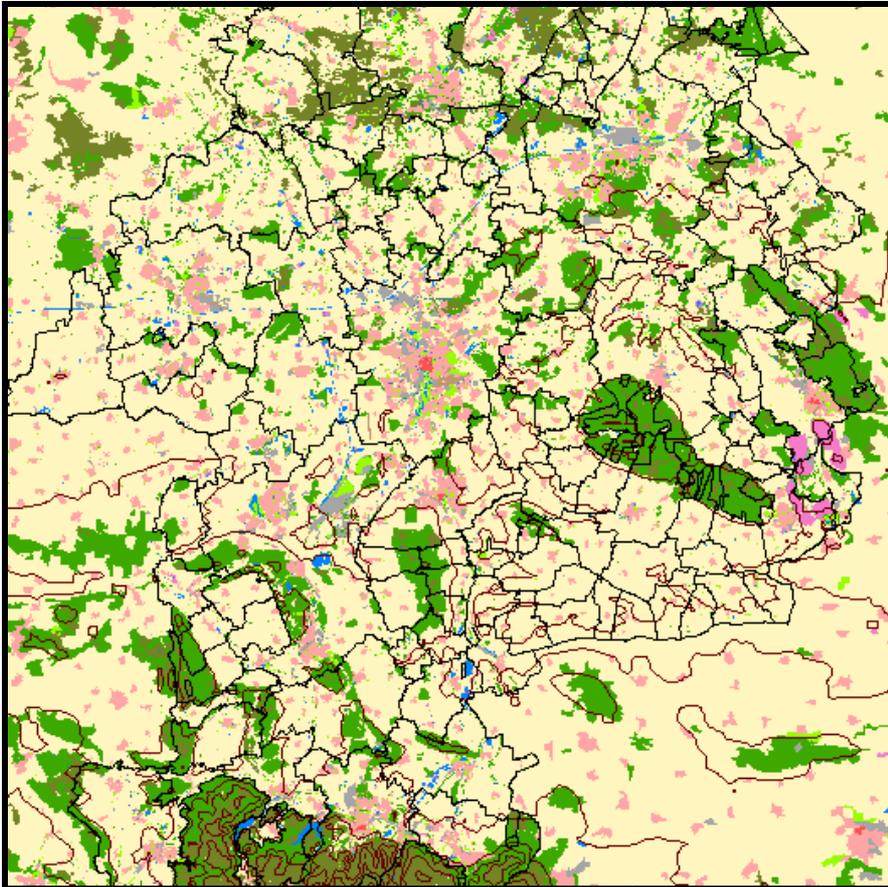


Analyse der klimaökologischen Funktionen für das Gebiet des Zweckverbandes Großraum Braunschweig: Teilbereich Kaltlufthaushalt



Auftraggeber:



**Zweckverband
Großraum Braunschweig**
Frankfurter Straße 2
38122 Braunschweig



GEO-NET Umweltplanung und GIS-Consulting GbR

Große Pfahlstraße 5

3 0 1 6 1 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

Projektleiter: Peter Trute

email: trute@geo-net.de

In Zusammenarbeit mit: Prof. Dr. G. Gross
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),
Öffentlich bestellter Gutachter für Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

Hannover, März 2004



Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
1 Aufgabenstellung	1
2 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis	2
2.1 Geländehöhe	2
2.2 Nutzungsstruktur	2
3 Methodik	5
3.1 Beschreibung des verwendeten Modells FITNAH.....	5
3.2 Synoptische Rahmenbedingungen für die Modellberechnung Klimaökologie.....	7
3.3 Klassifizierung der berechneten Parameter	7
4 Ergebnisse	10
4.1 Bodennahes Temperaturfeld.....	10
4.2 Bodennahes Strömungsfeld	15
4.3 Kaltluftmassenstrom als Kriterium für die klimaökologische Ausgleichsleistung.....	18
5 Planungskarte Klima/Luft	23
5.1 Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüge.....	23
5.2 Situation in ausgewählten Städten des Zweckverbandes Großraum Braunschweig	26
5.2.1 Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüge am Beispiel Wolfenbüttel	28
5.2.2 Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüge am Beispiel Goslar	31

6	Fazit	35
7	Literatur	35

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Geländehöhe.....	3
Abb. 2	Nutzungsstruktur.....	4
Abb. 3	Temperatur in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 6:00 Uhr.....	12
Abb. 4	Temperaturdifferenz zum Gebietsmittel (10,7°C) zum Zeitpunkt 6:00 Uhr	13
Abb. 5	Nächtliche Abkühlung (Differenz der Simulationszeitpunkte 22:00 Uhr und 6:00 Uhr).....	14
Abb. 6	Autochthones Strömungsfeld und Windgeschwindigkeit zum Zeitpunkt 6:00 Uhr	16
Abb. 7	Autochthones Strömungsfeld und Intensität des Kaltluftmassenstroms	19
Abb. 8	Mittlerer Massenstrom in den Einzugsgebieten.....	20
Abb. 9	Prozessgeschehen in den Einzugsgebieten.....	21
Abb. 10	Planungskarte	24
Abb. 11	Anhand der Nutzungsstruktur abgeleitete klimaökologische Belastung der Wirkräume.....	27
Abb. 12	Von der Nutzungsstruktur abgeleitete Belastungssituation in Wolfenbüttel	28
Abb. 13	Ausschnitt aus der Planungskarte im Raum Wolfenbüttel.....	29
Abb. 14	Von der Nutzungsstruktur abgeleitete Belastungssituation in Goslar	31
Abb. 15	Ausschnitt der Planungskarte im Raum Goslar.....	32

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Kaltluftlieferung der Einzugsgebiete (vornehmlich thermisch).....	7
Tab. 2	Kaltluftlieferung der Einzugsgebiete (vornehmlich orographisch bzw. Mischtyp)	8
Tab. 3	Strömungsgeschwindigkeit und -richtung autochthoner Luftaustauschprozesse	8
Tab. 4	Prozessgeschehen in den Einzugsgebieten	8
Tab. 5	Bioklimatische Belastung des Siedlungsraums	9
Tab. 6	Anteil der an autochthonen Strömungssystemen beteiligten Freiflächen	17
Tab. 7	Kennwerte ausgewählter Kaltlufteinzugsgebiete im Raum Wolfenbüttel	29
Tab. 8	Kennwerte ausgewählter Kaltlufteinzugsgebiete im Raum Goslar.....	32

1. Aufgabenstellung

Im Auftrag des Zweckverbandes Großraum Braunschweig wurde vom Büro GEO-NET Umweltplanung und GIS-Consulting GbR in Kooperation mit Prof. Dr. G. Gross (Anerkannt beratender Meteorologe – DMG; Öffentlich bestellter Gutachter für Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim) im Dezember 2003 und Januar 2004 eine Analyse der klimaökologischen Funktionen des Zweckverbandgebietes durchgeführt.

Für eine nachhaltige (Umwelt-)Planung ist es u. a. notwendig, verlässliche und flächendeckende Informationen zur Ausprägung einzelner Klimaparameter und zum klimaökologischen Prozessgeschehen im Untersuchungsgebiet zu erhalten. Um planungsrelevante Aussagen zur klimaökologischen Situation in einer hohen räumlichen Auflösung zu erhalten, wurde in diesem Projekt für die gesamte Fläche des Zweckverbandes Großraum Braunschweig ein einheitliches GIS-basiertes Methodenpaket mit dem Klimamodell FITNAH als zentralem Analysebaustein, angewendet. Dieses Herangehen beinhaltet folgende zentrale Vorteile:

- Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse im Gesamttraum wird gewährleistet,
- Neben den qualitativen Aussagen zur Ausprägung einzelner klimatischer Phänomene werden auch quantitative Aussagen zu klimaökologischen Zuständen und zum Prozessgeschehen möglich.
- Klimaökologische Ausgleichs- und Prozessräume sowie bioklimatische Belastungsräume werden im Untersuchungsgebiet verortet und in ihrer räumlichen Ausprägung dargestellt.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Modellrechnung für das Verbandgebiet dargestellt. Das Ziel ist die Bereitstellung einer Planungskarte für den Teilbereich Kaltlufthaushalt, in welcher die Funktionszusammenhänge zwischen belasteten Siedlungsbereichen und kaltluftproduzierenden Freiflächen aufgezeigt werden. Daran anschließend wird angesichts der naturräumlichen Heterogenität des Untersuchungsgebietes die Situation exemplarisch für zwei ausgewählte Städte beschrieben.

2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis

Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von etwa 5100 km². Für einen Großteil dieses Gebietes standen Daten aus dem ATKIS zur Verfügung. In den Außenbereichen wurde der Datenbestand durch Ergebnisse aus dem CORINE Land-Cover-Projekt (EUROPEAN COMMISSION 1994) sowie durch verschiedene interne Höhendaten ergänzt. Zur Aufbereitung und Vereinheitlichung der Datengrundlage wurden die geografischen Informationssysteme ArcView 3.2 und ArcGIS 8.2 der Firma ESRI eingesetzt.

2.1 Geländehöhe

Zur Bereitstellung der orographischen Eingangsparameter für die Berechnung des Wind- und Temperaturfeldes wurde aus den Daten des ATKIS DGM5 (Digitales Geländemodell in einer Gitterweite 12,5 m x 12,5 m) und aus den randlich eingefügten zusätzlichen Höhendaten ein einheitliches Höhenmodell für den Untersuchungsraum generiert. Die Zellengröße des erzeugten Modelleingangsrasters beträgt 250 m. In der Abbildung 1 sind die Geländehöhe und die 100 m-Höhenlinien des Modells dargestellt. Hier wird die weite Spanne der Höhenlagen im Untersuchungsgebiet deutlich. Den höchstgelegenen Geländepunkt im Verbandsgebiet markiert der im Harz gelegene Bruchberg mit ca. 927 m Meereshöhe. Damit ergibt sich, ausgehend von der Allerniederung, in der Minimalwerte von ca. 40m ü. NN auftreten, eine Höhendifferenz von knapp 890 m.

2.2 Nutzungsstruktur

Für die weiteren modellrelevanten Parameter lag für einen Großteil des Untersuchungsgebietes das ATKIS Basis-DLM (Digitales Landschaftsmodell) vor. Aus der Vielzahl von Objektarten im Basis-DLM wurden in mehreren Aggregierungsschritten elf Nutzungsklassen erzeugt. Da für flächenhafte Simulationen mit Hilfe eines numerischen Modells wie beispielsweise FITNAH eindeutige topografische Informationen erforderlich sind, verfolgte die Aggregierung neben der Vereinfachung der Eingangsparameter auch den Zweck, die für das Basis-DLM typische geometrische Redundanz zu beseitigen. Zur Ergänzung in randlichen Bereichen wurden, wie bereits erwähnt, Corine-Daten herangezogen, die zur Vereinheitlichung an das vorliegende Klassifikationssystem angepasst wurden. Eine Übersicht der erzeugten Klassen gibt die Legende in Abbildung 2.

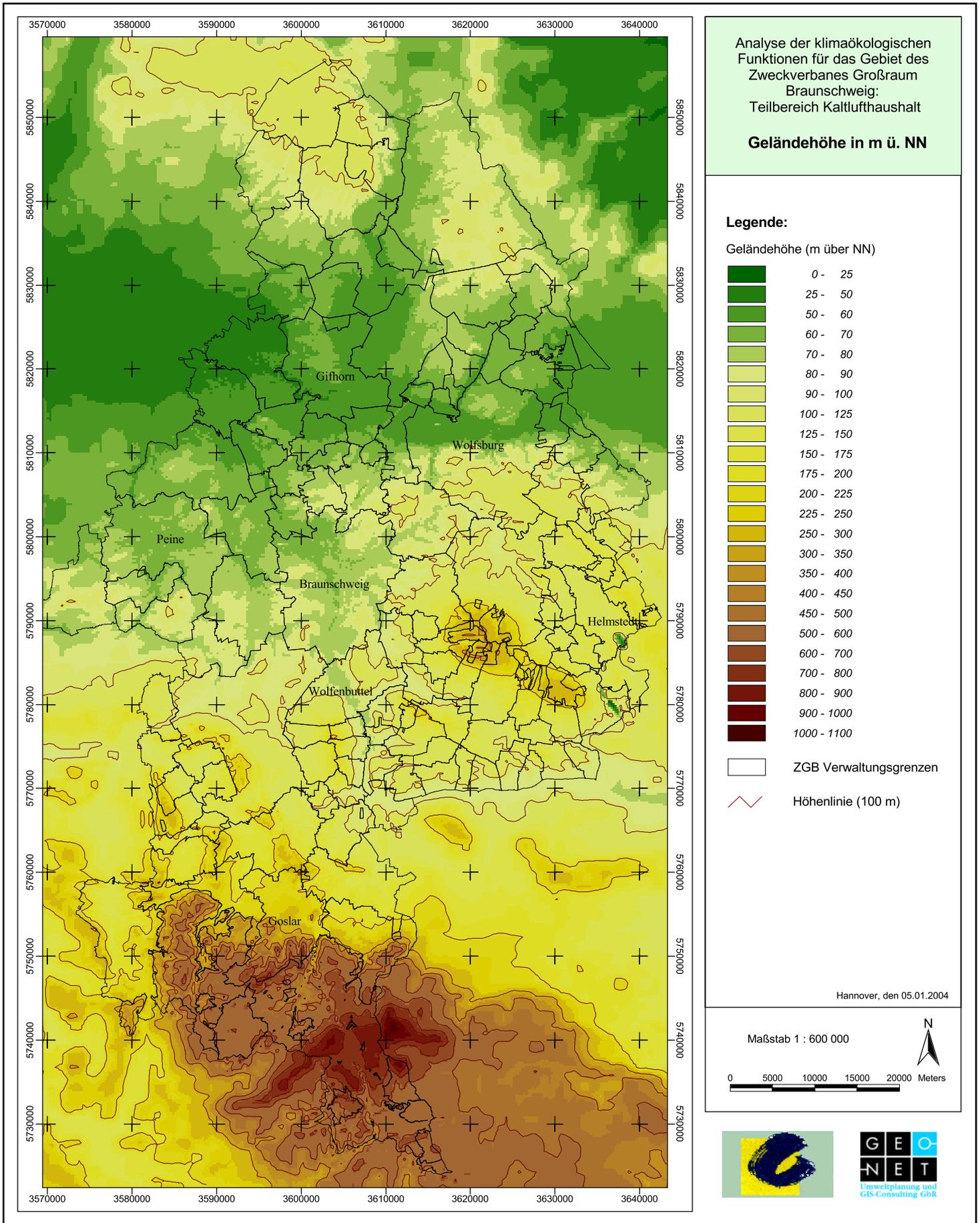


Abb. 1 Geländehöhe

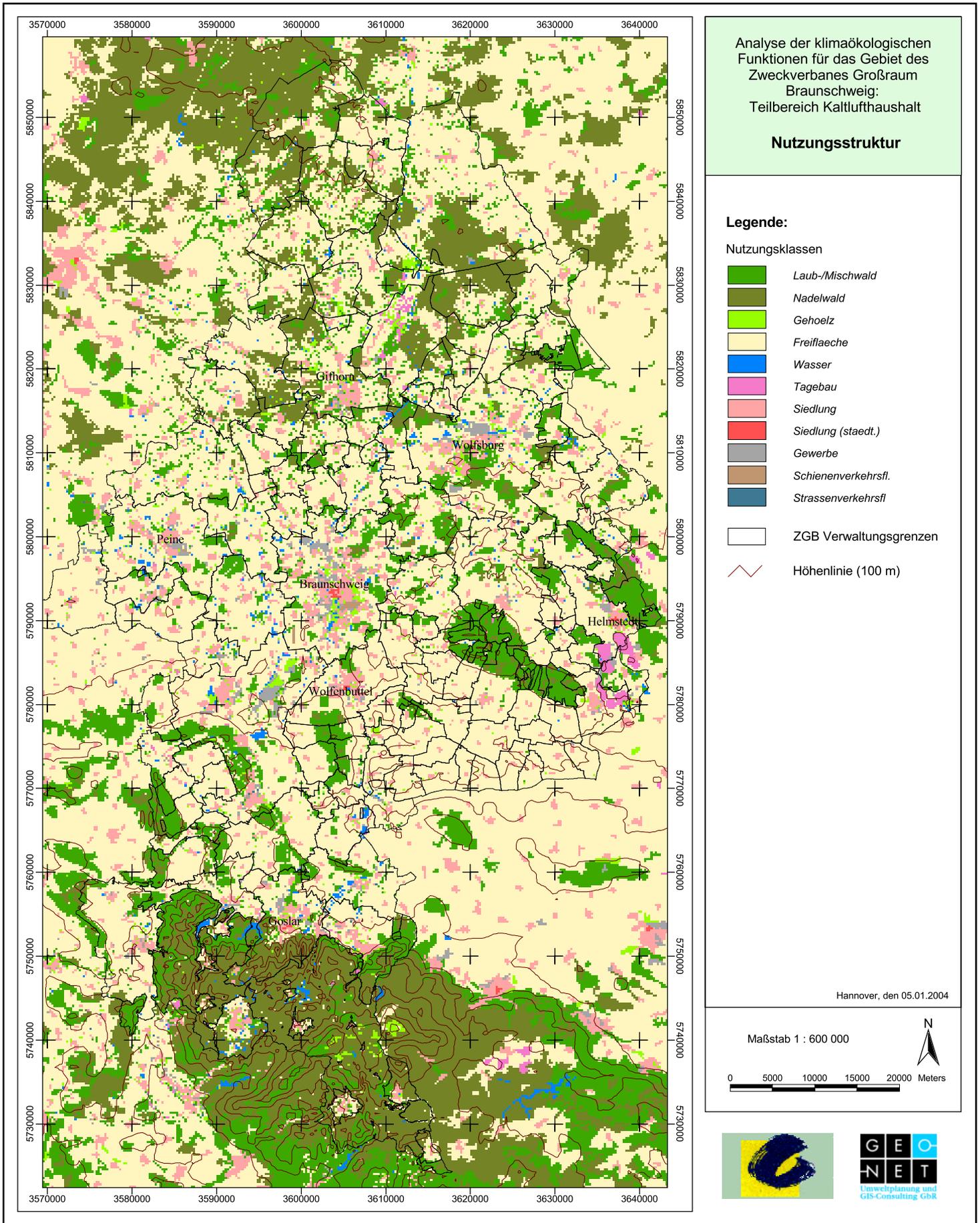


Abb. 2 Nutzungsstruktur

3. Methodik

3.1 Beschreibung des verwendeten Modells FITNAH

Eine wichtige Ursache für die Entstehung und die Ausbildung eines typischen lokalklimatischen Gefüges sind die unterschiedlichen Boden- und Oberflächeneigenschaften der verschiedenen genutzten Räume. Daraus resultieren Temperaturdifferenzen der einzelnen Teilräume und dynamische Luftausgleichsbewegungen zwischen ihnen (z.B. Flurwindssysteme). Wind und Temperatur sowie daraus abgeleitete Größen sind die dominierenden Einflussfaktoren zur Bewertung des Lokalklimas unter human-biometeorologischen und lufthygienischen Gesichtspunkten.

Die Untersuchung und Erfassung des Lokalklimas kann mit Hilfe verschiedener Methoden erfolgen. Hierzu zählen Feldmessungen und Fernerkundungsverfahren genauso wie Windkanalstudien und die Anwendung numerischer Simulationsmodelle. Gerade numerische Simulationsmodelle sind in vorteilhafter Weise in der Lage, die aufgrund der großen Komplexität der Nutzungsstrukturen räumlich und zeitlich sehr stark veränderlichen meteorologischen Größen zu erfassen.

Die detaillierte Berechnung der Wind- und Temperaturverhältnisse für das Gebiet des Zweckverbandes Großraum Braunschweig wurde mit dem **Modell FITNAH (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources)** durchgeführt. Eine genaue mathematische und physikalische Beschreibung des Modells ist bei Gross (1993) zu finden.

Numerische Simulationsmodelle werden in sehr vielen Gebieten der Meteorologie eingesetzt, und die resultierenden Erkenntnisse liefern wichtige Basisinformationen für viele Lebensbereiche. Die Wettervorhersage für die nächsten 1-5 Tage wird fast ausschließlich von solchen komplexen und umfangreichen Computermodellen erstellt. Auch die Erkenntnisse zu den möglichen Veränderungen unseres globalen Klimas in den nächsten Jahrzehnten resultieren aus solchen Rechnungen. Und schließlich werden Modelle ähnlichen Typs auch dazu verwendet, die lokalen und die regionalen Verteilungen der meteorologischen Variablen in der Atmosphäre zu berechnen (Gross 2002).

Die o.g. Computermodelle für die verschiedenen Skalen und Aufgabenstellungen basieren alle auf dem gleichen mathematisch-physikalischen Gleichungssystem. Lediglich im Detail finden sich skalenspezifische Unterschiede. Das Grundgerüst des dreidimensionalen Modells FITNAH besteht aus den Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und innerer Energie sowie Bilanzgleichungen für Feuchtekomponenten und Luftbeimengungen.

Die verschiedenen turbulenten Flüsse werden mit Hilfe empirischer Ansätze mit den berechenbaren mittleren Größen verknüpft. Der dabei auftretende turbulente Diffusionskoeffizient wird aus der turbulenten kinetischen Energie berechnet, für die eine zusätzliche Gleichung gelöst wird. Die Erwärmungs- und Abkühlungsraten in der Atmosphäre aufgrund der Divergenz der langwelligen Strahlungsflüsse werden über ein Verfahren berechnet, bei dem die Emissivität des Wasserdampfes in der Luft berücksichtigt wird. Bei detaillierten Simulationen in realem Gelände müssen neben der Orographie insbesondere auch der Einfluss von Wäldern und urbanen Strukturen auf die Verteilung der meteorologischen Größen realitätsnah berücksichtigt werden. Hierzu sind in FITNAH besondere Parametrisierungen vorgesehen. Ein Wald oder Baumbestand findet über bestandsspezifische Größen wie Baumhöhe, Bestandsdichte und Baumart Eingang in das Modell. Damit gelingt es u.a., die Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im Kronenbereich und die starke nächtliche Abkühlung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit verfügbaren Beobachtungen zu simulieren. Unter Berücksichtigung der stadtspezifischen Größen Gebäudehöhe, Versiegelungs- und Überbauungsgrad und anthropogene Abwärme kann die typische Ausbildung der städtischen Wärmeinsel bei verringerter mittlerer Strömung simuliert werden (z.B. Gross 1989). Das gesamte Gleichungssystem einschließlich der Parametrisierungen wird in ein dem Gelände folgendes Koordinatensystem transformiert. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, insbesondere die Randbedingungen der verschiedenen meteorologischen Größen am unteren Rand, dem Erdboden, problemspezifisch zu formulieren. Die Berechnung der Erdoberflächentemperatur erfolgt über eine Energiestrombilanz, bei der fühlbarer und latenter Wärmestrom, der Bodenwärmestrom, kurz- und langwellige Strahlungskomponenten sowie der anthropogene Wärmestrom Berücksichtigung finden.

Die Differentialgleichung des benutzten Gleichungssystems werden in Differenzgleichungen überführt und auf einem numerischen Gitter gelöst. Die hier verwendete räumliche Maschenweite Δx beträgt 250 m. Die vertikale Gitterweite ist nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre sind die Rechenflächen besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m. Nach oben hin wird der Abstand Δz immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m über Grund. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind.

3.2 Synoptische Rahmenbedingungen für die Modellberechnung Klimaökologie

Während autochthoner Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Landschaft besonders gut ausprägen. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einem nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Diese Wetterlagen treten in Norddeutschland typischerweise an ca. 15 % der Jahresstunden auf (DWD 1996). Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- sehr schwach überlagernder geostrophischer Wind aus östlichen Richtungen,
- relative Feuchte der Luftmasse 50%.

3.3 Klassifizierung der berechneten Parameter

Die Ausprägungen der verschiedenen klimaökologischen Größen sind zur besseren planerischen Einordnung in ein Klassifikationsschema überführt worden. Diese Einstufungen sind nach den fachlichen Vorgaben vorgenommen worden und Bestandteil der in diesem Zusammenhang entstandenen Kartenwerke.

A) Kaltluftproduktion

Hier steht der Massenstrom pro Einzugsgebiet im Vordergrund, wobei ein mittlerer Rasterzellenwert für jedes Einzugsgebiet ermittelt wurde. Zur Charakterisierung des die Kaltluftlieferung antreibenden Prozesses wird zwischen vornehmlich thermisch, vornehmlich orographisch sowie einem Mischtyp unterschieden. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Prozesstypen „Thermisch“ und „Orographisch/Mischtyp“ zu ermöglichen, orientiert sich die Klassifizierung an dem innerhalb der Prozesstypen auftretenden Wertespektrums (Tab. 1 und 2).

Massenaustausch	Bewertung
0 - 1	sehr gering
1 - 2,5	gering
2,5 - 5	mittel
> 5	hoch
99	kein Pfeil dargestellt (kein Bezug zu Siedlungsräumen)

Tab. 1: Kaltluftlieferung der Einzugsgebiete (vornehmlich thermisch)

Die Notwendigkeit einer Unterscheidung ergibt sich aus dem unterschiedlichen Leistungsvermögen der Prozesstypen. So bewirken beim Prozesstyp „vornehmlich orographisch“ die auftretenden Hangneigungen oftmals eine höhere Windgeschwindigkeit und damit eine stärkere Kaltluftlieferung als ein rein auf den nutzungsbedingten Temperaturunterschieden

beruhendes Strömungssystem. Daher sind die Klassenobergrenzen beim orographischen Prozesstyp um 0,5 höher angesetzt als beim thermischen und machen somit einen relativen Vergleich der Kaltluftlieferung möglich.

Massenaustausch	Bewertung
0 - 1,5	sehr gering
1,5 - 3	gering
3 - 6	mittel
> 6	hoch
99	kein Pfeil dargestellt (kein Bezug zu Siedlungsräumen)

Tab. 2: Kaltluftlieferung der Einzugsgebiete (orographisch bzw. Mischtyp)

Die Größe der in den Karten für die Einzugsgebiete dargestellten Pfeile folgen dieser Einstufung und geben darüber hinaus die vorherrschende Strömungsrichtung an.

B) Autochthones Windfeld

Die qualitative Einordnung der Strömungsgeschwindigkeit gibt Tab. 3 wieder. Sie ist neben dem Massenstrom der zweite, maßgebliche Parameter zur Beurteilung des Kaltlufthaushaltes. Als Untergrenze für die Wirksamkeit einer Kaltluftströmung gilt eine Mindestgeschwindigkeit von 0,1 m/s.

Windgeschwindigkeit (m/s)	Bewertung
0 - 0,1	sehr gering (Pfeile werden nicht dargestellt)
0,1 - 0,5	gering
0,5 - 1	mittel
1 - 1,5	hoch

Tab. 3: Strömungsgeschwindigkeit und -richtung autochthoner Luftaustauschprozesse

Neben der Pfeilgröße gibt dessen Richtung den Strömungsvektor innerhalb der Rasterzelle wieder.

C) Prozessgeschehen Luftaustausch

In dieser Karte sind die Einzugsgebiete hinsichtlich der Strömungsart unterschieden. Das Abgrenzungskriterium ist hierbei die mittlere Abweichung der autochthonen Strömung von der Hangneigungsrichtung (Tab. 4).

Mittlere Abweichung/Abflussrichtung	Luftaustausch (Strömungstyp)
0 - 60°	v. a. orographisch bedingt
60 - 120°	Mischtyp
> 120°	v. a. thermisch bedingt

Tab. 4: Prozessgeschehen in den Einzugsgebieten

Eine geringe Abweichung bis 60° lässt auf ein vorwiegend hangorientiertes und somit orographisch bedingtes Abfließen der Kaltluft schließen. Treten höhere Differenzen auf, ist von einem Mischtyp bzw. einer vorwiegend thermisch bedingten Kaltluftströmung auszugehen, auf welche die Hangexposition kaum noch Einfluss hat.

D) Klimaökologische Belastung des Siedlungsraums

Zur Ausweisung der bioklimatischen Belastung wurde die positive Abweichung vom Gebietsmittelwert der Temperatur mit der Strömungsgeschwindigkeit kombiniert (Tab. 5).

Pos. Temp.-Diff. z. Gebietsmittel (K)	Windgeschwindigkeit	Belastungsstufe
≥ 3,9 und/oder	≤ 0,1	Potenziell belastet
> 2,5 bis < 3,9	/	Potenziell gering belastet
< 2,5 und Flächen <50 ha	Sonstige	nicht belastet / bioklimatisch neutral

Tab. 5: Bioklimatische Belastung des Siedlungsraums

Dabei gilt eine hohe Abweichung in Verbindung mit einer geringen Strömungsgeschwindigkeit als potenziell bioklimatisch belastend. Eine lediglich moderate Überwärmung führt zur Einstufung als potenziell gering belastet. Siedlungsräume mit einer geringen Überwärmung sowie Flächen mit einer Größe von weniger als 50 ha werden hingegen als bioklimatisch nicht belastet angesehen.

4. Ergebnisse

Die Modellrechnungen werden für den Zeitschnitt Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang des darauffolgenden Tages, durchgeführt. Für die Auswertung und kartographische Umsetzung werden die Simulationsergebnisse zum Zeitpunkt 06.00 Uhr verwendet, der das Ergebnis der nächtlichen Abkühlungsdynamik in den unterschiedlich strukturierten Teilflächen im Stadtgebiet wiedergibt.

4.1 Bodennahes Temperaturfeld

Ausschlaggebend für die Ausprägungen der nächtlichen Strahlungsbilanz und die damit verbundene Oberflächentemperatur sind im Wesentlichen die landnutzungsabhängigen Boden- und Oberflächeneigenschaften, sowie deren Wechselwirkungen mit den atmosphärischen Prozessen in der bodennahen Grenzschicht. Innerhalb des Erdbodens sind dabei Wärme- und Temperaturleitfähigkeit von Bedeutung. Je größer beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit des Bodens ist, umso schneller und tiefer kann Wärme in das entsprechende Material eindringen, aber auch wieder von diesem abgegeben werden.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Als anschauliches Merkmal für die Temperaturverhältnisse wird die Abweichung vom Temperaturmittelwert des Untersuchungsgebietes herangezogen (Abbildung 4). Überwärmte Flächen besitzen demnach eine positive Abweichung, Freiflächen sowie gering versiegelte Areale eine negative Abweichung. Aufgrund der großen Vielfalt landnutzungsbedingter Einflussgrößen wird eine stark strukturierte räumliche Verteilung der bodennahen Temperatur simuliert.

In der Karte des bodennahen Temperaturfeldes in den frühen Morgenstunden (siehe Abbildung 3) ist zunächst der Einfluss der Höhenlage auf die Temperatur augenfällig. Der Temperaturgradient zwischen den Höhenlagen des Harzes und den Niederungen im Bereich z.B. der Aller, wo Werte zwischen 10 und 12 °C typisch sind, beträgt bei vergleichbaren Nutzungsbedingungen etwa 5°C.

Der prägende Einfluss der Landnutzung wird insbesondere im Vergleich der städtisch geprägten Siedlungsflächen (u.a. Braunschweig, Wolfenbüttel, Salzgitter) mit den landwirtschaftlich geprägten Freiflächen des Umlandes deutlich.

Urban geprägte Gebiete treten durch ein insgesamt höheres Temperaturniveau hervor. Es werden hier charakteristischerweise Werte um 14 °C erreicht. Wie Abbildung 4 zu entnehmen ist, erreichen die Kern- und Gewerbegebiete größerer Städte durchweg positive Gebietsmittelabweichungen von zirka 3 - 5 K. Allerdings ist die Temperaturverteilung auch innerhalb von bebauten Gebiete räumlich differenziert, da Areale mit Einzelhausbebauung, Kernbebauung und Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen.

Außer den städtisch geprägten Gebieten ist auch bei Gewässern und Wäldern eine gegenüber dem Umland erhöhte morgendliche Temperatur erkennbar. Aus unterschiedlichen Gründen ist der Tagesgang der Lufttemperatur, und damit auch die nächtliche Abkühlung, über Wasserflächen und innerhalb der Bestände von Forsten deutlich schwächer als über Freiflächen. Dies wird z.B. anhand der großen Stauseen im Harz (Innerstestausee, Granestausee) und in ausgedehnten Waldgebieten wie dem Lappwald bei Helmstedt oder dem Elm deutlich. So werden über den Stauseen morgendliche Temperaturwerte von etwa 14 °C kaum unterschritten. Andere, in geringerer Meereshöhe gelegene Gewässer weisen z.T. sogar Temperaturen über 16 °C auf. Wie der Karte der Temperaturdifferenzen zwischen den Zeitpunkten 22:00 Uhr und 06:00 Uhr (siehe Abbildung 5) zu entnehmen ist, beträgt die nächtliche Abkühlung in diesen Bereichen meist unter 2 K. Ähnliches gilt, wenn auch aus anderen Gründen, für das Bestandsklima mittlerer bis großer Forsten. Besonders ausgeprägt ist dieses Phänomen, wenn eine gewisse Hangneigung für die Abfuhr der sich über dem Kronendach des Waldes bildenden Kaltluft sorgt (beispielsweise an den Hängen des Elm).

Wie weit dieser Einfluss reicht, ist im Vorland des Harzes und des Elm ersichtlich. In weiten Bereichen liegen die 06:00 Uhr-Temperaturen hier um ein bis zwei Grad unterhalb der Werte vergleichbarer Flächen außerhalb des Einflussbereiches von Harz bzw. Elm.

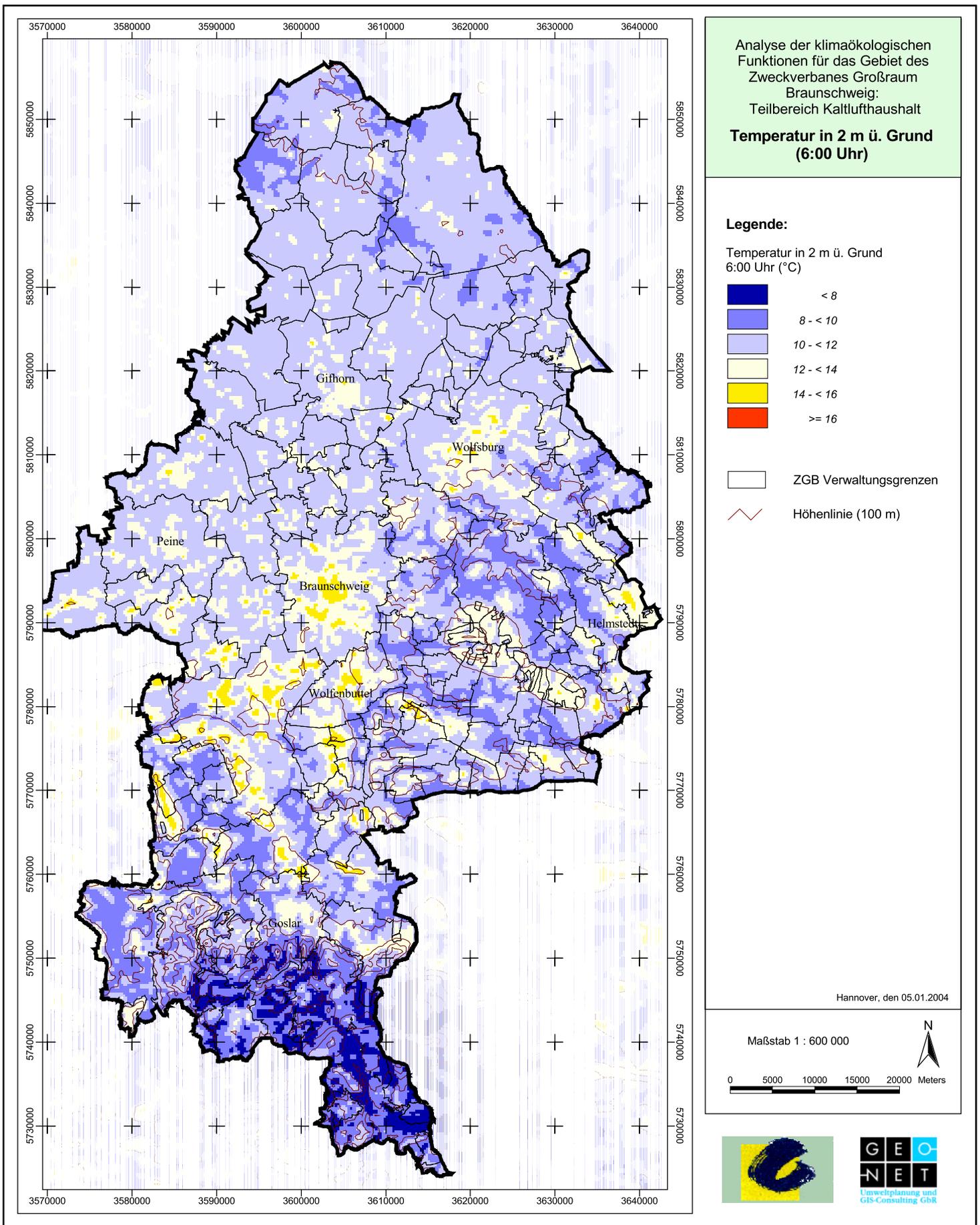


Abb. 3 Temperatur in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 6:00 Uhr

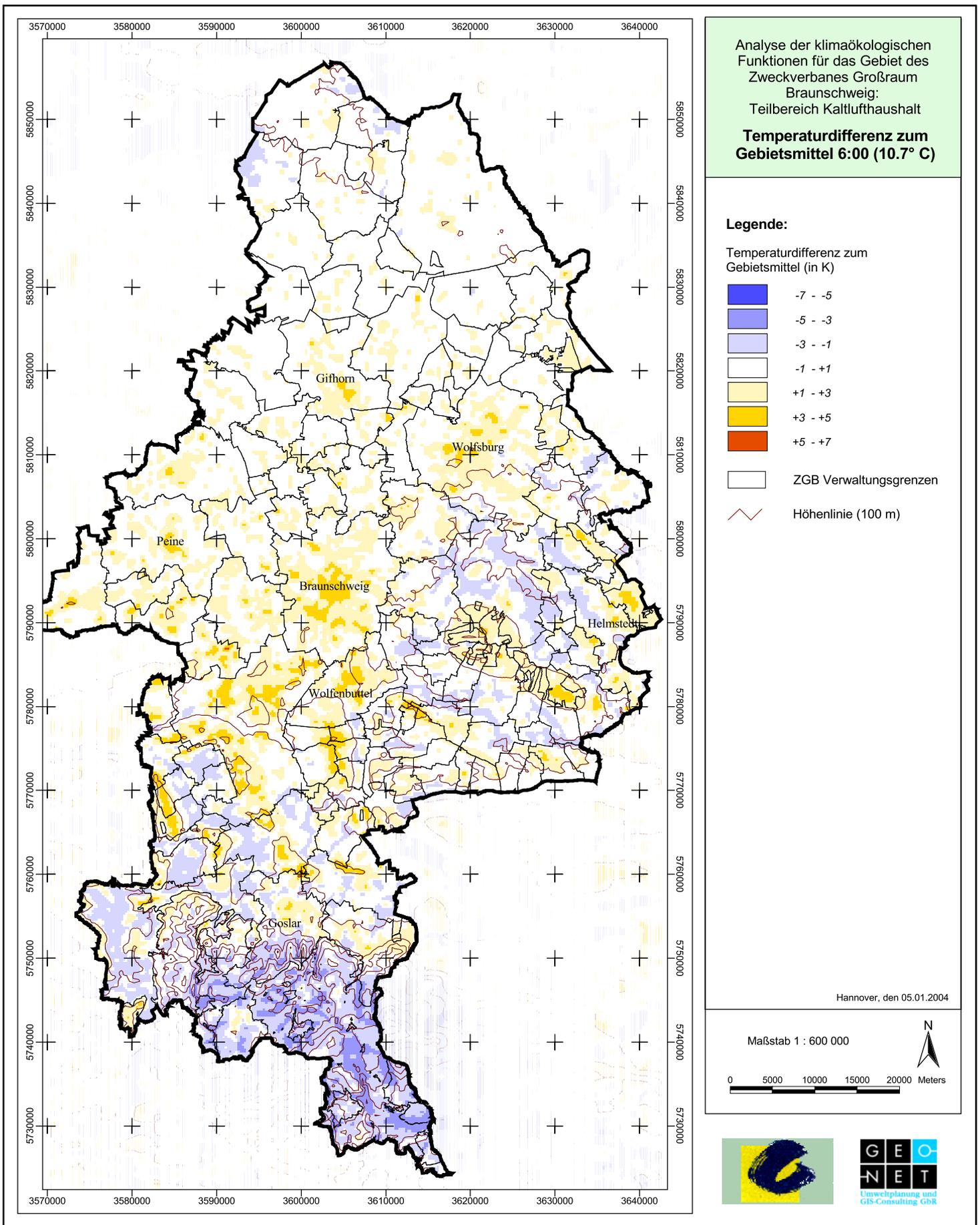


Abb. 4 Temperaturdifferenz zum Gebietsmittel (10,7°C) zum Zeitpunkt 6:00 Uhr

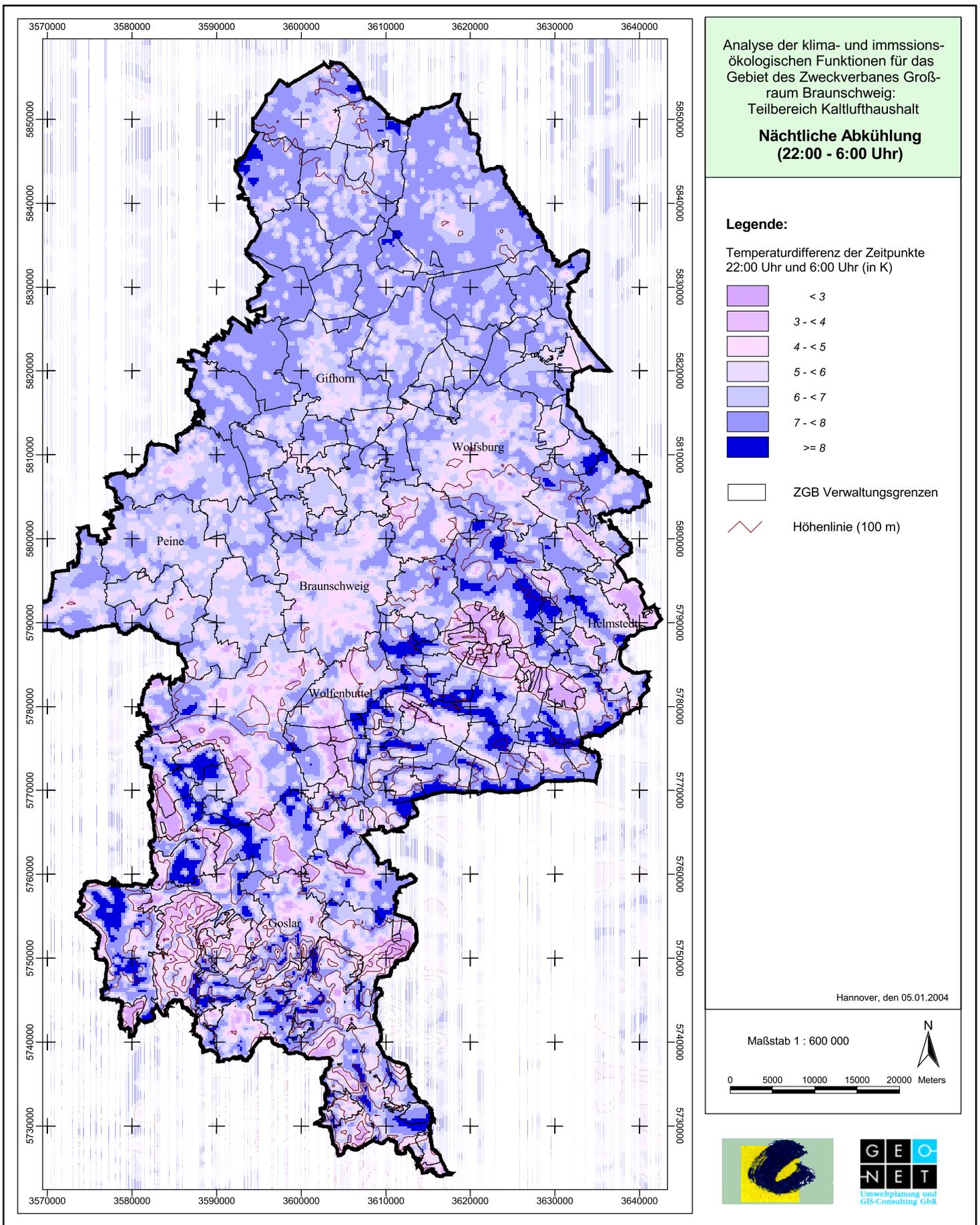


Abb. 5 Nächtliche Abkühlung (Differenz der Simulationszeitpunkte 22:00 Uhr und 6:00 Uhr)

4.2 Bodennahe Strömungsfeld

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Dabei kühlt sich in orographisch gegliedertem Gelände der Erdboden und damit auch die darauf aufliegende bodennahe Luft stärker ab als die Luft in der gleichen Höhe in der Atmosphäre weiter entfernt vom Hang bzw. in ebenem Gelände.

An den geneigten Flächen setzt sich diese abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So entstehen an allen Hängen die nächtlichen Kaltluftabflüsse (u.a. MOSIMANN et al. 1999). Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt.

Neben dem Kaltluftabfluss entstehen sogenannte Flur-/Strukturwinde, d.h. direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (u.a. KIESE et al. 1992). Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie Bäume und Bauten abgebremst wird. Die Flur-/Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können.

Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden. Dabei erweisen sich insbesondere Wiesen- und Ackerflächen als kaltluftproduktiv. Je nach Oberflächeneigenschaft und Abkühlungsrate geht damit die rasche Entwicklung von Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden. Diese kleinskaligen Windsysteme werden im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den großen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen.

Die Abbildung 6 zeigt das modellierte Strömungsfeld, das sich während einer sommerlichen, austauscharmen Strahlungswetternacht eigenbürtig ausbildet. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit sind über Pfeilrichtung bzw. Pfeillänge ausgedrückt, wobei die unterlegten Rasterzellen die Windgeschwindigkeit flächenhaft darstellen. Abgebildet sind alle Rasterzellen mit einer Windgeschwindigkeit von $\geq 0,1\text{m/s}$, was als Mindestgeschwindigkeit für eine klimaökologisch wirksame Ausgleichsströmung angesehen werden kann.

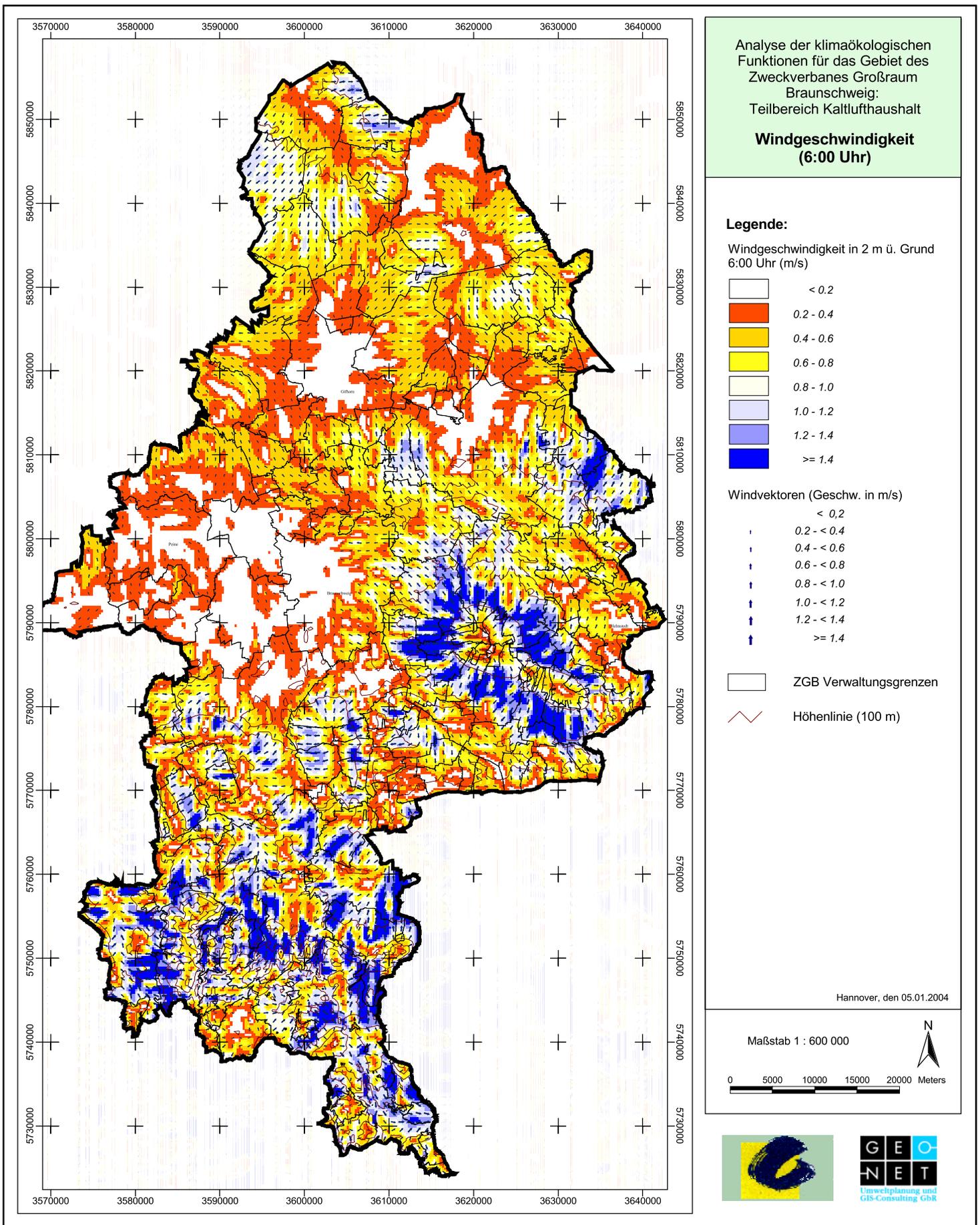


Abb. 6 Windgeschwindigkeit in 2 m ü. Grund zum Zeitpunkt 6:00 Uhr

Die durchgeführte Simulation zeigt, dass ein erheblicher Flächenanteil des Zweckverbandes an der Kaltluftbildung beteiligt ist. So sind insbesondere im Osten und Süden des Untersuchungsgebietes große, zusammenhängende Zonen mit einer Kaltluftbewegung $\geq 0,1\text{m/s}$ anzutreffen. Die auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten im Umfeld des Elm sowie Harzvorland fallen hier mit deutlich mehr als $1,5\text{ m/s}$ vergleichsweise hoch aus. Dies liegt in der überdurchschnittlich starken nächtlichen Abkühlung begründet (vgl. Abb. 4 und 5), die in Zusammenhang mit den dort auftretenden Hangneigungen $> 1^\circ$ die Ausbildung hoher Strömungsgeschwindigkeiten begünstigt. Die höchsten Geschwindigkeiten sind daher in den Tallagen anzutreffen. Die Scheitelbereiche der Höhenzüge hingegen sind durch wesentlich geringere Werte geprägt, da von ihnen der Kaltluftabfluss beginnt und die Beschleunigung der Luftmassen ihren Anfang nimmt. Dies gilt auch für die übrigen, weniger ausgeprägten Erhebungen im Untersuchungsgebiet. Windgeschwindigkeiten von mehr als $2,5\text{ m/s}$ sind bei Goslar im Talausgang der Fließgewässer Oker, Dörpke und Gelmke festzustellen. Des Weiteren treten westlich des Elms im Bereich der Ortschaft Erkerode innerhalb des Wabetals ähnlich hohe Strömungsgeschwindigkeiten auf. Ein vergleichsweise hohes Niveau konnte außerdem westlich und östlich von Wolfsburg sowie im Raum Hankensbüttel ermittelt werden. Die Nordwesthälfte des Verbandgebietes ist wiederum durch eine wesentlich schwächer ausgeprägte Orographie gekennzeichnet, so dass hier Kaltluftabflüsse seltener anzutreffen sind. Vielmehr dominiert eine Ausgleichsströmung allein auf Basis des nutzungsbedingten Gradienten der Oberflächentemperaturen. Da nur selten eine zusätzliche Beschleunigung der Kaltluft in Hangbereichen erfolgt und in diesem Raum die nächtliche Abkühlung etwas geringer ist, treten hier die eher niedrigeren Windgeschwindigkeiten auf. Diese liegen verbreitet in der Größenordnung von weniger als 1 m/s und ordnen sich in das zu erwartende Wertespektrum für vorwiegend thermisch induzierte Ausgleichsströmungen ein. Im zentralen Westen des Verbandsgebietes, insbesondere im weiteren Umfeld der Städte Peine, Braunschweig, Gifhorn und Wolfsburg, herrschen weiträumig geringere Windgeschwindigkeiten unter etwa $0,5\text{ m/s}$ vor. Im Bereich dieser Städte sind auch Zonen mit Strömungsgeschwindigkeiten von unter $0,1\text{ m/s}$ anzutreffen, wobei aus klimaökologischer Sicht diese Kaltluftströmung als wenig wirksam angesehen werden kann. Tabelle 6 zeigt die prozentualen Anteile der Freiflächen im Verbandgebiet, die an der Bildung von Flurwinden sowie Kaltluftabflüssen beteiligt sind. Unterschieden werden dabei thermisch und orographisch induzierte Strömungssysteme:

Prozess	Flächenanteile in %	
	22:00 Uhr	06:00 Uhr
Thermisch induzierte Strömungssysteme	48,9	54,4
Orographisch induzierte Strömungssysteme	30,1	33,26

Tab. 6: Anteil der an autochthonen Strömungssystemen beteiligten Freiflächen

Es wird deutlich, dass ein erheblicher Freiflächenanteil des Verbandgebietes an der Ausbildung von Ausgleichsströmungen beteiligt ist. Der Flächenanteil beider Prozesse steigt mit zunehmender Abkühlung, ausgehend vom 22 Uhr Zeitpunkt, von ca. 80% bis auf ca. 87% um 06 Uhr an. Dabei überwiegt die vorwiegend thermisch induzierte Kaltluftbewegung in den eher schwach reliefierten Arealen im Nordwesten des Zweckverbandes.

4.3 Kaltluftmassenstrom als Kriterium für die klimaökologische Ausgleichsleistung

Die Durchlüftung von Siedlungsgebieten trägt zum Abbau von humanbiometeorologischen Belastungen bei (MORISKE & TUROWSKI 2003). So kann in den Nachtstunden durch das Heranführen kühlerer Frischluft aus Freiflächen das Temperaturniveau der in der Stadt lagernden wärmeren Luftmassen gesenkt werden, was zu einem Abbau der Wärmebelastung des Menschen, insbesondere in den Sommermonaten, führt. Ist diese herangeführte, kühlere Luft mit Luftschadstoffen belastet, so kann diese nicht mehr als Frischluft sondern lediglich als Kaltluft angesprochen werden. Zur Beurteilung der Durchlüftungssituation ist folglich die geeignete Zuordnung von Belastungsräumen und Ausgleichsräumen, die die entsprechende Kaltluft zur Verfügung stellen, sowie ein Strömungssystem, welches einen Luftmassentransport garantieren kann, notwendig. Die Effektivität des Luftaustauschs vor Ort kann bei bekanntem Windfeld berechnet werden. Als qualitatives Merkmal dient hierfür der Kaltluftmassenstrom, der das Kaltluftvolumen in $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ pro 250 m Rasterzelle ausdrückt. Der Massenstrom gibt den Zustrom von Kaltluft aus den benachbarten Zellen an und somit die Größenordnung des Durchlüftungspotentials. Zusätzlich ist das Strömungsfeld im Bereich relevanter Werteausprägungen mit abgebildet, welches die Strömungsrichtung des Kaltluftstroms verdeutlicht. Eine gemeinsame Darstellung von Massenstrom und Strömungsfeld ist daher besonders geeignet, die Ausgleichsleistung von Freiflächen zu charakterisieren. Die Effektivität des Luftaustauschs vor Ort kann bei bekanntem Windfeld berechnet werden. Als Maßzahl hierfür wird der Massenstrom M eingeführt:

$$M = \int_h^{h+Z} \rho V dz$$

In dieser Beziehung bedeuten h die Geländehöhe, Z die Mächtigkeit der betrachteten Luftschicht, ρ die Luftdichte und V ist der Betrag der Geschwindigkeit. Bei klimaökologisch relevanten Freiflächen sollten die eigenbürtigen Ausgleichsströmungen eine Geschwindigkeit von mindestens $\geq 0,1 \text{ m/s}$ während einer austauscharmen, sommerlichen Strahlungswetternacht erreichen. Abbildung 7 zeigt die räumliche Ausprägung im Untersuchungsgebiet, während Abb. 8 den mittleren Massenstrom innerhalb der Einzugsgebiete darstellt:

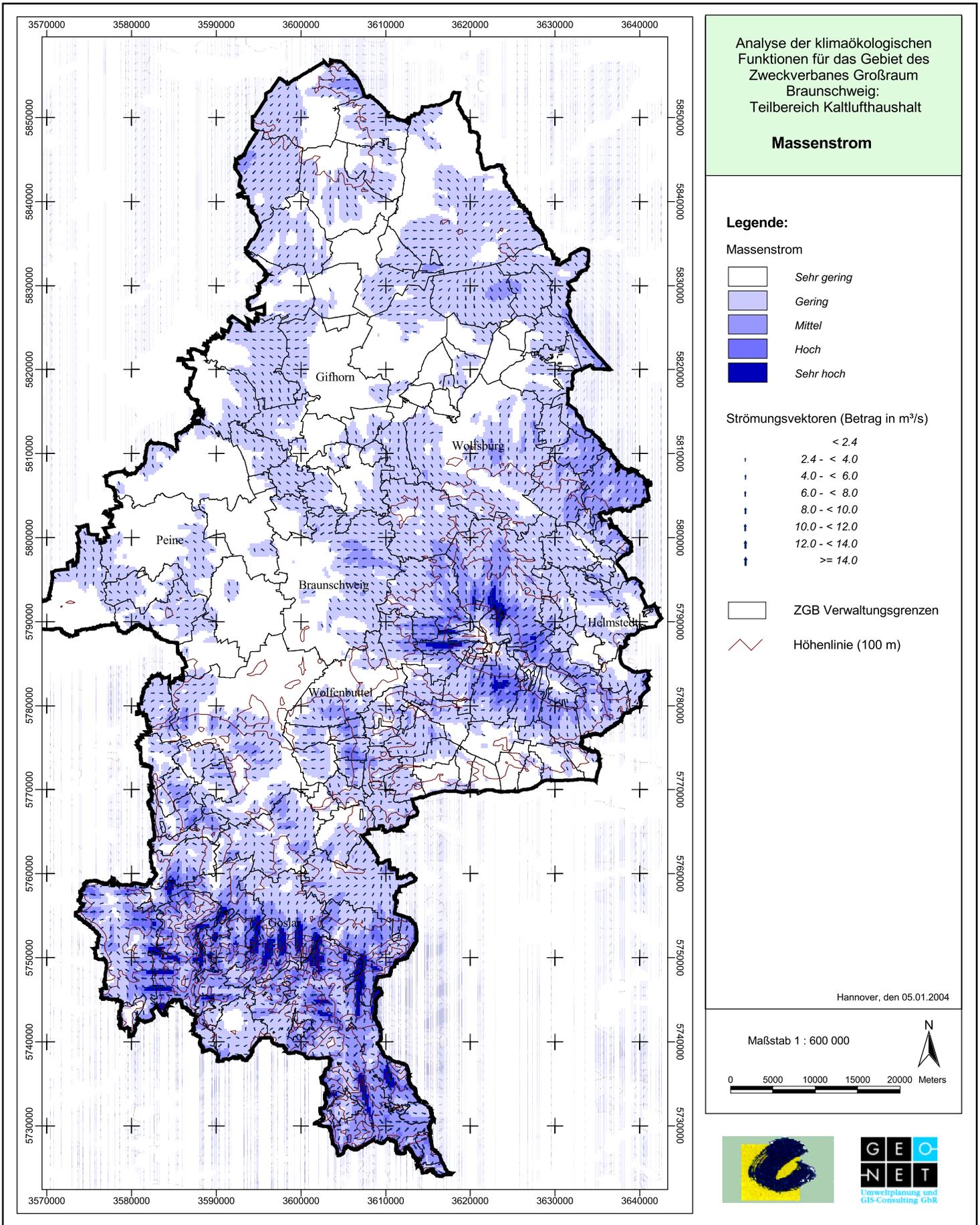


Abb. 7 Massenstrom

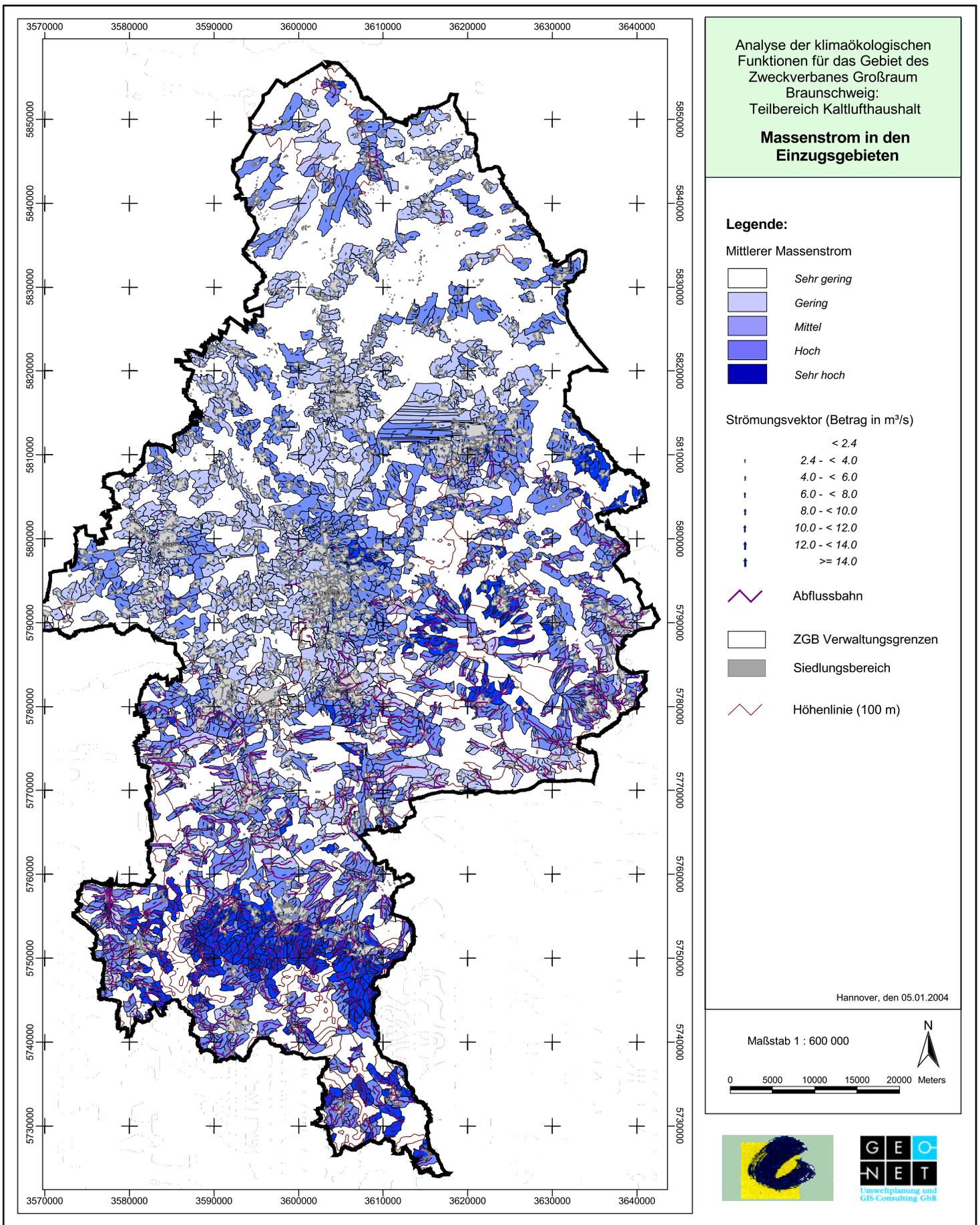


Abb. 8 Massenstrom in den Einzugsgebieten

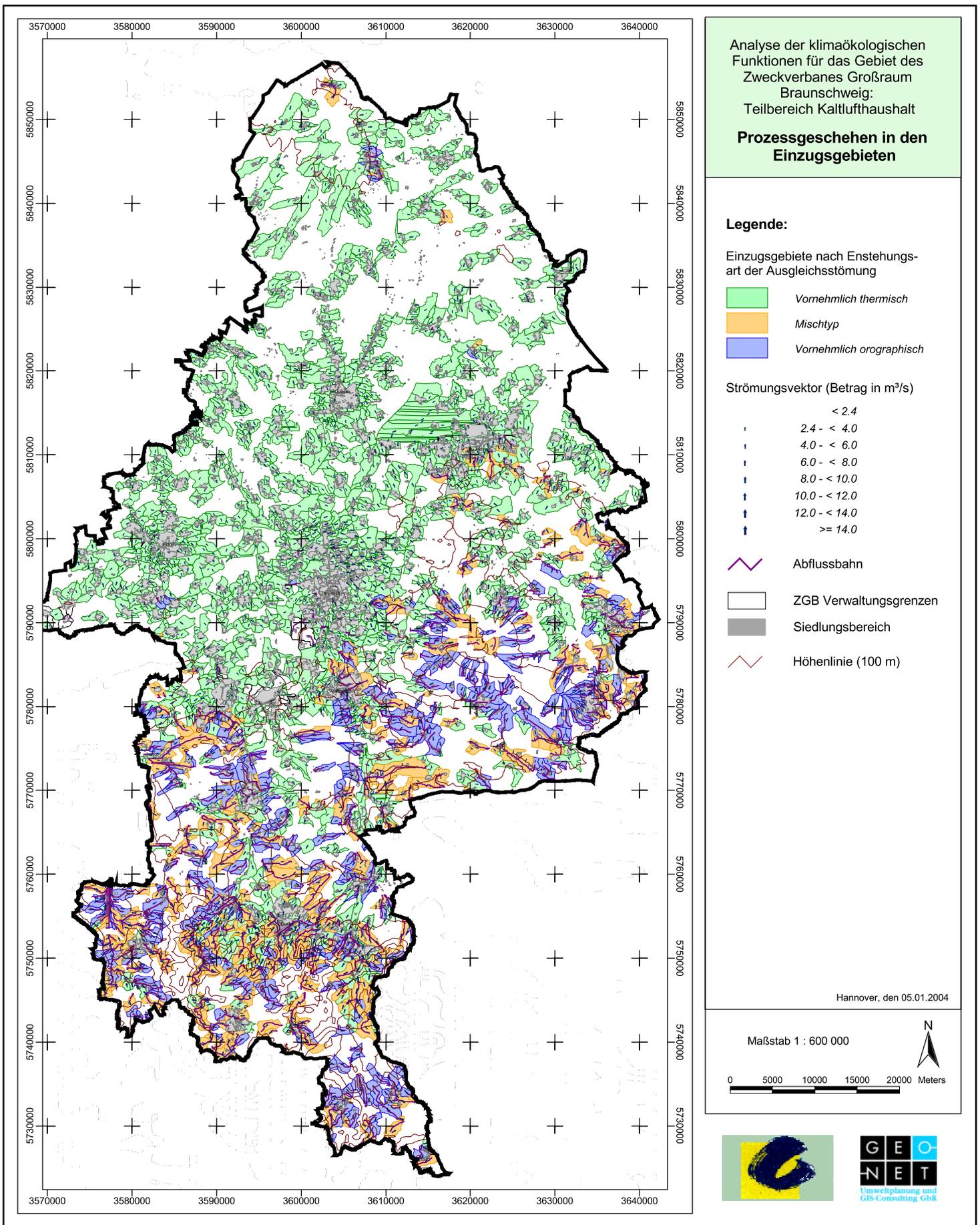


Abb. 9 Prozessgeschehen in den Einzugsgebieten

Damit ein Kaltluftmassenstrom als klimaökologisch wirksam angesprochen werden kann, sollte er ein wenigstens geringes Niveau aufweisen. Als Schwellenwert gilt daher ein Rasterzellenwert von 1 in den vornehmlich thermisch bzw. 1,5 in den vornehmlich orographisch bestimmten Kaltlufteinzugsgebieten (vgl. Kap. 3.3). Die Ausgleichströmungen können als Hang- oder Talwinde bezeichnet werden, wenn Hang- bzw. Talbodenneigungen von $\geq 1^\circ$ auftreten. Das räumliche Verbreitungsmuster des Massenstroms geht dabei mit dem des Windfeldes einher. Sehr deutlich sind die Zonen eines mittleren bis hohen Massenstroms erkennbar. Dies betrifft in erster Linie die Talausritte aus den Höhenzügen, wobei sich insbesondere die Zertalung des Harznordrandes widerspiegelt (vgl. Abb. 7). Hier sind in den Tälern von Abzucht, Gelmke und Oker mit Rasterzellenwerten von bis zu 19.000 m³/s die höchsten Massenstromraten im gesamten Verbandgebiet anzutreffen, was in den starken Talneigungen und dem hohem Kaltluftzustrom von den Hängen begründet liegt. Als zweiter räumlicher Schwerpunkt sind wiederum die Hänge des Elm anzusprechen, dessen Höchstwerte von ca. 15.000 m³/s pro Rasterzelle die des Nordharzes nicht mehr erreichen. Bereiche mit einem hohen Massenstrom bis 9.000 m³/s sind inselhaft an den Höhenzügen im Harzvorland sowie kleinräumig östlich von Wolfsburg im Tal der Lapau vertreten.

Im Gegensatz dazu fallen Areale mit einem sehr geringen Massenstrom auf, was vor allem den nordwestlichen Teil des Untersuchungsraumes betrifft. Dies ist im Bereich zwischen Peine, Braunschweig und Lebenstedt bei Geländeneigungen von unter 1° der Fall. Gleiches gilt für das Areal nördlich einer Linie Gifhorn-Wolfsburg. Somit spiegelt sich die Zweiteilung hinsichtlich der Wertausprägung auch für den Parameter Massenstrom wieder.

Abbildung 8 kombiniert den Parameter Massenstrom mit den Kaltlufteinzugsgebieten als wesentliches Element eines Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges. Abbildung 9 ist eine Synthese aus den ermittelten Einzugsgebieten, dem Strömungsfeld sowie dem Kaltluftmassenstrom und zeigt das Prozessgeschehen innerhalb der Einzugsgebiete auf. Dabei wird zwischen vorwiegend thermisch, vorwiegend orographisch sowie Mischtypen unterschieden. Ausschlaggebend für die Einordnung ist die mittlere Differenz zwischen der Hangexposition und der Strömungsrichtung wie sie Tabelle 4 zeigt. Das Prozessgeschehen leitet über zur Planungskarte Klima/Luft, auf die in Kapitel 5 näher eingegangen wird.

5 Planungskarte Klima / Luft

Die Planungskarte Klima / Luft beinhaltet die klimaökologisch wichtigen Elemente und basiert auf der Analyse des klimatischen Ist-Zustandes des Zweckverbandes Großraum Braunschweig. Dabei konzentriert sich die Darstellung auf Elemente und Bereiche, die sich über landschaftsplanerische Maßnahmen positiv beeinflussen lassen (Maßnahmen zum Schutz, zur Sicherung und zur Entwicklung der Schutzgüter Klima und Luft). Hervorgehoben sind schutzwürdige Areale einerseits und Konfliktbereiche andererseits. Somit steht ein Ausgangspunkt zur Beurteilung von klimatischen Beeinträchtigungen bereit, die bei einer Nutzungsänderung auftreten können. Darüber hinaus stellt sie die Grundlage für ein räumliches Handlungskonzept für den Bereich Klima/Luft in der Landschaftsplanung bereit. Bei dem hier verwendeten Maßstab muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass genauere Aussagen z.B. auf Baublockebene unscharf bleiben müssen und detailliertere Untersuchungen in Teilräumen erforderlich machen würden. Im Folgenden werden die einzelnen Elemente in ihrer räumlichen Ausprägung erläutert. Angesichts der naturräumlichen Heterogenität des ZGB wird im zweiten Teil des Kapitels die Situation exemplarisch für zwei ausgewählte Städte beschrieben.

5.1 Wirkungsraum-Ausgleichraum-Gefüge

A) Belastete Siedlungsbereiche mit Bedarf an Ausgleichsströmung (Wirkungsraum)

Dies sind dichter bebaute Bereiche, die während austauscharmer Wetterbedingungen Anhaltspunkte für eine überdurchschnittliche bioklimatische Belastung aufweisen. Dabei handelt es sich in erster Linie um die verdichteten und stärker überbauten städtischen Siedlungsräume. Ausweisungskriterien für das Vorliegen einer Belastung sind die Überwärmungsintensität und/oder mangelnde Durchlüftung (vgl. Tab. 5). Hierbei werden zwei Belastungsstufen unterschieden. Neben einer potenziell geringen Belastung wird eine potenzielle Belastung ausgewiesen, von der insbesondere in den Innenstädten ausgegangen werden kann. Eine überdurchschnittliche Belastung liegt in den folgenden, größeren Städten vor (vgl. Abb. 10):

- Braunschweig
- Wolfsburg
- Wolfenbüttel
- Helmstedt
- Peine
- Gifhorn
- Salzgitter-Bad und -Lebenstedt
- Goslar

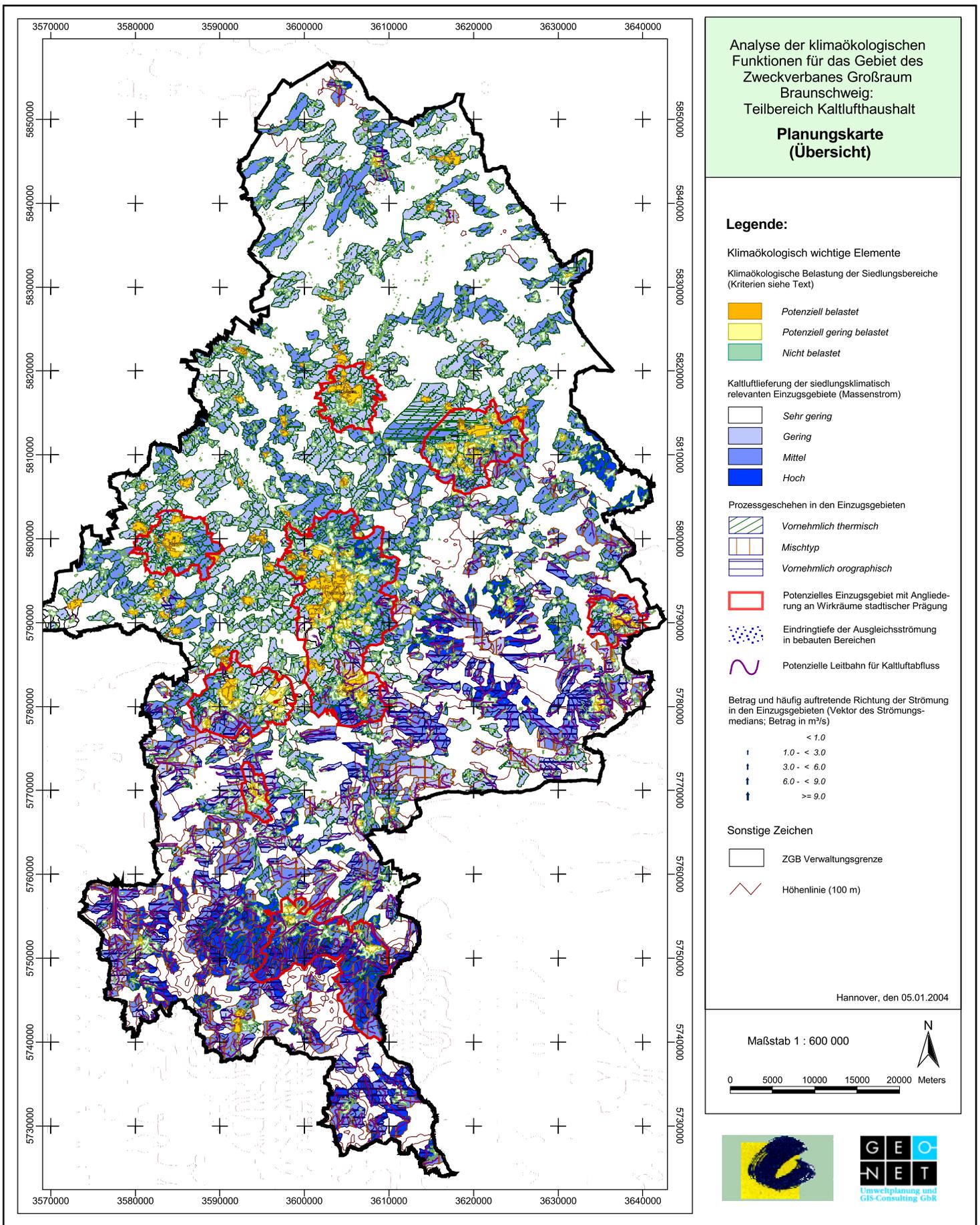


Abb. 10 Planungskarte (Übersicht)

Eine mangelnde Durchlüftung führt z.T. auch in den kleineren Ortslagen zum Auftreten einer potenziellen bioklimatischen Belastung. Dies kennzeichnet vor allem den Nordwesten des Untersuchungsgebietes und liegt in der schwächeren Kaltluftlieferung der vornehmlich thermisch induzierten Strömungssysteme des Geest- und Börderraums begründet. Angesichts der ausgeprägten Orographie des südwestlichen Verbandgebietes mit einhergehender höherer Kaltluftlieferung ist eine Belastung in diesem Raum seltener anzutreffen und auf die größeren Städte beschränkt.

B) Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsraum)

Vegetationsbestandene Freiflächen mit hoher Kaltluftproduktion stellen klimaökologische Ausgleichsräume dar. Der dabei produzierte Kaltluftmassenstrom hängt vom vorherrschenden Vegetationstyp, den Bodeneigenschaften, den Hangneigungen sowie von der Größe des Einzugsgebietes der Kaltluftbildung ab. In der Planungskarte sind diejenigen Einzugsgebiete dargestellt, die einen Bezug zu größeren Siedlungen und Städten aufweisen. Darüber hinaus sind alle Einzugsgebiete im Umfeld potenziell belasteter Städte mit einer Umrahmung versehen, welche den klimaökologischen Ausgleichsraum abgrenzt und den räumlichen Handlungsschwerpunkt hervorhebt.

Einzugsgebiete sind das Ergebnis einer Reliefanalyse, bei der eine Berechnung der Abflussbahnen mit ihren Abflussrichtungen durchgeführt wurde (KING 1973). Aus der gegenseitigen Abgrenzung ergeben sich Areale einheitlicher Gefällerichtungen, aus denen die auf Freiflächen produzierte Kaltluft abfließen kann. Darüber hinaus geben die Pfeile innerhalb der Einzugsgebiete die Hauptströmungsrichtung der Kaltluft wieder. Über die Zuweisung des Massenstrommittelwertes der in einem Einzugsgebiet enthaltenen Rasterzellen ergibt sich, unterschieden nach dem Prozesstyp, die qualitative Einordnung der Wirksamkeit (vgl. Tab. 1 und 2). Die unterschiedlichen Naturräume äußern sich, analog zum Strömungsfeld, in einem heterogenen Prozessgeschehen. So ist das nordwestliche Untersuchungsgebiet geprägt von vorwiegend thermisch induziertem Luftaustausch. Ein orographisch bedingtes Prozessgeschehen ist hier nur vereinzelt anzutreffen, während es südlich einer Linie Salzgitter-Wolfsburg häufig vertreten ist. Mischtypen nehmen eine vermittelnde Position ein und kennzeichnen Areale, in denen Hangneigungen $>1^\circ$ sowie ebene Bereiche vertreten sind.

C) Leitbahnen für lokalen Luftaustausch

Leitbahnen sind verbindende Oberflächenstrukturen zwischen Ausgleichs- und Wirkungsräumen, die über autochthone Luftaustauschprozesse einen Transport kühler Luftmassen in die belasteten

Siedlungsräume hinein ermöglichen. Gleichzeitig stellen sie auch Ventilationsbahnen bei austauschstärkeren Wetterbedingungen dar.

Innerhalb der vornehmlich orographisch induzierten Einzugsgebieten sowie den Mischtypen sind die Tiefenlinien als Abflussbahnen dargestellt, die in Verbindung mit einer rauhigkeitsarmen Oberfläche als Leitbahnen fungieren können. Während in gegliedertem Gelände bei Hangneigungen $\geq 1^\circ$ Kaltluftabfluss und Abflussbahn oft einhergehen, ist dies in ebenem Gelände nicht immer der Fall. Vielmehr ist die Nähe zu überwärmten Siedlungsflächen als antreibende Kraft entscheidend, die sich auch über bestehende, aber nur gering ausgeprägte Tiefenlinien hinwegsetzen kann. Daher kommen in der Planungskarte die Leitbahnen der vornehmlich thermisch bestimmten Einzugsgebiete nicht zur Darstellung.

Die lokale Bedeutung der ausgewiesenen Tiefenlinien geht mit dem Prozessgeschehen in den Einzugsgebieten einher und ist somit im südwestlichen Raum des Zweckverbandes am größten. Grundsätzlich sind die Talauen der größeren Fließgewässer wie Oker, Innerste, Aller und Fuhse auch für die Städte im Geestbereich relevant. Hier handelt es sich in der Regel um wenig überbaute und rauhigkeitsarme Niederungen mit einem großen Talquerschnitt, die ein Vordringen thermisch induzierter Ausgleichsströmungen aus dem Umland oft bis in die Innenstadtbereiche hinein ermöglichen und insbesondere für Braunschweig und Wolfenbüttel erkennbar sind. Über solche Tiefenlinien hinaus können auch vegetationsgeprägte Freiflächen wie Park- und Kleingartenlagen Leitbahnfunktionen erfüllen. Ein solcher Nachweis kann, wie eingangs erwähnt, auf dieser Maßstabsebene nicht geleistet werden und macht eine detailliertere Klimamodellierung erforderlich.

5.2 Situation in ausgewählten Städten des Zweckverbandes Großraum Braunschweig

An dieser Stelle sollen die Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Beziehungen anhand zweier Beispiele konkretisiert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Naturräume des Untersuchungsgebietes werden die Zusammenhänge in Wolfenbüttel und in Goslar beschrieben. Während sich die Stadt Wolfenbüttel im Übergangsbereich von Braunschweig-Hildesheimer Lössbörde und nördlichem Harzvorland befindet, charakterisiert Goslar die Situation am unmittelbaren Harznordrand. Zur Darstellung kommen hierbei jeweils zwei Situationen. Zum einen wird der zu erwartende bioklimatische Belastungszustand aufgezeigt, der auf Basis der Nutzungsstrukturen ohne Berücksichtigung autochthoner Kaltluftströmungen abgeleitet wurde (in der Übersicht dargestellt in Abbildung 11). Zum anderen wird in einem nächsten Schritt die ermittelte Belastungssituation auf Basis der Modellergebnisse beschrieben.

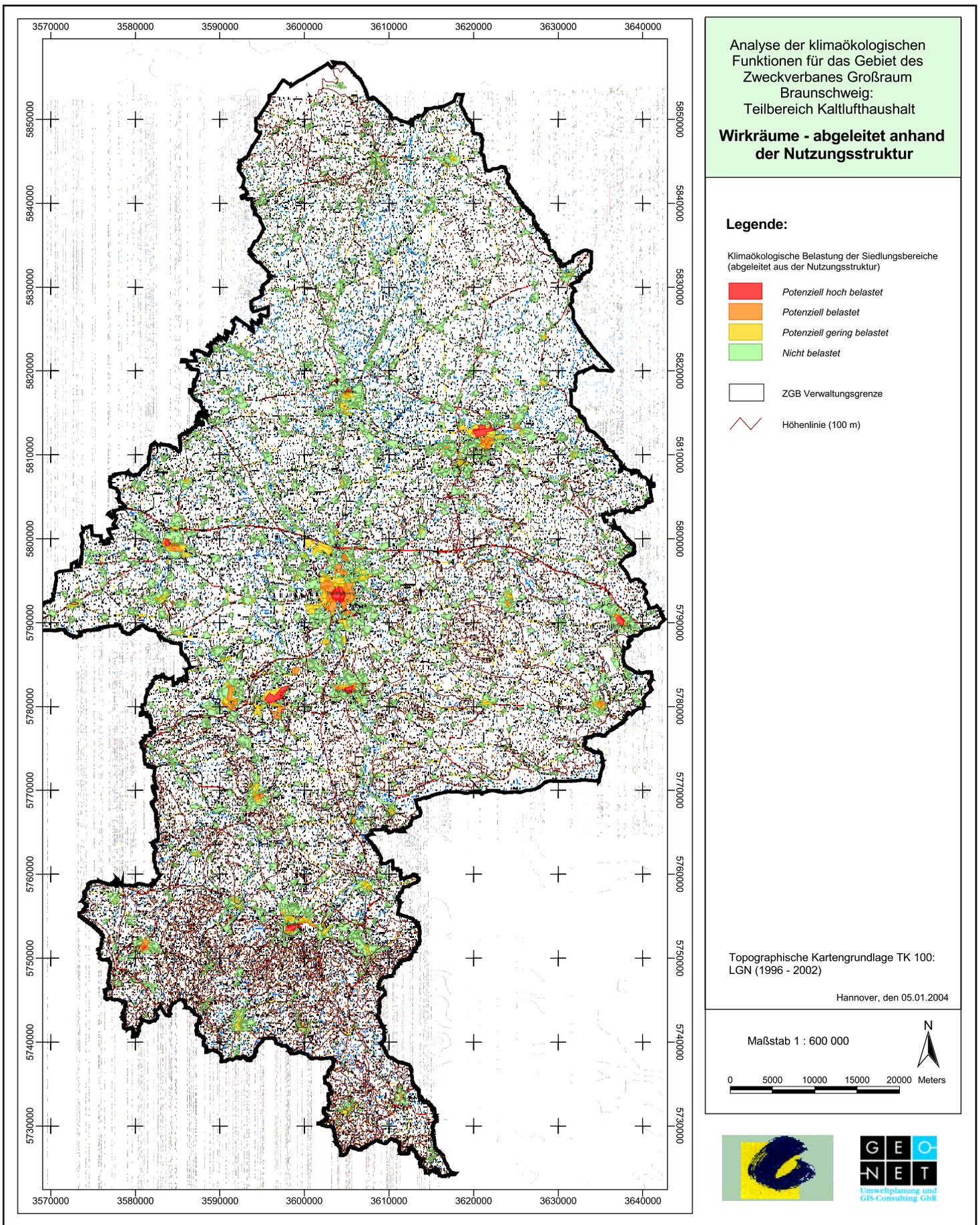


Abb. 11 Anhand der Nutzungsstruktur abgeleitete klimaökologische Belastung der Wirkräume

Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüge am Beispiel Wolfenbüttel

A) Belastete Siedlungsbereiche mit Bedarf an Ausgleichsströmung (Wirkungsraum)

Die Art der Landnutzung übt einen wesentlichen Einfluss auf das Bioklima aus. So kann, ausgehend allein von der Nutzungsstruktur, im Umfeld des stärker überbauten Innenstadtbereiches von einer potenziell geringen (gelb) bis potenziellen (orange) Belastung ausgegangen werden. Gleiches gilt für den städtischen Fuhrpark im Stadtteil Linden. In der verdichteten und hochgradig versiegelten Altstadt mit einer ausgeprägten Block- und Kernbebauung ist sogar eine potenziell hohe bioklimatische (rot) Belastung anzunehmen (vgl. Abb. 12). In den übrigen, von Wohnbebauung geprägten Flächen ist dagegen nicht mit einer nennenswerten Belastung zu rechnen.

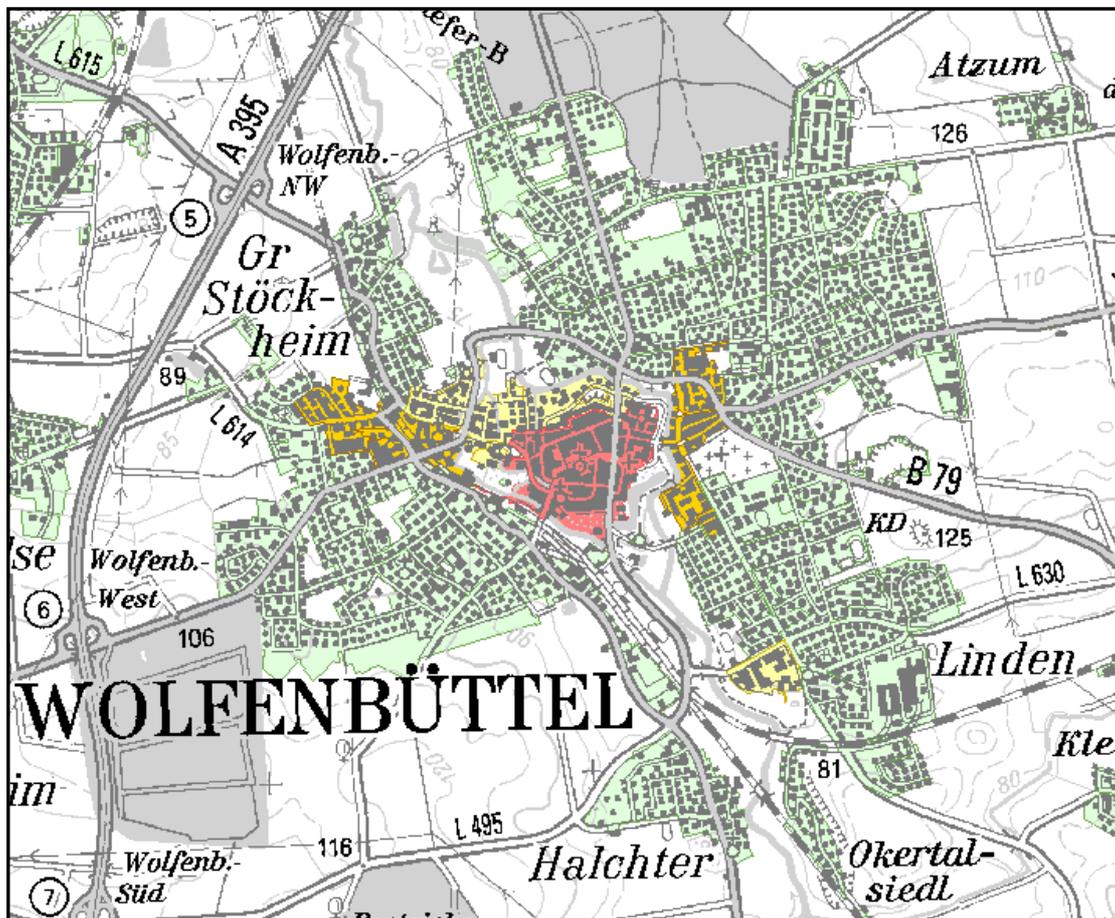


Abb. 12: Anhand der Nutzungsstruktur abgeleitete Belastungssituation in Wolfenbüttel
 Kartengrundlage: TK 1 : 100 000 (LGN 1996 – 2002)

Die bioklimatische Belastung, die auf Basis der Modellergebnisse ermittelt wurde, zeigt Abb. 13. Dabei wird eine potenzielle Belastung in der Innenstadt sowie einem erheblichen Teil der östlichen Stadthälfte deutlich. Hervorgerufen vor allem durch eine mangelnde Durchlüftung, zeichnen sich der Stadtteil Linden, Teile der Wohnbebauung nördlich der Ahlumer Straße sowie die Altstadt als räumliche Schwerpunkte ab.

In der Altstadt ist insbesondere die vergleichsweise hohe Überwärmung der Bebauung für das Belastungsniveau verantwortlich, welche selbst durch die auftretende Kaltluftströmung kaum ausgeglichen werden kann. In Richtung auf den Stadtrand geht die bioklimatische Belastung auf ein geringes Niveau zurück. Potenziell unbelastet sind hingegen die randlichen Siedlungen der Weststadt sowie die Stadtteile Groß Stöckheim und Halchter. Innerhalb der dörflichen Ortslagen ist nicht von einer bioklimatischen Belastung auszugehen.

B) Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsraum)

Klimaökologische Ausgleichswirkungen gehen vor allem von den unbebauten Arealen des Umlandes aus. Sie sind durch einen hohen Vegetationsanteil sowie einem geringen Versiegelungsgrad geprägt. Bedeutsame Ausgleichsleistungen sind vor allem von den Freiflächen im Südwesten Wolfenbüttels zu erwarten. Hier ist ein Großteil der leistungsfähigsten Einzugsgebiete gruppiert. Verantwortlich dafür sind die weitläufigen, unbebauten Areale, die in Verbindung mit hohen nächtlichen Abkühlungsraten eine hohe Kaltluftproduktion begünstigen. Hangneigungen von verbreitet mehr als 1° verstärken den Massenstrom, so dass insbesondere die südwestlichen Stadtteile Wolfenbüttels von deren Kaltluftzustrom profitieren (vgl. Abb. 13).

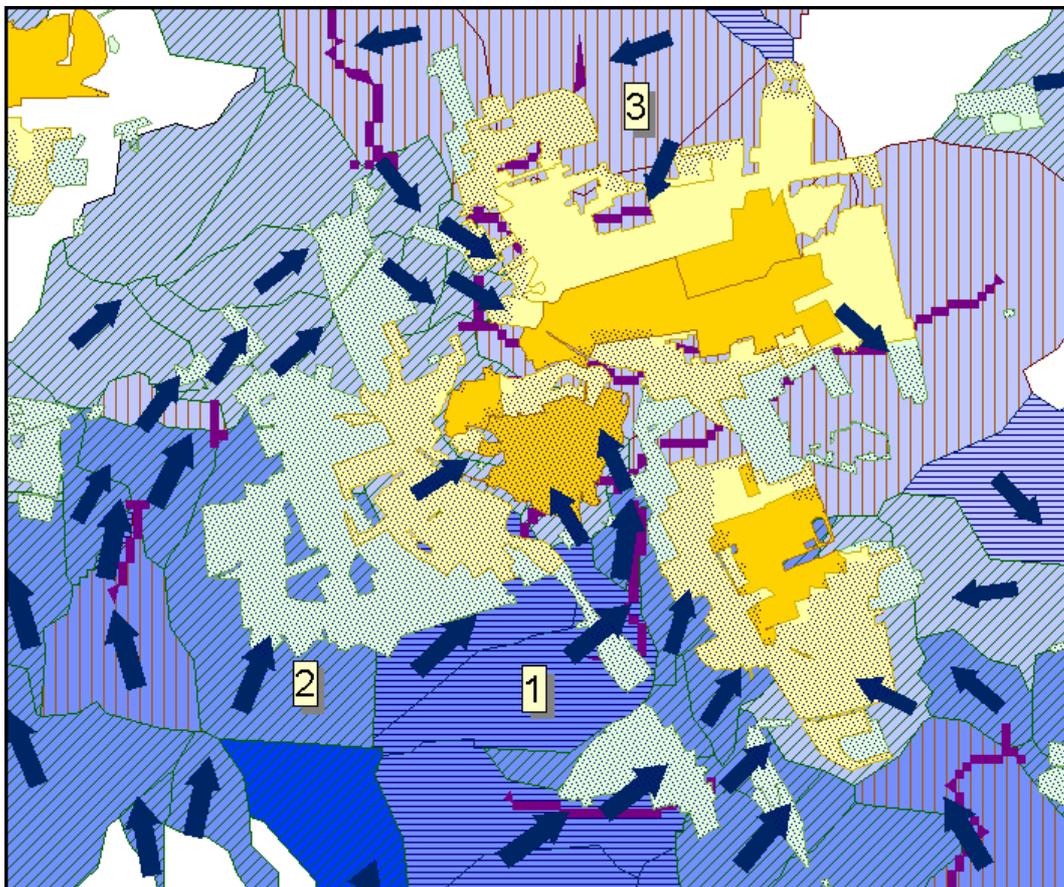


Abb. 13: Ausschnitt aus der Planungskarte im Bereich Wolfenbüttel

Das Leistungsvermögen der Einzugsgebiete bleibt hingegen östlich der Oker zurück, was sich in einer geringeren Eindringtiefe in die Bebauung und einer potenziellen bioklimatischen Belastung der Oststadt äußert. Kaltlufteinzugsgebiete unterschiedlichen Prozessgeschehens sind in Tab. 7 dargestellt, wobei sich die Angaben zum Massenstrom auf das 250 m Raster beziehen:

Einzugsgebiet Nummer	Größe in ha	Massenstrom pro Einzugsgebiet			T-Differenz in C° zw. 22 und 06 Uhr
		Min. Wert	Max. Wert	Durchschnitt	
1	119	2,7	5,1	4,5	6,4
2	224	1,8	5,1	3,4	5,7
3	215	1,4	2,5	2,1	3,5

Tab. 7: Kennwerte ausgewählter Kaltlufteinzugsgebiete im Raum Wolfenbüttel.

Einzugsgebiet 1 ist vorwiegend *orographisch* induziert und weist mit einem Rasterzellenmittelwert von 4,5 ein mittleres Niveau auf. Die nächtliche Abkühlungsrate von 6,4°C kann als vergleichsweise hoch eingeschätzt werden und unterstreicht das ermittelte Kaltluftproduktionspotential des mit 119 ha eher kleineren Einzugsgebietes. Das Gebiet 2, bei einer Flächengröße von 224 ha vorwiegend *thermisch* bestimmt, erreicht ebenfalls einen Maximalwert von 5,1, bleibt aber im durchschnittlichen Massenstrom deutlich zurück. Die Abkühlungsrate von 5,7°C kann als moderat angesehen werden. Gebiet 3 als *Mischttyp* im Bereich des Lechlumer Holzes ist charakteristisch für einen Waldstandort, was sich insbesondere in der geringen nächtlichen Abkühlung von 3,5 °C bemerkbar macht. Hier dämpft das Kronendach die langwellige Ausstrahlung, so dass die Abkühlungsrate unter denen der Freiflächen verbleibt.

Das kleinere Einzugsgebiet 1 erreicht mit einer stärker ausgeprägten Temperaturdifferenz den höchsten durchschnittlichen Massenstrom und zeigt, dass die Gebietsgröße alleine keinen hohen Massenstrom gewährleistet. Vielmehr führt ein großes Einzugsgebiet zur Homogenisierung auftretender hoher Einzelwerte. Die übrigen Einzugsgebiete sind westlich der Oker durch verbreitete mittlere, östlich davon durch vorwiegend geringe Massenströme gekennzeichnet. Es bleibt aber festzuhalten, dass auch von den weniger leistungsfähigen Einzugsgebieten wichtige klimaökologische Effekte für die Siedlungsräume ausgehen.

C) Leitbahnen für lokalen Luftaustausch

Für den Kaltlufttransport in die Bebauung kommt großen, linear geprägten Freiflächen mit einer verhältnismäßig geringen Oberflächenrauigkeit eine bedeutsame Rolle zu. Hinsichtlich dieser Funktion ist das Okertal als wichtige, übergeordnete Leitbahn erkennbar. Deutlich wird dies im Einströmen der Kaltluft in das Okertal bei Groß Stöckheim und Halchter sowie in der auf die Innenstadt ausgerichteten Hauptströmungsrichtungen. Eine Beteiligung des Brückenbaches als Leitbahn im Westen Wolfenbüttels zeichnet sich im Windfeld uneinheitlich ab. Vielmehr treten einzelne Abschnitte östlich von Fümmele und westlich von Groß Stöckheim in Erscheinung.

5.2.1 Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüge am Beispiel Goslar

A) Belastete Siedlungsbereiche mit Bedarf an Ausgleichsströmung (Wirkungsraum)

In Goslar zeichnet sich hinsichtlich der aus der Nutzung abgeleiteten, potenziellen bioklimatischen Belastung ein ähnlich abgestuftes Belastungsmuster ab wie in Wolfenbüttel. Einem potenziell hoch belasteten Altstadtbereich stehen potenziell gering belastete, periphere Siedlungsräume gegenüber (Abb. 14). Dies betrifft südliche Teile des Stadtteils Jürgenohl sowie Siedlungsbereiche nördlich und südlich der Bundesstraße 6.

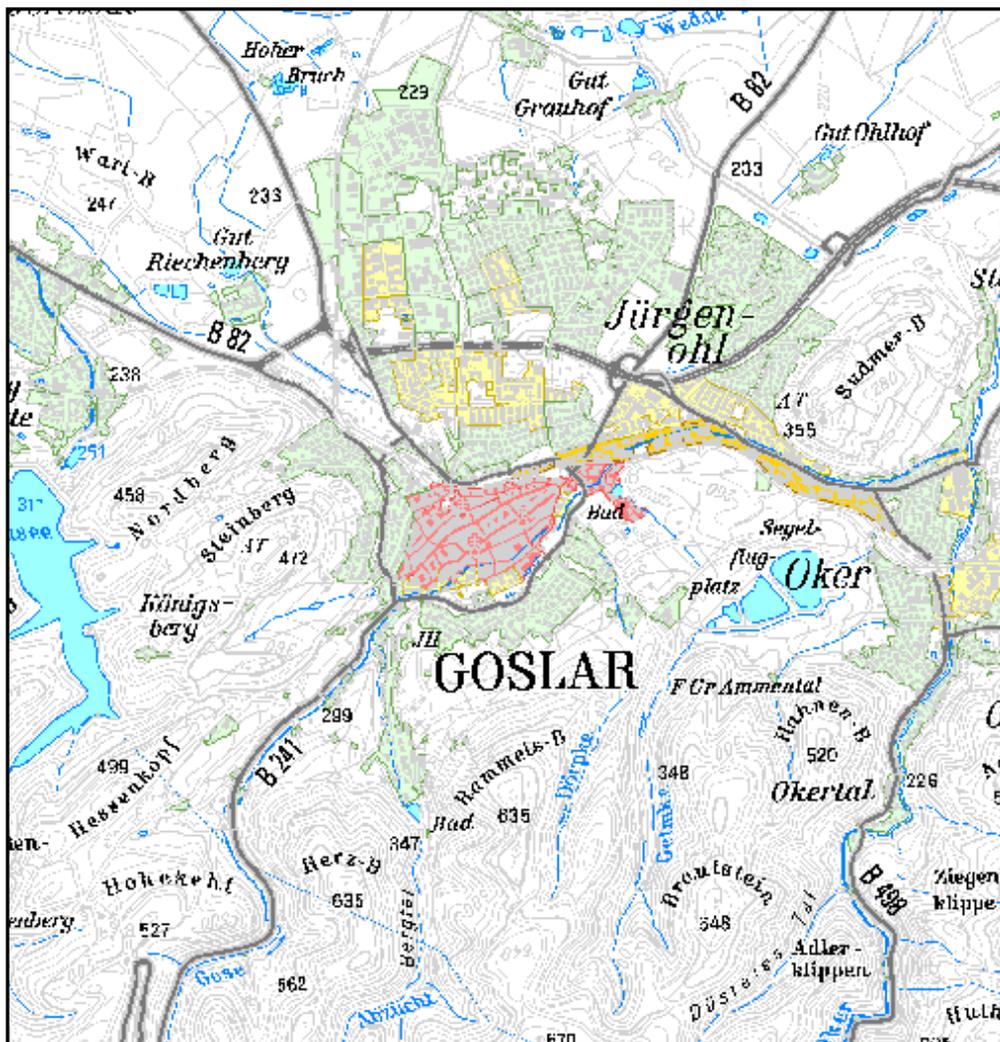


Abb. 14: Anhand der Nutzungsstruktur abgeleitete Belastungssituation in Goslar
Kartengrundlage: TK 1 : 100 000 (LGN 1996 – 2002)

Die Bewertung der FITNAH-Ergebnisse ergibt hingegen ein anderes Bild, was sich in einem weitaus schwächer ausgeprägten Belastungsniveau zeigt (Abb. 15). Aufgrund des hohen Kaltluftproduktionspotentials der umrahmenden Freiflächen ist eine Durchlüftung des gesamten Stadtgebietes gewährleistet. Hinzu kommt die räumliche Nähe des Stadtkörpers zum Quellgebiet der Kaltluftlieferung.

Daraus resultiert keine nennenswerte bioklimatische Belastung für den verdichteten Altstadtbereichbereich. Als potenziell gering belastet können lediglich Areale der Nordstadt entlang der B 6 sowie im Norden von Jürgenohl angesprochen werden.

Dies ergibt sich aus der überdurchschnittlichen, nächtlichen Erwärmung, die im Gegensatz zur Altstadt nicht mehr vollständig durch die Kaltluftströmung ausgeglichen werden kann und in der Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit durch die vorangehende Bebauung zurückzuführen ist.

B) Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsraum)

Hinsichtlich der klimatischen Ausgleichsleistung der Freiflächen profitiert Goslar von den südlich anschließenden Höhenzügen des Harzes. Dies äußert sich in verbreitet hohen durchschnittlichen Kaltluftmassenströmen, was auf die starken Hangneigungen und die Waldvegetation zurückzuführen ist. Die Stadt Goslar mit den ihr zugeordneten Ausgleichsräumen zeigt Abb. 15:

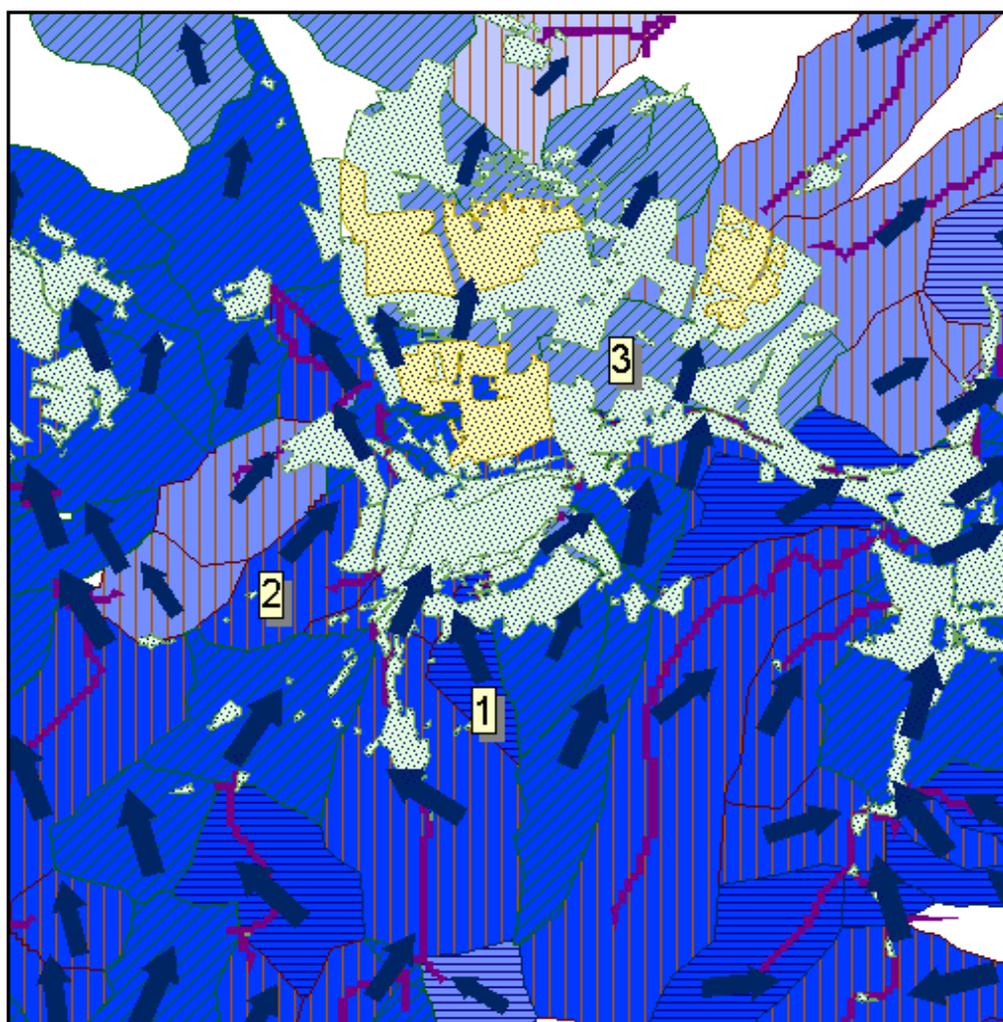


Abb. 15: Ausschnitt der Planungskarte im Bereich Goslar

In Waldgebieten erfolgt die Ausstrahlung und damit die primäre Abkühlung hauptsächlich aus dem oberen Kronenbereich und nicht aus unmittelbarer Bodennähe. Die dort produzierte Kaltluft sinkt ab und vermischt sich mit der wärmeren Luft des Stammraumes. Die in Bodennähe messbare Abkühlung der Atmosphäre ist deshalb im Wald bei ebenerdigen und geschlossenem Bestand meist geringer als über vegetationsbedeckten Freiflächen (GROSS 1989).

Wälder auf stark geneigten Flächen, wie in den Talungen der Höhenzüge südlich von Goslar, haben dagegen eine sehr starke Kaltluftproduktion. Dies liegt an der großen, ausstrahlenden Oberfläche des Bestandes, wobei die Kaltluft auch im und über den Kronenbereich abfließt, statt erst in den Stammraum einzusinken. Der Kaltluftstrom ist so stark ausgeprägt, dass ca. 70% der Altstadt noch von einem hohen bis mittleren Massenstrom profitieren. Darüber hinaus ist an allen größeren Talausgängen ein hoher Massenstrom zu beobachten, was auf einen verstärkenden Kaskadeneffekt komplexerer Talsysteme zurückzuführen ist.

Den Waldflächen der Höhenzüge schließt sich hangabwärts ein Saum mit einem verbreitet mittlerem Massenstrom an, dessen Reichweite zwischen 1300 m westlich von Goslar und 3000 m bei Bad Harzburg schwankt. Der Massenstrom geht dann in Richtung auf das Vorland auf ein niedriges Niveau zurück und kann lokal im Bereich stärkerer Hangneigungen wieder hohe Werte aufweisen. Tabelle 8 zeigt die Kennwerte ausgewählter Kaltlufteinzugsgebiete. Die Angaben zum Massenstrom beziehen sich dabei auf die Zellenwerte des 250 m Rasters:

Einzugsgebiet Nummer	Größe in ha	Massenstrom pro Einzugsgebiet			T-Differenz in C° zw. 22 und 06 Uhr
		Min. Wert	Max. Wert	Durchschnitt	
1	69	4,2	15,4	7,2	7,1
2	147	3,5	10,8	6,5	5,8
3	189	3,2	8,9	4,8	5,2

Tab. 8: Kennwerte ausgewählter Kaltlufteinzugsgebiete im Raum Goslar.

Das Kaltlufteinzugsgebiet 1 ist mit einer Fläche von 69 ha Bestandteil der südlichen Umrahmung Goslars. Es nimmt einen Teil des Hangbereichs des Rammelsberg ein und zeichnet sich durch ein hohes Kaltluftliefervermögen aus. Verantwortlich dafür ist die angesprochene hohe Kaltluftproduktion der Waldflächen, welche durch die Hangneigung zusätzlich verstärkt wird. Bei einer nächtlichen Abkühlung von 7,1°C wird ein durchschnittlicher Massenstrom von 7,2 erreicht, was für ein vorwiegend *orographisch* bestimmtes Einzugsgebiet dieser Lage zu erwarten ist. Die trotz des Waldanteils verhältnismäßig hohe Abkühlungsrate resultiert aus dem hohen Freiflächenanteil des Einzugsgebietes am Hangfuß des Rammelberges.

Einzugsgebiet 2 nimmt, ausgehend vom Königsberg, mit 147 ha die Südostflanke des Steinbergs und den gegenüberliegenden Hang ein. Hinsichtlich des Prozessgeschehens kann es als *Mischtyp* angesprochen werden. Die Kaltluftproduktion ist bei einem mittleren Massenstrom von 6,5 ebenfalls als hoch anzusprechen, wobei insbesondere der Westteil Goslars von der

Kaltluftströmung profitiert. Die nächtliche Abkühlung ist mit 5,8°C hingegen etwas geringer ausgeprägt. Eine Sonderstellung nimmt Einzugsgebiet 3 durch die Lage innerhalb des Stadtkörpers ein. Dabei handelt es sich um das Areal im Umfeld des Straßenkreuzes der Bundesstraßen 82 und 6. Die absolute Größe beträgt 189 ha, wobei nach Abzug der bebauten Fläche ca. 44 ha Freifläche verbleiben. Anhand der vergleichsweise geringen nächtlichen Abkühlung von 5,2°C wird deutlich, dass das Einzugsgebiet in eine insgesamt wärmere Umgebung eingebettet ist. Das Kaltluftliefervermögen bleibt bei einem durchschnittlichen Massenstrom von 4,8 deutlich hinter den Gebieten 1 und 2 zurück, was ebenfalls für die Ausprägung der Maximalwerte gilt. Mit einem vornehmlich *thermisch* induzierten Prozessgeschehen ist das Leistungsvermögen dieses Einzugsgebietes als mittel einzustufen. Freiflächen dieser Art besitzen trotz einer im Vergleich zum Umland geringeren Kaltluftlieferung wichtige Funktionen. Zum Einen unterbinden sie die Ausbildung einer urbanen Wärmeinsel, zum Anderen können sie als „grüne Trittsteine“ das Eindringen umlandbürtiger Kaltluftströmungen in den Siedlungskörper unterstützen.

C) Leitbahnen für lokalen Luftaustausch

Die Bedeutung der Leitbahnen wird im Raum Goslar sehr deutlich und tritt im Zweckverband Großraum Braunschweig lediglich am Elm in vergleichbarer Weise auf. Wie bereits angesprochen, sind die Tiefenlinien Zonen höchster Werteausprägungen hinsichtlich der Kaltluftströmung. Als Leitbahnen sind daher am Harzrand die Täler der größeren Fließgewässer anzusprechen. Einen lokalen Einfluss auf Goslar üben die Tiefenlinien der folgenden Täler aus:

- Gose
- Abzucht
- Dörpke
- Gelmke

Darüber hinaus strömt, ausgehend vom Harzrand, ein als mittel einzustufender Massenstrom in den Talniederungen von Innerste und Oker mit einer Reichweite von ca. 3500 bzw. 6000 m in Richtung Norden. Diese übergeordneten Fließgewässer sind auch über das Harzvorland hinaus als relevante Leitbahnen im Geest- und Bördebereich anzusprechen (vgl. Kap. 5.1).

6 Fazit

Bei einem Vergleich der Städte Wolfenbüttel und Goslar wird die Heterogenität des Reliefs und damit auch die des Kaltfluthaushaltes im Zweckverband Großraum Braunschweig deutlich. Es zeigt sich, dass die Reliefbeeinflussung der siedlungsbezogenen Kaltlufteinzugsgebiete einen wesentlichen Einfluss auf die Durchlüftungssituation einer Stadt ausübt. Ebenso zeigt sich die Rolle der größeren Fließgewässer als übergeordnete Leitbahnen. Im Bereich stärkerer Hangneigungen wie dem Harzvorland sind sie einerseits Zonen hoher Werteausprägungen und spielen andererseits eine wichtige Rolle für das Eindringen von Kaltluft in die Städte des Geest- und Börderraums. Die bioklimatische Belastung geht mit diesem räumlichen Muster einher. So weisen die Städte des nordwestlichen Verbandgebietes tendenziell ein höheres Belastungsniveau auf, wobei in diese Bewertung auch die Größe der Siedlungen des Teilraums berücksichtigt werden sollte. Insgesamt lässt sich sagen, dass die klimaökologische Ausgleichswirkung des Harzvorlandes als überdurchschnittlich zu beurteilen ist, während im Nordwesten klimaökologische Ungunsträume deutlich werden.

7 Literatur

- DWD – Deutscher Wetterdienst (1996): Angaben zu austauscharmen Strahlungswetterlagen in Niedersachsen – praxisnahe Definition und Häufigkeitsverteilung. Mündliche Mitteilung des Leiters des Wetteramtes Hannover-Langenhagen
- EUROPEAN COMMISSION (1994): EUR 12585 – CORINE Landcover projekt – Technical Guide. Office for official Publications of the European Communities. Luxemborg
- GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. Beitr. Phys. Atmosph. , H 62 , S. 57-72.
- GROSS, G. (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg
- GROSS, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. Meteor. Z.schr. Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- KIESE, O. et al. (1992) : Stadtklima Münster. Entwicklung und Begründung eines klimarelevanten Planungskonzeptes für das Stadtgebiet von Münster. Stadt Münster - Werkstattberichte zum Umweltschutz 1/1992
- KING, E. (1972): Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftabflusses und der Frostgefahr durch Straßenbauten. Ber. d. DWD Nr. 130. Offenbach a. Main
- LGN (1996 – 2002) [Hg.]: Topogr. Karte 1 : 100 000, Blätter C3526 Celle (1996), C3530 Wolfsburg (1997), C3926 Braunschweig (1997), C3930 Helmstedt (1999), C4326 Goslar (2002)
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- MORISKE, H.-J. und E. TUROWSKI (2003): Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. 9. Ergänzungslieferung