

1.5 Bedeutung der Kaltluft und Ventilation in Städten

LUTZ KATZSCHNER & SEBASTIAN KUPSKI

Über die Hälfte der Bevölkerung weltweit lebt inzwischen in Städten. Die Städte nehmen an Zahl, Größe, Höhe und Verdichtung zu. Daraus ergeben sich Wärme-Belastungen und Luftverschmutzung. Dem kann die Belüftung entgegenwirken. Das Stadtklima ist charakterisiert durch eine Erhöhung der mittleren Lufttemperatur bei gleichzeitiger Reduzierung der mittleren Windgeschwindigkeit im Vergleich zu den Flächen im städtischen Umland. Dabei hat eine wirkungsvolle Belüftung der Städte einen positiven Einfluss auf die Verdünnung und den Abtransport der Luftschadstoffe sowie die Abkühlung des Stadtgebietes. Wirksam sind sowohl regionale als auch lokale Belüftungssysteme z., die je nach Lage und Gestaltung der Stadt unterschiedlich wirken. In Stadtklimakarten werden sie als Luftleitbahnen oder Frischluftzufuhr Räume kenntlich gemacht.

The Importance of Ventilation in Cities: *More than half of the world population now lives in cities. Urban develop in size, height and density. This results in thermal and air pollution loads. Ventilation can counteract. The urban climate is characterized by an increase in the average air temperature and lower average wind speed in comparison to the surroundings. Effective ventilation of cities has a positive influence on the dilution and removal of air pollutants and the cooling of the urban area. Both mesoclimatic and microclimatic ventilation systems are effective, depending on the location and design of the city. In urban climate maps, they are identified as air paths or fresh air supply from the surroundings.*

Die Wechselwirkung zwischen der unteren Atmosphärenschicht und den darin lebenden Menschen, Tieren und Pflanzen zu untersuchen, ist Aufgabe der Umweltmeteorologie. Als eines der Teilgebiete der angewandten Meteorologie wird die Beeinflussung der bodennahen Atmosphäre durch unterschiedliche Arten der Flächennutzung (z.B. Stadt, Wald oder Wiese) untersucht (KUTTLER 2011). Hierbei spielt vor allem die Stadtklimatologie eine entscheidende Rolle, da zum einen der Hauptanteil der Bevölkerung in den Städten bzw. Ballungsräumen lebt und zum anderen, weil hier die größten anthropogenen Einflüsse und Veränderungen der Umwelt stattfinden.

Die Ausbildung der städtischen Wärmeinsel bei gleichzeitig reduzierter Durchlüftung führt zu einer Belastung durch höhere Wärme und höhere Konzentration von Schadstoffen. Die thermische Belastung ist direkt abhängig von der Windgeschwindigkeit und der erhöhten Rauigkeit. Die reduzierte Belüftung führt zu Schadstoffakkumulation. Die thermische Belastung, meist ausgedrückt durch die physiologisch äquiva-

lente Temperatur (PET), kann durch die Zunahme der Windgeschwindigkeit um nur einen halben Meter pro Sekunde schon um 5,9 Grad PET gesenkt werden. Der Luftaustausch in wärmebelastenden Stadtbereichen ist somit sehr hilfreich im Sinne der Human-Biometeorologie (MATZARAKIS 2001), auch bei einer nur geringen Zunahme der Windgeschwindigkeit (Tab. 1.5-1).

Grundlagen: Belüftung und Austauschprozesse

Luftaustauschprozesse werden maßgeblich von der Ausbildung des Stadtklimas mit beeinflusst (KUTTLER 2013). Ein besonderes Merkmal der Stadt ist die Veränderung der Windverhältnisse sowohl hinsichtlich der Windrichtung als auch bezüglich der Windgeschwindigkeit. Die größere Oberfläche und Rauigkeit der Stadt bewirken eine Verminderung der Windgeschwindigkeit. Sie kann im Jahresmittel bis zu 30% niedriger sein. Insbesondere nimmt die Häufigkeit von sehr windschwachen Situationen – es gibt keine echten Windstillen – um bis zu 20% zu, was auch zu einer

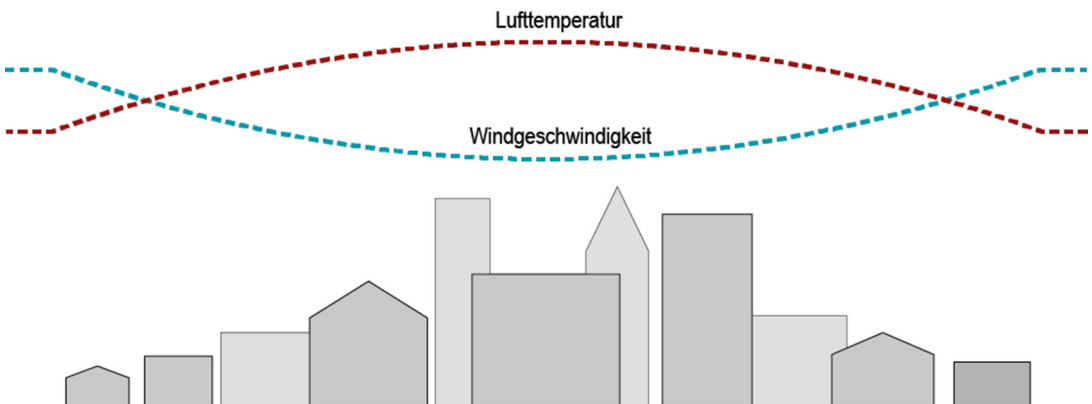


Abb. 1.5-1: Typische Veränderung der mittleren Lufttemperatur und der mittleren Windgeschwindigkeit in Städten.

Tab. 1.5-1: Wirkung der Windgeschwindigkeit auf die thermische Behaglichkeit an einem typischen Sommertag.

Lufttemperatur	Wasserdampfdruck	Windgeschwindigkeit	mittlere Strahlungstemperatur	PET
° C	hPa	m/s	° C	° C
30	18	1,0	54	44,4
30	18	1,5	54	38,5
30	18	2,0	54	37

Verminderung des Luftaustausches führt und damit den Schadstofftransport behindert. Für die Belüftung einer Stadt sind sowohl die regionalen als auch die lokalen Windsysteme von Bedeutung, die sich insbesondere bei schwachem überregionalem Wind ausbilden. Thermische Winde können ähnlich einem Land-Seewindeneffekt auch an Parkanlagen auftreten.

Für die Belüftung einer Stadt wird unterschieden (WEBER & KUTTLER 2003) in:

- Ventilationsbahnen oder Luftleitbahnen, die lediglich einen Lufttransport in Richtung Siedlungszentrum gewährleisten sollen,
- Kaltluftbahnen mit niedrigerer Temperatur als in der Stadt, jedoch ohne weitere lufthygienische Klassifizierung sowie
- Frischluftbahnen mit unterschiedlicher Temperatur der transportierten Luft, jedoch weniger schadstoffbelastet.
- Flurwinde, wenngleich schwer nachweisbar, gehören zu der Kategorie der thermisch induzierten Winde. Oft werden diese jedoch von regionalen Windsystemen überlagert. Bei ungestörten Bedingungen bildet sich in der wärmeren Stadt ein niedrigerer Luftdruck (thermisches Tief), welches eine bodennahe Strömung aus dem Umland in die Stadt bewirkt. In Bochum konnte dies mit stationären Messungen nachgewiesen werden (BARLAG 1990). Bei Beckenlagen können nächtliche Hangabwinde diesen Effekt verstärken; Flurwinde dienen zumeist auch als Frischluftzufuhr für die Innenstadt, zumeist dienen Täler als Frischluftschneisen.

Erstere, zu denen Hangwinde sowie Berg- und Talwinde gehören, sind stark durch das vorhandene Relief geprägt. Diese Zirkulation ist vor allem bei Städten in Tal- und Kessellagen von Bedeutung, da sie zum Schadstoffabtransport sowie zur Frischluftzufuhr bei-

trägt. Die Ausprägung der vor allem nachts bodennah stattfindenden Kaltluftflüsse ist abhängig von der Größe der die Kaltluft produzierenden Flächen sowie von der Hangneigung. Flurwinde, sind sehr viel schwerer nachweisbar und weniger ausgeprägt. Sie haben ihre Bedeutung bei Städten mit gering ausgeprägtem Relief und sind stadteinwärts gerichtet.

Sinnvollerweise wird in den Stadtklimakarten die Belüftung in Kategorien eingeteilt. Zum einen in die Luftleitbahnen als Belüftungskorridore mit geringer Bodenrauigkeit ($z_0 < 0,2$ m), um auch die regionalen Zirkulationen aufnehmen zu können und zum anderen in Frisch- bzw. Kaltluftabflussbahnen (VDI 2015, Bl.1). Luftleitbahnen, die von Freiflächen ohne Emitenten gespeist werden und auf ihrem Weg frei von Emissionen sind, sind als Frischluftbahnen definiert. Ihre Eigenschaft ist es meist, unbelastete Luft zu transportieren und belastete Gebiete auf diese Weise zu entlasten.

Kaltluftbahnen hingegen sind Korridore, die von landwirtschaftlichen Flächen (Acker, Weiden, Streuobstwiesen) gespeist werden, die durch ihre physikalischen Bedingungen rascher abkühlen. Diese Kaltluft muss auf ihrem Weg nicht zwangsläufig frei von Immissionen sein. Kaltluft dient vor allem dazu, Überwärmung abzubauen.

Ventilationsbahnen und Durchlüftungsbahnen nehmen die Anströmung bei austauschreichen Wetterlagen, mit ausreichender Belüftungsintensität auf und sorgen für eine Verbesserung der städtischen Luft. Diese Bahnen beziehen sich nicht auf unterschiedliche Temperaturniveaus oder Belastungskriterien, sondern sind Indiz für eine Durchmischung und Abtransport der städtischen Luft.

Kriterien für die Ausweisung solcher Luftleitbahnen ist die Rauigkeitslänge, die entweder über das vertikale Windprofil oder den Landnutzungstyp

gewonnen werden kann (STEWART & OKE 2012, REN 2018). Sinnvoll für eine räumliche Analyse sind die Rauigkeiten nach Flächennutzung (BECKRÖGE 1994). Daraus geht hervor, dass schon bei einer Einzelhausbebauung mit einer Rauigkeitslänge von $z_0 > 0,5$ m dies nicht mehr zur Luftleitbahn gezählt werden kann. Im Folgenden kann durch die räumliche Analyse der Bodenrauigkeit (z_0) eine qualitative Beschreibung der Wirkungen des Luftaustausches vorgenommen werden (REN 2018) (Tab. 1.5-2).

Aus diesen Erkenntnissen heraus sind Planungshinweise räumlich möglich. Darin können Aussagen zur Barrierewirkung, Kaltluftstrom und die Beschaffenheit der Siedlungsränder, also z.B. der Übergang zur Bebauung getroffen werden.

Beispiel

Im folgenden Beispiel soll die Bedeutung der Kaltluft näher beschrieben werden, da vor allem die nächtliche Kaltluft während sommerlicher Hitzeperioden sehr stark von der Flächennutzung und der Topografie abhängt und bekannt dafür ist sowohl großräumig als auch kleinräumig zu wirken.

Bei geeigneten Ausstrahlungsbedingungen bildet sich nachts über Flächen wie Wiesen oder Äckern kalte Luft. Durch die Abkühlung der Oberflächen kühlen auch die bodennahen Luftschichten aus (SIEVERS et al. 1983). Über geeignete Hänge kann nun die Kaltluft »abfließen«. Geeignete Korridore sind wiederum naturnahe Flächen, Bachläufe etc. die die Fließrichtung und Hangneigung aufnehmen. Trifft dieser Kaltluftstrom einen Siedlungsbereich hängt es von mehreren Faktoren ab, in wie weit er sich aufstaut, die Struktur überfließt oder durchfließen kann. In Abb. 1.5-2 ist ein Kaltluftabfluss dargestellt, der von sich abkühlenden Hängen abwärts in Richtung Stadt gerichtet ist. Die Gebäude in den Hanglagen sorgen für eine Umlenkung, die Fließrichtung ist durch die Pfeile gekennzeichnet, die Farbe und Schummerung zeigen die dreidimensionale Topografie.

Grundlage der Abb. 1.5-2 ist eine Berechnung mit dem Programm KLAM_21 des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2016). Abgebildet ist der Kaltluftabfluss in 2 m über dem Boden. Trotz lockerer Bebauungsstruktur (graue Kuben = Bauwerke) wird deutlich, dass der Kaltluftabfluss vor allem auf den Schneisen und Kor-

Tab. 1.5-2: Qualitative Klassifizierung der Rauigkeitslänge z_0 für die Durchlüftungswirkung (REN 2018).

Klasse	Qualitative Beschreibung	z_0 [m]
1	geringe Wirkung	> 1,0
2	klein	0,5 – 1,0
3	mittel	0,5 – 0,7
4	hoch	0,2 - 0,5
5	sehr hoch	< 0,2

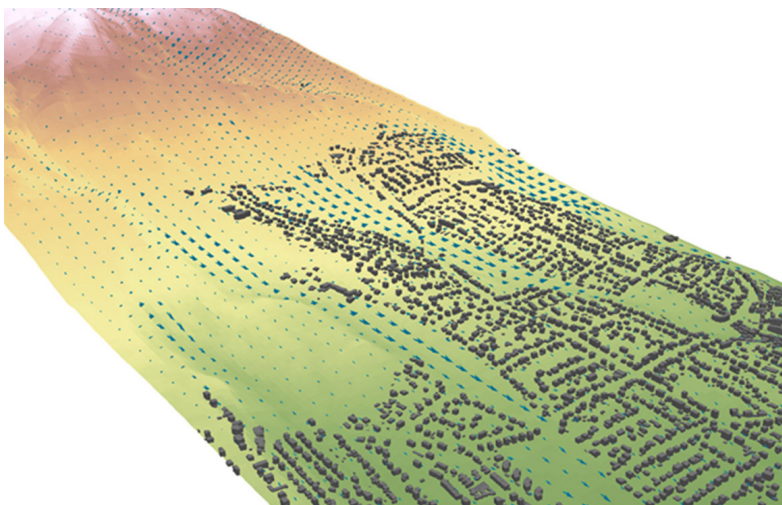


Abb. 1.5-2: Kaltluftabfluss in 2 m Höhe und 3 Stunden nach Sonnenuntergang für einen Stadtrandbereich Kassels mit einem Höhenunterschied 150 m; große Pfeile max. 1,8 m/s; kleine Pfeile 0,5 m/s.


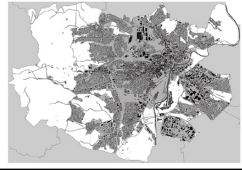

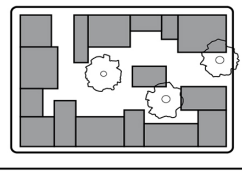

Administrativ	Planungsebene	Stadtklima	stadtklimatische Fragestellung
 Region	Regionalplan M 1: 100.000	Mesoklima	regionale Luftaustausch- prozesse
 Stadt	Stadtentwicklung/ Flächennutzungs- plan M 1: 10.000	Mesoklima/ Stadtklimaklimatope	Wärmeinsel Stadt, Belüftungsstrukturen
 Ortsteil	Bauleitplanung M 1: 5.000	Freiraumklima	Luftaustausch
 Block	Bauleitplanung M 1: 2.000	Innenhofklima	Mikroklimatische Untersuchungen (Strahlung, Wind)
 Gebäude	Objektplanung M 1: 500	Gebäudeklima	Strahlung und Gebäude- umströmungen

Abb. 1.5-3: Planungsebenen und klimatische Fragestellungen (VDI 2007, B11).

ridoren stattfindet, zwischen den Bauwerken herrscht eine Reduzierung der Fließgeschwindigkeit.

Anhand der Spalte der stadtklimatischen Fragestellung der Abb. 1.5-3 zeigt sich beispielhaft, wie häufig der Luftaustausch auf den verschiedenen Maßstabsebenen thematisiert wird. Hierbei geht es von großräumigen Luftaustauschprozessen auf regionaler Ebene bis hin zu kleinräumlichen, in wie fern einzelne Bauwerke als Strömungshindernis auftreten.

Es ist somit stets zu beachten, den entsprechenden Maßstab passend zur Fragestellung zu ermitteln, um belastbare klimatische Aussagen treffen zu können. Andernfalls würde ein falscher Grad der Detailtiefe zu Unsicherheiten führen und klimatische Fehlinterpretationen verursachen. Auch könnten Unschärfen bei kleinräumiger Planung dazu führen, dass Details übersehen werden, die unter Umständen einen entscheidenden Einfluss haben (Abb. 1.5-3).

Fazit

Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Verdichtung der Städte einhergehend mit erhöhten thermischen und lufthygienischen Belastungen kann durch eine ausreichende Belüftung Ausgleich geschaffen werden. Eine qualitative und quantitative Beschreibung erfolgt dann in den Klimafunktionskarten, sowie in den daraus abgeleiteten Planungshinweiskarten (VDI 2015). Hier werden die Funktionen und Wechselwirkungen aufgezeigt und die teils empfindlich reagierenden lokalen Windsysteme dargestellt.

Vor allem die kühlende Wirkung der nächtlichen Kaltluft, die Kaltluftentstehungsgebiete und -abflussbahnen mit einer hohen ökologischen Wertigkeit gelten als besonders schützenswert und haben Ausgleichsfunktion. Diese Eigenschaften werden in den kommenden Dekaden mit weiter ansteigenden Temperaturen noch wichtiger, damit die Städte auch weiterhin lebenswert sein können.

Aussagen auf der Basis bisher vorliegender numerischer Modellierungen zum Verhalten von Windfeldern bei weiterem Klimawandel lassen keine eindeutigen Schlüsse zu. Vielmehr weisen entsprechende Projektionen darauf hin, dass sich die derzeitige mittlere Windgeschwindigkeit, aber auch die Bögigkeit des Winds, in Zukunft kaum ändern wird.

Bioklimatisch hochbelastete Räume, geprägt durch schwache Winde bei gleichzeitig hoher thermischer Belastung sind also die besonders betroffenen Gebiete. Aber auch die Bereiche mit meist gebäudeinduzierter Verstärkung von mittlerer Windgeschwindigkeit und Bögigkeit gilt es im Sinne einer nachhaltigen Stadtplanung zu identifizieren.

Literatur

BAUMÜLLER J., U. HOFFMANN & U. REUTER (2007): In Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.), Städtebauliche Klimafibel-Online - Hinweise für die Bauleitplanung-, überarbeitete und ergänzte Internetversion der Städtebaulichen Klimafibel.

BARLAG A. & W. KUTTLER (1990): The Significance of Country Breezes for Urban Planning. *Energy and Buildings* 15, 3–4, Lausanne, pp 291-297.

BECKRÖGE W., H. MAYER & A. MATZARAKIS (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen, UVP Report 5/94, Hamm.

DWD (Deutscher Wetterdienst) (2016): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Deutscher Wetterdienst, Klima- und Umweltberatung.

KUTTLER W. (2013): Klimatologie, Schöningh UTB.

KUTTLER W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen; Climate change in urban areas, Part

1, Effects. In: *Environmental Sciences Europe (ESEU)*, Springer open, DOI: 10.1186/2190-4715-23-11, S. 1-12.

MATZARAKIS A. (2001): Die thermische Komponente des Stadtklimas, Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg Nr. 6. Freiburg.

SIEVERS U., R. FORKEL & W. ZDUNKOWSKI (1983): Transport equations for heat and moisture in the soil and their application to boundary layer problems. *Contrib. Atmos. Phys.*, 56, 58-83.

STEWART D. & T. R. OKE (2012): Local climate zones for urban temperature studies. *American Meteorological Society*. DOI:10.1175/BAMS-D-11-00019.1.

REN C. (2018): Creating breathing cities by adopting urban ventilation assessment and wind corridor plan, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 182 (2018) 170-188.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (2015): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1: Umweltmeteorologie - Klima und Lüftungsarten für Städte und Regionen, Beuth Verlag, Berlin.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (2007): VDI-Richtlinie 3785, Blatt 1: Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Beuth Verlag, Berlin.

WEBER S. & W. KUTTLER (2003): Analyse der nächtlichen Kaltluft-dynamik und-qualität einer stadtklimarelevanten Luftleitbahn. *Gefährstoffe-Reinhaltung der Luft* 63 (9) 381-386.

Kontakt:

Prof. Dr. em. Lutz Katzschner
 Universität Kassel
 Sebastian Kupski
 Institut für Klima- und Energiekonzepte
 katzschn@uni-kassel.de

Katzschner L. & S. Kupski (2019): Bedeutung der Kaltluft und Ventilation in Städten. In: LOZÁN J. L. S.-W. BRECKLE, H. GRASSL, W. KUTTLER & A. MATZARAKIS (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte. pp. 48-52. Online: www.klimawarnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.07.