



Aktivierung der Bodenkühlleistung für stadtklimatische Konzepte zur Klimaanpassung

STAKLIBO

Aktivierung der Bodenkühlleistung für stadtklimatische Konzepte zur Klimaanpassung

Inhalt	
Einleitung	3
Die Bedeutung der Kaltluft für das Stadtklima	4
Einflussfaktoren auf das Bodenkühlleistungspotenzial	6
Das Projekt StaKliBo	8
Die stationären Messungen	10
Die mobilen Messungen	12
Mikroskalige Modellierungen	14
Das klimatische Bodenkonzzept	16
Das Bodenmanagementsystem	18
Integration der Bodenkühlleistung in die Stadtplanung	20
Ausblick	22
Impressum	23

Gefördert vom
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit aufgrund
eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Februar 2015 – Dezember 2017

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Im Vergleich zu den Klimaänderungen der Erdgeschichte ist die Geschwindigkeit, mit der der anthropogen verursachte globale Temperaturanstieg heute voranschreitet, besonders hoch. Hauptgrund für diesen Trend ist die enorme Freisetzung von so genannten Treibhausgasen wie Kohlendioxid und Methan, die vor allem von Industrie, Haushalten, Verkehr und der Landwirtschaft ausgehen. Trotz aller Bemühungen der letzten Jahre, die Treibhausgasbelastung zu verringern, ist der Trend zur Klimaerwärmung mit seinen Folgen im besten Falle zu bremsen, nicht aber aufzuhalten oder gar rückgängig zu machen. Daher müssen wir uns neben allen Bemühungen zum Klimaschutz auch auf langfristige Veränderungen des Klimas einstellen.

Der Klimawandel und seine Folgen machen sich immer mehr in unserem Leben bemerkbar. Zu den lokalen Folgen des Klimawandels zählen die Zunahme von sommerlichen Hitzeperioden und verstärkt auftretende Extremwetterereignisse. Insbesondere in unseren Städten spielt die Hitzebelastung im Sommer eine große Rolle. Nicht der mittlere globale Temperaturanstieg in Deutschland von rund 2 bis 4 Kelvin in den nächsten 50 bis 100 Jahren ist von Bedeutung für Klimaanpassungsmaßnahmen, sondern die aus der Verschiebung der Temperaturverteilung resultierende zunehmende Hitzebelastung in den Innenstädten. Neben einem starken Anstieg der Sommertage ($T \geq 25^\circ\text{C}$) und der Tropennächte, in denen die Temperaturen nicht unter 20°C sinken, fällt der extrem hohe Anstieg der Heißen Tage mit Lufttemperaturen über 30°C ins Gewicht.

Städte haben im Vergleich zu ihrem Umland durch Versiegelungen, Grundwasserabsenkungen und Bodenveränderungen schon heute eine deutlich höhere mittlere Lufttemperatur. In Zukunft wird sich das Problem der städtischen Überwärmung, insbesondere der Hitzebelastung in den Sommermonaten durch den Klimawandel weiter verstärken. Dem System Boden-Pflanze kommt eine wichtige Rolle in der Verdunstung und damit für die Luftabkühlung zu. Die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Böden spielte aber bis vor kurzem, mit Ausnahme der Moorböden für den Klimaschutz, weder in den Klimamodellen noch in der Klimaanpassung eine relevante Rolle.

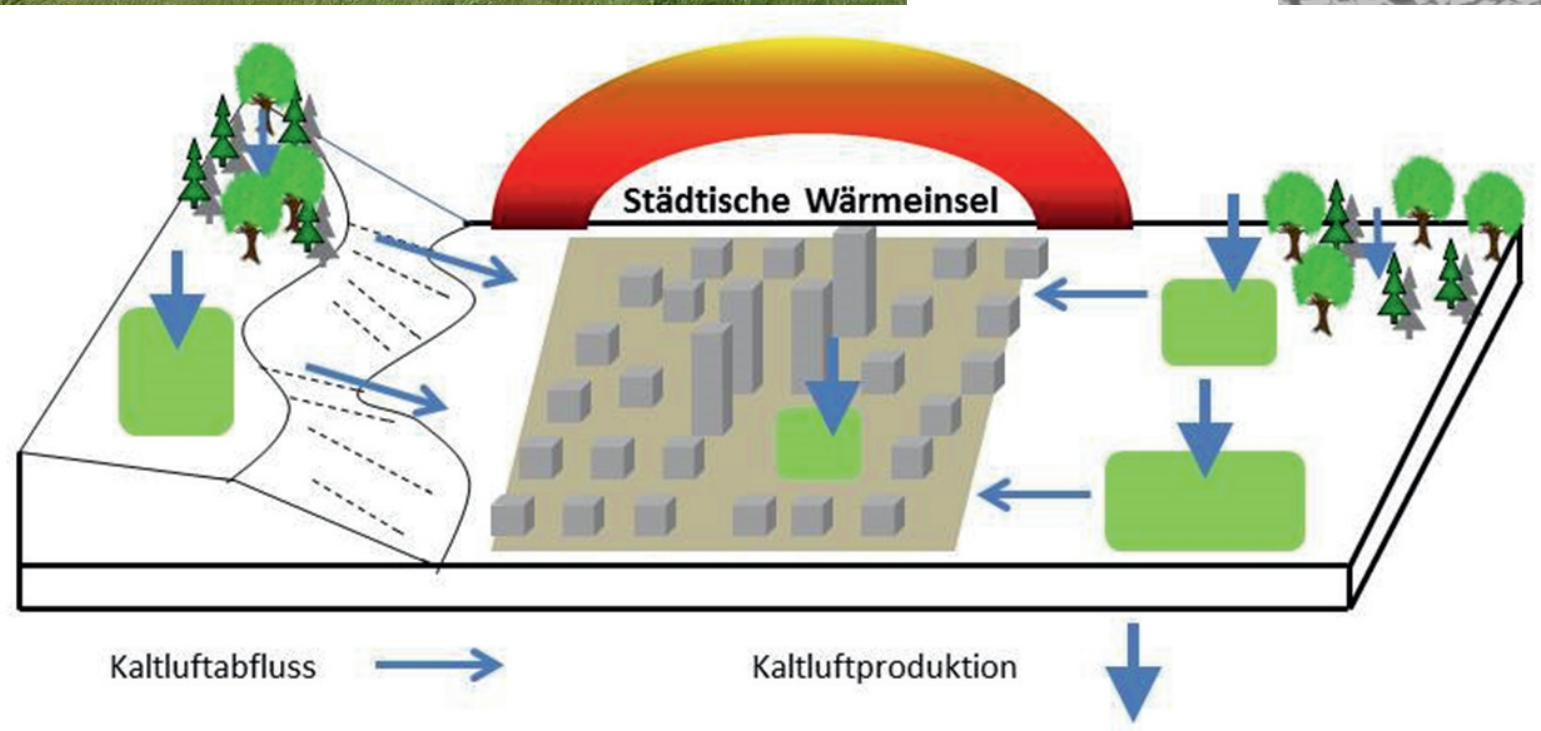
Eine bisher wenig beachtete Möglichkeit, um der durch den Klimawandel zunehmenden städtischen Überwärmung entgegenzuwirken, ist der Schutz oder die Wiederherstellung und die gezielte Nutzung der sogenannten Kühlfunktion des Bodens. Die natürliche Kühlleistung der Böden ist durch Versiegelung, Grundwasserabsenkungen und Bodenveränderungen in vielen Städten bereits

heute in großem Umfang stark reduziert. Von großer Bedeutung für die Klimaanpassung im städtischen Raum ist die Einbindung von Kaltluftproduktionsflächen und Frischluftschneisen in die Maßnahmen zur Reduktion der sommerlichen Hitzeinsel. Dabei wird von einer grundsätzlichen Kühlleistung von unversiegelten Flächen ausgegangen, und die Sicherung innerstädtischer Grünanlagen und Frischluftschneisen ist aktuell ein Thema in der Stadtplanung.

Während in aufgelockert bebauten und dörflich geprägten Stadtteilen das Klima bei sommerlichen Hitzeperioden auch wegen der natürlichen Kühlleistung unversiegelter Böden noch erträglich ist, liegen die Tages- und Nachttemperaturen in verdichteten Stadtteilen dagegen deutlich höher. Hier ist diese Bodenkühlleistung durch den hohen Grad an Versiegelung nicht mehr gegeben. Neben dem Boden selbst ist auch die Vegetation für die Frischluftproduktion von großer Bedeutung, da die Luft durch die Transpiration von Wasser auf Pflanzenoberflächen ebenfalls gekühlt wird.

Die gigantischen Energietransferleistungen des Bodens, die durch „Versiegelung“ unterbunden werden, lenken den Blick auf das Potential der Böden zur Kühlung der städtischen Atmosphäre. Für Testgebiete im Ruhrgebiet (BMBF dynaklim-Projekt) zeigte sich, dass Bodenraumeinheiten mit hohen und mittleren Bodenkühlleistungen, die ehemals vorhanden waren, kaum noch auftreten, bedingt durch mächtige Aufschüttungen und die heute dominierenden urban-industriellen Bodenraumeinheiten. Somit bieten die überprägten, urban-industriellen Böden Potentialflächen z.B. für Ausgleichsmaßnahmen, um der innerstädtischen Überwärmung durch Verbesserung dieser Böden auf nachhaltige Art entgegenzuwirken.

Um einer weiteren Erwärmung der Städte entgegenzuwirken, sollten Böden mit hohen pflanzenverfügbaren Wasserspeicherleistungen und/oder Grundwasseranschluss in stadtklimatisch relevanten Frischluftschneisen und Erholungsräumen von Überbauung, Abgrabung und Aufschüttung freigehalten werden. Diese Böden wirken ganzjährig ausgleichend auf die Lufttemperaturen und kühlend in den Sommermonaten.



Schematische Darstellung, Abkühlung der Städte durch herangeführte Kaltluft



Potenzielle Luftleitbahn in Neuss (Ausschnitt aus der „Handlungskarte Klimaanpassung Neuss“)

Unter den Bedingungen des Klimawandels ist es unverzichtbar, klimatische Ziele für die Stadtentwicklung zu formulieren und die bestehenden Strukturen zu optimieren. Die klimatisch wichtigen Ausgleichsräume in der Stadt und ihre Wechselbeziehungen mit den Lasträumen gewinnen in Zukunft einen noch größeren Stellenwert. Bereiche mit erhöhter klimatischer Belastung werden als „Lastraum“ und Räume mit ausgleichender Funktion als „Ausgleichsraum“ bezeichnet. Ausgleichsräume sind überwiegend unbebaute oder nur locker bebaute Freiflächen unterschiedlicher Größe und Funktion. Sie zeichnen sich beispielsweise durch die Produktion von Frisch- und Kaltluft durch starke nächtliche Abkühlungen an warmen und heißen Tagen aus.

Die Entstehung von Kaltluft über einer natürlichen Oberfläche wird durch die thermischen Stoffeigenschaften des Oberflächensubstrates bestimmt. So speichern Böden mit hoher Dichte die Wärme besser und sind daher schlechtere Kaltluftproduzenten als solche mit geringer Dichte und damit geringerer Wärmespeicherfähigkeit. Feld- und Wiesenflächen kühlen stärker aus und produzieren damit mehr Kaltluft als Waldgebiete.

Die natürliche Kaltluftproduktion einer Fläche ist von der Orographie bzw. dem Relief sowie den thermischen Eigenschaften abhängig. Als bedeutendste Kaltluftproduktionsgebiete gelten die naturbelassenen Freiflächen wie Wiesen, Äcker und auch Wälder. Mit Zunahme der Hangneigung nimmt auch die Kaltluftproduktion zu, da diese permanent in Richtung Talsohle abfließen kann und sich in den tieferen Lagen ansammelt bzw. dem natürlichen Gefälle folgt. Kaltluft ist schwerer als die Umgebungsluft und folgt daher bodennah dem Geländegefälle. Durch diesen „Abtransport“ der Kaltluft entsteht in den höheren Lagen ein Defizit, welches durch erneute Kaltluftproduktion ausgeglichen wird. Somit wird bei entsprechenden Witterungsbedingungen, das sind wolkenarme, windschwache Strahlungswetterlagen, in der Nacht kontinuierlich Kaltluft produziert. Entsprechend der Orographie können die einzelnen Kaltluftströme zusammenfließen oder auch aufgrund von Barrieren oder Geländevertiefungen in Kaltluftsenken teilweise oder vollständig akkumulieren. Zusätzlich ist die Wirksamkeit von Kaltluftflächen stark von deren Größe abhängig. Durch den Erhalt und die Schaffung zusätzlicher kaltluftproduzierender Flächen und deren Vernetzung kann eine Verstärkung ihrer Wirksamkeit erzielt werden.

Frischlufschneisen und Luftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete mit der Innenstadt und sind somit ein wichtiger Bestandteil des städtischen Luftaustausches. Insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen sind sie klimarelevant, da über sie kühle Luftmassen in die hitzebelasteten Räume der Stadt transportiert werden. Die Anbindung der Innenstadt an Kaltluftflächen trägt zur Unterbrechung oder Abschwächung von Wärmeinseln bei und schafft stadtklimatisch relevante Regenerationsräume. Diese Anbindung über Luftleitbahnen sollte möglichst ohne Anreicherung mit Schadstoffen erfolgen. Das Relief innerhalb und außerhalb eines Stadtkörpers kann im Fall von Tälern zu Kanalisierungseffekten führen. Hierdurch kann frische, kühle Umlandluft weit in den Stadtkörper hineingeführt werden. In Strahlungsnächten kann auch bei entgegengesetzter Strömung in der freien Atmosphäre bodennahe Kaltluft hangabwärts fließen und in die Bebauung vordringen. In heißen Sommernächten kann dies zu einer lokalen Abkühlung im Bereich der städtischen Bebauung führen.

Die Wirkung von Luftabflüssen auf die Bebauung ist generell auf die unmittelbare Nachbarschaft begrenzt, solange die Schichtdicke der Kalt-/Frischluf die Höhe der städtischen Bebauung nicht um ein Mehrfaches übertrifft. Häufig erschweren bereits bestehende Stadtstrukturen die Belüftung über Luftleitbahnen, so dass primär die Ausweitung von hindernisfreien Belüftungszonen erreicht werden sollte. Ein weiterer, den Austausch hemmender Faktor ist in der Wirkung von hoher und dichter Vegetation (Sträucher und Bäume) als Strömungshindernis im Bereich von Luftleitbahnen zu sehen. Hier führt die Vegetation zur Reduzierung der bodennahen Windgeschwindigkeit („Windfänger“), so dass der Austausch erschwert sein kann.

Große Freiflächen mit Kaltluftproduktion und Tallagen mit Fließrichtung Innenstadt gelten als besonders sensible Flächen zur Stadtbelüftung, die auch bei Schwachwind zu einer Stadtbelüftung durch Kaltlufttransport beitragen. Damit Frischluft auch bei schwachen Windströmungen von außen in die Stadt gelangen kann, darf die Bebauung am Stadtrand keine abriegelnden Bebauungsgürtel bilden. Die Hänge entlang von Kaltluftbahnen sollten von Riegelbebauung parallel zum Hang freigehalten werden.

Kaltluftbildung

Als kaltluftproduzierende Gebiete gelten vegetationsgeprägte Freiflächen wie Wälder und Parkanlagen sowie landwirtschaftlich genutzte Flächen wie Acker und Grünland. Die Entstehung von Kalt- und Frischluft über einer natürlichen Oberfläche wird durch die thermischen Stoffeigenschaften des Oberflächensubstrates bestimmt. Die Luft wird über den Oberflächen erwärmt oder abgekühlt, das heißt, dass sehr warme Oberflächen zu erhöhten Lufttemperaturen führen. Versiegelte Flächen und Bebauungen speichern viel Energie und kühlen sich auch nachts nur langsam ab. In Verbindung mit einem geringen Luftaustausch in bebauten Stadtgebieten führt dies zur Ausprägung von Wärmeinseln. Freiflächen kühlen nachts sehr schnell ab und haben niedrige Oberflächentemperaturen. Diese kühlen die darüberliegenden Luftschichten und führen zu einer nächtlichen Kaltluftbildung auf den Flächen. Die ungehinderte nächtliche Ausstrahlung und die geringe Wärmespeicherung im Freilandbereich bieten die besten Voraussetzungen für nächtliche Kaltluftbildung.

Urbane Grünflächen haben eine hohe Bedeutung für das Lokalklima, da von ihnen eine kühlende Wirkung ausgeht. Tagsüber führt eine Freifläche, die idealerweise aus Wiese mit Sträuchern und lockerem Baumbestand besteht, zu einem thermisch ausgleichenden Bereich für die bebaute Umgebung. Dies wird durch Schattenwurf und Energieaufwendung bei der Evapotranspiration herbeigeführt. Nachts können Freiflächen durch Kaltluftbildung und Luftaustausch kühlend auf die Umgebung wirken. Untersuchungen haben gezeigt, dass Kühlungseffekte ab einer Parkgröße von 2,5 ha zu messen sind und die Reichweite der kühlenden Wirkung eines innerstädtischen Parks etwa dem Durchmesser des Parks entspricht. Eine klimatische Fernwirkung ergibt sich erst bei ausgedehnten Parkanlagen ab 50 ha. Bei einer engen Vernetzung tragen auch kleinere Grünflächen zur Abmilderung von Wärmeinseln bei.

Einflussfaktoren

Im Überblick lässt sich das Aufheizungsverhalten von Oberflächen und damit das Bodenkühlleistungspotential auf die Art der Flächennutzung, die Bepflanzung und den Zustand der Böden zurückführen. Besonders der Wasserhaushalt des Bodens und die darüber beeinflusste Verdunstung der Pflanzen sind wesentliche Stellschrauben für die potenzielle Bodenkühlleistung auf Freiflächen. Der Anteil an Versiegelung, Art und Dichte der Vegetation sowie die Bodeneigenschaften werden als Haupteinflüsse auf die Kaltluftbildung verstanden.

1. Die **Wärmespeicherkapazität** und die **Wärmeleitfähigkeit** eines Bodens spielen die entscheidende Rolle für die Aufheizung der Bodenoberfläche und damit der darüberliegenden Luftschichten. Versiegelte Böden sind deshalb in der Regel deutlich wärmer als die Luft und führen zur Aufheizung, während Freilandflächen im Laufe des Abends und der Nacht kühlend auf die Luft wirken.
2. Die Evapotranspiration trägt dadurch, dass sie der Luft Energie für den Verdunstungsvorgang entzieht, maßgeblich zum Kühlleistungspotential bei. Aber Pflanzen können nur die Wassermenge verdunsten, die für sie verfügbar im Boden gespeichert ist. Bei Böden mit hohem Grundwasserstand ist außerdem die Menge Wasser hinzuzurechnen, die den effektiven Wurzelraum über den kapillaren Aufstieg erreicht. In den von der menschlichen Tätigkeit überprägten Böden der Städte schränken oft Verdichtungen und grobe Bestandteile beispielsweise aus Bauschutt oder Schlacken den Speicherraum für pflanzenverfügbar gespeichertes Wasser ein. Sie stellen außerdem für die Pflanzenwurzeln physiologische Barrieren dar, begrenzen also die Durchwurzelbarkeit und damit die effektive Durchwurzelungstiefe. Der während des Winterhalbjahrs aufgefüllte Bodenwasservorrat ist deshalb oft schon nach den ersten Sommertagen oder -wochen aufgebraucht, und die Vegetation reduziert aktiv ihre Verdunstungsleistung. Die Größe der Bodenwasserspeicherkapazität ist daher trotz der hohen mittleren Jahresniederschläge in Deutschland sehr wichtig für die Klimawirksamkeit der Böden. Wie viel Wasser den Pflanzen zur Verdunstung zur Verfügung steht, ist vom Aufbau und den Eigenschaften eines Bodens abhängig. Das **Wasserspeicher- und Wasserhaltevermögen** wird wesentlich von *Bodenart* (Körnung), *Humusgehalt*, *Gefüge*, *Trockenrohdichte* und dem daraus resultierenden Porenraum bestimmt.

Eine Verschneidung von Thermalbildern, Bodenkarten, Grundwasserkarten und Nutzungskarten des gesamten Stadtgebietes führt zu einem ersten Bewertungsschema zur potentiellen Bodenkühlleistung von Flächen im Stadtgebiet. Detailliert müssen die Bodeneigenschaften, die das Verdunstungsverhalten einer Fläche und die Versorgung der Vegetation mit Wasser steuern, für die Beurteilung der potentiellen Bodenkühlleistung betrachtet werden.

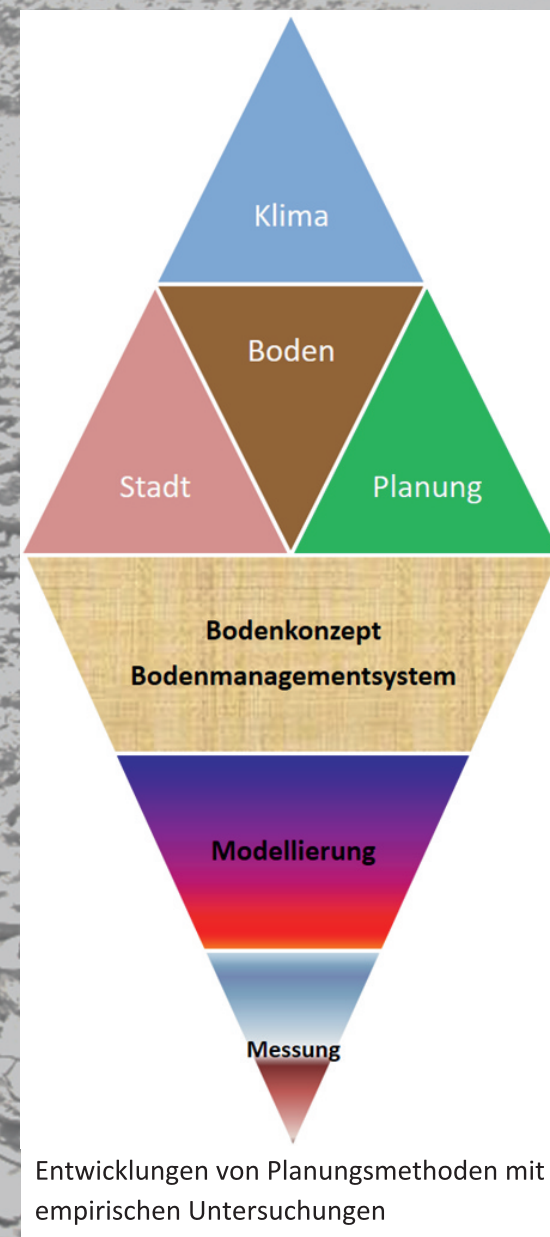
STAKLIBO



Bodenprofil Brache



Klimastation Neuss Grünland



Welchen Beitrag können Stadtböden zur Kühlung von Wärmeinseln leisten?

Um diese Frage zu beantworten, haben sich die Stadt Neuss und die Ruhr-Universität Bochum in einem Verbundprojekt mit dem Titel „StaKliBo - Aktivierung der Bodenkühlleistung für stadtklimatische Konzepte zur Klimaanpassung“ zusammengeschlossen. Der Titel steht dabei symbolisch für die Schwerpunkte Stadt, Klima und Boden, die gemeinsam für das Stadtklima verantwortlich sind.

Ausgangspunkt des Projektes war das Klimaanpassungskonzept der Stadt Neuss. Aus der Darstellung der durch den Klimawandel besonders betroffenen Gebiete im Stadtgebiet wurden Anpassungsmaßnahmen entwickelt. Diese wurden an konkreten Beispielen getestet und in einem Handlungskatalog zusammengestellt. Im Zuge dieses Klimaanpassungskonzeptes wurden auch Belüftungsschneisen und Parkanlagen im Stadtgebiet herausgestellt, die eine Kühlfunktion für überhitzte Stadtteile besitzen. Dabei werden Freiflächen und Parks bislang allgemein als Kaltluftlieferanten bewertet, ohne auf eine unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Böden einzugehen. Hier fehlen noch Beurteilungsmaßstäbe bezüglich der Kühlfunktion verschiedener Böden und Ausgestaltungen der Klimaausgleichsflächen. Das Projekt **StaKliBo** greift auf Erkenntnisse des Klimaanpassungsprojektes zu stadtklimatisch relevanten Freiflächen zurück, um die Kühlfunktionen dieser Flächen systematisch zu bewerten.

Um die nötigen Daten für die Konzepterstellung und Modellierung zu gewinnen, wurden über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren an fünf Standorten mit sechs Messflächen im Stadtgebiet Messungen der Luft-, Oberflächen- und Bodentemperatur sowie der Bodenfeuchte auf Kaltluftproduktionsflächen durchgeführt. Es wurden unterschiedliche Bodentypen und unterschiedliche Landnutzungen berücksichtigt. Weitere Daten werden durch Messungen von Oberflächentemperaturen und durch Temperaturprofil-Messfahrten erhoben. Ergänzt werden diese Daten durch kleinräumige Modellrechnungen, die die Messergebnisse verallgemeinern und so übertragbar machen.

Aufgrund des Pilotprojektcharakters und der angestrebten Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Kommunen, wird das Projekt vom Bundesministerium für

Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit gefördert. Der Förderzeitraum beläuft sich auf die Zeit vom 1. Februar 2015 bis zum 31. Dezember 2017.



Ziel des Projektes ist es zunächst, die Kühlwirkungen des Bodens genauer zu erforschen und zu modellieren. In einem weiteren Schritt erfolgt dann die Erstellung eines klimatischen Bodenkonzeptes und eines Bodenmanagementsystems. Beide Konzepte sollen in eine nachhaltige Stadtplanung integriert werden.

Die empirische Erfassung (Messungen, Modellierungen, GIS-Analysen) der Zusammenhänge zwischen Bodenzustand, Wasserverfügbarkeit und Vegetationsbestand auf der einen Seite und Kaltluftbildungspotential (Kühlleistung) auf der anderen Seite sollen die Grundlage bilden für ein klimatisches Bodenkonzept und ein Bodenmanagementsystem. Diese sollen unter dem Thema der Anpassung an den Klimawandel in eine nachhaltige Stadtplanung integriert werden.

In Zusammenarbeit zwischen der Ruhr-Universität Bochum und der Stadt Neuss wird ein städtisches **Bodenkonzept** erstellt, in dem die stadtklimatisch relevanten Flächen entsprechend ihrer Bodenparameter kategorisiert werden. Dieses Bodenkonzepkt mündet in eine Festsetzung von im Stadtgebiet ausgewiesenen Schutzzonen und Sanierungszonen. Es soll als Grundlage für planerische und politische Entscheidungen dienen. Beispielsweise kann das Bodenkonzepkt als verbindliche Eingangsgröße in die Freiraumplanung eingehen. Die Ausgestaltungen der stadtklimatisch relevanten Flächen mit einem Kühlungspotential werden durch ein zu entwickelndes **Bodenmanagementsystem** vorgegeben. Hier fließen die Erkenntnisse aus den Testfeldern mit Umsetzung verschiedener (Boden-) Verbesserungsmaßnahmen ein. Die Integration von Bodenverbesserungsmaßnahmen im Hinblick auf die Relevanz zur Klimaanpassung in planerische Prozesse (z. B. Bodenaufwertung als anerkannte Ausgleichsmaßnahme bei Bauprojekten) ist das Ziel des Bodenmanagementsystems.

Die empirischen Ergebnisse sowie die Methoden des klimatischen Bodenkonzepktes und das Bodenmanagementsystem sind übertragbar auf andere Städte und können als Vorbild für die Integration der Potentiale von vorhandener oder zu verbessernder Bodenkühlleistung in Klimaanpassungskonzepte der Stadtplanung dienen.



Bodenprofil Hafengelände Neuss mit
Messsensoren für Bodenfeuchte/-temperatur

Aufnahme von Bodenproben



Probennahme und Bestimmung
der Bodenwerte für ENVI-met

Bestimmung bodenphysikalischer Parameter im Labor

ns: Volumetric water content at saturation
nfc: Volumetric water content at field capacity
nwilt: Volumetric water content at wilting point
Matpot: Matrix Potential at saturation in [m]
hydr: Hydraulic conductivity at saturation
CP: Volumetric Heat Capacity

Übertragung der Bodendaten in das Klimamodell

im Bodenprofil

G1 bis G3

Horizonte

Database-ID: [G1]
Name: [Click to assign](#)
Color: G1

Parameter	Value
Typ of material	Natural soil
Water content at saturation	0.37700
Water content at field capacity	0.25400
Water content at wilting point	0.08200
Matrix potential	-0.12100
Hydraulic conductivity	229.00000
Volumetric heat capacity	1.46300
Clapp & Hornberger Constant	4.87000
Heat Conductivity	0.60000

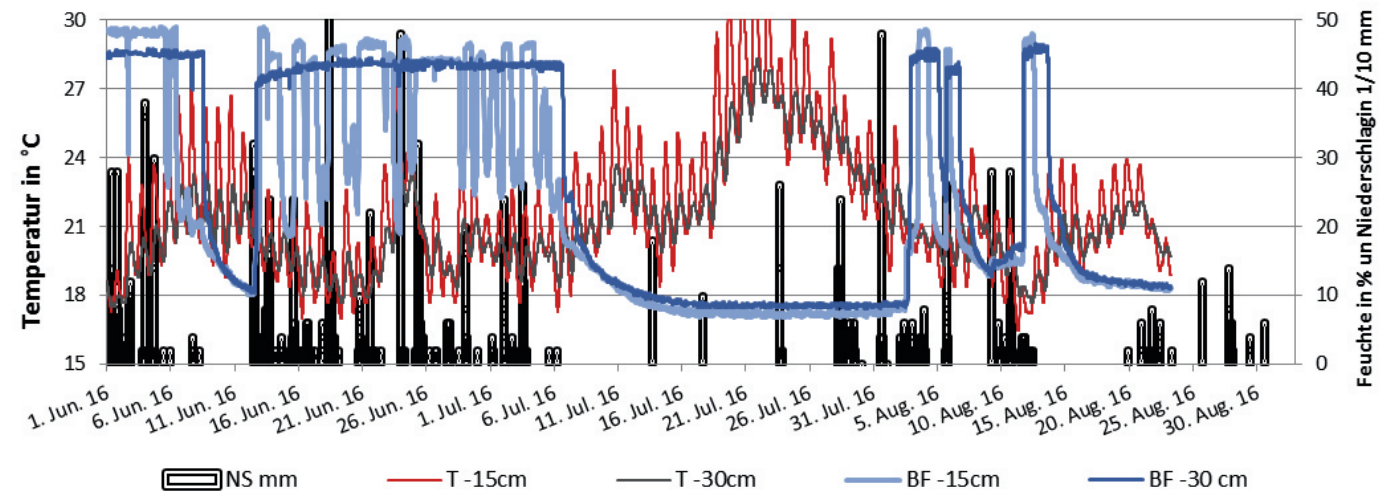
Database-ID: [G2]
Name: [Click to assign](#)
Color: G2

Parameter	Value
Typ of material	Natural soil
Water content at saturation	0.46100
Water content at field capacity	0.20900
Water content at wilting point	0.06700
Matrix potential	-0.09000
Hydraulic conductivity	151.00000
Volumetric heat capacity	1.40400
Clapp & Hornberger Constant	4.83000
Heat Conductivity	0.00000

Database-ID: [G3]
Name: [Click to assign](#)
Color: G3

Parameter	Value
Typ of material	Natural soil
Water content at saturation	0.43500
Water content at field capacity	0.19500
Water content at wilting point	0.11400
Matrix potential	-0.21800
Hydraulic conductivity	34.10000
Volumetric heat capacity	1.32000
Clapp & Hornberger Constant	4.90000
Heat Conductivity	0.00000

Standort Hafen RCL: Bodenwerte 01.06. - 01.09.2016



Im Rahmen dieses Vorhabens wurden Messungen der Luft-, Oberflächen- und Bodentemperaturen sowie der Bodenfeuchte auf Kaltluftproduktionsflächen der Frischluftschneisen und in innerstädtischen Grünflächen auf unterschiedlichen Bodentypen und mit verschiedenen Landnutzungen durchgeführt. An fünf Standorten auf dem Gebiet der Stadt Neuss wurden die relevanten Boden- und Klimaparameter kontinuierlich für zweieinhalb Jahre erfasst. Als Grundlage dienten drei Messstandorte, an denen im Rahmen eines LANUV NRW gefördernten Projektes für 3 Monate erste Testmessungen vorgenommen wurden.

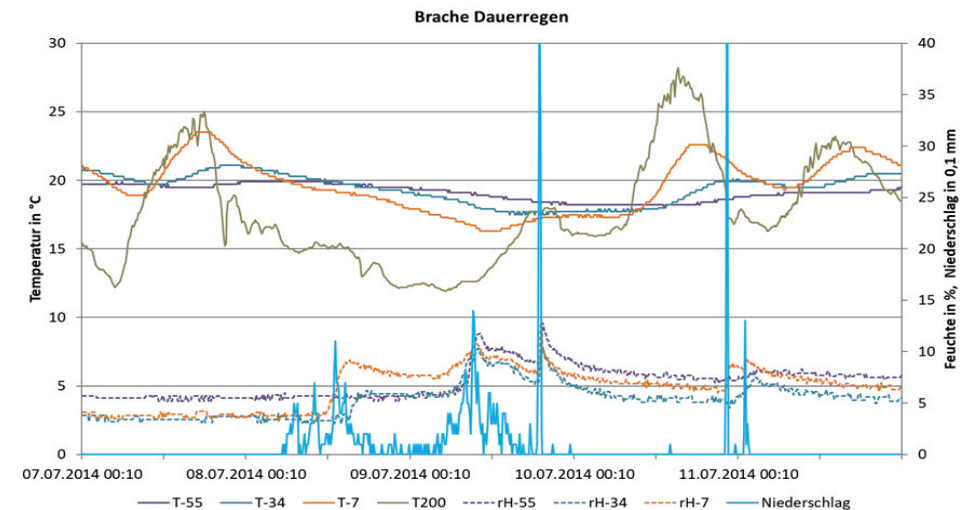
Bei der Auswahl der Standorte für **Boden-Atmosphäre Messstationen** spielt die Repräsentativität der gewählten Standorte für die verschiedenen Fragestellungen des Projektes die entscheidende Rolle. Die drei Einflussfaktoren „Klimarelevanz der Fläche“ (also z.B. Lage in einer Belüftungsschneise), „Bodenprofil“ (natürliches oder anthropogen überprägtes) und Vegetationsausstattung (Acker, Brache, Grünland, Park) werden so von den Standorten abgedeckt, dass die Messergebnisse eigenschaftenspezifisch und nicht „Neuss-spezifisch“ ausgewertet und zusammengestellt werden können. Die Erkenntnisse fließen in das „Klimatische Bodenkonzept“ und das „Bodenmanagementsystem“ ein, welche als Baustein der städtischen Klimaanpassung in Städten auch außerhalb von Neuss anwendbar sind.

An den fünf Standorten im Freiland und auf innerstädtischen Grünflächen wurden kontinuierlich Niederschlag, Bodentemperaturen und Bodenfeuchte (in 3 Tiefen), Lufttemperaturen (5 cm und 2 m Höhe) und Wind (10 m Höhe) gemessen. Bezüglich der Standortcharakterisierung wurden aufgenommen: Flächennutzungen und Profilaufnahmen, Stechringnahmen und Mischproben zur Bestimmung von TRD, Skelettgehalte, Größenklassifikation, Korngrößenzusammensetzung, TOC-Gehalte, pH-, pF- und kf-Werte.

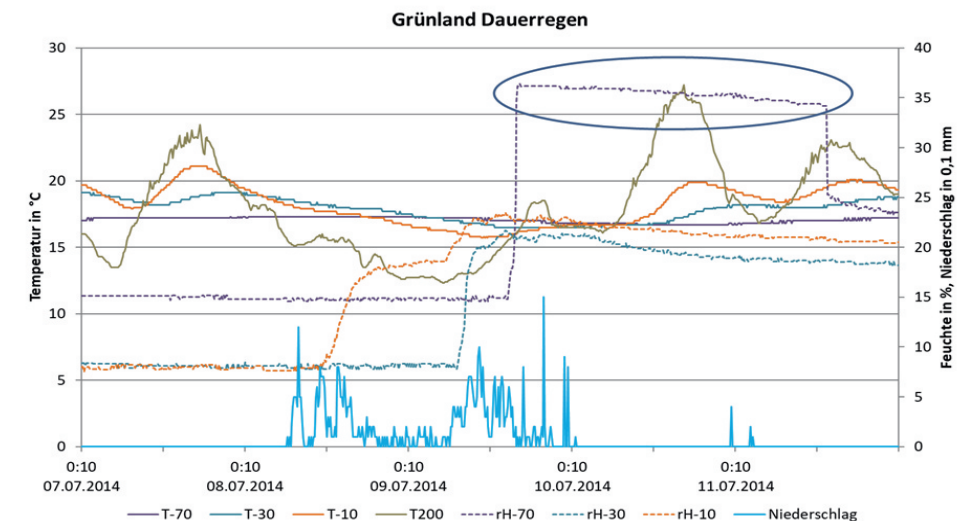
Wirkzusammenhänge „Niederschlag – Boden – Luft“

Für zwei Beispiele (Brache und Grünland) wird das unterschiedliche Verhalten der Standorte bei Niederschlägen herausgestellt. Der Standort auf der Brache zeigt ein für den anthropogen mit Bauschutt überformten Boden typisches Verhalten. Das Niederschlagswasser dringt sofort in den Boden ein und läuft fast ungehindert durch. Eine Zeitverzögerung zwischen den oberen und dem tiefen Horizont ist nicht erkennbar. Außerdem sinkt die Bodenfeuchte sofort nach dem Regenereignis wieder ab, das Wasser kann nur zu einem sehr geringen Teil im Boden gehalten werden. Insgesamt sind deshalb die Bodenfeuchtwerte der Brache mit Werten um 5 % deutlich niedriger als an den anderen Testflächen. Dies gilt sowohl für ein Starkregenereignis wie auch für ergiebigen Dauerregen.

Auf Standorten mit einem entsprechenden Bodenprofil wären Bewässerungsmaßnahmen zur Verbesserung der Bodenkühlleistung wirkungslos.



Erwartungsgemäß steigen die Bodenfeuchtwerte in den Bodenhorizonten des Grünlandes stark und zeitverzögert an, in 70 cm Tiefe (rH-70) wird Wassersättigung erreicht. Hier hat der Boden zeitweise Grundwasseranschluss. Gleichzeitig nimmt die Bodentemperatur des obersten Horizontes (T-10) leicht ab.





Thermalaufnahmen verschiedener Oberflächen

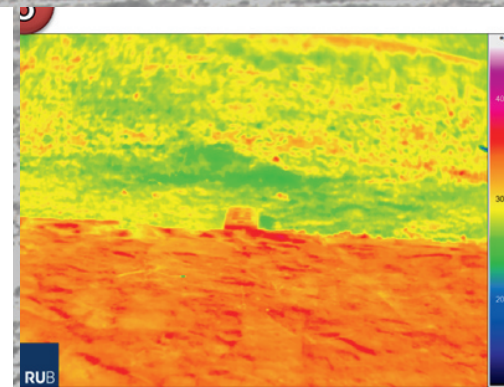
Sondermessungen - Thermalaufnahmen

Stationen 5 und 6 „Hafen“

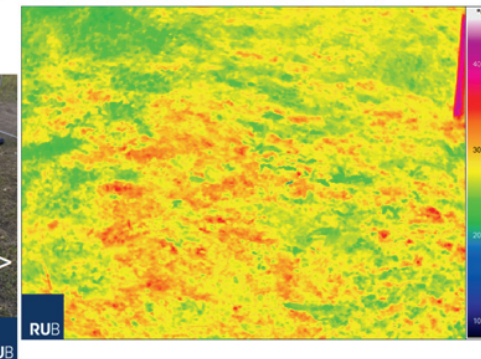
Aufnahme der Oberflächentemperaturen bei Strahlungswetterlage

2 x Thermalkamera:

- Fläche mit Bodenverbesserung 2015 (Vordergrund)
- Aktuell neue Aufschüttung mit 10 cm Mutterboden (Mitte)
- RCL-Schicht (Hintergrund)

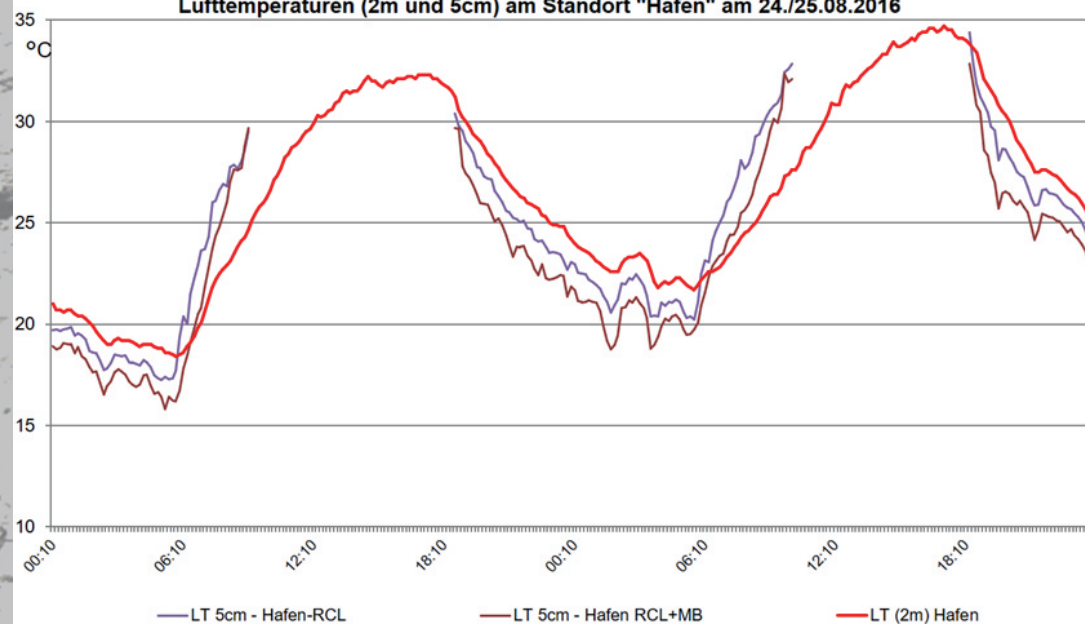


18/ 19. August 2016

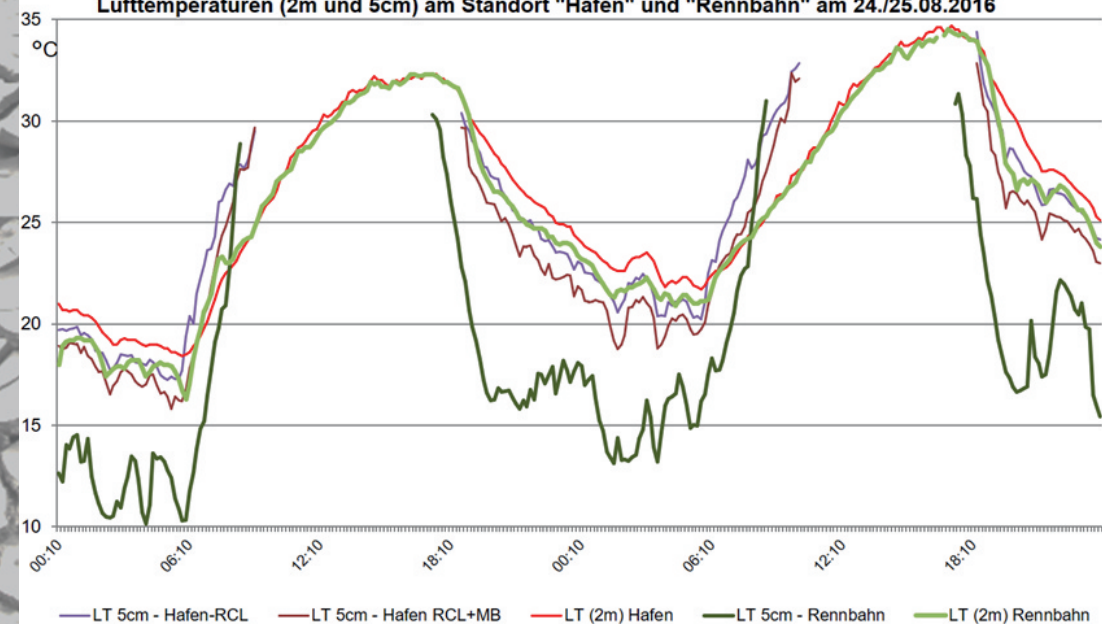


gemessene Oberflächentemperaturen am Standort

Lufttemperaturen (2m und 5cm) am Standort "Hafen" am 24./25.08.2016



Lufttemperaturen (2m und 5cm) am Standort "Hafen" und "Rennbahn" am 24./25.08.2016



Ergänzende Messungen zu den Boden-Atmosphäre-Messstationen

Temporär werden die Oberflächentemperaturen verschiedener Freiflächen während sommerlicher Hitzeperioden durch Thermalkameras erfasst. Mobile Lufttemperatur- und Windmessungen ergänzen die Messaktionen. Dabei werden neben den Standorten der festen Stationen weitere Flächen untersucht.

Messprogramm:

- Stationäre Messungen über 2,5 Jahre an den Boden-Atmosphäre-Messstationen
- Thermalaufnahmen der Oberflächentemperaturen während ausgewählter sommerlicher Strahlungswetterlagen
- Ergänzung der Thermalaufnahmen durch Handmessungen im Umfeld der Messstationen
- Klimamessfahrten im Stadtgebiet, Erfassung von Flächen mit Anbindung an die Messstationen.

Thermalaufnahmen:

Infrarotbilder der Messfelder wurden über einen Zeitraum von mehreren Stunden während der abendlichen und nächtlichen Abkühlungsphase aufgenommen. Um ein optimales Abkühlungsverhalten der verschiedenen Flächen zu erfassen, wurden diese Sonder-Messaktionen während sommerlicher Strahlungswetterlagen mit einer hohen Einstrahlung am Tage und einer ungehinderten Ausstrahlung in einer wolkenfreien Nacht durchgeführt.

Die Messungen dienten einerseits dem Vergleich zwischen den mit unterschiedlichen Böden und Vegetationsbedeckungen ausgestatteten Messstationen in Ergänzung der dort stationär erfassten Lufttemperaturen in 5 cm und 2 m Höhe und der Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen. Andererseits wurden die IR-Messwerte als Vergleichsdaten für die mit dem mikroskaligen Modell berechneten Oberflächentemperaturen herangezogen.

Handmessungen:

Zeitgleich zu den IR-Thermalaufnahmen wurden im Umfeld der jeweiligen Messstation Lufttemperaturen und Oberflächentemperaturen mit Handmessgeräten aufgenommen. In teilweise unwegsamem Gelände sind Handmessungen oft die einzige Möglichkeit, das Mikroklima zu erfassen. Untersuchungsgegenstand der Handmessungen war die gegenseitige Beeinflussung der Flä-

chen der Messstandorte und der Umgebungsflächen. Eine eventuelle Kühlwirkung der Stationsflächen auf die Umgebung wurde untersucht.

Messfahrten:

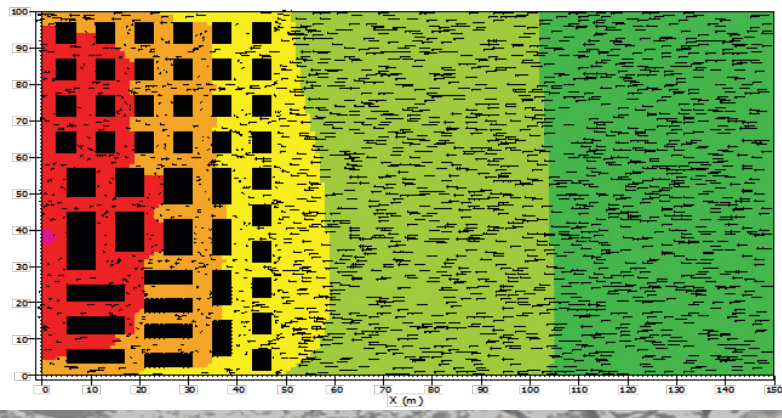
Das Kühlungspotenzial der für die Abschwächung der städtischen Überwärmung relevanten Freiflächen wurde durch mehrere gesamtstädtische Messfahrten untersucht.

Während Hitzewetterlagen im Sommer wurden mit einem Klima-Messfahrzeug Messungen zur linienhaften

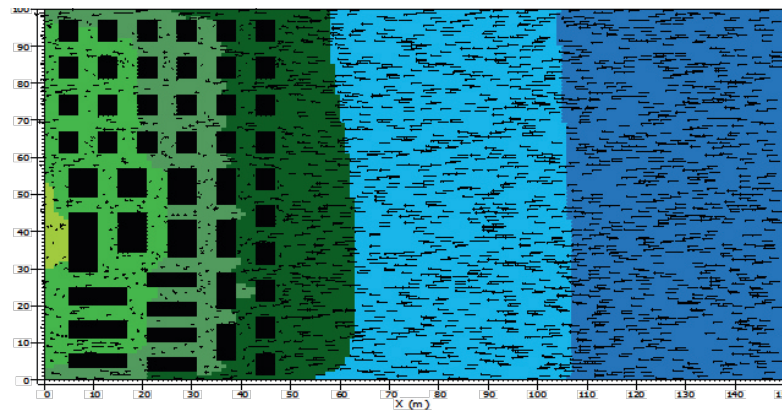
Erfassung der Lufttemperaturen im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Mobile Messungen dienen dazu, größere Flächen des Untersuchungsgebietes Neuss abdecken zu können. Während der Messfahrten wurden die Daten der Lufttemperaturen in 2 m Höhe kontinuierlich im 5-Sekunden-Abstand während der langsamen Fahrt (ca. 20 km/h) erfasst. Die Messdaten der Lufttemperatur (2 m) wurden zeitkorrigiert, d.h. die zeitliche Temperaturänderung im Verlauf der Messfahrt wurde herausgerechnet. Somit können die Lufttemperaturen für einen Zeitpunkt verglichen werden. So wird ein geländeklimatischer Vergleich der Standorte ermöglicht. Die Messfahrten dienen vor allem der Erfassung der thermischen Situation des Stadtgebietes in den Nachtstunden bei autochthonen Wetterlagen. Ziel der Messfahrten sollte es sein, die durch Bebauung, Flächennutzung und Relief verursachten kleinklimatischen Abweichungen vom großräumigen Mittel zu erfassen und darzustellen und die Verbindungen zwischen den Freiflächen mit Kaltluftbildungspotential und den überwärmten Innenstadtbereichen zu finden. Diese Phänomene bilden sich in klaren Nächten besonders deutlich heraus, weshalb die Messfahrten abends und nachts durchgeführt wurden.

Ergebnisse des mikroskaligen Modells auf Änderung der Bodenparameter von vorgegebenen Standardböden in einem synthetischen Simulationsgebiet

Modellgebiet mit den simulierten Lufttemperaturen in 2 m Höhe für den Boden „SiltyClay - 40 % Bodenfeuchte“ um 2 Uhr nachts

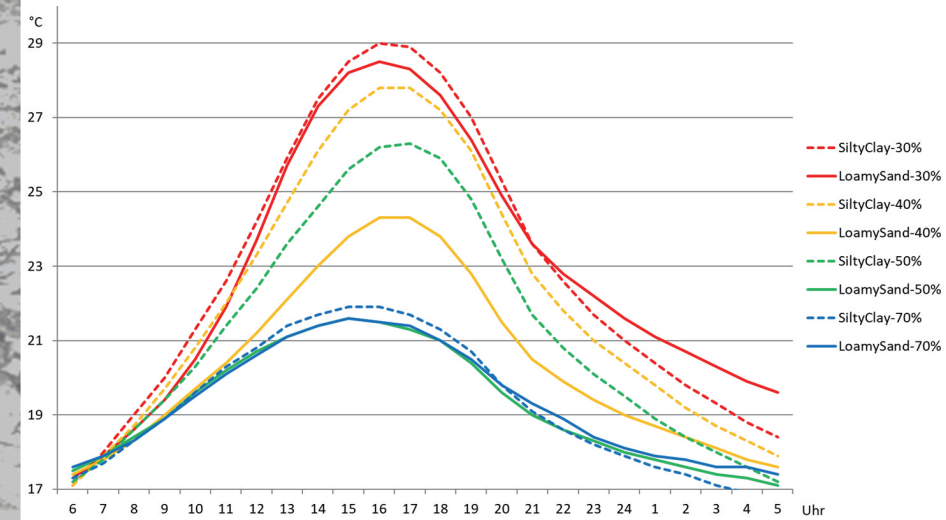


Modellgebiet mit den simulierten Lufttemperaturen in 2 m Höhe für den Boden „SiltyClay - 50 % Bodenfeuchte“ um 2 Uhr nachts

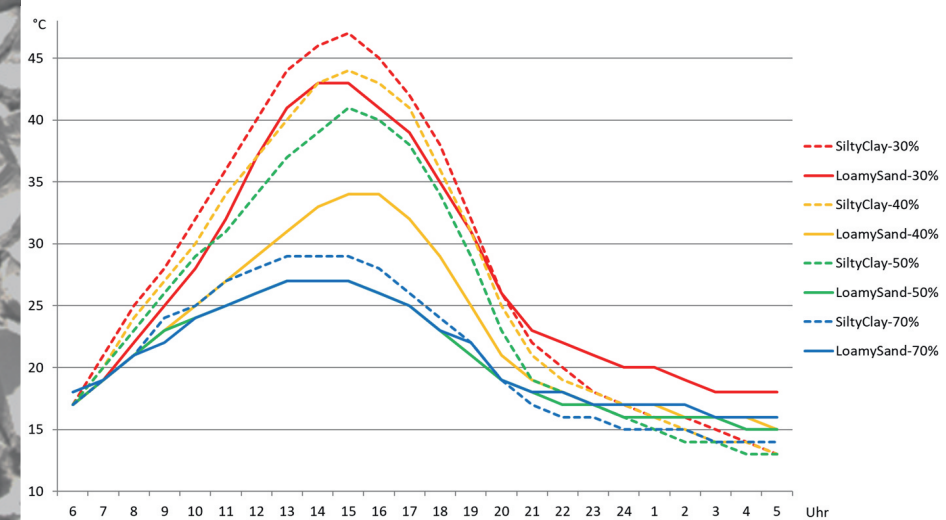


Schon die Erhöhung der Bodenfeuchte um 10 % führt zur Absenkung der Lufttemperaturen in 2 m Höhe um fast 1 °C. Diese Abkühlung setzt sich aufgrund der vorgegebenen Luftströmung aus dem Freiland in die Stadt bis weit in die Bebauung hinein fort.

Simulierte Tagesgänge der Lufttemperaturen (2 m Höhe) über Freiland mit Variationen der Bodenart und Bodenfeuchte



Simulierte Tagesgänge der Oberflächentemperaturen über Freiland mit Variationen der Bodenart und Bodenfeuchte

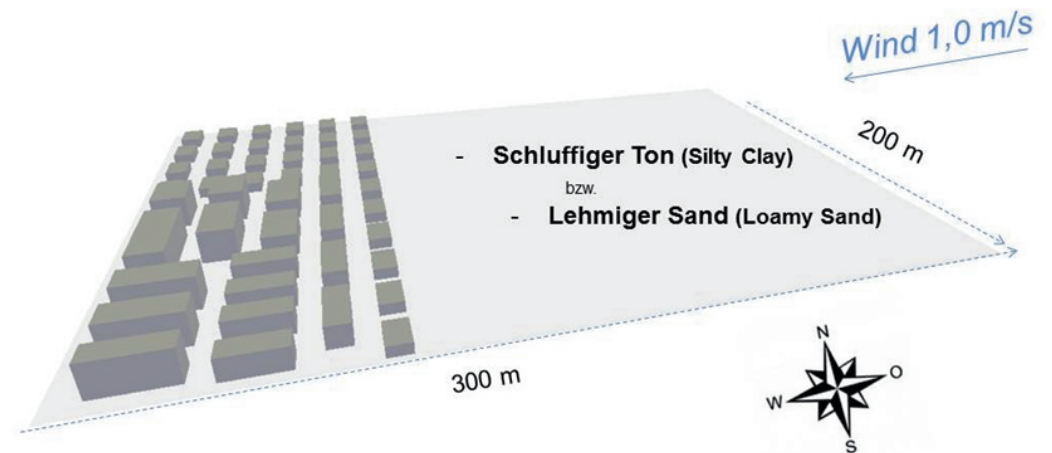


Einsatzmöglichkeit eines mikroskaligen Modells zur Beurteilung des Bodenkühlpotenzials

Um einen Vergleich zwischen verschiedenen Bodenzuständen zu ermöglichen, ist der Einsatz eines mikroskaligen Klimamodells erforderlich. Hierzu wird das Modell **ENVI-met** eingesetzt (www.envi-met.com). Mit diesem mikroskaligen Modell werden die Wechselwirkungen zwischen Boden, Oberflächen, Pflanzen und der Atmosphäre in einer städtischen Umgebung simuliert. Es werden Parameter wie Gebäudeoberflächen, Bodenversiegelungsgrad, Bodeneigenschaften, Vegetation und Sonneneinstrahlung einbezogen. Durch die Wechselwirkungen von Sonne und Schatten sowie die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Materialien (spezifische Wärme, Feuchtegehalt, Reflexionseigenschaften, ...) entwickeln sich im Laufe eines simulierten Tages unterschiedliche Oberflächentemperaturen, die ihrerseits in Abhängigkeit vom Windfeld ihre Wärme mehr oder minder stark an die Luft abgeben. Um Wechselwirkungen zwischen der Vegetation und der Atmosphäre simulieren zu können, wird das physiologische Verhalten der Pflanzen nachgebildet. Hierzu zählt der Wasserdampfaustausch mit der Umwelt oder die Aufnahme von Wasser über die Wurzeln.

Der Einsatz des Modells ENVI-met soll in der Übertragbarkeit auf andere Städte einen wichtigen Beitrag leisten. Durch die Integration neuer Bodenprofile in die Modelldatenbank, insbesondere der Eigenschaften von anthropogen überformten Böden, die aus den Erkenntnissen der Messungen in Neuss resultieren, kann bei der Übertragung der Projektergebnisse auf andere Städte weitgehend auf aufwändige Messungen verzichtet werden und das Kühlspotenzial unter Anwendung des Bausteins „Boden-Atmosphäre-Simulation“ abgeschätzt werden.

Modellierung unterschiedlicher Böden mit veränderter Bodenfeuchte

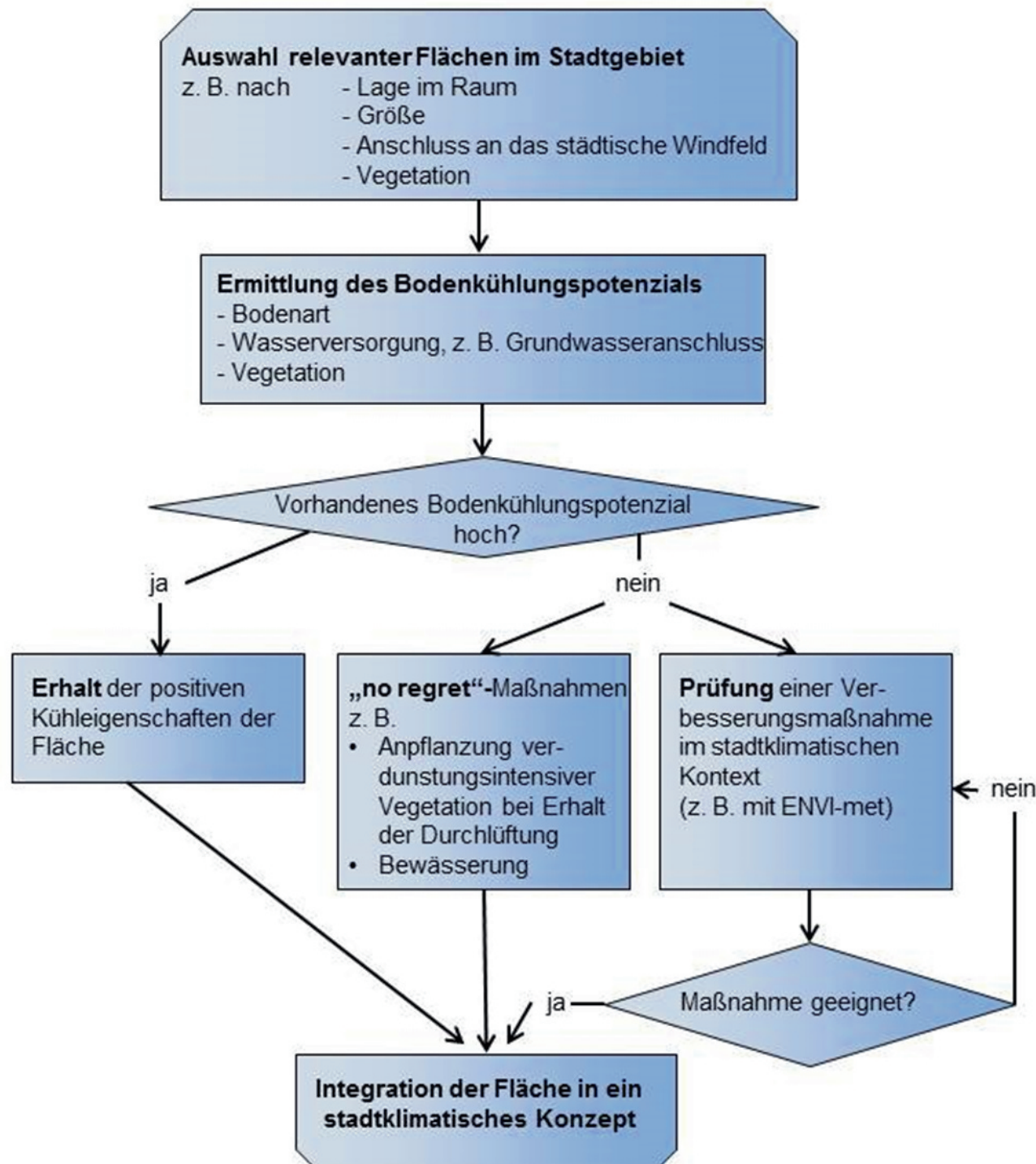


Mit der ENVI-met Modellierung wird die Abhängigkeit zwischen Lufttemperatur, Bodenart und Bodenfeuchtigkeit untersucht. Für die Parametrisierung der bodenphysikalischen Eigenschaften werden Bodenprofile erfasst und Proben für die weiteren Laboruntersuchungen entnommen. Aus den Ergebnissen der Laboruntersuchung wie Feldkapazität, Wasserleitfähigkeit, Matrixpotential und Korngrößenanalyse werden die standortspezifischen thermischen und hydrologischen Eigenschaften der Böden generiert. Diese stehen für die Erweiterung der Modelldatenbank von ENVI-met zur Verfügung. Die Bodenprofile der Testfelder lassen sich somit im Modell abbilden und stellen die Basis für die Vergleichbarkeit mit den Messergebnissen der Boden-Atmosphäre-Messstationen bereit.

Durch einen Vergleich der Messwerte und der Modellergebnisse des ENVI-met für einen gesamten Tagesgang für

- Luft- und Oberflächentemperaturen
- Bodentemperaturen und Bodenfeuchte

soll die Einsatzmöglichkeit eines mikroskaligen Modells zur Beurteilung des Bodenkühlpotenzials beurteilt werden.



Ablaufschema zur Integration potentieller Bodenkühlleistungen in stadtklimatische Konzepte

Erstellung eines „Klimatischen Bodenkonzeptes“ unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels im städtischen Raum

In einem städtischen Bodenkonzept werden die stadtklimatisch relevanten Flächen entsprechend ihrer Stufe der potentiellen Bodenkühlleistung kategorisiert. Es wird anschaulich dargestellt, welche Kühlungseffekte zu erwarten sind und wie weit sie aufgrund der städtebaulichen Situation und den morphologischen und vegetationskundlichen Gegebenheiten (z.B. Rauigkeit der Oberfläche, Exposition, Windrichtung, Lage zwischen Gebäuden und versiegelten Flächen, Vegetation) in die Umgebung hineinwirken können. Dieses Bodenkonzept mündet in eine Festsetzung von im Stadtgebiet ausgewiesenen Schutzzonen, in denen die gute Kühlleistung der vorhandenen Böden und Grüngestaltung erhalten werden muss, und von Sanierungszonen, in denen eine Verbesserung der Kühlleistung durch Veränderung der Bodeneigenschaften erreicht werden muss. Es soll als Grundlage für planerische und politische Entscheidungen dienen. Beispielsweise kann das Bodenkonzept als verbindliche Eingangsgröße in die Freiraumplanung eingehen.

Die Integration des Bausteins „Bodenkühlung“ in kommunale Klimaanpassungskonzepte erfordert eine dreistufige Vorgehensweise:

- Zunächst müssen die Freiflächen im Stadtgebiet bezüglich ihrer Bedeutung für die Abschwächung der städtischen Überwärmung beurteilt werden. Hierbei spielt das übergeordnete Windsystem während austauscharmer Strahlungswetterlagen mit hohen Lufttemperaturen eine Rolle. Ebenso ist die Lage und damit Anbindung der Freiflächen über Luftleitbahnen von großer Bedeutung. Eine wirksame Abschwächung der Hitzebelastung in Städten durch das Kühlungspotenzial von Freiflächen kann nur entstehen, wenn der Luftaustausch zwischen den bebauten und den unversiegelten Stadtgebieten gewährleistet ist.
- Das Kühlungspotenzial der für die Abschwächung der städtischen Überwärmung relevanten Freiflächen kann auf Grundlage der Ausstattung der Freifläche mit Vegetation, des Wasserangebotes sowie der Bodenparameter abgeschätzt werden. Um die Wirkkette „Niederschlag – Bodenparameter – Luft“ beispielhaft zu erfassen, wurden an fünf unterschiedlichen Freilandstandorten in Neuss Klimastationen aufgestellt und die jeweiligen Bodenprofile erfasst.

- In einem dritten Schritt kann die jeweilige Beurteilung des Kühlungspotenzials einer Freifläche dazu führen, dass die Fläche bei guter Beurteilung im Rahmen des Anpassungskonzeptes als Schutzzone ausgewiesen wird. Eine Veränderung, insbesondere Versiegelung sollte in diesem Fall unbedingt vermieden werden. Stadtklimatisch relevante Freiflächen mit einem aktuell geringen Kühlungspotenzial können im Rahmen eines Klimaanpassungskonzeptes mit Verbesserungsmaßnahmen belegt werden. Die kann sowohl die Bodenparameter wie auch die Vegetationsausstattung oder die Wasserversorgung betreffen. Eine Möglichkeit der Überprüfung von Verbesserungsmaßnahmen ist durch die Anwendung eines mikroklimatischen Modells gegeben. Beispielhaft wird die Anwendung des Modells ENVI-met (www.ENVI-met.com) für diesen Zweck vorgeschlagen.

Checkliste für die Datenrecherche und -aufbereitung:

- Eine Verschneidung von Thermalbildern, Bodenkarten, Grundwasserkarten und Nutzungskarten des gesamten Stadtgebietes führt zu einem ersten Bewertungsschema zur potentiellen Bodenkühlleistung von Flächen im Stadtgebiet.
- Aus den bei der Profilaufnahme erfassten Bodeneigenschaften werden die für die Beurteilung der potentiellen Bodenkühlleistung nötigen Parameter abgeleitet
- Berechnete Speicherfüllstände im Verlauf der Vegetationsperiode dienen dazu, standortvergleichend und unter Berücksichtigung der Vegetation das Optimierungspotenzial für Böden zu prüfen.



Planung

Boden

Stadt

Messung

Klima

Modelle
Mensch

Implementierung eines Bodenmanagementsystems zur Verbesserung der Kühlleistung von relevanten Böden im städtischen Raum

Die anzustrebenden Ausgestaltungen der stadtklimatisch relevanten Flächen mit einem Kühlungspotential werden durch ein Bodenmanagementsystem vorgegeben. Hier fließen die Erkenntnisse aus den Testfeldern mit Umsetzung verschiedener (Boden-) Verbesserungsmaßnahmen ein. Die Integration von Bodenverbesserungsmaßnahmen im Hinblick auf die Relevanz zur Klimaanpassung in planerische Prozesse (z. B. Bodenaufwertung als anerkannte Ausgleichsmaßnahme bei Bauprojekten) ist das Ziel des Bodenmanagementsystems. Der Katalog möglicher Ausgleichsmaßnahmen bei Bauprojekten soll durch Maßnahmen zur Verbesserung der Kühlleistung von Böden (Bodenstrukturverbesserung durch Aufbringen von natürlichem Boden, Verbesserung der Durchwurzelung, Bewässerungsmaßnahmen, ...) erweitert werden.

Gerade im urbanen Raum ist von einem hohen Potential zur Optimierung der Bodenkühlleistung auszugehen. Optimierungen werden nach Wirkungswegen kategorisiert (bspw. Boden, Pflanze, Wasserzufuhr), die in weitere Maßnahmen untergliedert sein können.

Mittels mikroskaliger Modellierungen kann geprüft werden, ob die aktuelle oder eine geplante Bebauung die Bodenkühlungseffekte einer Freifläche auch in relevanten Entfernungen darüber hinaus zur Wirkung kommen lässt. Ebenfalls durch Modellierungen kann gezeigt werden, welche Effekte verschiedene, die Bodenkühlleistung verbessernde Maßnahmen auf das Lokalklima haben können.

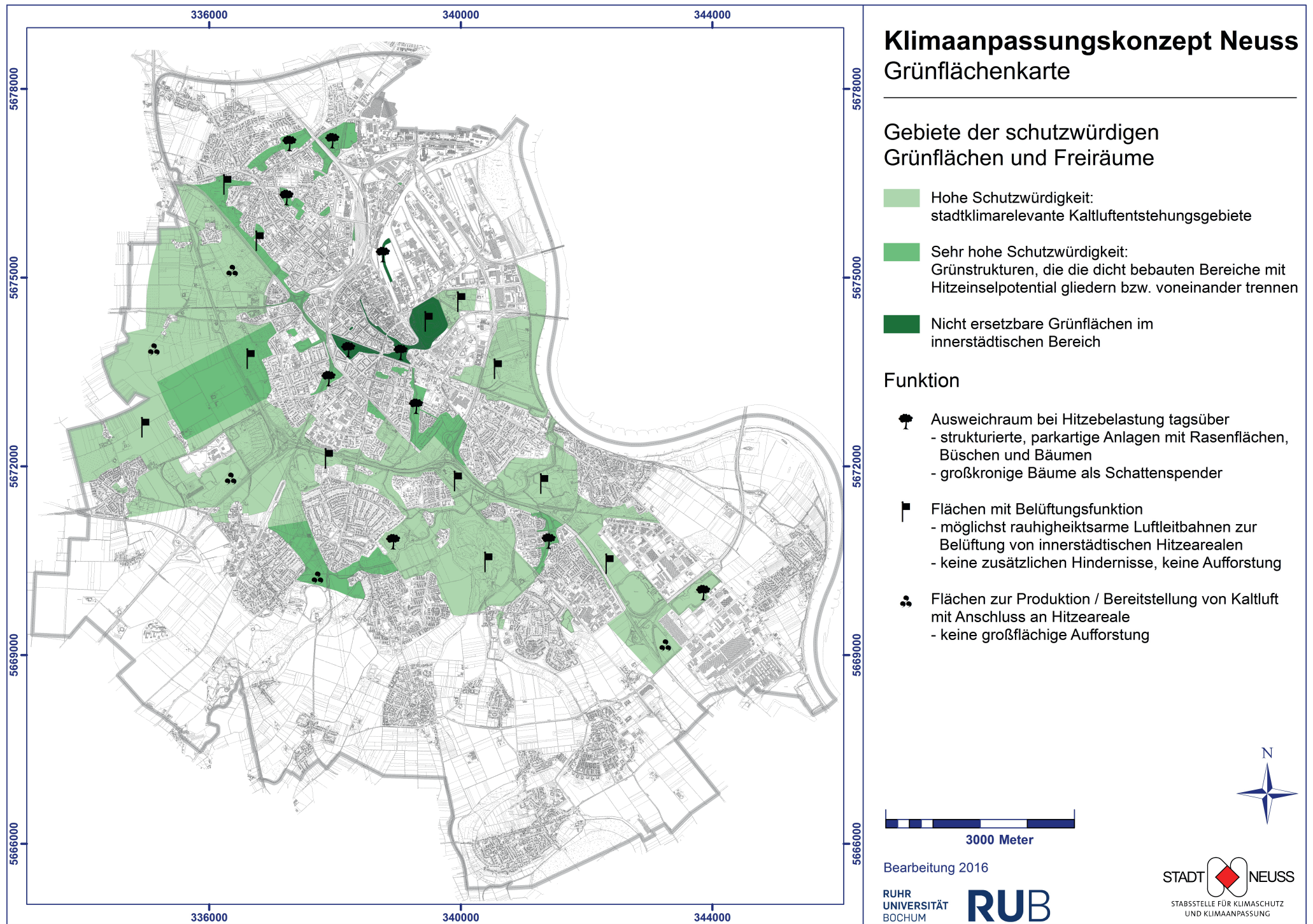
Um ein für die Simulation des Stadtklimas im Mikroskale entwickeltes Modell zur Berechnung von Bodenverbesserungsmaßnahmen und Planungsvarianten heranziehen zu können, wurde im Projekt **StaKliBo** zunächst die Eignung dieses Modells für Fragestellungen zur potenziellen Bodenkühlleistung untersucht. Dazu wurden die an den Klimastationsstandorten aufgenommenen Boden- und Klimaparameter aufbereitet, um sie in das ENVI-met-Modell eingeben zu können. Das mikroskalige Klimamodell ENVI-met verwendet Datenbankdateien, in welchen die grundlegenden Informationen über die Materialeigenschaften, Profilaufbau sowie physiologische Parameter der Vegetation hinterlegt sind. Diese Datenbanken werden durch die aus den Untersuchungen der Bodenprofile hervorgegangenen Informationen und Erkenntnisse erweitert und für Nutzer zur Verfügung gestellt.

Ergänzungen der Datenbanken im Modell ENVI-met zur Anwendung von Fragestellungen der potentiellen Bodenkühlleistungen:

- A) Den Bodenartenuntergruppen der Feinfraktion werden die bekannten hydrologischen und thermodynamischen Parameter zugeordnet. Hierzu wird die Datei **Soils.dat** erweitert. Für jeden Horizont der untersuchten Bodenprofile gibt es einen neuen Datensatz.
- B) Der Profilaufbau wird in der Datei **Profils.dat** vorgenommen. Die in den realen Profilen vorhandenen vertikalen Horizontmächtigkeiten werden annähernd in den konfigurierbaren Tiefen des Klimamodells nachgebildet.
- C) Die Erweiterungen der Vegetationsdatenbank erfolgten in der Datei **Plants.dat**. Falls nötig, werden vegetationsphysiologische Merkmale im Modell neu abgebildet.

Für die Einrichtung eines mikroskaligen Klimamodells zur Berechnung des Bodenkühlpotentials ist es empfehlenswert, einen Experten zu Rate zu ziehen. Die eigentlichen Berechnungen könnten bei entsprechender Erfahrung mit dem ENVI-met-Modell selbst durchgeführt werden.

Eine schrittweise Anleitung zur Bearbeitung einer Fragestellung zum Bodenkühlpotential wird Bestandteil des Bodenmanagementsystems. Diese Anleitung führt von der Aufnahme der Bodenparameter, Integration von Vegetations- und Bebauungsvarianten bis hin zum Vergleich verschiedener Bodenverbesserungsmaßnahmen. Einzelne Schritte können dabei je nach Erfahrung von (städtischen) Mitarbeitern oder von externen Gutachtern bearbeitet werden.



In der Stadt Neuss werden stadtklimatische Belange seit dem Inkrafttreten der städtischen Dienstanweisung zur Durchführung der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) im Jahr 1992 aufgegriffen. Seit Anfang der 2000er werden bei allen Bauleitplänen die klimatischen Belange, so weit möglich, berücksichtigt. Um die stadtklimatischen Belange auch im Hinblick auf den Klimawandel angemessen zu berücksichtigen, hat der Rat der Stadt Neuss 2012 stadtklimatische Leitlinien beschlossen. Diese beruhen auf Planungshinweiskarten aus klimatologischer Sicht.

Durch den Aufbau eines städtischen Bodenbelastungskatasters wurden flächendeckende Aussagen zu Belastungsgrad und Schutzwürdigkeit natürlich gewachsener Böden gewonnen, die das städtische Altlastenkataster ergänzen. Die Integration der digitalen Bodenbelastungskarte und der Bodenfunktionskarte des Rhein-Kreises Neuss (Untere Bodenschutzbehörde) in das städtische Bodenbelastungskataster ermöglichen den Zugriff auf umfangreiche bodenkundliche Daten, welche für die Stadtplanung von hoher Relevanz sind. Die Schutzgüter „Stadtklima“ und „Boden“ sind auch in die 2013 vom Rat der Stadt Neuss beschlossene Karte „Schutzwürdigkeit von Flächen“ eingeflossen. Hier spiegeln sich z.B. auch die Frischluftkorridore und die besonders schutzwürdigen Böden in der Flächenbewertung wieder. Diese Flächenbewertung ist in den Umweltbericht zur FNP-Neuaufstellung in Neuss eingeflossen.

Als Zielsetzung des Projektes „StaKliBo“ wurde formuliert, dass die Folgen des Klimawandels, insbesondere die Zunahme der Hitzebelastung in Städten, verstärkt Berücksichtigung bei der städtebaulichen Planung finden. Auf dieser Grundlage soll der Faktor „klimaausgleichende Wirkung des Bodens“ mit den Schutzgütern Klima und Boden mit fachlich fundierten Ergebnissen im Rahmen der Stadtplanung in die **Abwägung** eingestellt werden. Im Fokus stehen dabei aus Sicht der Umweltplanung besonders der Schutz der menschlichen Gesundheit, die Qualität des Wohnumfelds sowie der Biotop- und Artenschutz.

Die Ausgestaltung bestehender Klimaausgleichsflächen und Ventilations-schneisen sollen im Zusammenspiel zwischen Stadtplanung, Land- und Forstwirtschaft sowie Biotopmanagement betrachtet werden.

Im Rahmen des Projektes „StaKliBo“ wird von einer grundsätzlichen Kühlleistung unversiegelter Flächen ausgegangen, sodass die Sicherung innerstädtischer Grünanlagen und Frischluftschneisen ein wichtiges Ziel für die Stadtplanung darstellt. Das erarbeitete klimatische Bodenkzept und das Bodenmanagementsystem sollen in eine nachhaltige Stadtplanung integriert werden, um den Belangen der Klimaanpassung gerecht zu werden. Das Bodenkzept soll als Grundlage für planerische und politische Entscheidungen dienen und als Eingangsgröße in die Freiraumplanung eingehen.

Ziel des Bodenmanagementsystems ist es, die Bodenverbesserungsmaßnahmen im Hinblick auf die Relevanz zur Klimaanpassung in planerische Prozesse zu integrieren. Dies kann erfolgen, indem zukünftig eine Bodenaufwertung als anerkannte Ausgleichsmaßnahme bei Bauprojekten berücksichtigt wird.

Mit den im Rahmen dieses Projektes gewonnenen Ergebnissen kann das städtische Bodenmanagement „klimaoptimiert“ werden und als weiterer Baustein in Anpassungskonzepten zum Klimawandel integriert werden. Beteiligte Akteure sind hierbei die planenden Fachämter (Umwelt und Stadtgrün, Stadtplanung, Hoch- und Tiefbau, Stadtentwässerung, Liegenschaften), die Landnutzer

sowie NGO's (Naturschutzorganisationen, Agenda 21 u.a.).

Die empirischen Ergebnisse sowie die Methoden des klimatischen Bodenkzeptes und des Bodenmanagementsystems können nicht nur in der Stadt Neuss Anwendung finden, sondern sind übertragbar auf andere Städte. Sie können als Vorbild für die Integration der großen Potentiale von vorhandener oder zu verbessernder Bodenkühlleistung dienen.

Ausblick

Durch das Forschungsprojekt wurde deutlich, dass sich mit der Erfassung der Bodenkühlleistung von Flächen im Stadtgebiet und der Integration der Kühlungspotentiale in die Planungsüberlegungen ein neues Aufgabenfeld im Rahmen einer klimagerechten Stadtentwicklung ergibt. Eine klimaangepasste Stadt verfügt über eine gute Ausstattung mit Grün- und Freiräumen. Diese Flächen sollten, sofern sie eine Anbindung an überwärmte Stadtgebiete ausweisen, entsprechend ihrer Möglichkeiten hinsichtlich der Bodenkühlleistung verbessert werden. Das kann sowohl Bodenverbesserungsmaßnahmen wie auch die Wasserversorgung oder die Vegetationsausstattung betreffen.

Zur Langzeitbeobachtung der Bodenkühlleistungen ist angedacht, eine oder mehrere der Boden-Atmosphäre-Messstationen des Forschungsprojektes auch nach Ende der Laufzeit zu erhalten und weiter zu betreiben. Die Messreihen können zur kontinuierlichen Verbesserung der Modellparameter dienen. Im Projekt konnten nur beispielhaft einige klimatische und bodenphysikalische Situationen untersucht werden, die gesamte Variationsbreite der Kombinationsmöglichkeiten ist noch lange nicht abgedeckt. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Mit einer umfassenden Modelldatenbank können andere Städte ihr Bodenkühlleistungspotenzial und die Wirkung von Verbesserungen ohne eigene langjährige Messaktionen einfach über die Übertragung der Modellergebnisse oder über eigene Modellrechnungen abschätzen. Das Forschungsprojekt soll andere Städte für das Thema der Bodenkühlleistung interessieren und sensibilisieren und einen Baustein für städtische Klimaanpassungskonzepte liefern.

Ergänzende Literatur:

- **Landesamt für Natur, Umwelt, und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2015):** Kühlleistung von Böden – Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte in NRW. LANUV-Arbeitsblatt 29. Recklinghausen.
- **Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2011):** Handbuch Stadtklima. Düsseldorf.
- **Höke, S., Denneborg, M. & Kaufmann-Boll, C. (2011):** Klimabedingte Veränderung des Bodenwasser- und Stoffhaushaltes und der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Emscher. dynaklim-Publikation Nr. 11./September 2011.

Herausgeber:

Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut
Universitätsstraße 150
44801 Bochum
www.rub.de

Stadt Neuss – Stabsstelle für Klimaschutz und Klimaanpassung
Rathaus, Markt 2
41460 Neuss
www.neuss.de

Texte:

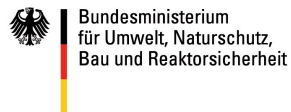
Dr. Monika Steinrücke, Ruhr-Universität Bochum
Steffen Schrödter, Ruhr-Universität Bochum
Denis Ahlemann, Ruhr-Universität Bochum
Peter Hilgers, Stadt Neuss
Elena Plank, Stadt Neuss

Fotos, Abbildungen und Design:

Steffen Schrödter, Ruhr-Universität Bochum
Denis Ahlemann, Ruhr-Universität Bochum

Weitere Auskünfte zum Projekt StaKliBo: www.StaKliBo.net

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

**RUHR
UNIVERSITÄT
BOCHUM**

RUB



