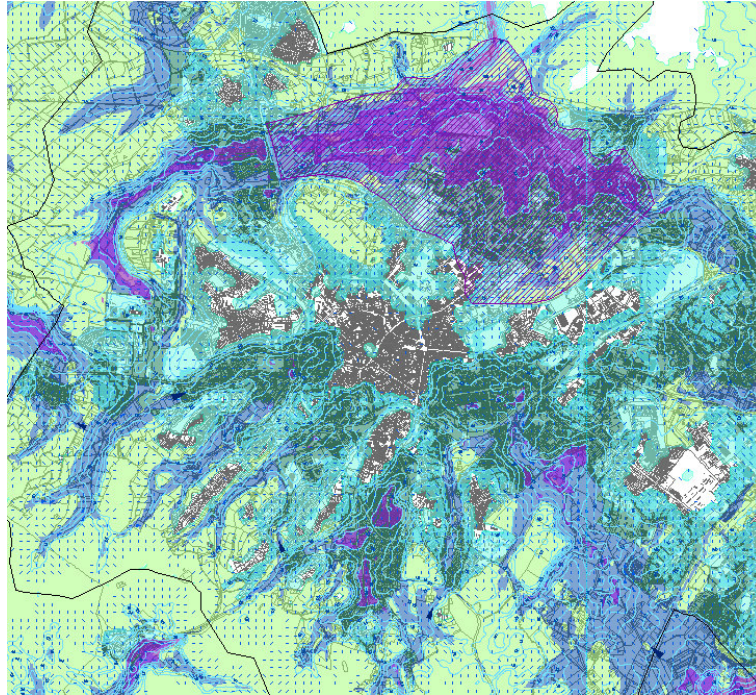


Lokale Kaltluft im Aachener Kessel



Zusammenfassender Bericht

Entwicklung eines Abgrenzungsschemas für kaltluftbeeinflusste Flächen auf Basis einer Modellsimulationsrechnung mit KLAM_21 für den FNP-Vorentwurf Aachen

und

Entwicklung einer Zusatzkomponente für die Karte der Planungsempfehlungen

Auftraggeber: Stadt Aachen, Fachbereich Umwelt

Auftragnehmer: RWTH Aachen, Geographisches Institut, Arbeitsgruppe
Klimatologie, Prof. Dr. C. Schneider, Dr. Gunnar Ketzler, Timo Sachsen, M.A.

Aachen, November 2013

Vorbemerkung

Im Oktober 2012 wurde das Geographische Institut, Arbeitsgruppe Klimatologie, Prof. Dr. C. Schneider, Dr. Gunnar Ketzler, vom Fachbereich Umwelt der Stadt Aachen mit der Entwicklung eines Abgrenzungsschemas für kaltluftbeeinflusste Flächen auf Basis einer Modellsimulationsrechnung mit KLAM_21 für den FNP-Vorentwurf Aachen beauftragt.

Ende 2012 wurde deutlich, dass die Ergebnisse eine fachlich notwendige Ergänzung zur bestehenden „Synthetischen Klimafunktionskarte“ für die Stadt Aachen („Gesamtstädtisches Klimagutachten Aachen“, 2000) darstellen, so dass zusätzlich noch die Entwicklung einer Zusatzkomponente für die Karte der Planungsempfehlungen aus den vorliegenden Ergebnissen beauftragt wurde.

Mit beiden Aufträgen wurde angestrebt, die grundlegenden Erkenntnisse zu nächtlicher Kaltluftbildung im Aachener Kessel nicht nur zu vertiefen, sondern nachvollziehbar auf eine flächig anwendbare Grundlage zu stellen, die für zukünftige Anwendungsfragen in der Planung als Grundlage dienen kann.

Parallel dazu wurde im Rahmen der Arbeiten am „Aachener Klimawandelanpassungskonzept“ (Hinzen et al., 2013) ein weiterer KLAM-Lauf mit gleichen Reliefdaten und gleichen Modelleinstellungen durchgeführt, der die zu erwartenden Effekte der im Zeithorizont der Studie wahrscheinlichen baulichen Veränderungen auf den Kaltluftabfluss erkennbar machen sollte.

Einleitung

Nächtliche Kaltluftbildung stellt bei austauscharmen Wetterlagen einen wichtigen Luftaustauschprozess dar und kann bei sommerlichen Strahlungswetterlagen erhebliche Abkühlungsleistungen erbringen. In Aachen liegen besonders günstige Bedingungen für Kaltluftabflüsse im kleinräumig gegliederten Relief vor. Die Kessellage ruft gleichzeitig starke klimatisch-lufthygienische Problemlagen hervor. Hieraus ergibt sich die besondere Bedeutung, die diesem Prozess bereits im Gesamtstädtischen Klimagutachten Aachen (Havlik & Ketzler, 2000) beigemessen wurde.

Leider standen damals keine zuverlässig anwendbaren Modelle zur Verfügung, so dass sich die Bearbeitung im Wesentlichen an umfangreichen, aber letztlich doch nur punktuell vorhandenen Messdaten orientierte. Außerdem lag eine GIS-Modellierung auf Basis von Thermalbefliegungsdaten vor, die zwar Hinweise für Kaltluftabflüsse in Bereichen ohne Messdaten lieferte, aber keine fachlich abgesicherten flächendeckenden Resultate liefern konnte. Aus den Thermaldaten selbst konnte und kann der dreidimensionale Abfluss nicht abgeleitet werden.

Ziel der nun vorliegenden Untersuchung war die Ableitung fachlich abgesicherter flächendeckender und quantifizierbarer Informationen zum Kaltluftabfluss im Aachener Kessel als Grundlage für die anstehende FNP-Neuaufstellung, die aufgrund inzwischen vorhandener Modellansätze möglich geworden ist.

Vorgehensweise

Die Basis für die Neubearbeitung bildet einerseits eine durch die Arbeitsgruppe Klimatologie am Geographischen Institut für den Bereich des Aachener Kessels durchgeführte Modellierung nächtlicher Kaltluftströme mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21 des Deutschen Wetterdienstes (Sievers, 2008). Andererseits werden die Ergebnisse mit den quantitativen Bewertungsrichtlinien der VDI-Richtlinie (VDI-RL) 3787, Blatt 5, Umweltmeteorologie, Lokale Kaltluft, verknüpft (VDI, 2003).

Für die Durchführung der Modellläufe war zunächst eine Informationsbasis zu Landnutzung und Gelände zu entwickeln, die so angelegt ist, dass sie - dem Verwendungszweck der VDI-Richtlinie 3787 entsprechend - auf allgemein verfügbaren Daten basiert und daher in gleicher Weise in anderen Orten anwendbar ist. Der Modelllauf „2010“ basiert auf der näherungsweise aktuellen Landnutzungssituation (2006; siehe Karte „Landnutzungsdatensatz für KLAM-Modellierung“) im Stadtgebiet auf Basis der generalisierten ATKIS-Landnutzungsinformationen (Bezirksregierung Köln, 2013).

Die ATKIS-Flächenobjekte wurden hierzu in 9 KLAM-Landnutzungsklassen zusammengefasst (siehe Anhang). Für den Bereich des in Belgien und den Niederlanden liegenden Gebiets wurden CORINE Landnutzungsdaten verwendet; diese liegen in 150 m Auflösung vor, die betroffenen Gebiete haben jedoch nur eine untergeordnete Relevanz für die Situation im Aachener Kessel. Die Geländesituation wurde durch ein digitales Geländemodell mit 2 m Auflösung abgebildet, das aus dem Gesamtstädtischen Klimagutachten zur Verfügung stand.

Der Modellauf wurde mit einer Rasterweite von 15 m mit den Standardeinstellungen für die energetischen und Reibungseigenschaften der KLAM_21-Landnutzungsklassen, für den Abkühlungsantrieb (-30 W m^{-2}) und für den Offset für die abendliche städtische Überwärmung ($0.5 \text{ }^\circ\text{C}$) betrieben (Sievers, 2008). Die Ergebnisse wurden für den Zeitschnitt $t = 10800 \text{ sec}$ ausgewertet, zu dem davon ausgegangen werden kann, dass die zeitlichen Abkühlungsunterschiede verschiedener Flächentypen gering werden (Holmer et al., 2007). Sie repräsentieren typische Verhältnisse in Nächten mit windschwachen Strahlungswetterlagen 3 Stunden nach Sonnenuntergang. Solche Verhältnisse treten im Raum Aachen an ca. einem Drittel aller Nächte auf (Ketzler, 2003).

Vergleich von Modell- und Messdaten

Die Ergebnisse der Modellrechnung für den Stand 2010 wurden anhand verschiedener Messergebnisse (Ballonsondierungen, Stationsdaten, mobile Messungen; siehe z.B. Sachsen et al., 2012; Sachsen, in prep.) sowohl in Bezug auf die Temperaturen als auch die Kaltluftvolumenströme in guter Näherung bestätigt.

Insbesondere sind folgende Eckdaten für den Bereich einer Messstation im Kannegießerbachtal / Brüsseler Ring zu nennen:

- Die vom Modell berechnete abendliche Abkühlung entspricht durchaus typischen Verhältnissen. Eine dem Modellergebnis entsprechende Abkühlung wird an 75 % der Tage erreicht oder überschritten, die nach strengen Kriterien als Tage mit günstigen Bedingungen für Kaltluftbildung ermittelt wurden. Dementsprechend wird dieser Wert der Abkühlung an Tagen mit ungünstigen Bedingungen für Kaltluftbildung unterschritten.
- Die gemessene mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft an diesem Standort beträgt $0,8 \text{ m s}^{-1}$, die aus den Modellergebnissen ermittelte $0,9 \text{ m s}^{-1}$ (13 % mehr).
- Die Kaltluftmächtigkeit wurde an einem Vergleichsmesstag mit Kaltluftabfluss unter Witterungsbedingungen, die in etwa den Modellrandbedingungen entspre-

chen, mit 32,8 m gemessen; das Modell liefert einen Wert von 25,5 m (22 % weniger).

- Der Kaltluftvolumenstrom, also die Gesamtmenge der Kaltluft, die als Produkt aus Strömungsgeschwindigkeit und Kaltluftmächtigkeit ermittelt wird, beträgt an der Station auf Basis der Messdaten $26,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nach den Modelldaten $23,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, also 13 % weniger.

Insgesamt unterschätzen die Modellergebnisse die mittleren Verhältnisse etwas bzw. sie stellen einen Fall von Kaltluftbildung dar, der etwas weniger intensiv als normal ausgeprägt ist, dafür aber vermutlich etwas häufiger auftritt.

Auswertung der Modelldaten für die Karte „Lokale Kaltluft im Aachener Kessel“

Der KLAM_21-Modelloutput besteht aus Rasterdatensätzen der mittleren horizontalen Geschwindigkeitskomponenten, der Kaltfluthöhe und des Kälteinhalts (Sievers, 2008). Diese Datensätze wurden für die Bearbeitung in ArcGIS umgewandelt und daraus zusätzlich die Strömungsgeschwindigkeit, –richtung und die Abkühlung berechnet.

Die Auswertung der Modellergebnisse in ArcGIS wird auf drei zentrale Kriterien der VDI-Richtlinie ausgelegt:

- 1. die Eindringtiefe der Kaltluft,
- 2. die Klassifizierung von Strömungstypen,
- 3. die Lage der Kaltluft relativ zur Bebauung.

Außerdem wird das im Vorfeld der Studie in Aachen festgestellte Phänomen von über die Talgrenzen hinweg strömender Kaltluft (Kaltlufttransfluenzen) in die Auswertung einbezogen.

Die Eindringtiefe der Kaltluft wird - mangels konkreter Vorgabe in der VDI Richtlinie - mit dem für planerische Zwecke als relevant angesehenen Unterschreiten einer Durchlüftungsrate von etwa 2/h angesetzt, die als Merkmal für eine noch gute Durchlüftung gewertet wird (VDI, 2003, S. 35). Dabei wird eine mittlere Gebäudehöhe (Canopyhöhe) von 18 m als vertikale Bezugsgröße für die Durchlüftung angesetzt; der Schwellenwert für die Grenze der Kaltluft entspricht demnach einem Volumenstrom von $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Bei einem Betrieb des Modells bei 15 m Rasterweite entstehen Artefakte durch einzelne fehlerhafte Rasterinformationen insbesondere direkt an der Modellgrenze. Diese werden dadurch eliminiert, dass nur solche Flächenelemente berücksichtigt werden, bei denen in einem Umkreis von 50 m das Ergebnis in mindestens 50 % der Rasterzellen eintritt; anschließend wird mit einer Bufferfunktion der hierdurch zu weit berechnete Grenzverlauf wieder um 50 m zurückverlegt.

Kaltluftabfluss, -akkumulation und -stau werden entsprechend der Merkmale aus Tabelle 6 (VDI, 2003, S. 35) unterschieden. Dabei wird die Kombination aus Strömungsgeschwindigkeit und Schichtdicke als Kriterium herangezogen. Hangabwärtiger Kaltluftabfluss wird mit Werten $< 5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ definiert, talwärtiger (in der VDI-RL etwas unglücklich als „Kaltluftakkumulation“ bezeichnet) mit Werten darüber.

Aufgrund der Aachener Geländesituation mit Tälern einer meist geringeren Tiefe als 50 m und der bewussten Beschränkung auf den Modellausgabezeitpunkt 3 h nach Sonnenuntergang, zu dem die vollen Kaltluftmächtigkeiten noch nicht erreicht sind, erwies sich der Grenzwert von 50 m für Kaltluftstau nach VDI-RL als unzweckmäßig; es wird statt dessen ein Wert von 30 m angesetzt (der VDI-Schwellenwert der Geschwindigkeit von $0,5 \text{ m s}^{-1}$ wird beibehalten).

Die Lage zur Bebauung (innerhalb oder außerhalb) wird über die Grenze des baulichen Außenbereichs definiert. Dies beinhaltet zwar Unschärfen in Bezug auf die Realnutzung, jedoch wird so die Konfliktsituation mit hohem potentiellen Nutzungsdruck direkt erkennbar.

Im Einzugsgebiet des Johannisbachs wurde in einer Talmulde an der Vaalser Straße bei Messungen im Gelände ein Überströmen von Kaltluft aus dem Dorbachtal beobachtet. Die Ergebnisse des Modelllaufs wurden daraufhin untersucht, ob diese Kaltlufttransfluenz abgebildet wird, was der Fall war.

Zur Klärung der Frage, ob möglicherweise weitere Transfluenzen vorliegen, wurde das gesamte Untersuchungsgebiet in Bezug auf solche Fälle überprüft. Dazu wurden die Grenzen der Einzugsgebiete manuell darauf hin untersucht, ob Kaltluft die Wasserscheiden überströmt. Entsprechende Bereiche werden qualitativ in größere und kleinere Transfluenzen unterteilt und in der Karte entsprechend dargestellt. Neben den näher untersuchten Bereichen Dorbachtal / Vaalser Straße, Rolfebachtal / Beverbachtal und Indetal / Haarbachtal (s.u.) gibt es laut Modell noch kleinere Transfluenzen u.a. Dorbachtal / Senserbachtal und Kupferbachtal / Gillesbachtal.

Zusätzlicher Modellauf 2030

Die Auswirkungen zusätzlicher Bebauung auf nächtliche Kaltluftströme und die damit verbundenen Belüftungsfunktionen sowie die Nachttemperaturen bei Strahlungswetterlagen werden für das Aachener Klimawandelanpassungskonzept 2013 (Hinzen et al., 2013) durch einen weiteren Modellauf ermittelt. Bei diesem wird für 2030 zusätzliche Bebauung (Wohnen, Gewerbe) im Umfang der Prüfflächen angenommen. Die flächigen Veränderungen des Bebauungsbestandes bis 2030 werden dadurch erfasst, dass bei den Landnutzungstypen des Modells die Grundflächenzahl (GRZ) entsprechend der sich aus der Bebauungskartierung ergebenden mittleren Nachverdichtung für 2030 hochgerechnet wird. Dies erfolgt jeweils für die Landnutzungstypen insgesamt und berücksichtigt weder kleinräumige Variationen noch über die zusätzliche Bebauung hinausgehende Reduzierungen des Versiegelungsgrads.

Die durchschnittlichen GRZ-Einstellungen des Modells für die Landnutzungstypen werden dementsprechend von 0.600 auf 0.642 („Siedlung (dicht)“), von 0.400 auf 0.435 („Siedlung (locker)“) und von 0.600 auf 0.667 („Industriegebiet“) geändert. Eine klimawandelbedingte Veränderung kann nicht ohne weiteres modelliert werden, da es keine belastbaren Prognosen für die Eingangsgrößen derartiger Modelle gibt (v.a. nächtliche Strahlungsbilanz). Da zudem auch keine klaren Tendenzen vorhersagbar sind, wird keine klimawandelbedingte Veränderung angenommen.

Die baulichen Veränderungen bis 2030 bewirken eine stellenweise deutlich reduzierte nächtliche Abkühlung. Aus der Darstellung der Veränderungen 2030 gegenüber 2010 geht hervor, dass die Abnahme nächtlicher Abkühlung mit Werten bis über 1,0 °C vor allem am südlichen und westlichen Innenstadtrand sowie am Rand des Burtscheider Kernbereichs, stellenweise in den Ortsteilen Brand, Forst, Eilendorf, Haaren, Laurensberg und Richterich sowie im Bereich der Gewerbe- und Industriegebiete stattfinden wird. Die Detailergebnisse samt Karten sind dem Aachener Klimawandelanpassungskonzept 2013 (Hinzen et al., 2013) zu entnehmen.

Zusätzlicher Modellauf „Effekte von Kaltlufttransfluenzen“

Die Auswirkungen durch zusätzlich abfließende Kaltluft aus Kaltlufttransfluenzen werden für das Aachener Klimawandelanpassungskonzept 2013 (Hinzen et al., 2013; Sachsen et al., in prep.) durch einen weiteren Modellauf ermittelt, bei dem eine Kaltluftzufuhr von außerhalb der relevanten Einzugsgebiete unterbunden wird. Anschließend werden die Differenzen analysiert.

Dabei ergibt sich, dass in den Bereichen Dorbachtal / Vaalser Straße („A“), Rollebachtal / Beverbachtal („B“) und Indetal / Haarbachtal („C“) unterschiedliche Effekte

vorliegen (vgl. Abb. 1). Bei A ist der Kaltluftvolumenstrom relativ klein, bei B sehr bedeutend und bei C auch noch erheblich (zum Vergleich: im Kannegießerbachtal, das für die Belüftung der Aachener Innenstadt sehr bedeutsam ist, beträgt der Volumenstrom ca. $3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Laut Modell ist der Abkühlungseffekt an A1 1.9 °K , in den beiden anderen Fällen sehr klein. Der zusätzliche Volumenstrom beträgt an A1 176 % des Wertes ohne Transfluenz, an B1 und C1 ist es deutlich weniger (8%, 1%).

Der Unterschied zwischen den zusätzlichen abfließenden Kaltluftvolumina an den Transfluenzstellen und den zusätzlichen Abkühlungs- und Belüftungseffekten in der Stadt, ergibt sich offenbar aus der Entfernung und der Größe der ohnehin vorhandenen Kaltluftströme. Der Abstand zwischen Transfluenz und Referenzfläche beträgt bei A 0.6 km und ca. 3.9 km in den beiden anderen Fällen; während die entfernten Innenstadtbereiche bei den letzteren Referenzflächen wenig profitieren, sind hier die näher gelegenen Stadtrandbereiche stärker beeinflusst. Bei A ist die betroffene Stadtfläche klein, in den anderen Fällen größer; bei A ist zudem der lokale Kaltluftstrom sehr klein in Relation zur Transfluenz, in den anderen Fällen groß.

Tab. 1: Modellierte Kaltluftmengen in Transfluenzbereichen.

Transfluenz	Breite (m)	Schichtdicke (m)	Volumenstrom ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
A	150	18	1800
B	700	17	10500
C	400	15	4800

Tab. 2: Modellierte Abkühlung (K) und Kaltluftvolumenstrom ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) 3 h nach Sonnenuntergang für Referenzflächen. Ergebnisse von zwei Modellläufen mit (m) und ohne (o) Kaltlufttransfluenzen.

Referenzfläche	Abkühlung (K)		Differenz (K) m - o	Volumenstrom ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Differenz ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) m - o (% Zunahme m / o)
	m	o		m	o	
A1	2.6	0.7	1.9	9.4	2.5	6.9 (176 %)
B1	2.9	2.7	0.2	10.5	9.7	0.8 (8 %)
C1	2.0	2.0	0.0	7.2	7.1	0.1 (1 %)

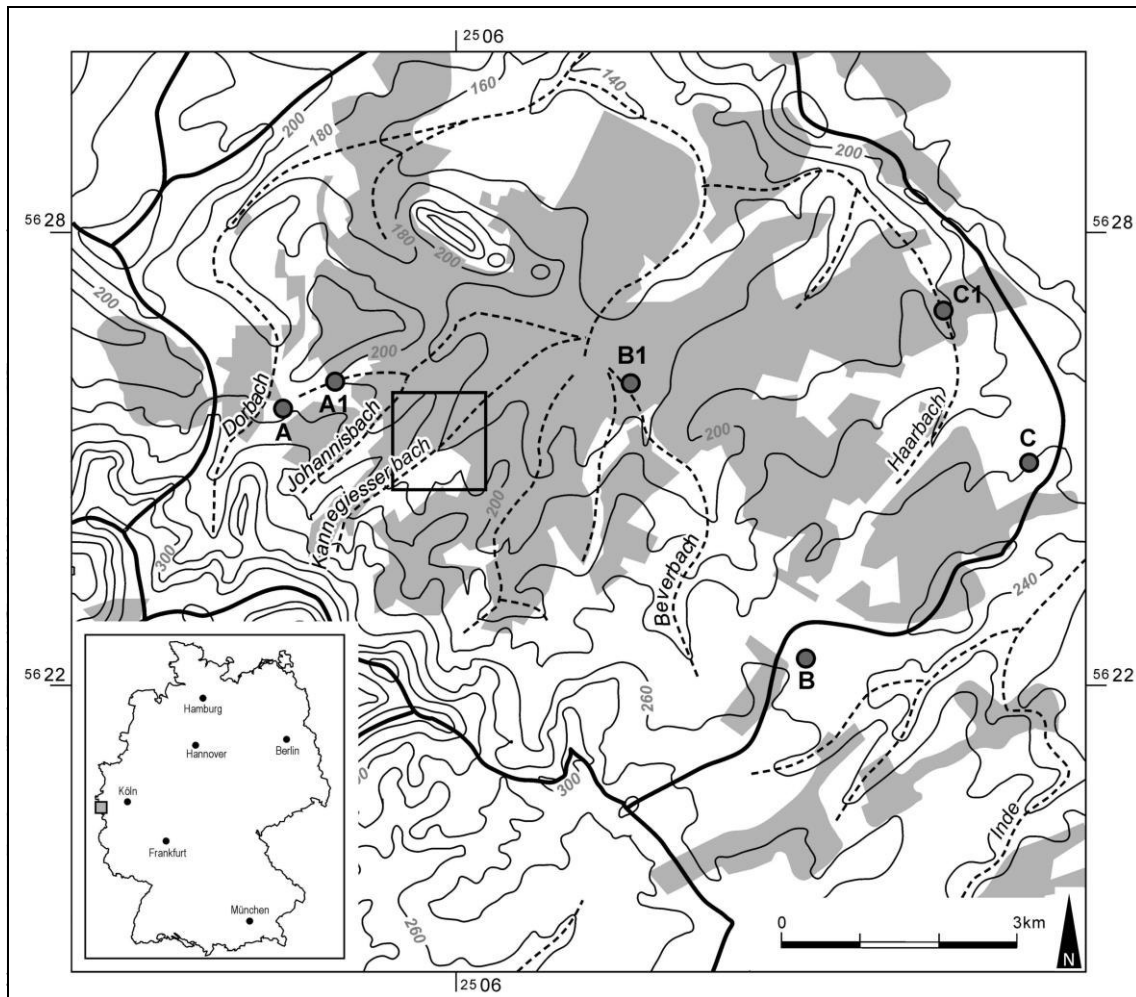


Abb. 1: Aachener Kessel. Durchgezogen: Wasserscheiden, getrichelt: Talachsen, grau: Bebauung; , A, B, C: Kaltlufttransfluenzen; A1, B1, C1: Referenzflächen.

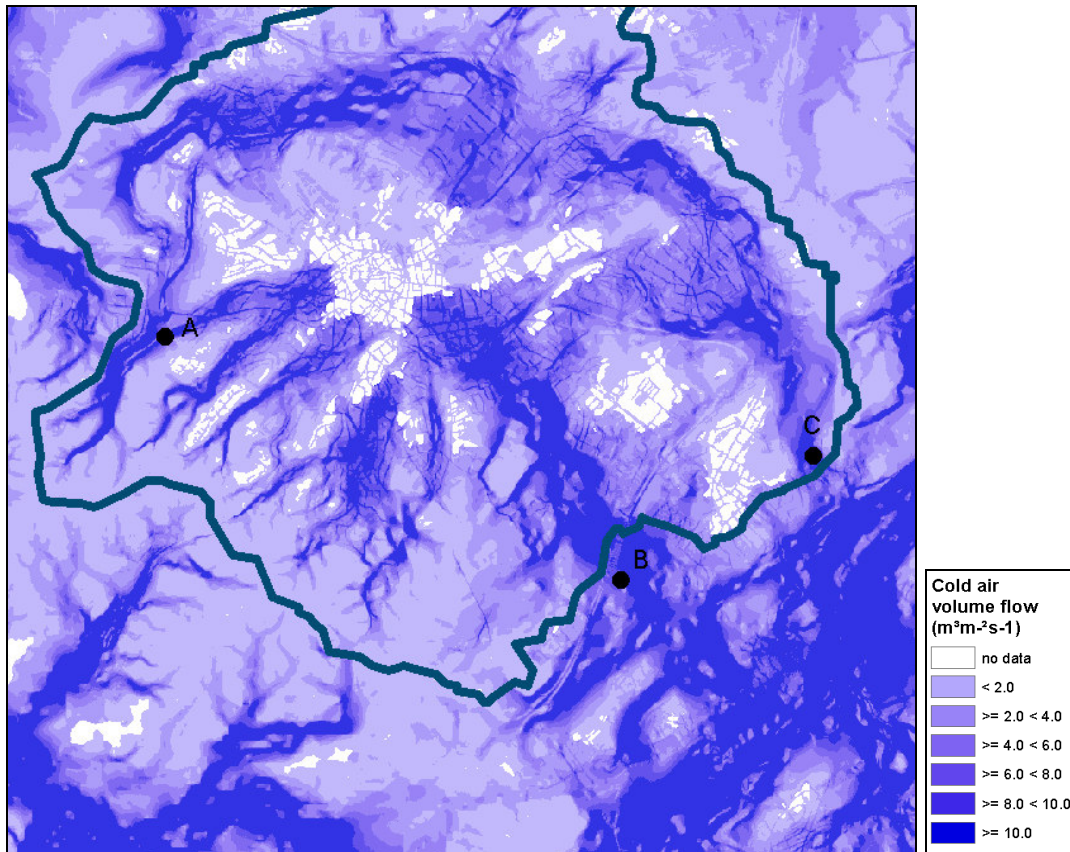


Abb. 2: Modellierter Kaltluftvolumenstrom und Bereiche mit Kaltlufttransfluenzen A, B und C (durchgezogene Linie: Wasserscheide Aachener Kessel).

Quellenhinweise

Bezirksregierung Köln (2013): ATKIS-Landnutzungsinformationen (Amtliches Topographisch Kartographisches Informationssystem); http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/presse/publikationen/geobasis/faltblatt_geobasis_atkis.pdf abgerufen am 18.11.2013

Havlik, D. und Ketzler, G. (2000): Gesamtstädtisches Klimagutachten Aachen

Hinzen, A., Simon, A., Ketzler, G., Sachsen, T., Paffen, M., Schneider, C. (2013): Anpassungskonzept an die Folgen des Klimawandels im Aachener Talkessel

Holmer, B., Thorsson, S. and Eliasson, I. (2007): Cooling rates, sky view factors and the development of intra-urban air temperature differences. – Geogr Ann, 89 A (4): 237–248.

Ketzler, G. (2003): Untersuchungen an Kaltluftströmen in kleinen stadtnahen Tälern. - Aachener Geographische Arbeiten, Heft 36, S. 21-63

Sachsen, T. (in prep.): Die Wirkung von Vegetation in randstädtischen Kaltluftleitbahnen – Studien zur Kaltluft in Aachen

Sachsen, T., Ketzler, G., Schneider, C. (2012): The reduction of urban heat stress by optimized vegetation structures; Proceedings of the 8th International Conference on Urban Climates; Dublin.

Sachsen, T., Ketzler, G., Knörchen, A., Schneider, C. (in prep.): Future Evolution of Nighttime Urban Cooling and by Suburban Cold Air Drainage in the City of Aachen in a past, present and future perspective

Sievers, U. (2008): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21: theoretische Grundlagen, Anwendung und Handhabung des PC-Modells; in: Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 227

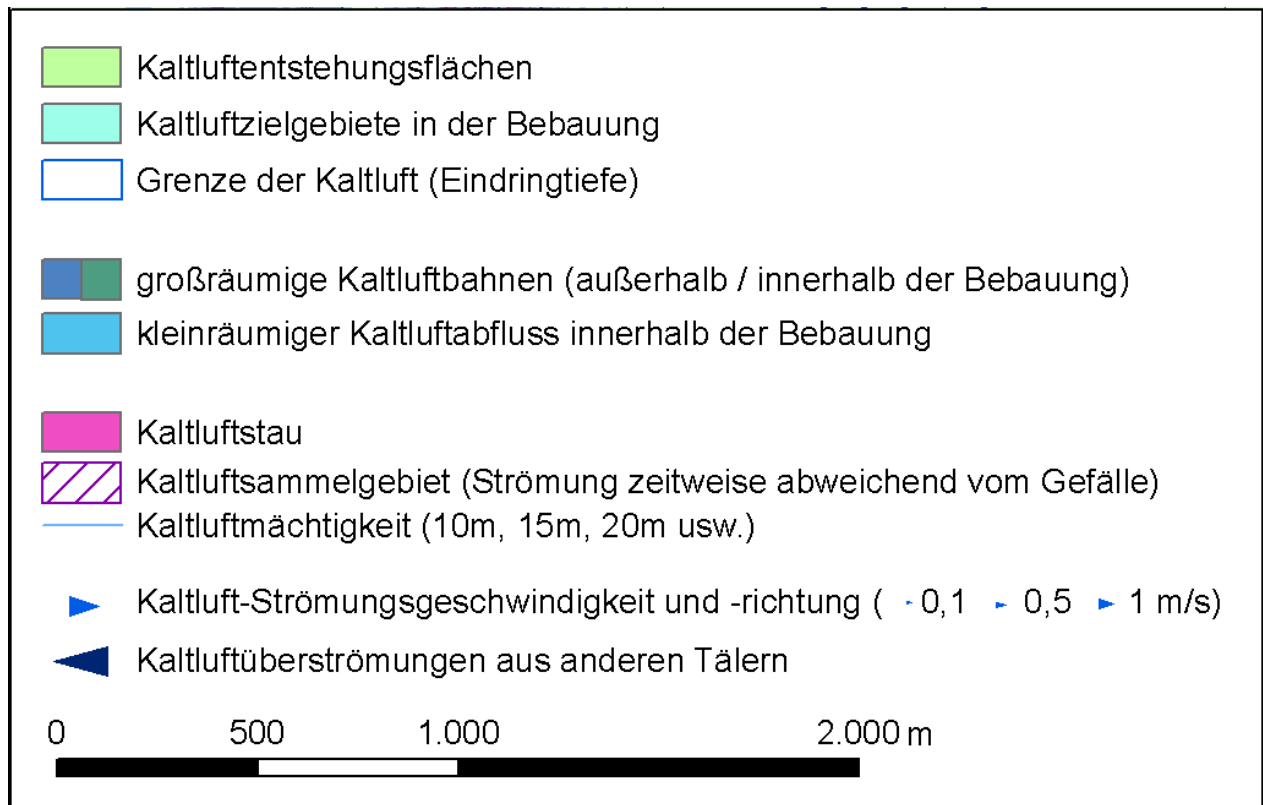
VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2003): Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft - VDI Richtlinie 3787, Blatt 5

ANHANG

Konvertierungstabelle: Landnutzungsklassen für KLAM_21

KLAM_Landnutzungs klasse	Corine-Klassen	ATKIS-Klassen
1 Siedlung, dicht	1	2111
2 Siedlung, locker	2	2113, 2114
3 Wald	22,23,24,25	Wald, Gehölz
4 halb versiegelt	9,11	Bahnflächen, Baulich geprägte Flächen, Siedlungsfreiflächen, Sonderflächen (Bauwerke, Steinbrüche, Kläranlagen, Stadien etc.)
5 Industrie	3	2112
6 Park	10,15,16,17,20,27,28,29	Grünanlagen, Friedhöfe, Sportanlagen, Sonderkulturen, Hecken
7 unversiegelt	7,8,12,13,14,18,19,21,26,30,31,32,33,35,36,37,38,39	Acker-, Grün-, Gartenland, Heide
8 versiegelt	4,5,6	Straßen, Plätze
9 Wasser	34,40,41,42,43,44	Gewässer

Kartenlegende



Hellgrün: Kaltluftentstehungsflächen
Flächen im Außenbereich mit Kaltluftabfluss $< 5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$
Raster „kaltflussetrs“; Wert 1

Mittelblaugrün: Kaltluftzielgebiete in der Bebauung
Kaltluftströme innerhalb der Bebauung
Raster „kaltflussetrs“; Wert 3

Blaue Linie: Grenze der Kaltluft (Eindringtiefe)
Eindringtiefe der Kaltluft in die Bebauung
Shape: Grenze_Kaltluft

Dunkelblau / Dunkelblaugrün: großräumige Kaltluftbahnen (außerhalb / innerhalb der Bebauung)
Kaltluftströme (Flächen im Außenbereich mit Kaltluftabfluss $\geq 5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$;
„Kaltluftakkumulation“ lt. VDI 3787 Blatt 5 Tab. 6)
Raster „kaltflussetrs“; Wert 2 (außen) und 6 (innen)

Hellblaugrün: kleinräumiger Kaltluftabfluss innerhalb der Bebauung
Flächen im Innenbereich mit Kaltluftabfluss $< 5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ aber $> 2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$
Raster kaltkflflets; Wert 1

Lila: Kaltluftstau
(Flächen mit Schichtdicke $> 30\text{m}$ und Windgeschwindigkeiten $< 0,5 \text{ m/s}$)
Raster kaltstauetrs; Wert 1

Lila Schraffur: Kaltluftsammlgebiet (Strömung zeitweise abweichend vom Gefälle)
Shape kaltluftsammlgebiet

Hellblaue Linien: Kaltluftmächtigkeit (10m, 15m, 20m usw.)
Shape Schichtdicke_isolinien_ETRS

Mittelblaue Pfeile: Kaltluft-Strömungsgeschwindigkeit und -richtung
Shape windpfeile_etr1 (Tabellendaten: Windrichtung und Windgeschwindigkeit)

Dunkelblaue Pfeile: Kaltluftüberströmungen aus anderen Kaltlufteinzugsgebieten
Shape transfluenz (Tabellendaten: Richtung und Stärke)

|

Weitere Angaben zum Modellantrieb und Modellvergleich bzw. zu GIS-Analysen

Die Strahlungsbilanz ist standardmäßig auf -30 W/m^2 und die Bewölkung auf „0“ eingestellt. Dieser Wert kann auf Grund der vorliegenden Messdaten unverändert übernommen werden. Für die ca. 25 km von Aachen entfernte Station Konzen liegt nämlich eine 2½-jährige Messreihe der Strahlungsbilanz vor, für die sich ergab, dass in 33% der Nächte eine mittlere Strahlungsbilanz von -27 W/m^2 und an 16,5% der Fälle eine von -33 W/m^2 vorliegt. Die 33% entsprechen in etwa der bei verschiedenen Untersuchungen in Aachen festgestellten Häufigkeit intensiven Kaltluftabflusses (zwischen 25% und 40% aller Nächte; Ketzler, 2002, S. 41), die Hälfte dieser Nächte sollten besonders ausgeprägten Kaltluftabfluss zeigen. Die Station Konzen liegt zwar in einem Gebiet mit vermutlich häufigerer Bewölkung, allerdings auch etwas größerer Höhenlage, so dass der bei KLAM_21 voreingestellte Wert letztlich in sehr realistischer Größenordnung liegen dürfte und daher mangels exakter Messdaten vor Ort beibehalten wird.

Die städtische Überwärmung bei Beginn der nächtlichen Abkühlungsphase ist in KLAM_21 standardmäßig auf $0,5^\circ\text{C}$ eingestellt (Sievers, 2008). Für Aachen ergab sich auf Basis von Daten des Gesamtstädtischen Klimagutachtens aus einer Häufigkeitsverteilung der frühabendlichen Temperaturdifferenzen zwischen einer Station in der Aachener Innenstadt („AC-Innenstadt“), der in randstädtischer Bebauung liegenden Station Aachen-Hörn und einer Station im Freiland („AC-Sief“) eine Differenz von ca. $0,65^\circ\text{C}$. Wegen des geringen Unterschieds zur Standardeinstellung wurde auch hier auf eine Nachjustierung verzichtet und der Standardwert von $0,5^\circ\text{C}$ übernommen.

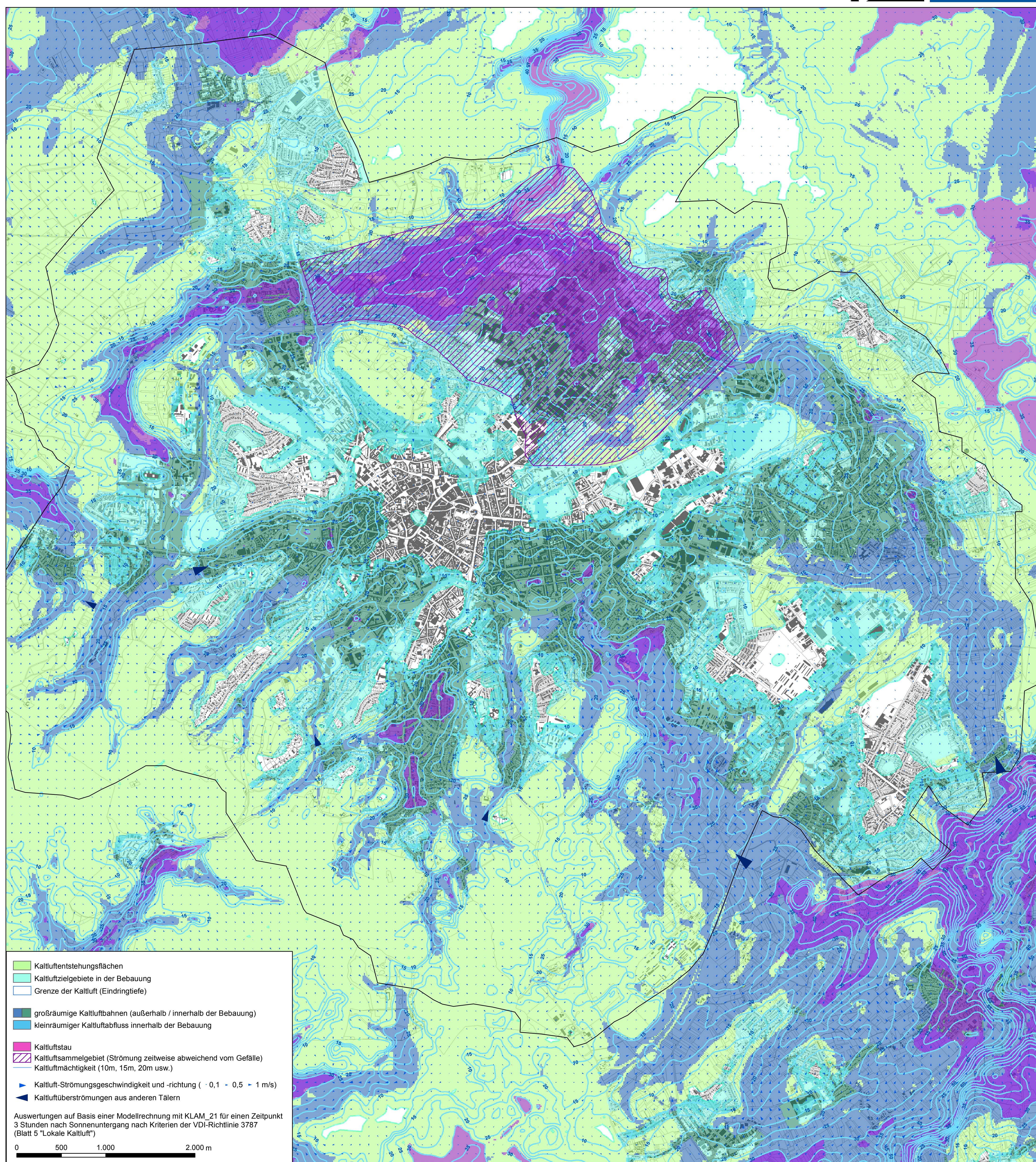
Die zwei Modellläufe wurden auf Basis eines digitalen Geländemodells (DEM) und eines Landnutzungsdatensatzes durchgeführt. Das verwendete DEM lag als Nebenprodukt des „Gesamtstädtischen Klimagutachtens Aachen“ (2000) aus einer Radarbefliegung vor und stellt die Landoberfläche ohne Canopy dar. Der Landnutzungsdatensatz wurde aus ATKIS-Daten im Gebiet der Städteregion Aachen bzw. aus Corine-Daten in Belgien bzw. den Niederlanden mit einer Auflösung von $100\text{m} \times 100\text{m}$ gewonnen (siehe Konvertierungstabelle im Anhang).

Das Untersuchungsgebiet wurde in Teilkaltlufteinzugsgebiete unterteilt, die den mit entsprechenden GIS-Tools ermittelten hydrologischen Einzugsgebieten entsprechen. Als Basis diente das auf $100\text{m} \times 100\text{m}$ generalisierte DEM (die Generalisierung diente dazu, die durch Bebauung verursachten Geländeartefakte zu eliminieren). Die so gewonnenen Teileinzugsgebiete wurden einerseits unter praktischen Gesichtspunkten zu größeren Einheiten als Teileinzugsgebiete zusammengefasst (z.B. die Teileinzugsgebiete Kannegießer- und Ponellbachtal sowie eine kleine Mulde im Bereich

obere Franzstraße als ein Taleinzugsgebiet „Kannegießerbachtal“). Längere Taleinzugsgebiete wurden andererseits jeweils nur bis in die talabwärts nächste Bebauung mit großer Tiefe berücksichtigt und dann von den tieferen Teilen getrennt (z.B. wurde das Wurmtal in ein Einzugsgebiet vom Aachener Wald bis in den Bereich Kaiserplatz, eines bis nach Haaren und in ein weiteres von dort bis in den Ausgang des Aachener Kessels unterteilt). Ähnlich hydrologischen Flussordnungssystemen wurden auch bei Einmündung anderer Taleinzugsgebiete neue Einzugsgebietsabschnitte abgegrenzt.

Lokale Kaltluft im Aachener Kessel

Ergebnisse von Kaltluft-Simulationsrechnungen



Auswertung der Modelldaten für die Karte „Lokale Kaltluft im Aachener Kessel“

Ausgabe 12/2015

Der KLAM_21-Modellooutput besteht aus Rasterdatensätzen der mittleren horizontalen Geschwindigkeitskomponenten, der Kaltluflhöhe und des Kalteingehalts (Sievers, 2008). Diese Datensätze wurden für die Bearbeitung in ArcGIS umgewandelt und daraus zusätzlich die Strömungsgeschwindigkeit, -richtung und die Abkühlung berechnet. Die Auswertung der Modelldaten in ArcGIS wird auf drei zentrale Kriterien der VDI-Richtlinie ausgelegt: 1. die Eindringtiefe der Kaltluft, 2. die Klassifizierung von Strömungstypen, 3. die Lage der Kaltluft relativ zur Bebauung. Außerdem wird das im Vorfeld der Studie in Aachen festgestellte Phänomen von über die Talgrenzen hinweg strömender Kaltluft (Kaltlufttransfluenzen) in die Auswertung einbezogen.

Die Eindringtiefe der Kaltluft wird mit dem für planerische Zwecke als relevant angesehenen Unterschreiten einer Durchlüftungsrate von etwa 2h angesetzt, die als Merkmal für eine noch gute Durchlüftung gewertet wird (VDI, 2003, S. 35). Dabei wird eine mittlere Gebäudehöhe (Canopyhöhe) von 18 m als vertikale Bezugsgröße für die Durchlüftung angesetzt; der Schwellenwert für die Grenze der Kaltluft entspricht demnach einem Volumenstrom von 0,01 m³ m⁻² s⁻¹. Bei einem Betrieb des Modells bei 15 m Rasterweite entstehen Artefakte durch einzelne fehlerhafte Rasterinformationen insbesondere direkt an der Modellgrenze. Diese werden dadurch eliminiert, dass nur solche Flächenelemente berücksichtigt werden, bei denen in einem Umkreis von 50 m das Ergebnis in mindestens 50 % der Rasterzellen eintritt; anschließend wird mit einer Bufferfunktion der hierdurch zu weit berechnete Grenzverlauf wieder um 50 m zurückverlegt.

Kaltluftabfluss, -akkumulation und -stau werden entsprechend der Merkmale aus Tabelle 6 (VDI, 2003, S. 35) unterschieden.

Dabei wird die Kombination aus Strömungsgeschwindigkeit und Schichtdicke als Kriterium herangezogen. Hangabwärtiger Kaltluftabfluss wird mit Werten < 5 m³ m⁻² s⁻¹ definiert, talwärtsgerichteter (in der VDI-RL etwas unglücklich als „Kaltluftakkumulation“ bezeichnet) mit Werten darüber.

Aufgrund der Aachener Geländesituation mit Tälern einer meist geringeren Tiefe als 50 m und der bewussten Beschränkung auf den Modellausgabezeitpunkt 3 h nach Sonnenuntergang, zu dem die vollen Kaltluftmächtigkeiten noch nicht erreicht sind, erwies sich der Grenzwert von 50 m für Kaltluftstau nach VDI-RL als unzweckmäßig. Es wird statt dessen ein Wert von 30 m angesetzt (der VDI-Schwellenwert der Geschwindigkeit von 0,5 m s⁻¹ wird beibehalten).

Die Lage zur Bebauung (innerhalb oder außerhalb) wird über die Grenze des baulichen Außenbereichs definiert. Dies beinhaltet zwar Unschärfen in Bezug auf die Realnutzung, jedoch wird so die Konfliktsituation mit hohem potentiellen Nutzungsdruck direkt erkennbar.

Im Einzugsgebiet des Johannsbachs wurde in einer Talmulde an der Vaalser Straße bei Messungen im Gelände ein Überströmen von Kaltluft aus dem Dorbbachtal beobachtet. Die Ergebnisse des Modelllaufs wurden daraufhin untersucht, ob diese Kaltlufttransfluenz abgebildet wird, was der Fall war.

Zur Klärung der Frage, ob möglicherweise weitere Transfluenzen vorliegen, wurde das gesamte Untersuchungsgebiet in Bezug auf solche Fälle überprüft. Dazu wurden die Grenzen der Einzugsgebiete manuell darauf hin untersucht, ob Kaltluft die Wasserscheiden überströmt.

Entsprechende Bereiche werden qualitativ in größere und kleinere Transfluenzen unterteilt und in der Karte entsprechend dargestellt. Neben den näher untersuchten Bereichen Dorbbachtal / Vaalser Straße, Rollebachtal / Beverbachtal und Indetal / Haarbachtal (s.u.) gibt es laut Modell noch kleinere Transfluenzen u.a. Dorbbachtal / Senserbachtal und Kupferbachtal / Gillesbachtal.