

## Zum Regionalklima im Saarland

Nadine Backes, Jochen Kubiniok, Olaf Kühne und Barbara Neumann

**Zusammenfassung:** Mit dem in vielen Bereichen bereits dokumentierten und in noch größeren Dimensionen prognostizierten Klimawandel sind insbesondere bioklimatische Einschränkungen für die Bevölkerung zu erwarten. Zur Einschätzung der erforderlichen planerischen Maßnahmen bietet sich eine lokalklimatologisch basierte Regionalisierung des Gelände- und Stadtklimas an, welche eine großräumige Abschätzung der Klimafunktionen zulässt. Lokalklimatische Phänomene und bioklimatische Größen wie die Äquivalenttemperatur werden im Wesentlichen durch die Faktoren Höhenlage, Relief und Nutzung bestimmt. Über die Erfassung geländeklimatologischer Parameter (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windrichtung und Windgeschwindigkeit) im Rahmen von 15 Messfahrten wurden in der im Folgenden vorgestellten Studie unter Zuhilfenahme von digitalen topographischen Karten, Flächennutzungserhebungen und digitalen Höheninformationen klimatische Funktionsbereiche wie Frischluftbahnen und Frischluftliefergebiete analysiert und abgegrenzt.

Die für das Saarland analysierten lokal- und bioklimatologischen Funktionen liefern planungsrelevante Grundlageninformationen darüber, welche Gebiete beispielsweise als bevorzugte Luftaustauschbereiche fungieren und damit eine wichtige Rolle für den bodennahen Frischlufttransport spielen. Damit kann die Empfindlichkeit von Flächen und Regionen gegenüber Nutzungsänderungen – beispielsweise durch eine Erhöhung des bebauten Flächenanteiles oder die natürliche Sukzession – bewertet werden. Es werden Empfehlungen für die Ausweisung von Flächen gegeben, die von höherem Bewuchs freizuhalten sind, sowie zur Ausweisung von Entlastungsbereichen, die aufgrund eines geringeren Versiegelungsgrades und hohen Vegetationsanteils eine niedrige Mitteltemperatur sowie hohe Abkühlungsraten in den Abend- und Nachtstunden erwarten lassen, sodass diese Flächen als Kaltluftentstehungsgebiete wirken.

Dies ermöglicht die Ableitung von klimatisch begründeten und notwendigen Maßnahmen und Planungsstrategien, um die regional vorhandenen Belastungen zu minimieren, die vorhandenen klimatisch günstigen Räume zu erhalten und den Luftaustausch zwischen belasteten und ausgleichend wirkenden Räumen zu optimieren und damit den Veränderungen des Regionalklimas entgegen zu wirken.

**Abstract:** Climate change and its effects on the regional climate are expected to exert bioclimatic stress on the human population. In order to evaluate adaptation measures in spatial planning in their effectiveness, microclimate and urban climate functions were regionalized for the Saarland by analysing local elements of climate that allow for a large-scale assessment of the climate functions. Microclimate phenomena and bio-climate elements such as the equivalent temperature are basically determined by altitude, relief and land use. In this study, climate functions like trajectories and source regions of fresh air were analysed and delineated using field measurements of climate parameters (air temperature, humidity, wind direction and wind speed) in conjunction with digital topographical maps, land-use data and a digital elevation model.

The analysed climate functions provide basic information for spatial planning such as regions of preferred exchange of fresh air, which play an important role in the ground level transport of fresh air. This allows for assessing the sensitivity of areas and regions towards

changes in land use, for example towards an increase in build-up areas or in amount natural succession. Recommendations are given for the designation of areas to be kept from higher growth of vegetation, and of areas which share low mean temperatures and high cooling rates in the evenings and night hours due to a lower degree of sealing and a larger portion of vegetation. Such areas are expected to function as source regions for cold, fresh air.

Based on this microclimatic assessment, adaptation measures and planning strategies can be formulated which reduce regional bio-climatic stress, preserve the existing favourable climatic regions and optimize the exchange of fresh air between polluted zones and compensational zones, thus counteracting the induced changes in regional climate.

**Keywords:** regional climate, local climate, urban, Saarland, south-west Germany

## 1 Einleitung

Das Klima im Saarland ist Teil eines globalen Klimasystems. Von Bedeutung für die klimatische Feingliederung des Untersuchungsraumes sind jedoch vor allem kleinräumige Einflüsse, also die des Lokalklimas/Mikroklimas, worunter das Klima, welches im unmittelbaren Einflussbereich der Erdoberfläche besteht, zu verstehen ist. Es greifen hier auf engstem Raum Atmosphäre, Lithosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre und Anthroposphäre ineinander. Die besondere Bedeutung des Mikroklimas ist vor allem auf den Einfluss der Topographie und der unterschiedlichen Bodenbedeckung zurückzuführen. Entscheidend ist dabei der durch die verschiedenen Oberflächen bedingte unterschiedliche Strahlungsumsatz, die Abgabe von gespeicherter Wärme an die bodennahe Luftschicht, die Beeinflussung des Windes durch die Bodenreibung sowie die Umwandlung des Wassers in unterschiedliche Aggregatzustände. Durch die lokale Modifikation des Klimas wirkt dieses differenziert auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen. Diese lokalen Modifikationen des Klimas sind – zumindest teilweise – durch die Raumgestaltung des Menschen veränderbar, sowohl in Richtung einer physischen Be- als auch in Richtung einer physischen Entlastung des Menschen.

Durch die regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels rücken diese Modifikationsmöglichkeiten der lokalen Klimate wieder zunehmend in den Fokus planerischen Interesses. Vor diesem Hintergrund wurde auch die vorliegende Untersuchung in Zusammenarbeit des Ministeriums für Umwelt (federführend im Referat C/2 – Landesplanung) und der Universität des Saarlandes (Fachrichtung Geographie) durchgeführt. Diese regional angelegte Studie wurde nötig, da vorliegende Untersuchungen sich entweder mit dem lokalen Klima saarländischer Teilräume befassen (z.B. DÖRRENBÄCHER 1981, KÜHNE 1999, 2003 und 2007), primär orographisch bedingte geländeklimatische Effekte berücksichtigen (SCHIRMER 1992) oder sich schwerpunktmäßig auf großwetterlagenklimatische Bedingungen des Klimas im Saarland beziehen (KÜHNE 2004).

Der vorliegende Artikel befasst sich zunächst mit wesentlichen lokalklimatischen Phänomenen und der ihnen zugrunde liegenden Messmethodik. Daran anschließend werden die Ergebnisse der Messungen und geländeklimatologischen Modellierungen dargestellt und zum Abschluss Hinweise für die räumliche Planung gegeben.

## 2 Lokalklima und klimatologische Größen

### 2.1 Lokalklimatologische Phänomene

Da lokalklimatische Phänomene vor allem bei antizyklonalen Großwetterlagen aufgrund ihres geringen Bewölkungsgrades und der geringeren Geschwindigkeit allochthonen Windes ausgeprägt sind, ist eine solche Wetterlage Voraussetzung zur Analyse des Lokalklimas. Liegt diese vor, so prägt sich eine Lufttemperatur-, Luftfeuchte- und Windverteilung aus, die stark von lokalen Gegebenheiten wie dem Relief, Siedlungen, Vegetation u. ä. beeinflusst wird. Die bei dieser Hochdrucklage entstehenden Winde werden durch Ausgleichsbewegungen verschieden schwerer Luft hervorgerufen, je nach Temperaturunterschied im Gelände und den damit verbundenen Druckunterschieden. So dehnt sich Luft bei Erwärmung aus und wird spezifisch leichter, bei Abkühlung hingegen zieht sie sich zusammen und wird dadurch spezifisch schwerer. Das Lokalklima in Siedlungsbereichen ist darüber hinaus bedingt durch Veränderungen der Rauigkeit der Erdoberfläche, des Energie-, Strahlungs- und Wasserhaushaltes und der Anreicherung der bodennahen Luftschicht mit Fremdstoffen. Siedlungen weisen daher schon ab dem Siedlungsrand Abweichungen der klimatischen Bedingungen gegenüber ihrer ländlichen Umgebung auf (KÜHNE 1999).

Räumliche Unterschiede im Lokalklima, insbesondere die Entstehung lokaler Windsysteme, sind insbesondere durch horizontale Temperaturunterschiede bedingt. Sie sind damit also Folge der unterschiedlichen Erwärmung oder Abkühlung benachbarter Flächen und prägen sich vor allem bei windschwachen und wolkenarmen Strahlungswetterlagen aus. Relevant sind dabei jedoch nur die nächtlichen Ausstrahlungsvorgänge, die eine Abkühlung der obersten Bodenschicht sowie der darüber liegenden bodennahen Luftschicht bewirken (SCHIRMER 1996; GESTRICH & HESSEL 1992). Bei Wolkenbedeckung sind die nächtliche Ausstrahlung des Erdbodens und die Sonneneinstrahlung am Tag geringer, sodass keine oder nur schwache horizontale Temperaturunterschiede entstehen, die das lokale Windsystem nicht genügend antreiben. Liegt eine kräftige Grundströmung vor, so unterbindet diese die Bildung kleinräumiger lokaler Windsysteme durch rasches Heranführen neuer Luftmassen, wodurch dann die horizontale unterschiedliche Abkühlung oder Erwärmung der Luft verhindert wird (GESTRICH & HESSEL 1992). Die nächtliche Ausstrahlung des Erdbodens, die von den physikalischen Eigenschaften des Bodens sowie vom Bewuchs abhängt, beginnt bereits vor Sonnenuntergang. Sie erreicht Werte der Abkühlung des Erdbodens sowie der darüber liegenden Luftschicht von 0,2-2 K je Stunde. Während die Kaltluftproduktion in Städten gleich Null ist, nimmt sie auf Freiflächen sehr hohe Werte an. So erreichen Heide und Buschwerk ca.  $8 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ , Äcker und Wiesen ca.  $12 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ . In der Nacht sind letztere die intensivsten Kaltluftproduzenten (SCHIRMER 1996).

Da die Ausstrahlung oberflächenbedingt stattfindet, können Änderungen in der Flächennutzung zu einer Änderung in der Kaltluftproduktion führen. So strahlen Dachoberflächen von Häusern, Ackerböden, Waldoberflächen etc., also Flächen, die nicht in der gleichen horizontalen Ebene liegen, unterschiedlich stark aus. Ein deutlicher Sprung findet beispielsweise in der Strahlungsfläche an Waldrändern von der Waldoberfläche zu einer Ackerfläche statt (SCHIRMER 1996). Die Kaltluftbildung über ebenen Waldflächen wird in der Literatur unterschiedlich beziffert und ist nach Untersuchungen von BAUMGARTNER (1956) eher gering, da sich das Klimapotenzial des Waldklimas aus den Bereichen Waldoberfläche, Kronenraum, Stammraum und Waldboden zusammensetzt. Weitere Modifizierungen treten durch Baumart, Belaubung, Bewirtschaftungsform und Alter der Bäume sowie durch die orographischen und klimatischen Verhältnisse der unmittelbaren Umgebung auf (GESTRICH & HESSEL 1992). Des Weiteren erreichen entsprechend der

Waldstruktur nur etwa fünf Prozent der einfallenden Sonnenstrahlung den Waldboden, sodass der Stammraum infolge der herabgesetzten nächtlichen Ausstrahlung ausgeglichene Temperaturverhältnisse aufweist. Im Vergleich zum umgebenden Freiland ist es innerhalb von Waldstrukturen am Tage und im Sommer kälter, nachts und im Winter relativ wärmer. Die nächtliche Ausstrahlung des Waldes findet im Kronendach statt, das als Ausstrahlungsfläche lokale Kaltluft produziert (HEIMANN et al. 1988, zitiert in SCHIRMER 1996). Die deutlichste Auswirkung einer Nutzungsänderung tritt bei der Versiegelung einer bisherigen Freifläche/Ackerfläche auf. Hierbei ist ein Rückgang der Kaltluftproduktion von etwa  $12\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$  auf Null zu verzeichnen. Hier zeigt sich noch einmal die Bedeutung derartiger Freiflächen für die Produktion von Kaltluft (SCHIRMER 1996). Ähnlich gering ist der Beitrag von Gewässern zur Kaltluftproduktion. Aufgrund der erhöhten Wärmespeicherkapazität von Wasser, Beton, Asphalt etc. und der Abwärme von Hausbrand, Verkehr und Industrie sind solche Flächen in den windschwachen Strahlungsnächten wärmer als das Umland mit Frei- und Waldflächen (GESTRICH & HESSEL 1992). Allgemein lässt sich feststellen, dass, je länger die ungehinderte Ausstrahlung des Erdbodens andauert, die Kaltluftproduktion umso höher ist (SCHIRMER 1992).

Hinsichtlich der klimatologischen Funktionen hat der Abfluss der Kaltluft die größte Bedeutung. Während lokal gebildete Kaltluft im ebenen Gelände liegen bleibt und im Laufe der Nacht vertikal entsprechend der Kaltluftproduktionsrate sukzessiv anwächst (z.B. bei  $10\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$  um  $10\text{m/h}$ ), fließt Kaltluft im geneigten Gelände sogar schon bei einer Neigung von unter  $1^\circ$  schubweise ab. Die Ursache dafür, dass sich die Kaltluft in Bewegung setzt, ist ihre höhere Dichte gegenüber der warmen Luft (HÄCKEL 1993). Die vertikale Zunahme der Kaltluft im ebenen Gelände kann so auch durch Zufluss von Kaltluft aus benachbarten Gebieten deutlich verstärkt werden (SCHIRMER 1992). Der Kaltluftfluss beginnt bereits kurz vor Sonnenuntergang und erreicht laut GESTRICH & HESSEL (1992) Geschwindigkeiten von ungefähr  $0,5$  bis über  $2\text{m/s}$ . Die Intensität des Kaltluftabflusses hängt vor allem von der Neigung des Geländes sowie der Rauigkeit der Erdoberfläche ab. Ackerflächen und Wiesen tragen also nicht nur zu einer hohen Kaltluftproduktion bei, sondern bieten infolge der geringen Oberflächenrauigkeit zusätzlich günstige Voraussetzungen für einen ungehinderten Kaltluftabfluss. Hinsichtlich der Lufthygiene ist die Begrenzung bzw. Vermeidung von Emittenten im Kaltlufteinzugsgebiet von Siedlungen von Bedeutung. Die Versorgung mit kühler Frischluft ist in besonderem Maße nach heißen Sommertagen für eine Verringerung der thermischen und lufthygienischen Belastung von Siedlungen bedeutsam (SCHIRMER 1992).

Der Abfluss der Kaltluft kann durch verschiedene Hindernisse gestört werden. Im Tal wirken vor allem dichte Bebauung, Waldstreifen und Bahn- oder Straßendämme senkrecht zur Talrichtung, starke und hohe Verbuschung, aber auch Talengstellen mit Flussumbiegungen dem Abfluss entgegen. Ist ein Überströmen des jeweiligen Hindernisses nicht möglich, so folgt oberhalb des Hindernisses die Ausbildung eines Kaltluftstaus – es bildet sich ein so genannter Kaltluftsee – mit zusätzlicher Erhöhung der Frostgefahr und Beeinträchtigung von höheren Hanglagen infolge des vertikalen Anwachsens der Kaltluft im Staubereich. Unterhalb des Hindernisses wird zum einen die Frischluftzufuhr unterbunden und zum anderen die Höhe und das Volumen der lokalen Kaltluft verringert (SCHIRMER 1992). Da Talabwinde, je nach lokalklimatischen Gegebenheiten und Landnutzung, entweder bis zum Boden reichen oder nur einige Dekameter über dem Erdboden auftreten, können dicht bewaldete Gebiete und Kaltluftstaugebiete von einem Talabwind überströmt werden. In diesen beiden Fällen reicht die Wirkung des Talabwindes jedoch nicht bis zum Boden. Liegen günstige Bauweisen in Form von talparallelen Gebäudeausrichtungen und breite Straßen vor,

so kann der Talwind auch in dichtere Blockbebauung eindringen und zur besseren Durchlüftung beitragen (GESTRICH & HESSEL 1992).

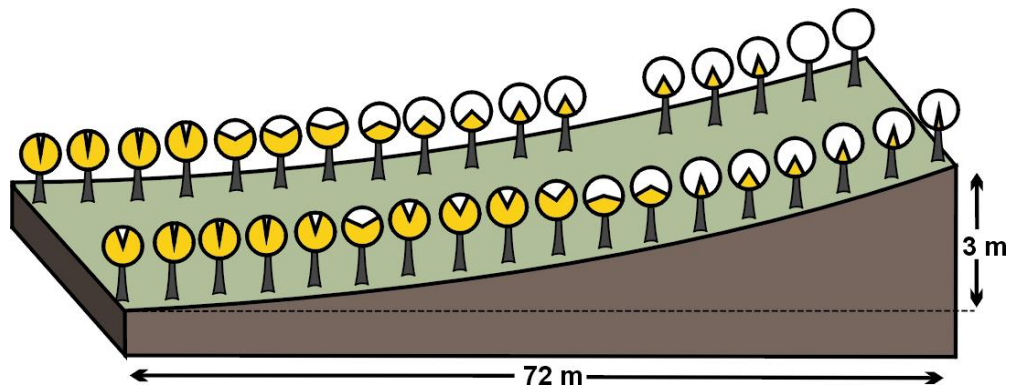
## **2.2 Bedeutsame klimatische Größen**

### **2.2.1 Lufttemperatur**

Das großräumige Lufttemperaturfeld ist im Allgemeinen wetterlagenabhängig. Betrachtet man jedoch die Temperatur an einem Strahlungstag, so lässt sich feststellen, dass hier die Überlagerung regionaler und autochthoner lokaler Effekte vor allem in Abhängigkeit der Bodenbedeckung und der Exposition stattfindet. In Bezug auf die Bodenbedeckung ist dabei besonders die Betrachtung der Albedo und der Wärmeleitfähigkeit des Bodens relevant. Je geringer Albedo und Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds, desto höher die Temperatur über dem Boden. Je nach Stärke der Überhitzung lässt sich dann eine Aussage über die Stabilität der bodennahen Luftschicht machen, die mit zunehmender Überhitzung labiler aufgebaut ist. Um den großen Temperatur- und Dichteunterschied der Luft auszugleichen, kommt es zu Konvektionsvorgängen. Je näher also am Boden gemessen wird, desto größer sind die Tagesschwankungen der Temperatur (BLÜTHGEN & WEISCHET 1980, KÜHNE 1999).

Bezüglich des Einflusses der Flächennutzung bzw. Landnutzung auf die Temperatur finden sich erheblich abweichende Klimaverhältnisse hinsichtlich Bestands- und Freilandklima. So ist der Wärmeumsatz über einem Pflanzenbestand ein deutlich anderer als der über vegetationslosem Gelände. In einem bewaldeten Gebiet beispielsweise findet am Tag eine geringere Einstrahlung, jedoch eine höhere Verdunstung gegenüber dem Umland statt, was folglich zu niedrigeren Temperaturen gegenüber diesem führt. Der Wärmeinhalt der Luft kann allerdings durch den hohen Gehalt an latenter Wärme deutlich über dem des Freilands liegen. In der Nacht behindern vor allem der Kronenbereich der Bäume und die höhere Luftfeuchte die Ausstrahlung, sodass die Abkühlung geringer ist und die Lufttemperatur somit im Wald höher als über dem umliegenden Freiland sein kann. Der Strahlungsumsatz in Wäldern findet überwiegend im Kronendach statt, insbesondere bei Nadelwäldern ist dort eine beträchtliche Temperaturerhöhung zu verzeichnen. Gewässer wirken auf Umgebungsluft am Tag lokal abkühlend, wärmen diese jedoch in der Nacht ufernah auf (GEIGER 1961, KÜHNE 1999).

Aus der Tendenz der Kaltluft, sich in tieferen Geländelagen anzusammeln, ergibt sich bezüglich der Temperaturverteilung eine thermische Dreiteilung von Tälern. Im Bereich des Talbodens entsteht ein Kaltluft-Sammelgebiet, ein sogenannter Kaltluftsee, sodass dort geringe Lufttemperaturen festzustellen sind. In der darüber liegenden warmen Hangzone findet die normale Temperaturabnahme mit der Höhe statt. Die warme Hangzone findet man am „Ufer“ des Kaltluftsees und dort, wo Geländeerhebungen aus ihm herausragen. In ihr kann es 5 K wärmer sein als am Grund des Kaltluftsees, sodass die Frostgefahr in diesem Bereich erheblich verringert ist (HÄCKEL 1993).



**Abb. 1:** Bildung eines Kaltluftsees. Schwarze Sektoren = Anteil der erfrorenen Pfirsichfrüchte in einem geneigten Obstgarten während einer Spätfrostnacht (nach: HÄCKEL 1993)

Im Stadtgebiet herrscht im Allgemeinen eine höhere Lufttemperatur als im unbebauten Umland. Die Ursachen des Stadtklimas finden sich einerseits in der Umwandlung der ursprünglichen Bodenfläche in ein überwiegend durch künstliche Materialien versiegeltes Stadtgebiet und andererseits in der Veränderung der Biosphäre durch Reduzierung der mit Vegetation bedeckten Fläche. Dies führt einhergehend mit anthropogenen Einwirkungen durch technische Einrichtungen (thermische Auswirkungen des Kraftfahrzeugverkehrs, Industrie, Gewerbe und Hausbrand) zu einer Überwärmung der städtischen Siedlung und damit zur Ausbildung der sogenannten innerstädtischen Wärmeinsel. Das Auftreten mehrerer Wärmeinseln ist insbesondere durch Wechsel von versiegelten Heizflächen, Grasflächen, Parks, Wasserflächen usw. bedingt. Da Grasflächen ganztägig eher kühl bleiben haben strukturreiche Grünflächen wie auch Gewässer eine temperaturregulierende Funktion. Im Gegensatz dazu fungieren Straßen und Hauswände abhängig von Bausubstanz und Oberflächenfarbe als Wärmespeicher (FEZER 1995).

### 2.2.2 Luftfeuchte

Prinzipiell lässt sich feststellen, dass sich die Luftfeuchte im Jahres- bzw. Tagesverlauf am Gang der verdunstungsbestimmenden Klimafaktoren orientiert. Bei der Betrachtung der Luftfeuchte wird zwischen dem tatsächlichen Wasserdampfgehalt (beispielsweise spezifische oder absolute Feuchte) und dem Sättigungszustand (relative Feuchte) unterschieden. Insgesamt ist die Verteilung der Luftfeuchte stark an die Verteilung der Lufttemperatur gebunden. Steigt die Temperatur, so steigt auch der Sättigungsdampfdruck. Das Sättigungsdefizit wird dadurch größer und die Verdunstung steigt. Sinkt die Temperatur, sinkt der Sättigungsdampfdruck und nähert sich so dem Sättigungsdefizit an und der in der Luft enthaltene Wasserdampf kondensiert aus. Insbesondere Kaltluftseen und kalte Plateauzonen neigen daher in der Nacht zum Auskondensieren der in der Luft enthaltenen Luftfeuchte (KÜHNE 1999). Am Ende einer Einstrahlungsperiode liegen deutlich höhere Werte des Wasserdampfgehaltes in der Luft über einer Grasfläche, die bis in eine Höhe von 1,5 km reichen, vor. Im Kern einer Aufwindzone über unbedecktem Boden reichen die Winde am weitesten und erreichen Höhen von bis zu 2 km (BENDIX 2004). Pflanzen spielen somit eine wichtige Rolle bei der Verteilung der spezifischen Luftfeuchte. Sie transpirieren größere Mengen Wasser. Besonders Waldflächen weisen aufgrund der geringeren Ventilation stets eine höhere Feuchte als das Umland auf. Unterschiede finden sich jedoch in Art, Alter und Bewirtschaftungsform des Waldes. Besonders das Kronendach tritt gegenüber dem Freiland durch eine vermehrte Feuchteabgabe hervor (KÜHNE 1999).

Die unterschiedlichen Werte von Luftfeuchte und Niederschlagssumme in Stadt und Umland beruhen in erster Hinsicht auf der Effektivität und der räumlichen Verteilung von

Wasserdampfquellen und -senken (KUTTLER 1993). Die Luftfeuchte in Siedlungen ist besonders dadurch gekennzeichnet, dass weniger verdunstungsfähige Freiflächen zur Verfügung stehen. Dies resultiert vor allem aus der Tatsache, dass durch städtebauliche Maßnahmen die natürlichen Oberflächen weitgehend versiegelt werden. Dementsprechend wird der größte Teil des Niederschlagswassers durch die Kanalisation abgeführt und somit einer flächenhaften Verdunstung entzogen. Eine Speicherung des durch Niederschlag zugeführten Wassers ist ebenfalls kaum möglich (KUTTLER 1993, KÜHNE 1999). Prozesse, die zu einer Erhöhung des Wasserdampfgehaltes in der städtischen Atmosphäre führen, stellen beispielsweise die Freisetzung von Wasserdampf bei dem Verbrauch fossiler und regenerativer Brennstoffe und metabolischen Prozessen dar. Eine künstliche Zufuhr von Wasser existiert durch Wasserversorgungssysteme, wie Trink- und Brauchwasser. Auch eine erhöhte Niederschlagstätigkeit im Stadtgebiet sowie die durch die positive Temperaturanomale verursachte geringere Taubildung, tragen zur Erhöhung des Wasserdampfgehaltes in der Stadt bei. Zusätzlich liegt in der sogenannten Stadtgrenzschicht eine Vergrößerung des turbulenten Wasserdampftransportes vor (KUTTLER 1993). Im Vergleich zu der auf natürlichem Wege freigesetzten Feuchtigkeit sind diese anthropogenen Gründe für Wasserdampfemissionen auf die gesamte Stadtfläche bezogen jedoch kaum bedeutsam.

Aus den bereits genannten Effekten sowie der Tatsache, dass in Städten, im Gegensatz zum Umland, eine höhere Lufttemperatur vorliegt, lässt sich schließen, dass die relative Feuchte in Städten im Vergleich zum Umland deutlich geringer ist. Insbesondere bei Strahlungswetterlagen liegen über versiegelten Flächen im Vergleich zum Umland deutlich niedrige Werte vor (KUTTLER 1993; BRÜNDL, MAYER & BAUMGARTNER 1987). Da die relative Luftfeuchte, wie bereits beschrieben, ein von der Lufttemperatur abhängiges Feuchtemaß ist, kann man einen Teil der Feuchteunterschiede zwischen versiegelten und unversiegelten Flächen auf die positive städtische Temperaturanomale zurückführen (KUTTLER 1993).

### **2.2.3 Windsysteme**

Die Strömungsdynamik im Gelände ist grundsätzlich abhängig vom Wechsel der Landbedeckung und ihren thermischen Eigenschaften, die damit Richtung und Stärke des Windfeldes beeinflussen (allochthone Winde), sowie von der Topographie (autochthone Winde). In komplexer Topographie bilden sich thermische Gegensätze auch ohne Änderungen der Landbedeckungen aus. So führen bei diesen sogenannten autochthonen Wetterlagen Erwärmungsraten bedingt durch Hangneigung und -exposition sowie räumlich unterschiedliche Luftvolumina zur Ausbildung lokaler Windsysteme, wie Hangauf- und Hangabwinde sowie Berg- und Talwinde (BENDIX 2004).

In der Nacht kommt es aufgrund der Ausstrahlung zu einer verstärkten Auskühlung an den Hängen, sodass sich dort kalte Luft ausbildet, die sich unter die warme Luft schiebt und schwerkraftbedingt mit der Hangneigung abfließt (Kaltluftabfluss). Dieses schwerkraftbedingte Windsystem wird als katabatischer Hangabwind bezeichnet. Die Besonderheiten und Konsequenzen des Kaltluftabflusses sowie die Kaltluftproduktion, welche die Grundlage für den Kaltluftabfluss darstellt, wurden bereits erläutert. Zusätzlich ergibt sich eine Zirkulation entlang der Talachse, der sogenannte Bergwind (Talabwind), der letztlich aus der schwerkraftbedingten Akkumulation von Kaltluft in den Tälern resultiert und damit für die Ausbildung eines relativ kalten Taleinzugsgebietes mit Hochdruck am Boden und eines relativ warmen Vorlandes mit Tiefdruck am Boden verantwortlich ist (BENDIX 2004).

Städtische Bereiche unterliegen bezüglich der horizontalen und vertikalen Komponenten ihres Windfeldes im Vergleich zum nicht bebauten Umland deutlichen Veränderungen. Diese sind vor allem auf die durch die Bebauung hervorgerufene Rauigkeit der Oberflächen zurückzuführen und führen zu beträchtlichen Strömungswiderständen gegenüber der

Luftbewegung (KÜHNE 1999, LANDSBERG 1981). Allgemein gilt, dass die Stadt im Vergleich zum Umland niedrigere durchschnittliche Windgeschwindigkeiten aufweist. Bei schwachgradientigen Strahlungswetterlagen, insbesondere in der Nacht, herrschen jedoch meist umgekehrte Verhältnisse. Es bilden sich dann Stadt-Umland-Winde (Flurwinde), die Luftbewegungen beschreiben, welche vom Umland in das bebaute Gebiet hineinwehen und von der Hitzetiefbildung der städtischen Wärmeinsel induziert werden. Diese Winde zeichnen sich vor allem dadurch aus, dass sie keine gleichförmige Geschwindigkeit aufweisen und sich aufgrund der nicht überall gleichmäßigen Wärmeinseln nur dort ausbilden, wo es zu einer relativ starken thermischen Differenz zwischen bebauter und unbebauter Fläche kommt. Zusätzlich weisen sie dann eine stadtklimaverbessernde Wirkung auf, wenn sie saubere Luft, die nicht durch Emissionen aus dem Umland vorbelastet ist, möglichst weit in die Stadt hineintransportieren. Um eine ausreichende Ventilation eines Stadtgebietes zu gewährleisten ist es wichtig, Luftleitbahnen freizuhalten, über die insbesondere bei Schwachwindwetterlagen ein Luftaustausch möglich ist. Die wichtigsten Luftleitbahnen stellen Ein- und Ausfallstraßen, Bahntrassen, Grünflächen und Parkanlagen sowie Fließ- und Stillgewässer dar. Bezüglich ihrer Eignung für den Frischlufttransport sind Ein- und Ausfallstraßen vor allem aufgrund von Kfz- und Hausbrandemissionen für eine Verbesserung der Luftqualität nicht geeignet (KÜHNE 1999, KUTTLER 1993).

## 2.2.4 Lokalhumanbioklimatisch wirksame Größen

Zusätzlich zur Betrachtung der einzelnen bioklimatischen Größen ist es sinnvoll, kombinierte Größen zu betrachten. Hierzu gehören unter anderem die Wärmeregulation des menschlichen Organismus durch Wärmeproduktion und Wärmeabgabe sowie diverse Komponenten der Strahlungsbilanz des Menschen. Da die wechselnden Wärmeverhältnisse der Umwelt einen Einfluss auf den Wärmehaushalt des Menschen haben, muss auch hier eine Anpassung stattfinden (HENTSCHEL 1978).

Eine lokalhumanbioklimatische Aufnahme durch alle Komponenten des Wärmehaushaltes eines Menschen ist aufgrund des zu großen Aufwandes nicht möglich, sodass lokalbioklimatische Betrachtungen auf Kenngrößen beschränkt sind, die durch Verknüpfung klimatologischer Grundgrößen errechnet werden. Eine solche Kenngröße, die von weitreichender Bedeutung ist, stellt die Äquivalenttemperatur als Kenngröße für die thermische Belastung der Menschen dar. Es handelt sich dabei um keine unmittelbar messbare Größe, da sie lediglich aus verschiedenen klimatologischen Grundgrößen berechnet wird. Die Äquivalenttemperatur  $t_{\ddot{a}}$  (in °C) besteht aus einer Kombination von Lufttemperatur und Luftfeuchte, welche auf das Behaglichkeits- und Schwüleempfinden des Menschen einen enormen Einfluss hat. Sie wird folgendermaßen berechnet:

$$t_{\ddot{a}} = t_a + \frac{0,622 \cdot r' \cdot e}{p \cdot c_p}$$

wobei

$t_a$	=	Lufttemperatur in °C
$r'$	=	Verdunstungswärme des Wassers in Jkg <sup>-1</sup>
$e$	=	Dampfdruck in hPa
$p$	=	Luftdruck in hPa
$c_p$	=	spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck in Jkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>

(BRÜNDL MAYER & BAUMGARTNER 1986)



Als schwül werden die Umgebungsluftbedingungen laut Deutschem Wetterdienst eingestuft, wenn die Äquivalenttemperatur  $t_{\bar{a}} > 49 \text{ °C}$  ist. Mit dem Physioklimagramm nach Robitzsch und Leistner (FLACH 1957) kann man das Wärmeempfinden genauer differenzieren. Bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s gilt demnach:

Äquivalenttemperatur	Wärmeempfinden
$51,0 \leq t_{\bar{a}}$	schwül
$47,0 \leq t_{\bar{a}} < 51,0$	leicht schwül
$34,0 \leq t_{\bar{a}} < 47,0$	neutral (behaglich)
$27,0 \leq t_{\bar{a}} < 34,0$	leicht kühl
$t_{\bar{a}} < 27,0$	kühl

Die Äquivalenttemperatur stellt also die Kombination von fühlbarer und latenter Wärme, den sogenannten Gesamtwärmegehalt der Luft, dar. Es handelt sich dabei um die Temperatur, die eine Luftmenge annehmen würde, wenn der gesamte darin enthaltene Wasserdampf kondensieren und die dabei freiwerdende Kondensationswärme der Luft zugeführt würde. Liegt sowohl eine hohe Lufttemperatur als auch hohe Luftfeuchte vor, so wird, wie bereits beschrieben, die Wärmeabgabe des Körpers behindert. Der Vorteil der Äquivalenttemperatur gegenüber anderen bioklimatischen Größen liegt vor allem darin, dass die benötigten Parameter leicht aus den gemessenen klimatischen Größen errechnet werden können, sodass entlang der Messroute linienhafte Informationen vorliegen (KÜHNE 1999).

### 3 Methodik und Messung

#### 3.1 Messmethodik

Da die Daten konventioneller Messnetze wie dem des Deutschen Wetterdienstes, die nicht flächendeckend erhoben werden, für eine Untersuchung des Geländeklimas des gesamten Saarlandes unzureichend sind und der Aufbau und Betrieb eines temporären Messnetzes im Untersuchungsgebiet mit ausreichender Dichte bezüglich des Zeit- und Kostenfaktors schwerlich möglich ist, bietet sich die Durchführung einer wetterlagenabhängigen Fallstudie in Form von Messfahrten an. Gemessen wird dabei während einer stabilen Hochdruckwetterlage, die in Mitteleuropa mit einem Anteil von durchschnittlich 17% (62 Tage) im Jahr am Witterungsgeschehen beteiligt ist. Im Durchschnitt beträgt die Dauer einer solchen Hochdruckwetterlage etwa fünf Tage. Ihre größte Häufigkeit haben Hochdruckwetterlagen im September (25%), während im April der durchschnittliche Anteil auf 12% absinkt. Ein hoher Luftdruck besteht dann, wenn die Werte über 1020 hPa (auf NN reduziert) betragen. Die Hochdruckwetterlagen sind gerade deshalb für Messungen interessant, da sie sogenannte Oasen der Wetterruhe darstellen. Im Zentrum herrschen eigenständige Verhältnisse, Zuströme fremdbürtiger, aus anderen Gebieten stammender Luft fehlen. Der einzige Luftaustausch im Hoch besteht durch das Absinken von Luft aus den oberen Schichten der Troposphäre, die den Ersatz für die in den unteren Schichten nach allen Seiten ausströmende Luft bildet. Ist ein Hoch beständig genug, hält es alle Tiefdruckströmungen von sich ab und steuert die Schlechtwetterzonen im Uhrzeigersinn um

seinen Kern, bis das Hoch selbst ausweicht und sich in der bevorzugten West-Ost-Richtung fortbewegt.

Während einer entsprechenden Hochdruckwetterlage in der Nacht vom 15. zum 16. Oktober 2007 wurden Lufttemperatur (in °C) und absolute Feuchte (in g/m<sup>3</sup>) mit tragbaren Thermo-Hygrometern<sup>1</sup> der Firma Lufft entlang von 15 vorab festgelegten, über das Saarland verteilten Messrouten erfasst. Die Messfahrten wurden parallel zwischen 0.00 Uhr und 4.30 Uhr nachts durchgeführt. Die Dauer der einzelnen Messfahrten wurde auf ca. drei Stunden begrenzt, um die später erforderlichen tagesgangbedingten Korrekturen der Messwerte zu reduzieren. Damit die Sensoren der Handgeräte für die Messung von Lufttemperatur und -feuchte nicht von der Wärmeausstrahlung des Motors der verwendeten Fahrzeuge beeinflusst werden, wurde jeweils in einem Abstand von ungefähr 5 m zum Fahrzeug gemessen. Aus dem gleichen Grund sollte das Messgerät vom Körper weg und mit dem Sensor nach unten gehalten werden, damit die Körper- bzw. Handwärme die gemessenen Werte nicht verzerrt. Windrichtung und -geschwindigkeit wurden mittels abgeschätzt und die Windgeschwindigkeit in die Klassen „0 m/s – windstill“, „0,1 – 0,5 m/s schwacher Wind“, „0,6 – 1 m/s mäßiger Wind“ und „> 1 m/s – starker Wind“ eingeteilt. Diese unkonventionelle Messmethode hat sich als verlässliche und zugleich kostengünstige Alternative zur Anschaffung von Anemometern erwiesen.

Von zentraler Bedeutung ist die Festlegung einer möglichst optimalen Routenführung unter gegebenen Bedingungen wie Relief und Straßenführung. Bei der Ausarbeitung der Messrouten für die vorliegende Studie wurde vor allem Wert darauf gelegt, dass die Strecken gut befahrbar sind und die einzelnen Messpunkte somit gut erreicht und auch in der Dunkelheit gut identifiziert werden können. Bei der Festlegung der insgesamt 397 Messpunkte wurden vor allem deren Lage im Gelände und die Topographie berücksichtigt. Um Frischluft- bzw. Kaltluftbahnen des Saarlandes ausweisen zu können, ist es von Bedeutung, dass die Messpunkte verschiedene Reliefzüge wie Täler, Hänge und Hochplateaus der ausgearbeiteten Routenführung folgend abdecken. Frischluftbahnen, die das Eindringen schadstoffarmer und kühler Luft des Umlandes in relativ belastete Siedlungsgebiete ermöglichen, sind oftmals durch Täler, Taleinschnitte und sonstigen Freiflächen gegeben. Kaltluftbahnen führen hauptsächlich bei austauscharmen Hochdruckwetterlagen zum Abfließen kühler Luftmassen an Hängen aufgrund der nächtlichen Auskühlung. Doch nicht nur das Relief, sondern auch die Bodennutzung sollte bei der Festlegung der Messpunkte berücksichtigt werden. Wirksame Kaltluft wird vor allem auf Wiesen- oder Ackerflächen produziert. Bedeutsame Messpunkte zur Erfassung von Kaltluftbahnen sind daher vor allem Freiflächen bzw. Offenlandflächen, die auch in den Tälern und an Hängen eine große Rolle spielen, da sie dort das ungestörte Abfließen der Kaltluft ermöglichen. Für die Frischluftproduktion hingegen sind vor allem Flächen mit hoher Vegetation – also Waldflächen – sinnvoll, da diese sauerstoffreiche Luft erzeugen und Schadstoffe filtern. Verdichtungsräume wie größere Städte sind ebenfalls interessant für die Messung, da diese zum einen ein Hindernis für den Kalt- und Frischluftabfluss darstellen, zum anderen aber gerade diese Bereiche mit Frischluft versorgt werden müssen und daher diverse Ventilationsbahnen ausweisen sollten.

Die Festlegung der Messrouten und der einzelnen Messpunkte ergab sich somit aus Kompromissen zwischen gewünschtem Informationsgewinn, Lage im Relief und Vegetationsbedeckung sowie der Erreichbarkeit von Wegen und Straßen und dem Zeitaufwand.

---

<sup>1</sup> Die Thermometer der verwendeten Thermo-Hygrometer weisen eine Messwertgenauigkeit von  $\pm 0,4$  °C bei Temperaturen von 0 bis 40 °C auf. Bei Temperaturen, die außerhalb dieses Intervalls liegen, besteht eine Genauigkeit von  $\pm 0,7$  °C + 1 Digit. Der Messbereich der Geräte umfasst Temperaturen von – 20 bis 50 °C (Herstellerangabe). Die Hygrometer verfügen über eine Messwertgenauigkeit von  $\pm 3\%$  r.F. + 1 Digit im Messbereich von 5 bis 95% r.F.

### 3.2 Auswertungsverfahren

Um ein möglichst exaktes Bild der Verteilung der jeweiligen Werte zu erhalten, ist es notwendig, die während der Messfahrt erfassten Messgrößen im Nachhinein zu korrigieren, da diese von ihrem Tagesgang beeinflusst werden. Für einen beliebigen Messpunkt wird ein Bezugswert berechnet, der aus der Differenz der Werte zwischen dem ersten Messpunkt zu Beginn der Messung und dem ersten Messpunkt am Ende der Messung als letzter Messpunkt hervorgeht. Dieser Wert legt die hypothetisch an diesem Punkt herrschende Lufttemperatur fest, die gegeben wäre, wenn die Temperaturdifferenzen allein durch den Tagesgang, nicht aber durch stadt- oder geländeklimatische Einflüsse geprägt wären. Bei diesem Verfahren wird davon ausgegangen, dass kurze Teilabschnitte einer Regressionskurve ähnlich einer Geraden verlaufen, da während der gewählten Messzeiträume keine Maximal- und Minimalwerte bezüglich des Tagesgangs auftreten. Bezüglich der Lufttemperatur ergibt sich folgende Formel:

$$\Delta t_{k-A} = t_k - \left[ t_A + \frac{t_E - t_A}{n-1} \cdot (k-1) \right]$$

wobei

$\Delta t_{k-A}$	=	Temperaturdifferenz am Messpunkt k zum errechneten Wert am ersten/letzten Messpunkt
$t_k$	=	gemessene Temperatur am Messpunkt k
$t_A$	=	Temperatur zu Beginn der Messfahrt am ersten/letzten Messpunkt
$t_E$	=	Temperatur am Ende der Messfahrt am ersten/letzten Messpunkt
$n$	=	Gesamtzahl der Messpunkte
$k$	=	Messpunkt (laufende Nummer)

Für eine flächenhafte Abbildung potenziell kaltluftbeeinflusster Gebiete wurden die aufgenommenen Messwerte unter Einsatz eines geographischen Informationssystems raumbezogen ausgewertet. Dazu wurden vor allem Faktoren berücksichtigt, die gut erfassbar sind und einen dominanten Einfluss auf die Ausprägung des lokalen Klimas mit sich bringen. Zur flächenhaften Abbildung der Klimaparameter wurden in Anlehnung an die Arbeit von DUTTMANN, MOSIMANN & WICKENKAMP (1994) Regressionsmodelle erarbeitet. Folgende Arbeitsschritte waren dazu erforderlich:

1. Strukturierung und Einrichtung einer Flächen- und Standortdatenbank innerhalb des Geoinformationssystems, die als Grundlage für die GIS-gestützten Regressionsmodellierungen dient. Sie beinhaltet unter anderem ein Höhenmodell des Saarlandes mit den daraus abgeleiteten Expositions- und Hangneigungsmodellen sowie ein Modell zur Landnutzung im Saarland.
2. Implementierung der digitalen Modelle.
3. Digitalisierung der gemessenen Daten bzw. Übernahme von bereits vorliegenden Raumbezugsdaten.
4. Statistische Analyse der Zusammenhänge zwischen der Minimumtemperatur und den sie wesentlich beeinflussenden Geländeparametern.

5. Ableitung der Regressionsmodelle für die flächenhafte Abbildung der Klimaparameter im Untersuchungsgebiet.
6. Rechnerbasierte Abbildung der Klimaparameter auf der Grundlage der Regressionsmodelle.

Zur Erstellung der Karten und Auswertung der gemessenen Daten kamen die Informationssysteme ArcGIS Desktop und IDRISI Kilimanjaro zum Einsatz. Die Darstellung und Analyse der Verteilung von Temperatur, Luftfeuchte und Äquivalenttemperatur erfolgte im Rasterformat (IDRISI), die Windsysteme wurden im Vektorformat (ArcGIS) bearbeitet und dargestellt.

Folgende raumbezogene Eingangsdaten wurden für die GIS-gestützten Regressionsmodellierungen und Regionalisierungen verwendet:

- Expositions- und Hangneigungsmodell des Saarlandes
- Flächennutzungserhebungen des Saarlandes
- digitales Höhenmodell des Saarlandes
- Gewässernetz des Saarlandes

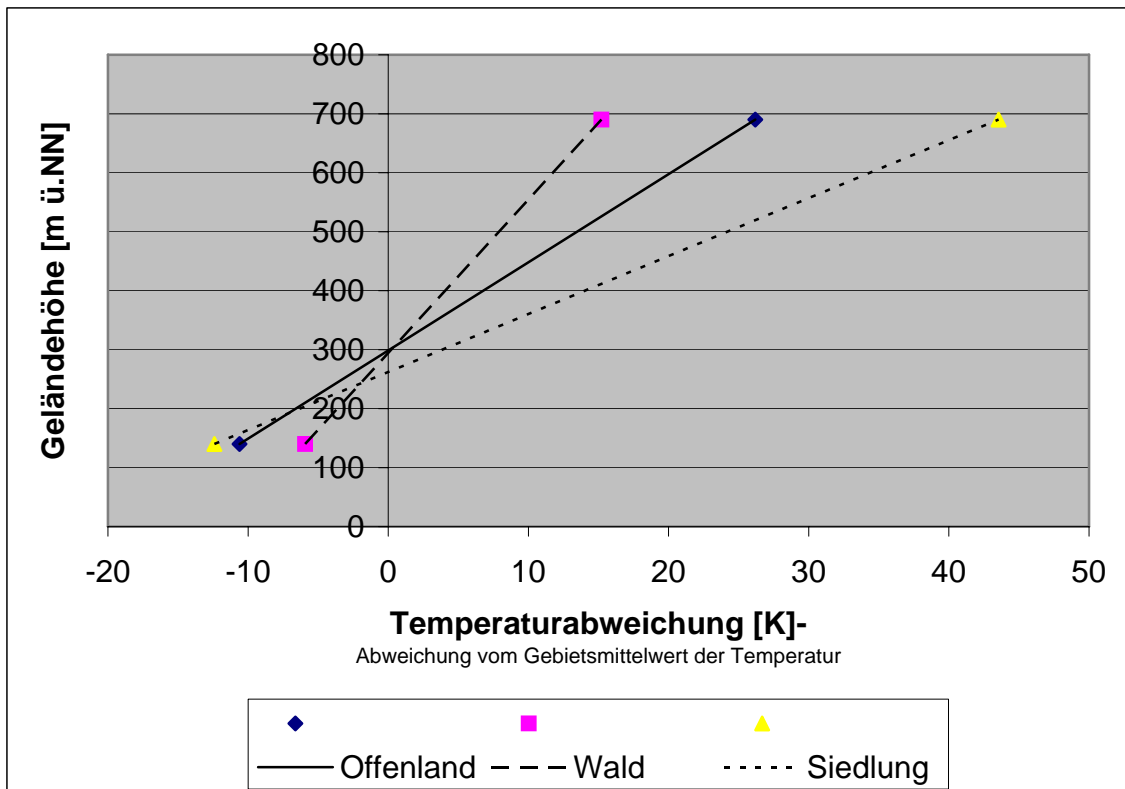
## 4 Ergebnisse

### 4.1 Die Abhängigkeit von Lufttemperatur, absoluter Luftfeuchte und Äquivalenttemperatur von topographischen Variablen

Lufttemperatur, absolute Luftfeuchte und Äquivalenttemperatur sind in signifikanter, mathematisch modellierbarer Weise von topographischen Variablen abhängig. Hinsichtlich der Untersuchung der Temperaturverteilung wurden daher die Faktoren Geländeform, Geländehöhe, Exposition sowie Oberflächenbedeckung als Einflussgrößen berücksichtigt. Zu diesen Größen wurden die an 397 Geländepunkten gemessenen Abweichungen vom Gebietsmittelwert der Temperatur (Mittelwert aller während der Messfahrt erfassten und zeitkorrigierten Messwerte) statistisch in Beziehung gesetzt. Gerade im Vergleich zwischen Stadt, Umland und Waldgebieten lassen sich deutliche Temperaturunterschiede nachweisen. Für die Untersuchungen der Temperatur in Abhängigkeit der Bodennutzung wurde daher zwischen Siedlungen, Offenland (Ackerflächen, Wiesen und Weiden sowie sonstige Grünflächen) und Wald unterschieden. Tabelle 1 zeigt die für die unterschiedlichen Nutzungsformen festgestellten Unterschiede der Temperatur.

	<b>Offenland (n = 155)</b>	<b>Siedlungen (n = 140)</b>	<b>Wald (n = 102)</b>
arithm. Mittel *	-0,04	-0,13	0,16
Standardabw.	1,97	1,7	1,7
Varianz	3,87	2,87	2,88
* Abweichung der Temperatur vom Gebietsmittelwert der Minimumtemperatur			

**Tab. 1:** Abweichung der Minimumtemperaturen vom Gebietsmittelwert in Abhängigkeit von der Nutzungsform



**Abb. 2:** Abhängigkeit der Temperaturabweichung verschiedener Nutzungsformen von der Geländehöhe

Abbildung 2 macht deutlich, dass sich für alle Nutzungsformen eine mit der Zunahme der Geländehöhen einhergehende Temperaturzunahme bzw. eine vom Gebietsmittelwert der Temperatur zunehmend positiv abweichende Temperatur beobachten lässt, was auf die stabilen Schichtungsverhältnisse in Strahlungsnächten zurückzuführen ist.

Der für die jeweiligen Nutzungsformen errechnete Zusammenhang lässt sich mit den in Tabelle 2 dargestellten Regressionsgleichungen beschreiben.

<b>Offenland</b>	$y = 14,947x + 298,57$	$r = 0,39$
<b>Siedlungen</b>	$y = 9,8274x + 261,98$	$r = 0,277$
<b>Wald</b>	$y = 26,021x + 294,3$	$r = 0,491$
y – Geländehöhe [m ü. NN]		
x – Temperaturabweichung vom Gebietsmittel der Temperatur [K]		

**Tab. 2:** Regression zwischen der Abweichung der Temperatur vom Gebietsmittel der Temperatur und der Geländehöhe für unterschiedliche Nutzungsformen

Der Korrelationskoeffizient  $r$  ist dabei ein Maß für den Grad der Abhängigkeit zwischen zwei Variablen, das Werte im Intervall  $[-1,1]$  annimmt. Die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen den beiden Variablen ist umso größer, je näher der Wert des Korrelationskoeffizienten bei 1 liegt (BAHRENBURG, GIESE & NIPPER 1999). Die vorliegenden relativ niedrigen Korrelationskoeffizienten lassen sich durch die grobe Unterteilung der verschiedenen

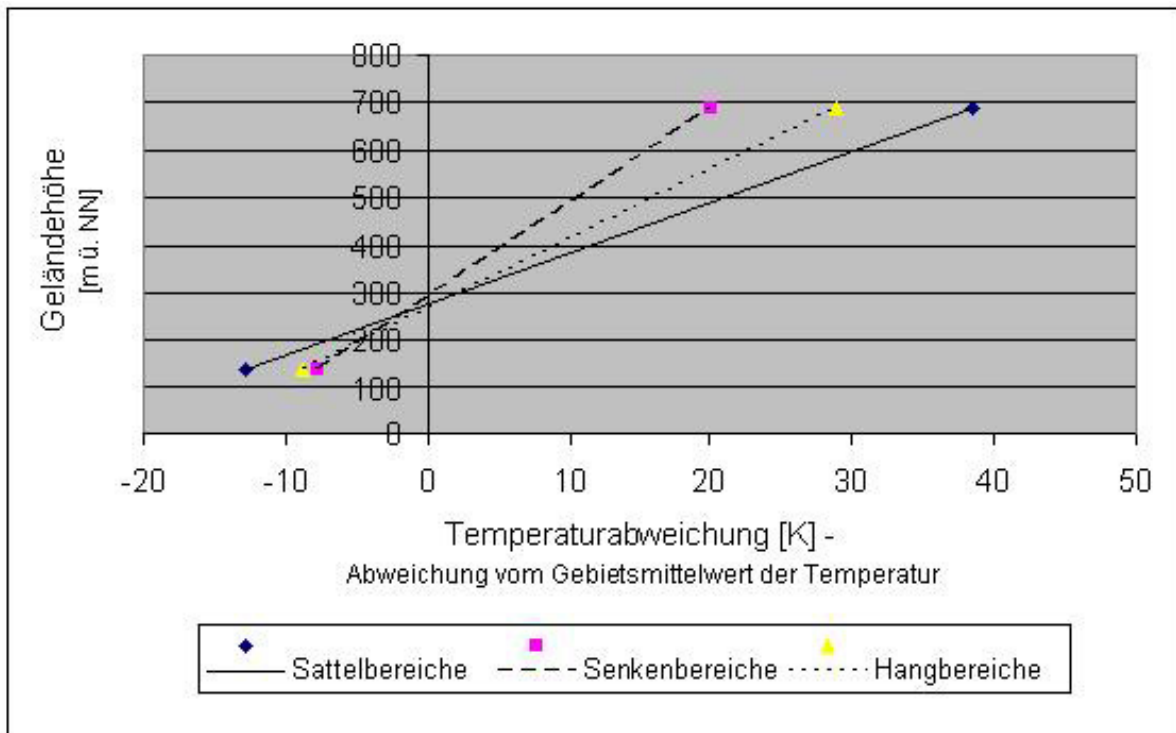
Nutzungsformern erklären. So hängt beispielsweise die Temperatur gerade in städtischen Siedlungen unter anderem von der Bebauungsstruktur, Grad der Versiegelung, Absorptions- und Reflexionsverhältnissen, Straßenverlauf und -breite sowie anthropogenen Einwirkungen – Hausbrand, Industrie und Abgase – ab. Unter der Nutzungsform „Siedlungen“ werden auch kleinere Ortschaften berücksichtigt, die durch eine inhomogene Baukörperstruktur gekennzeichnet sind und wo ein ständiger kleinräumiger Wechsel von dichter, lockerer und fehlender Bebauung die Regel ist. Diese Faktoren drücken sich in der Ausbildung verschiedener Temperaturwerte aus, die jedoch in der Nutzungsform „Siedlungen“ zusammengefasst werden und damit eine relativ weite Wertestreuung beinhalten (DUTTMANN, MOSIMANN & WICKENKAMP 1994). Eine solche Streuung findet sich ebenfalls in der Nutzungsform „Offenland“. Hier sind Ackerflächen, Wiesen und Weiden sowie sonstige Grünflächen zusammengefasst, die wiederum jeweils unterschiedliche Temperaturwerte ausbilden und damit die Wertestreuung bewirken. Der Korrelationskoeffizient der Landnutzungsform „Wald“ liegt zwar im Vergleich zu den beiden anderen Nutzungsformen höher, allerdings könnte auch hier zwischen Nadelwäldern und Laubwäldern sowie unterschiedlichen Waldstrukturen unterschieden werden, die eine unterschiedlich intensive nächtliche Ausstrahlung aufweisen.

Eine entscheidende Rolle hinsichtlich des Einflusses der Geländeform spielen dabei konkave und konvexe Formen. Konkave Formen wie Mulden, Muldentäler und Kessel sind im Allgemeinen deutlich kälter, konvexe Formen wie Kuppenlagen und Scheitelbereiche, die im Gegensatz zu konkaven Formen einen raschen Abfluss der Kaltluft ermöglichen, sind somit wärmer als andere in gleicher Höhe auftretende Reliefformen. Betrachtet werden im Folgenden also Kuppen und Scheitelbereiche, Hangbereiche sowie Senkenlagen und Mulden. Tabelle 1 zeigt die für die unterschiedlichen Oberflächenformen festgestellten Unterschiede der Temperatur.

	<b>Scheitelbereiche, Kuppen</b>	<b>Hangbereiche</b>	<b>Senkenlagen, Mulden</b>
arithm. Mittel *	-0,19	0,05	0,1
Standardabw.	1,68	2,11	1,87
Varianz	2,83	4,45	3,5
* Abweichung der Temperatur vom Gebietsmittelwert der Minimumtemperatur			

**Tab. 3:** Abweichung der Minimumtemperaturen vom Gebietsmittelwert in Abhängigkeit von der Geländeform

Wie bereits für die verschiedenen Nutzungsformen beschrieben, zeigt Abbildung 3 auch für die Reliefformen einen mit der Zunahme der Geländehöhe verbundenen Anstieg der Temperatur. Eine Verringerung der Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Formen mit zunehmender Annäherung an die niedrigsten Gebietshöhen lässt sich auf nächtliche Kaltluftflüsse zurückführen, welche die Geländelagen bis zu einem gewissen Niveau mit Kaltluft füllen.



**Abb. 3:** Abhängigkeit der Temperaturabweichung verschiedener Oberflächenformen von der Geländehöhe

Der errechnete Zusammenhang der jeweiligen Oberflächenformen wird auch hier durch Regressionsgleichungen beschrieben. Tabelle 4 zeigt die Gleichungen und den zugehörigen Korrelationskoeffizienten.

<b>Scheitelbereiche</b>	$y = 10,707x + 277,54$	$r = 0,3$
<b>Hang</b>	$y = 14,578x + 276,48$	$r = 0,33$
<b>Senkenlagen</b>	$Y = 19,706x + 293,67$	$r = 0,47$

y – Geländehöhe [m ü. NN]  
x – Temperaturabweichung vom Gebietsmittel der Temperatur [K]

**Tab. 4:** Regression zwischen der Abweichung der Temperatur vom Gebietsmittel der Temperatur und der Geländehöhe für unterschiedliche Oberflächenformen

Die relativ niedrigen Korrelationskoeffizienten lassen sich auch hier durch eine grobe Einteilung der jeweiligen Klassen erklären.

Da der Strahlungsgewinn in unseren Breiten an Süd- und Südwesthängen am höchsten ist und somit einen erheblichen Einfluss auf die Temperatur nimmt, soll die Exposition im Zusammenhang mit der Temperaturverteilung ebenfalls betrachtet werden. Dabei werden Hangbereiche, in denen der Strahlungsgewinn am niedrigsten ist, also insbesondere nordexponierte Hänge, als „nicht relevante Exposition“, und strahlungsrelevante Hangbereiche mit Süd- und Südwesthängen als „relevante Exposition“ eingestuft. Tabelle 5 zeigt die festgestellten Unterschiede der Temperatur abhängig von der Exposition.

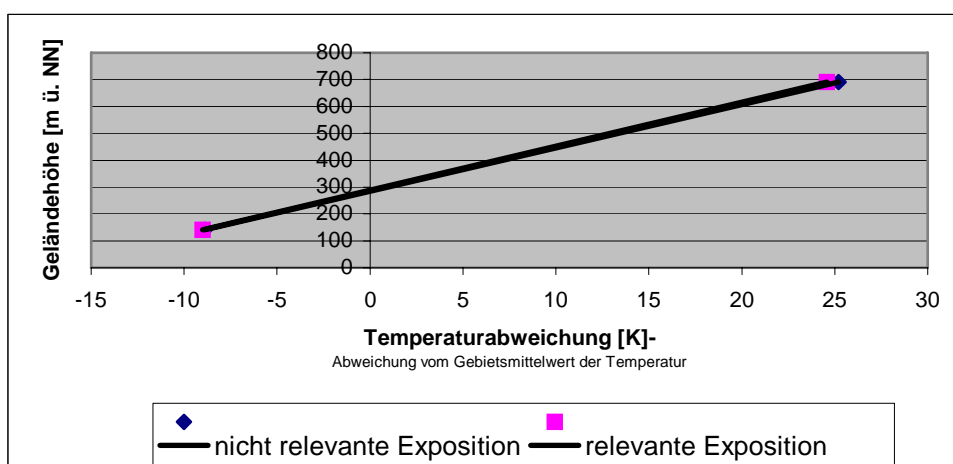
	nicht relevante Exposition	relevante Exposition
arithm. Mittel *	-0,03	-0,01
Standardabw.	1,77	1,85
Varianz	3,15	3,41
* Abweichung der Temperatur vom Gebietsmittelwert der Minimumtemperatur		

**Tab. 5:** Abweichung der Minimumtemperaturen vom Gebietsmittelwert in Abhängigkeit von der Geländeform

Auch für die Exposition zeigt sich mit Abbildung 4 ein Anstieg der Temperatur mit Zunahme der Geländehöhe. Demnach errechnet sich der Zusammenhang der jeweiligen Exposition durch die Regressionsgleichungen, die in Tabelle 6 beschrieben sind. Die Korrelationskoeffizienten, die auch in diesem Fall nicht allzu hoch ausfallen, sind auch hier aufgrund der groben Einteilung der beiden Klassen ableitbar. So werden neben den Süd- und Südwesthängen auch west- und ostexponierte Hänge als „relevante Exposition“ eingestuft. Da diese jedoch unterschiedliche Temperaturen ausbilden, erfolgt abermals eine Wertestreuung.

nicht relevante Exposition	$y = 16,137x + 283,24$	$r = 0,37$
relevante Exposition	$y = 16,373x + 287,6$	$r = 0,41$
y – Geländehöhe [m ü. NN]		
x – Temperaturabweichung vom Gebietsmittel der Temperatur [K]		

**Tab. 6:** Regression zwischen der Abweichung der Temperatur vom Gebietsmittel der Temperatur und der Geländehöhe für unterschiedliche Oberflächenformen



**Abb. 4:** Abhängigkeit der Temperaturabweichung verschiedener Expositionen von der Geländehöhe



Werden die beschriebenen Einflüsse auf die Temperatur zusammengefasst, so zeigt sich ein enger Zusammenhang zwischen Temperatur und Geländehöhe. Um nun den gemeinsamen Einfluss der Nutzungs- und Oberflächenformen sowie der Exposition auf die Temperatur abschätzen zu können, wurden Klassen mit jeweils gleicher Exposition, Nutzungs- und Oberflächenform gebildet und eine einfache lineare Regression über die Höhe gerechnet. Für Wald- und Siedlungsflächen wurde lediglich eine Regressionsgleichung ermittelt, da diese weitgehend unabhängig von Oberflächenform und Exposition Temperaturwerte ausbilden. Zudem sind nicht alle diese Nutzungsformen in allen Reliefformen vertreten.

Die flächenhafte Darstellung der Abweichung der Temperatur von ihrem Gebietsmittel erfolgt über eine Interpolation der einzelnen gemessenen Werte. Da, wie bereits erwähnt, die Geländehöhe in einem engen Zusammenhang zur Temperatur steht, wurden die einzelnen Messwerte zunächst mit Hilfe der Regressionen (siehe Tabelle 7) auf Meeresniveau umgerechnet. Diese Regressionsgleichungen beziehen sich jedoch nicht – wie die bisherigen – auf die Abweichung der Temperatur vom Gebietsmittel, sondern aufgrund der Bearbeitung mit IDRISI (Modul Image-Calculator) auf die gemessenen und zeitkorrigierten Temperaturwerte. Dies ist insofern durchführbar, da die Steigung der Regressionsgeraden sowohl von der gemessenen und zeitkorrigierten Temperatur als auch von den Abweichungen der Temperatur von ihrem Gebietsmittel, die gleichen sind. Sind die Werte auf Meeresniveau umgerechnet, werden sie interpoliert, um anschließend mit den gegebenen Regressionen wieder auf die eigentliche Höhenlage zurückgerechnet zu werden. Die Darstellung der Temperaturabweichungen vom Gebietsmittel erfolgt dann durch Subtrahieren des Gebietsmittelwertes von den interpolierten und auf die tatsächliche Höhenlage gerechneten Temperaturwerten mit Hilfe des Image-Calculator von IDRISI Kilimanjaro.

		Offenland	Siedlungen	Wald
Ebene		$y = 35,692x - 78,969$		
Sattel- bereiche	nicht relev. Exposition	$y = 16,844x + 118,5$		
	relevante Exposition	$y = 10,983x + 174,43$		
Senken	nicht relev. Exposition	$y = 12,47x + 163,1$	$y = 9.8274x + 152.88$	$y = 26.021x + 5.419$
	relevante Exposition	$y = 23,097x + 57,839$		
Hang- bereiche	nicht relev. Exposition	$y = 18,429x + 67,218$		
	relevante Exposition	$y = 0,138x + 280,27$		

**Tab. 7:** Regression zwischen der gemessenen und zeitkorrigierten Temperatur und der Geländehöhe für unterschiedliche Oberflächen- und Nutzungsformen unter Berücksichtigung der Exposition

Zur flächenhaften Darstellung der absoluten Feuchte im Saarland wird dieser Zusammenhang derart genutzt, dass die Darstellung der Feuchteverteilung durch eine lineare Regression über die Temperaturverteilung (Verteilung der gemessenen und zeitkorrigierten Temperaturwerte) erfolgt. Da der Korrelationskoeffizient einen Wert von 0,8239 annimmt, ist also von einer starken Abhängigkeit von Temperatur und absoluter Feuchte auszugehen. Die flächenhafte Darstellung der absoluten Feuchte durch die lineare Regression über die Temperaturverteilung ist somit möglich und erfolgt wie die Darstellung der Temperatur als Abweichung der absoluten Feuchte vom Gebietsmittel der absoluten Feuchte (Mittelwert aller während der Messfahrt erfassten und zeitkorrigierten Messwerte). Auch die flächenhafte Darstellung der Äquivalenttemperatur erfolgt als Abweichung der Äquivalenttemperatur vom Gebietsmittel der Äquivalenttemperatur (Mittelwert aller Äquivalenttemperaturwerte).

Die Windverteilung des Saarlandes wird durch Richtungspfeile an den jeweiligen Messpunkten dargestellt. Die Pfeile geben außerdem die Stärke des gemessenen Windes in drei Kategorien an. Bei der Windstärke wird unterschieden zwischen Windstille (0 m/s), schwachem Wind (0,1 – 0,5 m/s), mäßigem Wind (0,6 – 1 m/s) und starkem Wind (> 1m/s).

## **4.2 Regionalisierte Auswertung der Untersuchung**

Für den Zeitraum der Messfahrten in der Nacht vom 15. zum 16. Oktober 2007, die unter wolkenlosem Himmel stattfanden, wird die Großwetterlage vom DEUTSCHEN WETTERDIENST (2007) als „Südwestlage, Mitteleuropa überwiegend antizyklonal (SWa)“ angegeben. Diese ist dem Großwettertyp Südwest zuzuordnen.

### **4.2.1 Temperatur**

Die Verteilung der Lufttemperatur ist in Karte 1 als Abweichung (in K) vom Gebietsmittelwert der Temperatur dargestellt, welcher den Mittelwert aller während der Messfahrt erfassten und zeitkorrigierten Messwerte beschreibt. Dieser Wert beträgt für die Messungen vom 15. Oktober 2007 11,10 °C. Die maximale positive Temperaturabweichung vom Gebietsmittelwert mit +8,27 K ist in der Nähe von Düppenweiler zu verzeichnen. Die maximale negative Temperaturabweichung findet sich mit einer Abweichung von -9,25 K im Bereich Elzenberger Mühle in der Nähe des Bostalsees. Wie zu erwarten, lassen sich die kühleren Bereiche in der Karte vor allem Senkengebieten zuordnen, die sich aufgrund der Akkumulation von Kaltluft und Kaltluftabfluss im Allgemeinen durch niedrigere Temperaturen von ihrer Umgebung unterscheiden. Wie aus Karte 1 ersichtlich, folgt die Verteilung der kühleren Bereiche dem Verlauf der größeren Flussläufe des Saarlandes – wie Prims, Nahe, Blies und Saar – und ihren Nebenflüssen. Eine Ausnahme bildet dabei die Saar, was durch die dichte Besiedelung im Bereich ihres Flusslaufs zu begründen ist.

Ein Teil der in Karte 1 deutlich hervortretenden kühleren Bereiche liegt im Tal der Prims sowie in den Mündungsbereichen der Primsnebenflüsse. So findet sich ein größeres Kältegebiet im Mündungsbereich des Wahnbaches bei Noswendel. Dieses erhält zum einen durch seine Senkenlage einen Kaltluftzufluss von den Hängen, zum anderen kann aufgrund der Oberflächenbeschaffenheit und -bedeckung (Offenland) von einer autochthonen Kaltluftproduktion ausgegangen werden. Die größte Temperaturabweichung vom Gebietsmittel in diesem Gebiet wird mit -6,9 K erreicht. Das benachbarte Gebiet mit den Mündungen von Wadrill und Löster in die Prims weist ähnliche Strukturen auf und erklärt damit die negativen Temperaturabweichungen in diesem Bereich, insbesondere auch durch den Zufluss von Kaltluft aus den Tälern der beiden Nebenflüsse. Ein weiteres Kältegebiet im Verlauf der Prims findet sich in und um die Ortschaft Primstal mit negativen Abweichungen vom Gebietsmittel von -6,2 K. Auch hier erfolgt wohl ein Kaltluftzufluss von den Hängen, der die erhöhte negative

Temperaturabweichung erklärt. Aufgrund der siedlungsnahen Lage des Gebietes kann jedoch von einer eigenständigen Kaltluft nur eingeschränkt ausgegangen werden, wenn man betrachtet, dass hier eine gelockerte Siedlungsstruktur vorliegt und die Ortschaft insbesondere nachts nicht stark befahren ist.

Auch der Verlauf der Theel, als Nebenfluss der Prims, ist durch eine negative Temperaturabweichung vom Gebietsmittelwert charakterisiert. Es finden sich dabei im Bereich um Lebach Abweichungen von bis zu  $-6,9$  K, die sich ebenfalls durch den Zufluss von Kaltluft erklären lassen. Auch innerhalb des Stadtgebiets lassen sich negative Abweichungen von durchschnittlich  $-4$  K erkennen, was unter anderem auf eine gute Durchlüftung der Stadt hinweist. Städtische Siedlungsbereiche sollten insbesondere in Strahlungs Nächten als Wärmeinsel hervortreten. Daher lässt die Tatsache, dass in der Stadt Lebach im Vergleich zum Umland eher geringe Temperaturen vorliegen, die Aussage zu, dass die Stadt, bedingt durch ihre Senkenlage, eher unter geländeklimatischen als stadtklimatischen Einflüssen steht und vom Umland ausreichend mit kalter Luft versorgt wird. Zudem begünstigt die Lage der Stadt im Mündungsbereich des Habacher Baches in die Theel die dort vorliegenden negativen Temperaturabweichungen. Dies ist der Fall, da sich in diesem Bereich die aus dem Tal des Habacher Baches abfließende Kaltluft sammelt. Die stärkste Temperaturabweichung liegt hier jedoch ebenfalls außerhalb der Siedlung, östlich und südöstlich der Stadt. Bei einem im Süden der Stadt mit ungefähr  $300$  m deutlich höher gelegenen Bereich mit Abweichungen vom Gebietsmittel um  $-5$  K könnte es sich um das Kaltluftentstehungsgebiet handeln, welches die in die Stadt Lebach abfließenden Kaltluftflüsse bedingt.

Im Süden von Marpingen, im Tal des Alsbachs, lassen sich ebenfalls hohe negative Temperaturabweichungen von circa  $-6$  K feststellen. Dieses Gebiet ist vergleichbar mit dem Gebiet Noswendel. Durch die Offenlandlage im Senkenbereich kann hier auch zusätzlich zum Kaltluftzufluss eine eigenständige Kaltluftproduktion vorliegen.

Im Einzugsgebiet der Nahe im nordöstlichen Saarland befinden sich ebenfalls aus der Karte ersichtliche Bereiche hoher negativer Temperaturabweichungen vom Gebietsmittel. Im Gebiet um die Elzenberger Mühle liegt mit einer Temperaturabweichung vom Gebietsmittel von  $-9,25$  K der kälteste Punkt des Untersuchungsraumes. Interessant ist dabei, dass dieses Gebiet nach Nordosten und Süden jeweils von Wald begrenzt ist und somit eigentlich höhere Temperaturen vorliegen könnten. Die vorherrschenden niedrigen Temperaturen lassen sich jedoch durch das im Norden und Nordwesten anschließende Offenland begründen, welches zum einen zur Kaltluftproduktion, zum anderen aber auch zum ungehinderten Kaltluftabfluss beiträgt. Im Bereich der Elzenberger Mühle, an der Nahe gelegen, kann sich die Kaltluft somit sammeln und wird zusätzlich von den angrenzenden Waldgebieten, die einen weiteren Abfluss der kalten Luft entlang des Flusslaufes behindern, regelrecht gestaut. Die doch sehr starke negative Abweichung vom Gebietsmittel kann aber auch als Folge eines Messfehlers entstanden sein, der durch die Interpolation der Werte zusätzlich verstärkt wurde. Man kann davon ausgehen, dass hier, wie in den bereits beschriebenen Gebieten, grundsätzlich Abweichungen von ungefähr  $-6$  K vorliegen, die durch die beschriebenen Eigenschaften des Gebiets durchaus erklärt werden können.

Ein weiteres Areal, das durch Temperaturabweichungen von durchschnittlich  $-5$  K gekennzeichnet ist, findet sich nördlich von Wolfersweiler, am Freisbach gelegen. Auch hier fördert Offenland die Kaltluftproduktion und die Senkenlage des Gebietes die Ansammlung der abgeflossenen Kaltluft. Diese Tatsache wird außerdem dadurch verstärkt, dass vom Freisbach in diesem Bereich mehrere kleine Kanäle abzweigen.

Im Einzugsgebiet der Blies im östlichen Saarland treten insgesamt vier größere Gebiete mit deutlich negativen Abweichungen vom Gebietsmittel der Temperatur in Erscheinung. Im Verlauf der Blies von Bliesen bis nach Neunkirchen befindet sich das erste dieser Gebiete. Hier lassen sich durchgehend Abweichungen von durchschnittlich  $-3$  K feststellen. Vereinzelt nehmen diese Werte

von bis zu -6 K an, beispielsweise in Mündungsbereichen von kleineren Bächen in die Blies. Die allgemein niedrigen Temperaturen werden in diesem Abschnitt durch die weite Verbreitung von Offenland begünstigt, welches – wie auch in vorangegangenen Beispielen – die Produktion von Kaltluft fördert. Die Tallage begünstigt wiederum das Sammeln der Kaltluft. Die Stadt Ottweiler erfüllt ähnliche Bedingungen wie die bereits beschriebene Stadt Lebach. Auch hier liegen Temperaturabweichungen im negativen Bereich von rund -2 K vor. Durch die Senkenlage und die vorliegende Bebauungsstruktur wirken hier zunächst geländeklimatische Aspekte, welche die stadtklimatischen Faktoren überlagern.

Im Gegensatz dazu lassen sich in der südlich von Ottweiler gelegenen Stadt Neunkirchen kaum Temperaturabweichungen (0 bis +0,9 K) feststellen, so dass davon auszugehen ist, dass hier stadtklimatische Faktoren wie die Bildung einer Wärmeinsel wirken. Neunkirchen unterbricht damit die, dem Verlauf der Blies folgenden, konstant niedrigen Temperaturen mit negativer Abweichung vom Gebietsmittel. Im Nordosten schließt sich an Neunkirchen ein Bereich der positiven Temperaturabweichung an, der als warme Hangzone eingeordnet werden kann. Weiter im Nordosten folgen wiederum vereinzelt kältere Bereiche. Hierbei könnte es sich demnach um Kaltluftentstehungsgebiete handeln. Im Süden von Neunkirchen folgt, mit dem Verlauf der Blies, ein weiteres Gebiet negativer Temperaturabweichungen, welches sich, bedingt durch die Täler des Schwarzbachs, Erbachs und Feilbachs, nach Osten hin bis zur Grenze zu Rheinland-Pfalz fortsetzt. Da diese kleineren Flüsse jedoch parallel zur Blies verlaufen, erfolgt dabei ein Wechsel zwischen Gebieten der Kaltluftansammlung in den Senkenlagen und der Kaltluftproduktion in den Kuppenlagen. Eine warme Hangzone lässt sich hier jedoch nicht erkennen.

Ein drittes, in der Karte sich abhebendes Kaltgebiet im Verlauf der Blies findet sich im Bereich Bierbach/Lautzkirchen. Hier treffen durch den Mündungsbereich des Kirkeler Bachs in den Würzbach zwei Täler aufeinander, sodass man davon ausgehen kann, dass es sich um ein Kaltluftammelgebiet handelt, welches aus den Kaltluftzuflüssen der beiden Täler entstanden ist. Das Gebiet um Bierbach bis Blieskastel ist zudem gekennzeichnet durch ein breites Tal im Bliesverlauf, das sich daher insbesondere zur Ansammlung von Kaltluft sowie, durch die Bodennutzung, als Auengebiet zur Kaltluftproduktion eignet.

Ein weiteres auffallendes und letztes Gebiet negativer Temperaturabweichung im Verlauf der Blies liegt im südlichsten Teil des Bliesgaus. Der Mündungsbereich der Blies in die Saar bei Rilchingen-Hanweiler ist das größte Gebiet negativer Temperaturabweichung im Untersuchungsraum. Ein entscheidender Faktor dürfte auch hier das Aufeinandertreffen zweier Täler sein, aus denen Kaltluft in dieses Gebiet fließt. Die Senkenlage trägt zusätzlich dazu bei, dass sich die Kaltluft in diesem Bereich ansammelt. Im Durchschnitt lassen sich in dieser Zone negative Abweichungen vom Gebietsmittel von -3 bis -5 K feststellen. Östlich davon zeichnet sich zudem das Mandelbachtal als Kaltluftgebiet in der Karte ab. Hier werden Temperaturabweichungen von bis zu -5 K erreicht.

Wie bereits erwähnt, stellt die Saar bei der Betrachtung der Senkenlage als Bereich hoher negativer Temperaturabweichungen vom Gebietsmittel eine Ausnahme dar. Im Vergleich zu der Temperaturverteilung im Verlauf der bisher betrachteten Flüsse und deren Einzugsgebieten lassen sich an der Saar, deren Flusslauf gegenüber Prims, Theel, Nahe und Blies deutlich größerer ist, allgemein wärmere Temperaturen erkennen. Zwar liegen diese bis auf vereinzelte Unterbrechungen noch im Bereich der negativen Abweichungen zum Gebietsmittel der Temperatur. Jedoch bewegen sich die Werte, bis auf den im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Mündungsbereich der Blies in die Saar, lediglich im Intervall von -1,4 bis 0 K. Eine Ursache hierfür liegt sicherlich in der dichteren Besiedelung des Saartals gegenüber den anderen Flusstälern. So befinden sich insbesondere die größeren Städte des Saarlandes, wie Saarbrücken und der Regionalverband Saarbrücken, Völklingen, Saarlouis, Dillingen und Merzig, am Flusslauf der Saar und bedingen durch die stadtklimatischen Aspekte dieser Gebiete, wie den

Wärmeinselcharakter, die im Vergleich zu den anderen Flussläufen höheren Temperaturen bzw. geringeren negativen Temperaturabweichungen. Die Städte Saarbrücken und Völklingen treten dabei mit positiven Abweichungen vom Gebietsmittel der Temperatur hervor. Saarlouis und Dillingen weisen Temperaturabweichungen zum Gebietsmittel von 0 bis 2 K auf. Lediglich Merzig verzeichnet negative Temperaturabweichungen von durchschnittlich -1,5 K, was zum einen auf die Lage im Mündungsbereich des Seffersbaches in die Saar zurückzuführen ist, aus dessen Tal Kaltluft in Richtung Saar abzufließen scheint. Zum anderen unterscheidet sich Merzig gegenüber den anderen genannten Städten in der Bebauungsstruktur, die in Merzig vergleichsweise gelockert ist. Im Gegensatz dazu trifft man in Dillingen und Saarlouis auf eine dichtere Bebauung, die unter anderem zur Ausprägung einer Wärmeinsel beiträgt. In diesem Zusammenhang spielt sicherlich auch die Verbreitung von Industriegebieten eine entscheidende Rolle. Die Städte Saarbrücken und Völklingen sind ebenfalls durch einen erhöhten Wärmecharakter gekennzeichnet und werden dahingehend im weiteren Verlauf noch genauer betrachtet.

Gegenüber den bereits beschriebenen kühleren Bereichen treten also in gleicher Relieflage sowohl Ortslagen als auch bewaldete Areale als Wärmeinseln in Erscheinung. Diese sind zwar aufgrund der Jahreszeit nicht allzu stark ausgeprägt, in der Karte jedoch klar ersichtlich. Wie zu erwarten, zeichnen sich die beiden Städte Saarbrücken und Völklingen als Wärmegebiete ab. Insbesondere der Raum Saarbrücken ist dabei durch die grundlegenden Eigenschaften eines Stadtklimas charakterisiert. Die dichte Bebauung und die damit verbundene Bodenversiegelung, ein erhöhtes Verkehrsaufkommen sowohl am Tag als auch in der Nacht, verstärkt durch den Durchgang der Stadtautobahn, sowie die Ansiedelung von Industrie und Gewerbe führen dazu, dass die stadtklimatischen Aspekte die des Geländeklimas deutlich überlagern und zur Entstehung einer Wärmeinsel führen. Von diesen lassen sich zwei im Bereich des Stadtverbandes erkennen. Eine Insel befindet sich im Bereich Bischmisheim/Ensheim, die sicherlich durch die dortige Lage des Flughafens bedingt ist. Die andere Wärmeinsel findet sich im Bereich von Staffelberg (382 m) und Staffelköpfchen (384 m) bei Heckendalheim. Neben diesen deutlich wärmeren Gebieten lassen sich in diesem Bereich jedoch auch kältere Gebiete erkennen. Bei diesen kann es sich zum einen um Grünflächen innerhalb des Regionalverbandes Saarbrücken handeln, andererseits kann eine gelockerte Bebauung die Kaltluftzufuhr ins Stadtgebiet bewirken, die mitunter infolge der Entstehung eines Hitzetiefs im Bereich der Wärmeinseln als Ausgleichsströmung stattfindet. Im Bereich Scheidt, am Scheidter Berg, befindet sich zudem ein Kaltluftentstehungsgebiet, aus dem kalte Luft ins Stadtgebiet abfließen kann. Die Stadt Völklingen ist überwiegend aufgrund der Verbreitung von Industrie- und Gewerbegebieten als Wärmegebiet zu erkennen.

Weitaus wärmere Areale im Saarland sind jedoch im Norden des Landes gelegen. Der Hunsrück verzeichnet im Allgemeinen mit bis zu +6 K deutlich positive Abweichungen vom Gebietsmittel der Temperatur. Dies ist einerseits auf die höhere Lage dieses Gebietes zurückzuführen, da die Temperaturen bei der vorherrschenden Inversionswetterlage generell mit zunehmender Höhe steigen. Andererseits handelt es sich bezüglich der Bodennutzung in diesem Gebiet um große Waldareale, in denen allgemein wärmere Temperaturen zu erwarten sind als im umliegenden Offenland.

Ein weiteres Gebiet mit deutlich positiver Temperaturabweichung wird in der Karte im Bereich Düppenweiler ersichtlich. Wie bereits zu Beginn der Temperatúrauswertung erwähnt, tritt hier die höchste positive Temperaturabweichung mit +8,27 K auf. Die mit Temperaturabweichungen von durchschnittlich +4,5 K generell erhöhten Temperaturen lassen sich sowohl durch das in diesem Gebiet gelegene relativ große Waldareal (Hüttersdorf-Bupricher und Nalbacher Wald) erklären, als auch durch die mit 414 m ü. NN (Litermont) erhöhte Lage im Relief. Die doch sehr hohe positive Temperaturabweichung kann jedoch auch Folge einer Messungenauigkeit sein und ihre Darstellung durch die Interpolation noch verstärkt worden sein. Der umliegende, etwas kühlere und im Relief tiefer gelegene Bereich mit positiven Abweichungen von +2 bis +3 K lässt sich

demnach als warme Hangzone deuten. Diese grenzt wiederum in den Tallagen an deutlich kühlere Bereiche, mit Ausnahme des Gebiets in der direkten Umgebung von Düppenweiler, was sich jedoch ebenfalls mit der Interpolation und hohen Temperaturabweichung östlich von Düppenweiler erklären lässt. Ein weiteres aus der Karte deutlich ersichtliches Wärmegebiet mit Abweichungen vom Gebietsmittel der Temperatur von bis zu +5 K lässt sich westlich von Dillingen erkennen. Es wird durch den Verlauf der Stufe zum Saartal nach Westen begrenzt. Bei dem warmen Bereich mit Höhenlagen von rund 320 m ü. NN handelt es sich also um ein höher gelegenes Plateau mit weiteren Erhebungen, wie dem Sauberg (377 m) oder dem Scheidberg (388 m), welche die erhöhten Temperaturen zusätzlich erklären. Die umliegenden Hangbereiche sind ebenfalls durch positive Temperaturabweichungen vom Gebietsmittel charakterisiert, sodass diese als warme Hangzonen einzuordnen sind. Wie im Gebiet um Düppenweiler grenzen auch hier im Tal deutlich kühlere Gebiete an, in denen Kaltluft abfließt und sich gebietsweise sammelt.

Ein nächstes Wärmegebiet findet sich im Süden von Merzig, welches sich im Westen in der Umgebung von Gerlfangen fortsetzt. Die Eigenschaften dieses Gebiets sind vergleichbar mit denen des davor beschriebenen Bereichs. Die erhöhten Temperaturen mit Abweichungen vom Gebietsmittel von bis zu +5 K lassen sich durch die Plateaulagen mit angrenzenden warmen Hangzonen (Abweichungen von +1 bis +2 K) erklären. Im Bereich südlich von Merzig treten zusätzlich im Relief erhöht gelegene Waldgebiete wie der Hoheberg (382 m) und insbesondere der Bietzener Wald mit einer Höhenlage von bis zu 388 m ü. NN in der Karte deutlich hervor. Östlich von Perl gelegen, zeichnet sich ebenfalls ein deutlich wärmeres Gebiet ab. Hier lassen sich positive Temperaturabweichungen vom Gebietsmittel von bis zu +6 K feststellen. Wie im Gebiet südlich von Merzig kann von einer erhöhten Temperatur aufgrund einer Plateaulage mit warmen Hangzonen ausgegangen werden. Verstärkt wird die Temperaturverteilung zusätzlich durch den im Relief relativ hoch gelegenen Tüntinger Wald. Auch die Lage der Autobahn A8 in diesem Bereich könnte zusätzlich zur Erwärmung beitragen. Ein weiterer in der Karte ersichtlicher warmer Bereich findet sich bei Freisen im Nordosten des Saarlandes. Auch hier spielt die mit 550 m ü. NN hohe Lage im Relief eine entscheidende Rolle bei der Verteilung der Temperatur. Bewaldete Areale, wie beispielsweise die Umgebung des Füsselbergs (585 m) und Gebiete südlich von Hanweiler, begründen zudem die erhöhten positiven Temperaturabweichungen vom Gebietsmittel um bis zu +5 K. Im Einzugsgebiet der Prims gelegen, tritt das bewaldete und im Relief hoch gelegene Areal „Langheck“ (502 m) in der Nähe von Primstal ebenso mit deutlich hohen Abweichungen der Temperatur vom Gebietsmittel hervor. Hier werden Werte von bis zu +6 K erreicht. Weitere Bereiche positiver Temperaturabweichungen stellen der Köllertaler Wald mit Fortsetzung der Waldfläche im Nordosten sowie der Kirkeler Wald auf der Karte dar. Durch die vergleichsweise niedrige Höhenlage im Relief verzeichnen diese jedoch keine hohen positiven Abweichungen vom Gebietsmittel der Temperatur.

Eine spezifische Temperaturverteilung lässt sich im Warndt erkennen. Hier treten trotz des stark bewaldeten Gebietes nur sehr gering positiv abweichende Temperaturen vom Gebietsmittel auf, in Richtung Saar sogar gering negative Abweichungen. Begründen ließe sich dies durch die mit rund 260 m ü. NN relativ niedrige Höhenlage im Relief und der, durch den Lauterbach und die Rossel bedingten, Senkenlagen. Im Norden schließt sich zudem die Bist an den Warndt an, deren Umgebung durch negative Temperaturabweichungen charakterisiert ist. Zwischen den sich in Tälern befindlichen Kaltluftgebieten und den sich deutlich abhebenden warmen Bereichen finden sich vereinzelt Kaltluftentstehungsgebiete mit angrenzenden warmen Hangzonen. Dabei handelt es sich hauptsächlich um kalte Plateaus, die durch ihre Lage im Offenland eine deutlich höhere Kaltluftproduktionsrate aufweisen als beispielsweise Siedlungs- oder Waldgebiete. Im Saarland gehören dazu circa 15 Bereiche, die sich südlich der bereits erwähnten „Langheck“ bei Primstal, nordöstlich von Orscholz, bei Britten und nordwestlich von Britten, zwischen Schmelz und Gresaubach, südlich von Körprich, bei Falscheid, bei Schwarzenholz und bei Schwalbach, nördlich

von Humes/Hierscheid, nördlich von Selbach, nördlich von St. Wendel, am Scheidter Berg, westlich von Breitung (Kahler Berg), bei Heiligenwald sowie bei Spiesen-Elversberg befinden.

Zusammenfassend ergibt sich anhand der Betrachtung der Temperaturverteilung für das Lokalklima des Saarlandes, dass hauptsächlich die Talzonen der Flüsse aufgrund ihrer Senkenlage als Kaltluftbahnen dienen und vereinzelt Kaltluftammelgebiete ausbilden. Letzteres ist besonders in Mündungsbereichen der Fall. Kaltluftabflüsse treten ausschließlich in Form von Hang- und Talabwinden auf. Hangparallel angeordnete Waldstreifen oder aber auch Siedlungen können den Abfluss der Kaltluft stören. Die Kaltluftproduktion findet auf kühlen Plateaus statt, die durch ihre Lage im Offenland eine erhöhte Kaltluftproduktionsrate aufweisen. Demgegenüber stehen insbesondere Siedlungs- und Waldgebiete, deren Kaltluftproduktion deutlich geringer bzw. in städtischen Siedlungen nicht vorhanden ist.

#### 4.2.2 Luftfeuchte

Die Verteilung der absoluten Luftfeuchte ist in Karte 2 als Abweichung (in  $\text{g/m}^3$ ) vom Gebietsmittelwert der absoluten Luftfeuchte dargestellt. Dieser beschreibt den Mittelwert aller während der Messfahrt erfassten und zeitkorrigierten Feuchtwerte, der für die Messungen vom 15. Oktober 2007  $8,31 \text{ g/m}^3$  beträgt.

Die Verteilung der absoluten Luftfeuchte ist stark abhängig von der Verteilung der Lufttemperatur. Die maximale positive Feuchteabweichung vom Gebietsmittelwert liegt somit ebenfalls nahe Düppenweiler und beträgt  $+3,85 \text{ g/m}^3$ . Die maximale negative Abweichung vom Gebietsmittelwert der absoluten Feuchte liegt auch hier im Tal der Blies an der Elzenberger Mühle mit einem Abweichungswert von  $-4,3 \text{ g/m}^3$ . Da mit zunehmender Temperatur auch die absolute Luftfeuchte ansteigt, werden, der Temperaturverteilung im Saarland entsprechend, die geringsten absoluten Luftfeuchten in Tälern und Senken erreicht. Die dort angesammelte Kaltluft lässt die Luftfeuchte auskondensieren, wie es auch im Offenland der Fall ist. Die bereits ausführlich beschriebenen Kaltluftammelgebiete im Bereich der Prims – mit Theel und Alsbach –, der Nahe, der Blies und der Saar verzeichnen daher neben den höchsten negativen Temperaturabweichungen vom Gebietsmittel der Temperatur auch die höchsten negativen Abweichungen vom Gebietsmittel der absoluten Feuchte mit Werten von durchschnittlich  $-4 \text{ g/m}^3$ . Es treten damit an der Prims die Gebiete Noswendel und Primstal, an der Theel das Gebiet der Stadt Lebach, am Alsbach gelegen die Ortschaft Marpingen, an der Nahe der Mündungsbereich des Freisbachs, an der Blies – ihrem Verlauf folgend – das Gebiet von Bliesen bis Neunkirchen, das Gebiet nördlich von Homburg, der Bereich bei Blieskastel/Bierbach sowie der Mündungsbereich der Blies in die Saar deutlich als Gebiete der stärksten negativen Abweichungen vom Gebietsmittel der absoluten Feuchte hervor. Die Ausbildung kühlerer Temperaturen in diesen Senkenlagen aufgrund der Tendenz zur Ansammlung von Kaltluft wird meist durch die Lage im Offenland und der damit verbundenen Neigung zur Kaltluftproduktion verstärkt. In vielen Fällen handelt es sich zudem um Mündungsbereiche kleinerer Bäche in die genannten Flüsse, die zudem Kaltluft aus ihren Tälern mit sich bringen, welche sich dann im Mündungsbereich sammeln kann und die Luftfeuchte auskondensieren lässt. Wie bereits erwähnt, tritt auch hier die Umgebung der Elzenberger Mühle als Gebiet mit dem höchsten negativen Abweichungswert vom Gebietsmittel der absoluten Feuchte hervor. Es soll an dieser Stelle jedoch auch noch einmal darauf hingewiesen werden, dass der doch sehr hohe Wert der negativen Abweichung als Folge eines Messfehlers entstanden sein könnte und sich im Gebiet – wie die anderen Gebiete negativer Abweichungen auch – durchschnittlich  $-4 \text{ g/m}^3$  Abweichung vom Gebietsmittel der absoluten Feuchte feststellen lassen müssten.

In städtischen Siedlungen hingegen verbleibt der Wasserdampf aufgrund der höheren Temperaturen und dem damit verbundenen größeren Sättigungsdefizit länger in der Luft, sodass dort im Allgemeinen höhere Luftfeuchten vorliegen. Demnach treten bezüglich der Verteilung der

absoluten Feuchte die Städte Saarbrücken und Völklingen, die zu einer höheren Temperatur führen, als Gebiete leicht positiver Feuchteabweichungen vom Gebietsmittel in Erscheinung. Wie in städtischen Siedlungen, liegen auch in bewaldeten Gebieten deutlich höhere absolute Feuchtwerte vor. Waldflächen weisen aufgrund der geringeren Ventilation und der Transpiration größerer Mengen Wasser am Tag höhere Feuchten als das Umland auf. Besonders das Kronendach tritt dabei gegenüber dem Freiland durch eine vermehrte Feuchteabgabe hervor und behindert zudem die Ausstrahlung, die zu einer Abkühlung führen könnte. Die im Waldgebiet vorherrschenden, vergleichsweise warmen Temperaturen führen damit zusätzlich dazu, dass die dort enthaltene Luftfeuchte nicht auskondensiert. Im Saarland zeichnen sich demnach – der Verteilung der Temperatur entsprechend – der Hunsrück, der Kirkeler und Köllertaler Wald, der Warndt, die Langheck in der Nähe von Primstal sowie die bewaldeten Gebiete um Freisen als Gebiete hoher positiver Abweichungen vom Gebietsmittel der absoluten Feuchte ab. Der Bereich um Düppenweiler verzeichnet aufgrund des relativ großen Waldareals und der vorangehend beschriebenen Faktoren mit  $+3,85 \text{ g/m}^3$  die höchsten positiven Feuchteabweichungen vom Gebietsmittel der absoluten Feuchte. Auch hier sollte erneut darauf hingewiesen werden, dass der doch sehr hohe Wert der Luftfeuchte in diesem Bereich auch durch einen Fehler in der Messung bedingt sein könnte. Die durchschnittlichen Werte der Feuchteabweichungen in diesem Gebiet belaufen sich auf 2 bis  $3 \text{ g/m}^3$ . Neben den bewaldeten Arealen und städtischen Siedlungen zeigen aber hoch gelegenen Bereiche südlich und südwestlich von Merzig, östlich von Perl und ein größeres Gebiet südwestlich von Dillingen und Saarlouis deutlich erhöhte Abweichungen der Luftfeuchte vom Gebietsmittel der absoluten Feuchte mit durchschnittlich  $2 \text{ g/m}^3$ . Diese Tatsache lässt sich vor allem auf eine erhöhte Lufttemperatur zurückführen, die das Auskondensieren der Luftfeuchte in diesem Gebiet behindert.

Für das Lokalklima des Saarlandes zeigt sich damit hinsichtlich der Verteilung der absoluten Luftfeuchte, dass Senkenlagen – hauptsächlich Flussläufe und Mündungsbereiche von Flüssen und Bächen – die geringsten absoluten Feuchten verzeichnen, da die dort angesammelte Kaltluft die Luftfeuchte auskondensieren lässt. Demgegenüber stehen wiederum städtische Siedlungen und Waldgebiete, in denen aufgrund der höheren Temperaturen Wasserdampf länger in der Luft verbleibt.

### 4.2.3 Äquivalenttemperatur

Die Verteilung der Äquivalenttemperatur ist in Karte 3 als Abweichung (in K) vom Gebietsmittelwert der Äquivalenttemperatur dargestellt, der den Mittelwert aller zur Äquivalenttemperatur umgerechneten Temperaturwerte bildet, die während der Messfahrt erfasst und anschließend zeitlich korrigiert wurden. Dieser Wert beträgt für die Messungen vom 15. Oktober 2007  $18,07 \text{ °C}$  und ist damit als bioklimatisch „kühl“ einzuordnen. Da die Äquivalenttemperatur die Summe aus sensibler und latenter Wärme darstellt und durch die Temperatur und die spezifische Feuchte – deren Verteilung wie auch die der absoluten Feuchte stark von der Temperaturverteilung abhängt – berechnet wird, liegen die Gebiete maximaler positiver und negativer Abweichung vom Gebietsmittel der Äquivalenttemperatur ebenfalls in den Bereichen Düppenweiler ( $+13,27 \text{ K}$ ) und Elzenberger Mühle ( $-15,03 \text{ K}$ ).

Die Grenze zwischen den bioklimatischen Bewertungen „kühl“ und „leicht kühl“ liegt bei einer Äquivalenttemperatur von  $27 \text{ °C}$ . Diese Temperatur wurde während der Messungen an verschiedenen Stellen überschritten. Dazu gehören Bereiche des Hunsrücks, das zum Teil bewaldete Gebiet bei Freisen im Nordosten des Landes, der Bereich westlich von Dillingen und Saarlouis, das Gebiet östlich von Perl, die Umgebung von Düppenweiler sowie der Stadtverband Saarbrücken. Die Äquivalenttemperatur weist insbesondere dort Maximumareale auf, wo warme Hangzonen zusätzlich mit einer Bebauung versehen sind, aber auch dort, wo große Verkehrsflächen größere Wärmemengen gespeichert haben und sukzessive abgeben (KÜHNE



1999). So lassen sich im Saarland in der Streckenführung der größeren Autobahnen wie A1, A8, A6 und A620 Areale höherer Äquivalenttemperatur erkennen. Städtische Siedlungen mit dichter Bebauung zeichnen sich auf der Karte ebenfalls als Gebiete höherer Äquivalenttemperatur ab. Hierzu gehören – neben dem Stadtverband Saarbrücken – Städte wie Völklingen, Saarlouis, Dillingen, Neunkirchen, Friedrichsthal, Sulzbach, Homburg, Bexbach und St. Ingbert. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die in Abschnitt 4.1 beschriebenen städteklimatischen Eigenschaften. Innerhalb des Stadtverbandes tritt unter anderem die Saarbrücker Innenstadt als Gebiet hoher Äquivalenttemperatur hervor. Gebiete um Bischmisheim und Heckendalheim, die in Abschnitt 4.1 bereits als Wärmeinseln beschrieben wurden, erreichen jedoch bezüglich der Äquivalenttemperatur deutlich höhere Werte als die Innenstadt und können ebenfalls als bioklimatisch „leicht kühl“ eingestuft werden, da hier Abweichungen vom Gebietsmittel der Äquivalenttemperatur von bis zu +10 K erreicht werden. Im Gegensatz zu diesen Bereichen hoher Äquivalenttemperatur finden sich dazwischen gelegen jedoch auch kleinere Zonen negativer Abweichungen vom Gebietsmittel der Äquivalenttemperatur. Hierbei handelt es sich wahrscheinlich um Frei- bzw. Grünflächen in einer locker bebauten Umgebung, die eine Zufuhr von Kaltluft zulassen oder sogar selbst Kaltluft produzieren.

Die Minimumareale der Äquivalenttemperatur sind durch die Lage der Kaltluftammelgebiete bestimmt, da dort bei Erreichen des Sättigungsdampfdrucks ein Teil des in der Luft vorhandenen Wasserdampfs zu Wasser kondensiert. Die dabei entstehende Kondensationswärme entweicht rasch durch Ausstrahlung, sodass als Ergebnis ein Verlust an latenter Wärme bleibt, welcher jedoch nicht durch einen Zugewinn an fühlbarer Wärme kompensiert werden kann. Dies führt zum Absinken des Gesamtwärmeinhalts der Luft. Bei den Gebieten mit hoher negativer Abweichung der Äquivalenttemperatur von ihrem Gebietsmittel handelt es sich daher um Gebiete, in denen sich Kaltluft sammelt. Hierzu gehören grundsätzlich die Täler der Flüsse Prims, Nahe, Blies und Saar sowie vereinzelte Täler derer Nebenflüsse, beispielsweise Alsbach und Mandelbach. Die Mündungsbereiche der Nebenflüsse von Prims, Nahe, Blies und Saar verzeichnen daher ebenfalls die negativen Abweichungen vom Gebietsmittel der Äquivalenttemperatur mit bis zu -10 K.

Die Betrachtung der Verteilung der Äquivalenttemperatur ergibt für das Lokalklima, dass im Saarland sowohl bioklimatisch „kühle“ als auch „leicht kühle“ Bereiche vorliegen. Dabei lassen sich hohe Äquivalenttemperaturen in Gebieten hoher Temperaturen und hoher spezifischer Feuchten feststellen. Insbesondere in Stadtgebieten ist dies der Fall. Diese weisen gegenüber dem Umland ein deutliches bioklimatisches Defizit auf. In kleineren Siedlungen/Ortschaften hingegen stellt sich die bioklimatische Situation als eine deutlich bessere dar.

Als bioklimatisch günstige Lagen erweisen sich Bereiche niedriger Äquivalenttemperaturen. Hierzu zählen speziell die Täler der größeren Flüsse des Saarlandes.

#### **4.2.4 Wind**

Das entlang der Messrouten ermittelte Windfeld des Saarlandes ist in Karte 4 dargestellt. Hier lassen sich Talabwinde beispielsweise im Bereich der Prims bei Primstal erkennen. Es liegt dort sogar ein starker Wind mit einer Windstärke von über 1 m/s vor, der durch den niedrigen Bewuchs im Umfeld des dort gelegenen Messpunkts zu erklären ist. Der dadurch bedingte niedrige Reibungskoeffizient bedingt die höhere Geschwindigkeit des dort auftretenden Windes. Weitere Talabwinde lassen sich im Bereich der Theel erkennen. Hier handelt es sich jedoch um vergleichsweise schwache Winde. Im Verlauf der Blies sind hingegen nur vereinzelt Messpunkte gelegen, die durch ihren Windrichtungspfeil auf den Talwind deuten. Beispiele dafür finden sich bei Blieskastel und St. Wendel. Für die Saar lassen sich ebenfalls nur einzelne Windrichtungspfeile erkennen, die auf einen Talabwind hindeuten. Diese befinden sich im Bereich der Saarschleife, nördlich von Dillingen, bei Saarbrücken und bei Kleinblittersdorf in der Nähe des Mündungsbereiches der Blies in die Saar. Zu den Nebenflüssen der bereits erwähnten

Fliessgewässer lassen sich ebenfalls vereinzelt Windpfeile finden, die auf einen sich dort befindlichen Talwind hinweisen. Dies ist insbesondere bei Lebach der Fall. Dort sammelt sich kalte Luft im Mündungsbereich des Habacher Baches in die Theel, die aus dem Tal dieses Nebenflusses zufließt.

Das Auftreten von Hangwinden in den Hangbereichen der jeweiligen Flusstäler lässt sich ebenfalls aus der Karte entnehmen. Ein Bereich, der diese Winde deutlich zeigt, liegt an der Stufe zum Saartal nördlich von Wallerfangen. Hier lässt sich deutlich erkennen, dass im unteren Bereich des Hanges Winde in Richtung des Flusstals auftreten. Ebenso finden sich Hangwinde im Bereich der Prims bei Schmelz und Gresaubach sowie an der Saar in der Umgebung von Saarbrücken. Interessant ist dabei, dass die Winde durch eine Hitzetiefbildung der Stadt Saarbrücken nicht in deren Richtung abgelenkt werden. Diese Tatsache lässt darauf schließen, dass der geländeklimatische Einfluss den stadtklimatischen zu überwiegen scheint. Die Ausbildung eines Stadt-Umland-Windes ist, mit der in der Karte ersichtlichen Windverteilung, lediglich für Saarbrücken zu erkennen. Hier befinden sich in der Umgebung von Dudweiler Winde, die zum Stadtzentrum gerichtet sind. Ähnliche Ausprägungen von Stadt-Umland-Winden finden sich auch bei den Städten Völklingen und Dillingen.

Bezüglich der Windgeschwindigkeit lässt sich feststellen, dass größtenteils schwache Winde auftreten. Mäßige und starke Winde wurden vor allem im Bereich von Hängen erfasst, die zusätzlich durch den Offenlandcharakter einen niedrigen Reibungskoeffizienten besitzen und somit höhere Windgeschwindigkeiten zulassen. Im Gegensatz dazu tritt in bewaldeten Gebieten und vereinzelt auch in dichter bebauten Siedlungen aufgrund des hohen Reibungskoeffizienten häufig Windstille auf. In der Karte lässt sich dies insbesondere im Warndt erkennen. Weiterhin finden sich windstille Bereiche nördlich von Hemmersdorf. Das dort befindliche Offenland steht nicht unter dem Einfluss einer Kaltluftbahn, sodass sich dort kaum Winde bilden.

Betrachtet man die Windgeschwindigkeitsverteilung in den saarländischen Städten, so lassen sich dort ebenfalls weitgehend schwache Winde feststellen. Diese sind vor allem durch die dichte Bebauung bedingt, welche Winde höherer Geschwindigkeiten aus dem Umland abbremsen, sofern ein Wind aus dem Umland in die Stadt vorliegt. Für die Städte Homburg, Bexbach und Dillingen lassen sich beispielsweise auch höhere Windgeschwindigkeiten erkennen, die unter anderem durch den Einfluss von Düseneffekten oder Verwirbelungen hervorgerufen werden können.

Zusammenfassend lässt sich für das Lokalklima des Saarlandes bezüglich der Windverteilung sagen, dass sowohl Hang- als auch Talabwinde ausgebildet werden. Talabwinde werden von den Tälern der Flüsse ausgebildet und stellen damit Kaltluftleitbahnen dar. Hangabwinde bilden sich insbesondere an den Hängen der Flusstäler.

## **5 Diskussion und raumplanerische Empfehlungen**

Die vorliegende Untersuchung der lokalen Klimaphänomene im Saarland hat gezeigt, dass in reliefiertem Gelände eine Beschränkung der Planung auf die Berücksichtigung der Hauptwindrichtung hinsichtlich der Siedlungsplanung nicht als ausreichend zu bezeichnen ist (vgl. auch KÜHNE 2003). Obgleich durch die räumliche Planung im Saarland die Ursachen der globalen Erwärmung nur geringfügig beeinflusst werden können, so lassen sich doch die Folgen des Klimawandels für die Bevölkerung hinsichtlich der bioklimatischen Wirksamkeit deutlich verringern: Wird für die effektivere Versorgung der Siedlungen mit kühler Frischluft Sorge getragen, so kann eine durch die globale Erwärmung induzierte Lufttemperaturerhöhung – insbesondere der bioklimatisch wirksamen Äquivalenttemperatur – in der bodennahen Atmosphäre durch die Verringerung der Ausprägung der städtischen Wärmeinsel (zumindest teilweise) kompensiert werden. Dementsprechend sollte die

gemeindliche und übergemeindliche Planung dafür Sorge tragen, dass die Kaltluftentstehungsgebiete und -leitbahnen ihre spezifischen Funktionen erfüllen können (vgl. auch KÜHNE 2003).

Flusstäler wie die von Prims, Theel, Nahe, Blies und Saar dienen aufgrund ihrer Senkenlagen als Kaltluftbahnen und bilden vereinzelt Kaltluftsammlgebiete aus. Dies ist vor allem in den Mündungsbereichen von Nebenflüssen der Fall. Kaltluftabflüsse treten in Form von Hangab- und Talabwinden auf. Letztere finden sich in den Flussläufen der genannten Fließgewässer, bedingt durch deren Senkenlage. Um eine weitgehende Ventilation der saarländischen Siedlungsgebiete auch bei windschwachen Hochdrucklagen zu gewährleisten, ist es erforderlich, diese Luftleitbahnen freizuhalten, über die insbesondere bei Schwachwindwetterlagen ein Luftaustausch möglich ist. Das Ziel einer den bioklimatischen Erfordernissen gerecht werdenden Raumordnung besteht darin, ein möglichst weites Eindringen möglichst unverschmutzter, kühler Luft in das Stadtgebiet zu ermöglichen. In sensiblen siedlungsnahen Bereichen erscheint angesichts des anthropogenen Klimawandels ein stärkeres Gewicht bioklimatischer Belange gegenüber anderen Abwägungsbelangen nötig.

Hangabwinde bilden sich an den Hängen der Flusstäler insbesondere in Offenlandbereichen aus. Vor allem in Siedlungsnähe erscheint es ratsam, diese Bereiche vor Bebauung, Verbuschung und Bewaldung zu bewahren.

Autobahnen und Gewerbegebiete kennzeichnen sich im Allgemeinen durch hohe Äquivalenttemperaturen, sind also bioklimatisch als ungünstig zu charakterisieren. Insbesondere im Verdichtungsraum dominieren stadtklimatische Effekte deutlich gegenüber geländeklimatischen Effekten. In Innenstädten lässt sich gegenüber dem Umland ein deutliches bioklimatisches Defizit feststellen. Der Raum Saarbrücken und die Stadt Völklingen heben sich dadurch hervor, dass dort stadtklimatische Faktoren die geländeklimatischen nahezu vollständig überlagern. Dies bedeutet auch, dass sich die Windrichtung gegenüber einem potenziell geländeklimatischen, nicht durch Siedlungen beeinflussten Zustand invers ausprägen kann. Auch diese Belüftungsausrichtung sollte bei der lokalen und regionalen Planung berücksichtigt werden.

Insbesondere Grünflächen in der Nähe des Siedlungszentrums sind für die bioklimatische Situation von herausragender Bedeutung: Sie produzieren Frischluft und dienen als Zufluchtsstätten vor Lärm. Entsprechend erscheint es auch sinnvoll, Garagen unter die Geländeoberkante zu verlegen und deren Dächer zu begrünen. Gleichfalls sind die Dächer einstöckiger Gebäude (Pausenhöfe von Schulen mit Dach, Schalterhallen usw.) zu bepflanzen. Bei austauscharmen Wetterlagen fällt so kühlere Luft auf die darunter liegende Fläche und schafft eine Mikrozirkulation (vgl. hierzu Beckröge 1999). Ähnliches gilt für die Bepflanzung von städtischen Straßen mit hohen Bäumen, wobei sicherzustellen ist, dass diese einen überlokalen Frischluftaustausch nicht behindern. Die im Zuge des Strukturwandels durch die Montanindustrie offen gelassenen Flächen im Saarland, häufig in Siedlungsnähe gelegen, bieten ein herausragendes Potenzial für stadtklimatische Ausgleichsflächen, die durch die Bauleitplanung zu sichern sind.

Das in Kürze in Kraft tretende Landschaftsprogramm des Saarlandes stellt einen ersten Schritt in Richtung einer verstärkten Berücksichtigung klimatischer Belange dar. Angesichts des Klimawandels erscheint es jedoch auch erforderlich zu prüfen, ob die Instrumente der Raumordnung, der Stadtplanung, aber auch der ländlichen Entwicklungsplanung hinreichend sind, um eine verstärkte Versorgung der Siedlungen mit Frischluft – insbesondere im Verdichtungsraum – sicherzustellen. Insbesondere ist auch auf Ebene der Bundesraumordnung zu ermitteln, ob die Einräumung eines Vorrangs für die Erhaltung und Verbesserung der Durchlüftung in Verdichtungsräumen angesichts der prognostizierten

überdurchschnittlichen Zunahme der Äquivalenttemperaturen in diesen Räumen im Zuge des Klimawandels nicht zielführend ist.

## 6 Literatur

- BAHRENBERG, G., GIESE, E. & J. NIPPER (1999): Statistische Methoden der Geographie. Band 1: Univariate und bivariate Statistik. – 234 Seiten, Stuttgart, Leipzig.
- BAUMGARTNER, A. (1963): Einfluss des Geländes auf Lagerung und Bewegung der nächtlichen Kaltluft. - In: Frostschutz im Pflanzenbau 1: 151-194, München.
- BAUR, F. (1948): Einführung in die Großwetterkunde. – 165 Seiten, Wiesbaden.
- BECHRÖGE, W. (1999): Windfeld. – In: Helbig, A., Baumüller, J. & M. Kerschgens (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Springer, Berlin, Heidelberg u. a. O., S. 53-94.
- BENDIX, J. (2004): Geländeklimatologie. – 282 Seiten, Stuttgart.
- BLÜTHGEN, J. & W. WEISCHET (1980): Allgemeine Klimageographie. – 800 Seiten, Berlin, New York.
- BRÜNDL, W., MAYER, H. & A. BAUMGARTNER (1986): Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten. – München.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2007): Einzelne Witterungsabschnitte für den Monat Oktober 2007. – URL: <http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/Medien/Leistungen/GWL/2002/2007/Oktober/witterungsabschnitt.html>, Stand: 28.01.2008.
- DÖRRENBÄCHER, W. (1981): Ökologische Kriterien für Flächennutzungen in einem urbanen System. Dargestellt am Beispiel der Stadt Neunkirchen. – Saarbrücken.
- DUTTMANN, R., MOSIMANN T. & V. WICKENKAMP (1994): Modellierung klimaökologischer Prozessgrößen mit dem geoökologischen Informationssystem GEOKIS. – 76 Seiten, Hannover.
- FEZER, F. (1995): Das Klima der Städte. – 199 Seiten, Gotha.
- FLACH, E. (1957): Grundbegriffe und Grundtatsachen der Bioklimatologie. – In: Linkes Meteorologisches Taschenbuch, Bd. 3: 178-271, Leipzig.
- GEIGER, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. – 433 Seiten, Braunschweig.
- GESTRICH, W. & J. HESSEL (1992): Amtliches Gutachten zu den klimatischen Auswirkungen des Neubaus der Bundesautobahn BAB A8 bei Perl / Saarland. – 34 Seiten, Trier.
- HÄCKEL, H. (1993): Meteorologie. – 402 Seiten, Stuttgart.
- HEIMANN, D., GROSS, G., GRAF, J. & M. BALTRUSCH (1988): Numerische Simulation von Kaltluftabflüssen im Raum Wiesbaden. – Schriftenreihe Hess. Landesanstalt f. Umwelt, Nr. 79, Wiesbaden.
- HENTSCHEL, G. (1978): Das Bioklima des Menschen. – 183 Seiten, Berlin.
- KÜHNE, O. (1999): Die Wetterlagen-, Tages- und Jahreszeitabhängigkeit der Verteilung von Lufttemperatur, spezifischer Luftfeuchte, Windfeld Äquivalenttemperatur und anderer bioklimatisch wirksamer Größen im Lokalklima. – Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie der philosophischen Fakultät der Universität des Saarlandes, 173 Seiten, Saarbrücken.
- KÜHNE, O. (2003): Lokale Klimate und ihre Dynamik – Fallbeispiele aus dem südlichen Saarland im Hinblick auf eine siedlungsklimatisch ausgewogene Raumplanung. – Abh. DELATTINIA 29: 67-110.
- KÜHNE, O. (2004): Wetter, Witterung und Klima im Saarland. – 126 Seiten, Saarbrücken.
- KÜHNE, O. (2007): Lokale Klimate im Saarpfalz-Kreis. – In: Saarpfalz. Blätter für Geschichte und Volkskunde, Nr. 94: 5-15.

- KUTTLER, W. (1993): Stadtklima – In: SUKOPP, H. & R. WITTIG (1993): Stadtökologie. Stuttgart, Jena, New York, 133-153.
- LANDSBERG, H. E. (1981): The urban climate. – In: LANDSBERG, H. E. (1981): General climatology. Bd. 3: 299-334, Amsterdam, Oxford, New York.
- SCHIRMER, H. (1992): Klimabewertung des Saarlandes – Abwägungsgrundlagen für die Fortschreibung des Landesentwicklungsplans „Umwelt“ vom 18. Dez. 1979. – 34 Seiten, Offenbach/Main.
- SCHIRMER, H. (1996): Klimabewertung des Raumes als Abwägungsmaterial für die Landes- und Regionalplanung – mit Beispielen aus dem Bereich der LAG Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland. – 68 Seiten, Offenbach/Main.

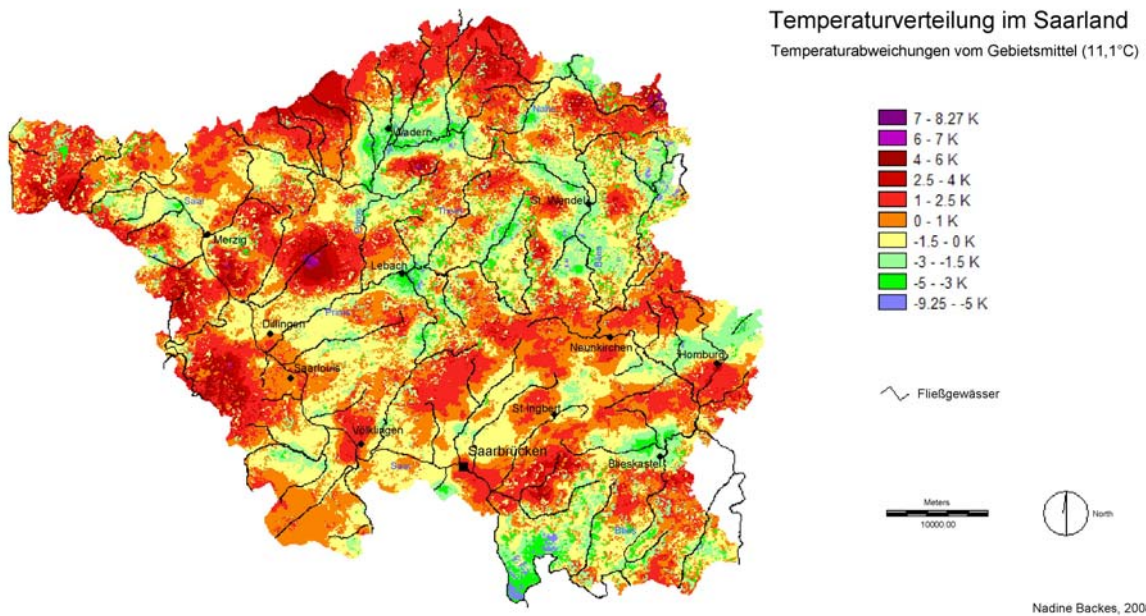
### **Anschrift der Autoren:**

Nadine Backes  
Universität des Saarlandes  
Physische Geographie und Umweltforschung  
Am Markt Zeile 2  
D-66125 Saarbrücken

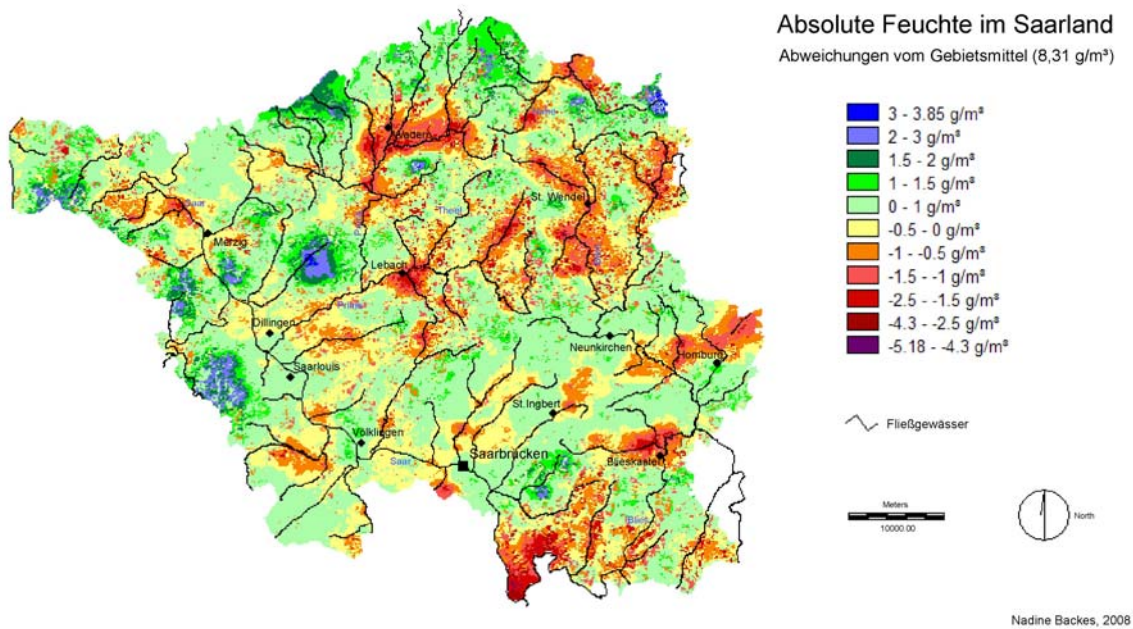
Prof. Dr. Jochen Kubiniok:  
Universität des Saarlandes  
Physische Geographie und Umweltforschung  
Am Markt Zeile 2  
D-66125 Saarbrücken

Apl. Prof. Dr. Dr. Olaf Kühne  
Ministerium für Umwelt  
Keplerstr. 18  
D-66117 Saarbrücken  
E-Mail: o.kuehne@umwelt.saarland.de

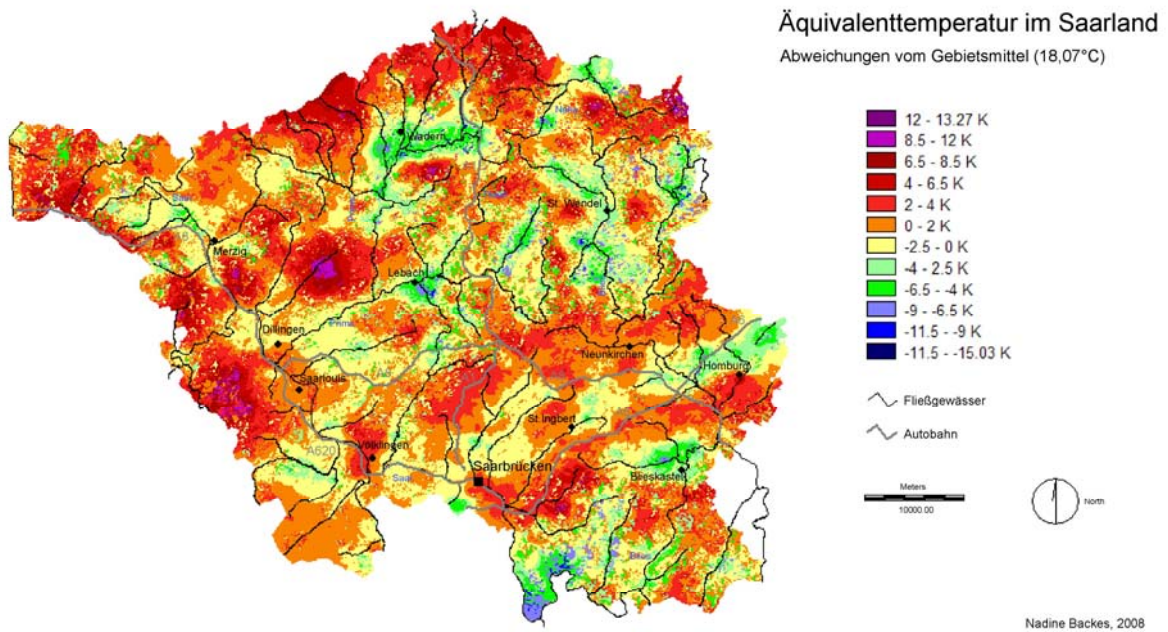
Dr. Barbara Neumann  
Universität des Saarlandes  
Physische Geographie und Umweltforschung  
Am Markt Zeile 2  
D-66125 Saarbrücken



Karte 1: Verteilung der Lufttemperatur im Saarland

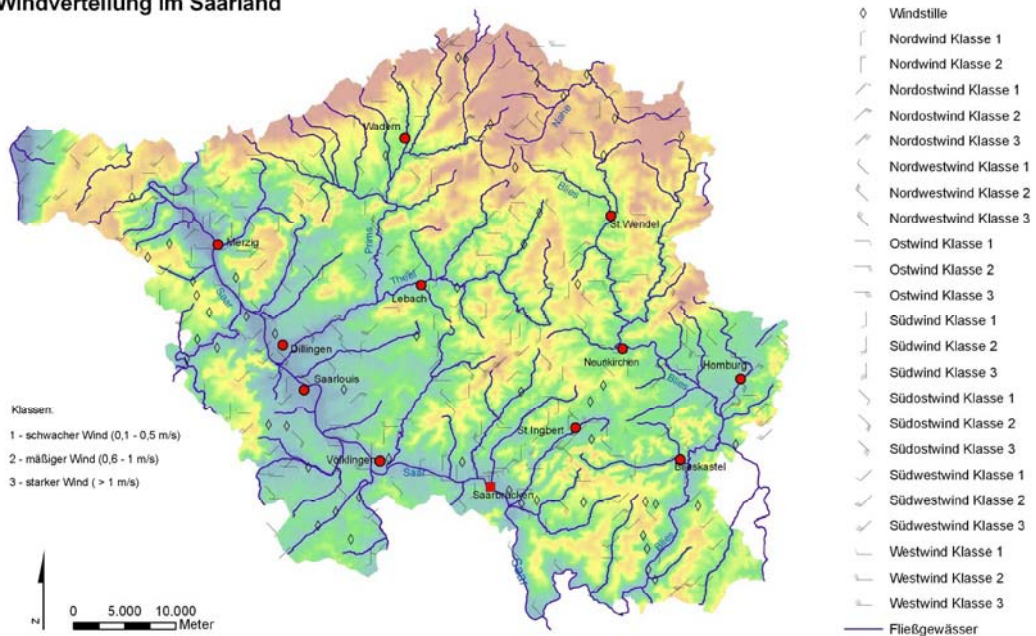


Karte 2: Absolute Luftfeuchte im Saarland



Karte 3: Äquivalenttemperatur im Saarland

### Windverteilung im Saarland



Karte 4: Windverteilung im Saarland

