



Stadtklimaanalyse der Hansestadt Lübeck

Kurzfassung für interessierte Bürger:innen

Auftraggeberin

Hansestadt Lübeck

Umwelt-, Natur- und Verbraucherschutz (UNV)
Klimaleitstelle: Klimaschutz & Klimaanpassung
Kronsfordter Allee 2-6
23560 Lübeck

Hansestadt LÜBECK 



Auftragnehmer

GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover
Tel: (0511) 388 72-00
www.geo-net.de





Inhalt

Glossar	3
Einleitung.....	5
Das Lübecker Stadtklima der Gegenwart.....	6
Grundlagen der Modellierung	6
Modellergebnisse	7
Klimaanalysekarte für die Tagsituation	8
Klimaanalysekarte für die Nachsituation	9
Bewertungsanalyse.....	11
Planungshinweiskarte Stadtklima	12
Beispiele zur Anwendung der Kartenergebnisse	15
Verwendung bei Planungsvorhaben der Stadtverwaltung sowie durch die Öffentlichkeit.....	21
Anhang: Maßnahmenkatalog Stadtklima.....	22

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Nutzungsraaster (Kartenausschnitt) mit Nutzungskassen.	6
Abbildung 2: Klimaanalysekarte für die Tagsituation (Kartenausschnitt): Darstellung anhand der PET (Physiologisch äquivalente Temperatur).	8
Abbildung 3: Klimaanalysekarte für die Nachtsituation (Kartenausschnitt): Kaltluftleitbahn entlang des Elbe-Lübeck-Kanals.	10
Abbildung 4: Planungshinweiskarte (Kartenausschnitt): Handlungsprioritäten im Wirkraum (Siedlungsgebiet).	13
Abbildung 5: Planungshinweiskarte (Kartenausschnitt): Schutzbedarfe im Ausgleichsraum (Grün- und Freiflächen).	14
Abbildung 6: Planungshinweiskarte Stadtklima. Fokusraum "St. Lorenz Nord" mit nummerierten Beispielflächen.	15
Abbildung 7: Klimaanalysekarte der Tagsituation (Physiologisch äquivalente Temperatur am Tage - PET) für den Fokusraum "St. Lorenz Nord".	16
Abbildung 8: Klimaanalysekarte der Nachtsituation (KAK - Nacht) für den Fokusraum "St. Lorenz Nord".	16
Abbildung 9: Nutzungsraaster für den Fokusraum "St. Lorenz Nord"	17
Abbildung 10: Luftbild für den Fokusraum "St. Lorenz Nord"	17
Abbildung 11: Nächtliches Windfeld (Kaltluftströmung) für die Beispielfläche 1	18
Abbildung 12: Nächtliches Windfeld (Kaltluftströmung) für die Beispielfläche Nr. 4	20
Abbildung 13: Nächtliche Lufttemperatur (04 Uhr) für die Beispielfläche Nr. 4	20



Glossar

Ausgleichsraum: Grüneprägte, relativ unbelastete Freifläche, die an einen → *Wirkraum* angrenzt oder mit diesem über → *Kaltluftleitbahnen* bzw. Strukturen mit geringer Rauigkeit verbunden ist.

Autochthone Wetterlage: Durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist.

Kaltluft: Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung eine geringere Temperatur aufweist und sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Über Wiesen, Acker- und Brachflächen ist der nächtliche Abkühlungseffekt am höchsten.

Kaltluftabflüsse: Kaltluftabflüsse treten flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auf und spielen im hügeligen Stadtgebiet eine wichtige Rolle. Dem Gefälle folgend setzen sie sich hangabwärts in Bewegung.

Kaltluftereinwirkungsbereich: Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung. Gekennzeichnet sind Siedlungsflächen (Wohn- und Gewerbeflächen), die von einem überdurchschnittlich hohen → *Kaltluftvolumenstrom* durchflossen werden oder bodennahe Windgeschwindigkeiten von mindestens 0,1 m/s aufweisen.

Kaltluftleitbahnen: Kaltluftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (→ *Ausgleichsräume*) und Belastungsbereiche (→ *Wirkräume*) miteinander und sind mit ihren hohen → *Kaltluftvolumenströmen* elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Sie sind in ihrer Breite räumlich begrenzt, mindestens jedoch 50 m breit (Mayer et al. 1994) und zum belasteten Siedlungsraum ausgerichtet.

Kaltluftvolumenstrom: Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an → *Kaltluft*, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer → *Kaltluftleitbahn* fließt.

Klimaanalysekarte der Nachtsituation: Analytische Darstellung der Klimaauswirkungen und Effekte in der Nacht sowie am Tag im Stadtgebiet und dem näheren Umland (Kaltluftprozessgeschehen, Überwärmung der Siedlungsgebiete).

Klimaanalysekarte der Tagsituation: Wird anhand der physiologisch äquivalenten Temperatur dargestellt
(siehe **PET**).



Mischpixel-Ansatz: Für die Modellierung von zukünftigen Flächenentwicklungen wird eine zufällige Verteilung der Landnutzung anhand bestimmter Vorgaben vorgenommen. Die entsprechenden Prüfflächen umfassen die Klassen „Freifläche“, „Gebäude“ und „ebenerdig versiegelt“.

PET (Physiological Equivalent Temperature / Physiologisch äquivalente Temperatur): Humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, der Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombiniert.

Planungshinweiskarte: Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen im Stadtgebiet (→ *Wirkungsräume*) sowie der Bedeutung von Grünflächen als → *Ausgleichsräume* in getrennten Karten für die Tag- und die Nachtsituation inklusive der Ableitung von allgemeinen Planungshinweisen.

Städtische Wärmeinsel (Urban Heat Island): Städte weisen im Vergleich zum weitgehend natürlichen, unbebauten Umland aufgrund des anthropogenen Einflusses (u.a. hoher Versiegelungs- und geringer Vegetationsgrad, Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalt) ein modifiziertes Klima auf, das im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen führt. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als Städtische Wärmeinsel bezeichnet.

Thermischer Komfort: Gemütszustand, der die Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung ausdrückt, wobei thermische Behaglichkeit angestrebt wird. Dabei wirken Parameter wie die Temperatur, Wärmestrhalung, Luftbewegung, Licht und Luftfeuchte.

Wirkraum: Bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum (Wohn- und Gewerbeflächen), in dem eine bioklimatische Belastung auftreten kann.



MODELLERGEBNISSE UND KLIMAANALYSEKARTEN

Einleitung

Im Zuge des Klimawandels werden Tage und Nächte mit großer Hitzebelastung in Zukunft immer häufiger und extremer. Insbesondere im Siedlungsraum wird der bereits vorhandene städtische Wärmeinsel-Effekt durch die Klimafolgen verstärkt. Tagsüber heizen sich Siedlungen stärker auf und nachts kühlen sie deutlich langsamer ab als das Umland. Dies hat folgende Ursachen:

- Die vielen versiegelten Flächen nehmen die einfallende Sonnenstrahlung tagsüber auf, speichern sie und geben sie als Wärmestrahlung zeitverzögert in der Nacht wieder ab.
- Beschattung und Grünflächen fehlen vor allem in den dicht besiedelten Bereichen der Stadt.
- Die Windzirkulation ist infolge der dichten Bebauung eingeschränkt.
- Industrie und Verkehr erzeugen ebenfalls Abwärme und verstärken damit den Effekt.

Die Hitzebelastung im Siedlungsraum ist eine Herausforderung, welche in der Stadt- und Landschaftsplanung sowie bei der Hitzeaktionsplanung miteinbezogen werden muss. Dies erfordert jedoch genaue Kenntnisse über die lokalen Klimabedingungen. Vor diesem Hintergrund wurde für die Hansestadt Lübeck die heutige klimatische Situation flächendeckend und hochaufgelöst modelliert. Die Modellergebnisse und die daraus resultierenden Klimakarten (Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten) geben Aufschluss über die klimatische Situation in der Stadt.

Die Klimakarten sind eine zentrale Planungsgrundlage für eine hitzeangepasste Siedlungsentwicklung: von der gesamtstädtischen Betrachtung bis hin zur Quartiersebene. Aus ihnen lässt sich bei übergeordneten Planungen oder konkreten Projekten der lokale Handlungs- oder Schutzbedarf ableiten. Dabei gilt es, in hitzebelasteten Gebieten durch Maßnahmen zur Hitzeminderung das Lokalklima zu verbessern und in weniger belasteten Gebieten ein funktionierendes klimatisches System zu erhalten. Dies kann beispielsweise durch Entsiegelung, Begrünung sowie der Sicherstellung der Durchlüftung durch eine entsprechende Gebäudestellung geschehen.

Diese Kurzfassung bildet eine zusammenfassende Erläuterung zu den wichtigsten Klimakarten der Stadtklimaanalyse von Lübeck. Eine detaillierte Beschreibung des Projekts liefert der Abschlussbericht, der bei der Klimaleitstelle der Hansestadt Lübeck angefordert werden kann (kimleitstelle@luebeck.de).



Das Lübecker Stadtklima der Gegenwart

Zur Modellierung des Lübecker Stadtklimas der Gegenwart wurde die aktuelle Siedlungsentwicklung einbezogen. Aus diesem Grund sind neben der aktuellen Landnutzung zusätzlich insgesamt 26 Bebauungspläne als Status Quo in die Modelldaten integriert worden, deren Erschließung bzw. Bebauung voraussichtlich spätestens 2024 beginnen wird (Stand Mai 2022). Diese Pläne wurden in die Nutzungsklassen des Stadtklimamodells FITNAH-3D übersetzt, welche in einem Kartenausschnitt in der nachfolgenden Abbildung 1 zu sehen sind.

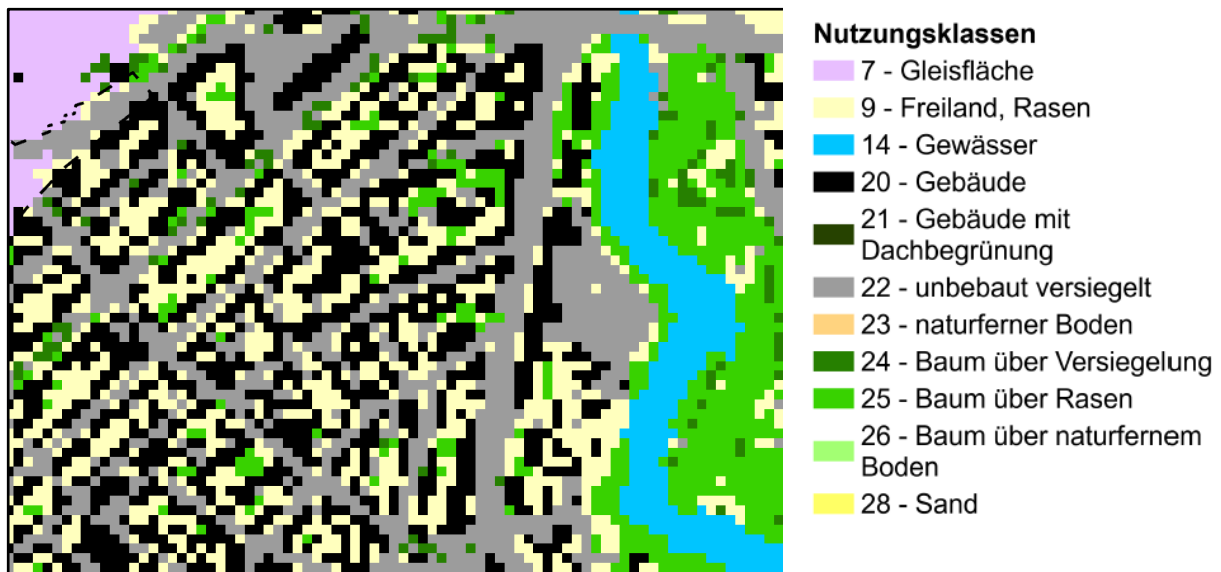


Abbildung 1: Nutzungsraster (Kartenausschnitt) mit Nutzungsklassen.

Grundlagen der Modellierung

Um Informationen zum Stadtklima in Lübeck zu gewinnen, wurde eine Modellrechnung mit dem Stadtklimamodell FITNAH-3D durchgeführt, die flächendeckende Ergebnisse für das gesamte Lübecker Stadtgebiet bereitstellt. Die horizontale Auflösung der Modellierung beträgt 10 m, d.h. Lübeck wird in ein Raster mit einer Gitterweite von 10 m x 10 m zerlegt. Für jede Rasterzelle werden Informationen bspw. zur Geländehöhe und Landnutzung, zu Gebäudeumrissen und -höhen sowie zu Bäumen und dem Versiegelungsanteil bestimmt und als Eingangsdaten für die Modellrechnung verwendet. Grundlage der Modellierung ist eine sommerliche Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel, einem sehr schwachen übergelagerten Wind und einer Tageshöchsttemperatur von über 25 °C. Diese Wetterlage wird in der Stadtklimatologie typischerweise verwendet und tritt in Lübeck im Sommer durchschnittlich etwa alle drei bis vier Tage auf.



Modellergebnisse

Das Stadtklimamodell liefert für jede Rasterzelle folgende Ergebnisse:

Nächtliche Lufttemperatur	Bodennahe Lufttemperatur [°C] zum Zeitpunkt 04 Uhr nachts.
Kaltluftproduktion	Die Kaltluftproduktionsrate [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] beschreibt das Volumen der bodennah abgekühlten Luft über einer ausstrahlenden Fläche.
Kaltluftströmungsfeld	Windgeschwindigkeit [m/s] und -richtung der bodennah gebildeten Kaltluft.
Kaltluftvolumenstrom	Die Kaltluftvolumenstromdichte [$\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$] ist das Produkt der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts von 1m Breite.
Wärmebelastung am Tag	Die PET (Physiologisch äquivalente Temperatur) [in °C] ist ein humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, ähnlich der „gefühlten Temperatur“.

Mit Ausnahme des Kaltluftvolumenstroms (Strömung über die komplette untere Luftschicht) gelten die Ergebnisse für den bodennahen Aufenthaltsbereich des Menschen und betrachten die Zeitpunkte 04:00 Uhr für die Nachtsituation (maximale Abkühlung) bzw. 14:00 Uhr für die Tagsituation (maximale Einstrahlung).

Die Ermittlung der bodennahen nächtlichen Lufttemperatur ermöglicht es, überwärmte städtische Bereiche zu identifizieren (sogenannte städtische Wärmeinseln) und die räumliche Wirksamkeit von Kaltluftströmungen abzuschätzen. Die aufgeführten Absolutwerte der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine sommerliche Strahlungswetterlage zu verstehen. Die relativen Unterschiede innerhalb der Stadt bzw. zwischen verschiedenen Landnutzungen gelten dagegen weitgehend auch während anderer Wetterlagen.

Die Topografie im Lübecker Raum beeinflusst die nächtliche Kaltluftströmung: Kaltluftabflüsse finden entlang des abfallenden Geländes hin zu den großen Gewässerflächen statt. Bereits bei geringer Hangneigung setzt sich Kaltluft dem Gefälle folgend in Bewegung, bspw. westlich der Ortschaft Groß Steinrade. Genau wie Flurwinden kommt diesen Kaltluftabflüssen eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungsgebiete wirken als Strömungshindernis, sodass der Luftaustausch mit dem Umland und die Durchlüftung innerhalb der urbanen Quartiere herabgesetzt sind. Über die genannten regionalen und lokalen Strömungssysteme kann die Zufuhr von Kalt- und Frischluft eine wichtige klimaökologische Ausgleichsleistung dem Siedlungsraum erbringen.

Die Bedeutung einer Grün- bzw. Freifläche für den Kaltlufthaushalt ergibt sich daraus, wie viel Kaltluft auf der Fläche entsteht (**Kaltluftproduktionsrate**) und wie schnell und in welche Richtung die Kaltluft strömt (**bodennahe nächtliche Windgeschwindigkeit**). Zusätzlich spielt die Höhe der Kaltluftschicht (ihre Mächtigkeit) eine Rolle, die durch den **Kaltluftvolumenstrom** erfasst wird¹.

¹ Vereinfacht ausgedrückt stellt der Kaltluftvolumenstrom das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts dar. Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde über eine bestimmte Fläche fließt.



Klimaanalysekarte für die Tagsituation

Zur Bewertung der Tagsituation wird die *Physiologisch Äquivalente Temperatur* (PET) herangezogen, die ein Maß für die Wärmebelastung des Menschen im Außenraum ist. Sie berücksichtigt Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwellige Strahlung. Die Wärmebelastung wird in der Einheit „°C“ angegeben und ist stark von der Strahlungstemperatur geprägt, vor allem der Sonnenstrahlung. Entsprechend fällt die Wärmebelastung unter der angenommenen sommerlichen Strahlungswetterlage ohne Bewölkung auf Freiflächen ohne Verschattung sehr hoch aus. Für die Situation um 14:00 Uhr ist die PET der einzige ausschlaggebende Parameter, sodass die Karte der PET als „Klimaanalysekarte für die Tagsituation“ verstanden werden kann (s. Abbildung 2).

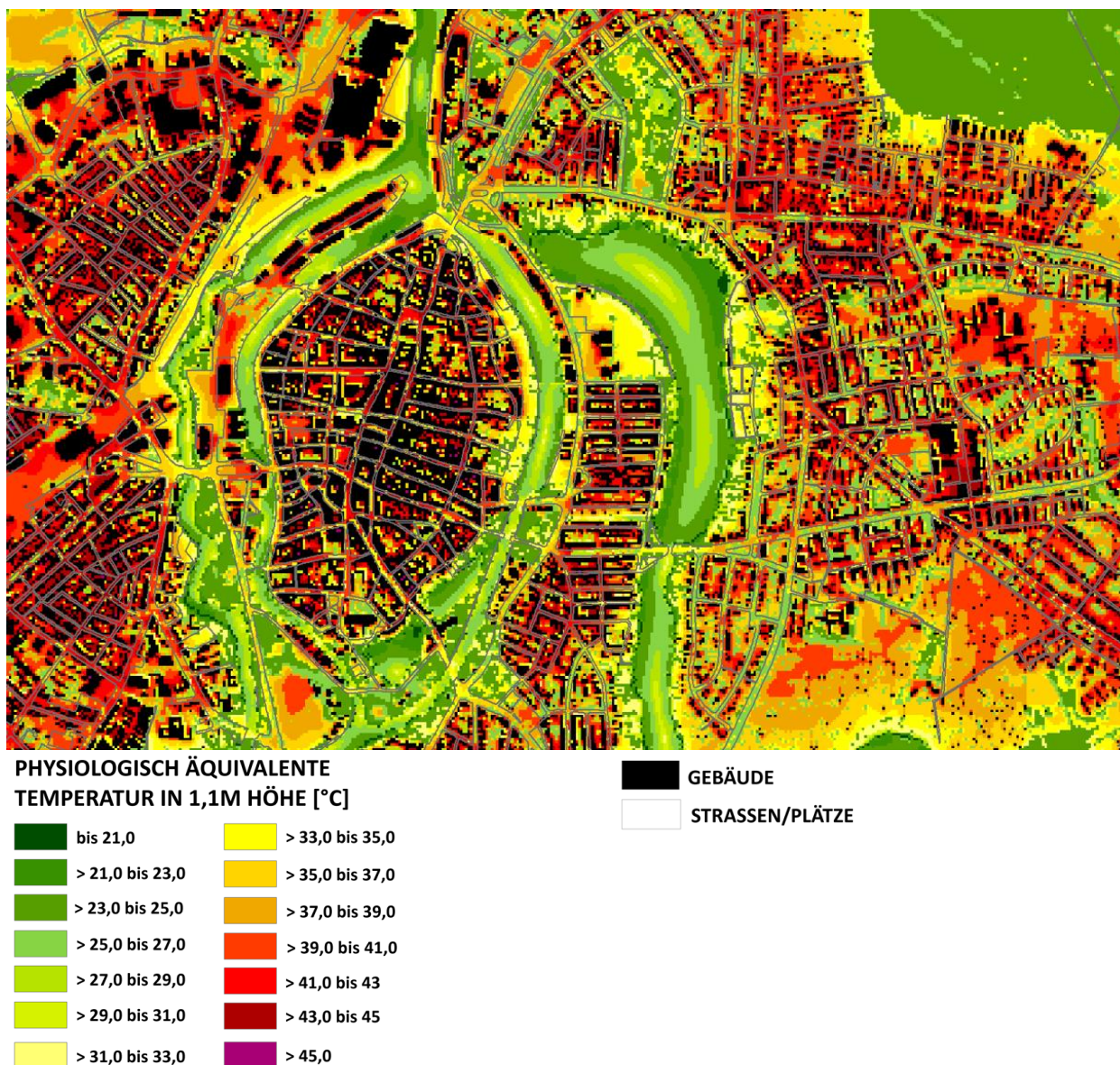


Abbildung 2: Klimaanalysekarte für die Tagsituation (Kartenausschnitt): Darstellung anhand der PET (Physiologisch äquivalente Temperatur).



Klimaanalysekarte für die Nachtsituation

Die Klimaanalysekarte fasst die wesentlichen Aussagen der meteorologischen Parameter für die Nachtsituation in einer Karte zusammen und präzisiert das Kaltluftprozessgeschehen mit zusätzlichen Legendeninhalten.

In der Klimaanalysekarte der Nachtsituation sind für die Grün- und Freiflächen die Modellergebnisse des Kaltluftvolumenstroms in abgestufter Flächenfarbe dargestellt. Bei den Siedlungs- und Verkehrsflächen steht dagegen der Wärmeinseleffekt im Vordergrund aufgrund der Überwärmung des Siedlungsraums gegenüber dem Umland². Zudem bildet eine Pfeilsignatur das bodennahe Strömungsfeld ab einer als klimakologisch wirksam angesehenen Windgeschwindigkeit von 0,1 m/s ab. Das Strömungsfeld wurde für eine bessere Lesbarkeit der A0-Karte auf eine Auflösung von 150 m aggregiert, sodass kleinräumige Windsysteme aus der Karte nicht ersichtlich werden, z.B. die Kanalisierung von Winden in schmalen Straßenabschnitten. **Neben dem modellierten Strömungsfeld sind in der Karte besondere Kaltluftprozesse hervorgehoben, die in Lübeck eine wichtige Rolle spielen:**

Kaltluftleitbahnen =	Die Kaltluftleitbahnen verbinden die Kaltluftentstehungsgebiete mit den wärmebelasteten Bereichen im Siedlungsgebiet und erleichtern das Eindringen der Kaltluft in die Bebauung zur Kühlung dieser Bereiche. Kaltluftleitbahnen weisen eine linienhafte Struktur auf, da sie in ihrer Breite durch Strukturen wie Bebauung oder durch die Topographie begrenzt sind.
Kaltluftabflüsse =	Anders als die Kaltluftleitbahnen sind flächenhafte Kaltluftabflüsse in ihrer Breite nicht durch zusammenhängende Strukturen wie Siedlungen begrenzt. Der flächenhafte Kaltluftabfluss bezeichnet Gebiete mit hohem Kaltluftvolumenstrom, ausgerichtet auf den Siedlungsraum. Begünstigt werden Kaltluftabflüsse vom Umland in den Siedlungsraum durch eine aufgelockerte Bauweise und hindernisarme Strukturen am Siedlungsrand (Grünflächen, teilweise auch breitere Straßen).
Kaltluftentstehungsgebiete =	Grün- und Freiflächen mit einer überdurchschnittlichen Kaltluftproduktionsrate, d.h. einer stündlichen Kaltluftproduktion von über 26,1 Kubikmeter Kaltluft pro Quadratmeter und Stunde [$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$].

² Alternativ zur nächtlichen Überwärmung kann auch die Lufttemperatur im Siedlungsraum um 04:00 Uhr dargestellt werden. Diese zeigt die absoluten Temperaturwerte und erlaubt den Vergleich verschiedener Gemeinden und Städte untereinander.

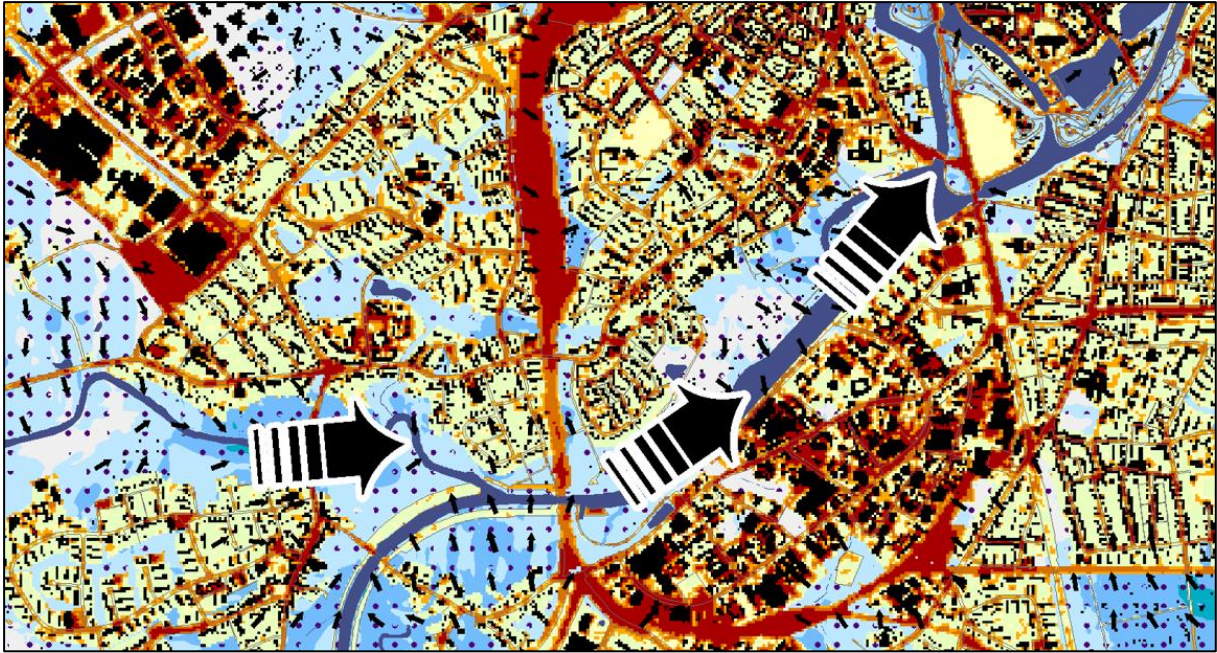


Abbildung 3: Klimaanalysekarte für die Nachtsituation (Kartenausschnitt): Kaltluftleitbahn entlang des Elbe-Lübeck-Kanals.

Verwendung in der Planung

Die Klimaanalysekarte Nacht hilft beim Verständnis des nächtlichen Kaltluftaustausches. Beispielsweise lassen sich mit der Klimaanalysekarte wichtige Kaltluftleitbahnen identifizieren, die es zu sichern gilt.

Die Klimaanalysekarte gibt eine quantitative Abschätzung zu folgenden planerischen Fragestellungen:

- Wie hoch ist der Wärmeinseleffekt?
- Wie groß ist der Kaltluftvolumenstrom?
- Welche Strömungsgeschwindigkeit haben die Winde?

In der rasterbasierten Karte treten kleinräumige Unterschiede deutlich hervor und Einzelgebäude und Baumgruppen sind gut erkennbar, weshalb sie sich für die Detailplanung auf der Baublockebene eignet.



BEWERTUNGSANALYSE UND PLANUNGSHINWEISKARTE

Die hochaufgelösten Ergebnisse der Modellrechnung und daraus abgeleiteten Klimaanalysekarten für die Tag- und Nachtsituation bilden das klimatische Prozessgeschehen in Lübeck ab und stellen die Basis der Stadtklimaanalyse dar. Darauf baut die **Planungshinweiskarte auf und ist damit das zentrale Element der Analyse. Sie bewertet sämtliche Flächen im Stadtgebiet hinsichtlich der Handlungspriorität für Anpassungsmaßnahmen im Siedlungsraum sowie des stadtklimatischen Schutzbedarfs von Grün- und Freiflächen.** Die Bewertungen beruhen auf den stadtklimatischen Funktionen, ohne die Belange weiterer Fachplanungen zu berücksichtigen. D.h. die Planungshinweiskarte stellt aus klimafachlicher Sicht gewonnenes Abwägungsmaterial dar.

Bewertungsanalyse

Die Erstellung der Planungshinweiskarte (PHK) erfolgte schrittweise. Zunächst wurden „Bewertungsanalysen“ durchgeführt, bei denen jeweils die Tag- und Nacht-Situation stadtklimatisch bewertet wurden.

In der *Bewertungsanalyse zur Nacht-Situation* orientiert sich die Bewertung der Grünflächen an ihrer Funktion für den Kaltlufthaushalt in Lübeck. Besonders wichtigen Kaltluftprozessen, wie Kaltluftleitbahnen und Kaltluftabflüssen, werden die höchsten bioklimatischen Bedeutungen zugeschrieben. **Dabei bekommen Grün- und Freiflächen im Umfeld von Wohngebieten eine höhere Wertigkeit** als im Umfeld von Gewerbegebieten, da in der Nacht die Möglichkeit eines erholsamen Schlafs im Vordergrund steht. Siedlungsferne Grünflächen ohne relevante Klimafunktionen sind aus stadtklimatischer Sicht von geringerer Bedeutung.

Die Bewertung des Siedlungsraums basiert auf der nächtlichen Überwärmung, so dass dicht bebaute und/oder hochversiegelte Bereiche(sehr) ungünstigste Bedingungen aufweisen, z.B. in der Innenstadt oder in Gewerbegebieten.

Bei der Bewertung des Siedlungsraums ist zu beachten, dass damit die **relativen Unterschiede** in Lübeck wiedergegeben werden. Auch in den als günstig eingestuften Flächen können bei bestimmten Wetterlagen hohe nächtliche Temperaturen auftreten, die jedoch weiterhin geringer ausfallen als in den ungünstig bewerteten Flächen.

Wie beschrieben liegt der Fokus in der Bewertungsanalyse auf Wohngebieten. Doch auch Gewerbegebiete werden bewertet, da es sich meist um große Flächen handelt, die teilweise in direkter Nachbarschaft zu Wohngebieten liegen oder es handelt sich um Mischgebiete mit beiden Nutzungen. Zudem werden der Straßenraum bzw. Stadtplätze bewertet, lediglich der Schienenverkehr ist ausgenommen. Die klimatischen Effekte von Verkehrsräumen wird zusätzlich durch das Modell berücksichtigt, etwa die Wärmespeicherung am Tag und die Wärmeabgabe in der Nacht. D.h. ein Wohngebiet neben einer großen Straße ist wärmer als ein Wohngebiet an einer Grünfläche).

Die *Bewertungsanalyse zur Tag-Situation* betrachtet die Wärmebelastung außerhalb von Gebäuden. Dabei sind Wohn- und Gewerbegebiete gleichermaßen von Bedeutung. Zudem rücken der Straßenraum für Wegebeziehungen sowie die Aufenthaltsqualität auf Plätzen und Grünflächen in den Vordergrund.

Die **Wärmebelastung hängt wesentlich von der Verschattung ab**, sodass sich gerade bei Grün- und Freiflächen teilweise konträre Bewertungen zwischen Tag- und Nacht-Situation ergeben. Eine Freifläche kühlt in



der Nacht stark aus, weist an Sommertagen ohne Bewölkung aber eine hohe Wärmebelastung auf, wenn keine Bäume vorhanden sind. Demgegenüber ist die Aufenthaltsqualität in Wäldern und baumbestandenen Parks auch an Sommertagen sehr hoch.

Im Siedlungsraum zeigt sich eine heterogene Verteilung der Wärmebelastung. Die ungünstigsten Bedingungen treten an versiegelten Orten ohne Verschattung auf, wie sie **teilweise innerstädtisch in der Altstadt sowie in vielen Gewerbegebieten** zu finden sind. **Auch in umliegenden Stadtteilen kann in manchen Bereichen eine hohe Wärmebelastung vorliegen.** Wohngebiete außerhalb der Kernstadt bieten zwar zum Teil einen hohen Grünanteil und weisen damit in der Nacht überwiegend günstige Bedingungen auf. Dennoch gibt es gerade in manchen Gärten einen geringeren Bestand alter, großkroniger und damit schattenspendender Bäume, was sich ungünstig auf die Bewertung der Tagsituation auswirkt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass in den Gärten der Einfamilien- und Reihenhausbereiche in den Außenstadtteilen ein kleiner Baum und/oder eine Markise ausreichen können, um den Bewohnenden kleinräumig Verschattung zu bieten. Daraus ergibt sich jedoch mitunter ein nur geringer Effekt auf die Modellergebnisse, da das Modell Markisen und kleinkronige Bäume aufgrund ihrer Größe nicht erfassen kann.






Planungshinweiskarte Stadtklima

Anhand der Bewertungsanalyse konnte eine Einschätzung der klimatischen Situation flächenbezogen für die Tag- und die Nachtsituation erzeugt werden. Die Bewertungsanalyse beinhaltet damit die komprimierten Informationen aus der Planungshinweiskarte. Es wird dabei u.a. zwischen Wirkraum und Ausgleichsraum unterschieden. Ein Wirkraum ist ein bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum (Wohn- und Gewerbeflächen), in dem eine bioklimatische Belastung auftreten kann. Ein Ausgleichsraum ist dagegen eine grün geprägte, relativ unbelastete Freifläche, die an einen Wirkraum angrenzt oder mit diesem über Kaltluftleitbahnen bzw. Strukturen mit geringer Rauigkeit verbunden ist. **So können Handlungsbedarfe im Wirkraum oder Schutzbedarfe im Ausgleichsraum festgelegt werden und zielgerichtete Maßnahmen in Bezug auf das Kaltluftprozessgeschehen (Nacht) und den Aufenthaltskomfort im Freien (Tag) entwickelt werden.**

Die Planungshinweiskarte Stadtklima fasst die Ergebnisse der Bewertungsanalyse zusammen, sodass auf den ersten Blick ersichtlich wird, **welche Flächen einen hohen Schutzbedarf haben und wo in Lübeck Maßnahmen zur Klimafolgenanpassung vorrangig umgesetzt werden sollten.**

Der sogenannte Wirkraum, der Wohn- und Gewerbeflächen sowie den öffentlichen Straßenraum umfasst, stellt die stadtklimatische Handlungspriorität dar. Die Bewertung beruht in bewohnten Gebieten hauptsächlich auf den Schlafbedingungen mit Blick auf die nächtliche Überwärmung und die Kaltluftfunktion. In unbewohnten Gebieten ist die Aufenthaltsqualität im Außenraum am Tage vorrangig. **Die Handlungsprioritäten sollen eine Hilfestellung geben, in welchen Flächen Maßnahmen zur stadtklimatischen Anpassung besonders wichtig und bevorzugt anzugehen sind**, ohne dass dadurch eine Reihenfolge der Maßnahmenumsetzung in den einzelnen Flächen vorgeschrieben wird (siehe folgende Tabelle). Mit „klimaökologischen Standards“ sind u.a. eine geringe Versiegelung, das Einplanen von Bäumen mit ausreichend Wurzelraum und eine Dachbegrünung gemeint. Zu den darüberhinausgehenden „optimierenden Maßnahmen“ zählen je nach Vorhaben bspw. das Freihalten von Durchlüftungssachsen, eine Fassadenbegrünung oder die stadtklimatische Aufwertung öffentlicher Räume durch Bäume, Sonnensegel und Fontänen bzw. Brunnen und damit die Schaffung zugänglicher kühler Orte.



Bewertung im Wirkraum		Planungshinweise
 	Handlungspriorität 1 – 2	Maßnahmen zur Verbesserung der klimatischen Situation sind bei allen Vorhaben möglichst proaktiv umzusetzen. Möglichkeiten der (klimagerechten) Gebäudekühlung (s. Maßnahmencluster III) sind zu prüfen.
 	Handlungspriorität 3 – 4	Bei allen baulichen Entwicklungen und bspw. im Zuge von Straßensanierungen sind über den klimaökologischen Standard hinausgehende, optimierende stadtklimatische Maßnahmen umzusetzen (bspw. Entsiegelung, Fassadenbegrünung, Flächen mit hoher Aufenthaltsqualität schaffen)
	Keine vorrangige Handlungspriorität	Klimaökologische Standards zur baulichen Entwicklung sind bei allen Vorhaben einzuhalten.

Liegt auf Siedlungsflächen ein überdurchschnittlicher Kaltluftvolumenstrom vor, ist dieser Bereich in Rasterauflösung (10 m) durch eine blaue Schraffur als Kaltlufteinwirkungsbereich ausgewiesen.

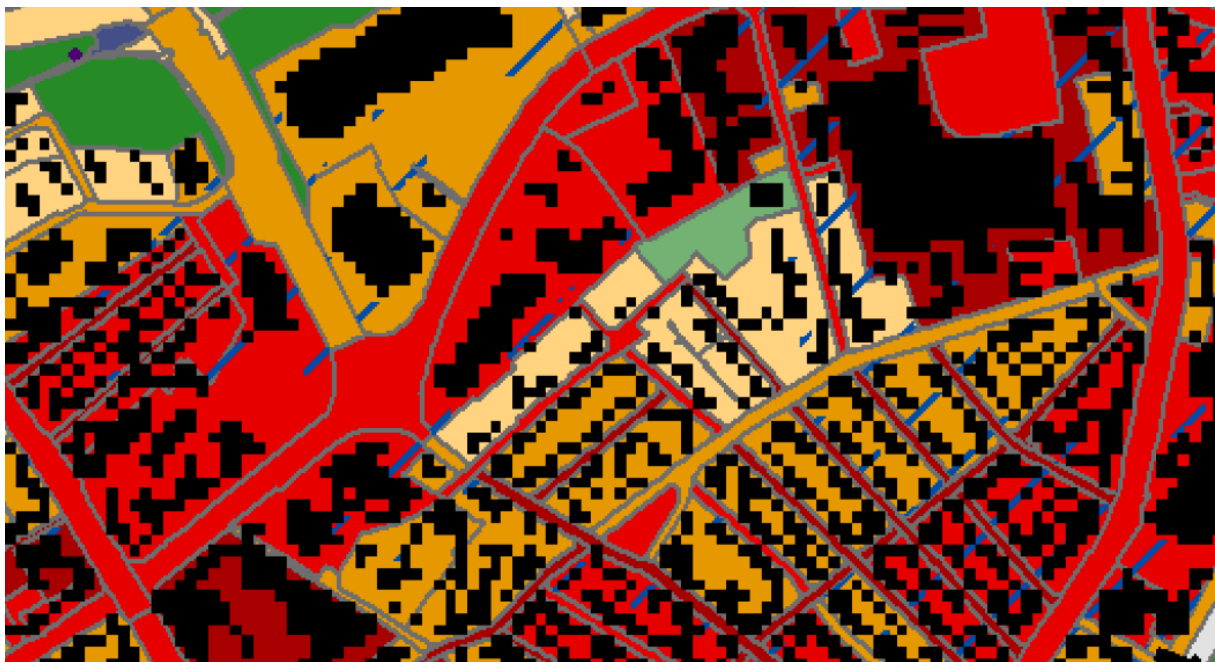



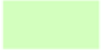


Abbildung 4: Planungshinweiskarte (Kartenausschnitt): Handlungsprioritäten im Wirkraum (Siedlungsgebiet).



Grün- und Freiflächen, landwirtschaftliche Flächen und Wälder sind stadtklimatische Ausgleichsräume. Die Planungshinweiskarte gibt den stadtklimatischen Schutzbedarf dieser Flächen anhand ihrer Funktion für den Kaltlufthaushalt bzw. als Rückzugsorte an heißen Tagen wieder. **In Abhängigkeit vom Schutzbedarf der Flächen ist deren stadtklimatische Funktion bei geplanten Entwicklungen zu prüfen – bei einem sehr hohen Schutzbedarf wird eine Entwicklung bspw. nur dann als stadtklimaverträglich gewertet, wenn ein Nachweis über die Erhaltung der jeweiligen Funktion erfolgt.**

Bewertung im Ausgleichsraum		Planungshinweise
	Sehr hoher Schutzbedarf	Bei geplanten Entwicklungen ist die Erhaltung der jeweiligen stadtklimatischen Funktion (bspw. Kaltlufttransport, Verschattung) modellhaft nachzuweisen.
	Hoher Schutzbedarf	Auf die Erhaltung der klimatischen Funktion ist zu achten. Je nach Vorhabengröße kann dies über eine qualitative Stellungnahme oder modellhafte Untersuchung zur Optimierung der Planung erfolgen.
	Erhöhter Schutzbedarf	Auf die Erhaltung der klimatischen Funktion ist zu achten. Für größere Vorhaben (bspw. Gewerbepark, Hochhaus) sollte eine qualitative Stellungnahme zur Optimierung der Planung erfolgen.
	Kein besonderer Schutzbedarf	Die Flächen weisen aktuell für den derzeitigen Siedlungsraum keine besondere stadtklimatische Funktion auf.

Flächen mit einer überdurchschnittlich hohen Kaltluftproduktionsrate werden als Kaltluftentstehungsgebiete mit einer violetten Punktsignatur kenntlich gemacht.

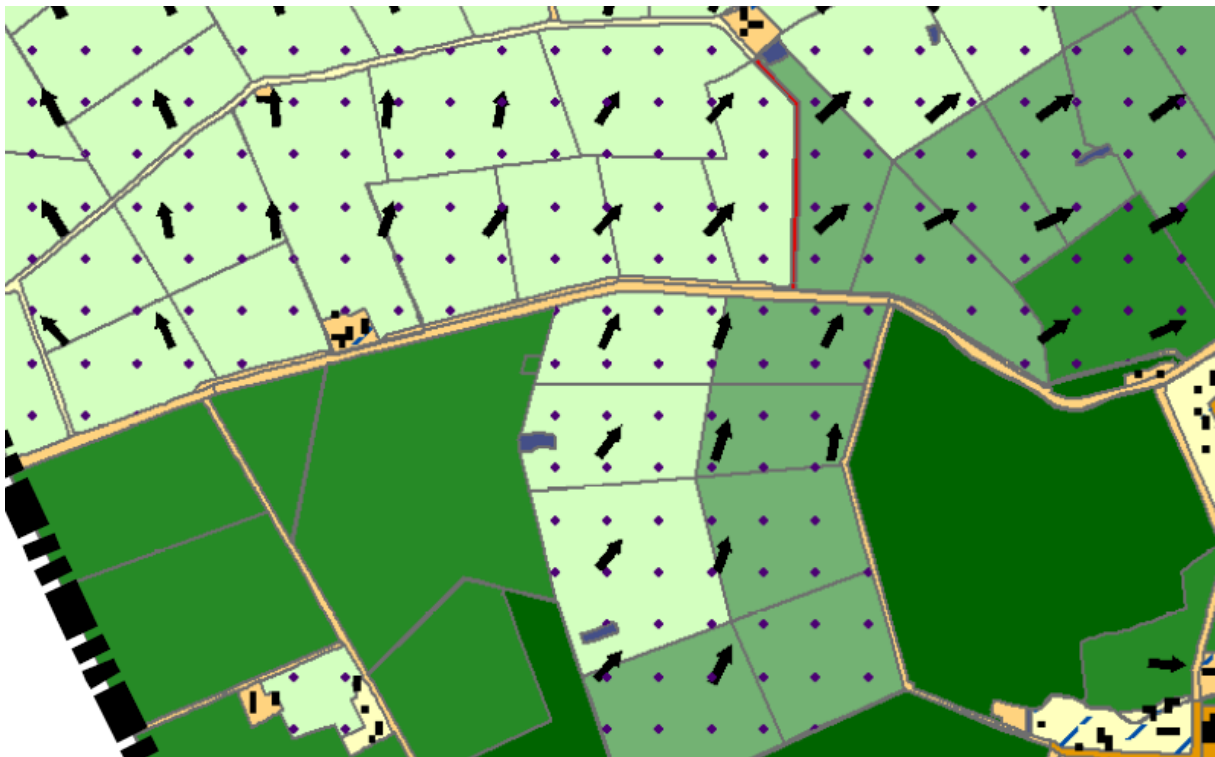


Abbildung 5: Planungshinweiskarte (Kartenausschnitt): Schutzbedarfe im Ausgleichsraum (Grün- und Freiflächen).

Für die im Rahmen der PHK flächenkonkret definierten Handlungsprioritäten im Wirkraum und Schutzbedarfe im Ausgleichsraum sollten geeignete Maßnahmen zugeordnet und angewandt werden, um die thermische Belastung im Siedlungsraum zu reduzieren und Klimafunktionen zu erhalten bzw. zu stärken.

Beispiele zur Anwendung der Kartenergebnisse

Anhand konkreter Flächenbeispiele wird nachfolgend erklärt, wie die Planungshinweiskarte in Verbindung mit allen weiteren Ergebniskarten der Stadtklimaanalyse Lübeck zu nutzen ist. Hierbei ist eine hierarchische Herangehensweise unter Verwendung aller Kartenergebnisse ratsam. Durch diese gelingt es, die konzentrierte Information der PHK über die Klimaanalysekarte bis hin zu den Einzelkarten zentraler Stadtklimamakenngößen und den Eingangsdaten zu entflechten und auf diese Weise eine vereinfachte Entscheidungsfindung über geeignete Maßnahmen herbeizuführen. Dieser Leitfaden zur Entscheidungshilfe wird für folgende vier Flächenbeispiele durchgeführt:

Fokusraum „St. Lorenz Nord“

- Beispielfläche 1: „Wirkraum mit Handlungspriorität 2“: Wohnblock an der Segebergstraße
- Beispielfläche 2: „Platz mit Handlungspriorität 2“: Broilingplatz
- Beispielfläche 3: „Straßenraum Handlungspriorität 1“: Adlerstraße
- Beispielfläche 4: „Ausgleichsraum hohen Schutzbedarfs“: Spielplatz Wickedestraße



Abbildung 6: Planungshinweiskarte Stadtklima. Fokusraum "St. Lorenz Nord" mit nummerierten Beispielflächen.
1 = Wohnblock an der Segebergstr. 2 = Broilingplatz; 3 = Straßenraum Adlerstr.; 4 = Grünfläche Spielplatz Wickedestr.

Der Fokusraum „St. Lorenz Nord“ weist mehrheitlich Wirkraumflächen der Handlungspriorität 2 bis 3 sowie Straßenraum der Handlungspriorität 1 und 2 auf. Die methodische Grundlage der PHK fußt für die Tagsituation auf der rasterbasierten Information der PET als Klimaanalysekarte der Tagsituation, die



hierfür auf Gebietsumrisse der Basisgeometrie gemittelt wurde. Im hierarchisch nächstfolgenden Schritt wird daher die Klimaanalysekarte der Tagsituation hinzugezogen (s. Abbildung 7), wodurch lokale Minima und Maxima dieser gefühlten Temperatur in Erscheinung treten, die nachfolgend die Zuweisung ortsbezogener Maßnahmen für die Tagsituation zulassen. Die Nachtsituation zeigt sich anhand der Klimaanalysekarte für die Nachtsituation (s. Abbildung 8). Zur Veranschaulichung der örtlichen Begebenheiten sind zudem das Landnutzungsrastrer (s. Abbildung 9) sowie ein Luftbild (s. Abbildung 10) des Fokusraum „St. Lorenz Nord“ abgebildet.

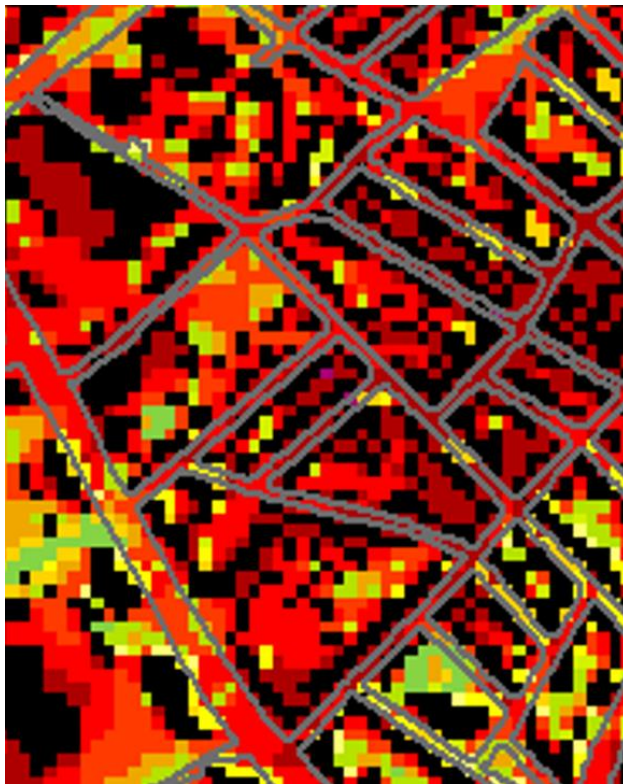


Abbildung 7: Klimaanalysekarte der Tagsituation (Physiologisch äquivalente Temperatur am Tage - PET) für den Fokusraum "St. Lorenz Nord".

PHYSIOLOGISCH ÄQUIVALENTE TEMPERATUR IN 1,1M HÖHE [°C]

bis 21,0	> 33,0 bis 35,0
> 21,0 bis 23,0	> 35,0 bis 37,0
> 23,0 bis 25,0	> 37,0 bis 39,0
> 25,0 bis 27,0	> 39,0 bis 41,0
> 27,0 bis 29,0	> 41,0 bis 43
> 29,0 bis 31,0	> 43,0 bis 45
> 31,0 bis 33,0	> 45,0

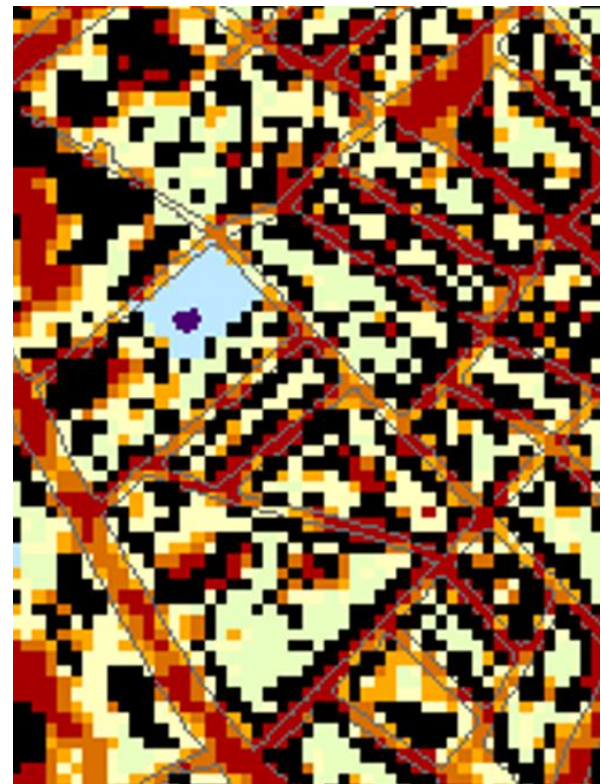


Abbildung 8: Klimaanalysekarte der Nachtsituation (KAK - Nacht) für den Fokusraum "St. Lorenz Nord"

Siedlungs- und Verkehrsflächen

Wärmeinseleffekt von Siedlungsflächen

Nächtliche Temperatur zum Zeitpunkt 4 Uhr [°C]

unter 16	> 18 bis 19
> 16 bis 17	> 19 bis 20
> 17 bis 18	über 20

Grün- und Freiflächen

Kaltluftvolumenstromdichte in $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$

$\leq 5,0$
> 5,0 bis 10,0
> 10,0 bis 15,0
> 15,0 bis 20,0
> 20,0 bis 30,0
> 30,0 bis 50,0
> 50,0



Abbildung 9: Nutzungsraster für den Fokusraum "St. Lorenz Nord"

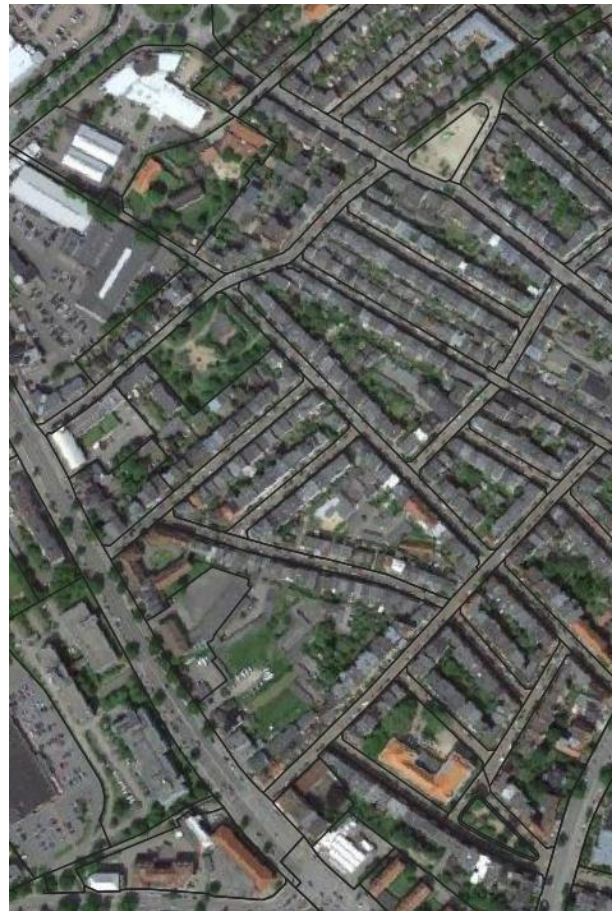


Abbildung 10: Luftbild für den Fokusraum "St. Lorenz Nord".

Nutzungsraster

Landnutzungstypen

-  7 - Gleisfläche
-  9 - Freiland, Rasen
-  14 - Gewässer
-  20 - Gebäude
-  21 - Gebäude mit Dachbegrünung
-  22 - unbebaut versiegelt
-  23 - naturferner Boden
-  24 - Baum über Versiegelung
-  25 - Baum über Rasen
-  26 - Baum über naturfernem Boden
-  28 - Sand



Bei der **Beispielfläche (1)** handelt es sich um einen thermisch belasteten Wohnblock an der Segebergstraße, welcher in der PHK die Handlungspriorität 2 aufweist (s. Abbildung 6). Am Tage liegt dort die PET (physiologische äquivalente Temperatur) je nach vorliegender Nutzung zwischen 41 und < 45 °C (s. Abbildung 7), was einer extremen Wärmebelastung entspricht (s. Tabelle 1). Wie das Nutzungsraster in Abbildung 9 zeigt, gibt es nur einen einzigen Baum (grünes Pixel), der im westlichen Bereich des Wohnblocks steht. Durch seinen Schattenwurf reduziert sich die PET dort lokal auf 33 bis < 35 °C, die höchsten Temperaturen kommen über den (versiegelten) unbeschatteten Bereichen vor. Für eine Verbesserung der thermischen Belastung im Innen- und Außenraum bieten sich für die Tagsituation verschiedene Maßnahmen aus dem für Lübeck erstellten Maßnahmenkatalog Stadtklima an. Dieser umfasst insgesamt 21 klimaökologisch wirksame Einzelmaßnahmen (s. Anhang), worunter folgende für die Beispielfläche 1 identifiziert wurden: M01, M03, M04, M06 (Außenraum); M16, M17, M18, M19, M20, M21 (Innenraum).

Tabelle 1: Zuordnung von Schwellenwerten des Bewertungsindex PET während der Tagstunden (nach VDI 2004).

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

In der Nachtsituation zeigt sich für den Wohnblock an der Segebergstraße über den versiegelten Flächen eine nächtliche Temperatur von 19 bis 20 °C wohingegen die unversiegelten Freiflächen innerhalb des Wohnblocks in der Nacht stärker auskühlen (16 – 17 °C) (s. Abbildung 8). Das nächtliche Windfeld zeigt auf (s. Abbildung 11), dass von Norden etwas Kaltluft aus der Umgebung in den Wohnblock strömt, bedeutend ist jedoch auch die Kaltluftentstehung auf der Fläche selbst. Aufgrund der vorhan-

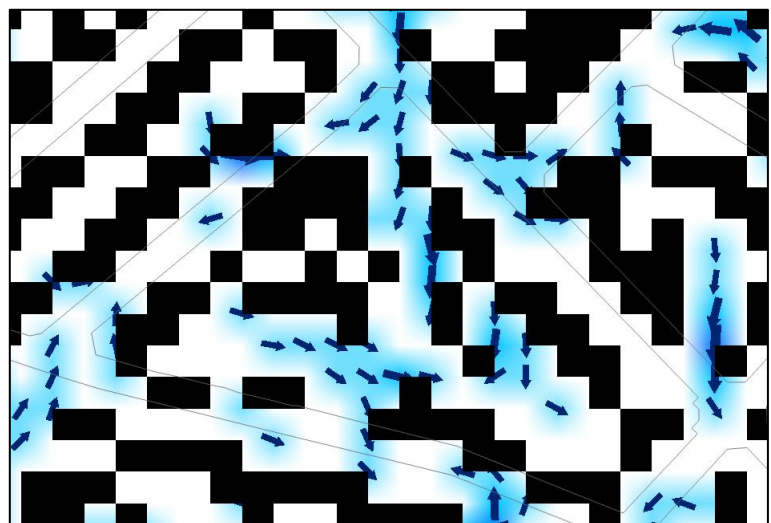


Abbildung 11: Nächtliches Windfeld (Kaltluftströmung) für die Beispielfläche 1



denen freien Grünflächen in den Hausgärten bildet sich lokal Kaltluft, sodass der Wohnblock nachts recht stark auskühlt. Maßnahmen zur Verbesserung der Nachtsituation über den versiegelten Bereichen innerhalb des Wohnblocks bestehen aus einer Entsiegelung (M01, M04), weiterhin können gebäudebezogenen Eingriffen (M03, M19, M20) umgesetzt werden.

Die **Beispielfläche 2** zeigt einen thermisch belasteten Platz. Die Planungshinweiskarte gibt für den Broilingplatz die Handlungspriorität 2 vor (s. Abbildung 6). Aufgrund der hohen Versiegelungsdichte und der fehlenden Beschattung liegt am Tage eine hohe PET (39 bis > 43 °C) und extreme Wärmebelastung vor (s. Abbildung 7). Klimaökologisch sinnvoll wären Entsiegelungs- und Verschattungsmaßnahmen (M02, M04, M05, M06, M11). In der Nachtsituation besteht eine starke Überwärmung (19 bis 20 °C) (s. Abbildung 8). Da Plätze in der Nacht weniger als Aufenthaltsraum dienen, sind primär Maßnahmen zur Verbesserung der Tagsituation anzugehen. Aus klimaökologischer Sicht wäre ein Platz mit einem hohen Grünvolumen, bestehend aus zahlreichen großkronigen Bäumen, welche die versiegelte Fläche beschatten sowie ein teilverseigelter Untergrund (bspw. aus Rasengittersteinen) optimal ausgestaltet.

Die **Beispielfläche 3** stellt den Straßenraum mit Handlungspriorität 1 wie u.a. entlang der Adlerstraße dar (s. Abbildung 6). Insbesondere verkehrsreiche Straßen sollten auch für den Langsamverkehr (Fußgänger, Radfahrer) klimaoptimiert werden. Am Tage liegt im Straßenraum eine extreme Wärmebelastung aufgrund der hohen PET Werte (43 bis 45 °C) vor (s. Abbildung 7). Wie im Luftbild und im Nutzungsraster zu sehen ist, sind die belasteten Straßenzüge großteils versiegelt und weisen fast keine Straßenbäume auf (s. Abbildung 9, Abbildung 10), was die hohen PET Werte erklärt. Zur Reduzierung der thermischen Belastung am Tage und zum Schutz von Fußgängern und Radfahrern sollten vor allem beschattende Maßnahmen sowie die Erhöhung der Verdunstungskühlung, bspw. über die alleeartige Anpflanzung von Bäumen, umgesetzt werden: M04, M05, M06, M10. Ergänzend können Trinkbrunnen installiert oder „erlebbar Wasserflächen“ etabliert werden (M09, M10). Die Bäume spenden nicht nur dem Langsamverkehr Schatten, sondern verschatten zusätzlich Gebäudefassaden, wodurch ein Beitrag für ein angenehmeres Innenraumklima in den umliegenden Gebäuden geleistet wird. Die darüberhinausgehende Installation technischer Verschattungselemente, von Dach- und Fassadenbegrünung, aber auch die klimaoptimierte Gestaltung von Oberflächen im Außenraum verstärkt diesen sekundären Effekt zusätzlich (M03, M16-M18). Zur Verbesserung der Überwärmung sind innerhalb des Siedlungsbereichs vor allem Entsiegelungsmaßnahmen empfohlen. Selbst auf kleineren Grünflächen können Kaltluftentstehungsprozesse in Gang gebracht werden, die sich positiv auf das nahe Umfeld auswirken (M04). Eine aufgelockerte Alleebeepflanzung sorgt dabei für eine gewisse Durchlässigkeit des Strömungsgeschehens.

In der Nacht wird die tagsüber im Asphalt-/ Betonboden gespeichert Wärme wieder an die Luft abgegeben, wodurch sich die hochversiegelten Straßenräume nur geringfügig abkühlen und selbst in der Nacht noch über 19 °C aufweisen (s. Abbildung 8). Durch eine Entsiegelung und Verminderung der Aufheizung des Bodens (bspw. durch Beschattung oder helle Oberflächen) können die thermischen Bedingungen auch für die Nachtsituation verbessert werden.

Bei der **Beispielfläche 4** handelt es sich um eine Ausgleichsfläche hohen Schutzbedarfs an der Wickede- straße (s. Abbildung 6). Die hohe Wertigkeit der Grünfläche zeichnet sich durch eine teilweise vorhandene Beschattung am Tage bei gleichzeitig ausreichend Freifläche für eine starke Abkühlung in der Nacht aus (s. Abbildung 9, Abbildung 10). Die aus einem Mix von großkronigen Bäumen und Freifläche sowie einer



Sandfläche (Spielplatz) gestaltete Grünfläche weist eine hohe mikroklimatische Vielfalt auf: Am Tage liegen die PET-Werte zwischen 33 und 41 °C (s. Abbildung 7) und in der Nacht liegt die Temperatur zwischen 15 und 16 °C (s. Abbildung 13). Die nachts erzeugte Kaltluft fließt in die umliegenden wärmeren Wohngebiete ab und kommt insbesondere dem südlich angrenzenden Wohnblock zugute (s. Abbildung 12). Die Bedeutsamkeit von (kleinflächigen) Grünräumen im Siedlungsgebiet zeigt sich in diesem Beispiel: Am Tage besteht in den beschatteten Bereichen eine hohe Aufenthaltsqualität, in der Nacht wirkt die Grünfläche als kleinräumiges Kaltluftentstehungsgebiet.



Abbildung 12: Nächtliches Windfeld (Kaltluftströmung) für die Beispielfläche Nr. 4

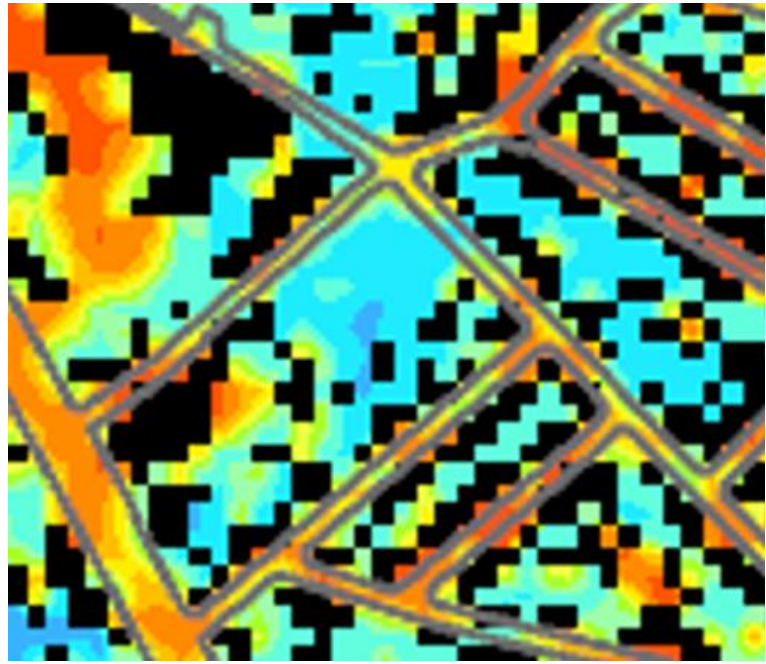


Abbildung 13: Nächtliche Lufttemperatur (04 Uhr) für die Beispielfläche Nr. 4

TEMPERATURFELD IN 2M HÖHE [°C]

bis 14,0	> 18,0 bis 18,5
> 14,0 bis 14,5	> 18,5 bis 19,0
> 14,5 bis 15,0	> 19,0 bis 19,5
> 15,0 bis 15,5	> 19,5 bis 20,0
> 15,5 bis 16,0	> 20,0 bis 20,5
> 16,0 bis 16,5	> 20,5 bis 21,0
> 16,5 bis 17,0	> 21,0 bis 21,5
> 17,0 bis 17,5	> 21,5 bis 22,0
> 17,5 bis 18,0	> 22,0



Verwendung bei Planungsvorhaben der Stadtverwaltung sowie durch die Öffentlichkeit

Aus der Planungshinweiskarte lassen sich planerische Maßnahmen zur Verbesserung oder Sicherung der klimatischen Situation eines Gebiets bzw. Grundstücks ableiten. Sie stellt damit eine wichtige Grundlage z.B. im Rahmen der zukünftigen Siedlungsentwicklung und Bauleitplanung sowie bei der konkreten Umgestaltung öffentlicher Flächen der Stadtverwaltung dar, kann jedoch auch durch Bürger:innen herangezogen werden, um geeignete Maßnahmen für ihre Grundstücke abzuleiten³.

Die Karte ermöglicht eine Einschätzung, **wo die Überwärmung im Stadt- bzw. Planungsgebiet besonders hoch ist** und dementsprechend Maßnahmen zur Hitzereduktion notwendig sind. Sinnvolle Maßnahmen sind z.B. Begrünung, Entsiegelung, Beachtung der Baukörperstellung und Beschattung durch Bäume. **Die Karte hilft zudem dabei, Grün- und Freiflächen zu identifizieren**, die aufgrund ihrer Funktion für das nächtliche Kaltluftgeschehen und der Hitzeminderung am Tage und in der Nacht planerisch gesichert werden sollten, da sie z.B. Teile einer Kaltluftleitbahn sind. **Zur Auswahl geeigneter Maßnahmen wird die hierarchische Nutzung des Gesamtkartenwerks von der PHK über die Klimaanalysekarten für die Tag- und Nachsituation und die Einzelparameterkarten für das nächtliche Temperaturfeld (T04) sowie das nächtliche Windfeld (WG) jeweils in 2 m Höhe empfohlen**, die für die Öffentlichkeit auf der Smart City Plattform der Hansestadt Lübeck einsehbar sind.

Einschränkungen in der Anwendung

Für die Planungshinweiskarte und auch die Bewertungsanalyse werden die Ergebnisse als bewertete Information für Referenzflächen ausgewiesen. Die Referenzflächen wurden, abhängig von der Landnutzungskategorie, aus den Daten der amtlichen GIS-basierten Vermessung abgeleitet. Dies kann unter Umständen dazu führen, dass kleinere Freiflächen in der Karte nicht als solche ausgewiesen sind, oder Überbauungen mit einem hohen Grünanteil nicht als Siedlungsflächen ausgewiesen sind. Im Falle zusätzlicher Bebauung auf Grün- und Freiflächen kann sich deren Funktion ändern und muss gegebenenfalls neu bewertet werden.

Juni 2024, GEO-NET Umweltconsulting (Hannover)

³ Weiterführende Informationen für Bürger:innen:

https://www.abwasser-beratung.nrw/sites/default/files/2023-05/230510_broschuere_entsiegelung_web.pdf

Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen | Deutsches Institut für Urbanistik (difu.de)

schleswig-holstein.de - Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur - Neuauflage des Förderprogramms „Klimaschutz für Bürgerinnen und Bürger“



Anhang: Maßnahmenkatalog Stadtklima

Die Planungshinweiskarte zeigt Bereiche in der Stadt auf, in denen Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation erforderlich bzw. empfehlenswert sind. Der nachstehende Maßnahmenkatalog zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Ausgestaltung auf und soll dazu dienen, die Planungshinweise zu konkretisieren. Für Lübeck wurde ein Katalog aus 21 klimaökologisch wirksamen Einzelmaßnahmen identifiziert.

Die Auswahl bestimmter Maßnahmensets aus dem Portfolio der 21 Einzelmaßnahmen hängt vom Flächentyp und den Bewertungen in der Planungshinweiskarte bzw. der Bewertungsanalyse ab (z.B. bioklimatische Belastung in der Nacht und/oder am Tage, Bedeutung für den Kaltlufthaushalt, Aufenthaltsqualität). Die Maßnahmen sind stickpunktartig und durch Bilder illustriert in nachfolgender [Tabelle 2](#) beschrieben und in verschiedene Cluster aufgeteilt:

Thermisches Wohlbefinden im Außenraum
Verbesserung der Durchlüftung
Reduktion der Wärmebelastung im Innenraum

Grundsätzlich sind alle Maßnahmen geeignet, den thermischen Stress für die Stadtbevölkerung direkt oder indirekt zu verringern und damit zur Erreichung eines gesunden Lübecker Stadtklimas beizutragen – werden die Maßnahmen kombiniert, verstärken sich in der Regel die positiven stadtklimatischen Effekte der einzelnen Maßnahmen.

Tabelle 2: Empfehlungen allgemeiner stadtklimatisch wirksamer Maßnahmen für die Hansestadt Lübeck.

MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM



01 Innen-/Hinterhofbegrünung	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> Erhöhung des Vegetationsanteils und der Versickerungsfähigkeit des Bodens 	
Wirkung <ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und nachts Erhöhung der Aufenthaltsqualität Regenwasserversickerung und Schaffung von Lebensräumen für Flora und Fauna. (Synergien zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und zur Biodiversität) 	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none"> Innen- und Hinterhöfe 	
02 Öffentliche Grünräume im Wohn- und Arbeitsumfeld schaffen	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> Kleine Parks und gärtnerisch gestaltete Grünflächen im innerstädtischen Raum, die auch Erholung bieten 	
Wirkung <ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und nachts Vernetzung von Grünflächen und damit Synergien zum Mobilitäts-/Radwegenetz Regenwasserversickerung (Synergien zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und zur Biodiversität) 	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none"> Baulücken, größere Hinterhöfe (insb. in thermisch belasteten Wohngebieten) 	

Bild: Grüner Innenhof (Quelle: © Elke Kruse / HL)

Bild: Sheridan Park (Quelle: © Pascal Cormont)

MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM

03	Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Helle Farben (insbesondere von Dächern) zur Erhöhung der Reflexstrahlung/ Verminderung der Absorption und Baumaterialien, die wenig Wärme speichern
Wirkung		Räumliche Umsetzung
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dächer, Fassaden (Neubau und Bestand) ▪ ggf. Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze
04	Entsiegelung / Versiegelungsanteil minimieren	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rasen- oder Pflanzflächen oder Teilentsiegelung (Rasengittersteine etc.) ▪ niedrige Anzahl oberirdischer Stellplätze zugunsten von Grünflächen
Wirkung		Räumliche Umsetzung
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduktion der Wärmebelastung durch Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und insb. nachts ▪ Niederschlagsrückhalt und dadurch Synergien zum Niederschlagswassersmanagement 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze, Gebäude, Innen- und Hinterhöfe, Vorgärten, Betriebshöfe



Bild: Helle Fassade (Quelle: © Jens-Robert Schulz, pixelio)



Bild: Schwartauer Allee / Friedensstraße (Quelle: © Elke Kruse / HL)

MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM


<p>05</p> <p>Klimaangepasste und zukunftsgerichtete Verkehrsraumgestaltung vorantreiben</p>	<p>Kurzerläuterung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Blaue und/oder grüne Maßnahmen für den Verkehrsraum ▪ Erhöhung des Vegetationsanteils im Verkehrsraum (Bäume, Alleen, Begleitgrün, Rasengitter, etc.) ▪ Schaffung von offenen Wasserflächen (z.B. Brunnenanlagen auf Plätzen) ▪ Im Innenstadtbereich: Teilverschattete Fußgängerzonen etablieren und Parkplatzangebot zugunsten von (baumbestandenen) Grünflächen minimieren ▪ s. auch Forschungsprojekt „BlueGreenStreets: Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere“ 	
<p>Wirkung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduktion der Wärmebelastung insb. tagsüber bei Pflanzung neuer Bäume durch Verschattung, bei Entsiegelung durch Verdunstung und lokale Kaltluftentstehung ▪ Regenwasserversickerung und -rückhalt. Dadurch Synergien zu dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und zur Überflutungsvorsorge (Entlastung des Kanalnetzes bei Starkregen, Grundwasserneubildung, Verdunstungskühlleistung) und zur Biodiversität 	<p>Räumliche Umsetzung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze 	

Bild: Blau-grüne Infrastruktur im Straßenraum (Quelle: © Elke Kruse / HL)

MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM

06	Verschattung von Aufenthaltsbereichen im Freien	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none">▪ Bäume oder bautechnische Maßnahmen (Markisen, Überdachung, Sonnensegel, auch Gebäude selbst können durch kluge Positionierung verschatten)▪ Möblierungsangebote im Schatten schaffen	
Wirkung	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none">▪ Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung und Verdunstung (bei Einsatz von Vegetation) insb. tagsüber und nachts	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none">▪ Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze, Gebäude im Wohn- und Arbeitsumfeld	
07	Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none">▪ Mikroklimatische Vielfalt von Grünflächen (offene Wiesenflächen, Bäume, Wasserflächen, Pflanzungen)	
Wirkung	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none">▪ Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung, Verdunstung und lokale Kaltluftproduktion tagsüber und nachts▪ Regenwasserversickerung und Schaffung von Lebensräumen für Flora und Fauna. Dadurch Synergien zur Biodiversität	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none">▪ Grün- und Freiflächen▪ Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze	

Bild: Verschatteter Stadtplatz (Quelle: © Ruth Plössel/Stadt Augsburg)

Bild: Wasserflächen und verschattete Bereiche im Park (Quelle: © Elke Kruse / HL)

Bild: Verschatteter Stadtplatz (Quelle: © Ruth Plössel/Stadt Augsburg)

Bild: Wasserflächen und verschattete Bereiche im Park (Quelle: © Elke Kruse / HL)

MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM



08	Schutz bestehender Parks, Grün- und Waldflächen	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none">▪ Schutz von Parks, Grün- und Waldflächen aufgrund ihrer Bedeutung für das Stadtklima und vieler weiterer Funktionen (siehe unten)	
Wirkung <ul style="list-style-type: none">▪ Bedeutung für den städtischen Kaltlufthaushalt, da durch Kaltluftproduktion und -transport die Abkühlung benachbarter Siedlungsbereiche unterstützt wird▪ Regenwasserversickerung und -rückhalt. Synergien zu dezentralen Regenwasserbewirtschaftung, Überflutungsvorsorge, Erholung und Biodiversität.		Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none">▪ Grün- und Freiflächen (insb. im Umfeld hoher Einwohnerdichten)	
09	Offene, bewegte Wasserflächen schützen, erweitern und anlegen	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none">▪ Stadtklimafunktion größerer Fließ- und Stillgewässer und sonstiger Wasserflächen▪ Rauigkeitsarme Ventilationsbahnen, über die v.a. bei allochthonen Wetterlagen Kalt- und Frischluft transportiert wird	
Wirkung <ul style="list-style-type: none">▪ Während der Sommermonate und speziell Hitzeperioden wirken Gewässer auf ihr nahes Umfeld tagsüber kühlend (auch kleinere Gewässer, Wasserspielplätze oder Brunnen in Parks) -> Hohe Aufenthaltsqualität▪ Oberflächennahe Temperatur kann nachts oberhalb der umgebenden Lufttemperatur liegen und eine Wärmeabgabe bewirken		Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none">▪ Gewässer▪ Grün- und Freiflächen	

Bild: Schellbruch - Blick auf die Waldflächen (Quelle: © Olaf Staack)

Bild: Blick über die Wakenitz (Quelle: © Olaf Staack)

Bild: Schellbruch - Blick auf die Waldflächen (Quelle: © Olaf Staack)

Bild: Blick über die Wakenitz (Quelle: © Olaf Staack)

MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM


10 Regenwasserversickerung, - speicherung und Bewässerungssysteme	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schaffung wasserdurchlässiger Beläge durch (Teil-) Entsiegelung in Kombination mit der Etablierung von Regenwasserteichen, Versickerungsmulden und Rigolensystemen 	
Wirkung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber durch Verdunstung ▪ Regenwasserversickerung und -rückhalt und damit Synergien zur gezielten Wasserspeicherung und Bewässerung von Stadtgrün sowie zur Überflutungsvorsorge bei Starkregen 	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Grün- und Freiflächen ▪ Straßen, Wege, Plätze 	

Bild: Versickerungsmulden in einem Hamburger Neubauquartier
(Quelle: © Markus Parac)

MAßNAHMENCLUSTER I: THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM

11 (Temporäre) Saisonale klima- angepasste Umgestaltung öffentlicher Räume	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Umwandlung hochgradig versiegelter Innenstadt- plätze im Sommer durch Etablierung von Rollrasen, Strauchgewächsen und Kübelbäumen zu städtischen Klimaoasen ▪ Gesellschaftlicher Dialog zum Stadtklima-Thema; Sichtbar- und Erlebbarmachung nachhaltiger Ideen und Projekte (s. auch Projekt „Pop-Up-Innenstadt“ in Ludwigsburg) 	
Wirkung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts durch Verschattung, Verduns- tung und lokale Kaltluftentstehung ▪ Gesellschaftliche Etablierung des Themas Klima und Dialogmöglichkeit mit den An- wohnern 	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plätze, Brachflächen (auch als Übergangslösung bis langfristige Flächenent- wicklung bzw. -entsiegelung erfolgt) 	

Bild: Temporäres Grün auf dem Koberg (Quelle: © Elke Kruse / HL)

MAßNAHMENCLUSTER II: VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG

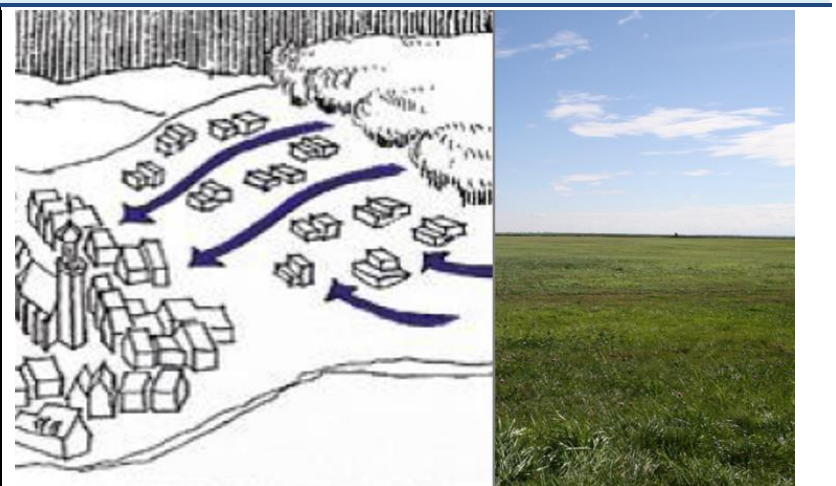
12 Optimierung des großskaligen Kaltlufttransports, von Strömung und Durchlüftung	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gebäudeanordnung parallel zur Kaltluftströmung und/oder ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen der Bebauung (aufgelockerte Bebauung) ▪ Quer zur Fließrichtung verlaufende bauliche (Dämme, Gebäude) oder natürliche Hindernisse (Baumgruppen, jedoch Beibehaltung bestehender Gehölze!) im Einflussbereich von Kaltluftflüssen vermeiden bzw. Gebäudeausrichtung und Bebauungsdichte auf klima-ökologische Belange anpassen 	
Wirkung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung der Kaltluftströmung / Durchlüftung ▪ Reduktion des Wärmestaus 	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Neubau, Gebäudekomplexe ▪ Grün- und Freiflächen ▪ Straßen, Wege, Plätze, Parkplätze 	

Bild: Symbolcollage Baukörperstellung- und Durchlüftung (Quelle: © GEO-NET)

MAßNAHMENCLUSTER II: VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG

13	Optimierung der Gebäudetypologie und -stellung für kleinskaligen Luftaustausch	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> Gebäudeanordnung parallel oder geöffnet zu anliegenden Grün- und Parkanlagen. Durchfahrten oder -gänge und allgemein wenig überbaute Fläche halten das kleinskalige Strömungsgeschehen auch für nahe Bestandsquartiere aufrecht 	 <p>Bild: Mit dem Schindlerpark vernetzter Innenhof. (Quelle: Fachplanung Hitzemineralisierung. Stadt Zürich (Hrsg.). Zürich, 2020.)</p>
Wirkung	Räumliche Umsetzung	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> Rückbau von Gebäuden verringert die Bebauungsdichte und das Bauvolumen 	
	<ul style="list-style-type: none"> Schutz kleinerer, innerstädtischer Luftaustauschsysteme Synergie zum Thermischen Wohlbefinden: Verschattung anliegender Straßen und Plätze durch durchdachte Baukörperstellung 	<ul style="list-style-type: none"> Neubau im Umfeld bestehender Grünflächen oder Parks 	 <p>Bild: Symbolbild Rückbau (Quelle: ©Josephine Förster, GEO-NET)</p>
14	Entdichtung (Rückbau)	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> Rückbau von Gebäuden verringert die Bebauungsdichte und das Bauvolumen 	
Wirkung	Räumliche Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> Gebäude(-teile), z.B. in Blockinnenhöfen Nebengebäude Garagen Lagerhallen ggf. Industrie- und Gewerbebrachen Bahnanlagen 	
	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung insb. nachts Verbesserung der Durchlüftung Synergien zum Niederschlagswassermanagement 		

MAßNAHMENCLUSTER II: VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG

15	Schutz und Vernetzung für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none">▪ Freihaltung großräumiger, möglichst wasserversorgter und durch flache Vegetation geprägter Grünflächen wie Wiesen, extensives Grünland, Felder, Kleingärten und Parklandschaften, die Einfluss auf den lokalen Kaltlufthaushalt haben▪ Kleine Parks als Trittsteine für Kaltluft	
	Wirkung <ul style="list-style-type: none">▪ Schutz vor stärkerer Überwärmung▪ Erhalt und Ausbau von Kaltluftentstehungsgebieten und Durchlüftung▪ Synergien zur Biodiversität und zur Aufenthaltsqualität am Tage	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none">▪ Grün- und Freiflächen	

Bild: Rudolph-Wilde-Park in Berlin (Quelle: © Dominika Leßmann, GEO-NET)

Bild: Rudolph-Wilde-Park in Berlin (Quelle: © Dominika Leßmann, GEO-NET)

MAßNAHMENCLUSTER III: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

16 Dachbegrünung	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Extensive oder intensive Dachbegrünung (bis hin zu Gärten und urbaner Landwirtschaft auf Dächern; unter Bevorzugung heimischer Pflanzen), blaugrüne Dächer (im Wasser stehende Pflanzen)
Wirkung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verdunstungskühlung ▪ Verbesserung des Innenraumklimas: Thermische Regulierung durch Gründächer (wärmedämmend im Winter, geringere Aufheizung im Sommer) ▪ Synergien zum Klimaschutz, da Gründachaufbau isolierend, ähnlich einer Dämmung, wirkt, somit Einsparung technischer Gebäudekühlung /-heizung ▪ Bei großflächiger Umsetzung und geringer Dachhöhe Verbesserung des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas möglich ▪ Schaffung von Ersatzlebensraum und damit Synergien zur Biodiversität ▪ Regenwasserrückhalt und damit Synergien zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung 	Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Flachdächer, ▪ ggf. flach geneigte Dächer ▪ Gebäude (Neubau und Bestand; soweit rechtlich zugelassen), siehe Lübecker Gründachpotentialkataster



Bild: Dachgarten auf dem BUKEA-Gebäude in Hamburg-Wilhelmsburg
(Quelle: © Elke Kruse / HL)


MAßNAHMENCLUSTER III: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

17	Fassadenbegrünung	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Boden- oder systemgebundene Fassadenbegrünung (Bevorzugung heimischer bzw. bienenfreundlicher Pflanzen) 	
Wirkung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung des Innenraumklimas und des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas -> Steigerung der Aufenthaltsqualität ▪ Synergien zur Biodiversität sowie zu Lärm- und Gebäudeschutz 		Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gebäude (Neubau und Bestand; soweit rechtlich zugelassen) 	
18	Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fassadenbegrünung, Bäume, Balkongestaltung, benachbarte Gebäude, bautechnische Maßnahmen wie außen liegende Sonnenschutzelemente (Jalousien, Markisen, etc.), reflektierendes Sonnenschutzglas bzw. -folie 	
Wirkung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduktion der Wärmebelastung durch Verschattung und Verdunstung (bei vorhandener Vegetation) tagsüber und nachts -> Erhöhung der Aufenthaltsqualität ▪ Verbesserung des Innenraumklimas ▪ Synergien zum Klimaschutz 		Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gebäude (Neubau und Bestand) 	

Bild: Fassadenbegrünung in der Lübecker Altstadt (Quelle: © Elke Kruse / HL)

Bild: Paul-Gossen-Str. in Erlangen (Quelle: © Janko Löbig, GEO-NET)

MAßNAHMENCLUSTER III: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

19	Gebäude energetisch sanieren und klimagerecht kühlen	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none">▪ Dämmung von Gebäuden, helle Farbgebung (Erhöhung des Albedowertes), geeignete Raumlüftung, Nutzung von Prozessabwärme	
Wirkung		Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none">▪ Gebäude (Bestand)	
<ul style="list-style-type: none">▪ in erster Linie Klimaschutzmaßnahme durch Reduktion des Energiebedarfs▪ Verbesserung des Innenraumklimas tagsüber			

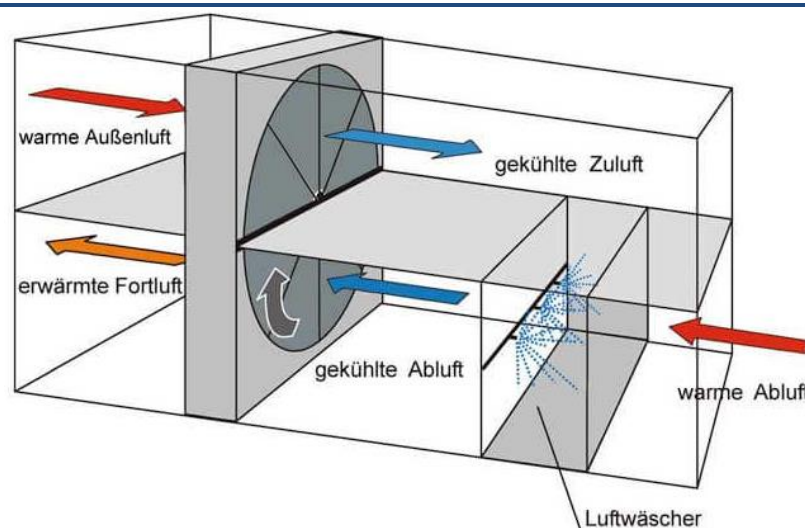
20	Technische Gebäudekühlung	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none">▪ Möglichst ressourcenschonende Lösung▪ Adiabate Abluftkühlung, in der Regenwasser genutzt wird▪ Erdkältenutzung▪ Adsorptionskältemaschinen, die durch solare Energie oder Abwärme angetrieben werden	
Wirkung		Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none">▪ Gebäude, in denen passive Maßnahmen zur Klimatisierung nicht ausreichend angewendet werden können (siehe Maßnahmencluster Nr. 21)	
<ul style="list-style-type: none">▪ Kühlung des Innenraums von Gebäuden durch eine möglichst nachhaltige Gebäudeklimatisierung			

Bild: Symbolbild Energetische Sanierung (Quelle: © ginasanders/123RF.com)

Bild: Schematische Darstellung der adiabaten Abluftkühlung (Quelle: Deutsches Architektenblatt: <https://www.dabonline.de/2012/06/01/coole-sache/>)

Bild: Symbolbild Energetische Sanierung (Quelle: © ginasanders/123RF.com)

Bild: Schematische Darstellung der adiabaten Abluftkühlung (Quelle: Deutsches Architektenblatt: <https://www.dabonline.de/2012/06/01/coole-sache/>)

MAßNAHMENCLUSTER: REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

21	Anpassung des Raumnutzungskonzeptes	Kurzerläuterung <ul style="list-style-type: none"> Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Nutzung von Innenräumen, d.h. sensible Räume nicht nach Süden ausrichten (z.B. Schlaf-, Arbeits- oder von Risikogruppen genutzte Zimmer, z.B. im Seniorenzentrum)
Wirkung <ul style="list-style-type: none"> Verbesserung des Innenraumklimas (in sensiblen Räumen) 		Räumliche Umsetzung <ul style="list-style-type: none"> Gebäude, insb. klimasensible Gebäudenutzungen (z.B. bei Erziehungseinrichtungen, Betreutem Wohnen oder in der Altenpflege) vorwiegend im Neubau umsetzbar



Bild: Aufnahme eines nach West ausgerichteten Bürraums.
(Quelle: © Gregor Meusel, GEO-NET)