

Gutachterliche Stellungnahme zum klimatischen Einfluss der
Baulandentwicklung „Nördlich Großer Weg“ (Lohrsdorf, Bad
Neuenahr-Ahrweiler)



Erstellt von
Prof. Dr. rer. nat. Günther Heinemann, Diplom-Meteorologe
Umweltmeteorologie, Universität Trier

© Prof. Dr. Günther Heinemann, Umweltmeteorologie Universität Trier, 2022. Die Texte und Bilder in diesem Dokument sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die Grenzen des Urheberrechts hinausgeht, ist ohne ausdrückliche Zustimmung des Urhebers unzulässig. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, auch durch Screenshots, sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Das Umgehen des Dokumentenschutzes ist untersagt.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
1.1 Ziel der Stellungnahme	2
1.2 Der Standort	2
1.3 Daten von Wetterstationen	5
1.4 Modellsimulationen	6
2. Meteorologische Grundlagen	8
2.1 Die Energiebilanz einer Oberfläche	8
2.2 Aufbau der atmosphärischen Grenzschicht	8
2.3 Einfluss der Bebauung auf das Lokalklima	9
2.4 Kaltluftströmungen in Tälern	9
2.4.1 Hangwinde	9
2.4.2 Talwindsystem	10
3. Klimatologie des Standorts	12
3.1 Allgemeines	12
3.2 Häufigkeit von windschwachen Strahlungswetterlagen und Hitzestress	12
3.3 Einfluss der Topographie auf Kaltluftströme und auf die nächtliche Belüftungssituation	13
4. Modellsimulationen für das Ahrtal und das Lohrsdorfer Tal	15
4.1 Modell und Eingabedaten	15
4.2 Konzeption der Simulationen	16
4.3 Ergebnisse der Modellsimulationen	17
5. Modellsimulationen der Gebäude- und Vegetationsumströmung im Plangebiet	23
5.1 Modell und Eingabedaten	23
5.2 Konzeption der Simulationen	25
5.3 Ergebnisse	25
6. Schlussfolgerungen / Fazit	30
Abkürzungen	31
Datenquellen und Literatur	32

1. Einleitung

1.1 Ziel der Stellungnahme

Im Gebiet „Nördlich Großer Weg“ (Lohrsdorf, Bad Neuenahr-Ahrweiler) ist eine Baulandentwicklung mit Wohnbauflächen auf einer Fläche von ca. 0.8 ha geplant. Die geplante Bebauung besteht aus Einzel- und Doppelhäusern mit einer Höhe von ca. 12 m. Es sollen die Auswirkungen der Bebauung insbesondere auf die Kaltluftabflüsse untersucht werden. Diese sind besonders relevant für die Frischluftzufuhr an wolkenarmen und windschwachen Sommertagen. Anhand von verfügbaren Wetterdaten wird die Häufigkeit dieser Wetterlagen ermittelt. Da im Planungsgebiet keine direkten meteorologischen Messdaten vorliegen, werden Modellsimulationen für eine sommerliche Hochdrucklage durchgeführt, und es erfolgt eine Identifikation der Kaltluftströme und ihrer Intensität. Der Einfluss der geplanten Bebauung auf Kaltluftströme wird abgeschätzt.



Abbildung 1.1: Lage des Plangebiets (roter Kreis, Quelle: LVerMGeoRP, 2021).

1.2 Der Standort

Das geplante Bebauungsgebiet liegt am nördlichen Ortsausgang von Lohrsdorf in ca. 110 m Höhe (Abb.1.1, Abb.1.2). Lohrsdorf liegt in einem Seitental des Ahrtals, indem der Lohrsdorfer Bach verläuft (im Folgenden „Lohrsdorfer Tal“ genannt). Das Planungsgebiet erstreckt sich an der Westseite des Lohrsdorfer Bachs entlang des Hangs (Abb.1.3, Abb.1.4) mit einer Länge von ca. 200 m und einer Breite von ca. 40 m. Die derzeitige Flächennutzung besteht aus Wiesen (Abb.1.5), der Hang westlich des Plangebiets besteht aus Wiesen mit Büschen und Obstbäumen (Abb.1.6). Das Planungsgebiet liegt ca. 30 m oberhalb des Ahrtals und auf derselben Höhe wie die Station Ahrweiler des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Die Talstruktur des Lohrsdorfer Tals ist von entscheidender Bedeutung für die Bildung und Dynamik von nächtlichen Kaltluftflüssen bei austauscharmen Wetterlagen. Insbesondere an heißen Sommertagen dienen Kaltluftflüsse der Frischluftzufuhr in thermisch belasteten Gebieten.

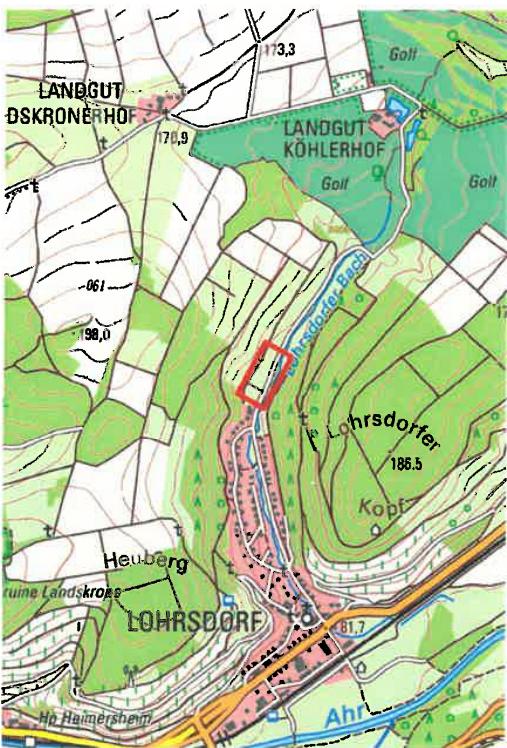


Abbildung 1.2: Lage des Plangebiets (rotes Rechteck, Quelle: LVermGeoRP, 2021).



Abbildung 1.3: Lage des Plangebiets (rot/orange, Quelle: Google Earth 2020).



Abbildung 1.4: Linkes Teilbild (a): Blick auf den oberen Teil des Lohrsdorfer Tals nach Süden.
Rechtes Teilbild (b): Blick auf den südlichen Teil des Plangebiets (Fotos G. Heinemann).



Abbildung 1.5: Blick auf das Plangebiet Richtung Norden (Foto G. Heinemann).



Abbildung 1.6: Blick auf das Plangebiet Richtung Westen (Foto G. Heinemann).

Das Lohrsdorfer Tal hat näherungsweise eine Nord-Süd-Ausrichtung. Lohrsdorf liegt zwischen den Erhebungen des Lohrsdorfer Kopfes mit einer Höhe von ca. 190 m und dem Höhenzug des Heubergs (Höhe von bis zu ca. 200 m). Das Lohrsdorfer Tal erstreckt sich nach Norden bis zum Köhlerhof (Abb.1.2). Das Plangebiet liegt am nördlichen Ortsausgang von Lohrsdorf und erstreckt sich entlang der Straße „Großer Weg“ (Abb.1.7). Die geplante Bebauung besteht aus Einzel- und Doppelhäusern, die parallel zur Straße liegen.

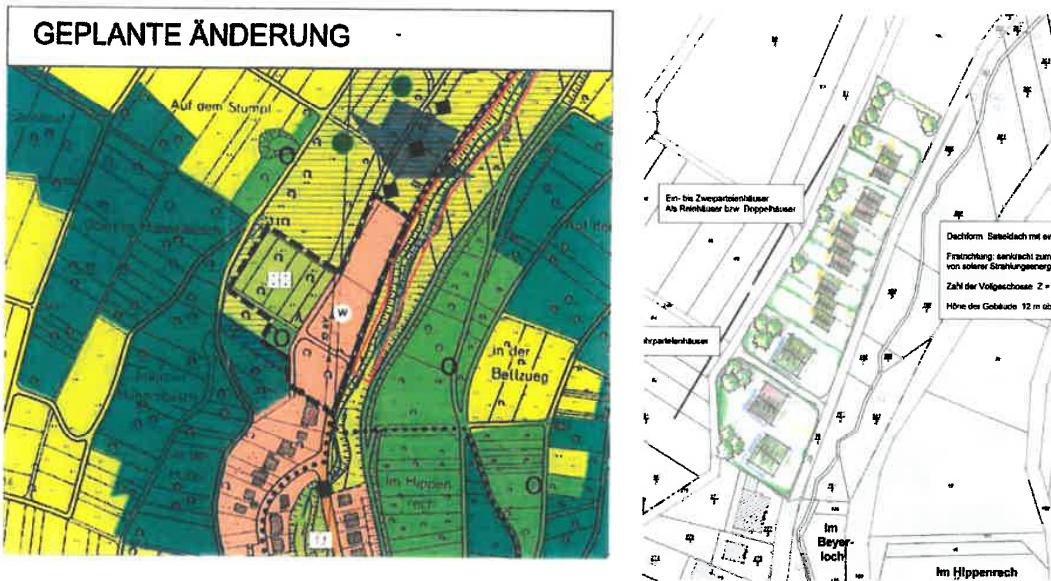


Abbildung 1.7: Lage des Plangebiets im Flächennutzungsplan und geplante Bebauung (Quelle: Stadt Bad Neuenahr-Ahrweiler).

1.3 Daten von Wetterstationen

In der Region Bad Neuenahr-Ahrweiler gibt es drei Wetterstationen (Tab.1.1). Die DWD-Station Ahrweiler liegt im Tal in einer Höhe von 111 m und weist die längste Messreihe auf. Die nächste Station mit einer längeren Messreihe ist die Station Esch des Agrarmeteorologischen Dienstes Rheinland-Pfalz (AgrarMet). Die AgrarMet-Station Bad Neuenahr liegt zwar dem Planungsgebiet am nächsten, sie misst aber erst seit 2008 und liegt am Hang in einem Weinberg.

Tab.1.1: Wetterstationen in der Region Bad Neuenahr-Ahrweiler (T=Temperatur, RF=relative Feuchte, Tb=Bodentemperatur, SD=Sonnenscheindauer, Kd=Globalstrahlung, RR=Niederschlag, N=Bewölkung)

	Lat, Lon, Höhe ü. NN	Zeitraum	Messgrößen
Bad Neuenahr-Ahrweiler, DWD ID 3490	50.5346°N, 7.0853°O, 111 m	1930/1948-14.7.2021, 10.11.2021-heute	T (5 cm), T(2 m), RF (2 m), Schneehöhe, SD (el. ab 2.6.2006), Tb(5,20 cm), RR (ab 1.9.2004), N (nur bis 2010)
Bad Neuenahr, ArgrarMet AM086	50.5497°N, 7.1460°O, 121 m	2008-heute	T (20 cm), T(2 m), RF (2 m), Wind(2.5 m), RR
Esch, ArgrarMet AM005	50.5581°N, 7.0316°O, 274 m	03/1990-heute	T (20 cm), T(2 m), RF(2 m), Wind(2.5 m), Tb(5,20 cm), SD, Kd, RR

Die DWD-Station Ahrweiler entspricht den Richtlinien der Weltorganisation für Meteorologie (WMO 2008), es wird hier aber kein Wind gemessen (s. Tab.1.1). Klimamessungen werden seit 1930 durchgeführt, ab 1948 gibt es kontinuierliche Messungen (aufgrund der Flutkatastrophe fehlen die Daten vom 15.7.-9.11.2021). Die AgrarMet-Station Bad Neuenahr liegt am Nordhang des Ahrtals in einem Weinberg. Die Aufstellungsweise entspricht nicht den WMO-Richtlinien (WMO 2008), da sie sich in einem sehr inhomogenen

Gebiet befindet. Insbesondere bei östlichen Winden sind lokale Verfälschungen zu erwarten. Hier wird auch der Wind gemessen, aber keine Sonnenscheindauer bzw. Globalstrahlung (diese Daten werden von der Station Esch übernommen). Die Station misst erst seit 2008 und wird daher nicht für die Klimatologie verwendet. Die AgrarMet-Station Esch liegt ca. 160 m oberhalb des Ahrtals in einem landwirtschaftlich genutzten Gebiet, leider relativ dicht neben einem Gebäude, was ebenfalls nicht den WMO-Richtlinien für Windmessungen entspricht (Verfälschungen insbesondere bei nördlichen Winden).

Die klimatologische Häufigkeit des Auftretens von windschwachen Strahlungswetterlagen wird mit Hilfe von Daten der DWD-Station Ahrweiler abgeschätzt, da hier die längste Messreihe vorliegt. Windschwache Strahlungswetterlagen sind charakterisiert durch eine großer Temperaturamplitude im Tagesgang und einer nächtlichen Bodeninversion, die Bedingung für die nächtliche Kaltluftbildung ist. Da diese Daten für die DWD-Station Ahrweiler vorhanden sind, kann damit die Klimatologie der Bedingungen für Kaltluftentstehung und Kaltluftabflüsse im Sommer abgeleitet werden.

1.4 Modellsimulationen

Dreidimensionale (3D) numerische meteorologische Modelle sind in der Lage, die Prozesse der Wechselwirkungen zwischen der Erdoberfläche und der Atmosphäre realistisch zu beschreiben. Dazu werden Atmosphäre, Boden und z.T. auch die Vegetation und Bebauung als 3D-Raumgitter abgebildet. Die Skala dieses Gitters bestimmt dann, welche Prozesse direkt vom Modell simuliert werden können und welche Prozesse im Modell indirekt beschrieben (parametrisiert) werden. Je nach Komplexität des Modells werden basierend auf physikalischen Gleichungen die 3D-Luftströmung (Wind), die Temperatur, Feuchte und weitere Größen wie Bewölkung, Niederschlag und Strahlung berechnet. Beispiele sind die operationellen Wettervorhersagemodelle, die mit Auflösungen von einigen Kilometern gerechnet werden.

Für die Simulation der Luftströmung für das Lohrsdorfer Tal wird eine deutlich höhere Auflösung und eine detaillierte Berücksichtigung der Topographie benötigt. Hierzu wird das Modell FOOT3DK (Flow Over Orographically structured Terrain 3 Dimensional, Kölner Version) mit 50 m horizontaler Gitterauflösung verwendet. FOOT3DK ist ein nicht-hydrostatisches Wettervorhersagemodell, das für die meso- und mikroskalige Simulation von Transport- und Ausbreitungsprozessen über komplexer Topographie konzipiert ist (Brücher et al. 1998; Shao et al. 2001; Heinemann und Kerschgens 2005, 2006). Das 50 m-Modellgebiet hat eine Ausdehnung von 4 x 4 km² und deckt das komplette Lohrsdorfer Tal und den gegenüberliegenden Hang des Ahrtals ab (Abb.1.8). Die Modellierungen mit dem Modell FOOT3DK entsprechen der Richtlinie VDI 3787 (VDI 2003).

Im Modell FOOT3DK werden keine Gebäudestrukturen aufgelöst. Zur Beschreibung der detaillierten Gebäudeumströmung im Plangebiet wird das Modell Envi-Met (Bruse, 1999) mit einer horizontalen Auflösung von 2 m verwendet. Envi-Met ist für die Simulation der untersten Dekameter der Atmosphäre konzipiert. Es ist bezüglich der physikalischen Prozesse weniger komplex als FOOT3DK und berücksichtigt keine Orographie, kann aber dafür die vertikale Struktur von Vegetation und Gebäuden explizit berücksichtigen. Envi-Met erfüllt ebenfalls die Richtlinie VDI 3787 (VDI 2003).

Obwohl die hier verwendeten Simulationsmodelle in zahlreichen Studien verifiziert wurden und geeignet sind, plausible Aussagen zur Strömungssituation für das Plangebiet zu treffen, so ersetzen sie nicht In-Situ-Messungen zur Feststellung des Ist-Zustandes oder des Zustandes nach Durchführung der geplanten Bebauung.

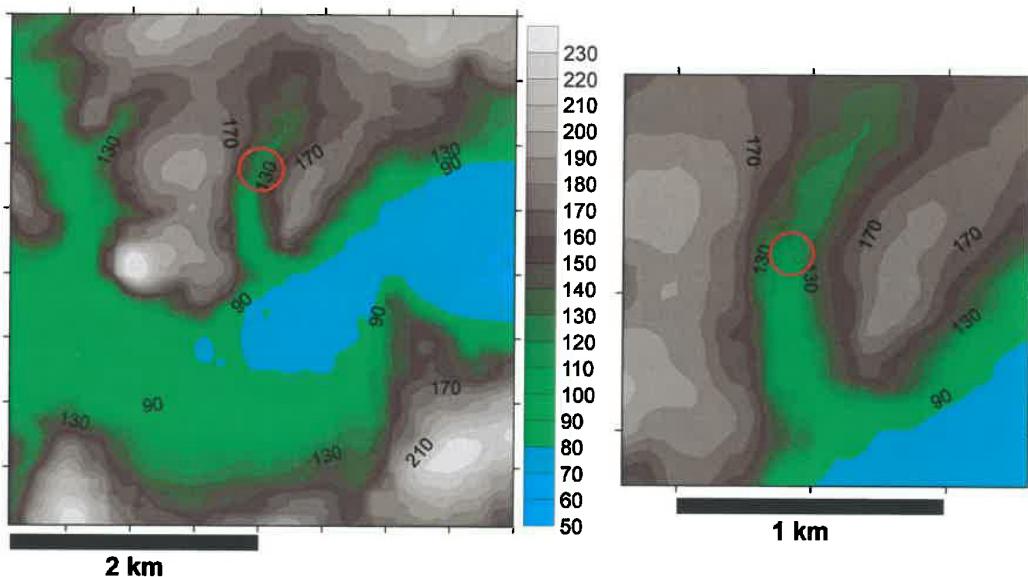


Abbildung 1.8: Orographie (in m) des FOOT-Modells mit 50 m Auflösung. Linkes Teilbild (a): Gesamtes Modellgebiet (4km x 4km). Rechtes Teilbild (b): Ausschnitt für Lohrsdorf mit 1.5 km x 1.5 km. Die Lage des Plangebietes ist mit einem roten Kreis gekennzeichnet.

2 Meteorologische Grundlagen

2.1 Die Energiebilanz einer Oberfläche

Die Energiebilanz einer beliebigen Oberfläche wird durch die Energiebilanz-Gleichung beschrieben:

$$Q_0 - B_0 - H_0 - E_0 = 0$$

Dabei ist Q_0 die Strahlungsbilanz, H_0 die Flussdichte sensibler Wärme, E_0 die Flussdichte latenter Wärme (Verdunstung) und B_0 der Bodenwärmestrom. Diese Energieflossdichten stellen den Transport von Energie pro Flächen- und Zeiteinheit dar (Dimension Wm^{-2}). Für die Erdoberfläche wird die Strahlungsbilanz durch die kurzwellige (solare) Globalstrahlung, die Reflektion an der Oberfläche, die langwellige (infrarote) Einstrahlung aus der Atmosphäre und die langwellige Strahlung von der Oberfläche in die Atmosphäre beschrieben. Der Quotient der reflektierten kurzweligen Strahlung zur Globalstrahlung wird als solare Albedo bezeichnet. Die langwellige Strahlung vom Boden in die Atmosphäre ergibt sich im Wesentlichen durch die thermische Emission der Oberfläche, die bei wolkenfreien Bedingungen größer als die langwellige Einstrahlung ist. Die Strahlungsbilanz ist daher nachts negativ. Der Bodenwärmestrom entspricht der Speicherung von Energie im Volumen unterhalb der Oberfläche plus der an der Unterseite des Volumens abgegebenen Energieflossdichte. Bei nächtlichen, wolkenfreien Bedingungen sind alle Flussdichten negativ. In diesem Fall wird der Energieverlust der Oberfläche durch Strahlung durch die turbulenten Wärmeflossdichten aus der Atmosphäre zur Oberfläche und den Bodenwärmestrom kompensiert, was zur Abkühlung der Oberfläche, des Bodens und der bodennahen Luftsicht führt.

2.2 Aufbau der atmosphärischen Grenzschicht

Die atmosphärische Grenzschicht (atmospheric boundary layer, ABL) ist der Teil der Atmosphäre, der direkt von der Oberfläche beeinflusst wird und mit einer Zeitskala von <1 h auf Änderungen an der Oberfläche reagiert (Stull, 1988). Die Eigenschaften der ABL sind geprägt durch die Stabilität der atmosphärischen Schichtung, wobei man als Haupttypen die konvektive Grenzschicht (convective boundary layer, CBL), die neutrale Grenzschicht (neutral boundary layer, NBL) und die stabile Grenzschicht (stable boundary layer, SBL) unterscheidet. Die typische Vertikalausdehnung der CBL (Hochdrucklage, am Tage) beträgt ca. 1000 m, die Höhe der SBL (Hochdrucklage, in der Nacht) liegt bei ca. 100 m. Der untere Bereich der Grenzschicht (unterste 10%) wird als Prandtl-Schicht bezeichnet. Hier findet der direkte Austausch zur Oberfläche statt. Die Transporte von sensibler Wärme H_0 und latenter Wärme E_0 erfolgen in Form von turbulenten Bewegungen, die stark von der atmosphärischen Stabilität abhängen.

In der konvektiven Grenzschicht (CBL) findet eine starke vertikale und horizontale Vermischung statt. Eine kleinräumige Heizung an der Oberfläche, wie sie z.B. durch eine Flächennutzung mit hohem Versiegelungsgrad (geringe Verdunstung) und geringer Albedo gegeben ist, hat nur in wenigen Fällen Auswirkungen auf die gesamte Grenzschicht, da sich bei starker Konvektion die Vertikaltransporte von Wärme in Form von Konvektionszellen organisieren. In der stabilen Grenzschicht (SBL) ist die vertikale Vermischung stark herabgesetzt. Es bildet sich eine Bodeninversion mit einer Temperaturzunahme mit der Höhe, wodurch die bodennahe Strömung von der Höhenströmung (sog. synoptische Strömung)

abgekoppelt wird. Dies ist Voraussetzung für das Entstehen von Kaltluftabflüssen, die der lokalen Topographie folgen.

Die Heizung bzw. Abkühlung der bodennahen Luftschichten wird bei austauscharmen Wetterlagen v.a. durch die vertikale Änderung der Flussdichte sensibler Wärme bedingt. Die thermische Wirkung der Flussdichte sensibler Wärme für die Grenzschicht besteht bei der CBL ($H_0 > 0$) in einer Erwärmung der Atmosphäre in den untersten 1000 m, bei der SBL ($H_0 < 0$) findet eine Abkühlung der untersten 100 m statt. Bei schwacher oder nicht vorhandener Turbulenz tragen in der SBL auch Strahlungsprozesse maßgeblich zur Abkühlung der Grenzschicht bei.

Das Windprofil in der Prandtl-Schicht ist durch eine Zunahme des Windes mit der Höhe gekennzeichnet, die in der NBL logarithmisch erfolgt, für die CBL und SBL ist das logarithmische Profil etwas modifiziert. Ein wesentlicher Parameter für das Windprofil ist die Rauhigkeitslänge, die näherungsweise mit 10% der Höhe der Oberflächenelemente (Gebäudehöhe, Bewuchshöhe) angenommen werden kann. Eine größere Rauhigkeitslänge führt zu einer Reduktion der Windgeschwindigkeit.

2.3 Einfluss der Bebauung auf das Lokalklima

Der klimatische Einfluss der geplanten Bebauung besteht in einer grundlegenden Veränderung der Wärmeströme (Kap.2.1) und des Windfeldes. Aufgrund der Flächenversiegelung wird weniger verdunstet, und die bodennahe Grenzschicht erwärmt sich am Tage stärker als über Bewuchs. Die Wärmespeicherung in den Gebäuden und versiegelten Flächen führt zu einer geringeren nächtlichen Abkühlung, so dass auch nachts die Temperatur in der Bebauung höher als die der Umgebung ist. Dies wird insbesondere in größeren Städten als „städtische Wärmeinsel“ sichtbar, was zu Temperaturerhöhungen von mehr als 5°C führen kann (Oke 2017). Des Weiteren stellen die Baukörper Hindernisse für das Windfeld dar. Dies äußert sich in einer erhöhten Oberflächenrauhigkeit, die generell zu reduzierten Windgeschwindigkeiten und einer geringeren Durchlüftung durch die Bebauung führt, und Kaltluftströme können in bebauten Gebieten auch zum Erliegen kommen. Es kann aber auch durch Verengungen des Strömungsprofils durch Gebäude oder dichter Vegetation zu Kanalisierungs- und Düseneffekten mit erhöhter Windgeschwindigkeit kommen.

2.4 Kaltluftströmungen in Tälern

2.4.1 Hangwinde

Kaltluftströmungen treten nur in wenig bewölkten, windschwachen Nächten auf. Sie sind verbunden mit der Bildung einer Bodeninversion, und der Druckgradient aufgrund der geneigten Inversion über Hängen führt zu einer hangabwärts gerichteten Strömung. Bei sehr langen Hängen liegt das Maximum der Strömung in einer Höhe von 10-20 m über Grund und kann je nach Hangneigung mehrere m/s erreichen (Haiden und Whiteman 2005, Arritt und Pielke 1986). Bei kurzen Hängen in Tälern ist die abfließende Strömung auf die untersten 10-40 m beschränkt, das Maximum liegt typischerweise in wenigen Metern Höhe (s. Abb.2.1). Bei einem Waldbestand in Hanglage wird im Kronenraum gebildete Kaltluft in den Stammraum eindringen. Durch die Vermischungsprozesse wird zwar im Vergleich zu einem unbewaldeten Hang ein größeres Volumen abgekühlt, dieses ist aber nicht so kalt und die Hangwindströmung ist aufgrund der größeren Reibung kleiner.

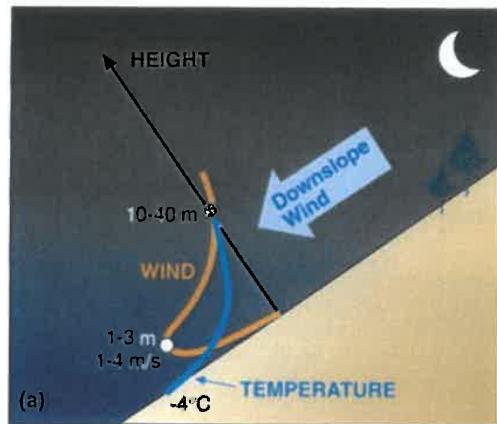


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung der Profile von Temperatur und Wind über einem Talhang (Whiteman 2000).

2.4.2 Talwindsystem

Beim Zusammenströmen von Kaltluftflüssen durch Hangwinde in Tälern kommt es zu einer Modifikation der Strömung. In den Tälern bilden sich dann sog. Kaltluftseen, die häufig mit Nebelbildung verbunden sind (Abb.2.2). Durch das Zusammenströmen der Hangwinde in einem Tal kommt es zur Konvergenz in der Talmitte, und es bildet sich die Hangwindzirkulation quer zum Tal aus (Abb.2.2). Dadurch wird im Unterschied zu einer Ebene nicht nur eine flache Schicht nahe des Erdbodens, sondern der gesamte Talquerschnitt abgekühlt (Abb.2.3a). Zum Beginn der Abkühlung am Abend dominiert die Hangwindzirkulation. Der Temperatur- bzw. Dichteunterschied zwischen dem Talquerschnitt und der Atmosphäre am Talausgang führt im Laufe der Nacht zur Entstehung von hangparallelen Winden, dem talachsenparallelen Bergwindsystem (Whiteman und Zhong, 2008). Dies wird durch Abb.2.3b schematisch verdeutlicht. Der talauswärts gerichtete Bergwind erstreckt sich über den überwiegenden Teil des Talquerschnitts, in Bodennähe bleibt über den Hängen der Hangwind erhalten, wird aber durch den Bergwind modifiziert. Abb.2.4 zeigt Messergebnisse für ein Mittelgebirgstal. Die Stärke des Bergwindsystems hängt von der Größe und Neigung des Tals ab. In großen Tälern werden 5 m/s für das Maximum beobachtet (King 1989), die in Abb.2.4 gezeigten Verhältnisse mit einem Windmaximum kleiner als 2.5 m/s sind für kleine Mittelgebirgstäler typisch.

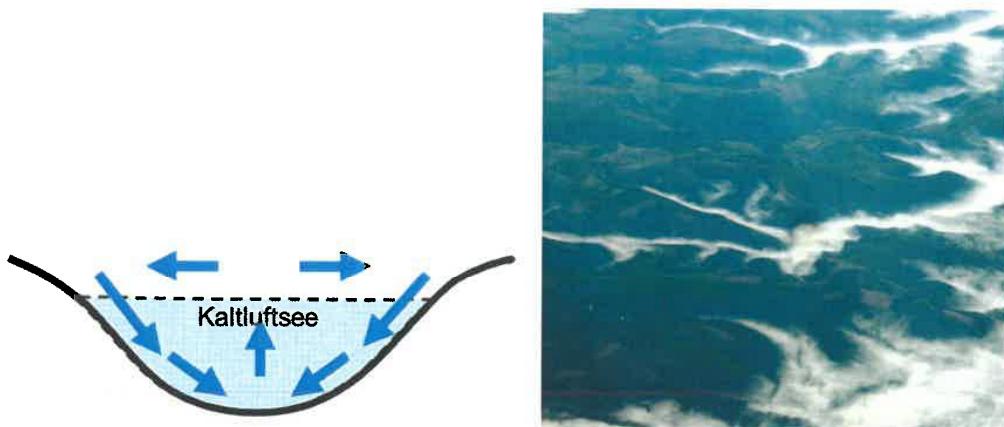


Abbildung 2.2: Links: Schematische Darstellung der Bildung eines Kaltluftsees in einem Tal. Rechts: Kaltluftseen mit Nebelbildung in Eifeltälern (© Heinemann).

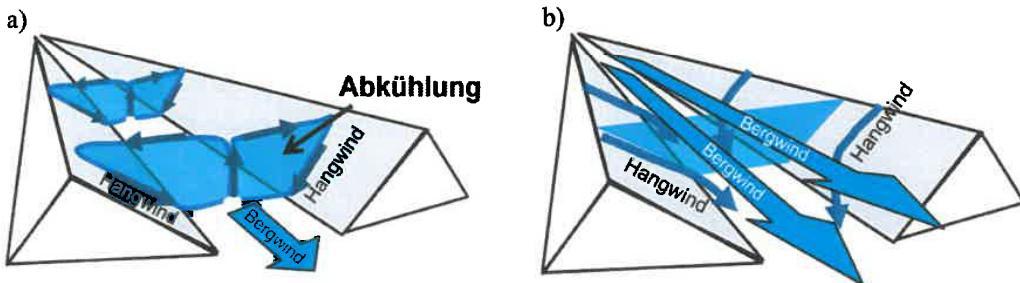


Abbildung 2.3: Schematische Darstellungen a) der Hangwindzirkulation am Abend und b) des Bergwindes (© Heinemann).

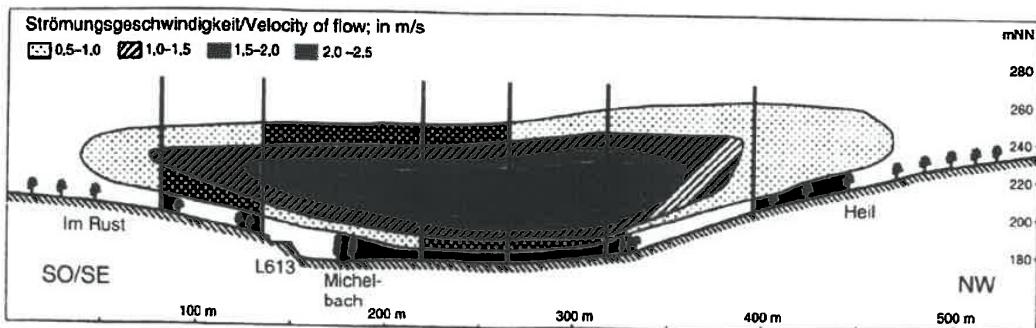


Abbildung 2.4: Messungen des nächtlichen Bergwindes im Michelbachtal, (aus VDI 2003, nach Hartenstein 2000).

Ein Maß für die Stärke und Wirksamkeit von Kaltluftströmungen ist die Kaltluftvolumenstromdichte ($\text{m}^3/(\text{ms})$). Dies kann als diejenige Menge an Kaltluftvolumen (m^3) verstanden werden, die pro Sekunde durch einen 1 m breiten Querschnitt zwischen der Erdoberfläche und einer oberen Grenze (senkrecht zur Strömungsrichtung) fließt. Die gesamte Volumenstromdichte ergibt sich aus der vertikalen Integration der Strömungsgeschwindigkeit von der Oberfläche bis zur Obergrenze der Kaltluftschicht. Für die Untersuchung der Relevanz der Kaltluftströmung auf das bodennahe Klima ist es sinnvoll, nur den bodennahen Bereich der Kaltluftströmung zu betrachten. Für die vorliegende Studie wird dazu ein Fokus auf die Schicht 0-11 m gelegt.

Da die Kaltluftvolumenstromdichte direkt proportional zur mittleren Strömungsgeschwindigkeit der betrachteten Schicht ist, lässt sich die klimatische Relevanz anhand der Luftwechselrate abschätzen. Eine Strömung mit 1 m/s (entsprechend einer Volumenstromdichte von $11 \text{ m}^3/(\text{ms})$ bei einer 11 m dicken Schicht) legt innerhalb einer Stunde einen Weg von 3.6 km zurück. Betrachtet man ein Gebiet mit einer Ausdehnung von 1 km, so wird in diesem Gebiet die Luft mit einer Luftwechselrate 3.6/h ausgetauscht, d.h. alle 17 Minuten. Ab einer Luftwechselrate von 2/h spricht man von einer klimarelevanten Durchlüftung, d.h. ab einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von ca. 0.6 m/s bzw. einer Volumenstromdichte 0-11 m von ca. $7 \text{ m}^3/(\text{ms})$ für ein Gebiet mit 1 km Ausdehnung. Lohrsdorf erstreckt sich über 700 m entlang des Tals, so dass dieser Wert noch etwas kleiner ist. Dies zeigt, dass auch sehr geringe Kaltluftströmungen einen bedeutsamen Einfluss auf die Frischluftzufuhr haben.

3. Klimatologie des Standorts

3.1 Allgemeines

Abb.3.1 zeigt die Entwicklung von Extremtagen für die DWD-Station Ahrweiler für den Zeitraum 1961-2000. Ein Sommertag ist dadurch definiert, dass die Tageshöchsttemperatur mindestens 25°C ist. Beim Hitzetag müssen mindestens 30°C erreicht werden. Das Jahr 2018 hatte die mit Abstand höchste Zahl an Sommertagen (94), bei den Hitzetagen wird es vom Jahr 2003 übertroffen (25). Insgesamt zeigt sich ein Trend mit einer Zunahme von Hitze- und Sommertagen. Tage mit extremer Hitze (Wüstentage, mindestens 35°C) treten vor 2000 fast gar nicht auf, danach gibt es mehrere Jahre mit bis zu sechs Wüstentagen. Tropennächte (Tiefsttemperatur in der Nacht mindestens 20°C) werden in Ahrweiler sehr selten beobachtet.

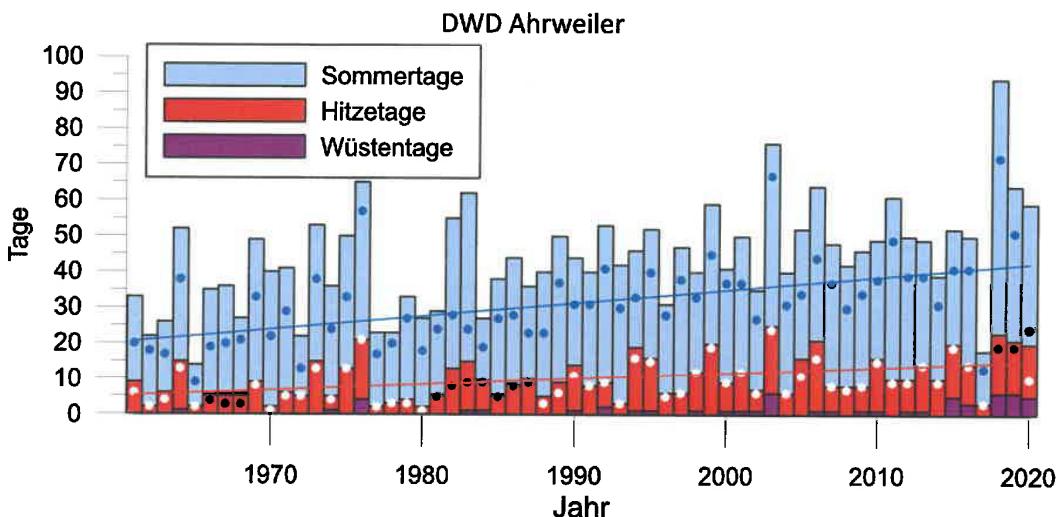


Abbildung 3.1: Wüsten-, Hitze- und Sommertage (Punkte =Strahlungstage) für die DWD-Station Ahrweiler 1961-2020.

3.2 Häufigkeit von windschwachen Strahlungswetterlagen und Hitzestress

Nächtliche Kaltluftbildung mit entsprechender Bildung von bodennaher Kaltluft und Kaltluftflüssen über geneigten Hangflächen treten bei windschwachen Hochdrucklagen (sog. autochthonen Lagen) auf. Diese sog. Strahlungswetterlagen sind verbunden mit geringem Wind, geringer Bewölkung, einer großen Tagesamplitude der Temperatur und einer nächtlichen Bodeninversion (Oberfläche kälter als die Lufttemperatur). Bei Strahlungswetterlagen wird die Belüftungssituation überwiegend durch lokale Windsysteme bestimmt. Dies ist für die Belüftungssituation, aber auch für das Auftreten von bodennahem Frost bedeutsam.

Die klimatologische Häufigkeit des Auftretens dieser Strahlungswetterlagen kann mit Hilfe von Daten der DWD-Station Ahrweiler abgeschätzt werden. Da hier keine Windmessungen vorliegen, werden hier folgende Kriterien für einen Strahlungstag verwendet: Temperaturamplitude mindestens 8°C, Sonnenscheindauer mindestens 6 Stunden, Differenz der nächtlichen Temperaturminima in 2 m und 5 cm mindestens 0.5°C. Das letzte Kriterium (Vorhandensein einer nächtlichen Bodeninversion) ist die Bedingung für die nächtliche Kaltluftbildung (s. Abb.2.1). Da ein Fokus dieser Stellungnahme auf der Kaltluftentstehung und Kaltluftabflüsse im Sommer liegt, werden die Strahlungswetterlagen für Temperatur-

Extremage untersucht (Tab.3.1). Zusätzlich wurde auch die Anzahl der Sommertage mit einer Inversion mit mindestens 1.0°C ermittelt (Inversionstag).

Tabelle 3.1: Häufigkeiten des Auftretens Extremagen (pro Jahr), von Strahlungswetterlagen für Sommertage (Maximaltemperatur mindestens 25°C) und Hitzetage (Maximaltemperatur mindestens 30°C) sowie Inversionstage und Inversionsstärke für Sommertage. Datengrundlage DWD-Station Ahrweiler.

Anzahl der Tage	Sommer-tage	Hitze-tage	Inversionstage / Stärke für Sommertage	Strahlungstage		
				Sommer	Hitze	Tropennacht
Ahrweiler (1961-1990)	37.7	7.6	26.1 /1.9°C	25.3	6.3	0.10
Ahrweiler (1991-2020)	49.6	12.7	38.8 /2.0°C	38.9	11.7	0.27

Im Zeitraum 1961-1990 traten in Ahrweiler ca. 38 Sommertage und 8 Hitzetage pro Jahr auf, im Zeitraum seit 1991 hat sich die Anzahl der Sommertage um ca. 12 und die der Hitzetage um ca. 5 erhöht. Der überwiegende Anteil der Sommertage ist gleichzeitig auch ein Strahlungstag (70-80%), bei den Hitzetagen sind v.a. im Zeitraum 1991-2020 fast alle auch Strahlungstage. In Abb.3.1 ist dies auch für die einzelnen Jahre sehr schön zu sehen. Die Anzahl der Strahlungstage bei Sommertagen ist nahezu gleich der Inversionstage bei Sommertagen. Die mittlere Inversionsstärke beträgt ca. 2°C für beide Zeiträume.

Das Plangebiet liegt in der gleichen Höhe wie die DWD-Station, daher kann davon ausgegangen werden, dass die Häufigkeit von Strahlungstagen vergleichbar mit denen an der DWD-Station ist. Demnach treten Sommertage mit nächtlicher Kaltluftströmung im derzeitigen Klima an ca. 39 Tagen pro Jahr auf.

3.3. Einfluss der Topographie auf Kaltluftströme und auf die nächtliche Belüftungssituation

Das Ausmaß der Kaltluftproduktion hängt neben der Geländeexposition von einer Vielzahl von Faktoren, wie z.B. der Landnutzung oder den physikalischen Eigenschaften des Erdbodens ab. Kaltluft kann während windschwachen, wolkenarmen Wetterlagen einerseits die nächtliche Lufttemperatur herabsetzen und trägt andererseits, sofern es sich um lufthygienisch unbelastete Kaltluft handelt, zur Verbesserung der Luftqualität bei. Dies ist besonders relevant für Temperaturextrem-Tage, da hier die Kaltluft spürbar zur Verbesserung des Temperaturkomforts und zur Reduktion der thermischen Belastung in den Abend- und Nachtstunden beiträgt.

Bevor in Kap.4 die Modellsimulationen dargestellt werden, sollen im Folgenden die nächtlichen Kaltluftströme im Plangebiet qualitativ erläutert werden. Die grundlegenden Informationen zur Topographie des Plangebietes wurden bereits in Kap.1 gegeben.

Eine dreidimensionale Darstellung der Orographie und der Geländeneigung für das Gebiet des Lohrsdorfer Tals wird in Abb.3.2 und Abb.3.3 gezeigt. Die stärksten lokalen Hangwinde können in den in Abb.3.3 türkis eingefärbten Bereichen entstehen. Für das Lohrsdorfer Tal

zeigen sich deutlich die Bereiche, an denen Hangwinde entstehen können, wobei im südlichen Teil aufgrund der Bewaldung geringere Kaltluftströme aufgrund der größeren Rauigkeit zu erwarten sind. Im oberen Bereich des Lohrsdorfer Tals sind die Hangneigungen geringer, aber insbesondere vom westlichen Hang sind bei einer Nutzung von Wiesen- und Ackerflächen deutliche Hangwinde zu erwarten. Durch das Zusammenwirken der Hangwinde mit dem nächtlichen Talwindsystem kann ein Bergwind mit einer deutlich größeren Vertikalausdehnung als die lokalen Hangwinde entstehen, der die Kaltluftströmung im gesamten Tal maßgeblich prägt.

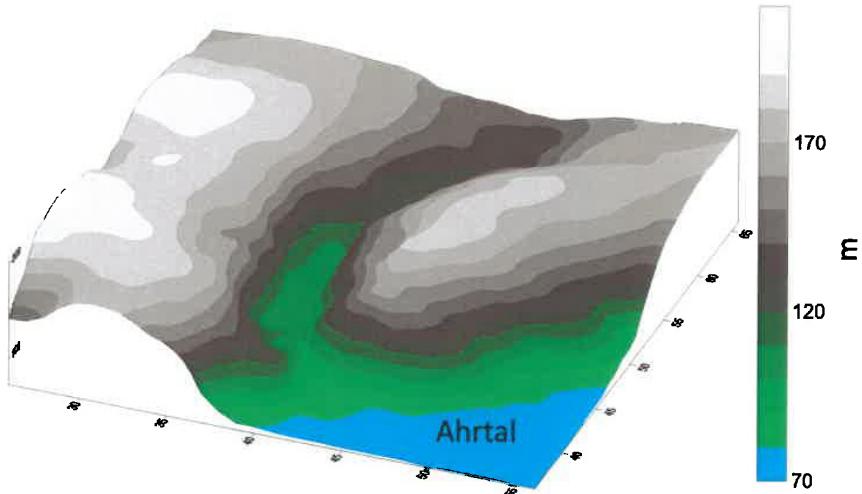


Abbildung 3.2: Digitales Höhenmodell (Höhe in m, 50m-Raster) für den Bereich des Lohrsdorfer Tals (Größe 1.5 km x 1.5 km, Ansicht aus Südosten).

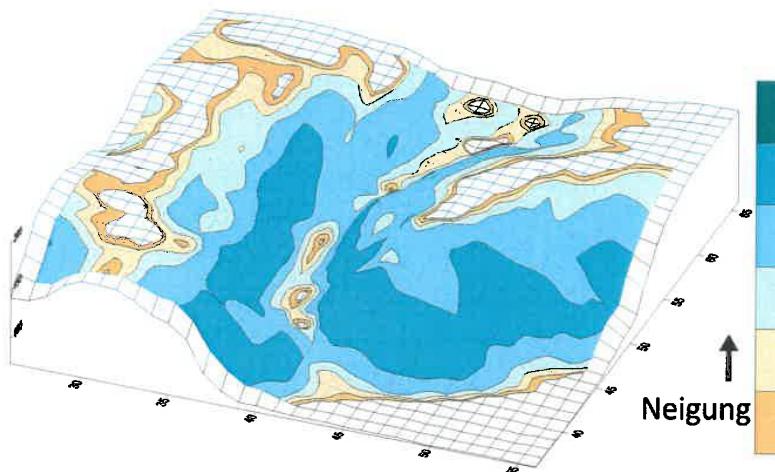


Abbildung 3.3: Stärke der Geländeneigung (zunehmend von Beige zu Türkis) für den Bereich des Lohrsdorfer Tals (Größe 1.5 km x 1.5 km, Ansicht aus Südosten). Die Bereiche ohne Einfärbung stellen Gebiete ohne nennenswerte Neigung dar.

4. Modellsimulationen für das Ahrtal und das Lohrsdorfer Tal

4.1 Modell und Eingabedaten

Die numerischen Simulationen wurden mit dem Modell FOOT3DK (Flow Over Orographically structured Terrain 3 Dimensional, Kölner Version) mit 50 m Gitterauflösung durchgeführt. FOOT3DK ist ein nicht-hydrostatisches Modell, das für die meso- und mikroskalige Simulation von Transport- und Ausbreitungsprozessen über komplexer Topographie konzipiert ist (Brücher et al. 1998; Shao et al. 2001; Heinemann und Kerschgens 2005, 2006). Das Modellgebiet (s. Abb.1.8) bedeckt eine Fläche von $4 \times 4 \text{ km}^2$ (50m Auflösung).

Die Landnutzung für das 50 m-Gebiet ist in Abb.4.1 dargestellt. Die Landnutzungsdaten wurden nach Luftbildern, Landnutzungskarten und einer Ortsbesichtigung den aktuellen Verhältnissen angepasst. Die verwendeten Landnutzungsklassen unterscheiden sich in den Bodeneigenschaften, der Oberflächenrauhigkeit, Versiegelungsgrad, Vegetationsart und Albedo. Die Ahr ist bei einer Auflösung von 50 m nicht explizit enthalten. Dabei ist zu bemerken, dass für die Fragestellung der Kaltluftströmung die Art der landwirtschaftlichen Nutzung (Wiese oder Ackerland) von untergeordneter Bedeutung ist.

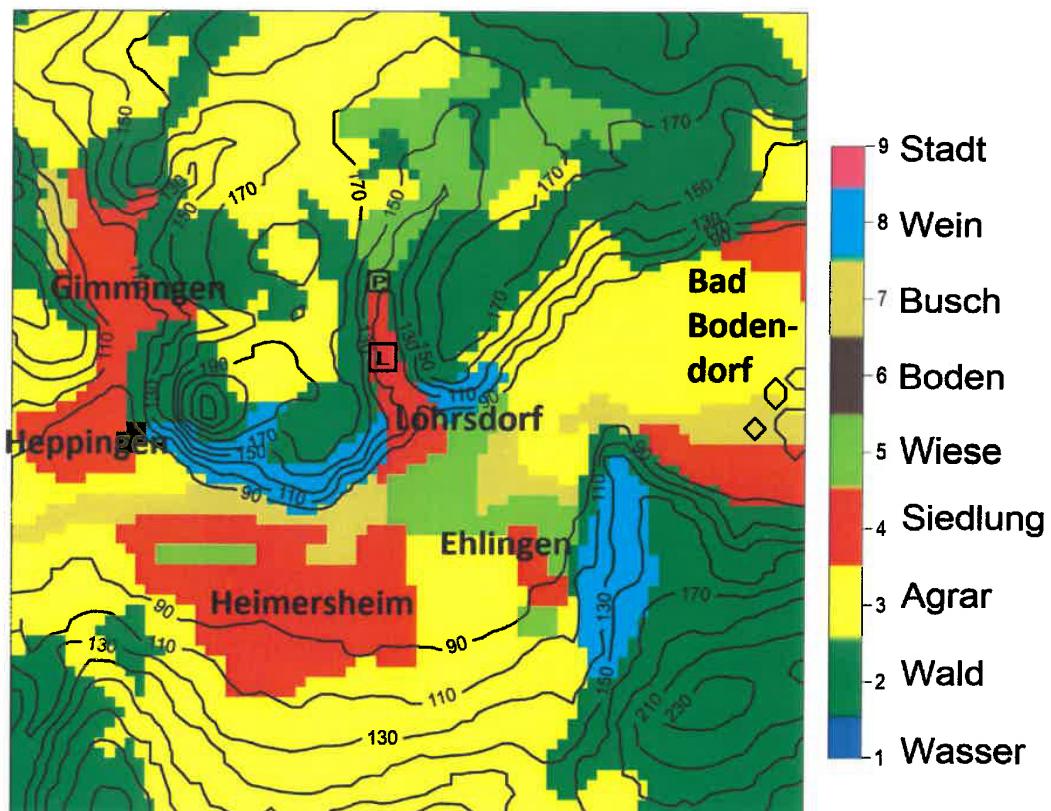


Abbildung 4.1: Orographie (in m) und Landnutzung für die Simulationen mit 50 m Auflösung (Gebiet mit $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$). P und L markieren Gebiete für die spätere Auswertung.

Entscheidend für die Kaltluftdynamik ist das Zusammenwirken zwischen Topographie und den durch die Landnutzung geprägten Energieflussdichten an der Oberfläche. Dazu zeigt Abb.4.2 nochmals im Detail die 3D-Ansicht für den Ausschnitt für Lohrsdorf (vgl. Abb.3.2+4.1).

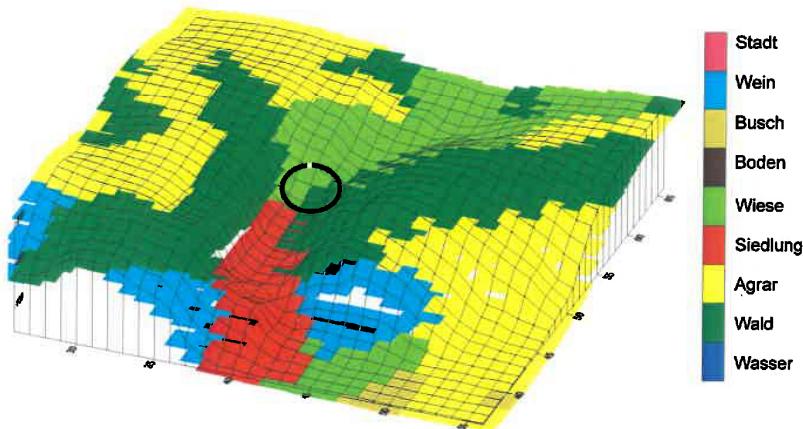


Abbildung 4.2: Digitales Höhenmodell (Höhe in m, 50 m-Raster) und Landnutzung für den Bereich des Lohrsdorfer Tals (Größe 1.5 km x 1.5 km, Ansicht aus Südosten). Die Lage des Planungsgebiets ist durch die weiße Ellipse gekennzeichnet.

Nächtliche Kaltluftbildung tritt nur in den Gebieten auf, in denen die Flussdichte sensibler Wärme an der Oberfläche negativ wird. Dies ist über bebauten Gebieten nicht bzw. je nach Versiegelungsgrad nur in geringem Maße der Fall. Darüber hinaus bewirkt die hohe Rauhigkeit der Bebauung eine Abbremsung der Luftströmung.

4.2 Konzeption der Simulationen

Die Simulationen wurden für idealisierte Bedingungen für eine sommerliche Hochdrucklage durchgeführt. Dazu wurde das Modell mit horizontal homogenen Profilen von Temperatur und Feuchte und einer ruhenden Atmosphäre initialisiert. Da diese idealisierte Simulation die vollständige Modellphysik und eine realistische Landnutzung beinhaltet, kann damit die Auswirkung der Topographie und Landnutzung auf die bodennahe atmosphärische Strömung untersucht werden (Heinemann 2006).

Um die Fragestellung der Rolle des Lohrsdorfer Tals in Hinblick auf Kaltluftströme in Plangebiet zu untersuchen, wurde eine Simulation für eine wolkenfreie Sommernacht für den 1. August von 18 UTC-23 UTC (19 MEZ-00 MEZ) durchgeführt. Da das Modell aus einem Zustand der Windstille gestartet wurde, spielt die übergeordnete Strömung keine Rolle und die entstehenden Luftströmungen resultieren ausschließlich aus der lokalen Abkühlung. Somit stellt diese Konfiguration den Idealfall einer autochthonen Wetterlage dar. Die vertikale Auflösung des Modells ist variabel und beträgt 3-5 m für die untersten Schichten, so dass die Bildung der nächtlichen Bodeninversion gut erfasst wird (Tab.4.1). Die Modellobergrenze liegt bei 2500 m. Alle Höhen sind topographiefolgend.

Tab. 4.1: Lage der topographiefolgenden Höhenniveaus im FOOT3DK-Modell mit 50 m horizontaler Auflösung.

Nivaus in m

3	30	91	231	550	1281
7	38	110	275	652	1515
11	48	133	328	773	1791
16	60	161	390	915	2116
23	74	193	463	1083	2500

Die Bodenfeuchte ist bei den Simulationen relativ gering, um einen möglichst großen Effekt der Wechselwirkung mit der Atmosphäre zu erzielen. Bei geringer Bodenfeuchte sind Verdunstung und Wärmeleitung des Bodens klein und es geht ein größerer Anteil der verfügbaren Energie in die Flussdichte sensibler Wärme. Die Annahmen dieser idealisierten Simulationen sind so konzipiert, dass das maximale Potential der Kaltluftabflüsse simuliert wird.

4.3. Ergebnisse der Modellsimulationen

Die Darstellungen fokussieren sich auf die Zeitpunkte 20 und 23 UTC, d.h. während und nach Abschluss der stärksten Abkühlungsphase. Dies ist gleichbedeutend mit den Zeitpunkten der Etablierung des Hangwindsystems bzw. des Bergwindes (s. Kap.2).

Bodeninversion und bodennahes Windfeld

Zur Beurteilung, welche Menge an Kaltluft gebildet wird, wird im Folgenden die Entwicklung der Bodeninversion betrachtet. Die Bodeninversion ist durch eine starke Zunahme der Temperatur in den untersten Metern charakterisiert, die dann mit zunehmender Höhe immer schwächer wird (vgl. Abb.2.1).

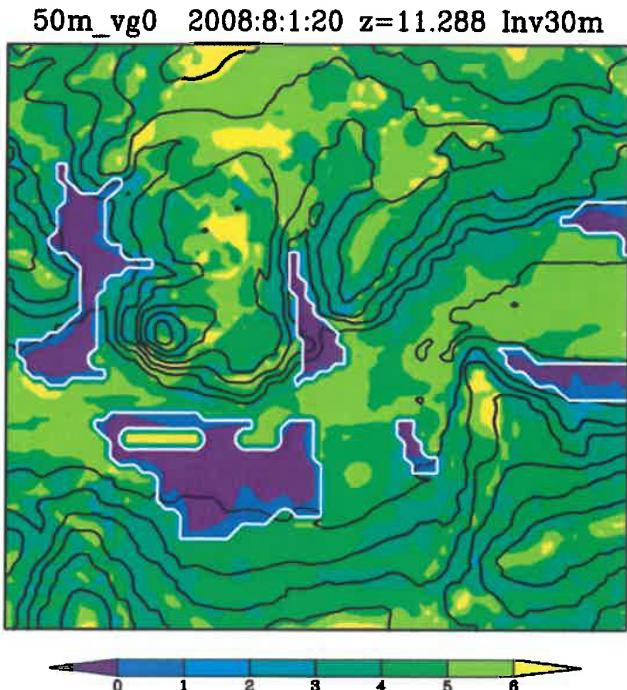


Abbildung 4.3: Inversionsstärke 0-30 m (Farbskala in K) und Topographie (Isolinien, Abstand 25 m) für das 50 m-Modellgebiet für den 1.8. um 20 UTC (Bereich mit Bebauung: weiße Linie).

Abb.4.3 gibt einen Überblick über die Inversionsstärke der untersten 30 m für das gesamte Modellgebiet um 20 UTC (vgl. Abbildung 4.1). Über bebauten Gebieten bildet sich eine nur schwache Bodeninversion aus. In den unbebauten Gebieten des Ahrtals ist die Inversion mit 4-6 K gut ausgebildet. Die Bildung der Bodeninversion resultiert aus der Abkühlung der Oberfläche und der bodennahen Luftschicht, die wiederum u.a. vom Wind, der Rauigkeit, dem Vegetationsbedeckungsgrad und den thermischen Eigenschaften des Bodens abhängt. Der Wind ist das Resultat aus dem Zusammenspiel der Inversionsstärke und -höhe mit der

Geländeneigung und Topographieform. Stärkerer Wind führt zur Verringerung der Inversionsstärke aufgrund einer größeren Durchmischung (mehr Turbulenz). Daher kann selbst bei einer idealisierten Konfiguration wie bei den hier gezeigten Simulationen ein komplexes Bild der atmosphärischen Größen entstehen. Die Inversionsbedingungen im Plangebiet zeigt Abb.4.4 für den Ausschnitt des Modellgebiets. Um 20 UTC beträgt die Inversionsstärke der untersten 30 m in den unbebauten Gebieten des Lohrsdorfer Tals 3-5°C. Um 23 UTC haben sich die räumlichen Unterschiede deutlich verstärkt. Die größte Intensivierung der Bodeninversion erfolgt in Gebieten mit relativ geringem Wind bzw. einer verstärkten Abkühlung am Boden.

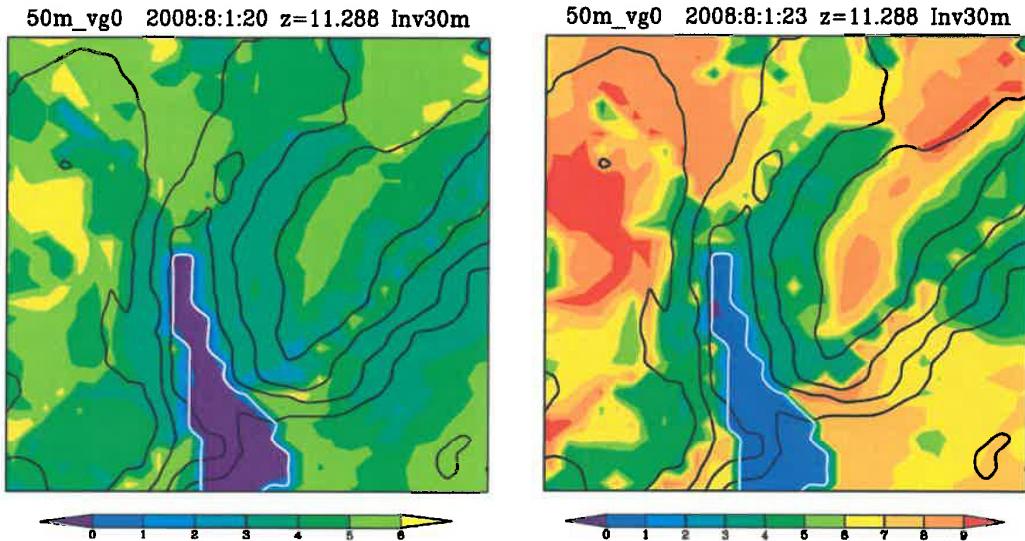


Abbildung 4.4: Wie Abb.4.3, aber für den Ausschnitt des Modellgebiets für den 1.8. 20 UTC (links) und 23 UTC (rechts). Bereich mit Bebauung: weiße Linie.

Abb.4.5 zeigt die Felder der Temperatur und des Windes in ca. 3 m über Grund für den Modellausschnitt um 20 UTC und 23 UTC (vgl. Abb.4.4) Für das Lohrsdorfer Tal zeigt sich um 20 UTC das Hangwindsystem mit einem Zusammenströmen in der Talmitte. Über dem bebauten Gebiet von Lohrsdorf sind die Windgeschwindigkeiten aufgrund der Rauhigkeit (Gebäude) sehr gering. Am wärmsten ist der Ortskern von Lohrsdorf, am kältesten ist es im oberen Teil des Tales. Dieses Gebiet kühlte sich in den folgenden drei Stunden weiterhin deutlich ab. Um 23 UTC ist hier zu sehen, wie das Hangwindsystem durch die Bildung des Talwindes modifiziert wird, während der Wind über Lohrsdorf weiterhin sehr gering bleibt.

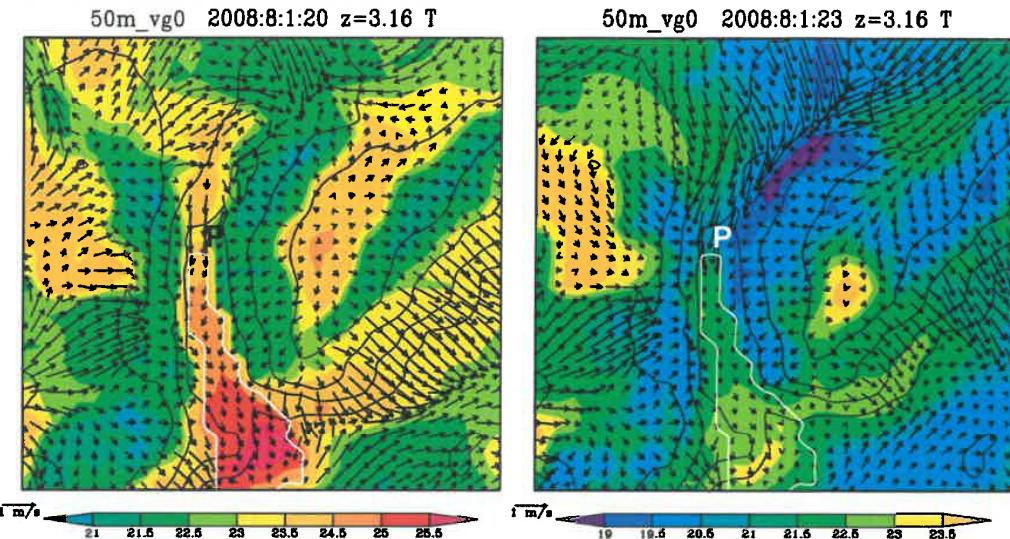


Abbildung 4.5: Temperatur (in °C, Farbskala) und Vektoren des Horizontalwindes in ca. 3 m über Grund (in m/s, Skala links) sowie Orographie (Isolinien, Abstand 25 m) für den Ausschnitt des Modellgebiets für den 1.8. 20 UTC (links) und 23 UTC (rechts). Bereich mit Bebauung: weiße Linie. Das Plangebiet ist mit „P“ gekennzeichnet.

Kaltluftströmungen

Abb.4.6 zeigt den Kaltluftvolumenstrom der Schicht 0-11 m über Grund für 20 UTC. Das Strömungsmuster ist ähnlich wie für den Wind in 3 m Höhe (Abb.4.5), die Hauptunterschiede bestehen in der Hangströmung im Lohrsdorfer Tal, die mehr in Richtung Bergwind gedreht ist und in der nun über Lohrsdorf deutlich sichtbaren Kaltluftströmung. In dieser Abkühlungsphase, in der das Hangwindsystem noch dominiert, erfolgt die Kaltluftzufuhr für Lohrsdorf vor Allem über den Ost- und Westhang. Dies ist schön in der Stromliniendarstellung zu sehen. Stromlinien zeigen die Strömungsrichtung zu einem Zeitpunkt. Auch die Kaltluftzufuhr im Plangebiet erfolgt überwiegend über die lokalen Hangwinde. Die stärkste Kaltluftströmung findet sich über dem Südhang des Ahrtals östlich von Lohrsdorf, wo die Rauhigkeit der Oberfläche (Weinbau und Agrarnutzung) relativ klein ist im Vergleich zu den Hängen bei Lohrsdorf (Wald).

Um 23 UTC (Abb.4.7) ist die zuvor diskutierte Strömung über dem Südhang des Ahrtals zwar in 3 m Höhe noch vorhanden (vgl. Abb.4.5), bei der Mittelung über die untersten 11 m wird sie deutlich schwächer. Im Ahrtal hat sich zu diesem Zeitpunkt (auch durch die Kaltluftströmung von der gegenüberliegenden Talseite) Kaltluft angesammelt, wodurch die Hangwinde abgeschwächt werden. Der Kaltluftvolumenstrom der Schicht 0-11 m über Grund zeigt nun Maxima für den Bereich des oberen Lohrsdorfer Tals. Das Bergwindsystem ist jetzt voll ausgeprägt. Die Kaltluftzufuhr im Plangebiet erfolgt nun überwiegend über den Bergwind des oberen Lohrsdorfer Tals. Das Maximum des Kaltluftvolumenstroms liegt im Plangebiet, da die Bebauung von Lohrsdorf den Bergwind bodennah abbremst. Die Mitte von Lohrsdorf wird aber weiterhin durch die lokalen Hangwinde und den abgeschwächten Bergwind beeinflusst, so dass hier mit 5-6 m³/(ms) auch noch eine relevante Kaltluftzufuhr in den untersten 11 m besteht.

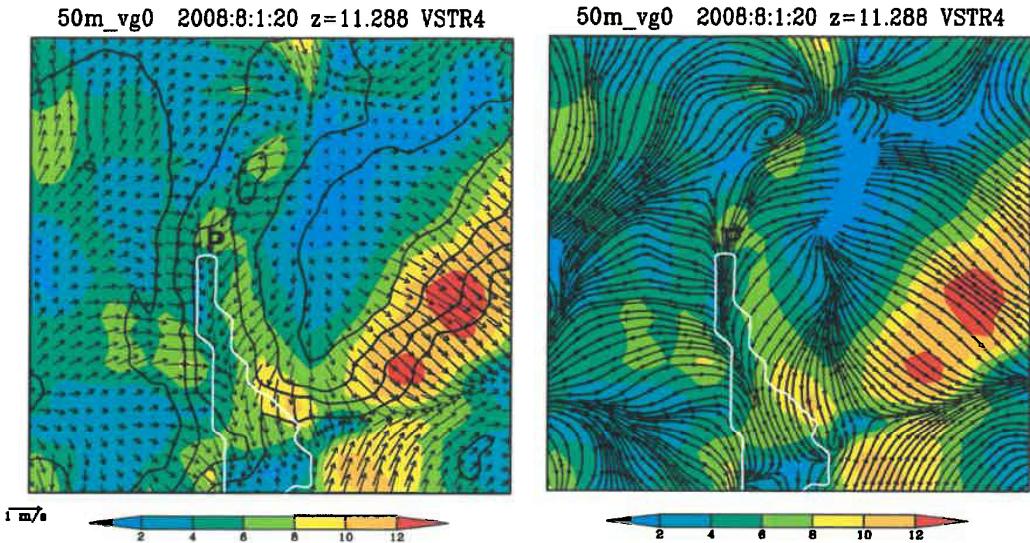


Abbildung 4.6: Kaltluftvolumenstrom der Schicht 0-11 m über Grund (in m^3/ms , Farbskala) und Vektoren (links) bzw. Stromlinien (rechts) des vertikal gemittelten (0-11 m) Horizontalwindes um 20 UTC für den Ausschnitt des Modellgebiets. Die Orographie ist als Isolinien (alle 25 m) dargestellt. Bereich mit Bebauung: weiße Linie. Das Plangebiet ist mit „P“ gekennzeichnet.

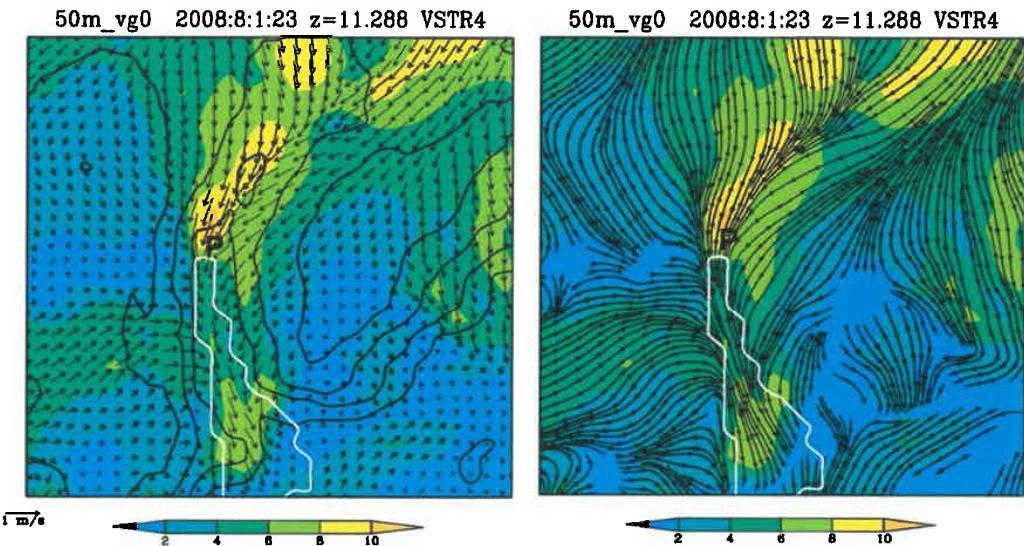


Abbildung 4.7: wie Abb.4.6, aber für 23 UTC.

Wie in Kap.2 erläutert, erstreckt sich der Bergwind nahezu über den gesamten Talquerschnitt. Daher wird in Abb.4.8 die mittlere Strömung der Schicht 11-48 m dargestellt. Es wird deutlich, dass der Bergwind das bestimmende Windsystem im Lohrsdorfer Tal ist. Um 20 UTC befindet sich das Windmaximum am Talende (ähnlich wie in der schematischen Darstellung in Abb.2.3a), später intensiviert sich der Bergwind im hinteren Teil des Tales.

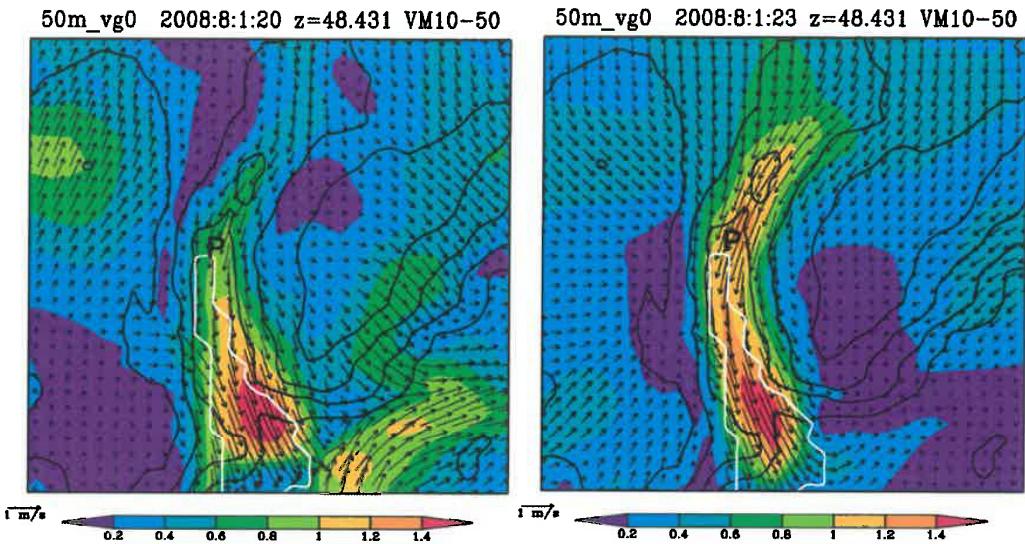


Abbildung 4.8: Mittlere Strömung der Schicht 11-48 m über Grund (in m/s), Farbskala) und Vektoren um 20 UTC (links) und 23 UTC (rechts) für den Ausschnitt des Modellgebiets. Bereich mit Bebauung: weiße Linie. Das Plangebiet ist mit „P“ gekennzeichnet.

Abschließend sollen nun die Bedingungen im Plangebiet „P“ im Vergleich mit dem bebauten Gebiet „L“ in Lohrsdorf (s. Abb.4.1) betrachtet werden. Der klimatische Einfluss der Bebauung besteht in einer Veränderung der Wärmeströme (Kap.2), der Stabilität der bodennahen Grenzschicht (Inversionsstärke, s. Abb.4.4) und des Windfeldes. Die Wärmespeicherung in den Gebäuden und versiegelten Flächen führt zu einer geringeren nächtlichen Abkühlung, so dass nachts die Temperatur in der Bebauung höher als die der Umgebung ist. Des Weiteren stellen die Gebäude Hindernisse für das Windfeld dar, so dass bodennahe Kaltluftströme im bebauten Gebiet geringer sind.

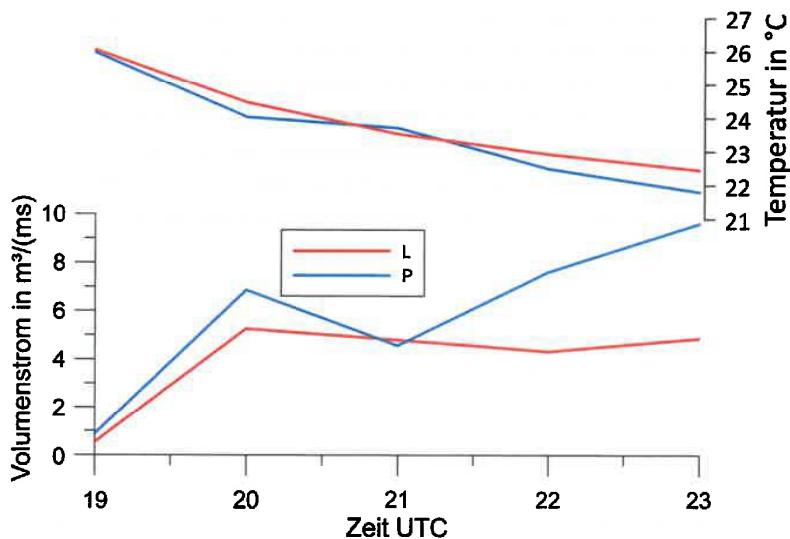


Abbildung 4.9: Zeitreihe 19-23 UTC für den Kaltluftvolumenstrom der Schicht 0-11 m über Grund (in $\text{m}^3/(\text{ms})$, unten) und für die Temperatur in 3m Höhe (oben) für die Gebiete „P“ (Plangebiet) und „L“ (Lohrsdorf). Die Lage der Gebiete ist in Abb.4.1 markiert.

Der Vergleich des Volumenstroms 0-11 m und der Temperatur in 3m Höhe (Abb.4.9) zeigt für beide Gebiete eine ähnliche Abkühlung bis 21 UTC, danach ist die Abkühlung im bebauten Gebiet schwächer, so dass es hier um 23 UTC ca. 1°C wärmer ist. Für das bebaute Gebiet wurde ein Versiegelungsgrad von 50% angenommen. Eine Ursache für die verstärkte Abkühlung im Plangebiet ist der ab 21 UTC deutlich stärkere Kaltluftvolumenstrom. Wie im Temperaturverlauf ersichtlich, startet die Simulation mit einem homogenen Temperaturfeld um 18 UTC. In der Realität wäre durch die verstärkte Aufheizung des bebauten Gebiets während des Tages die Temperatur im bebauten Gebiet um 18 UTC höher als im Plangebiet, so dass der Temperaturunterschied noch etwas größer wäre. Bedingt durch das Hang- und Bergwindsystem bleibt auch im bebauten Gebiet ein Kaltluftstrom erhalten.

Die Unterschiede der Gebiete „P“ und „L“ zeigen auch, welche Änderungen im Plangebiet durch eine Bebauung zu erwarten sind. Der Flächenanteil der Versiegelung durch Gebäude ist nach den derzeitigen Planungen (Abb.1.7) relativ klein, so dass der thermische Einfluss im Plangebiet ebenfalls relativ klein bleibt, falls keine nennenswerte weitere Versiegelung durch Zufahrten, Steingärten etc. erfolgt.

Zusammenfassung der Simulationen für das Lohrsdorfer Tal

- Die nächtlichen Kaltluftströme im Lohrsdorfer Tal sind überwiegend durch bodennahe Hangwinde und das Bergwindsystem geprägt.
- Bodennahe Hangwinde dominieren in den Abendstunden, später stellt sich das Bergwindsystem mit einer vertikalen Erstreckung über fast den gesamten Talquerschnitt ein.
- Bei einer ungestörten Wetterlage erreicht der Bergwind Geschwindigkeiten von 1.0-1.4 m/s für weite Teile des Tals.
- Der Bergwind ist auch über den bebauten Gebieten präsent, in den untersten 10 m wird die Strömung reduziert, trägt aber weiterhin zu der Belüftung in Lohrsdorf bei.

5. Modellsimulationen der Gebäude- und Vegetationsumströmung im Plangebiet

5.1 Modell und Eingabedaten

In den Simulationen in Kap.4 werden keine Gebäudestrukturen oder die vertikale Struktur von Bäumen aufgelöst. Zur Beschreibung der detaillierten Vegetations- und Gebäudeumströmung im Plangebiet wird das Modell Envi-Met (Bruse, 1999) mit einer horizontalen Auflösung von 2 m verwendet. Envi-Met ist für die Simulation der untersten Dekameter der Atmosphäre konzipiert. Es berücksichtigt keine Orographie, kann aber dafür die vertikale Struktur von Vegetation und Gebäuden explizit berücksichtigen.

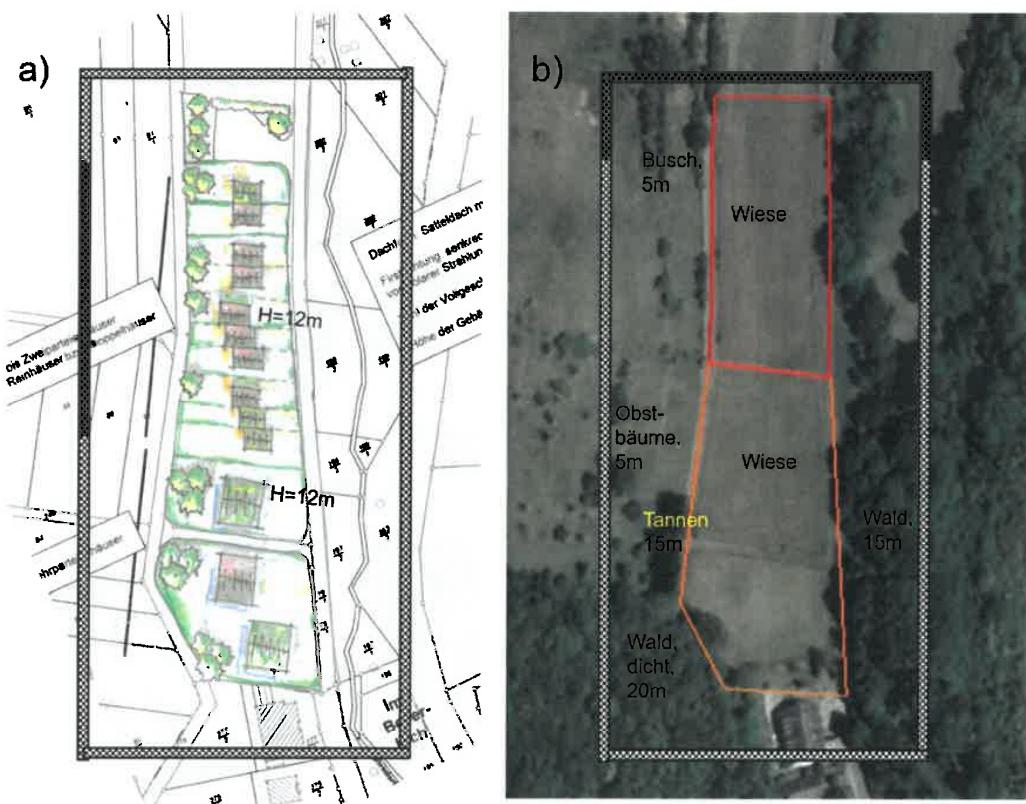


Abbildung 5.1: a) Plangebiet mit geplanter Bebauung (Quelle: Stadt Bad Neuenahr-Ahrweiler); b) Luftbild des Plangebiets (rot/orange, Quelle: Google Earth 2020). Das Modellgebiet ist durch den Rahmen gekennzeichnet.

Für die Modellierung wurde der Ist-Zustand nach Ortsbesichtigung und mit Hilfe von Luftbildern auf ein 2m-Gitter für ein Modellgebiet von 120 m x 256 m übertragen. Dazu wurde das Plangebiet nach Abb.1.7 um 20 Grad gedreht, so dass es etwa parallel zur Talachse liegt (Abb.5.1a). Für die Modellierung wurden 34 vertikale Schichten verwendet. Die Auflösung beträgt 0.4 m in den unteren 2 m, darüber ist der Abstand der Modellniveaus 2 m mit einer Obergrenze bei 59 m. Für den Waldbestand im Ist-Zustand und Planungszustand wurden mitteldichte Bäume mit 15 m Höhe rechts des Großen Weges angenommen (Abb.5.1b). Links des letzten Gebäudes von Lohrsdorf (mit 10 m Höhe) wurde ein dichter Wald mit 20 m Höhe für die Modellierung verwendet. Auf dem Hang westlich des Plangebiets befinden sich einzelne Obstbäume.

und Buschgruppen, die mit 5 m Höhe modelliert werden. Markant ist noch eine Gruppierung von dichten Nadelbäumen mit ca. 15 m Höhe am westlichen Rand des Plangebietes. Für den Ist-Zustand wird für die nicht bewaldeten und nicht bebauten Flächen eine Wiese mit 30 cm Grashöhe angenommen. Die Eigenschaften der Vegetation werden durch die Blattflächendichte (leaf area density, LAD) beschrieben, die je nach Dichte der Vegetation für die einzelnen Bewuchstypen als Vertikalprofil vorgegeben wird.

Eine 3D-Ansicht des Ist-Zustands der Modellierung zeigt Abb.5.2. Für die höheren Bäume ist das Profil der Blattflächendichte gut erkennbar. Flächen ohne Vegetation sind der Große Weg (asphaltiert) und der Feldweg westlich des Plangebietes (Lehm). Für die Strömungsmodellierung sind die Unterschiede der Wege zu den Grasflächen ohne Bedeutung.

Für die Simulationen für den Plan-Zustand wurde für die geplante Bebauung eine Höhe von 12 m angenommen. Die Dachform wurde nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass der Baum- und Buschbestand außerhalb des Bebauungsgebietes unverändert bleibt. Für die in der Bauplanung vorgesehene Neubepflanzung (Abb.5.1a) wurden 10 m hohe Bäume mit freiem Stammraum und eine 2 m hohe dichte Hecke am oberen Rand des Plangebietes angenommen (Abb.5.2). Weiterhin wird angenommen, dass bis auf die Bebauung keine Versiegelung stattfindet und dass die nicht bebauten Flächen im Plangebiet mit Rasen bedeckt sind (10 cm Grashöhe). Da hier vor Allem die Rauhigkeit (Vegetationshöhe) von Interesse ist, ist der Unterschied zu einer anderen Nutzung (z.B. Garten) belanglos. Im Sinne der Erhaltung von möglichst viel Kaltluftproduktion sollte allerdings darauf geachtet werden, dass die Versiegelung möglichst klein bleibt.

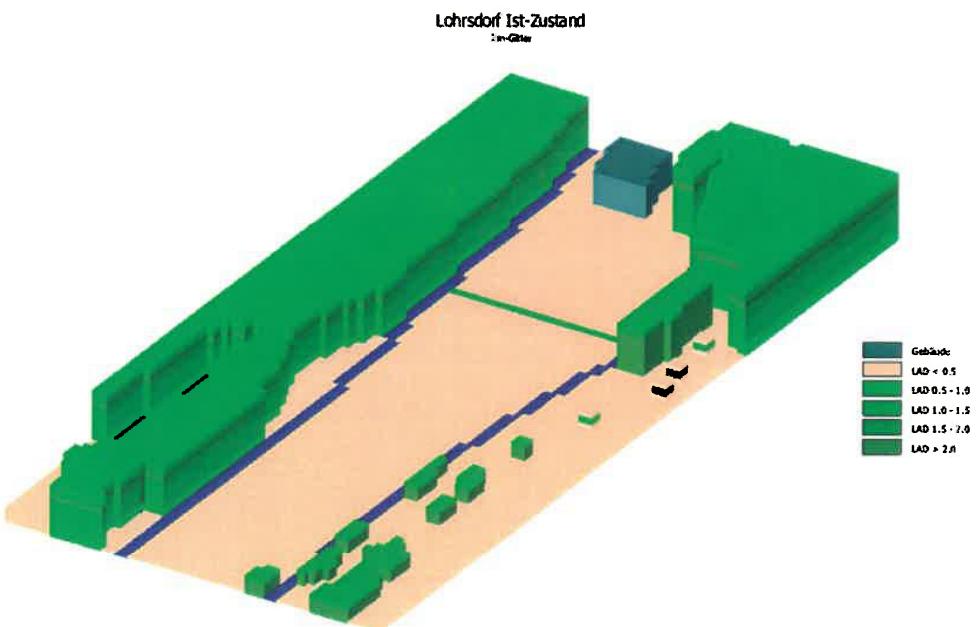


Abbildung 5.2: 3D-Ansicht des Plangebietes für den Ist-Zustand (Ansicht aus Nordwesten). Als Farbskala wird Blattflächendichte (LAD) gezeigt. Flächen ohne Vegetation sind dunkelblau dargestellt.

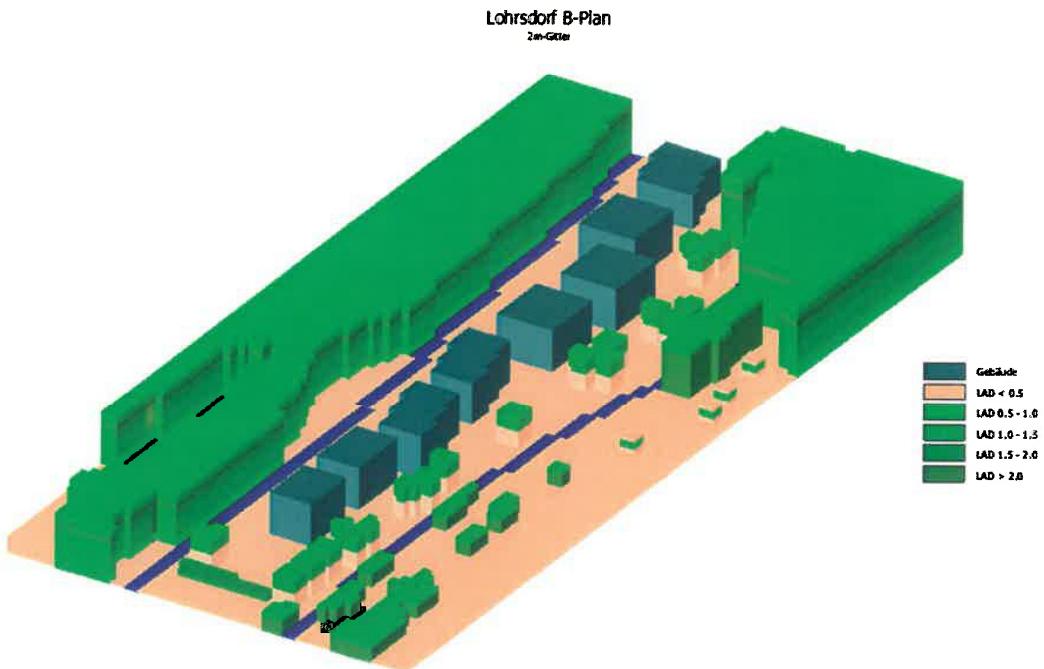


Abbildung 5.3: Wie Abb.5.2, aber für den Plan-Zustand.

5.2 Konzeption der Simulationen

Die Simulationen wurden für idealisierte, wolkenfreie Bedingungen durchgeführt. Da untersucht werden soll, wie sich die geplante Bebauung auf die nächtliche Kaltluftströmung auswirkt, wurden die Erkenntnisse aus den Simulationen in Kap.4 verwendet. Demnach wird das Plangebiet mit einem Bergwind von 1 m/s in 10 m Höhe entlang der Talachse angeströmt. Die Simulationen werden wie in Kap.4 für den 1. August durchgeführt und um 16 UTC gestartet. Zu Beginn der Simulation wurde das Modell mit horizontal homogenen Feldern initialisiert. Das Windprofil am Einströmrand wurde mit einer vorgegebenen Rauhigkeitslänge (Wiese mit 30 cm Grashöhe) berechnet, so dass es in Bodennähe geringere Windgeschwindigkeiten als 1 m/s gibt.

5.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse für den Ist- und Plan-Zustand für 23 UTC vergleichend diskutiert. Abb.5.4 zeigt die Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe. Für den Ist-Zustand (Abb.5.4a) zeigt sich, wie die Strömung durch die Bäume und Büsche modifiziert wird. Während die dichten Büsche am Westhang die Strömung in ihrem Lee stark verringern, führen die Waldgebiete zu einer teilweisen Kanalisierung und Beschleunigung der Strömung. Dies ist besonders gut sichtbar im unteren Teil des Plangebiets zwischen dem Gebäudebestand und den Waldgebieten. Innerhalb der Waldgebiete liegt die Strömungsgeschwindigkeit im Bereich von 0.1-0.4 m/s.

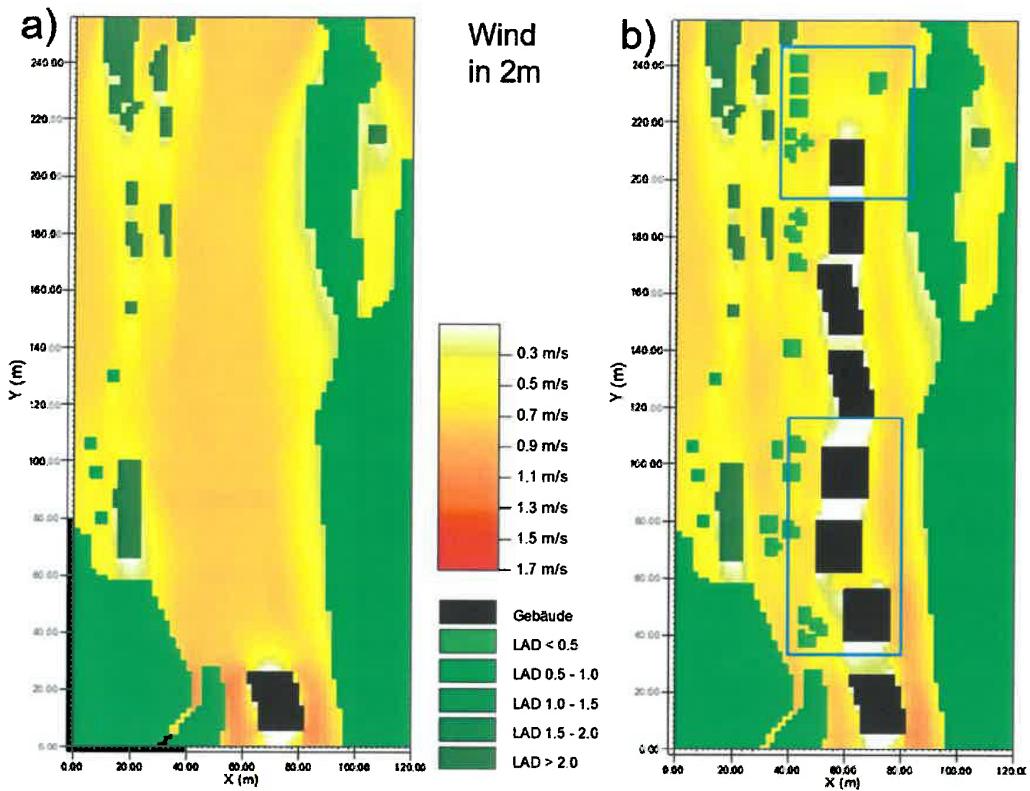


Abbildung 5.4: Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe (Farbskala) um 23 UTC für a) den Ist-Zustand und b) den Plan-Zustand. Windgeschwindigkeiten unterhalb der Vegetations- bzw. Gebäudehöhe sind ausgeblendet. Die Boxen in b) markieren Ausschnitte (s. Abb.5.6).

Für den Plan-Zustand (Abb.5.4b) zeigt sich der Einfluss der neuen Gebäude auf den Wind in 2 m Höhe. Auf der hangwärtigen Seite des Plangebietes und im Bereich der Gebäude wird der Wind abgeschwächt, im Bereich des Großen Weges ergibt sich ein zusätzlicher Kanalisierungseffekt, so dass die Windgeschwindigkeiten nur wenig vom Ist-Zustand abweichen. In 10 m Höhe wird die Strömung beim Ist-Zustand über dem Plangebiet nur sehr wenig modifiziert (Abb.5.5a). Der Kanalisierungseffekt im Bereich des Gebäudebestands ist auch in 10 m Höhe vorhanden. Im Plan-Zustand (Abb.5.5b) ist dieser Effekt in 10 m Höhe entlang des gesamten Großen Wegs zu sehen. Im Bereich der neuen Bebauung findet eine Abschwächung der Strömung statt.

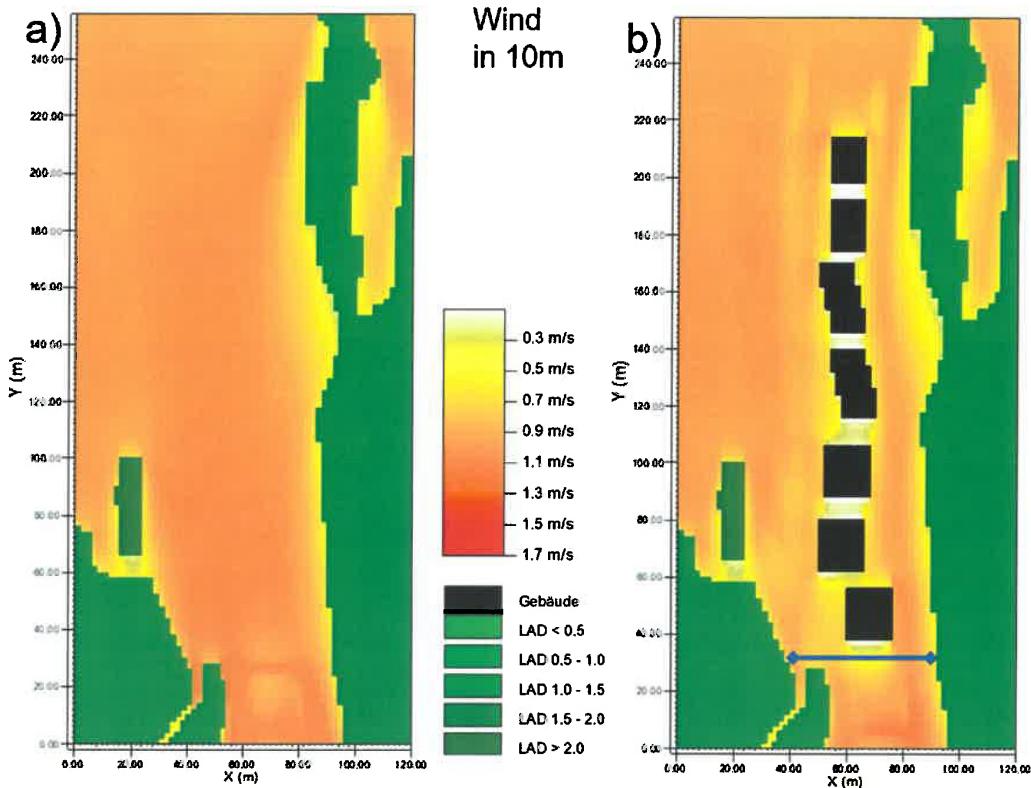


Abbildung 5.5: Wie Abb.5.4, aber für 10 m Höhe. Die blaue Linie markiert die Lage des Querschnitts in Abb.5.7.

Die Strömung für den Plan-Zustand wird nun etwas detaillierter für zwei Ausschnitte betrachtet (s. Abb.5.4). Für den Teil des Plangebietes mit Mehrfamilienhäusern (Abb.5.6a) wird deutlich, wie die Strömung zwischen den beiden oberen Gebäuden zwar zum Erliegen kommt, links und rechts der Gebäude wird die Strömung relativ wenig modifiziert bzw. durch den Kanalisierungseffekt sogar verstärkt. Das untere Gebäude ist leicht versetzt, was zu einer stärkeren Umströmung führt und die Strömung stärker verändert. Insgesamt kann aber festgehalten werden, dass die geplante Gebäudeanordnung (im Wesentlichen eine linienhafte Anordnung parallel zur Talachse) in Hinblick auf eine Beeinflussung des Bergwindes gut gewählt ist. Einen zweiten Aspekt verdeutlicht Abb.5.6b im oberen Teil des Plangebietes. Hier trifft der noch ungestörte Bergwind auf die neue Bebauung und Bepflanzung. Die 10 m hohen Bäume mit freiem Stammraum sind für den Wind in 1.6 m Höhe nicht relevant, aber die 2 m hohe Hecke führt zu einer erheblichen Verringerung der bodennahen Strömung.

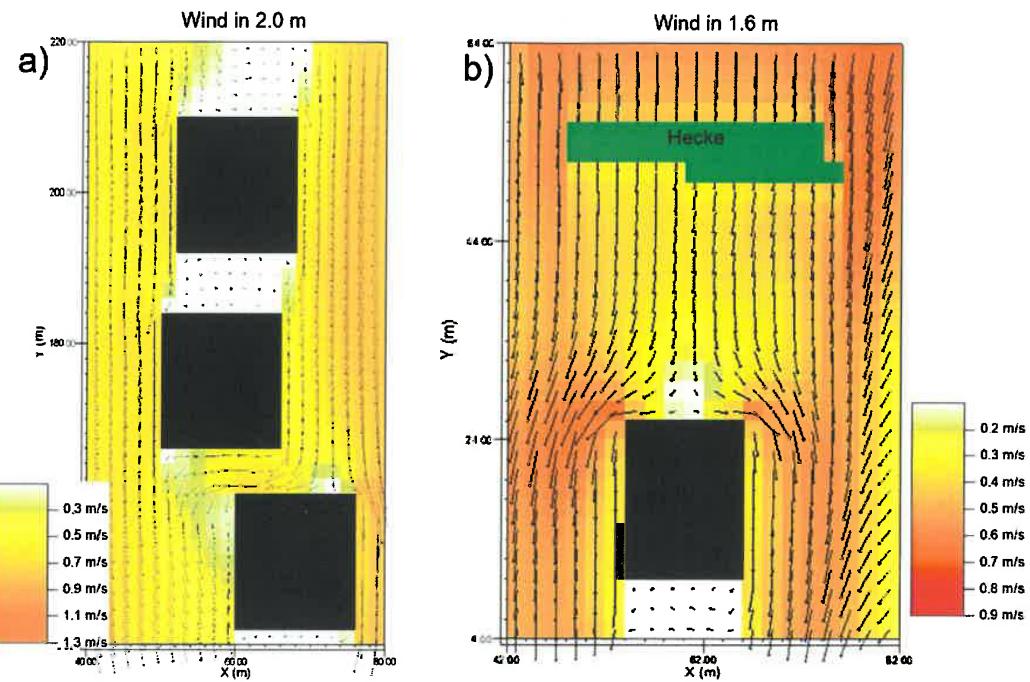


Abbildung 5.6: Ausschnitte aus dem Modellgebiet (s. Abb.5.4) für a) Wind in 2 m Höhe den unteren Teil des Plangebietes mit Mehrfamilienhäusern; b) Wind in 1.6 m Höhe den oberen Teil des Plangebietes (Windgeschwindigkeit farbig) und Windvektoren). In b) ist die 2 m hohe Hecke grün markiert.

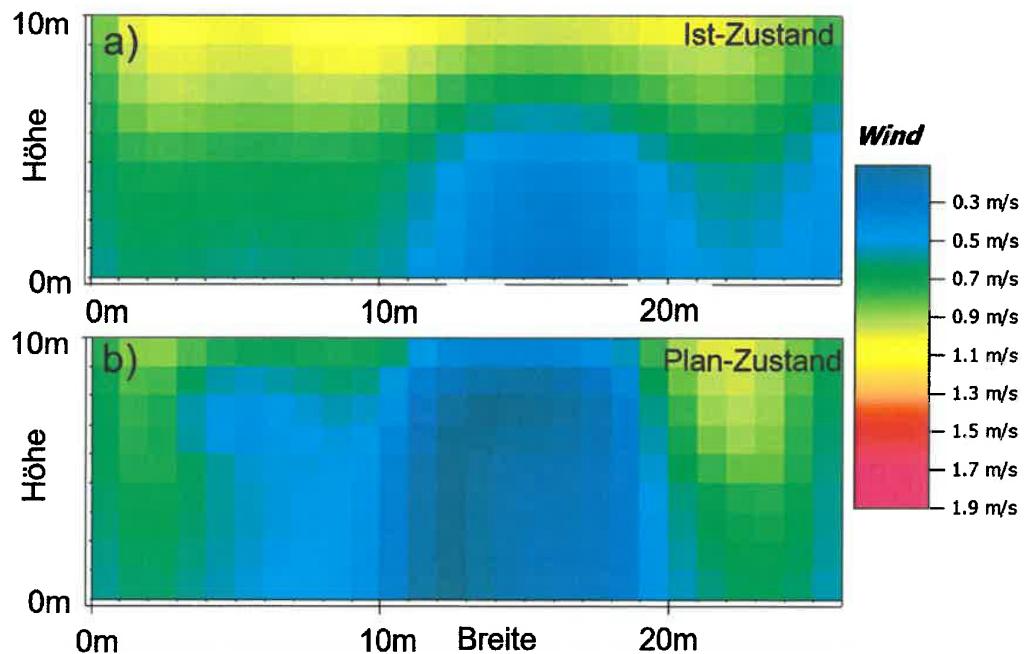


Abbildung 5.7: Querschnitt für die Windgeschwindigkeit am Ortsrand von Lohrsdorf (unterste 10m, Lage s. Abb.5.5b) für a) den Ist-Zustand (oben) und b) den Planzustand um 23 UTC.

Zum Abschluss wird ein Querschnitt am südlichen Rand des Plangebietes betrachtet, sowohl für den Ist-Zustand als auch für den Plan-Zustand (Abb.5.7). Die Lage des Querschnitts ist in Abb.5.5b markiert. Die Lage ist so gewählt, dass hier die Anströmbedingungen in den untersten 10 m am Ortsrand von Lohrsdorf repräsentiert. Im Ist-Zustand ist hier der Einfluss der bestehenden Bebauung in Form einer Geschwindigkeitsreduktion in der Mitte des Querschnitts zu erkennen (vgl. Abb.5.4+5.5). Ebenso sieht man die beginnenden Kanalisierungseffekte durch die Umströmung des Gebäudes. Im Plan-Zustand wird der Wind in der Mitte und im linken Teil des Querschnitts durch die neue Bebauung erheblich stärker und bis in größere Höhen reduziert. Im rechten Teil des Querschnitts wird dagegen die Kanalisierung verstärkt und der Wind nimmt zu. Als Mittel über den Querschnitt erhält man für den Wind 0.70 m/s für den Ist-Zustand und 0.51 m/s für den Plan-Zustand. Dies entspricht einem Kaltluftvolumenstrom von 7 m³/(ms) für den Ist-Zustand bzw. 5 m³/(ms) für den Plan-Zustand.

Zusammenfassung der Simulationen mit Vegetations- und Gebäudeumströmung:

- Die Strömungssituation im südlichen Bereich des Plangebietes ist stark durch die Verengung des Strömungsquerschnittes durch die Waldgebiete geprägt. Damit ergeben sich zusammen mit den Gebäuden Kanalisierungseffekte, die die Strömung im Bereich des Großen Weges verstärken.
- Durch die geplante Gebäudeanordnung wird der Kaltluftvolumenstrom in den untersten 10 m am derzeitigen Ortseingang von Lohrsdorf vermindert, bleibt aber auf einem Niveau, das eine relativ gute Belüftung sicherstellt.
- Die Anordnung der Gebäude parallel zur Talachse ist gut gewählt.
- Es sollte bedacht werden, dass auch dichte Hecken quer zur Talrichtung die Strömung in Bodennähe reduzieren.

6. Schlussfolgerungen/Fazit

Die regionalklimatischen Gegebenheiten von Lohrsdorf wurden durch die Messdaten der DWD-Station Ahrweiler ermittelt. Dabei lag der Fokus auf Temperatur-Extremtagen im Sommer und die Frage, wie häufig windschwache Strahlungswetterlagen zu erwarten sind, an denen sich Kaltluftabflüsse im Plangebiet ausbilden. In den letzten 30 Jahren wurden durchschnittlich ca. 49 Sommertage und ca. 12 Hitzetage pro Jahr beobachtet. Diese Extremtagen waren überwiegend mit Strahlungswetterlagen verbunden. Sommertage mit nächtlicher Kaltluftströmung treten an ca. 39 Tagen pro Jahr auf. Im Rahmen des zukünftigen Klimawandels ist bei allen Temperaturextremtagen eine deutliche Zunahme zu erwarten, was bei baulichen Maßnahmen berücksichtigt werden sollte.

Für die Simulation der Luftströmung für das Lohrsdorfer Tal wurde das Modell FOOT3DK verwendet. Das Modellgebiet hat eine Ausdehnung von $4 \times 4 \text{ km}^2$. Für idealisierte Bedingungen der Atmosphäre, aber unter detaillierter Berücksichtigung der Topographie und Landnutzung wurden die topographisch bedingten Kaltluftströme simuliert. Daraus lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Die nächtlichen Kaltluftströme im Lohrsdorfer Tal sind überwiegend durch bodennahe Hangwinde am Abend und das Bergwindsystem in der Nacht geprägt.
- Das Bergwindsystem erstreckt sich vertikal über fast den gesamten Talquerschnitt und ist auch über den bebauten Gebieten präsent. In den untersten 10 m wird die Strömung reduziert, trägt aber weiterhin zu der Belüftung in Lohrsdorf bei. Dies ist auf die geplante Bebauung übertragbar.

Zur Beschreibung der detaillierten Umströmung von Gebäuden und Vegetation im Plangebiet wurde das Modell Envi-Met mit einer horizontalen Auflösung von 2 m verwendet. Als idealisierte Anströmung wurde die nächtliche Situation mit Bergwind gewählt. Aus den Simulationen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die Strömungssituation im südlichen Bereich des Plangebiets ist stark durch die Verengung des Strömungsquerschnittes durch die Waldgebiete geprägt. Damit ergeben sich zusammen mit den Gebäuden Kanalisierungseffekte, die die Strömung im Bereich des Großen Weges verstärken.
- Durch die geplante Gebäudeanordnung wird der Kaltluftvolumenstrom in den untersten 10 m am derzeitigen Ortseingang von Lohrsdorf vermindert, bleibt aber auf einem Niveau, das eine relativ gute Belüftung sicherstellt.
- Die Anordnung der Gebäude parallel zur Talachse ist gut gewählt.
- Dichte Vegetation mit einer Höhe von mehreren Metern in den Gärten kann zu Strömungsriegeln führen und die Strömung in Bodennähe reduzieren.

Gesamtfazit, Empfehlungen und Bemerkungen

Die geplante Bebauung wird keine erheblichen Auswirkungen auf die nächtlichen Kaltluftströme und die Belüftungsverhältnisse der Ortslage Lohrsdorf sowie die mikroklimatischen Verhältnisse in Lohrsdorf haben.

Der Versiegelungsgrad der Bebauung sollte möglichst gering gehalten werden (Dachbegrünung, Rasengittersteine, keine versiegelten Vorgärten oder Steingärten). Damit soll einer Überwärmung am Tag vorgebeugt werden, die in der Folge auch negative

Auswirkungen auf die lokale Kaltluftbildung haben würde. Es sollte vermieden werden, dass dichte Bäume und Hecken der Gärten des geplanten Wohngebietes zu Strömungsriegeln führen. Die Anordnung der Gebäude etwa entlang der Talachse sollte beibehalten werden. Die Bebauung der Talhänge oberhalb des Plangebietes (auch für zukünftige Bauplanungen) sollte vermieden werden.

Diese gutachterliche Stellungnahme zum klimatischen Einfluss des geplanten Baugebietes basiert auf Modellergebnissen, die physikalisch konsistent und plausibel sind, aber nicht eine Erfassung der Strömungsverhältnisse durch ein Sondermessprogramm ersetzen. Dies wäre notwendig, um die Simulationen zu verifizieren und eine abgesicherte Quantifizierung der Kaltluftabflüsse zu erhalten.

Abkürzungen

3D	dreidimensional
ABL	atmosphärische Grenzschicht (atmospheric boundary layer)
AgrarMet	Agrarmeteorologie, Dienstleistungszentren Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz
B ₀	Bodenwärmestrom
CLB	konvektive Grenzschicht (convective boundary layer)
DWD	Deutscher Wetterdienst
E ₀	Flussdichte latenter Wärme an der Oberfläche
Envi-Met	mikroskaliges dreidimensionales Modell
FOOT3DK	Flow Over Orographically structured Terrain 3 Dimensional, Kölner Version
H ₀	Flussdichte sensibler Wärme an der Oberfläche
LAD	leaf area density
NBL	neutrale Grenzschicht (neutral boundary layer)
Q ₀	Strahlungsbilanz an der Oberfläche
SBL	stabile Grenzschicht (stable boundary layer)
UTC	Universal Time Coordinated (Mitteleuropäische Sommerzeit minus 2 Stunden)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WMO	Weltorganisation für Meteorologie

Datenquellen

- CDC (Climate Data Center), 2021: Klimadaten Deutschland.
LVerMGeoRP, 2021: dl-de/by-2-0, <http://www.lvermgeo.rlp.de> [Daten bearbeitet].
CORINE Land Cover 10 ha (CLC10), <https://land.copernicus.eu>
Google Earth Pro, 2020, 2021

Literatur

- Arritt, R.W., Pielke, R.A., 1986: Interactions of Nocturnal Slope Flows with Ambient Winds, *Boundary-Layer Meteorol.* 37, 183–195.
Brücher, W., Kerschgens, M., Martens, R., Thielen, H., Maßmeyer, K., 1998: Tracer Experiments in the Freiburg-Schauinsland Area - Comparison with Flow and Dispersion Models. *Meteorol. Zeitschrift N. F.* 7, 32-35.
Bruse, M., 1999: Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Dissertation an der Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum.
Haiden, T., Whiteman, C. D., 2005: Katabatic flow mechanisms on a low-angle slope. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 44, 113-126.
Hartenstein, M., 2000: Analyse eines Bergwindsystems im Nordschwarzwald (Michelbachtal bei Gaggenau) unter Berücksichtigung seiner stadtclimatisch-lufthygienischen Bedeutung. *Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie*, Band 11, 104pp.
Heinemann, G., 2006: On the consideration of mesoscale transports in climate modelling. *Theor. Appl. Climatol.* 83, 35-50, DOI 10.1007/s00704-005-0159-7.
Heinemann, G., Kerschgens, M., 2005: Comparison of methods for area-averaging surface energy fluxes over heterogeneous land surfaces using high-resolution non-hydrostatic simulations. *Int. J. Climatol.* 25, DOI: 10.1002/joc.1123, 379-403.
Heinemann, G., Kerschgens, M., 2006: Area-averaged surface energy fluxes using high-resolution non-hydrostatic simulations and comparisons with measurements for the LITFASS-2003 experiment. *Boundary-Layer Meteorol.* 121, DOI: 10.1007/s10546-006-9107-z, 195-220.
King, C., 1989: Representativeness of Single Vertical Wind Profiles for Determining Volume Flux in Valleys. *J. Appl. Meteor.*, 28, 463–466.
Oke, T., 2017: *Urban Climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
Shao, Y., Sogalla, M., Kerschgens, M.J., Brücher, W., 2001: Treatment of land surface heterogeneity in a meso-scale atmospheric model. *Meteorol. Atm Phys.* 78, 157-181.
Stull, R.B., 1988: *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Springer Berlin, 680 pp.
VDI, 2003: Richtlinie "Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft", VDI 3787 Bl. 5. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 85pp.
Whiteman, D., 2000: *Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications*. Oxford University Press, 355pp.
Whiteman and Zhong, 2008: Downslope flows on a low-angle slope and their interactions with valley inversion. Part I: Observations. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 47, 2023–2038.
WMO, 2008: *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland, 681pp.