Einsatz. Die Wetterstation ist für den Einsatz im Laienbereich bestimmt, besitzt aber im Gegensatz zu vergleichbaren Geräten bereits einen relativ umfangreichen Datenspeicher.

Alle oben genannten Bestandteile werden mit herkömmlichen Batterien betrieben. Die Sensoren übertragen die erfassten Daten über eine Funkverbindung direkt an die Basisstation. Dort werden die Daten verarbeitet, auf einem Ringspeicher abgelegt und auf einem Display ausgegeben. Der Ringspeicher kann rund 3000 Datensätze speichern. Ein Datensatz enthält alle von den Sensoren gemessenen Daten, eine Reihe errechneter Werte (Durchschnittswerte, Maximum- und Minimumwerte, abgeleitete Werte etc.) sowie einen Datums- und Zeitstempel. Beim Überschreiten der maximalen Speicherkapazität beginnt die Elektronik die ältesten Datensätze durch die jüngsten zu ersetzen. Die Basisstation verfügt über eine sogenannte „Funkuhr“, d.h. in regelmäßigen Intervallen werden Uhrzeit und Datum über Langwelle mit einer Atomuhr der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig synchronisiert.

Die Station bietet zahlreiche Konfigurationsmöglichkeiten wie die Auswahl des Aufzeichnungsintervalls, Festlegung von Zeit- und Datumseinstellungen (z.B. Zeitversatz) etc..

Um die oben beschriebenen Geräte im Rahmen der vorliegenden Klimastudie im freien Gelände optimal einsetzen zu können, wurde vom Fach Geographie der Pädagogischen Hochschule Weingarten eigens ein Geräteträger entwickelt und hergestellt. Es handelt sich hierbei um einen 2 m langen lackierten Holzrundstab (Buchenholz), der mittels eines Erdnagels im Boden fixiert und durch drei Stahlwanten abgespannt wird. Am oberen Ende des Masts wird der Windsensor mit Hilfe seiner Schraubvorrichtung angebracht und mit einem Kompass eingenordet. Unterhalb des Windsensors wird der Thermo-Hygrometer an den Mast geschraubt. Eine weiße Kunststoffschale schützt ihn vor Niederschlag und dient gleichzeitig als provisorischer Strahlungsschutz. Auf halber Höhe wird ein Elektronik-Schutzgehäuse an den Mast geschraubt, in dem die Basis der Wetterstation wasserdicht untergebracht werden kann.

Ansicht des gesamten Geräteträgers

Basisstation im Elektronik-Schutzgehäuse

Abbildung 1: Ansichten der Funkwetterstation „Altbirnau“.

Konfiguration der Station

Die Funkwetterstationen wurden so konfiguriert, dass sie in 10-Minuten-Intervallen alle gemessenen und errechneten Daten speicherten. Datum und Uhrzeit wurden über Funk synchronisiert und so eingestellt, dass stets die Mitteleuropäische Sommerzeit verwendet wurde.

Wartungsroutine und Datensicherung

Alle 23 Stationen wurden in Intervallen von rund zwei Wochen oder bei Bedarf angefahren. Dabei wurden sämtliche Geräte gereinigt und auf ihre Funktionsfähigkeit hin überprüft. Standsicherheit und Ausrichtung des Geräteträgers wurden kontrolliert. Bei Bedarf wurden die Batterien gewechselt und die Wetterstation neu hochgefahren und konfiguriert.

Das Auslesen der Daten fand über eine zum Lieferumfang der Station gehörende Software und USB-Datenkabel statt. Die Software liest den kompletten Ringspeicher aus und legt die Daten im dBASE-Format auf dem Notebook/PC ab. Nach dem Auslesevorgang können die Daten in einfacher Form auf dem Notebook visualisiert und auf ihre Konsistenz hin überprüft werden. Dies ermöglicht bei Bedarf eine sofortige Korrektur von Fehlfunktionen, um einen reibungslosen und kontinuierlichen Betrieb der Wetterstation zu gewährleisten.

Da weder die Geräte noch die Auslesesoftware für den Betrieb mehrerer Station über einen längeren Zeitraum ausgelegt sind, wurde ein spezielles Verfahren zur Speicherung und Verwaltung der erfassten Daten entwickelt.

Ursprünglich ist vorgesehen, dass die auf einem Rechner installierte Auslesesoftware bei jeder Verbindung mit der Messstation den Ringspeicher auf Veränderungen hin überprüft und nur die neuen Datensätze übernimmt, um sie der bereits auf dem Rechner vorhandenen Datendatei mit den älteren Datensätzen anzugliedern. Damit ist gewährleistet, dass das Datenarchiv auf dem PC stets aktualisiert wird und nach dem Auslesevorgang der Ringspeicher wieder ohne Datenverlust überschrieben werden kann. Die Software arbeitet dabei mit vorgegebenen Datenordnern bzw. Datendateien, die beim erstmaligen Kontakt zu einer Station angelegt werden und immer dieselben Namen haben (/Data/nexusOrg.dbf, /Data/Updtmsg.log, /Mirror/mirror.mem). Im Normalfall könnte also mit einem Rechner nur eine Basisstation „betreut“ werden.

Im vorliegenden Fall sollten jedoch die Daten von 23 Wetterstationen mit einem einzigen Notebook ausgelesen und archiviert werden. Um Datenkonflikte zu verhindern, wurde folgendermaßen vorgegangen:

Vor jedem Auslesevorgang wurde die Software quasi in ihren Ursprungszustand versetzt, indem die Software-internen Datendateien bzw. Datenordner (s.o.) gelöscht wurden. Dadurch musste die Auslesesoftware davon ausgehen, dass ein erstmaliger Kontakt zu einer Basisstation vorliegt. Somit wurde immer der komplette Speicher der einzelnen Stationen ausgelesen und in die oben genannten Datendateien im dBASE-Format angelegt. Die eigentliche Datendatei nexusOrg.dbf wurden anschließend in einen Archivordner kopiert und in „stationsname_datum.dbf“ umbenannt. Durch das Zusammenfügen der einzelnen Speicherabbilder an den entsprechenden zeitlichen Schnittstellen konnte dann für die jeweilige Station ein zusammenhängendes Datenarchiv erstellt werden, das den kompletten Messzeitraum umfasst und beliebig weiterverarbeitet werden kann.

Während der Wartungsfahrten wurde ein Logbuch geführt, dass neben den Wartungs- und Datenauslesezeitpunkten auch alle möglichen Vorkommnisse und Beobachtungen an der Station selbst und in deren Umgebung festhält.

Kritische Reflexion und Anmerkungen

Die oben beschriebene Messmethodik beinhaltet einige Besonderheiten, die es bei der Auswertung der erfassten Daten und gegebenenfalls bei Folgemessungen zu beachten gilt.

Die Sensoren der Funkwetterstationen können nicht geeicht werden. Es kann zwar von einer entsprechenden Prüfung während des Herstellungsprozesses ausgegangen werden. Eine Justierung im wissenschaftlichen Sinn ist aber nicht möglich. Somit können die Daten verschiedener Messstationen nur unter Vorbehalt miteinander verglichen werden. In diesem Zusammenhang muss insbesondere die Erfassung der Lufttemperaturen betrachtet werden. Zudem verfügt der Thermo-Hygro-Sender von Haus aus außer seinem eigenen Gehäuse über keinen Strahlungsschutz. Die oben beschriebene Plastikschale eignet sich nur bedingt für den Strahlungsschutz und ist vor allem für den Schutz vor Niederschlag vorgesehen.

Der Windsensor kann die Windrichtung lediglich in 22,5°-Sektoren erfassen. In Hinblick auf die gewählten Formen der Datendarstellung in REKLIBO muss dies allerdings nicht als Einschränkung verstanden werden. Von Vorteil ist hingegen, dass die beweglichen Teil des Windsensors relativ leicht gebaut sind und somit auch vergleichsweise geringe Luftbewegungen erfassen können.

Durch die ungeschützte Stationierung der Apparaturen im freien Gelände kam es leider mehrfach zu mutwilligen Manipulationen, Beschädigungen oder Diebstahl der Geräte. Mehrmals wurden Stationen von Landmaschinen verschoben oder umgerissen. An einer Station in unmittelbarer Nähe einer Obstplantage kam es zu einem massiven Insektenbefall, der zum Komplettverlust der Geräte führte.

Aufgrund der beschränkten Speicherkapazität und Batterielaufzeit und einer gewissen Feuchtigkeitsanfälligkeit sind Wartungsfahrten in einem relativ kurzen zeitlichen Intervall (mindestens 14-tägig) unerlässlich.

Trotz der beschriebenen Einschränkungen haben sich die Funkwetterstationen mit ihrem großen Funktionsumfang und der Verwendung in Kombination mit den entwickelten Geräteträgern für die vorliegende Zielsetzung als nahezu optimal erwiesen. Die größten Vorteile sind der relativ geringe finanzielle und personelle Aufwand bei vergleichsweise großer Effizienz durch die kontinuierliche Aufzeichnung von Daten. Zudem sind die Stationen einfach zu bedienen und erfordern nur wenig Spezialwissen. Nicht zuletzt ist ein sehr flexibler Einsatz hinsichtlich verschiedenster Messkonzepte möglich (Standort, Aufzeichnungsintervall, Sensorausstattung etc.).

Grafische Aufbereitung der Daten

Innerhalb des umfangreichen Messprogramms von REKLIBO wurden insgesamt 23 Wetterstationen über einen Zeitraum von ca. drei Monaten betrieben. Die dabei anfallenden großen Datenmengen lassen sich grafisch nicht mehr mit Standardsoftware aufbereiten. Auch bei der Wahl der Darstellungsart wären hier enge Grenzen gesetzt.

Aus diesem Grunde wurden zur Visualisierung der Daten eigene Algorithmen entwickelt, mit deren Hilfe auf flexible Weise Grafiken als Postscript-Ausgabe erzeugt werden können. Dabei kam die Programmiersprache IDL zum Einsatz. Unterschiedliche Darstellungsformen wurden gewählt:

- Einfache Liniendiagramme zur Darstellung von Tagesgängen der gemessenen Daten (vgl. Abbildung 14)
- Isoplehtendiagramme zur Darstellung der gemessenen Daten des gesamten Messzeitraums (vgl. Abbildung 2)

- Stärkewindrosen zur Darstellung der statistischen Häufigkeiten von Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsklassen (vgl. Abbildung 3)

Während die erstgenannte Darstellungsform gängig und deshalb auch für die meisten Leser leicht lesbar sein dürfte, sind die beiden anderen weniger gebräuchlich. Sie sollen deshalb an dieser Stelle kurz eingeführt werden.

Isoplethendiagramme

Isoplethendiagramme sind „Tageszeiten-Jahreszeiten-Diagramme“. Sie weisen also zwei Zeitachsen auf. Im vorliegenden Fall wurden der x-Achse die Tageszeiten und der y-Achse die Messtage in Form ihres Datums zugewiesen. Zur Darstellung innerhalb dieses Systems werden die jeweiligen Messwerte zu einzelnen Klassen zusammengefasst und farblich wiedergegeben. Zur besseren Lesbarkeit werden als Hilfslinien eine 0 Uhr-Linie sowie gestrichelte Kurven für die jeweiligen Sonnenauf- und -untergangszeiten eingezeichnet (vgl. Abbildung 2). Der entscheidende Vorteil dieser Darstellungsart liegt darin, dass man aus den auftretenden Farbmustern vertiefende Einblicke in die Regelhaftigkeit der untersuchten Klimaphänomene gewinnt.

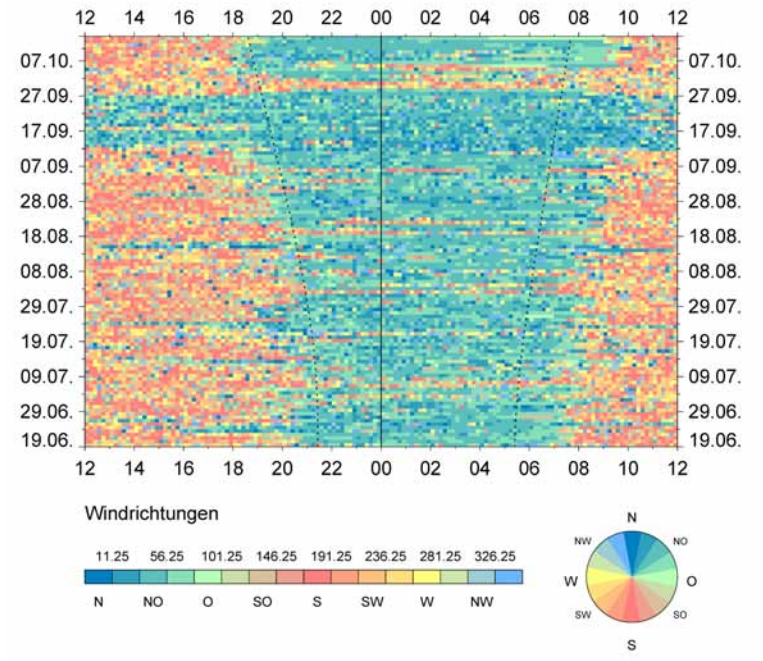
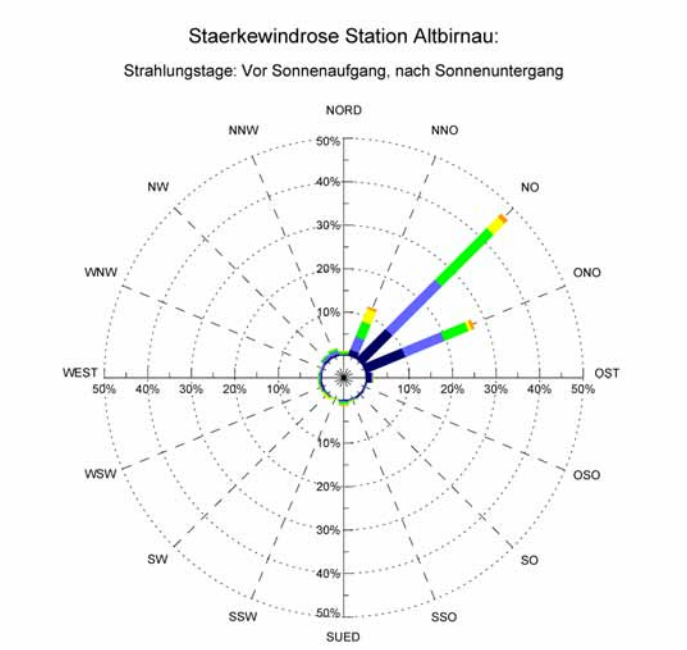


Abbildung 2: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Altbirnau“.

Stärkewindrosen

Um die Ergebnisse der statistischen Häufigkeitsanalysen von Windrichtung und Windgeschwindigkeit darzustellen, bieten sich sogenannte Stärkewindrosen an (vgl. Abbildung 3). Die in den verschiedenen Himmelsrichtungen abgebildeten Balken geben die Häufigkeiten der entsprechenden Windrichtung an, die an den konzentrischen Kreisen abgelesen werden können. Über die unterschiedliche Einfärbung der Teilbalken sind ferner die Anteile verschiedener Geschwindigkeitsklassen an den Winden aus der jeweiligen Richtung ablesbar.

Bei der konkreten Umsetzung wurde die Skalierung der konzentrischen „Häufigkeitskreise“ nicht fest vorgegeben. Vielmehr passt sie sich an die jeweils auftretenden maximalen Häufigkeiten an. Damit ist gewährleistet, dass auch kleinere Häufigkeiten immer gut ablesbar bleiben. Auf die jeweiligen Prozentangaben an den Kreisen ist bei der Grafikauswertung besonders zu achten.



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.21	0.08	0.63	0.25	0.00	0.00	1.17
NNO	1.46	3.26	3.84	3.09	0.58	0.00	12.23
NO	9.64	16.03	16.82	3.59	1.09	0.00	47.16
ONO	9.81	9.72	6.01	0.79	0.71	0.00	27.05
OST	1.34	0.29	0.08	0.13	0.00	0.00	1.84
OSO	0.21	0.25	0.04	0.04	0.00	0.00	0.54
SO	0.33	0.21	0.04	0.04	0.00	0.00	0.63
SSO	0.08	0.25	0.17	0.17	0.04	0.00	0.71
SUED	0.17	0.29	0.54	0.21	0.17	0.00	1.38
SSW	0.00	0.00	0.13	0.21	0.04	0.00	0.38
SW	0.08	0.21	0.25	0.46	0.00	0.00	1.00
WSW	0.29	0.29	0.25	0.13	0.04	0.00	1.00
WEST	0.17	0.38	0.29	0.08	0.00	0.00	0.92
WNW	0.13	0.42	0.04	0.08	0.00	0.00	0.67
NW	0.38	0.58	0.42	0.04	0.00	0.00	1.42
NNW	0.38	0.83	0.54	0.17	0.00	0.00	1.92
Summe	24.67	33.10	30.09	9.47	2.67	0.00	100.00

Abbildung 3: Stärkewindrose der Station „Altbirnau“. Angaben in Prozent.

3.2.3 Durchführung von Handmessungen

Ziel

Um das Beobachtungsnetz zu verdichten, wurden zusätzlich Handmessungen durchgeführt. Dabei wurden an festgelegten Standorten Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund an ausgewählten Messtagen zu ausgewählten Messzeiten erfasst.

Geräte und ihre Funktionsweise

Für die Erfassung der Windgeschwindigkeit wurde ein Handanemometer vom Typ „Windmaster 2“ der Firma Kaindl electronics eingesetzt. Eine Luftströmung wird mittels Schalenkreuz erfasst, in elektrische Signale umgesetzt und für Rechenoperationen in einem Zwischenspeicher abgelegt. Über ein Display werden unter anderem die aktuelle Windgeschwindigkeit und die Durchschnitts- und Maximalgeschwindigkeit des laufenden Erfassungszeitraums angezeigt. Bei den Einheiten lässt sich zwischen m/s (Meter/Sekunde), km/h (Kilometer/Stunde), mph (Meilen/Stunde) und kts (Knoten = nautische Meilen/Stunde) wählen. Das Gerät verfügt über keinen Speicher zur Aufzeichnung von Datenreihen.

Die Lufttemperaturen wurden mit einem sogenannten Präzisions-Sekundenthermometer der Firma Greisinger erfasst. Dabei handelt es sich um ein elektronisches Thermometer, das mittels eines Messfühlers die Lufttemperatur besonders schnell erfassen kann. Es kann zwischen den Einheiten [°C] und [°F] gewählt werden. Das Gerät verfügt über keinen Speicher zur Aufzeichnung von Datenreihen.

Die Windrichtung wurde erfasst, in dem die Richtung der Zugbahn von Seifenblasen bzw. die Auslenkung eines Seidenfadens mit einem Kompass ermittelt wurde.

Geräteträger wurden aus einfachen Holzlatten hergestellt. An diese sogenannten „Messlatten“ konnten Anemometer und Temperaturmessfühler in zwei Meter Höhe angebracht werden (Standardmesshöhe). Die Basis des Sekundenthermometers wird auf halber Höhe an der Messlatte befestigt. Im oberen Bereich befindet sich zudem ein Ausleger, an dem der Seidenfaden für die Bestimmung der Windrichtung angebracht ist.

Handanemometer	*Digitales Sekundenthermometer*	*Seifenblasen und Kompass*

Abbildung 4: Während der Handmessungen verwendete Messgeräte.

Vorbereitung der Handmessungen

In der Anfangsphase von REKLIBO wurden den einzelnen Untersuchungsräumen feste Messteams, die in der Regel aus zwei Studierenden bestanden, zugeteilt. Diese wurden theoretisch und praktisch in Technik und Verfahren der Handmessungen eingeführt. Besonderes Augenmerk lag dabei einerseits auf einem möglichst hohen Standardisierungsniveau der Datenerhebung, um die spätere Vergleichbarkeit der Messergebnisse sicherzustellen. Andererseits wurden die Messteams in die Planung der Messkonzepte (Standorte, Messzeiten etc.) eingebunden, was zu einem tieferen Verständnis des Untersuchungsraums und der dort zu erwartenden geländeklimatologischen Phänomene führte. Vor diesem Hintergrund waren die Messteams in der Lage, neben der quantitativen Erfassung mit Hilfe die Messgeräte auch relevante Umgebungseinflüsse (Beschattungseffekte, Bewölkung, übergeordnete Winde, Verkehr etc.) zu erkennen und zu protokollieren. Dadurch konnte somit vor Ort gegebenenfalls auf entsprechende Vorkommnisse reagiert werden (z.B. Wiederholung der Messung bei offensichtlicher starker Beeinflussung durch vorbeifahrende Lastwagen, etc.).

Die Standorte der Handmessungen innerhalb eines Untersuchungsraums blieben stets unverändert. Lediglich die Messzeiten wurden mit fortschreitender Dauer der Klimastudie den Zeiten des Sonnenuntergangs angepasst. In der Regel fand an jedem Messtag jeweils eine Messung vor Sonnenuntergang, eine zur Zeit des Sonnenuntergangs und eine nach Sonnenuntergang statt. Die Messungen fanden während windschwacher Strahlungswetterlagen statt.

Bei der Wahl der Standorte wurde darauf geachtet, dass für einen kompletten Messdurchgang nicht mehr als 1 Stunde benötigt wurde. Somit ist eine gewisse Vergleichbarkeit der erfassten Daten zwischen den einzelnen Standorten gewährleistet.

Durchführung der Handmessungen

Die Datenerfassung wurde an jedem Standort in exakt gleicher Weise durchgeführt. Im Folgenden soll der typische Ablauf pro Standort erläutert werden.

- Positionierung der „Messlatte“ und Anbringen der Messgeräte, Vorbereitung des Standortprotokolls
- Funktionsprüfung der Messgeräte und Herstellung des Ausgangszustands
- Beginn der Messung
  - Protokollierung der Uhrzeit
  - Protokollierung der Lufttemperatur in 60-Sekunden-Intervallen
  - Protokollierung der Windrichtung mittels Seifenblasen/Seidenfaden und Kompass in 60-Sekunden-Intervallen
- Nach einer Messzeit von 3 Minuten werden am Anemometer Durchschnitts- und Maximumgeschwindigkeiten abgelesen und protokolliert. Die protokollierten Temperaturen und Windrichtungen werden gemittelt.
- Während der Messung werden relevante Beobachtungen protokolliert.

Verarbeitung und Sicherung der Daten

Nach der Durchführung der Handmessungen wurden die auf den Protokollen erfassten Daten für eine flexible Weiterverarbeitung in Tabellenform digitalisiert.

Kritische Reflexion und Anmerkungen

Die oben beschriebene Messmethodik beinhaltet einige Besonderheiten, die es bei der Auswertung der erfassten Daten und gegebenenfalls bei Folgemessungen zu beachten gilt.

Die Zuverlässigkeit der Datenerfassung hängt in diesem Fall in erster Linie von einer besonders sorgfältigen und gewissenhaften Anwendung der Methodik ab. So ist beispielsweise das Anemometer aufgrund seiner Leichtläufigkeit vergleichsweise anfällig hinsichtlich Eigenbewegungen oder Erschütterungen. Auch beim Temperaturmessfühler muss darauf geachtet werden, dass eine Beeinflussung durch Abwärme des Messpersonals weitestgehend ausgeschlossen wird. Die Erfassung der Windrichtung mittels Kompasspeilung setzt den sicheren Umgang mit diesem Werkzeug voraus.

Aufgrund der relativ kurzen Messdauer pro Standort müssen Durchschnitts- und Maximumwerte mit einer gewissen Vorsicht betrachtet werden. Auch der zeitliche Versatz zwischen den Messungen an den Einzelstandorten birgt ein gewisses Maß an Zufälligkeit, was bei der Auswertung der Daten zu berücksichtigen ist.

Das Erkennen und Protokollieren von Umgebungseinflüssen ist äußerst wichtig für eine spätere Bewertung der erfassten Daten und setzt ein gewisses Maß an geländeklimatologischem Hintergrundwissen voraus. Bei der Auswertung der Messergebnisse wurde daher mit ganz besonderer Sorgfalt auf die Plausibilität der Daten geachtet.

Trotz vergleichsweise großem personellem und zeitlichem Aufwand können mit dieser Messmethodik dennoch einfach, effizient und flexibel wichtige geländeklimatologische Daten im Gelände erhoben werden.

Grafische Aufbereitung der Daten

Innerhalb des umfangreichen Messprogramms von REKLIBO wurden zahlreiche Handmessungen durchgeführt. Zur Visualisierung der Daten wurden eigene Algorithmen entwickelt, mit deren Hilfe auf flexible Weise Grafiken als Postscript-Ausgabe erzeugt werden können. Auch hier kam wiederum die Programmiersprache IDL zum Einsatz. Die Ergebnisse an den jeweiligen Standorten wurden in einfache Pfeildarstellungen umgesetzt (vgl. z.B. Abbildung 24). Als Hintergrund dienen Orthobilder, um räumliche Zusammenhänge zu verdeutlichen. Die Pfeile werden als Flächenpfeile gezeichnet, deren Länge und Richtung die gemessene Windgeschwindigkeit und Windrichtung wiedergeben. Die Pfeilfarben liefern gleichzeitig Informationen über die am Standort gemessene Lufttemperatur (als Abweichung vom Mittelwert aller gemessenen Lufttemperaturen). Erklärungen zur Bedeutung von Pfeillängen und Pfeilfarben findet man in der Legende. Direkt neben den Pfeilen werden die jeweiligen Messdaten ausgegeben.

3.2.4 Durchführung der Vertikalsondierungen

Ziel

Zur Erfassung der Vertikalstruktur von Luftbewegungen wurden einfache Vertikalsondierungen mit einem Helium-Fesselballon durchgeführt. Zudem sollten Aussagen über die vertikale Temperaturschichtung der Luft ermöglicht werden.

Geräte und ihre Funktionsweise:

Zur Erfassung der Ballonposition wurde ein GPS-Gerät des Typs „Geko 201“ der Firma Garmin verwendet. Es ist in der Lage in Sekunden-Intervallen die aktuelle Position mit einer maximalen Genauigkeit von 2 m (x-/y-Koordinaten) zu erfassen und abzuspeichern. Der Speicher bietet Platz für 10.000 Datensätze. Die maximale Einsatzdauer beträgt somit rund 2,75 Stunden.

Die Temperaturen wurden mittels eines Temperaturloggers des Typs „K204“ der Firma Voltcraft erfasst. Dieses Gerät kann ebenfalls in einem Sekunden-Intervall Temperaturen über

einen Messfühler erfassen und speichern. Der Speicher bietet Platz für 16.000 Datensätze und ermöglicht somit eine Einsatzdauer von rund 4,5 Stunden.

Als Trägersystem wurde ein Kunststoffballon mit einem Durchmesser von 120 cm verwendet. Der Ballon wurde mittels einer Spezialschnur an einer Winde aufgelassen. Die Messgeräte (GPS und Termperaturlogger) sind in einem Abstand von ca. 40 cm unterhalb des Ballons an der Ballonschnur befestigt. Die Ballonfüllung mit Helium erzeugt genügend Auftrieb, um das gesamte System auch bei kräftigen nächtlichen Luftbewegungen sicher zu tragen. Die maximale Auflasshöhe betrug in der Regel 30 m über Grund.

Funktionsweise und Durchführung der Vertikalsondierungen

Nach der Vorbereitung des Ballonsystems und der Messgeräte am Messstandort wird mittels GPS die exakte Position der Seilwinde bestimmt und protokolliert.

Unmittelbar vor dem Aufstieg des Ballons werden am GPS-Gerät und am Temperaturlogger die Aufzeichnungsfunktionen aktiviert. Sobald der Ballon den Aufstieg beginnt wird die Startzeit der Messung protokolliert. In der Regel wurde der Ballon in 5- bis 10-m-Schritten aufgelassen. Die Uhrzeiten, zu denen der Ballon die jeweilige Auflasshöhe bzw. Seillänge erreichte, wurden sekundengenau protokolliert. Ebenfalls jene Uhrzeiten, zu denen er die Höhe nach rund 3 Minuten wieder verließ. Nachdem der Ballon das letzte Auflassintervall abgeschlossen hatte, konnte er wieder eingeholt werden. Die Aufzeichnungsfunktionen der Messgeräte wurden dann deaktiviert. Mit der Protokollierung der Ankunftszeit gilt die Messung als abgeschlossen.

Aus den Positionsunterschieden zwischen Seilwinde und Ballon (GPS) können unter Beachtung der Seillänge somit in Sekundenschritten Auslenkungsrichtung und Auslenkungsstärke berechnet werden. Die Werte des Temperaturloggers können über die Messzeiten ebenfalls einer Ballonposition zugeordnet werden.

In der Regel wurden drei Messungen pro Messtag durchgeführt: Eine vor Sonnenuntergang, eine zu Sonnenuntergang und eine nach Sonnenuntergang.

Kritische Reflexion und Anmerkungen

Die oben beschriebene Messmethodik beinhaltet einige Besonderheiten, die es bei der Auswertung der erfassten Daten und gegebenenfalls bei Folgemessungen zu beachten gilt.

Aufgrund der den GPS-Geräten in der verwendeten Preisklasse zugrunde liegenden Positionsungenauigkeiten (meist über 2 m) können bei sehr geringen Ballonauslenkungen (x-/y-Auslenkung in Relation zur Seilwinde kleiner als GPS-Positionsungenauigkeit) keine verlässlichen Angaben zur Auslenkungsrichtung gemacht werden. Gleiches gilt für Messhöhen bis in rund 10 bis 15 m, da hier die Positionsungenauigkeiten bei vergleichsweise geringer Höhe über Grund schwerer wiegen (Winkelfunktion!).

Eine weitere Problematik ergibt sich aus der Beeinträchtigung der GPS-Genauigkeit durch eine eventuelle Horizonteinschränkung. An Standorten in unmittelbarer Waldnähe oder in Hohlformen zeigt sich oftmals eine deutlich größere Positionsungenauigkeit des GPS-Systems (vgl. Untersuchungsgebiet „Gehrenberg-Friedrichshafen“).

Zu beachten ist auch die Trägheit des Ballonsystems. So wurde oftmals beobachtet, dass sich der Ballon samt Messgeräten nach Erreichen einer Auflasshöhe in der veränderten Strömungsrichtung und –stärke einige Zeit „einpendelt“. Auch die Auflassbewegung an sich, genauer die vertikale Verzögerung bei Erreichen der gewünschten Höhe, versetzen das komplette System ebenfalls in Schwingungen.

Problematisch ist zudem, dass sich der Auftrieb des Ballons bei der Vorbereitung der Messungen nicht exakt beeinflussen bzw. messen lässt. Dadurch ist ein Vergleich zwischen Messtagen oder Standorten mit Vertikalsondierung nur sehr bedingt möglich. Hinzu kommt, dass der Ballon auch während eines Messtages durch Diffusion oder Ansammlung von Feuchtigkeit auf der Ballonhülle an Auftriebskraft verliert. Letztendlich lässt sich der Auslenkungsbetrag aufgrund vieler komplexer Einflussfaktoren kaum in eine konkrete Windgeschwindigkeit umrechnen.

Aufgrund des Umgangs mit Gas und der vergleichsweise komplizierten Geräteanordnung können die Vertikalsondierungen in dieser Form nur von geübtem bzw. berechtigtem Messpersonal ausgeführt werden. Zudem ist der finanzielle Aufwand durch den enormen Gasverbrauch vergleichsweise hoch.

Umfangreiche behördliche Vorschriften regulieren die erlaubte Auflasshöhe und das zulässige Auflassgewicht. Die vorliegende Methodik beschränkt sich daher hinsichtlich Messhöhe und Systemumfang auf einen Rahmen, der genehmigungsfrei bleibt. Im Fall einer Erweiterung müssten am Ballonsystem aufwändige Sicherheits- und Markierungssysteme angebracht und zudem mit zahlreichen Behörden und der Flugsicherung Absprachen getroffen werden.

Trotz der genannten Einschränkungen ermöglichten die Vertikalsondierungen zahlreiche wichtige Aussagen über die Vertikalstruktur von Luftbewegungen und Temperaturschichtungen.

Grafische Aufbereitung der Daten

Zur Visualisierung der Daten wurden wiederum eigene Algorithmen entwickelt. Auch hier kam die Programmiersprache IDL zum Einsatz.

Als Überblick über den Messverlauf dienen einfache x-y-Liniendiagramme. Der x-Achse sind hierbei die Nummern der Messwerte (also eigentlich die Messzeiten) zugeordnet. Auf den verschiedenen y-Achsen liegen die gemessenen (Temperaturen), die protokollierten (Seillänge) und die berechneten Werte (Ballonhöhe, Auslenkungsbetrag, Auslenkungsrichtung) (vgl. Abbildung 5). Der treppenartige Anstieg der Seillängen zeigt die jeweilige Dauer einer Messung in einer bestimmten „Messhöhe“.

Die Zusammenhänge von Auslenkung, Messhöhe und Seillänge sind klar: Bei geringen Auslenkungsbeträgen entspricht die berechnete Ballonhöhe quasi der Seillänge, je größer die Abweichung von Seillänge und tatsächlicher Ballonhöhe, desto stärker muss die Auslenkung sein. Formelhaft besteht der folgende Zusammenhang:

Ballonhöhe = Seillänge * cosinus(Auslenkungswinkel)

Zusätzlich werden die Auslenkungsbeträge und die Temperaturen noch in Form von Vertikalprofilen abgebildet. Dazu werden zunächst alle Messwerte in Form von Punkten in das jeweilige Diagramm eingetragen. Für jede Seillänge entsteht so eine „Punktwolke“, die im Falle der Auslenkungsbeträge sehr schön zeigt, wie ein Ballon während eines Messintervalls seine Auslenkung durch unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten verändern kann. Die jeweiligen Mittelwerte dieser Punktwolken werden dann untereinander zu einer Linie verbunden, die den vertikalen Aufbau bis zur maximalen Auflasshöhe zeigt (vgl. Abbildung 6).

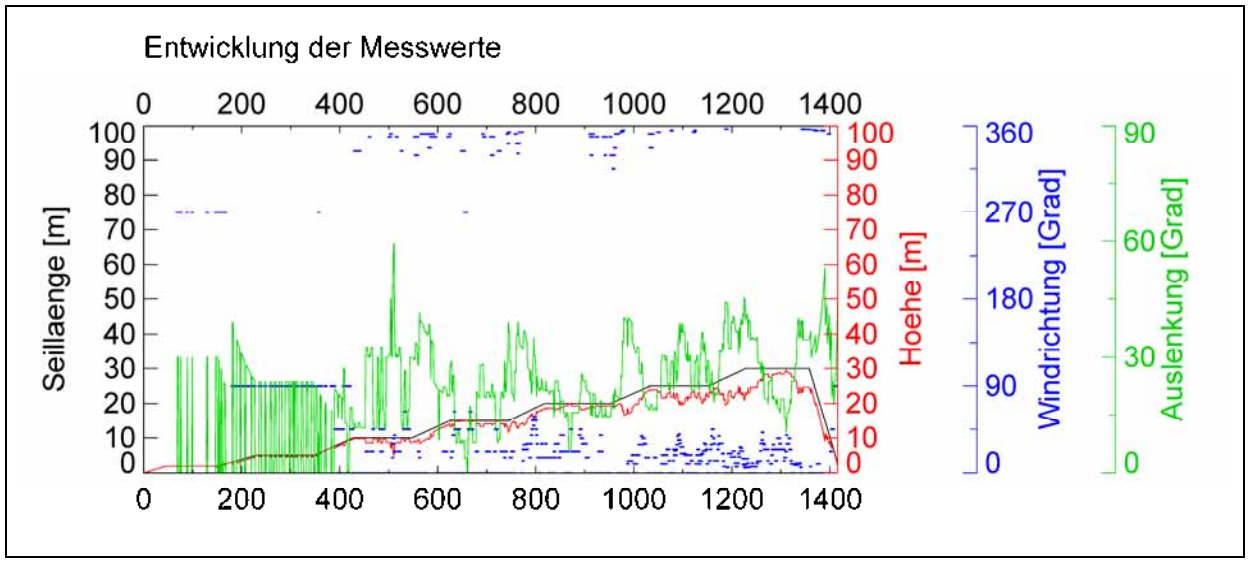


Abbildung 5: Liniendiagramme der Auslenkungsstärke des Heliumballons und der Windrichtung am Standort „Raderach“ am 06.08.2008 zwischen 21.39 Uhr und 22.02 Uhr MESZ.

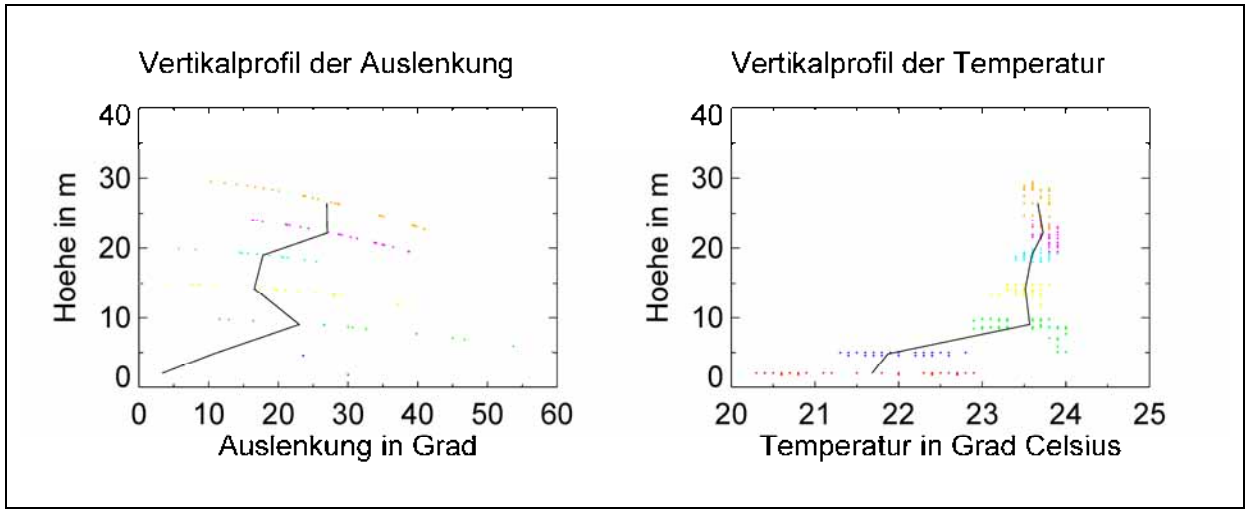


Abbildung 6: Vertikalprofil der Auslenkung und der Temperatur am Standort „Raderach“ am 06.08.2008 zwischen 21.39 Uhr und 22.02 Uhr MESZ.

3.2.5 Durchführung von Temperaturmessfahrten

Werden Lufttemperaturen linien- oder „flächenhaft“ zeitnah gemessen, so lassen sich aus den auftretenden räumlichen Mustern Rückschlüsse auf lokale Kaltluftbewegungen ziehen (Kaltluftstau, Kaltluftsammelgebiete, warme Hangzone etc., vgl. Band 1).

Innerhalb des REKLIBO-Messprogramms wurden deshalb zusätzlich Temperaturmessfahrten durchgeführt. Dazu wurde entlang definierter Messrouten in 10-m-Intervallen über GPS die Position und mit Hilfe eines Datenloggers die Temperatur erfasst (vgl. Abbildung 7). Eine spätere Zuordnung der Temperaturwerte zu den jeweiligen Positionen war möglich, da von beiden Geräten die jeweiligen Messzeiten sekundengenau abgespeichert werden.

Abbildung 7: Anbringen von GPS-Gerät und Temperaturlogger am Fahrzeug vor der Durchführung einer Temperaturmessfahrt.

Die Messfahrten erfolgten an ausgewählten Messtagen (windschwache Strahlungswetterlagen) jeweils abends kurz vor bzw. nach Sonnenuntergang und morgens vor Sonnenaufgang.

Kritische Reflexion und Anmerkungen

Der Vorteil dieser Methode besteht in der relativ schnellen Erfassung von Temperaturwerten über vergleichsweise große räumliche Distanzen bei einem geringen personellen Aufwand. Durch eine automatisierte Weiterverarbeitung sind nach einer Messfahrt lediglich die Daten aus den Geräten auszulesen und den entsprechenden Algorithmen zu übergeben.

Probleme können sich bei der verwendeten Messapparatur bei Messungen am Tage ergeben. Wenn es hier verkehrsbedingt zu „Standzeiten“ kommt, werden von den verwendeten Temperaturfühlern rasch zu hohe Werte angezeigt (direkte Sonnenstrahlung auf den Fühler, Bildung von Warmluftblasen um das Fahrzeug). Da im Rahmen von REKLIBO mit dieser Methode jedoch nur abendliche bzw. nächtliche Situationen nach Sonnenuntergang untersucht wurden, trat dieses Problem nicht auf.

Um eine ausreichende Datendichte zu erreichen und Trägheitseffekte zu minimieren, muss die Fahrgeschwindigkeit möglichst niedrig gehalten werden (Sekundenintervall des Datenloggers, Ansprechzeit des Fühlers). Nach den gemachten Erfahrungen sollte sie im Allgemeinen 50 km/h nicht überschreiten und in stark reliefiertem Gelände auf ca. 30 km/h oder weniger reduziert werden.

Grafische Aufbereitung der Daten

Die Aufbereitung und grafische Umsetzung der Daten erfolgte wiederum mit eigens programmierter Software. Um die Messfahrten untereinander besser vergleichen zu können, wurden die gemessenen Lufttemperaturen immer als relative Temperaturen angegeben (Abweichung vom jeweiligen Mittelwert einer Messfahrt).

Ein entsprechendes Liniendiagramm wird über das Geländeprofil der Messfahrt gezeichnet. Letzteres ist zusätzlich mit der jeweiligen Landnutzung eingefärbt. Höhen- und Landnutzungswerte werden dazu aus dem digitalen Geländemodell und dem Landnutzungsdatensatz entnommen (vgl. Band 2).

Schließlich erfolgt eine flächenhafte Darstellung des Gesamtraumes der Messfahrt. Die Messroute wird hier über eine Reliefdarstellung mit zusammengefassten Landnutzungsklassen (Siedlung, Wald, Freiflächen, Gewässer) und den innerhalb von REKLIBO berechneten potentiellen Kaltluftstaugebieten gezeichnet. Die Temperaturen werden über Klassenbildung farbig dargestellt.

Die Darstellungsarten liefern einen sehr guten Überblick über die Abhängigkeiten der Lufttemperaturen von Relief und Landnutzung. Sie zeigen außerdem an, wo berechneter Kaltluftstau gut mit tatsächlich gemessenen niedrigen Temperaturen übereinstimmt bzw. wo dies nicht der Fall ist.

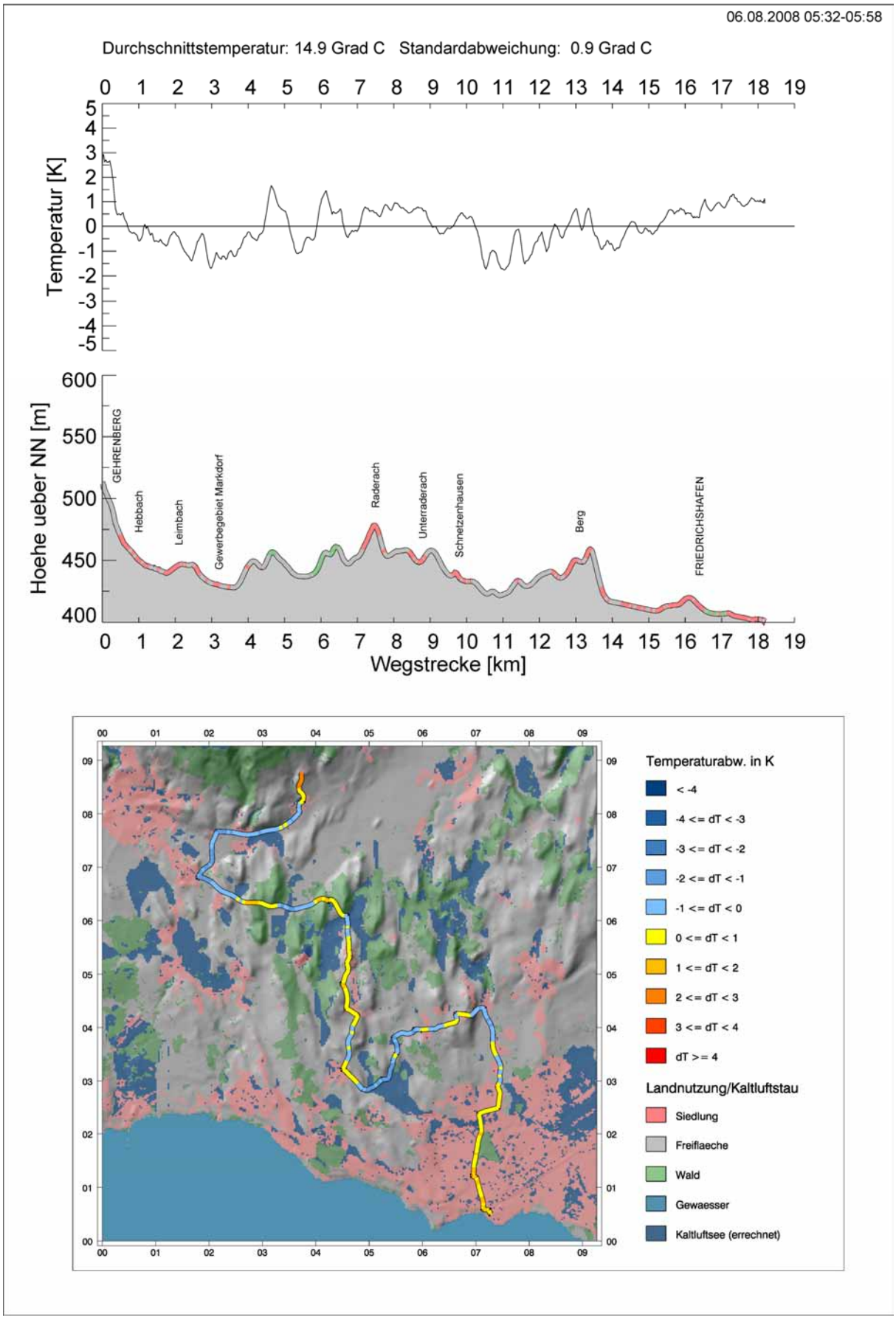


Abbildung 8: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Gehrenberg und Friedrichshafen am 06.08.2008 zwischen 05:32 Uhr und 05:58 Uhr MESZ.

3.3 Statistische Auswertung der Daten

Die statistische Auswertung der Daten beschränkte sich im Rahmen von REKLIBO auf die Analyse der Häufigkeiten bestimmter Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsklassen an den verschiedenen Wetterstationen.

Um zwischen den Verhältnissen am Tage und in der Nacht differenzieren zu können, wurden diese Häufigkeitsanalysen nicht nur auf die gesamten Messtage, sondern auch auf die entsprechenden Tag- und Nachtstunden angewandt. Dazu wurden für alle Tage des Messzeitraums die astronomischen Sonnenauf- und Sonnenuntergangszeiten bestimmt und in die mit der Programmiersprache IDL erstellten Auswertealgorithmen integriert.

Um der besonderen Bedeutung windschwacher Strahlungswetterlagen gerecht zu werden, wurden diese Auswertungen zusätzlich auf eine Auswahl von Tagen angewandt, die dem oben genannten Wetterlagentyp zugeordnet werden konnten. Die Auswahl dieser Tage erfolgte durch eine visuelle Analyse der Tagesdiagramme an den verschiedenen Stationen. Tage mit einem ausgeprägten Tagesgang der Lufttemperatur (mit deutlicher Abkühlungsphase um die Zeit des Sonnenuntergangs und einem gleichmäßigen Nachlassen der Lufttemperatur während der Nachstunden) und tagsüber vergleichsweise niedrigen Windgeschwindigkeiten wurden in einer Liste geführt, die am Ende der Messperiode insgesamt 46 Tage umfasste. Nachfolgende Tabelle listet diese Tage auf:

Ausgewählte Tage, die als windschwache Strahlungstage einer gesonderten statistischen Analyse unterzogen wurden.

09.06.2008	25.06.2008	15.07.2008	24.08.2008	09.09.2008	12.10.2008
12.06.2008	27.06.2008	16.07.2008	26.08.2008	23.09.2008	14.10.2008
18.06.2008	28.06.2008	24.07.2008	27.08.2008	27.09.2008	15.10.2008
19.06.2008	01.07.2008	25.07.2008	28.08.2008	29.09.2008	18.10.2008
20.06.2008	02.07.2008	03.08.2008	29.08.2008	05.10.2008	19.10.2008
21.06.2008	04.07.2008	06.08.2008	30.08.2008	06.10.2008	20.10.2008
22.06.2008	05.07.2008	10.08.2008	02.09.2008	08.10.2008	
23.06.2008	10.07.2008	18.08.2008	08.09.2008	11.10.2008	

Zur Darstellung wurden die Häufigkeitsanalysen in die oben bereits beschriebenen Stärkewindrosen umgesetzt. Es ergeben sich folgende Typen:

- Alle Messtage, alle Stunden
- Alle Messtage, Tagstunden (nach Sonnenaufgang, vor Sonnenuntergang)
- Alle Messtage, Nachtstunden (vor Sonnenaufgang, nach Sonnenuntergang)
- Strahlungstage, alle Stunden
- Strahlungstage, Tagstunden (nach Sonnenaufgang, vor Sonnenuntergang)
- Strahlungstage, Nachtstunden (vor Sonnenaufgang, nach Sonnenuntergang)

Weil innerhalb von REKLIBO den nächtlichen Kaltluftbewegungen besondere Bedeutung zukommt, wurden in die vorliegende Druckfassung nur folgende Stärkewindrosen aufgenommen:

- Alles Messtage, alle Stunden
- Alle Messtage, Nachtstunden
- Nur Strahlungstage, Nachtstunden

Alle anderen Stärkewindrosen sind dem Anhang (CD) zu entnehmen.

3.4 Lage der Untersuchungsgebiete

Im Rahmen des Messprogramms wurden insgesamt sieben Untersuchungsgebiete definiert, deren ungefähre Lage aus Abbildung 9 zu entnehmen ist.

Bei der Wahl der Untersuchungsgebiete kamen folgende Kriterien zur Anwendung:

- Ein Untersuchungsgebiet sollte innerhalb der Region in einem schlecht durchlüfteten Teilgebiet liegen, damit ein Kenntnisgewinn im Hinblick auf die Ausgangsfragestellungen von REKLIBO zu erwarten ist.
- Ein Untersuchungsgebiet sollte exemplarischen Charakter im Hinblick auf die für die Region typischen Landschaftselemente haben (vgl. Band 1).
- Die Messungen in einem Untersuchungsgebiet sollten einen Beitrag zur Validierung der Modellergebnisse leisten können.

Die Begründungen für die Wahl der einzelnen Gebiete erfolgt im nachfolgenden Kapitel, das die Ergebnisse in den einzelnen Untersuchungsräumen ausführlich beschreibt.

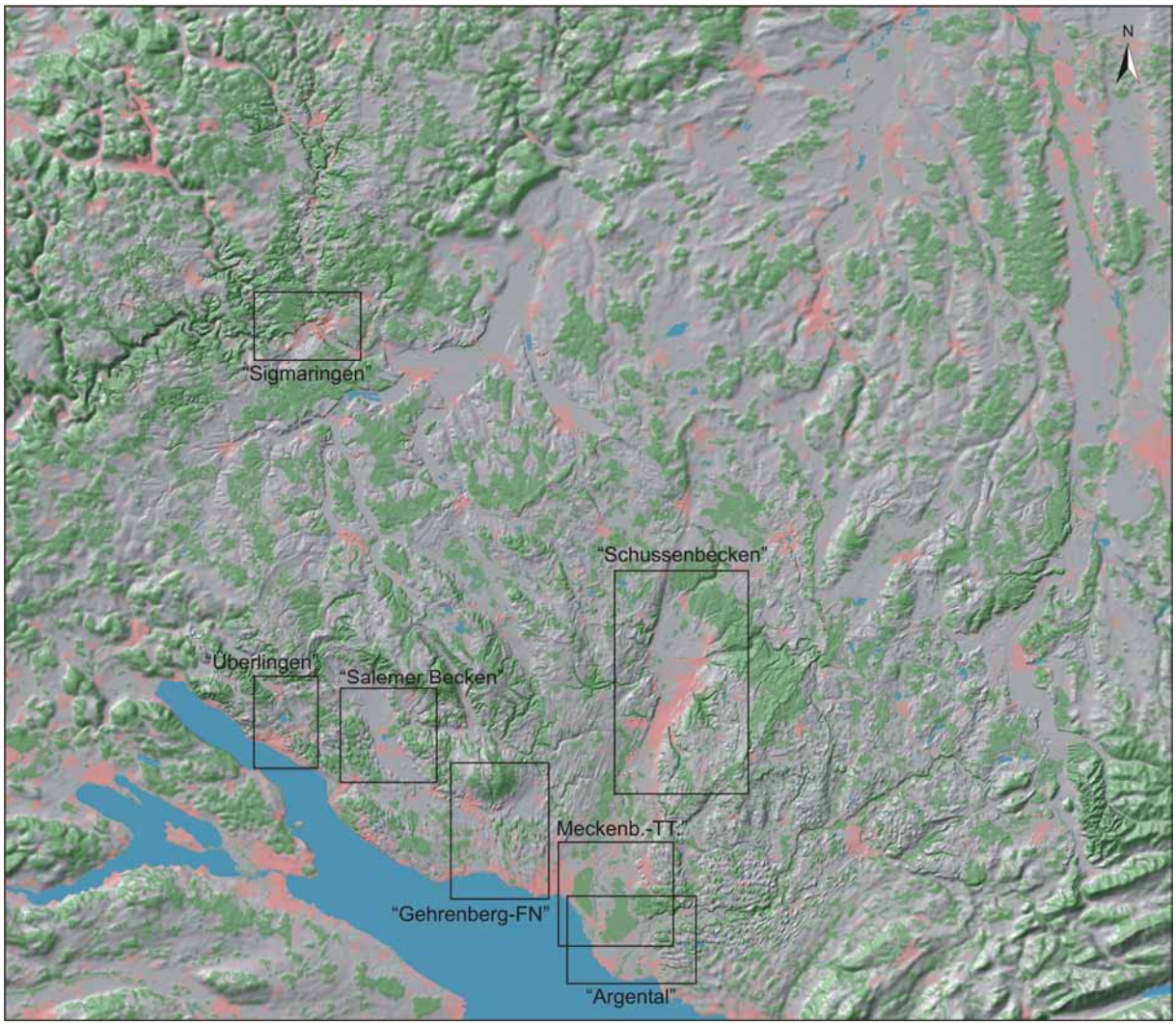


Abbildung 9: Lage und „Namen" der Gebiete, die im Rahmen des REKLIBO-Messprogramms näher untersucht wurden.

4 Ergebnisse in den Untersuchungsräumen

4.1 Untersuchungsgebiet „Überlingen“

4.1.1 Beschreibung des Untersuchungsraums

Lage und naturräumliche Einordnung

Das Untersuchungsgebiet „Überlingen“ zieht sich in einem Bogen von Owingen (4,5 km nördlich Überlingen) über Bambergen und das Gewerbegebiet „Überlingen Nord 4“ bis an das Bodenseeufer zwischen den Siedlungsrändern von Überlingen und Nußdorf. Die naturräumliche Gliederung Deutschlands spricht hier vom „Überlinger Hügelland“ (Benzing, S. 15).

Drei Teilgebiete lassen sich unterscheiden: Eine *Beckenlage* zwischen Owingen und Reutehöfe mit dem Auenbach als Tiefenlinie. Anschließend ein sattelartiger Übergangsbereich zwischen Reutehöfe und Rengoldshausen mit dem Gewerbegebiet „Überlingen Nord 4“ im Zentrum. Schließlich der *Tobelbereich* zwischen Altbirnau und Nußdorf, der das Steilufer des Bodensees durchschneidet und nördlich von Nußdorf in das Bodenseebecken mündet (vgl. Abbildung 12)

Relief

Das Becken zwischen Owingen und Reutehöfe neigt sich in seiner Tiefenlinie (Auenbach) mit rund 1 % südostwärts. Es wird im Norden und Nordwesten von stark zertalten Höhenzügen umrahmt, die beachtliche Höhen von teilweise über 700 m ü.NN. erreichen. Der zentrale Teil des Beckens liegt westlich von Bambergen inmitten einer kuppigen Grundmoränenlandschaft. Die Höhenunterschiede sind hier wesentlich geringer. Entsprechend stark variieren die Neigungsverhältnisse der das gesamte Becken umgebenden Hänge. Sie liegen zwischen 5 % und 25 %.

Der südöstlich anschließende Übergangsbereich erhebt sich rund 20 bis 30 m in Form mehrerer langgezogener Rücken über das genannte Becken und riegelt dieses nach Südosten hin ab. Eine Ausnahme bildet lediglich die Abflussrinne des Auenbachs. Nach Durchschneidung des Querriegels mündet dieser in den Riedbach und fließt ab Deisendorf zunächst nach Süden, um nach zwei markanten Richtungswechseln schließlich in Nußdorf auf 395 m ü.NN. in den Bodensee zu münden. Dabei hat er sich deutlich in den Untergrund eingetieft. Der so entstandene Tobel bei Altbirnau hat in seiner Tiefenlinie im nordöstlich-südwestlich verlaufenden Teil eine Neigung von unter 1 %. Die Tobelhänge haben Neigungen zwischen 10 % und 27 %.

Geologie

Das Untersuchungsgebiet ist überwiegend von Moränenmaterial und Schottern der Würmkaltzeit bedeckt. Die Beckensohle entlang des Auenbaches besteht hingegen aus postglazialen fluvialen Auensedimenten. Die Höhenzüge der nördlichen bzw. nordwestlichen Umrahmung bestehen zumindest im Kern aus tertiären Molassegesteinen. Im Bereich des Tobels bei Altbirnau dürften an den besonders steilen Hängen kleinräumig ebenfalls Gesteine der Molasse anzutreffen sein.

Landnutzung

Das Becken zwischen Owingen und Reutemühle weist Weide- und Ackerflächen auf. Die sattelartige Übergangszone ist im Bereich des Gewerbegebiets durch Gebäude und Straßenflächen stark versiegelt, zeigt aber in der Umgebung neben kleineren Siedlungs- und Waldgebieten auch Acker- und Weideland sowie Obstgärten. Der Tobelbereich ist bis auf

wenige Wiesenflächen und Obstgärten im unteren Teil dicht bewaldet. Er mündet in ein Siedlungsgebiet mit mäßiger gewerblicher bzw. industrieller Nutzung und einen schmalen Uferstreifen mit wenig dichter Verbauung durch Wohnhäuser.

Klimatische Einordnung

Laut Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2006) beträgt die Jahresmitteltemperatur im Untersuchungsgebiet zwischen 8,1 und 9°C. Bezogen auf das Sommerhalbjahr sind es 13,6 bis 14°C. Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist mit 2,3 bis 2,9 m/s angegeben. Im langjährigen Mittel tritt an 225 Tagen im Jahr eine Inversion auf, die Durchlüftungssituation fällt in die Klasse „schlecht“. Durchschnittlich weisen 30 Tage im Jahr Wärmebelastung auf.

Begründung der Wahl des Untersuchungsgebiets

Damit sind in einem vergleichsweise kleinen Raum mehrere der in Band 1 beschriebenen typischen Landschaftselemente der Region Bodensee-Oberschwaben enthalten. Ein inmitten einer kuppigen würmzeitlichen Grundmoränenlandschaft liegendes kleines Becken (Zungenbecken), das zusätzlich von aus Molassegesteinen aufgebauten Höhenzügen umrahmt wird sowie ein kurzes relativ steiles Tal (Tobel), das zum nahe gelegenen Bodensee hin entwässert.

4.1.2 Fragestellungen

Im Untersuchungsgebiet stellen sich hinsichtlich der Durchlüftungssituation bei windschwachen Strahlungswetterlagen unter anderem folgende Fragen:

- Kommt es im Untersuchungsgebiet zur Ausbildung nächtlicher Talabwinde bzw. Hangabwinde?
- Wenn ja, mit welcher Häufigkeit und Intensität treten sie auf?
- Kommt es zu einer Verzahnung von Talabwinden und Hangabwinden?
- Welche Rolle spielt ein möglicher Talabwind aus dem Becken zwischen Owingen und Reutehöfe hinsichtlich der Belüftungssituation im Gewerbegebiet „Überlingen Nord 4“?
- Welche Rolle spielen der Tobel und die umliegenden Hanglagen bei Altbirnau hinsichtlich der Belüftungssituation der Siedlungsgebiete zwischen Überlingen und Nußdorf?
- Kommt es zu einer Verzahnung zwischen möglichen Kaltluftabflüssen aus dem Überlinger Hinterland und einem Land-Seewind-System?

4.1.3 Messverfahren und Messstandorte

4.1.3.1 Betrieb einfacher Funkwetterstationen

Zur Bestimmung der Häufigkeit und Intensität potentiell auftretender Kaltluftabflüsse in Bodennähe wurden an zwei Standorten einfache Funkwetterstationen eingesetzt. Sie zeichnen Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund kontinuierlich auf (vgl. Kap. 3.2). Die Station „Altbirnau“ wurde betrieben vom 19.06. bis 14.10.2008. Die Station „Bambergen“ wurde betrieben vom 19.06. bis 11.08.2008. Die hier vergleichsweise kurze Laufzeit ist begründet durch mehrfachen Vandalismus bzw. Gerätediebstahl.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 12):

Station „Bambergen“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes und möglicher Hangabwinde im Beckenbereich, weitestgehend unter Ausschluss relevanter Strömungshindernisse wie größere Siedlungskörper, Waldgebiete etc.

Blickrichtung NO

Blickrichtung SO

Blickrichtung SW

Blickrichtung NW

Abbildung 10: Ansichten der Funkwetterstation „Bambergen“.

Station „Altbirnau“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Tobel bei Altbirnau und möglicher Hangwinde von den nach Süden exponierten Hängen oberhalb Überlingen
- zudem Versuch einer bodennahen Erfassung eines möglichen Land-Seewind-Systems in Ufernähe

Blickrichtung NO

Blickrichtung SO

Blickrichtung SW

Blickrichtung NW

Abbildung 11: Ansichten der Funkwetterstation „Altbirnau“.

4.1.3.2 Durchführung von Handmessungen

Um das Beobachtungsnetz zu verdichten, insbesondere um der Frage nach einer möglichen Verzahnung von Hangab- und Talabwinden nachzugehen, wurden zusätzlich Handmessungen durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Dabei wurden an insgesamt fünf Standorten Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund an ausgewählten Messtagen zu ausgewählten Messzeiten erfasst.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 12):

Standort HM1

- bodennahe Erfassung möglicher nächtlicher Hangabwinde von den südwestexponierten Hängen in den Beckenbereich

Standort HM2

- bodennahe Erfassung möglicher nächtlicher Hangabwinde von den nordostexponierten Hängen in den Beckenbereich

Standort HM3

- bodennahe Erfassung eines möglichen Überfließens des Geländerückens vom Becken in Richtung des Gewerbegebiets

Standort HM4

- bodennahe Erfassung möglicher Kaltluftabflüsse im Lee des Gewerbegebiets

Standort HM5

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Tobel bei Altbirnau

An folgenden Tagen wurden Handmessungen durchgeführt:

- Messtag 1: Zeitraum: 27.06.2008 zwischen 20.43 Uhr und 23.55 Uhr MESZ
- Messtag 2: Zeitraum: 18.03.2009 zwischen 17.28 Uhr und 20.32 Uhr MEZ

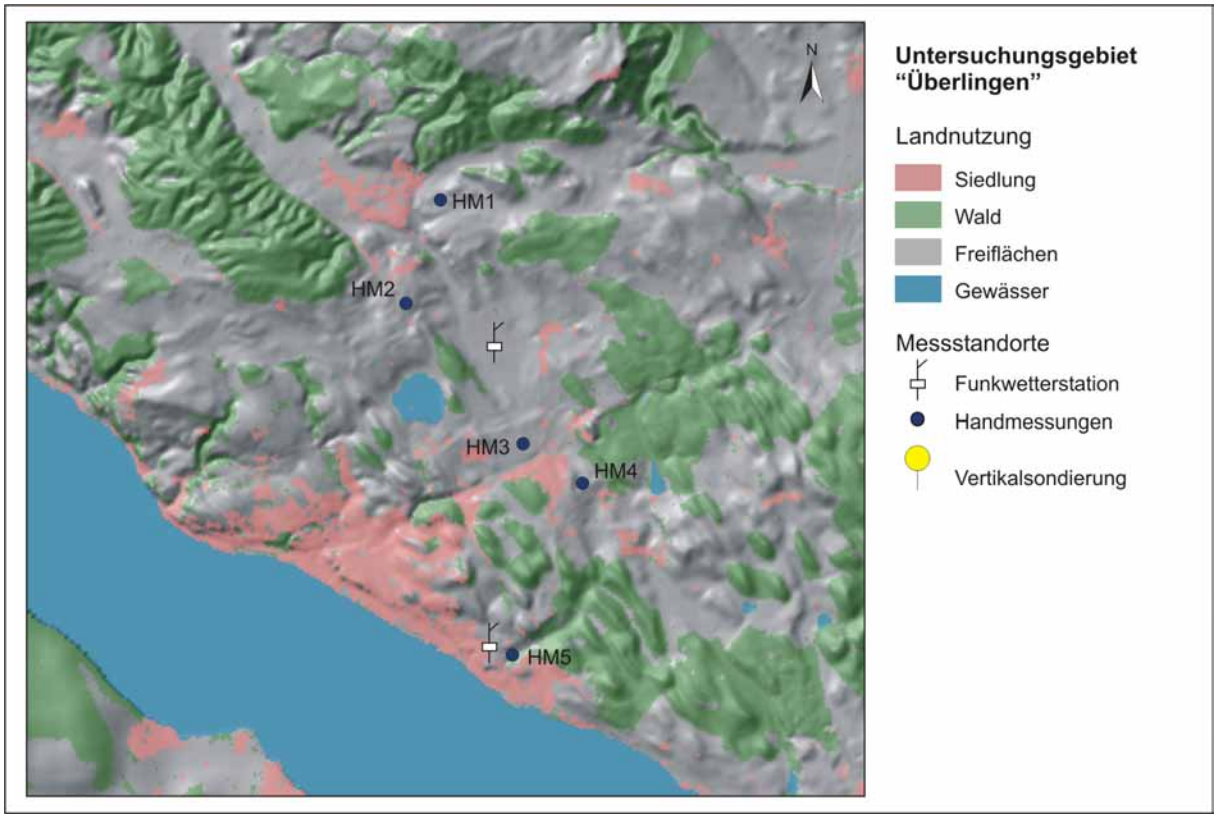


Abbildung 12: Das Untersuchungsgebiet „Überlingen“ mit allen Messstandorten.

4.1.4 Beschreibung der Messergebnisse

4.1.4.1 Ergebnisse der Funkwetterstationen

Die betriebenen Funkwetterstationen speichern die gemessenen Werte in 10-Minuten-Inverallen ab. Über mehrere Monate Laufzeit ergibt dies große Datenmengen, die grafisch unterschiedlich aufbereitet wurden. Zunächst wird am Beispiel von Tagesdiagrammen ein einzelner „idealer Strahlungstag“ betrachtet. Damit kann gezeigt werden, ob an den betreffenden Standorten überhaupt mit nennenswerten Hang- und Talwindsystemen zu rechnen ist. Die anschließende Betrachtung des gesamten Messzeitraums über Isoplethendarstellungen und Stärkewindrosen erlaubt unter anderem Aussagen über die Häufigkeit der beobachtbaren Phänomene.

Betrachtung eines „idealen Strahlungstages“

Im Folgenden wird am Beispiel zweier Tagesdiagramme der Zeitraum vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ vorgestellt. Der Zeitraum war geprägt von „idealen Strahlungsverhältnissen“ mit sehr geringer Bewölkung und nur geringen Geschwindigkeiten der übergeordneten Winde.

Die Beschreibung der Ergebnisse (s. nachfolgende Diagramme) erfolgt stichwortartig, um größtmögliche Kompaktheit zu erreichen.

Lufttemperaturen

- ausgeprägter Tagesgang an beiden Stationen (kleinere Schwankungen während des Tages lassen sich unter anderem auf den kurzzeitigen Durchzug kleinerer Wolkenfelder und den eingeschränkten Strahlungsschutz am Thermo-Hygrometer (vgl. Kap 3) zurückführen)
- Maximaltemperaturen zwischen 17 Uhr und 18 Uhr MESZ (ca. 28°C an beiden Stationen)
- rascher Temperaturrückgang zwischen 18 Uhr und 21 Uhr MESZ
- gleichmäßige Temperaturabnahme im Laufe der Nacht
- Minimumtemperaturen von ca. 9°C („Bambergen“) und ca. 10°C („Altbirnau“) kurz vor 7 Uhr MESZ
- rascher Anstieg nach 7 Uhr MESZ auf ca. 26°C um 12 Uhr MESZ
- tagsüber an beiden Stationen vergleichbare Temperaturen

Windrichtungen

- während der Tagstunden an beiden Stationen Wind schwerpunktmäßig aus südlichen Richtungen
- mit Sonnenuntergang rasches Drehen der Windrichtungen auf NNW bis W („Bambergen“) bzw. NO („Altbirnau“)
- auffallend konstante Windrichtungen an der Station „Altbirnau“ während der ganzen Nacht
- nach Sonnenaufgang erneutes Drehen auf östliche, später südliche Richtungen („Bambergen“) bzw. auf durchgängig südliche Richtungen („Altbirnau“)

Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an beiden Stationen vergleichbare Größenordnung (an der Station „Bambergen“ stärkere Böen)
- mit abnehmender Temperatur rascher Rückgang der Windgeschwindigkeit bei gleichbleibender Windrichtung (die an beiden Stationen zu beobachtenden Windgeschwindigkeitsspitzen zur Sonnenuntergangszeit können als kurzzeitige Böen im Zusammenhang mit regionalen Gewitterzellen gedeutet werden)

- an der Station „Bambergen“ um ca. 20 Uhr MESZ kurzer Impuls mit ca. 0,4 m/s aus WSW-Richtungen, dann über die komplette Nacht sehr kleine Windgeschwindigkeiten um 0,1 m/s
- an der Station „Altbirnau“ nach dem Rückgang der Windgeschwindigkeiten zu Sonnenuntergang auflebender Wind mit rund 0,7 m/s über die ganze Nacht
- Spitzenwerte mit knapp 1 m/s um ca. 22 Uhr MESZ
- an beiden Stationen periodische Verstärkungen
- einige Stunden nach Sonnenaufgang erneutes Auffrischen des Windes auf die tagestypischen Windgeschwindigkeiten

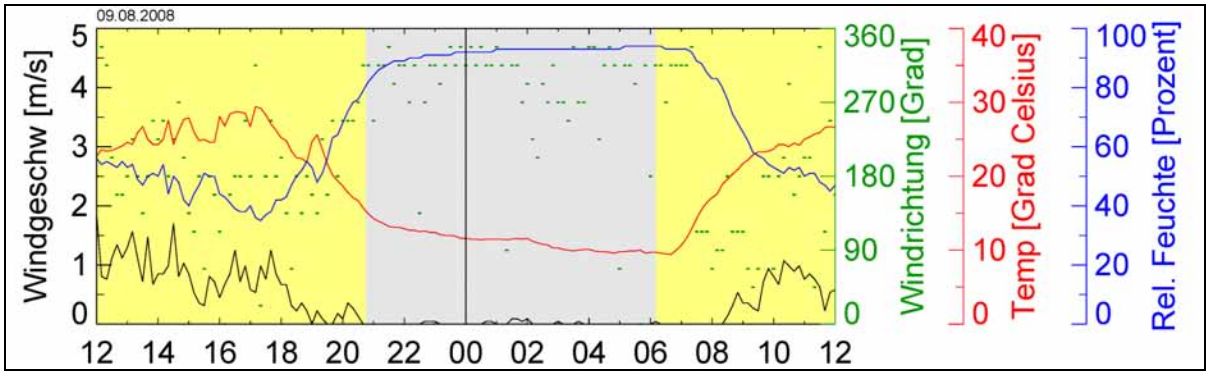


Abbildung 13: Tagesdiagramm der Station „Bambergen“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

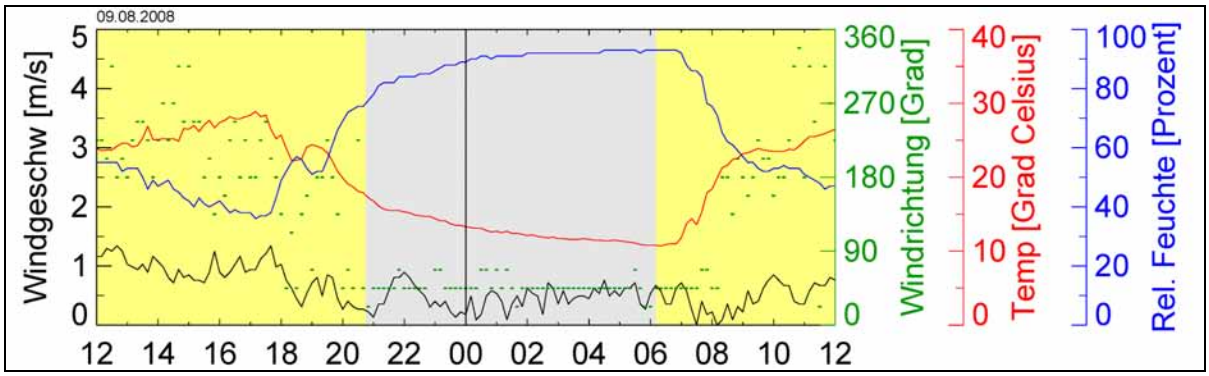


Abbildung 14: Tagesdiagramm der Station „Altbirnau“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

Betrachtung des gesamten Messzeitraums

Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen

- an beiden Stationen während der meisten Tage Phase rascher und starker Temperaturabnahme um die Zeit des Sonnenuntergangs
- an beiden Stationen anschließend kontinuierliche Abkühlung während der Nacht
- an beiden Stationen starke Zunahme der Lufttemperatur rund zwei Stunden nach Sonnenaufgang, in Altbirnau etwas früher

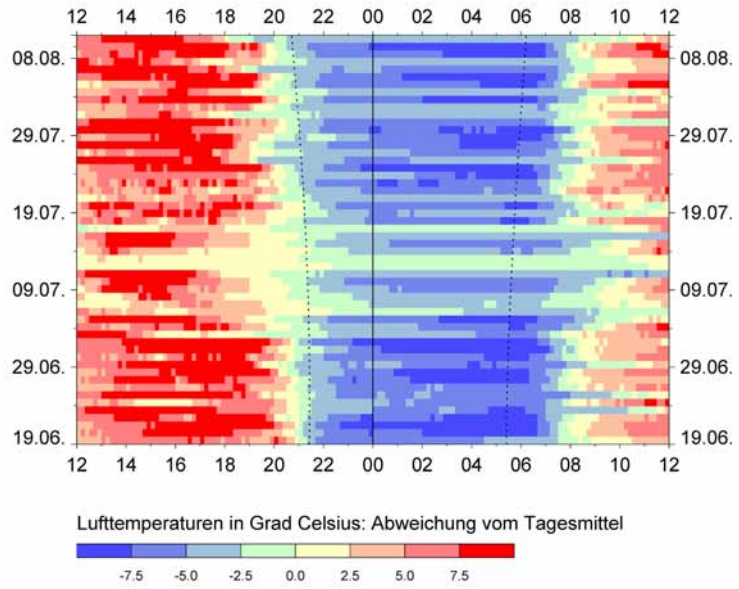


Abbildung 15: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Bambergen“. Abweichung vom Tagesmittel.

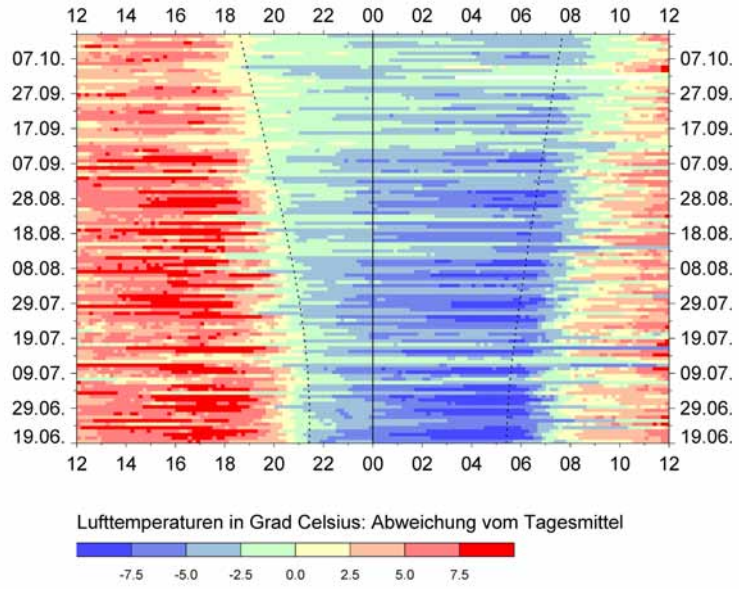


Abbildung 16: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Altbirnau“. Abweichung vom Tagesmittel.

Isoplethendarstellung der Windrichtungen

- über den nahezu kompletten Messzeitraum an der Station „Bambergen“ zur Sonnenuntergangszeit Drehen der Winde von S (große Streuung) auf NW/NNW, jedoch auch immer wieder auch Winde aus W
- wesentlich deutlicherer periodischer Windrichtungswechsel an der Station „Altbirnau“: zur Zeit des Sonnenuntergangs Drehen des Windes von S auf NO
- an beiden Stationen Wechsel der Windrichtung rund zwei Stunden nach Sonnenaufgang auf Richtungen entsprechend der Tagsituation
    - Richtungswechsel an der Station „Altbirnau“ über den kompletten Messzeitraum wesentlich deutlicher

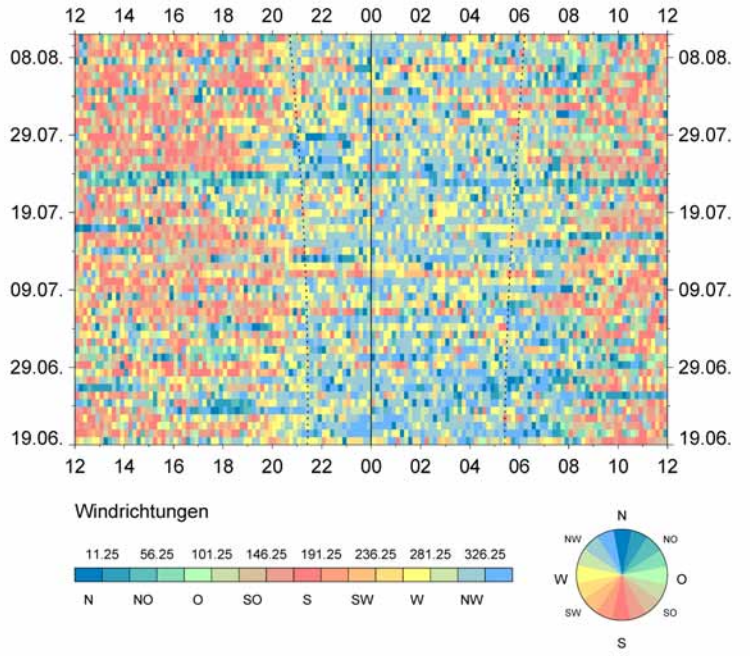


Abbildung 17: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Bambergen“.

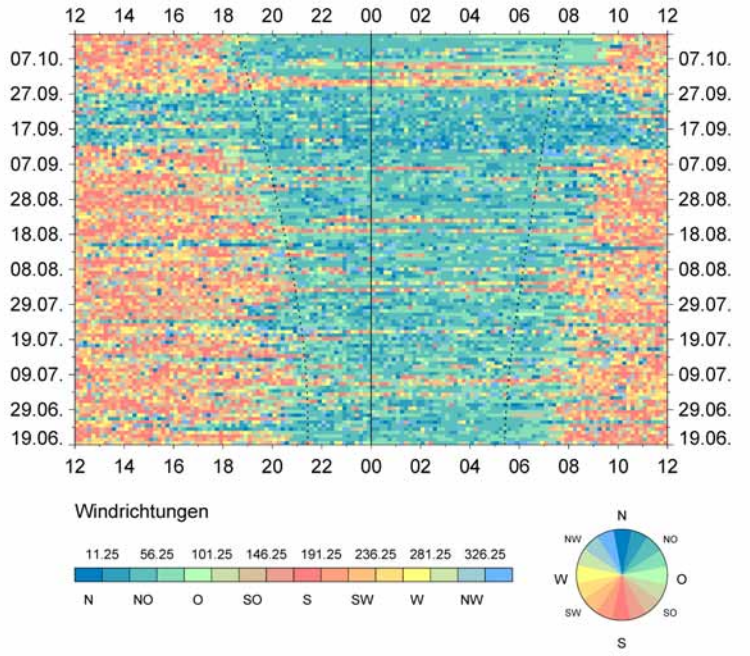


Abbildung 18: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Altbirnau“.

Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an beiden Stationen Windgeschwindigkeiten überwiegend zwischen 0,5 m/s bis 2 m/s
- an beiden Station rasches Nachlassen der Geschwindigkeit noch vor Sonnenuntergang
- deutlich ausgeprägte Schwachwindphase vor Sonnenuntergang (an der Station „Altbirnau“ deutlicher), danach wiederum Aufleben des Windes
- an der Station „Altbirnau“ nachts Dominanz von Windgeschwindigkeiten zwischen 0 und 1 m/s (selten bis 2 m/s), Rückgang der Windgeschwindigkeiten in der zweiten Nachthälfte
- an der Station „Bambergen“ ähnliche Windgeschwindigkeiten bis zur ersten Juniwoche, anschließend jedoch rascher Rückgang der Windgeschwindigkeiten im Lauf der Nacht (unmittelbar benachbarter Mais überragt ab erster Juniwoche die Messstation, vgl. Abbildung 10)
- Zunahme der Windgeschwindigkeit oftmals erst mehrere Stunden nach Sonnenaufgang

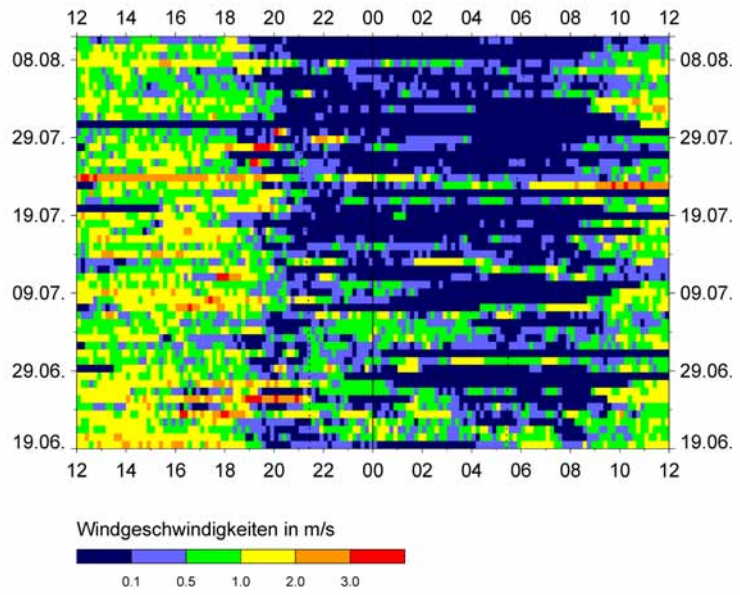


Abbildung 19: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Bambergen“.

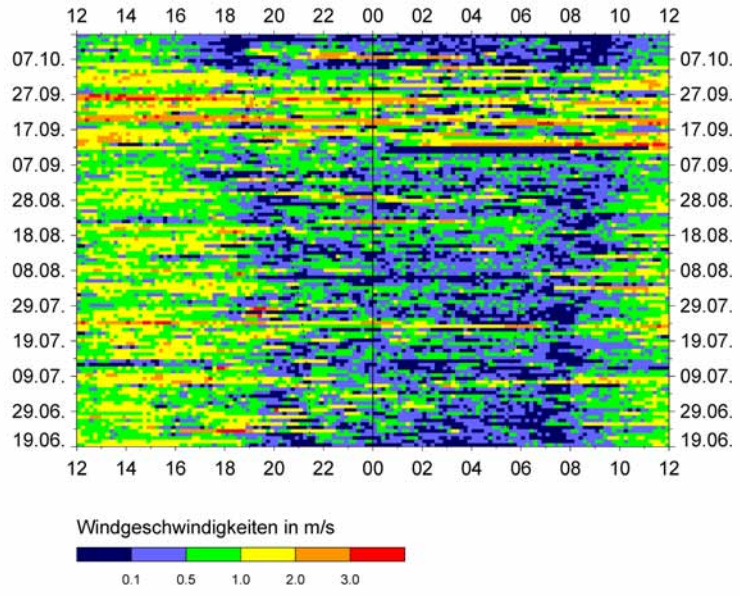


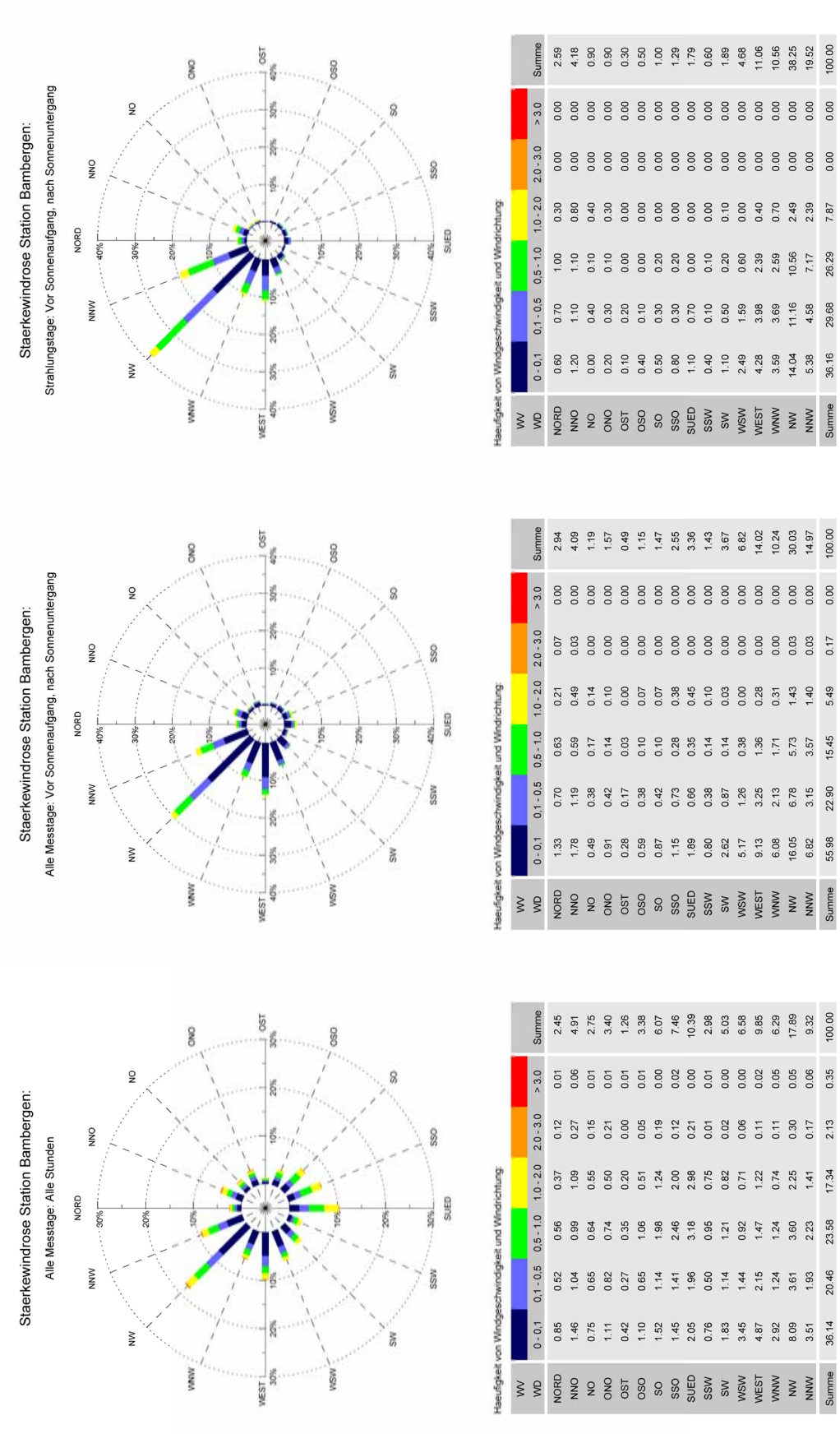
Abbildung 20: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Altbirnau“.

Stärkewindrosen der Station „Bambergen“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Bambergen“ Winde aus drei unterschiedlichen Richtungsschwerpunkten: Am häufigsten treten Winde aus NW auf, weitere Maxima sind aus W und aus S/SSO/SO zu beobachten.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so konzentrieren sich die Windrichtungen noch deutlicher auf NW/NNW bzw. auf W/WNW/WSW. Winde aus S/SSO/SO treten praktisch nicht mehr auf.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so ergibt sich eine noch größere Dominanz der oben genannten Windrichtungen. Winde aus NW bzw. NNW treten dann mit einer Häufigkeit von fast 60 % auf, die Sektoren W, WNW und WSW ergeben zusammen ca. 25 %.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen 0 und maximal 2 m/s. Dabei überwiegen die Klassen unter 1 m/s deutlich. Nur seltener werden Windgeschwindigkeiten über 1 m/s gemessen. Windgeschwindigkeiten unter 0,1 m/s zeigen an, dass auch immer wieder mit Phasen sehr geringer Luftbewegungen bis hin zur Windstille zu rechnen ist.

Stärkewindrosen der Station „Altbirnau“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Altbirnau“ Winde aus drei unterschiedlichen Richtungsschwerpunkten: Am häufigsten treten Winde um NO auf, weitere Maxima sind um S und aus SW/WSW zu beobachten.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so konzentrieren sich die Windrichtungen ausschließlich auf NO, ONO und NNO. Winde aus anderen Richtungen treten praktisch nicht mehr auf.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so ergibt sich eine noch größere Dominanz der oben genannten Windrichtungen. Winde aus NO treten dann mit einer Häufigkeit von ca. 48 %, Winde aus ONO mit ca. 28 % und Winde aus NNO mit ca. 12 % auf. Damit entfallen auf die genannten Richtungen annähernd 90 %.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen 0 und maximal 2 m/s, nur selten über 2 m/s. Dabei überwiegen die Klassen unter 1 m/s deutlich. Selten werden Windgeschwindigkeiten über 1 m/s gemessen. Windgeschwindigkeiten unter 0,1 m/s zeigen an, dass auch hier teilweise mit Phasen sehr geringer Luftbewegungen zu rechnen ist. Gegenüber der Station „Bambergen“ treten solche Phasen jedoch seltener auf.



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.60	0.70	1.00	0.30	0.00	0.00	2.59
NNO	1.20	1.10	1.10	0.80	0.00	0.00	4.18
NO	0.00	0.40	0.10	0.40	0.00	0.00	0.90
ONO	0.20	0.30	0.10	0.30	0.00	0.00	0.90
OST	0.10	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
OSO	0.40	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
SO	0.50	0.30	0.20	0.00	0.00	0.00	1.00
SSO	0.80	0.30	0.20	0.00	0.00	0.00	1.29
SUED	1.10	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79
SSW	0.40	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.60
SW	1.10	0.50	0.20	0.10	0.00	0.00	1.89
WSW	2.49	1.59	0.60	0.00	0.00	0.00	4.68
WEST	4.28	3.98	2.39	0.40	0.00	0.00	11.06
WNW	3.59	3.69	2.59	0.70	0.00	0.00	10.56
NW	14.04	11.16	10.56	2.49	0.00	0.00	38.25
NNW	5.38	4.58	7.17	2.39	0.00	0.00	19.52
Summe	36.16	29.68	26.29	7.87	0.00	0.00	100.00

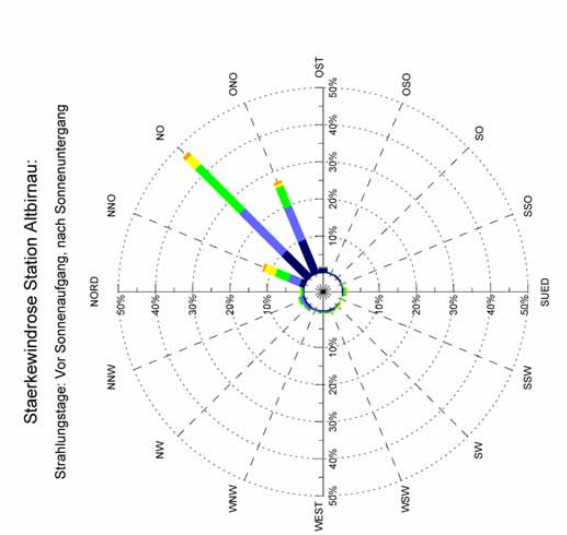
Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.33	0.70	0.63	0.21	0.07	0.00	2.94
NNO	1.78	1.19	0.59	0.49	0.03	0.00	4.09
NO	0.49	0.38	0.17	0.14	0.00	0.00	1.19
ONO	0.91	0.42	0.14	0.10	0.00	0.00	1.57
OST	0.28	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.49
OSO	0.59	0.38	0.10	0.07	0.00	0.00	1.15
SO	0.87	0.42	0.10	0.07	0.00	0.00	1.47
SSO	1.15	0.73	0.28	0.38	0.00	0.00	2.55
SUED	1.89	0.66	0.35	0.45	0.00	0.00	3.36
SSW	0.80	0.38	0.14	0.10	0.00	0.00	1.43
SW	2.62	0.87	0.14	0.03	0.00	0.00	3.67
WSW	5.17	1.26	0.38	0.00	0.00	0.00	6.82
WEST	9.13	3.25	1.36	0.28	0.00	0.00	14.02
WNW	6.08	2.13	1.71	0.31	0.00	0.00	10.24
NW	16.05	6.78	5.73	1.43	0.03	0.00	30.03
NNW	6.82	3.15	3.57	1.40	0.03	0.00	14.97
Summe	55.98	22.90	15.45	5.49	0.17	0.00	100.00

Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

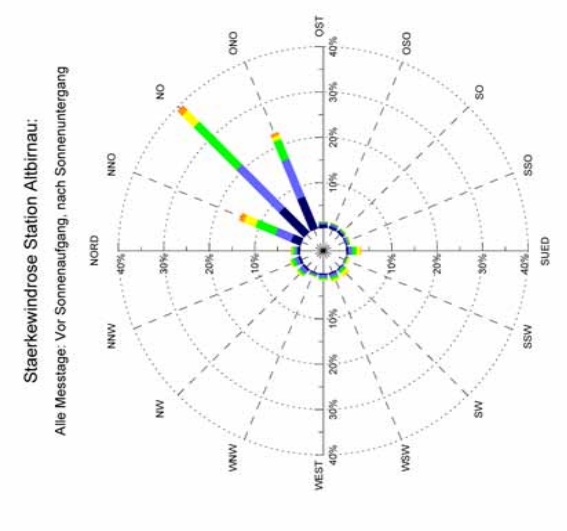
WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.85	0.52	0.56	0.37	0.12	0.01	2.45
NNO	1.46	1.04	0.99	1.09	0.27	0.06	4.91
NO	0.75	0.65	0.64	0.55	0.15	0.01	2.75
ONO	1.11	0.82	0.74	0.50	0.21	0.01	3.40
OST	0.42	0.27	0.35	0.20	0.00	0.01	1.26
OSO	1.10	0.65	1.06	0.51	0.05	0.01	3.38
SO	1.52	1.14	1.98	1.24	0.19	0.00	6.07
SSO	1.45	1.41	2.46	2.00	0.12	0.02	7.46
SUED	2.05	1.96	3.18	2.98	0.21	0.00	10.39
SSW	0.76	0.50	0.95	0.75	0.01	0.01	2.98
SW	1.83	1.14	1.21	0.82	0.02	0.00	5.03
WSW	3.45	1.44	0.92	0.71	0.06	0.00	6.58
WEST	4.87	2.15	1.47	1.22	0.11	0.02	9.85
WNW	2.92	1.24	1.24	0.74	0.11	0.05	6.29
NW	8.09	3.61	3.60	2.25	0.30	0.05	17.89
NNW	3.51	1.93	2.23	1.41	0.17	0.06	9.32
Summe	36.14	20.46	23.58	17.34	2.13	0.35	100.00

Abbildung 21: Stärkewindrosen der Station „Bambergen“. Angaben in Prozent.



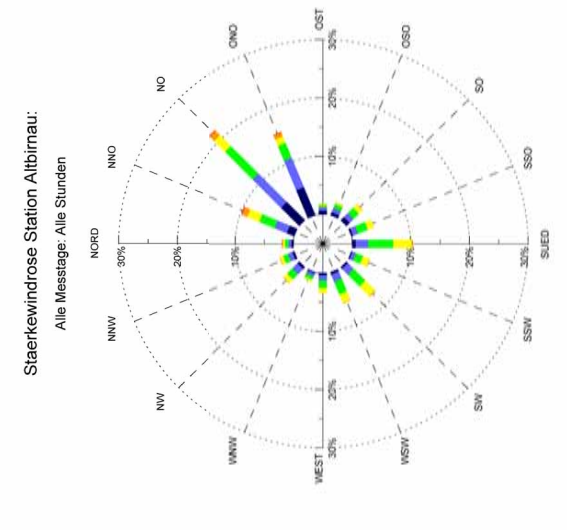
Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.21	0.08	0.63	0.25	0.00	0.00	1.17
NNO	1.46	3.26	3.84	3.09	0.58	0.00	12.23
NO	9.64	16.03	16.82	3.59	1.09	0.00	47.16
ONO	9.81	9.72	6.01	0.79	0.71	0.00	27.05
OST	1.34	0.29	0.08	0.13	0.00	0.00	1.84
OSO	0.21	0.25	0.04	0.04	0.00	0.00	0.54
SO	0.33	0.21	0.04	0.04	0.00	0.00	0.63
SSO	0.08	0.25	0.17	0.17	0.04	0.00	0.71
SUED	0.17	0.29	0.54	0.21	0.17	0.00	1.38
SSW	0.00	0.00	0.13	0.21	0.04	0.00	0.38
SW	0.08	0.21	0.25	0.46	0.00	0.00	1.00
WSW	0.29	0.29	0.25	0.13	0.04	0.00	1.00
WEST	0.17	0.38	0.29	0.08	0.00	0.00	0.92
WNW	0.13	0.42	0.04	0.08	0.00	0.00	0.67
NW	0.38	0.58	0.42	0.04	0.00	0.00	1.42
NNW	0.38	0.83	0.54	0.17	0.00	0.00	1.92
Summe	24.67	33.10	30.09	9.47	2.67	0.00	100.00



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.51	0.50	0.63	0.21	0.14	0.00	1.99
NNO	2.27	3.73	4.73	2.75	1.00	0.07	14.55
NO	7.72	13.27	13.32	3.60	1.32	0.07	39.30
ONO	7.58	9.01	4.70	0.95	0.71	0.03	22.98
OST	0.79	0.46	0.14	0.08	0.04	0.00	1.52
OSO	0.57	0.54	0.18	0.14	0.01	0.00	1.45
SO	0.49	0.38	0.22	0.15	0.00	0.00	1.24
SSO	0.18	0.46	0.31	0.19	0.03	0.00	1.17
SUED	0.36	0.83	1.03	0.82	0.15	0.00	3.20
SSW	0.07	0.17	0.25	0.32	0.08	0.00	0.89
SW	0.15	0.36	0.63	0.92	0.10	0.00	2.16
WSW	0.31	0.65	0.61	0.50	0.04	0.00	2.11
WEST	0.26	0.60	0.42	0.26	0.01	0.00	1.56
WNW	0.19	0.45	0.25	0.15	0.00	0.00	1.04
NW	0.42	0.92	0.57	0.40	0.01	0.00	2.32
NNW	0.51	0.85	0.79	0.35	0.03	0.00	2.53
Summe	22.39	33.17	28.78	11.81	3.69	0.17	100.00



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.35	0.49	0.60	0.36	0.16	0.02	1.98
NNO	1.39	2.25	2.83	2.25	0.97	0.14	9.84
NO	4.40	6.88	6.68	2.63	1.11	0.12	21.82
ONO	5.19	5.46	2.77	1.17	0.74	0.13	15.46
OST	0.66	0.57	0.28	0.22	0.09	0.01	1.83
OSO	0.57	0.78	0.73	0.27	0.05	0.01	2.40
SO	0.77	0.93	1.29	0.86	0.04	0.02	3.91
SSO	0.30	0.91	1.81	1.14	0.04	0.00	4.19
SUED	0.60	2.12	4.33	3.12	0.25	0.01	10.42
SSW	0.18	0.65	1.32	1.24	0.09	0.00	3.48
SW	0.35	1.39	2.83	2.34	0.20	0.00	7.11
WSW	0.41	1.31	2.35	1.57	0.13	0.01	5.78
WEST	0.37	0.92	1.27	0.81	0.04	0.00	3.42
WNW	0.18	0.59	0.60	0.34	0.03	0.00	1.73
NW	0.45	1.22	1.25	0.86	0.08	0.02	3.87
NNW	0.37	0.80	0.90	0.60	0.07	0.01	2.75
Summe	16.53	27.29	31.84	19.77	4.08	0.49	100.00

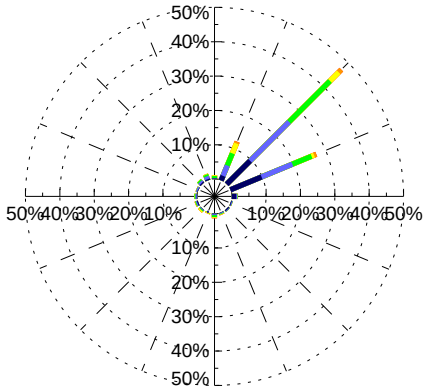
Abbildung 22: Stärkewindrosen der Station „Altbirnau“. Angaben in Prozent.

Abbildung 23: Folgende Seite: Stärkewindrosen im Untersuchungsgebiet „Überlingen“ (Strahlungsnächte).

REKLIBO Staerkewindrosen

Untersuchungsgebiet Ueberlingen

Windrichtungshaeufigkeiten
Nur Strahlungstage, Nachtstunden



Windgeschwindigkeiten in m/s:

- < 0.1
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- > 3.0

Datengrundlage:
Digitales Gelaendemodell (DGM5): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).
Landnutzungsdaten: Landsat TM5, Ebene 3, 1996/1997.

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.1.4.2 Ergebnisse der Handmessungen

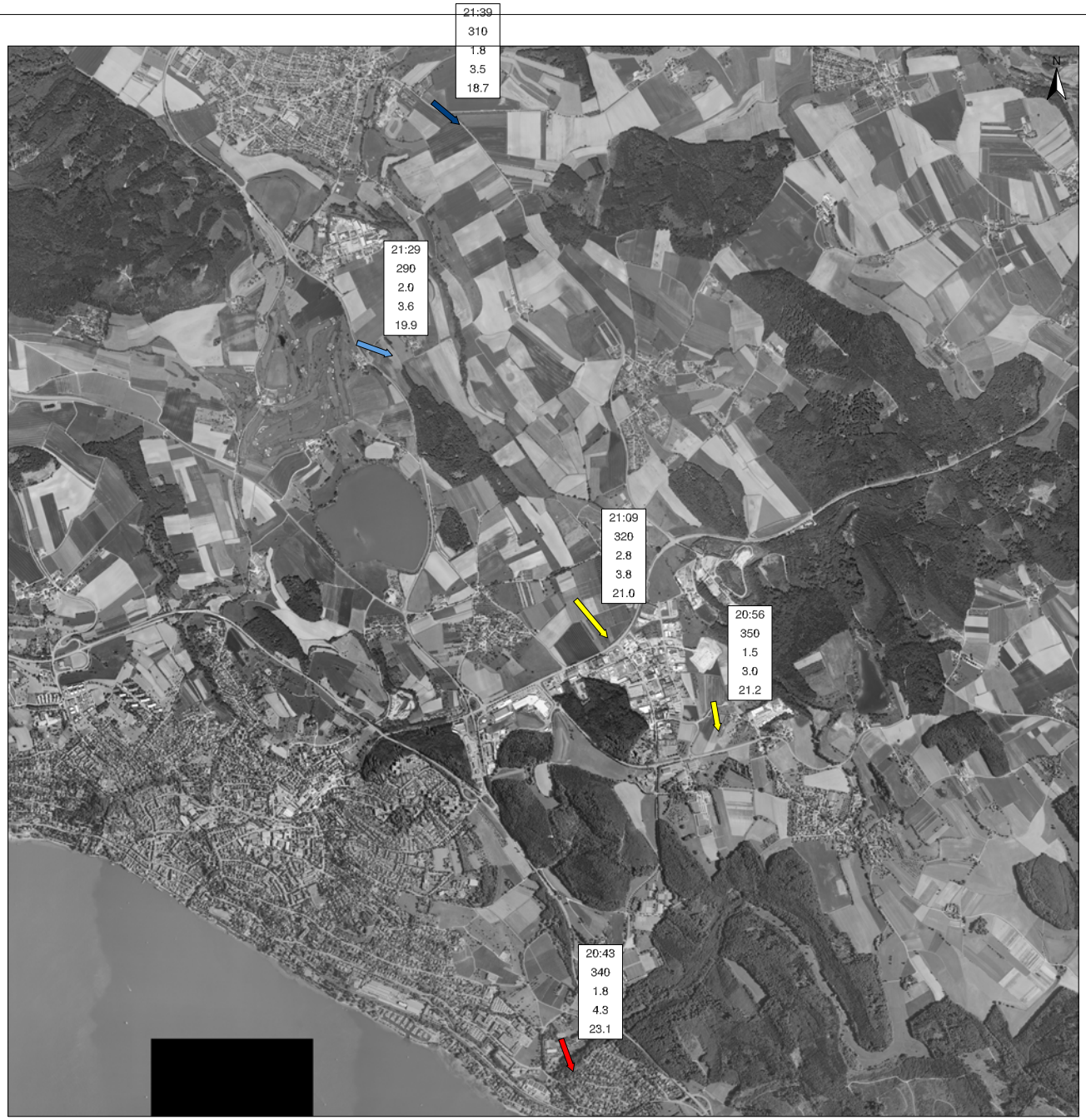
Messtag 1: 27.06.2008

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.43 Uhr und 23.55 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 20.43 Uhr und 21.39 Uhr MESZ zeigen an allen Standorten Luftbewegungen aus WNW bis NNW zwischen 1,5 und 2,8 m/s.
- Während der zweiten Messung zwischen 22.10 Uhr und 23.00 Uhr MESZ liegen die Windgeschwindigkeiten nur noch zwischen 0,8 und 1,6 m/s. Die Windrichtungen haben sich im Vergleich zur ersten Messung kaum verändert. Lediglich am Standort HM1 ist nun eine etwas stärker hangabwärts gerichtete Komponente zu beobachten. Am Standort HM5 hat sich eine eher talabwärts orientierte Windrichtung eingestellt.
- Die dritte Messung zwischen 23.15 Uhr und 23.55 Uhr MESZ zeigt, dass die Windrichtungen nun sowohl am Standort HM1 als auch am Standort HM2 hangabwärts orientiert sind. Die Geschwindigkeiten liegen hier zwischen 0,8 und 1 m/s. Am Standort HM3 geht die Windgeschwindigkeit bei einer nun etwas stärkeren Westkomponente leicht von 1,5 auf 1,3 m/s zurück. An HM4 zeigt sich ein relativ starker Rückgang der Windgeschwindigkeit von 1,6 m/s während der vorhergehenden Messung auf jetzt 0,8 m/s bei gleichbleibender Windrichtung. Der Standort HM5 weist nun eine Windrichtung auf, die nahezu gänzlich talabwärts gerichtet ist.
- Auffallend ist, dass die gemessenen Lufttemperaturen am Standort HM5 stets deutlich über jenen der restlichen Standorte liegen.

Messtag 2: 18.03.2009

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 17.28 Uhr und 20.32 Uhr MEZ. Tagsüber herrschte leichte Bewölkung. Gegen Abend stellte sich eine ausgeprägte windschwache Strahlungswetterlage ein.
- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 17.28 Uhr und 18.29 Uhr MEZ zeigen an den Standorten HM1, HM4 und HM5 hangab- bzw. talabwärts gerichtete Luftbewegungen. Hierbei wurde am Standort HM1 eine Geschwindigkeit von 2,2 m/s gemessen. An den Standorten HM4 und HM5 betragen sie lediglich 0,6 bzw. 0,5 m/s.
- An den Standorten HM2 und HM3 zeigen sich zu diesem Zeitpunkt eher hangaufwärts gerichtete Luftbewegungen. Die Windgeschwindigkeiten betragen am Standort HM2 1,1 m/s und am Standort HM3 0,7 m/s.
- Während der zweiten Messung zwischen 18.46 Uhr und 19.30 Uhr MEZ weisen alle Standorte hangab- bzw. talabwärts gerichtete Luftbewegungen auf. Die Geschwindigkeiten liegen zwischen 0,4 und 1 m/s.
- Die dritte Messung zwischen 19.47 Uhr und 20.32 Uhr MEZ zeigt keine nennenswerten Änderungen der Windrichtungen im Vergleich zur vorhergehenden Messung. Die Geschwindigkeiten bewegen sich nun in einem Bereich zwischen 0,6 und 1 m/s.
- Im Gegensatz zum ersten Messtag sind keine markanten Temperaturunterschiede zwischen dem Standort HM5 und den restlichen Standorten zu erkennen.

Abbildung 24: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Untersuchungsgebiet „Überlingen“.



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ueberlingen

27.06.2008, 20:43:00 - 21:39:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

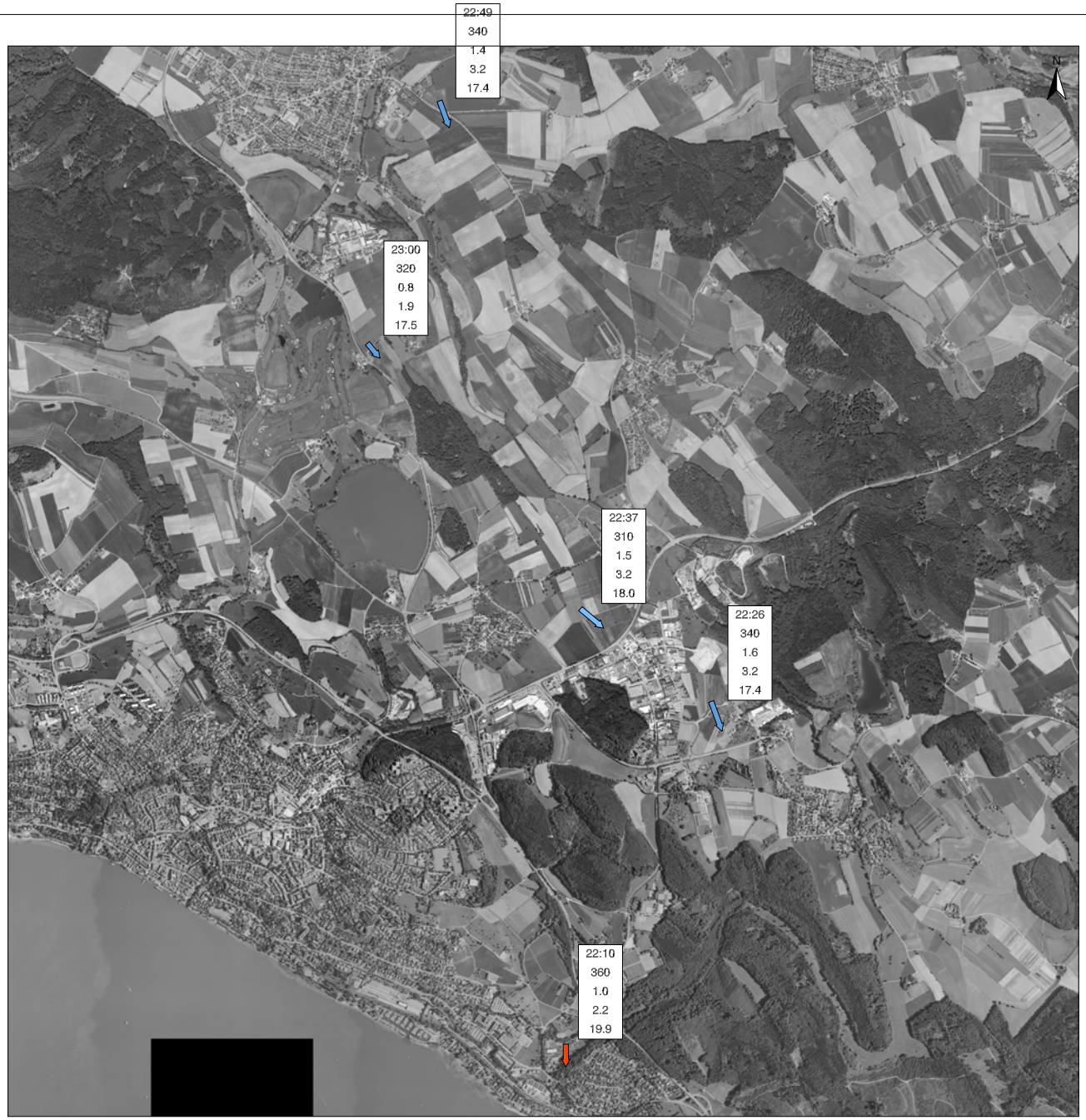
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ueberlingen

27.06.2008, 22:10:00 - 23:00:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

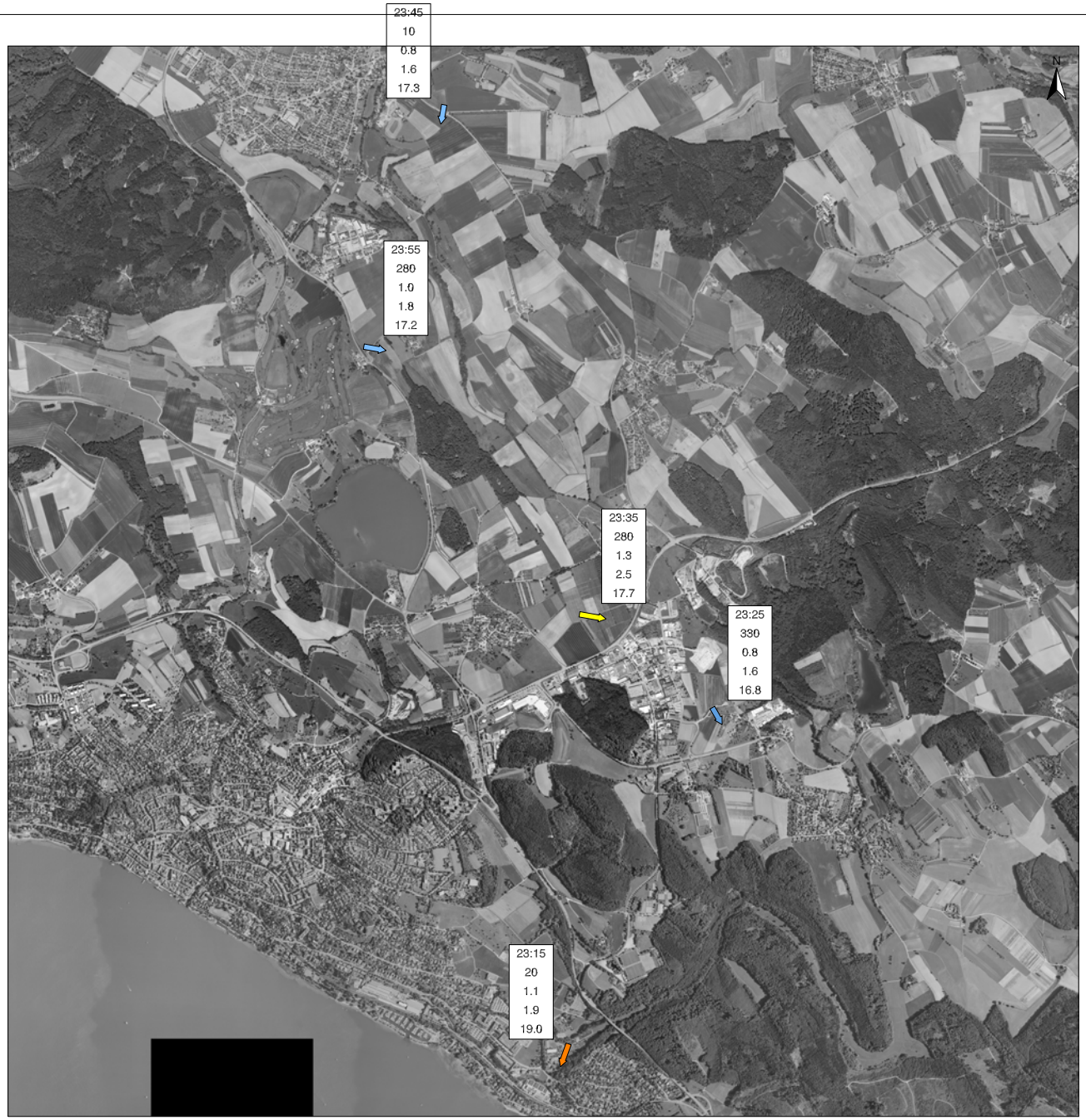
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ueberlingen

27.06.2008, 23:15:00 - 23:55:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

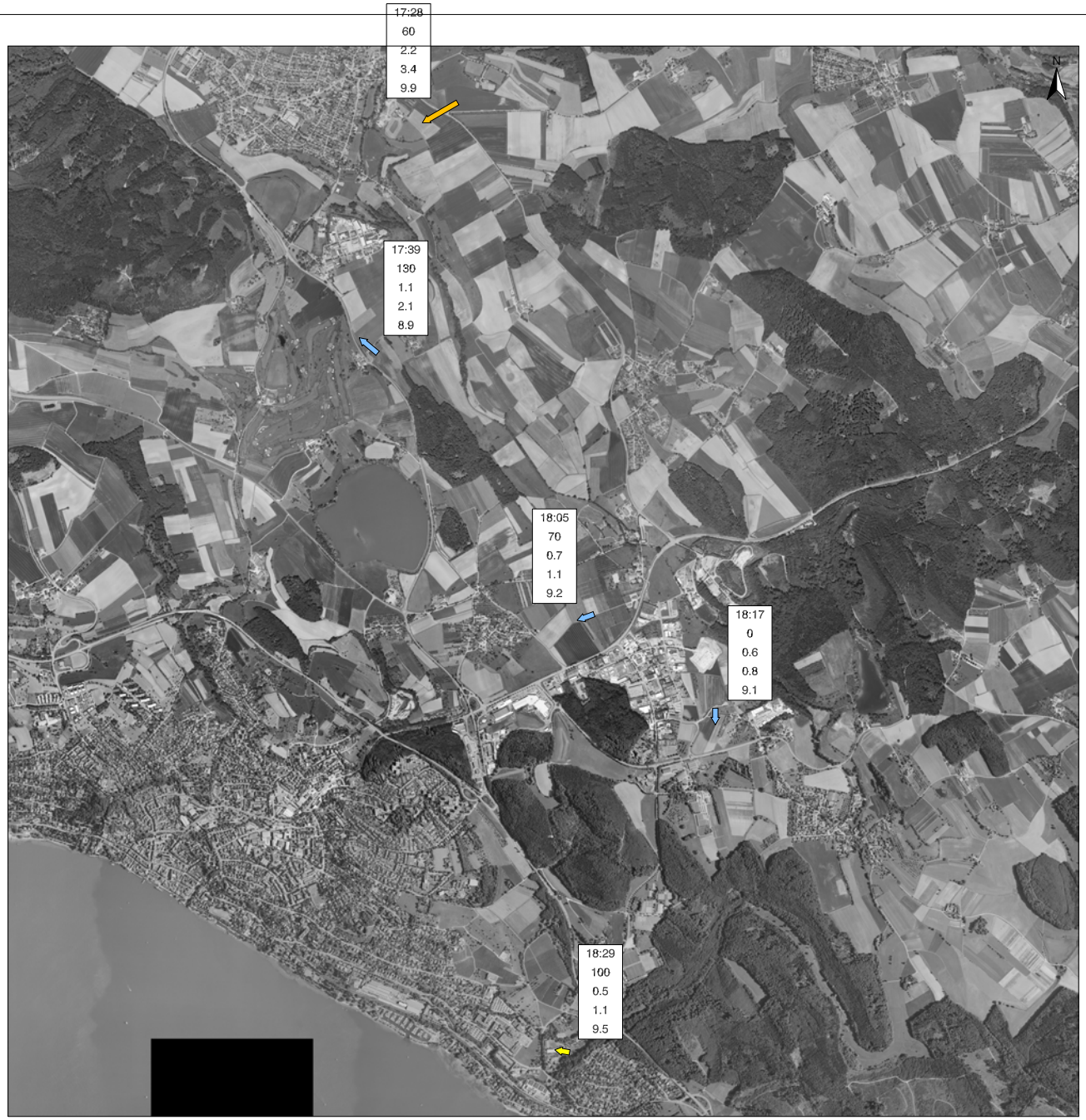
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ueberlingen

18.03.2009, 17:28:00 - 18:29:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

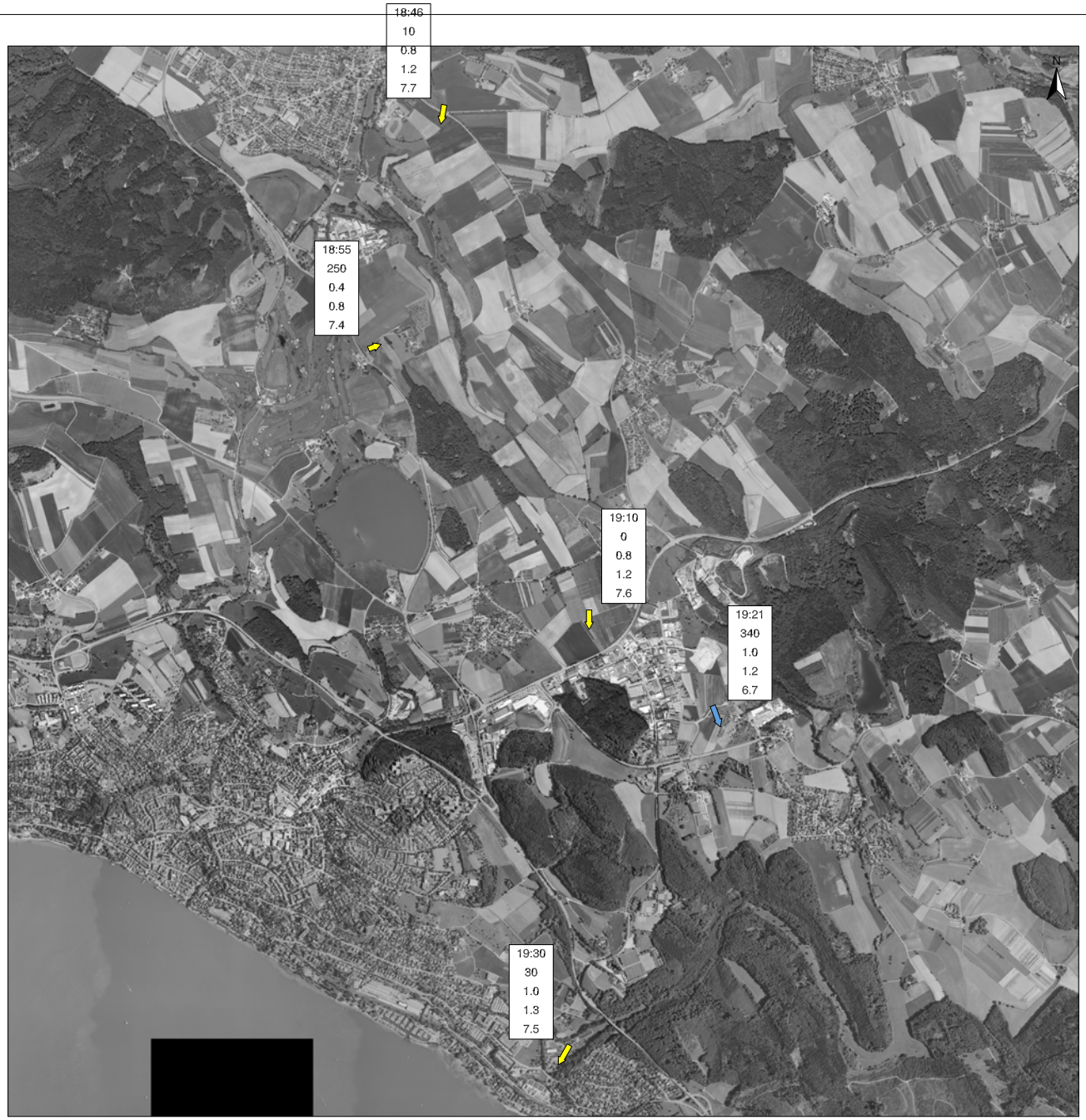
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ueberlingen

18.03.2009, 18:46:00 - 19:30:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

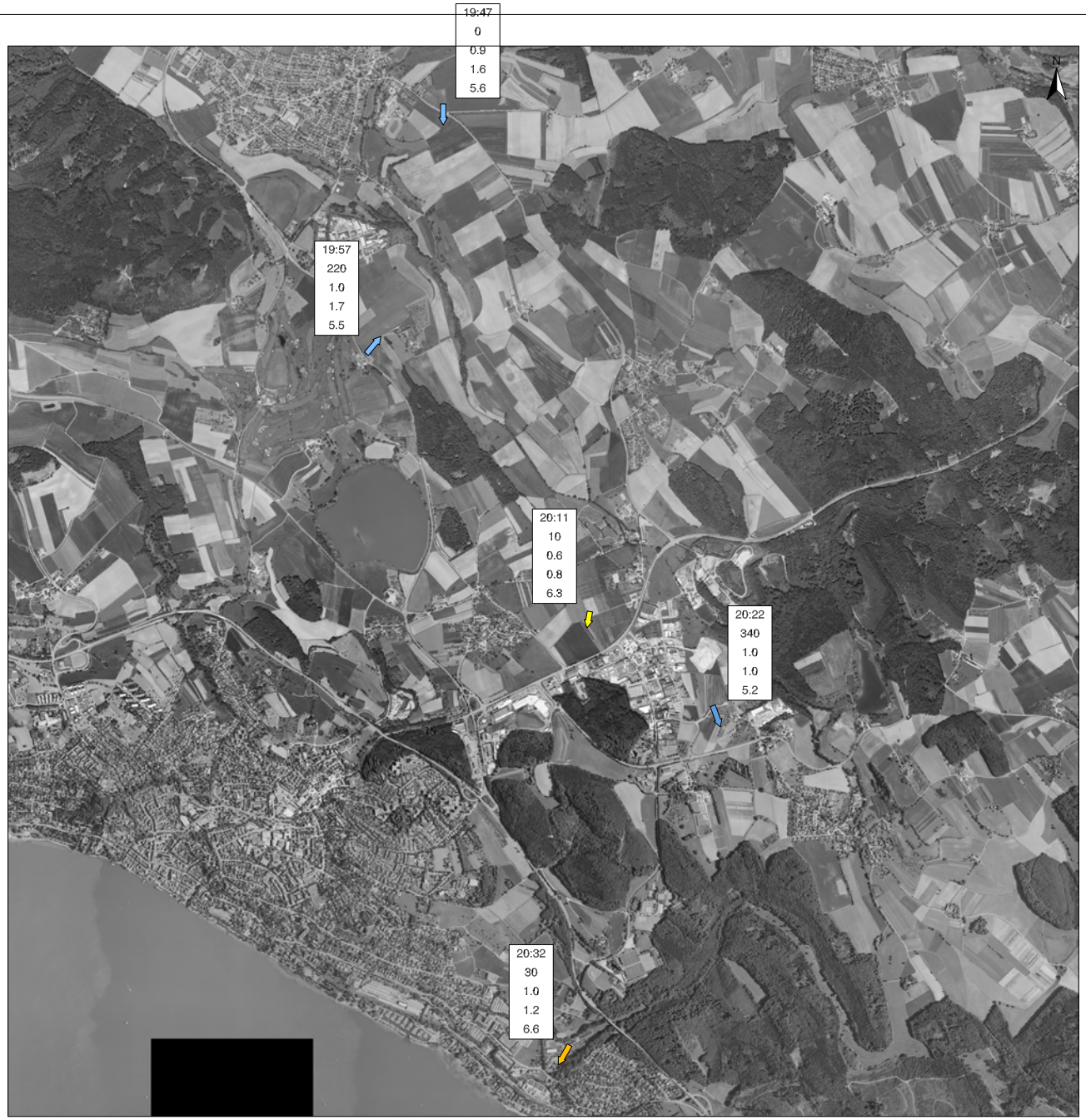
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ueberlingen

18.03.2009, 19:47:00 - 20:32:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.1.5 Interpretation der Messergebnisse

Talabwinde, Hangabwinde und deren Verzahnung in der Beckenlage zwischen Owingen und Reutehöfe

Die über den nahezu kompletten Messzeitraum dominierende Tagesperiodik der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten an den Stationen „Bambergen“ und „Altbirnau“ lässt auf die Existenz thermisch induzierter Windsysteme schließen.

Für den Bereich des Beckens zwischen Owingen und Reutehöfe lassen sich anhand der Ergebnisse der festen Messstationen und der Handmessungen sowohl nächtliche Talabwinde als auch Hangabwinde annehmen.

Den Talabwinden entspricht die Dominanz der Windrichtungen aus NW bzw. NNW. Es kann davon ausgegangen werden, dass es in der Beckensohle während nächtlicher Strahlungswetterlagen zu einem Abfluss von Kaltluft in Richtung Südost entlang der Hauptachse des Beckens kommt.

Die Luftbewegungen aus W, WNW und WSW, die ein sekundäres Windrichtungsmaximum ausmachen, dürften auf Kaltluftabflüsse von den umliegenden Hängen zurückgehen. Sie sind in der Regel bereits vor den später einsetzenden Talabwinden messbar, pulsieren (vgl. Band 1) zeitlich versetzt und beeinflussen damit immer wieder die Windrichtung und Windgeschwindigkeit an der Station „Bambergen“.

Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen in den für Talabwinde und Hangwinde typischen Größenordnungen (vgl. Band 1). Sie sind in der zweiten Nachthälfte oft deutlich geringer.

Bei der Interpretation der Windgeschwindigkeiten ist zu beachten, dass die Station „Bambergen“ unmittelbar an einen Maisacker angrenzt, dessen Pflanzen ab Anfang Juni die Messwerte deutlich beeinflusst haben dürften (vgl. Abbildung 10).

Der Geländerücken südöstlich des Beckens hat eine stauende Wirkung. Dies führt zu einer verstärkten Ansammlung von Kaltluft mit einer Reduktion der bodennahen Luftbewegung am Messstandort. Ein weiterer Beleg dafür ist die häufig erst einige Stunden nach Sonnenaufgang einsetzende Zunahme der Windgeschwindigkeit. Hier lässt sich eine verzögerte Auflösung der bodennahen Inversion durch die Sonneneinstrahlung vermuten.

Bodennahe Durchlüftungssituation zwischen Reutehöfe und Rengoldshausen

Die Messergebnisse der Handmessungen zeigen, dass in Strahlungsnächten ein Talabwind aus dem Becken zwischen Owingen und Reutehöfe den Geländerücken zwischen Andelshofen und Reutehöfe in Richtung Gewerbegebiet überfließt. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich auch an den Hängen des Rückens selbst zusätzlich schwache Hangabwinde ausbilden, die den Bergwind bodennah und in Richtung des Gewerbegebiets verstärken. Diese Windsysteme dürften zumindest randlich in den bebauten und versiegelten Bereich eindringen.

Die Handmessungen am Standort HM4 zeigen deutliche talabwärts gerichtete Luftbewegungen mit beachtlichen Geschwindigkeiten. Es ist davon auszugehen, dass sich hier, östlich des Gewerbegebietes, bei noch vergleichsweise geringer Verbauung eine Luftleitbahn ausbildet, über die Kaltluft aus dem Becken nach SO ausströmt.

Bodennahe Windsituation am Ausgang des Tobels bei Altbirnau

Die Messergebnisse der festen Wetterstation „Altbirnau“ legen nahe, dass der Übergangsbereich zwischen den Siedlungskörpern von Überlingen und Nußdorf zum einen von den stei-

len südwestexponierten Hängen des Bodenseeufers, vor allem aber durch den Tobel bei Altbirnau gut durchlüftet wird. Die Ergebnisse der Handmessungen bestätigen dies.

Verzahnung von Tal- und Hangwindsystemen Überlinger Hinterland mit einem Land-See-Windsystem

Hangwind- bzw. Talwindsysteme an den Hängen des Bodenseesteilufers unterliegen dem gleichen tagesperiodischen Windrichtungsmuster wie evtl. vorhandene Land-Seewind-Systeme. Sie verstärken sich deshalb gegenseitig.

Es ist zu vermuten, dass im Untersuchungsgebiet eine solche Situation vorliegt, da insbesondere die Isoplethendarstellungen der Windrichtungen eine fast idealtypische Tagesperiodik anzeigen.

Die hangaufwärts gerichteten Luftbewegungen während der Tagstunden (Winde aus S/SW) können demnach als Verzahnung von Hangaufwind/Talaufwind und Seewind gedeutet werden. Die zum Bodensee hin gerichteten Luftbewegungen während der Nacht (Winde aus NO/ONO/NNO) sind als Hangabwinde/Talabwinde anzusehen, die durch einen Landwind zusätzlich verstärkt werden.

4.1.6 Fazit

Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse aus den durchgeführten Messprogrammen stichwortartig zusammengefasst:

- Im Bereich des Beckens zwischen Owingen und Reutehöfe kommt es zur Ausbildung und Verzahnung von Hangabwinden und Talabwinden.
- Die relativ geringe Neigung der Beckensohle führt in Verbindung mit der Abriegelung nach Südosten (Geländerücken) in den meisten Strahlungsnächten jedoch zur Kaltluftansammlung mit nur geringen bodennahen Geschwindigkeiten des Kaltluftflusses.
- Der Geländerücken zwischen Andelshofen und Reutehöfe wird von Kaltluft aus dem nordwestlich angrenzenden Becken überströmt.
- Eine Leitbahn für den Kaltluftabfluss aus dem Becken kann östlich des Gewerbegebietes vermutet werden.
- Der Übergangsbereich zwischen Überlingen und Nußdorf erfährt durch die nördlich angrenzenden Hänge Richtung Bodensee und den Tobel bei Altbirnau eine gute Belüftung.
- Es ist anzunehmen, dass die nächtlichen Kalt- und Frischluftströme in Ufernähe durch Landwindeffekte verstärkt werden.

4.1.7 Vergleich mit den Modellrechnungen

Ein zentrales Ziel des REKLIBO-Messprogramms war die Validierung der Ergebnisse der Modellrechnungen. Abschließend erfolgt deshalb ein Vergleich zwischen den oben beschriebenen wichtigsten Messergebnissen im Untersuchungsgebiet und den dort modellierten Prozessen.

Zur besseren Lesbarkeit wurde für die hier vorliegende Druckfassung aus den Gesamtergebnissen das entsprechende Teilgebiet extrahiert und vergrößert dargestellt. Um die zeitliche Dynamik wiederzugeben wurden von den insgesamt 12 Zeitschnitten die Ergebnisse nach Stunde 1, 2, 4, 8 und 12 ausgewählt. Sie sollen einen Überblick sowohl über die frühen Entwicklungen während einer Nacht als auch über die gesamte Simulationszeit von 12 Stunden ermöglichen. Dargestellt werden die Kaltluftmächtigkeiten, die mittleren Windgeschwindigkeiten über die gesamte Kaltluftsäule, sowie die daraus berechneten Volumenströme (vgl. Band 2). Ergänzt werden diese Darstellungen durch die Abbildung der Klimaanalysekarte für den Bereich des Untersuchungsgebietes. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass in vielen Situationen durch die Betrachtung eines größeren Gebietes die räumlichen Zusammenhänge häufig besser erklärbar werden.

Ein Vergleich der in

Abbildung 25 bis Abbildung 28 dargestellten Modellergebnisse mit den zentralen Aussagen der durchgeführten Messungen zeigt im Untersuchungsgebiet „Überlingen“ eine recht gute Übereinstimmung. Im Einzelnen lässt sich das an folgenden Phänomenen festmachen:

- Auch das Modell simuliert für den Bereich des Beckens zwischen Owingen und Reutehöfe sowohl Hangabwinde von den umliegenden Hängen, als auch Talabwinde entlang der Haupttalachse aus Richtung NW.
- Für die Beckensohle wird eine bedeutende Kaltluftansammlung in Verbindung mit relativ geringen Windgeschwindigkeiten berechnet. Dies gilt insbesondere für den südöstlichen Teil des Beckens im Bereich des Geländeriegels zwischen Andelshofen und Reutehöfe.
- Laut Modellergebnissen wird dieser Geländerücken bereits ab den ersten Nachtstunden von Kaltluft überströmt.
- Vom Modell wird für die frühen Abendstunden ein Umfließen des Gewerbegebietes entlang der Tiefenlinie des Auenbachs berechnet.
- Für den Bereich zwischen Überlingen und Nußdorf werden vom Modell vor allem Kaltluftabflüsse von den Hängen angezeigt. Für den Tobel bei Altbirnau werden jedoch keine bedeutenden Volumenströme ausgegeben. Vielmehr bildet sich im Bodenseebecken laut Modellrechnungen schon früh nach Sonnenuntergang eine beträchtliche vertikale Kaltluftmächtigkeit, die zumindest die tiefliegenden Bereiche des Tobels ab 2 Stunden Modellzeit in Kaltluft „ertrinken“ lässt.

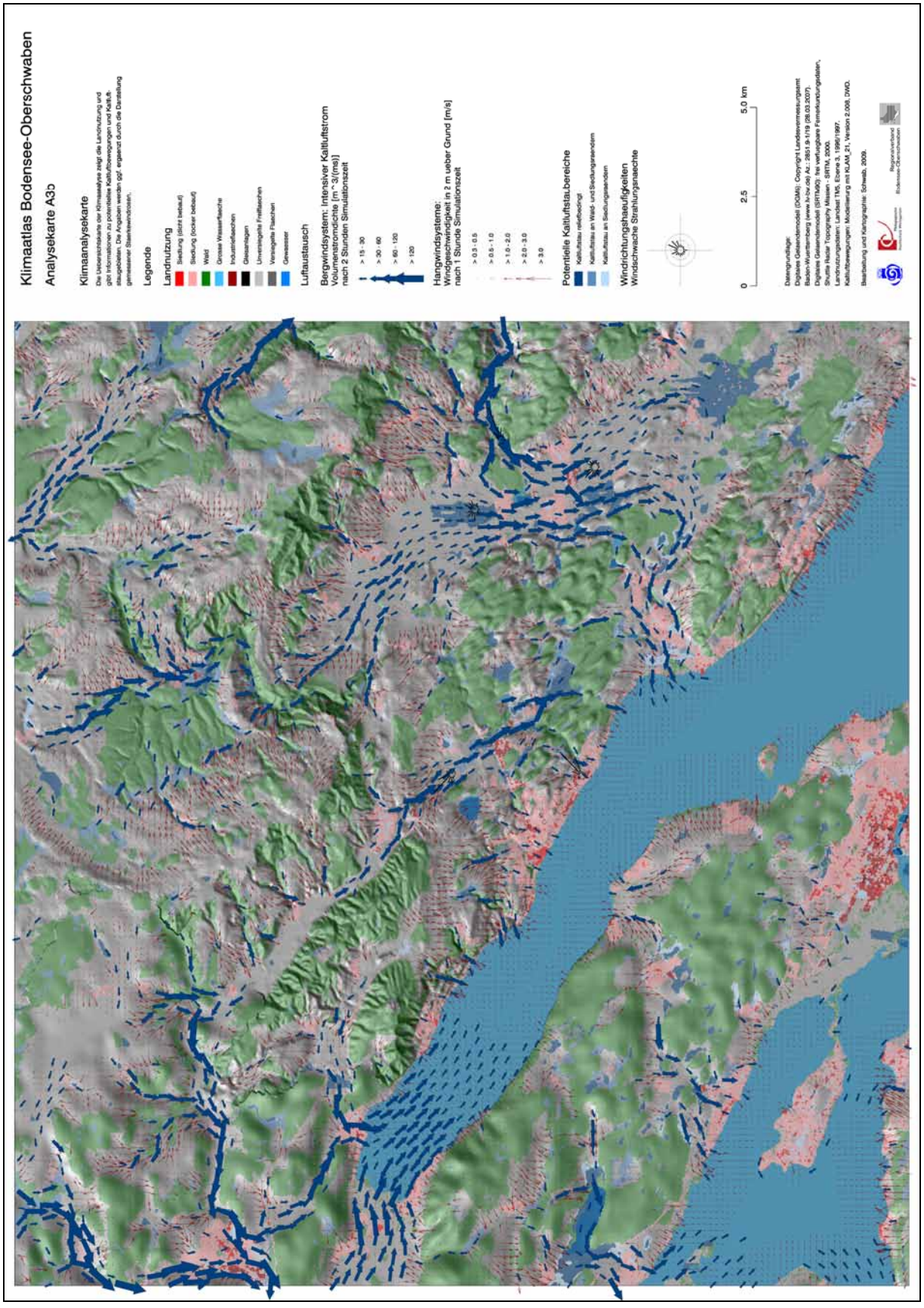


Abbildung 25: Klimaanalysekarte des Untersuchungsgebietes „Überlingen“

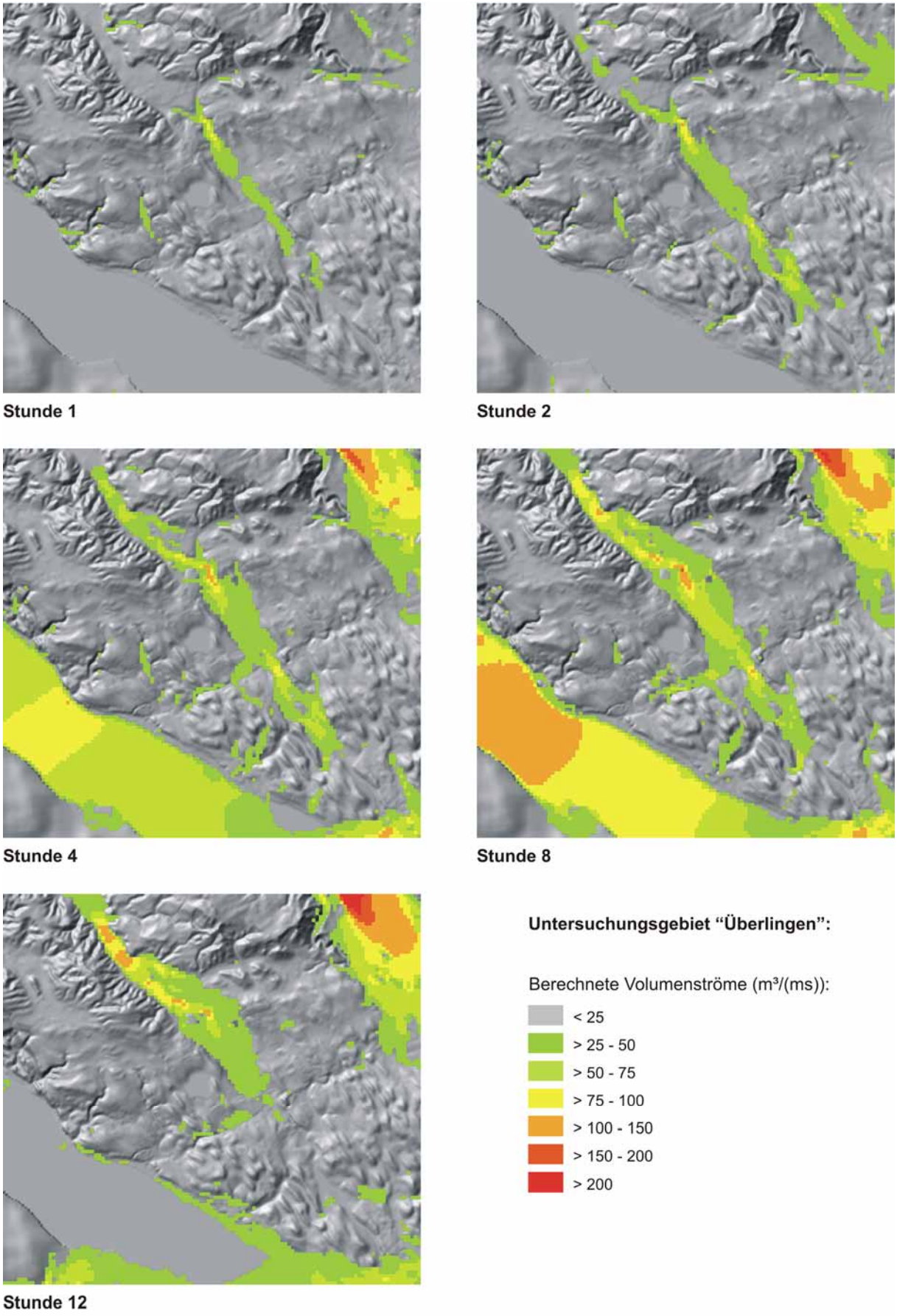
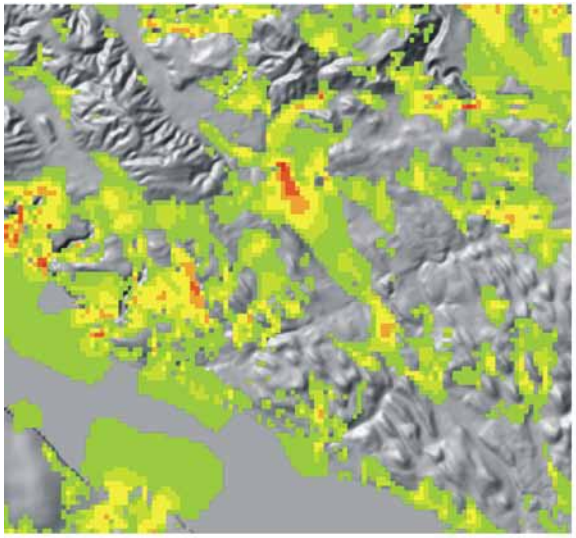
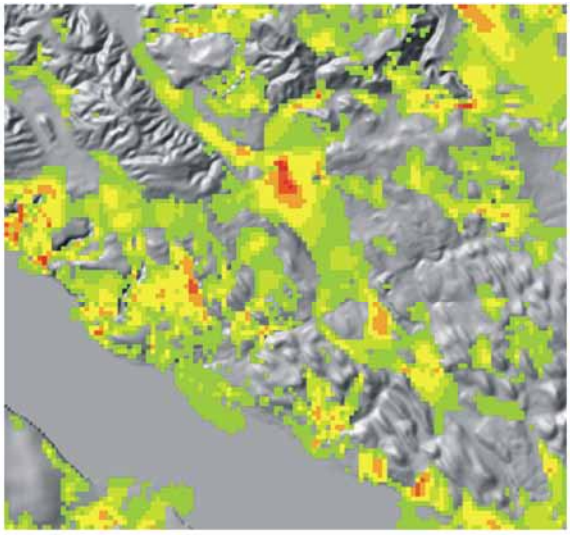


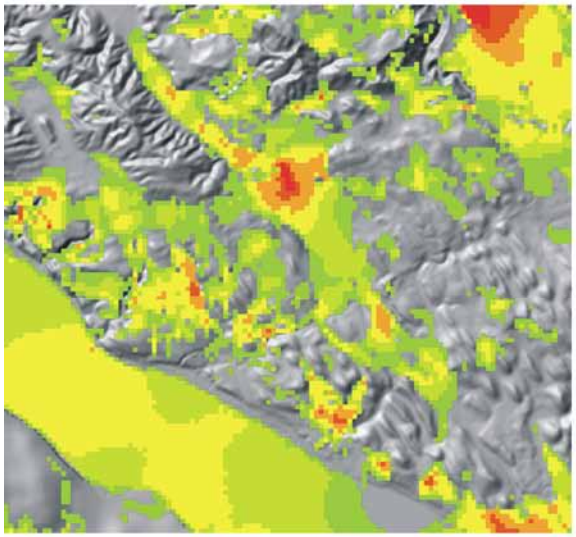
Abbildung 26: Berechnete Volumenströme im Untersuchungsgebiet „Überlingen“.



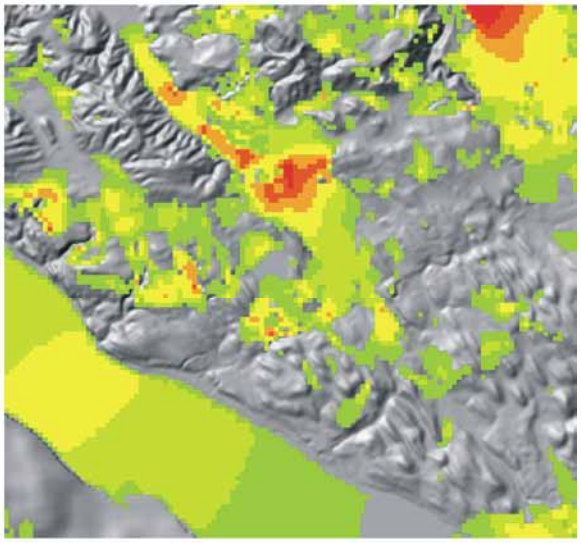
Stunde 1



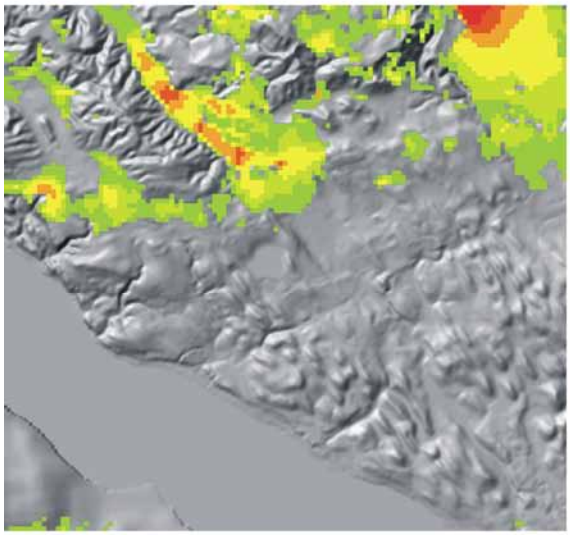
Stunde 2



Stunde 4



Stunde 8



Stunde 12

Untersuchungsgebiet "Überlingen":

Berechnete Windgeschwindigkeiten (m/s):

- < 0,5
- > 0,5 - 0,75
- > 0,75 - 1,0
- > 1,0 - 1,5
- > 1,5 - 2,0
- > 2,0 - 2,5
- > 2,5

Abbildung 27: Berechnete Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet „Überlingen".

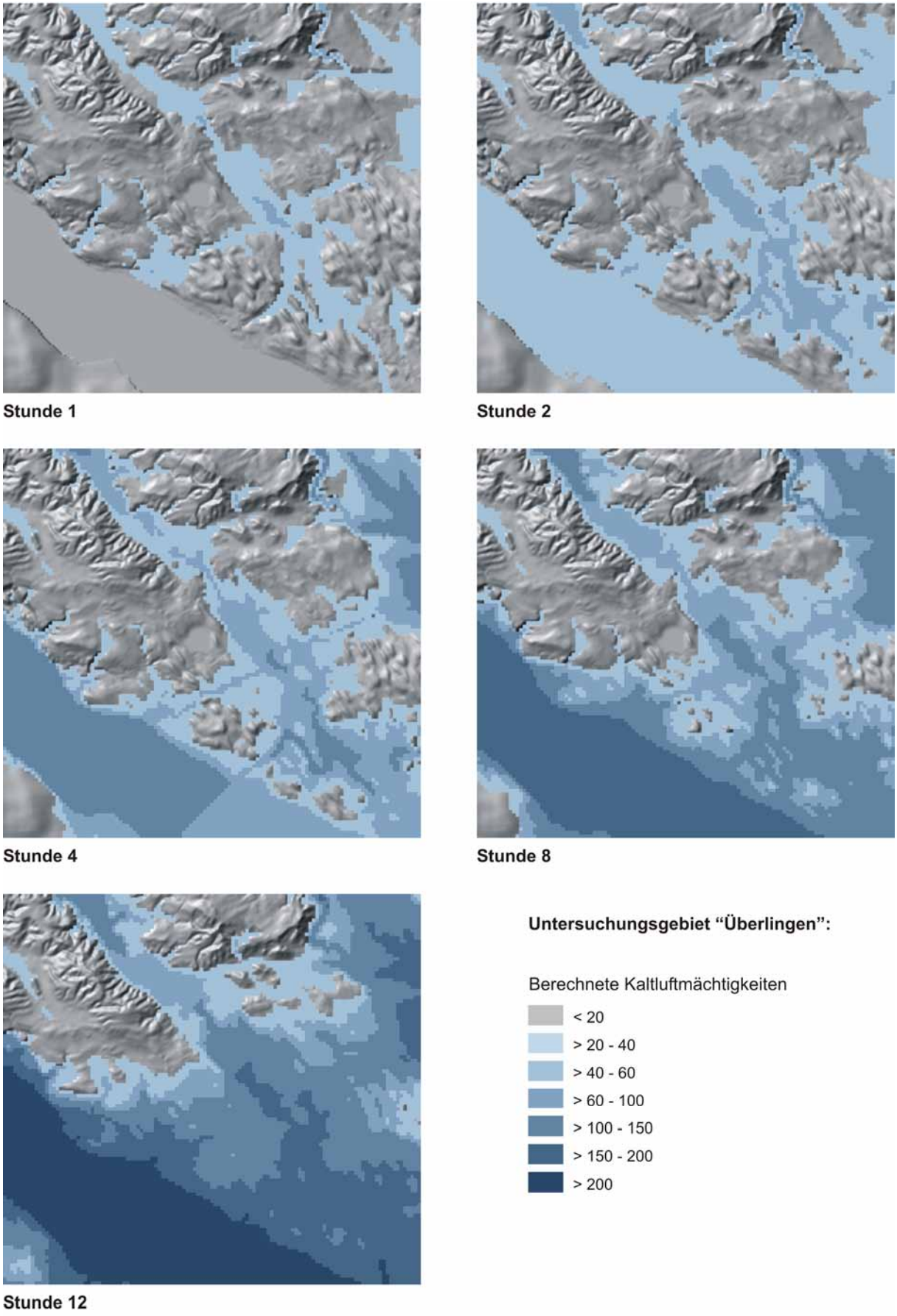


Abbildung 28: Berechnete Kaltluftmächtigkeiten im Untersuchungsgebiet „Überlingen“.

4.2 Untersuchungsgebiet „Salemer Becken“

4.2.1 Beschreibung des Untersuchungsraums

Lage und naturräumliche Einordnung

Das Untersuchungsgebiet „Salemer Becken“ liegt im Hinterland von Meersburg und Überlingen im Linzgau und gehört zum Bodenseekreis. Die namengebende Gemeinde Salem mit ihren Teilorten Stefansfeld, Neufrach und Mimmenhausen befindet sich im Zentrum des Beckens rund 9 km nördlich von Meersburg. Das Becken selbst reicht von Altheim im Nordwesten bis etwa Bermatingen im Südosten. Zum Untersuchungsgebiet gehört außerdem der Mündungsbereich des Deggenhauseraachtals in das Salemer Becken.

Die naturräumliche Gliederung Deutschlands spricht hier von der „Markdorf-Salemer Senke“ (Benzing, S. 16). Der Bereich des Deggenhauseraachtals wird der naturräumlichen Einheit „Gehrenberg“ und somit dem Höchsten-Bergland zugeordnet (Dongus, S. 43).

Das Untersuchungsgebiet lässt sich in einen nördlichen und einen südlichen Teil untergliedern. Die entsprechende Trennlinie verläuft auf Höhe der Einmündung der Deggenhauser Aach in das Salemer Becken von Schloss Salem über den Teilort Stefansfeld und das Waldstück „Hart“ (vgl. Abbildung 32).

Relief

Das Becken misst an der Tiefenlinie zwischen Altheim und Bermatingen 12 km in der Länge und zwischen 1,5 und 2 km in der Breite. An seiner Tiefenlinie neigt sich das Becken mit ca. 0,3 % Richtung Südost.

Die höchste Erhebung mit rund 810 m ü.NN. ist der Höhenzug um Heiligenberg, der niedrigste Punkt liegt mit etwa 420 m ü.NN. zwischen Ahausen und Bermatingen.

Die sehr langen südwestexponierten Hänge um Heiligenberg fallen teils mit bis zu 50 % Neigung ins Salemer Becken ab. Auf der Westseite des Beckens schließt sich die Drumlinlandschaft des Überlinger Hügellandes an. Die entsprechenden Hänge sind hier kürzer, können aber ebenfalls recht steil ausgeprägt sein.

Beim Tal der Deggenhauser Aach handelt es sich um ein im Oberlauf recht enges Kerb- bzw. Kerbsohlental. Kurz vor der Einmündung in das Salemer Becken ist es ca. 300 m breit. Seine Hänge sind sehr steil ausgebildet.

Geologie

Das Salemer Becken wurde als würmzeitliches Zungenbecken von einer Teilzunge des Rheingletschers ausgeräumt und spät- bzw. postglazial mit Schottern ehemaliger Schmelzwasserflüsse bzw. mit Beckentonen eines ehemaligen Eisrandstausees verfüllt. In diesen „Salemer Eisrandstausee“ hat unter anderem die Ur-Deggenhauser-Aach als ehemaliger Schmelzwasserfluss im Spätglazial von Osten her ein Delta vorgebaut, das heute am östlichen Beckenrand in Resten noch vorhanden ist. Die Höhenzüge der nördlichen Umrahmung bestehen zumindest im Kern aus tertiären Molassegesteinen während die umgebenden Drumlinlandschaften im südlichen Teil überwiegend aus Grundmoränenmaterial aufgebaut sind.

Landnutzung

Im Bereich des Beckenbodens dominieren Wiesen- und Ackerflächen. Die unteren Hänge sind obstbaulich geprägt, die oberen Hänge sind meist bewaldet. Im Mündungsbereich des Deggenhauseraachtals befinden sich auf engem Raum die Siedlungskörper von Stefansfeld,

Neufrach und Mimmenhausen, außerdem das Gewerbegebiet um den Bahnhof Salem. Diese stark versiegelten Flächen durchziehen das Becken hier auf seiner ganzen Breite und bilden eine Art künstlichen Querriegel.

Klimatische Einordnung

Laut Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2006) beträgt die Jahresmitteltemperatur im Untersuchungsgebiet zwischen 8,6 und 9,5°C. Bezogen auf das Sommerhalbjahr sind es 14,6 bis 15°C. Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist mit 2,3 bis 2,9 m/s angegeben. Im langjährigen Mittel tritt an 225 Tagen im Jahr eine Inversion auf, die Durchlüftungssituation fällt in die Klasse „schlecht“. Durchschnittlich weisen 12,6 bis 25 Tage im Jahr Wärmebelastung auf.

Begründung der Wahl des Untersuchungsgebiets

Damit sind im Untersuchungsgebiet mehrere der in Band 1 beschriebenen typischen Landschaftselemente der Region Bodensee-Oberschwaben enthalten. Ein nach Südosten zum Bodensee hin geöffnetes größeres Becken (Zungenbecken), das im nördlichen Teil von aus Molassegesteinen aufgebauten Höhenzügen umrahmt wird und im südlichen Teil inmitten kuppiger Drumlinlandschaften liegt. Außerdem haben mit dem Tal der Deggenhauser Aach und dem Höchsten-Bergland zwei besonders markante Reliefeinheiten Anteil am Untersuchungsgebiet (vgl. Band 1).

4.2.2 Fragestellungen

Im Untersuchungsgebiet stellen sich hinsichtlich der Durchlüftungssituation bei windschwachen Strahlungswetterlagen unter anderem folgende Fragen:

- Kommt es im Untersuchungsgebiet zur Ausbildung nächtlicher Talabwinde bzw. Hangabwinde?
- Wenn ja, mit welcher Häufigkeit und Intensität treten sie auf?
- Wenn ja, inwiefern kommt es zu einer Verzahnung von Talabwindsystemen und Hangwindsystemen?
- Wenn ja, wirken sich die Siedlungskörper von Stefansfeld, Mimmenhausen und Neufrach bremsend oder stauend auf mögliche Kaltluftabflüsse im Salemer Becken aus?
- Wie wirkt sich ein möglicher Talabwind aus dem Deggenhauseraachtal hinsichtlich der Durchlüftungssituation im Salemer Becken aus bzw. wie weit wirkt ein möglicher Talabwind bodennah in das Becken hinein?
- Werden die Siedlungskörper von Mimmenhausen und Neufrach durch die angrenzenden Hänge nennenswert belüftet?

4.2.3 Messverfahren und Messstandorte

4.2.3.1 Betrieb einfacher Funkwetterstationen

Zur Bestimmung der Häufigkeit und Intensität potentiell auftretender Kaltluftabflüsse in Bodennähe wurden an drei Standorten einfache Funkwetterstationen eingesetzt. Sie zeichnen Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund kontinuierlich auf. Die Station „Salem Nord“ wurde betrieben vom 19.06. bis 14.10.2008. Die Station „Salem Süd“ wurde betrieben vom 17.06. bis 28.09.2008. Die Station „Deggenhausertal“ wurde betrieben vom 17.06. bis 14.10.2008.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 32):

Station „Salem Nord“

- bodennahe Erfassung von Intensität und Häufigkeit eines evtl. auftretenden nächtlichen Bergwindes nördlich der Siedlungskörper von Stefansfeld, Mimmenhausen und Neufrach
- gegebenenfalls Erfassung von Hangabwinden von den Flanken des nördlichen Salemer Beckens

Blickrichtung N

Blickrichtung O

Blickrichtung S

Blickrichtung W

Abbildung 29: Ansichten der Funkwetterstation „Salem Nord“ (im Uhrzeigersinn von oben links:, O, S, W).

Standort „Salem Süd“

- bodennahe Erfassung eines möglichen nächtlichen Bergwindes südlich der Siedlungskörper von Stefansfeld, Mimmenhausen und Neufrach
- Abschätzung des Siedlungseinflusses auf einen möglichen Bergwind
- gegebenenfalls Erfassung von Hangabwinden von den Flanken des nördlichen Salemer Beckens

Blickrichtung N

Blickrichtung O

Blickrichtung S

Blickrichtung W

Abbildung 30: Ansichten der Funkwetterstation „Salem Süd“.

Standort „Deggenhausertal“

- bodennahe Erfassung eines vermuteten Berg-Talwind-Systems im Deggenhausertal.

Blickrichtung N

Blickrichtung O

Blickrichtung S

Blickrichtung W

Abbildung 31: Ansichten der Funkwetterstation „Deggenhausertal“ (im Uhrzeigersinn von oben links:, O, S, W).

4.2.3.2 Durchführung von Handmessungen

Um das Beobachtungsnetz zu verdichten, insbesondere um den Fragen nach einer möglichen Verzahnung von Hang- und Talwindsystemen und nach Reichweiten potentieller Kaltluftbewegungen nachzugehen, wurden zusätzlich Handmessungen durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Dabei wurden an insgesamt zehn Standorten Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund an ausgewählten Messtagen zu ausgewählten Messzeiten erfasst.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 32):

Standorte A1 und A2

- bodennahe Erfassung möglicher nächtlicher Hangabwinde von den SW-exponierten Hängen im nördlichen Salemer Becken
- zudem bodennahe Erfassung möglicher Kaltluftabflüsse im nördlichen Salemer Becken

Standorte A3, A4 und C3

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Deggenhausertal

- zudem Abschätzung der bodennahen Reichweite eines möglichen Talabwindes aus dem Deggenhausertal

Standort B3

- bodennahe Erfassung von Luftbewegungen im Bereich des Gewerbegebietes

Standorte B1 und B2

- bodennahe Erfassung möglicher Hangabwinde von den SW-exponierten Hängen des südlichen Salemer Beckens und Abschätzung ihrer Reichweite in den Siedlungskörper von Neufrach

Standorte C1 und C2

- bodennahe Erfassung möglicher Hangabwinde an den NO-exponierten Hängen des Südlichen Salemer Beckens und Abschätzung ihrer Reichweite in den Siedlungskörper von Mimmenhausen

Die Handmessungen wurden am 10.10.2008 zwischen 18.20 Uhr und 21 Uhr MESZ durchgeführt.

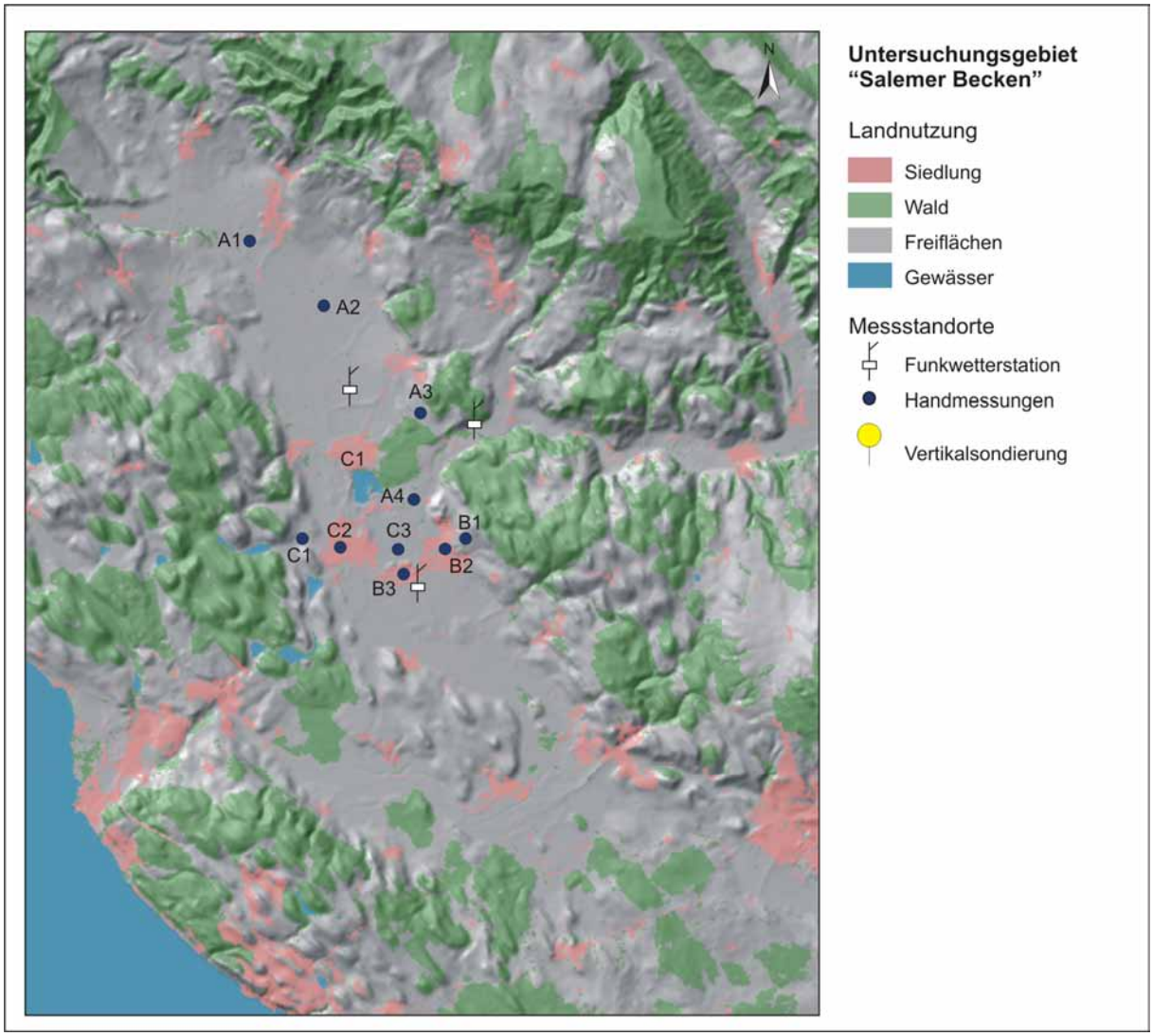


Abbildung 32: Das Untersuchungsgebiet „Salemer Becken" mit allen Messstandorten.

4.2.4 Beschreibung der Messergebnisse

4.2.4.1 Ergebnisse der Funkwetterstationen

Die betriebenen Funkwetterstationen speichern die gemessenen Werte in 10-Minuten-Inverallen ab. Über mehrere Monate Laufzeit ergibt dies große Datenmengen, die grafisch unterschiedlich aufbereitet wurden. Zunächst wird am Beispiel von Tagesdiagrammen ein einzelner „idealer Strahlungstag“ betrachtet. Damit kann gezeigt werden, ob an den betreffenden Standorten überhaupt mit nennenswerten Hang- und Talwindsystemen zu rechnen ist. Die anschließende Betrachtung des gesamten Messzeitraumes über Isoplethendarstellungen und Stärkewindrosen erlaubt unter anderem Aussagen über die Häufigkeit der beobachtbaren Phänomene.

Betrachtung eines „idealen Strahlungstages“

Im Folgenden wird am Beispiel dreier Tagesdiagramme der Zeitraum vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ vorgestellt. Der Zeitraum war geprägt von „idealen Strahlungsverhältnissen“ mit sehr geringer Bewölkung und nur geringen Geschwindigkeiten der übergeordneten Winde.

Die Beschreibung der Ergebnisse erfolgt stichwortartig, um größtmögliche Kompaktheit zu erreichen.

Lufttemperaturen

- ausgeprägter Tagesgang an beiden Stationen (kleinere Schwankungen während des Tages lassen sich auf den kurzzeitigen Durchzug kleinerer Wolkenfelder und den eingeschränkten Strahlungsschutz am Thermo-Hygrometer (vgl. Kap. 3.2) zurückführen)
- Maximaltemperaturen zwischen 17 und 18 Uhr MESZ an den Stationen „Salem Nord“ und „Salem Süd“, an der Station „Deggenhausertal“ zwischen 19 und 20 Uhr MESZ (ca. 28°C an allen Stationen)
- rascher Temperaturrückgang zwischen 19 und 21 Uhr MESZ (besonders stark an der Station „Deggenhausertal“)
- relativ gleichmäßige Temperaturabnahme im Laufe der Nacht, an den Stationen „Salem Nord“ und „Salem Süd“ während der Nacht immer wieder kurzzeitige kleine Zunahme der Temperatur (um weniger als 1°K) bzw. Stagnation der Abkühlung
- Minimumtemperaturen von ca. 7°C („Salem Nord“), 10°C („Salem Süd“) und 9°C („Deggenhausertal“) zur Zeit des Sonnenaufgangs
- rascher Anstieg der Lufttemperaturen nach Sonnenaufgang auf rund 25 bis 30°C um 12 Uhr MESZ
  - tagsüber an allen Stationen vergleichbare Temperaturen

Windrichtungen

- während der Tagstunden an allen Stationen Windrichtungen zwischen S und W („Salem Süd“ und „Deggenhausertal“ mit Schwerpunkt W).
- mit Sonnenuntergang rasches Drehen der Windrichtungen auf
  - WSW über N bis O an der Station „Salem Nord“
  - umlaufende Windrichtung mit einem Schwerpunkt auf nördlichen bis westlichen Windrichtungen an der Station „Salem Süd“
  - nordöstliche bis östliche Windrichtungen an der Station „Deggenhausertal“
- nach Sonnenaufgang allmähliches Drehen der Windrichtung auf S bis W bis zur Mittagszeit; an der Station „Salem Nord“ Windrichtungen wesentlich stärker gestreut

Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an allen drei Stationen vergleichbare Windgeschwindigkeiten; an der Station „Salem Süd“ etwas weniger böig
- mit Abnahme der Temperaturen um die Zeit des Sonnenuntergangs rascher Rückgang der Windgeschwindigkeiten bei gleichbleibender Windrichtung (Ausnahme an der Station „Salem Süd“)
- an den Stationen „Salem Nord“ und „Salem Süd“ während des markanten Rückgangs der Windgeschwindigkeit jeweils ein auffallendes, etwa einstündiges Aufleben des Windes auf rund 1 m/s; dann Abfallen auf extrem schwache Windgeschwindigkeiten zu Sonnenuntergang; über die Nacht extrem schwacher Wind, der aber immer wieder durch kurze Impulse mit Geschwindigkeiten unter 0,5 m/s durchsetzt ist
- an der Station „Deggenhausertal“ Einschlafen des Windes schon rund 2 Stunden vor Sonnenuntergang; danach schlagartiges Aufleben des Windes auf knapp 1 m/s, im Laufe der Nacht immer wieder kurze Unterbrechungen durch extrem schwachwindige Phasen, ansonsten durchgängige Windgeschwindigkeiten zwischen rund 0,5 und 0,8 m/s.
- einige Stunden nach Sonnenaufgang erneutes Auffrischen des Windes auf die tagestypischen Windgeschwindigkeiten (an der Station „Deggenhausertal“ Übergangsphase mit sehr geringen Windgeschwindigkeiten)

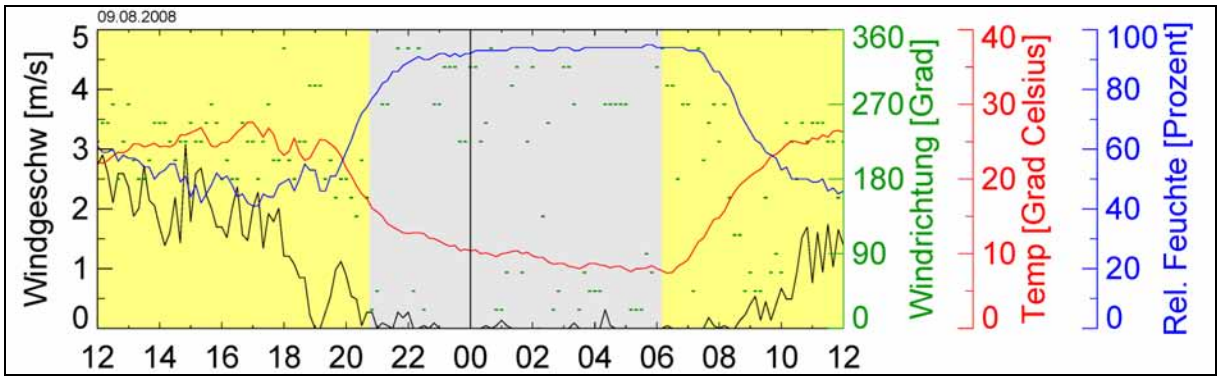


Abbildung 33: Tagesdiagramm der Station „Salem Nord“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

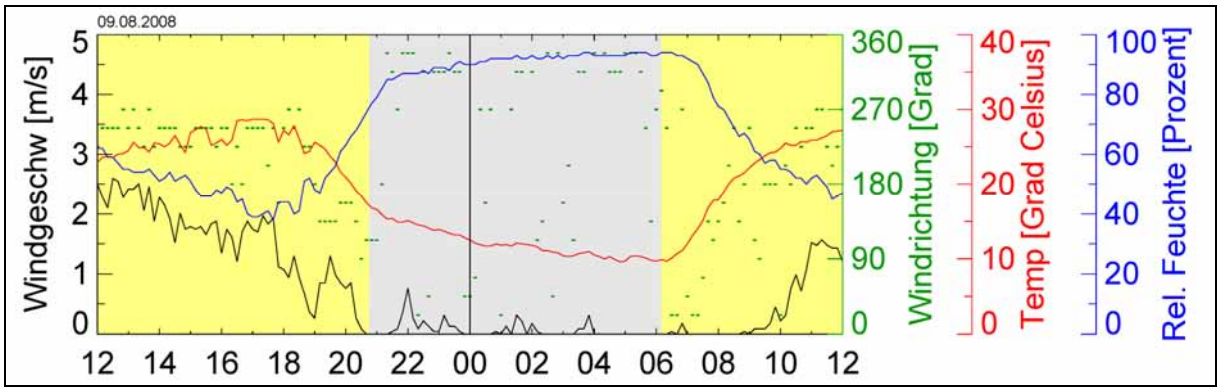


Abbildung 34: Tagesdiagramm der Station „Salem Süd“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

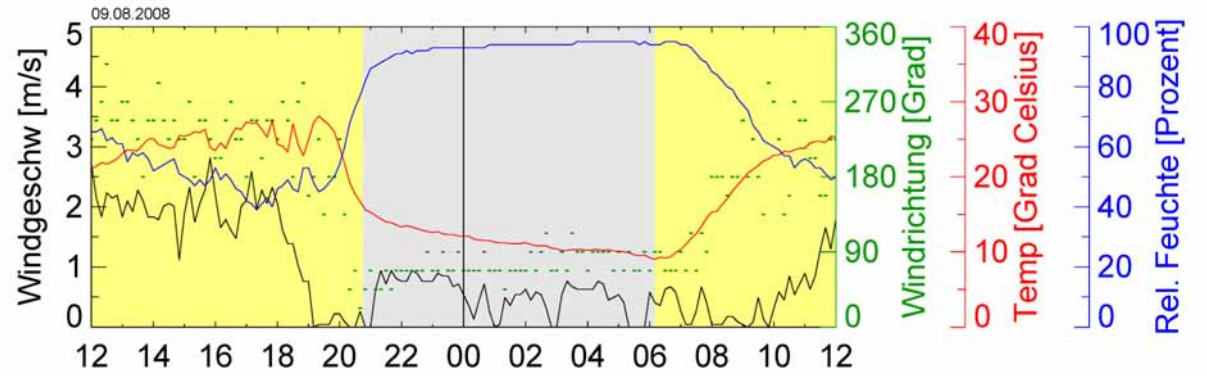


Abbildung 35: Tagesdiagramm der Station „Deggenhausertal“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

Betrachtung des gesamten Messzeitraums

Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen

- über den nahezu kompletten Messzeitraum rascher Rückgang der Temperaturen um die Zeit des Sonnenuntergangs
- an allen Stationen langsame Abkühlung während der kompletten Nacht
- an allen Stationen Temperaturzunahme einige Stunden nach Sonnenaufgang, an der Station „Deggenhausertal“ etwas spätere Temperaturzunahme als an den beiden anderen Stationen

Isoplethendarstellung der Windrichtungen

- an der Station „Salem Nord“ zur Zeit des Sonnenuntergangs von schwerpunktmäßig W- bis S-Richtungen drehend auf Komponenten von W über N bis O
- an der Station „Salem Süd“ zur Zeit des Sonnenuntergangs von schwerpunktmäßig W- bis S-Richtungen drehend auf Komponenten zwischen W über N bis NO
- an der Station „Deggenhausertal“ zur Zeit des Sonnenuntergangs drehend von schwerpunktmäßig W- bis SW-Richtungen auf Komponenten aus O
- an allen drei Stationen kurz vor Sonnenuntergang schwach ausgeprägte Phase mit dominierender S-Komponente
- einige Stunden nach Sonnenaufgang an allen drei Stationen Drehung der Windrichtung auf tagestypische Richtungen

Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten

- an allen drei Stationen tagsüber Windgeschwindgeschwindigkeiten von rund 0,5 bis 2 m/s (seltener bis 3 m/s)
- an den Stationen „Salem Nord“ und „Salem Süd“ kurz vor Sonnenuntergang Rückgang der Windgeschwindigkeiten von unter 0,1 bis 0,5 m/s (selten darüber), an der Station „Salem Süd“ Schwachwindphase während des Tag-Nacht-Wechsels
- an der Station „Deggenhausertal“ kurz vor Sonnenuntergang markante Schwachwindphase,; danach auflebender Wind mit Windgeschwindigkeiten zwischen 0,1 und 1 m/s (selten darunter), im Laufe der Nacht leichtes Nachlassen der Windgeschwindigkeit
- an allen Stationen einige Stunden nach Sonnenaufgang Aufleben des Windes auf tagestypische Windgeschwindigkeiten

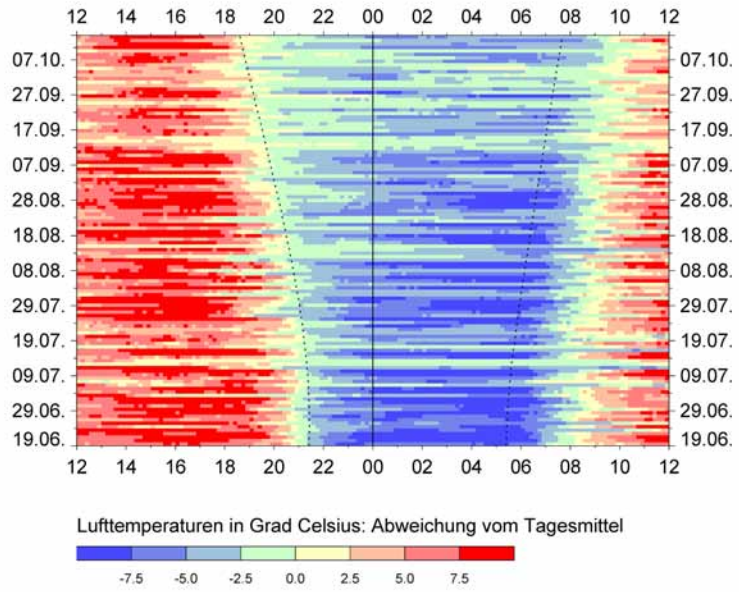


Abbildung 36: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Salem Nord“. Abweichung vom Tagesmittel.

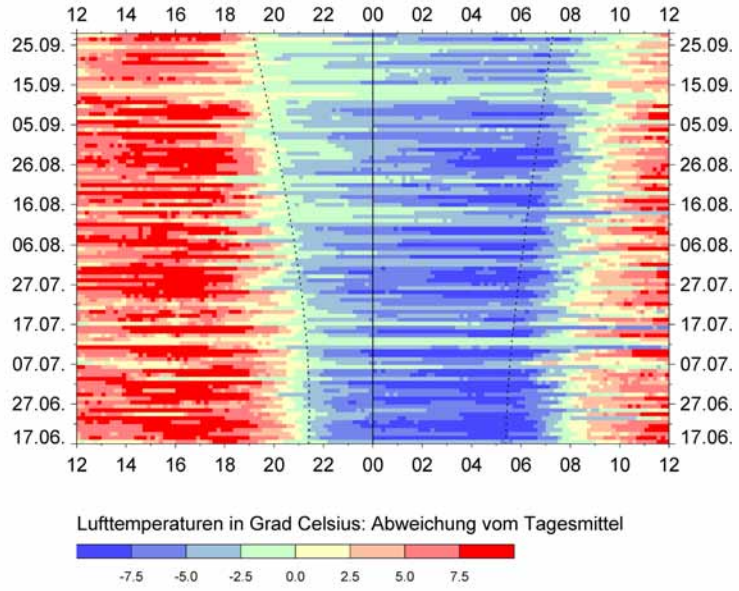


Abbildung 37: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Salem Süd“. Abweichung vom Tagesmittel.

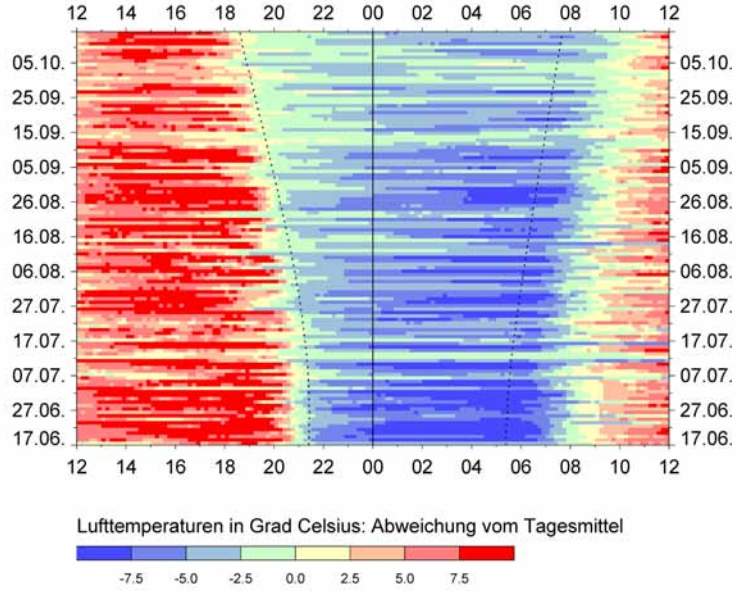


Abbildung 38: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Deggenhausertal“. Abweichung vom Tagesmittel.

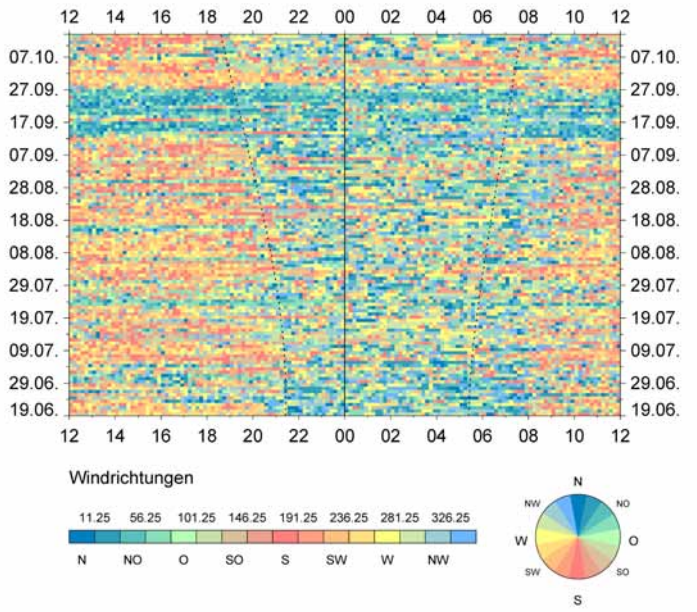


Abbildung 39: Isoplethendarstellung der Windrichtung an der Station „Salem Nord“.

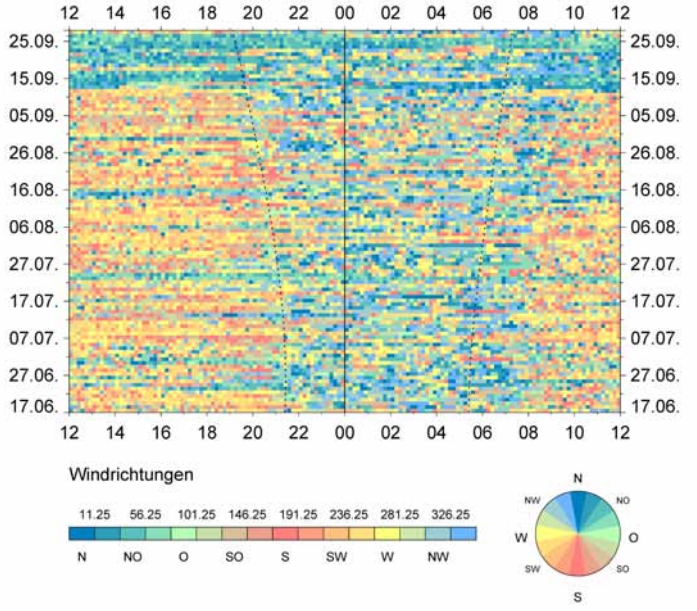


Abbildung 40: Isoplethendarstellung der Windrichtung an der Station „Salem Süd“.

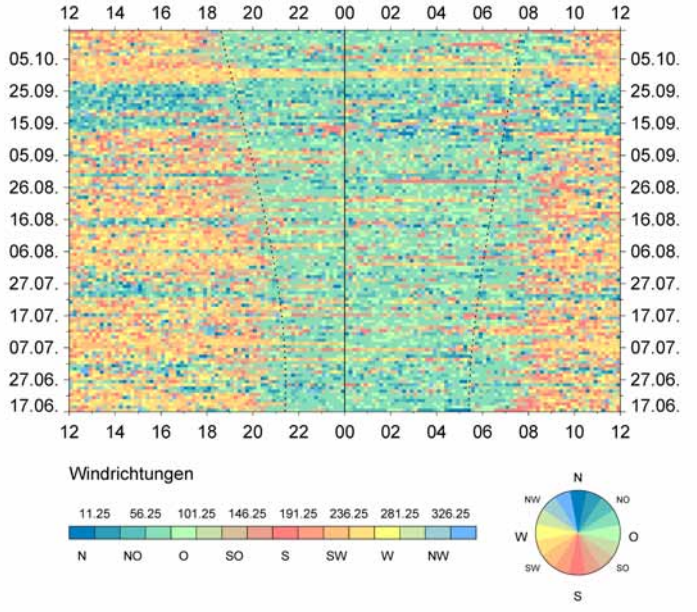


Abbildung 41: Isoplethendarstellung der Windrichtung an der Station „Deggen-hausertal“.

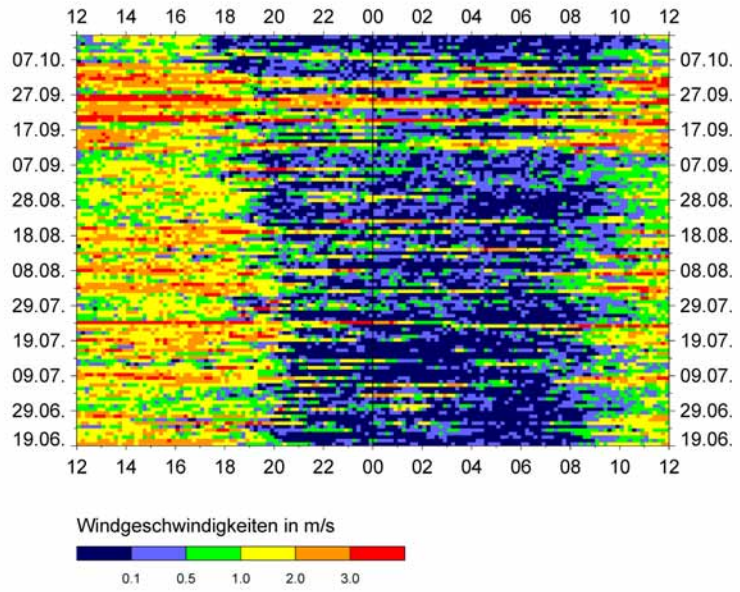


Abbildung 42: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeit an der Station „Salem Nord“.

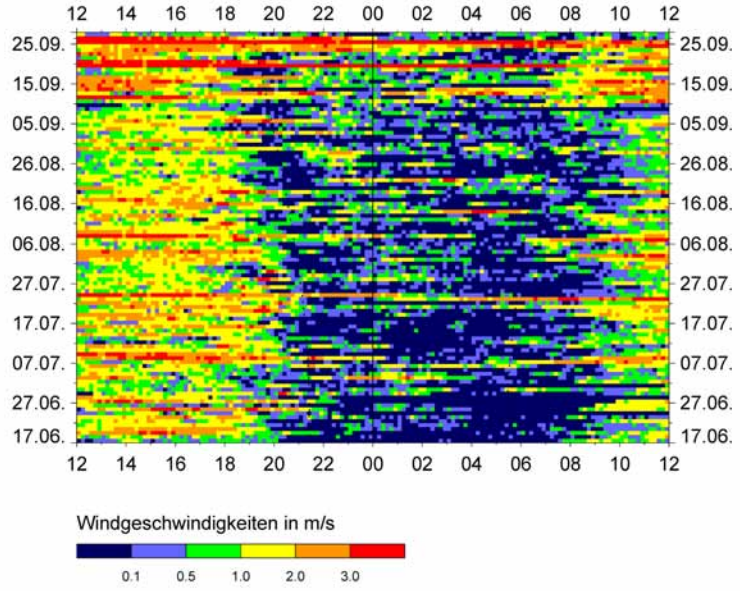


Abbildung 43: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeit an der Station „Salem Süd“.

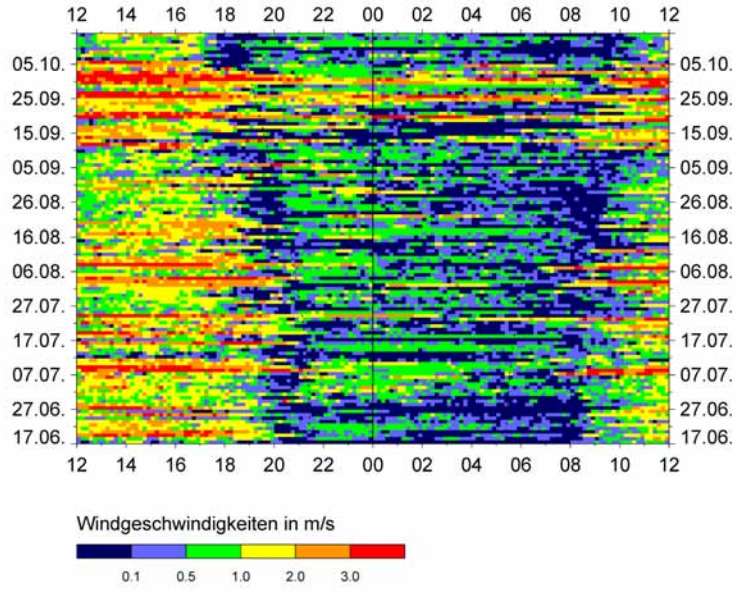


Abbildung 44: : Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeit an der Station „Deggenhausertal“.

Stärkewindrosen der Station „Salem Nord“

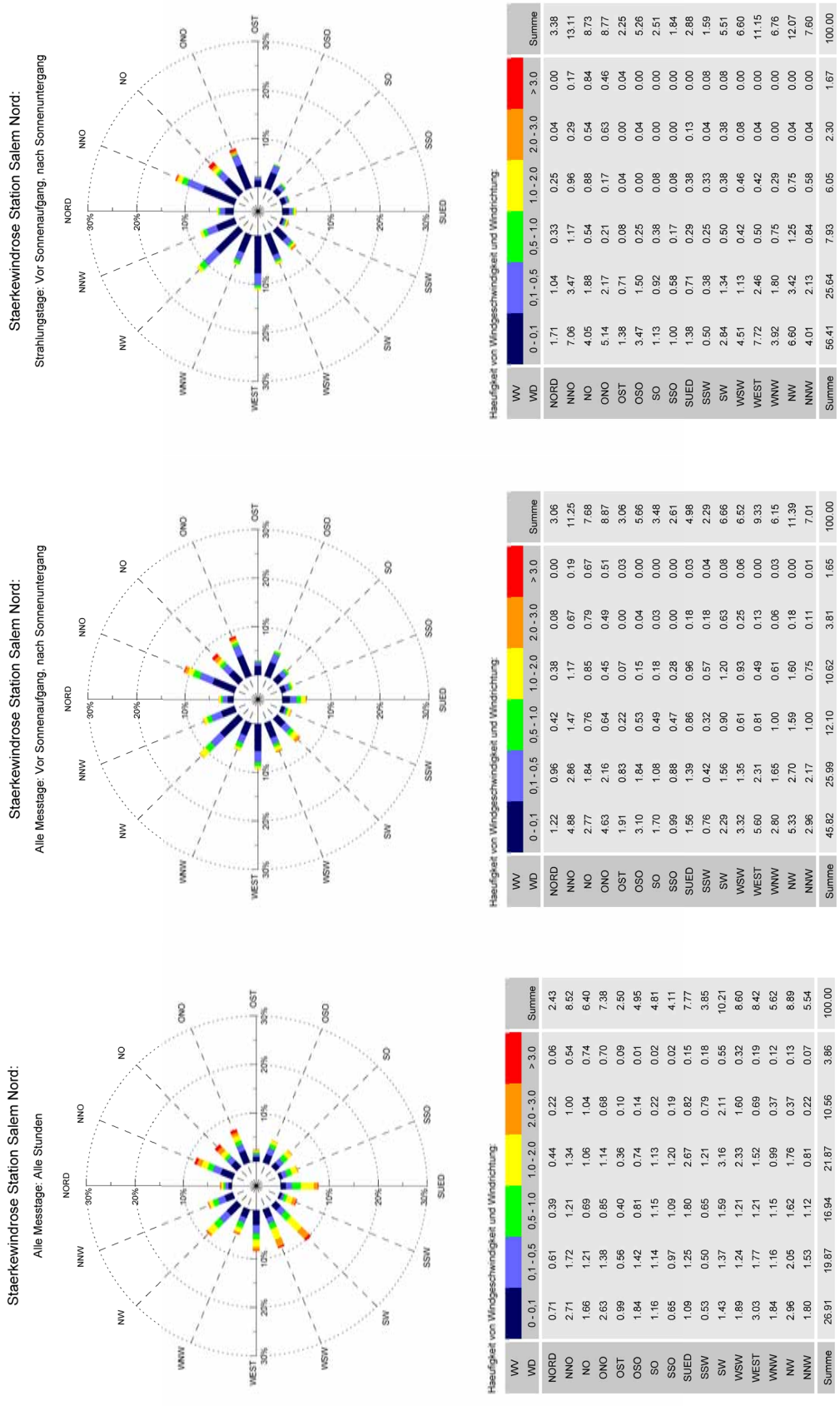
- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet lassen sich an der Station „Salem Nord“ nur wenig ausgeprägte Richtungsschwerpunkte ausmachen: Sekundäre Maxima liegen in den Bereichen SW/WSW/W, NNO/ONO/NO, NW und S.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang) stellt man keine nennenswerten Veränderungen in der Windrichtungsverteilung fest. Allerdings ist der Anteil der Geschwindigkeiten unter 0,1 m/s insgesamt nun wesentlich größer.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so ergeben sich wiederum keine bedeutenden Veränderungen in der Windrichtungsverteilung. Lediglich die Richtungen NNO, NW und W treten hierbei noch etwas deutlicher hervor. Aus Richtung S werden nun fast keine Winde mehr gemessen.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen 0 und maximal 0,5 m/s. Dabei ist die Klasse zwischen 0 und 0,1 m/s am häufigsten vertreten, gefolgt von der Klasse zwischen 0,1 und 0,5 m/s. Nur seltener werden Windgeschwindigkeiten über 1 m/s gemessen.

Stärkewindrosen der Station „Salem Süd“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet zeigt sich an der Station „Salem Süd“ ein sehr ähnliches Bild wie an der Station „Salem Nord“. Wiederum sind keine ausgeprägten Dominanzen der Windrichtungen zu erkennen. Lediglich der Sektor WSW weist hier eine etwas höhere Häufigkeit auf.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang) stellt man fest, dass die Richtungen NW/NNW etwas deutlicher hervortreten.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so zeigen sich nochmals etwas größere Anteile der Winde aus NW/NNW.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten in den zuletzt als dominierend angegebenen Windrichtungen liegen in der Regel zwischen 0 und maximal 1 m/s. Dabei ist die Klasse zwischen 0 und 0,1 m/s am häufigsten vertreten, gefolgt von den Klassen von 0,1 bis 0,5 m/s und von 0,5 bis 1 m/s. Nur selten werden Windgeschwindigkeiten über 1 m/s gemessen.

Stärkewindrosen der Station „Deggenhausertal“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Deggenhausertal“ Winde aus zwei Richtungsschwerpunkten: Am häufigsten treten Winde aus ONO auf, ein weiteres Maximum liegt bei WSW/SW.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so konzentrieren sich die Windrichtungen fast ausschließlich auf die Richtungsbereiche ONO/O/NO (ONO rund 40 %). Winde aus WSW/SW treten praktisch nicht mehr auf.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so ergibt sich eine noch größere Dominanz der oben genannten Windrichtungen. Winde aus ONO/O/NO treten dann mit einer Häufigkeit von zusammen etwa 75 % auf (ONO rund 50 %).
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen 0 und maximal 1 m/s. Dabei ist die Klasse zwischen 0,5 und 1 m/s am häufigsten vertreten, gefolgt von der Klasse zwischen 0,1 und 0,5 m/s. Nur seltener werden Windgeschwindigkeiten über 1 m/s gemessen. Windgeschwindigkeiten unter 0,1 m/s zeigen an, dass auch immer wieder mit Phasen sehr geringer Luftbewegungen bis hin zur Windstille zu rechnen ist.
- Mit ihren beachtlichen Windgeschwindigkeiten hebt sich die Station „Deggenhausertal“ deutlich von den beiden anderen festen Messstationen im Untersuchungsraum ab.



Haufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.71	0.61	0.39	0.44	0.22	0.06	2.43
NNO	2.71	1.72	1.21	1.34	1.00	0.54	8.52
NO	1.66	1.21	0.69	1.06	1.04	0.74	6.40
ONO	2.63	1.38	0.85	1.14	0.68	0.70	7.38
OST	0.99	0.56	0.40	0.36	0.10	0.09	2.50
OSO	1.84	1.42	0.81	0.74	0.14	0.01	4.95
SO	1.16	1.14	1.15	1.13	0.22	0.02	4.81
SSO	0.65	0.97	1.09	1.20	0.19	0.02	4.11
SUED	1.09	1.25	1.80	2.67	0.82	0.15	7.77
SSW	0.53	0.50	0.65	1.21	0.79	0.18	3.85
SW	1.43	1.37	1.59	3.16	2.11	0.55	10.21
WSW	1.89	1.24	1.21	2.33	1.60	0.32	8.60
WEST	3.03	1.77	1.21	1.52	0.69	0.19	8.42
WNW	1.84	1.16	1.15	0.99	0.37	0.12	5.62
NW	2.96	2.05	1.62	1.76	0.37	0.13	8.89
NNW	1.80	1.53	1.12	0.81	0.22	0.07	5.54
Summe	26.91	19.87	16.94	21.87	10.56	3.86	100.00

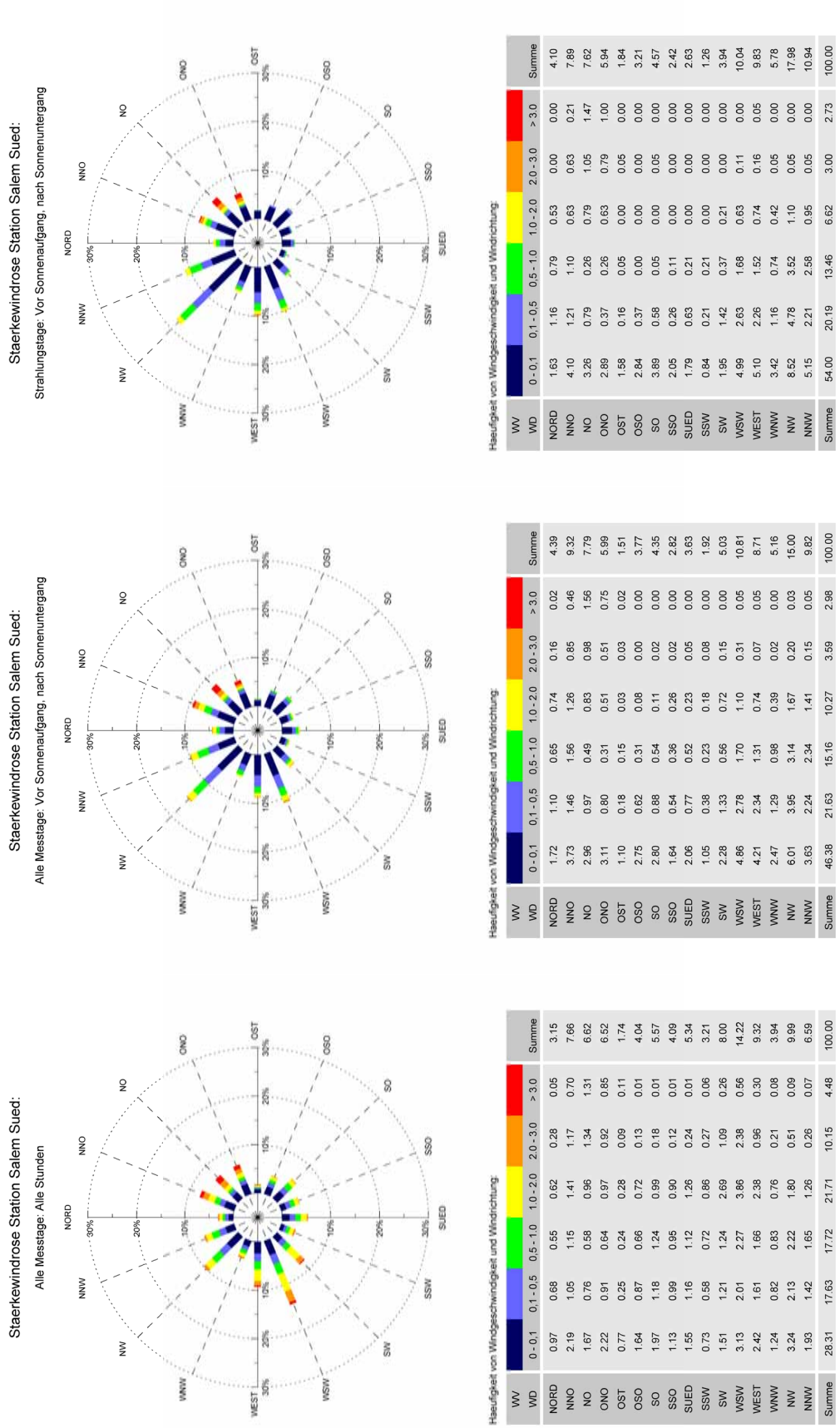
Haufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.22	0.96	0.42	0.38	0.08	0.00	3.06
NNO	4.88	2.86	1.47	1.17	0.67	0.19	11.25
NO	2.77	1.84	0.76	0.85	0.79	0.67	7.68
ONO	4.63	2.16	0.64	0.45	0.49	0.51	8.87
OST	1.91	0.83	0.22	0.07	0.00	0.03	3.06
OSO	3.10	1.84	0.53	0.15	0.04	0.00	5.66
SO	1.70	1.08	0.49	0.18	0.03	0.00	3.48
SSO	0.99	0.88	0.47	0.28	0.00	0.00	2.61
SUED	1.56	1.39	0.86	0.96	0.18	0.03	4.98
SSW	0.76	0.42	0.32	0.57	0.18	0.04	2.29
SW	2.29	1.56	0.90	1.20	0.63	0.08	6.66
WSW	3.32	1.35	0.61	0.93	0.25	0.06	6.52
WEST	5.60	2.31	0.81	0.49	0.13	0.00	9.33
WNW	2.80	1.65	1.00	0.61	0.06	0.03	6.15
NW	5.33	2.70	1.59	1.60	0.18	0.00	11.39
NNW	2.96	2.17	1.00	0.75	0.11	0.01	7.01
Summe	45.82	25.99	12.10	10.62	3.81	1.65	100.00

Haufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.71	1.04	0.33	0.25	0.04	0.00	3.38
NNO	7.06	3.47	1.17	0.96	0.29	0.17	13.11
NO	4.05	1.88	0.54	0.88	0.54	0.84	8.73
ONO	5.14	2.17	0.21	0.17	0.63	0.46	8.77
OST	1.38	0.71	0.08	0.04	0.00	0.04	2.25
OSO	3.47	1.50	0.25	0.00	0.04	0.00	5.26
SO	1.13	0.92	0.38	0.08	0.00	0.00	2.51
SSO	1.00	0.58	0.17	0.08	0.00	0.00	1.84
SUED	1.38	0.71	0.29	0.38	0.13	0.00	2.88
SSW	0.50	0.38	0.25	0.33	0.04	0.08	1.59
SW	2.84	1.34	0.50	0.38	0.38	0.08	5.51
WSW	4.51	1.13	0.42	0.46	0.08	0.00	6.60
WEST	7.72	2.46	0.50	0.42	0.04	0.00	11.15
WNW	3.92	1.80	0.75	0.29	0.00	0.00	6.76
NW	6.60	3.42	1.25	0.75	0.04	0.00	12.07
NNW	4.01	2.13	0.84	0.58	0.04	0.00	7.60
Summe	56.41	25.64	7.93	6.05	2.30	1.67	100.00

Abbildung 45: Stärkewindrosen der Station „Salem Nord“. Angaben in Prozent.



Haufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.97	0.68	0.55	0.62	0.28	0.05	3.15
NNO	2.19	1.05	1.15	1.41	1.17	0.70	7.66
NO	1.67	0.76	0.58	0.96	1.34	1.31	6.62
ONO	2.22	0.91	0.64	0.97	0.92	0.85	6.52
OST	0.77	0.25	0.24	0.28	0.09	0.11	1.74
OSO	1.64	0.87	0.66	0.72	0.13	0.01	4.04
SO	1.97	1.18	1.24	0.99	0.18	0.01	5.57
SSO	1.13	0.99	0.95	0.90	0.12	0.01	4.09
SUED	1.55	1.16	1.12	1.26	0.24	0.01	5.34
SSW	0.73	0.58	0.72	0.86	0.27	0.06	3.21
SW	1.51	1.21	1.24	2.69	1.09	0.26	8.00
WSW	3.13	2.01	2.27	3.86	2.38	0.56	14.22
WEST	2.42	1.61	1.66	2.38	0.96	0.30	9.32
WNW	1.24	0.82	0.83	0.76	0.21	0.08	3.94
NW	3.24	2.13	2.22	1.80	0.51	0.09	9.99
NNW	1.93	1.42	1.65	1.26	0.26	0.07	6.59
Summe	28.31	17.63	17.72	21.71	10.15	4.48	100.00

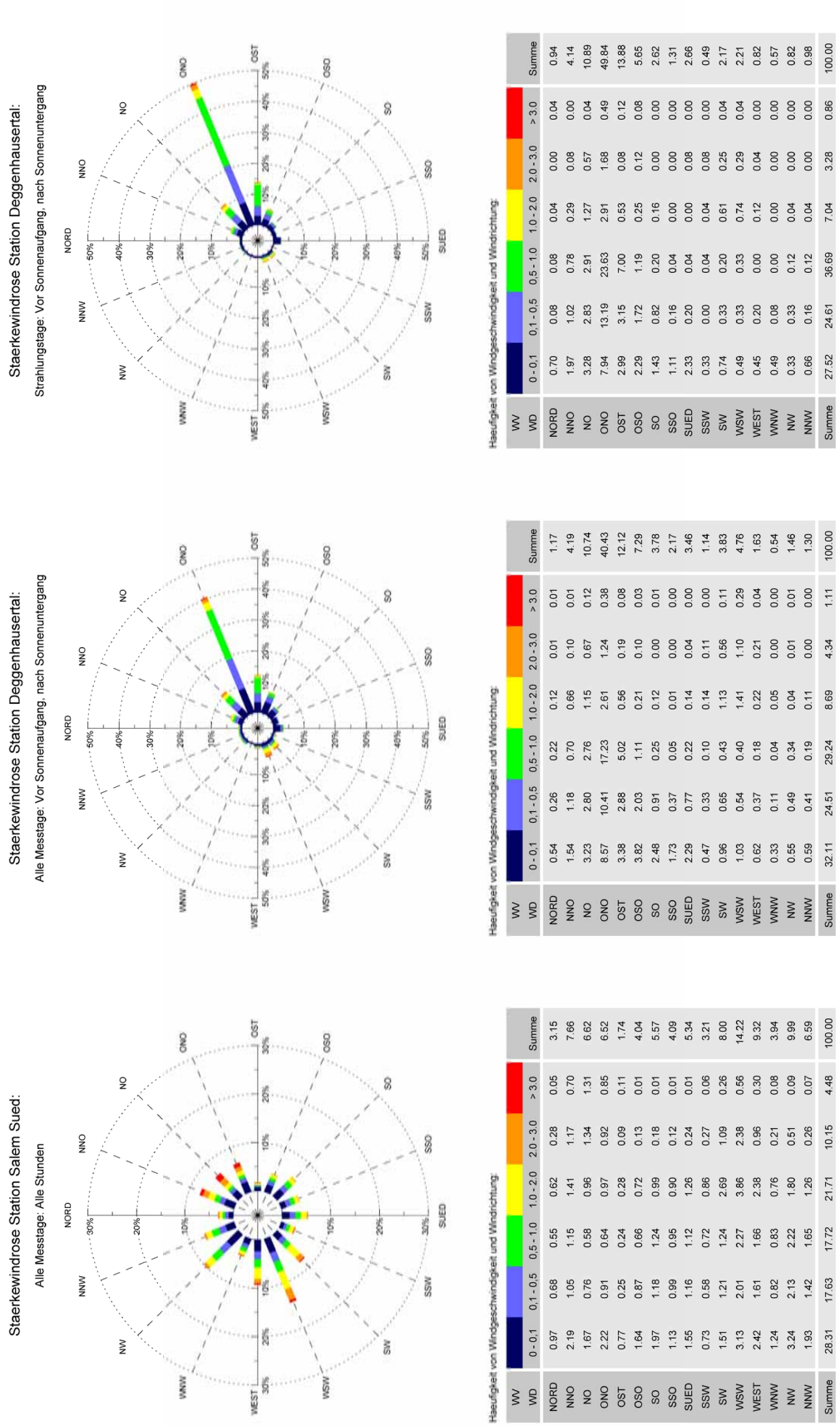
Haufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.72	1.10	0.65	0.74	0.16	0.02	4.39
NNO	3.73	1.46	1.56	1.26	0.85	0.46	9.32
NO	2.96	0.97	0.49	0.83	0.98	1.56	7.79
ONO	3.11	0.80	0.31	0.51	0.51	0.75	5.99
OST	1.10	0.18	0.15	0.03	0.03	0.02	1.51
OSO	2.75	0.62	0.31	0.08	0.00	0.00	3.77
SO	2.80	0.88	0.54	0.11	0.02	0.00	4.35
SSO	1.64	0.54	0.36	0.26	0.02	0.00	2.82
SUED	2.06	0.77	0.52	0.23	0.05	0.00	3.63
SSW	1.05	0.38	0.23	0.18	0.08	0.00	1.92
SW	2.28	1.33	0.56	0.72	0.15	0.00	5.03
WSW	4.86	2.78	1.70	1.10	0.31	0.05	10.81
WEST	4.21	2.34	1.31	0.74	0.07	0.05	8.71
WNW	2.47	1.29	0.98	0.39	0.02	0.00	5.16
NW	6.01	3.95	3.14	1.67	0.20	0.03	15.00
NNW	3.63	2.24	2.34	1.41	0.15	0.05	9.82
Summe	46.38	21.63	15.16	10.27	3.59	2.98	100.00

Haufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.63	1.16	0.79	0.53	0.00	0.00	4.10
NNO	4.10	1.21	1.10	0.63	0.63	0.21	7.89
NO	3.26	0.79	0.26	0.79	1.05	1.47	7.62
ONO	2.89	0.37	0.26	0.63	0.79	1.00	5.94
OST	1.58	0.16	0.05	0.00	0.05	0.00	1.84
OSO	2.84	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	3.21
SO	3.89	0.58	0.05	0.00	0.05	0.00	4.57
SSO	2.05	0.26	0.11	0.00	0.00	0.00	2.42
SUED	1.79	0.63	0.21	0.00	0.00	0.00	2.63
SSW	0.84	0.21	0.21	0.00	0.00	0.00	1.26
SW	1.95	1.42	0.37	0.21	0.00	0.00	3.94
WSW	4.99	2.63	1.68	0.63	0.11	0.00	10.04
WEST	5.10	2.26	1.52	0.74	0.16	0.05	9.83
WNW	3.42	1.16	0.74	0.42	0.05	0.00	5.78
NW	8.52	4.78	3.52	1.10	0.05	0.00	17.98
NNW	5.15	2.21	2.58	0.95	0.05	0.00	10.94
Summe	54.00	20.19	13.46	6.62	3.00	2.73	100.00

Abbildung 46: Stärkewindrosen der Station „Salem Süd“. Angaben in Prozent.



Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0,70	0,08	0,08	0,04	0,00	0,04	0,94
NNO	1,97	1,02	0,78	0,29	0,08	0,00	4,14
NO	3,28	2,83	2,91	1,27	0,57	0,04	10,89
ONO	7,94	13,19	23,63	2,91	1,68	0,49	49,84
OST	2,99	3,15	7,00	0,53	0,08	0,12	13,88
OSO	2,29	1,72	1,19	0,25	0,12	0,08	5,65
SO	1,43	0,82	0,20	0,16	0,00	0,00	2,62
SSO	1,11	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00	1,31
SUED	2,33	0,20	0,04	0,00	0,08	0,00	2,66
SSW	0,33	0,00	0,04	0,04	0,08	0,00	0,49
SW	0,74	0,33	0,20	0,61	0,25	0,04	2,17
WSW	0,49	0,33	0,33	0,74	0,29	0,04	2,21
WEST	0,45	0,20	0,00	0,12	0,04	0,00	0,82
WNW	0,49	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57
NW	0,33	0,33	0,12	0,04	0,00	0,00	0,82
NNW	0,66	0,16	0,12	0,04	0,00	0,00	0,98
Summe	27,52	24,61	36,69	7,04	3,28	0,86	100,00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0,54	0,26	0,22	0,12	0,01	0,01	1,17
NNO	1,54	1,18	0,70	0,66	0,10	0,01	4,19
NO	3,23	2,80	2,76	1,15	0,67	0,12	10,74
ONO	8,57	10,41	17,23	2,61	1,24	0,38	40,43
OST	3,38	2,88	5,02	0,56	0,19	0,08	12,12
OSO	3,82	2,03	1,11	0,21	0,10	0,03	7,29
SO	2,48	0,91	0,25	0,12	0,00	0,01	3,78
SSO	1,73	0,37	0,05	0,01	0,00	0,00	2,17
SUED	2,29	0,77	0,22	0,14	0,04	0,00	3,46
SSW	0,47	0,33	0,10	0,14	0,11	0,00	1,14
SW	0,96	0,65	0,43	1,13	0,56	0,11	3,83
WSW	1,03	0,54	0,40	1,41	1,10	0,29	4,76
WEST	0,62	0,37	0,18	0,22	0,21	0,04	1,63
WNW	0,33	0,11	0,04	0,05	0,00	0,00	0,54
NW	0,55	0,49	0,34	0,04	0,01	0,01	1,46
NNW	0,59	0,41	0,19	0,11	0,00	0,00	1,30
Summe	32,11	24,51	29,24	8,69	4,34	1,11	100,00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0,97	0,68	0,55	0,62	0,28	0,05	3,15
NNO	2,19	1,05	1,15	1,41	1,17	0,70	7,66
NO	1,67	0,76	0,58	0,96	1,34	1,31	6,62
ONO	2,22	0,91	0,64	0,97	0,92	0,85	6,52
OST	0,77	0,25	0,24	0,28	0,09	0,11	1,74
OSO	1,64	0,87	0,66	0,72	0,13	0,01	4,04
SO	1,97	1,18	1,24	0,99	0,18	0,01	5,57
SSO	1,13	0,99	0,95	0,90	0,12	0,01	4,09
SUED	1,55	1,16	1,12	1,26	0,24	0,01	5,34
SSW	0,73	0,58	0,72	0,86	0,27	0,06	3,21
SW	1,51	1,21	1,24	2,69	1,09	0,26	8,00
WSW	3,13	2,01	2,27	3,86	2,38	0,56	14,22
WEST	2,42	1,61	1,66	2,38	0,96	0,30	9,32
WNW	1,24	0,82	0,83	0,76	0,21	0,08	3,94
NW	3,24	2,13	2,22	1,80	0,51	0,09	9,99
NNW	1,93	1,42	1,65	1,26	0,26	0,07	6,59
Summe	28,31	17,63	17,72	21,71	10,15	4,48	100,00

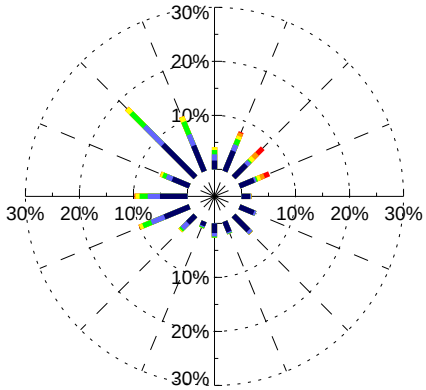
Abbildung 47: Stärkewindrosen der Station „Deggenhausertal“. Angaben in Prozent.

Abbildung 48: Folgende Seite: Stärkewindrosen im Untersuchungsgebiet „Salemer Becken“ (Strahlungsnächte).

REKLIBO Staerkewindrosen

Untersuchungsgebiet Salem

Windrichtungshaeufigkeiten
Nur Strahlungstage, Nachtstunden



Windgeschwindigkeiten in m/s:

- < 0.1
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- > 3.0

Datengrundlage:
Digitales Gelaendemodell (DGM5): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).
Landnutzungsdaten: Landsat TM5, Ebene 3, 1996/1997.

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

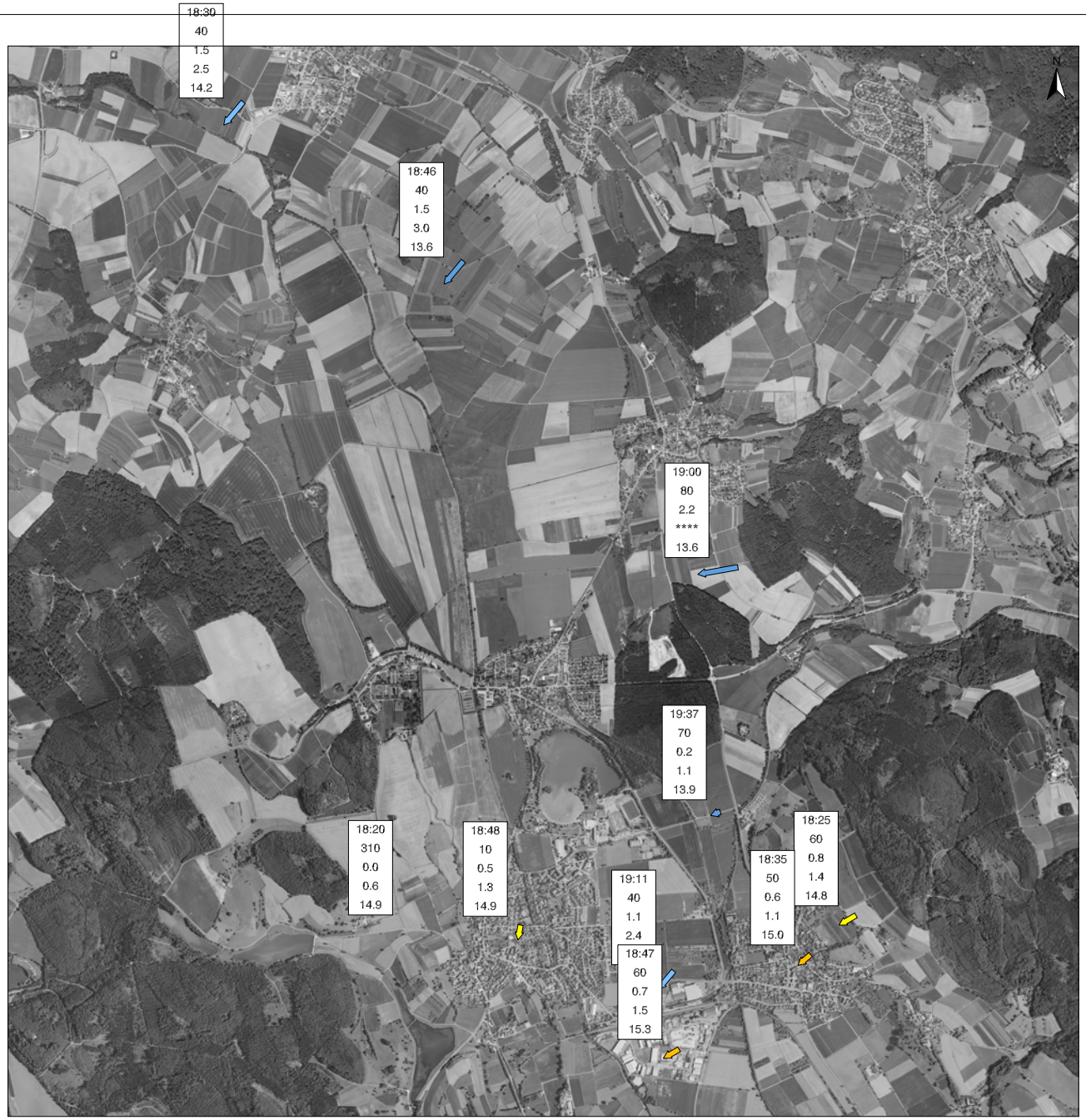
Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.2.4.2 Ergebnisse der Handmessungen

Messtag: 10.10.2008

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 18.20 Uhr und 21 Uhr MESZ. Es ist zu beachten, dass sich die Zeiträume der Messdurchgänge aus organisatorischen Gründen teilweise leicht überschneiden. Nach relativ dichter Bewölkung am Tag kam es zu einer raschen Auflösung der Wolkenfelder in den Abendstunden. Kurz nach Sonnenuntergang entstand leichter, sich bald wieder auflösender Bodennebel. An den Funkwetterstationen zeigt sich an diesem Tag ein nur wenig ausgeprägter Tagesgang der Lufttemperatur. Nachts können praktisch keine Veränderung der Lufttemperatur beobachtet werden.
- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 18.20 Uhr und 19.37 Uhr MESZ zeigen an den Standorten A1, A2, A3, B1 und B3 teils kräftige, hangabwärts gerichtete Luftbewegungen. Der Standort A4 zeigt Luftbewegung aus ONO mit 0,2 m/s. An den Standorten C3 und B3 treten Windrichtungen aus NO auf, wobei die Geschwindigkeit bei 1,1 bzw. 0,7 m/s liegt. Der Standort C2 weist bei einer Windgeschwindigkeit von 0,5 m/s eine Windrichtung aus N auf. An den Standorten A4 und C1 treten nur äußerst geringe bzw. gar keine Luftbewegungen auf.
- während der zweiten Messung zwischen 19 Uhr und 20.30 Uhr MESZ nur noch sehr geringe bzw. gar keine Luftbewegungen an den Standorten im Nördlichen Salemer Becken, lediglich am Standort A3 noch eine Luftbewegung aus OSO mit einer Geschwindigkeit von 0,8 m/s, der Standort A4 weist Luftbewegungen aus NO mit 0,2 m/s aus, an den Standorten B1 und B2 hangabwärts gerichtete Windrichtungen mit 1,2 bzw. 0,8 m/s, an den Standorten C3 und B3 Luftbewegungen aus NO mit rund 1 m/s, der Standort C1 zeigt eine Strömung aus O mit 0,2 m/s und der Standort C2 aus NO mit 0,1 m/s
- Die dritte Messung zwischen 19.45 Uhr und 21 Uhr weist nun für alle Standorte im Nördlichen Salemer Becken sehr geringe Windgeschwindigkeiten von maximal 0,3 m/s auf. An den Standorten A1 und A3 sind die Windrichtungen talabwärts bzw. hangabwärts orientiert. Der Standort A2 hingegen weist eine sehr schwache Luftbewegung aus S auf. Am Standort A4 ist wie in den beiden Messungen zuvor eine Strömung aus NO mit 0,2 m/s erkennbar. Der Standort B1 weist bei 1 m/s eine hangabwärts gerichtete Luftbewegung auf. Die Standorte B2, B3, C2 und C3 zeigen bei relativ schwachen Windgeschwindigkeiten mit rund 0,3 m/s SO-Richtungen auf. Am Standort C1 hingegen ist eine Strömung mit 1,2 m/s aus N zu erkennen.

Abbildung 49: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Untersuchungsgebiet „Salemer Becken“.



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Salem

10.10.2008, 18:20:00 - 19:37:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

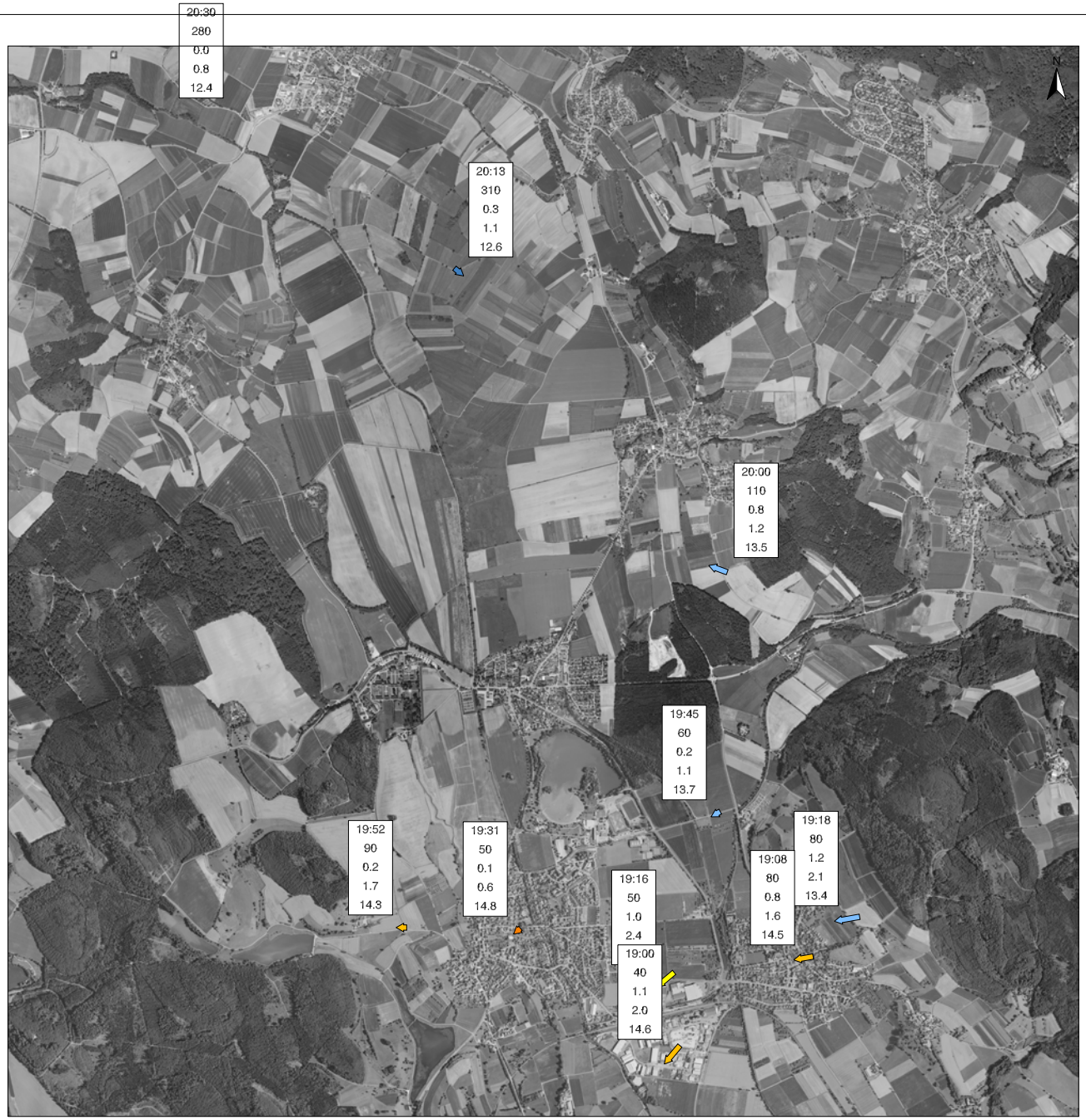
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Salem

10.10.2008, 19:00:00 - 20:30:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

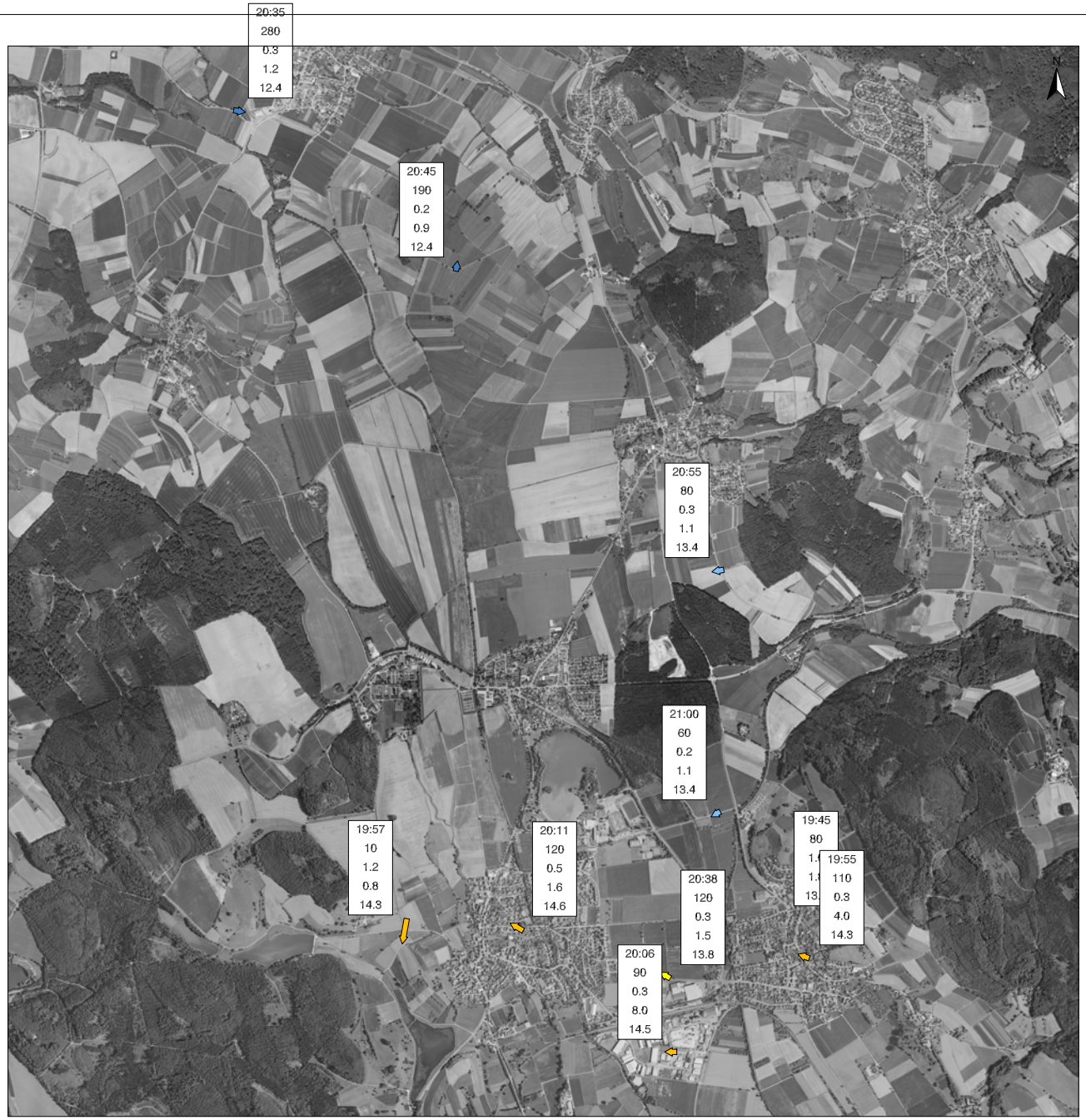
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Salem

10.10.2008, 19:45:00 - 21:00:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.2.5 Interpretation der Messergebnisse

Talabwinde und Hangabwinde und deren Verzahnung im Salemer Becken

Die über den nahezu kompletten Messzeitraum dominierende Tagesperiodik der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten vor allem an der Station „Deggenhausertal“, jedoch auch an den Stationen „Salem Nord“ und „Salem Süd“ lässt auf die Existenz thermisch induzierter Windsysteme schließen.

Für den Bereich des nördlichen Salemer Beckens lassen sich anhand der Ergebnisse der festen Messstation und der Handmessungen sowohl nächtliche Talabwinde als auch Hangabwinde annehmen.

Den Talabwinden entspricht die Dominanz der Windrichtungen aus NW bzw. NNW (vgl. Abbildung 45,Abbildung 46). Es kann davon ausgegangen werden, dass es in der Beckensohle während nächtlicher Strahlungswetterlagen zu einem Abfluss von Kaltluft in Richtung Südost entlang der Hauptachse des Beckens kommt.

Die erfassten Daten der Stationen „Salem Nord“ und „Salem Süd“ (nächtliche Windrichtungen zwischen W und ONO) legen nahe, dass sich spätestens ab der Zeit des Sonnenuntergangs an den Hangflanken rings um das Becken über den unverbauten Flächen kalte Luft ausbildet, die dann die Hänge hinab der Beckensohle zufließt. Von dort folgt die Kaltluft von den Hängen und aus dem Sohlenbereich dem Gefälle des Beckens in Richtung SSO.

Die geringen Windgeschwindigkeiten an den Funkwetterstationen während der Strahlungsnächte sowie die Ergebnisse der Handmessungen sprechen für eine rasche Kaltluftansammlung im Becken nach Sonnenuntergang.

Aufgrund der insgesamt sehr geringen bodennahen Windgeschwindigkeiten im Sohlenbereich kann vermutet werden, dass sich die Siedlungskörper stauend bzw. bremsend auf den Kaltluftabfluss im Becken auswirken.

Der Talabwind aus dem Deggenhausertal und seine Durchlüftungswirkung im Salemer Becken

Die Daten der Station „Deggenhausertal“ zeigen eindrücklich, wie sich während windschwacher Strahlungswetterlagen zur Sonnenuntergangszeit ein kräftiger Talabwind im Mündungsbereich des Deggenhausertals ausbildet. Selbst in Bodennähe erreicht er noch Geschwindigkeiten von über 1 m/s. In den meisten Nächten lässt seine Kraft erst gegen Morgen etwas nach.

Zuverlässige Aussagen über die bodennahe Reichweite dieses Bergwindes in das Salemer Becken hinein sind mit dem bisherigen Erkenntnisstand jedoch nur schwer zu treffen. Die Wetterverhältnisse zum Zeitpunkt der ergänzenden Handmessungen waren nicht optimal, so dass sich im Deggenhausertal kein kräftiger Talabwind ausbilden konnte.

Es ist aber in jedem Fall davon auszugehen, dass das Deggenhausertal als wichtiger Kaltluftlieferant für das gesamte Salemer Becken fungiert. Dies dürfte auch dann gelten, wenn in Bodennähe aufgrund von Reibungseffekten nur geringe Reichweiten beobachtet werden können. Die Kaltluftzufuhr aus den Seitentälern und von den Beckenrändern ist wiederum Voraussetzung dafür, dass sich auch im Salemer Becken ein Talabwind etablieren kann.

Durchlüftung der Siedlungskörper von Mimmenhausen und Neufrach durch die angrenzenden Hänge

Die Handmessergebnisse im Bereich Mimmenhausen (Standorte C1 und C2) ergeben kein schlüssiges Bild über die Durchlüftungssituation um und im Siedlungskörper. Zumindest aber

die Windrichtungen während der ersten Messungen im Zentrum von Mimmenhausen lassen vermuten, dass dieser Teilort Salems von Norden her, also aus dem Becken selbst, durchlüftet wird.

Ganz anders stellt sich die Situation in Neufrach dar: Eindeutig bilden sich an den östlich an den Siedlungskörper anschließenden Hängen nächtliche Hangwinde aus und dringen nachweislich zumindest bis in den Kern des Ortes vor (Standort B2).

Der Unterschied zwischen beiden geschilderten Situationen könnte auf die Reliefstruktur zurückgehen. Während Neufrach unmittelbar an relativ steile und in Bezug auf die Beckensohle auch hochliegende Hänge angrenzt bzw. diese teilweise auch einschließt, liegt Mimmenhausen gänzlich im Sohlenbereich. Markante Hänge schließen hier nicht direkt an den Siedlungskörper an.

4.2.6 Fazit

Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse aus den durchgeführten Messprogrammen stichwortartig zusammengefasst:

- Für die Hänge rund um das Salemer Becken konnten teils kräftige Kaltluftabflüsse nachgewiesen werden.
- Im Sohlenbereich des Salemer Beckens wurden Kaltluftbewegungen entsprechend der Neigung Richtung SSO erfasst.
- Im Deggenhausertal bildet sich während Strahlungswetterlagen ein kräftiger Talabwind aus.
- Aussagen zu seiner bodennahen Reichweite in das Salemer Becken hinein sind beim derzeitigen Kenntnisstand nicht möglich.
- Die Siedlungskörper von Neufrach und Mimmenhausen werden durch die Kaltluftabflüsse von den angrenzenden Hängen durchlüftet.

4.2.7 Vergleich mit den Modellergebnissen

Ein zentrales Ziel des REKLIBO-Messprogramms war die Validierung der Ergebnisse der Modellrechnungen. Abschließend erfolgt deshalb ein Vergleich zwischen den oben beschriebenen wichtigsten Messergebnissen im Untersuchungsgebiet und den dort modellierten Prozessen.

Zur besseren Lesbarkeit wurde für die hier vorliegende Druckfassung aus den Gesamtergebnissen das entsprechende Teilgebiet extrahiert und vergrößert dargestellt. Um die zeitliche Dynamik wiederzugeben wurden von den insgesamt 12 Zeitschnitten die Ergebnisse nach Stunde 1, 2, 4, 8 und 12 ausgewählt. Sie sollen einen Überblick sowohl über die frühen Entwicklungen während einer Nacht als auch über die gesamte Simulationszeit von 12 Stunden ermöglichen. Dargestellt werden die Kaltluftmächtigkeiten, die mittleren Windgeschwindigkeiten über die gesamte Kaltluftsäule, sowie die daraus berechneten Volumenströme (vgl. Band 2). Ergänzt werden diese Darstellungen durch die Abbildung der Klimaanalysekarte für den Bereich des Untersuchungsgebietes. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass in vielen Situationen durch die Betrachtung eines größeren Gebietes die räumlichen Zusammenhänge häufig besser erklärbar werden.

Ein Vergleich der in
Abbildung 50 bis
Abbildung 53 dargestellten Modellergebnisse mit den zentralen Aussagen der durchgeführten Messungen zeigt im Untersuchungsgebiet „Salemer Becken“ eine recht gute Übereinstimmung. Im Einzelnen lässt sich das an folgenden Phänomenen festmachen:

- Laut Modell frühes Einsetzen kräftiger Hangabwinde, insbesondere von den steilen Hängen südlich von Heiligenberg. Besonders hohe Windgeschwindigkeiten werden dabei für kleine Taleinschnitte simuliert.
- Das Modell simuliert ein frühes Einsetzen von Talabwinden im Deggenhauser Tal bereits nach Stunde 1 Simulationszeit.
- Im Bereich von Talverengungen kommt es zu Düseneffekten mit hohen Volumenströmen.
- Spätestens nach Stunde 4 Simulationszeit etablieren sich im gesamten Becken Kaltluftbewegungen aus nordwestlicher Richtung.
- Sie werden unter anderem gespeist von kräftigen Volumenströmen aus dem Tal der Aach im Nordwesten des Untersuchungsgebietes.
- Im Bereich der Siedlungen im zentralen Teil des Untersuchungsgebietes kommt es zu Düseneffekten.
- Ab Stunde 4 Simulationszeit wird ein Abfluss von Kaltluft aus dem Becken nicht nur in südöstlicher Richtung, sondern auch entlang des Tals der Seefelder Aach berechnet.
- Gegen Ende der Simulationszeit scheint es zu Rückstaueffekten durch Kaltluftansammlung im Bodenseebecken zu kommen. Der Abfluss der Kaltluft erfolgt dann nur noch nach Westen.
- Trotz dieser Rückstaueffekte werden in den höchstgelegenen Hangbereichen immer noch Hangabwinde simuliert. Die unteren Hänge sind laut Modell zu dieser Zeit längst in Kaltluft „ertrunken“.

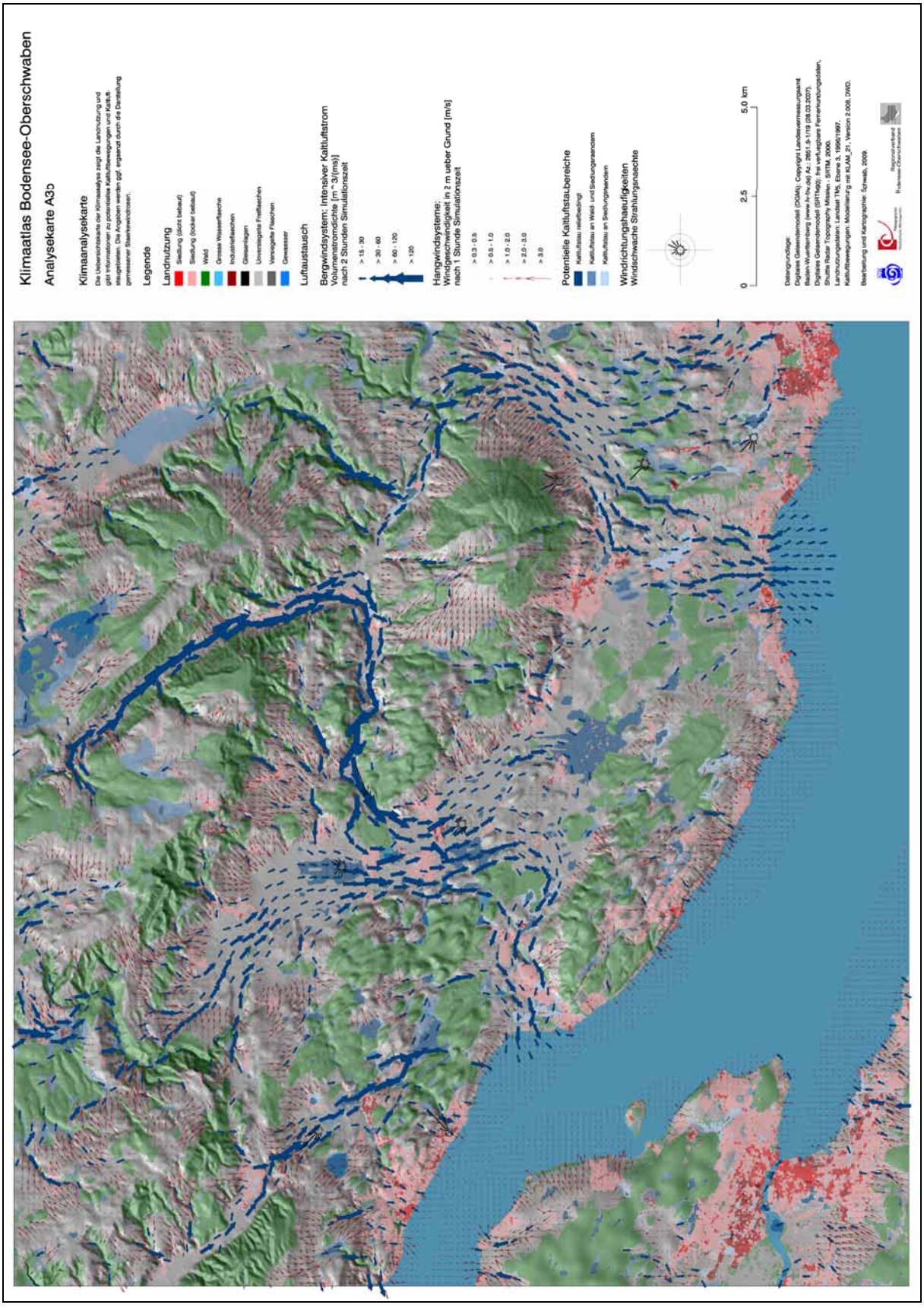


Abbildung 50: Klimaanalysekarte des Untersuchungsgebiets „Salemer Becken“

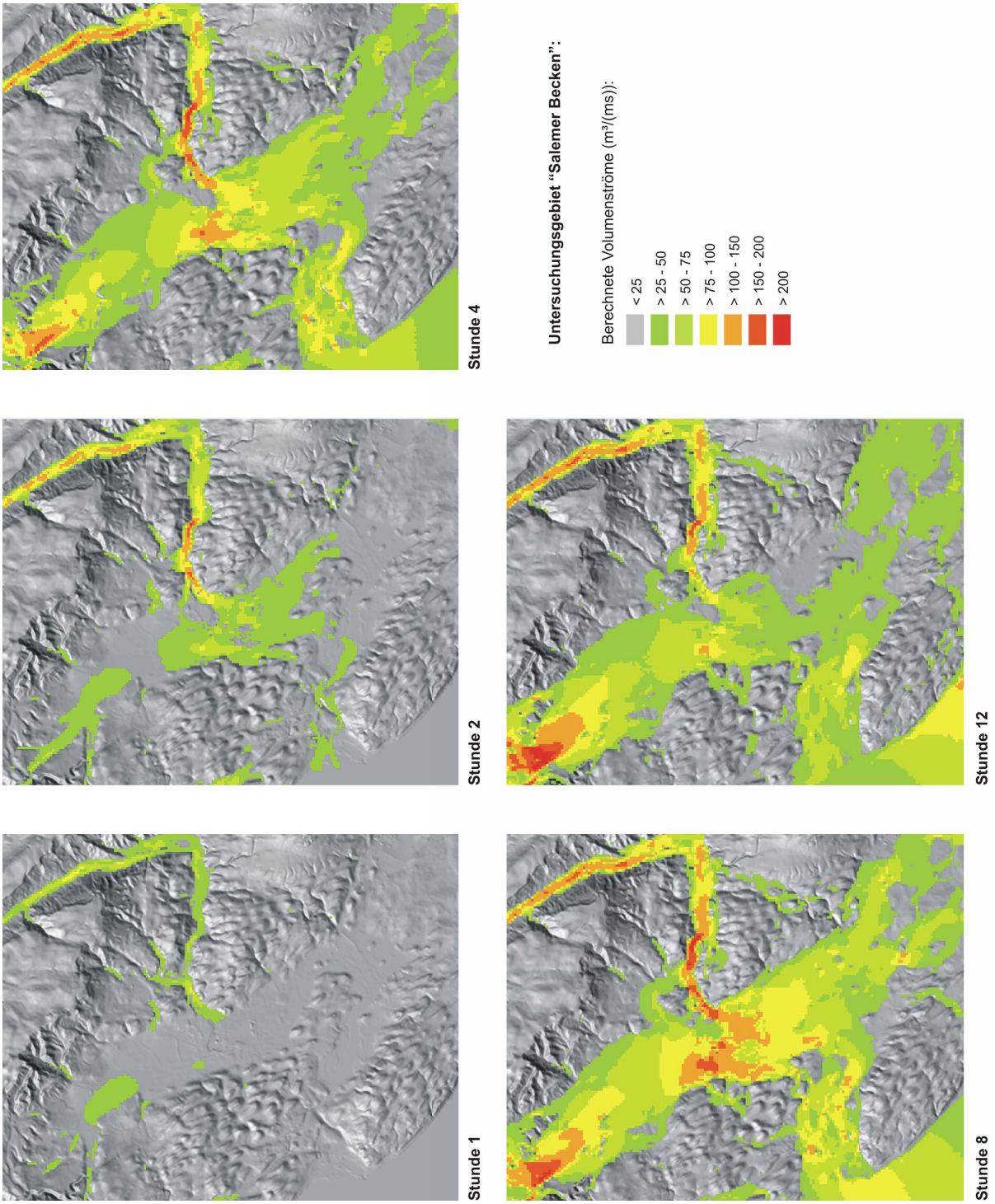


Abbildung 51: Berechnete Volumenströme im Untersuchungsraum „Salemer Becken“.

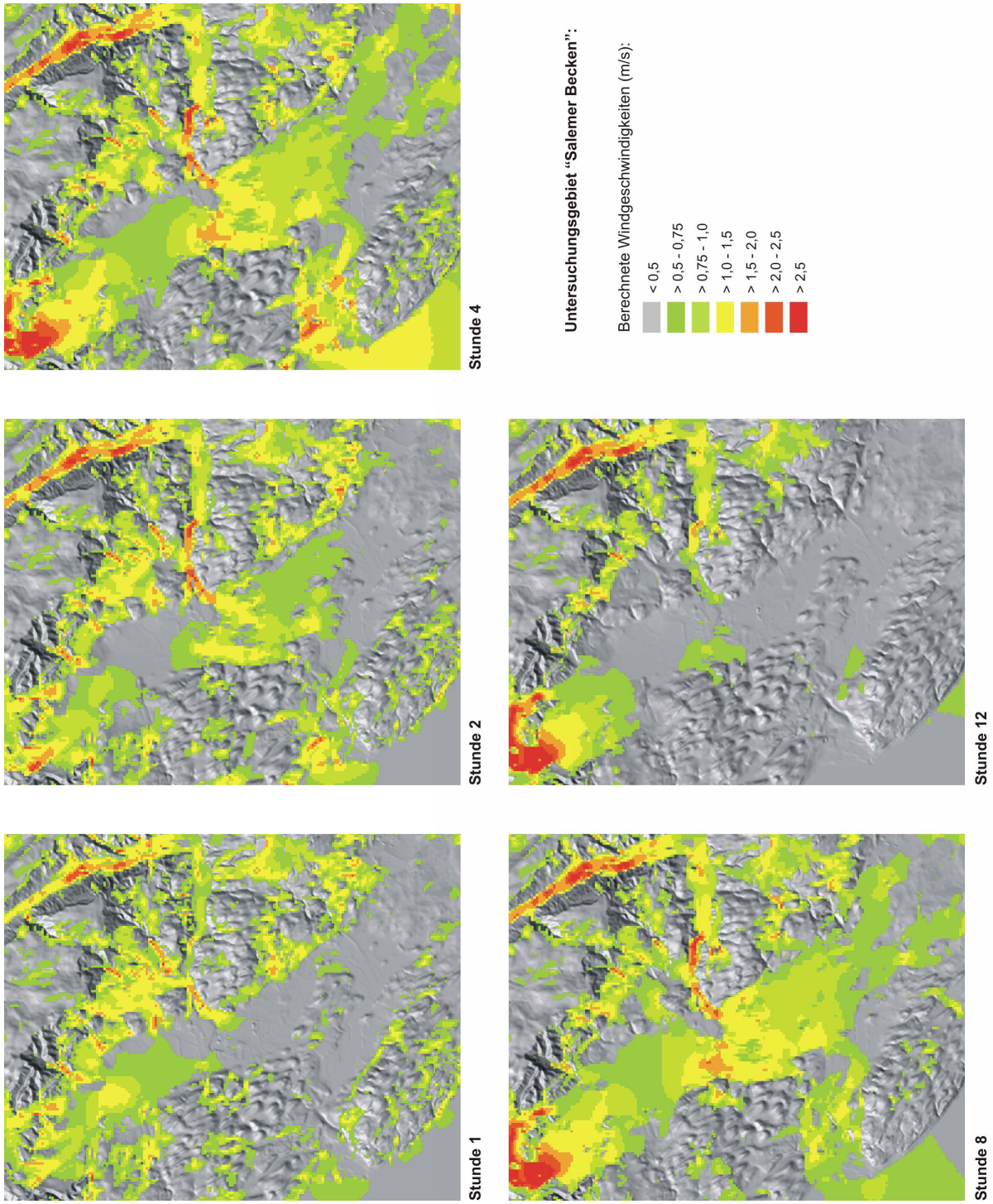


Abbildung 52: Berechnete Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsraum „Salemer Becken“.

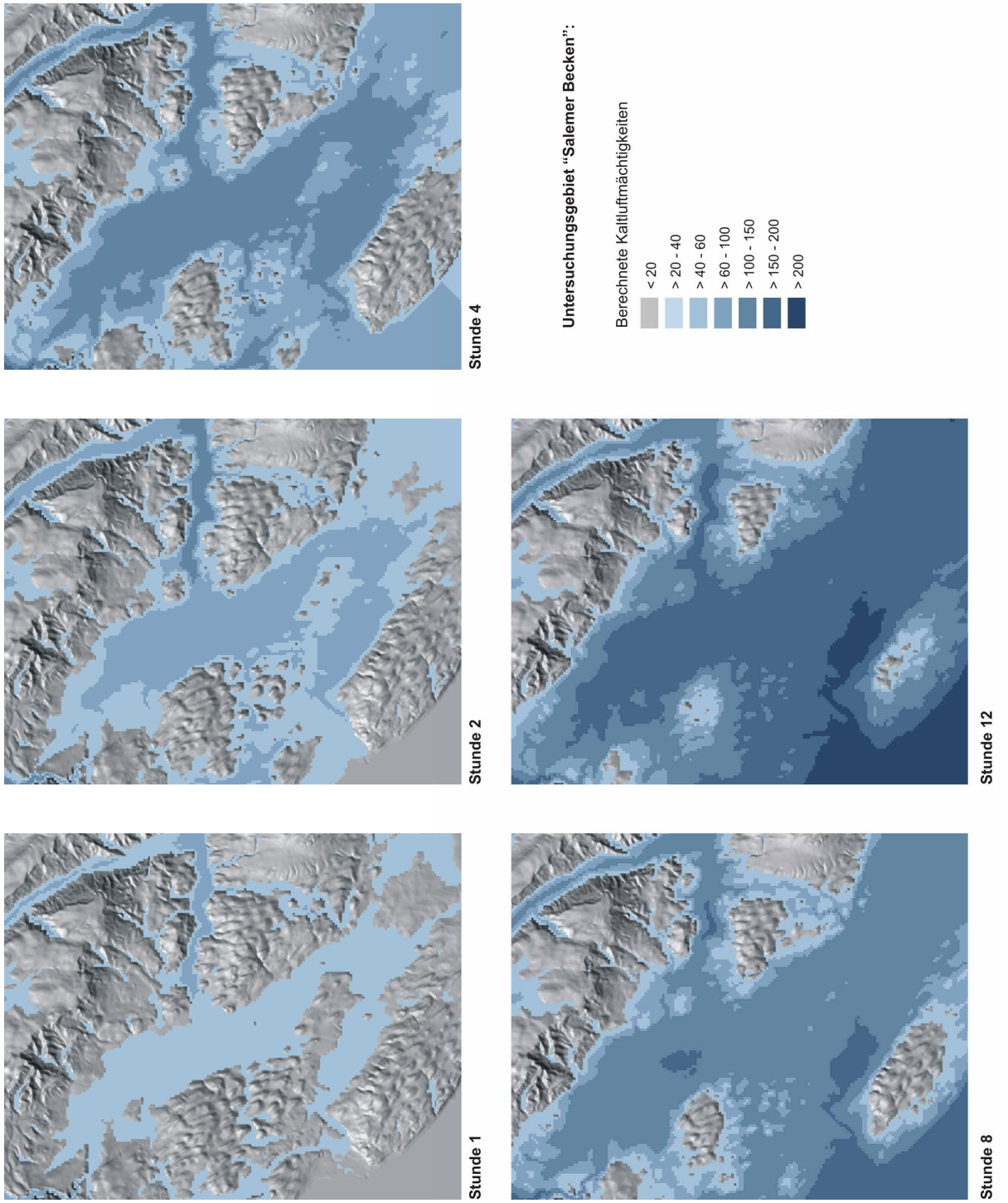


Abbildung 53: Berechnete Kaltluftmächtigkeiten im Untersuchungsraum „Salemer Becken“.

4.3 Untersuchungsgebiet „Gehrenberg-Friedrichshafen“

4.3.1 Beschreibung des Untersuchungsraums

Lage und naturräumliche Einordnung

Das Untersuchungsgebiet „Gehrenberg-Friedrichshafen“ liegt im Bodenseekreis, zwischen dem Gehrenberg und dem rund 10 km südöstlich gelegenen Stadtkern von Friedrichshafen. Im Westen wird das Gebiet in etwa durch die Linie Markdorf-Immenstaad und im Osten durch den Verlauf der Rotach begrenzt. Die naturräumliche Gliederung Deutschlands spricht hier vom „Drumlinrücken von Oberteuringen“ (Dongus, S.31).

Drei Teilgebiete lassen sich unterscheiden: Die Süd- und Südosthänge des Gehrenbergs, anschließend eine breite Niederung, die sich am südöstlichen Hangfuß des Gehrenbergs entlang zieht und schließlich das Drumlinfeld zwischen Gehrenberg und Friedrichshafen (vgl. Abbildung 57).

Relief

Die Geländehöhen liegen zwischen 754 m ü.NN. (Gehrenberg) und 395 m ü.NN. (Bodenseeufer bei Friedrichshafen). Die Süd- bis Südosthänge des Gehrenbergs weisen Neigungen von rund 18 % auf. In etwa 515 m Höhe findet sich eine stark zerschnittene Hangstufe mit Neigungen von teilweise über 25 % (vgl. Neigungskarte). Von dort aus fallen die Hänge gleichmäßig Richtung Niederung ab. Nördlich von Leimbach hat sich ein markanter Tobel in den Südhang des Gehrenbergs eingetieft.

Die etwa 1 bis 1,5 km breite Niederung schließt von Nordost nach Südwest verlaufend an den Gehrenberg an. Ihr südwestlicher Ausläufer verläuft quer durch das o.g. Drumlinfeld.

Die Drumlins streichen ungefähr von Süd nach Nord. Sie überragen die dazwischen liegenden Senken um bis zu 30 bis 40 m. Nach Süden hin werden sie wesentlich flacher.

Geologie

Beim Gehrenberg handelt es sich um eine markante Erhebung, die in ihrem Kern aus Molassegesteinen besteht. Die erwähnte Niederung südöstlich des Gehrenbergs ist ein Abschnitt der „Umfließungsrinne von Markdorf-Frickingen“ (Dongsu, S. 32), die im Wesentlichen spätglaziale Schotterablagerungen aufweist. Das Drumlinfeld ist aus würmzeitlichem Moränenmaterial aufgebaut. Die dazwischen liegenden Senken sind häufig mit Schottern bedeckt, teilweise finden sich Torf- bzw. Moorböden.

Landnutzung

Der Gehrenberg ist am Südosthang oberhalb von rund 550 m ü.NN. mit Mischwald bedeckt. An den Hängen unterhalb dieser Waldgrenze finden sich neben Acker- und Wiesenflächen auch immer wieder Streuobstwiesen und Obstplantagen. Ähnliches gilt für die anschließende Niederung und die nicht bewaldeten Bereiche im Drumlinfeld, wobei sich hier der Obstanbau in der Regel auf die Hänge konzentriert. Die Drumlinrücken sind bewaldet. In wenigen Ausnahmen sind sie besiedelt (z.B. Raderach, Berg). Mit Ausnahme von Friedrichshafen und Markdorf weist das Untersuchungsgebiet nur vereinzelte relativ kleine Siedlungsflächen auf.

Klimatische Einordnung

Laut Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2006) beträgt die Jahresmitteltemperatur im Untersuchungsgebiet zwischen 8,1 und 8,5°C. Bezogen auf das Sommerhalbjahr sind es 14,6 bis 15°C. Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist mit 2 bis 2,9 m/s angegeben. Im langjährigen Mittel tritt an 200 bis 225 Tagen im Jahr eine Inversion auf, die

Durchlüftungssituation fällt in die Klasse „schlecht“. Durchschnittlich weisen 22,6 bis 25 Tage im Jahr Wärmebelastung auf.

Eine Ausnahme bildet lediglich der Gehrenberg. Er weist aufgrund seiner Höhe und seines Reliefs niedrigere Durchschnittstemperaturen und höhere Durchschnittswindgeschwindigkeiten auf. Seine durchschnittliche jährliche Inversionshäufigkeit wird im Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW 2006) mit nur 75 bis 100 Tage angegeben. Die Durchlüftungssituation liegt im Bereich „gut“. Im Durchschnitt weisen jährlich nur 10,1 bis 12,5 Tage eine Wärmebelastung auf.

Begründung der Wahl des Untersuchungsgebiets

Mit dem Gehrenberg steht eine markante Erhebung mit hoher Reliefenergie im Mittelpunkt des Untersuchungsgebietes. Er ist durch ein starkes zum Bodensee hin gerichtetes Gefälle gekennzeichnet und in Band 1 als besondere Reliefeinheit herausgestellt. Auch die direkt daran anschließende Drumlinlandschaft ist mit ihren vielen Hügeln und den dazwischen liegenden Senken eine für den südlichen Teil der Region Bodensee-Oberschwaben typische Landschaftseinheit.

4.3.2 Fragestellungen

Im Untersuchungsgebiet stellen sich hinsichtlich der Durchlüftungssituation bei windschwachen Strahlungswetterlagen damit unter anderem folgende Fragen:

- Kommt es zur Ausbildung von Hangwinden an den Süd- und Südosthängen des Gehrenbergs?
- Wenn ja, mit welcher Häufigkeit und Intensität treten sie auf?
- Wie weit reichen diese ggf. in die angrenzende Niederung bzw. das Drumlinfeld hinein?
- Kommt es ggf. sogar zu einem Durchströmen des Drumlinfeldes und damit zu einer verbesserten Durchlüftung der Stadt Friedrichshafen?
- Welche Aussagen über kleinräumige Kaltluftstaugebiete und eine damit verbundene erhöhte Frostgefahr lassen sich für das Drumlinfeld ableiten?

4.3.3 Messverfahren und Messstandorte

4.3.3.1 Betrieb einfacher Funkwetterstationen

Zur Bestimmung der Häufigkeit und Intensität potentiell auftretender Kaltluftabflüsse in Bodennähe wurden an drei Standorten einfache Funkwetterstationen eingesetzt. Sie zeichnen Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund kontinuierlich auf (vgl. Kap. 3.2). Die Station „Gehrenberg“ wurde betrieben vom 13.06. bis 30.09.2008. Zu Beginn der Laufzeit kam es allerdings zu technischen Problemen, sodass verwertbare Messdaten erst ab dem 01.07.2008 zur Verfügung stehen. Die Station „Raderach“ wurde betrieben vom 13.06. bis 30.09.2008. Die Station „Schnetzenhausen“ wurde betrieben vom 14.06. bis 30.09.2008.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 57):

Station „Gehrenberg“

- bodennahe Erfassung möglicher Hangabwinde am Südosthang des Gehrenbergs

Blickrichtung N

Blickrichtung O

Blickrichtung S

Blickrichtung W

Abbildung 54: Ansichten der Funkwetterstation „Gehrenberg“.

Station „Raderach“

- bodennahe Abschätzung der Reichweite eines möglichen Hangabwindes vom Gehrenberg am Nordrand des Drumlinfelds
- ggf. auch Erfassung kleinräumiger Kaltluftbewegungen

Blickrichtung N

Blickrichtung O

Blickrichtung S

Blickrichtung W

Abbildung 55: Ansichten der Funkwetterstation „Raderach“.

Station „Schnetzenhausen“

- bodennahe Abschätzung der Reichweite eines möglichen Hangabwindes vom Gehrenberg am Südrand des Drumlinfelds
- ggf. auch Erfassung kleinräumiger Kaltluftbewegungen

Blickrichtung N

Blickrichtung O

Blickrichtung S

Blickrichtung W

Abbildung 56: Ansichten der Funkwetterstation „Schnetzenhausen“.

4.3.3.2 Durchführung von Handmessungen

Um das Beobachtungsnetz zu verdichten, wurden zusätzlich Handmessungen durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Dabei wurden an insgesamt vier Standorten Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund an ausgewählten Messtagen zu ausgewählten Messzeiten erfasst.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 57):

Standort HM1

- bodennahe Erfassung möglicher nächtlicher Hangabwinde von den südostexponierten Hängen des Gehrenbergs in den Bereich der Niederung

Standort HM2

- bodennahe Erfassung möglicher Hangabwinde von den südexponierten Hängen des Gehrenbergs im hangabgewandten Bereich des Gewerbegebiets nördlich von Lipbach

Standort HM3

- bodennahe Erfassung möglicher Hangabwinde von den südexponierten Hängen des Gehrenbergs ohne Beeinflussung durch Siedlungskörper

Standort HM4

- bodennahe Erfassung eines möglichen Hangabwindes vom Gehrenberg im Zentrum des Drumlinfelds

An folgenden Tagen wurden Handmessungen durchgeführt:

- Messtag 1: Zeitraum: 02.07.2008 zwischen 20.30 Uhr und 23.05 Uhr MESZ
- Messtag 2: Zeitraum: 04.07.2008 zwischen 18.30 Uhr und 22.06 Uhr MESZ
- Messtag 3: Zeitraum: 10.07.2008 zwischen 19.05 Uhr und 22.05 Uhr MESZ

4.3.3.3 Durchführung von Vertikalsondierungen

Zur Erfassung der Vertikalstruktur von Luftbewegungen im nördlichen Teil des Drumlinfelds wurden einfache Vertikalsondierungen mit einem Helium-Fesselballon durchgeführt. Zudem sollte die Temperaturschichtung in einer der Senken des Drumlinfelds erfasst werden (vgl. Kap. 3.2). Als Standort wurde daher die Senke unmittelbar südlich der Station „Raderach“ gewählt (vgl. Abbildung 57).

An folgenden Tagen wurden Vertikalsondierungen durchgeführt:

- Messtag 1: Zeitraum 05.08.2008 zwischen 21.35 Uhr und 23.04 Uhr MESZ
- Messtag 2: Zeitraum 06.08.2008 zwischen 20.01 Uhr und 22.02 Uhr MESZ

4.3.3.4 Durchführung von Temperaturmessfahrten

Um das Beobachtungsnetz hinsichtlich der bodennahen Lufttemperaturen zu verdichten, wurden zusätzlich Temperaturmessfahrten durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Dabei wurden entlang einer definierten Messroute in 10-m-Intervallen Position und Temperatur erfasst. Die Messfahrten erfolgten an ausgewählten Messtagen jeweils abends einmal kurz vor und einmal nach Sonnenuntergang. Zusätzlich fand jeweils am darauffolgenden Morgen eine Messfahrt vor Sonnenaufgang statt.

Im Folgenden wird die Wahl der Messroute kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 57):

- Erfassung der südostexponierten Hangbereich des Gehrenbergs
- Erfassung möglicher Kaltluftsammelgebiete/Kaltluftstaugebiete am Fuß des Gehrenbergs
- Erfassung möglicher Kaltluftsammelgebiete/Kaltluftstaugebiete innerhalb des Drumlinfelds
- Erfassung eines städtischen Wärmeinseleffektes im Stadtgebiet von Friedrichshafen

An folgenden Tagen wurden Messfahrten durchgeführt:

- Messtag 1: Zeitraum: 05.08.2008 zwischen 20.04 Uhr und 21.23 Uhr MESZ, 06.08.2008 zwischen 05.32 Uhr und 05.58 Uhr MESZ
- Messtag 2: Zeitraum: 06.08.2008 zwischen 20.01 Uhr und 21.34 Uhr MESZ, 07.08.2008 zwischen 05.43 Uhr und 06.09 Uhr MESZ

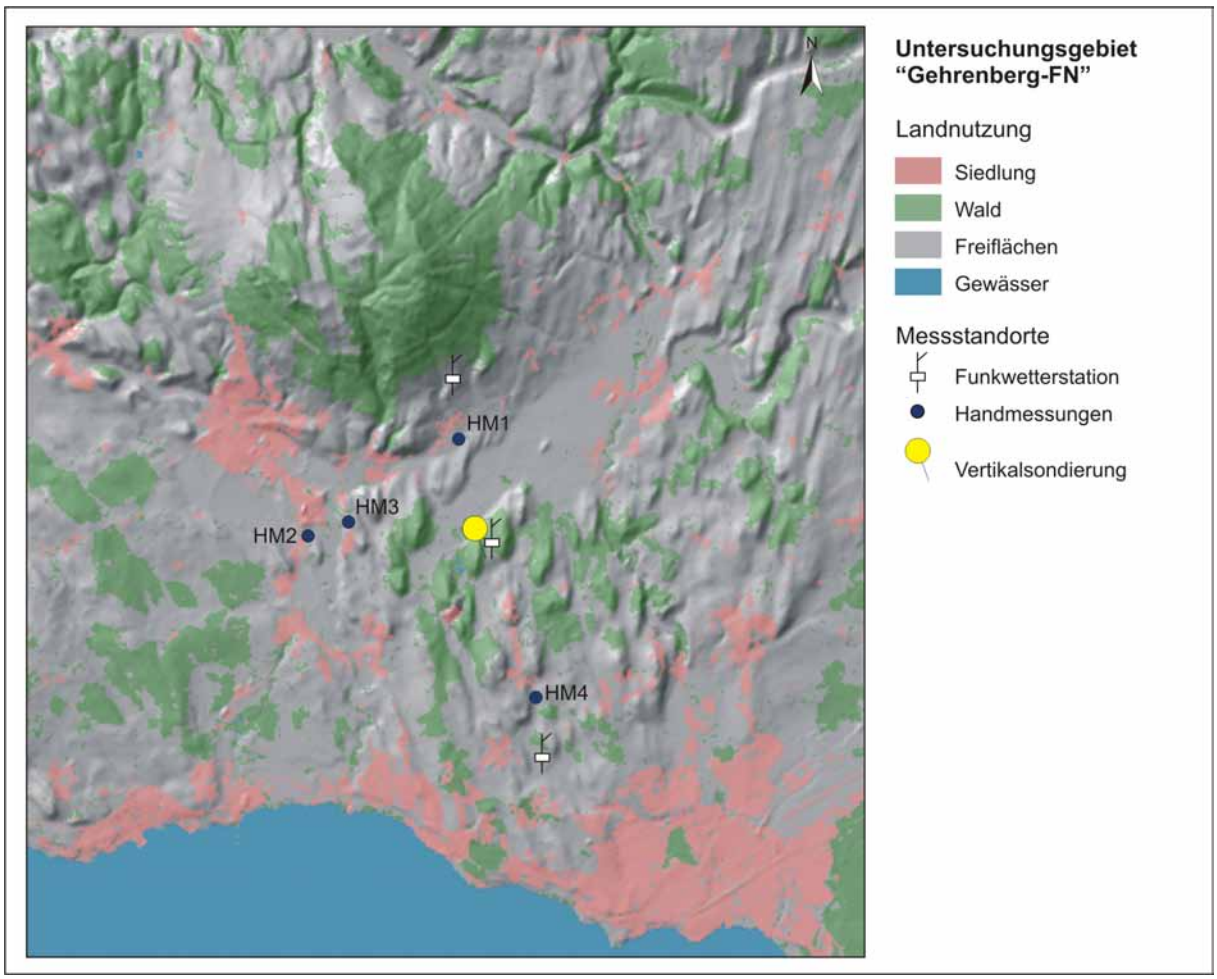


Abbildung 57: Das Untersuchungsgebiet „Gehrenberg-Friedrichshafen“ mit allen Messstandorten.

4.3.4 Beschreibung der Messergebnisse

4.3.4.1 Ergebnisse der Funkwetterstationen

Die betriebenen Funkwetterstationen speichern die gemessenen Werte in 10-Minuten-Inverallen ab. Über mehrere Monate Laufzeit ergibt dies große Datenmengen, die grafisch unterschiedlich aufbereitet wurden. Zunächst wird am Beispiel von Tagesdiagrammen ein einzelner „idealer Strahlungstag“ betrachtet. Damit kann gezeigt werden, ob an den betreffenden Standorten überhaupt mit nennenswerten Hang- und Talwindsystemen zu rechnen ist. Die anschließende Betrachtung des gesamten Messzeitraums über Isoplethendarstellungen und Stärkewindrosen erlaubt unter anderem Aussagen über die Häufigkeit der beobachtbaren Phänomene.

Betrachtung eines „idealen Strahlungstages“

Im Folgenden wird am Beispiel dreier Tagesdiagramme der Zeitraum vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ vorgestellt. Der Zeitraum war geprägt von „idealen Strahlungsverhältnissen“ mit sehr geringer Bewölkung und nur geringen Geschwindigkeiten der übergeordneten Winde.

Die Beschreibung der Ergebnisse (s. nachfolgende Abbildungen) erfolgt stichwortartig, um größtmögliche Kompaktheit zu erreichen.

Lufttemperaturen

- ausgeprägter Tagesgang an allen drei Stationen (kleinere Schwankungen während des Tages lassen sich unter anderem auf den kurzzeitigen Durchzug kleinerer Wolkenfelder und den eingeschränkten Strahlungsschutz am Thermo-Hygrometer (vgl. Kap 3.2) zurückführen)
- Maximumtemperaturen zwischen 15 und 17 Uhr
- rasche Temperaturabnahme noch vor Sonnenuntergang
- an den Stationen „Gehrenberg“ und „Raderach“ wesentlich früher als an der Station „Schnetzenhausen“
- gleichmäßige Temperaturabnahme im Laufe der Nacht
- an der Station „Gehrenberg“ in der ersten Nachthälfte sehr geringe Abnahme der Lufttemperatur, ab Mitternacht stärkere Abnahme mit leichten Schwankungen
- Minimumtemperaturen zu Sonnenaufgang
  - an der Station „Gehrenberg“ ca. 13°C
  - an den Stationen „Raderach“ und „Schnetzenhausen“ ca. 10°C
- nach Sonnenaufgang rascher Anstieg auf rund 30°C um 12 Uhr MESZ

Windrichtungen

- während der Tagstunden große Streuung der Winde an allen Stationen, kleinere Schwerpunkte zwischen S und W
- zur Sonnenuntergangszeit Drehen der Windrichtung
  - auf NW/NNW an der Station „Gehrenberg“
  - auf NW/NNW an der Station „Raderach“, zwischen 2 Uhr und 4 Uhr MESZ deutliche Schwankungen der Richtung
  - auf W/NW/NNW an der Station „Schnetzenhausen“
- einige Stunden nach Sonnenaufgang wiederum Änderung auf tagestypische Windrichtungen

Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an den Stationen „Gehrenberg“ und „Schnetzenhausen“ vergleichbare Windgeschwindigkeiten, an der Station „Raderach“ deutlich schwächer bis auf einen Impuls zwischen 16 Uhr und 18 Uhr MESZ
- mit der abendlichen Temperaturabnahme rasche Stagnation des Windes unter Beibehaltung der Windrichtung an allen Stationen
- an der Station „Gehrenberg“ nach kurzer Phase sehr geringer Windgeschwindigkeiten (rund 0,2 m/s) erneute Zunahme der Geschwindigkeit. In der ersten Nachthälfte gleichmäßige Windgeschwindigkeiten von rund 1,3 m/s, nach Mitternacht pulsierende Luftbewegungen mit etwa 0,8 m/s.
- an den Stationen „Raderach“ und „Schnetzenhausen“ extrem schwache Winde
- an der Station „Schnetzenhausen“ ein kleiner Impuls mit extrem geringen Geschwindigkeiten unmittelbar nach Sonnenuntergang

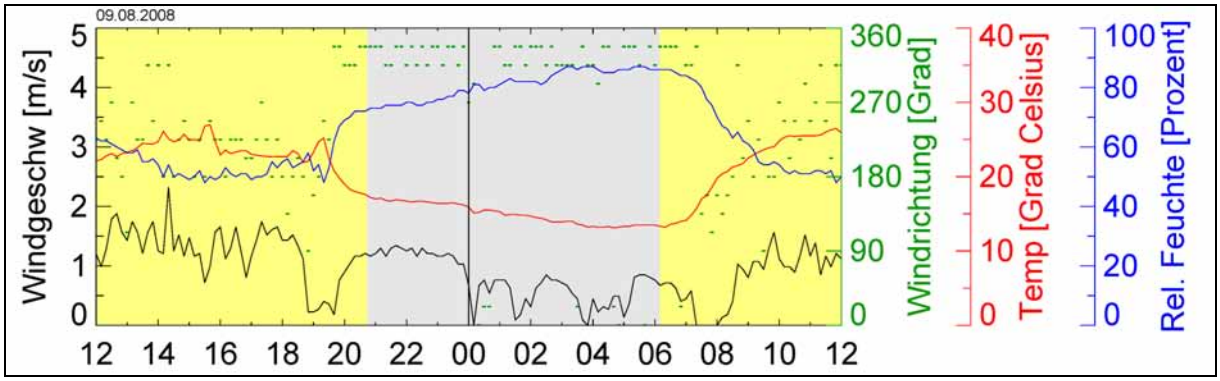


Abbildung 58: Tagesdiagramm der Station „Gehrenberg“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

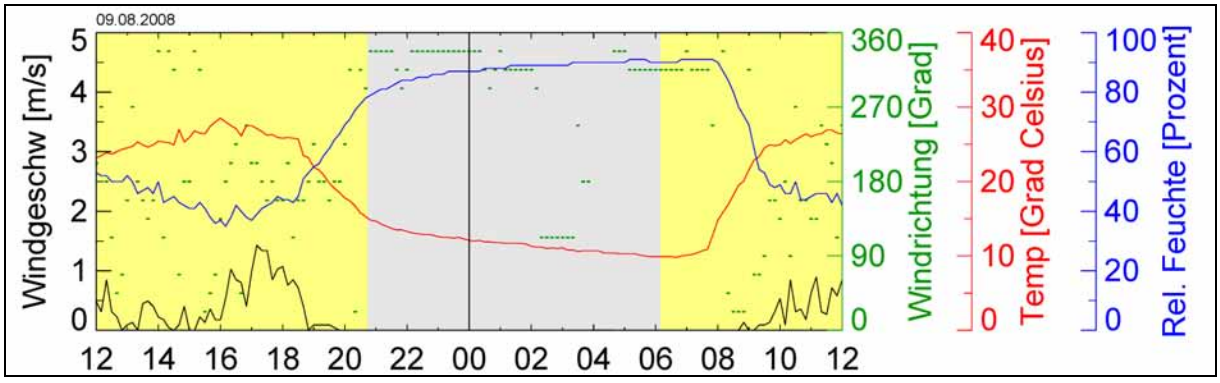


Abbildung 59: Tagesdiagramm der Station „Raderach“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

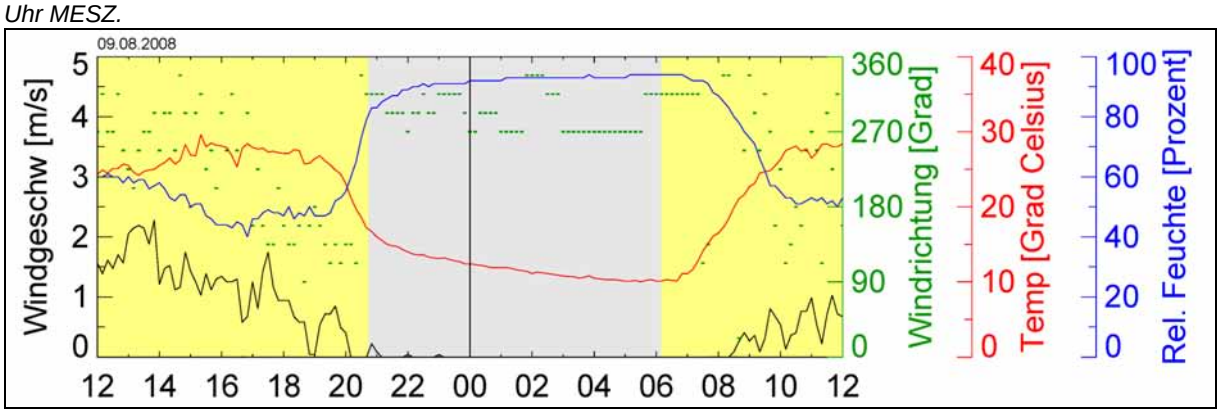


Abbildung 60: Tagesdiagramm der Station „Schnetzenhausen“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

Betrachtung des gesamten Messzeitraums

Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen

- an der Station „Gehrenberg“ deutlich vor Sonnenuntergang beginnende, relativ langsame Temperaturabnahme
- an den Stationen „Raderach“ und „Schnetzenhausen“ vor Sonnenuntergang einsetzende rasche Abnahme der Temperatur
- gleichmäßige Temperaturabnahme über die Nacht
  - an der Station „Schnetzenhausen“ am stärksten
  - gefolgt von der Station „Raderach“
  - und schließlich der Station „Gehrenberg“

Isoplethendarstellung der Windrichtungen

- tagsüber an der Station „Gehrenberg“ Windrichtungen zwischen S und W, an der Station „Raderach“ vor allem aus S/SW und an der Station „Schnetzenhausen“ meist aus W
- an der Station „Gehrenberg“ noch vor Sonnenuntergang deutliche Richtungsänderung auf Strömungen aus NW bis NO, an der Station „Raderach“ Drehen auf einen Schwerpunkt um NW, an der Station „Schnetzenhausen“ schwach ausgeprägte Umschlagsphase auf Richtungen zwischen N und W
- Auffallend an der Station „Schnetzenhausen“ ist, dass in den Umschlagsphasen abends und morgens die NW-bis N-Richtungen stärker dominieren, als die W-Richtungen.
- einige Stunden nach Sonnenaufgang an allen drei Stationen Rückkehr zu tagestypischen Windrichtungen, Windrichtungswechsel an Station „Schnetzenhausen“ wiederum nur undeutlich

Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten

- an der Station „Gehrenberg“ vor Sonnenuntergang kurze Phase sehr geringer Windgeschwindigkeiten, dann über die nahezu komplette Nacht vergleichbar hohe Geschwindigkeiten zwischen 0,5 und 2 m/s, erst in den Morgenstunden leichtes Nachlassen des Windes, einige Stunden nach Sonnenaufgang wiederum Zunahme der Geschwindigkeiten
- an der Station „Raderach“ bis in die erste Juliwoche nach kurzer Schwachwindphase um die Sonnenuntergangszeit Geschwindigkeiten zwischen 0,1 und 1 m/s, wobei das Maximum meist erst einige Stunden nach Sonnenuntergang erreicht wird, beachtenswerte Anteile auch unter 0,1 m/s, in den Stunden vor Sonnenaufgang meist sehr geringe Geschwindigkeiten, wesentlich späteres Aufleben des Windes nach Sonnenaufgang als an der Station „Gehrenberg“
- ab der zweiten Juliwoche nachts extrem geringe Windgeschwindigkeiten (unmittelbar benachbarter Mais überragt ab diesem Zeitpunkt die Messstation)
- an der Station „Schnetzenhausen“ oftmals Nachlassen der Windgeschwindigkeit erst bei Sonnenuntergang oder teilweise später, in der Nacht meist geringe Windgeschwindigkeiten bis 0,5 m/s, meistens aber unter 0,1 m/s, Aufleben des Windes einige Stunden nach Sonnenaufgang

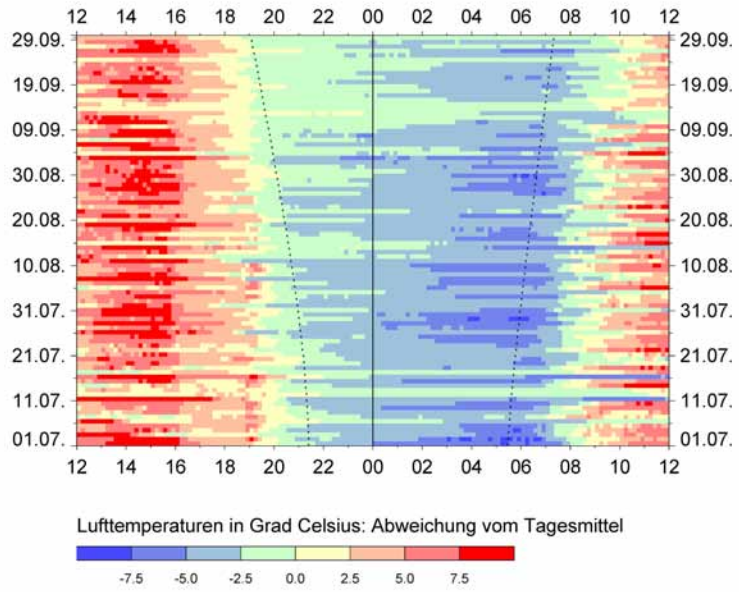


Abbildung 61: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Gehrenberg“. Abweichung vom Tagesmittel.

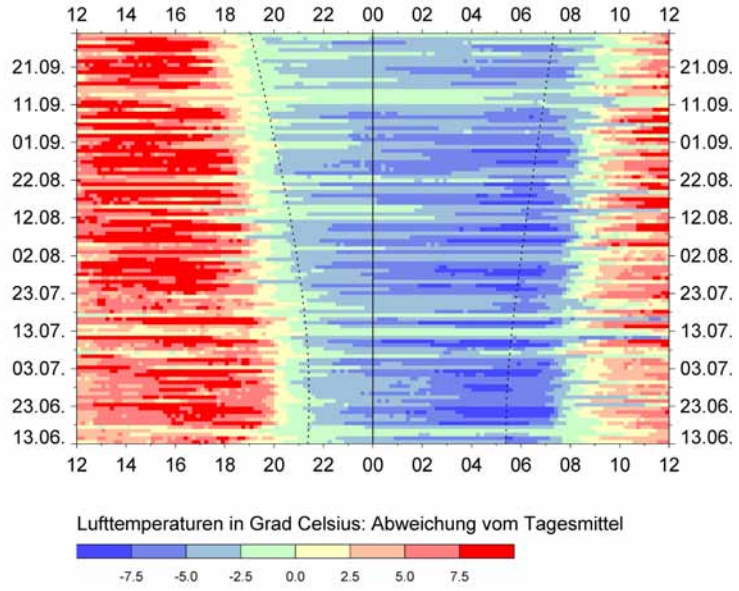


Abbildung 62: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Raderach“. Abweichung vom Tagesmittel.

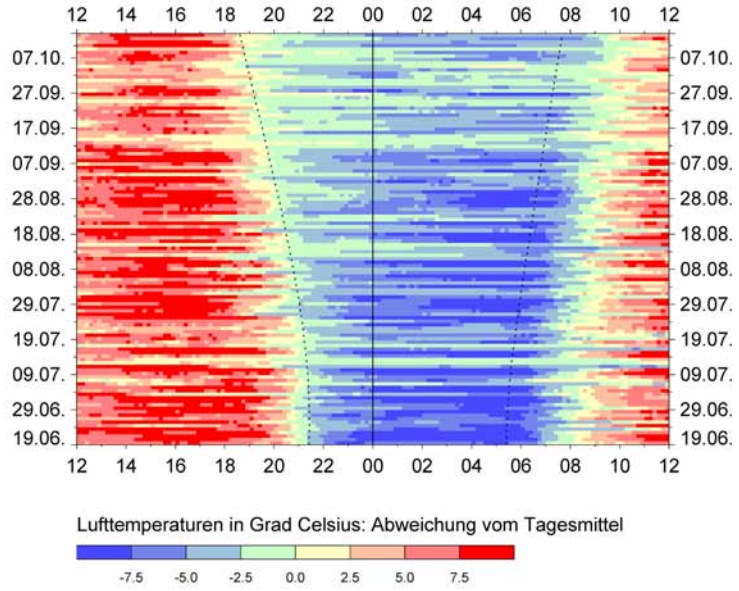


Abbildung 63: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Schnetzenhausen“. Abweichung vom Tagesmittel.

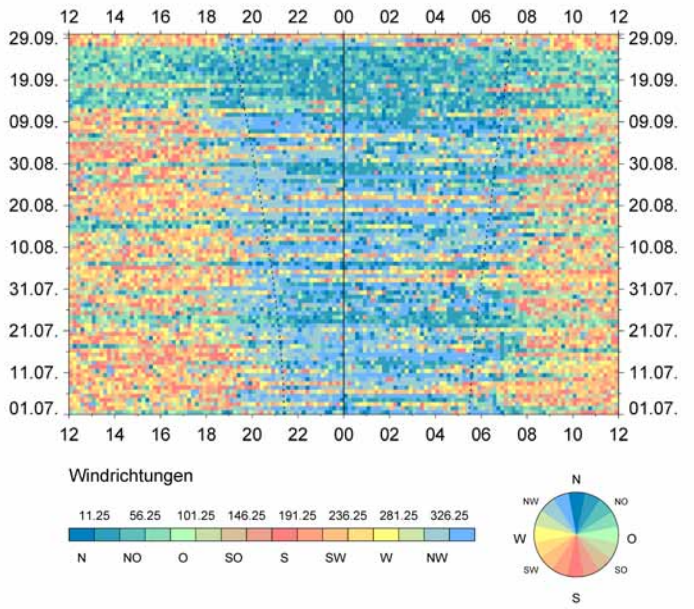


Abbildung 64: Isoplethendarstellung der Windrichtung an der Station „Gehrenberg“.

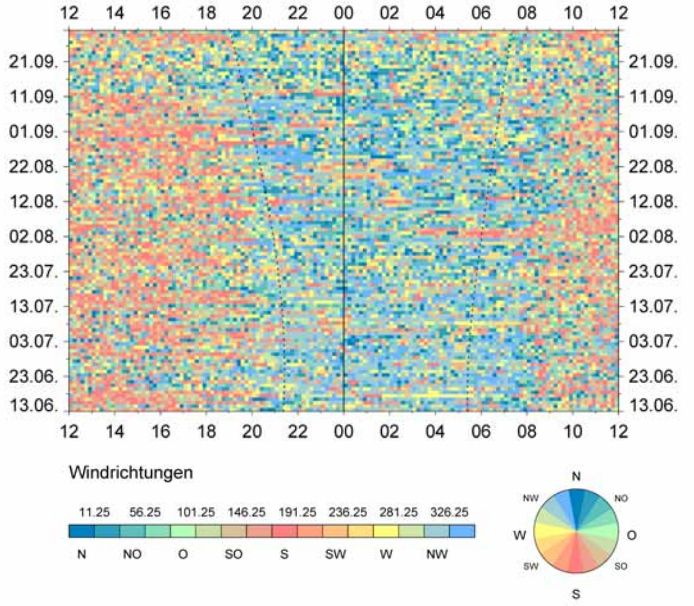


Abbildung 65: Isoplethendarstellung der Windrichtung an der Station „Raderach“.

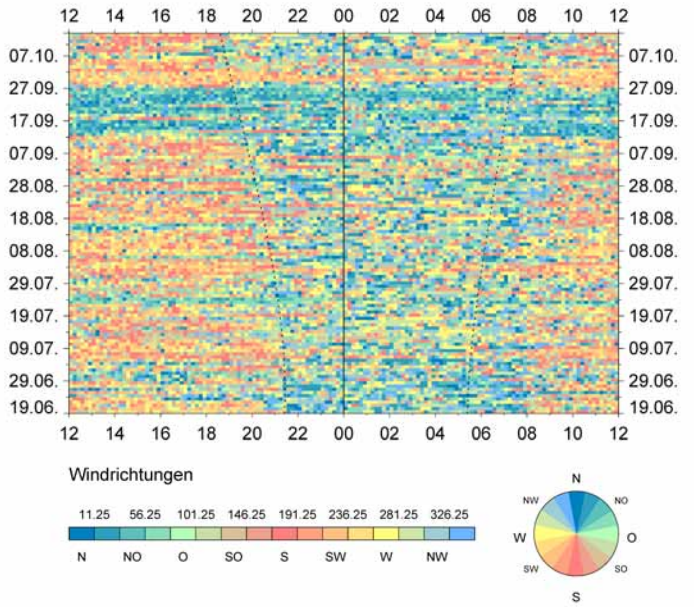


Abbildung 66: Isoplethendarstellung der Windrichtung an der Station „Schnetzenhausen“.

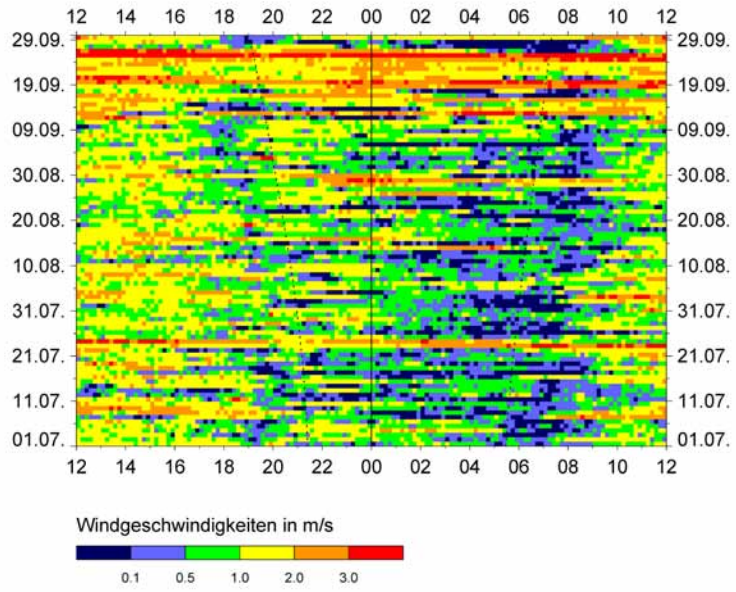


Abbildung 67: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeit an der Station „Gehrenberg“.

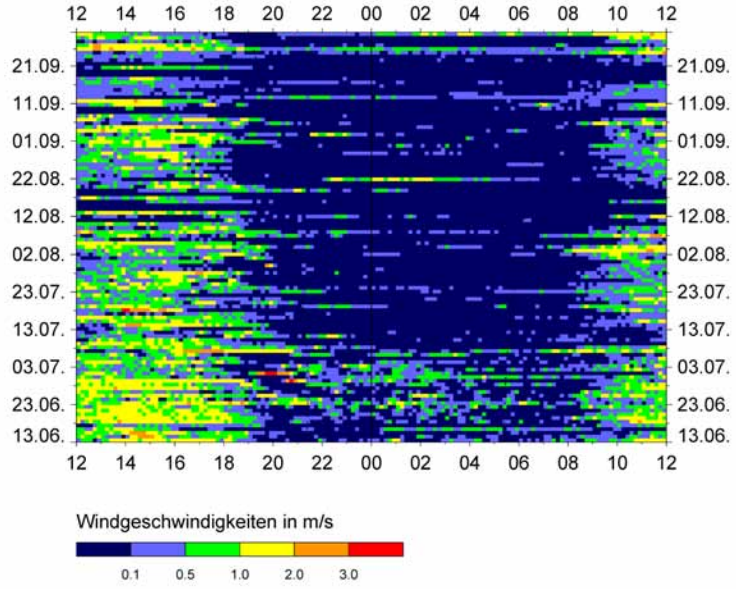


Abbildung 68: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeit an der Station „Raderach“.

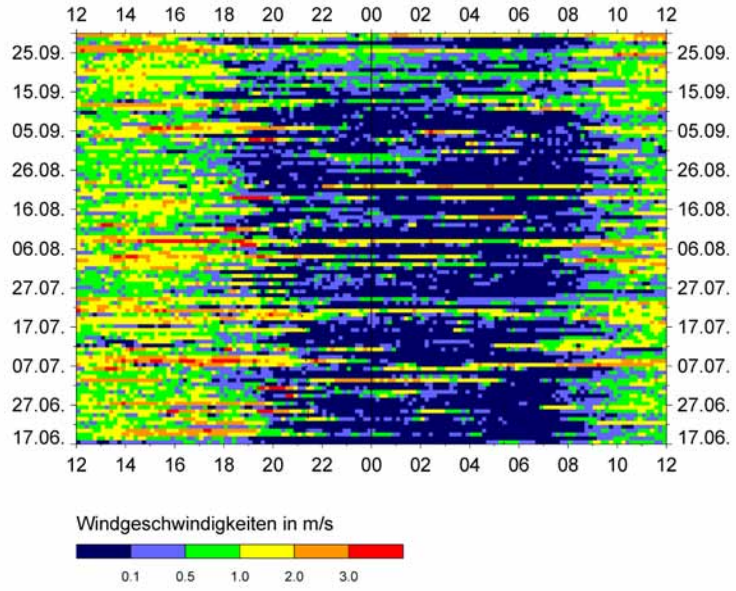


Abbildung 69: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeit an der Station „Schnetzenhausen“.

Stärkewindrosen der Station „Gehrenberg“

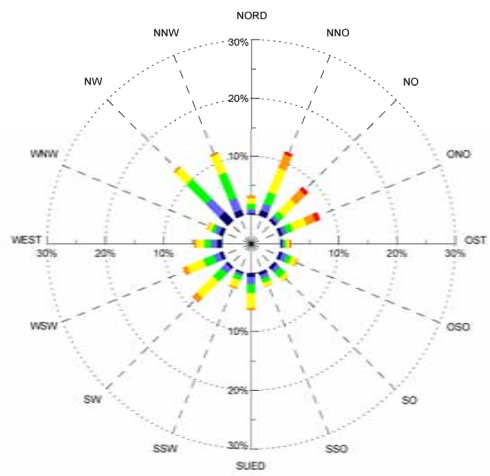
- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Gehrenberg“ Winde aus drei unterschiedlichen Richtungen: Am häufigsten treten Winde aus NW/NNW und um NO auf, ein weiteres Maximum liegt um SW.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so fällt die oben genannte Dominanz um SW weg, dafür treten die Richtungen NW/NNW und NNO/NO umso deutlicher hervor.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, treten die oben genannten Dominanzen nochmals deutlicher hervor (NNW/NW zusammen 48%, NNO/NO zusammen 31 %).
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel bei Richtungen aus NNW/NW zwischen 0,5 und maximal 2 m/s, nur selten darunter, im Bereich NNO/NO liegen die Geschwindigkeiten sogar fast ausschließlich zwischen 1 und 3 m/s.
- Mit ihren beachtlichen Windgeschwindigkeiten hebt sich die Station „Gehrenberg“ deutlich von den beiden anderen festen Messstationen im Untersuchungsraum ab.

Stärkewindrosen der Station „Raderach“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet gibt es an der Station „Raderach“ keine deutlichen Windrichtungsdominanzen. Lediglich der Bereich NW tritt etwas hervor.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so konzentrieren sich die Windrichtungen deutlicher auf NW/NNW gefolgt von einem sekundären Maximum bei NNO.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so liegt die Dominanz sehr deutlich bei NW/NNW (zusammen 45,6 %). Die anderen Windrichtungen kommen nur noch selten vor.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel unter 0,1 m/s. Selten werden Geschwindigkeiten zwischen 0,1 und 1 m/s gemessen.

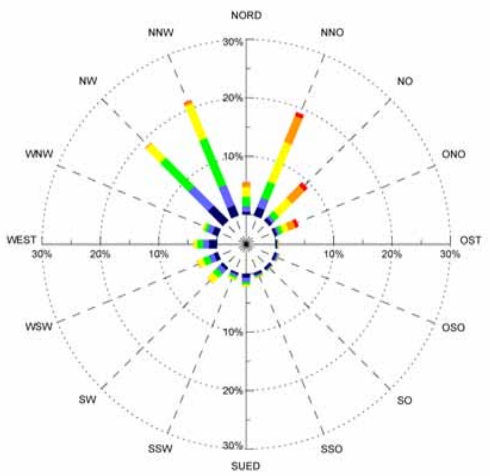
Stärkewindrosen der Station „Schnetzenhausen“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Schnetzenhausen“ Winde mit aus dem Richtungsbereich NW/W/NNW/WNW/WSW.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so konzentrieren sich die Windrichtungen noch stärker auf die Bereiche NW/W/NNW/WNW.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so ergibt sich eine noch größere Dominanz der Windrichtungen aus NW/W/WNW mit zusammen rund 60 %.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel unter 0,1 m/s, nur selten zwischen 0,1 und 1 m/s (lediglich im Bereich NW/NNW).



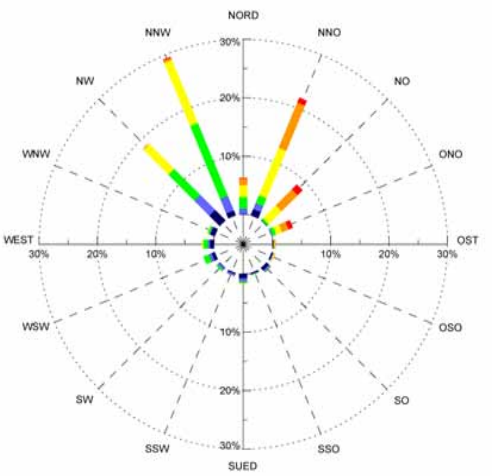
Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.25	0.63	0.91	0.97	0.46	0.04	3.27
NNO	0.95	1.22	2.18	4.43	2.58	0.50	11.86
NO	0.50	0.58	1.12	2.98	2.22	0.74	8.14
ONO	0.55	0.73	1.14	2.55	1.68	0.85	7.51
OST	0.20	0.32	0.41	0.54	0.22	0.13	1.82
OSO	0.46	0.86	0.86	1.04	0.10	0.07	3.39
SO	0.54	0.72	1.24	0.83	0.03	0.02	3.39
SSO	0.53	0.64	0.76	0.75	0.07	0.01	2.76
SUED	0.64	1.20	1.56	2.52	0.37	0.03	6.32
SSW	0.26	0.42	0.82	1.33	0.29	0.02	3.13
SW	0.40	1.11	1.99	3.92	0.99	0.07	8.48
WSW	0.53	1.09	1.95	2.98	0.76	0.04	7.36
WEST	0.79	1.08	1.11	1.38	0.40	0.01	4.77
WNW	0.64	0.83	0.66	0.66	0.15	0.03	2.97
NW	2.08	3.14	4.74	2.81	0.29	0.05	13.10
NNW	1.02	2.18	4.74	3.40	0.30	0.08	11.72
Summe	10.34	16.75	26.20	33.09	10.93	2.69	100.00



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

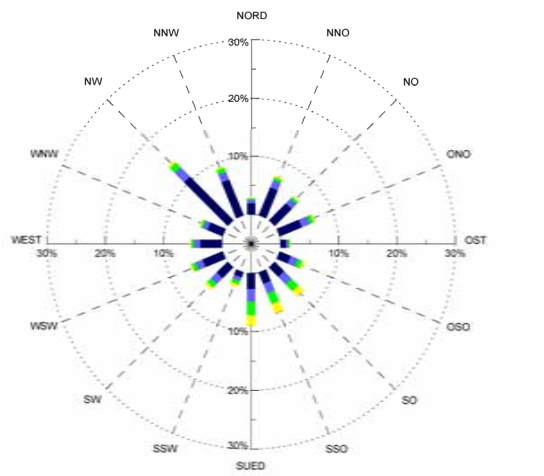
WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.43	0.98	1.61	1.67	0.79	0.07	5.55
NNO	1.54	1.75	3.01	7.34	4.78	0.72	19.14
NO	0.63	0.56	1.07	3.19	2.99	0.77	9.20
ONO	0.47	0.41	0.64	1.09	1.25	0.59	4.46
OST	0.25	0.07	0.05	0.05	0.13	0.02	0.57
OSO	0.41	0.34	0.04	0.07	0.09	0.00	0.95
SO	0.43	0.21	0.09	0.07	0.00	0.02	0.82
SSO	0.41	0.21	0.14	0.14	0.05	0.02	0.98
SUED	0.64	0.75	0.43	0.29	0.05	0.00	2.17
SSW	0.30	0.38	0.36	0.34	0.05	0.00	1.43
SW	0.48	0.88	1.00	1.32	0.09	0.00	3.78
WSW	0.70	0.91	1.13	1.04	0.13	0.00	3.90
WEST	1.34	1.02	0.98	0.61	0.04	0.00	3.99
WNW	1.02	0.95	0.54	0.32	0.05	0.00	2.88
NW	3.56	4.73	6.89	3.47	0.14	0.04	18.84
NNW	1.86	3.78	8.72	6.34	0.50	0.13	21.32
Summe	14.49	17.94	26.71	27.36	11.14	2.36	100.00



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

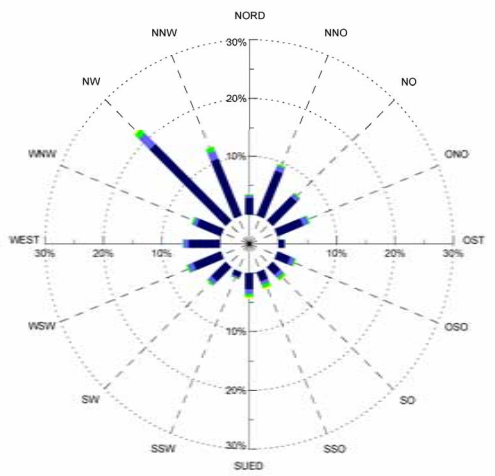
WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.07	0.95	1.97	2.04	1.15	0.14	6.32
NNO	1.15	1.09	1.49	8.76	8.36	0.95	21.81
NO	0.07	0.00	0.41	3.13	3.87	1.22	8.70
ONO	0.00	0.14	0.68	1.09	1.22	0.82	3.94
OST	0.14	0.00	0.07	0.07	0.27	0.00	0.54
OSO	0.20	0.20	0.00	0.20	0.07	0.00	0.68
SO	0.54	0.27	0.14	0.00	0.00	0.07	1.02
SSO	0.20	0.07	0.14	0.00	0.00	0.00	0.41
SUED	0.75	0.54	0.27	0.00	0.07	0.00	1.63
SSW	0.20	0.34	0.00	0.00	0.07	0.00	0.61
SW	0.07	0.41	0.34	0.00	0.00	0.00	0.82
WSW	0.54	0.54	1.02	0.00	0.00	0.00	2.11
WEST	0.68	0.34	0.82	0.20	0.00	0.00	2.04
WNW	0.82	0.14	0.34	0.14	0.00	0.00	1.43
NW	2.51	3.60	6.32	6.05	0.14	0.00	18.61
NNW	0.88	2.72	13.52	11.62	0.41	0.20	29.35
Summe	8.83	11.35	27.51	33.29	15.63	3.40	100.00

Abbildung 70: Stärkewindrosen der Station „Gehrenberg". Angaben in Prozent.



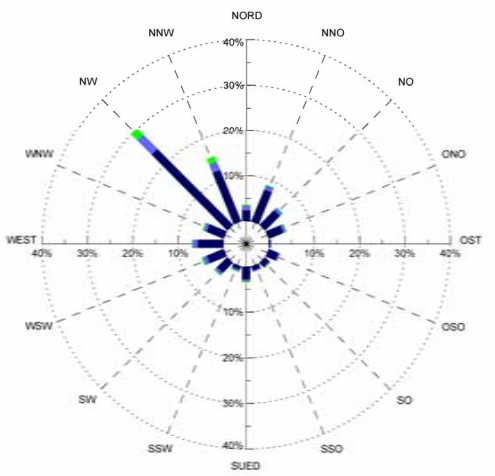
Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.92	0.56	0.28	0.09	0.00	0.00	2.86
NNO	5.17	1.34	0.55	0.25	0.01	0.00	7.31
NO	4.10	1.15	0.44	0.15	0.00	0.00	5.84
ONO	4.08	1.52	0.71	0.26	0.01	0.00	6.57
OST	0.95	0.40	0.25	0.10	0.00	0.00	1.71
OSO	2.04	1.34	0.79	0.39	0.02	0.01	4.59
SO	2.26	1.81	1.64	1.23	0.06	0.01	7.01
SSO	2.10	1.75	1.99	1.69	0.16	0.01	7.70
SUED	2.70	2.13	2.35	1.76	0.04	0.01	8.99
SSW	0.93	0.65	0.68	0.52	0.01	0.00	2.79
SW	2.61	1.43	0.89	0.49	0.02	0.00	5.44
WSW	3.71	1.33	0.67	0.27	0.01	0.00	6.00
WEST	3.69	1.11	0.44	0.17	0.01	0.00	5.42
WNW	2.83	0.86	0.39	0.16	0.02	0.00	4.27
NW	10.53	2.28	1.17	0.42	0.01	0.00	14.42
NNW	6.61	1.44	0.78	0.22	0.02	0.00	9.08
Summe	56.24	21.11	14.02	8.19	0.40	0.04	100.00



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	2.81	0.45	0.19	0.03	0.00	0.00	3.47
NNO	8.31	0.90	0.29	0.03	0.00	0.00	9.53
NO	5.78	0.67	0.23	0.00	0.00	0.00	6.68
ONO	4.70	1.01	0.26	0.00	0.00	0.00	5.97
OST	0.96	0.17	0.05	0.00	0.00	0.00	1.18
OSO	2.34	0.81	0.23	0.06	0.00	0.00	3.44
SO	1.80	0.76	0.51	0.17	0.00	0.00	3.24
SSO	1.66	0.60	0.65	0.28	0.00	0.00	3.19
SUED	2.73	0.79	0.53	0.26	0.00	0.00	4.31
SSW	0.88	0.29	0.14	0.02	0.00	0.00	1.33
SW	3.44	0.74	0.28	0.06	0.00	0.00	4.53
WSW	5.09	0.90	0.34	0.02	0.00	0.00	6.34
WEST	5.38	0.85	0.12	0.02	0.00	0.00	6.37
WNW	4.47	0.60	0.34	0.00	0.00	0.00	5.41
NW	18.43	2.54	1.04	0.20	0.00	0.00	22.22
NNW	10.50	1.44	0.81	0.03	0.00	0.00	12.78
Summe	79.27	13.53	6.02	1.18	0.00	0.00	100.00



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	2.36	1.00	0.26	0.05	0.00	0.00	3.68
NNO	7.56	0.95	0.26	0.00	0.00	0.00	8.77
NO	4.57	0.68	0.21	0.00	0.00	0.00	5.46
ONO	3.47	0.63	0.16	0.00	0.00	0.00	4.25
OST	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42
OSO	2.31	0.37	0.05	0.00	0.00	0.00	2.73
SO	1.26	0.26	0.16	0.05	0.00	0.00	1.73
SSO	1.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31
SUED	2.78	0.42	0.21	0.00	0.00	0.00	3.41
SSW	0.79	0.37	0.21	0.00	0.00	0.00	1.37
SW	3.15	0.63	0.21	0.00	0.00	0.00	3.99
WSW	3.99	0.89	0.37	0.00	0.00	0.00	5.25
WEST	5.62	1.16	0.16	0.00	0.00	0.00	6.93
WNW	4.04	0.68	0.32	0.00	0.00	0.00	5.04
NW	23.58	4.36	2.05	0.11	0.00	0.00	30.09
NNW	12.18	1.94	1.37	0.05	0.00	0.00	15.55
Summe	79.10	14.65	5.99	0.26	0.00	0.00	100.00

Abbildung 71: Stärkewindrosen der Station „Raderach“. Angaben in Prozent.

Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.05	0.79	0.79	0.11	0.05	0.00	2.78
NNO	1.52	1.26	1.05	0.37	0.00	0.00	4.20
NO	0.58	0.58	0.47	0.05	0.05	0.00	1.73
ONO	1.05	0.79	0.32	0.21	0.16	0.00	2.52
OST	0.79	0.21	0.05	0.26	0.00	0.00	1.31
OSO	2.10	0.58	0.16	0.32	0.00	0.00	3.15
SO	2.31	0.42	0.32	0.16	0.00	0.00	3.20
SSO	1.37	0.26	0.05	0.00	0.00	0.00	1.68
SUED	0.89	0.37	0.16	0.00	0.00	0.00	1.42
SSW	0.47	0.26	0.05	0.05	0.00	0.00	0.84
SW	1.26	0.26	0.11	0.00	0.00	0.00	1.63
WSW	4.94	0.74	0.32	0.21	0.00	0.00	6.20
WEST	15.55	1.10	0.84	0.53	0.16	0.00	18.17
WNW	12.13	0.95	0.74	0.37	0.00	0.00	14.18
NW	19.01	4.57	2.84	0.89	0.16	0.00	27.47
NNW	4.83	2.31	1.89	0.47	0.00	0.00	9.51
Summe	69.85	15.44	10.14	3.99	0.58	0.00	100.00

Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.60	0.78	0.83	0.13	0.02	0.00	3.35
NNO	3.26	1.52	0.93	0.50	0.00	0.00	6.20
NO	1.29	0.89	0.61	0.16	0.02	0.00	2.97
ONO	2.28	0.93	0.73	0.27	0.08	0.00	4.30
OST	0.96	0.32	0.24	0.18	0.00	0.00	1.69
OSO	2.57	0.91	0.51	0.43	0.03	0.00	4.46
SO	2.44	0.96	0.65	0.37	0.02	0.00	4.44
SSO	1.50	0.46	0.24	0.19	0.00	0.00	2.40
SUED	0.96	0.45	0.21	0.08	0.00	0.00	1.69
SSW	0.38	0.19	0.08	0.06	0.00	0.00	0.72
SW	0.77	0.30	0.19	0.24	0.02	0.00	1.52
WSW	3.74	0.96	0.50	0.42	0.06	0.00	5.67
WEST	9.68	1.28	0.83	1.49	0.30	0.00	13.57
WNW	7.60	1.12	0.97	1.34	0.24	0.00	11.27
NW	13.89	4.31	2.54	2.25	0.45	0.03	23.47
NNW	6.15	3.15	2.06	0.81	0.11	0.00	12.28
Summe	59.07	18.52	12.12	8.91	1.34	0.03	100.00

Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.29	0.69	0.77	0.28	0.05	0.01	3.09
NNO	2.44	1.32	0.96	0.61	0.05	0.01	5.39
NO	1.08	0.66	0.63	0.36	0.10	0.01	2.86
ONO	1.59	1.12	1.16	0.88	0.30	0.03	5.06
OST	0.76	0.70	0.66	0.57	0.06	0.02	2.78
OSO	1.68	1.47	1.54	1.21	0.23	0.03	6.16
SO	1.82	1.59	1.68	1.09	0.15	0.01	6.36
SSO	1.05	0.92	0.97	0.45	0.03	0.01	3.44
SUED	0.73	0.75	0.79	0.23	0.03	0.00	2.52
SSW	0.19	0.37	0.31	0.20	0.03	0.00	1.10
SW	0.54	0.55	0.92	0.63	0.09	0.01	2.73
WSW	2.02	1.40	1.94	1.58	0.45	0.08	7.47
WEST	4.66	1.48	2.41	3.00	0.99	0.25	12.81
WNW	4.01	0.93	1.50	2.20	0.74	0.16	9.53
NW	7.63	3.11	2.92	3.61	1.33	0.34	18.93
NNW	4.03	2.20	1.96	1.28	0.26	0.04	9.76
Summe	35.53	19.27	21.12	18.18	4.90	1.00	100.00

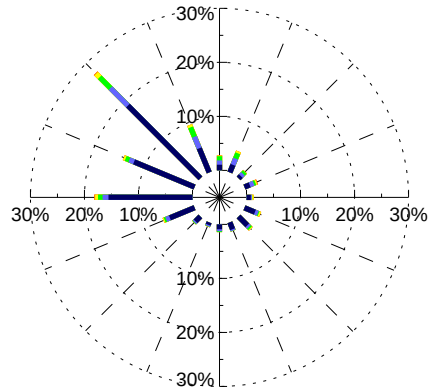
Abbildung 72: Stärkewindrosen der Station „Schnetzenhausen“. Angaben in Prozent.

Abbildung 73: Nächste Seite: Stärkewindrosen im Untersuchungsgebiet „Gehrenberg-FN“ (Strahlungsnächte).

REKLIBO Staerkewindrosen

Untersuchungsgebiet Gehrenberg

Windrichtungshaeufigkeiten
Nur Strahlungstage, Nachtstunden



Windgeschwindigkeiten in m/s:

- < 0.1
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- > 3.0

Datengrundlage:
Digitales Gelaendemodell (DGM5): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).
Landnutzungsdaten: Landsat TM5, Ebene 3, 1996/1997.

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.3.4.2 Ergebnisse der Handmessungen

Messtag 1: 02.07.2008

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.30 Uhr und 23.05 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 20.30 Uhr und 21.15 Uhr MESZ zeigen an Standort HM1 eine NW-orientierte Luftströmung. Die Standorte HM2 und HM3 weisen Richtungen aus O bzw. NO auf. An Standort HM4 finden Luftbewegungen aus NO statt. Alle gemessenen Windgeschwindigkeiten bewegen sich zwischen 0,2 und 0,4 m/s.
- Während der zweiten Messung zwischen 21.30 Uhr und 22.57 Uhr MESZ weist der Standort HM1 eine Windrichtung aus NNW auf. Der Standort HM3 zeigt nun bei nahezu unveränderter Richtung eine Geschwindigkeit von 1,4 m/s. Die Standorte HM2 und HM4 zeigen keine nennenswerten Veränderungen im Vergleich zu Messung 1.
- Die dritte Messung zwischen 22.25 Uhr und 23.05 Uhr MESZ zeigt am Standort HM1 Luftbewegungen mit 1,6 m/s bei einer Windrichtung aus O. Der Standort HM2 weist bei wiederum sehr geringen Geschwindigkeiten von 0,1 m/s eine N-Richtung auf. An den Standorten HM3 und HM4 können keine nennenswerten Veränderungen im Vergleich zur vorhergegangenen Messung festgestellt werden.
- Auffallend ist, dass sich die Lufttemperaturen der Standorte HM1, HM2 und HM3 im Laufe der drei Messungen allmählich annähern, während am Standort HM4 stets um einige Grad tiefere Temperaturen herrschen.

Messtag 2: 04.07.2008

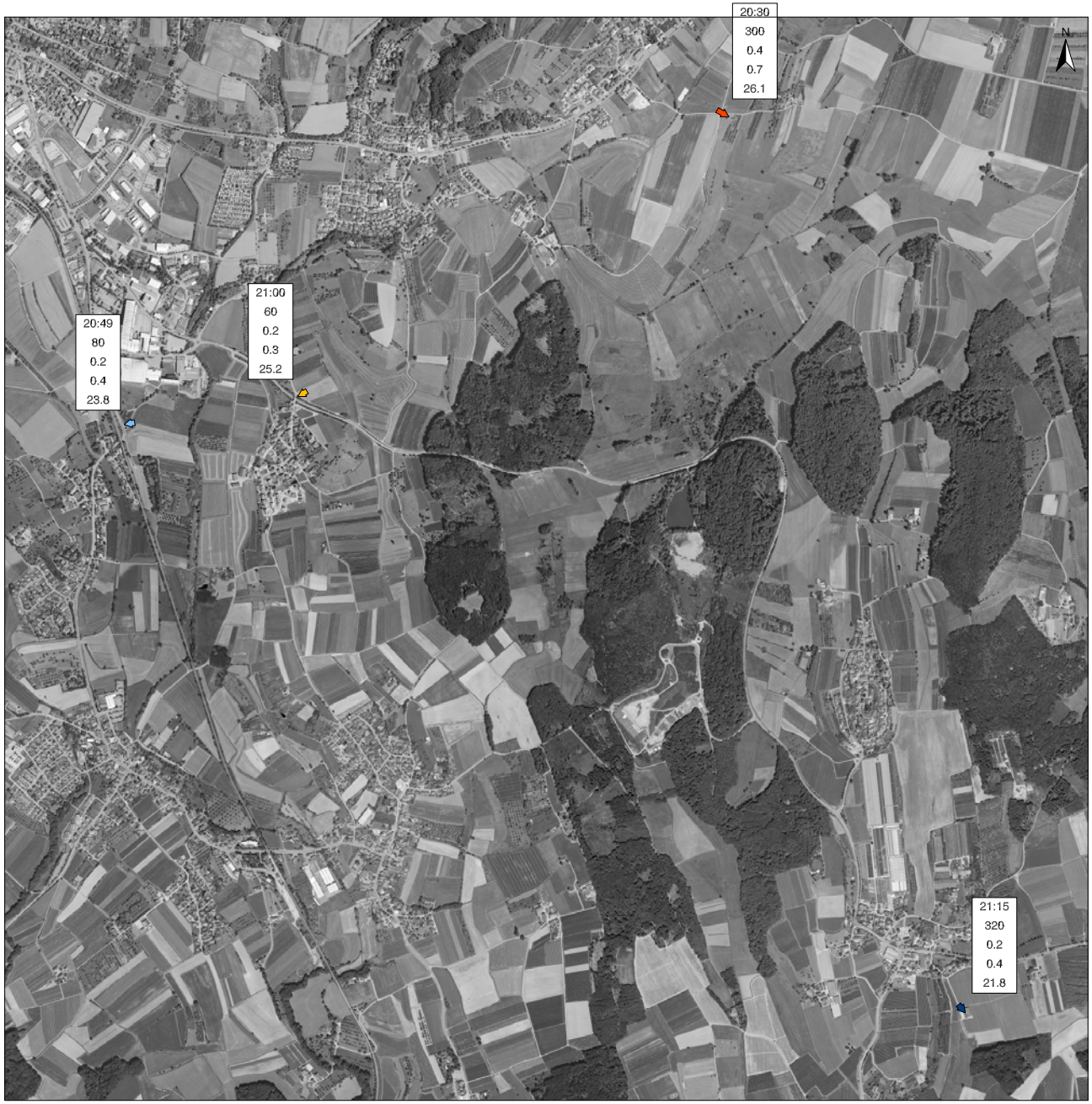
- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 18.30 Uhr und 22.06 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 18.30 Uhr und 19.07 Uhr MESZ zeigen am Standort HM1 Windrichtungen aus SW, am Standort HM2 aus S, am Standort HM3 aus SSO und am Standort HM4 aus SSW. Die Windgeschwindigkeiten liegen an allen Standorten zwischen 1,5 und 2 m/s.
- Während der zweiten Messung zwischen 20.45 Uhr und 21.20 Uhr MESZ strömt die Luft am Standort HM1 aus einer NNW-Richtung, am Standort HM2 aus SW, am Standort HM3 aus NO und am Standort HM4 aus NW. Die Geschwindigkeiten sind dabei an den Standorten HM1 und HM3 mit 1,4 und 1,1 m/s vergleichsweise hoch, an den Standorten HM2 und HM4 liegen sie bei geringen 0,1 und 0,4 m/s.
- Die dritte Messung zwischen 21.35 Uhr und 22.06 Uhr MESZ weist am Standort HM1 die gleiche Windrichtung wie während der vorhergegangenen Messung auf, wobei die Geschwindigkeit nun auf 0,8 m/s zurückgegangen ist. Ebenfalls zurückgegangen auf 0,8 m/s ist die Geschwindigkeit am Standort HM3, wobei sich hier eine Veränderung der Windrichtung auf O ergeben hat. Am Standort HM2 beträgt die Windgeschwindigkeit bei umlaufenden Winden wiederum 0,1 m/s und am Standort HM4 hat sich die Windgeschwindigkeit mit nunmehr 0,2 m/s etwas verringert. Allerdings herrscht zu diesem Zeitpunkt an diesem Standort eine S-Strömung.
- Es zeigt sich an den Standorten HM1 und HM3 eine etwa gleichmäßige Abkühlung während der drei Messungen, wohingegen die Abkühlung an den Standorten HM2 und HM4 während der zweiten und dritten Messung stagniert.

Messtag 3: 10.07.2008

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 19.05 Uhr und 22.05 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.

- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 19.05 Uhr und 19.41 Uhr MESZ zeigen an den Standorten HM1 und HM2 die gleichen Richtungen, wie während der ersten Messung am Messtag 2. Die Geschwindigkeiten sind mit 1 bzw. 0,9 m/s aber deutlich geringer. Der Standort HM3 weist eine Richtung von SW bei 0,4 m/s auf, am Standort HM4 kommt die Luftströmung mit 0,3 m/s aus W.
- Während der zweiten Messung zwischen 20.45 Uhr und 21.18 Uhr MESZ wurden am Standort HM1 Richtungen aus WNW festgestellt. Die Windgeschwindigkeit beträgt hier 0,8 m/s. Der Standort HM2 weist eine Richtung von S und Geschwindigkeiten von 0,2 m/s auf. Am Standort HM3 sind es bei 0,4 m/s Windrichtungen aus SO. Am Standort HM4 zeigt sich eine Luftströmung aus NW mit lediglich 0,1 m/s.
- Die dritte Messung zwischen 21.32 Uhr und 22.05 Uhr MESZ zeigt am Standort HM1 Windrichtungen aus N mit 1,1 m/s. Am Standort HM2 zeigt sich eine Windrichtung aus SO und eine Geschwindigkeit von 0,4 m/s. Vergleichbare Geschwindigkeiten von 0,5 m/s wurden am Standort HM3 festgestellt, hier kommt die Strömung aus O. Am Standort HM4 ist die Richtung mit OSO angegeben, die Geschwindigkeit beträgt 0,1 m/s.

Abbildung 74: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Untersuchungsraum „Gehrenberg-Friedrichshafen“.



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Gehrenberg

02.07.2008, 20:30:00 - 21:15:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

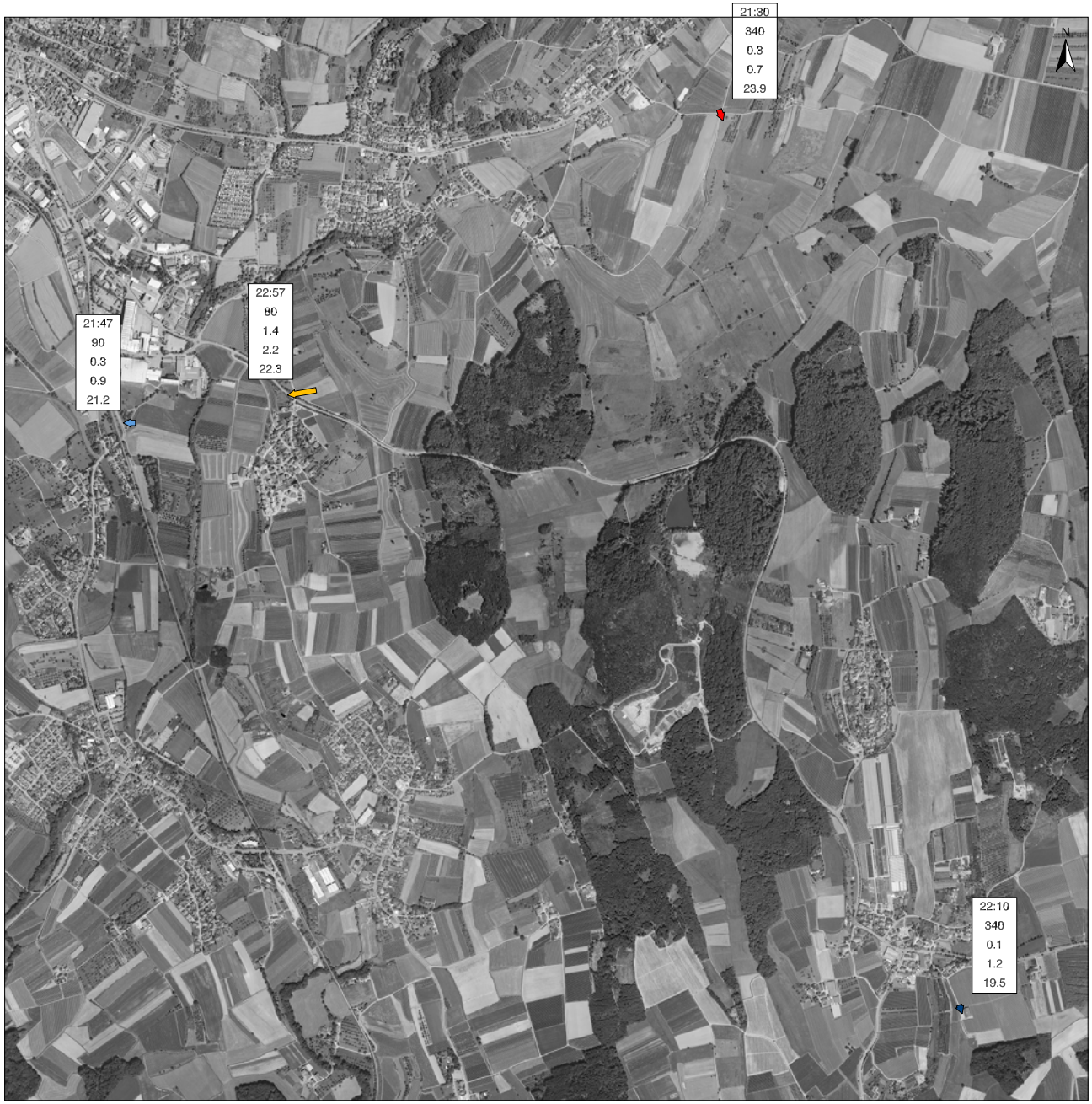
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Gehrenberg

02.07.2008, 21:30:00 - 22:57:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

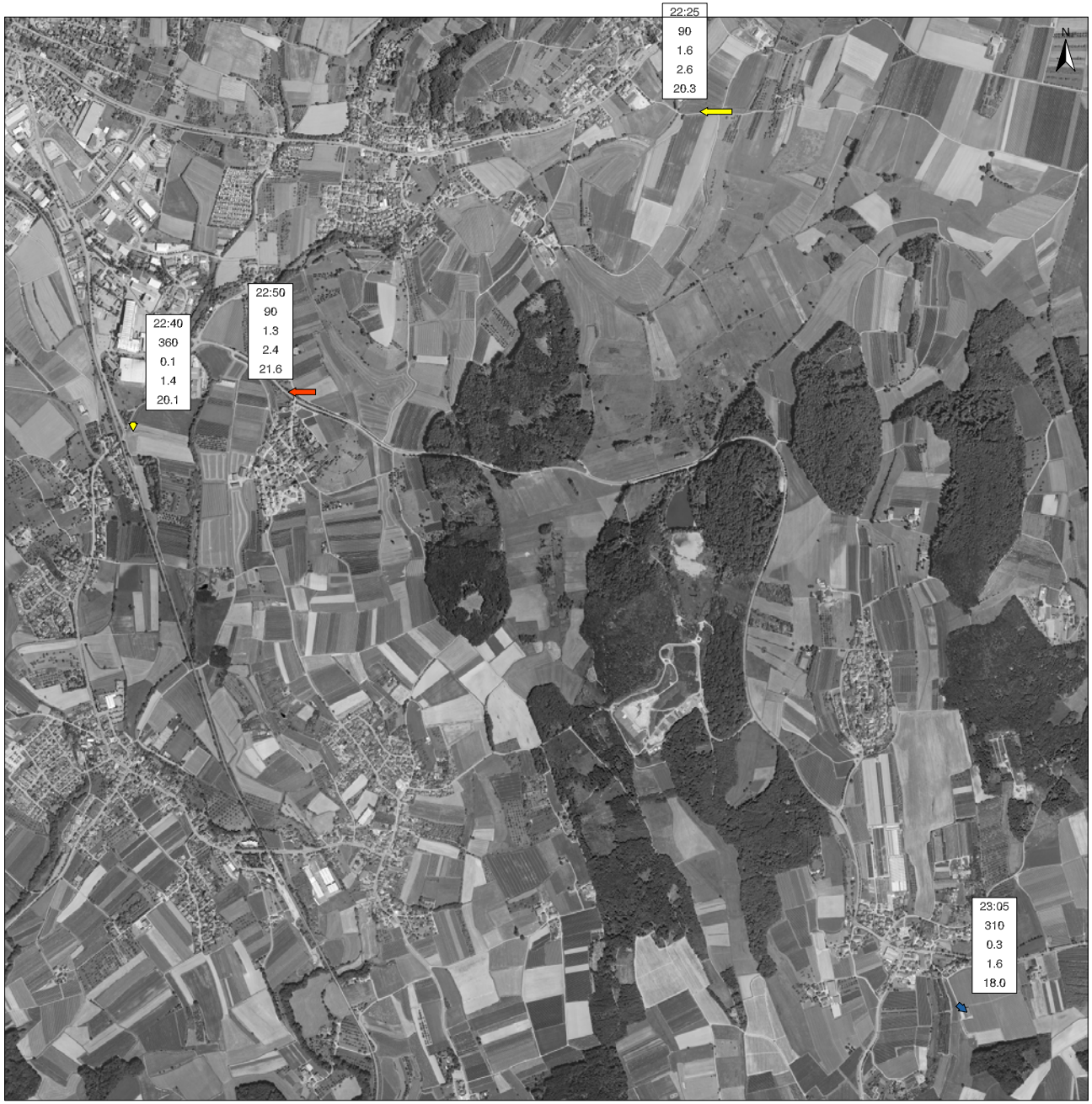
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Gehrenberg

02.07.2008, 22:25:00 - 23:05:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

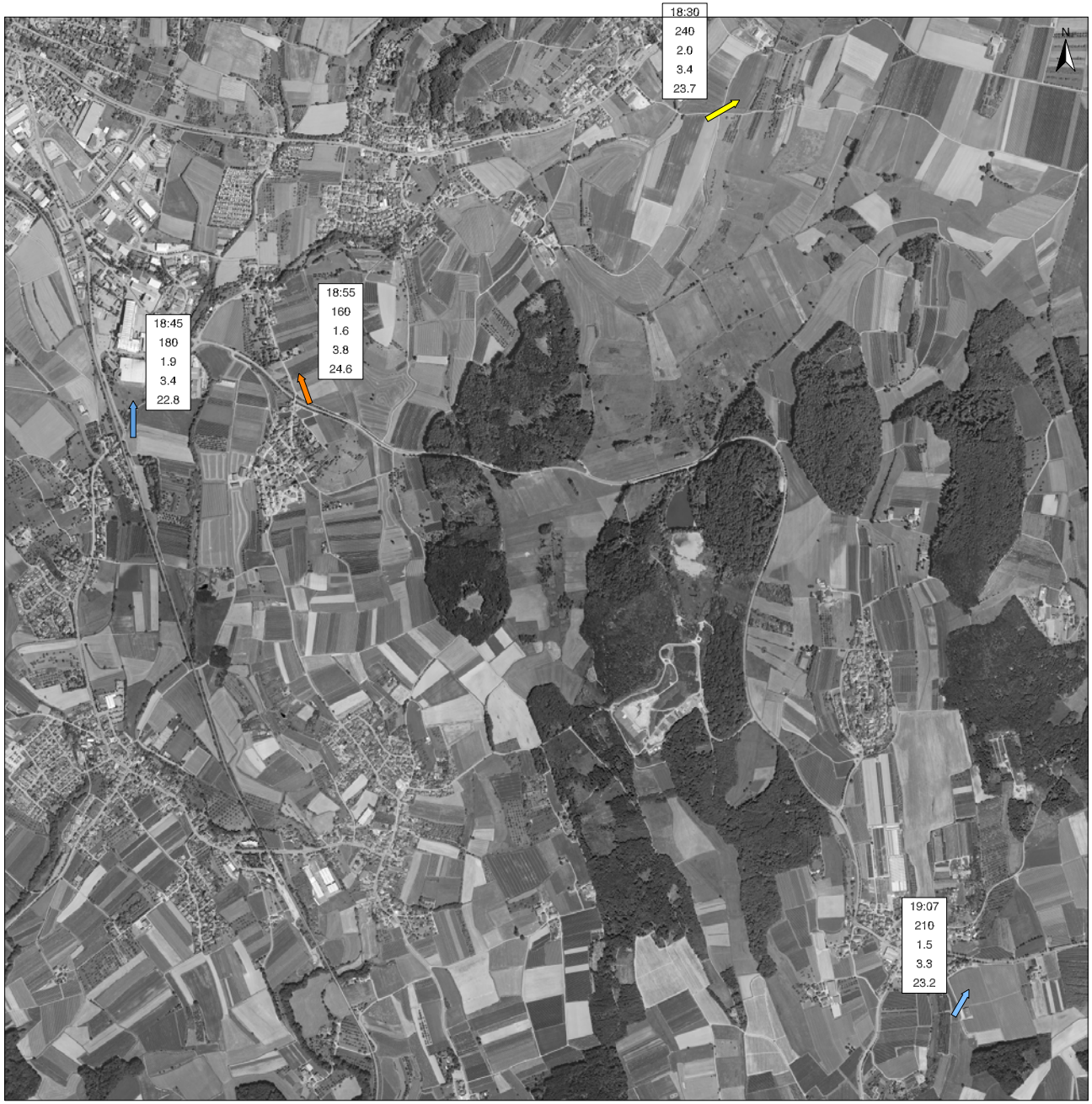
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Gehrenberg

04.07.2008, 18:30:00 - 19:07:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

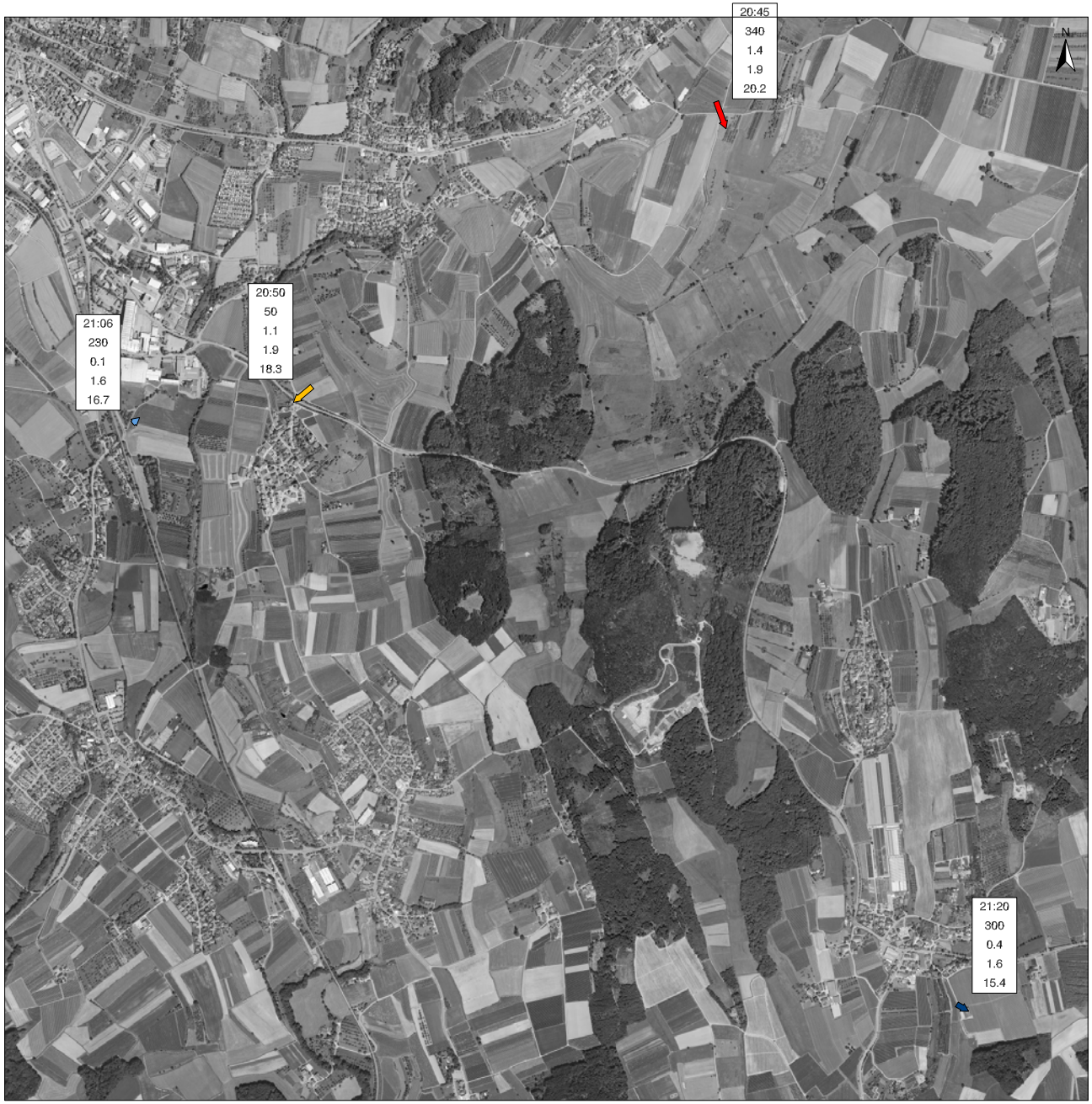
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Gehrenberg

04.07.2008, 20:45:00 - 21:20:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

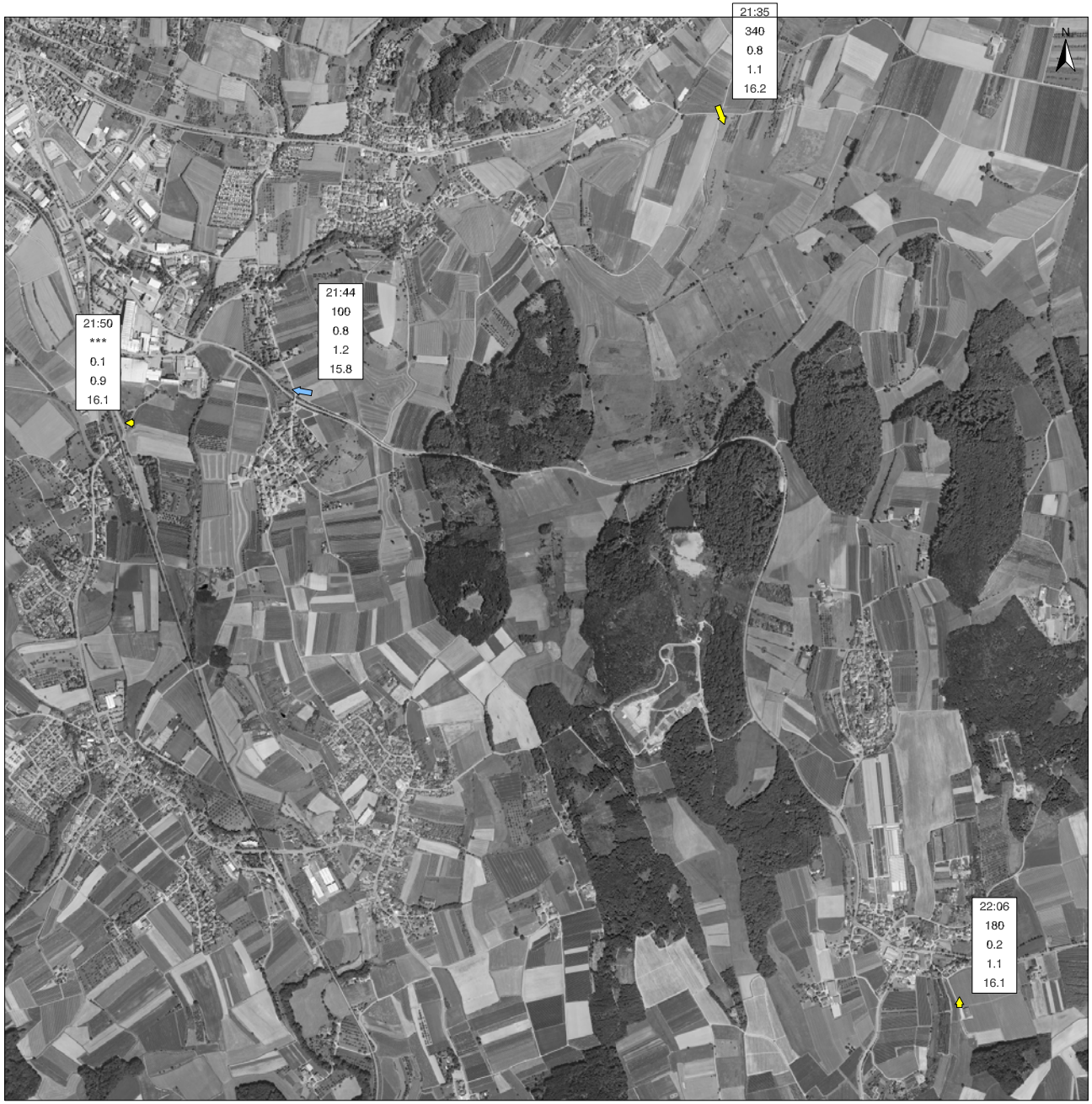
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Gehrenberg

04.07.2008, 21:35:00 - 22:06:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

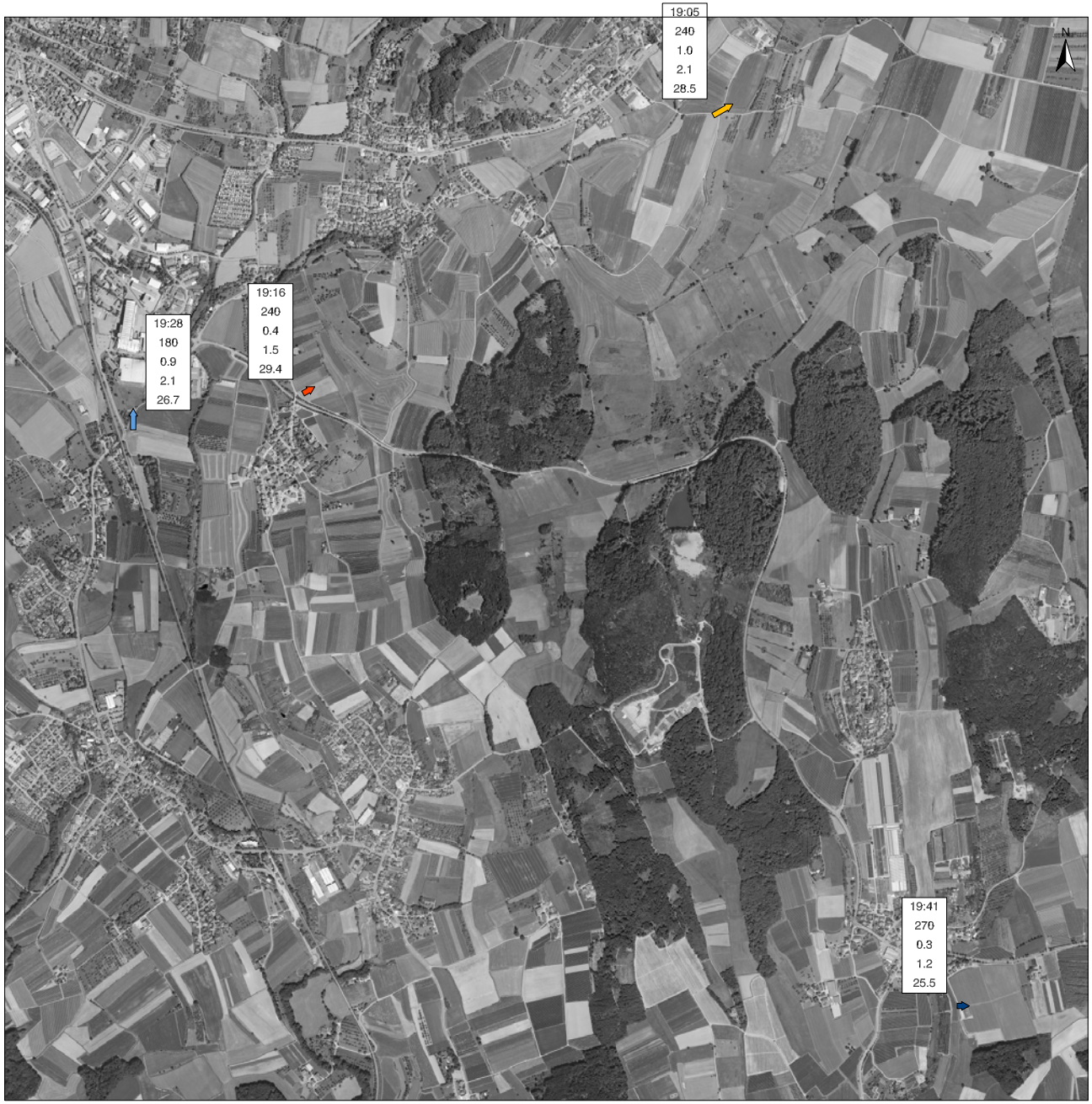
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Gehrenberg

10.07.2008, 19:05:00 - 19:41:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

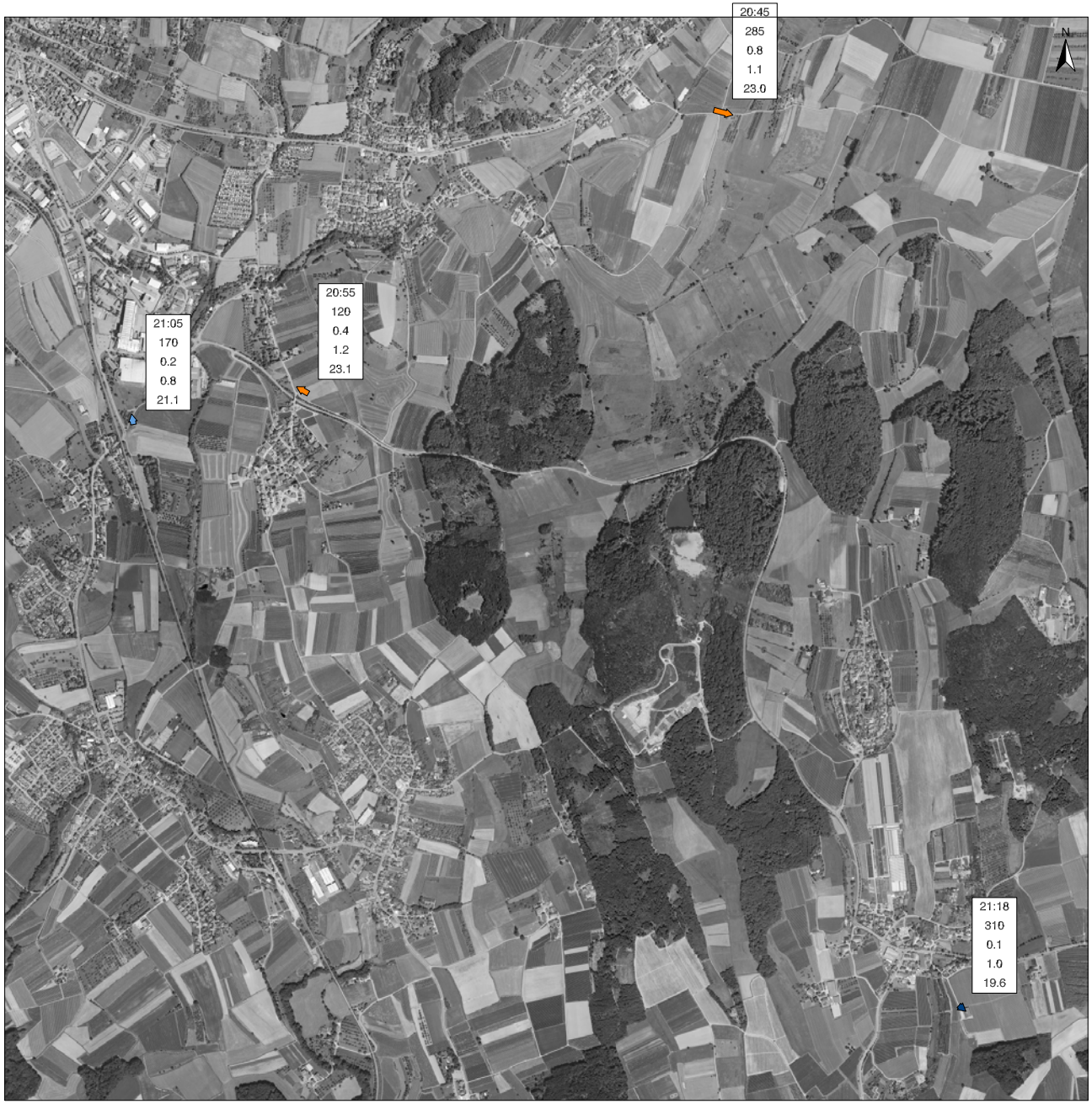
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Gehrenberg

10.07.2008, 20:45:00 - 21:18:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

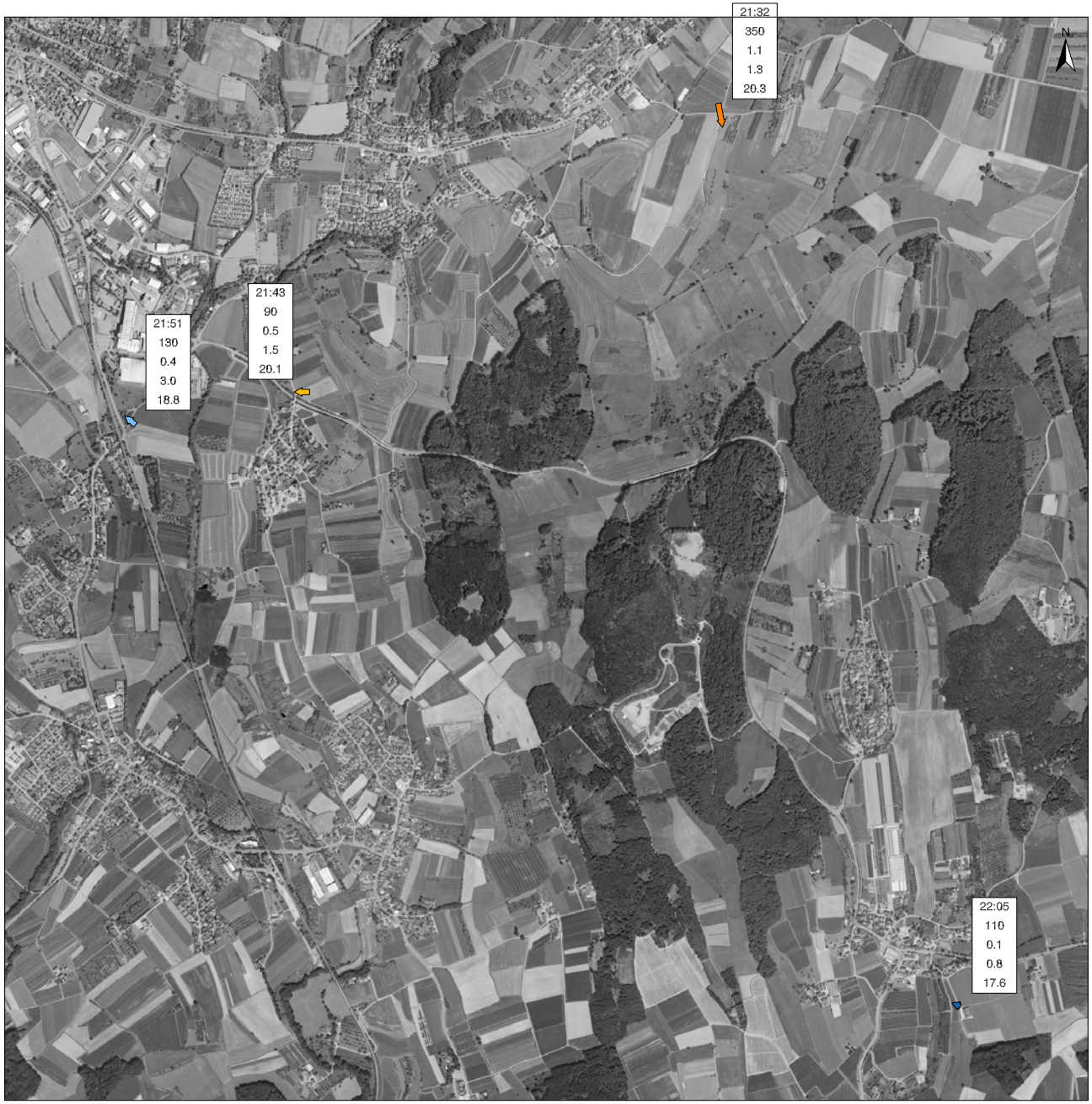
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Gehrenberg

10.07.2008, 21:32:00 - 22:05:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.3.4.3 Ergebnisse der Vertikalsondierungen

Bei den durchgeführten Vertikalsondierungen wurde die Ballonposition über GPS erfasst. Aufgrund von gerätebedingten Messungenauigkeiten können die berechneten Auslenkungsdaten des Heliumballons unterhalb einer Auflasshöhe von 10 m in der Regel nicht für die Auswertung herangezogen werden (vgl. Kap. 3.2).

Messtag 1: 05.08.2008

- Zwei Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.43 Uhr und 23.04 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Messgeräte wurden in 5-m-Schritten bis auf 30 m Höhe über Grund aufgelassen.

Vertikalprofil der Lufttemperatur

- Für den Zeitraum der ersten Messung zwischen 21.35 Uhr und 21.58 Uhr MESZ ist eine Temperaturinversion bis in eine Höhe von 20 m erfasst. Darüber zeigt sich Isothermie.
- Für die zweite Messung zwischen 22.40 Uhr und 23.04 Uhr MESZ ist die Ausbildung einer Temperaturinversion bis in die maximale Auflasshöhe von 30 m nachgewiesen.

Strömungsrichtung und Auslenkungsbeträge

Aufgrund der äußerst geringen Auslenkungen des Ballons in allen Messhöhen während beider Messungen kann von annähernd windstillen Verhältnissen ausgegangen werden. Gesicherte Aussagen über die Auslenkungsrichtung sind bei den gemessenen geringen Auslenkungsbeträgen nicht möglich.

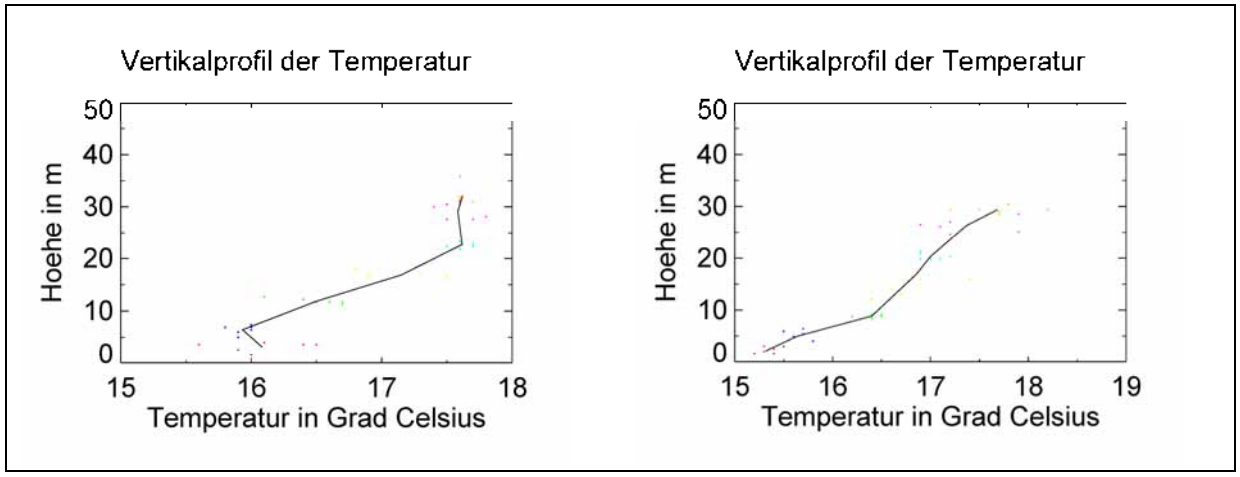


Abbildung 75: Vertikalprofil der Lufttemperatur am Standort „Raderach“ am 05.08.2008. Links: Erste Messung zwischen 21:35 Uhr und 21:58 Uhr, rechts zweite Messung zwischen 22:40 Uhr und 23:04 Uhr.

Messtag 2: 06.08.2008

- Drei Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.01 Uhr und 22.02 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Messgeräte wurden in 5-m-Schritten bis auf 30 m Höhe über Grund aufgelassen.

Vertikalprofil der Lufttemperatur

- Die während der ersten Messung relativ hohen Lufttemperaturen in 2 m Höhe lässt sich vermutlich auf einen Messfehler zurückführen (Abwärme des Messpersonals).
- Während bei der ersten Messung zwischen 20.01 Uhr und 20.25 Uhr MESZ noch eine Temperaturinversion mit einer Höhe von 20 m gemessen wurde, beträgt deren Mächtigkeit während der zweiten Messung zwischen 21.01 Uhr und 21.25 Uhr MESZ nur noch 15 m und geht bis zur dritten Messung zwischen 21.39 Uhr und 22.02 Uhr MESZ sogar auf 10 m zurück. Darüber herrscht jeweils Isothermie.

Vertikalprofil der Ballonauslenkung

- während der ersten Messung in Höhen zwischen 10 und 15 m Luftbewegungen aus SW mit relativ großer Auslenkung, zwischen 15 und 20 m Höhe Richtungen um OSO mit ebenfalls relativ großer Auslenkung, in Höhen zwischen 25 und 30 m Luftbewegungen aus N bis ONO bei geringer Auslenkung
- während der zweiten Messung in Höhen zwischen 10 und 15 m Luftbewegungen aus O, auf Höhen um 20 m Schwankungen des Ballons bei insgesamt geringer Auslenkung, zwischen 25 und 30 m Höhe Luftströmungen aus NNW bis NO bei schwankender Auslenkung
- während der dritten Messung über 10 m Höhe Luftströmungen aus NW bis NO bei relativ hoher, schwankender Auslenkung

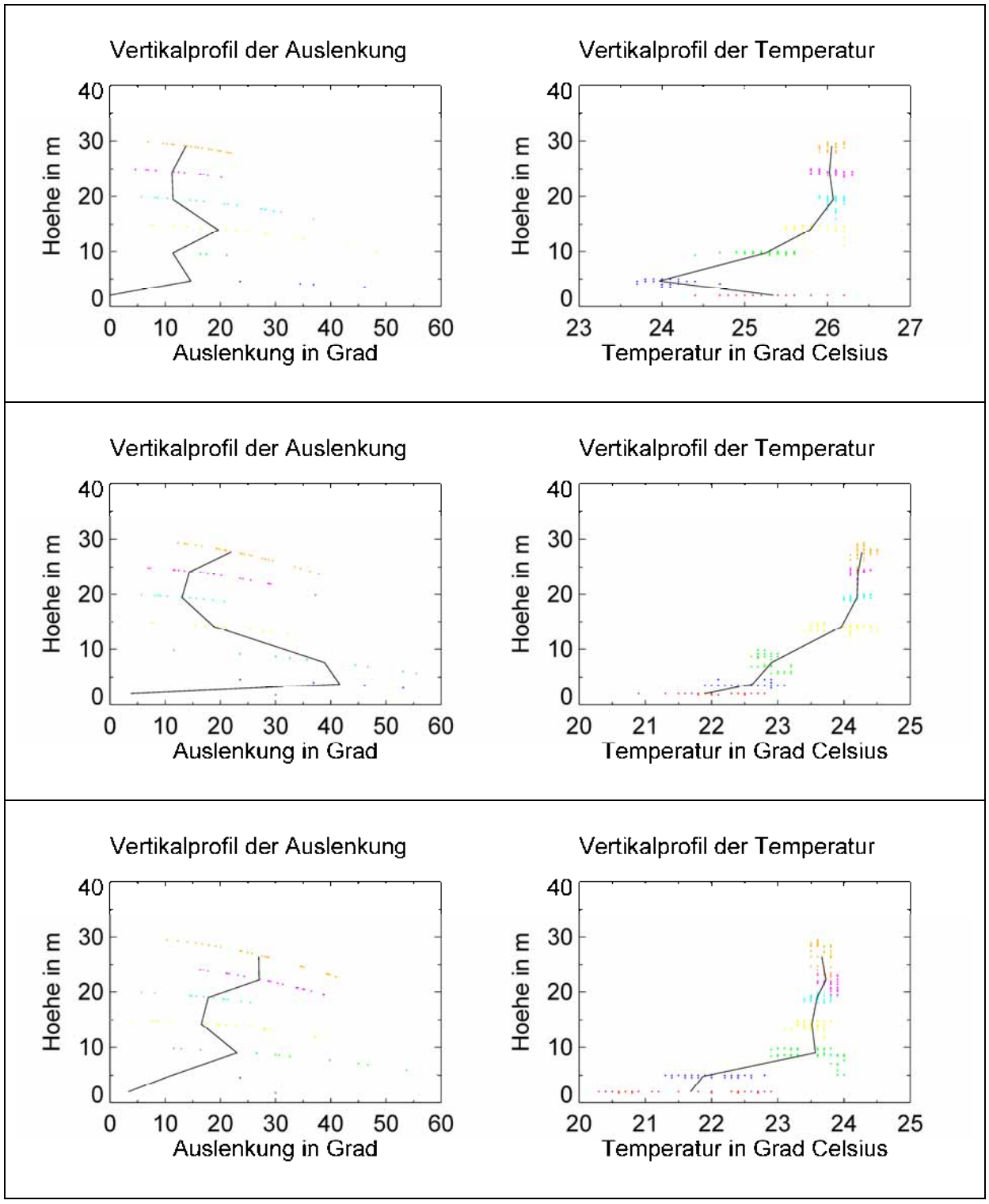


Abbildung 76: Vertikalprofil der Auslenkung und der Temperatur am Standort „Raderach“ am 06.08.2008. Von oben nach unten: 1., 2. und 3. Messung. Erläuterungen im Text.

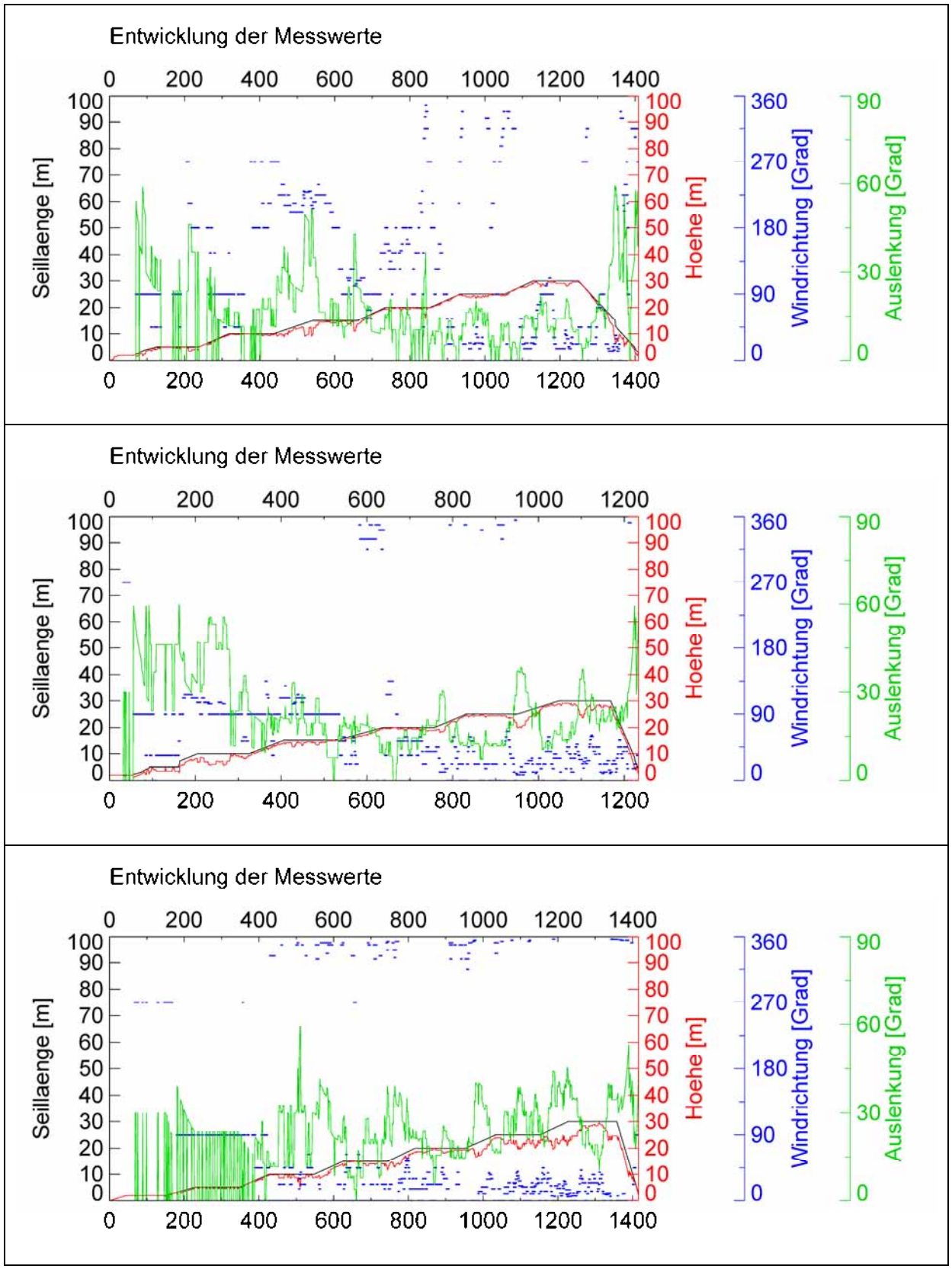


Abbildung 77: Liniendiagramme der Auslenkungsstärke des Heliumballons und der Windrichtung am Standort „Raderach“ am 06.08.2008. Von oben nach unten: 1., 2. und 3. Messung. Erläuterungen im Text.

Ergebnisse der Temperaturmessfahrten

Messtag 1: 05.08./06.08.2008

- Die abendlichen Messfahrten wurden durchgeführt zwischen 20.04 Uhr und 21.23 Uhr MESZ und die morgendliche zwischen 05.32 Uhr und 05.58 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Während der ersten abendlichen Messfahrt noch vor Sonnenuntergang zwischen 20.04 Uhr und 20.32 Uhr MESZ zeigen die Hänge des Gehrenbergs und die Bereiche entlang des Hangfußes relativ niedrige Lufttemperaturen. Einzelne Bereiche des Drumlinfelds sind ebenfalls vergleichsweise kalt. Das Stadtzentrum von Friedrichshafen ist deutlich wärmer als die Umgebung
- Obwohl die zweite Messfahrt zwischen 20.54 Uhr und 21.23 Uhr MESZ im Vergleich zur ersten Messfahrt mehr Anteile relativ geringer Temperaturen zeigt, ist dennoch ein vergleichbares Muster zu erkennen. Die durchfahrenen Siedlungskörper und insbesondere das Stadtzentrum von Friedrichshafen sind deutlich wärmer als das Umland.
- Die morgendliche Messfahrt zwischen 05.32 Uhr und 05.58 Uhr MESZ zeigt ein anderes Bild. So weisen jetzt die Hänge des Gehrenbergs und die Bereiche mit starker Neigung relativ hohe Lufttemperaturen auf. Die Niederungen und Senken hingegen zeigen meist niedrige Lufttemperaturen. Das Temperaturgefälle zwischen dem Stadtbereich von Friedrichshafen und dem Umland ist im Vergleich zur vorhergegangenen Messung nicht mehr so ausgeprägt.
    - Auffallend ist, dass die Hänge des Gehrenbergs vor Sonnenaufgang wärmer sind, als der Stadtbereich von Friedrichshafen.

Messtag 2: 06.08./07.08.2008

- Die Messfahrten wurden durchgeführt zwischen 20.01 Uhr und 21.34 Uhr MESZ am Abend und zwischen 05.43 Uhr und 06.09 Uhr MESZ am darauffolgenden Morgen. Im Vergleich zu Messtag 1 herrschte an Messtag 2 eine noch deutlicher ausgeprägte Strahlungswetterlage (vgl. CD im Anhang: Tagesdiagramme der Funkwetterstationen „Gehrenberg“, „Raderach“ und „Schnetzenhausen“ am 05./06./07.08.2008: Tagesgang der Lufttemperaturen).
- Die erste Messfahrt vor Sonnenuntergang zwischen 20.01 Uhr und 20.32 Uhr MESZ zeigt ähnliche Temperaturverhältnisse, wie am ersten Messtag.
- Auch bei der zweiten Messfahrt zwischen 21.03 Uhr und 21.34 Uhr MESZ zeigen sich vergleichbare Ergebnisse wie am ersten Messtag. Wieder treten die Senken am Fuße des Gehrenbergs bzw. innerhalb des Drumlinfelds als Bereiche mit relativ geringen Temperaturen hervor. Die Hänge des Gehrenbergs sowie das Stadtgebiet von Friedrichshafen sind deutlich wärmer.
- Die Messfahrt zwischen 05.43 Uhr und 06.09 Uhr MESZ unterscheidet sich deutlich von der morgendlichen Messfahrt des Vortages. Entlang des Hangfußes des Gehrenbergs und im nordwestlichen Teil des Drumlinfelds finden sich nun vergleichsweise hohe Temperaturen.

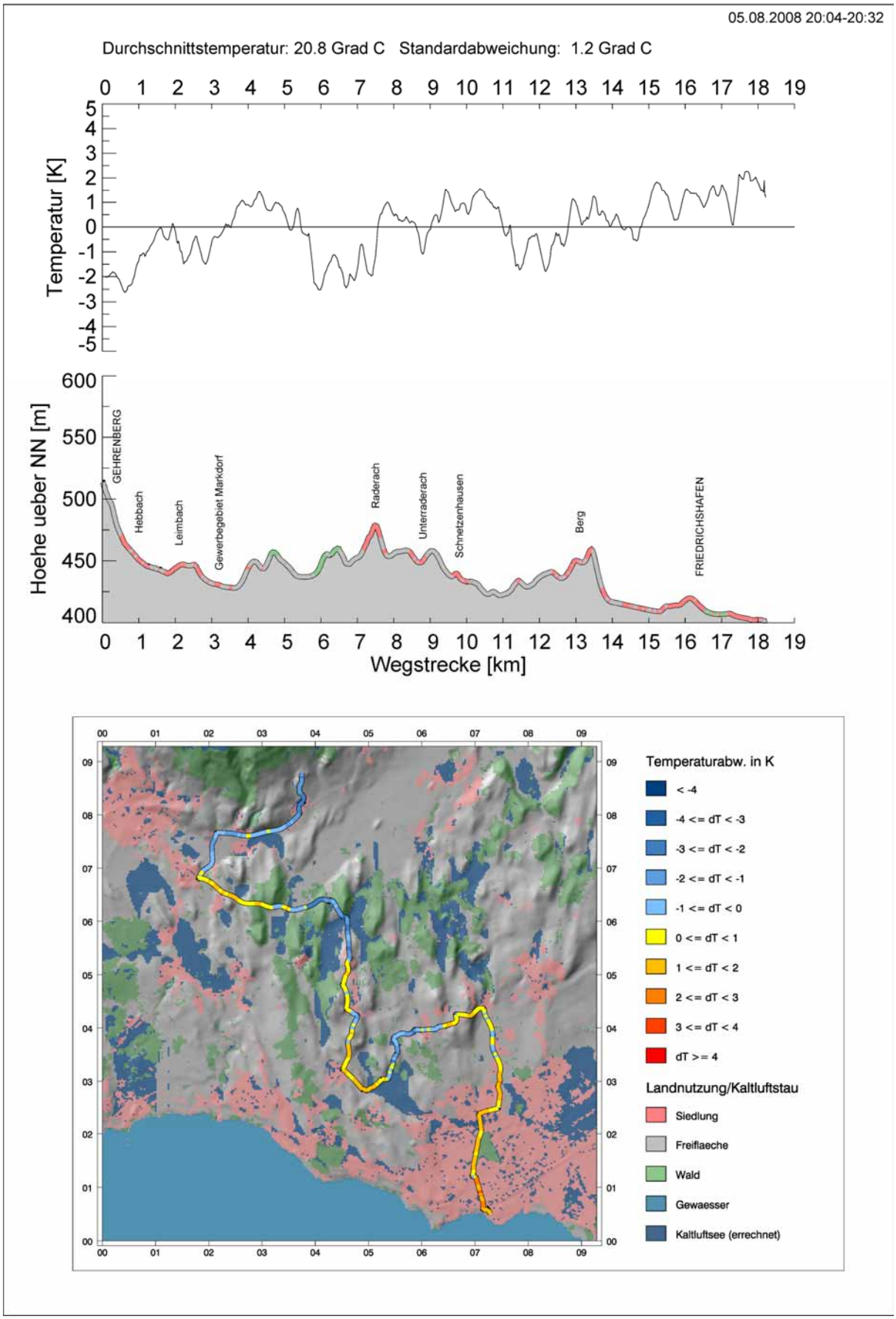


Abbildung 78: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Gehrenberg und Friedrichshafen am 05.08.2008 zwischen 20:04 Uhr und 20:32 Uhr MESZ.

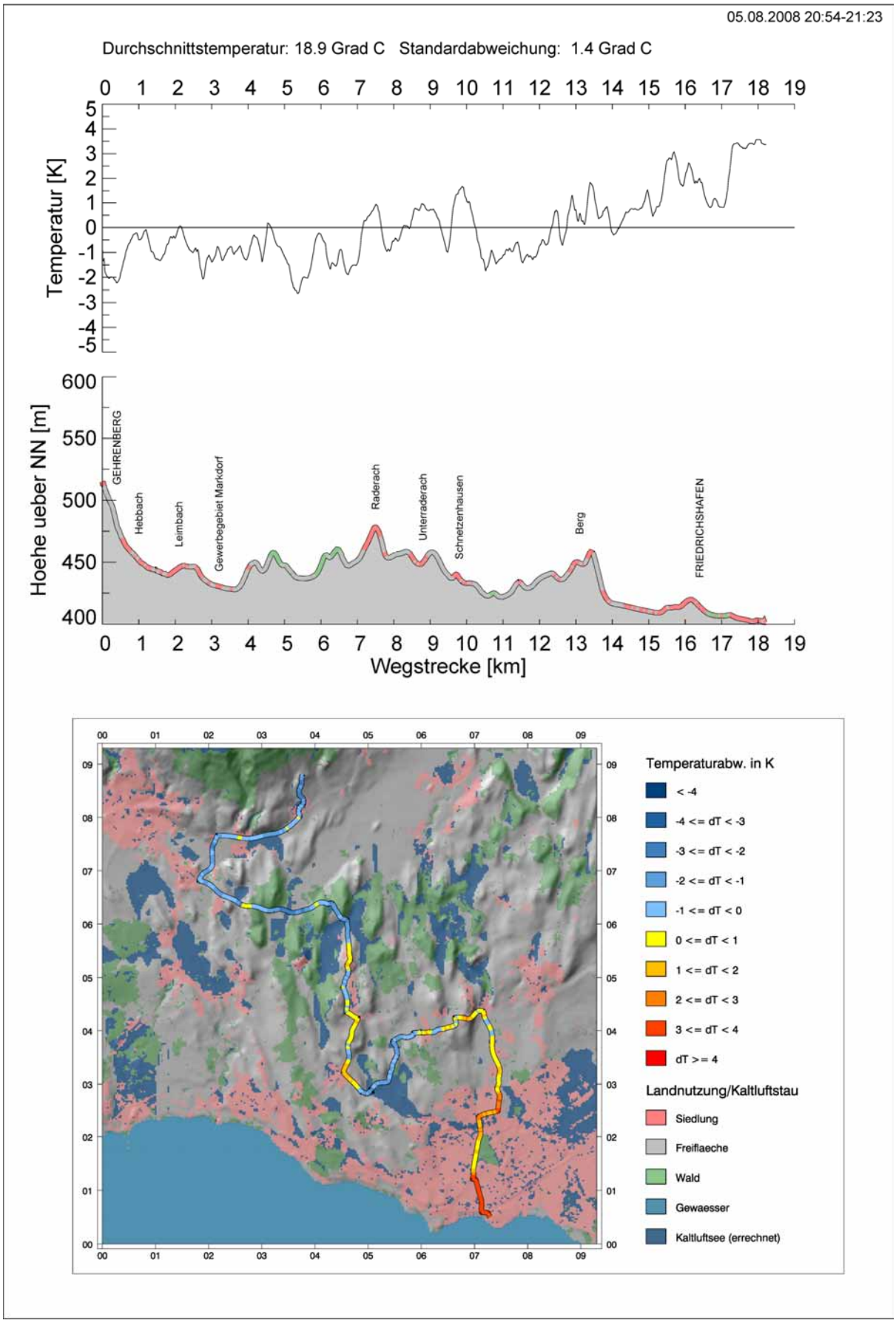


Abbildung 79: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Gehrenberg und Friedrichshafen am 05.08.2008 zwischen 20:54 Uhr und 21:23 Uhr MESZ.

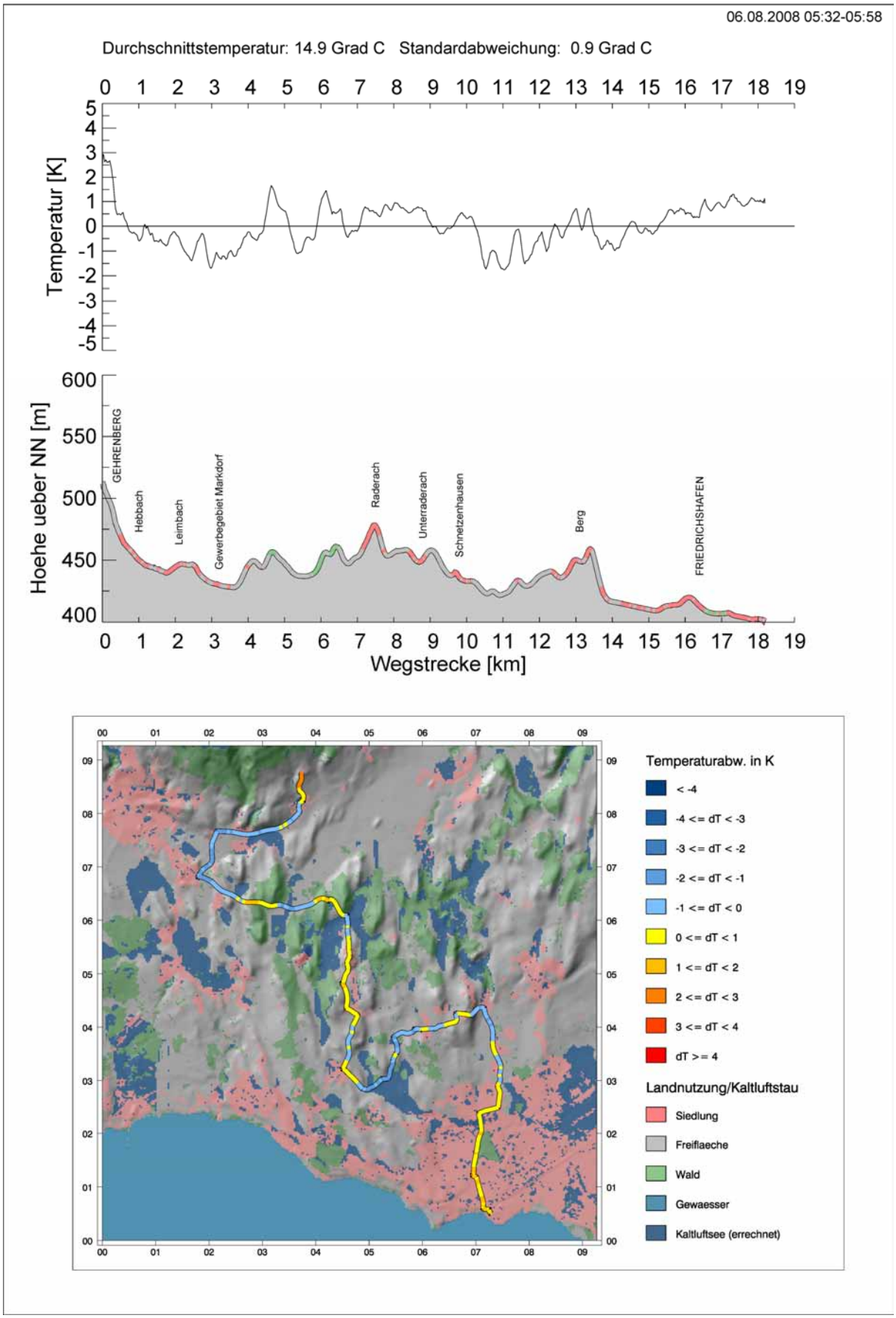


Abbildung 80: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Gehrenberg und Friedrichshafen am 06.08.2008 zwischen 05:32 Uhr und 05:58 Uhr MESZ.

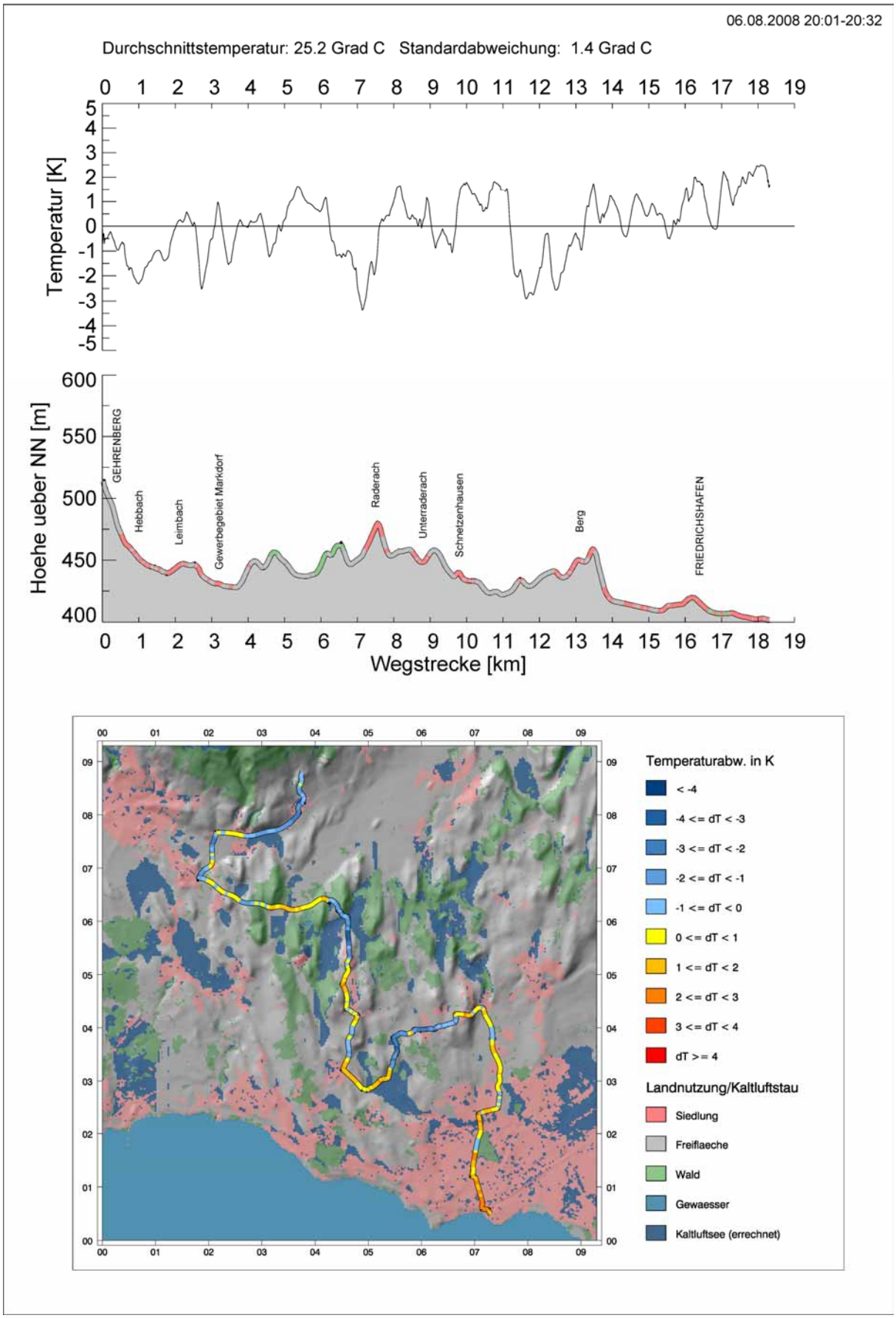


Abbildung 81: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Gehrenberg und Friedrichshafen am 06.08.2008 zwischen 20:01 Uhr und 20:32 Uhr MESZ.

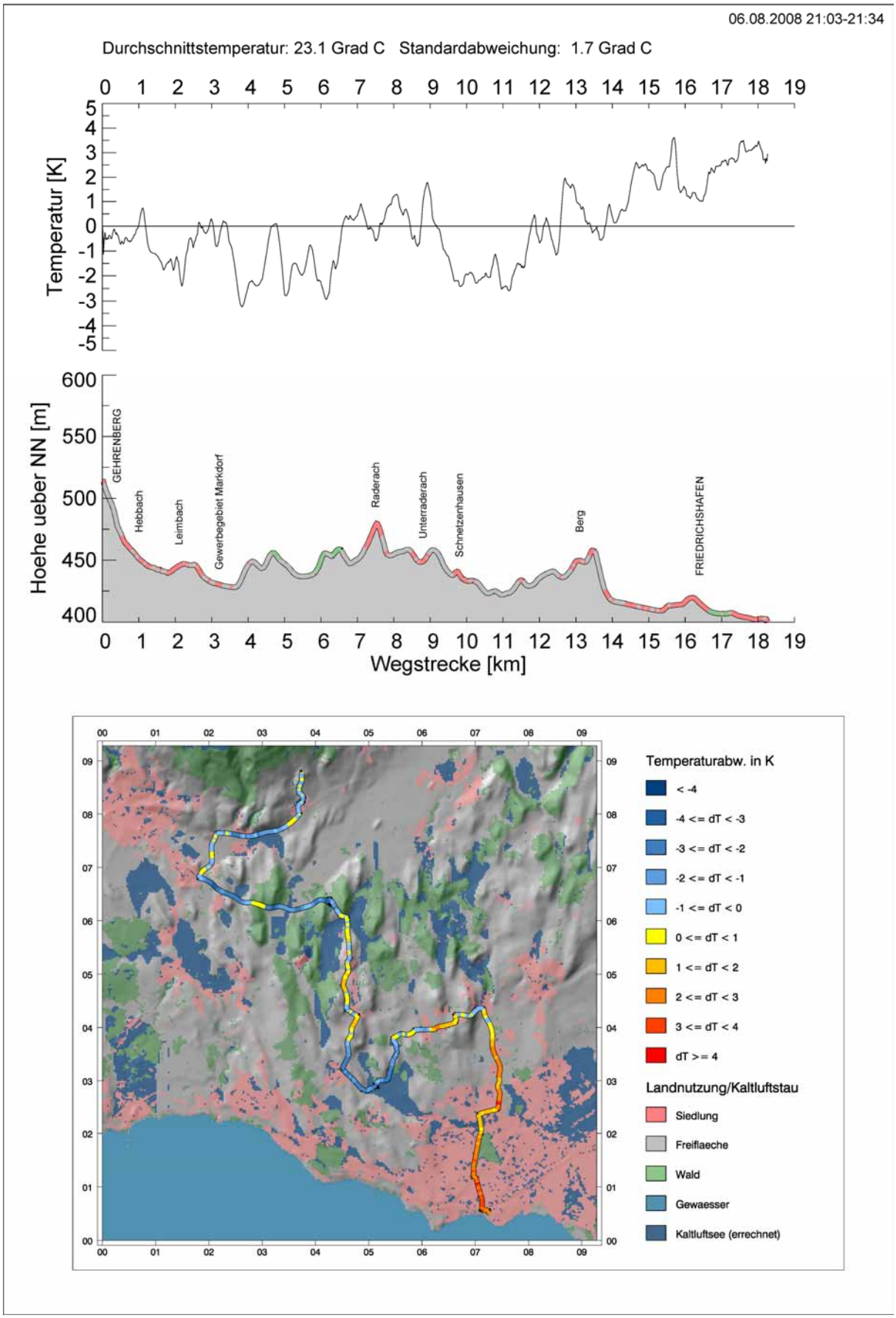


Abbildung 82: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Gehrenberg und Friedrichshafen am 06.08.2008 zwischen 21:03 Uhr und 21:34 Uhr MESZ.

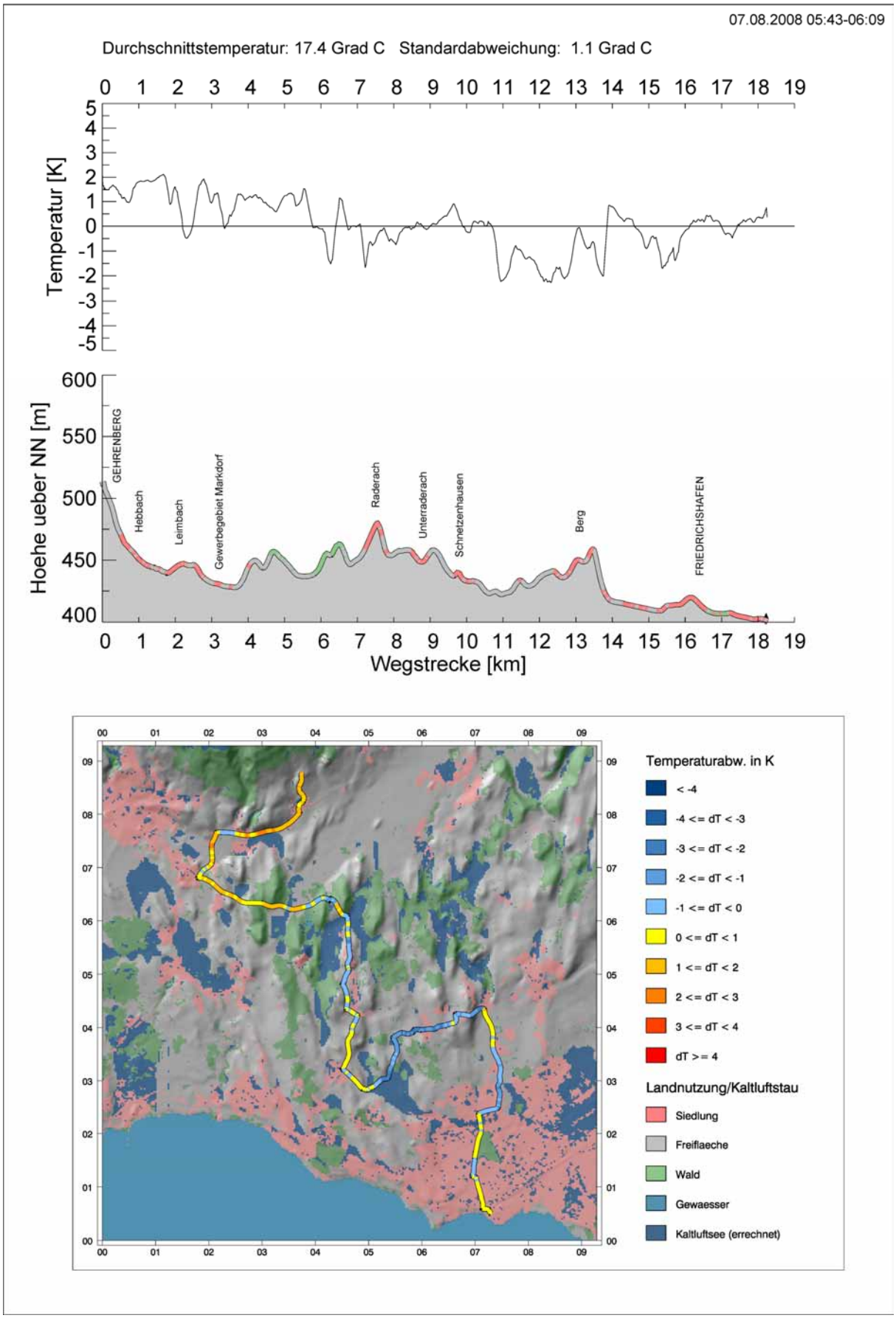


Abbildung 83: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Gehrenberg und Friedrichshafen am 07.08.2008 zwischen 05:43 Uhr und 06:09 Uhr MESZ.

4.3.5 Interpretation der Messergebnisse

Hangabwinde an den Süd- und Südosthängen des Gehrenbergs und deren Reichweite

Für den Bereich der Südosthänge des Gehrenbergs lassen sich aufgrund der Ergebnisse der festen Messstation „Gehrenberg“ und der Handmessungen beträchtliche Hangabwinde annehmen.

Den Hangabwinden entspricht die Dominanz der Windrichtungen aus NW bis NO (vgl. Abbildung 70). Die hier auftretenden Windgeschwindigkeiten sprechen für die Ausbildung besonders starker Hangabwinde, die erst in den letzten Nachtstunden etwas nachlassen. Auffallend ist auch das Einsetzen des Kaltluftabflusses deutlich vor Sonnenuntergang aufgrund der frühen Beschattung der südostexponierten Hänge im Messzeitraum.

Der beachtliche Anteil von Windgeschwindigkeiten zwischen 2 und 3 m/s aus den Richtungen NNO und NO an dieser Station lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass in dieser Richtung in unmittelbarer Umgebung fast ausschließlich reine Wiesenflächen zu finden sind. Die Luftbewegungen aus NNW und NW dürften hingegen durch die Baumstreifen entlang des nahegelegenen Baches westlich der Station gebremst werden. Direkt nördlich der Station schirmt das Gehöft „Gehrenberg“ Winde aus nördlicher Richtung ab.

Die teilweise an den Messtagen kräftigen Luftbewegungen mit Richtungen aus NW bis N am Handmessstandorte HM1 legen nahe, dass die Hangabwinde zumindest bis in die Randbereiche der anschließenden Niederung vordringen.

Die Ergebnisse der Messfahrten bestätigen das bekannte Phänomen, dass hochgelegene Hänge aufgrund der ständig abfließenden Kaltluft in den Morgenstunden relativ warm sind („warme Hangzone“). Im Gegenzug weisen die unteren Hangbereiche und die angrenzenden, flachen Bereiche durchweg vergleichsweise geringe Lufttemperaturen auf, was auf die Ansammlung von Kaltluft hindeutet.

Die Ergebnisse an den Handmessstandorten HM2 und HM3 weisen während der Messtage auf keinerlei bodennahe Wirkung eines Hangabwindes von den Südhängen des Gehrenbergs hin. Der Standort HM2 zeigt nachts nur Luftbewegungen mit sehr geringen Windgeschwindigkeiten ohne erkennbares Richtungsmuster. An Standort HM3 scheinen sich hingegen kleinräumige nächtliche Hangabwinde von den umliegenden Drumlinhängen auszubilden.

Nächtliche Kaltluftbewegungen und Temperaturverhältnisse im Drumlinfeld

Die nächtlichen Windrichtungsdominanzen aus NW bzw. NNW am Standort „Raderach“ lassen darauf schließen, dass nachts Luftmassen aus Richtung des Gehrenbergs und der benachbarten Niederung in das Drumlinfeld eindringen.

Wie oben erwähnt behinderte ein Maisfeld ab der zweiten Juliwoche die bodennahe Luftbewegung an der Station „Raderach“ deutlich (vgl. Abbildung 55). Daher sollten die Windgeschwindigkeiten aus der Zeit davor bei der Interpretation verstärkt Beachtung finden.

Mit Blick auf die errechneten Kaltluftmächtigkeiten im Bereich der Niederung (vgl. Band 2) kann von einem frühzeitigen Überfließen des Sattels mit Kaltluft in das Drumlinfeld hinein ausgegangen werden. Die Tatsache, dass die nächtlichen Windgeschwindigkeiten zu Beginn des Messzeitraums (Maisfeld) ihr Maximum nicht um die Sonnenuntergangszeit, sondern erst einige Stunden später erreichen, scheint die Vermutung eines „Einsickerns“ von Kaltluftmassen aus der nördlich angrenzenden Niederung zu bestätigen.

Die an der Station „Raderach“ dominierenden Winde aus NW und NNW bei äußerst geringen Geschwindigkeiten könnten auf das leicht in Richtung SO abfallende Gelände im Bereich der

Station in Verbindung mit den relativ steilen OSO-exponierten Hängen im Westen der Station zurückzuführen sein.

Auch die Ergebnisse der Vertikalsondierungen in der Senke südlich der Station „Raderach“ weisen auf das Überströmen von Kaltluft aus der nördlich angrenzenden Niederung hin. In Messhöhen über 10 m (das entspricht der Höhendistanz zwischen Sattel und Senke) werden Luftbewegungen aus nördlicher Richtung erfasst.

An der Station „Schnetzenhausen“ und am Handmessstandort HM4 im Süden des Drumlinfelds konnten nur äußerst schwache nächtliche Windgeschwindigkeiten festgestellt werden. Auch die dazugehörigen Windrichtungen deuten allenfalls auf ein lokales Abließen von Kaltluft hin.

Von einem direkten Eindringen von Hangabwinden des Gehrenbergs in das Drumlinfelds kann somit nicht ausgegangen werden. Jedoch tragen sie zur Ausbildung eines Kaltluftsammelbereichs im Bereich der südlich angrenzenden Niederung bei, von welchem wiederum Luftmassen in das Drumlinfeld einsickern.

Die Ergebnisse der Messfahrten zeigen deutlich die Abhängigkeiten der Lufttemperaturen von Relief und Landnutzung. So weisen die Niederungen und die Senken im Drumlinfeld deutlich geringere Lufttemperaturen auf. Dies bestätigt auch das Vertikalprofil der Lufttemperatur der Vertikalsondierung am Standort „Raderach“.

Die vergleichsweise hohen Lufttemperaturen am Hangfuß des Gehrenbergs und im nordwestlichen Bereich des Drumlinfelds während der zweiten morgendlichen Messfahrt sind nur schwer erklärbar. Möglich scheint, dass großräumigere Luftbewegungen südlich des Gehrenbergs dazu führen, dass kleinräumige Stagnation von Kaltluft und eine damit verbundene intensive Abkühlung in diesem Bereich verhindert wird.

Wärmeinseleffekt in Friedrichshafen

Insbesondere während der Messfahrten nach Sonnenuntergang zeigen sich beachtliche Temperaturkontraste zwischen den dicht verbauten Stadtbereichen von Friedrichshafen und den Freiflächen entlang der Messroute. Die Temperaturen im Stadtzentrum liegen während beider Fahrten rund 3 K über der Durchschnittstemperatur der jeweiligen Messung. Zu dieser Zeit haben sich Wiesen- und Ackerflächen bereist stark abgekühlt, Stadtbereiche hingegen mit ihrer relativen starken Versiegelung und dichten Bebauung sind noch relativ warm. Dieser in den frühen Abendstunden besonders starke Temperaturunterschied zwischen Stadt- und Umland ist als sogenannter „städtischer Wärmeinseleffekt“ bekannt (vgl. Band 1) und kann mit den vorliegenden Messergebnissen für die Stadt Friedrichshafen bestätigt werden.

4.3.6 Fazit

Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse aus den durchgeführten Messprogrammen stichwortartig zusammengefasst:

- An den Südosthängen des Gehrenbergs sind starke und anhaltende nächtliche Hangabwinde mit einer Reichweite bis in die Randbereiche der anschließenden Niederung nachweisbar.
  - Kaltluftabflüsse an den süd- bzw. südwestexponierten Hängen des Gehrenbergs dürften aufgrund der Beeinflussung von Landnutzung schwächer ausfallen.
- Es gibt offensichtlich keinen direkten Einfluss der Hangwinde vom Gehrenberg auf die Durchlüftungssituation im Drumlinfeld. Jedoch kann von einem Einsickern von Luftmassen aus dem Kaltluftsammelgebiet der nördlich angrenzenden Niederung ausgegangen werden.
  - Innerhalb des Drumlinfelds finden bodennah nur lokale Kaltluftbewegungen statt.
- In den Senken bilden sich Kaltluftseen aus.
- Es ist ein deutlicher Wärmeinseleffekt im Stadtbereich von Friedrichshafen messbar.

4.3.7 Vergleich mit den Modellrechnungen

Ein zentrales Ziel des REKLIBO-Messprogramms war die Validierung der Ergebnisse der Modellrechnungen. Abschließend erfolgt deshalb ein Vergleich zwischen den oben beschriebenen wichtigsten Messergebnissen im Untersuchungsgebiet und den dort modellierten Prozessen.

Zur besseren Lesbarkeit wurde für die hier vorliegende Druckfassung aus den Gesamtergebnissen das entsprechende Teilgebiet extrahiert und vergrößert dargestellt. Um die zeitliche Dynamik wiederzugeben wurden von den insgesamt 12 Zeitschnitten die Ergebnisse nach Stunde 1, 2, 4, 8 und 12 ausgewählt. Sie sollen einen Überblick sowohl über die frühen Entwicklungen während einer Nacht als auch über die gesamte Simulationszeit von 12 Stunden ermöglichen. Dargestellt werden die Kaltluftmächtigkeiten, die mittleren Windgeschwindigkeiten über die gesamte Kaltluftsäule, sowie die daraus berechneten Volumenströme (vgl. Band 2). Ergänzt werden diese Darstellungen durch die Abbildung der Klimaanalysekarte für den Bereich des Untersuchungsgebietes. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass in vielen Situationen durch die Betrachtung eines größeren Gebietes die räumlichen Zusammenhänge häufig besser erklärbar werden.

Ein Vergleich der nachfolgend dargestellten Modellergebnisse mit den zentralen Aussagen der durchgeführten Messungen zeigt im Untersuchungsgebiet „Gehrenberg-Friedrichshafen“ eine recht gute Übereinstimmung. Im Einzelnen lässt sich das an folgenden Phänomenen festmachen:

- Bereits nach 2 Stunden Simulationszeit werden recht große Volumenströme aus dem Tal der Rotach entlang der Senke bei Oberteuringen berechnet.
- Schon vorher kommt es im Modell zur Ausbildung kräftiger Hangabwinde an den Hängen des Gehrenbergs (verstärkt auf den Freiflächen).
- Ab Stunde 4 Simulationszeit kommt es zum Zufluss von Kaltluft auch aus dem nordwestlich gelegenen Salemer Becken. Dabei etabliert sich zunehmend eine Luftleitbahn in Richtung Bodensee südlich von Markdorf.
- Zunehmend wird auch das Drumlinfeld von Kaltluft aus nördlicher Richtung durchströmt.
- Spätestens ab Stunde 8 Simulationszeit kommt es zum Zustrom von Kaltluft vom östlich gelegenen Schussenbecken.
- Die vom Modell simulierte zunehmende Beschränkung von Hangabwinden auf die hochgelegenen Hänge rund um den Gehrenberg kann durch die Messungen nicht bestätigt werden. So zeigt die Messstation „Gehrenberg“ über den gesamten Messzeitraum hangabwärts gerichtete Luftbewegungen während der ganzen Nacht. Hier ist zu berücksichtigen, dass das Modell KLAM_21 als Zweischichtenmodell nicht in der Lage ist Mehrschichtphänomene zu simulieren. Es ist jedoch durchaus denkbar, dass es im Untersuchungsgebiet zu einer Windscherung zwischen Hangabwinden vom Gehrenberg und nach Südwesten gerichteten Talabwinden kommt.

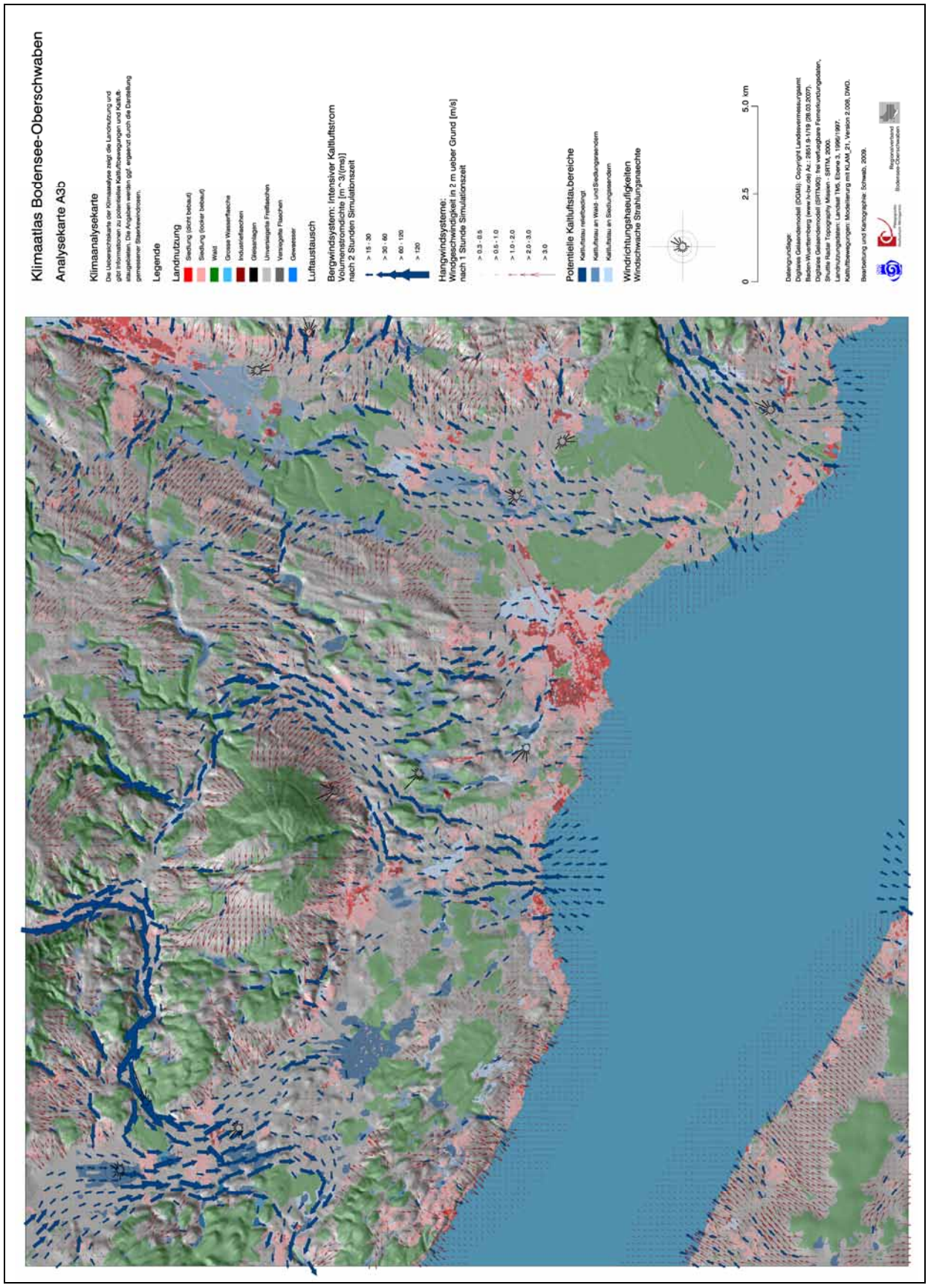


Abbildung 84: Klimaanalysekarte des Untersuchungsgebietes „Gehrenberg-Friedrichshafen“.

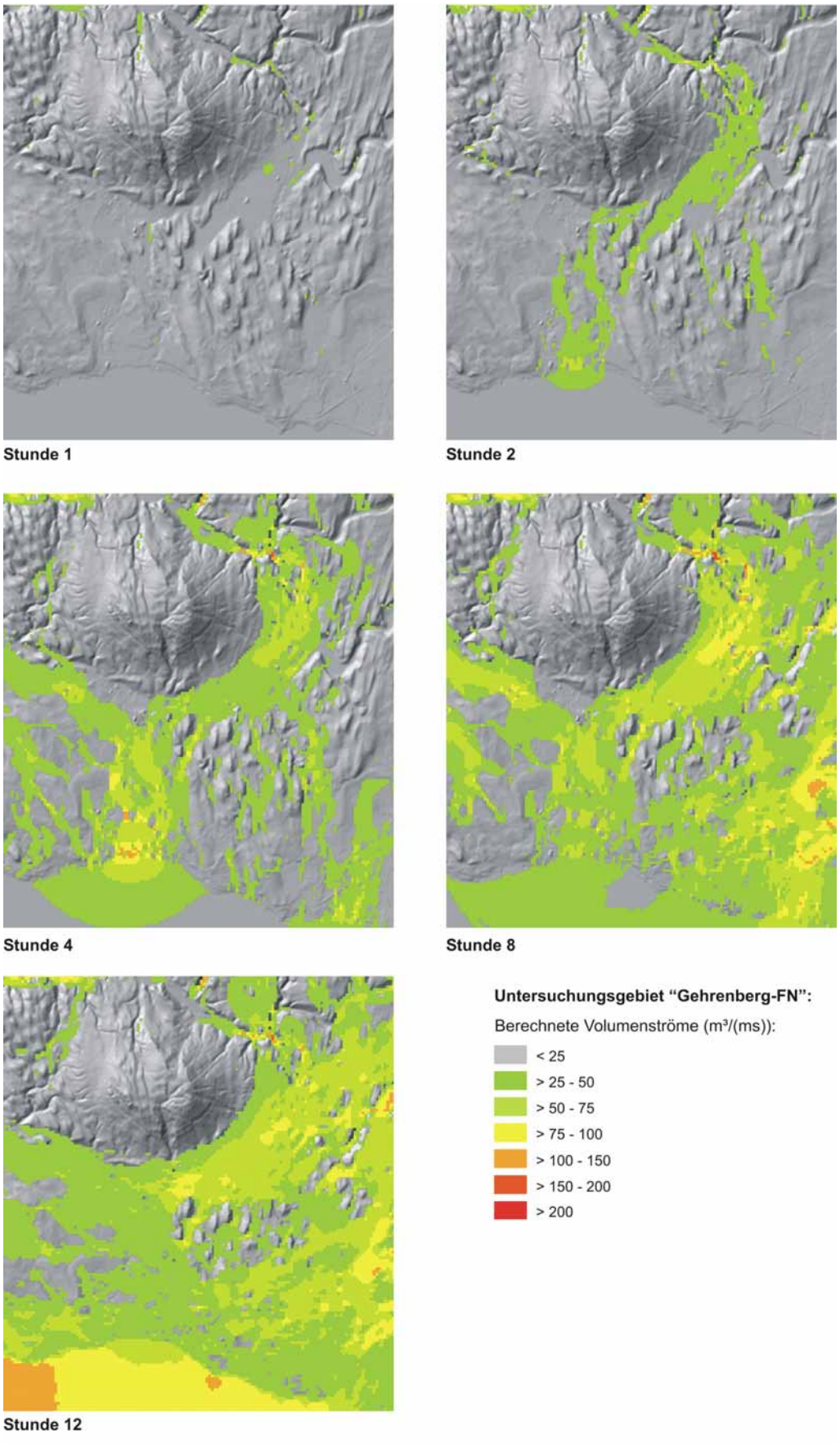


Abbildung 85: Berechnete Volumenströme im Untersuchungsgebiet „Gehrenberg-Friedrichshafen“.

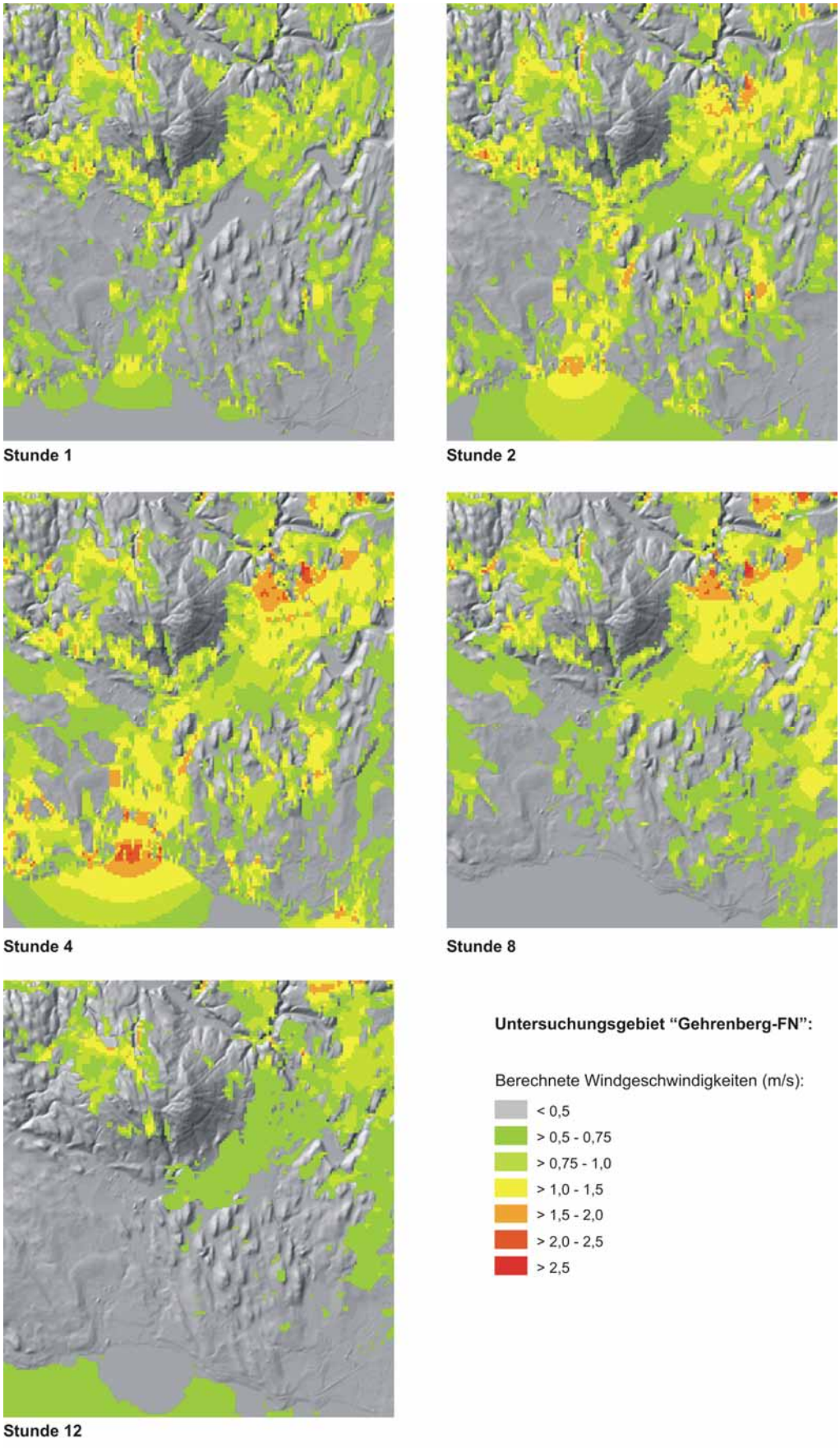


Abbildung 86: Berechnete Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet „Gehrenberg-Friedrichshafen".

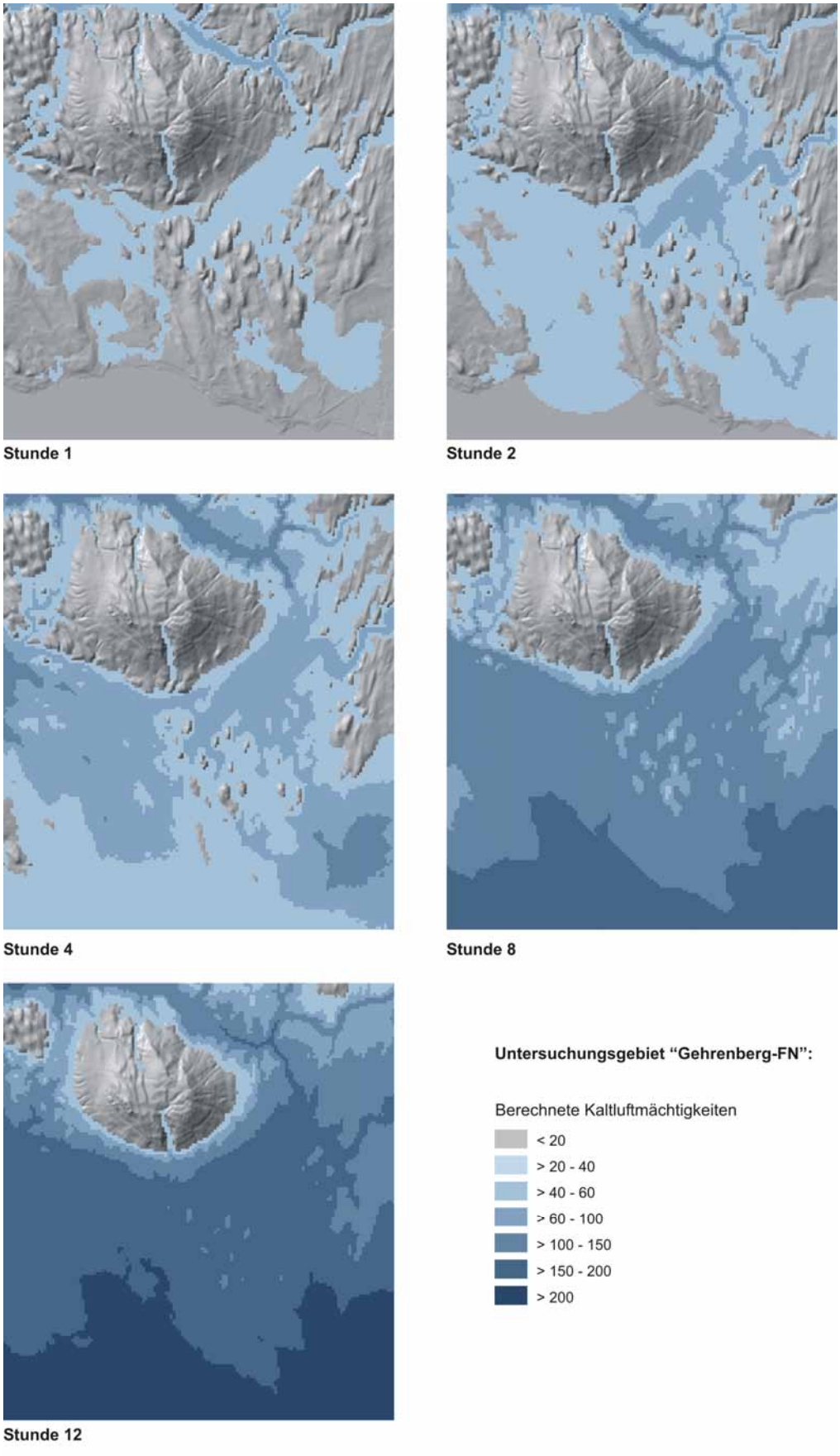


Abbildung 87: Berechnete Kaltluftmächtigkeiten im Untersuchungsgebiet „Gehrenberg-Friedrichshafen".

4.4 Untersuchungsraum „Argental“

4.4.1 Beschreibung des Untersuchungsraumes

Lage und naturräumliche Einordnung

Das Untersuchungsgebiet „Argental“ liegt am Nordostufer des Bodensees, rund 9 km südöstlich von Friedrichshafen im Bodenseekreis. Es misst zwischen den Orten Apflau und Langenargen rund 7 km in der Länge. Die naturräumliche Gliederung Deutschlands spricht hier von den „Terrassen, Auen und Deltas von Rotach, Schussen und Argen“ (Dongus, S. 34).

Zwei Teilgebiete lassen sich unterscheiden: Einerseits der Bereich des eigentlichen Argentals zwischen Apflau und der Bundesstraße 467. Andererseits seine anschließende trichterförmige Weitung zum Bodensee hin (vgl. Abbildung 90).

Relief

Das eigentliche Argental weist an seiner Talsohle im Untersuchungsgebiet mit rund 0,5 % relativ geringe Neigungen auf. Um Apflau verläuft es von Ostnordost nach Westsüdwest. Die Breite der Talsohle beträgt hier ca. 1,2 km. Seine Hänge zum nördlich angrenzenden Tettnanger Wald hin und nach Süden Richtung Reitnauer Drumlinfeld sind in diesem Bereich sehr steil ausgebildet (jeweils bis zu 50 % Neigung). Die randlichen Höhen überragen die Talsohle um etwa 80 bis 100 m.

Auf Höhe der Bundesstraße 467 mündet das Argental in das Bodenseebecken. Die Argen fließt ab hier in der sich aufweitenden Landschaft mit einer Neigung von nur noch wenigen Promille Richtung Südwest dem Bodensee zu. Flankiert wird sie im Nordwesten vom Tettnanger Wald (Geländestufe von rund 10 m) und nach Osten hin vom Reitnauer Drumlinfeld.

Geologie

Den geologischen Untergrund bilden überwiegend Terrassenplatten aus spätglazialen Schottern und Sanden, die ca. 15 m über dem heutigen Seespiegel liegen. In sie sind Auenbereiche der heutigen Argen eingesenkt. Die Deltazone der Argen ist aus postglazialen Feinsanden und Schluffen aufgebaut. Das Reitnauer Drumlinfeld und die östlichen Teile des Tettnanger Walds bestehen zu großen Teilen aus Grundmoränenmaterial.

Landnutzung

Im Untersuchungsgebiet zeigen sich neben den Weide- und Getreideflächen viele Obst- und Hopfengärten. Das Gebiet ist vergleichsweise dünn besiedelt. Neben kleineren Dörfern (z.B. Apflau und Oberdorf) dominieren Weiler und Einzelhöfe. Im äußersten Südosten liegt die Gemeinde Langenargen mit knapp 8000 Einwohnern.

Klimatische Einordnung

Laut Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2006) beträgt die Jahresmitteltemperatur im Untersuchungsgebiet zwischen 8,1 und 9°C. Bezogen auf das Sommerhalbjahr sind es 14,1 bis 14,5°C. Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist mit 2 bis 2,6 m/s angegeben. Im langjährigen Mittel tritt an 225 Tagen im Jahr eine Inversion auf, die Durchlüftungssituation fällt in die Klasse „schlecht“. Durchschnittlich weisen 25,1 – 30 Tage im Jahr Wärmebelastung auf.

Begründung der Wahl des Untersuchungsgebiets

Mit dem Argental steht eine der in Band 1 beschriebenen besonderen Reliefeinheiten im Mittelpunkt des Untersuchungsgebietes. Es liegt zu großen Teilen inmitten einer kuppigen

würmzeitlichen Grundmoränenlandschaft, weist vergleichsweise geringe Neigungen an der Talsohle auf, hat aber ein großes Einzugsgebiet.

Die Tatsache, dass das Argental nicht unmittelbar den dicht besiedelten Uferbereich des Bodensees erreicht, sondern bereits vorher in das weitgespannte Bodenseebecken übergeht, wirft Fragen nach seiner Bedeutung für die Durchlüftung des direkten Bodenseehinterlandes auf.

4.4.2 Fragestellungen

Im Untersuchungsgebiet stellen sich hinsichtlich der Durchlüftungssituation bei windschwachen Strahlungswetterlagen unter anderem folgende Fragen:

- Kommt es im Untersuchungsgebiet zur Ausbildung nächtlicher Talabwinde bzw. Hangabwinde?
- Wenn ja, mit welcher Häufigkeit und Intensität treten sie auf?
- Welche Reichweiten weist ein potentieller Talabwind aus dem Argental auf?
- Ist der Einfluss eines Land-Seewind-Systems nachweisbar?
- Kommt es gegebenenfalls zu einer Verzahnung mit dem potentiellen Berg-Tal-Windsystem im Argental?

4.4.3 Messverfahren und Messstandorte

4.4.3.1 Betrieb einfacher Funkwetterstationen

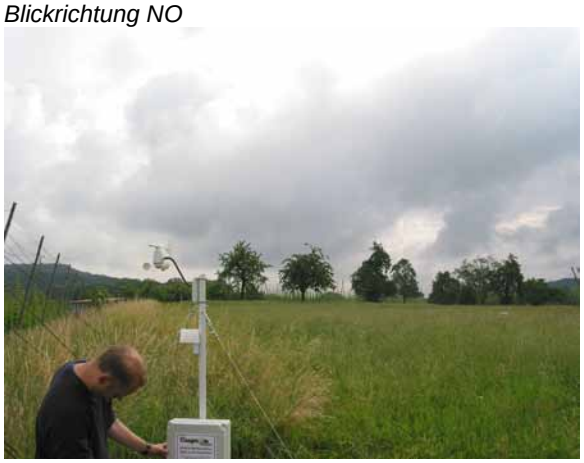
Zur Bestimmung der Häufigkeit und Intensität potentiell auftretender Kaltluftabflüsse in Bodennähe wurden an zwei Standorten einfache Funkwetterstationen eingesetzt. Sie zeichnen Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund kontinuierlich auf (vgl. Kap. 3.2). Die Station „Apflau“ wurde betrieben vom 19.06. bis 13.09.2008. Die Station „Kochermühle“ wurde betrieben vom 19.06. bis 02.09.2008.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 90):

Station „Apflau“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes im Mündungsbereich des Argentals in das Bodenseebecken, weitestgehend unter Ausschluss von Strömungshindernissen wie größerer Siedlungskörper, Waldgebiete etc.

Blickrichtung NO



Blickrichtung SO

Blickrichtung SW

Blickrichtung NW

Abbildung 88: Ansichten der Funkwetterstation „Apflau“.

Station „Kochermühle“

- bodennahe Erfassung von Luftbewegungen im potentiellen Auslaufbereich eines vermuteten Talabwindes aus dem Argental, weitestgehend unter Ausschluss von Strömungshindernissen wie größerer Siedlungskörper, Waldgebiete etc.

Blickrichtung NO

Blickrichtung SO

Blickrichtung SW

Blickrichtung NW

Abbildung 89: Ansichten der Funkwetterstation „Kochermühle“.

Durchführung von Handmessungen

Um das Beobachtungsnetz zu verdichten, insbesondere um der Frage nach der Reichweite eines potentiellen Talabwindes aus dem Argental in das Bodenseebecken nachzugehen, wurden zusätzlich Handmessungen durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Dabei wurden an insgesamt drei Standorten Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund an ausgewählten Messtagen zu ausgewählten Messzeiten erfasst.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 90):

Standort HM1

- bodennahe Erfassung eines möglicher Talabwindes aus dem Argental in der Mündung in das Bodenseebecken

Standort HM2

- bodennahe Erfassung möglicher Kaltluftbewegungen zwischen Oberdorf und Tettnanger Wald

Standort HM3

- bodennahe Erfassung möglicher Kaltluftbewegungen nordöstlich von Langenargen

An folgenden Tagen wurden Handmessungen durchgeführt:

- Messtag 1: Zeitraum: 267.06.2008 zwischen 20.29 Uhr und 23.14 Uhr MESZ
- Messtag 2: Zeitraum: 01.07.2009 zwischen 20.29 Uhr und 23.19 Uhr MESZ
- Messtag 3: Zeitraum: 10.07.2009 zwischen 20.32 Uhr und 23.21 Uhr MESZ

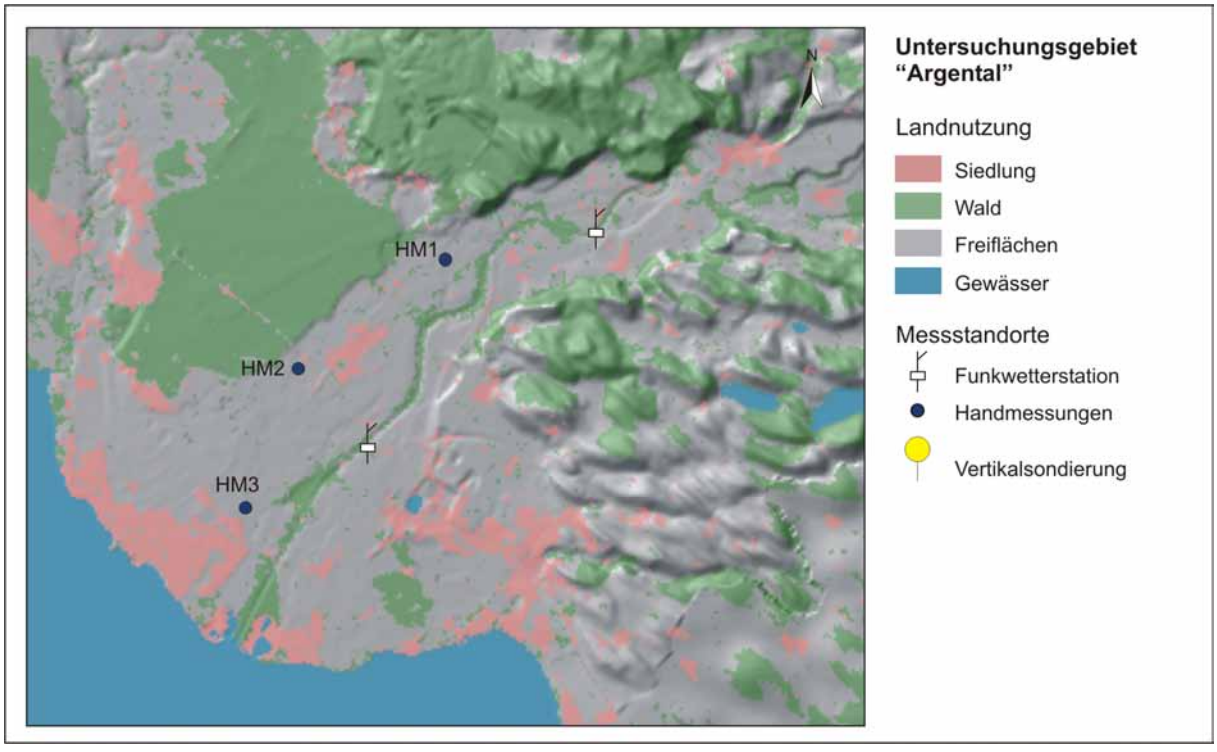


Abbildung 90: Das Untersuchungsgebiet „Argental“ mit allen Messstandorten.

4.4.4 Beschreibung der Messergebnisse

4.4.4.1 Ergebnisse der Funkwetterstationen

Die betriebenen Funkwetterstationen speichern die gemessenen Werte in 10-Minuten-Inverallen ab. Über mehrere Monate Laufzeit ergibt dies große Datenmengen, die grafisch unterschiedlich aufbereitet wurden. Zunächst wird am Beispiel von Tagesdiagrammen ein einzelner „idealer Strahlungstag“ betrachtet. Damit kann gezeigt werden, ob an den betreffenden Standorten überhaupt mit nennenswerten Hang- und Talwindsystemen bzw. Land-See-Windsystemen zu rechnen ist. Die anschließende Betrachtung des gesamten Messzeitraums über Isoplethendarstellungen und Stärkewindrosen erlaubt unter anderem Aussagen über die Häufigkeit der beobachtbaren Phänomene.

Betrachtung eines „idealen Strahlungstages“

Im Folgenden wird am Beispiel zweier Tagesdiagramme der Zeitraum vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ vorgestellt. Der Zeitraum war geprägt von „idealen Strahlungsverhältnissen“ mit sehr geringer Bewölkung und nur geringen Geschwindigkeiten der übergeordneten Winde.

Die Beschreibung der Ergebnisse erfolgt stichwortartig, um größtmögliche Kompaktheit zu erreichen.

Lufttemperaturen

- ausgeprägter Tagesgang an beiden Stationen
- Maximumtemperaturen zwischen 18 und 20 Uhr MESZ (ca. 30°C an beiden Stationen)
- rasche Termperaturabnahme zwischen 19 Uhr und 21 Uhr MESZ
- gleichmäßige Temperaturabnahme im Laufe der Nacht
- Minimumtemperaturen von ca. 10°C um ca. 6 Uhr MESZ
- nach Sonnenaufgang rascher Temperaturanstieg auf ca. 26°C (Station „Apflau“) und ca. 28°C (Station „Kochermühle“)
- an beiden Stationen vergleichbarer Verlauf der Lufttemperatur (an der Station „Apflau“ etwas schnellere Abkühlung nach Sonnenuntergang)

Windrichtungen

- tagsüber Windrichtungen überwiegend aus S bis W (Station „Apflau“) bzw. zwischen SO und NW (Station „Kochermühle“)
- mit Sonnenuntergang drehend auf NO bis O (Station „Apflau“) bzw. NNO bis NNWt (Station „Kochermühle“)
- ca. 3 bis 4 Stunden nach Sonnenaufgang allmählich drehende Winde auf S- bis W-Richtungen bis 12 Uhr MESZ (Station „Apflau“)
- an der Station „Kochermühle“ ab ca. 1,5 bis 2 Stunden nach Sonnenaufgang umlaufende Winde mit einem erkennbaren Schwerpunkt auf SO- bis SW-Richtung.

Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an der Station „Apflau“ Spitzengeschwindigkeiten von knapp 3 m/s kurz nach 12 Uhr MESZ, im Laufe des Nachmittags zwischen 1,5 und 2 m/s, schließlich allmählicher Einbruch der Windgeschwindigkeit bis unter 0,1 m/s zwischen 16 und 19 Uhr MESZ.
- tagsüber an der Station „Kochermühle“ Windgeschwindigkeiten zwischen 0,7 und 1 m/s, schließlich zügiger Einbruch auf Werte zwischen 0,3 und 0,1 m/s zwischen 18 und 19 Uhr MESZ
- an beiden Stationen bei abnehmender Temperatur Rückgang der Windgeschwindigkeit.

- an der Station „Apflau“ nach Sonnenuntergang zögerliche Zunahme der Windgeschwindigkeit zwischen 22 Uhr und 0 Uhr MESZ, ab dann plötzliche Zunahme auf bis zu 0,6 m/s mit mehreren Pulsationen zwischen Windstille und rund 0,5 m/s
- an der Station „Kochermühle“ die ganze Nacht hindurch äußerst geringe Windgeschwindigkeiten
- Zunahme der Windgeschwindigkeiten an beiden Stationen erst einige Stunden nach Sonnenaufgang

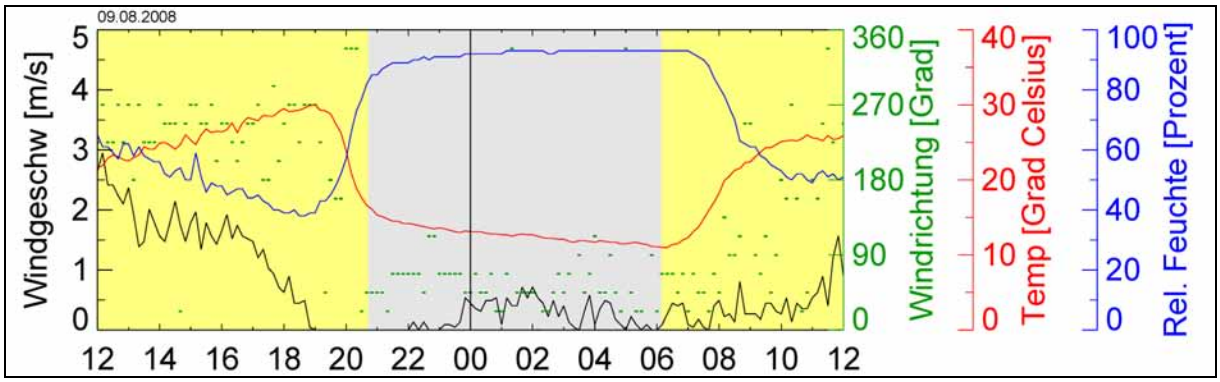


Abbildung 91: Tagesdiagramm der Station „Apflau“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

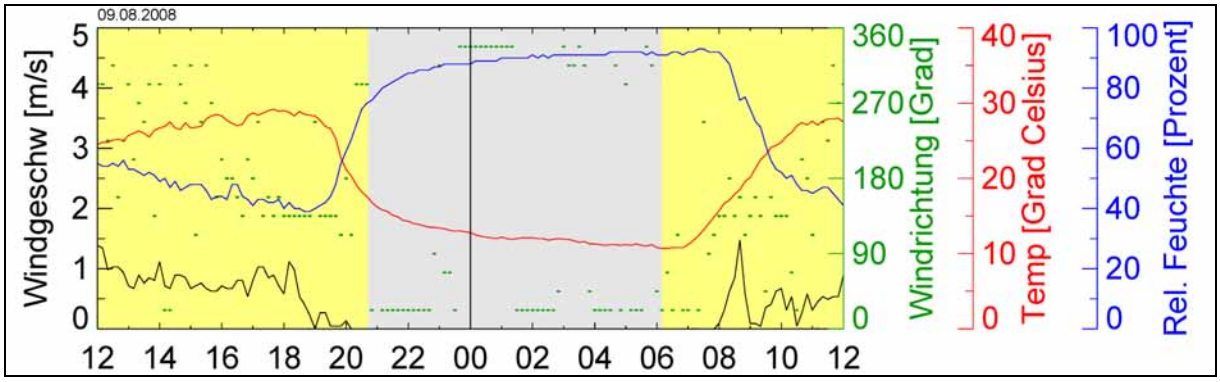


Abbildung 92: Tagesdiagramm der Station „Kochermühle“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

Betrachtung des gesamten Messzeitraums

Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen

- an beiden Stationen während Strahlungswetterlagen ca. 1 Stunde vor Sonnenuntergang rasche und starke Abnahme der Lufttemperatur
- anschließend an beiden Stationen langsame Abkühlung im Laufe der Nacht
- an beiden Stationen tiefste Temperaturen in den Morgenstunden um die Zeit des Sonnenaufgangs
- an beiden Stationen rasche Zunahme der Lufttemperatur ca. 2 Stunden nach Sonnenaufgang, an der Station „Kochermühle“ etwas schnellere Zunahme der Lufttemperatur.

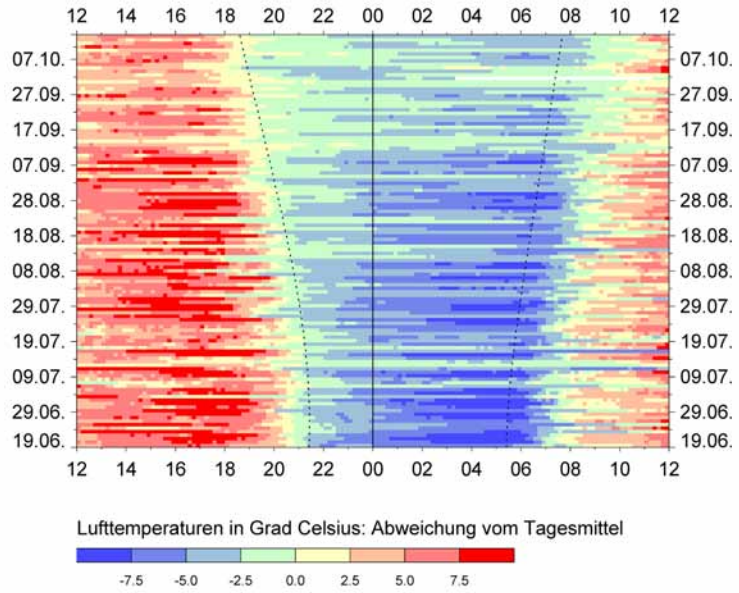


Abbildung 93: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Apflau“. Abweichung vom Tagesmittel

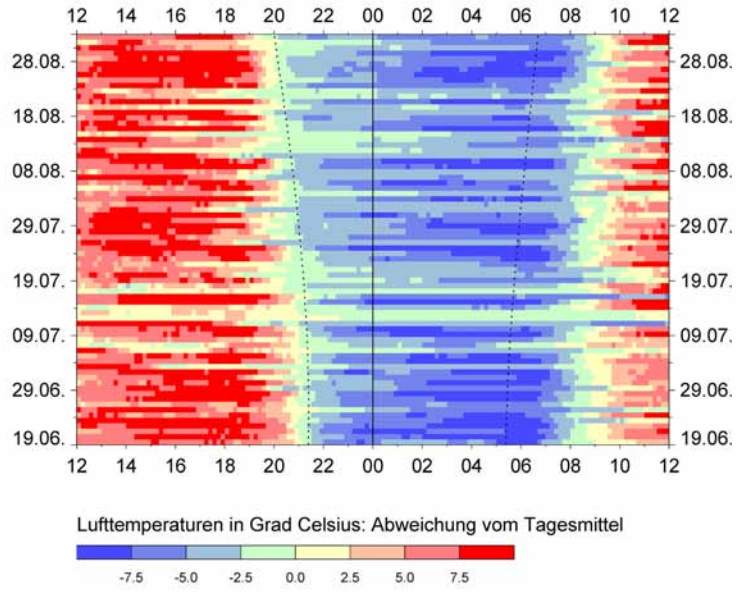


Abbildung 94: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Kochermühle“. Abweichung vom Tagesmittel.

Isoplethendarstellung der Windrichtungen

- Die Station „Apflau“ zeigt über den nahezu kompletten Messzeitraum eine deutliche Tagesperiodik der Windrichtungen. Tagsüber dominieren Winde aus W bis SW, in den Nachstunden dominieren Winde um ONO.
- kurz vor Sonnenuntergang dominiert häufig eine S-Komponente
- An der Station „Kochermühle“ dominieren in den Nachstunden Winde um NNO.
  - Hier ist noch deutlicher als an der Station „Apflau“ ist zu beobachten, wie oftmals kurz vor Sonnenuntergang eine S-Komponente dominiert.
- einige Stunden nach Sonnenaufgang drehen die Windrichtungen an beiden Stationen jeweils wieder auf die für sie typischen Verhältnisse während des Tages

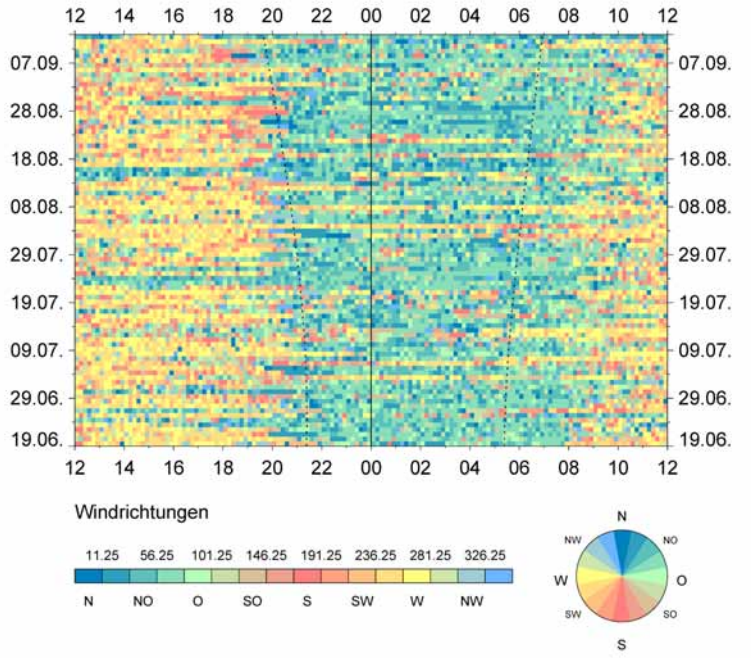


Abbildung 95: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Apflau“.

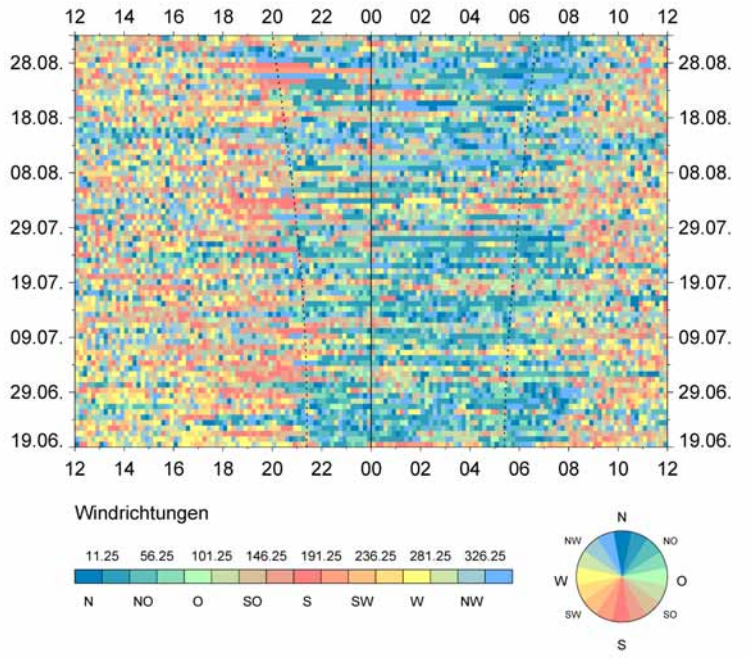


Abbildung 96: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Kochermühle“.

Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten

- Die Station „Apflau“ zeigt im Vergleich zur Station „Kochermühle“ tagsüber etwas höhere Windgeschwindigkeiten.
- an der Station „Apflau“ dominierende Windgeschwindigkeiten zwischen 1 und 3 m/s, an der Station „Kochermühle“ dominierende Windgeschwindigkeiten zwischen 0,5 und 2 m/s
- an beiden Stationen noch vor Sonnenuntergang Rückgang der Windgeschwindigkeit
- Die Station „Apflau“ zeigt während Strahlungswetterlagen eine ausgeprägte Schwachwindphase noch vor Sonnenuntergang. Danach nimmt die Windgeschwindigkeit wieder deutlich zu.
- In den Nachtstunden an der Station „Apflau“ Geschwindigkeiten zwischen 0 und 0,5 m/s. In der ersten Nachthälfte auch immer wieder Phasen mit bis zu 1 m/s.
- Die Station „Kochermühle“ zeigt an vielen Tagen nachts zumeist äußerst schwache Winde unter 0,1 m/s, selten auch bis 0,5 m/s.

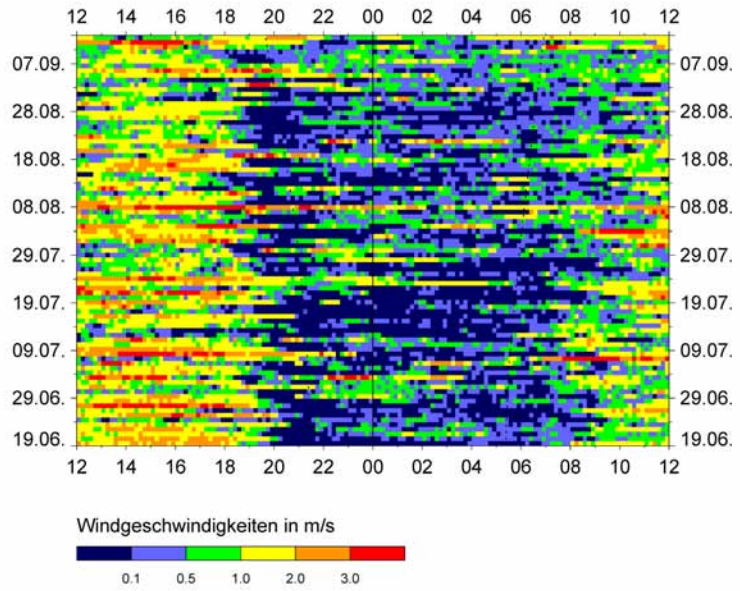


Abbildung 97: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Apflau“.

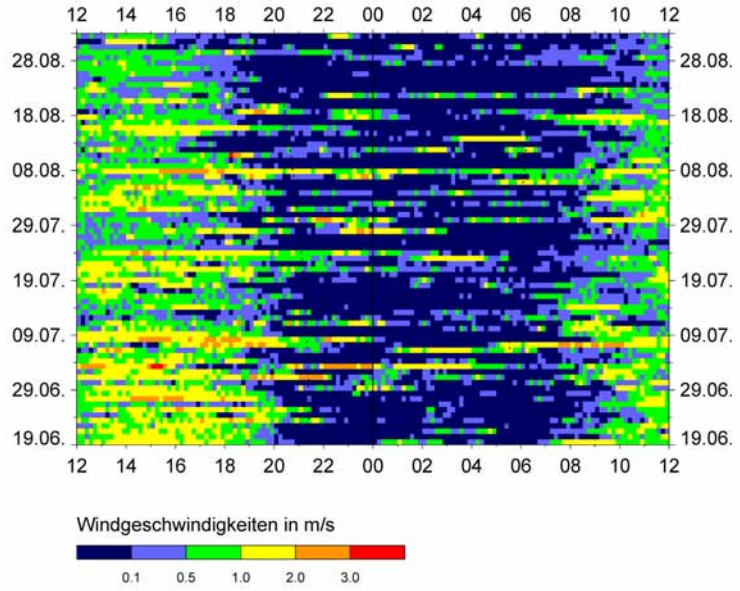


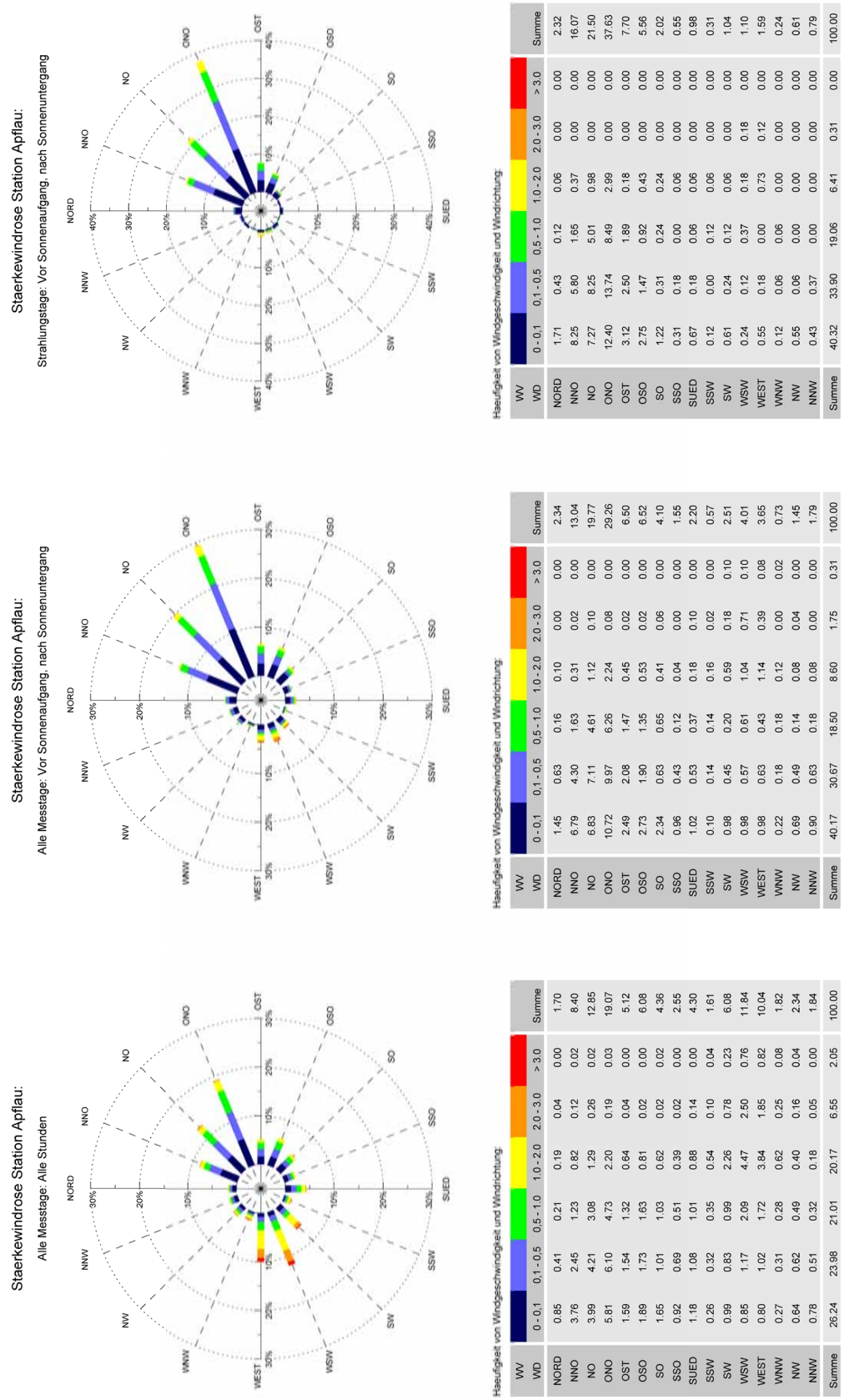
Abbildung 98: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Kochermühle“.

Stärkewindrosen der Station „Apflau“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Apflau“ Winde aus drei unterschiedlichen Richtungsschwerpunkten: Am häufigsten treten Winde aus ONO/NO/NNO auf, ein weiteres Maximum liegt im Bereich WSW/W.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so konzentrieren sich die Windrichtungen fast ausschließlich auf ONO/NO/NNO.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so ergibt sich eine noch größere Dominanz der oben genannten Windrichtungen (ONO/NO/NNO zusammen 75 %).
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen 0 und maximal 1 m/s, selten über 1 m/s.

Stärkewindrosen der Station „Kochermühle“

- An der Station „Kochermühle“ sind so gut wie keine Richtungsdominanzen zu erkennen. Lediglich die NNO-Richtung tritt etwas hervor.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so sind die Windrichtungen aus NNO/NO gegenüber den anderen Sektoren häufiger vertreten.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so ergibt sich eine deutliche Dominanz der oben genannten Windrichtungen (NNO/NO/ONO zusammen 50 %).
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall nahezu ausschließlich unter 0,1 m/s.



Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0.85	0.41	0.21	0.19	0.04	0.00	1.70
NNO	3.76	2.45	1.23	0.82	0.12	0.02	8.40
NO	3.99	4.21	3.08	1.29	0.26	0.02	12.85
ONO	5.81	6.10	4.73	2.20	0.19	0.03	19.07
OST	1.59	1.54	1.32	0.64	0.04	0.00	5.12
OSO	1.89	1.73	1.63	0.81	0.02	0.00	6.08
SO	1.65	1.01	1.03	0.62	0.02	0.02	4.36
SSO	0.92	0.69	0.51	0.39	0.02	0.00	2.55
SUED	1.18	1.08	1.01	0.88	0.14	0.00	4.30
SSW	0.26	0.32	0.35	0.54	0.10	0.04	1.61
SW	0.99	0.83	0.99	2.26	0.78	0.23	6.08
WSW	0.85	1.17	2.09	4.47	2.50	0.76	11.84
WEST	0.80	1.02	1.72	3.84	1.85	0.82	10.04
WNW	0.27	0.31	0.28	0.62	0.25	0.08	1.82
NW	0.64	0.62	0.49	0.40	0.16	0.04	2.34
NNW	0.78	0.51	0.32	0.18	0.05	0.00	1.84
Summe	26.24	23.98	21.01	20.17	6.55	2.05	100.00

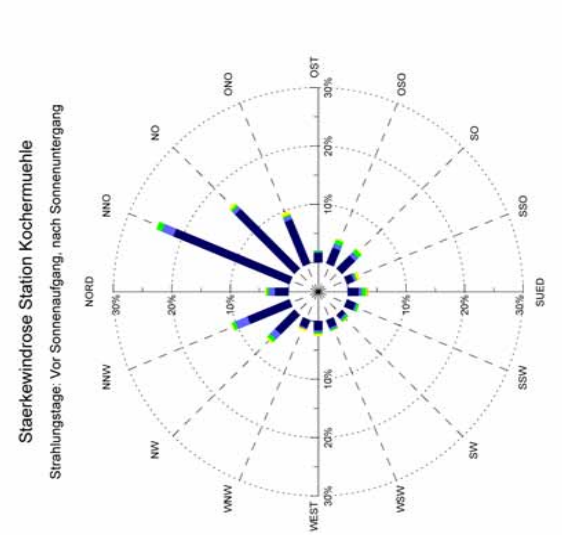
Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	1.45	0.63	0.16	0.10	0.00	0.00	2.34
NNO	6.79	4.30	1.63	0.31	0.02	0.00	13.04
NO	6.83	7.11	4.61	1.12	0.10	0.00	19.77
ONO	10.72	9.97	6.26	2.24	0.08	0.00	29.26
OST	2.49	2.08	1.47	0.45	0.02	0.00	6.50
OSO	2.73	1.90	1.35	0.53	0.02	0.00	6.52
SO	2.34	0.63	0.65	0.41	0.06	0.00	4.10
SSO	0.96	0.43	0.12	0.04	0.00	0.00	1.55
SUED	1.02	0.53	0.37	0.18	0.10	0.00	2.20
SSW	0.10	0.14	0.14	0.16	0.02	0.00	0.57
SW	0.98	0.45	0.20	0.59	0.18	0.10	2.51
WSW	0.98	0.57	0.61	1.04	0.71	0.10	4.01
WEST	0.98	0.63	0.43	1.14	0.39	0.08	3.65
WNW	0.22	0.18	0.18	0.12	0.00	0.02	0.73
NW	0.69	0.49	0.14	0.08	0.04	0.00	1.45
NNW	0.90	0.63	0.18	0.08	0.00	0.00	1.79
Summe	40.17	30.67	18.50	8.60	1.75	0.31	100.00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

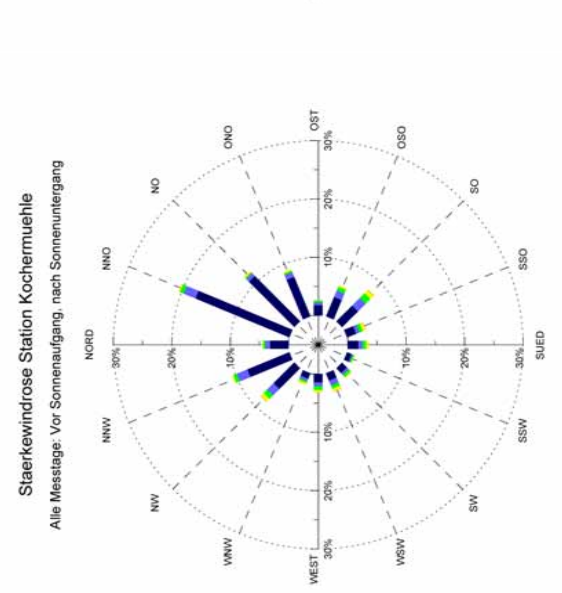
WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	1.71	0.43	0.12	0.06	0.00	0.00	2.32
NNO	8.25	5.80	1.65	0.37	0.00	0.00	16.07
NO	7.27	8.25	5.01	0.98	0.00	0.00	21.50
ONO	12.40	13.74	8.49	2.99	0.00	0.00	37.63
OST	3.12	2.50	1.89	0.18	0.00	0.00	7.70
OSO	2.75	1.47	0.92	0.43	0.00	0.00	5.56
SO	1.22	0.31	0.24	0.24	0.00	0.00	2.02
SSO	0.31	0.18	0.00	0.06	0.00	0.00	0.55
SUED	0.67	0.18	0.06	0.06	0.00	0.00	0.98
SSW	0.12	0.00	0.12	0.06	0.00	0.00	0.31
SW	0.61	0.24	0.12	0.06	0.00	0.00	1.04
WSW	0.24	0.12	0.37	0.18	0.18	0.00	1.10
WEST	0.55	0.18	0.00	0.73	0.12	0.00	1.59
WNW	0.12	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.24
NW	0.55	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61
NNW	0.43	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79
Summe	40.32	33.90	19.06	6.41	0.31	0.00	100.00

Abbildung 99: Stärkewindrosen der Station „Apflau“. Angaben in Prozent.



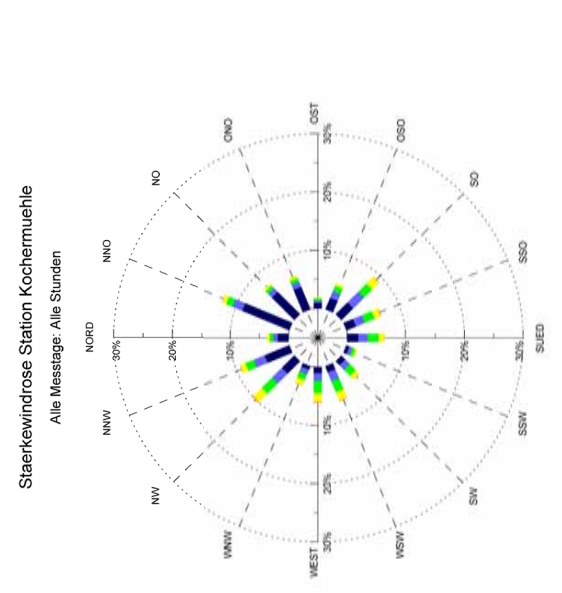
Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	2.33	1.06	0.40	0.20	0.00	0.00	3.99
NNO	21.48	2.13	1.00	0.07	0.00	0.00	24.67
NO	14.36	0.66	0.40	0.47	0.00	0.00	15.89
ONO	8.18	0.66	0.27	0.60	0.00	0.00	9.71
OST	1.66	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	2.06
OSO	2.93	0.73	0.73	0.20	0.00	0.00	4.59
SO	3.13	0.73	0.80	0.20	0.00	0.00	4.85
SSO	1.26	0.40	0.20	0.40	0.07	0.00	2.33
SUED	1.86	0.53	0.73	0.20	0.13	0.00	3.46
SSW	1.60	0.27	0.40	0.07	0.00	0.00	2.33
SW	0.80	0.33	0.40	0.13	0.00	0.00	1.66
WSW	1.40	0.33	0.27	0.07	0.00	0.00	2.06
WEST	1.60	0.33	0.27	0.40	0.00	0.00	2.59
WNW	1.46	0.27	0.00	0.40	0.00	0.00	2.13
NW	4.65	1.20	0.66	0.33	0.00	0.00	6.85
NNW	7.78	2.26	0.60	0.20	0.00	0.00	10.84
Summe	76.46	12.10	7.31	3.92	0.20	0.00	100.00



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	3.14	0.84	0.38	0.14	0.00	0.00	4.50
NNO	17.39	2.16	0.69	0.22	0.02	0.00	20.47
NO	10.94	0.69	0.24	0.26	0.00	0.00	12.14
ONO	7.28	0.91	0.26	0.29	0.00	0.00	8.74
OST	1.75	0.50	0.34	0.02	0.00	0.00	2.61
OSO	3.57	1.22	0.67	0.31	0.02	0.00	5.80
SO	3.78	1.87	1.15	0.72	0.14	0.00	7.66
SSO	1.65	0.62	0.62	0.48	0.07	0.00	3.45
SUED	1.80	0.74	0.60	0.31	0.05	0.00	3.50
SSW	0.84	0.22	0.29	0.07	0.00	0.00	1.41
SW	1.13	0.48	0.48	0.19	0.02	0.00	2.30
WSW	1.34	0.91	0.62	0.48	0.10	0.00	3.45
WEST	1.44	0.62	0.67	0.36	0.02	0.00	3.11
WNW	0.98	0.48	0.31	0.31	0.05	0.00	2.13
NW	4.98	1.58	0.84	0.62	0.10	0.00	8.12
NNW	7.76	1.96	0.65	0.24	0.00	0.00	10.61
Summe	69.76	15.80	8.81	5.03	0.60	0.00	100.00



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.83	0.79	0.62	0.39	0.02	0.00	3.65
NNO	8.71	1.82	1.15	0.73	0.05	0.00	12.47
NO	5.39	0.89	0.65	0.36	0.02	0.00	7.31
ONO	4.14	0.97	0.65	0.46	0.04	0.00	6.26
OST	0.98	0.40	0.34	0.16	0.00	0.00	1.88
OSO	2.11	1.25	0.99	0.44	0.01	0.00	4.81
SO	2.84	2.61	1.96	1.55	0.13	0.00	9.08
SSO	1.74	1.68	1.79	1.09	0.14	0.01	6.44
SUED	1.92	1.60	1.89	0.90	0.08	0.00	6.39
SSW	0.57	0.56	0.53	0.29	0.06	0.00	2.01
SW	0.94	1.08	1.47	0.83	0.03	0.01	4.36
WSW	1.11	1.66	2.04	1.49	0.14	0.01	6.44
WEST	1.07	1.33	2.10	1.38	0.20	0.00	6.08
WNW	0.61	0.88	1.07	0.94	0.08	0.00	3.59
NW	2.99	2.38	2.51	1.97	0.23	0.02	10.08
NNW	4.56	2.02	1.52	0.95	0.08	0.00	9.14
Summe	41.52	21.92	21.29	13.92	1.29	0.05	100.00

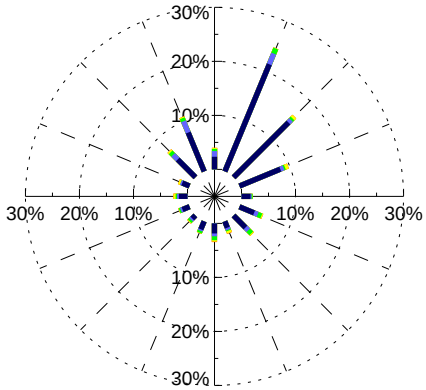
Abbildung 100: Stärkewindrosen der Station „Kochermühle“. Angaben in Prozent.

Abbildung 101: Folgende Seite: Stärkewindrosen im Untersuchungsgebiet „Argental“ (Strahlungsnächte).

REKLIBO Staerkewindrosen

Untersuchungsgebiet Argental

Windrichtungshaeufigkeiten
Nur Strahlungstage, Nachtstunden



Windgeschwindigkeiten in m/s:

- < 0.1
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- > 3.0

Datengrundlage:
Digitales Gelaendemodell (DGM5): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).
Landnutzungsdaten: Landsat TM5, Ebene 3, 1996/1997.

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.4.4.2 Ergebnisse der Handmessungen

Messtag 1: 26.06.2008

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.29 Uhr und 23.14 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 20.29 Uhr und 21.03 Uhr MESZ zeigen sehr unterschiedliche Windrichtungen bei Geschwindigkeiten zwischen 0,1 und 0,3 m/s.
- Während der zweiten Messung zwischen 21.22 Uhr und 22.12 Uhr MESZ werden an den Standorten HM1 und HM2 talabwärts gerichtete Geschwindigkeiten mit 0,6 bzw. 1 m/s erfasst. Am Standort HM3 herrscht eine O-Richtung mit 0,6 m/s.
- Die dritte Messung zwischen 22.50 Uhr und 23.14 Uhr MESZ zeigt an allen Standorten talabwärts orientierte Luftbewegungen. Am Standort HM1 wurden Geschwindigkeiten von 0,4 m/s erfasst, an den Standorten HM2 und HM3 1,1 bzw. 1,5 m/s.

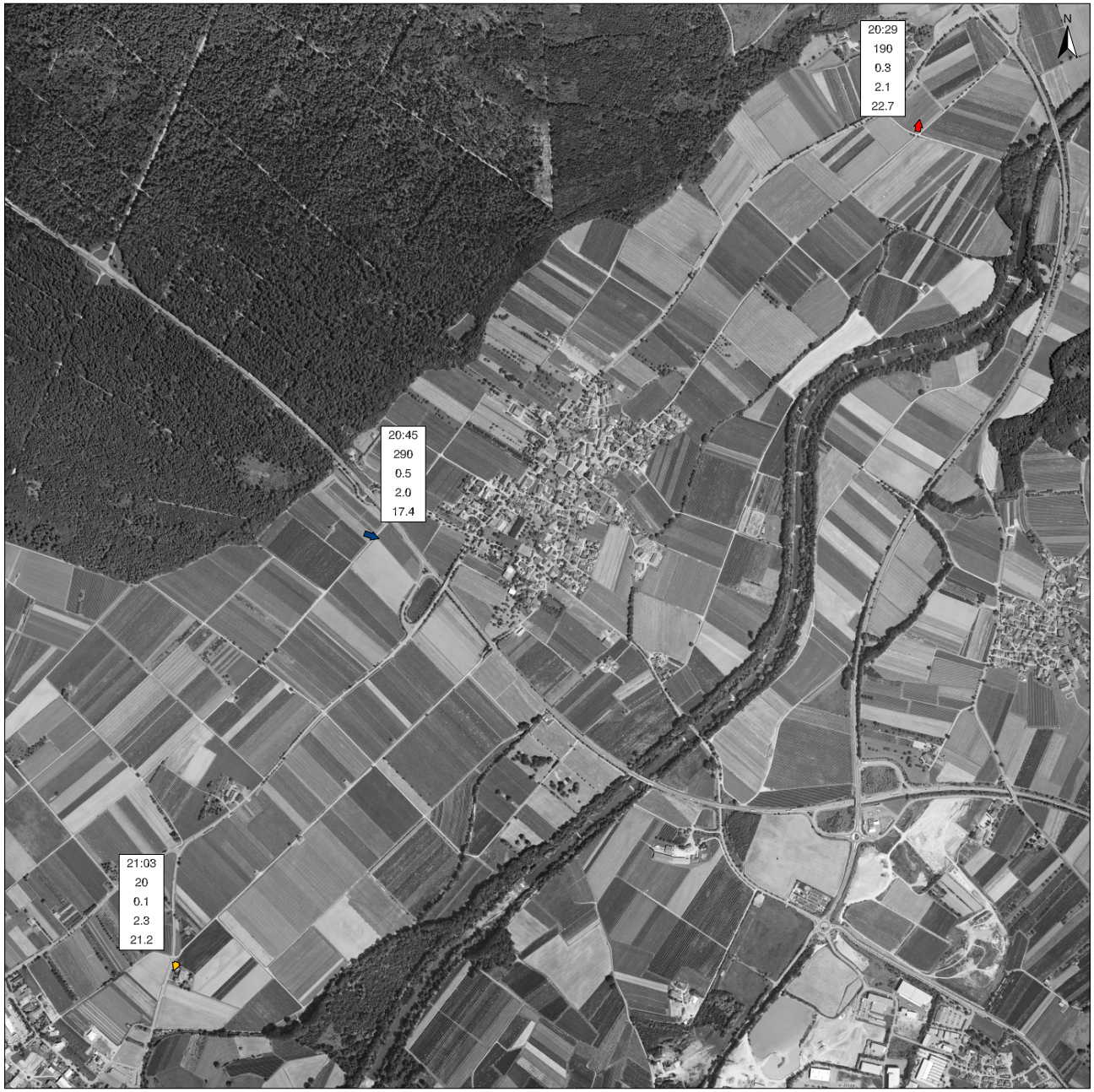
Messtag 2: 01.07.2009

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.29 Uhr und 23.19 Uhr MESZ. Um die Zeit des Sonnenuntergangs bildeten sich in der Umgebung des Messraums Gewitter, die dann aber rascher wieder auflösten.
- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 20.29 Uhr und 20.56 Uhr MESZ zeigen bei OSO-/SO-Richtungen sehr hohe Geschwindigkeiten von bis zu 4,6 m/s.
- während der zweiten Messung zwischen 21.59 Uhr und 22.24 Uhr MESZ zeigen alle Standorte talabwärts orientierte Luftbewegungen zwischen 1,5 und 1,9 m/s
- Die dritte Messung zwischen 22.08 Uhr und 23.19 Uhr MESZ weist ebenfalls an allen Stationen talabwärts gerichtete Luftbewegungen auf. An den Standorten HM1 und HM2 wurden Geschwindigkeiten von 0,8 bzw. 1 m/s erfasst, am Standort HM3 2,1 m/s.

Messtag 3: 10.07.2009

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.32 Uhr und 23.21 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 20.32 Uhr und 20.57 Uhr MESZ zeigen sehr unterschiedliche Windrichtungen bei Geschwindigkeiten zwischen 0,2 und 0,6 m/s.
- während der zweiten Messung zwischen 21.56 Uhr 22.23 Uhr an allen Standorten talabwärts orientierte Luftbewegungen. An den Standorten HM1 und HM3 Geschwindigkeiten von 0,9 m/s, am Standort HM2 1,5 m/s
- Die dritte Messung zwischen 22.56 Uhr und 23.21 Uhr MESZ zeigt wiederum an allen Standorten talabwärts gerichtete Luftbewegungen. Am Standort HM1 werden Geschwindigkeiten von 0,3 m/s erfasst, an den Standorten HM2 und HM3 1,5 bzw. 1,2 m/s.

Abbildung 102: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Untersuchungsgebiet „Argental“.



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Argental

26.06.2008, 20:29:00 - 21:03:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

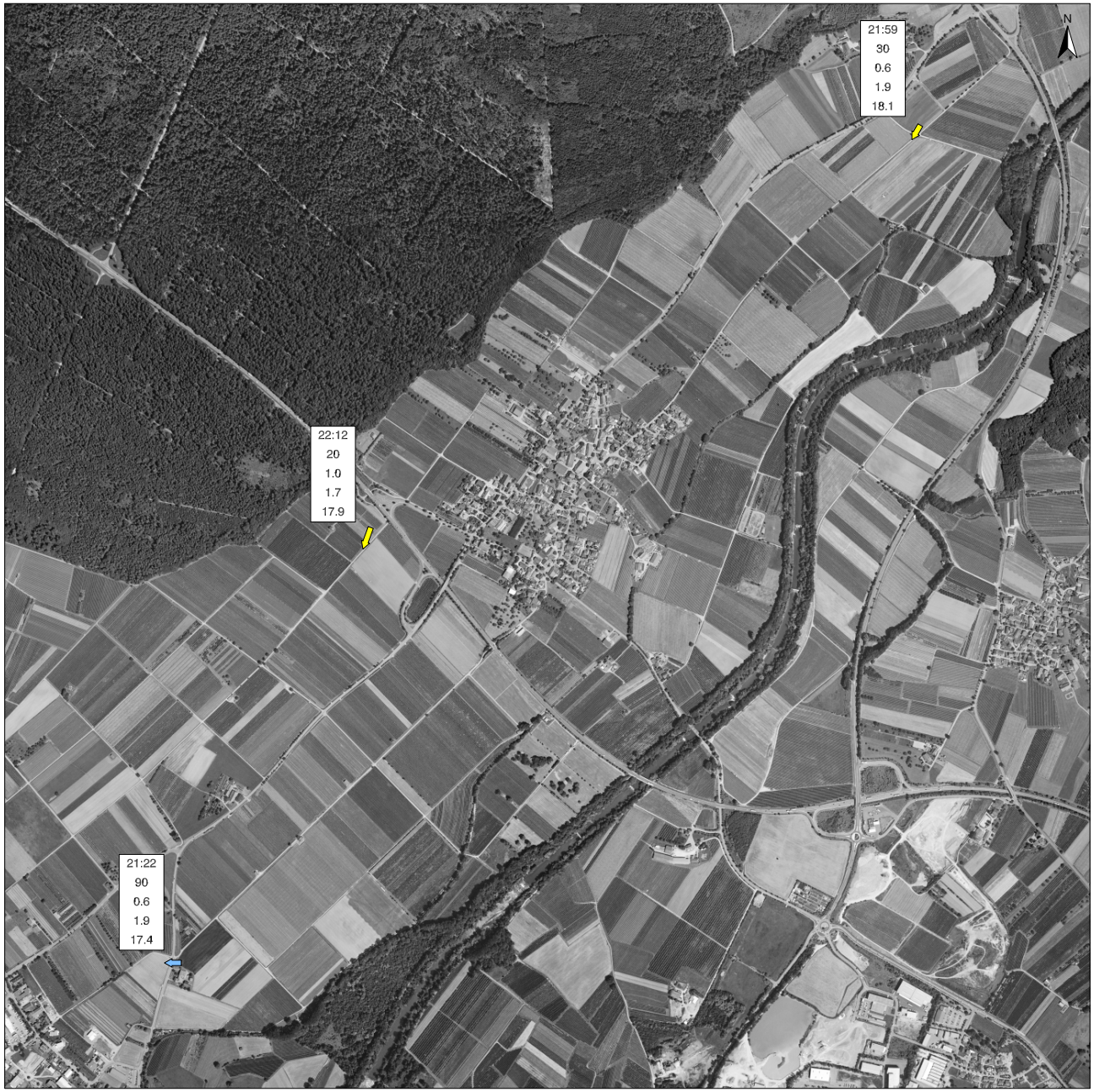
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Argental

26.06.2008, 21:22:00 - 22:12:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

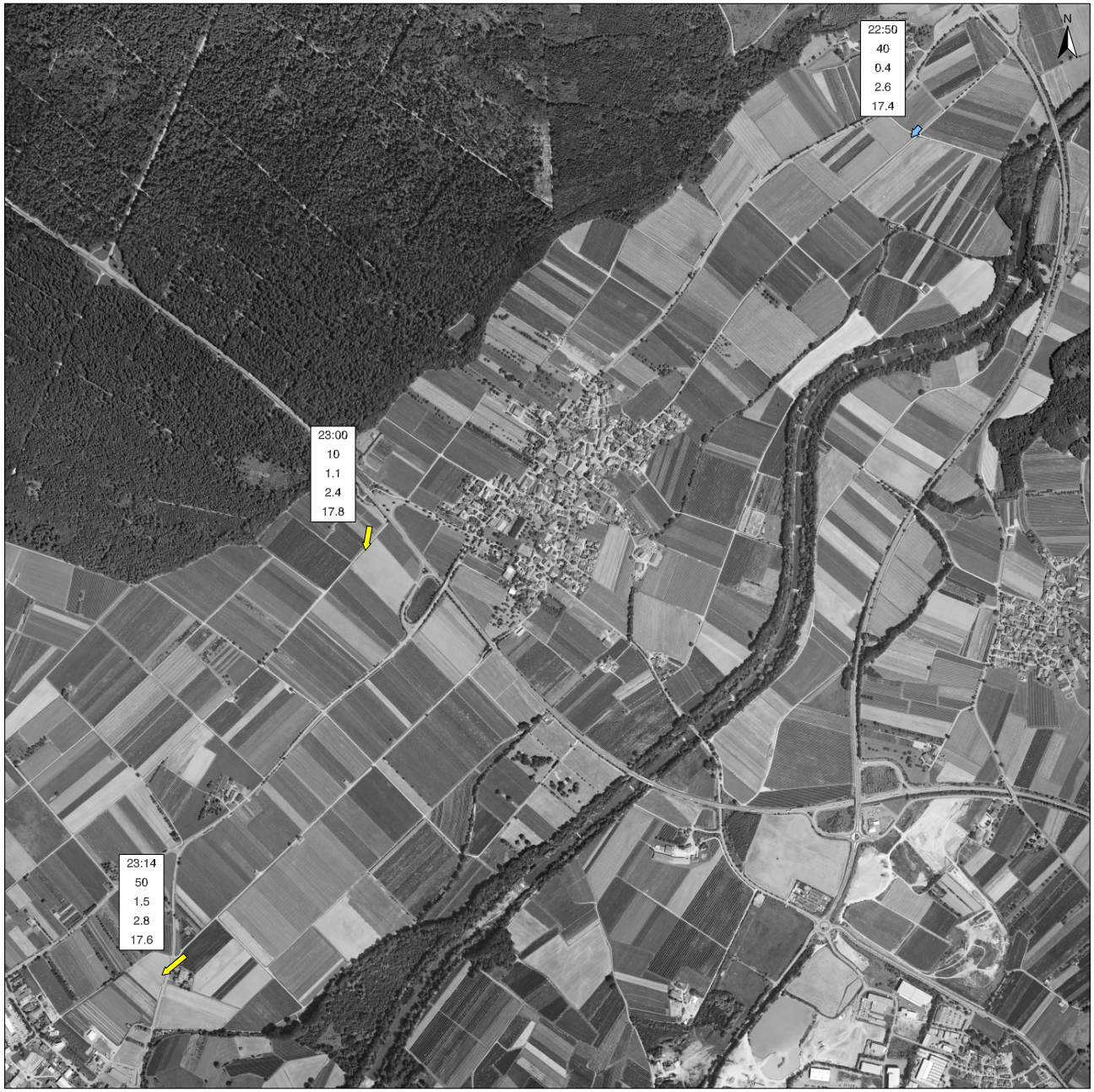
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Argental

26.06.2008, 22:50:00 - 23:14:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

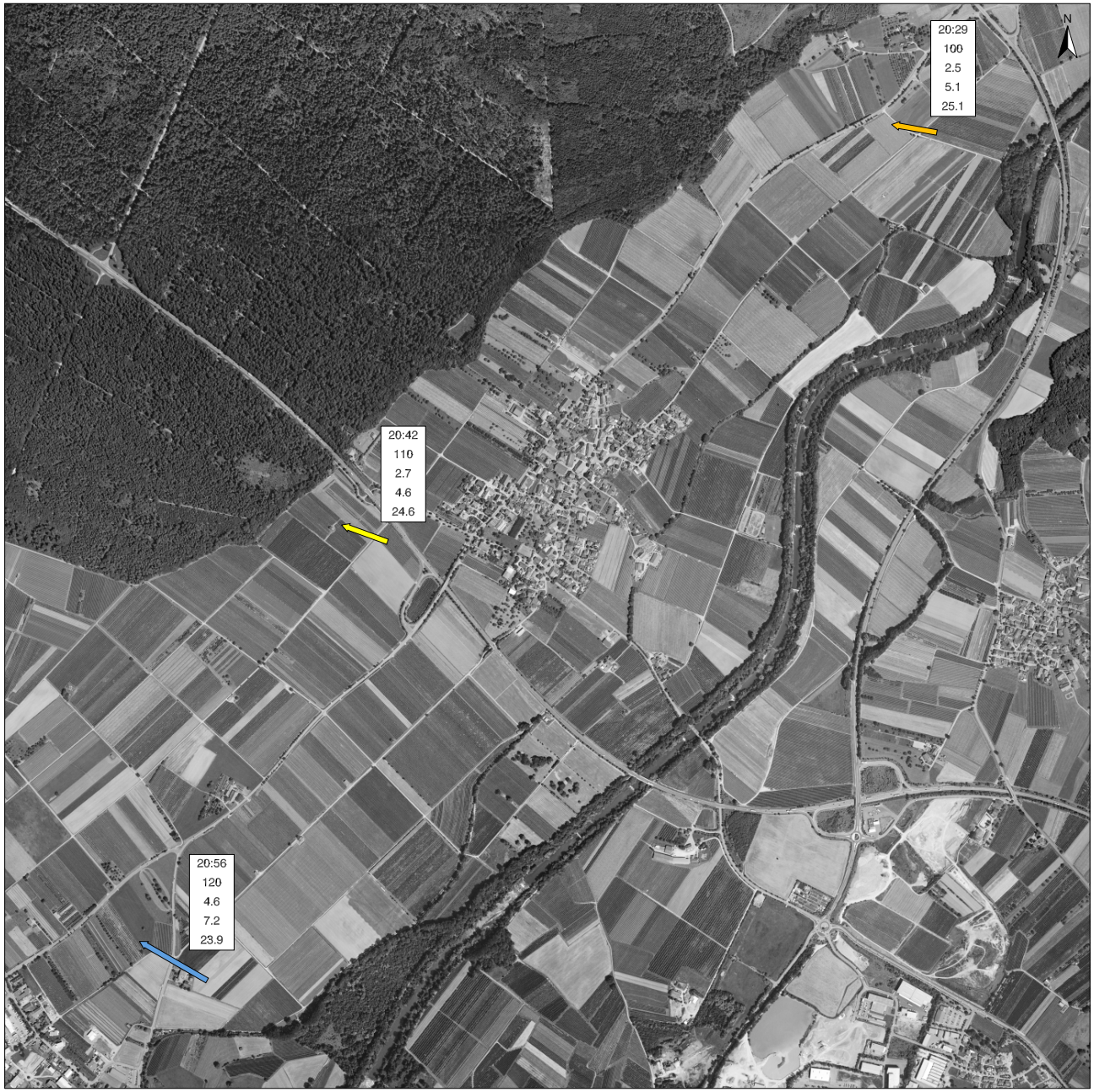
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Argental

01.07.2008, 20:29:00 - 20:56:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

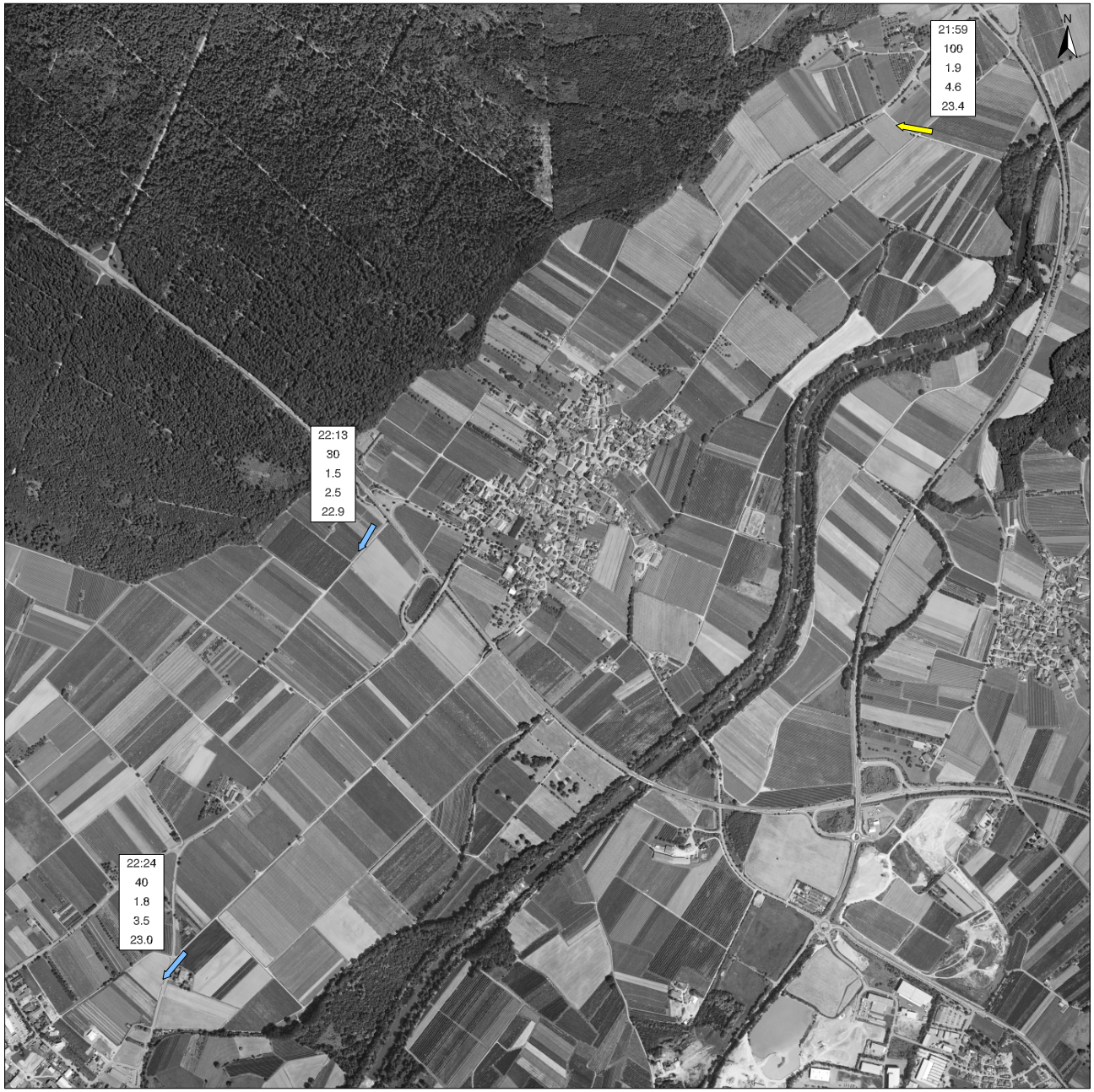
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Argental

01.07.2008, 21:59:00 - 22:24:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

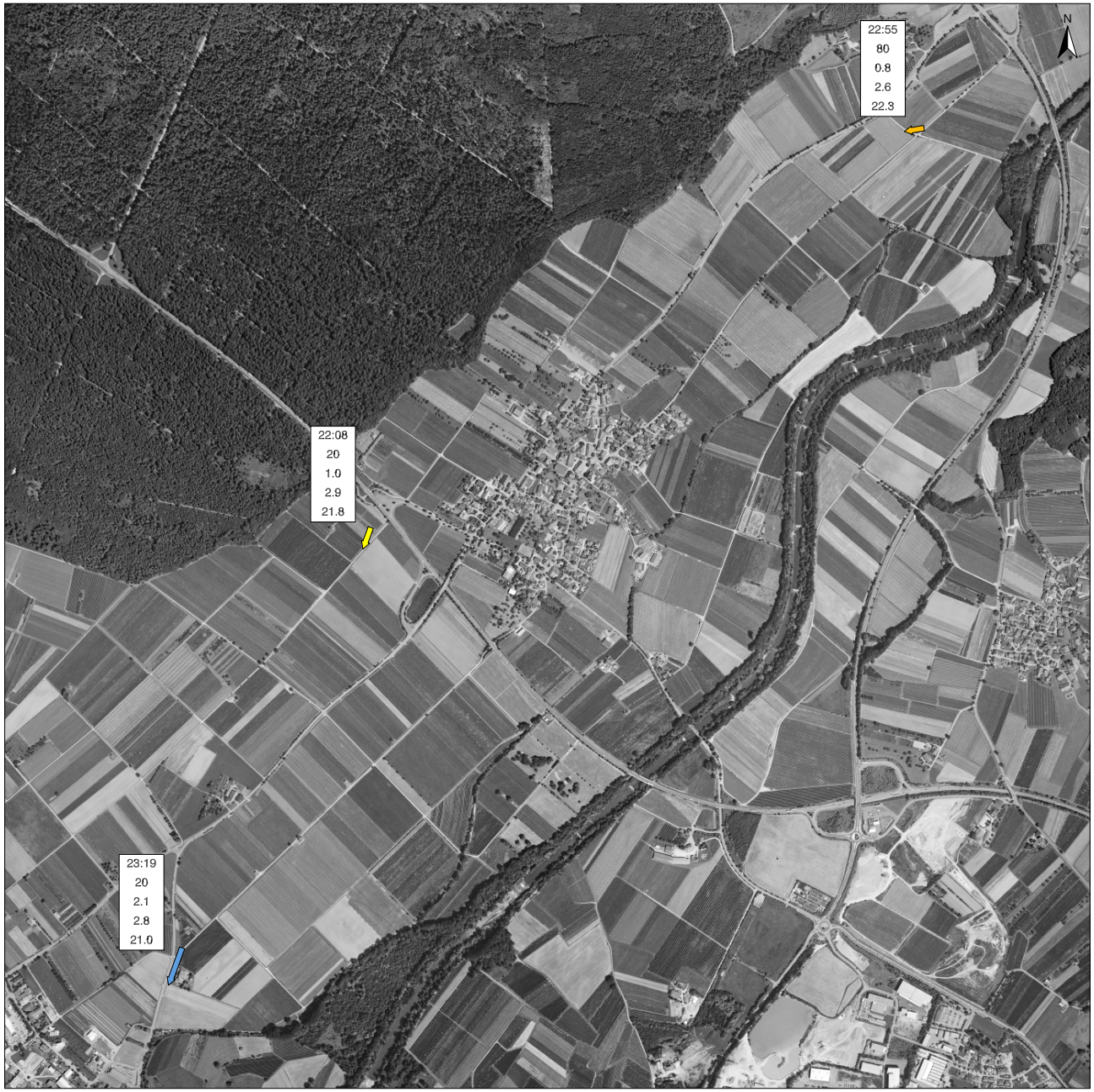
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Argental

01.07.2008, 22:08:00 - 23:19:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

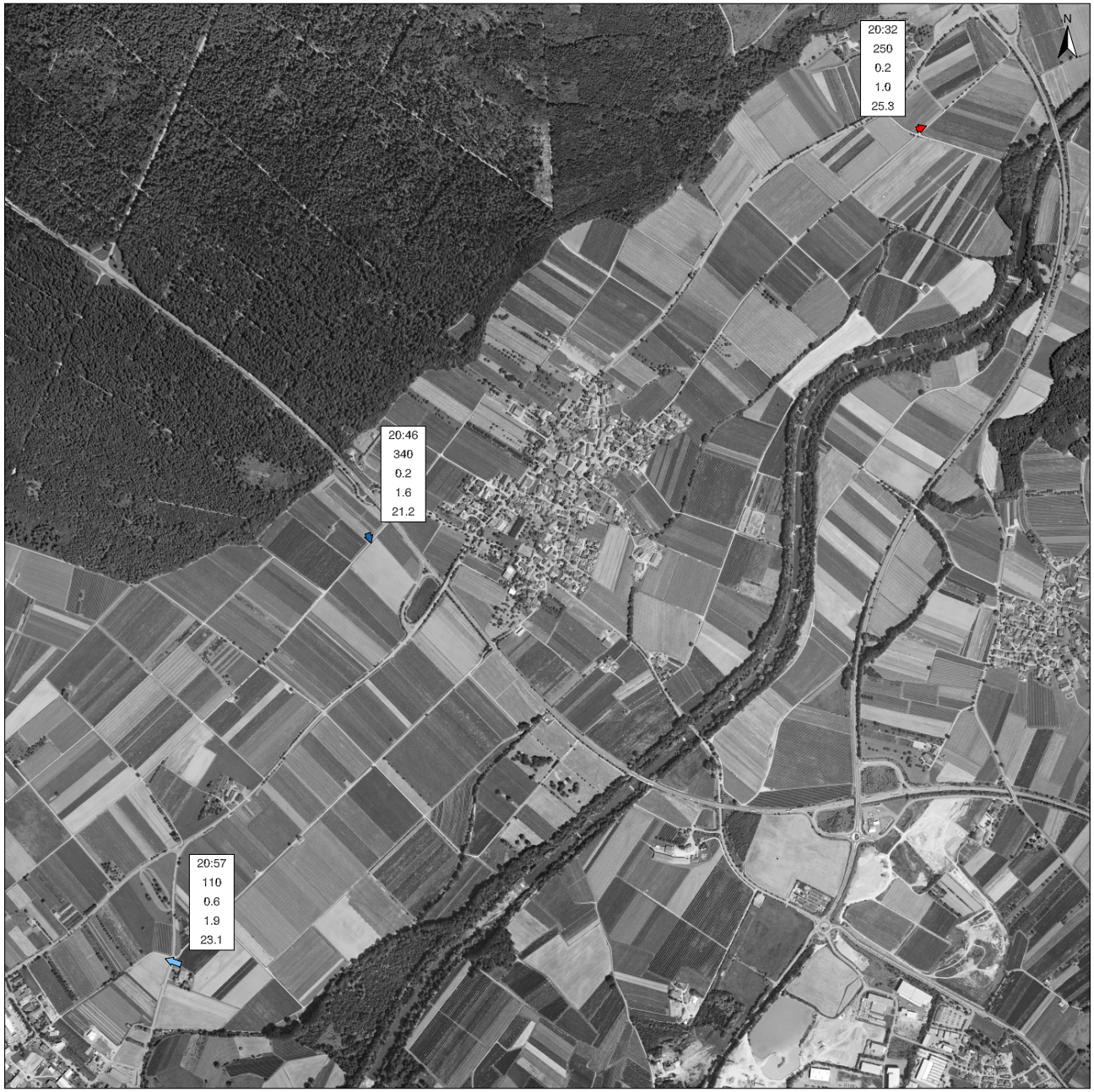
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Argental

10.07.2008, 20:32:00 - 20:57:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

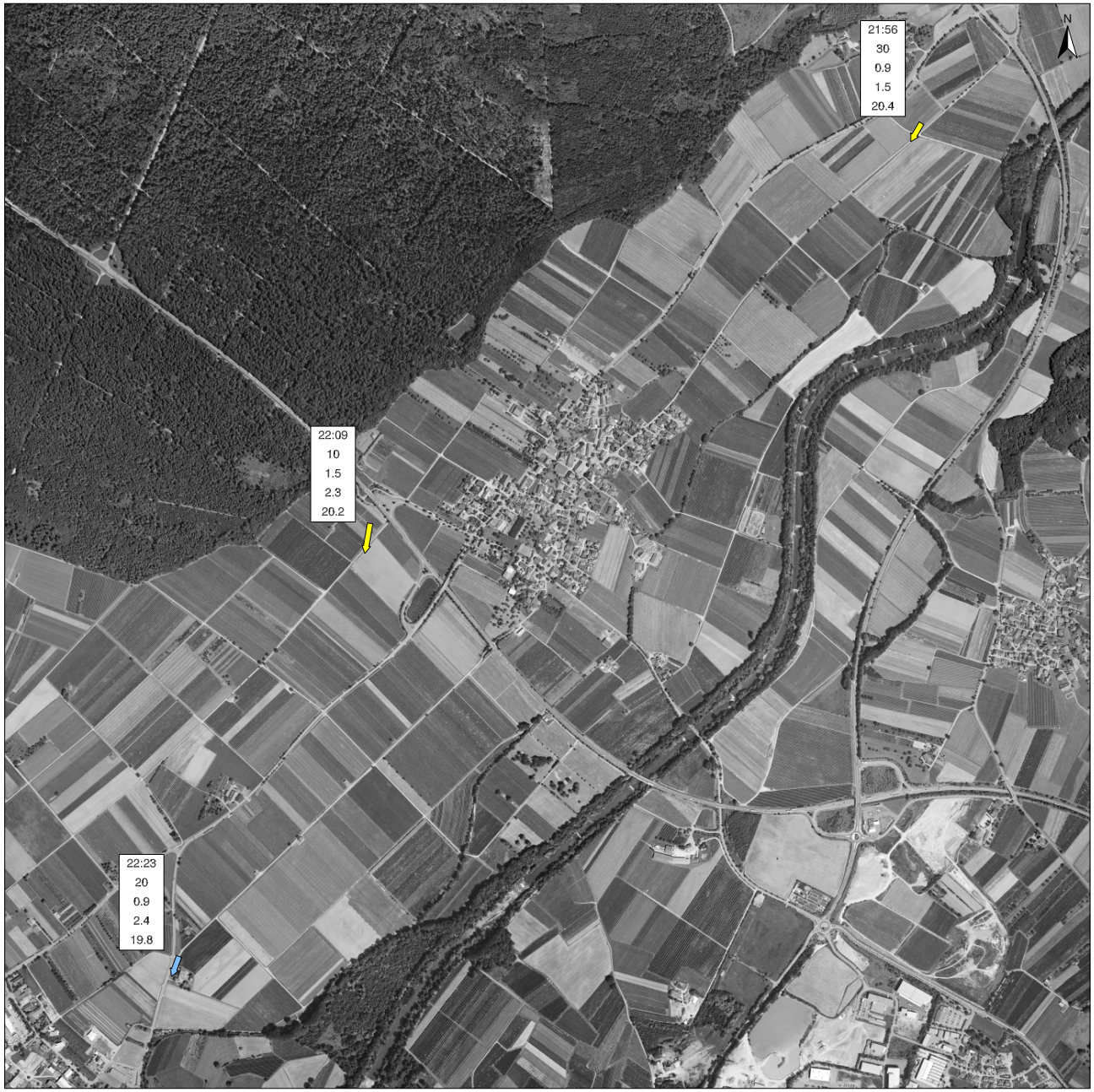
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Argental

10.07.2008, 21:56:00 - 22:23:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

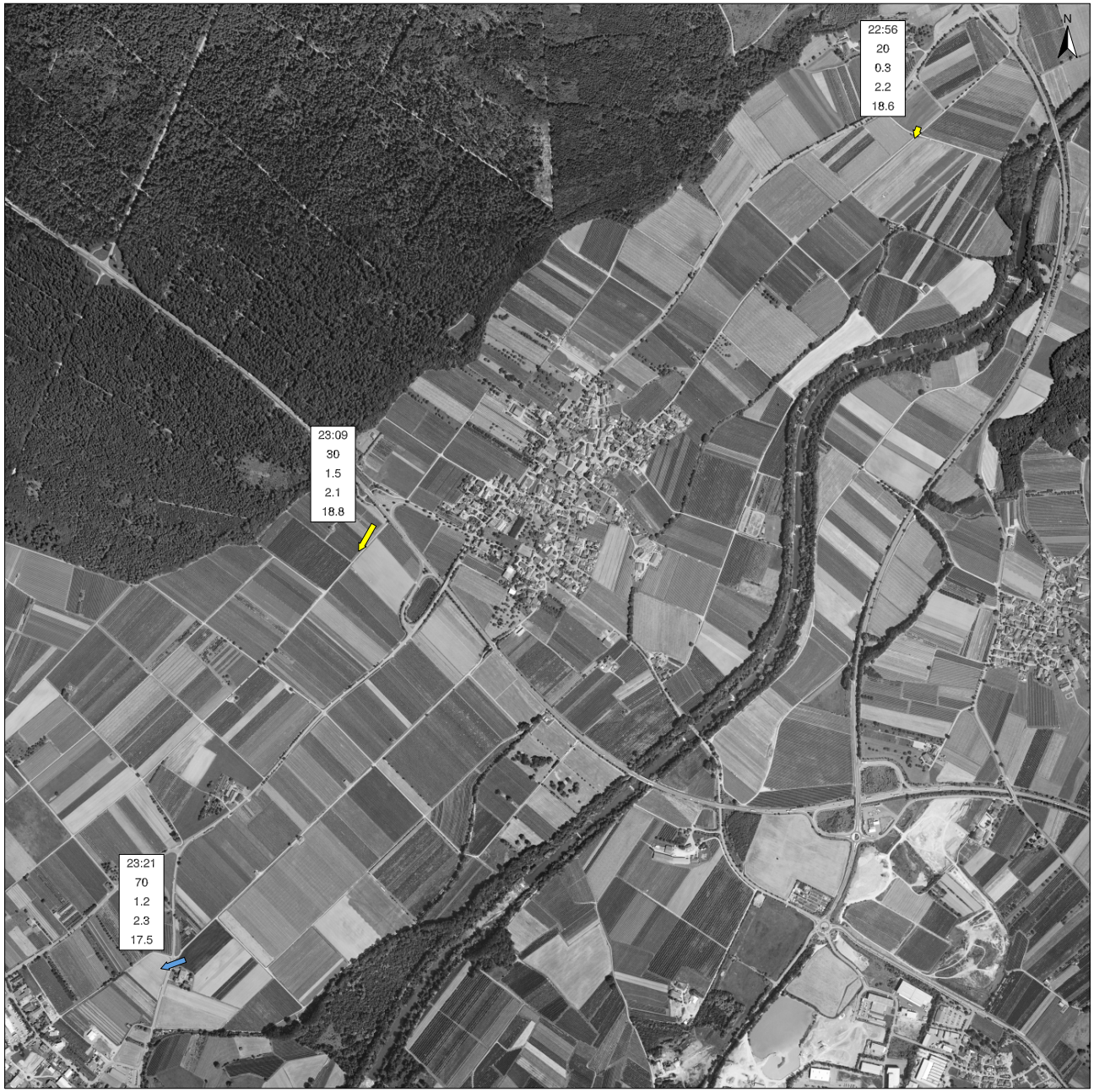
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Argental

10.07.2008, 22:56:00 - 23:21:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.4.5 Interpretation der Messergebnisse

Berg-Tal-Windsystem im Argental

Die über den nahezu kompletten Messzeitraum dominierende Tagesperiodik der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten an der Station „Apflau“ lässt auf die Existenz eines thermisch induzierten Windsystems schließen. Die nächtliche Strömung aus den Richtungen um ONO entspricht der Richtung der Haupttalachse des Argentals im Untersuchungsgebiet (vgl. Abbildung 99).

Neben Nächten mit einem durchgehenden Talabwind gibt es auch Situationen, bei denen der Talabwind im Laufe der Nacht ganz zum Erliegen kommt. In vielen Nächten kann auch ein typisches, pulsierendes Verhalten der Windgeschwindigkeit beobachtet werden (vgl. Tagesdiagramme der Funkwetterstationen „Apflau“ auf CD).

Reichweite des nächtlichen Talabwindes aus dem Argental

Auch an der Station „Kochermühle“ ist eine entsprechende Tagesperiodik der Windgeschwindigkeit und Windrichtung erkennbar, wenn auch die Geschwindigkeiten hier auf einem sehr niedrigeren Niveau liegen. Die nächtlichen Hauptwindrichtungen bewegen sich zwischen NW und ONO, was wiederum der Lage im Relief entspricht (zu vermutende Hauptwindrichtung eines Talabwindes aus dem Argental in Richtung Bodensee).

Die wesentlich geringeren bodennahen Windgeschwindigkeiten an der Station „Kochermühle“ sind auf mehrere Ursachen zurückzuführen. Der Talabwind aus dem Argental unterliegt nach Verlassen des Argentals (Mündung in das Bodenseebecken) einer Divergenz, verursacht durch die sich weitende Landschaft. Ferner sorgen die zahlreichen Obstgärten in der unmittelbaren Umgebung der Station für eine erhöhte Bodenreibung. Zusammen mit den hier sehr geringen allgemeinen Geländeneigungen dürfte dies dazu führen, dass es verstärkt zur Kaltluftansammlung und zu einer deutlichen Reduktion der Kaltluftbewegungen kommt.

Auch die Ergebnisse der Handmessungen lassen Rückschlüsse über die Reichweite des Talabwindes aus dem Argental zu. Nach Sonnenuntergang weisen alle Handmessstandorte Windrichtungskomponenten aus Richtung des Argentals auf. Dies gilt insbesondere für den Standort HM3 nordöstlich von Langenargen.

Es bleibt jedoch offen, ob die hier beobachteten Luftbewegungen auf Talabwinde aus dem Argental oder auf die Wirkung eines nächtlichen Landwindes zurückgehen. Letzteres wäre aufgrund der räumlichen Nähe zum Bodenseeufer durchaus möglich (s.u.).

Die relativ hohen Windgeschwindigkeiten am Handmessstandort zwischen der Ortschaft Oberdorf und dem Tettnanger Wald könnten auf einen kleinräumigen Düseneffekt zwischen Siedlungskörper und Waldgebiet zurück gehen.

Verzahnung von Kaltluftabflüssen und einem Land-See-Windsystem

Theoretisch müssten sich ein Berg-Talwind-System und ein Land-Seewind-System im vorliegenden Untersuchungsraum gegenseitig positiv verstärken, da beide einer vergleichbaren Tag-Nacht-Periodik unterliegen. So strömt sowohl der nächtliche Talabwind aus dem Argental, als auch der nächtliche Landwind in Richtung Bodensee. Aber gerade aufgrund dieser gleichen Ausrichtung lassen sich aus den gewonnenen Messdaten die beiden Systeme nur schwer unterscheiden.

Die während des Messzeitraums vor der abendlichen Umschlagsituation an den Stationen „Apflau“ und „Kochermühle“ häufig zu beobachtenden südlichen Windrichtungen könnten jedoch als Seewinde gedeutet werden. Es ist denkbar, dass sie genau dann hervortreten, wenn in der abendlichen Umschlagsphase talaufwärts gerichtete Luftbewegungen bereits

eingeschlafen sind und sich die talabwärts gerichteten Kaltluftbewegungen aus dem Argental noch nicht eingestellt haben. An der Station „Kochermühle“ ist dies häufiger und deutlicher ausgeprägt zu beobachten als an der Station „Apflau“, die wesentlich weiter vom Bodensee entfernt liegt.

Ebenfalls auffällig sind die unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten an den verschiedenen Handmessstandorten. Immer wieder weist der südlichste und somit dem See am nächsten gelegene Standort HM3 gleich hohe oder sogar höhere Windgeschwindigkeiten auf, als der weiter nördlich gelegene Standort HM2. Wenn man davon ausgeht, dass sich der Talabwind mit zunehmender Entfernung von der Talmündung abschwächen müsste, liegt die Vermutung nahe, dass hier ein nächtlicher Landwind für die erhöhten Windgeschwindigkeiten verantwortlich ist.

4.4.6 Fazit

Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse aus den durchgeführten Messprogrammen stichwortartig zusammengefasst:

- Im eigentlichen Argental ist ein nächtlicher Talabwind deutlich nachweisbar.
- Nach der Mündung in das Bodenseebecken nehmen die bodennahen Windgeschwindigkeiten deutlich ab.
- Trotzdem sind im kompletten Untersuchungsraum bodennahe Luftbewegungen vom Argental in Richtung Bodensee zu beobachten.
- Dies gilt insbesondere auch für den Siedlungsrand von Langenargen.
- Vermutlich verstärken sich hier die Einflüsse eines „auslaufenden“ Talabwindes und eines nächtlichen Landwindes gegenseitig.

4.4.7 Vergleich mit den Modellergebnissen

Ein zentrales Ziel des REKLIBO-Messprogramms war die Validierung der Ergebnisse der Modellrechnungen. Abschließend erfolgt deshalb ein Vergleich zwischen den oben beschriebenen wichtigsten Messergebnissen im Untersuchungsgebiet und den dort modellierten Prozessen.

Zur besseren Lesbarkeit wurde für die hier vorliegende Druckfassung aus den Gesamtergebnissen das entsprechende Teilgebiet extrahiert und vergrößert dargestellt. Um die zeitliche Dynamik wiederzugeben wurden von den insgesamt 12 Zeitschnitten die Ergebnisse nach Stunde 1, 2, 4, 8 und 12 ausgewählt. Sie sollen einen Überblick sowohl über die frühen Entwicklungen während einer Nacht als auch über die gesamte Simulationszeit von 12 Stunden ermöglichen. Dargestellt werden die Kaltluftmächtigkeiten, die mittleren Windgeschwindigkeiten über die gesamte Kaltluftsäule, sowie die daraus berechneten Volumenströme (vgl. Band 2). Ergänzt werden diese Darstellungen durch die Abbildung der Klimaanalysekarte für den Bereich des Untersuchungsgebietes. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass in vielen Situationen durch die Betrachtung eines größeren Gebietes die räumlichen Zusammenhänge häufig besser erklärbar werden.

Ein Vergleich der dargestellten Modellergebnisse mit den zentralen Aussagen der durchgeführten Messungen zeigt im Untersuchungsgebiet „Argental“ eine recht gute Übereinstimmung. Im Einzelnen lässt sich das an folgenden Phänomenen festmachen:

- Das Modell berechnet für den Bereich des Argentals kurz vor der Mündung ins Bodenseebecken einen sehr deutlichen nächtlichen Talabwind.
- Auch für den Bereich zwischen der Mündung ins Bodenseebecken und Langenargen werden noch beträchtliche Volumenströme berechnet, die sich nach 4 Stunden Simulationszeit auch in recht hohen Windgeschwindigkeiten niederschlagen. Gegen Ende der Simulationszeit hingegen sorgen die Kaltluftansammlungen im Bodenseebecken dafür, dass es zu einer deutlichen Reduktion der auftretenden Geschwindigkeiten durch Rückstaueffekte ins Argental hinein kommt. Dies deckt sich recht gut mit den Beobachtungen an der Station „Apflau“, die in der zweiten Nachthälfte geringere Windgeschwindigkeiten zeigt.
- Kleinräumig machen sich im Modell Düsen- oder Kanalisierungseffekte zwischen Wald- und Siedlungsgebieten bemerkbar, die in ähnlicher Form auch über die Handmessungen nachgewiesen werden konnten.

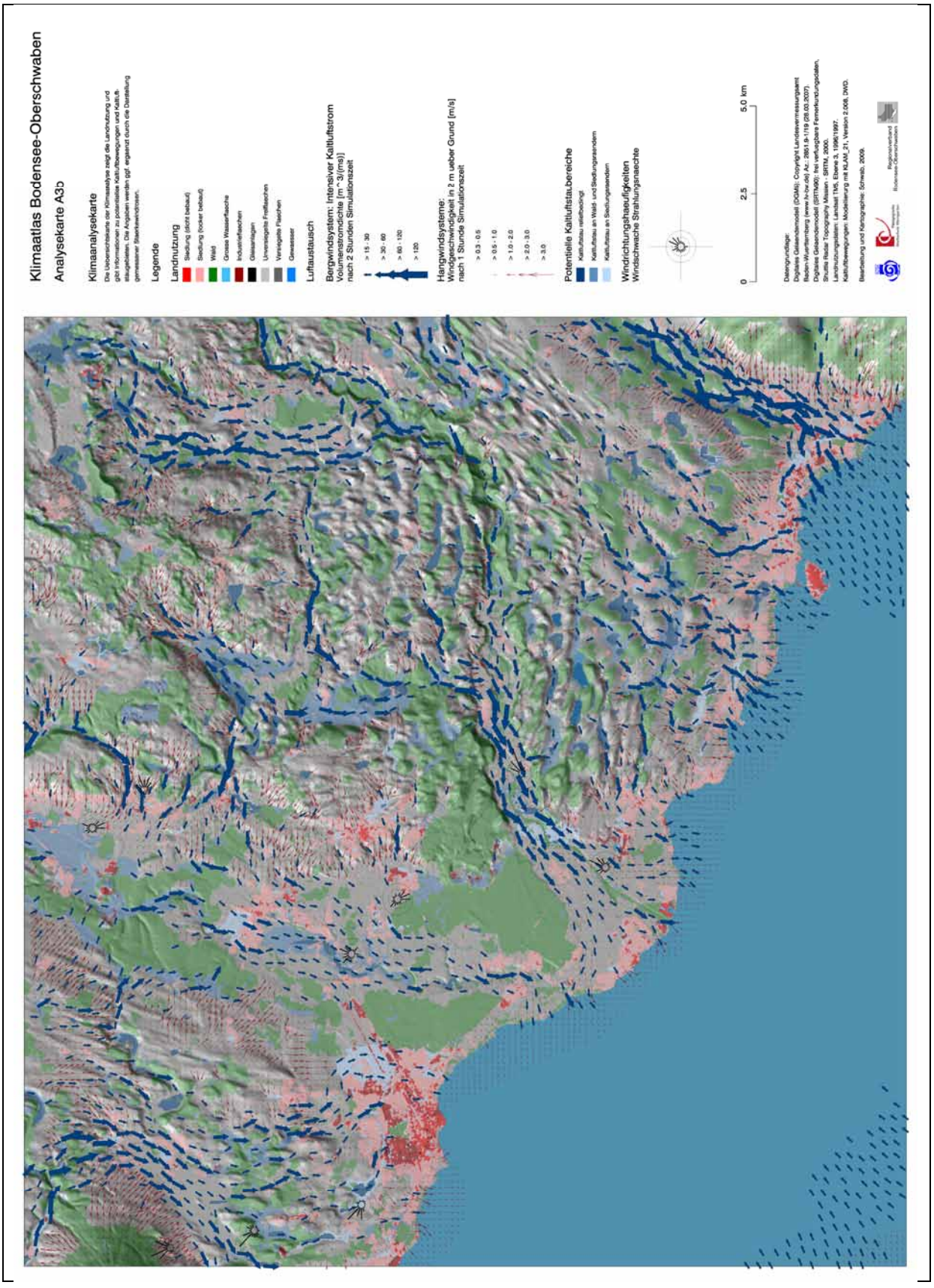


Abbildung 103: Klimaanalysekarte des Untersuchungsgebietes „Argental“.

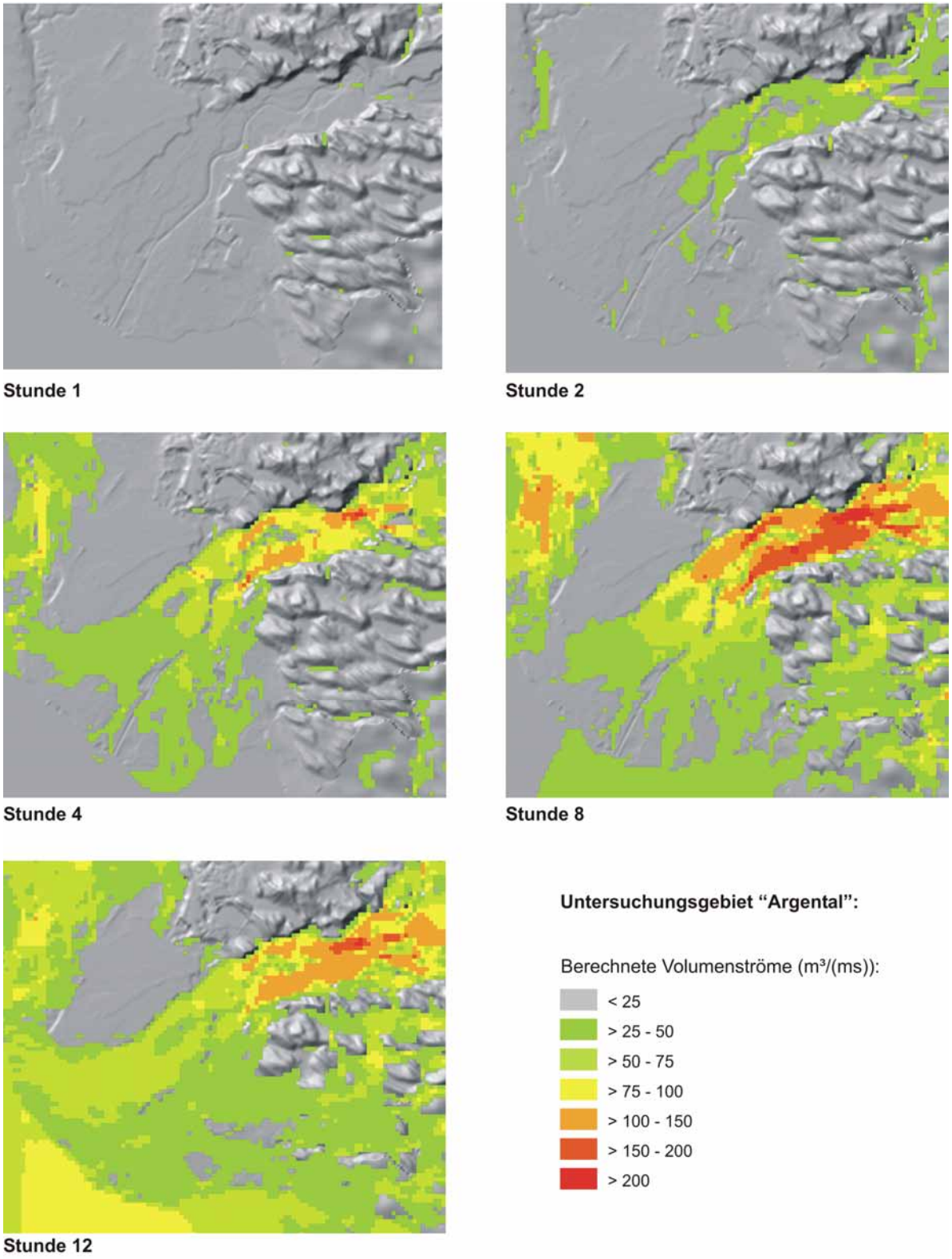


Abbildung 104: Berechnete Volumenströme im Untersuchungsgebiet „Argental“.

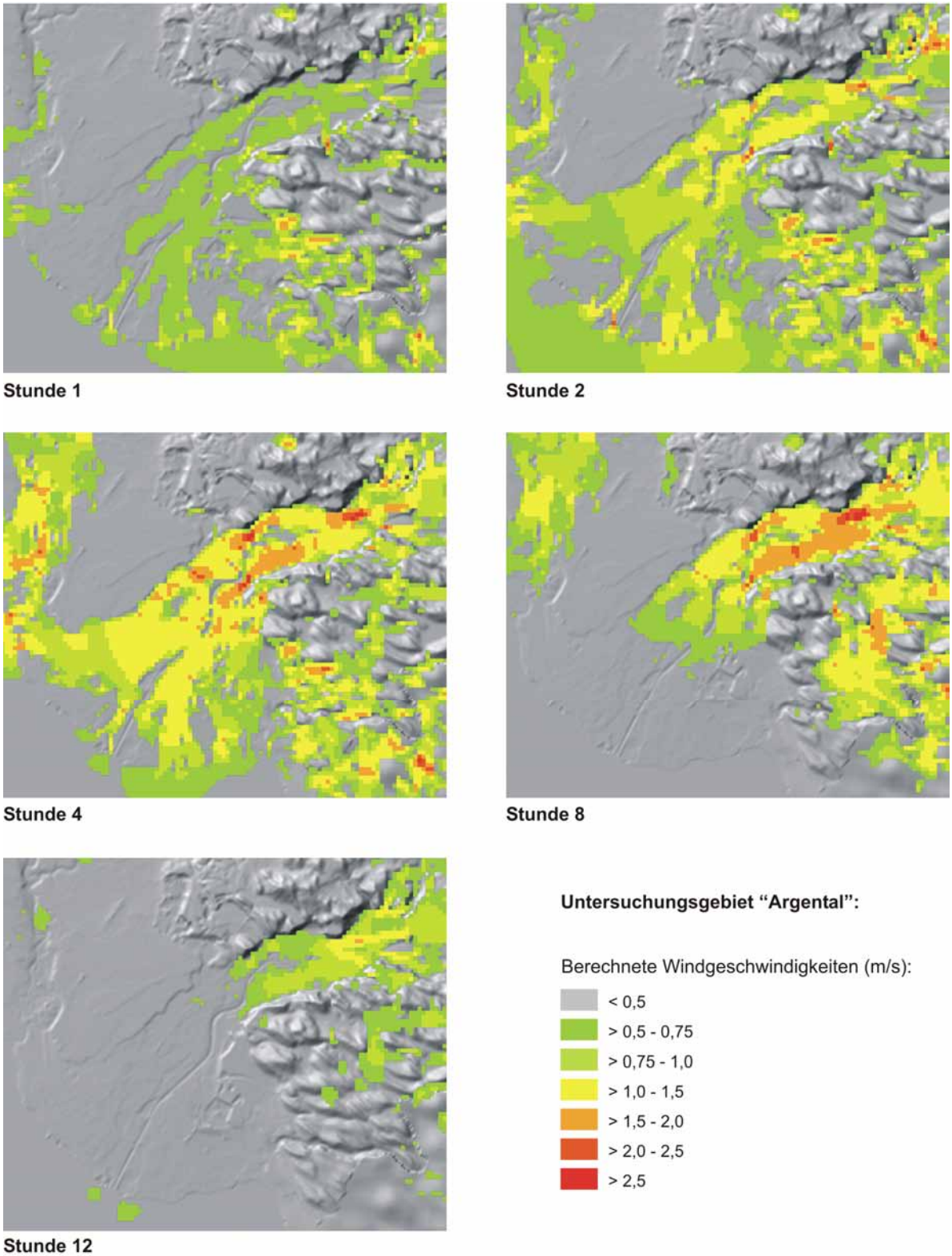


Abbildung 105: Berechnete Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet „Argental“.

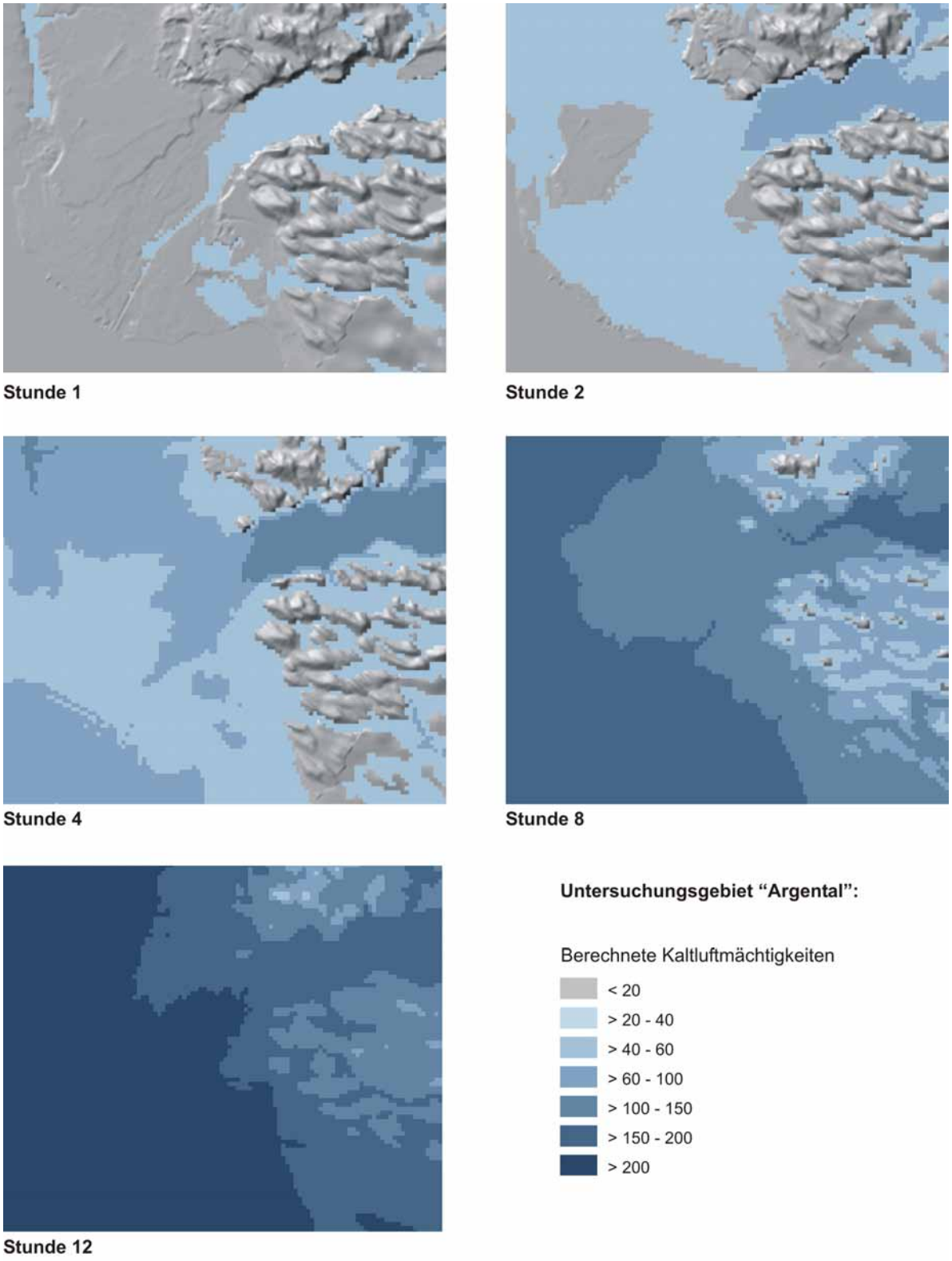


Abbildung 106: Berechnete Kaltluftmächtigkeiten im Untersuchungsgebiet „Argental“.

4.5 Untersuchungsgebiet „Meckenbeuren-Tettnang“

4.5.1 Beschreibung des Untersuchungsraums

Lage und naturräumliche Einordnung

Das Untersuchungsgebiet „Meckenbeuren-Tettnang“ liegt im Bereich der Siedlungen Meckenbeuren/Tettnang/Eriskirch. Es umfasst die Flächen entlang der Schussen und die östlich angrenzenden Beckenlagen und Hangbereiche. Die naturräumliche Gliederung Deutschlands spricht hier von den „Schussenbecken-Terrassen“ am östlichen Beckenrand bzw. den „Terrassen, Auen und Deltas der Schussen“ (Dongus, S. 32ff) entlang ihres Flusslaufs und Mündungsbereichs.

Das Untersuchungsgebiet ist Teil des Südlichen Schussenbeckens, welches großlandschaftlich dem Bodenseebecken zuzurechnen ist. Im Norden grenzt das Südliche Schussenbecken an das wesentliche engere Mittlere Schussenbecken.

Drei Teilgebiete lassen sich unterscheiden: Der Hang- und Terrassenbereich um Tettnang, westlich anschließend die Flächen des Südlichen Schussenbeckens zwischen Tettnang und Meckenbeuren, sowie nach Süden hin die Bereiche entlang der Schussen zwischen Seewald und Tettnanger Wald (vgl. Abbildung 109).

Relief

Das Stadtgebiet von Tettnang liegt zu großen Teilen auf einer schwach geneigten Verebnung (Schussenbecken-Terrassen), die sich auf einer Höhe von rund 460 m ü.NN. in Nord-Süd-Richtung am Westrand des sogenannten Tettnanger Drumlinfelds entlang zieht. Der Übergang zwischen beiden Reliefeinheiten vollzieht sich in teils angeschnittenen Drumlinrücken und bietet ein entsprechend uneinheitliches Relief. Hier finden sich Neigungen von bis zu 20 %. Die Terrassenhänge fallen rund 40 Höhenmeter in Richtung Beckensohle ab und weisen recht einheitliche Neigungsverhältnisse mit maximal 15 % Neigung auf.

Die Sohle des Südlichen Schussenbeckens weist südlich von Meckenbeuren Neigungen von ca. 0,2 % in Richtung Bodensee auf. Die Schussen hat sich ungefähr 10 m in diese Beckensohle eingetieft.

Die höchsten Teile des Untersuchungsgebietes liegen im Bereich der deutlich ausgeprägten Drumlinrücken unmittelbar östlich von Tettnang auf rund 540 m ü.NN. Die Mündung der Schussen bei Eriskirch in den Bodensee markiert mit 395 m ü.NN. den niedrigsten Punkt des Untersuchungsraumes.

Geologie

Den geologischen Untergrund bilden überwiegend Terrassenplatten aus spätglazialen Schottern und Sanden. In sie sind Auenbereiche der heutigen Schussen eingesenkt. Die Deltazone der Argen ist aus postglazialen Feinsanden und Schluffen aufgebaut. Das Tettnanger Drumlinfeld besteht zu großen Teilen aus Grundmoränenmaterial.

Landnutzung

Das Untersuchungsgebiet ist geprägt durch Wiesen- und Ackerflächen, sowie den Anbau von Sonderkulturen. Neben den im gesamten Bodenseeraum weit verbreiteten Obstplantagen, fallen hier vor allem die zahlreichen Hopfengärten auf. Forstwirtschaftlich werden die zwei großen Waldgebiete Seewald und Tettnanger Wald sowie kleinere, isolierte Waldstücke genutzt. Während der Streifen zwischen Seewald und Tettnanger Wald vergleichsweise dünn besiedelt ist (Ausnahmen bilden hier lediglich die ganz im Süden liegenden Ortschaften Eriskirch, Schlatt und Mariabrunn), nehmen im nördlichen Teil des Untersuchungsraumes die

Siedlungen Tettnang und Meckenbeuren samt ihrer Teilgemeinden wesentlich größere Flächenanteile ein.

Klimatische Einordnung

Laut Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2006) beträgt die Jahresmitteltemperatur im Untersuchungsgebiet zwischen 8,1 und 8,5°C. Bezogen auf das Sommerhalbjahr sind es 14,6 bis 15°C. Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist mit 2 bis 2,6 m/s angegeben. Im langjährigen Mittel tritt an 225 Tagen im Jahr eine Inversion auf, die Durchlüftungssituation fällt in die Klasse „schlecht“. Durchschnittlich weisen 27 bis 30 Tage im Jahr eine Wärmebelastung auf.

Begründung der Wahl des Untersuchungsgebiets

Damit sind im Untersuchungsgebiet mehrere der in Band 1 beschriebenen typischen Landschaftselemente der Region Bodensee-Oberschwaben enthalten. Ein nach Süden zum Bodensee hin geöffnetes größeres Becken (Zungenbecken), an das im Osten eine kuppige Drumlinlandschaft anschließt. Von besonderem Interesse ist unter anderem die Frage nach potentiellen Leitbahnen der zu erwartenden Kaltluftbewegungen aus dem nördlich angrenzenden Mittleren Schussenbecken.

4.5.2 Fragestellungen

Im Untersuchungsgebiet stellen sich hinsichtlich der Durchlüftungssituation bei windschwachen Strahlungswetterlagen unter anderem folgende Fragen:

- Kommt es im Untersuchungsgebiet zur Ausbildung nächtlicher Hangabwinde?
- Wenn ja, mit welcher Häufigkeit und Intensität treten sie auf?
- Wenn ja, welche Rolle spielen sie für die Durchlüftungssituation in den angrenzenden Räumen?
- Kommt es zu nächtlichen Kaltluftbewegungen (Talabwinden) aus dem nördlich gelegenen (Mittleren) Schussenbecken?
- Wenn ja, welche vertikalen Mächtigkeiten weisen sie auf?
- Wenn ja, konzentrieren sie sich auf bestimmte Bereiche?
- Wenn ja, welche Rolle spielen sie für die Durchlüftungssituation im Untersuchungsraum?
- In welcher Form verzahnen sich ggf. Hangabwinde und Talabwinde?

4.5.3 Messverfahren und Messstandorte

4.5.3.1 Betrieb einfacher Funkwetterstationen

Zur Bestimmung der Häufigkeit und Intensität potentiell auftretender Kaltluftabflüsse in Bodennähe wurden an zwei Standorten einfache Funkwetterstationen eingesetzt. Sie zeichnen Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund kontinuierlich auf (vgl. Kap. 3.2). Die Station „Meckenbeuren“ wurde betrieben vom 07.06. bis 25.08.2008. Aufgrund technischer Probleme durch starken Insektenbefall musste der Betrieb der Messstation vorzeitig eingestellt werden. Die Station „Bürgermoos“ wurde betrieben vom 07.06. bis 30.09.2008.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 109):

Station „Meckenbeuren“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes im Schussenbecken

Blickrichtung NO

Blickrichtung SO

Blickrichtung SW

Blickrichtung NW

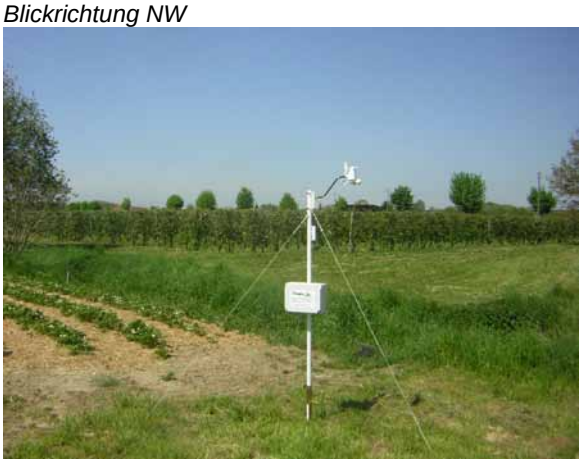


Abbildung 107: Ansichten der Funkwetterstation „Meckenbeuren“.

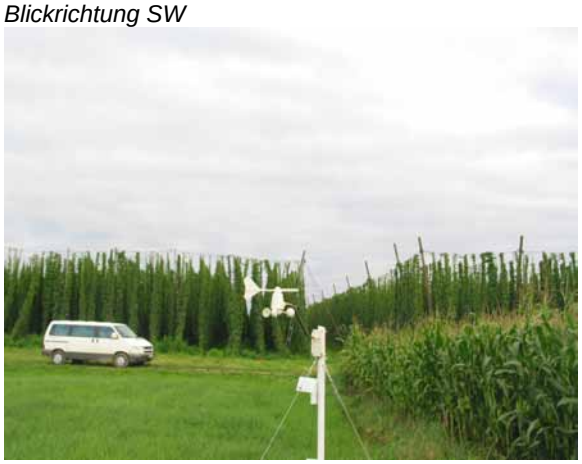
Station „Bürgermoos“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes im Schussenbecken
- zudem Erfassung möglicher Hangabwinde von den östlich angrenzenden Hangbereichen

Blickrichtung NO

Blickrichtung SO

Blickrichtung SW



Blickrichtung NW

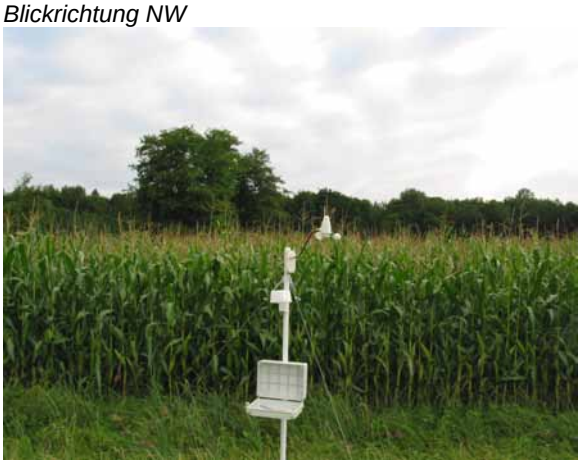


Abbildung 108: Ansichten der Funkwetterstation „Bürgermoos“.

4.5.3.2 Durchführung von Handmessungen

Um das Beobachtungsnetz zu verdichten, insbesondere um der Frage nach einer möglichen Verzahnung von Hangab- und Talabwinden nachzugehen, wurden zusätzlich Handmessungen durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Dabei wurden an insgesamt fünf Standorten Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund an ausgewählten Messtagen zu ausgewählten Messzeiten erfasst.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 109):

Standort HM1

- bodennahe Erfassung möglicher nächtlicher Hangabwinde von den westexponierten Hängen östlich von Tettnang

Standort HM2

- bodennahe Erfassung möglicher nächtlicher Hangabwinde von den westexponierten Hängen westlich von Tettnang

Standort HM3

- bodennahe Erfassung möglicher nächtlicher Luftbewegungen im Osten der Beckensohle

Standort HM4

- bodennahe Erfassung möglicher nächtlicher Talabwinde aus dem Schussenbecken

Standort HM5

- bodennahe Erfassung möglicher nächtlicher Luftbewegungen entlang der Schussen zwischen Seewald und Tettnanger Wald

An folgenden Tagen wurden Handmessungen durchgeführt:

- Messtag 1: Zeitraum: 10.07.2008 zwischen 19.45 Uhr und 23.25 Uhr MESZ
- Messtag 2: Zeitraum: 27.08.2008 zwischen 18.50 Uhr und 22.21 Uhr MESZ

4.5.3.3 Durchführung von Vertikalsondierungen

Zur Erfassung der Vertikalstruktur (Mächtigkeit, Windrichtung und Windgeschwindigkeit in unterschiedlichen Höhen) von Luftbewegungen im Schussenbecken wurden einfache Vertikalsondierungen mit einem Helium-Fesselballon durchgeführt (vgl. Kap 3.2). Die beiden Messungen wurden zur gleichen Zeit an den Standorten der Funkwetterstationen „Meckenbeuren“ (im Fall der Vertikalsondierung: „Kehlen“) und „Bürgermoos“ durchgeführt (vgl. Abbildung 109).

Am folgenden Tag wurden Vertikalsondierungen durchgeführt:

- Messtag: Zeitraum: 08.09.2008 zwischen 20.35 Uhr und 22.37 Uhr MESZ

4.5.3.4 Durchführung von Temperaturmessfahrten

Um das Beobachtungsnetz hinsichtlich der bodennahen Lufttemperaturen zu verdichten, wurden zusätzlich Temperaturmessfahrten durchgeführt. Dabei wurden entlang einer definierten Messroute in 10-m-Intervallen Position und Temperatur erfasst. Die Messfahrten erfolgten an ausgewählten Messtagen jeweils abends einmal kurz vor und einmal nach Sonnenuntergang. Zusätzlich wurden Messfahrten vor Sonnenaufgang durchgeführt.

Im Folgenden wird die Wahl der Messroute kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 126):

- Erfassung der östlich angrenzenden Hangbereiche
- Erfassung möglicher Kaltluftsammelgebiete in der Fläche des Beckens
- Erfassung von Wärmeinseleffekten innerhalb der Siedlungsbereiche
- Erfassung der Temperaturverhältnisse in der Nähe des Bodenseeufers

An folgenden Tagen wurden Messfahrten durchgeführt:

- Messtag 1: Zeitraum: 18.08.2008 zwischen 20.16 Uhr und 22.16 Uhr MESZ, 19.08.2008 zwischen 05.48 Uhr und 06.17 Uhr MESZ
- Messtag 2: Zeitraum: 22.08.2008 zwischen 05.45 Uhr und 06.11 Uhr MESZ
- Messtag 3: Zeitraum: 24.08.2008 zwischen 22.11 Uhr und 23.12 Uhr MESZ

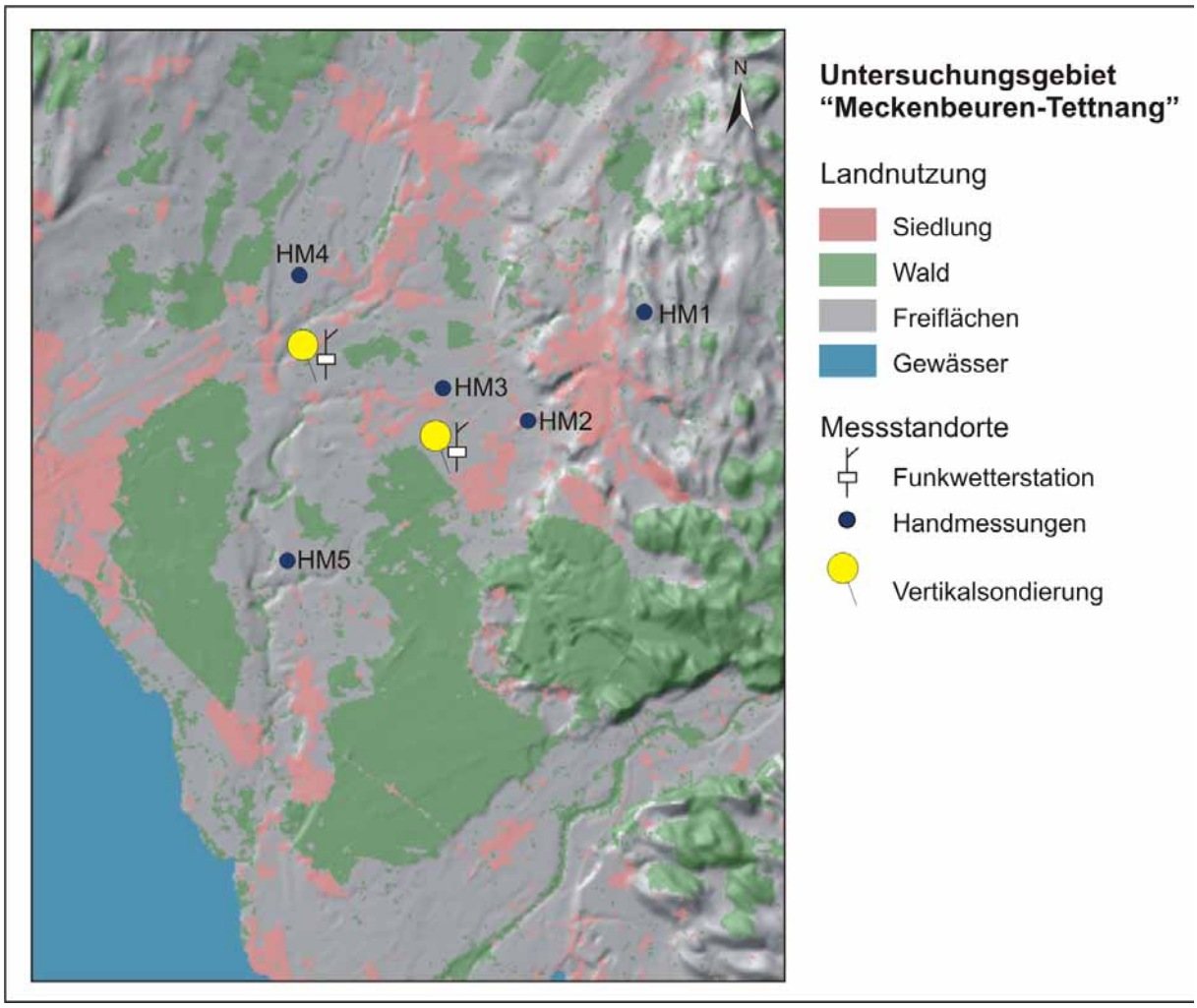


Abbildung 109: Das Untersuchungsgebiet „Meckenbeuren-Tettnang“ mit allen Messstandorten.

4.5.4 Beschreibung der Messergebnisse

4.5.4.1 Ergebnisse der Funkwetterstationen

Die betriebenen Funkwetterstationen speichern die gemessenen Werte in 10-Minuten-Inverallen ab. Über mehrere Monate Laufzeit ergibt dies große Datenmengen, die grafisch unterschiedlich aufbereitet wurden. Zunächst wird am Beispiel von Tagesdiagrammen ein einzelner „idealer Strahlungstag“ betrachtet. Damit kann gezeigt werden, ob an den betreffenden Standorten überhaupt mit nennenswerten Hang- und Talwindsystemen zu rechnen ist. Die anschließende Betrachtung des gesamten Messzeitraums über Isoplethendarstellungen und Stärkewindrosen erlaubt unter anderem Aussagen über die Häufigkeit der beobachtbaren Phänomene.

Betrachtung eines „idealen Strahlungstages“

Im Folgenden wird am Beispiel zweier Tagesdiagramme der Zeitraum vom 03.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 04.08.2008/12.00 Uhr MESZ vorgestellt. Der Zeitraum war geprägt von „idealen Strahlungsverhältnissen“ mit sehr geringer Bewölkung und nur geringen Geschwindigkeiten der übergeordneten Winde.

Die Beschreibung der Ergebnisse erfolgt stichwortartig, um größtmögliche Kompaktheit zu erreichen.

Lufttemperaturen

- ausgeprägter Tagesgang an beiden Stationen (kleinere Schwankungen während des Tages lassen sich unter anderem auf den kurzzeitigen Durchzug kleinerer Wolkenfelder und den eingeschränkten Strahlungsschutz am Thermo-Hygrometer (vgl. Kap 3.2) zurückführen)
- Maximumtemperaturen zwischen 15 und 17 Uhr MESZ
- rasche Temperaturabnahme noch vor Sonnenuntergang
- gleichmäßiger Temperaturrückgang im Laufe der Nacht
- an der Station „Bürgermoos“ zwischen 2 und 3 Uhr MESZ leichte Zunahme der Temperatur, danach wieder Temperaturrückgang
- an beiden Stationen Minimumtemperaturen von ca. 14°C kurz vor Sonnenaufgang
- rascher Anstieg nach Sonnenaufgang auf ca. 25°C um 12 Uhr MESZ
- tagsüber an beiden Stationen vergleichbare Temperaturen

Windrichtungen

- während der Tagstunden an beiden Stationen Luftbewegungen schwerpunktmäßig aus westlichen Richtungen
- noch vor Sonnenuntergang Wechsel der Windrichtung
  - an der Station „Meckenbeuren“ auf N, im Laufe der Nacht veränderliche Windrichtungen, die aber immer wieder längere Zeit im gleichen Bereich verharren
  - an der Station „Bürgermoos“ auf S, im Laufe der Nacht konstante Richtungen aus S, ab ca. 2 Uhr MESZ Schwankungen der Windrichtung zwischen S und O
- nach Sonnenaufgang an beiden Stationen erneutes Drehen auf Windrichtungsschwerpunkte des Vortages

Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an beiden Stationen vergleichbare Größenordnung
- an der Station „Meckenbeuren“ mit abnehmender Temperatur rascher Rückgang der Windgeschwindigkeit; an der Station „Bürgermoos“ Abnahme der Geschwindigkeit bereits kurz vor dem Temperaturrückgang

- an beiden Stationen nachts äußerst geringe Windgeschwindigkeiten
- lediglich zwischen 3 Uhr und 4 Uhr MESZ kurzer Impuls mit sehr geringen Geschwindigkeiten an beiden Stationen
- an der Station „Meckenbeuren“ kurz nach Sonnenaufgang sehr rasches und starkes Aufleben des Windes, an der Station „Bürgermoos“ rasches und starkes Aufleben des Windes erst rund 2 Stunden nach Sonnenaufgang

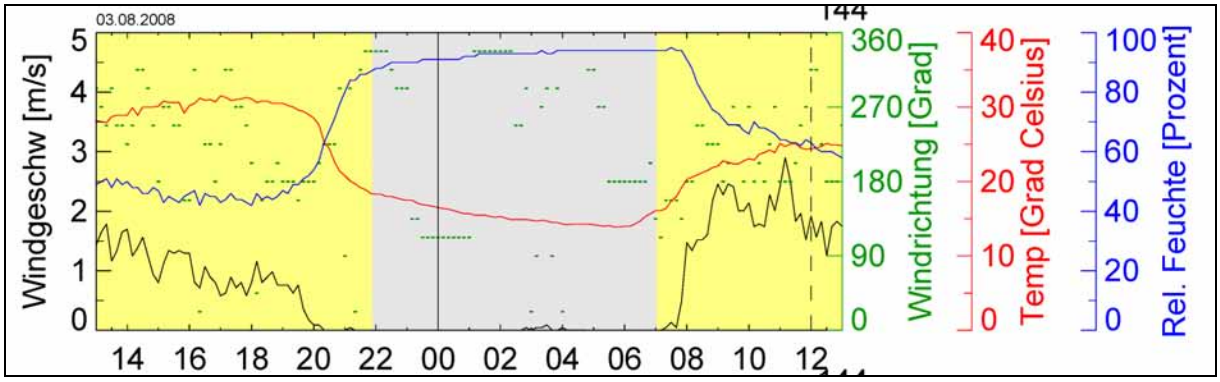


Abbildung 110: Tagesdiagramm der Station „Meckenbeuren“ vom 03.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 04.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

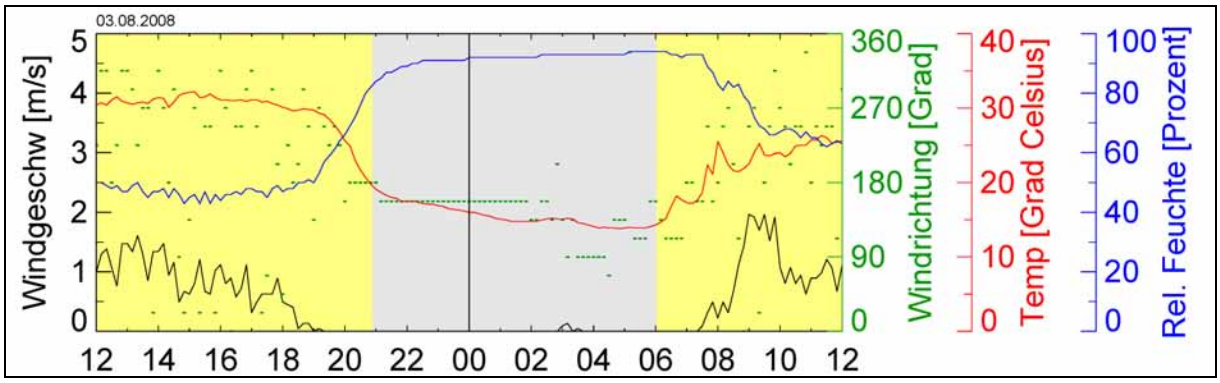


Abbildung 111: Tagesdiagramm der Station „Bürgermoos“ vom 03.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 04.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

Betrachtung des gesamten Messzeitraums

Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen

- an beiden Stationen während der meisten Tage Phase rascher und starker Temperaturabnahme um die Zeit des Sonnenuntergangs
- an beiden Stationen anschließend kontinuierliche Abkühlung während der Nacht, an der Station „Meckenbeuren“ etwas raschere Abkühlung, als an der Station „Bürgermoos“
- an beiden Stationen starke Zunahme der Lufttemperatur rund zwei Stunden nach Sonnenaufgang

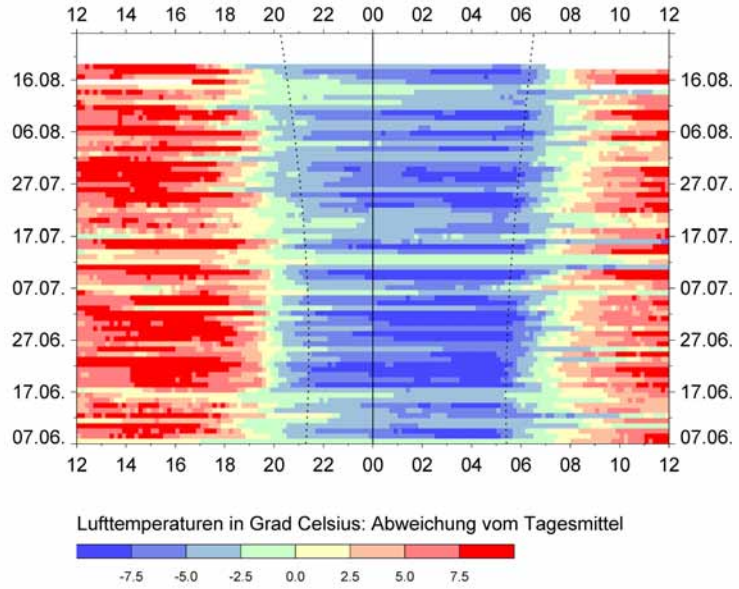


Abbildung 112: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Meckenbeuren“. Abweichung vom Tagesmittel.

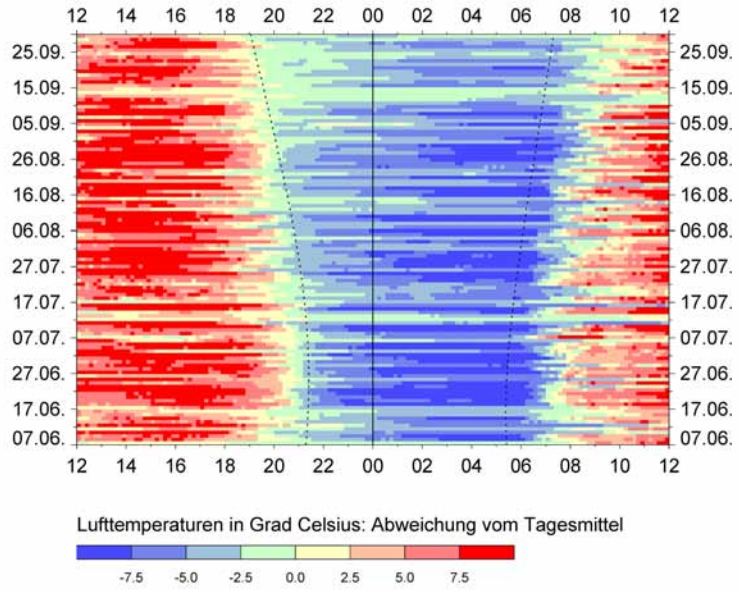


Abbildung 113: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Bürgermoos“. Abweichung vom Tagesmittel.

Isoplethendarstellung der Windrichtungen

- an der Station „Meckenbeuren“ über den nahezu kompletten Messzeitraum zu Sonnenuntergang Drehen des Windes auf Richtungen aus NW bis ONO
- an der Station „Bürgermoos“ über den nahezu kompletten Messzeitraum bereits vor Sonnenuntergang Wechsel auf einen Richtungsschwerpunkt um S
- auffallend sind an der Station „Bürgermoos“ die sehr lange andauernden Phasen gleicher Windrichtung im Laufe der Nacht
- an beiden Stationen rund 2 Stunden nach Sonnenaufgang erneuter Windrichtungswechsel auf tagestypische Verhältnisse

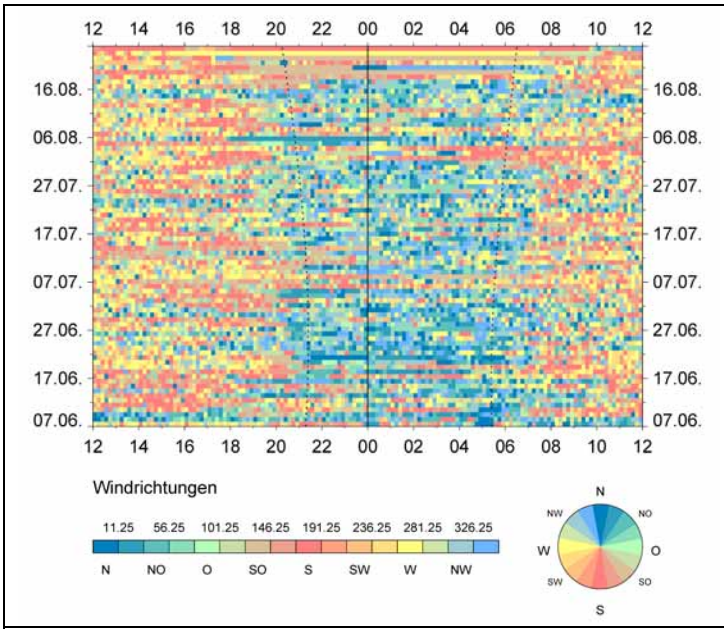


Abbildung 114: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Meckenbeuren“.

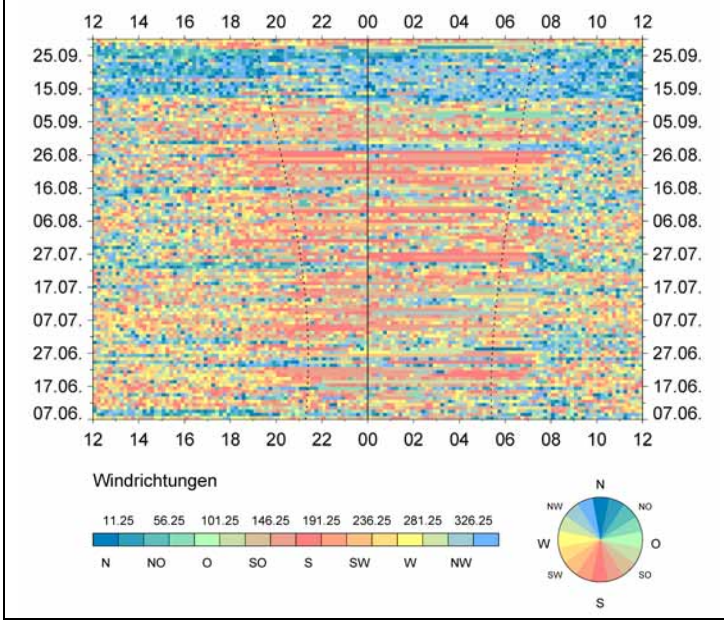


Abbildung 115: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Bürgermoos“.

Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an beiden Stationen meist Windgeschwindigkeiten zwischen 0,5 und 2 m/s
- an beiden Stationen rund 2 Stunden vor Sonnenuntergang sehr rasches Nachlassen der Windgeschwindigkeit
- an beiden Stationen extrem geringe Windgeschwindigkeiten unter 0,1 m/s, an der Station „Bürgermoos“ geringfügig mehr Anteile an Geschwindigkeiten zwischen 0,1 und 0,5 m/s
- Zunahme der Windgeschwindigkeit an beiden Stationen rund 2 Stunden nach Sonnenaufgang

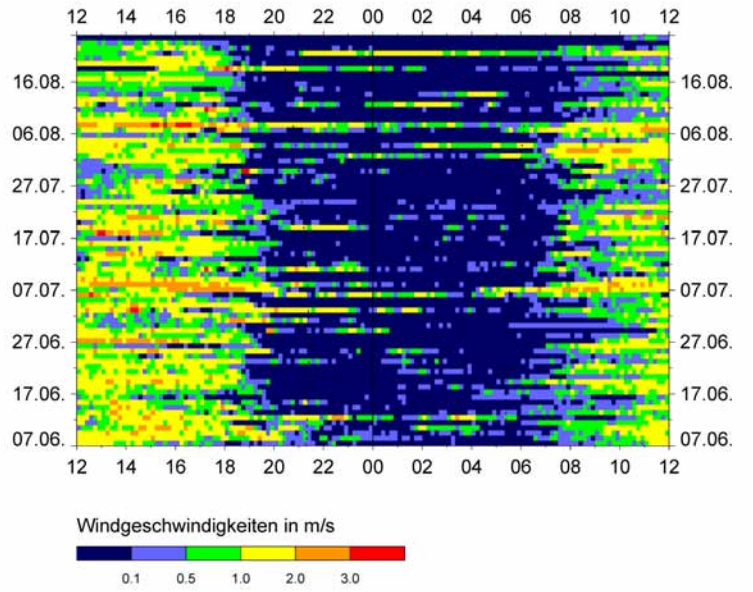


Abbildung 116: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Meckenbeuren“.

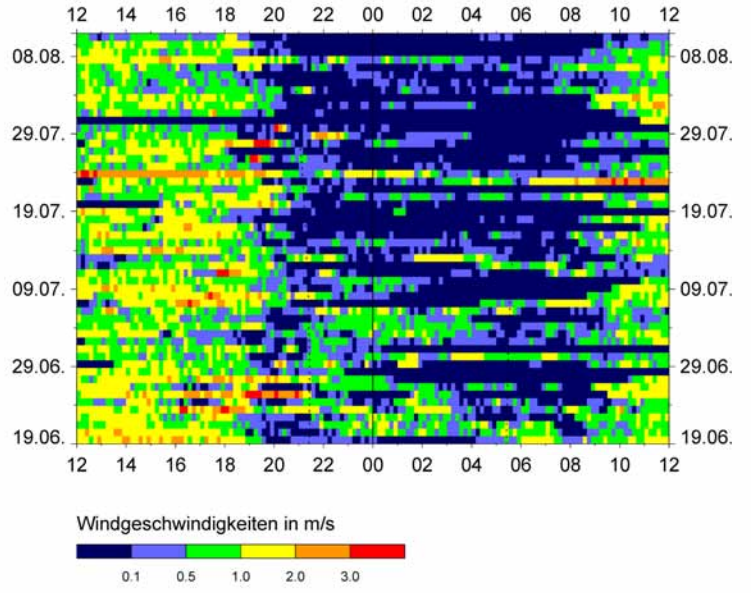


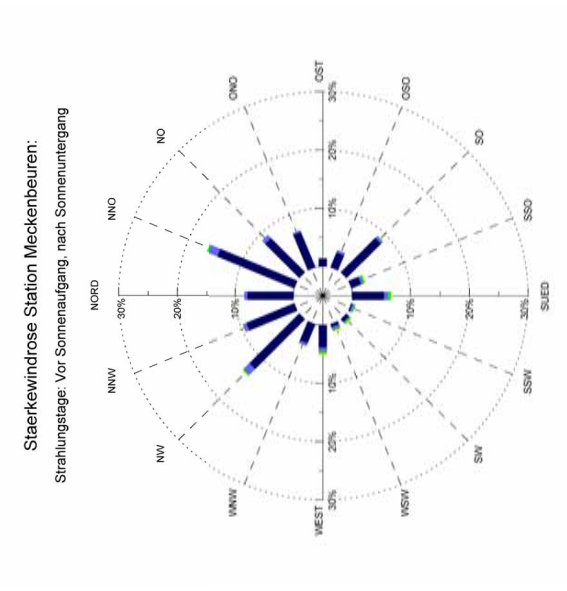
Abbildung 117: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Bürgermoos“.

Stärkewindrosen der Station „Meckenbeuren“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Meckenbeuren“ Winde aus drei Richtungen: Am häufigsten treten sie aus S/SSO/SO auf, weitere Maxima sind um W und um NW zu beobachten.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so konzentrieren sich die Windrichtungen stärker auf die Bereiche NNO, NW/NNW und SO.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so tritt die NNO-Dominanz noch etwas deutlicher hervor. Weitere Maxima sind NW/NNW und SO.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen unter 0,1 m/s. Nur sehr selten kommen in den NNO- und NW-Komponenten Geschwindigkeiten zwischen 0,1 und 0,5 m/s vor.

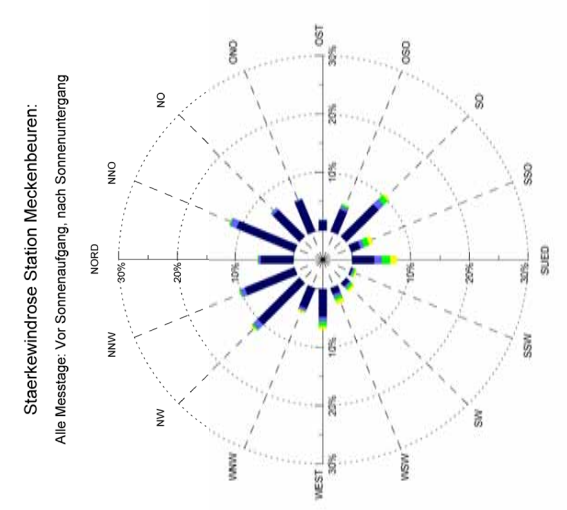
Stärkewindrosen der Station „Bürgermoos“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Bürgermoos“ wiederum Winde aus drei Richtungen: Am häufigsten treten sie aus S/SSO/SO auf, weitere Maxima sind um NW und um WSW zu beobachten.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so konzentrieren sich die Windrichtungen vor allem auf die Richtungen S/SSO/SO. Die oben genannte NW/NWW-Dominanz bleibt nahezu unverändert, die Häufigkeit der WSW-Komponente nimmt etwas ab.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so dominiert deutlich der Bereich SSO/S/SO (zusammen 46 %). An den Richtungen NW/NNW ändert sich hinsichtlich der Häufigkeit wiederum kaum etwas, der Richtungsbereich SW/WSW ist kaum mehr vertreten.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen unter 0,1 m/s. Aus NW/NNW kommen selten auch Winde mit Geschwindigkeiten zwischen 0,1 und 1 m/s.



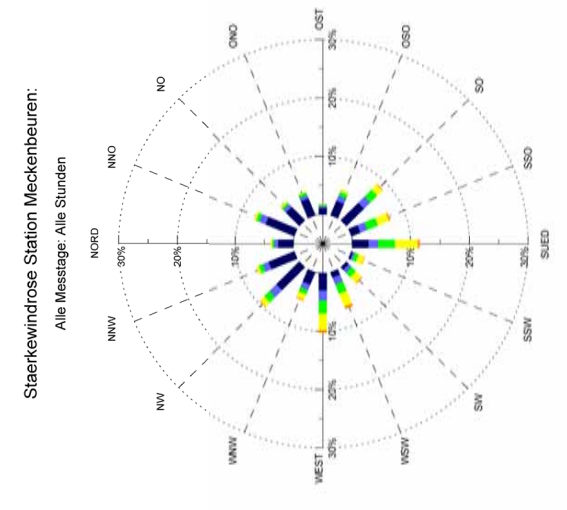
Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	7.88	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	8.45
NNO	14.26	1.72	0.36	0.00	0.00	0.00	16.33
NO	8.24	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	9.03
ONO	6.52	0.29	0.07	0.00	0.00	0.00	6.88
OST	1.36	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	1.50
OSO	2.72	0.43	0.07	0.00	0.00	0.00	3.22
SO	8.31	0.43	0.14	0.00	0.00	0.00	8.88
SSO	1.79	0.43	0.29	0.14	0.00	0.00	2.65
SUED	5.44	0.72	0.50	0.14	0.00	0.00	6.81
SSW	0.21	0.36	0.21	0.00	0.00	0.00	0.79
SW	0.64	0.21	0.29	0.14	0.00	0.00	1.29
WSW	0.50	0.57	0.14	0.29	0.00	0.00	1.50
WEST	3.87	0.64	0.43	0.14	0.07	0.00	5.16
WNW	3.51	0.50	0.00	0.00	0.07	0.00	4.08
NW	12.03	1.43	0.21	0.14	0.00	0.00	13.83
NNW	8.88	0.57	0.07	0.00	0.07	0.00	9.60
Summe	86.17	9.74	2.79	1.07	0.21	0.00	100.00



Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

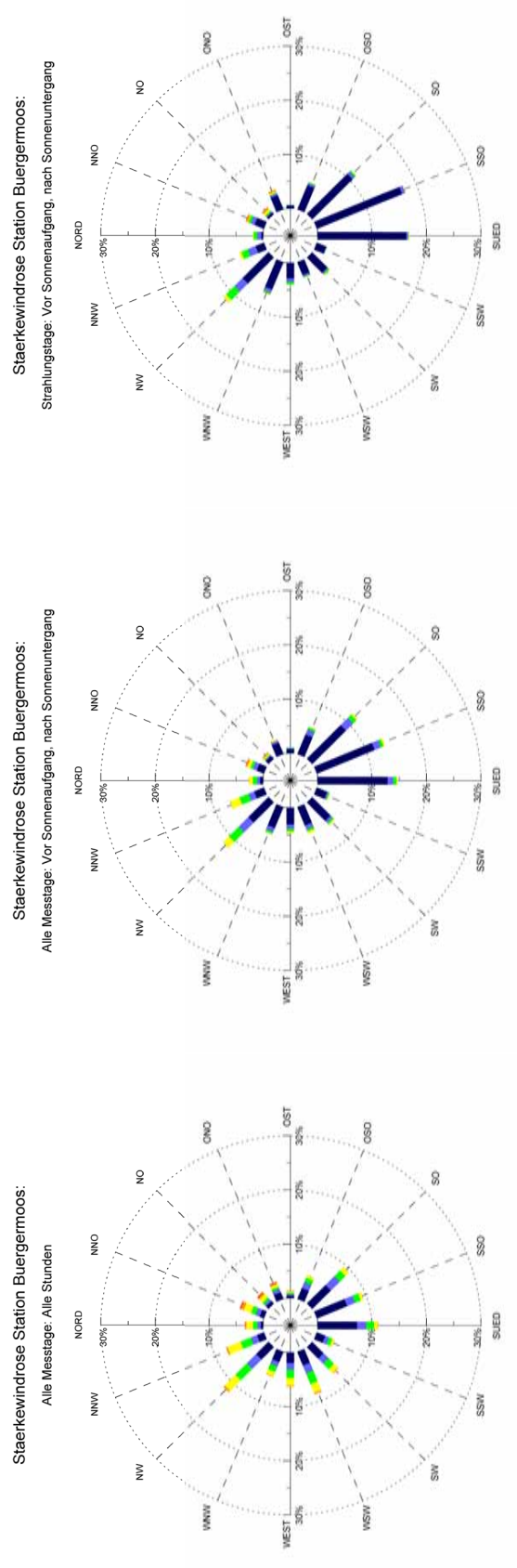
WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	5.61	0.42	0.12	0.02	0.00	0.00	6.17
NNO	10.72	1.14	0.21	0.02	0.00	0.00	12.09
NO	6.38	0.49	0.09	0.00	0.00	0.00	6.96
ONO	5.85	0.26	0.07	0.02	0.00	0.00	6.19
OST	1.72	0.16	0.02	0.02	0.00	0.00	1.93
OSO	4.08	0.63	0.32	0.09	0.00	0.00	5.13
SO	7.79	1.23	1.00	0.32	0.00	0.00	10.35
SSO	1.72	0.63	0.97	0.67	0.00	0.00	3.99
SUED	3.78	1.28	1.44	1.18	0.02	0.00	7.70
SSW	0.28	0.26	0.28	0.26	0.00	0.00	1.07
SW	0.81	0.35	0.44	0.44	0.00	0.00	2.04
WSW	1.14	0.58	0.60	0.60	0.05	0.00	2.97
WEST	4.78	0.81	0.79	0.49	0.02	0.00	6.89
WNW	3.78	0.49	0.09	0.26	0.02	0.00	4.64
NW	10.07	1.11	0.32	0.16	0.00	0.00	11.67
NNW	9.21	0.77	0.23	0.00	0.02	0.00	10.23
Summe	77.71	10.58	7.01	4.57	0.14	0.00	100.00



Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	2.65	0.66	0.35	0.22	0.04	0.00	3.92
NNO	5.31	1.16	0.61	0.36	0.01	0.00	7.46
NO	3.19	0.65	0.41	0.36	0.01	0.01	4.62
ONO	3.12	0.61	0.51	0.19	0.01	0.00	4.43
OST	1.11	0.37	0.22	0.12	0.00	0.00	1.82
OSO	2.69	0.96	0.70	0.35	0.05	0.00	4.74
SO	4.21	1.51	1.69	1.19	0.20	0.00	8.80
SSO	1.65	1.28	1.99	2.04	0.25	0.01	7.22
SUED	2.80	1.60	2.90	3.92	0.31	0.03	11.56
SSW	0.31	0.35	0.70	1.10	0.10	0.00	2.56
SW	0.58	0.69	1.03	1.36	0.18	0.02	3.86
WSW	0.99	1.23	1.75	2.36	0.41	0.04	6.78
WEST	2.97	1.72	2.22	2.86	0.46	0.02	10.24
WNW	2.30	0.99	0.83	1.00	0.18	0.02	5.31
NW	5.52	1.67	1.26	1.01	0.16	0.01	9.63
NNW	4.76	1.08	0.75	0.42	0.05	0.00	7.05
Summe	44.15	16.52	17.91	18.85	2.41	0.14	100.00

Abbildung 118: Stärkewindrosen der Station „Meckenbeuren“. Angaben in Prozent.



Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0.46	0.58	0.85	1.20	0.28	0.01	3.37
NNO	0.86	0.77	0.94	1.45	0.60	0.18	4.80
NO	0.61	0.46	0.49	0.80	0.43	0.19	2.98
ONO	1.32	0.67	0.42	0.52	0.31	0.14	3.37
OST	0.43	0.31	0.30	0.23	0.09	0.02	1.38
OSO	2.14	1.19	0.88	0.44	0.05	0.01	4.69
SO	4.81	2.31	1.50	0.83	0.04	0.00	9.48
SSO	6.02	1.60	1.12	0.53	0.04	0.00	9.32
SUED	7.26	1.70	1.46	0.65	0.07	0.00	11.14
SSW	1.67	0.74	0.69	0.41	0.04	0.00	3.56
SW	2.97	1.28	1.43	1.01	0.15	0.01	6.84
WSW	2.72	1.55	2.15	1.77	0.23	0.03	8.45
WEST	1.94	1.22	1.54	1.37	0.21	0.01	6.30
WNW	2.05	0.87	1.09	0.89	0.09	0.02	5.02
NW	3.21	2.40	2.99	2.78	0.34	0.02	11.74
NNW	1.37	1.22	2.07	2.56	0.33	0.01	7.55
Summe	39.84	18.85	19.93	17.45	3.30	0.63	100.00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0.57	0.54	0.81	0.69	0.06	0.00	2.66
NNO	1.42	0.76	0.51	0.61	0.31	0.06	3.67
NO	0.67	0.27	0.15	0.22	0.22	0.06	1.60
ONO	2.27	0.36	0.06	0.09	0.16	0.00	2.94
OST	0.76	0.18	0.09	0.01	0.03	0.00	1.07
OSO	3.88	1.04	0.43	0.12	0.00	0.00	5.48
SO	8.73	1.89	0.81	0.30	0.01	0.00	11.74
SSO	11.49	1.27	0.51	0.28	0.01	0.00	13.56
SUED	12.83	1.03	0.61	0.19	0.01	0.00	14.68
SSW	2.06	0.28	0.18	0.13	0.00	0.00	2.66
SW	4.76	0.51	0.34	0.24	0.03	0.00	5.88
WSW	3.67	0.79	0.40	0.45	0.00	0.00	5.31
WEST	3.07	0.76	0.49	0.33	0.01	0.00	4.67
WNW	4.18	0.81	0.36	0.10	0.03	0.01	5.49
NW	5.27	2.48	2.52	1.43	0.09	0.01	11.80
NNW	1.94	1.12	1.82	1.82	0.09	0.00	6.79
Summe	67.56	14.09	10.09	7.03	1.09	0.15	100.00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0.35	0.75	0.65	0.15	0.00	0.00	1.90
NNO	1.85	0.75	0.50	0.15	0.35	0.05	3.65
NO	0.40	0.20	0.25	0.45	0.35	0.05	1.70
ONO	2.80	0.40	0.10	0.25	0.40	0.00	3.95
OST	0.60	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.65
OSO	4.80	0.40	0.20	0.05	0.00	0.00	5.45
SO	10.44	0.60	0.30	0.05	0.00	0.00	11.39
SSO	16.89	0.60	0.05	0.05	0.00	0.00	17.59
SUED	16.29	0.30	0.10	0.10	0.00	0.00	16.79
SSW	1.85	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	2.05
SW	3.95	0.25	0.25	0.10	0.05	0.00	4.60
WSW	2.55	0.35	0.15	0.10	0.00	0.00	3.15
WEST	2.85	0.70	0.40	0.05	0.05	0.00	4.05
WNW	5.45	0.60	0.30	0.00	0.05	0.05	6.45
NW	6.75	2.10	2.20	0.60	0.00	0.05	11.69
NNW	1.65	1.55	1.30	0.45	0.00	0.00	4.95
Summe	79.46	9.65	6.90	2.55	1.25	0.20	100.00

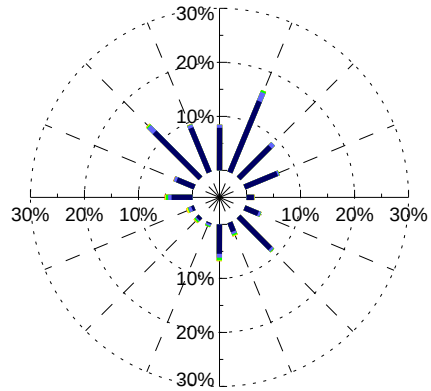
Abbildung 119: Stärkewindrosen der Station „Bürgermoos“. Angaben in Prozent.

Abbildung 120: Folgende Seite: Stärkewindrosen im Untersuchungsgebiet „Meckenbeuren“ (Strahlungsnächte)

REKLIBO Staerkewindrosen

Untersuchungsgebiet Tettnang

Windrichtungshaeufigkeiten
Nur Strahlungstage, Nachtstunden



Windgeschwindigkeiten in m/s:

- < 0.1
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- > 3.0

Datengrundlage:
Digitales Gelaendemodell (DGM5): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).
Landnutzungsdaten: Landsat TM5, Ebene 3, 1996/1997.

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Ergebnisse der Handmessungen

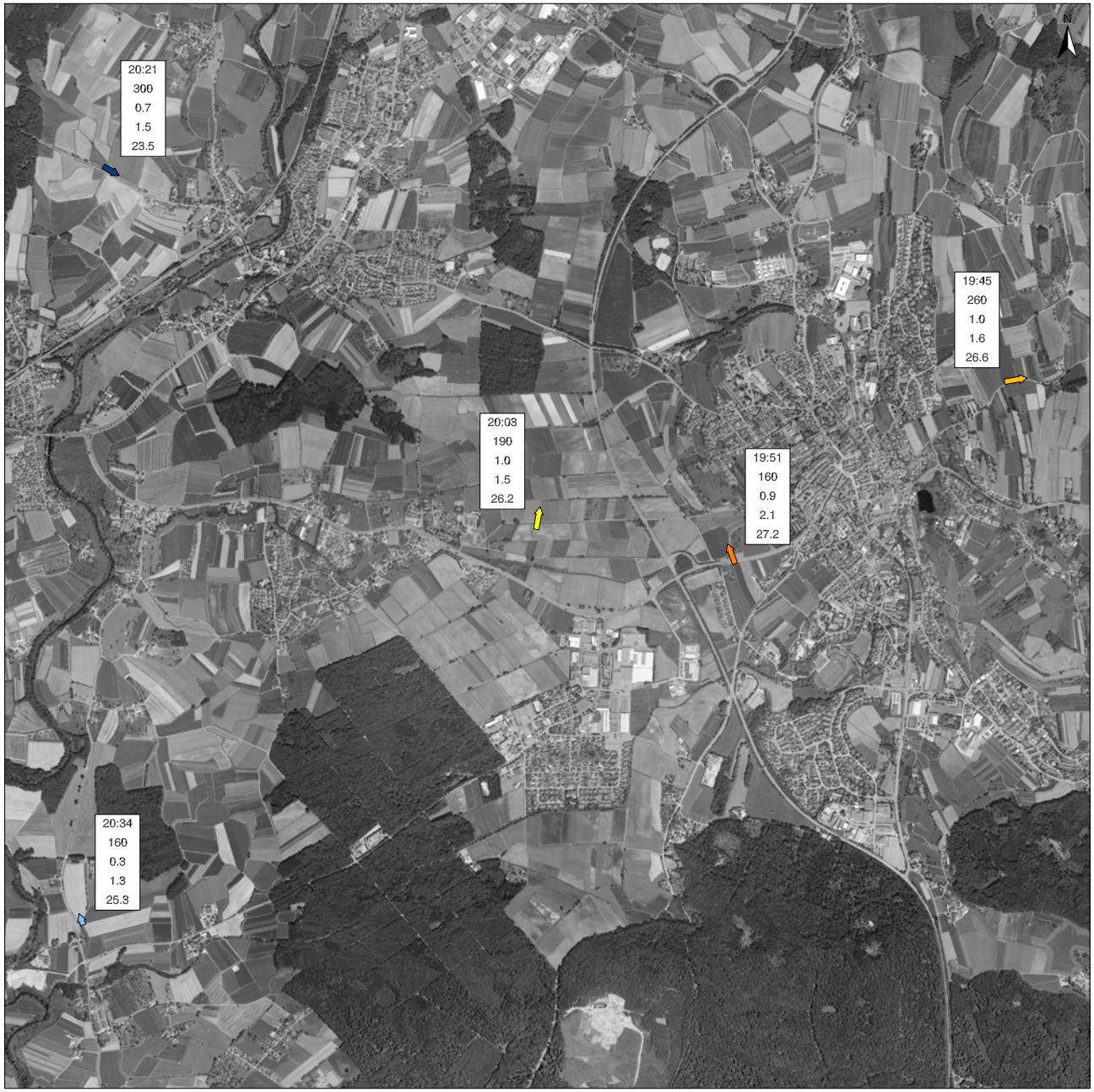
Messtag 1: 10.07.2008

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 19.45 Uhr und 23.55 Uhr MESZ. Es herrschte eine ausgeprägte hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 19.45 Uhr und 20.34 Uhr MESZ zeigen, abgesehen vom Standort HM4, hangaufwärts- bzw. talaufwärts gerichtete Luftbewegungen. Dabei bewegen sich die Windgeschwindigkeiten zwischen 0,9 und 1 m/s. Lediglich am Standort HM5 beträgt die Geschwindigkeit lediglich 0,3 m/s. Standort HM4 zeigt eine Luftbewegung aus NW mit 0,7 m/s.
- Während der zweiten Messung zwischen 21.37 Uhr und 22.21 Uhr MESZ wurden an den Standorten HM1 und HM2 hangabwärts gerichtete Luftbewegungen mit 2,3 bzw. 0,7 m/s gemessen. Der Standort HM4 zeigt eine talabwärts gerichtete Luftbewegung (Richtung NNO) mit 0,9 m/s. Der Standort HM5 zeigt annähernd Windstille, am Standort HM3 wurden keine Luftbewegungen festgestellt.
- Die dritte Messung zwischen 22.42 Uhr und 23.25 Uhr MESZ weist an den Standorten HM1 und HM2 hangabwärts gerichtete Luftbewegungen mit 2,6 bzw. 1 m/s auf. Standort HM4 zeigt bei 0,6 m/s eine Richtung aus O, Standort HM5 bei nur 0,1 m/s aus N.
- Auffallend ist während der dritten Messung, dass die Temperaturen im Hangbereich östlich und westlich von Tettnang deutlich höher sind, als jene in der Beckensohle.

Messtag 2: 27.08.2008

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 19.38 Uhr und 22.21 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Zu beachten ist, dass diese Messungen insgesamt rund eine Stunde früher durchgeführt wurden, als jene am Messtag 1.
- Während der ersten Messung zwischen 18.50 Uhr und 19.38 Uhr MESZ zeigt sich an den Standorten HM1 und HM2 hangaufwärts gerichtete Luftbewegungen mit 1 bzw. 0,8 m/s. Am Standort HM3 talaufwärts gerichtete Strömung (Richtung SSO) mit 0,7 m/s. Die Standorte HM4 und HM5 weisen sehr geringe Windgeschwindigkeiten von 0,1 m/s auf.
- Die zweite Messung zwischen 20.26 Uhr und 21.12 Uhr MESZ zeigt an den Standorten HM1 und HM2 hangabwärts gerichtete Luftbewegungen mit 0,8 bzw. 1,6 m/s. Der Standort HM3 weist ebenfalls eine O-Strömung bei 0,6 m/s auf. Während am Standort HM4 schwache umlaufende Winde erfasst wurden, findet am Standort HM5 eine äußerst schwache talabwärts gerichtete Luftbewegung (Richtung N) mit 0,1 m/s statt.
- Während der dritten Messung zwischen 21.30 Uhr und 22.21 Uhr MESZ sind ebenfalls an den Standorten HM1 und HM2 Hangabwinde mit 2,1 bzw. 1,5 m/s zu beobachten. Der Standort HM3 weist jetzt allerdings eine Luftströmung mit 0,6 m/s aus SW auf. Der Standort HM 4 weist Richtungen aus SSO mit 0,9 m/s und der Standort HM5 Richtungen aus WSW mit 0,5 m/s auf.
- Vergleichbar mit der dritten Messung am Messtag 1 weisen auch diesmal die Hangbereiche gegenüber der Beckensohle wesentlich höhere Temperaturen auf.

Abbildung 121: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Untersuchungsgebiet „Meckenbeuren-TT“



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Meckenbeuren-Tettnang

10.07.2008, 19:45:00 - 20:34:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

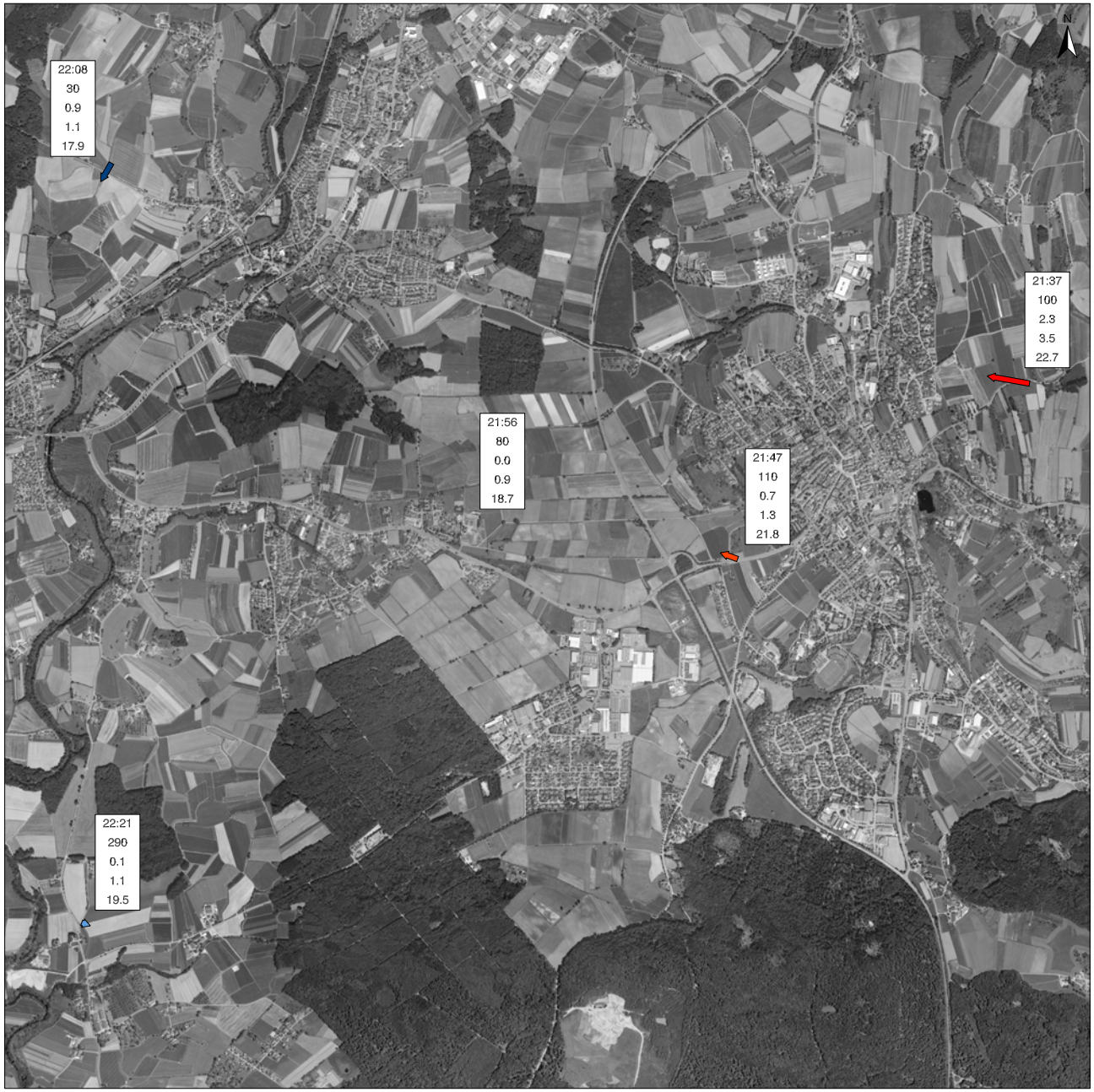
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Meckenbeuren-Tettnang

10.07.2008, 21:37:00 - 22:21:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

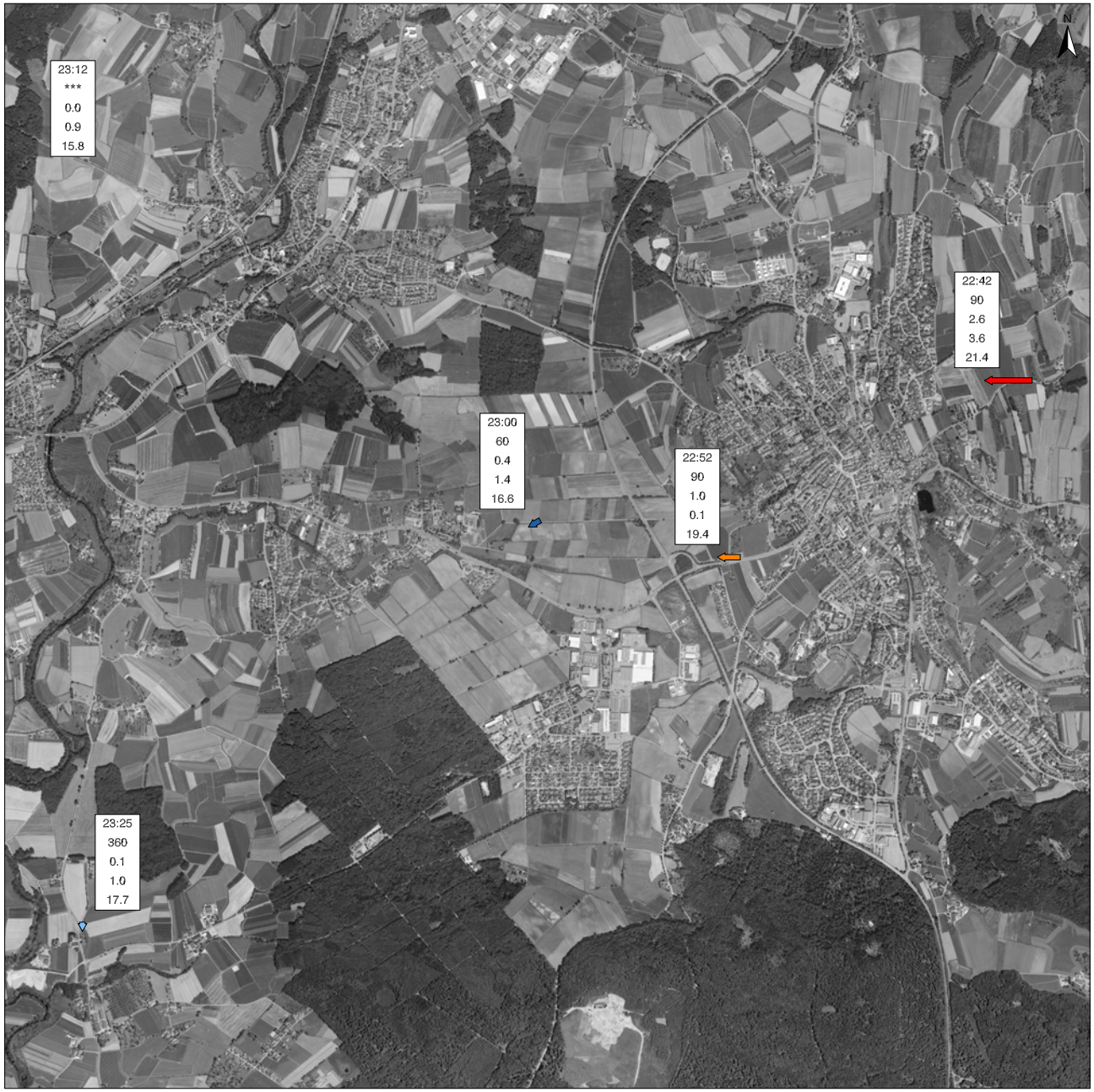
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Meckenbeuren-Tettnang

10.07.2008, 22:42:00 - 23:25:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

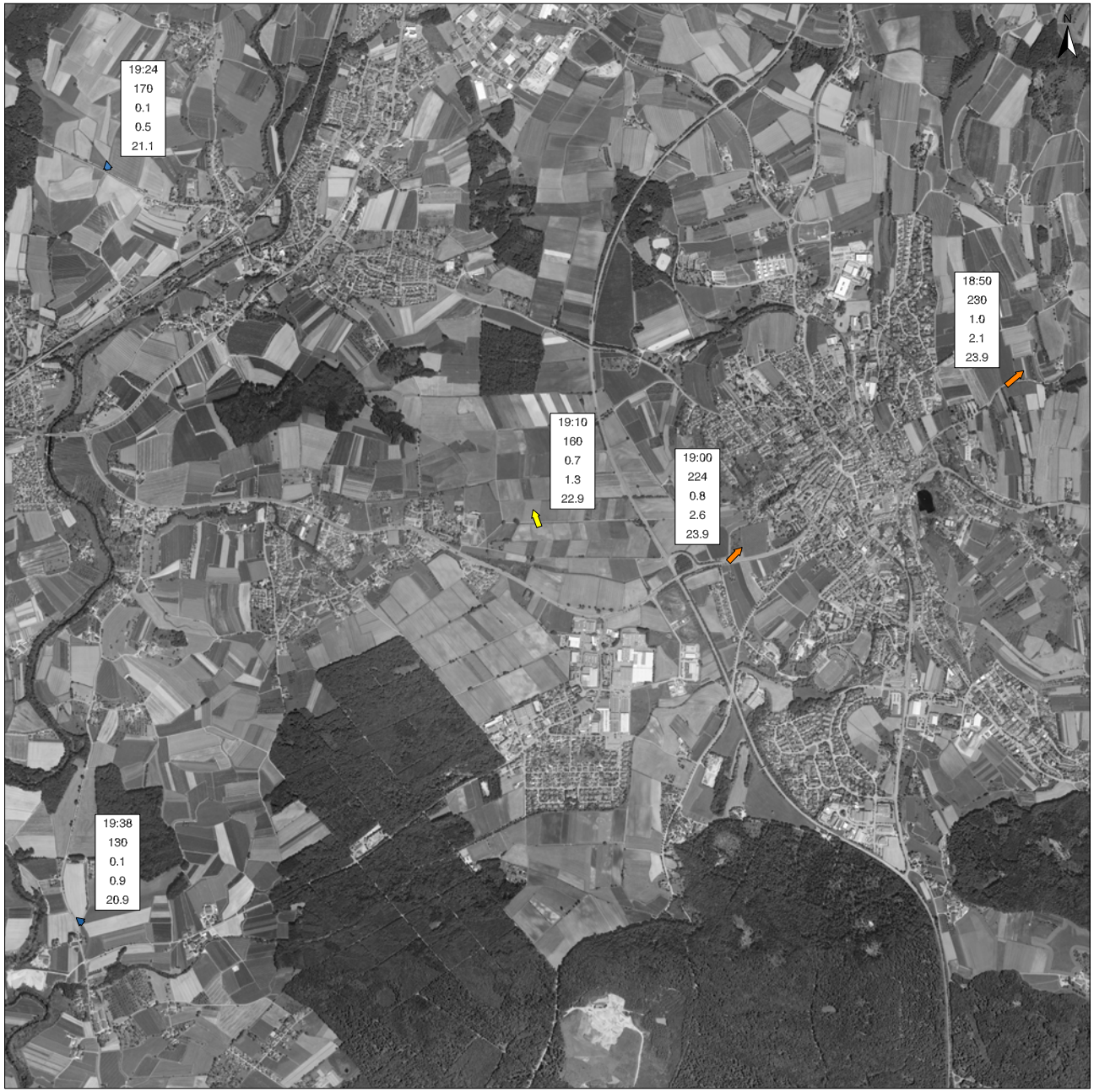
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Meckenbeuren-Tettnang

27.08.2008, 18:50:00 - 19:38:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

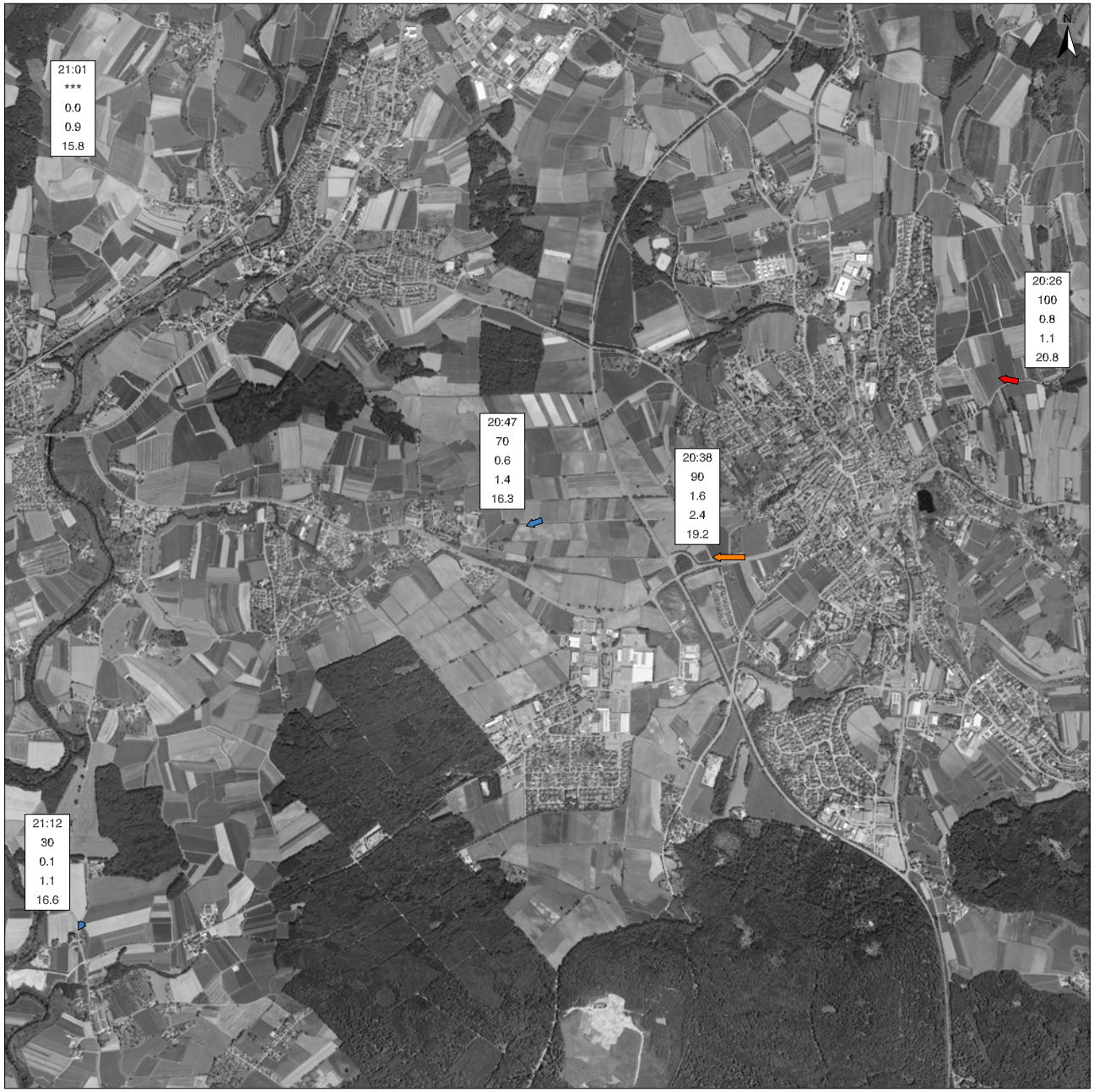
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Meckenbeuren-Tettnang

27.08.2008, 20:26:00 - 21:12:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

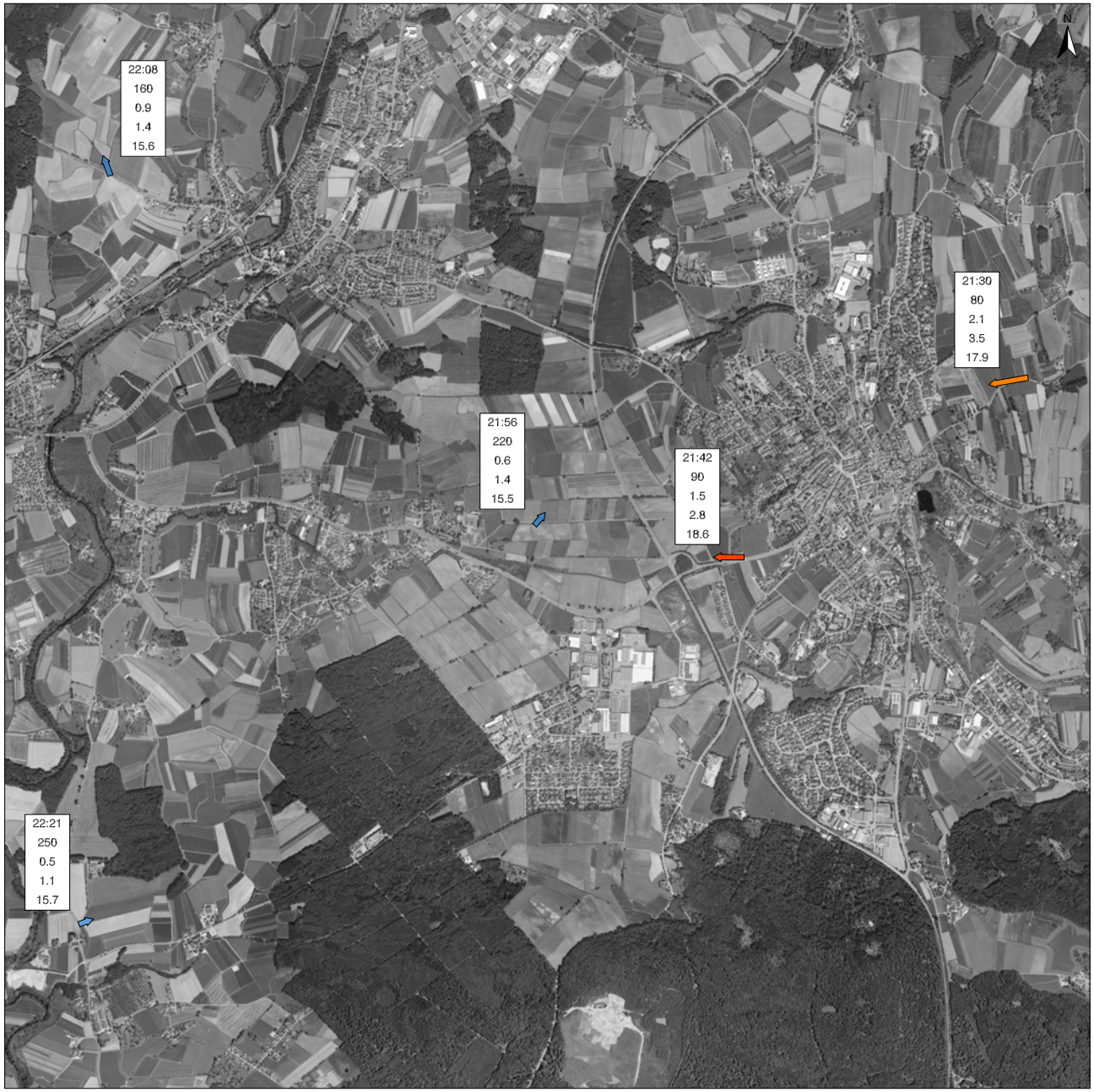
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Meckenbeuren-Tettnang

27.08.2008, 21:30:00 - 22:21:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.5.4.2 Ergebnisse der Vertikalsondierungen

Bei den durchgeführten Vertikalsondierungen wurde die Ballonposition über GPS erfasst. Aufgrund von gerätebedingten Messungenauigkeiten können die berechneten Auslenkungsdaten des Heliumballons unterhalb einer Auflasshöhe von 10 m in der Regel nicht für die Auswertung herangezogen werden.

Messtag: 08.09.2008

- An jedem Standort wurden zwischen 20.35 Uhr und 22.37 Uhr MESZ drei Messungen durchgeführt. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Messgeräte wurden in 5-m-Schritten bis auf 30 m Höhe über Grund aufgelassen. Während der dritten Messung wurde am Standort „Bürgermoos“ bis auf eine Auflasshöhe von 70 m gemessen.

Vertikalprofil der Lufttemperatur am Standort „Kehlen“

- während der ersten beiden Messungen zwischen 20.35 Uhr und 20.55 Uhr bzw. zwischen 21.19 Uhr und 21.38 Uhr MESZ Erfassung einer Temperaturinversion bis in eine Auflasshöhe von rund 20 m, dabei sehr geringe Temperaturunterschiede (annähernd Isothermie)
  - während der dritten Messung zwischen 22.01 Uhr und 22.19 Uhr MESZ vergleichbare Situation, die Inversion reicht hier allerdings nur bis in eine Höhe von rund 15 m

Vertikalprofil der Lufttemperatur am Standort „Bürgermoos“

- während der ersten Messung zwischen 20.35 Uhr und 20.55 Uhr MESZ rascher Rückgang der Temperatur zwischen 10 und 15 m Höhe, darüber nur noch sehr geringe Temperaturabnahme bis in eine Höhe von 20 m, darüber Zunahme der Temperatur
- während der zweiten Messung zwischen 21.23 Uhr und 21.41 Uhr MESZ deutliche Temperaturinversion bis zur maximalen Auflasshöhe von 30 m
- während der dritten Messung zwischen 22.04 Uhr und 22.37 Uhr MESZ Ausfall des Temperaturloggers, daher keine verwertbaren Daten

Strömungsrichtung und Auslenkungsbeträge am Standort „Kehlen“

- Die erste Messung zeigt in allen Höhen zwischen 15 und 25 m Luftbewegungen aus N/NNO. Lediglich in einer Höhe von 30 m strömt die Luft aus NO heran. Während sich der Ballon auf einer Höhe von 25 m befindet, kann ein auffälliger Rückgang der Auslenkung festgestellt werden. Auf einer Höhe von 30 m nimmt die Auslenkung wieder zu.
- Während der zweiten Messung zeigen sich in den Höhen zwischen 10 und 25 m Höhe Luftbewegungen aus NO/NNO mit einer vergleichsweise starken Auslenkung. Auf einer Höhe von 30 m nimmt die Auslenkung bedeutend ab, die Auslenkungsrichtung wird hierbei unzuverlässig
- Die dritte Messung zeigt in einer Höhe von 15 m eine Luftbewegung aus ONO/NO. Über 20 m Höhe sind bei deutlich stärkerer Auslenkung Luftbewegungen aus NO/NNO festzustellen.

Strömungsrichtung und Auslenkungsbeträge am Standort „Bürgermoos“

- Die erste Messung zeigt mit zunehmender Höhe zwischen 15 und 30 m eine leichte Drehung der Windrichtung von SO nach O. In 30 m Höhe nimmt die Auslenkung zu.
- während der zweiten Messung zeigen sich in Höhen bis 20 m Luftbewegungen aus SO bei sehr geringer Auslenkung. Zwischen 20 und 25 m Höhe nimmt die Auslenkung zu und die Windrichtung dreht auf ONO/NO. Auf Höhen zwischen 25 und 30 m pendelt die Windrichtung auf ungefähr S zurück, wobei die Auslenkung wiederum zurück geht. Wäh-

rend sich der Ballon auf 30 m Höhe befindet, sind mehrere starke Pendelbewegungen in der Auslenkungsstärke zu erkennen.

- Die dritte Messung weist in den Höhen von 15 bis 30 m Luftbewegungen aus OSO/SO auf. Auf einer Höhe von 40 m dreht die Windrichtung auf ungefähr ONO, wobei die Auslenkung abnimmt. Ab 50 m Höhe nimmt die Auslenkung dagegen deutlich zu, die Windrichtung dreht leicht auf O. Ab einer Höhe von 70 m dreht die Windrichtung allmählich auf S, wobei die Auslenkungsstärke noch einmal etwas abnimmt.

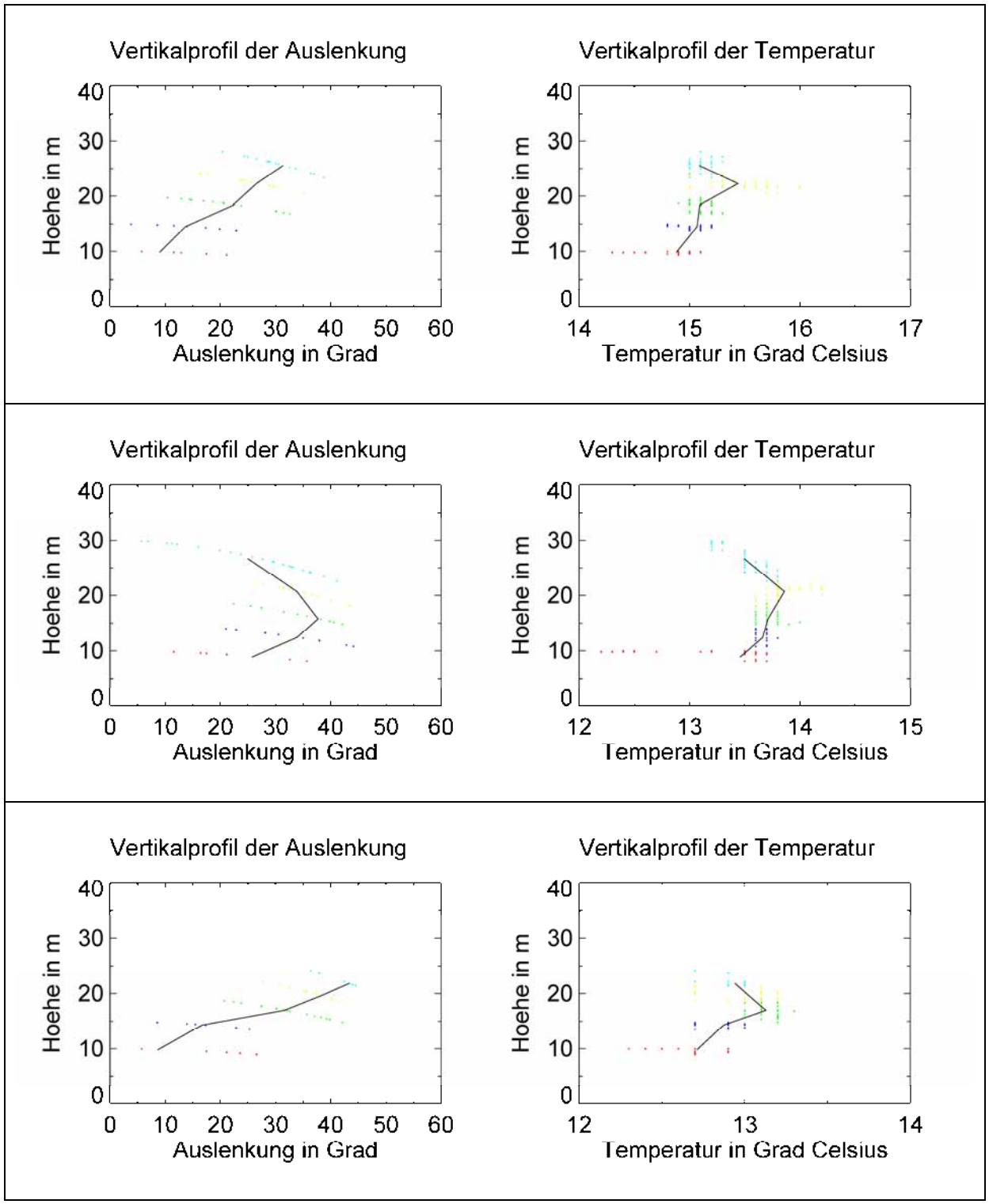


Abbildung 122: Vertikalprofil der Auslenkung und der Temperatur am Standort „Kehlen“ am 08.09.2008. Von oben nach unten: Erste, zweite, dritte Messung. Erläuterungen im Text.

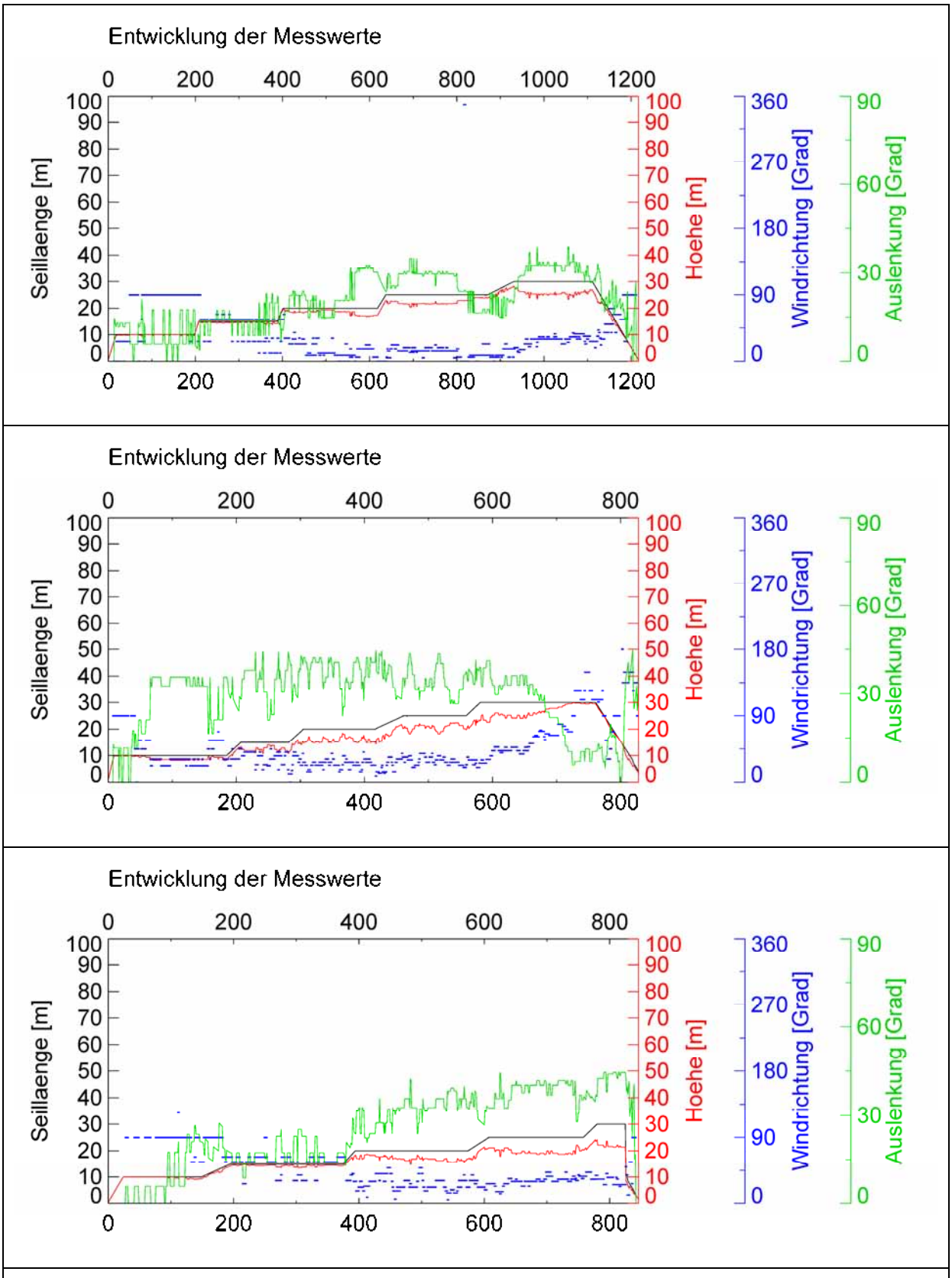


Abbildung 123: Liniendiagramme der Auslenkungsstärke des Heliumballons und der Windrichtung am Standort „Kehlen“ am 08.09.2008. Erläuterungen im Text.

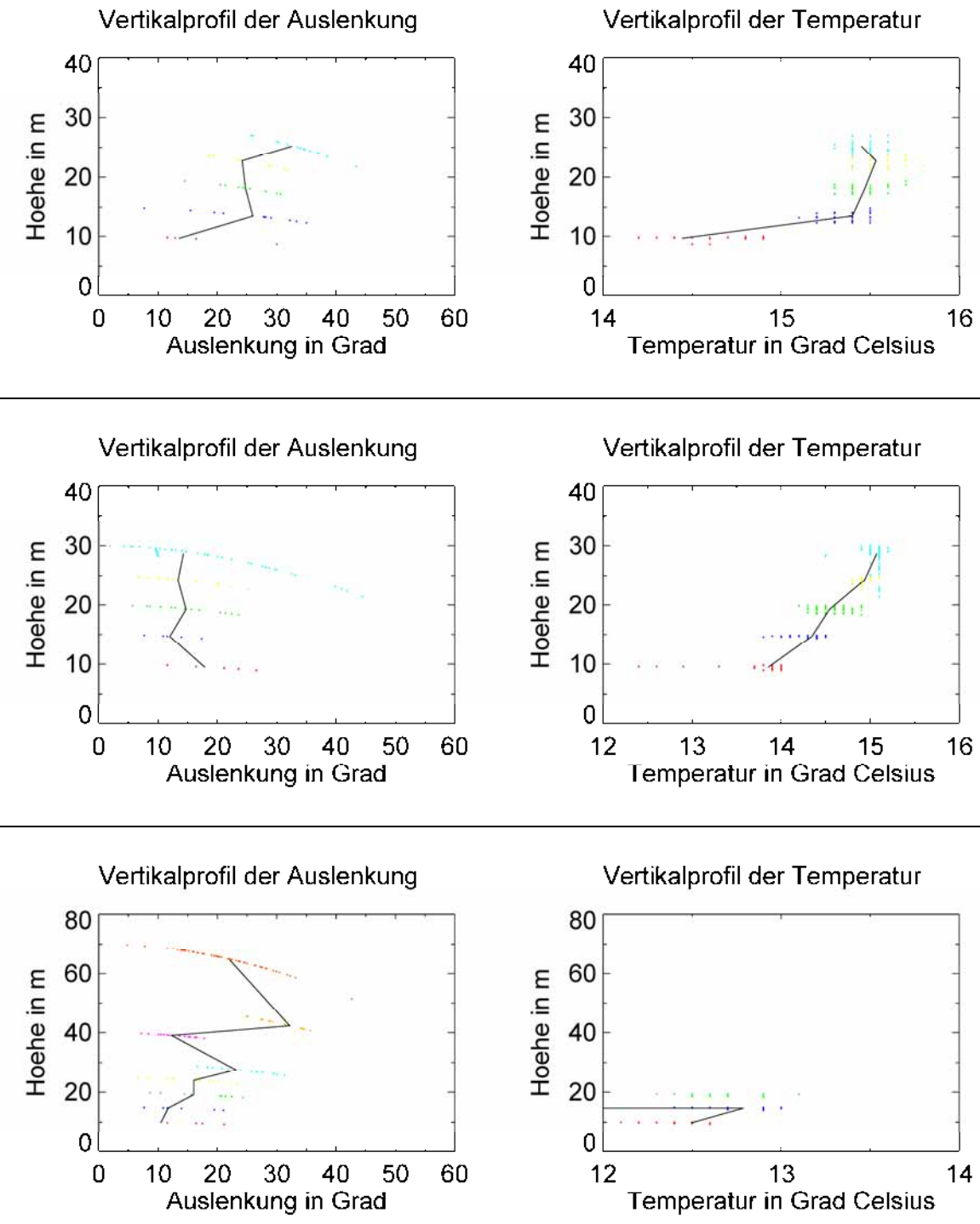


Abbildung 124: Vertikalprofil der Auslenkung und der Temperatur am Standort „Bürgermoos“ am 08.09.2008. Von oben nach unten: Erste, zweite, dritte Messung. Erläuterungen im Text.

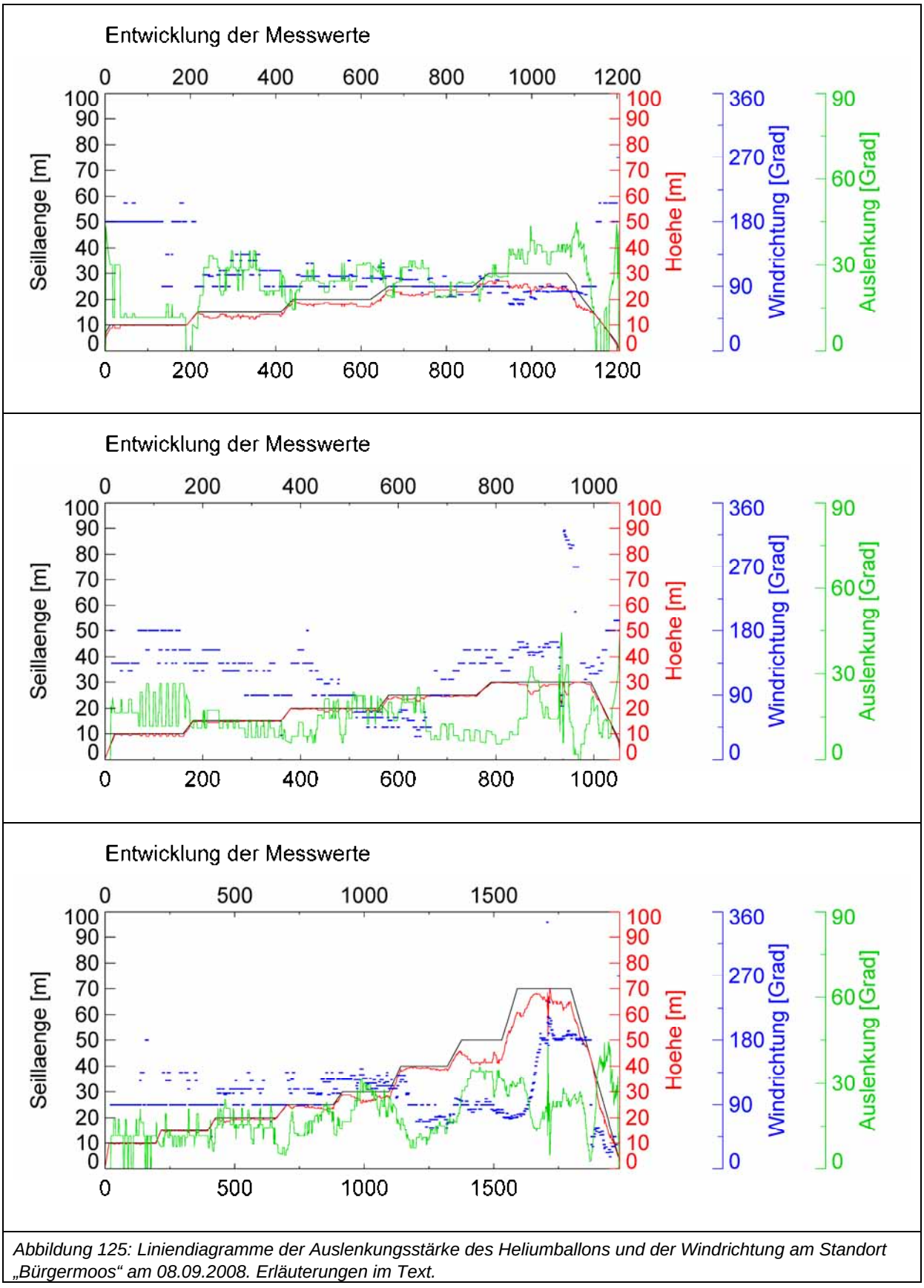


Abbildung 125: Liniendiagramme der Auslenkungsstärke des Heliumballons und der Windrichtung am Standort „Bürgermoos“ am 08.09.2008. Erläuterungen im Text.

4.5.4.3 Ergebnisse der Temperaturmessfahrten

Messtag 1: 18.08/19.08.2008

- Die abendlichen Messfahrten wurden durchgeführt zwischen 20.16 Uhr und 22.16 Uhr MESZ und die morgendliche zwischen 05.48 Uhr und 06.17 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Während der ersten abendlichen Messfahrt zwischen 20.16 Uhr und 20.46 Uhr MESZ weisen die Hangbereiche östlich von Tettnang und der Bereich zwischen Bürgermoos, Pfingstweid und Kau geringe Lufttemperaturen auf. Vergleichsweise hohe Temperaturen zeigen sich hingegen in relativ dicht verbauten Gebieten wie Tettnang, Bürgermoos und Eriskirch. In der Fläche des Beckens zeigen sich abwechselnde Temperaturverhältnisse in Abhängigkeit von Landnutzung und Relief.
- Die zweite abendliche Messfahrt zwischen 21.42 Uhr und 22.16 Uhr MESZ zeigt im Bereich der östlich angrenzenden Hänge durchschnittliche Temperaturen. Im Sohlenbereich des Beckens herrschen recht einheitliche, niedrige Temperaturen. Eine Ausnahme bilden Siedlungsbereiche, die sich sehr deutlich mit vergleichsweise hohen Temperaturen vom Umland abheben. Auffällig sind auch die Temperaturwerte im Gebiet um Eriskirch, Schlatt und Mariabrunn: Hier sind auch für die Freiflächen hohe Temperaturen angegeben.
- Während der morgendlichen Messfahrt zwischen 05.48 Uhr und 06.17 Uhr MESZ liegen die Temperaturen der Hänge und der größeren Siedlungsbereich nun sehr deutlich über den durchgehend niedrigen Temperaturen in der Beckensohle. Auffallend ist wiederum der warme Bereich in Seenähe.

Messtag 2: 22.08.2008

- Die morgendliche Messfahrt wurde durchgeführt zwischen 05.45 Uhr und 06.11 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Messfahrt zeigt insgesamt relativ wenige Temperaturabweichungen. Lediglich der Siedlungsbereich von Tettnang tritt mit seinen hohen Temperaturen hervor. Neben den durchschnittlich warmen Hängen östlich von Tettnang weichen die Temperaturen in der Fläche des Beckens ebenfalls nicht oder nur leicht negativ vom Durchschnitt ab. Gleiches gilt zu dieser Zeit für die seenahen Bereiche. Lediglich für das Gebiet zwischen Bürgermoos, Pfingstweid und Kau ist ein längerer Streckenabschnitt mit einheitlich niedrigen Temperaturen abgebildet.

Messtag 3: 24.08.2008

- Die abendlichen Messfahrten wurden durchgeführt zwischen 22.11 Uhr und 23.12 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Zu beachten ist, dass diese beiden Messfahrten deutlich später stattfanden als die abendlichen Messfahrten des ersten Messtages.
- Die erste Messfahrt zwischen 22.11 Uhr und 22.40 Uhr MESZ weist für die östlich von Tettnang gelegenen Hänge Temperaturen leicht unter dem Durchschnitt auf. Der Siedlungskörper von Tettnang ist relativ warm. Im Bereich zwischen Bürgermoos, Pfingstweid und Kau sind einheitlich niedrige Temperaturen abgebildet. Für die Fläche des Beckens ergeben sich durchschnittliche oder leicht negativ abweichende Temperaturen.
- Während der zweiten Messfahrt zwischen 22.45 Uhr und 23.12 Uhr MESZ ergeben sich an den östlich von Tettnang gelegenen Hängen durchschnittliche bis relativ hohe Temperaturen. Die Temperaturverhältnisse entsprechen in etwa jenen der vorhergegangenen Messfahrt.

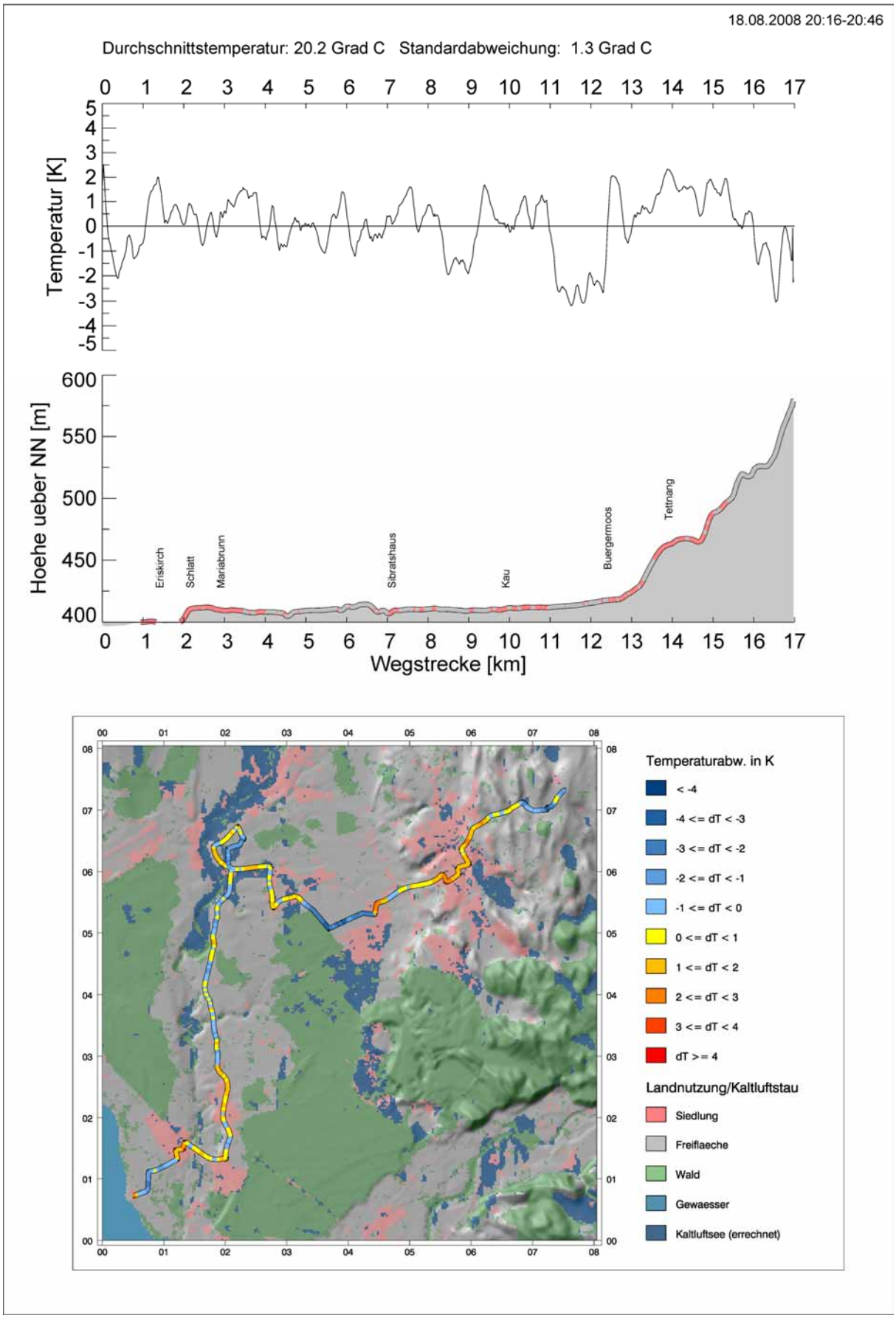


Abbildung 126: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Tettnang, Lochbrücke und dem Bodenseeufer bei Eriskirch am 18.08.2008, 20:16 Uhr – 20.46 Uhr MESZ.

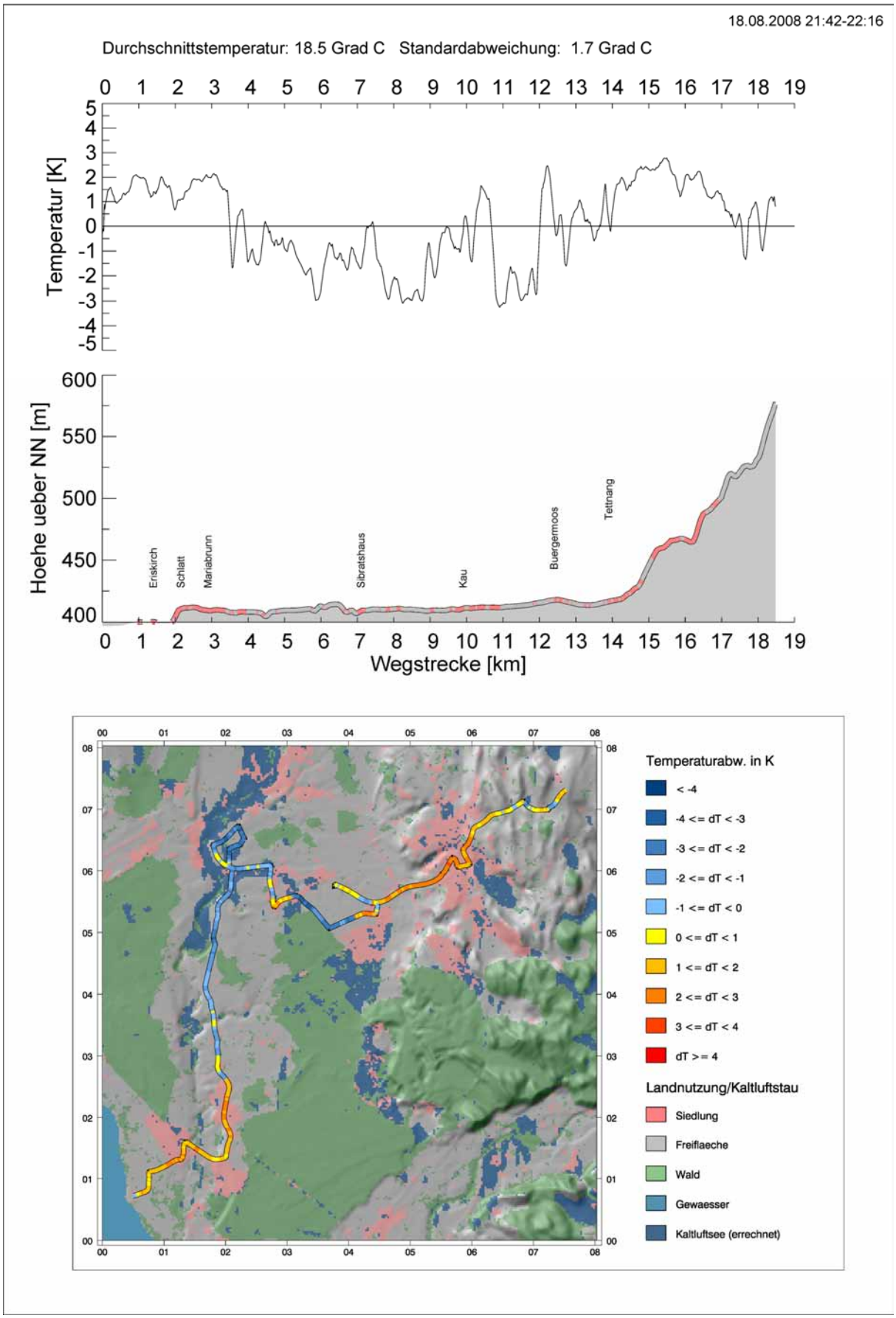


Abbildung 127: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Tettnang, Lochbrücke und dem Bodenseeufer bei Eriskirch am 18.08.2008, 21:42 Uhr – 22.16 Uhr MESZ.

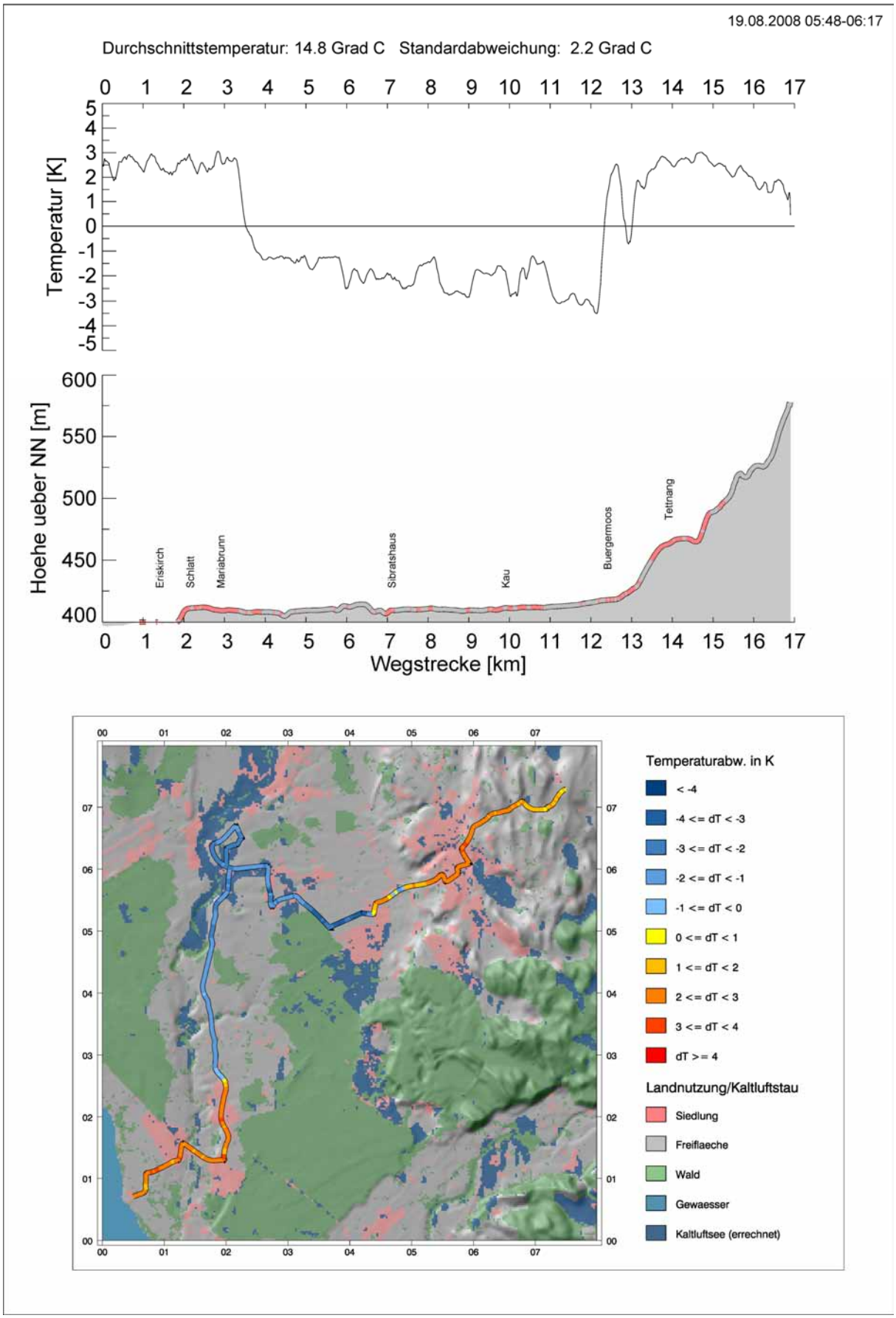


Abbildung 128: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Tettnang, Lochbrücke und dem Bodenseeufer bei Eriskirch am 19.08.2008, 05:48 Uhr – 06.17 Uhr MESZ.

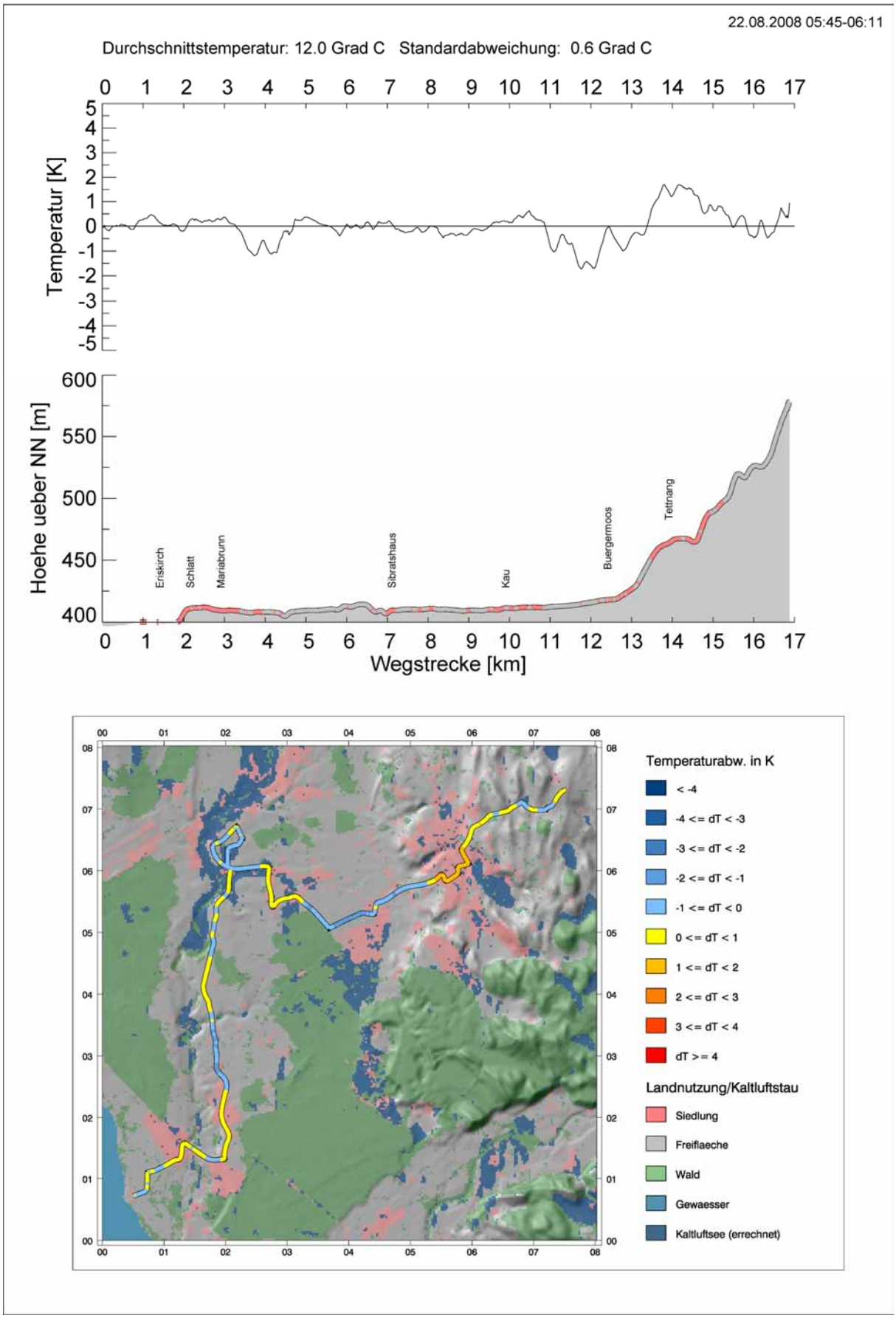


Abbildung 129: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Tettnang, Lochbrücke und dem Bodenseeufer bei Eriskirch am 22.08.2008, 05:45 Uhr – 06.11 Uhr MESZ.

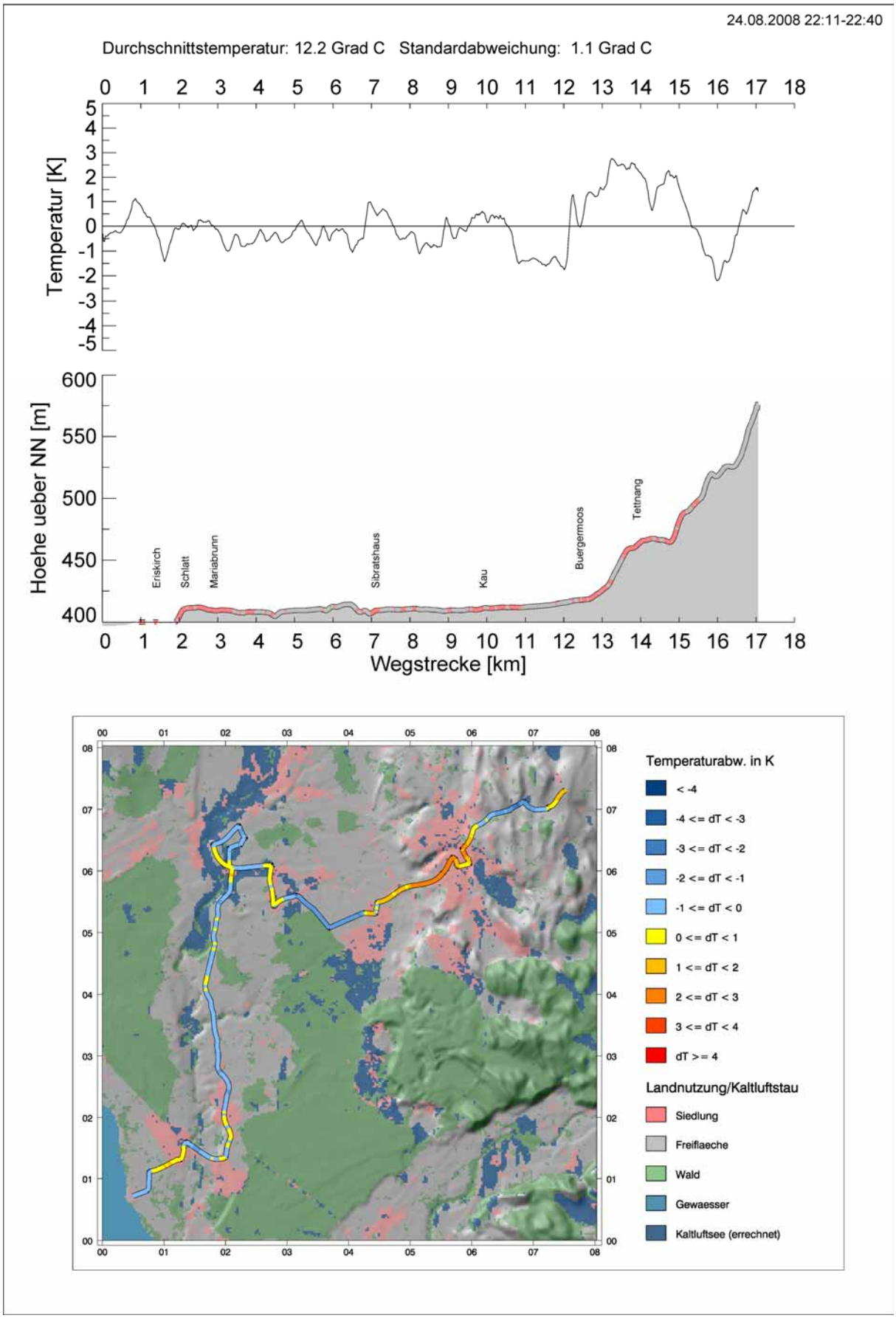


Abbildung 130: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Tettnang, Lochbrücke und dem Bodenseeufer bei Eriskirch am 24.08.2008, 22:11 Uhr – 22.40 Uhr MESZ.

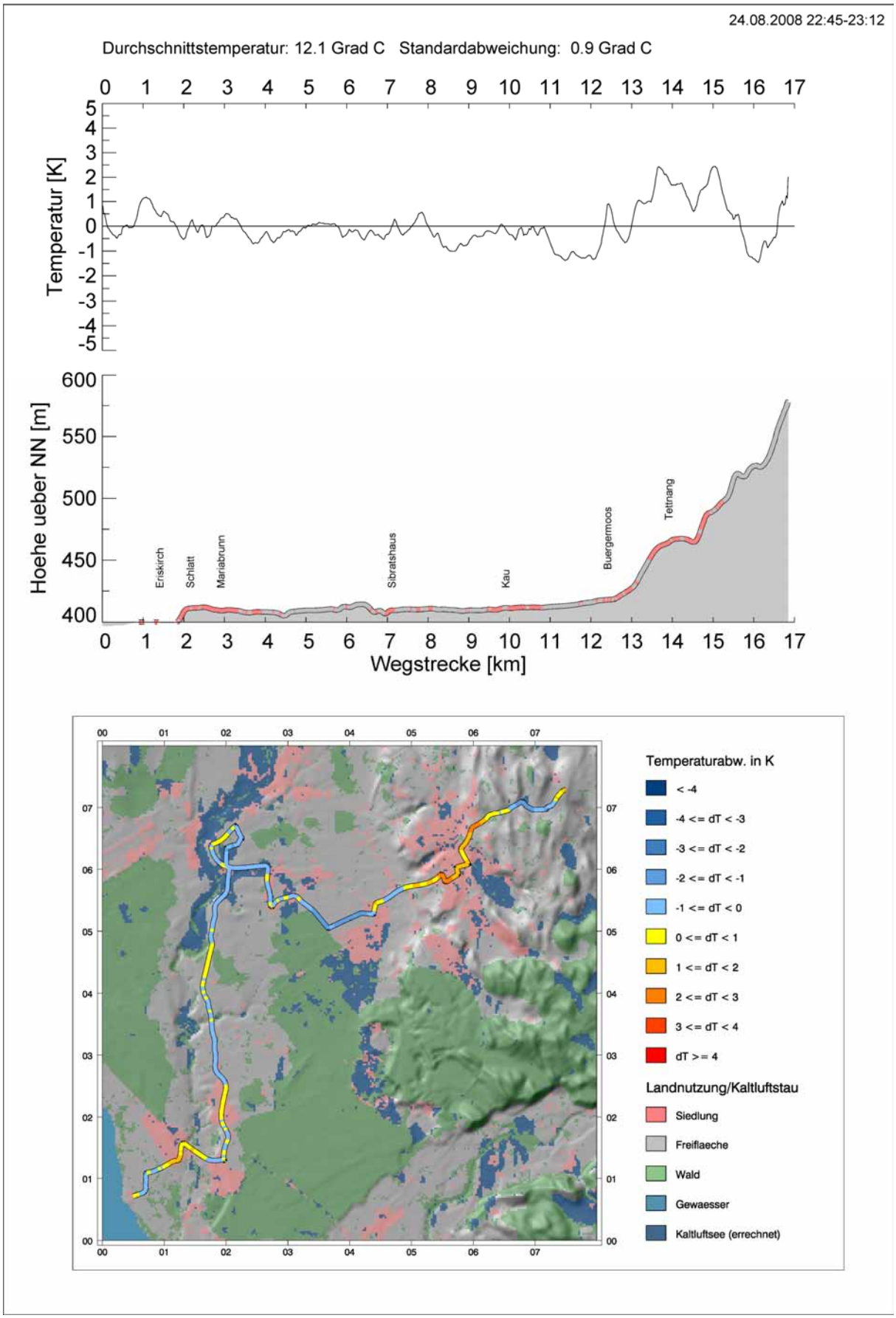


Abbildung 131: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Tettnang, Lochbrücke und dem Bodenseeufer bei Eriskirch am 24.08.2008, 22:45 Uhr – 23.12 Uhr MESZ.

4.5.5 Interpretation der Messergebnisse

Hangabwinde in den Hang- und Terrassenbereichen um Tettnang

Für die Hang- und Terrassenbereiche um Tettnang lassen sich aufgrund der Ergebnisse der Handmessungen kräftige nächtliche Hangabwinde annehmen. So weisen die Hänge östlich von Tettnang in den Stunden nach Sonnenuntergang hangabwärts gerichtete Strömungen mit Windgeschwindigkeiten mit bis zu 2,6 m/s auf. Aber auch an den westlich von Tettnang gelegenen Hängen, die in den Sohlenbereich des Beckens abfallen, zeigen sich hangabwärts orientierte Strömungen mit bis zu 1,6 m/s. Auch am Standort HM3 können die während der Messdurchgänge nach Sonnenuntergang zeitweise auftretenden Luftbewegungen aus ONO als Ausläufer eines Hangabwinds von den östlich angrenzenden Hangbereichen gedeutet werden. Sie weisen jedoch nur geringe Windgeschwindigkeiten auf (0,4 bzw. 0,6 m/s) und wirken nur zeitlich begrenzt. Es ist also davon auszugehen, dass die auftretenden Hangwinde bodennah nicht sehr weit in den Sohlenbereich hinein reichen.

Auf den ersten Blick erstaunt die Tatsache, dass auch noch westlich von Tettnang recht kräftige Hangabwinde zu beobachten sind, obwohl aufgrund der Siedlungsgröße und der Bebauungsdichte Tettnangs von einer starken Bremswirkung auf die nächtlichen Hangabwinde ausgegangen werden müsste. Es dürfte sich hier jedoch in erster Linie um Luftbewegungen handeln, die auf autochthone Kaltluftentstehung zurückgehen, also direkt an diesen Hängen entstehen. Allerdings wäre auch denkbar, dass die östlich von Tettnang nachgewiesenen Hangabwinde so stark ausgeprägt sind, dass sie den Siedlungskörper zumindest teilweise durch- bzw. überströmen. Die Bestätigung einer solchen Vermutung ergäbe sich auch aus den östlichen Windrichtungskomponenten, die im Rahmen der Vertikalsondierungen am Standort „Bürgermoos“ in Höhen ab 15 m erfasst wurden.

Die auffällige nächtliche Dominanz von bodennahen Windrichtungen aus S an diesem Standort ist hingegen nur schwer zu deuten. Möglich scheint, dass es durch die Wahl des Standortes relativ nahe am Wald- und Siedlungsrand zu kleinräumigen Strömungsmustern kommt, die mit der angewandten Messmethodik nicht erklärt werden können.

Talabwinde aus dem Schussenbecken

Die Vertikalsondierungen am Standort „Kehlen“ bestätigen mit den erfassten Luftbewegungen aus N bis NO im Zentrum der Beckenlandschaft die Vermutung eines Talabwindes aus dem Schussenbecken. Dieser Talabwind konnte bis in die maximale Messhöhe von 30 m nachgewiesen werden. Die an der Funkwetterstation dieses Standortes gemessenen nächtlichen Windrichtungsdominanzen um NNO zeigen, dass oben genannter Talabwind auch bodennah – wenn auch sehr schwach – wirksam ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit den gewählten Messstandorten unterschiedliche Situationen erfasst wurden. Während vor allem die Handmessungen um Tettnang sowie die Vertikalsondierung am Standort „Bürgermoos“ die Existenz nächtlicher Hangabwinde von Osten her nachweisen, lassen die Ergebnisse am Standort „Meckenbeuren“ auf die Existenz von Talabwinden aus dem Schussenbecken schließen. Diese Talabwinde konnten nicht nur in der Höhe (Vertikalsondierung), sondern auch bodennah (Messstation) nachgewiesen werden. Einflüsse von den Hängen her sind hier, in der Beckenmitte nicht mehr auszumachen.

Es ist jedoch zu betonen, dass die bodennahen Windgeschwindigkeiten aufgrund der hier vorliegenden Reliefverhältnisse an beiden Stationen äußerst gering sind. In Strahlungsnächten kommt es hier häufig zur Ausbildung bodennaher Inversionen mit einer deutlichen Reduktion der Luftbewegungen. Dies zeigt sich auch in den vergleichsweise tiefenTemperaturwerten, die während der Messfahrten an den Standorten der Wetterstationen verzeichnet wurden.

Das südliche Schussenbecken als großes Kaltluftsammelgebiet

Wie bereits erwähnt lassen sich für den Bereich der Beckensohle aufgrund der Ergebnisse der festen Messstationen, der Handmessungen und der Vertikalsondierungen nur relativ geringe bodennahe Luftbewegungen annehmen.

Die Messfahrten und die Vertikalsondierungen zeigen zudem sehr deutlich, dass es im Laufe der Nacht im Beckenbereich zur Ansammlung von Kaltluft kommt, kleinräumig bilden sich Kaltluftseen mit extrem niedrigen Temperaturen. Nur im Bereich größerer Siedlungen (Tettnang, Eriskirch) und an hochgelegenen Hängen sind in den Morgenstunden relativ warme Temperaturen zu verzeichnen („städtische Wärmeinseln“ und „warme Hangzone“). Auch der Bodensee wirkt sich nachts wärmend auf die ufernahen Bereiche des Untersuchungsraums aus („Bodensee als Wärmespeicher“).

4.5.6 Fazit

Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse aus den durchgeführten Messprogrammen stichwortartig zusammengefasst:

- Es kommt zur Ausbildung kräftiger nächtlicher Hangabwinde im Bereich um Tettnang.
  - Sie weisen jedoch nur eine geringe Reichweite in den Sohlenbereich des Beckens auf.
- Im Zentrum des Beckens konnten nächtliche Talabwinde aus dem Schussenbecken mit einer vertikalen Mächtigkeit von mindestens 30 m erfasst werden.
- Am Standort „Meckenbeuren“ ist kein Einfluss von Hangabwinden mehr messbar.
- Für einen umfassenden Einblick in die Windverhältnisse am Standort „Bürgermoos“ wären zusätzliche Vertikalsondierungen nötig.
- Das Südliche Schussenbecken wirkt als großes Kaltluftsammelgebiet, das lokale Kaltluftseen aufweist.
- Deutlich wärmer bleiben während der Nacht die hochgelegenen Hänge, die Siedlungsflächen und die Uferbereiche des Bodensees.

4.5.7 Vergleich mit den Modellergebnissen

Ein zentrales Ziel des REKLIBO-Messprogramms war die Validierung der Ergebnisse der Modellrechnungen. Abschließend erfolgt deshalb ein Vergleich zwischen den oben beschriebenen wichtigsten Messergebnissen im Untersuchungsgebiet und den dort modellierten Prozessen.

Zur besseren Lesbarkeit wurde für die hier vorliegende Druckfassung aus den Gesamtergebnissen das entsprechende Teilgebiet extrahiert und vergrößert dargestellt. Um die zeitliche Dynamik wiederzugeben wurden von den insgesamt 12 Zeitschnitten die Ergebnisse nach Stunde 1, 2, 4, 8 und 12 ausgewählt. Sie sollen einen Überblick sowohl über die frühen Entwicklungen während einer Nacht als auch über die gesamte Simulationszeit von 12 Stunden ermöglichen. Dargestellt werden die Kaltluftmächtigkeiten, die mittleren Windgeschwindigkeiten über die gesamte Kaltluftsäule, sowie die daraus berechneten Volumenströme (vgl. Band 2). Ergänzt werden diese Darstellungen durch die Abbildung der Klimaanalysekarte für den Bereich des Untersuchungsgebietes. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass in vielen Situationen durch die Betrachtung eines größeren Gebietes die räumlichen Zusammenhänge häufig besser erklärbar werden.

Ein Vergleich der dargestellten Modellergebnisse mit den zentralen Aussagen der durchgeführten Messungen zeigt im Untersuchungsgebiet „Meckenbeuren-Tettnang“ eine recht gute Übereinstimmung. Im Einzelnen lässt sich das an folgenden Phänomenen festmachen:

- Auch vom Modell werden in den Anfangsstunden kräftige Hangabwinde von den Hängen um Tettnang simuliert. Jedoch kann auch hier nicht von großen Reichweiten in den Sohlenbereich hinein ausgegangen werden.
- Für die zentralen Bereiche des Beckens werden vergleichsweise große Volumenströme berechnet, die den gemessenen Talabwinden aus dem Schussenbecken entsprechen dürften. Sie setzen im Modell nach ca. 3 bis 4 Stunden Modellzeit ein und sind im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes zwischen Tettnanger Wald und Seewald am stärksten ausgeprägt.
- Kaltluftstaubereiche werden entlang der Schussen und in kleinerem Umfang an Wald- und Siedlungsrändern berechnet. Insofern stimmen hier die Modellergebnisse nicht unbedingt mit den Ergebnissen der Messungen überein. So konnte bei Temperaturmessfahrten unter anderem gezeigt werden, dass auch im Bereich der Messstation „Bürgermoos“ während Strahlungsnächten mit niedrigen Temperaturen zu rechnen ist.

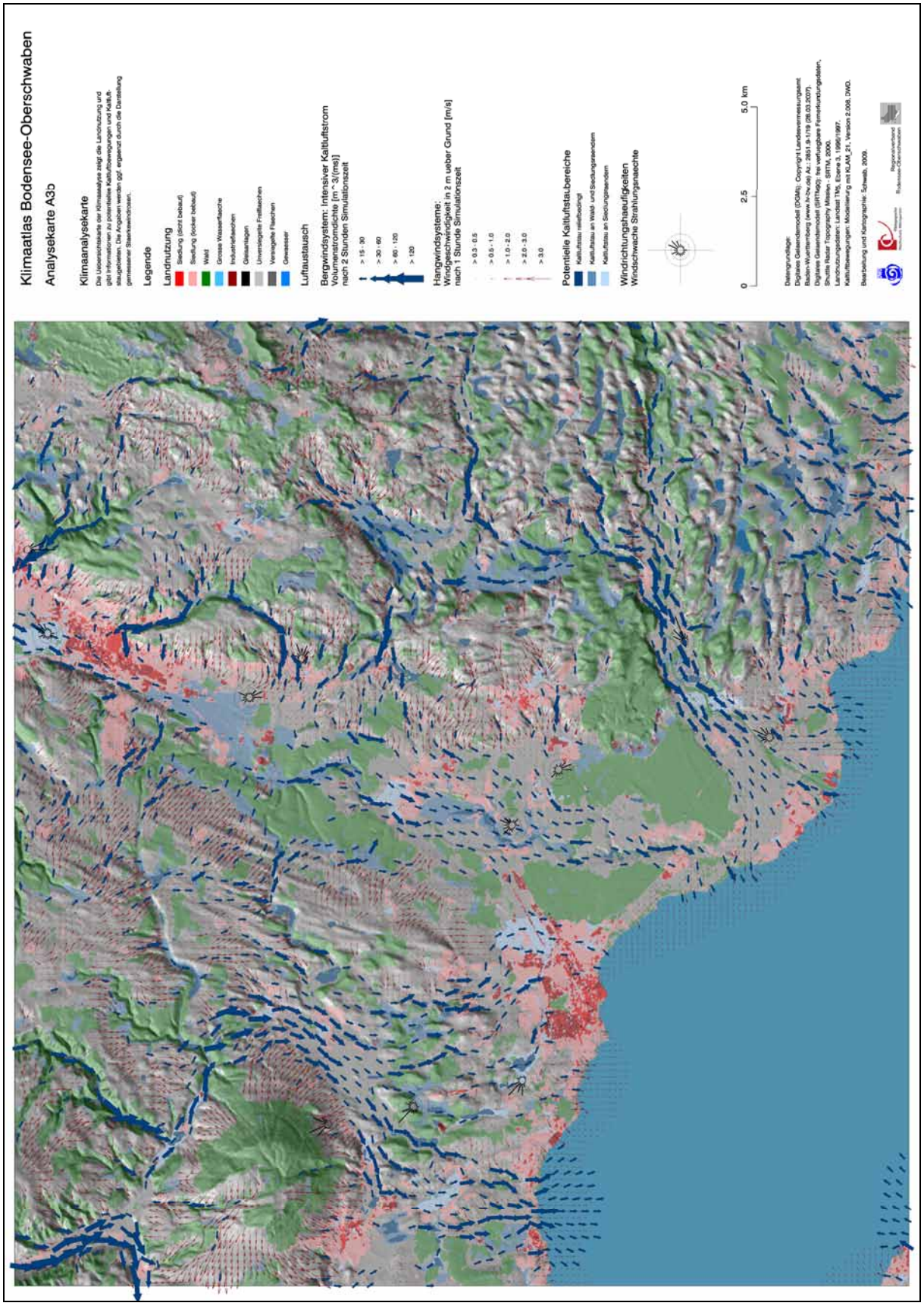


Abbildung 132: Klimaanalysekarte des Untersuchungsgebietes „Meckenbeuren-Tettnang“.

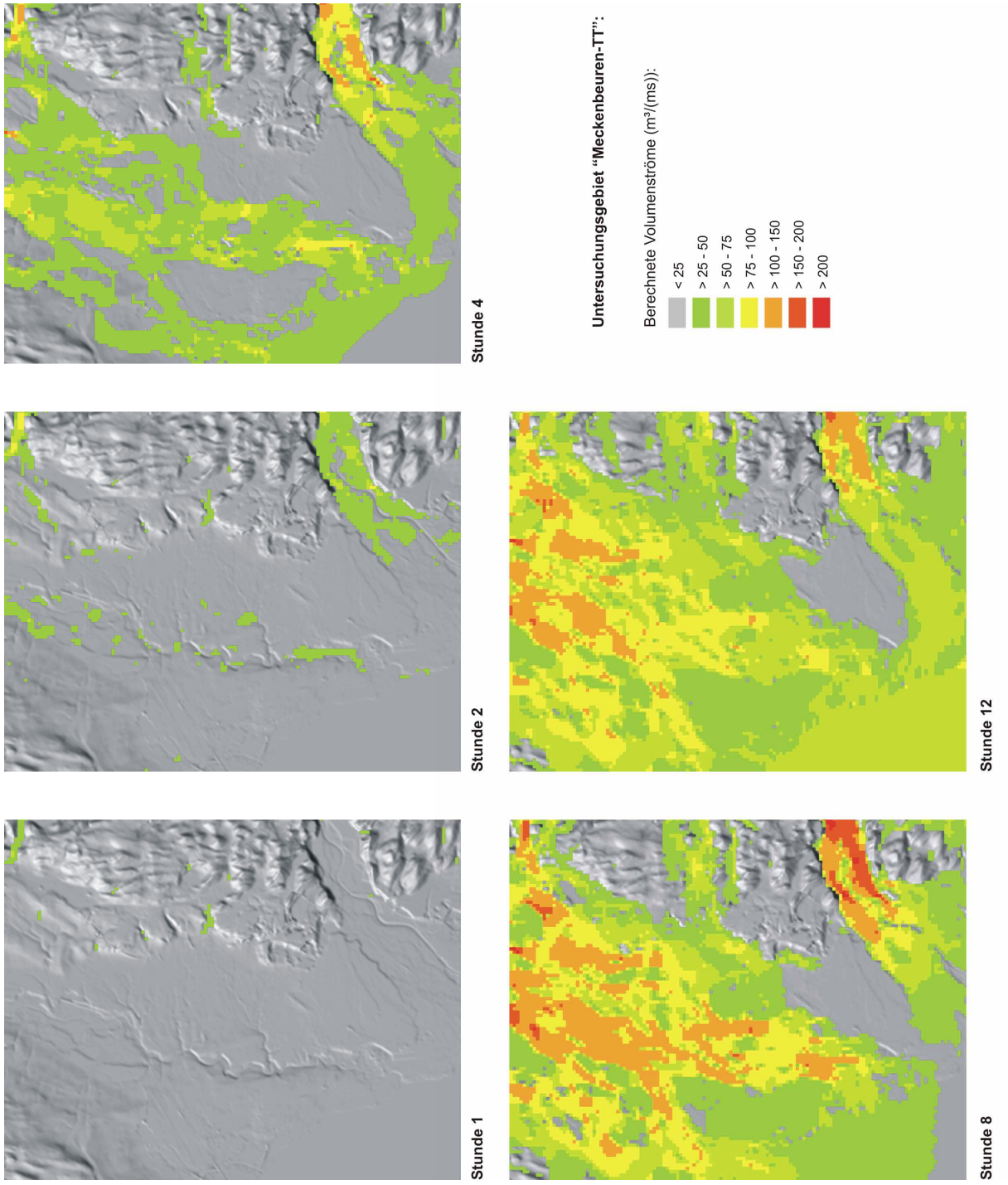


Abbildung 133: Berechnete Volumenströme im Untersuchungsgebiet „Meckenbeuren-Tettnang“.

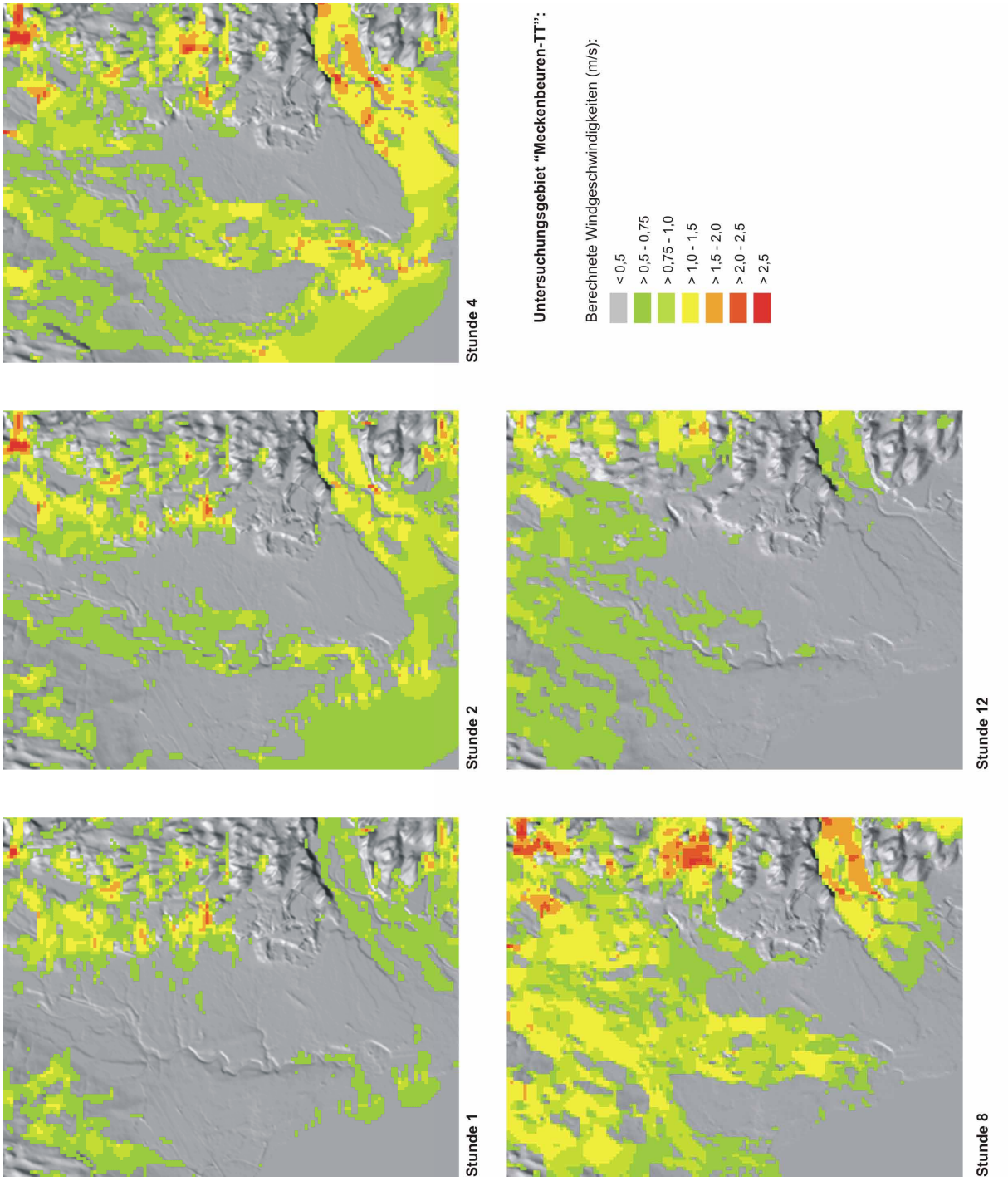


Abbildung 134: Berechnete Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet „Meckenbeuren-Tettnang“.

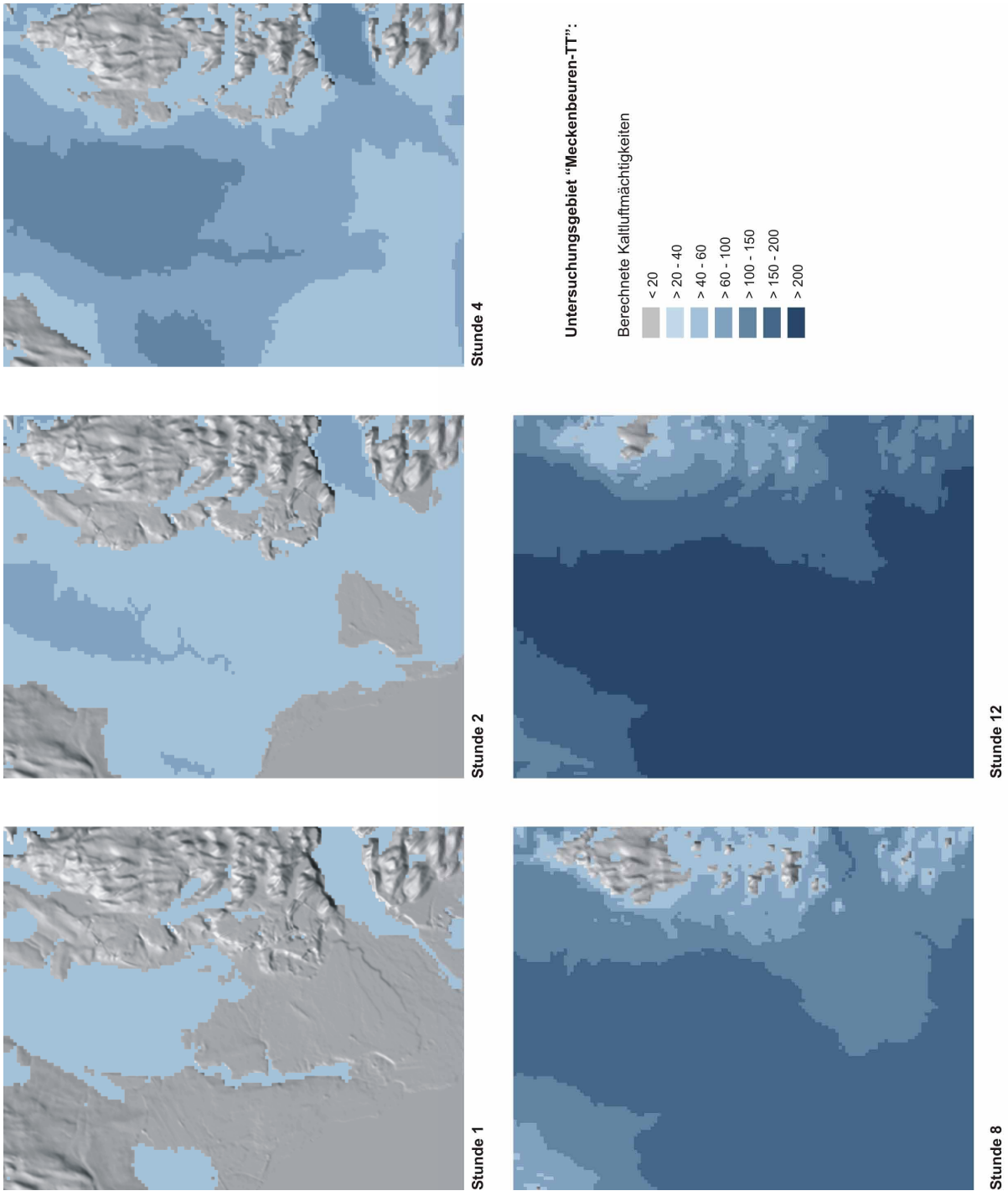


Abbildung 135: Berechnete Kaltluftmächtigkeiten im Untersuchungsgebiet „Meckenbeuren-Tettnang“.

4.6 Untersuchungsgebiet „Sigmaringen“

4.6.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Lage und naturräumliche Einordnung

Das Untersuchungsgebiet Sigmaringen liegt entlang der Oberen Donau, größtenteils auf der Gemarkung der Stadt Sigmaringen, im gleichnamigen Landkreis und somit an der Grenze zwischen Oberschwaben und Schwäbischer Alb. Ab der Talschlinge westlich von Inzigkofen folgt das Gebiet dem Lauf der Donau auf einer Länge von rund 8 km bis zu einem alten Bahndamm südöstlich von Sigmaringen. Die naturräumliche Gliederung Deutschlands spricht hier vom „Oberen Donautal“ und der „Sigmaringer Talweitung“ (Huttenlocher, S. 10, S. 27).

Drei Teilgebiete lassen sich voneinander unterscheiden: die Schlingen des Oberen Donautals bis an den westlichen Ortsrand von Laiz, ab dort die sog. Sigmaringer Talweitung bis zum alten Bahndamm südöstlich von Sigmaringen. Außerdem der sattelartige Übergangsbereich vom Laucherttal nach Sigmaringen im Bereich Bahnhof Hanfertal (vgl. Abbildung 139).

Relief

Das obere Donautal zeichnet sich durch seine steilen Hänge und scharfen Übergänge in häufig breite Talsohlen aus. An vielen Stellen haben sich beachtliche Talschlingen gebildet, die im Wechsel mit Talverengungen auftreten. Die umliegenden flachen Anhöhen überragen das Donautal um bis zu 100 m. Die Talsohle ist hier mit rund 0,2 % sehr schwach geneigt und liegt auf einer Höhe von rund 570 m.

Bei Laiz ändert sich die Form des Donautals deutlich. Besonders die Hänge an der Südseite des Tales fallen hier wesentlich flacher ab (Sigmaringer Talweitung). Im Stadtgebiet von Sigmaringen kommt es wieder zu einer starken Verengung. Hier durchbricht die Donau eine Kalksteinschwelle (Lage Schloss Sigmaringen), die das Tal von Norden nach Süden quert. Östlich von Sigmaringen weist das Tal wieder eine klassische Kastenform auf.

Bemerkenswert ist die räumliche Nähe zwischen einer alten Talschlinge der Lauchert und der Sigmaringer Donauschlinge: Das hier auf rund 600 m. ü.NN. liegende Laucherttal ist nur durch einen wenige hundert Meter breiten und maximal 30 m über das Laucherttal aufragenden Sattel im Bereich des Bahnhofs Hanfertal vom Siedlungskörper Sigmaringens und damit vom Donautal getrennt.

Geologie

Geologisch ist der Untersuchungsraum ein Teil der Schwäbischen Alb, der rißzeitlich überformt wurde. Während die Anhöhen mit eiszeitlichen Schottern und Geschiebelehm bedeckt sind, stehen an den Hängen des Donautals die oberen Weißjurakalke an. Die Talböden wurden ebenfalls von rißzeitlichen Schmelzwässern mit Schotter verschüttet.

Landnutzung

Die Talböden im Bereich des oberen Donautals weisen in der Regel Acker- und Grünlandflächen auf. Die Hänge sind durchgehend dicht bewaldet. Im Bereiche von Sigmaringen und Laiz sind große Anteile des Talraumes mehr oder weniger dicht bebaut bzw. versiegelt. Dies gilt insbesondere für die südexponierten Hänge.

Auffallend ist der größtenteils noch siedlungsfreie Bereich zwischen Laiz und Sigmaringen. Er ist in seinem nordöstlichen Teil durch größere Verkehrs- und Gewerbeflächen inzwischen stark überprägt.

Donauabwärts von Sigmaringen gibt es am östlichen Rand des Untersuchungsgebiets wiederum ausgedehnte Wiesenflächen. Die Hänge sind hier erneut bewaldet.

Klimatische Einordnung

Laut Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2006) beträgt die Jahresmitteltemperatur im Bereich der Sigmaringer Talweitung zwischen 7,1 und 8°C. Bezogen auf das Sommerhalbjahr sind es 12,6 bis 13°C. Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist mit 2 bis 2,9 m/s angegeben. Im langjährigen Mittel tritt an 200 Tagen im Jahr eine Inversion auf, die Durchlüftungssituation fällt in die Klasse „schlecht“. Durchschnittlich weisen 22,6 bis 25 Tage im Jahr Wärmebelastung auf.

Damit ist das vorliegende Untersuchungsgebiet im Vergleich zum Bodenseeraum im Durchschnitt sowohl im ganzen Jahr, als auch im Sommerhalbjahr um rund 1 bis 1,5 °K kälter. Durchschnittlich treten hier etwas weniger Tage mit Inversion auf.

Begründung der Wahl des Untersuchungsgebiets

Mit dem Oberen Donautal steht eine in Band 1 beschriebene besondere Reliefeinheit im Mittelpunkt des Untersuchungsgebietes. Das Tal liegt bereits im Bereich der Schwäbischen Alb, weist vergleichsweise geringe Neigungen an der Talsohle auf, hat aber sehr steile Hänge, ein großes Einzugsgebiet und einige große Seitentäler. Die Tatsache, dass die Stadt Sigmaringen an einer Engstelle des Tals liegt, wirft Fragen nach seiner Bedeutung für die Durchlüftung dieses Siedlungsraumes auf.

4.6.2 Fragestellungen

Im Untersuchungsgebiet stellen sich hinsichtlich der Durchlüftungssituation bei windschwachen Strahlungswetterlagen unter anderem folgende Fragen:

- Kommt es im Untersuchungsgebiet zur Ausbildung nächtlicher Talabwinde bzw. Hangabwinde?
- Wenn ja, mit welcher Häufigkeit, vertikalen Mächtigkeit und Intensität treten sie auf?
- Wenn ja, inwiefern kommt es zu einer Verzahnung von Talwindsystemen und Hangwindsystemen.
- Kann von einer Belüftung Sigmaringens auch aus dem Bereich des Laucherttals ausgegangen werden?

4.6.3 Messverfahren und Messstandorte

4.6.3.1 Betrieb einfacher Funkwetterstationen

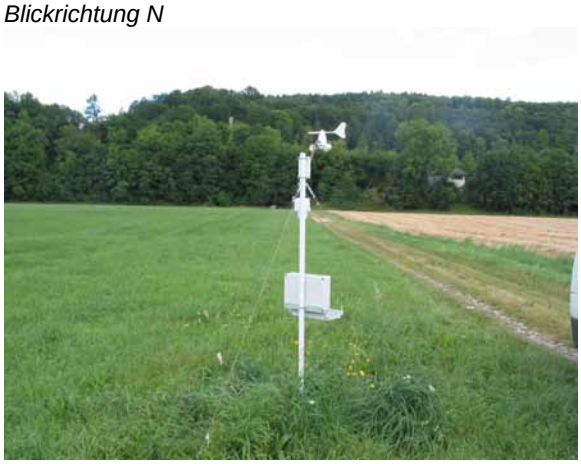
Zur Bestimmung der Häufigkeit und Intensität potentiell auftretender Kaltluftabflüsse in Bodennähe wurden an drei Standorten einfache Funkwetterstationen eingesetzt. Sie zeichnen Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund kontinuierlich auf (vgl. Kap. 3.2). Die Station „Sigmaringen West“ wurde betrieben vom 01.07. bis 14.10.2008. Die Station „Sigmaringen Mitte“ wurde betrieben vom 25.06. bis 14.10.2008. Die Station „Sigmaringen Ost“ wurde betrieben vom 10.07. bis 14.10.2008.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 139):

Station „Sigmaringen West“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talwindsystems und von möglichen Hangwindsystemen im Oberen Donautal westlich von Laiz unter Ausschluss einer Beeinflussung durch Siedlungsflächen

Blickrichtung N



Blickrichtung O

Blickrichtung S

Blickrichtung W

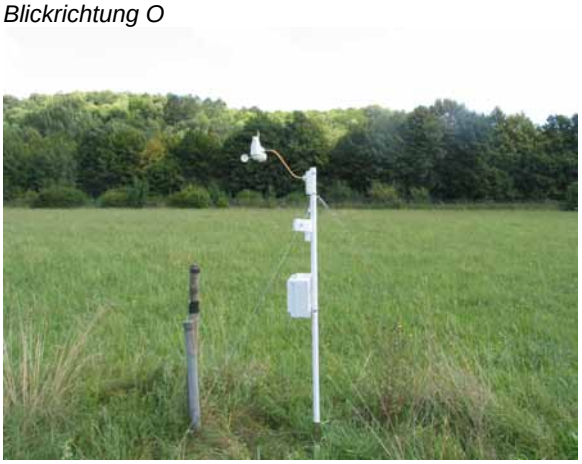
Abbildung 136: Ansichten der Funkwetterstation „Sigmaringen West“.

Station „Sigmaringen Mitte“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talwindsystems und von möglichen Hangwindsystemen im Bereich der Sigmaringer Talweitung

Blickrichtung N

Blickrichtung O



Blickrichtung S

Blickrichtung W

Abbildung 137: Ansichten der Funkwetterstation „Sigmaringen Mitte“.

Station „Sigmaringen Ost“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talwindsystems und von möglichen Hangwindsystemen im Donautal östlich Sigmaringen

Blickrichtung NO

Blickrichtung SO

Blickrichtung SW

Blickrichtung NW

Abbildung 138: Ansichten der Funkwetterstation „Sigmaringen Ost“.

4.6.3.2 Durchführung von Handmessungen

Um das Beobachtungsnetz zu verdichten, insbesondere um der Frage nach einer möglichen Verzahnung von Hang- und Talwindsystemen nachzugehen, wurden zusätzlich Handmessungen durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Dabei wurden an zwei Standorten Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund an ausgewählten Messtagen zu ausgewählten Messzeiten erfasst.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 139):

Standort HM1

- Erfassung einer möglichen Frischluftzufuhr aus einem kleinen, überwiegend bewaldeten Seitental der Donau nordwestlich von Sigmaringen

Standort HM2

- Erfassung einer möglichen Frischluftzufuhr aus dem Laucherttal über den oben genannten Sattel Richtung Sigmaringen

An folgenden Tagen wurden Handmessungen durchgeführt:

- Messtag 1: Zeitraum: 10.07.2008 zwischen 20.50 Uhr und 22.25 Uhr MESZ
- Messtag 2: Zeitraum: 31.07.2008 zwischen 20.25 Uhr und 22.10 Uhr MESZ

4.6.3.3 Durchführung von Vertikalsondierungen

Zur Erfassung der Vertikalstruktur (Mächtigkeit, Windrichtung und Windgeschwindigkeit in unterschiedlichen Höhen) von Luftbewegungen im Donautal wurden einfache Vertikalsondierungen mit einem Helium-Fesselballon durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Zudem sollte die Temperaturschichtung in einer der Senken des Drumlinfelds erfasst werden. Die Vertikalsondierung fand am Standort der Messstation „Sigmaringen Mitte“ statt (vgl. Abbildung 139).

Die Vertikalsondierung wurde am 02.09.2008 zwischen 20.11 Uhr und 22.42 Uhr MESZ durchgeführt.

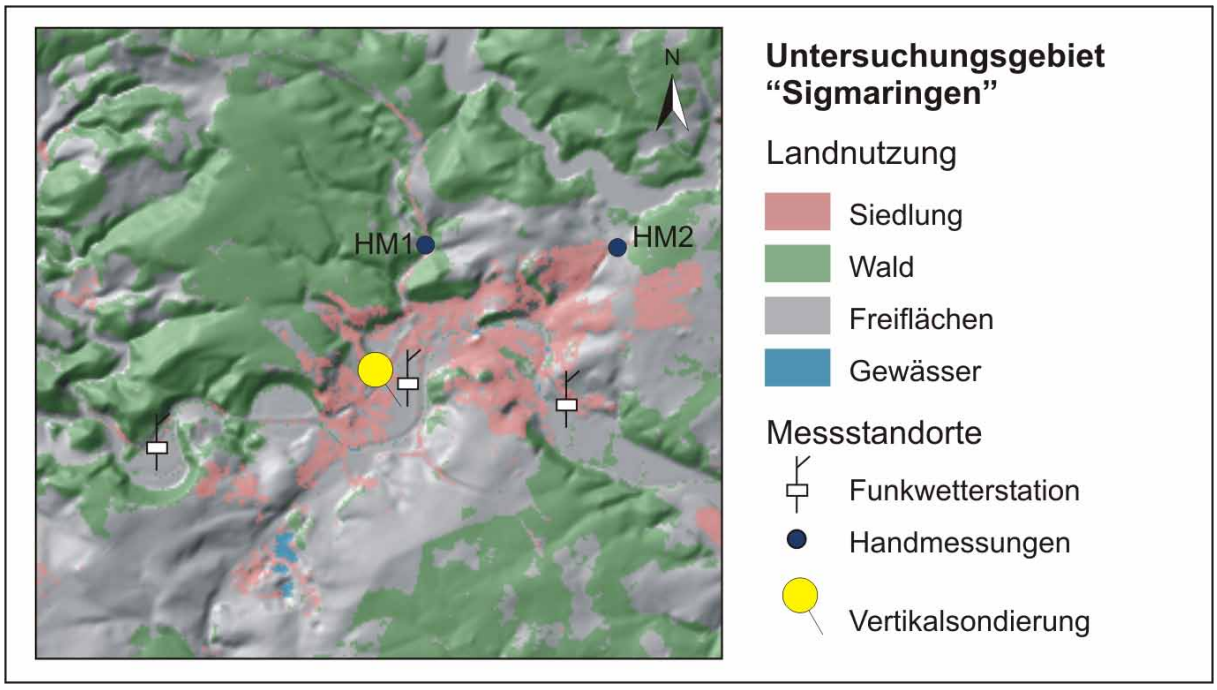


Abbildung 139: Das Untersuchungsgebiet „Sigmaringen“ mit allen Messstandorten.

4.6.4 Beschreibung der Messergebnisse

4.6.4.1 Ergebnisse der Funkwetterstationen

Die betriebenen Funkwetterstationen speichern die gemessenen Werte in 10-Minuten-Inverallen ab. Über mehrere Monate Laufzeit ergibt dies große Datenmengen, die grafisch unterschiedlich aufbereitet wurden. Zunächst wird am Beispiel von Tagesdiagrammen ein einzelner „idealer Strahlungstag“ betrachtet. Damit kann gezeigt werden, ob an den betreffenden Standorten überhaupt mit nennenswerten Hang- und Talwindsystemen zu rechnen ist. Die anschließende Betrachtung des gesamten Messzeitraums über Isoplethendarstellungen und Stärkewindrosen erlaubt unter anderem Aussagen über die Häufigkeit der beobachtbaren Phänomene.

Betrachtung eines „idealen Strahlungstages“

Im Folgenden wird am Beispiel dreier Tagesdiagramme der Zeitraum vom 30.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 31.08.2008/12.00 Uhr MESZ vorgestellt. Der Zeitraum war geprägt von „idealen Strahlungsverhältnissen“ mit sehr geringer Bewölkung und nur geringen Geschwindigkeiten der übergeordneten Winde.

Die Beschreibung der Ergebnisse erfolgt stichwortartig, um größtmögliche Kompaktheit zu erreichen.

Temperaturen

- ausgeprägter Tagesgang an allen drei Stationen.
- Maximaltemperaturen zwischen 14 und 16 Uhr MESZ
- rascher Temperaturrückgang zwischen 19 und 21 Uhr MESZ.
- gleichmäßige Temperaturabnahme im Laufe der Nacht (nur an der Station „Sigmaringen Mitte“ leichte Schwankungen der Temperatur)
- Minimumtemperaturen von rund 8 bis 9°C um die Zeit des Sonnenaufgangs
- rascher Anstieg innerhalb einer Stunde nach Sonnenaufgang auf ca. 27 bis 29°C um 12 Uhr MESZ.
- tagsüber an allen drei Stationen vergleichbare Temperaturen

Windrichtung

- während der Tagstunden an den Stationen „Sigmaringen West“ und „Sigmaringen Mitte“ Windrichtungen zwischen N und S, an der Station „Sigmaringen Ost“ zwischen ONO und S
- an der Station „Sigmaringen West“ noch vor Sonnenuntergang Drehen der Windrichtung auf Richtungen zwischen S und W
- an der Station „Sigmaringen Mitte“ zur Zeit des Sonnenuntergangs Drehen der Windrichtung auf Komponenten zwischen S und SO
- an der Station „Sigmaringen Ost“ zur Zeit des Sonnenuntergangs Drehen der Windrichtung auf N bis S, in den frühen Morgenstunden vor Sonnenaufgang auf NW (bei extrem schwachem Wind)
- nach Sonnenaufgang an der Station „Sigmaringen West“ im Laufe des Vormittags Drehen des Windes auf tagestypische Richtungen
- an der Station „Sigmaringen Mitte“ Beibehaltung der nächtlichen Richtungen bis einige Stunden nach Sonnenaufgang, dann wie an Station „Sigmaringen Ost“ umlaufende Winde am Vormittag

Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an allen drei Stationen vergleichbare Größenordnung zwischen durchschnittlich rund 1 und 1,5 m/s
- mit Abnahme der Temperatur rascher Rückgang der Windgeschwindigkeit bei gleichbleibender Windrichtung (nicht an der Station „Sigmaringen West“)
- an der Station „Sigmaringen West“ in den ersten Stunden nach Sonnenuntergang extrem geringe Windgeschwindigkeiten, ab ca. 22 Uhr MESZ pulsierender Wind mit Geschwindigkeiten bis 0,5 m/s
- an der Station „Sigmaringen Mitte“ bis 2 Uhr MESZ selten Windimpulse mit bis zu 0,7 m/s, ab dann selten Impulse mit bis zu 0,2 m/s
- an der Station „Sigmaringen Ost“ extrem schwacher Wind die ganze Nacht hindurch
- an allen Stationen erst einige Stunden nach Sonnenaufgang erneutes Aufleben des Windes (an der Station „Sigmaringen Ost“ besonders spät und zögerlich)

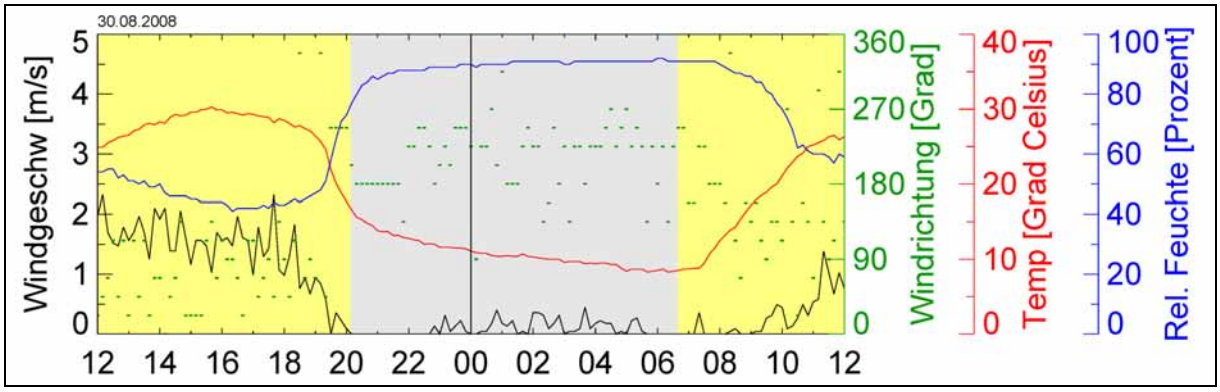


Abbildung 140: Tagesdiagramm der Station „Sigmaringen West“ vom 30.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 31.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

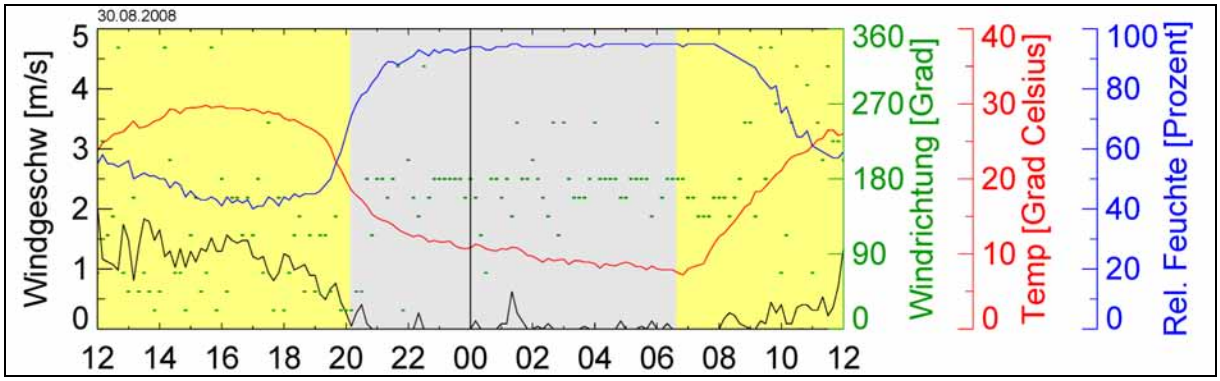


Abbildung 141: Tagesdiagramm der Station „Sigmaringen Mitte“ vom 30.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 31.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

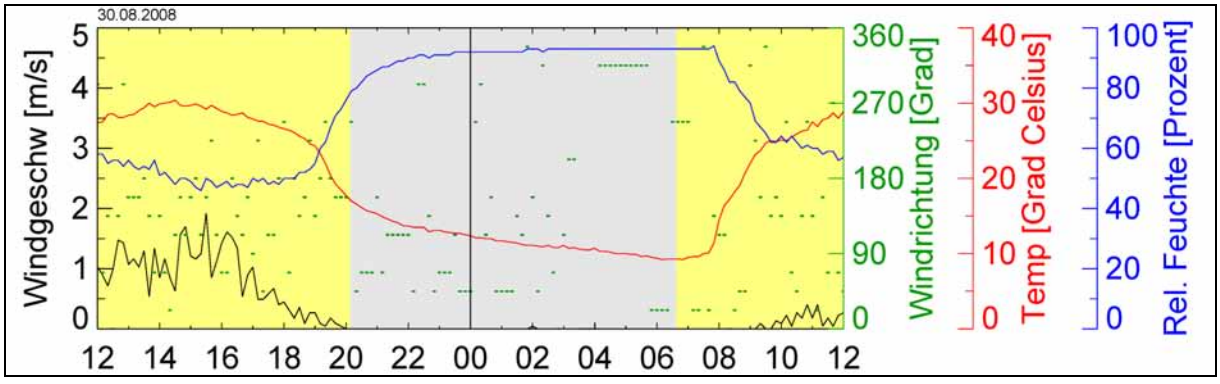


Abbildung 142: Tagesdiagramm der Station „Sigmaringen Ost“ vom 30.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 31.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

Beschreibung des gesamten Messzeitraums

Isoplethendarstellungen der Lufttemperaturen

- an allen drei Stationen während der meisten Tage rasche und starke Temperaturabnahme um die Sonnenuntergangszeit; an der Station „Sigmaringen Ost“ etwas geringere Abkühlungsraten
- an allen Stationen gleichmäßige Abkühlung über die ganze Nacht
- an allen Stationen Zunahme der Lufttemperatur einige Stunden nach Sonnenaufgang

Isoplethendarstellungen der Windrichtungen

- an der Station „Sigmaringen West“ im Laufe des kompletten Messzeitraums keine ausgeprägte Windrichtungsänderung zur Zeit des Sonnenuntergangs, nachts meist Winde aus S bis W, einige Stunden nach Sonnenaufgang etwas stärker ausgeprägte Windrichtungsänderung auf grob NNO bis O.
- Die Station „Sigmaringen Mitte“ zeigt um die Sonnenuntergangszeit einen Wechsel auf Richtungen um S, einige Stunden nach Sonnenaufgang wiederum ein Drehen auf tagestypische Windrichtungen. Kurz vor Sonnenuntergang immer wieder kurzzeitig Dominanz von Winden aus N.
- an der Station „Sigmaringen Ost“ bereits vor Sonnenuntergang und im Laufe der Nacht sehr gleichmäßige Windrichtungswerte, einige Stunden nach Sonnenaufgang Rückkehr zur tagestypischen Situation.

Isoplethendarstellungen der Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an allen Stationen meist Winde mit 0,5 bis 2 m/s, an der Station „Sigmaringen Mitte“ auch immer wieder Anteile mit bis zu 3 m/s
- an der Station „Sigmaringen Ost“ auch beachtenswerte Anteile zwischen 0,1 und 0,5 m/s.
- Die Station „Sigmaringen West“ zeigt noch vor Sonnenuntergang ein Nachlassen der Windgeschwindigkeit auf 0 bis 0,5 m/s (entspricht Nachstunden).
- An der Station „Sigmaringen Mitte“ findet der Geschwindigkeitsrückgang erst zum Sonnenuntergang und sehr abrupt statt. Die nächtlichen Geschwindigkeiten liegen meist unter 0,1 m/s, selten bis 0,5 m/s.
- An der Station „Sigmaringen Ost“ setzt der abendliche Geschwindigkeitsrückgang typischerweise einige Stunden vor Sonnenuntergang ein. Nahezu über den gesamten Messzeitraum herrscht nachts extrem schwacher Wind unter 0,1 m/s.
- an allen drei Stationen auffallend spätes Auffrischen des Windes nach Sonnaufgang (teilweise erst nach 4 Stunden)

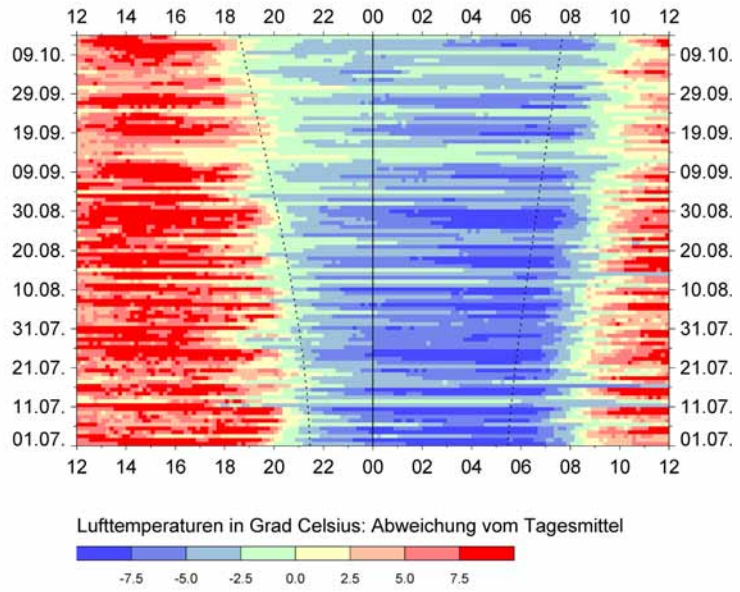


Abbildung 143: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Sigmaringen West“. Abweichung vom Tagesmittel.

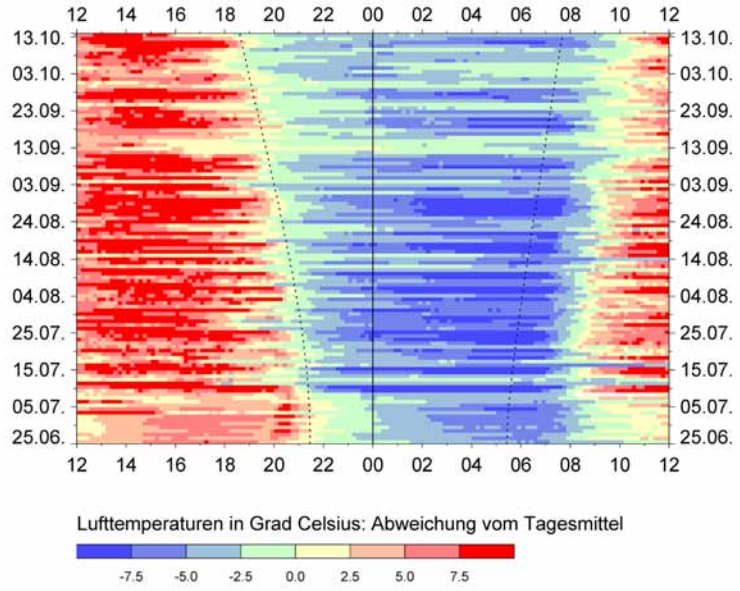


Abbildung 144: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Sigmaringen Mitte“. Abweichung vom Tagesmittel.

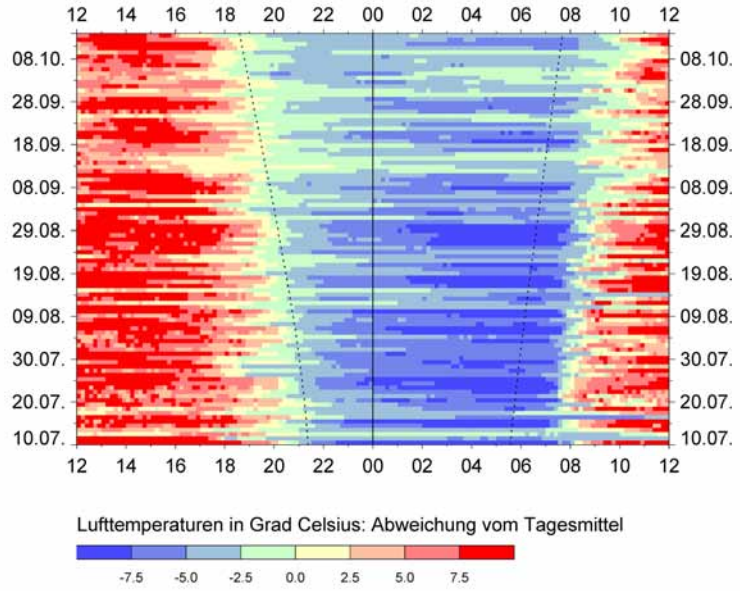


Abbildung 145: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Sigmaringen Ost“. Abweichung vom Tagesmittel.

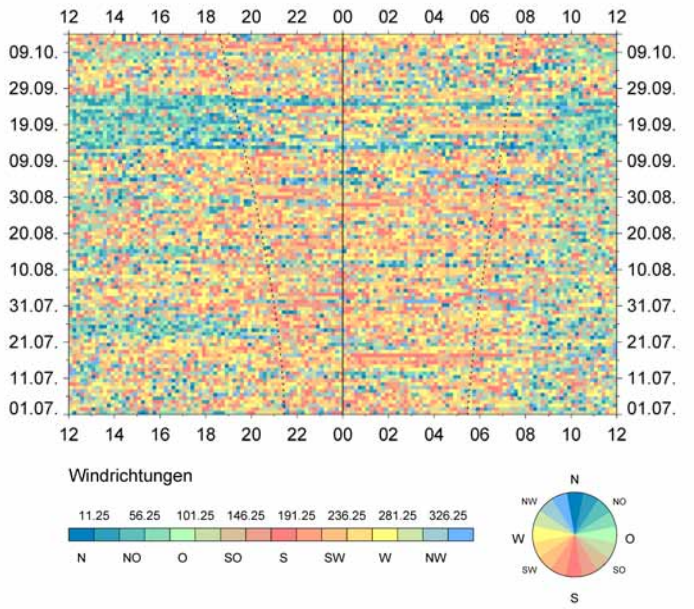


Abbildung 146: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Sigmaringen West“.

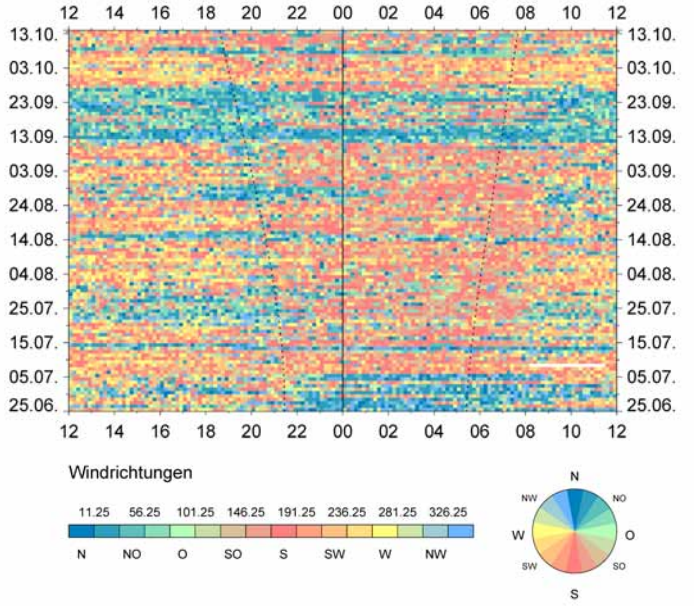


Abbildung 147: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Sigmaringen Mitte“.

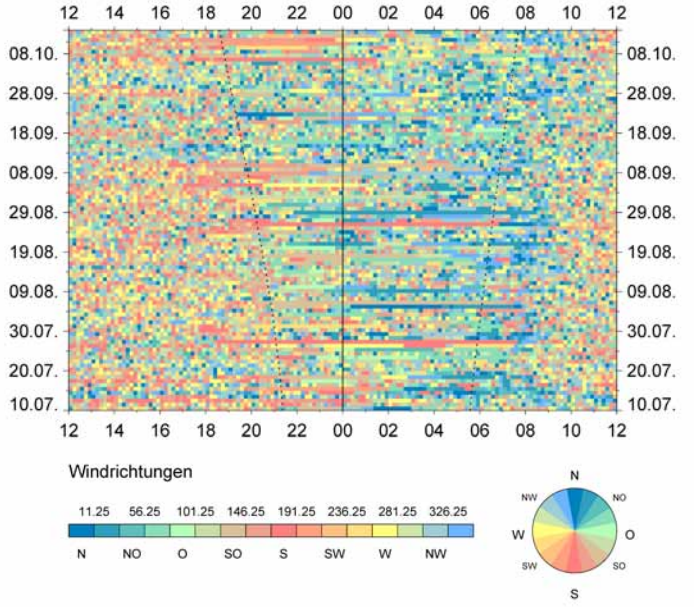


Abbildung 148: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Sigmaringen Ost“.

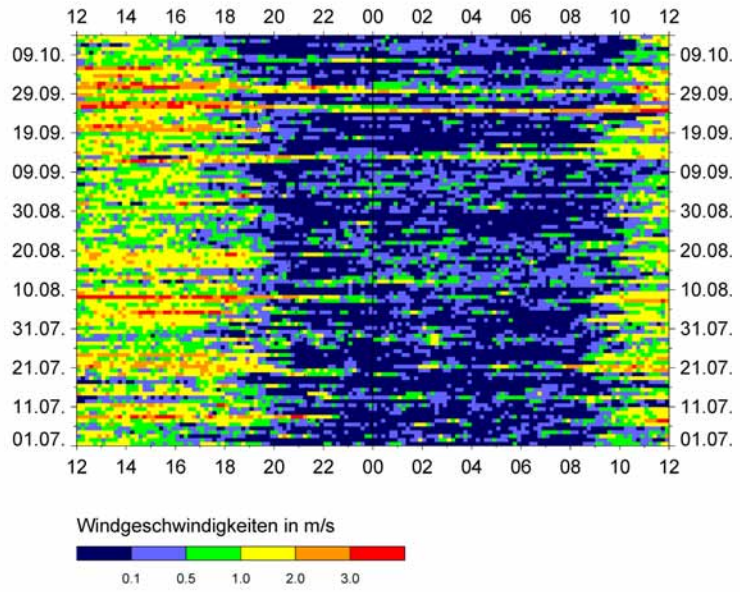


Abbildung 149: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Sigmaringen West“.

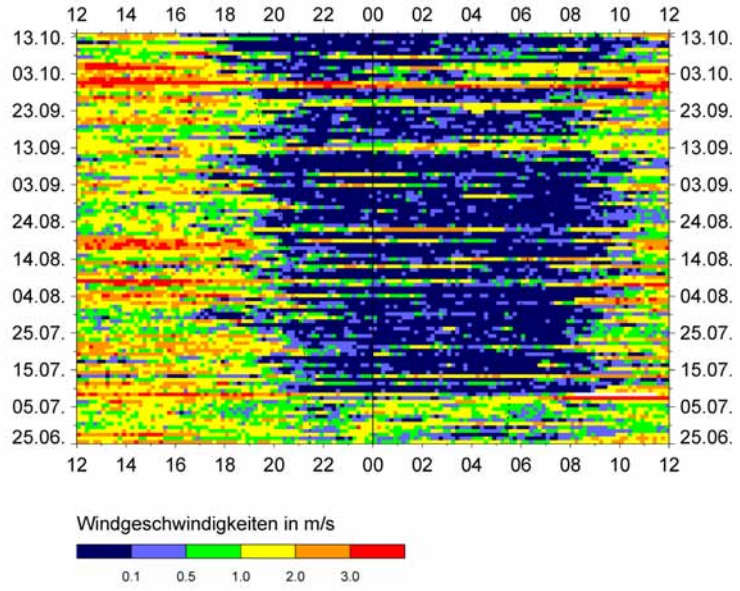


Abbildung 150: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Sigmaringen Mitte“.

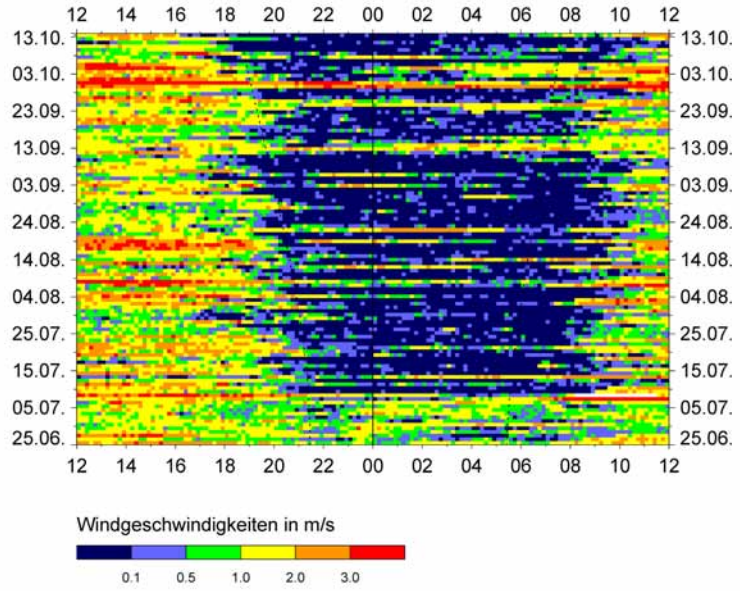


Abbildung 151: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Sigmaringen Ost“.

Stärkewindrosen der Station „Sigmaringen West“

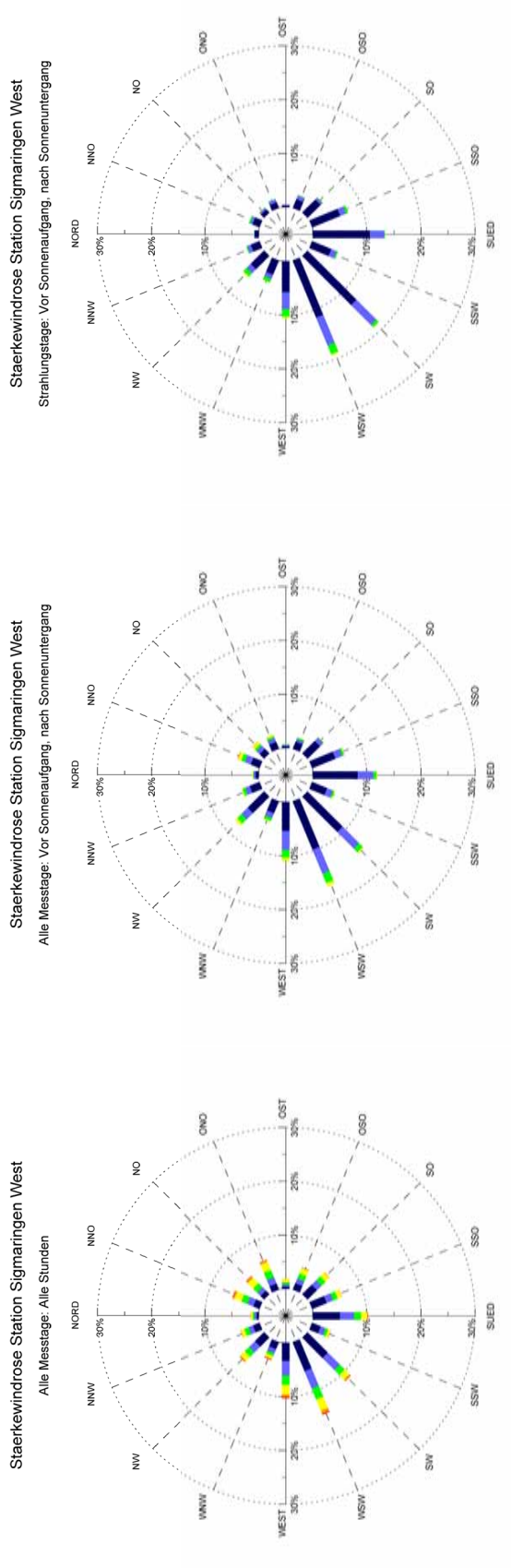
- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Sigmaringen West“ Winde aus zwei unterschiedlichen Richtungsschwerpunkten: Am häufigsten treten Winde aus WSW/SW/W auf, ein weiteres Maximum liegt bei S.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so treten oben genannte Richtungsdominanzen noch deutlicher hervor.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so ergibt sich eine noch größere Dominanz der oben genannten Windrichtungen (WSW/SW/W zusammen 48 %).
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen 0 und 0,5 m/s. Dabei überwiegen die Klassen unter 0,1 m/s. Nur seltener werden Windgeschwindigkeiten über 0,5 m/s gemessen.

Stärkewindrosen der Station „Sigmaringen Mitte“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Sigmaringen Mitte“ Winde aus drei unterschiedlichen Richtungsschwerpunkten: Am häufigsten treten Winde aus SW/WSW auf, weitere Maxima sind aus S und aus NNO zu beobachten.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so konzentrieren sich die Windrichtungen deutlicher auf S/SSO/SO bzw. auf NNO. Winde aus SW/WSW weisen praktisch keine Dominanz mehr auf.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so ergibt sich eine noch größere Dominanz der S/SSO/SO-Richtungen (zusammen 44 %). Winde aus NNO kommen mit einer Häufigkeit von 11 % vor und zeigen damit eine sekundäre Dominanz
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im Fall der S/SSO/SO-Richtungen in der Regel zwischen 0 und 0,5 m/s. Dabei überwiegen die Klassen unter 011 m/s sehr deutlich. Im NNO-Sektor treten Windgeschwindigkeiten zwischen 0 und 2 m/s bei einer recht gleichmäßigen Verteilung auf.

Stärkewindrosen der Station „Sigmaringen Ost“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Sigmaringen Ost“ ganz leicht die Windrichtungsbereiche um SO und um NW.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so erkennt man kaum Veränderungen im Vergleich zur oben geschilderten Situation. Lediglich die ONO-Komponente tritt nun etwas deutlicher hervor.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so lassen sich kaum noch Dominanzen ausmachen. Lediglich die SO-, ONO-, NNO- und NW-Komponenten sind etwas häufiger vertreten.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall nahezu ausschließlich unter 0,1 m/s.



Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0.39	0.42	0.33	0.31	0.08	0.01	1.54
NNO	1.23	1.21	1.18	1.35	0.40	0.10	5.47
NO	0.92	0.86	1.04	1.41	0.42	0.09	4.74
ONO	1.18	1.24	1.48	1.64	0.36	0.08	5.98
OST	0.38	0.44	0.43	0.53	0.06	0.00	1.86
OSO	1.28	0.94	1.00	1.09	0.14	0.03	4.48
SO	2.45	1.16	1.04	1.03	0.08	0.01	5.78
SSO	2.91	1.27	0.92	0.82	0.06	0.01	5.99
SUED	5.02	2.61	1.30	1.13	0.18	0.04	10.27
SSW	1.73	0.99	0.52	0.50	0.06	0.01	3.80
SW	5.33	3.12	1.32	1.23	0.30	0.07	11.36
WSW	5.82	3.49	2.19	2.25	0.63	0.20	14.57
WEST	3.34	2.76	1.70	1.79	0.48	0.22	10.29
WNW	1.40	0.86	0.55	0.55	0.19	0.10	3.63
NW	2.36	1.54	1.14	1.08	0.24	0.05	6.40
NNW	1.30	0.92	0.83	0.66	0.12	0.00	3.83
Summe	37.03	23.83	16.97	17.35	3.80	1.03	100.00

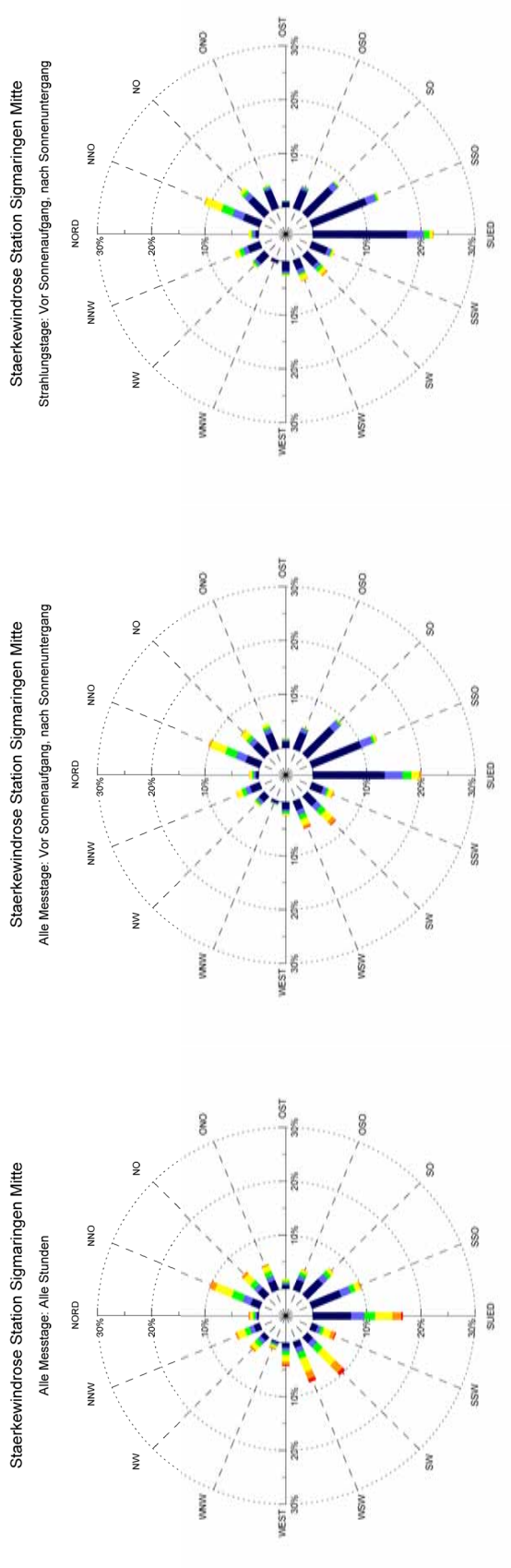
Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0.58	0.36	0.11	0.11	0.02	0.00	1.17
NNO	1.74	1.20	0.71	0.64	0.17	0.00	4.45
NO	1.17	0.82	0.45	0.56	0.09	0.00	3.09
ONO	1.36	0.74	0.38	0.33	0.03	0.00	2.85
OST	0.33	0.24	0.11	0.02	0.00	0.00	0.70
OSO	1.42	0.55	0.27	0.06	0.00	0.00	2.30
SO	3.24	0.80	0.14	0.05	0.00	0.00	4.22
SSO	4.66	1.36	0.36	0.09	0.03	0.00	6.51
SUED	8.30	2.95	0.55	0.18	0.02	0.00	11.99
SSW	3.00	1.18	0.32	0.11	0.00	0.00	4.60
SW	9.21	4.33	0.97	0.23	0.02	0.00	14.75
WSW	9.69	4.83	1.91	0.62	0.03	0.00	17.08
WEST	5.39	3.47	1.47	0.56	0.05	0.02	10.95
WNW	2.38	0.97	0.61	0.21	0.02	0.00	4.18
NW	4.27	1.64	1.14	0.50	0.03	0.00	7.57
NNW	1.97	0.89	0.56	0.17	0.00	0.00	3.59
Summe	58.71	26.33	10.04	4.42	0.48	0.02	100.00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0.75	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.90
NNO	1.39	0.45	0.30	0.00	0.00	0.00	2.14
NO	0.80	0.35	0.10	0.05	0.00	0.00	1.29
ONO	1.10	0.60	0.10	0.00	0.00	0.00	1.79
OST	0.35	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45
OSO	1.74	0.70	0.15	0.00	0.00	0.00	2.59
SO	3.38	0.45	0.15	0.00	0.00	0.00	3.98
SSO	5.62	1.14	0.45	0.00	0.00	0.00	7.22
SUED	10.55	2.59	0.15	0.00	0.00	0.00	13.29
SSW	3.83	1.10	0.30	0.00	0.00	0.00	5.23
SW	12.84	5.23	0.60	0.10	0.00	0.00	18.77
WSW	11.45	5.57	1.79	0.25	0.00	0.00	19.06
WEST	5.72	3.14	1.44	0.25	0.00	0.00	10.55
WNW	2.84	0.85	0.70	0.10	0.00	0.00	4.48
NW	3.48	1.05	0.85	0.20	0.00	0.00	5.57
NNW	1.74	0.70	0.25	0.00	0.00	0.00	2.69
Summe	67.60	24.09	7.37	0.95	0.00	0.00	100.00

Abbildung 152: Stärkewindrosen der Station „Sigmaringen West“. Angaben in Prozent.



Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0.33	0.30	0.41	0.58	0.21	0.04	1.86
NNO	1.83	1.59	2.18	3.37	1.05	0.07	10.08
NO	1.73	0.92	1.01	1.70	0.53	0.04	5.93
ONO	1.88	0.90	0.95	1.10	0.29	0.02	5.15
OST	0.70	0.33	0.39	0.34	0.07	0.01	1.85
OSO	2.02	0.81	0.68	0.49	0.11	0.01	4.13
SO	4.04	1.27	0.86	0.66	0.06	0.02	6.91
SSO	5.89	1.85	0.95	1.00	0.26	0.02	9.97
SUED	7.10	2.44	2.01	3.13	1.59	0.37	16.65
SSW	1.20	0.62	0.59	1.51	0.74	0.21	4.86
SW	1.46	1.10	1.43	3.32	1.89	0.70	9.89
WSW	1.14	0.96	1.25	2.71	1.36	0.70	8.12
WEST	0.87	0.60	0.79	1.18	0.63	0.28	4.35
WNW	0.30	0.33	0.25	0.39	0.24	0.04	1.54
NW	0.92	0.71	0.83	0.95	0.40	0.02	3.84
NNW	1.18	0.85	0.95	1.55	0.32	0.03	4.87
Summe	32.59	15.57	15.53	23.98	9.75	2.58	100.00

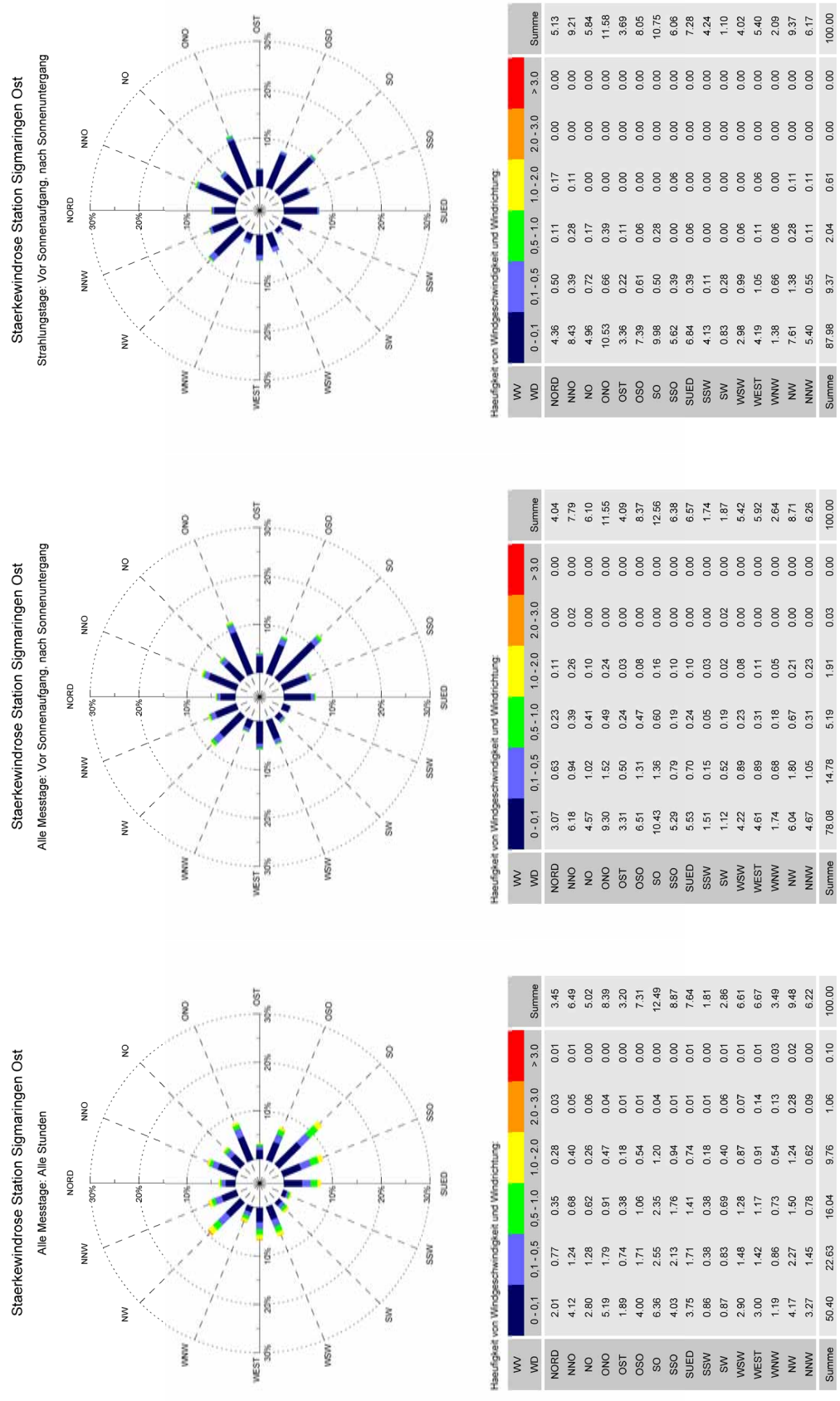
Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0.54	0.36	0.33	0.48	0.06	0.00	1.77
NNO	2.84	1.94	2.12	3.03	0.38	0.00	10.32
NO	2.93	1.02	0.74	1.35	0.17	0.00	6.21
ONO	3.21	0.84	0.49	0.52	0.01	0.00	5.08
OST	1.19	0.35	0.15	0.16	0.03	0.00	1.87
OSO	3.38	0.77	0.15	0.15	0.00	0.00	4.44
SO	6.98	1.54	0.29	0.12	0.01	0.01	8.96
SSO	9.91	2.25	0.44	0.39	0.04	0.01	13.05
SUED	13.25	3.31	1.64	1.41	0.44	0.01	20.06
SSW	2.29	0.73	0.38	0.87	0.20	0.01	4.48
SW	2.45	1.16	1.19	1.76	0.81	0.16	7.53
WSW	1.81	0.96	0.90	1.23	0.42	0.17	5.50
WEST	1.38	0.39	0.41	0.30	0.03	0.01	2.53
WNW	0.41	0.23	0.10	0.04	0.03	0.00	0.81
NW	1.38	0.58	0.38	0.26	0.01	0.00	2.61
NNW	1.96	0.87	0.78	1.09	0.07	0.00	4.78
Summe	55.92	17.30	10.48	13.16	2.73	0.41	100.00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	1,0 - 2,0	2,0 - 3,0	> 3,0	Summe
NORD	0.60	0.51	0.28	0.51	0.00	0.00	1.90
NNO	3.34	2.09	2.28	3.25	0.19	0.00	11.15
NO	4.13	1.07	0.60	0.70	0.00	0.00	6.50
ONO	3.72	0.46	0.28	0.19	0.00	0.00	4.64
OST	0.98	0.09	0.19	0.00	0.00	0.00	1.25
OSO	3.67	0.51	0.23	0.05	0.00	0.00	4.46
SO	6.64	1.30	0.19	0.14	0.05	0.00	8.31
SSO	11.01	1.86	0.37	0.23	0.00	0.00	13.47
SUED	17.37	3.11	1.07	0.60	0.19	0.00	22.34
SSW	3.16	0.74	0.19	0.46	0.00	0.00	4.55
SW	2.74	0.70	0.70	0.84	0.37	0.00	5.34
WSW	1.86	0.79	0.33	1.07	0.14	0.00	4.18
WEST	1.86	0.37	0.28	0.19	0.05	0.00	2.74
WNW	0.51	0.19	0.00	0.05	0.05	0.00	0.79
NW	2.14	0.51	0.37	0.23	0.00	0.00	3.25
NNW	2.42	0.88	0.79	1.02	0.00	0.00	5.11
Summe	66.14	15.19	8.13	9.52	1.02	0.00	100.00

Abbildung 153: Stärkewindrosen der Station „Sigmaringen Mitte“. Angaben in Prozent.



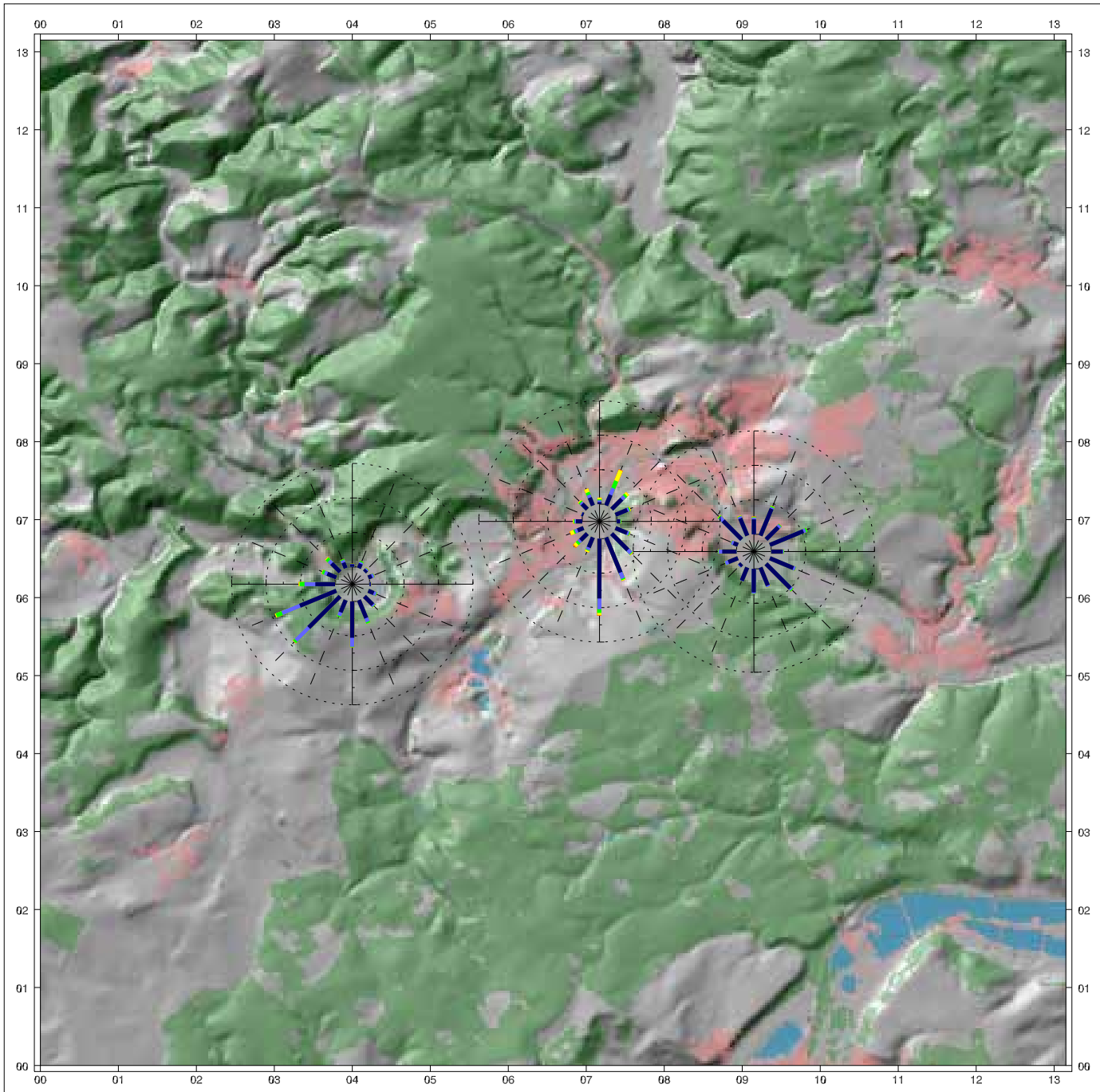
WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	2.01	0.77	0.35	0.28	0.03	0.01	3.45
NNO	4.12	1.24	0.68	0.40	0.05	0.01	6.49
NO	2.80	1.28	0.62	0.26	0.06	0.00	5.02
ONO	5.19	1.79	0.91	0.47	0.04	0.00	8.39
OST	1.89	0.74	0.38	0.18	0.01	0.00	3.20
OSO	4.00	1.71	1.06	0.54	0.01	0.00	7.31
SO	6.36	2.55	2.35	1.20	0.04	0.00	12.49
SSO	4.03	2.13	1.76	0.94	0.01	0.00	8.87
SUED	3.75	1.71	1.41	0.74	0.01	0.01	7.64
SSW	0.86	0.38	0.38	0.18	0.01	0.00	1.81
SW	0.87	0.83	0.69	0.40	0.06	0.01	2.86
WSW	2.90	1.48	1.28	0.87	0.07	0.01	6.61
WEST	3.00	1.42	1.17	0.91	0.14	0.01	6.67
WNW	1.19	0.86	0.73	0.54	0.13	0.03	3.49
NW	4.17	2.27	1.50	1.24	0.28	0.02	9.48
NNW	3.27	1.45	0.78	0.62	0.09	0.00	6.22
Summe	50.40	22.63	16.04	9.76	1.06	0.10	100.00

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	3.07	0.63	0.23	0.11	0.00	0.00	4.04
NNO	6.18	0.94	0.39	0.26	0.02	0.00	7.79
NO	4.57	1.02	0.41	0.10	0.00	0.00	6.10
ONO	9.30	1.52	0.49	0.24	0.00	0.00	11.55
OST	3.31	0.50	0.24	0.03	0.00	0.00	4.09
OSO	6.51	1.31	0.47	0.08	0.00	0.00	8.37
SO	10.43	1.36	0.60	0.16	0.00	0.00	12.56
SSO	5.29	0.79	0.19	0.10	0.00	0.00	6.38
SUED	5.53	0.70	0.24	0.10	0.00	0.00	6.57
SSW	1.51	0.15	0.05	0.03	0.00	0.00	1.74
SW	1.12	0.52	0.19	0.02	0.02	0.00	1.87
WSW	4.22	0.89	0.23	0.08	0.00	0.00	5.42
WEST	4.61	0.89	0.31	0.11	0.00	0.00	5.92
WNW	1.74	0.68	0.18	0.05	0.00	0.00	2.64
NW	6.04	1.80	0.67	0.21	0.00	0.00	8.71
NNW	4.67	1.05	0.31	0.23	0.00	0.00	6.26
Summe	78.08	14.78	5.19	1.91	0.03	0.00	100.00

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	4.36	0.50	0.11	0.17	0.00	0.00	5.13
NNO	8.43	0.39	0.28	0.11	0.00	0.00	9.21
NO	4.96	0.72	0.17	0.00	0.00	0.00	5.84
ONO	10.53	0.66	0.39	0.00	0.00	0.00	11.58
OST	3.36	0.22	0.11	0.00	0.00	0.00	3.69
OSO	7.39	0.61	0.06	0.00	0.00	0.00	8.05
SO	9.98	0.50	0.28	0.00	0.00	0.00	10.75
SSO	5.62	0.39	0.00	0.06	0.00	0.00	6.06
SUED	6.84	0.39	0.06	0.00	0.00	0.00	7.28
SSW	4.13	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	4.24
SW	0.83	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10
WSW	2.98	0.99	0.06	0.00	0.00	0.00	4.02
WEST	4.19	1.05	0.11	0.06	0.00	0.00	5.40
WNW	1.38	0.66	0.06	0.00	0.00	0.00	2.09
NW	7.61	1.38	0.28	0.11	0.00	0.00	9.37
NNW	5.40	0.55	0.11	0.11	0.00	0.00	6.17
Summe	87.98	9.37	2.04	0.61	0.00	0.00	100.00

Abbildung 154: Stärkewindrosen der Station „Sigmaringen Ost“. Angaben in Prozent.

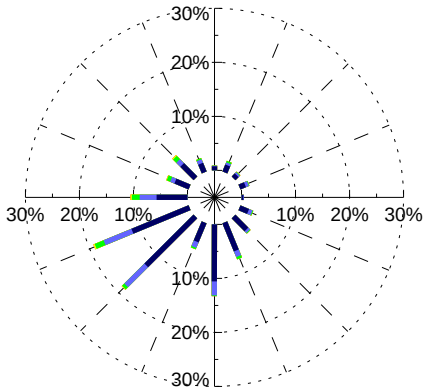
Abbildung 155: Nächste Seite: Stärkewindrosen im Untersuchungsgebiet Sigmaringen (Strahlungsnächte).



REKLIBO Staerkewindrosen

Untersuchungsgebiet Sigmaringen

Windrichtungshaeufigkeiten
Nur Strahlungstage, Nachtstunden



Windgeschwindigkeiten in m/s:

- < 0.1
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- > 3.0

Datengrundlage:
Digitales Gelaendemodell (DGM5): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).
Landnutzungsdaten: Landsat TM5, Ebene 3, 1996/1997.

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.6.4.2 Ergebnisse der Handmessungen

Messtag 1: 10.07.2008

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.50 Uhr und 22.25 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Ergebnisse der ersten Messung zwischen 20.50 Uhr und 20.55 Uhr MESZ zeigen am Standort HM1 NW-Richtungen mit 3,9 m/s. Am Standort HM2 sind es O-Richtungen mit 0,2 n/s.
- Während der zweiten Messung zwischen 21.50 Uhr und 21.55 Uhr MESZ wurden am Standort HM1 Luftbewegungen aus NNW mit 2 m/s erfasst. Am Standort HM2 aus NNO mit 0,7 m/s.
- Die dritte Messung zwischen 22.20 Uhr und 22.25 Uhr MESZ zeigt wiederum am Standort HM1 NW-Strömungen mit 2,3 m/s, während am Standort HM2 Luftbewegungen aus NO mit Geschwindigkeiten von 1 m/s erfasst wurden.

Messtag 2: 31.07.2008

- Die Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.25 Uhr und 22.10 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die erste Messung zwischen 20.25 Uhr und 20.35 Uhr MESZ zeigt am Standort HM1 NW-Richtungen mit 2,5 m/s und am Standort HM2 eine Luftbewegung aus N mit 0,6 m/s.
- Während der zweiten Messung zwischen 21.25 und 21.35 Uhr MESZ wurden am Standort HM1 Luftbewegungen aus NW mit einer Windgeschwindigkeit von 0,5 m/s gemessen. Am Standort HM2 wurden N-Richtungen mit 1,5 m/s erfasst.

Abbildung 156: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Untersuchungsgebiet „Überlingen“.

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Sigmaringen

10.07.2008, 20:50:00 - 20:55:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Sigmaringen

10.07.2008, 21:50:00 - 21:55:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Sigmaringen

10.07.2008, 22:20:00 - 22:25:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Sigmaringen

31.07.2008, 20:25:00 - 20:35:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Sigmaringen

31.07.2008, 21:25:00 - 21:35:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Sigmaringen

31.07.2008, 22:00:00 - 22:10:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.6.4.3 Ergebnisse der Vertikalsondierung

Bei den durchgeführten Vertikalsondierungen wurde die Ballonposition über GPS erfasst. Aufgrund von gerätebedingten Messungenauigkeiten können die berechneten Auslenkungsdaten des Heliumballons unterhalb einer Auflasshöhe von 10m in der Regel nicht für die Auswertung herangezogen werden.

Messtag 1: 02.09.2008

- Drei Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.11 Uhr und 22.42 Uhr MESZ. Es herrschte eine windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Messgeräte wurden in 5-m-Schritten bis auf 30 m Höhe über Grund aufgelassen.

Vertikalprofil der Lufttemperatur

- Während der drei Ballonaufstiege wurden nur äußerst geringe vertikale Temperaturunterschiede festgestellt. Es lässt sich aber während der dritten Messung die Ausbildung einer Temperaturinversion zwischen 15 m und der maximalen Messhöhe von 30 m erkennen.

Strömungsrichtung und Auslenkungsbeträge

- während der ersten Messung zwischen 20.11 Uhr und 20.28 Uhr MESZ bis 20 m Höhe äußerst geringe Auslenkung, auf 25 m Höhe NNO-Richtung bei relativ geringer Auslenkung
- während der zweiten Messung zwischen 21.29 Uhr und 21.48 Uhr MESZ in Höhen zwischen 15 und 25 m Luftbewegungen aus NO bei vergleichsweise geringer Auslenkung, in 30 m Höhe kurzzeitig Luftbewegungen aus NW
- während der dritten Messung zwischen 22.21 Uhr und 22.42 Uhr MESZ in Höhen zwischen 15 und 20 m Luftbewegungen aus O, ab einer Höhe von 25 SO- bis S-Richtungen bei zunehmend geringer werdender Auslenkung

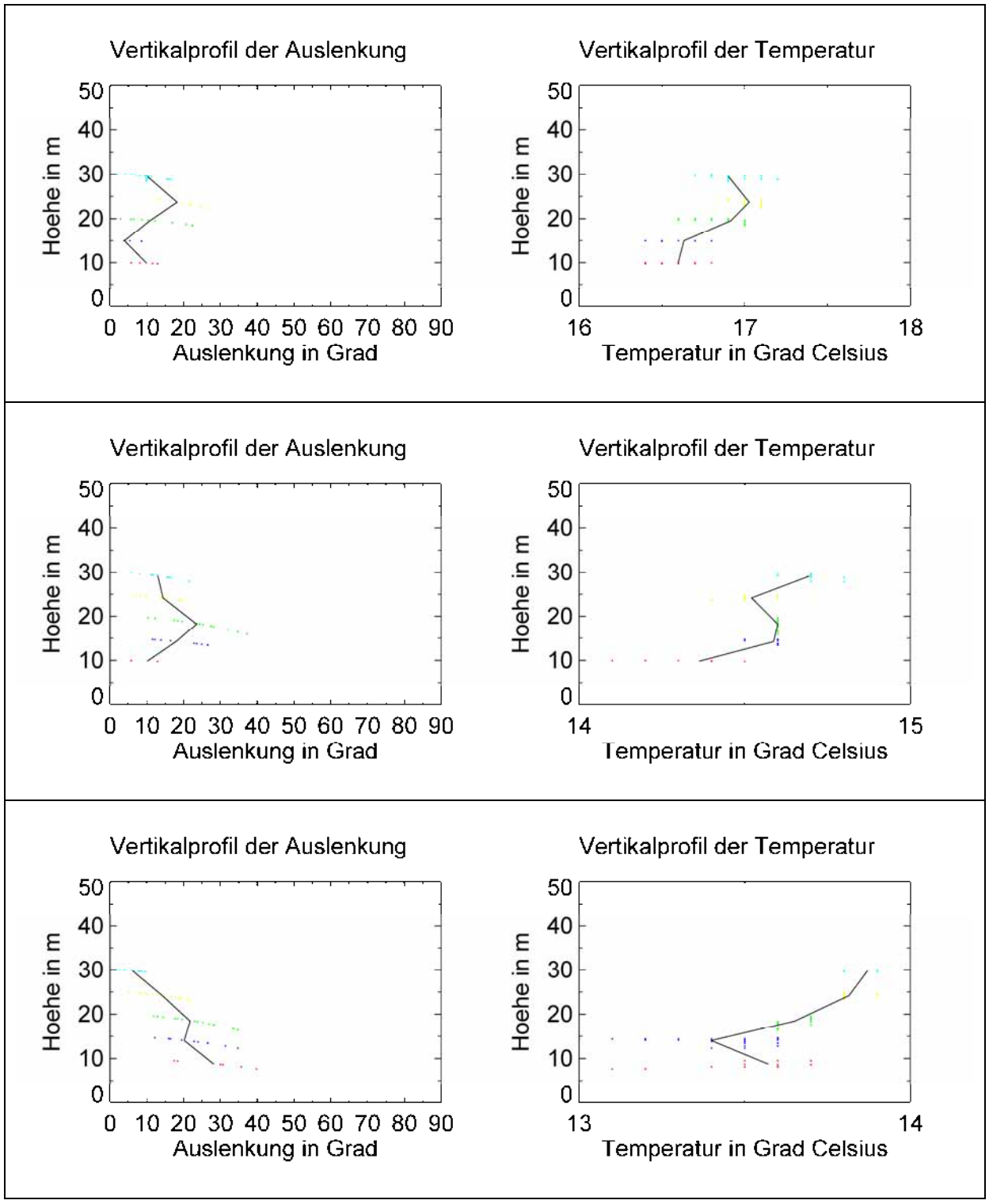


Abbildung 157: Vertikalprofil der Auslenkung und der Temperatur am Standort „Sigmaringen“ am 02.09.2008. Von oben nach unten: Erste, zweite, dritte Messung. Erläuterungen im Text.

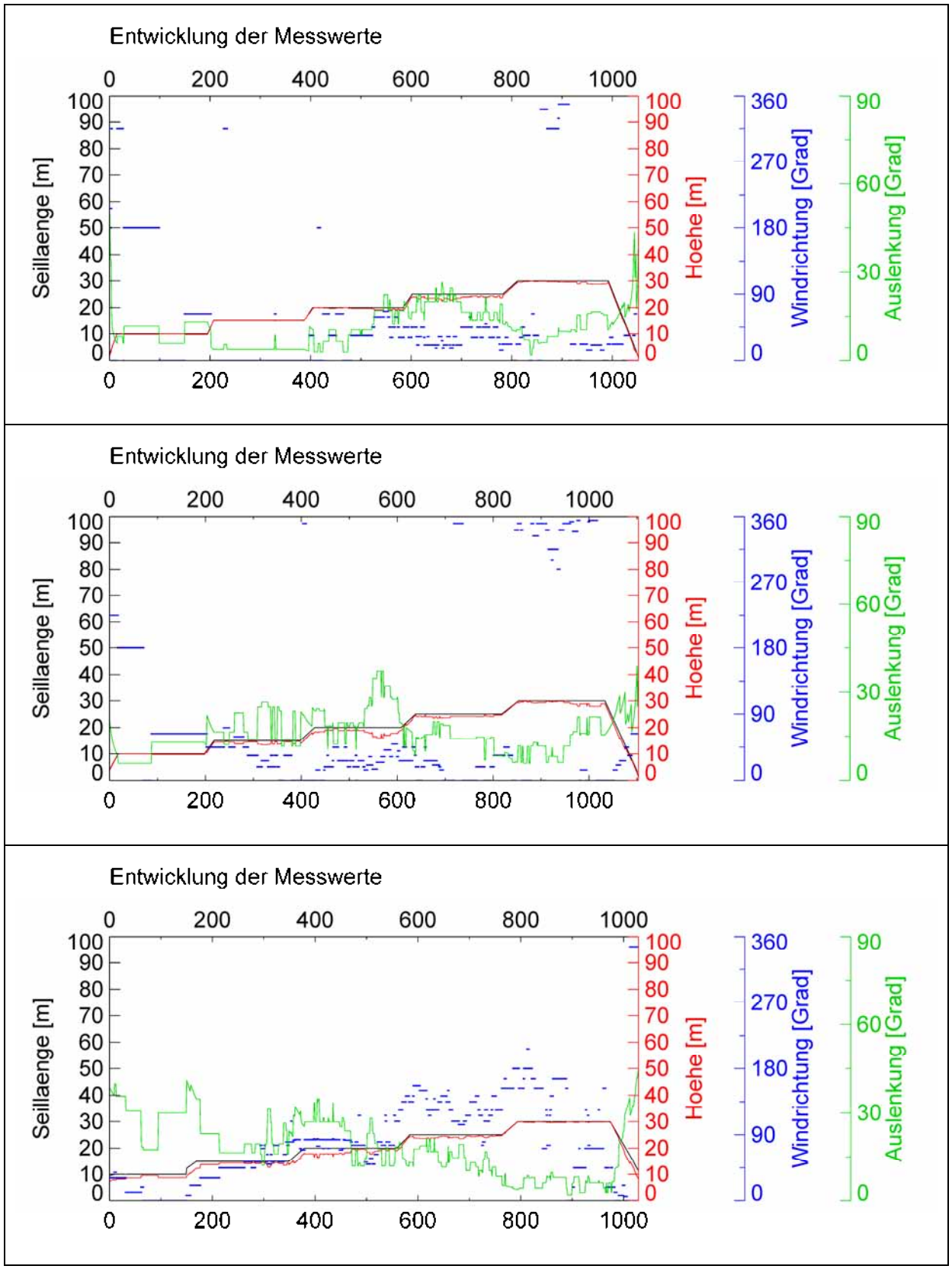


Abbildung 158: Liniendiagramme der Auslenkungsstärke des Heliumballons und der Windrichtung am Standort „Sigmaringen“ am 08.09.2008. Erläuterungen im Text.

4.6.5 Interpretation der Messergebnisse

Talabwinde und Hangabwinde im Donautal

Im Vergleich zu anderen Tallagen in der Region Bodensee-Oberschwaben ist im Donautal bodennah vergleichsweise nur eine gering ausgeprägte Tagesperiodik zu erkennen.

Für die nur schwache Ausbildung von bodennahen Talwindsystemen dürften in erster Linie die häufigen Talverengungen und die zusätzliche Abriegelung durch Siedlungsflächen verantwortlich sein, die das Donautal in zahlreiche kleinere, nahezu abgeschlossene, beckenartige Bereiche untergliedern.

Dennoch ist insbesondere in den Nachtstunden bei Strahlungswetterlagen eine gewisse Dominanz von Windrichtungen zu beobachten. Häufig jedoch verbunden mit extrem niedrigen Windgeschwindigkeiten.

Am Standort „Sigmaringen West“, also nordwestlich von Inzigkofen im Donautal, dominieren nachts Winde aus SW/WSW bzw. aus S. Erstere könnten auf talabwärts gerichtete Luftbewegungen zurückgehen, letztere können als bis in die Talmitte vordringende Hangabwinde gedeutet werden.

An der Station „Sigmaringen Mitte“ können die nachts dominierenden Luftbewegungen aus S/SSO unterschiedlich gedeutet werden: Als Talabwind im hier von S nach N verlaufenden Donautal, oder als Hangabwind von den südlich angrenzenden Hängen der Sigmaringer Talweitung. Dies gilt auch für die während der Vertikalsondierung festgestellten Südwinde in Messhöhen über 20 m über Grund. Die seltener auftretenden Luftbewegungen aus NNO/NO vor dem eigentlichen Umschlag zur Nachtsituation könnten auf Kaltluftströme aus den nördlich gelegenen Tälern zurückgehen (s.u.).

Es ist davon auszugehen, dass der Sigmaringer Talweitung mit ihrer charakteristischen Beckensituation aus verschiedensten Richtungen Kaltluft zugeführt wird, die bodennah nur sehr schlecht abfließen kann. Folge sind häufig ausgeprägte Inversionen. Unklar bleibt, ob sich mit zunehmender Höhe ein talabwärts gerichteter Kaltluftstrom etablieren kann.

Die äußerst schwachen nächtlichen Winde an der Station „Sigmaringen Ost“ können ebenfalls auf schlechte bodennahe Abflussbedingungen zurückgeführt werden. Der Standort liegt in der Mitte des Tales und ist damit zu weit von den Talhängen entfernt, als dass hier Hangwindsysteme wirksam werden könnten. Die ausgedehnten ebenen Wiesenflächen und nicht zuletzt der alte Bahndamm, der hier die Talsohle zerschneidet, sorgen vermutlich für die Etablierung eines ausgeprägten Kaltluftsees. Auch hier können jedoch talabwärts gerichtete Luftbewegungen in der Höhe nicht ausgeschlossen werden.

Kaltlufteintrag aus den Seitentälern der Donau

Die Handmessungen zeigen, dass auch die relativ kleinen Seitentäler der Donau bemerkenswerte Kaltluftströme erzeugen. Im vorliegenden Fall des Berbertals und seiner Verlängerung entlang der Bundesstraße 32 ist schon für die Zeit des Sonnenuntergangs ein Kaltluftabfluss in Richtung Donautal nachgewiesen. Zu beachten ist hier die frühe abendliche Beschattung aufgrund des ausgeprägten Reliefs (vgl. Band 2).

Bedeutung des Laucherttals für die Belüftung von Sigmaringen

Die Handmessungen zeigen, dass es zu einem nächtlichen Überfließen von Kaltluft aus dem Laucherttal in das Donautal im Bereich Bahnhof Hanfertal kommt. Hintergrund könnte ein Talabwind im Laucherttal mit entsprechender vertikaler Mächtigkeit sein. Diese Überlegung scheint umso plausibler, wenn man bedenkt, dass es im weiteren Talverlauf der Lauchert zu Talverengungen kommt, die einen Abfluss nach Osten erschweren.

Aussagen über die Eindringtiefe dieser Kaltluft in den Siedlungskörper von Sigmaringen hinein sind mit dem derzeitigen Kenntnisstand nur schwer möglich. Das steil abfallende Relief Richtung Donau lässt jedoch vermuten, dass diesen Frischluftströmen eine sehr positive Durchlüftungswirkung für die Stadt Sigmaringen zugesprochen werden kann.

4.6.6 Fazit

Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse aus den durchgeführten Messprogrammen stichwortartig zusammengefasst:

- Im Oberen Donautal bildet sich ein nächtlicher Talabwind aus, der vermutlich aufgrund der zahlreichen Talverengungen und der geringen Neigung der Talsohle jedoch nur geringe bodennahe Windgeschwindigkeiten aufweist.
- Die Siedlungskörper von Laiz und Sigmaringen stellen bodennah für den potentiellen Talabwind zusätzliche Querriegel dar.
- Dennoch sind im Bereich des Grünzugs zwischen Laiz und Sigmaringen bodennahe Luftbewegungen messbar, die als Talabwinde bzw. als Hangabwinde gedeutet werden können.
- Auch kleinere Seitentäler leiten dem Donautal schon vor Sonnenuntergang Kaltluft zu.
- Luftmassen aus dem Laucherttal überströmen den Sattel am Bahnhof Hanfertal und sorgen so für eine verbesserte Durchlüftung der nördlichen Stadtgebiete von Sigmaringen.
- Aufgrund des stark geneigten Reliefs ist hier mit einer vergleichsweise hohen Eindringtiefe der Kaltluftabflüsse zu rechnen.

4.6.7 Vergleich mit den Ergebnissen der Modellrechnungen

Ein zentrales Ziel des REKLIBO-Messprogramms war die Validierung der Ergebnisse der Modellrechnungen. Abschließend erfolgt deshalb ein Vergleich zwischen den oben beschriebenen wichtigsten Messergebnissen im Untersuchungsgebiet und den dort modellierten Prozessen.

Zur besseren Lesbarkeit wurde für die hier vorliegende Druckfassung aus den Gesamtergebnissen das entsprechende Teilgebiet extrahiert und vergrößert dargestellt. Um die zeitliche Dynamik wiederzugeben wurden von den insgesamt 12 Zeitschnitten die Ergebnisse nach Stunde 1, 2, 4, 8 und 12 ausgewählt. Sie sollen einen Überblick sowohl über die frühen Entwicklungen während einer Nacht als auch über die gesamte Simulationszeit von 12 Stunden ermöglichen. Dargestellt werden die Kaltluftmächtigkeiten, die mittleren Windgeschwindigkeiten über die gesamte Kaltluftsäule, sowie die daraus berechneten Volumenströme (vgl. Band 2). Ergänzt werden diese Darstellungen durch die Abbildung der Klimaanalysekarte für den Bereich des Untersuchungsgebietes. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass in vielen Situationen durch die Betrachtung eines größeren Gebietes die räumlichen Zusammenhänge häufig besser erklärbar werden.

Ein Vergleich der dargestellten Modellergebnisse mit den zentralen Aussagen der durchgeführten Messungen zeigt im Untersuchungsgebiet „Sigmaringen“ eine recht gute Übereinstimmung. Im Einzelnen lässt sich das an folgenden Phänomenen festmachen:

- Auch das Modell simuliert recht frühe Zuflüsse von Kaltluft aus kleineren Seitentälern.
- Ebenfalls in den frühen Stunden Modellzeit werden Hangwinde von den Hängen südlich/südöstlich von Laiz wiedergegeben.
- Spätestens nach 4 Stunden Modellzeit wird ein Überströmen des Sattels zwischen Laucherttal und Sigmaringen wiedergegeben.
- Zwischen Stunde 4 und Stunde 8 Modellzeit kommt es zu einer weiteren Ansammlung von Kaltluft im Tal.
- Im Bereich der Sigmaringer Talweitung treten im Modell offensichtlich Divergenzeffekte auf, die zu niedrigeren Volumenströmen führen.
- Hingegen werden östlich von Sigmaringen im Donautal extrem große Volumenströme und vergleichsweise hohe Windgeschwindigkeiten berechnet. Letztere konnten über Messungen in diesem Bereich nicht bestätigt werden (geringe Windgeschwindigkeiten an der Station „Sigmaringen Ost“). Hierfür könnten jedoch auch die sehr lokalen Standorteigenschaften (Bahndamm etc.) verantwortlich sein.

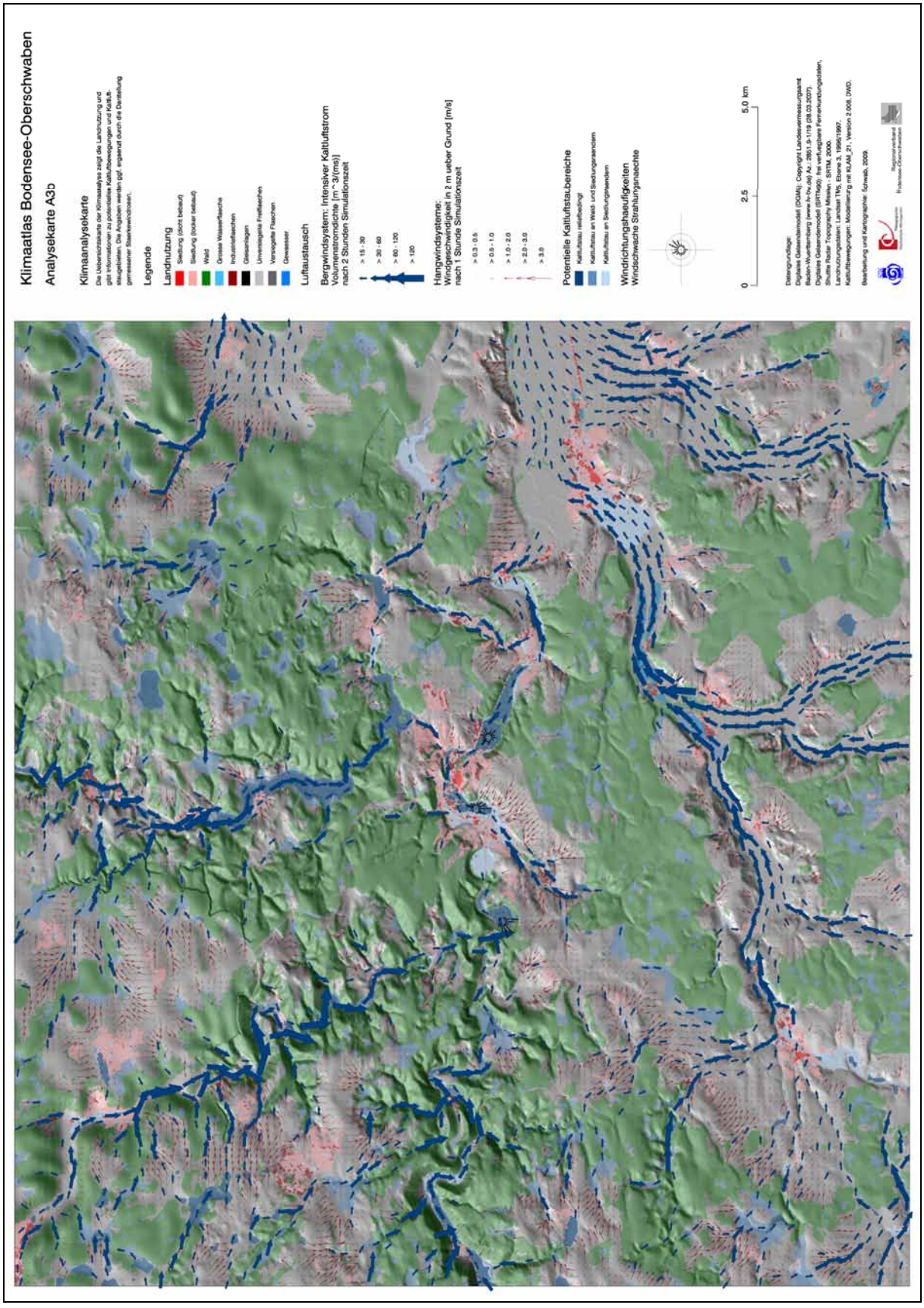


Abbildung 159: Klimaanalysekarte des Untersuchungsraums „Sigmaringen“

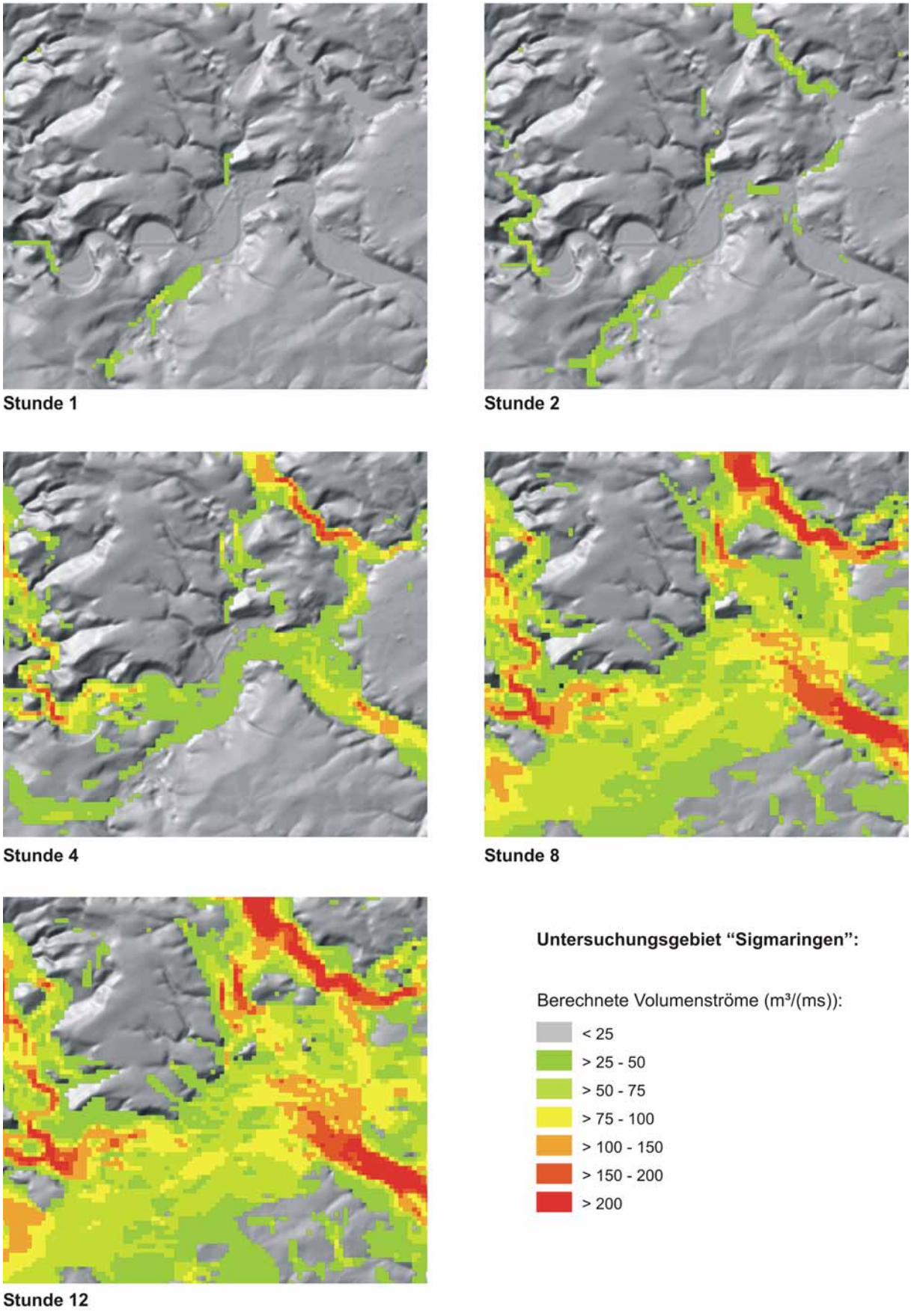


Abbildung 160: Berechnete Volumenströme im Untersuchungsraum „Sigmaringen“.

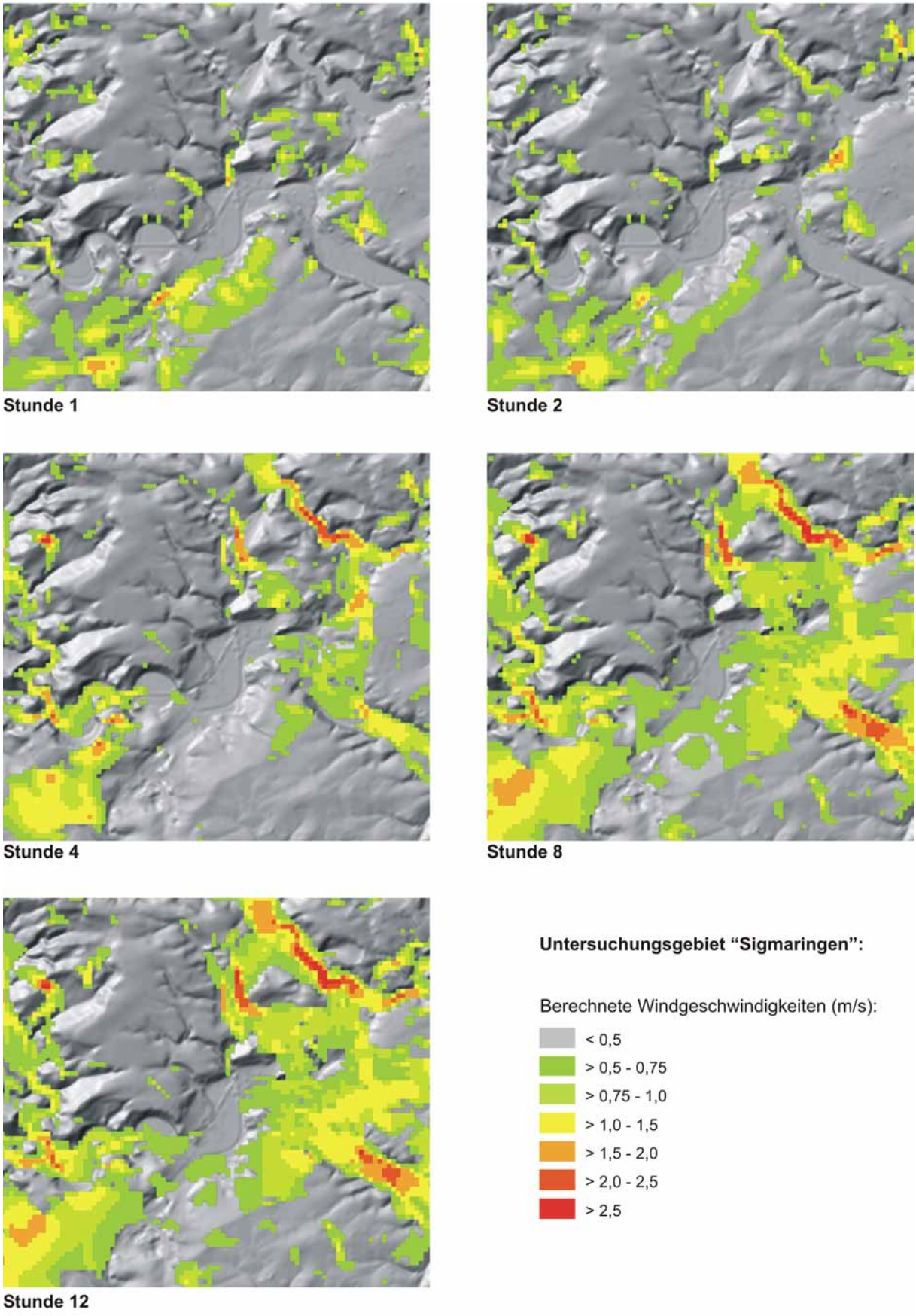


Abbildung 161: Berechnete Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsraum „Sigmaringen".

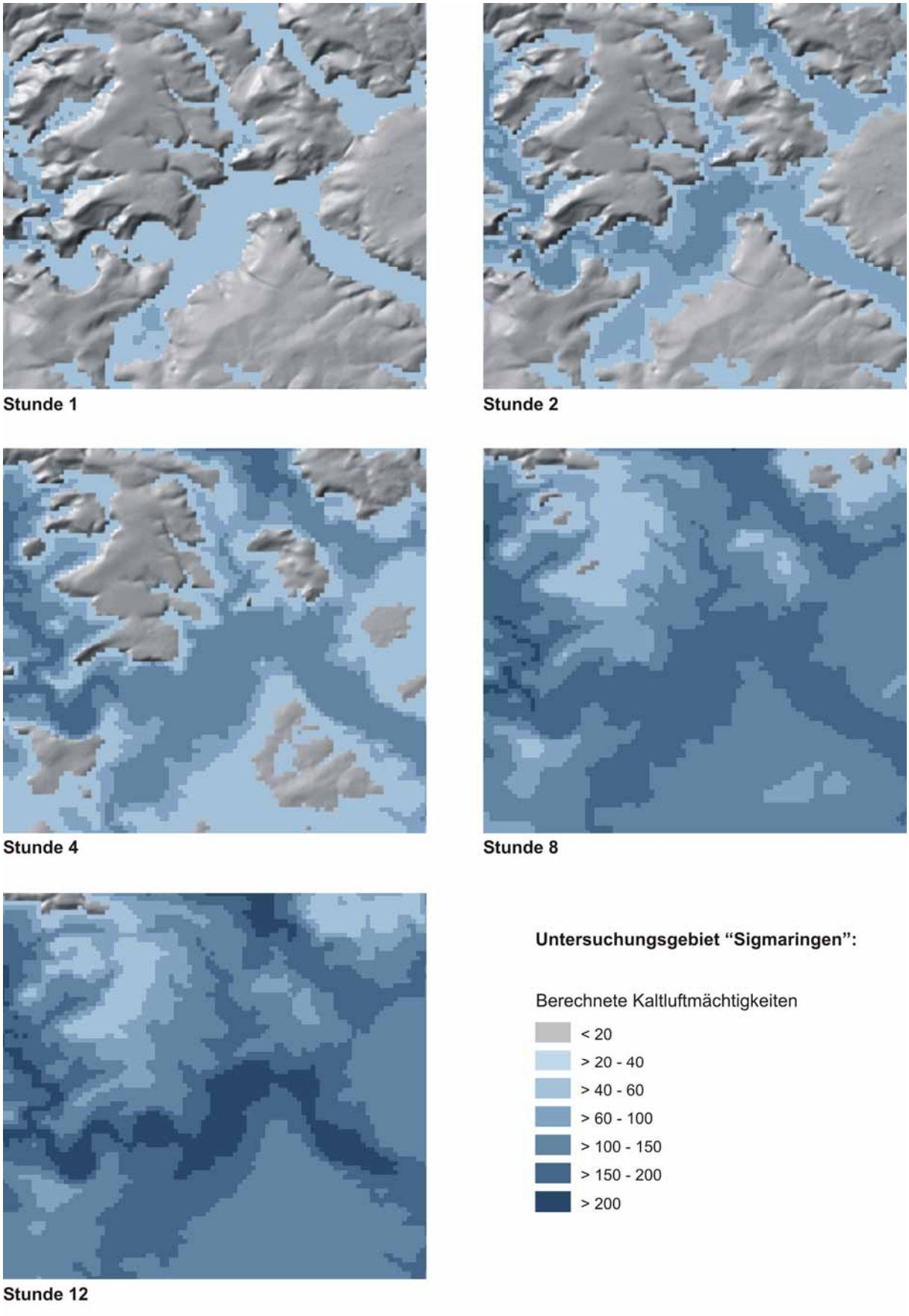


Abbildung 162: Berechnete Kaltluftmächtigkeiten im Untersuchungsraum „Sigmaringen“.

4.7 Untersuchungsgebiet „Mittleres Schussenbecken“

4.7.1 Beschreibung des Untersuchungsraums

Lage und naturräumliche Einordnung

Das Untersuchungsgebiet „Mittleres Schussenbecken“ umfasst das namengebende Becken zwischen Altdorfer Wald im Norden und der Stadt Ravensburg sowie die unmittelbar südlich angrenzenden Bereiche bis Obereschach. Von NNO nach SSW misst es somit rund 16 km. Die naturräumliche Gliederung Deutschlands untergliedert das Schussenbecken zusätzlich. Im westlichen Teil des Beckens wird das „Föhrenried“ genannt, im Osten wird auf die „Schussenbecken-Randterrassen“ als Untereinheiten verwiesen (Dongus, S. 33).

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen die das Becken umgebenden Hänge, die Mündungsbereiche der in das Becken mündenden Täler sowie die talartige Verengung am südlichen Ausgang des Beckens zwischen Ravensburg und Obereschach, wo das Mittlere Schussenbecken in das sich aufweitende Südliche Schussenbecken übergeht (vgl. Abbildung 168).

Relief

Das Mittlere Schussenbecken neigt sich entlang der Schussen zwischen Mochenwangen und Ravensburg mit rund 0,3 % in Richtung SSW dem Bodensee zu. An den steilen OSO-exponierten Hängen finden sich Neigungen von bis zu 40 %. Die WNW-exponierten Hänge fallen in mehreren deutlichen Stufen mit maximal 20 % ab.

Die randlichen Höhen erreichen Höhenwerte von über 600 m ü.NN.. Sie überragen das Becken somit um ca. 150 m. Der niedrigste Geländepunkt liegt mit etwa 425 m ü.NN. bei Weiherstobel.

Bei den einmündenden Tobeln handelt sich in der Regel um Kerb- bzw. Kerbsohlentäler mit Hangneigungen von bis zu 40 %, die sich rückschreitend in die Landschaft eingetieft haben. Ihre Sohlen weisen kurz vor der Mündung in das Becken Neigungen von rund 1 % auf.

Die talartige Verengung bei Ravensburg zeigt ebenfalls an den OSO-exponierten Hängen wesentlich stärkere Neigungsverhältnisse, als auf der gegenüberliegenden Seite. Südlich von Ravensburg weitet sich das Becken trichterförmig. Die Neigung der Beckenränder nimmt deutlich ab.

Geologie

Beim Mittleren Schussenbecken handelt es sich geomorphologisch um ein Zweigbecken des Bodenseebeckens, dass rißeiszeitlich vorgeprägt wurde und während der Würmvereisung als klassisches Zungenbecken schließlich seine heutige Form erhalten hat. Im Norden wird das Becken begrenzt durch den Anstieg zur inneren Würmendmoräne, die heute vom Altdorfer Wald bedeckt wird. Östlich und westlich wird das Becken von Grundmoränenlandschaften eingefasst.

Während eines spätglazialen Gletscherstandes sammelten sich im Schussenbecken die abfließenden Schmelzwässer zu einem großen Eisrandstausee. In diesen See hinein kam es vor allem durch die östlichen Zuflüsse (Wolfegger Aach, Scherzach, Flappbach) zu kräftigen Deltaschüttungen. Mit dem Auslaufen des Sees nach Süden konnten die Tobelflüsse die zuvor abgelagerten Deltas wieder zerschneiden und sich durch rückschreitende Erosion in die Beckenflanken eintiefen. Das dabei abgetragene Material wurde in Form großer Schwemmfächer in den Mündungsbereichen abgelagert. Diese Schwemmfächer sowie Reste der Deltas sind am Beckenrand noch erhalten (Schussenbecken-Randterrassen). Sie be-

stehen im Wesentlichen aus Schotterablagerungen (vgl. z.B. Kiesgruben östlich von Baienfurt).

Das Gebiet Föhrenried im Zentrum des Mittleren Schussenbeckens, weist feinkörnige Sedimente aus dem Holozän auf. Es handelt sich um ein mooriges Feuchtgebiet.

Landnutzung:

Die alten Siedlungskerne von Ravensburg, Weingarten, Baienfurt und Baindt liegen allesamt auf den trockenen Schwemmfächerstandorten, ziehen sich am Ostrand des Beckens entlang und bilden somit ein Band vergleichsweise dicht verbauter Flächen. Inzwischen haben sich die Siedlungsflächen in alle Richtungen, insbesondere auf weite Teile der angrenzenden Hänge ausgedehnt. Die oben genannte Engstelle bei Ravensburg ist bis auf einen schmalen Grünstreifen entlang der „B30 neu“ komplett verbaut.

Außerhalb der Siedlungsbereiche finden sich im Mittleren Schussenbecken vorwiegend Wiesen- und Ackerflächen nebst kleineren Waldstücken. Vor allem an den westlichen Hängen treten teilweise auch kleiner Obstplantagen und Streuobstwiesen auf. An den östlichen Hängen dominiert zunehmend die Grünlandwirtschaft. Südlich der Engstelle bei Ravensburg zeigen sich sowohl an den Hängen als auch im Sohlenbereich bereits beachtliche Anteile von Obstplantagen und Streuobstwiesen.

Die Tobel sind an den Hängen meist bewaldet und nur bei breiteren Talsohlen weidewirtschaftlich oder ackerbaulich genutzt.

Klimatische Einordnung

Laut Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2006) beträgt die Jahresmitteltemperatur im Untersuchungsgebiet zwischen 8,1 und 8,5°C. Bezogen auf das Sommerhalbjahr sind es 13,6 bis 14°C. Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist mit 2 bis 2,9 m/s angegeben. Im langjährigen Mittel tritt an 225 Tagen im Jahr eine Inversion auf, die Durchlüftungssituation fällt in die Klasse „schlecht“. Durchschnittlich weisen 22,6 bis 32,5 Tage im Jahr Wärmebelastung auf.

Begründung der Wahl des Untersuchungsgebiets

Damit sind im Untersuchungsgebiet mehrere der in Band 1 beschriebenen typischen Landschaftselemente der Region Bodensee-Oberschwaben enthalten. Zum einen ein nach Süden zum Bodensee hin geöffnetes größeres Becken (Zungenbecken). Es steigt im Norden zu einer breit ausgebildeten Endmoräne, im Westen und Osten zu kuppigen Grundmoränenlandschaften hin an. Außerdem die zahlreichen, in das Becken mündenden Tobel.

Eine Besonderheit gegenüber anderen Beckenlandschaften ist die vergleichsweise hohe Siedlungsdichte, die sich insbesondere auf die talartige Verengung am Südrand des Beckens konzentriert.

Die Wahl des Gebietes ergab sich ferner aus Vorkenntnissen, die im Rahmen einer geländeklimatologischen Pilotstudie des Faches Geographie der Pädagogischen Hochschule Weingarten von Oktober bis Dezember 2006 im Raum Marsweiler-Friesenhäusle durchgeführt wurde. Dabei konnte gezeigt werden, dass sich an einem Hang am östlichen Rand des Schussenbeckens mit sehr gleichmäßiger Neigung und reiner Wiesen- und Ackernutzung bei windschwachen Strahlungswetterlagen ein Hangwindsystem mit lehrbuchartigen Eigenschaften ausbildet (Schwab, 2007). Zudem konnten Aussagen über die Reichweite der nachgewiesenen nächtlichen Hangabwinde in den Sohlenbereich des Beckens gemacht werden. Es zeigte sich, dass trotz relativ großer Windgeschwindigkeiten im Hangbereich bereits wenige hundert Meter vom Hangfuß entfernt keine nennenswerten Luftbewegungen mehr festzustellen sind.

4.7.2 Fragestellungen

Im gesamten Untersuchungsgebiet stellen sich hinsichtlich der Durchlüftungssituation bei windschwachen Strahlungswetterlagen unter anderem folgende Fragen:

- Kommt es im Untersuchungsgebiet zur Ausbildung nächtlicher Hangabwinde?
- Wenn ja mit welcher Häufigkeit und Intensität treten sie auf?
- Wenn ja, wie weit reichen der Hangwinde in den Sohlenbereich?
- Kommt es im Untersuchungsgebiet zur Ausbildung nächtlicher Talabwinde?
- Wenn ja, wie weit reichen sie in das Mittlere Schussenbecken hinein?
- Sind mögliche Talabwinde so kräftig, dass sie auch in größere Siedlungskörper deutlich eindringen können?
- Wie verzahnen sich ggf. Hangabwinde und Talabwinde?
- Kommt es zu einem Abfluss der Kaltluftmassen vom Mittleren in das Südliche Schussenbecken?
- Wenn ja, wann ist mit dem Einsetzen solcher Kaltluftbewegungen zu rechnen?

4.7.3 Messverfahren und Messstandorte

4.7.3.1 Betrieb einfacher Funkwetterstationen

Zur Bestimmung der Häufigkeit und Intensität potentiell auftretender Kaltluftabflüsse in Bodennähe wurden an acht Standorten einfache Funkwetterstationen eingesetzt. Sie zeichnen Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund kontinuierlich auf (vgl. Kap. 3.2).

Folgende Messstationen wurden betrieben:

- Station „Wolfeggerach“ von 26.06.bis 15.10.2008
- Station „Baienfurt“ vom 25.06. bis 07.07.2008
  - Die hier vergleichsweise kurze Laufzeit ist begründet durch Vandalismus bzw. Gerätediebstahl.
- Station „Schussentobel“ vom 05.07. bis 15.10.2008
- Station „Ettishoferach“ vom 02.07. bis 15.10.2008
- Station „Scherzach“ vom 25.06. bis 24.10.2008
- Station „Oberhofen“ vom 26.06. bis 14.10.2008
- Station „Hähnlehof“ vom 05.07. bis 24.10.2008
  - Die hier immer wieder auftretenden Datenausfälle sind begründet durch wiederholten Vandalismus bzw. Gerätediebstahl
- Station „Weiherstobel“ vom 04.07. bis 24.10.2008

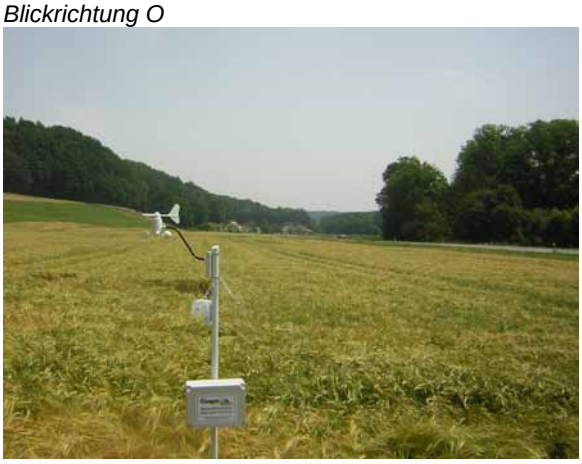
Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 168):

Station „Wolfeggerach“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes und möglicher Hangabwinde im Mündungsbereich des Wolfeggerachtobels östlich von Baienfurt

Blickrichtung N

Blickrichtung O



Blickrichtung S

Blickrichtung W

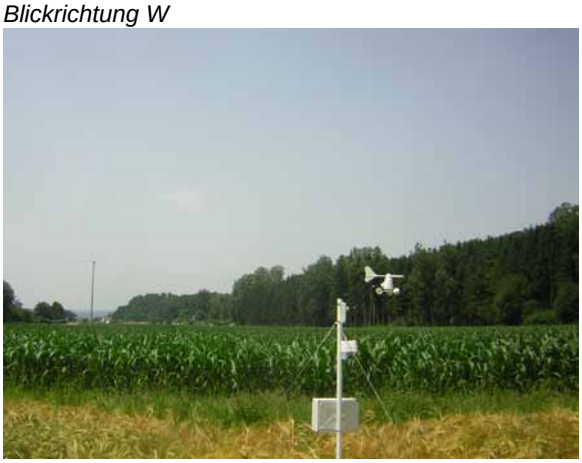


Abbildung 163: Ansichten der Funkwetterstation „Wolfeggerach“.

Station „Baienfurt“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Wolfeggerachtobel südwestlich von Baienfurt
- Abschätzung des Einflusses des Siedlungskörpers von Baienfurt auf einen möglichen Talabwind aus dem Wolfeggerachtobel

Von der Station Baienfurt liegen leider keine Aufnahmen vor. Ihre Lage ist jedoch Abbildung 168 zu entnehmen.

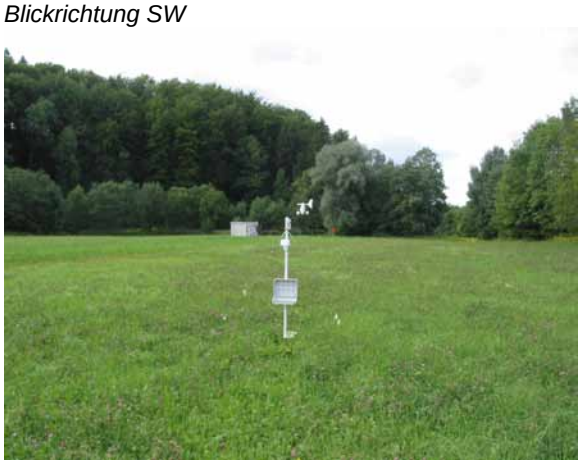
Station „Schussentobel“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes im Mündungsbereich des Schussentobels nordöstlich von Mochenwangen

Blickrichtung NO

Blickrichtung SO

Blickrichtung SW



Blickrichtung NW

Abbildung 164: Ansichten der Funkwetterstation „Schussentobel“.

Station „Ettishoferach“

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes im Mündungsbereich des Ettishoferachtobels westlich von Ettishhofen

Blickrichtung N

Blickrichtung O

Blickrichtung S

Blickrichtung W

Abbildung 165: Ansichten der Funkwetterstation „Ettishoferach“.

Station „Scherzach“

- Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Scherzachtal im Stadtgebiet von Weingarten
- Besonderheit der Station: Sensoren in rund 10m Höhe an einem Ausleger an einem Balkon in dicht bebautem Stadtgebiet

Von der Station Scherzach liegen leider keine Aufnahmen vor. Ihre Lage ist Abbildung 168 zu entnehmen.

Station „Oberhofen“

- bodennahe Erfassung möglicher Hangabwinde von den westexponierten Hängen im Bereich Eschach

Blickrichtung N

Blickrichtung O

Blickrichtung S

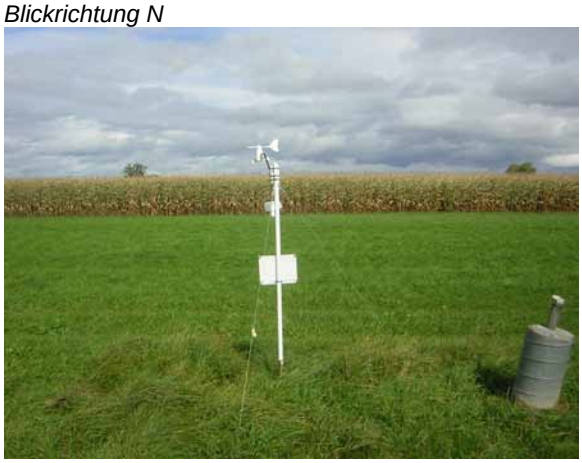
Blickrichtung W

Abbildung 166: Ansichten der Funkwetterstation „Oberhofen“.

Station „Hähnlehof“

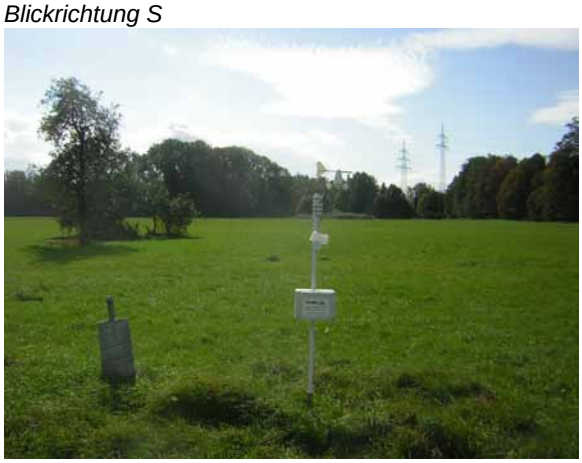
- bodennahe Erfassung möglicher Kaltluftbewegungen aus dem Mittleren Schussenbecken nach Süden im Bereich nördlich von Ravensburg

Blickrichtung N



Blickrichtung O

Blickrichtung S



Blickrichtung W

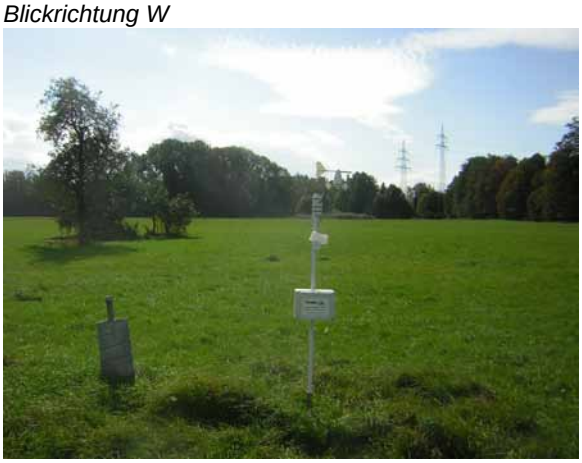


Abbildung 167: Ansichten der Funkwetterstation „Hähnlehof“ (im Uhrzeigersinn von oben links: Blickrichtung N, O, S, W).

Station „Weiherstobel“

- bodennahe Erfassung möglicher Kaltluftbewegungen aus dem Mittleren Schussenbecken nach Süden im Bereich südlich von Ravensburg

Von der Station Weiherstobel liegen leider keine Aufnahmen vor. Ihre Lage ist Abbildung 168 zu entnehmen.

4.7.3.2 Durchführung von Handmessungen

Um das Beobachtungsnetz zu verdichten, insbesondere um der Frage nach einer möglichen Verzahnung von Hangab- und Talabwinden nachzugehen, wurden zusätzlich Handmessungen durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Dabei wurden in fünf Teilbereichen jeweils an mehreren Standorten Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund an ausgewählten Messtagen zu ausgewählten Messzeiten erfasst.

Im Folgenden wird die Wahl der Standorte kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 168):

Teilgebiet „Wolfeggerach“

Standort HM1:

- bodennahe Erfassung möglicher Hangabwinde von den nordexponierten Hängen im Mündungsbereich des Tobels

Standort HM2

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Wolfeggerachtal und möglicher Hangabwinde im Bereich der Talsohle

Standort HM3

- bodennahe Erfassung möglicher Hangabwinde von den südexponierten Hängen im Mündungsbereich des Tobels

Teilgebiet „Schussentobel“

Standort HM1

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Schussentobel im Bereich der Talsohle nordöstlich von Mochenwangen

Standort HM2

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes im Bereich einer potentiellen Luftleitbahn am Ostrand von Mochenwangen

Standorte HM3, HM4, HM5

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Schussentobel an verschiedenen Standorten südlich von Mochenwangen

Teilgebiet „Ettishoferach“

Standort HM1

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Ettishoferachtobel westlich von Ettishofen

Standorte HM2, HM3, HM4

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Ettishoferachtobel an verschiedenen Standorten auf der tobelabgewandten Seite von Ettishofen

Teilgebiet „Scherzach“

Standort HM1

- bodennahe Erfassung eines möglichen Talabwindes aus dem Scherzachtal

Standorte HM2, HM3, HM4

- Abschätzung der bodennahen Reichweite eines möglichen Talabwindes aus dem Scherzachtal in das Stadtgebiet von Weingarten hinein

Teilgebiet „Ravensburg Süd“

Standort HM1

- bodennahe Erfassung eines möglichen Hangabwindes von des westexponierten Hängen bei Eschach ohne Beeinflussung durch größere Strömungshindernisse

Standort HM2

- bodennahe Erfassung eines möglichen Hangabwindes von den westexponierten Hängen bei Eschach mit Beeinflussung durch einen Siedlungsstreifen zwischen Oberhofen und Obereschach

Standort HM3, HM4

- bodennahe Erfassung möglicher Kaltluftbewegungen im Bereich der Beckensohle
- insbesondere Abschätzung der bodennahen Reichweite eines möglichen Hangabwindes von den westexponierten Hängen bei Eschach

Standort HM5

- bodennahe Erfassung möglicher Kaltluftbewegungen im Bereich der Beckensohle

An folgenden Tagen wurden Handmessungen durchgeführt:

Teilgebiet „Wolfeggerach“

- 26.6.2008 zwischen 20.05 Uhr und 22.17 Uhr MESZ
- 02.07.2008 zwischen 20 Uhr und 22.20 Uhr MESZ
- 10.07.2008 zwischen 20.14 Uhr und 22.20 Uhr MESZ

Teilgebiet „Schussentobel“

- 10.07.2008 zwischen 20.12 Uhr und 23 Uhr MESZ
- 21.08.2008 zwischen 19.20 Uhr und 22.08 Uhr MESZ

Teilgebiet „Ettishoferach“

- 06.08.2008 zwischen 20 Uhr und 22.06 Uhr MESZ
- 18.08.2008 zwischen 19.50 Uhr und 21.15 Uhr MESZ
- 30.08.2008 zwischen 19.07 Uhr und 21.40 Uhr MESZ

Teilgebiet „Scherzach“

- 23.06.2008 zwischen 20.30 Uhr und 22.53 Uhr MESZ
- 01.07.2008 zwischen 19 Uhr und 22.50 Uhr MESZ
- 02.07.2008 zwischen 19.30 Uhr und 22.50 Uhr MESZ
- 10.07.2008 zwischen 19.30 Uhr und 22.49 Uhr MESZ

Teilgebiet „Ravensburg Süd“

- 10.07.2008 zwischen 20.29 Uhr und 23.01 Uhr MESZ
- 07.10.2008 zwischen 18.34 Uhr und 20.20 Uhr MESZ

4.7.3.3 Durchführung von Vertikalsondierungen

Zur Erfassung der Vertikalstruktur (Mächtigkeit, Windrichtung und Windgeschwindigkeit in unterschiedlichen Höhen) von Luftbewegungen nördlich und südlich von Ravensburg wurden einfache Vertikalsondierungen mit einem Helium-Fesselballon durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Zudem sollte die Temperaturschichtung im Bereich des Beckens erfasst werden. Die Verti-

kalsondierungen fanden an den Standorten der Messstationen „Hähnlehof“ und „Weiherstobel“ statt (vgl. Abbildung 168).

An folgenden Tagen wurden Vertikalsondierungen durchgeführt:

- Messtag 1: Zeitraum: 09.09.2008 zwischen 20.06 Uhr und 23.04 Uhr MESZ am Standort „Hähnlehof“
- Messtag 2: Zeitraum: 20.10.2008 zwischen 19.19 Uhr und 22.35 Uhr MESZ am Standort „Weiherstobel“

4.7.3.4 Durchführung von Temperaturmessfahrten

Um das Beobachtungsnetz hinsichtlich der bodennahen Lufttemperaturen zu verdichten, wurden zusätzlich Temperaturmessfahrten durchgeführt (vgl. Kap. 3.2). Dabei wurden entlang einer definierten Messroute in 10-m-Intervallen Position und Temperatur erfasst. Die Messfahrten erfolgten an ausgewählten Messtagen jeweils abends um die Sonnenuntergangszeit und morgens vor Sonnenaufgang.

Im Folgenden wird die Wahl der Messroute kurz stichwortartig begründet (vgl. Abbildung 200ff):

- Erfassung der Temperaturverhältnisse sowohl der ost- als auch der westexponierten Hänge
- Erfassung von möglichen Kaltluftsammel- bzw. Kaltluftstaugebieten

An folgenden Tagen wurden Messfahrten durchgeführt:

- Messtag 1: Zeitraum: 17.08.2008 zwischen 21.28 Uhr und 21.55 Uhr MESZ, 18.08.2008 zwischen 05.46 Uhr und 06.37 Uhr
- Messtag 2: Zeitraum: 20.08.2008 zwischen 21.27 Uhr und 22.49 Uhr MESZ, 21.08.2008 zwischen 05.13 Uhr und 05.37 Uhr MESZ

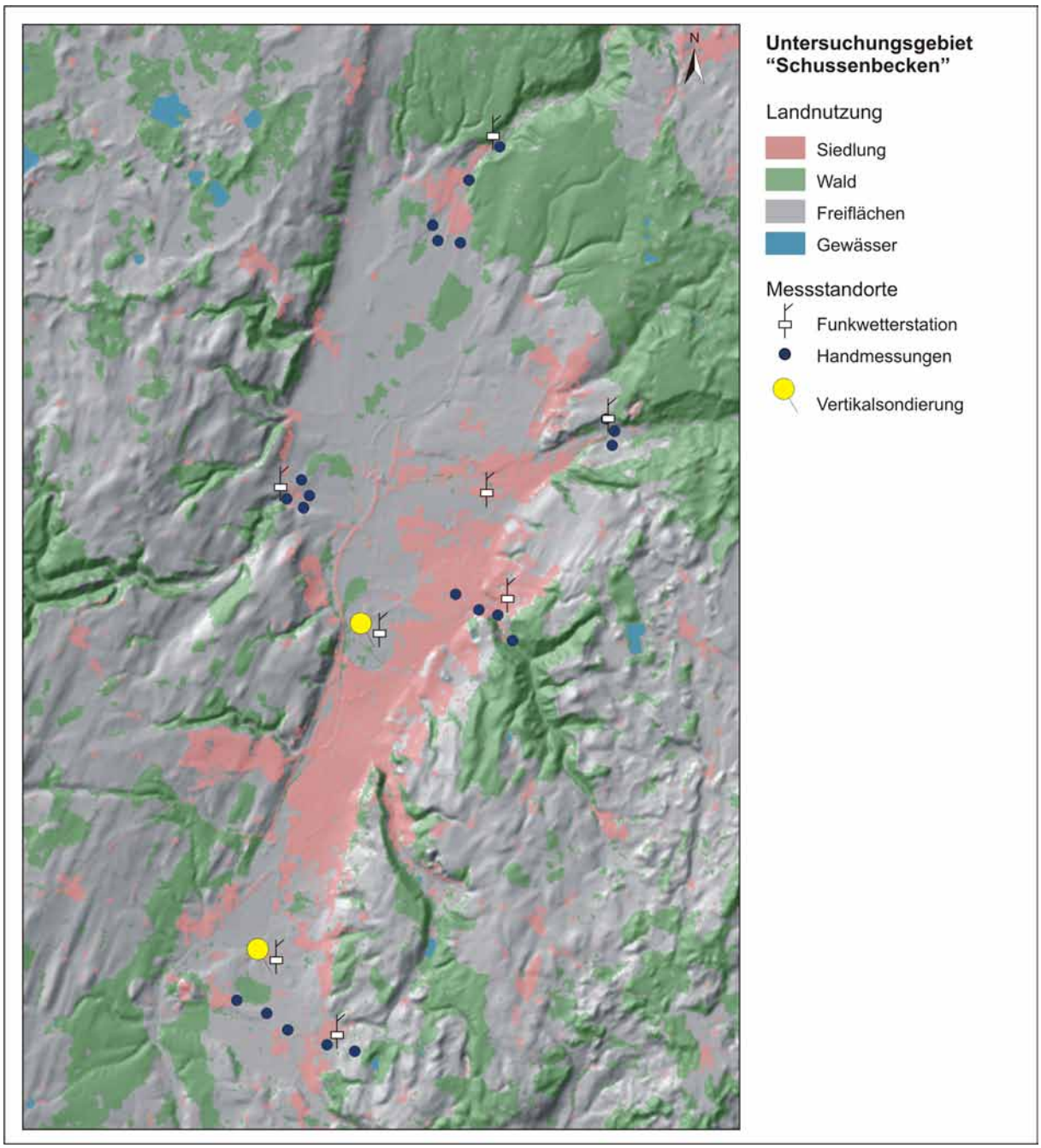


Abbildung 168: Das Untersuchungsgebiet „Mittleres Schussenbecken“ mit allen Messstandorten.

4.7.4 Beschreibung der Messergebnisse

4.7.4.1 Ergebnisse der Funkwetterstationen

Die betriebenen Funkwetterstationen speichern die gemessenen Werte in 10-Minuten-Inverallen ab. Über mehrere Monate Laufzeit ergibt dies große Datenmengen, die grafisch unterschiedlich aufbereitet wurden. Zunächst wird am Beispiel von Tagesdiagrammen ein einzelner „idealer Strahlungstag“ betrachtet. Damit kann gezeigt werden, ob an den betreffenden Standorten überhaupt mit nennenswerten Hang- und Talwindsystemen zu rechnen ist. Die anschließende Betrachtung des gesamten Messzeitraums über Isoplethendarstellungen und Stärkewindrosen erlaubt unter anderem Aussagen über die Häufigkeit der beobachtbaren Phänomene.

Um unnötige Längen und Dopplungen zu vermeiden, beschränkt sich die ausführliche Beschreibung der Stationsergebnisse im vorliegenden Untersuchungsraum auf drei der insgesamt acht Messstationen. Mit diesen drei Stationen können die wesentlichen Phänomene gezeigt werden. Die Ergebnisse der weiteren Stationen gehen in vergleichende Betrachtungen ein.

Betrachtung eines „idealen Strahlungstages“ an den Stationen „Wolfeggerach“, „Scherzach“ und „Oberhofen“

Im Folgenden wird am Beispiel von drei Tagesdiagrammen der Zeitraum vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ vorgestellt. Der Zeitraum war geprägt von „idealen Strahlungsverhältnissen“ mit sehr geringer Bewölkung und nur geringen Geschwindigkeiten der übergeordneten Winde.

Die Beschreibung der Ergebnisse (vgl. nachfolgende Abbildungen) erfolgt stichwortartig, um größtmögliche Kompaktheit zu erreichen.

Lufttemperatur

- ausgeprägter Tagesgang an allen Stationen (kleinere Schwankungen während des Tages lassen sich unter anderem auf den kurzzeitigen Durchzug kleinerer Wolkenfelder und den eingeschränkten Strahlungsschutz am Thermo-Hygrometer (vgl. Kap. 3.2) zurückführen)
- an der Station „Scherzach“ relativ geringe Temperaturamplitude aufgrund der städtischen Umgebung.
- Maximaltemperaturen zwischen 15 und 17 Uhr MESZ, an der Station „Scherzach“ zwischen 19 und 20 Uhr
- noch vor Sonnenuntergang rascher Temperaturrückgang
- gleichmäßige Temperaturabnahme im Laufe der Nacht, lediglich an der Station „Oberhofen“ um ca. 21 Uhr und 2 Uhr MESZ deutliche Stagnation der Temperatur bzw. sogar leichte Zunahme der Temperatur
- Minimumtemperaturen von rund 10°C (Station „Scherzach“ 15°C) um die Zeit des Sonnenaufgangs
- kurz nach Sonnenaufgang rascher Temperaturanstieg an der Station „Wolfeggerach“
- an der Station „Scherzach“ vergleichsweise flacher Anstieg der Temperatur

Windrichtungen

- Windrichtungen während der Tagstunden
  - an der Station „Wolfeggerach“ schwerpunktmäßig aus S bei großer Streuung
  - an der Station „Scherzach“ aus unterschiedlichen Richtungen
  - an der Station „Oberhofen“ aus S bis W

- Windrichtungen am Abend und in der Nacht
  - an der Station „Wolfeggerach“ mit Sonnenuntergang Eindrehen des Windes auf Richtungen um ONO, an der Station „Oberhofen“ auf Richtungen zwischen NO und NO
  - an der Station „Scherzach“ ab ca. 18 Uhr MESZ Windrichtungen aus S bis SO
- an allen Stationen einige Stunden nach Sonnenaufgang wiederum Drehen des Windes auf tagestypische Richtungen

Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an allen Stationen vergleichbare Windgeschwindigkeiten zwischen 1 und 2 m/s
- mit abnehmender Temperatur rascher Rückgang der Windgeschwindigkeit an allen Stationen
- an der Station „Wolfeggerach“ nachts bis kurz vor Sonnenaufgang Windgeschwindigkeiten von bis zu 1 m/s
- an der Station „Scherzach“ allmählicher Rückgang der Windgeschwindigkeit, im Laufe der Nacht immer wieder Impulse mit bis zu 0,6 m/s
- an der Station „Oberhofen“ nachts vereinzelte, sehr schwache Impulse, in den frühen Morgenstunden und bis rund 2 Stunden nach Sonnenaufgang praktisch Windstille
- an der Station „Wolfeggerach“ in den Stunden nach Sonnenaufgang auffälliges Pulsieren des Windes, erst mehrere Stunden nah Sonnenaufgang deutliche Zunahme der Windgeschwindigkeit
- an den Stationen „Scherzach“ und „Oberhofen“ Zunahme der Geschwindigkeit erst mehrere Stunden nach Sonnenaufgang

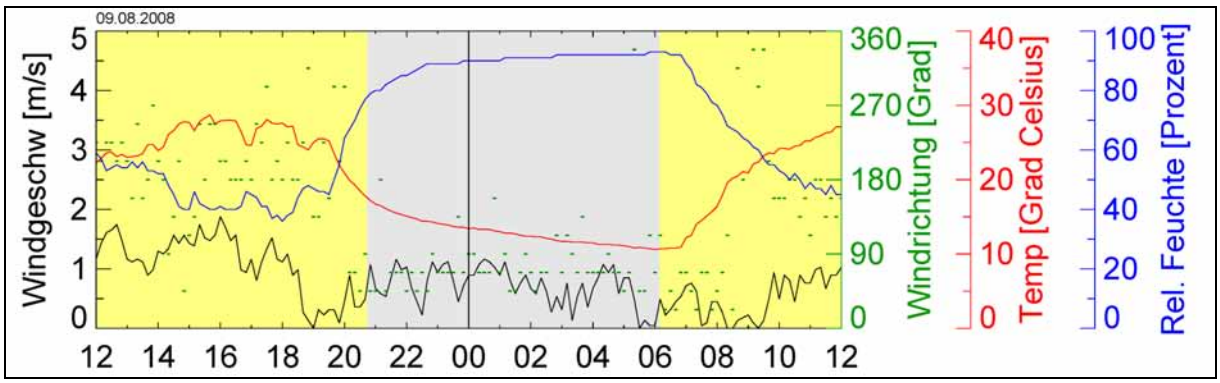


Abbildung 169: Tagesdiagramm der Station „Wolfeggerach“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

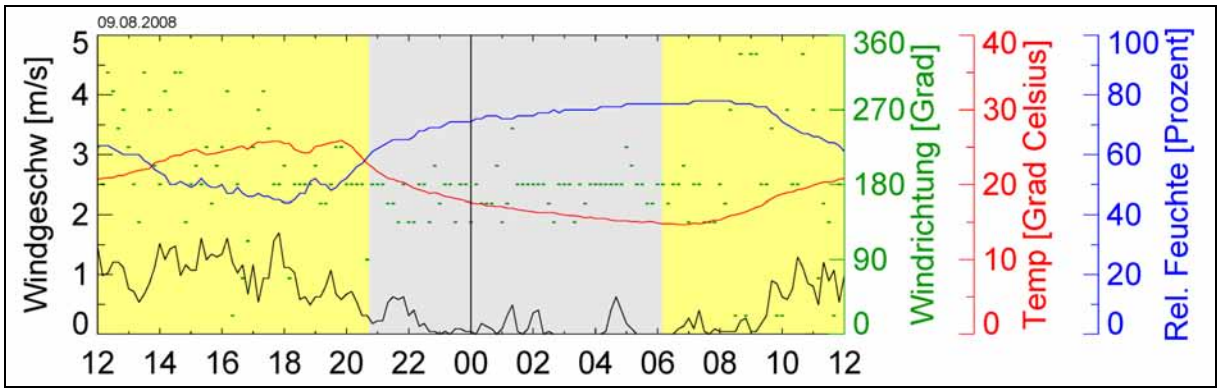


Abbildung 170: Tagesdiagramm der Station „Scherzach“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

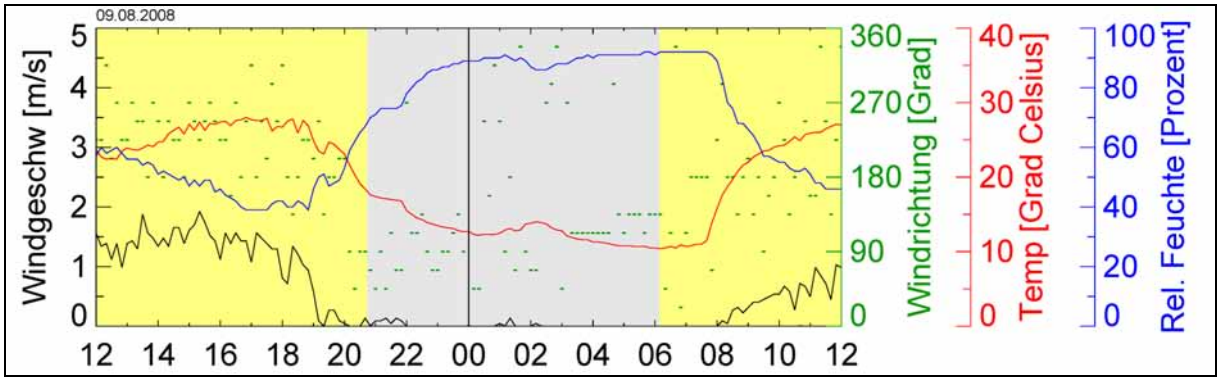


Abbildung 171: Tagesdiagramm der Station „Oberhofen“ vom 09.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 10.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

Betrachtung des gesamten Messzeitraums an den Stationen „Wolfeggerach“, „Scherzach“ und „Oberhofen“

Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen

- an den Stationen „Wolfeggerach“ und „Oberhofen“ an den meisten Tagen rasche und starke Temperaturabnahme um die Zeit Sonnenuntergangs
  - an der Station „Scherzach“ wesentlich langsamere Abkühlung, als an den anderen Stationen
- an allen Stationen kontinuierliche Abkühlung während der Nacht
  - Die Station „Scherzach“ zeigt nachts eine wesentlich langsamere Abkühlung, als die anderen Stationen
- an den Stationen „Wolfeggerach“ und „Oberhofen“ einige Stunden nach Sonnenaufgang rascher Anstieg der Lufttemperaturen
  - An der Station „Scherzach“ findet ein vergleichsweise langsamer Anstieg der Lufttemperaturen statt

Isoplethendarstellung der Windrichtungen

- über den nahezu kompletten Messzeitraum an den Stationen „Wolfeggerach“ und „Oberhofen“ zur Sonnenuntergangszeit Drehen von Windrichtungen aus S bis W auf Richtungen um O
- an der Station „Scherzach“ tagsüber breites Spektrum an Windrichtungen (außer O-Komponenten), noch deutlich vor Sonnenuntergang Drehen der Windrichtung auf nahezu ausschließlich S/SSW/SSO über die ganze Nacht hinweg
- an den Stationen „Wolfeggerach“, „Scherzach“ und „Oberhofen“ Drehen der Windrichtung auf tagestypische Werte

Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten

- tagsüber an den Stationen „Wolfeggerach“, „Scherzach“ und „Oberhofen“ Windgeschwindigkeiten im Bereich von vorwiegend 0,5 bis 2 m/s
- an allen Stationen um die Sonnenuntergangszeit deutliches Nachlassen der Windgeschwindigkeiten
- nachts an den Stationen „Scherzach“ und „Oberhofen“ Dominanz der Windgeschwindigkeiten zwischen 0 und 0,5 m/s, die Station „Wolfeggerach“ zeig etwas mehr Anteile an Geschwindigkeiten zwischen 0,1 und 0,5 m/s
- an allen Stationen im Laufe des Vormittags erneutes Aufleben des Windes auf tagestypische Windgeschwindigkeitsverhältnisse

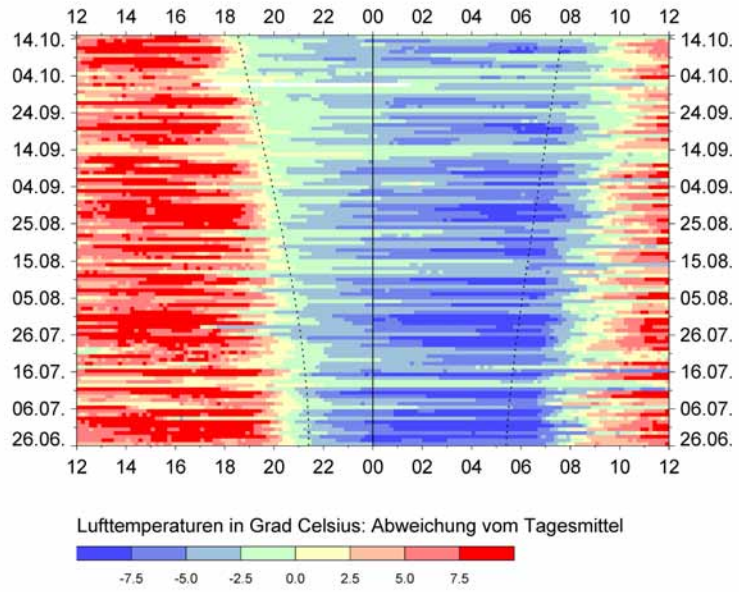


Abbildung 172: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Wolfeggerach". Abweichung vom Tagesmittel.

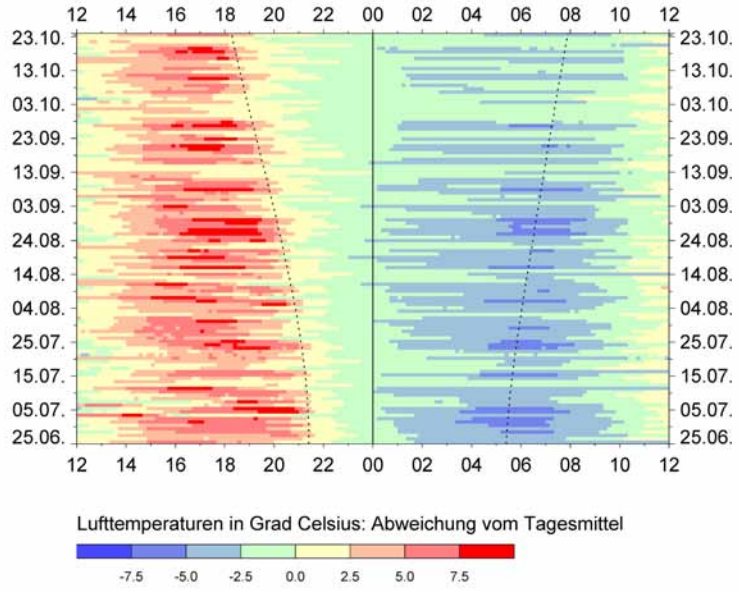


Abbildung 173: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Scherzach". Abweichung vom Tagesmittel.

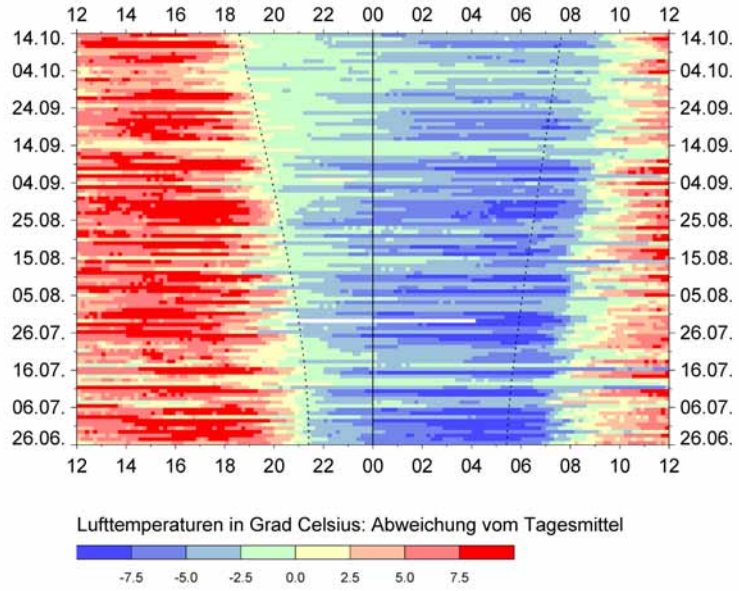


Abbildung 174: Isoplethendarstellung der Lufttemperaturen an der Station „Oberhofen". Abweichung vom Tagesmittel.

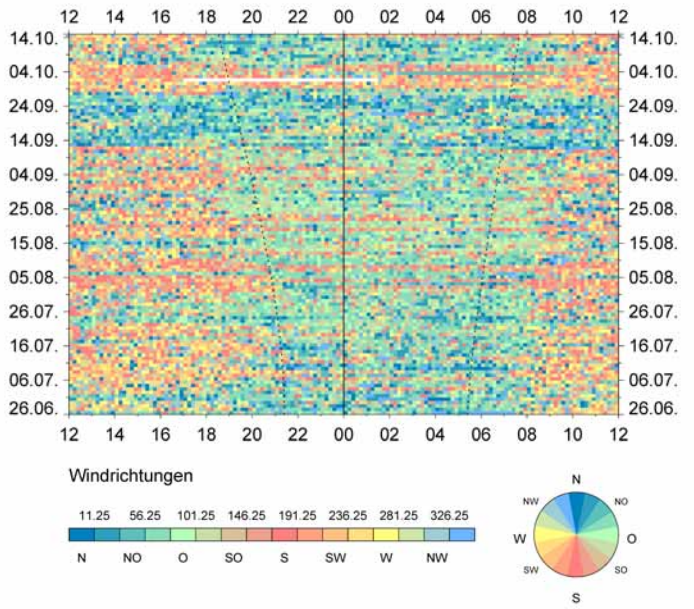


Abbildung 175: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Wolfeggerach“.

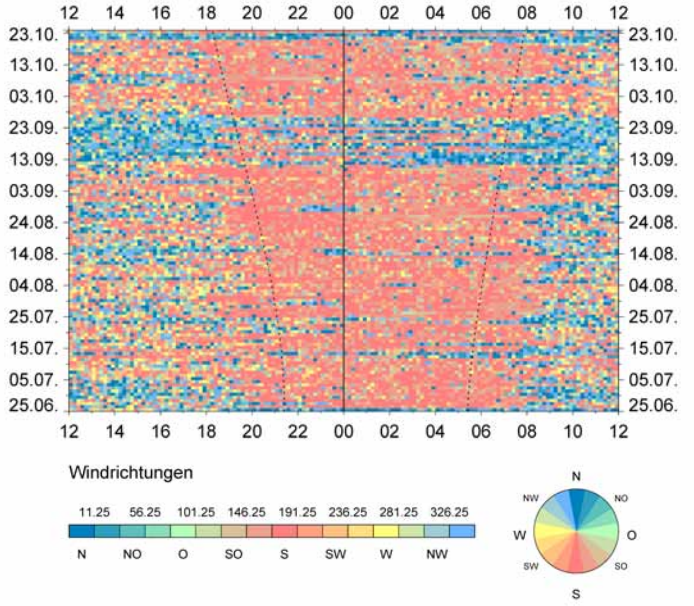


Abbildung 176: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Scherzach“.

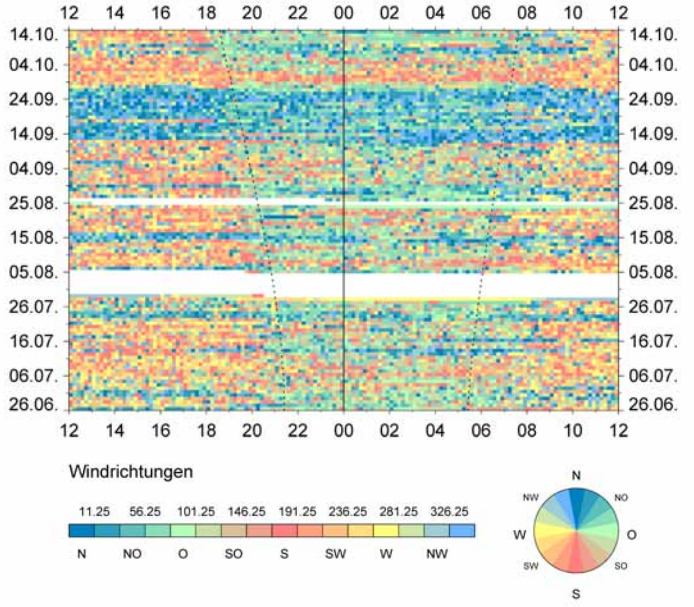


Abbildung 177: Isoplethendarstellung der Windrichtungen an der Station „Oberhofen“.

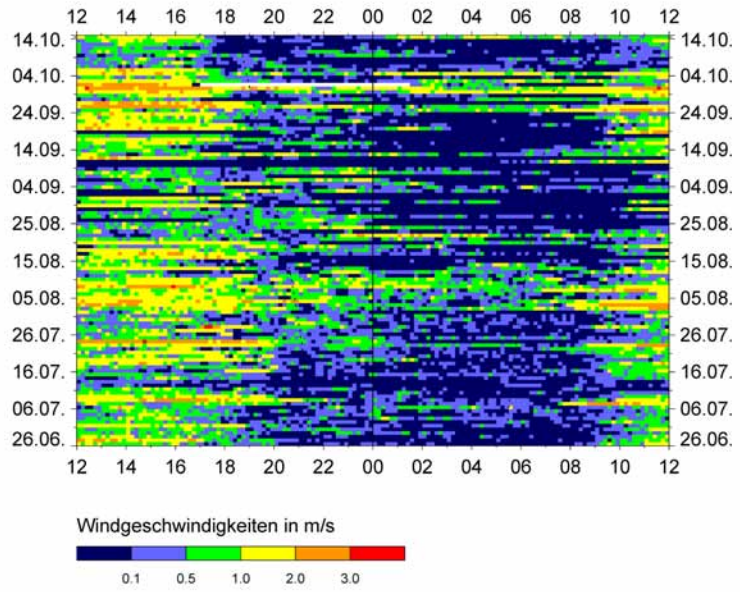


Abbildung 178: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Wolfeggerach“.

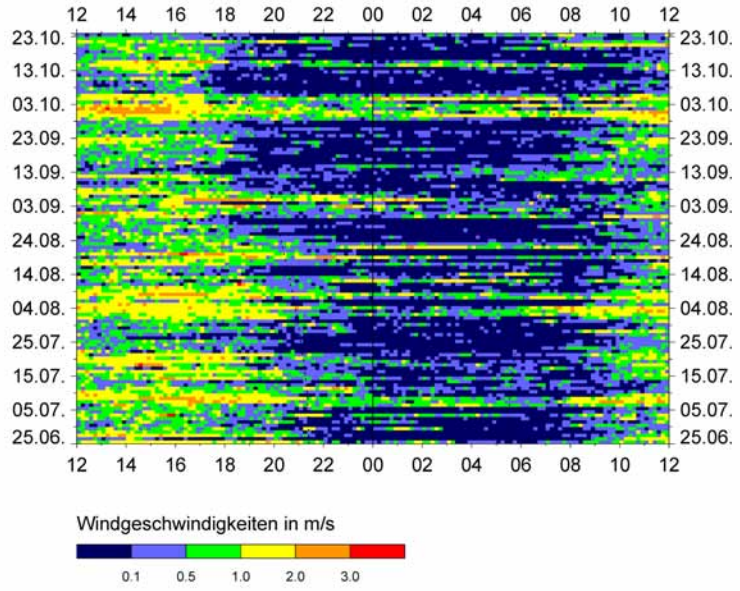


Abbildung 179: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Scherzach“.

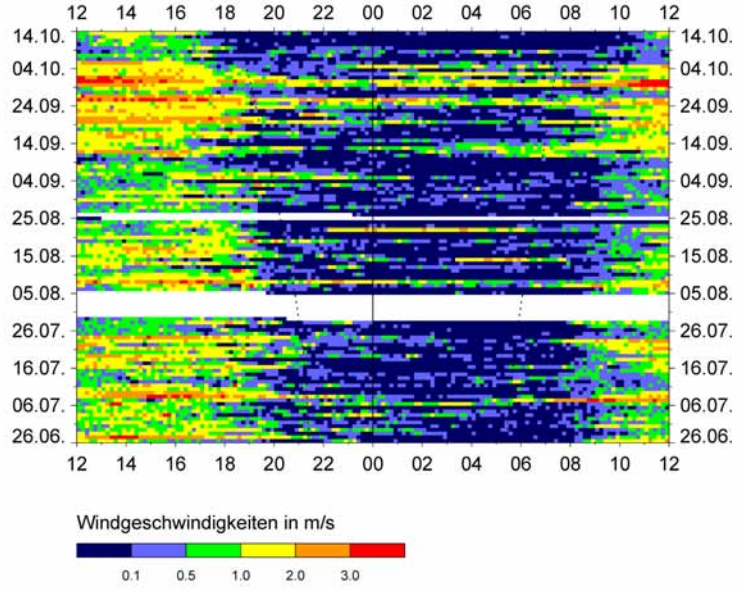


Abbildung 180: Isoplethendarstellung der Windgeschwindigkeiten an der Station „Oberhofen“.

Stärkewindrosen der Station „Wolfeggerach“

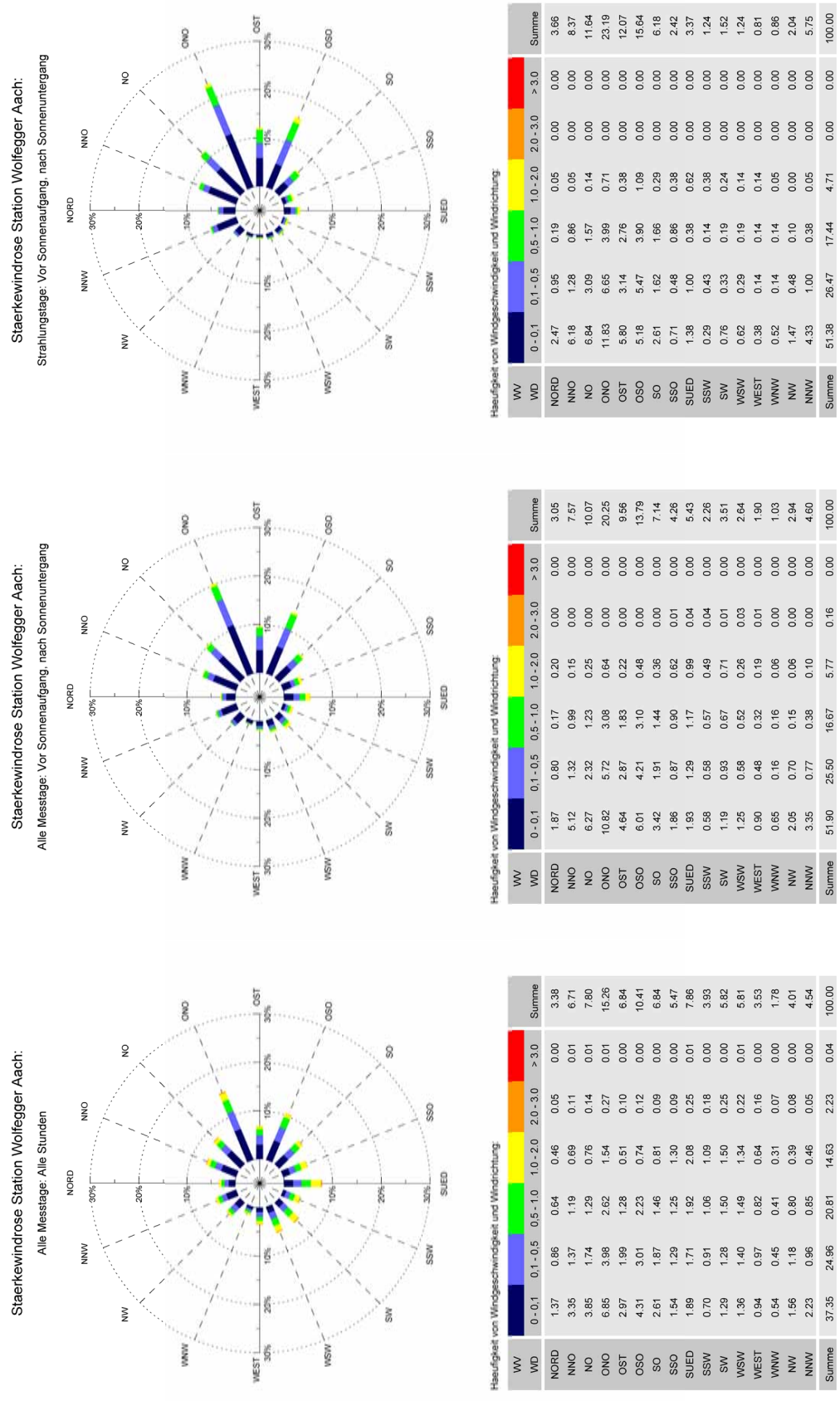
- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Wolfeggerach“ Winde aus zwei unterschiedlichen Richtungsschwerpunkten: ONO und OSO.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so konzentrieren sich die Windrichtungen noch deutlicher auf ONO und OSO. Die Richtungen NO/NNO und O weisen sekundäre Maxima auf.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so ergibt sich eine noch größere Dominanz der oben genannten Windrichtungen. Winde aus den Bereichen zwischen NW und SSW treten hierbei praktisch gar nicht mehr auf.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen 0 und maximal 1 m/s, nur sehr selten über 1 m/s. Dabei ist die Klasse von Geschwindigkeiten zwischen 0 und 0,1 m/s am häufigsten vertreten, gefolgt von der Klasse zwischen 0,1 und 0,5 m/s und der Klasse von 0,5 bis 1 m/s.

Stärkewindrosen der Station „Scherzach“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominieren an der Station „Scherzach“ sehr deutlich die Windrichtungen aus S/SSO/SO.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so ist die oben genannte Dominanz noch wesentlich deutlicher ausgeprägt. Winde aus anderen Richtungen treten praktisch nicht mehr auf.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, so treten nahezu ausschließlich Winde aus S/SSO/SO auf (zusammen 78 %).
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen 0 und maximal 1 m/s. Dabei überwiegt die Klasse unter 0,1 m/s deutlich. Selten werden Windgeschwindigkeiten über 0,1 m/s gemessen, noch wesentlich geringer ist der Anteil von Geschwindigkeiten zwischen 0,5 und 1 m/s.

Stärkewindrosen der Station „Oberhofen“

- Über den kompletten Messzeitraum betrachtet dominiert an der Station „Oberhofen“ keine Windrichtung deutlich.
- Beschränkt man die Betrachtung auf die Nachtstunden (zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang), so treten zwei deutliche Richtungsdominanzen hervor: ONO und OSO. Sekundäre Maxima zeigen die Richtungen NNO/NO, SO und O.
- Werden schließlich nur die Nachtstunden ausgewählter idealer Strahlungsnächte betrachtet, prägen sich oben genannte Dominanzen noch deutlicher aus. Die größten Häufigkeiten weisen die Richtungen ONO und OSO auf, gefolgt von O und SO.
- Die auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen im letztgenannten Fall in der Regel zwischen 0 und maximal 0,5 m/s. Dabei überwiegt die Klasse unter 0,1 m/s deutlich. Seltener werden Windgeschwindigkeiten zwischen 0,1 m/s und 0,5 m/s gemessen.



Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.37	0.86	0.64	0.46	0.05	0.00	3.38
NNO	3.35	1.37	1.19	0.69	0.11	0.01	6.71
NO	3.85	1.74	1.29	0.76	0.14	0.01	7.80
ONO	6.85	3.98	2.62	1.54	0.27	0.01	15.26
OST	2.97	1.99	1.28	0.51	0.10	0.00	6.84
OSO	4.31	3.01	2.23	0.74	0.12	0.00	10.41
SO	2.61	1.87	1.46	0.81	0.09	0.00	6.84
SSO	1.54	1.29	1.25	1.30	0.09	0.00	5.47
SUED	1.89	1.71	1.92	2.08	0.25	0.01	7.86
SSW	0.70	0.91	1.06	1.09	0.18	0.00	3.93
SW	1.29	1.28	1.50	1.50	0.25	0.00	5.82
WSW	1.36	1.40	1.49	1.34	0.22	0.01	5.81
WEST	0.94	0.97	0.82	0.64	0.16	0.00	3.53
WNW	0.54	0.45	0.41	0.31	0.07	0.00	1.78
NW	1.56	1.18	0.80	0.39	0.08	0.00	4.01
NNW	2.23	0.96	0.85	0.46	0.05	0.00	4.54
Summe	37.35	24.96	20.81	14.63	2.23	0.04	100.00

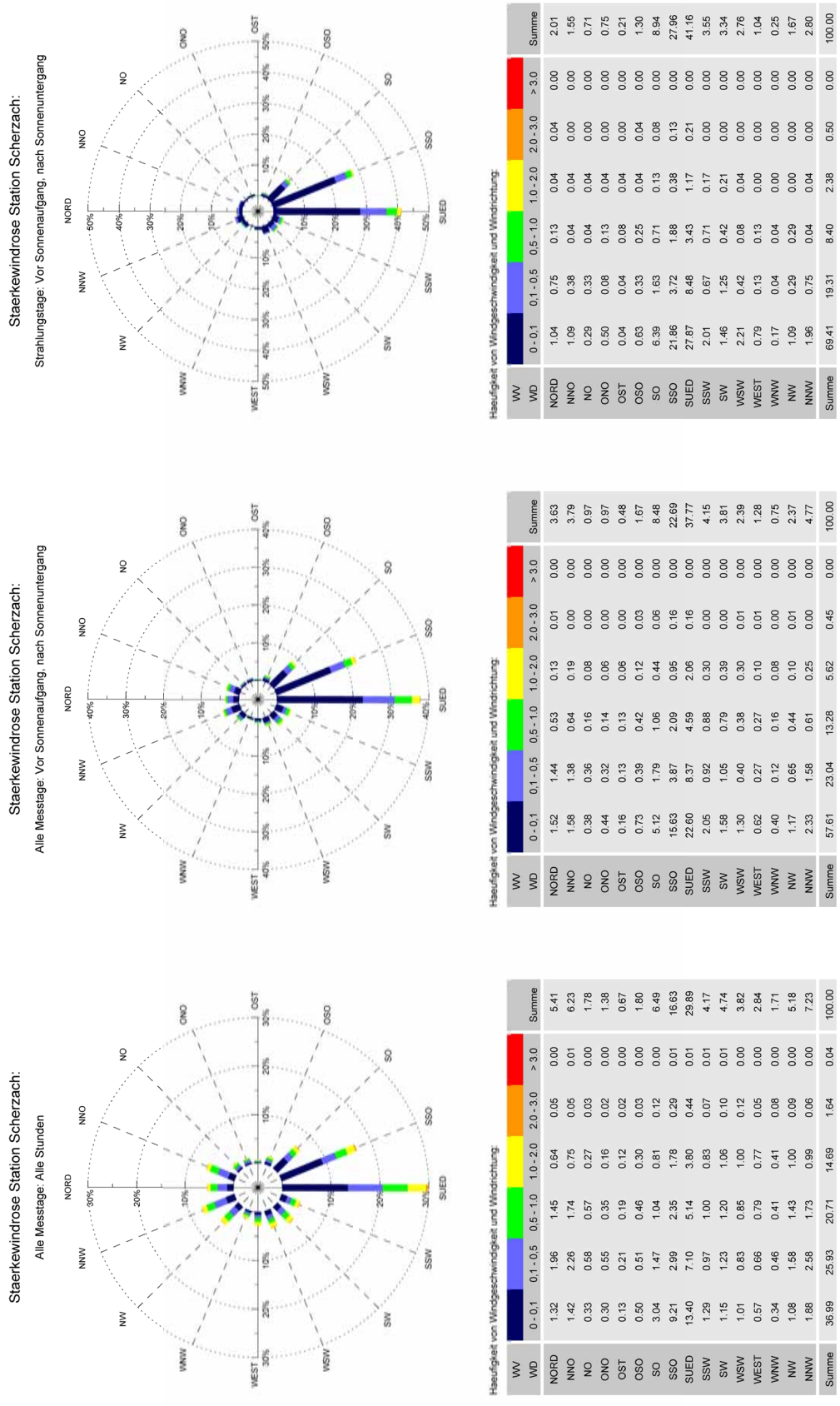
Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.87	0.80	0.17	0.20	0.00	0.00	3.05
NNO	5.12	1.32	0.99	0.15	0.00	0.00	7.57
NO	6.27	2.32	1.23	0.25	0.00	0.00	10.07
ONO	10.82	5.72	3.08	0.64	0.00	0.00	20.25
OST	4.64	2.87	1.83	0.22	0.00	0.00	9.56
OSO	6.01	4.21	3.10	0.48	0.00	0.00	13.79
SO	3.42	1.91	1.44	0.36	0.00	0.00	7.14
SSO	1.86	0.87	0.90	0.62	0.01	0.00	4.26
SUED	1.93	1.29	1.17	0.99	0.04	0.00	5.43
SSW	0.58	0.58	0.57	0.49	0.04	0.00	2.26
SW	1.19	0.93	0.67	0.71	0.01	0.00	3.51
WSW	1.25	0.58	0.52	0.26	0.03	0.00	2.64
WEST	0.90	0.48	0.32	0.19	0.01	0.00	1.90
WNW	0.65	0.16	0.16	0.06	0.00	0.00	1.03
NW	2.05	0.70	0.15	0.06	0.00	0.00	2.94
NNW	3.35	0.77	0.38	0.10	0.00	0.00	4.60
Summe	51.90	25.50	16.67	5.77	0.16	0.00	100.00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	2.47	0.95	0.19	0.05	0.00	0.00	3.66
NNO	6.18	1.28	0.86	0.05	0.00	0.00	8.37
NO	6.84	3.09	1.57	0.14	0.00	0.00	11.64
ONO	11.83	6.65	3.99	0.71	0.00	0.00	23.19
OST	5.80	3.14	2.76	0.38	0.00	0.00	12.07
OSO	5.18	5.47	3.90	1.09	0.00	0.00	15.64
SO	2.61	1.62	1.66	0.29	0.00	0.00	6.18
SSO	0.71	0.48	0.86	0.38	0.00	0.00	2.42
SUED	1.38	1.00	0.38	0.62	0.00	0.00	3.37
SSW	0.29	0.43	0.14	0.38	0.00	0.00	1.24
SW	0.76	0.33	0.19	0.24	0.00	0.00	1.52
WSW	0.62	0.29	0.19	0.14	0.00	0.00	1.24
WEST	0.38	0.14	0.14	0.14	0.00	0.00	0.81
WNW	0.52	0.14	0.14	0.05	0.00	0.00	0.86
NW	1.47	0.48	0.10	0.00	0.00	0.00	2.04
NNW	4.33	1.00	0.38	0.05	0.00	0.00	5.75
Summe	51.38	26.47	17.44	4.71	0.00	0.00	100.00

Abbildung 181: Stärkewindrosen der Station „Wolfeggerach“. Angaben in Prozent.



Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.32	1.96	1.45	0.64	0.05	0.00	5.41
NNO	1.42	2.26	1.74	0.75	0.05	0.01	6.23
NO	0.33	0.58	0.57	0.27	0.03	0.00	1.78
ONO	0.30	0.55	0.35	0.16	0.02	0.00	1.38
OST	0.13	0.21	0.19	0.12	0.02	0.00	0.67
OSO	0.50	0.51	0.46	0.30	0.03	0.00	1.80
SO	3.04	1.47	1.04	0.81	0.12	0.00	6.49
SSO	9.21	2.99	2.35	1.78	0.29	0.01	16.63
SUED	13.40	7.10	5.14	3.80	0.44	0.01	29.89
SSW	1.29	0.97	1.00	0.83	0.07	0.01	4.17
SW	1.15	1.23	1.20	1.06	0.10	0.01	4.74
WSW	1.01	0.83	0.85	1.00	0.12	0.00	3.82
WEST	0.57	0.66	0.79	0.77	0.05	0.00	2.84
WNW	0.34	0.46	0.41	0.41	0.08	0.00	1.71
NW	1.08	1.58	1.43	1.00	0.09	0.00	5.18
NNW	1.88	2.58	1.73	0.99	0.06	0.00	7.23
Summe	36.99	25.93	20.71	14.69	1.64	0.04	100.00

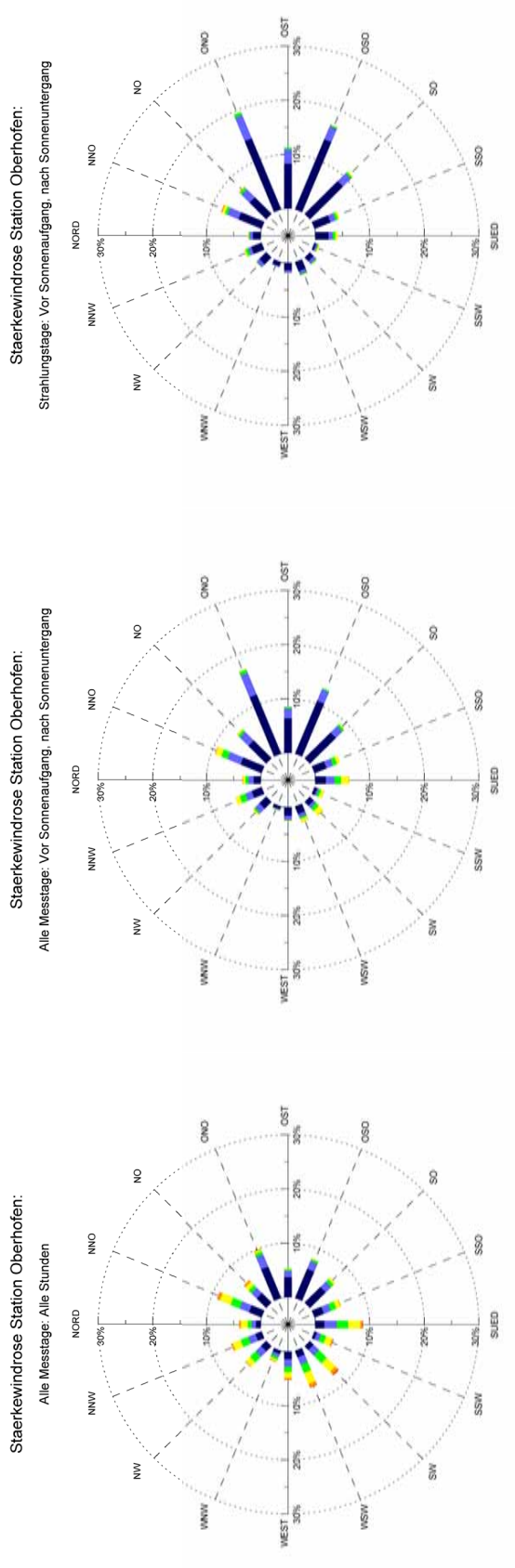
Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.52	1.44	0.53	0.13	0.01	0.00	3.63
NNO	1.58	1.38	0.64	0.19	0.00	0.00	3.79
NO	0.38	0.36	0.16	0.08	0.00	0.00	0.97
ONO	0.44	0.32	0.14	0.06	0.00	0.00	0.97
OST	0.16	0.13	0.13	0.06	0.00	0.00	0.48
OSO	0.73	0.39	0.42	0.12	0.03	0.00	1.67
SO	5.12	1.79	1.06	0.44	0.06	0.00	8.48
SSO	15.63	3.87	2.09	0.95	0.16	0.00	22.69
SUED	22.60	8.37	4.59	2.06	0.16	0.00	37.77
SSW	2.05	0.92	0.88	0.30	0.00	0.00	4.15
SW	1.58	1.05	0.79	0.39	0.00	0.00	3.81
WSW	1.30	0.40	0.38	0.30	0.01	0.00	2.39
WEST	0.62	0.27	0.27	0.10	0.01	0.00	1.28
WNW	0.40	0.12	0.16	0.08	0.00	0.00	0.75
NW	1.17	0.65	0.44	0.10	0.01	0.00	2.37
NNW	2.33	1.58	0.61	0.25	0.00	0.00	4.77
Summe	57.61	23.04	13.28	5.62	0.45	0.00	100.00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.04	0.75	0.13	0.04	0.04	0.00	2.01
NNO	1.09	0.38	0.04	0.04	0.00	0.00	1.55
NO	0.29	0.33	0.04	0.04	0.00	0.00	0.71
ONO	0.50	0.08	0.13	0.04	0.00	0.00	0.75
OST	0.04	0.04	0.08	0.04	0.00	0.00	0.21
OSO	0.63	0.33	0.25	0.04	0.04	0.00	1.30
SO	6.39	1.63	0.71	0.13	0.08	0.00	8.94
SSO	21.86	3.72	1.88	0.38	0.13	0.00	27.96
SUED	27.87	8.48	3.43	1.17	0.21	0.00	41.16
SSW	2.01	0.67	0.71	0.17	0.00	0.00	3.55
SW	1.46	1.25	0.42	0.21	0.00	0.00	3.34
WSW	2.21	0.42	0.08	0.04	0.00	0.00	2.76
WEST	0.79	0.13	0.13	0.00	0.00	0.00	1.04
WNW	0.17	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.25
NW	1.09	0.29	0.29	0.00	0.00	0.00	1.67
NNW	1.96	0.75	0.04	0.04	0.00	0.00	2.80
Summe	69.41	19.31	8.40	2.38	0.50	0.00	100.00

Abbildung 182: Stärkewindrosen der Station „Scherzach“. Angaben in Prozent.



Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.88	0.77	0.75	1.28	0.29	0.03	4.00
NNO	2.50	1.88	1.80	2.08	0.56	0.05	8.87
NO	2.45	1.39	0.68	0.86	0.42	0.03	5.83
ONO	6.25	2.45	0.60	0.39	0.15	0.02	9.86
OST	3.67	1.17	0.28	0.13	0.06	0.00	5.31
OSO	5.80	1.58	0.38	0.13	0.03	0.01	7.92
SO	4.05	1.44	0.62	0.36	0.04	0.00	6.51
SSO	1.85	1.36	1.11	0.87	0.11	0.01	5.31
SUED	1.68	2.25	2.12	2.23	0.43	0.07	8.78
SSW	0.50	0.80	1.01	1.18	0.28	0.05	3.83
SW	0.95	1.42	2.02	2.24	0.69	0.19	7.51
WSW	1.29	1.44	1.67	2.15	0.66	0.11	7.32
WEST	1.42	1.34	0.97	1.11	0.34	0.05	5.22
WNW	0.60	0.60	0.54	0.39	0.09	0.04	2.25
NW	1.33	1.39	1.43	1.11	0.14	0.01	5.42
NNW	1.23	1.39	1.53	1.58	0.29	0.03	6.05
Summe	36.44	22.67	17.52	18.10	4.58	0.68	100.00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

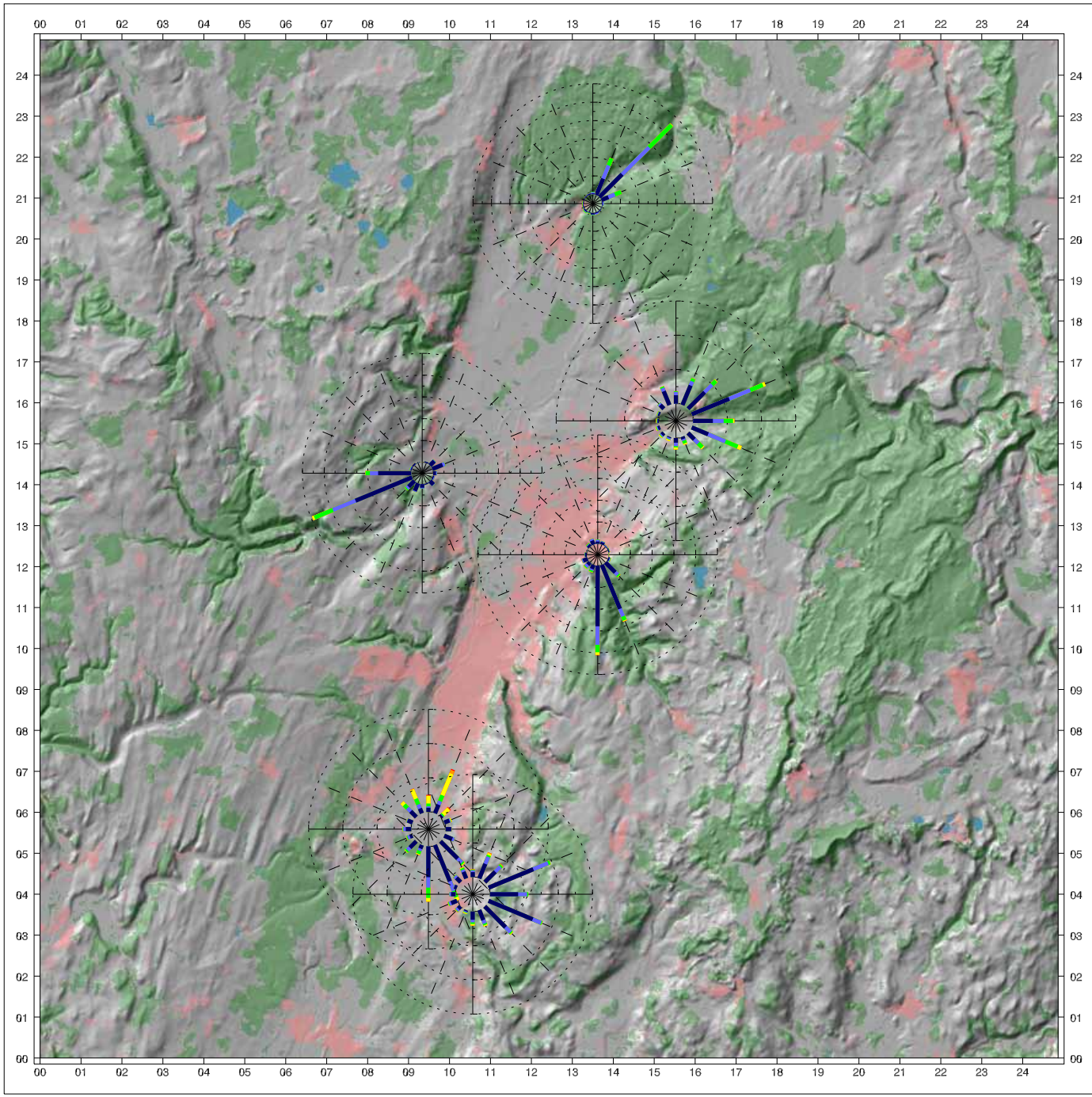
WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.31	0.94	0.59	0.42	0.11	0.00	3.38
NNO	4.17	2.60	1.27	1.14	0.13	0.00	9.30
NO	4.60	2.24	0.50	0.23	0.08	0.00	7.65
ONO	11.79	4.35	0.66	0.16	0.00	0.00	16.95
OST	6.38	1.84	0.27	0.05	0.02	0.00	8.55
OSO	10.54	2.28	0.23	0.03	0.02	0.00	13.10
SO	6.69	1.72	0.44	0.17	0.00	0.00	9.02
SSO	2.39	1.27	0.83	0.58	0.02	0.00	5.08
SUED	1.94	1.56	1.24	1.42	0.08	0.00	6.24
SSW	0.55	0.34	0.45	0.58	0.05	0.00	1.97
SW	0.97	0.61	0.73	1.11	0.14	0.00	3.56
WSW	1.49	0.69	0.31	0.52	0.11	0.00	3.11
WEST	1.56	0.75	0.13	0.08	0.03	0.00	2.55
WNW	0.55	0.19	0.06	0.08	0.00	0.00	0.88
NW	1.74	1.11	0.38	0.27	0.00	0.00	3.49
NNW	1.95	1.25	1.17	0.75	0.05	0.00	5.18
Summe	58.61	23.73	9.26	7.58	0.81	0.00	100.00

Häufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung

WV / WD	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	1.45	0.55	0.15	0.10	0.05	0.00	2.31
NNO	4.61	2.21	0.50	0.50	0.25	0.00	8.07
NO	4.31	2.06	0.50	0.05	0.15	0.00	7.07
ONO	14.14	4.66	0.60	0.05	0.00	0.00	19.45
OST	8.27	2.61	0.35	0.00	0.00	0.00	11.23
OSO	13.98	2.66	0.25	0.05	0.00	0.00	16.94
SO	8.57	2.06	0.35	0.20	0.00	0.00	11.18
SSO	3.16	1.05	0.45	0.35	0.00	0.00	5.01
SUED	2.46	0.75	0.50	0.45	0.00	0.00	4.16
SSW	0.35	0.30	0.15	0.25	0.00	0.00	1.05
SW	0.95	0.65	0.15	0.10	0.00	0.00	1.85
WSW	1.80	0.60	0.20	0.10	0.00	0.00	2.71
WEST	1.35	0.50	0.00	0.05	0.00	0.00	1.90
WNW	0.80	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
NW	1.75	0.70	0.10	0.05	0.00	0.00	2.61
NNW	2.06	0.65	0.50	0.20	0.05	0.00	3.46
Summe	70.03	22.21	4.76	2.51	0.50	0.00	100.00

Abbildung 183: Stärkewindrosen der Station „Oberhofen“. Angaben in Prozent.

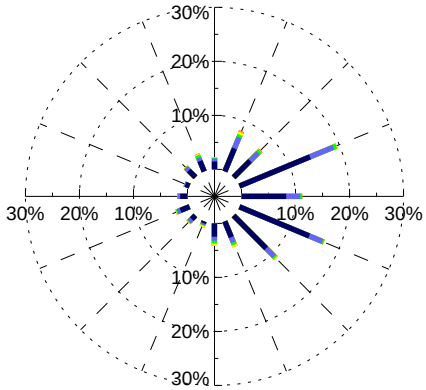
Abbildung 184: Nächste Seite: Stärkewindrosen im Untersuchungsgebiet „Schussenbecken“ (Strahlungsnächte).



REKLIBO Staerkewindrosen

Untersuchungsgebiet Schussenbecken

Windrichtungshaeufigkeiten
Nur Strahlungstage, Nachtstunden



Windgeschwindigkeiten in m/s:

- < 0.1
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- > 3.0

Datengrundlage:
Digitales Gelaendemodell (DGM5): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).
Landnutzungsdaten: Landsat TM5, Ebene 3, 1996/1997.

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Ergebnisse der Station „Weiherstobel“

Aufgrund technischer Schwierigkeiten an der Wetterstation wird der Standort „Weiherstobel“ gesondert betrachtet. Neben einem mehrtägigen Komplettausfall der Windsensoren Ende September, kam es bereits während der ersten Hälfte des Messzeitraums zu Problemen mit der Windfahne. Aus den aufgezeichneten Daten geht hervor, dass die Windfahne in diesem Zeitraum vor allem in den windschwachen Nachtstunden trotz offensichtlicher Luftbewegungen keine Reaktion mehr zeigt (vgl. Isoplethendiagramme im Anhang). In statistischen Häufigkeitsanalysen würden diese langen Zeiträume mit „konstanten Windrichtungen“ unter Umständen zu falschen Aussagen führen. Aus diesem Grund konzentriert sich die Betrachtung der Winddaten im Folgenden auf ausgewählte Tagesdiagramme aus der zweiten Hälfte des Messzeitraums. Diese Tage zeigen in idealtypischer Weise, welche Phänomene bei windschwachen Strahlungswetterlagen am Standort zu beobachten sind.

Offensichtlich kann es zur Ausprägung zweier unterschiedlicher nächtlicher Strömungssituationen kommen: Neben Nächten, in denen im Laufe der Nacht eine Nordströmung einsetzt, gibt es ebenso Nächte, in denen über alle Nachtstunden hinweg eine schwache Südströmung dominiert. Beide Situationen sind in der Auswahl der beschriebenen Tage berücksichtigt. Folgende Tage wurden ausgewählt:

- 26.08.08/12 Uhr MESZ bis 27.08.08/12 Uhr MESZ (Nacht mit N-Strömung)
- 27.08.08/12 Uhr MESZ bis 28.08.08/12 Uhr MESZ (Nacht mit S-Strömung)
- 28.08.08/12 Uhr MESZ bis 29.08.08/12 Uhr MESZ (Nacht mit N-Strömung)
- 29.08.08/12 Uhr MESZ bis 30.08.08/12 Uhr MESZ (Nacht mit N-Strömung)
- 30.08.08/12 Uhr MESZ bis 31.08.08/12 Uhr MESZ (Nacht mit N-Strömung)
- 17.10.08/12 Uhr MESZ bis 18.10.08/12 Uhr MESZ (Nacht mit N-Strömung)

Lufttemperaturen

- zur Zeit des Sonnenuntergangs an allen Tagen rasche Abnahme der Lufttemperatur
- am 27.08.08 bei sehr schwacher nächtlicher S-Strömung gleichmäßige Abnahme der Temperatur im Laufe der Nacht
- an allen anderen Tagen im Moment einer einsetzenden N-Strömung leichte Zunahme der Temperatur, gefolgt von gleichmäßiger Abnahme, im Fall einer abrupt einschlafenden N-Strömung kurzzeitig stärkerer Temperaturrückgang, gefolgt von gleichmäßiger Abnahme
- an allen Tagen tiefste Lufttemperaturen um die Zeit des Sonnenaufgangs

Windrichtungen

- tagsüber Winde aus unterschiedlichen Richtungen
- in den Nächten mit N-Strömung Eindrehen der Windrichtung auf N deutlich nach Sonnenuntergang
- in der Nacht mit S-Strömung Eindrehen der Windrichtung auf S zur Zeit des Sonnenuntergangs

Windgeschwindigkeiten

- an allen Tagen Nachlassen der Windgeschwindigkeit zur Zeit des Sonnenuntergangs
- in der Nacht mit S-Strömung sehr schwache Luftbewegungen, die sich meist nur in geringfügigen Windrichtungsänderungen niederschlagen
- in den Nächten mit N-Strömung erst deutlich nach Sonnenuntergang einsetzende, dann aber durchaus kräftige Luftbewegungen
- in den Nächten mit N-Strömung in der zweiten Nachthälfte häufig schlagartig nachlassende Windgeschwindigkeiten
    - bis hin zu nahezu windstillen Verhältnissen (28.08.08 und 30.08.08)

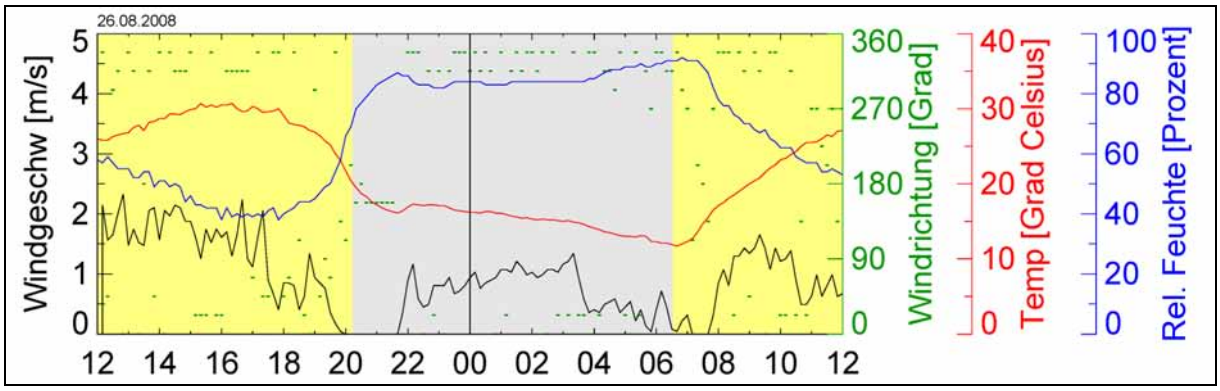


Abbildung 185: Tagesdiagramm der Station „Weiherstobel“ vom 26.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 27.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

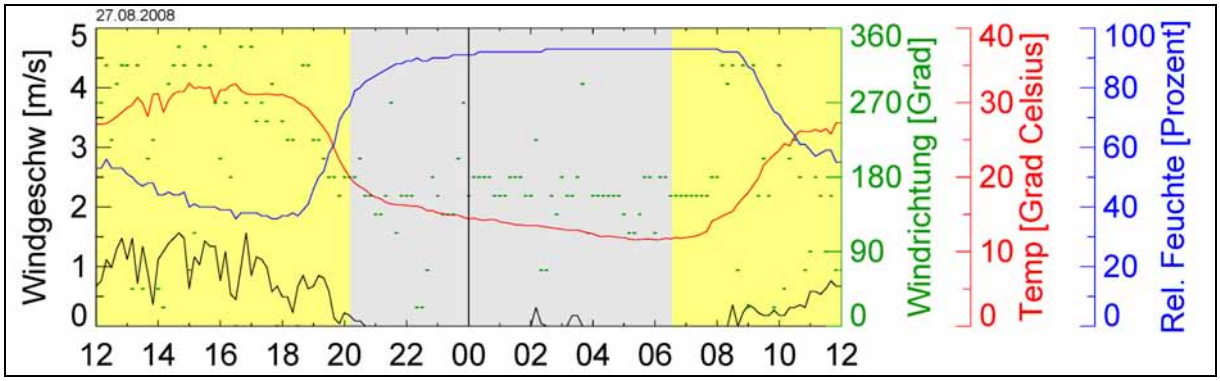


Abbildung 186: Tagesdiagramm der Station „Weiherstobel“ vom 27.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 28.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

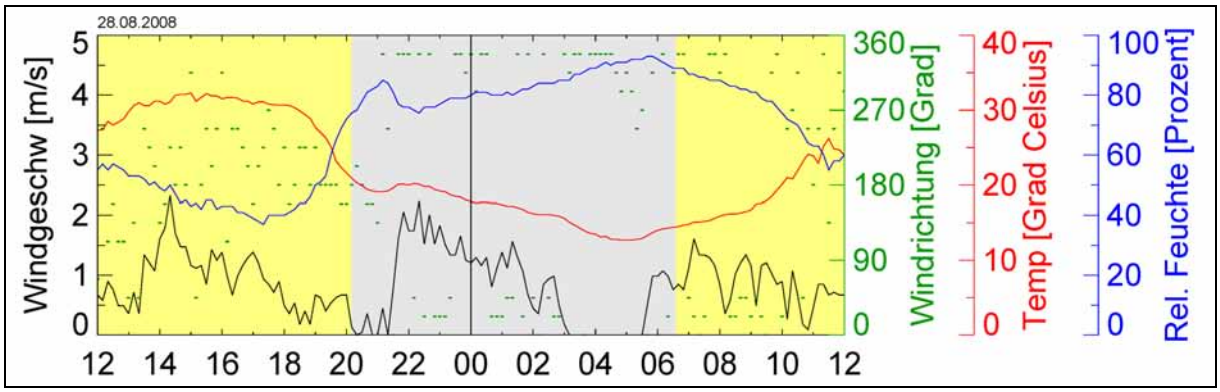


Abbildung 187: Tagesdiagramm der Station „Weiherstobel“ vom 28.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 29.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

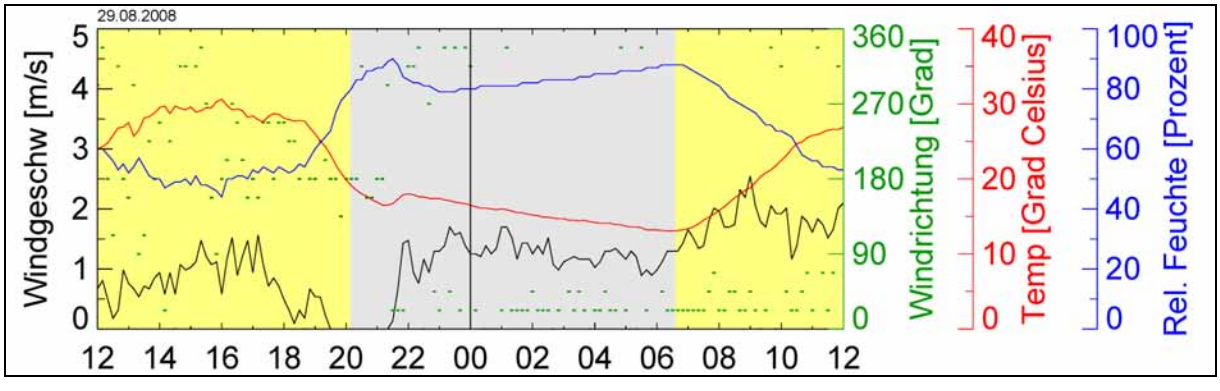


Abbildung 188: Tagesdiagramm der Station „Weiherstobel“ vom 29.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 30.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

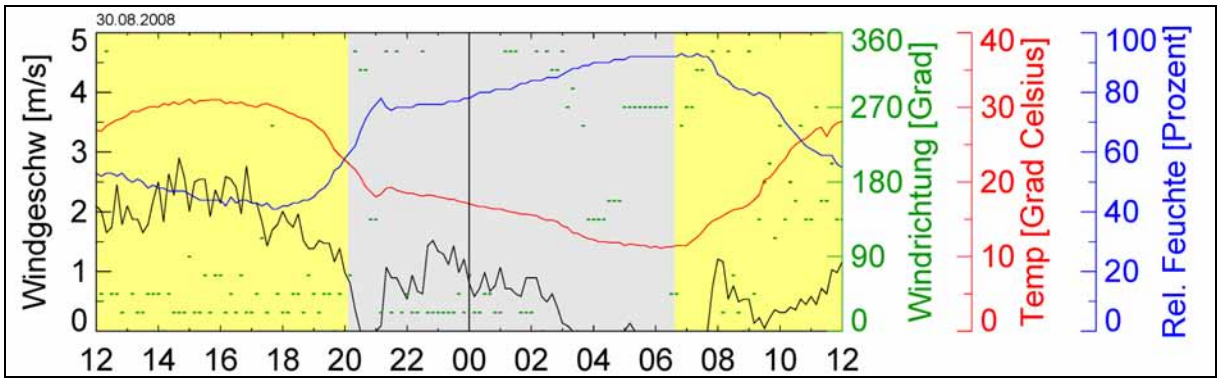


Abbildung 189: Tagesdiagramm der Station „Weiherstobel“ vom 30.08.2008/12.00 Uhr MESZ bis 31.08.2008/12.00 Uhr MESZ.

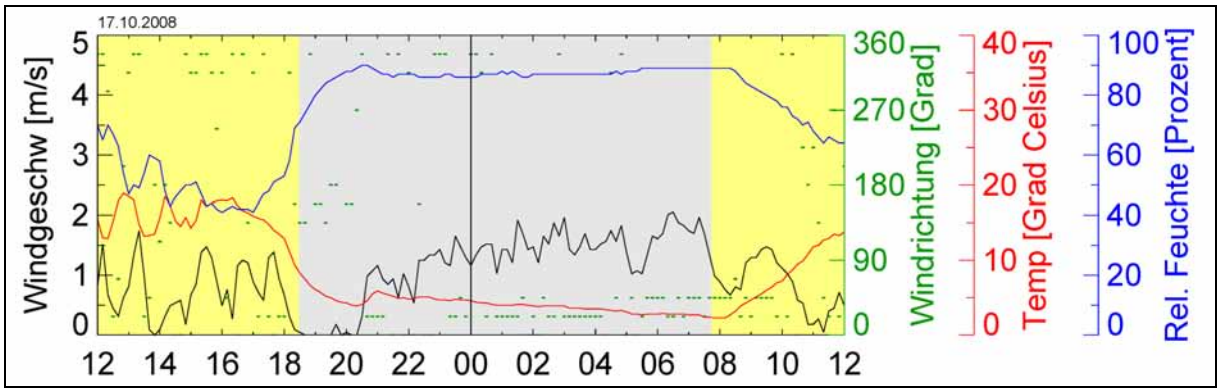


Abbildung 190: Tagesdiagramm der Station „Weiherstobel“ vom 17.10.2008/12.00 Uhr MESZ bis 18.10.2008/12.00 Uhr MESZ.

Ergebnisse der Stationen „Schussentobel“, „Ettishoferach“, „Baienfurt“ und „Hähnlehof“

Die Ergebnisbeschreibung der Stationen „Schussentobel“, „Ettishoferach“, „Baienfurt“ und „Hähnlehof“ beschränkt sich auf die wesentlichen Punkte, um unnötige Längen und Dopplungen mit den bereits beschriebenen Stationen zu vermeiden. Die Ausführungen sind dabei nach den Stationsstandorten gegliedert. Die entsprechenden Grafiken sind im Anhang (CD) zu finden.

Station „Schussentobel“

- rasche Temperaturabnahme zur Zeit des Sonnenuntergangs
- tiefste Temperaturen zu Sonnenaufgang
- deutlich erkennbare Tagesperiodik von Windrichtung und Windgeschwindigkeit
  - tagsüber Winde aus S bis W
  - 1 bis 2 Stunden vor Sonnenuntergang Drehen der Windrichtung, deutliche nächtliche Richtungsdominanz: NO/NNO/ONO (zusammen 89 %)
  - nach Schwachwindphase vor Sonnenuntergang nächtliche Windgeschwindigkeiten zwischen 0 und 1 m/s, Maximum in der ersten Nachthälfte
  - ca. 2 Stunden nach Sonnenaufgang erneute Umschlagsphase

Station „Ettishoferachtobel“

- rasche Temperaturabnahme zur Zeit des Sonnenuntergangs
- tiefste Temperaturen zu Sonnenaufgang
- deutlich erkennbare Tagesperiodik von Windrichtung und Windgeschwindigkeit
  - tagsüber Winde aus nahezu allen Richtungen

- rund 1 Stunde vor Sonnenuntergang Drehen der Windrichtung, deutliche nächtliche Richtungsdominanz: WSW/W (zusammen 70 %)
- nach Schwachwindphase vor Sonnenuntergang, nächtliche Windgeschwindigkeiten vor allem unter 0,1 m/s, seltener zwischen 0,1 und 1 m/s, Maximum in der ersten Nachthälfte
- ca. 2 Stunden nach Sonnenaufgang erneute Umschlagsphase

Station „Baienfurt“

Aufgrund der vergleichsweise kurzen Laufzeit (Vandalismus) sind repräsentative Aussagen über das Temperatur- und Windverhalten an diesem Standort nur bedingt möglich. Da aber vergleichsweise viele Strahlungswetterlagen in die Laufzeit der Station „Baienfurt“ fallen, kann anhand der Tagesdiagramme und Stärkewindrosen dennoch eine vorsichtige Einschätzung stattfinden. Den Ausführungen liegen folgende Tage zugrunde: 28.08., 30.08., 04.07.2008.

- rasche Temperaturabnahme zur Zeit des Sonnenuntergangs
- tiefste Temperaturen um die Zeit des Sonnenaufgangs
- erkennbare Tagesperiodik von Windrichtung und Windgeschwindigkeit
  - während der Tagzeiten Winde aus unterschiedlichen Richtungen
  - ungefähr zur Zeit des Sonnenuntergangs (allmähliches) Drehen der Windrichtung
  - mehrere dominierende nächtliche Windrichtungen: ONO, NNW/NW und NNO
  - nachts äußerst geringe Windgeschwindigkeiten (unter 0,1 m/s)

Station „Hähnlehof“

Aufgrund der zahlreichen Datenausfälle an der Station „Hähnlehof“ sind auch hier repräsentative Aussagen über das Temperatur- und Windverhalten nur bedingt möglich. Wieder werden ausgewählte Tagesdiagramme herangezogen, die das Temperatur- und Windverhalten bei windschwachen Strahlungswetterlagen darstellen. Die gewählten Beispieltage sind: 16.08., 08.09. und 17.10.08.

- rasche Temperaturabnahme zur Zeit des Sonnenuntergangs
- tiefste Temperaturen um die Zeit des Sonnenaufgangs
- erkennbare Tagesperiodik von Windrichtung und Windgeschwindigkeit
  - zur Zeit des Sonnenuntergangs Drehen der Windrichtung auf NW bis NO
  - mehrere dominierende nächtliche Windrichtungen aus dem nördlichen Sektor
  - nachts sehr geringe bis mäßige Windgeschwindigkeiten

4.7.4.2 Ergebnisse der Handmessungen

Aufgrund der großen Anzahl der durchgeführten Handmessungen soll die nachfolgende Darstellung der Messergebnisse nach Teilgebeiten sortiert und möglichst kompakt erfolgen. Die einzelnen Messtage werden auf ihre Vergleichbarkeit hin untersucht. Bei Bedarf wird auf konkrete Messtage (MT) Bezug genommen.

Teilgebiet „Wolfeggerach“

Messtage:

- 26.6.2008 zwischen 20.05 Uhr und 22.17 Uhr MESZ
- 02.07.2008 zwischen 20 Uhr und 22.20 Uhr MESZ
- 10.07.2008 zwischen 20.14 Uhr und 22.20 Uhr MESZ
- An allen drei Messtagen herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.

Messungen vor Sonnenuntergang

- am Standort HM1 bereits hangabwärts gerichtete Luftbewegungen
- am Standort HM2 sowohl talabwärts gerichtete Luftbewegung als auch Luftbewegung mit nördlicher Komponente
- an Standort HM3 in den meisten Fällen bereits hangabwärts gerichtete Luftbewegungen

Messungen zur Zeit des Sonnenuntergangs

- am Standort HM1 wiederum kräftige hangabwärts gerichtete Strömungen, an MT2 jedoch deutlicher Einfluss einer O-Komponente
- am Standort HM2 an MT1 und MT3 Windstille bzw. äußerst geringe Geschwindigkeiten, an MT2 talabwärts gerichtete Luftbewegungen
- Der Standort HM3 zeigt Luftbewegungen aus unterschiedlichsten Richtungen: hangabwärts, talabwärts aber auch talaufwärts

Messungen nach Sonnenuntergang

- am Standort HM1 kräftige, vorwiegend hangabwärts orientierte Strömungen, jedoch nun mit einer insgesamt etwas stärkeren O-Komponente
- am Standort HM2 talabwärts gerichtete Luftbewegungen, an MT3 jedoch Windstille
- Der Standort HM3 zeigt an MT1 und MT3 äußerst geringe Geschwindigkeiten bzw. Windstille. An MT2 hingegen kräftige talabwärts gerichtete Luftbewegungen.

Abbildung 191: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Teilgebiet „Wolfeggerach“

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Wolfeggerach

26.06.2008, 20:05:00 - 20:28:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Wolfeggerach

26.06.2008, 21:05:00 - 21:24:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Wolfeggerach

26.06.2008, 22:00:00 - 22:17:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Wolfeggerach

02.07.2008, 20:00:00 - 20:22:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Wolfeggerach

02.07.2008, 21:09:00 - 21:30:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Wolfeggerach

02.07.2008, 22:00:00 - 22:20:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Wolfeggerach

10.07.2008, 20:14:00 - 20:35:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Wolfeggerach

10.07.2008, 21:11:00 - 21:30:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Wolfeggerach

10.07.2008, 21:57:00 - 22:20:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Teilgebiet „Schussentobel“

Messtage:

- 10.07.2008 zwischen 20.12 Uhr und 23 Uhr MESZ
- 21.08.2008 zwischen 19.20 Uhr und 22.08 Uhr MESZ
- An beiden Messtagen herrschte eine hochsommerliche eine hochsommerliche windschwache Wetterlage.

Messungen vor Sonnenuntergang

- am Standort HM1 talabwärts gerichtete, kräftige Luftbewegungen
- am Standort HM2 ebenfalls talabwärts orientierte Luftbewegungen mit mäßigen Geschwindigkeiten
- am Standort HM3 Richtungen aus N (mäßige Windgeschwindigkeiten)
- am Standort HM4 an MT1 keine Luftbewegungen, an MT2 Wind aus NNO mit mäßigen Windgeschwindigkeiten
- am Standort HM5 Richtungen aus N bzw. NO mit mäßigen Windgeschwindigkeiten

Messungen zur Zeit des Sonnenuntergangs

- am Standort HM1 talabwärts gerichtete, kräftige Luftströmungen
- am Standort HM2 ebenfalls talabwärts gerichtete Luftströmungen mit mäßigen Windgeschwindigkeiten
- am Standort HM3 N-Richtungen (1 bzw. 0,6 m/s)
- am Standort HM4 an MT1 Windstille, an MT2 eine NW-Richtung mit 0,3 m/s
- am Standort HM5 an MT1 kräftige Luftbewegungen aus N und an MT2 NNW-Richtung mit äußerst geringen Geschwindigkeiten

Messungen nach Sonnenuntergang

- am Standort HM1 eine kräftige, talabwärts orientierte Luftbewegung
- am Standort HM2 eine talabwärts gerichtete, mäßige Luftbewegung
- am Standort HM3 an MT1 eine N-Richtung mit 1,2 m/s, an MT2 Windstille
- am Standort HM4 an MT1 ebenfalls mäßige bis kräftige N-Richtung
- am Standort HM5 an MT1 ebenfalls kräftige N-Richtung, an MT2 ebenfalls Windstille

Abbildung 192: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Teilgebiet „Schussentobel“.

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Schussentobel

10.07.2008, 20:12:00 - 20:59:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Schussentobel

10.07.2008, 21:15:00 - 21:55:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Schussentobel

10.07.2008, 22:13:00 - 23:00:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

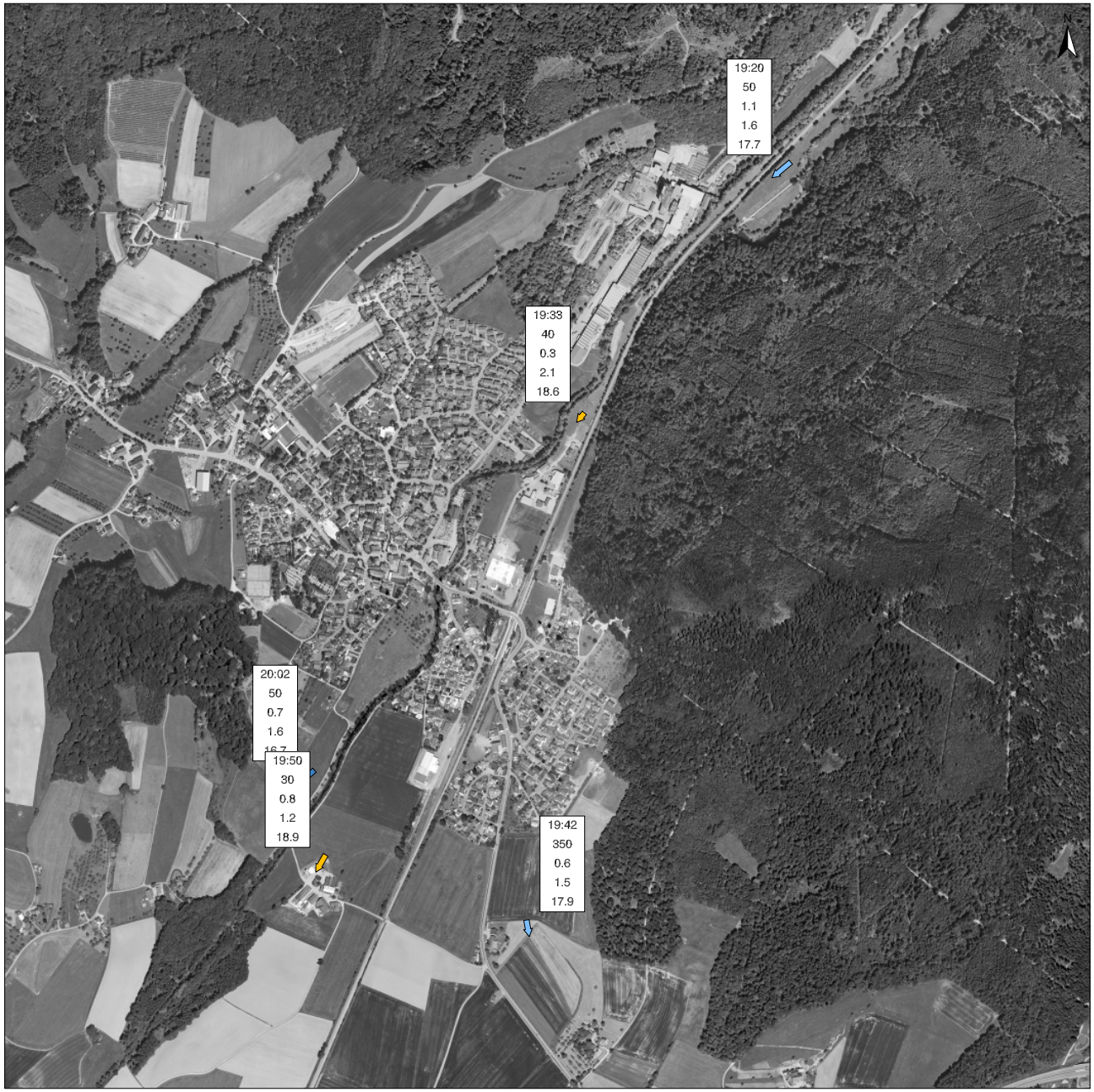
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Schussentobel

21.08.2008, 19:20:00 - 20:02:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Schussentobel

21.08.2008, 20:16:00 - 20:52:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Schussentobel

21.08.2008, 21:21:00 - 22:08:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Teilgebiet „Ettishoferach“

Messtage:

- 06.08.2008 zwischen 20 Uhr und 22.06 Uhr MESZ
- 18.08.2008 zwischen 19.50 Uhr und 21.15 Uhr MESZ (nur zwei Messungen)
- 30.08.2008 zwischen 19.07 Uhr und 21.40 Uhr MESZ
- An allen drei Messtagen herrschte eine hochsommerliche windschwache Wetterlage.

Messungen vor Sonnenuntergang

- am Standort HM1an MT1 und MT2 kräftige tobelabwärts gerichtete Luftbewegungen, an MT3 tobelaufwärts orientierte mäßige Luftbewegungen
- am Standort HM2 mäßige bis kräftige NW-Richtungen
- am Standort HM3 an MT1 kräftige Luftbewegungen aus NNW, an MT2 schwach aus WSW und an MT3 kräftig aus NO
- am Standort HM4 an MT1 schwache Luftbewegungen aus SW, an MT2 und MT3 mäßige NW-Richtungen

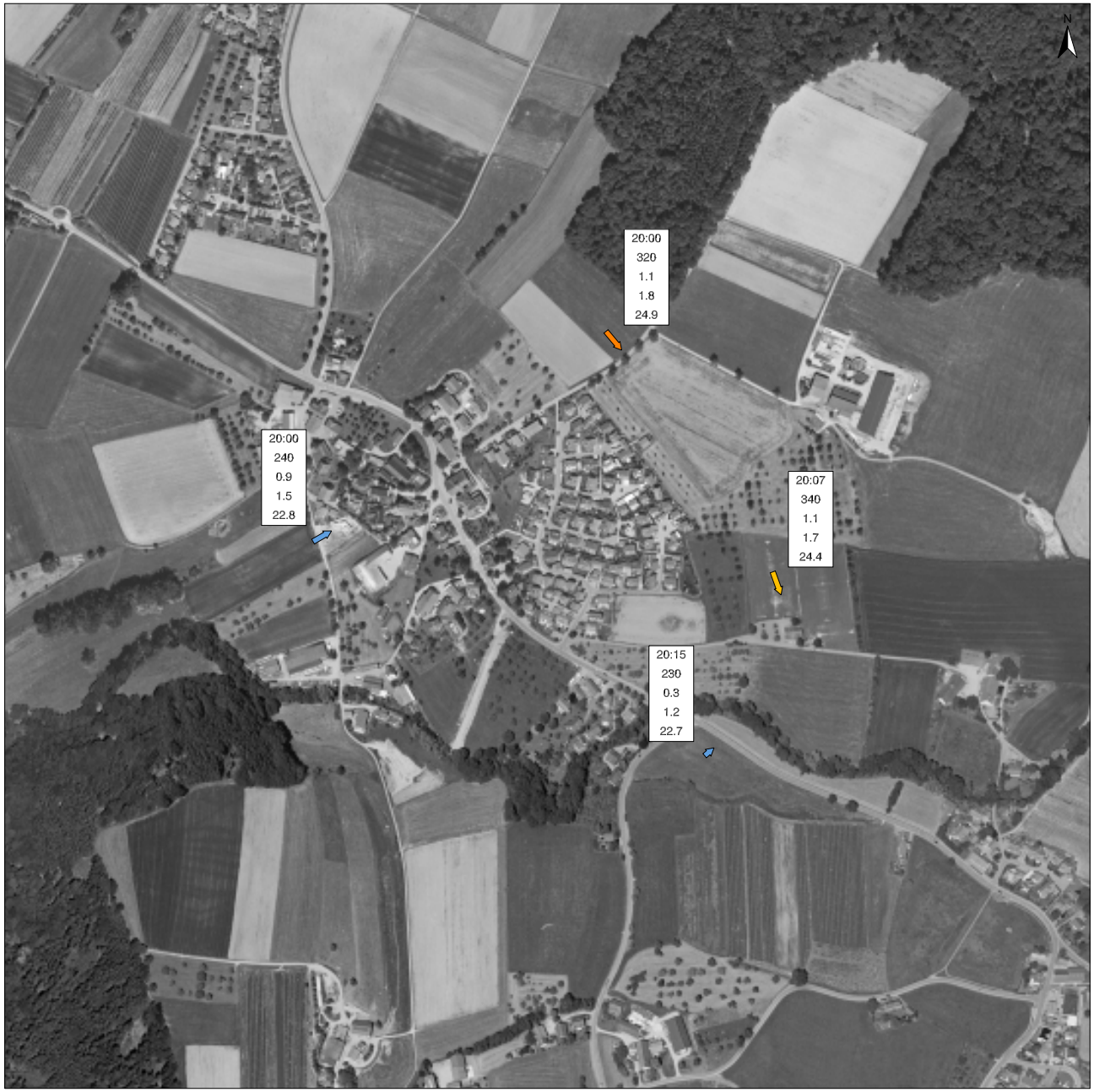
Messungen zur Zeit des Sonnenuntergangs

- am Standort HM1 an MT1 und MT2 kräftige, tobelabwärts orientierte Luftbewegungen, an MT3 äußerst schwache Luftbewegungen aus O
- am Standort HM2 mäßige bis kräftige NW-Richtungen
- am Standort HM3 an MT1 Windstille, an MT2 schwach NO-Richtung, an MT3 kräftige Luftbewegungen aus N
- am Standort HM4 an MT1 Windstille, an MT2 schwache WSW-Richtung, an MT3 mäßige Luftbewegungen aus NW

Messungen nach Sonnenuntergang

- am Standort HM1 tobelabwärts gerichtete Luftbewegungen, an MT1 mäßige Geschwindigkeiten, an MT3 äußerst geringe Geschwindigkeiten
- am Standort HM2 an MT1 mäßige WSW-Richtung, an MT3 mäßige Strömung aus NW
- am Standort HM3 an MT1 NW-Richtung mit schwachen Geschwindigkeiten, an MT3 kräftige Luftbewegungen aus NNW
- am Standort HM4 an MT1 mäßige Strömungen aus W, an MT2 kräftige Strömungen aus N
- Auffallend ist, dass der Standort HM1 während der ersten Messungen stets eine deutlich geringere Temperatur aufweist, als die anderen Standorte. Dieses Temperaturgefälle gleicht sich aber im Laufe der drei (bzw. zwei) Messdurchgänge annähernd aus.

Abbildung 193: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Teilgebiet „Ettishoferach“



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ettishofen

06.08.2008, 20:00:00 - 20:15:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

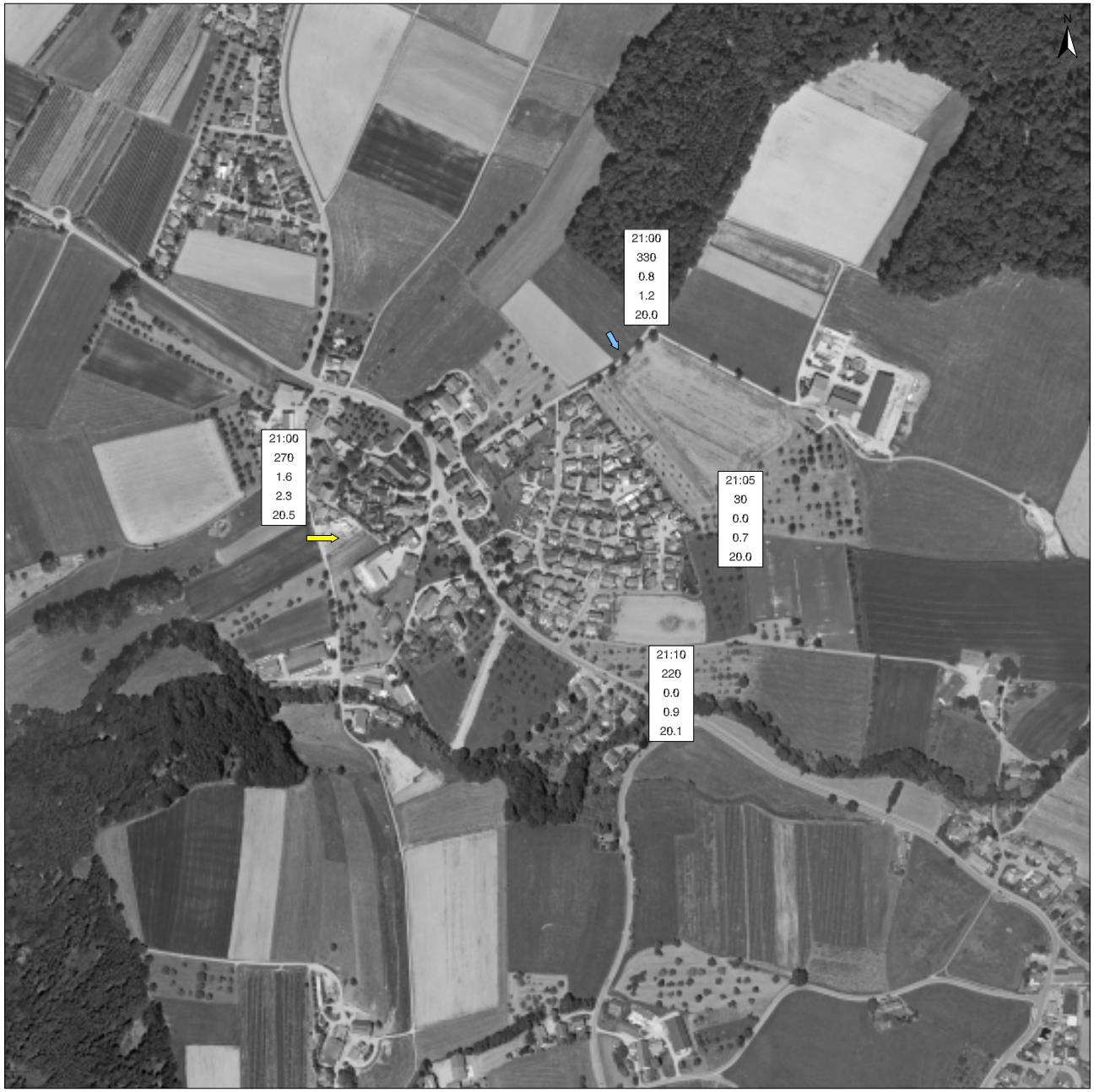
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ettishofen

06.08.2008, 21:00:00 - 21:10:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

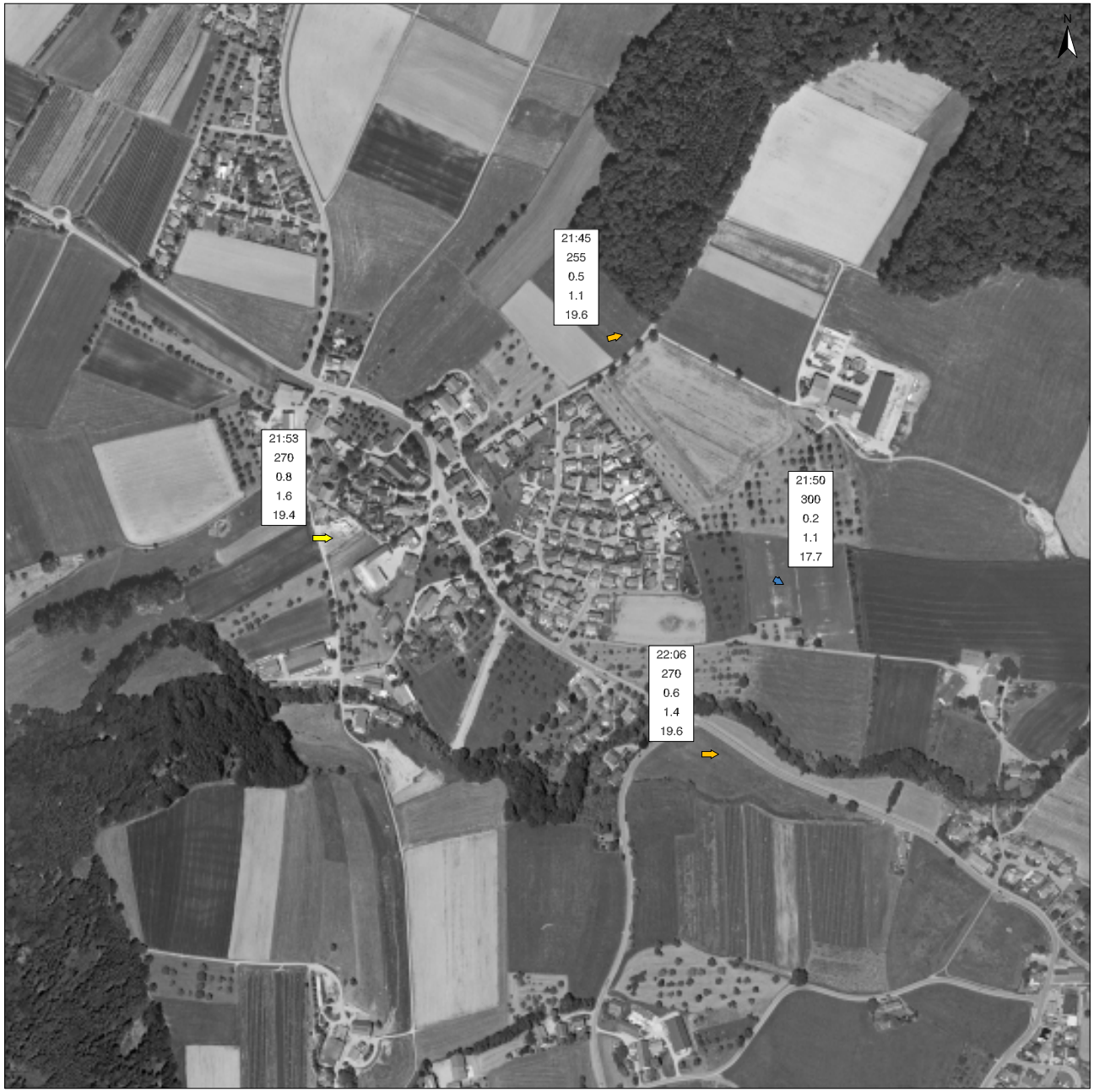
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ettishofen

06.08.2008, 21:45:00 - 22:06:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ettishofen

18.08.2008, 19:50:00 - 20:15:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ettishofen

18.08.2008, 20:50:00 - 21:15:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ettishofen

30.08.2008, 19:07:00 - 19:42:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

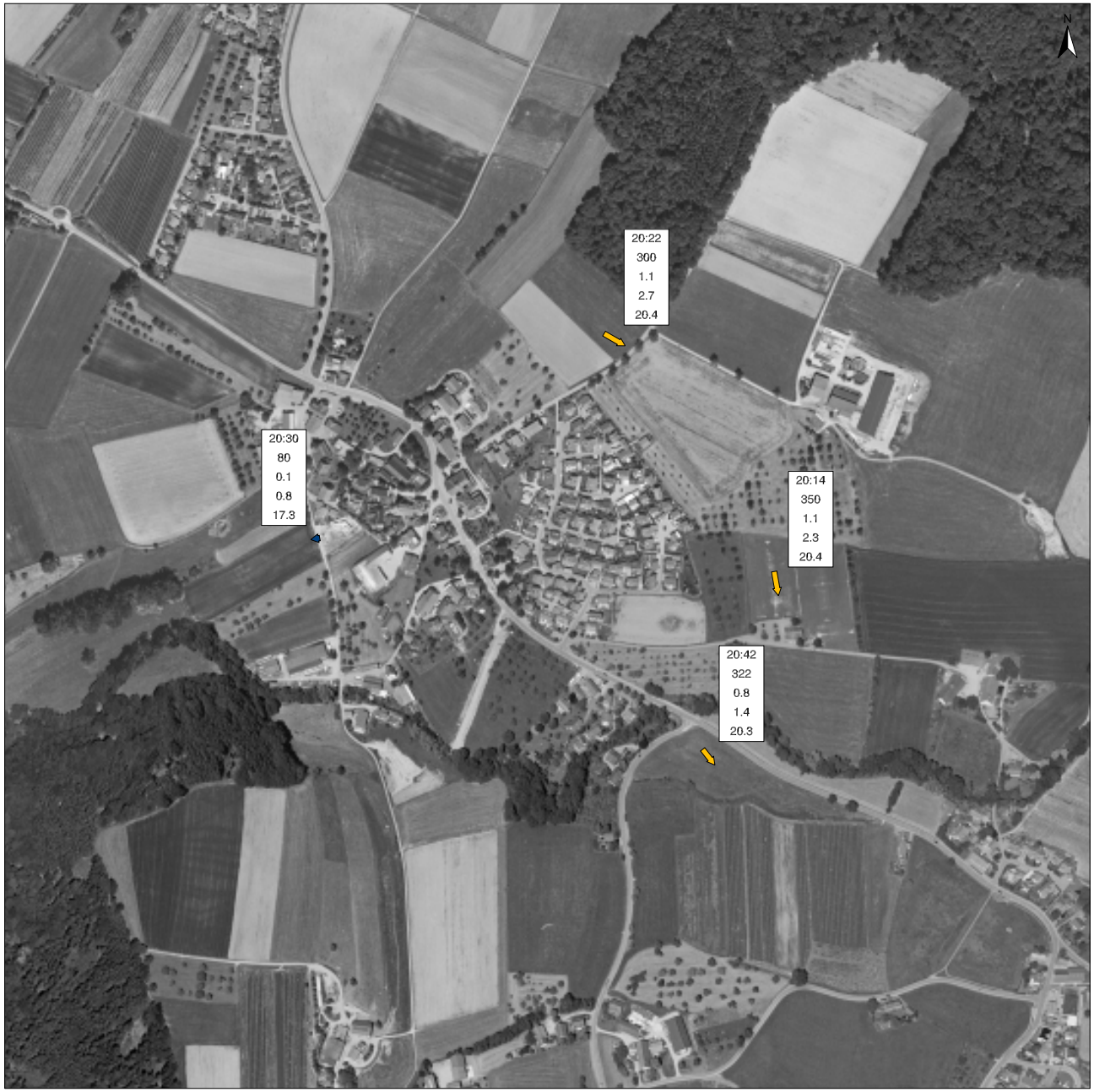
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ettishofen

30.08.2008, 20:14:00 - 20:42:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ettishofen

30.08.2008, 21:10:00 - 21:40:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Teilgebiet „Scherzach“

Messtage:

- 23.06.2008 zwischen 20.30 Uhr und 22.53 Uhr MESZ
- 01.07.2008 zwischen 19 Uhr und 22.50 Uhr MESZ
- 02.07.2008 zwischen 19.30 Uhr und 22.50 Uhr MESZ
- 10.07.2008 zwischen 19.30 Uhr und 22.49 Uhr MESZ
- An allen vier Messtagen herrschte eine hochsommerliche windschwache Wetterlage.

Messungen vor Sonnenuntergang

- am Standort HM1 mäßige bis kräftige talabwärts gerichtete Luftbewegungen
- am Standort HM2 kräftige talabwärts gerichtete Luftbewegungen, an MT1 talaufwärts orientiert mit kräftigen Windgeschwindigkeiten
- am Standort HM3 an MT1 sehr kräftige Luftbewegungen aus NW, an MT2 kräftig aus S, an MT3 mäßig aus NO und an MT4 kräftig aus O
- am Standort HM4 an MT1 sehr kräftige Luftbewegungen aus O, an MT2 aus SO mit kräftigen Geschwindigkeiten, an MT3 mäßig aus OSO und an MT4 mäßig aus NW

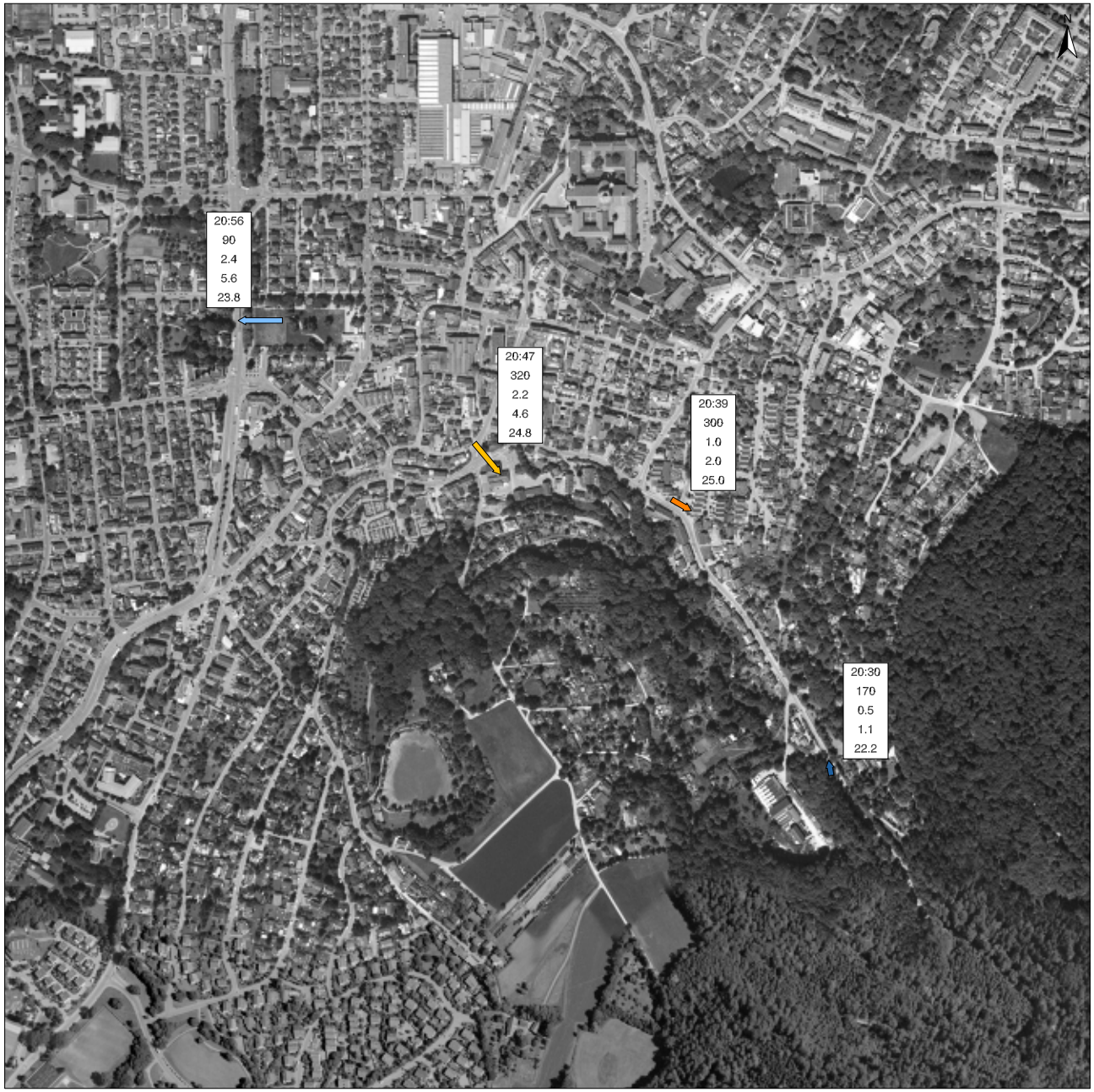
Messungen zur Zeit des Sonnenuntergangs

- am Standort HM1 talabwärts gerichtete Luftbewegungen, an MT1 und MT3 mäßig, an MT2 äußerst gering und an MT4 kräftig
- am Standort HM2 an MT1 mäßige Luftbewegungen aus W, an MT2 aus S, an MT3 schwache Luftbewegungen aus SO und an MT4 ebenfalls aus SO mit kräftigen Windgeschwindigkeiten
- am Standort HM3 an MT1 mäßige Luftbewegungen aus O, an MT2 ebenfalls mäßig aus SO, an MT3 ebenfalls mäßig aus O und an MT4 ebenfalls aus O mit kräftigen Geschwindigkeiten
- am Standort HM4 an MT1 mäßige Luftbewegungen aus O, an MT2 schwache Luftbewegungen aus SW, an MT3 mäßig aus SO und an MT4 kräftig aus O

Messungen nach Sonnenuntergang

- am Standort HM1 talabwärts gerichtete Luftbewegungen, an MT1 und MT3 mäßig, an MT2 äußerst gering und an MT4 kräftig
- am Standort HM2 an MT1 kräftige Luftbewegungen aus SO, an MT2 mäßig aus WSW, an MT3 kräftig aus SW und an MT4 ebenfalls kräftig aus SW
- am Standort HM3 an MT1 mäßige Luftbewegungen aus SO, an MT2 schwach aus NW, an MT3 und MT4 mäßig aus ONO
- am Standort HM4 an MT1 mäßige Luftbewegungen aus NO, an MT2 mäßig aus SW, an MT3 mäßig aus NW und an MT4 mäßig aus NO
- Auffallend ist, dass sich während nahezu jeder Messung ein vergleichbares Temperaturmuster zwischen den Standorten HM1, HM2 und HM3 ausbildet: Während der Standort HM1 jeweils die geringsten Lufttemperaturen aufweist, zeigen sich am Standort HM3 die höchsten Temperaturwerte der drei Standorte. Der Standort HM2 liegt hinsichtlich der Lufttemperatur stets zwischen den Standorten HM1 und HM3.

Abbildung 194: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Teilgebiet „Scherzach“.



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

23.06.2008, 20:30:00 - 20:56:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

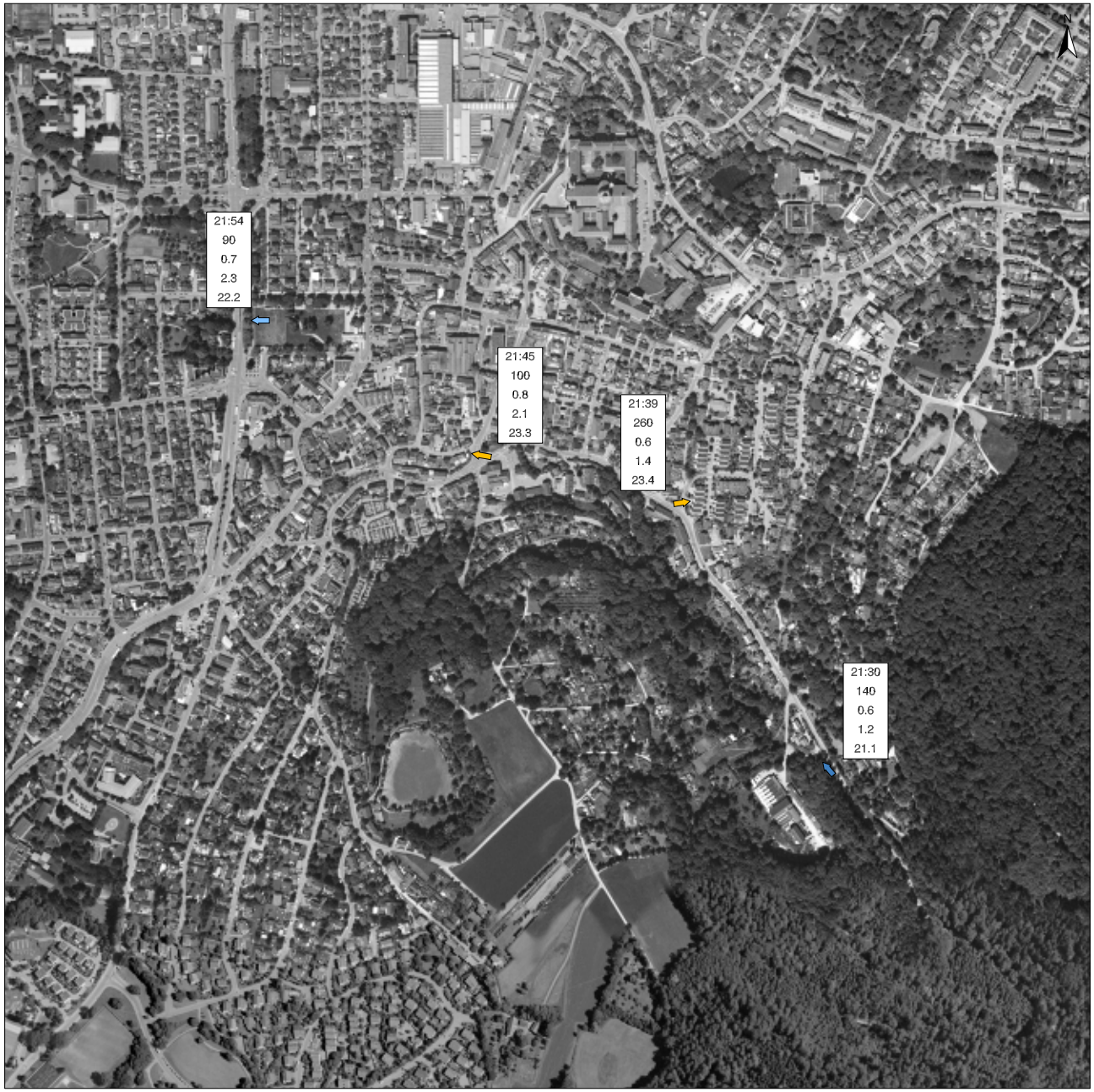
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

23.06.2008, 21:30:00 - 21:54:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

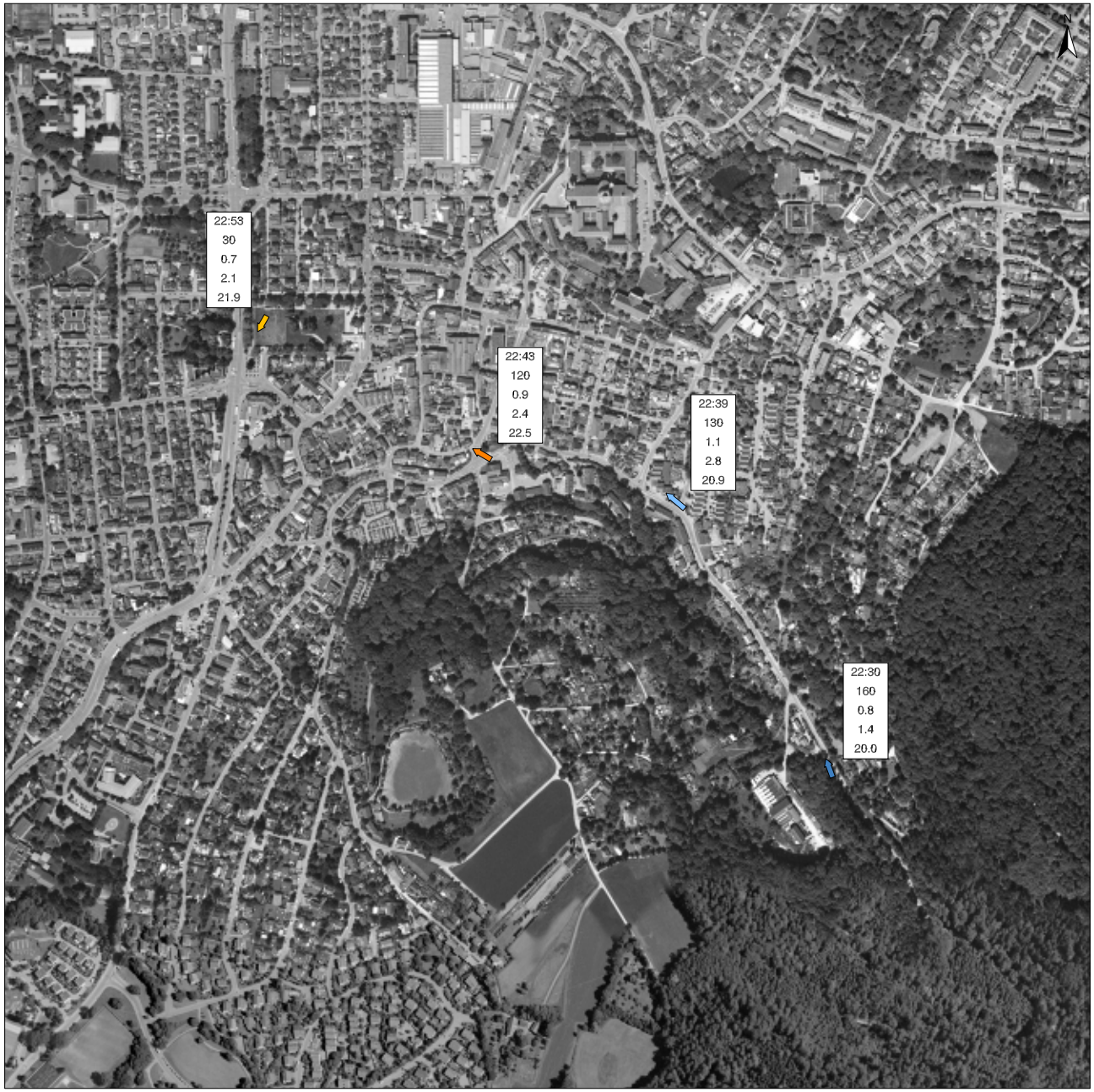
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

23.06.2008, 22:30:00 - 22:53:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

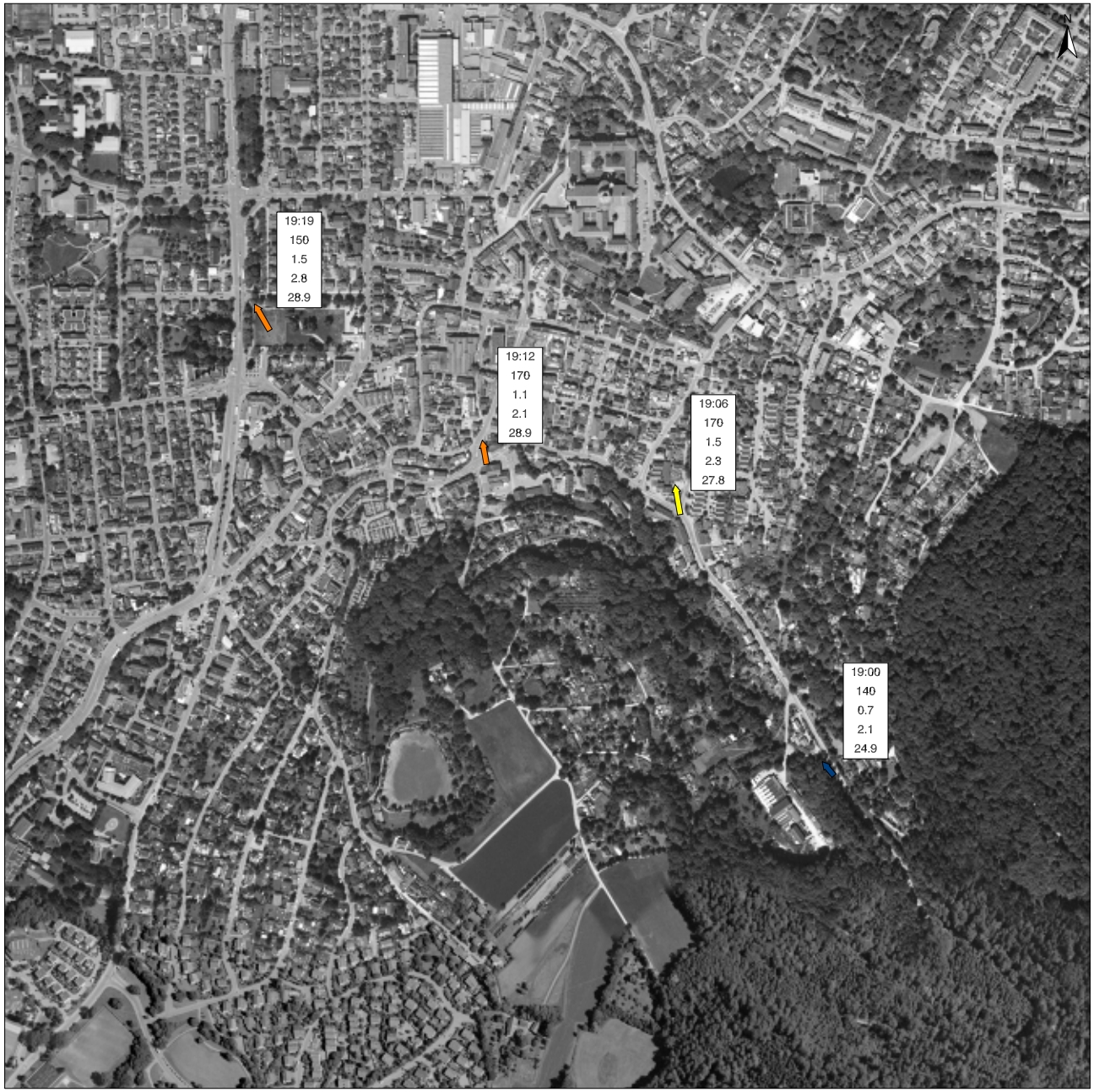
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

01.07.2008, 19:00:00 - 19:19:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

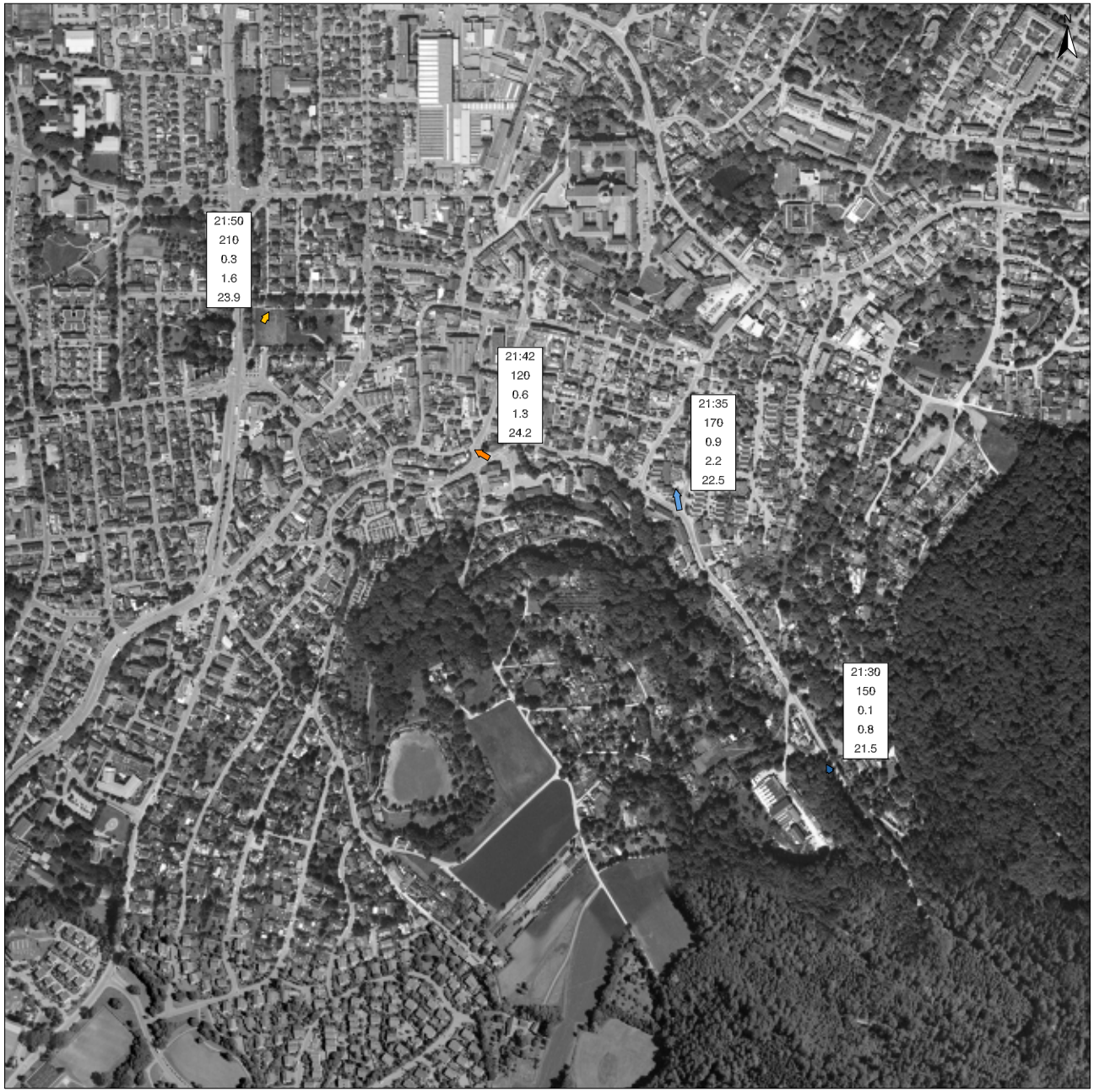
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

01.07.2008, 21:30:00 - 21:50:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

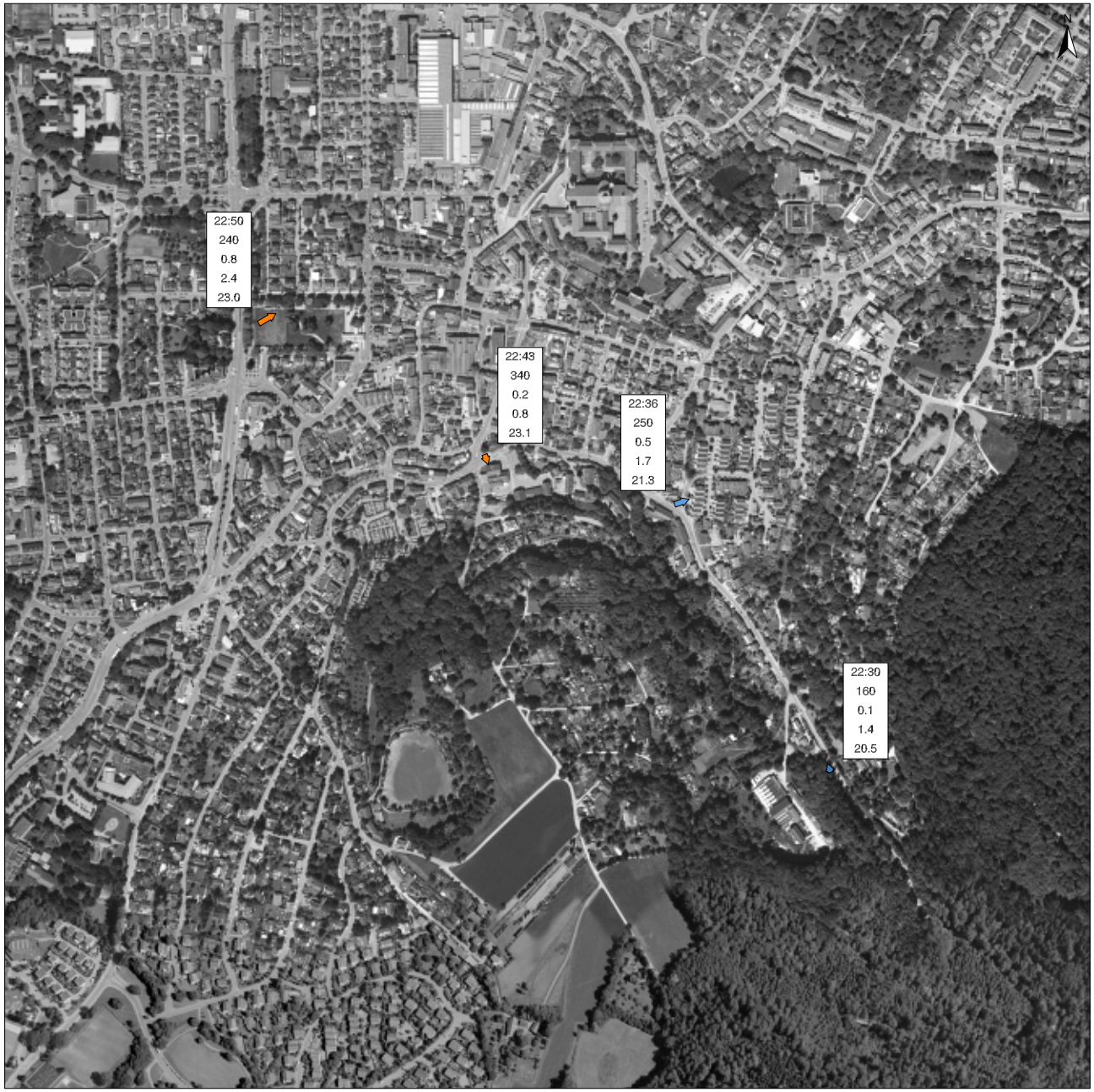
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

01.07.2008, 22:30:00 - 22:50:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

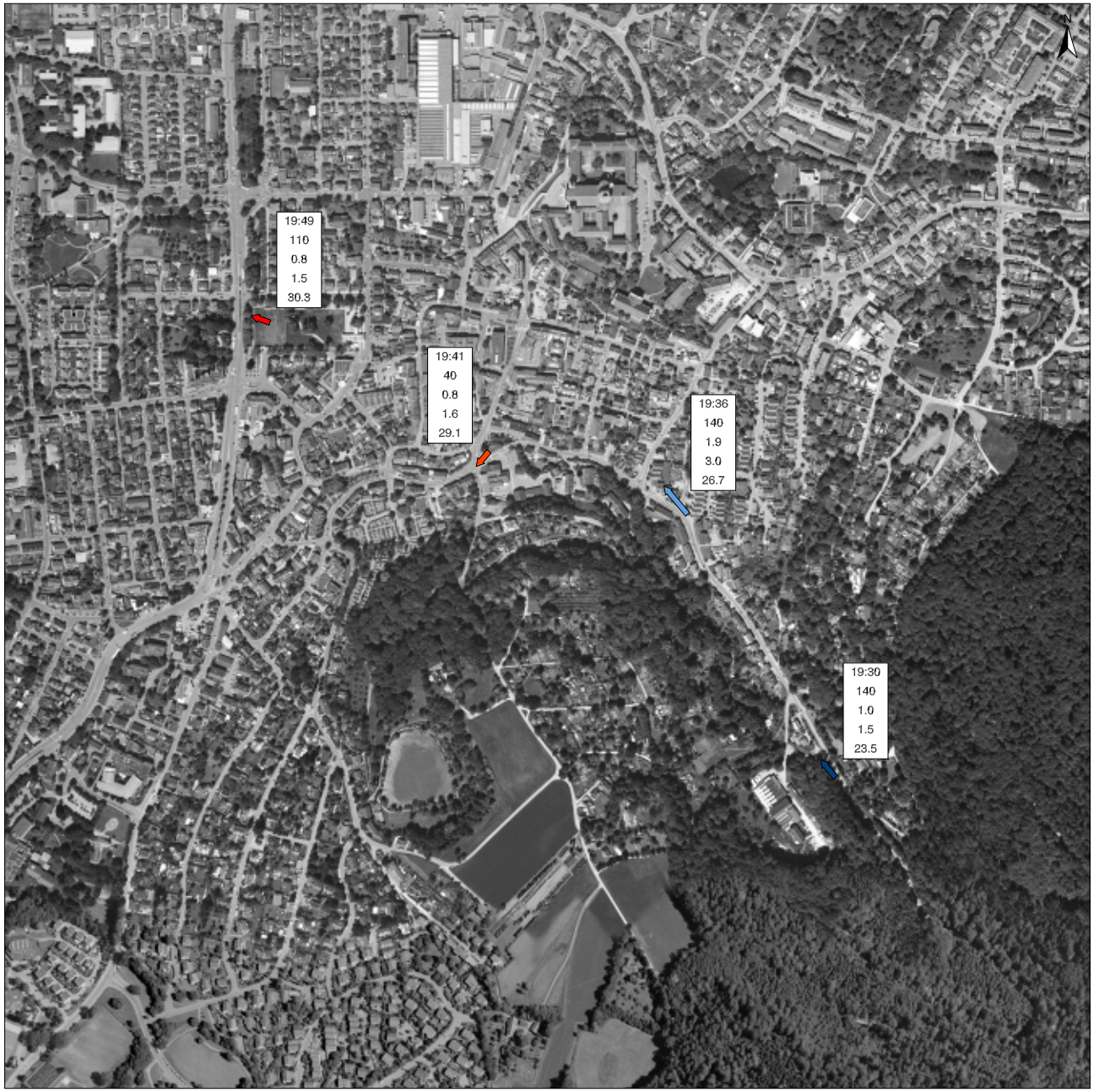
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

02.07.2008, 19:30:00 - 19:49:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

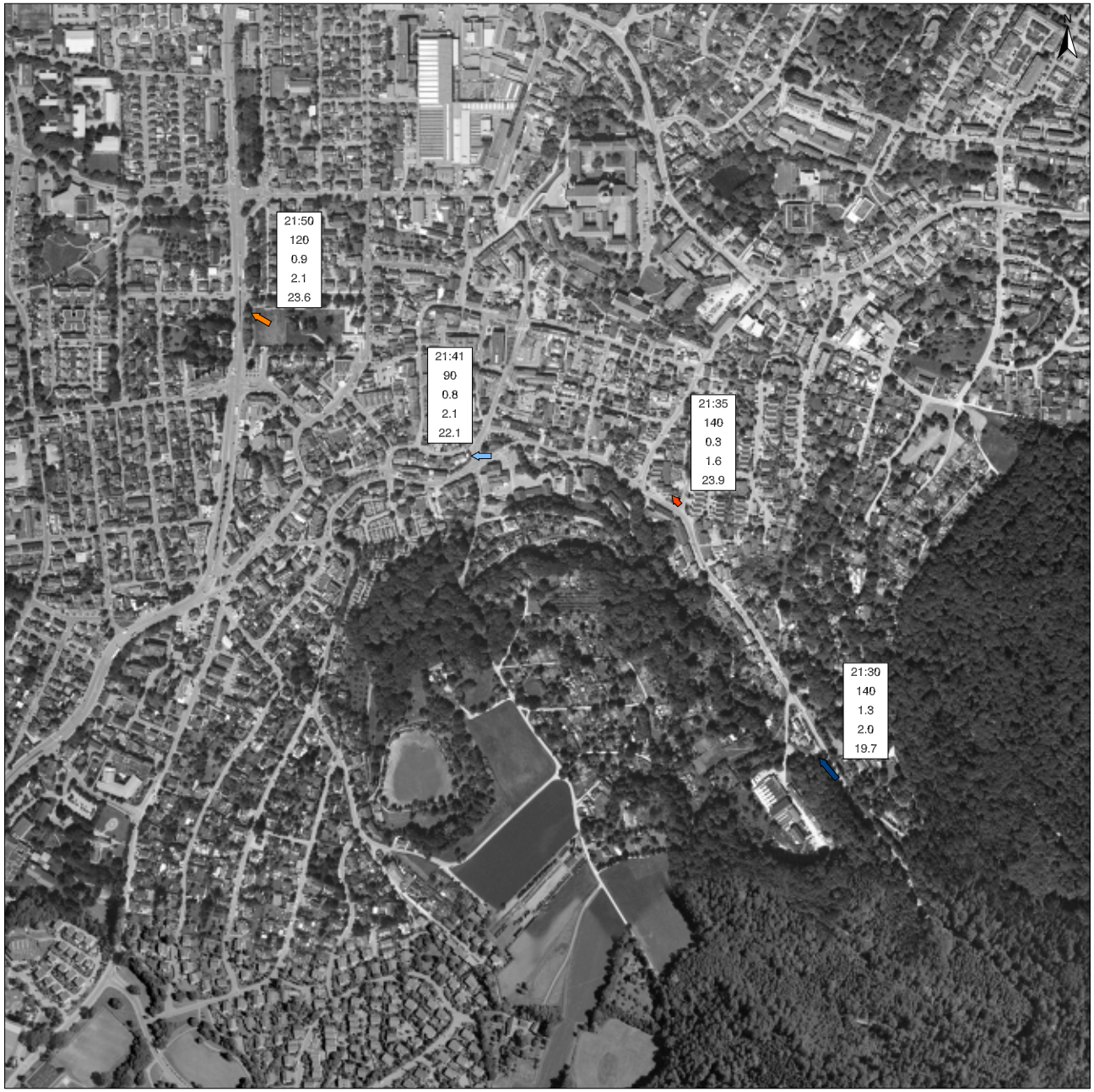
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

02.07.2008, 21:30:00 - 21:50:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

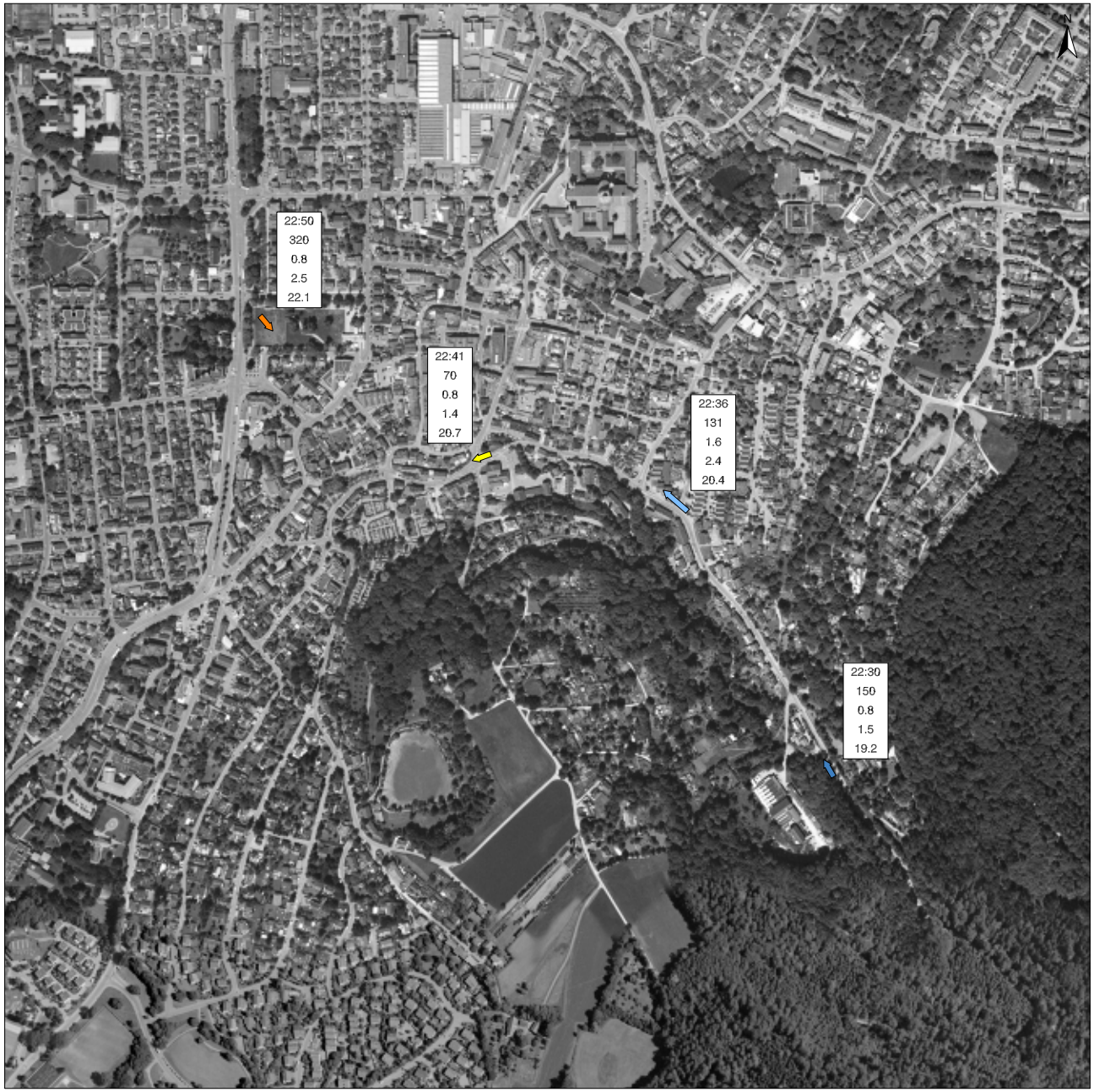
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

02.07.2008, 22:30:00 - 22:50:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

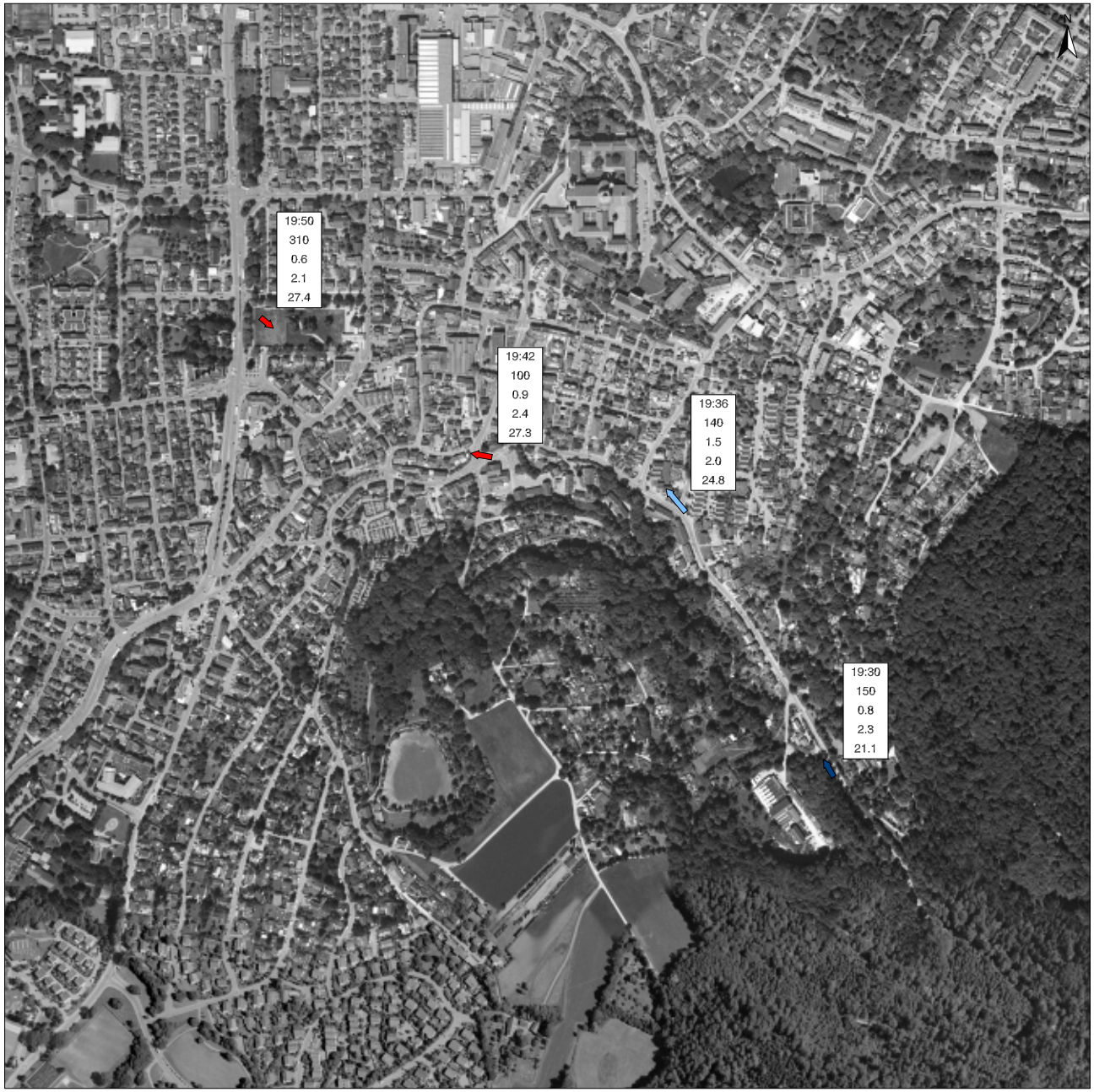
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

10.07.2008, 19:30:00 - 19:50:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

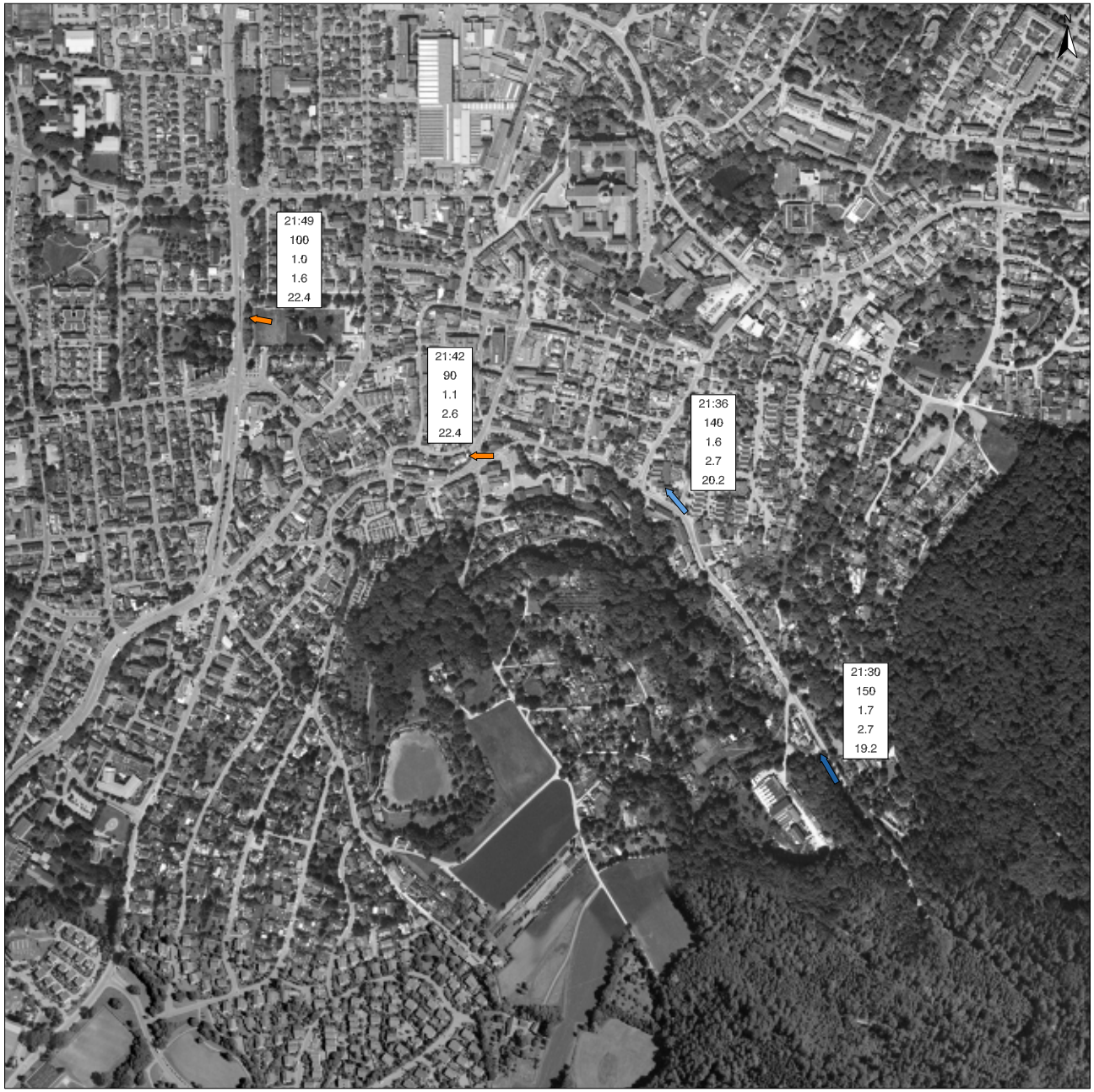
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

10.07.2008, 21:30:00 - 21:49:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

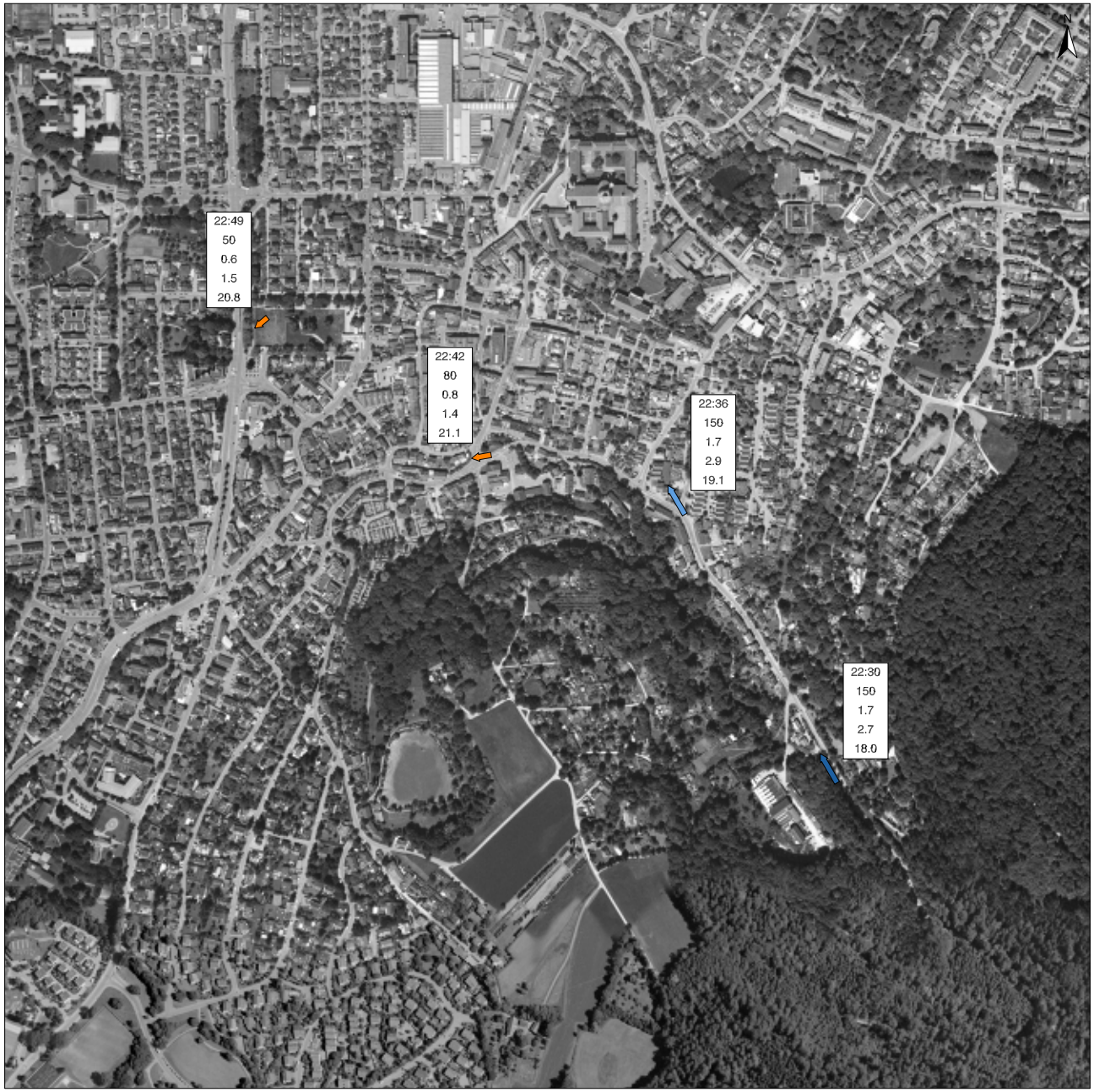
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Scherzach

10.07.2008, 22:30:00 - 22:49:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Teilgebiet „Ravensburg Süd“
Messtage:

- 10.07.2008 zwischen 20.29 Uhr und 23.01 Uhr MESZ
- 07.10.2008 zwischen 18.34 Uhr und 20.20 Uhr MESZ (nur zwei Messungen)
- An beiden Messtagen herrschte eine windschwache Strahlungswetterlage.

Messungen vor Sonnenuntergang

- am Standort HM1 mäßige bis kräftige hangabwärts gerichtete Luftbewegungen
- am Standort HM2 an MT1 schwache Luftbewegungen aus S, an MT2 Windstille
- am Standort HM3 an MT1 ebenfalls mäßige Luftbewegungen aus S, an MT2 ebenfalls Windstille
- am Standort HM4 wiederum schwache Luftbewegungen aus S, an MT2 ebenfalls Windstille
- am Standort HM5 an MT1 sehr schwache Luftbewegungen aus NNO, an MT2 schwach aus S

Messungen zur Zeit des Sonnenuntergangs

- am Standort HM1 kräftige hangabwärts orientierte Luftbewegungen
- am Standort HM2 an MT1 ebenfalls schwache hangabwärts gerichtete Luftbewegungen, an MT2 Windstille
- am Standort HM3 an MT1 mäßige Luftbewegungen aus SO, an MT2 Windstille
- am Standort HM4 an beiden Messtagen Windstille
- am Standort HM5 an MT1 sehr kräftige Luftbewegungen aus SSO, an MT2 schwach aus S

Messungen nach Sonnenuntergang

- am Standort HM1 an MT1 sehr kräftige, hangabwärts gerichtete Luftbewegungen
- am Standort HM2 an MT1 ebenfalls mäßige, hangabwärts orientierte Luftbewegungen
- am Standort HM3 an MT1 kräftige Luftbewegungen aus SO
- am Standort HM4 und HM5 an MT1 Windstille (keine dritte Messung am zweiten Messtag)
- Auffallend ist, dass der Hangbereich stets wärmer ist als der Bereich der Beckensohle.

Abbildung 195: Folgende Seiten: Ergebnisse der Handmessungen im Teilgebiet „Ravensburg Süd“

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ravensburg Sued

10.07.2008, 20:29:00 - 21:19:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ravensburg Sued

10.07.2008, 21:06:00 - 21:58:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

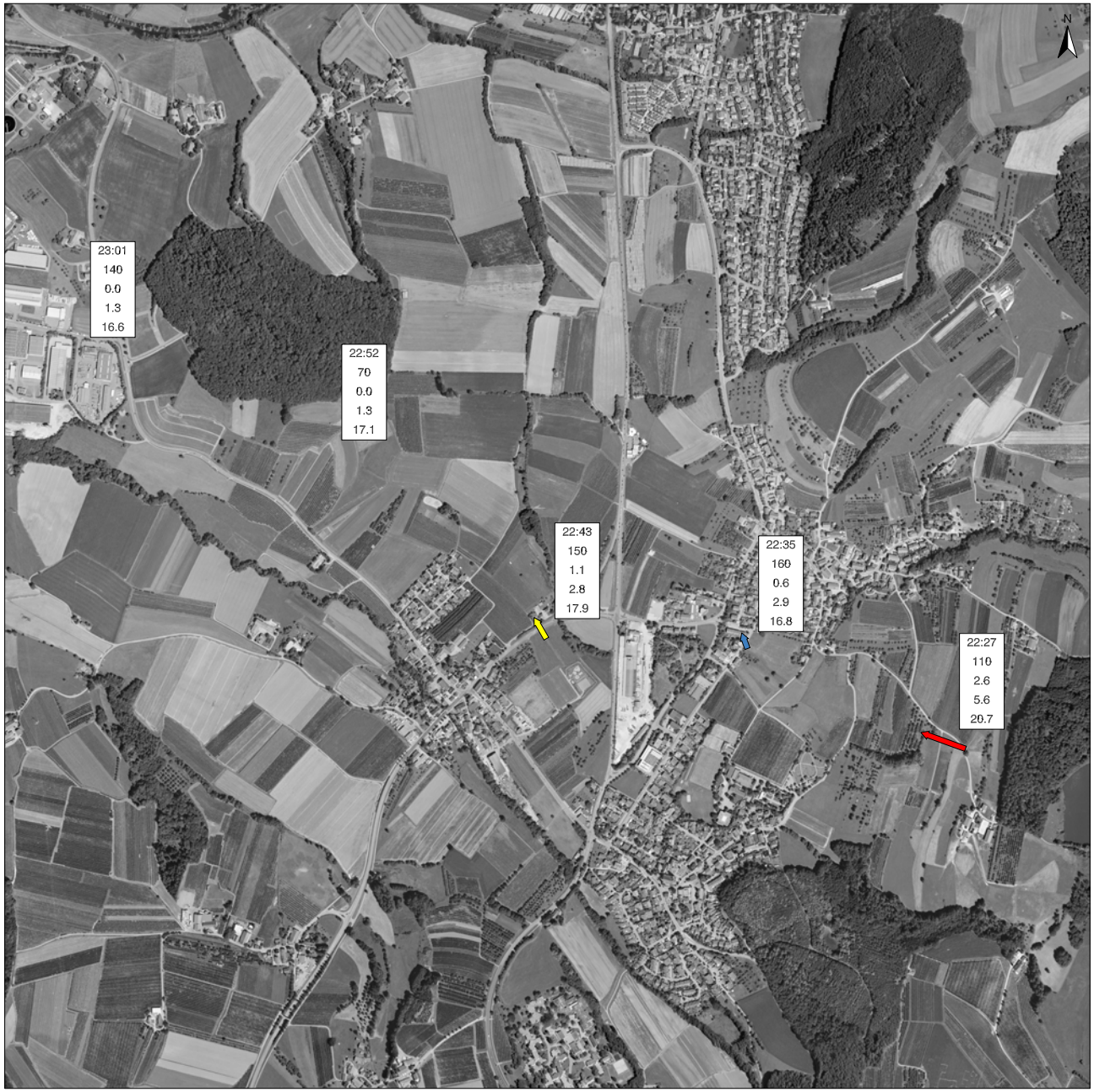
0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ravensburg Sued

10.07.2008, 22:27:00 - 23:01:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ravensburg Sued

07.10.2008, 18:34:00 - 19:12:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben

Handmessungen: Untersuchungsgebiet Ravensburg Sued

07.10.2008, 19:39:00 - 20:20:00

Windgeschwindigkeit in m/s:

0.2
0.5
1.0
1.5
2.0

Uhrzeit	Messzeit
WR	Windrichtung
WG_mean	Mittlere Windgeschwindigkeit
WG_max	Maximale Windgeschwindigkeit
Temp	Lufttemperatur

Temperaturabweichung in K

- < -2
- -2 <= dT < -1.5
- -1.5 <= dT < -1
- -1 <= dT < -0.5
- -0.5 <= dT < 0
- 0 <= dT < 0.5
- 0.5 <= dT < 1
- 1 <= dT < 1.5
- 1.5 <= dT < 2
- dT >= 2

0 0,25 0,5 km

Datengrundlage:
Digitale Orthophotos (DOP): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lv-bw.de) Az.: 2851.9-1/19 (28.03.2007).

Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.

Pädagogische Hochschule Weingarten

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben

4.7.4.3 Ergebnisse der Vertikalsondierungen

Bei den durchgeführten Vertikalsondierungen wurde die Ballonposition über GPS erfasst. Aufgrund von gerätebedingten Messungenauigkeiten können die berechneten Auslenkungsdaten des Heliumballons unterhalb einer Auflasshöhe von 10 m in der Regel nicht für die Auswertung herangezogen werden.

Standort „Hähnlehof" am 09.09.2008

- Vier Messungen wurden durchgeführt zwischen 20.06 Uhr und 23.04 Uhr MESZ. Es herrschte eine spätsommerliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Messgeräte wurden in 5-m-Schritten bis auf 30 m Höhe über Grund aufgelassen.

Vertikalprofil der Lufttemperatur

- Für den Zeitraum der ersten Messung zwischen 20.06 Uhr und 20.26 Uhr MESZ ist eine Temperaturinversion in Höhen zwischen 15 und 30 m nachgewiesen. Die vertikalen Temperaturunterschiede sind allerdings sehr gering.
- Die zweite Messung zwischen 21.20 Uhr und 21.38 Uhr MESZ zeigt das Bild einer sehr deutlich ausgeprägten Inversion in Höhen zwischen 10 und 20 m. Darüber folgt eine schwache Temperaturabnahme bis auf rund 25 m. Bis zur maximalen Messhöhe (ca. 26 m über Grund) nimmt die Temperatur schließlich wieder zu.
- Während der dritten Messung zwischen 22.09 Uhr und 22.27 Uhr MESZ ist bis auf eine Höhe von rund 20 m eine Inversion mit relativ geringen vertikalen Temperaturunterschieden (siehe erste Messung) nachgewiesen. Darüber herrscht Isothermie, über ca. 23 m nimmt die Temperatur leicht ab.
- Die vierte Messung zwischen 22.45 Uhr und 23.04 Uhr MESZ zeigt wiederum eine Inversion bis in eine Höhe von rund 18 m bei einem sehr geringen Temperaturunterschied (siehe erste Messung). Nach einer kurzen und geringen Abnahme der Temperatur bis auf rund 21 m, nimmt sie bis auf die maximale Messhöhe von ca. 23 m relativ schnell ab.

Strömungsrichtung und Auslenkungsbeträge

- Aufgrund der äußerst geringen Auslenkungen des Ballons in allen Messhöhen während der ersten Messung kann von annähernd windstillen Verhältnissen ausgegangen werden. Gesicherte Aussagen über die Auslenkungsrichtung sind bei den gemessenen geringen Auslenkungsbeträgen nicht möglich.
- Während der zweiten Messung sind unterhalb von 20 m Höhe windstille Verhältnisse anzunehmen. Auf einer Höhe von 25 m zeigt die Strömungsrichtung ein Drehen von NO auf N bei geringer Auslenkung. In den Messhöhen darüber zeigt sich eine durchgehende N-Richtung bei einer größeren Auslenkung.
- Die dritte Messung zeigt auf einer Höhe von 20 m eine NO/NNO-Richtung bei geringer Auslenkung. Zwischen 25 bis 30 m Höhe herrscht bei nahezu unveränderter Auslenkungsstärke die Strömungsrichtung N.
- Während der vierten Messung zeigen sich zwischen rund 15 und 20 m Höhe N/NNW-Richtungen bei geringer Auslenkung. Während der Messung auf 20 m Höhe dreht die Strömungsrichtung plötzlich auf N/NNO, wobei sich eine vorübergehend stärkere Auslenkung abzeichnet. Während der Messung auf ca. 25 m kommt es wiederum zu einer plötzlichen Drehung der Strömungsrichtung auf N/NNW bei einer Zunahme der Auslenkung. Ab 30 m Seillänge ist eine ausschließliche N-Richtung mit relativ starker Auslenkung zu beobachten. Kurz bevor der Ballon eingeholt wird, dreht die Strömungsrichtung deutlich von N auf NO.

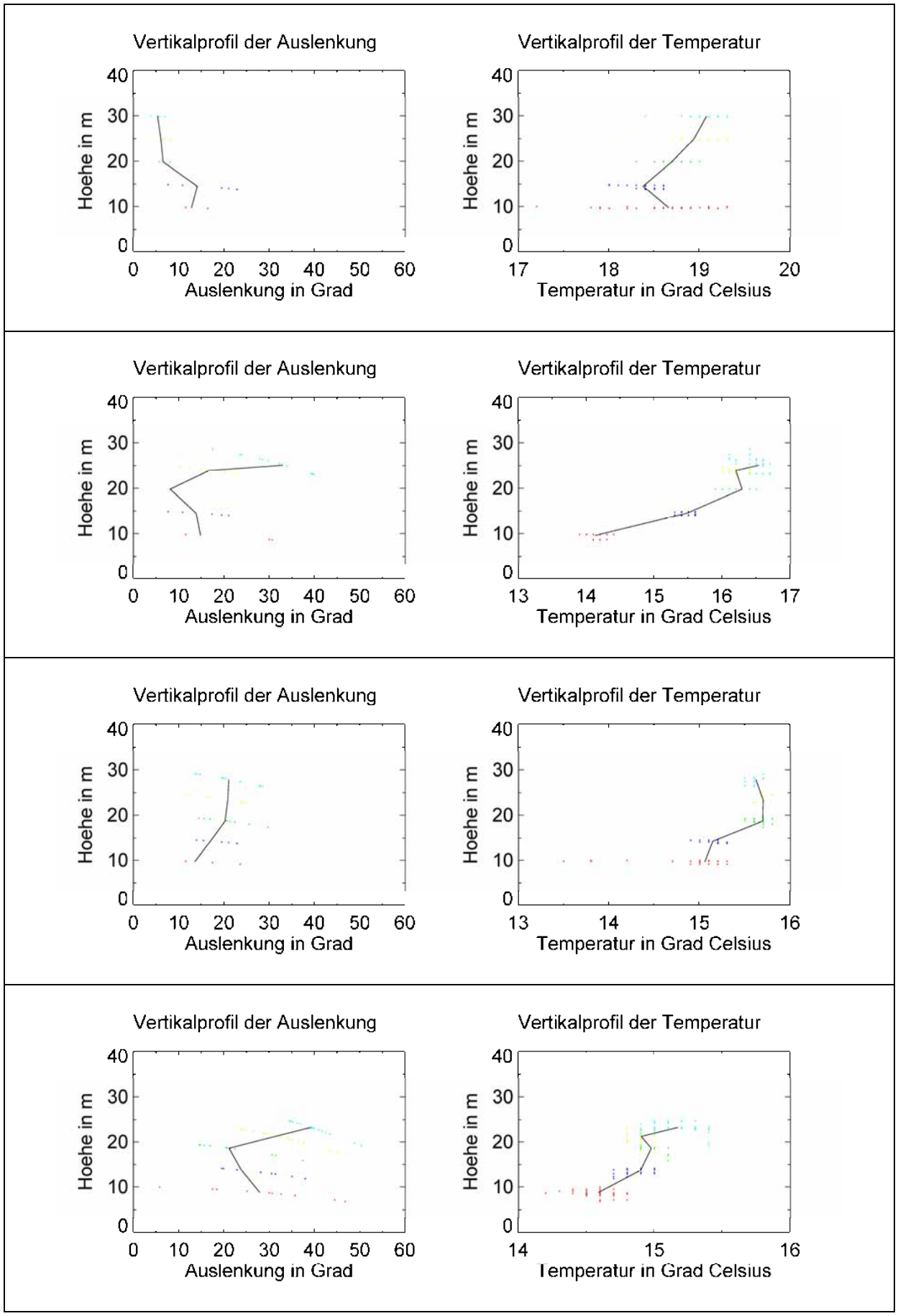


Abbildung 196: Vertikalprofil der Auslenkung und der Temperatur am Standort „Hähnlehof“ am 09.09.2008. Von oben nach unten: Erste, zweite, dritte und vierte Messung. Erläuterungen im Text.

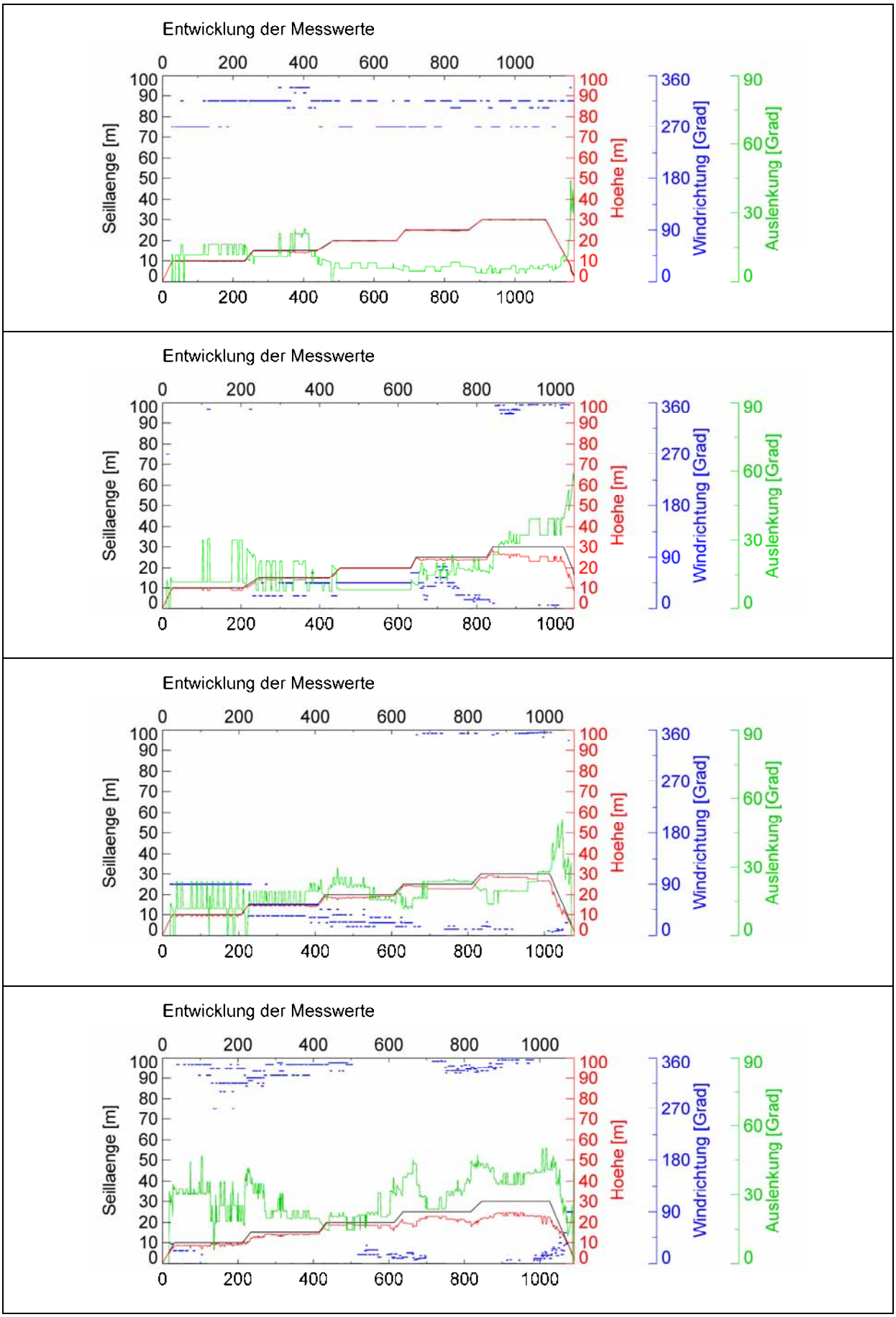


Abbildung 197: Liniendiagramme der Auslenkungsstärke des Heliumballons und der Windrichtung am Standort „Hähnlehof“ am 09.09.2008 (vgl. Kap. 3.3). Dritte Messung, vierte Messung. Erläuterungen im Text.

Standort „Weiherstobel“ am 20.10.2008

- Zwischen 19.19 Uhr und 22.35 Uhr MESZ wurden vier Messungen durchgeführt. Es herrschte eine herbstliche windschwache Strahlungswetterlage.
- Die Messgeräte wurden in 5-m-Schritten bis auf 30 m Höhe, anschließend in 20-m-Schritten bis auf 70 m Höhe über Grund aufgelassen. Während der letzten Messung wurde bei insgesamt etwas weniger Intervallen der Auflasshöhe zusätzlich auf einer Höhe von 90 m gemessen. Aufgrund des abnehmenden Auftriebs des Ballons durch Feuchtigkeitsansammlung auf der Kunststoffhaut und des zusätzlichen Seilgewichts bei größerer Auflasshöhe, wurde während der dritten und vierten Messung auf die Mitführung eines Temperaturloggers verzichtet.

Vertikalprofil der Lufttemperatur

- Für den Zeitraum der ersten Messung zwischen 19.19 Uhr und 19.52 Uhr MESZ zeigt sich eine Temperaturinversion bis in eine Höhe von rund 40 m. Der auffällige, kurze Rückgang der Lufttemperatur in rund 22 m Höhe lässt sich vermutlich auf die kurzzeitig sehr starke Auslenkung des Ballons bei 30 m Seillänge zurückführen (Rückgang der Messhöhe).
- Die zweite Messung zwischen 20.17 Uhr und 20.52 Uhr MESZ weist eine gleichmäßige Inversion bis in 60 m Höhe auf. Lediglich zwischen rund 17 und 20 m Höhe kommt es zu einem leichten Rückgang der Lufttemperatur.

Strömungsrichtung und Auslenkungsbeträge

- Während der ersten Messung zeigen sich auf Höhen zwischen 15 und 30 m Höhe Strömungen aus S/SSW/SW/WSW. Dabei ist die Auslenkung auf 15 m Höhe auffällig stark und geht beim Auflassen auf 20 m Seillänge nahezu komplett zurück. Auf gleicher Höhe nimmt die Auslenkung kurze Zeit später wieder deutlich zu, um auf 25 m Höhe wiederum stark abzunehmen. Ab einer Seillänge von 30 m dreht die Richtung der Strömung langsam auf S, wobei die Auslenkung kurzzeitig stark zunimmt. Auf 40 m herrschen ausschließlich S-Richtungen bei relativ kräftiger Auslenkung. Bei weiterer Zunahme der Seillänge auf 70 m nimmt die Auslenkung weiter zu, die Strömungsrichtung dreht auf SSW.
- Die zweite Messung weist für die Höhen zwischen 15 und 30 m sehr geringe Auslenkungsbeträge auf. Lediglich in einer Höhe von 20 m nimmt sie bei einer Richtung aus WSW etwas zu. Stärker wird die Auslenkung kurzzeitig in einer Höhe von 30 m. Hierbei stellen sich Strömungsrichtungen aus O ein, bevor die Auslenkung wieder deutlich zurückgeht. Auf knapp 50 m Höhe nimmt die Auslenkung wieder zu, wobei die Strömung aus SO/OSO kommt. Ab einer Seillänge von 70 m dreht die Strömungsrichtung gleichmäßig und langsam auf S.
- Während der dritten Messung (21:16 – 21:51 Uhr MESZ) sind in Messhöhen bis 50 m nahezu keine Auslenkungen feststellbar. Bei einer Seillänge von 70 m nimmt die Auslenkung schnell zu und es zeigt sich eine Strömungsrichtung aus S. Die Auslenkungsstärke schwankt hierbei deutlich.
- Die vierte Messung (22:12 – 22:35 Uhr MESZ) zeigt gegenüber den vorangegangenen Sondierungen erstaunliche Veränderungen. Bis in eine Höhe von ca. 20 m werden Luftbewegungen aus SW bis NW angezeigt. In 30 bis 50 m Höhe sind nun aber zum ersten Mal deutliche Strömungen aus NW, NNW und N zu beobachten. Während der Ballon auf 70 m und schließlich auf fast 90 m aufgelassen wird, dreht die Strömungsrichtung wieder auf die bereits zuvor in der Höhe verzeichnete S-Richtung. Die Auslenkung geht dabei in der eigentlichen „Übergangszone“ (hier bei Seillänge 70 m) komplett zurück, um in Höhen zwischen 80 und 90 m wieder deutlich zuzunehmen.

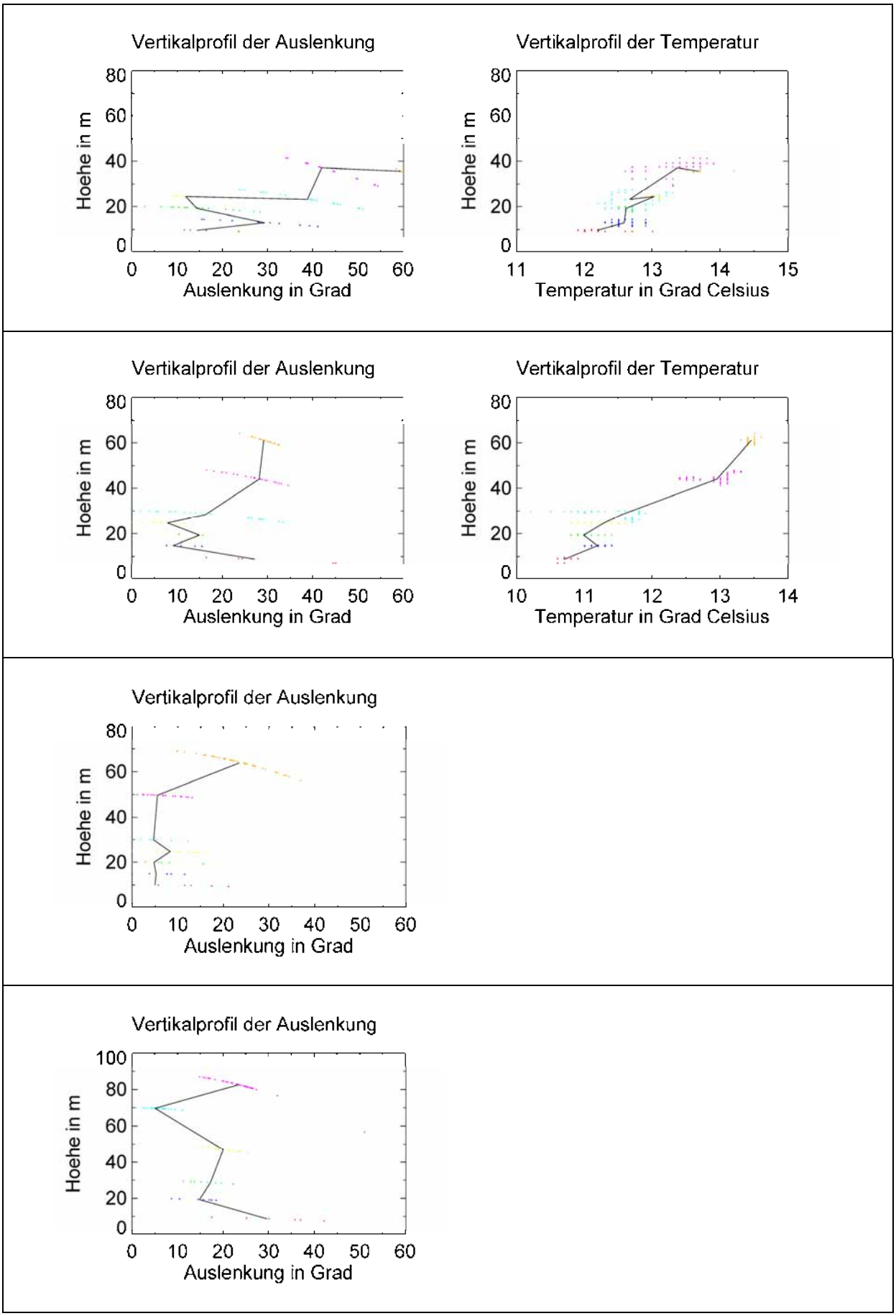


Abbildung 198: Vertikalprofil der Auslenkung am Standort „Weiherstobel“ am 20.10.2008. Von oben nach unten: Links: Erste, zweite, dritte Messung, vierte Messung.

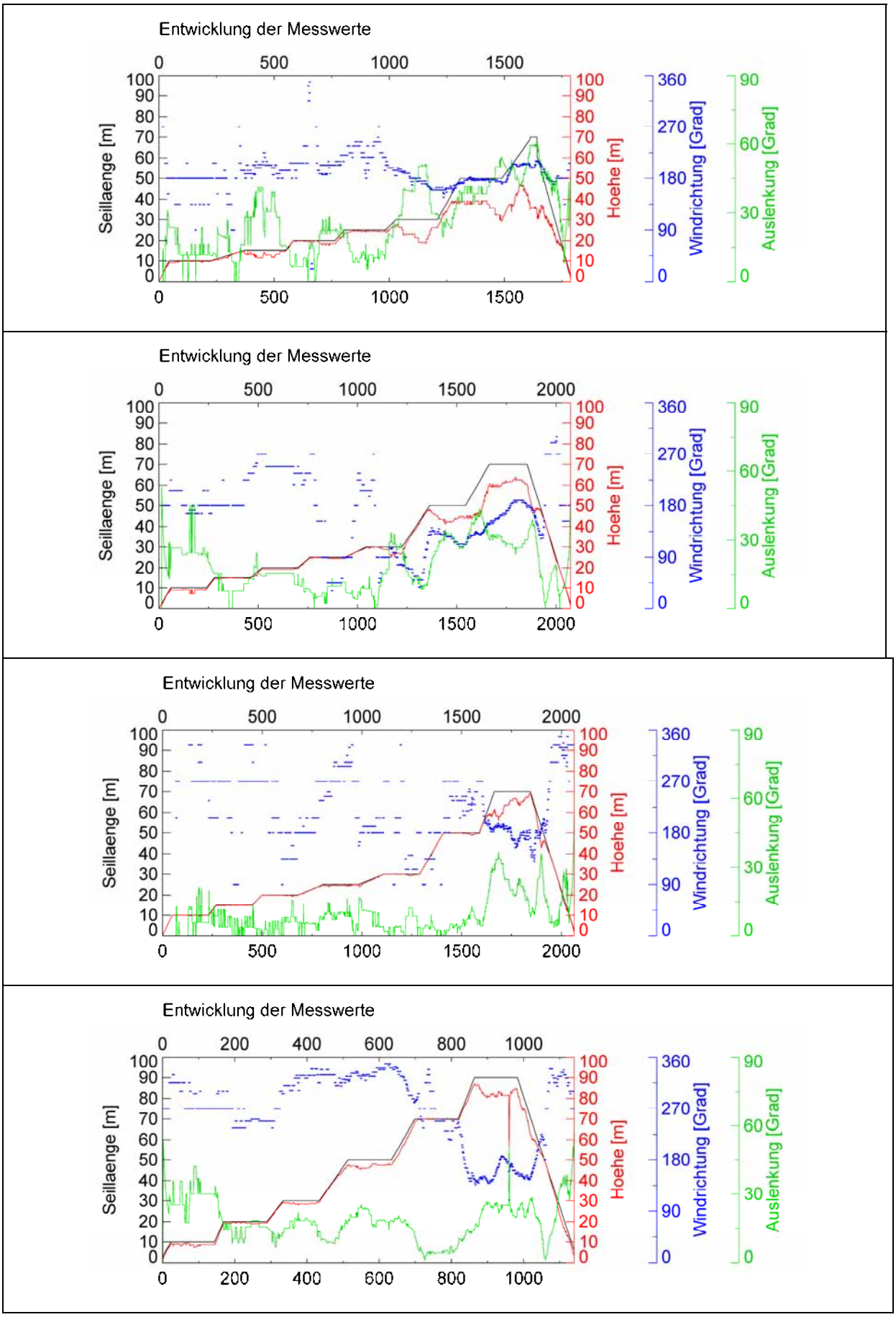


Abbildung 199: Auslenkungsstärke und –richtung des Heliumballons am Standort „Weiherstobel“ am 20.10.2008. Von oben nach unten: Erste, zweite, dritte und vierte Messung. Erläuterungen im Text.

4.7.4.4 Ergebnisse der Temperaturmessfahrten

Messtag 1: 17.08./18.08.2008

- Die abendliche Messfahrt wurde durchgeführt zwischen 21.28 Uhr und 21.55 Uhr MESZ, die morgendliche zwischen 05.46 Uhr und 06.13 Uhr MESZ. Es herrschte eine hochsommerliche windschwache Strahlungswetterlage, wobei der Himmel tagsüber leicht bedeckt war und sich in dieser Zeit kein stark ausgeprägter Tagesgang der Lufttemperatur an den benachbarten Funkwetterstationen erkennen lässt. In der Nacht verbesserten sich die Ausstrahlungsverhältnisse.
- während der abendlichen Messfahrt zwischen 21.28 Uhr und 21.55 Uhr MESZ an den ostexponierten Hängen und im westlichen Bereich der Beckensohle geringe Lufttemperaturen, hingegen an den westexponierten Hängen durchschnittliche Temperaturwerte, in unmittelbarer Nähe der Siedlungsbereiche von Weingarten und Baienfurt leicht überdurchschnittliche Temperaturen
- während der morgendlichen Messfahrten zwischen 05.46 Uhr und 06.13 Uhr MESZ etwas unterdurchschnittliche Temperaturen an den hochgelegenen ostexponierten Hängen, an den hochgelegenen westexponierten Hängen hingegen warme Bereiche, im westlichen Teil der Beckensohle niedrige Temperaturen, im Vergleich dazu in Siedlungsnähe etwas höhere Werte

Messtag 2: 20.08./21.08.2008

- Die Messfahrten wurden durchgeführt zwischen 21.27 Uhr und 22.49 Uhr MESZ am Abend und zwischen 05.13 Uhr und 05.37 Uhr MESZ am darauffolgenden Morgen. Für den 20.08.2008 lässt sich an den benachbarten Funkwetterstationen kein besonders ausgeprägter Temperaturgang für die Tagstunden ausmachen. Nachts waren die Ausstrahlungsverhältnisse allerdings wesentlich besser.
- Die erste Messfahrt zwischen 21.27 Uhr und 21.52 Uhr MESZ zeigt für die ostexponierten Hänge, sowie die unmittelbar benachbarten Bereiche der Beckensohle leicht unterdurchschnittliche Lufttemperaturen. Die westexponierten Hänge weisen in den unteren Lagen durchschnittliche Werte auf, die höheren Lagen sind etwas kälter. Im Zentrum des Beckens und herrschen recht einheitlich durchschnittliche Temperaturverhältnisse. Die Umgebung der Siedlungsbereich ist etwas wärmer.
- Die zweite Messfahrt zwischen 22.25 Uhr und 22.49 Uhr MESZ zeigt ein vergleichbares Bild, wie die vorhergehende Messung. Allerdings weisen hier größere Teile des Sohlenbereichs im Westen des Beckens leicht unterdurchschnittliche Temperaturen auf. Zudem zeigen etwas größere Anteile der westexponierten Hänge eher durchschnittliche Temperaturen.
- Die morgendliche Messfahrt zwischen 05.13 Uhr und 5.37 Uhr MESZ ergibt für die ostexponierten Hänge Durchschnittstemperaturen. Gleiches gilt für den Sohlenbereich und die siedlungsnahen Bereiche. Nur in wenigen Abschnitten wurden hier leicht unterdurchschnittliche Temperaturen gemessen. In Bereichen der westexponierten Hänge sind etwas wärmere Temperaturen zu finden.

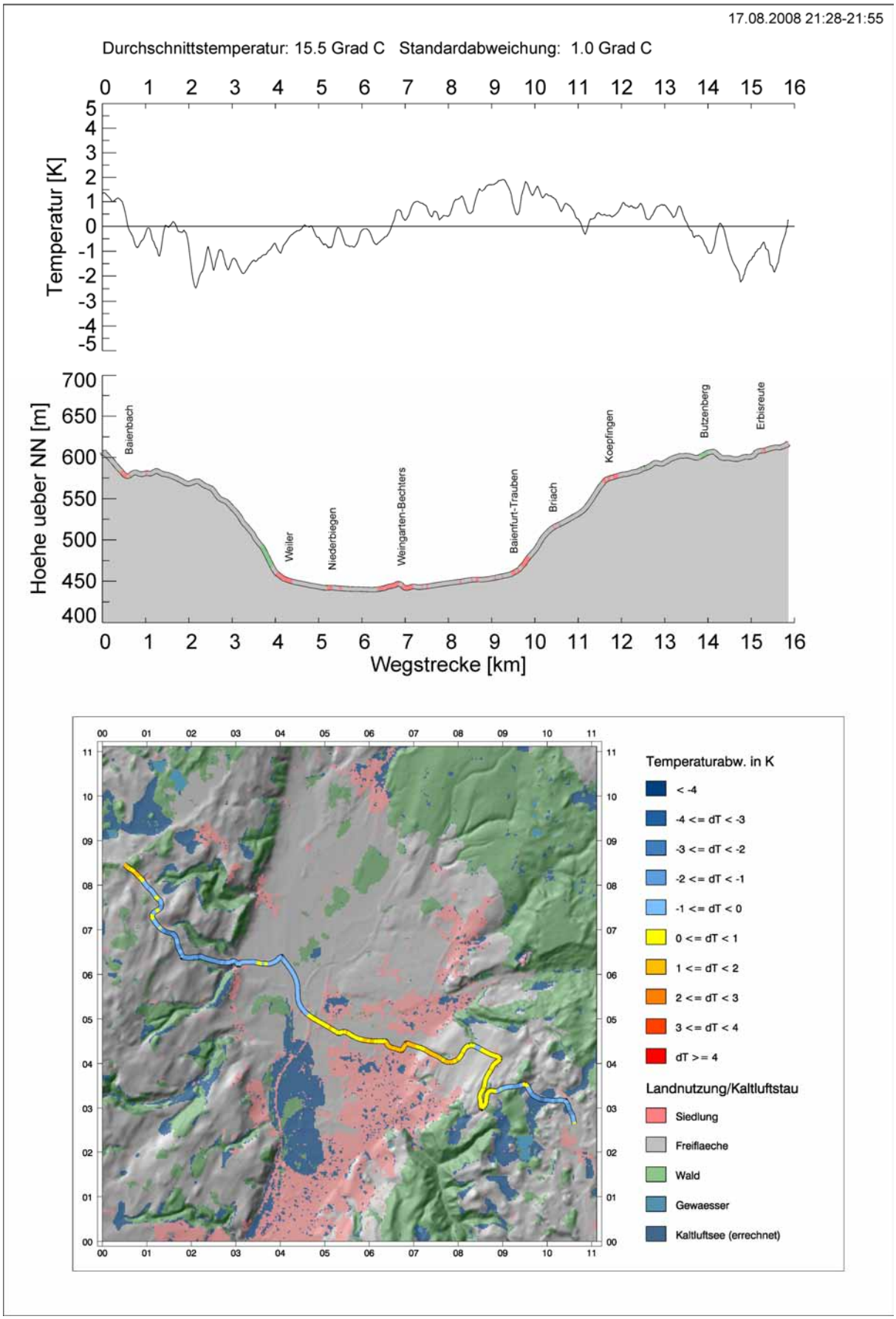


Abbildung 200: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Erbisreute und Baienbach am 17.08.2008 zwischen 21.28 Uhr und 21.55 Uhr MESZ.

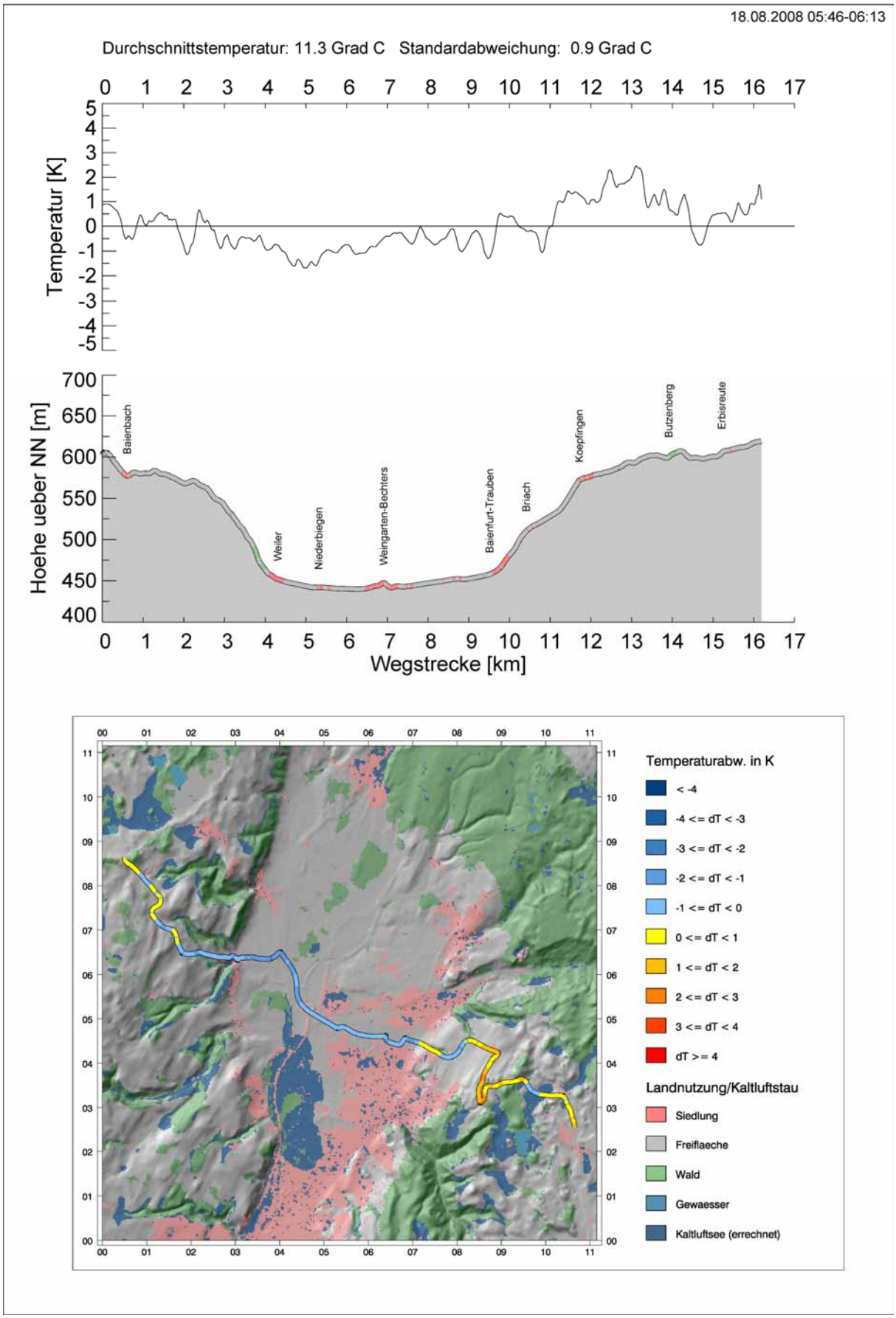


Abbildung 201: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Erbisreute und Baienbach am 18.08.2008 zwischen 05.46 Uhr und 06.13 Uhr MESZ.

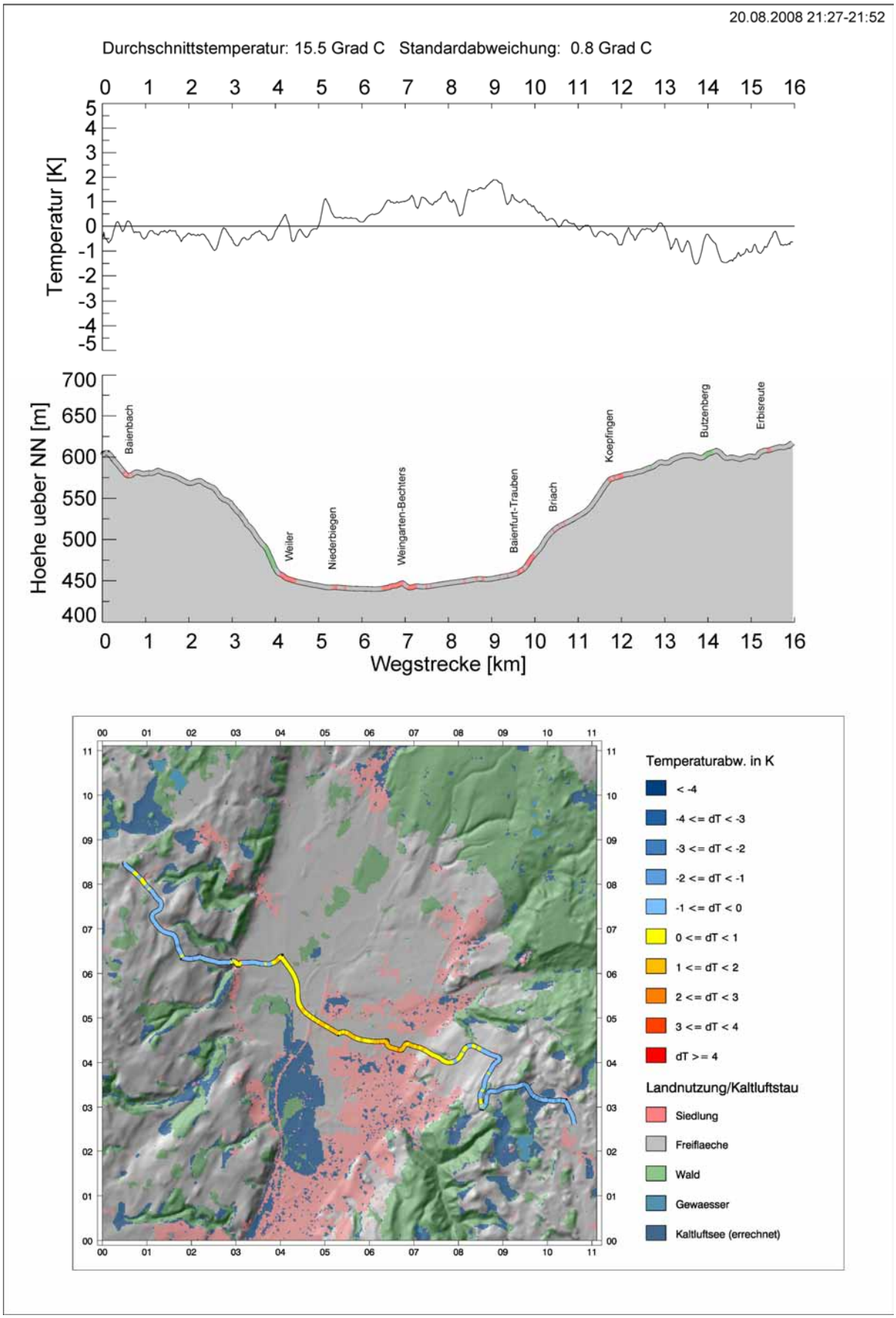


Abbildung 202: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Erbisreute und Baienbach am 20.08.2008 zwischen 21.27 Uhr und 21.52 Uhr MESZ.

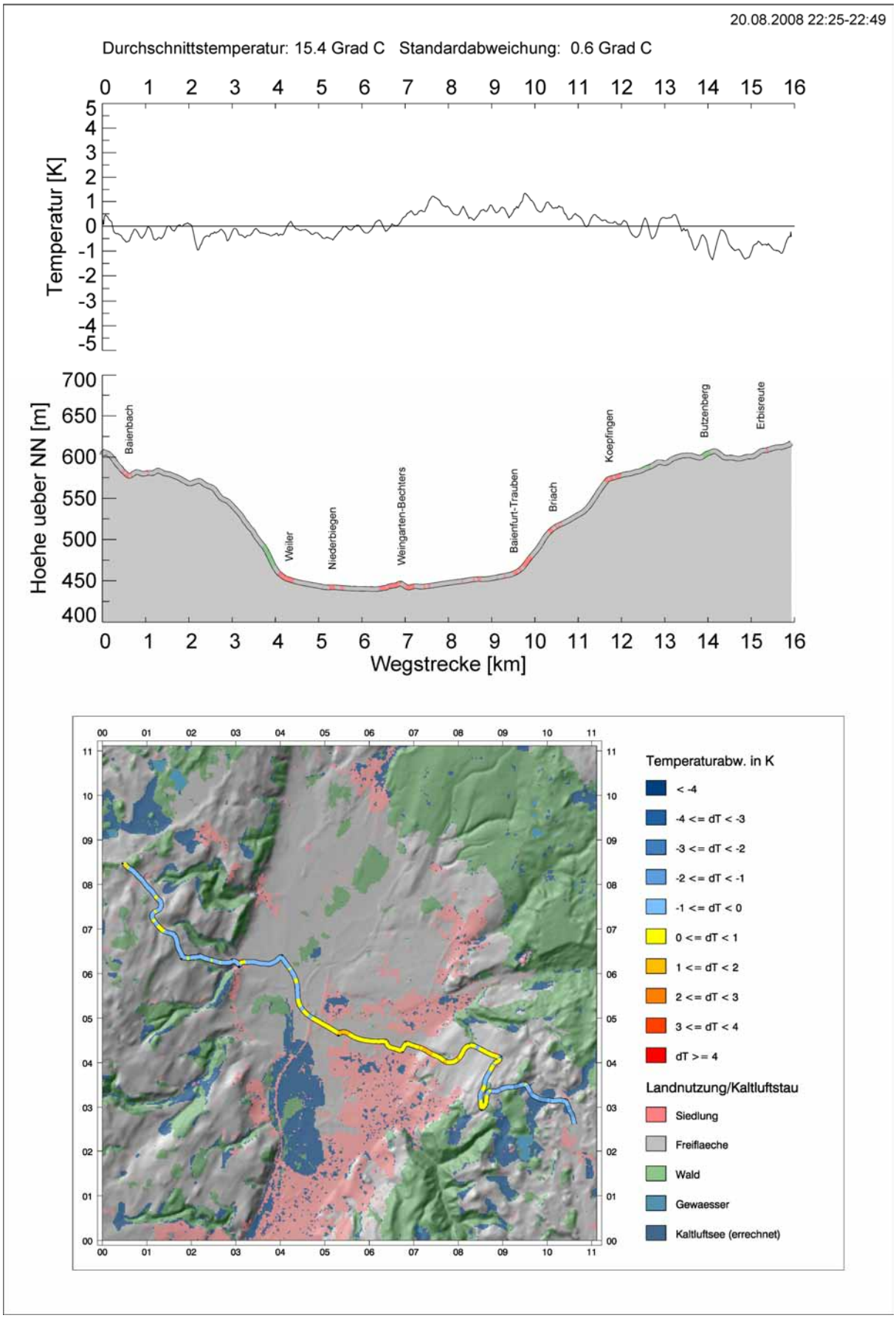


Abbildung 203: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Erbisreute und Baienbach am 20.08.2008 zwischen 22.25 Uhr und 22.49 Uhr MESZ.

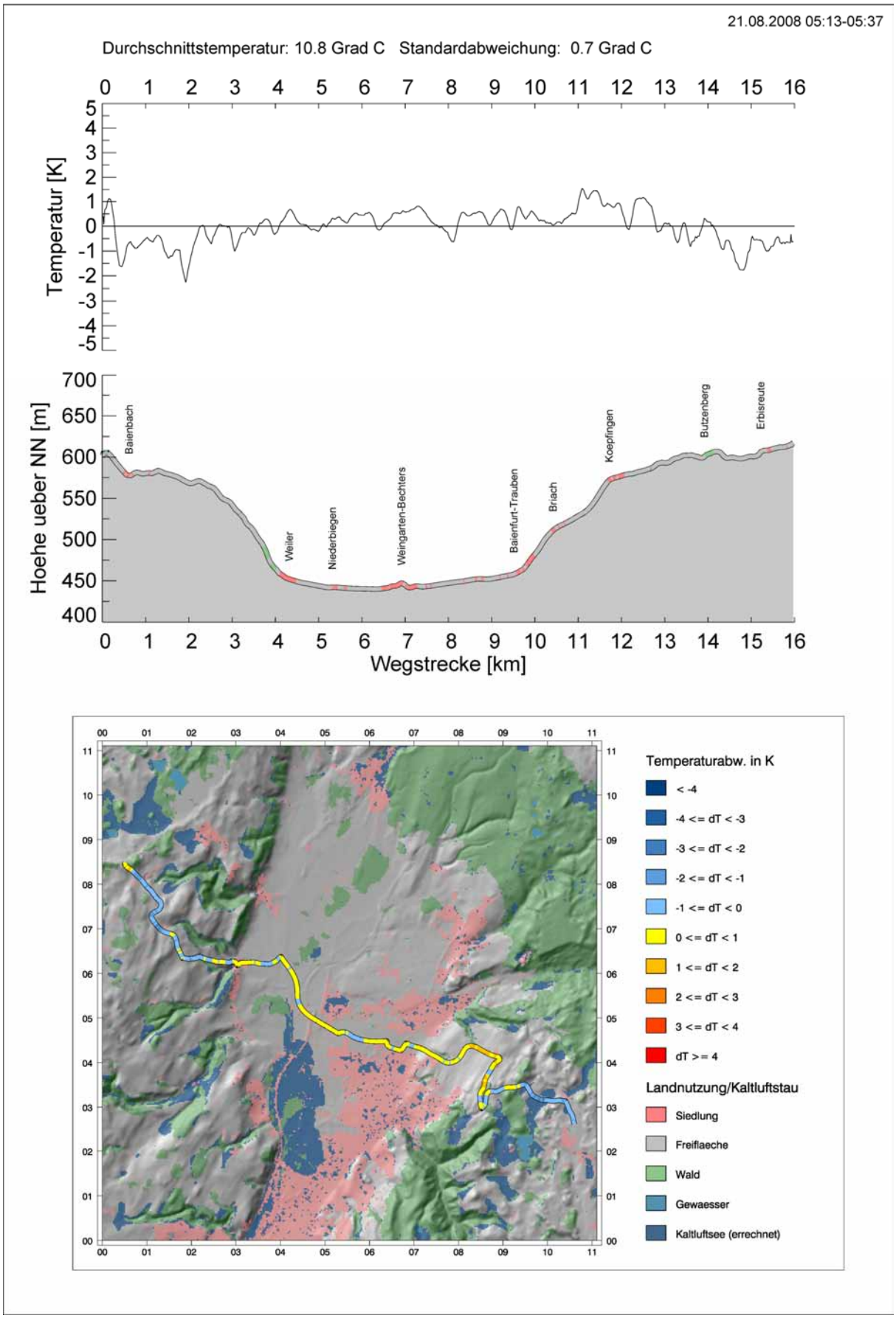


Abbildung 204: Ergebnisse einer Temperaturmessfahrt zwischen Erbisreute und Baienbach am 21.08.2008 zwischen 05.13 Uhr und 5.37 Uhr MESZ.

4.7.5 Interpretation der Messergebnisse

Kaltluftabflüsse an den Hängen des Schussenbeckens

Die Ergebnisse der Handmessungen im Teilbereich „Ravensburg Süd“ belegen in Analogie zu den Ergebnissen der Pilotstudie bei Baindt-Marsweiler kräftige nächtliche Hangabwinde während windschwacher Strahlungswetterlagen für die westexponierten Hänge bei Oberhofen (südlich von Ravensburg). Auch hier kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der nächtliche Kaltluftabfluss im Randbereich der Beckensohle versiegt. Als Grund für die Luftbewegungen aus SSO/SO am Handmessstandort HM3 könnten Kaltluftbewegungen aus dem südöstlich von Eschach mündenden Tal vermutet werden.

Nächtliche Talabwinde in den Tobeln rund um das Mittlere Schussenbecken und deren Reichweite

Die über den nahezu kompletten Messzeitraum bodennah dominierende Tagesperiodik der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten an den Funkwetterstationen in den untersuchten Tobeln rund um das Mittlere Schussenbecken lässt auf die Existenz von Talabwindsystemen schließen. Dabei entsprechen die Dominanzen der nächtlichen Windrichtungen während Strahlungswetterlagen stets den Talhauptachsen der Tobel. Die hierbei gemessenen Windgeschwindigkeiten liegen an allen Tobelstandorten in der Regel unter 1 m/s. Am Standort „Ettishoferach“ sind sie am schwächsten ausgeprägt. Das Geschwindigkeitsmaximum liegt an allen Tobelstandorten stets in der ersten Nachthälfte.

Die oftmals bereits deutlich vor Sonnenuntergang einsetzenden talabwärts gerichteten Luftbewegungen lassen sich auf die frühe Beschattung in den engen und tiefen Talbereichen zurückführen.

Die erfassten Daten der Funkwetterstation „Wolfeggerach“ und die Handmessungen in deren Umgebung tragen zu einem vertiefenden Verständnis des Zusammenwirkens von Hangabwinden und Talabwinden in den Tobelbereichen bei. Während vor allem am südlichen Hang deutliche nächtliche Hangabwinde festgestellt wurden, lassen sich am Standort der Funkwetterstation sowohl talabwärts gerichtete Kaltluftbewegungen als auch Einflüsse der nahegelegenen Hänge nachweisen. Dieses Zusammenwirken findet insbesondere in den Stärkewindrosen der Station „Wolfeggerach“ seinen Niederschlag. Aufgrund der Handmessergebnisse am nördlich gelegenen Hang kann vermutet werden, dass sich der Talabwind im Tal der Wolfegger Aach bereits in den frühen Abendstunden etabliert und dabei weitere Hangabwinde von Norden her an diesem Standort unterdrückt.

Die Ergebnisse der Funkwetterstation „Baienfurt“ lassen vermuten, dass der Talabwind aus dem Tal der Wolfegger Aach den Siedlungskörper von Baienfurt durch- bzw. überströmt und bis zum SW-Rand der Siedlung dringt. Hier dominieren nachts Winde aus ONO. Dies entspricht der Haupttalachse des Wolfeggerachtals im Mündungsbereich. Die gemessenen bodennahen Windgeschwindigkeiten sind jedoch nur sehr gering.

Die in den Mündungsbereichen der Seitentäler durchgeführten Handmessungen (Schussentobel, Ettishoferachtobel, Scherzachtal) bestätigen einerseits das bodennahe Vorkommen von Talabwinden. Andererseits erlauben sie die Abschätzung der bodennahen Reichweite der Talabwinde.

Im Mündungsbereich des Schussentobels zeigen die Handmessstandorte, dass es auch südlich von Mochenwangen zu kräftigen bodennahen Luftbewegungen aus Richtung des Tobels kommt.

Im Teilbereich „Ettishoferach“ legen die Handmessergebnisse nahe, dass die aus dem Tobel kommenden Kaltluftmassen den Siedlungskörper von Ettishofen südlich umströmen. Die bodennahe Reichweite in den Sohlenbereich dürfte hier jedoch aufgrund der niedrigen Windgeschwindigkeiten äußerst gering sein.

Die an Standort HM1 nachgewiesenen Luftbewegungen aus NW dürften auf Kaltluftabflüsse von den westlich und nordwestlich von Ettishofen gelegenen Hängen zurückzuführen sein. Die Engstelle zwischen der Siedlung und dem nordöstlich davon gelegenen Wald könnte durch entsprechende Kanalisierungseffekte diese Kaltluftabflüsse verstärken.

Das Scherzachtal nimmt unter den untersuchten Tobeln eine Sonderstellung ein, da es direkt in ein ausgedehntes und dicht bebautes Stadtgebiet mündet. Die Ergebnisse der Funkwetterstation weisen eindeutig eine nächtliche Luftmassenbewegung aus dem Scherzachtal nach. Über die Handmessungen lässt sich neben der Existenz des Talabwindes am Talausgang erkennen, dass die abfließenden Luftmassen offensichtlich dem Verlauf der Lauratalstraße folgen und auch am Standort HM3 (Kreuzung Scherzachstraße/Ochsengasse) bodennah noch messbar sind. Für den Bereich des Stadtgartens (Standort HM4) lässt sich eine Wirkung des Talabwindes nicht mit Sicherheit nachweisen.

Abfluss von Kaltluftmassen aus dem Mittleren Schussenbecken in das Südliche Schussenbecken

Es ist davon auszugehen, dass neben der autochthonen Kaltluftproduktion der Kaltluftzufluss aus den Tobeln und von Hängen wesentlich zur Ansammlung von Kaltluft im Mittleren Schussenbecken beiträgt. Aufgrund der allgemeinen Reliefverhältnisse ist damit zu rechnen, dass es im Laufe von Strahlungsnächten zum Ausströmen dieser Kaltluftmassen nach Süden hin kommt.

Die an der Station „Hähnlehof“ während windschwacher Strahlungswetterlagen dominierenden Windrichtungen zwischen NW und NO deuten auf ein solches Abfließen der Kaltluft hin. Es wird ferner bestätigt durch die Ergebnisse der Vertikalsondierungen, die bis zur maximalen Auflasshöhe von 30 m über Grund Strömungen aus nördlicher Richtung zeigen.

Die Engstelle des Schussenbeckens im Stadtgebiet von Ravensburg wird sich auf die Luftbewegungen an der Station Hähnlehof stauend bzw. bremsend auswirken. Es ist jedoch davon auszugehen, dass es im Bereich der Engstelle zu Düseneffekten kommt, die sich auch noch auf die Windgeschwindigkeiten an der Station „Weiherstobel“ auswirken. Obwohl diese bereits in deutlicher Entfernung von der Engstelle liegt, sind die bodennahen Windgeschwindigkeiten bei nächtlicher Nordströmung gegenüber dem Standort „Hähnlehof“ hier deutlich erhöht.

Es treten jedoch auch Nächte auf, in denen bodennah an der Station Weiherstobel eine Südströmung dominiert. Denkbar ist, dass diese Windrichtungen auf Kaltluftflüsse von den östlich gelegenen Hängen bzw. aus den kleinen Tobeln am Ostrand des Beckens zurückgehen.

Ein besonders eindrücklicher Nachweis der Nordströmung aus dem Schussenbecken konnte über eine Vertikalsondierung am Standort „Weiherstobel“ erbracht werden. Die erst bei einem vierten Ballonaufstieg um ca. 3 Stunden nach Sonnenuntergang festgestellten Windrichtungen aus N in Höhen zwischen 30 und 50 m über Grund sind als einsetzender Talabwind aus dem Schussenbecken zu deuten.

Das gegenüber dem Sonnenuntergang zeitlich deutlich verzögerte Einsetzen der Kaltluftbewegungen aus dem Schussenbecken geht auch aus den Tagesdiagrammen deutlich hervor. Es ist davon auszugehen, dass sich erst im Laufe mehrerer Stunden durch die Ansammlung

von Kaltluftmassen im Mittleren Schussenbecken Temperatur –und Luftdruckgradienten ausbilden, die ein Ausströmen nach Süden hervorrufen.

Der räumliche und kausale Zusammenhang der Stationen „Hähnlehof“ und „Weiherstobel“ zeigt sich besonders eindrücklich am 17.10.2008. Bei idealen Strahlungsverhältnissen stellt sich nördlich von Ravensburg die Nordströmung ca. 1,5 Stunden früher ein als südlich von Ravensburg.

4.7.6 Fazit

Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse aus den durchgeführten Messprogrammen stichwortartig zusammengefasst:

- Während windschwacher Strahlungswetterlagen treten meist kräftige nächtliche Hangwinde auf.
- Sie reichen jedoch nur bis in die Randbereiche der Beckensohle.
- In allen Tälern rund um das Schussenbecken konnten nächtliche Talabwinde nachgewiesen werden
- Am stärksten sind die Talabwinde im Wolfeggerachtobel und im Schussentobel.
- Im Ettishoferachtobel wurde der schwächste Talabwind gemessen.
- Die Stärke der Talabwinde hängt vor allem von der Größe des Einzugsgebietes, vom Talquerschnitt und vom Talverlauf ab.
- Die Siedlungen an den Talausgängen werden in Abhängigkeit der Stärke und vertikalen Mächtigkeit des jeweiligen Talabwindes von diesem z.T. durch bzw. überströmt.
- Die Wirkung des Talabwindes aus dem Scherzachtal konnte bodennah entlang der Lauratalstraße bis zur Kreuzung Ochsengasse/Scherzachstraße nachgewiesen werden.
- Der Abfluss von Kaltluftmassen aus dem mittleren Schussenbecken nach Süden konnte nachgewiesen werden.
- Er setzt gegenüber dem Sonnenuntergang zeitlich deutlich verzögert ein.
- Im Bereich südlich von Ravensburg ist dabei mit wesentlich höheren Geschwindigkeiten zu rechnen als nördlich von Ravensburg.
- Am Standort „Weiherstobel“ treten vereinzelt auch Nächte mit bodennaher S-Strömung auf, die vermutlich von den östlichen Hängen bzw. den von Osten her in das Becken mündenden Tobeln kommen.

4.7.7 Vergleich mit den Modelldaten

Ein zentrales Ziel des REKLIBO-Messprogramms war die Validierung der Ergebnisse der Modellrechnungen. Abschließend erfolgt deshalb ein Vergleich zwischen den oben beschriebenen wichtigsten Messergebnissen im Untersuchungsgebiet und den dort modellierten Prozessen.

Zur besseren Lesbarkeit wurde für die hier vorliegende Druckfassung aus den Gesamtergebnissen das entsprechende Teilgebiet extrahiert und vergrößert dargestellt. Um die zeitliche Dynamik wiederzugeben wurden von den insgesamt 12 Zeitschnitten die Ergebnisse nach Stunde 1, 2, 4, 8 und 12 ausgewählt. Sie sollen einen Überblick sowohl über die frühen Entwicklungen während einer Nacht als auch über die gesamte Simulationszeit von 12 Stunden ermöglichen. Dargestellt werden die Kaltluftmächtigkeiten, die mittleren Windgeschwindigkeiten über die gesamte Kaltluftsäule, sowie die daraus berechneten Volumenströme (vgl. Band 2). Ergänzt werden diese Darstellungen durch die Abbildung der Klimaanalysekarte für den Bereich des Untersuchungsgebietes. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass in vielen Situationen durch die Betrachtung eines größeren Gebietes die räumlichen Zusammenhänge häufig besser erklärbar werden.

Ein Vergleich der dargestellten Modellergebnisse mit den zentralen Aussagen der durchgeführten Messungen zeigt im Untersuchungsgebiet „Mittleres Schussenbecken“ eine recht gute Übereinstimmung. Im Einzelnen lässt sich das an folgenden Phänomenen festmachen:

- Das Modell simuliert ein frühes Einsetzen von Kaltluftabflüssen aus den Tobeln rund um das Mittlere Schussenbecken.
- Ebenso früh setzen Handwinde mit beachtlichen Windgeschwindigkeiten ein, die eine deutliche Abhängigkeit von der Geländeneigung zeigen.
- Kräftige Volumenströme konzentrieren sich im Bereich des sehr engen Schussentobels, vor allem aber auch auf eine wesentlich breitere Luftleitbahn westlich davon.
- Ab Stunde 4 Simulationszeit sind im Bereich der Engstelle am südlichen Beckenrand (Stadtgebiet von Ravensburg) Düseneffekte deutlich erkennbar. Sie machen sich in der Folge auch südlich von Ravensburg bemerkbar. Insofern stimmen die Modellergebnisse hier sehr gut mit dem an der Station „Weiherstobel“ beobachteten verzögerten Einsetzen eines Talabwindes aus dem Schussenbecken überein.
- Ab Stunde 4 Modellzeit kommt es zunehmend zu einem flächenhaften Ausströmen von Kaltluft nach Süden.
- Mit zunehmender Modellzeit kommt es zu einem flächenhaften Zufluss von Kaltluft aus Westen.
- Auch am Ende der Simulation werden für die höher gelegenen Tobelbereiche noch Talabwinde berechnet.
- Die vom Modell simulierte zunehmende Beschränkung von Hangabwinden auf die hochgelegenen Hänge (vgl.
- Abbildung 207) rund um das Mittlere Schussenbecken kann durch die Messungen nicht bestätigt werden. So zeigte während der genannten Pilotstudie bei Baindt-Marsweiler die Messstation „Marsweiler“ über den gesamten Messzeitraum hangabwärts gerichtete Luftbewegungen während der ganzen Nacht. Hier ist zu berücksichtigen, dass das Modell KLAM_21 als Zweischichtenmodell nicht in der Lage ist Mehrschichtphänomene zu simulieren. Es ist jedoch durchaus denkbar, dass es im Untersuchungsgebiet zu einer Windscherung zwischen Hangabwinden von den Hängen rund um das Schussenbecken und den nach Süden gerichteten Luftbewegungen kommt.

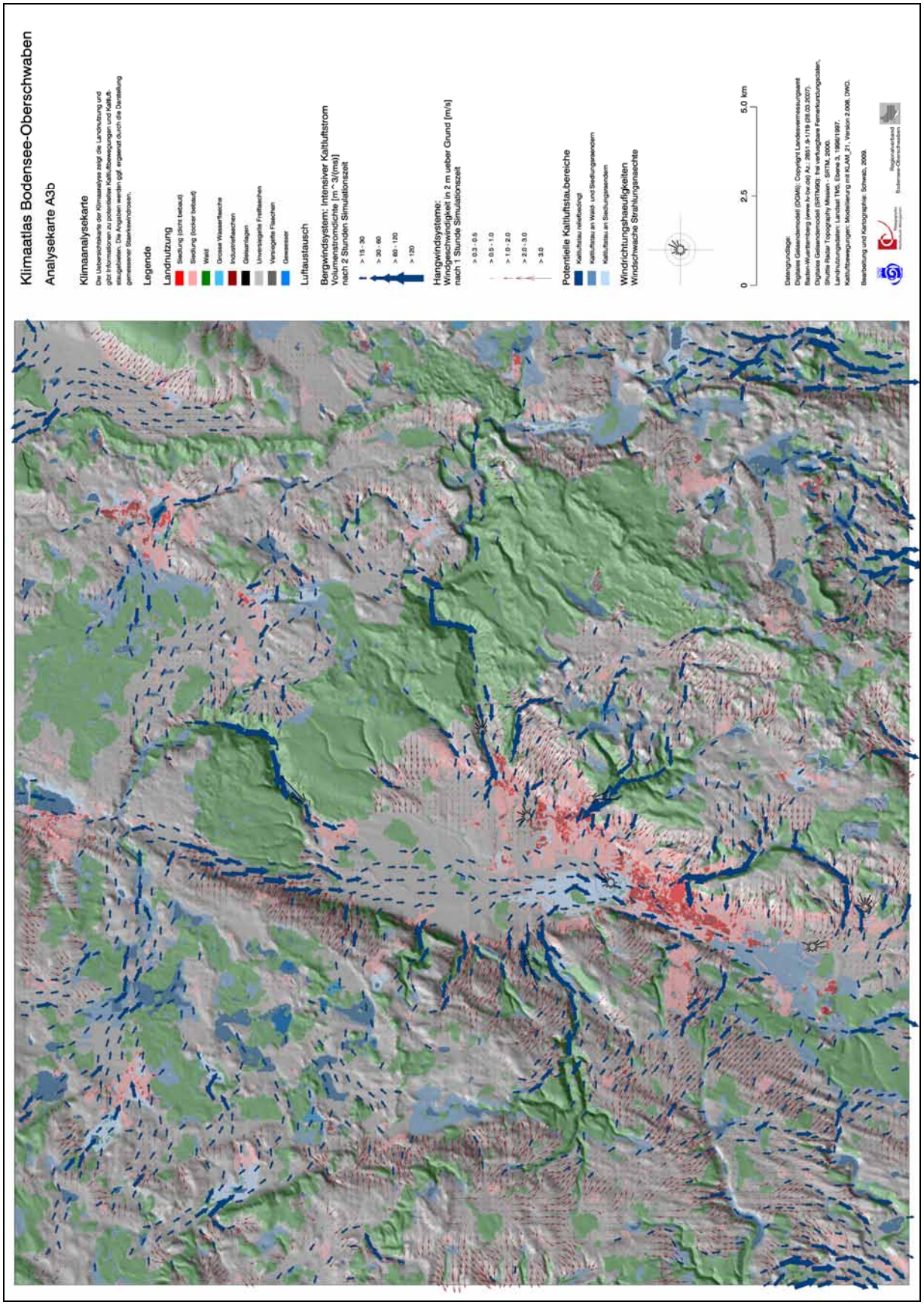


Abbildung 205: Klimaanalysekarte des Untersuchungsgebietes „Mittleres Schussenbecken“.

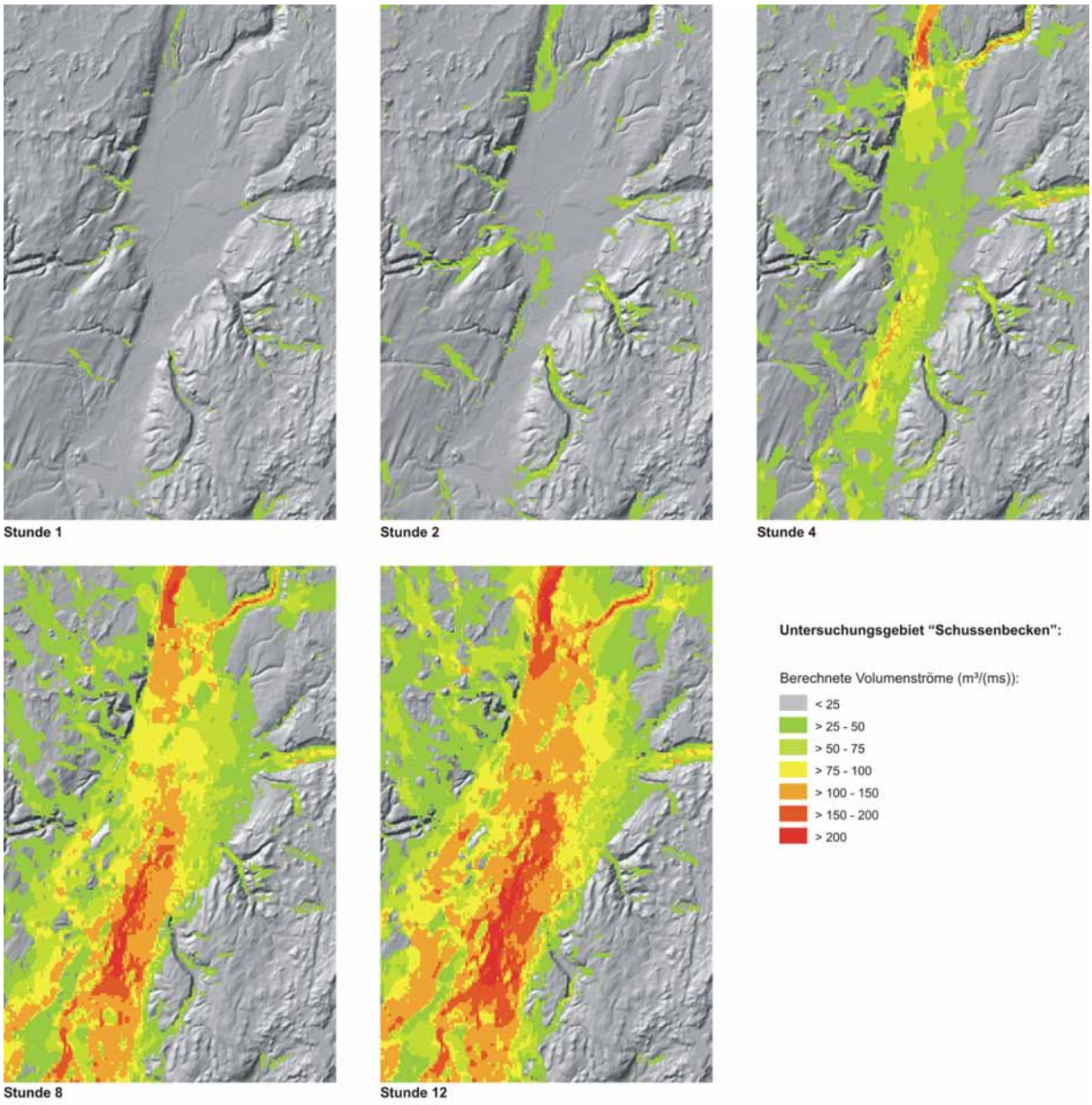


Abbildung 206: Berechnete Volumenströme im Untersuchungsgebietes „Mittleres Schussenbecken“.

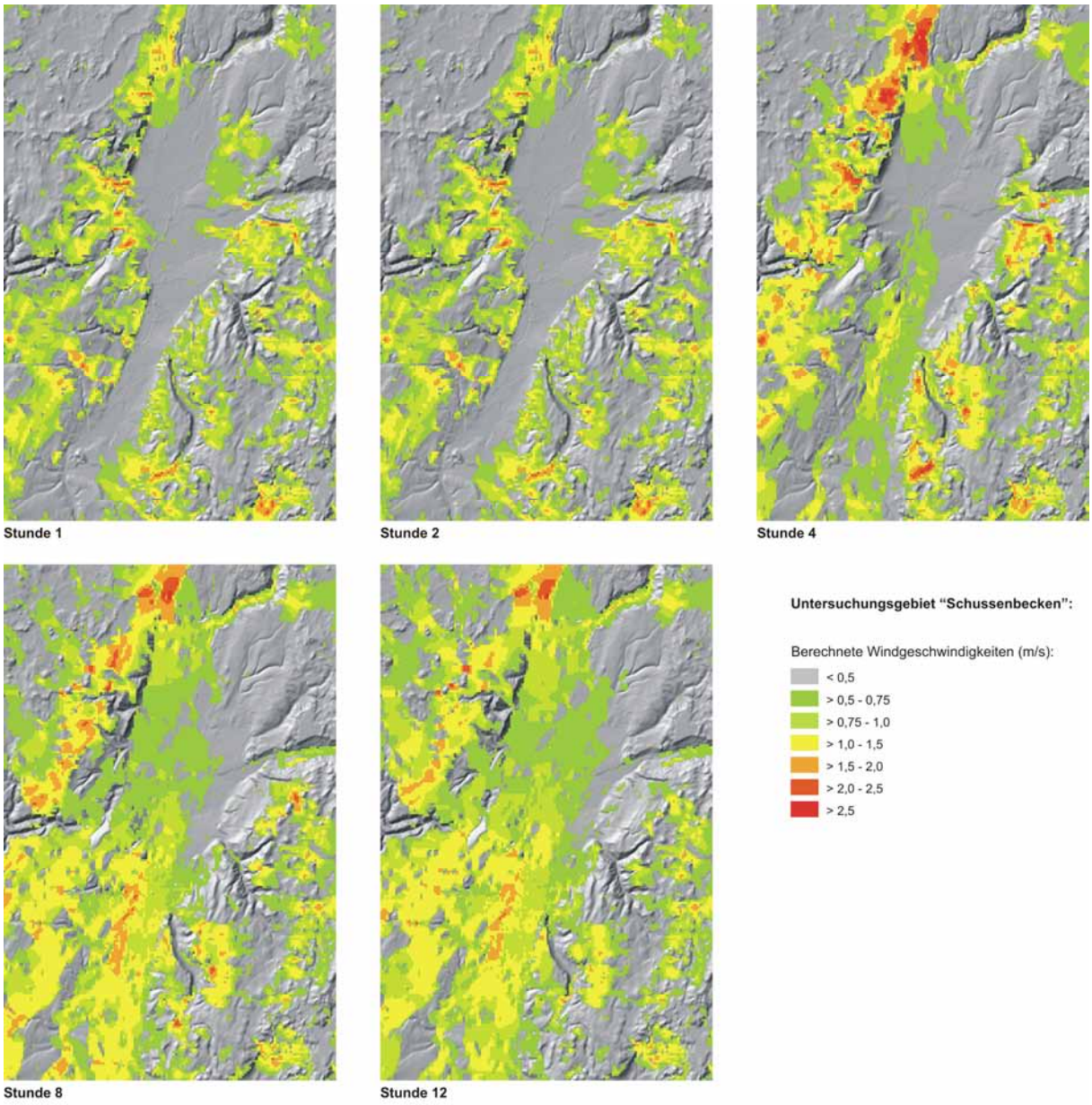


Abbildung 207: Berechnete Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebietes „Mittleres Schussenbecken“.

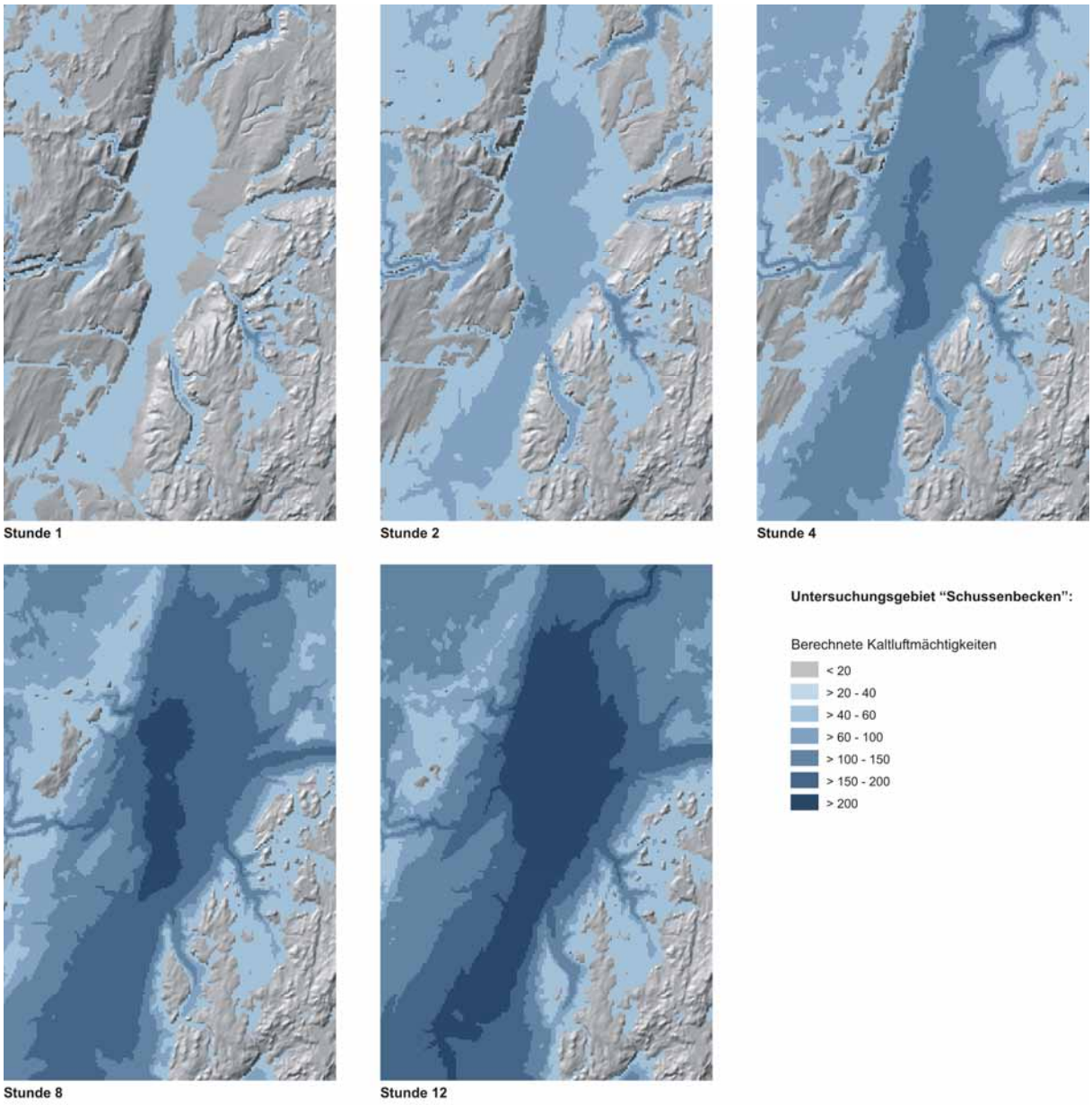


Abbildung 208: Berechnete Kaltluftmächtigkeiten im Untersuchungsgebietes „Mittleres Schussenbecken“.

5 Zusammenfassung und Fazit

Die äußerst umfangreichen und vielfältigen Ergebnisse des Messprogramms sollen mit den folgenden Ausführungen möglichst kompakt zusammengefasst 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.
- 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.

Talabwinde in der Region Bodensee-Oberschwaben

- An nahezu allen Messstationen in Tal- bzw. Beckenlage ist eine deutliche Tagesperiodik zu erkennen.
- Die Nachtsituation mit Talabwinden ist dabei wesentlich deutlicher ausgeprägt.
- Eindeutige Talaufwinde können aus den statistischen Analysen selten abgeleitet werden.
- Standorte mit einer besonderen Neigung zur Ausbildung von bodennahen Inversionen 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.
- Der Talverlauf (Talweitungen, Talverengungen) hat einen wesentlichen Einfluss auf die bodennah zu erfassenden Talabwinde (Beispiel Donautal). Hier treten die größten Differenzen zwischen den Messdaten und den Ergebnissen der Modellrechnungen auf.
- An den Ausgängen der zahlreichen steilen Tobel im südlichen Teil des Untersuchungsraumes sind durchweg nächtliche Talabwinde zu beobachten.
- Jedoch ist auch in Tälern mit nur gering geneigter Talsohle eine Tagesperiodik nachweisbar (Beispiel Argental).
- 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 Talveren-

gungen (Düsen- oder Kanalisierungseffekte) oder Kaltluftseen beeinflussen die gemessenen Werte deutlich und erschweren insbesondere einen Vergleich zwischen verschiedenen Tälern.

- Die zu Beginn der Untersuchung aufgeworfene Fragestellung nach einer Verzahnung von reliefbedingten Hang- und Talwindsystemen mit den im Uferbereich des Bodensees zu erwartenden Land-See-Winden ist mit den angewandten Methoden nur schwer zu beantworten. Aufgrund der zeitlich leicht versetzten Periodik der beiden Systeme sind vor allem die Umschlagphasen zwischen Tag- und Nachtsituation für einen Nachweis geeignet. So können für das Gebiet zwischen Langenargen und Argental für die Zeit kurz vor Einsetzen der nächtlichen Talabwinde noch landeinwärts gerichtete Seewinde vermutet werden.
- Sehr aussagekräftig, aber sehr aufwendig in der Durchführung sind sogenannte Vertikalsondierungen. Sie zeigen die Komplexität der beschriebenen Phänomene im Hinblick auf ihren vertikalen Aufbau. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde hierzu mit einer sehr einfachen Messapparatur gearbeitet, die letztlich nur qualitative Aussagen zu auftretenden Windgeschwindigkeiten in den verschiedenen Messhöhen zulässt.
- Bei Anwendung professioneller Messmethoden zur Vertikalsondierung, z.B. mit SODAR-Geräten würden sich jedoch folgende Probleme ergeben:
- SODAR-Messungen liefern zuverlässige Messdaten erst ab Höhen von 60 m über Grund. Im vorliegenden Untersuchungsraum sind durch die begrenzte Tiefe der Täler jedoch Messwerte unterhalb von 100 m von besonderem Interesse. Hangwinde mit vertikalen Mächtigkeiten von maximal 20 – 30 m können mit SODAR überhaupt nicht erfasst werden.
- Auch bei zusätzlichen Vertikalsondierungen bliebe das Problem, dass die Aussagekraft von Punktmessungen für einen gesamten Talquerschnitt begrenzt ist. Entsprechende Daten wären zwar für ein vertieftes Prozessverständnis von großem Nutzen, würden jedoch keinen wesentlichen Erkenntnisgewinn im Hinblick auf die Vergleichbarkeit von Kaltluftzufuhr aus verschiedenen Talsystemen liefern (Volumenströme).

Gliedert man den Gesamtraum nach den in Band 1 vorgestellten typischen Landschaftseinheiten, so lassen sich folgende Erkenntnisse festhalten:

- 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 Baindt (vgl. Pilotstudie bei Marsweiler), südöstlich von Ravensburg, östlich von Tettnang 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 Kaltluftsammelgebiete angesehen werden. Dies zeigen insbesondere die durchgeführten Temperaturmessfahrten zwischen Tettnang und Eriskirch bzw. zwischen Erbisreute und Baienbach.
- 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.).
- Die nach Norden gerichteten, weniger stark eingetieften und nur schwach geneigten ehemaligen Schmelzwasserrinnen waren über das durchgeführte Messprogramm nicht ab-

gedeckt. Die Aussagen zu diesen Landschaftselementen stützen sich demnach allein auf die Ergebnisse der Modellrechnungen und sind Band 2 zu entnehmen.

- Die im Süden verbreiteten großflächigen *Hügellandschaften* (Drumlinfelder) 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 Talabwindsysteme kann nur vermutet werden (Vertikalsondierung). Es ist jedoch auszuschließen, dass die Reichweite von Hangabwindsystemen angrenzender Höhenzüge dazu ausreicht. Auffällig sind die reliefbedingten Kaltluftseen, die mit Hilfe der durchgeführten Temperaturmessfahrten gut herausgearbeitet werden konnten.
- 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 und sind Band 2 zu entnehmen.
- 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.

Vergleich mit den Modellergebnissen

Vergleiche mit den Ergebnissen der Kaltluftabflussmodellierung zeigen in nahezu allen Situationen eine gute Übereinstimmung. Abweichungen ergeben sich vor allem dort, wo sich im Laufe der Nacht mehrschichtige Prozesse ausbilden, namentlich Situationen mit Windscherung zwischen bodennahen Hangabwinden und Talabwinden in der Höhe. Das verwendete Kaltluftablussmodell des Deutschen Wetterdienstes (KLAM_21) ist als Zweischichten-Modell 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).

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.

6 Literatur

BENZING, H. (1964): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 186 Konstanz. = Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.): Geographische Landesaufnahme 1:200000. – Bad Godesberg.

BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUMORDNUNG (Hrsg.) (1964): Geographische Landesaufnahme 1:200000. Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 186 Konstanz. Bearbeitet von Benzing, G. – Bad Godesberg.

BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUMORDNUNG (Hrsg.) (1959): Geographische Landesaufnahme 1:200000. Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 178 Sigmaringen. Bearbeitet von Huttenlocher, F. – Remagen.

BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDESKUNDE UND RAUMORDNUNG (Hrsg.) (1991): Geographische Landesaufnahme 1:200000. Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 187/193 Lindau-Oberstdorf. Bearbeitet von Dongus, H. – Bonn.

DONGUS, H. (1991): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 187/193 Lindau-Oberstdorf. = Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.): Geographische Landesaufnahme 1:200000.– Bonn.LUBW-Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Natursschutz (Hrsg.) (2006): Klimaatlas Baden-Württemberg, CD-Version. – Mannheim.

HUTTENLOCHER, F. (1959): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 178 Sigmaringen. = Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.): Geographische Landesaufnahme 1:200000.– Remagen.