GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover

Tel.: (0511) 3887200
Fax: (0511) 3887201
E-Mail: herrmann@geo-net.de

Das mesoskalige Simulationsmodell FITNAH

1. Allgemeines

Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten meso- (und) mikroskaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse.

Der Großteil praxisnaher umweltmeteorologischer Fragestellungen behandelt einen Raum von der Größenordnung einer Stadt oder einer Region. Die bestimmenden Skalen für die hier relevanten meteorologischen Phänomene haben eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis hin zu Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene müssen diese in die Mikro- und Mesoskala eingeordnet werden. Beispiele für solche mesoskaligen Phänomene sind der Einfluss orographischer Hindernisse auf den Wind wie Kanalisierung und Umströmungseffekte, Land-See-Winde, Flurwinde oder auch Düseneffekte in Straßen, sowie das Phänomen der urbanen Wärmeinsel.

Obwohl die allgemeine Struktur und die physikalischen Ursachen dieser lokalklimatischen Phänomene im Allgemeinen bekannt sind, gibt es nach wie vor noch offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragung auf andere Standorte oder der Sensitivität bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen der mesoskaligen Phänomene und deren unterschiedlichem Erscheinungsbild in komplexem Gelände, was es extrem schwierig macht, mit Hilfe einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung zu erhalten. Mit Hilfe ergänzender Modelluntersuchungen kann dieser Nachteil überwunden werden.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 1988) wurden gerade in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert. Der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist extrem hoch und zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien ein weiteres leistungsfähiges und universell einsetzbares Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in kleinen, stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschaftsausschnitten zur Verfügung.

2. Grundlagen mesoskaliger Modelle

Die Verteilung der lokalklimatisch relevanten Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings immer nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Mesoskalige Modelle wie FITNAH können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechen, die nicht gemessen wurden und Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den unschätzbaren Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert werden können und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

2.1 Grundgleichungen

Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Alle mesoskaligen Modelle basieren daher, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik).

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung der stadtklimatologisch wichtigen Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst (Abb. 1).

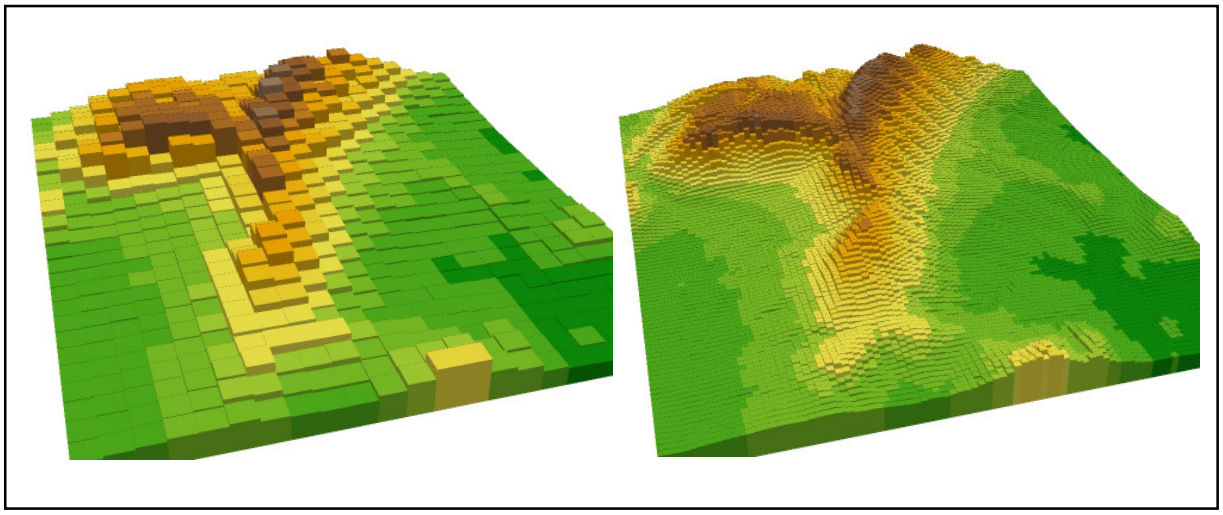

Abb. 1: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalen Geländehöhenmodell

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und an die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden.

2.2 Parametrisierungen

Das mesoskalige Modell FITNAH berechnet alle meteorologischen Variablen als repräsentative Werte für das entsprechende Raster. Mit der Rasterweite wird somit auch die Dimension der räumlich noch auflösbaren Strukturen festgelegt. Typische Rasterweiten sind 50m x 50m bis 1000m x 1000m. Sie decken damit den Maßstabsbereich von 1:20 000 bis 1:100 000 ab. Dies korrespondiert mit der Planungsebene Flächennutzungsplan bzw. Regionalplan. Sind diese Strukturen von ihrer räumlichen Ausprägung her kleiner als die Rasterweite, ist das Modell nicht in der Lage diese zu berechnen (beispielsweise können einzelne Wolken in globalen Klimamodellen nicht berechnet werden). Ist nun aber bekannt, dass solche vom Modell nicht erfassbaren Strukturen relevante Auswirkungen auf die lokalklimatischen Größen haben die berechnet werden sollen, so müssen diese in geeigneter Weise berücksichtigt werden.

Eine Möglichkeit ist dabei die Darstellung der summarischen Effekte der nicht aufgelösten Strukturen durch die vom Modell berechneten Variablen (Parametrisierung). Die beiden wichtigsten Strukturen, die bei stadtklimatischen Fragestellungen berücksichtigt werden müssen, sind einzelne Gebäude und der Baumbestand. Diese sind von ihrer räumlichen Dimension allerdings so klein, dass sie üblicherweise durch das gewählte Rechengitter nicht erfasst werden können und somit parametrisiert werden müssen. In bebautem Gelände stellen sich die einzelnen Gebäude der Strömung in den Weg und verzögern diese. Lokal kann es zwar durch Düseneffekte auch zu einer Beschleunigung des Windes kommen, die summarische Wirkung über eine Rasterzelle mit Gebäuden ist aber eine Verzögerung. Gleichzeitig wird durch die Vielzahl der unterschiedlichen Hindernisse die Turbulenz verstärkt. Auch die Temperaturverteilung wird in starkem Maße modifiziert, da die in die bodennahe Atmosphäre ragenden Baukörper bis zur mittleren Bauhöhe in einem Wärmeaustausch mit der Umgebung stehen.

Diese Effekte können über einen Porositätsansatz berücksichtigt werden. Einzelne Gebäude füllen nur einen Anteil des Volumens aus, welches durch das horizontale Raster und die Anordnung der Rechenflächen in der Vertikalen aufgespannt wird und dieses Verhältnis bestimmt die Porosität. Das Rastervolumen kann folglich nur noch zu einem geringen Anteil durchströmt werden, wobei die Porosität als gleichmäßig verteilt angenommen wird.

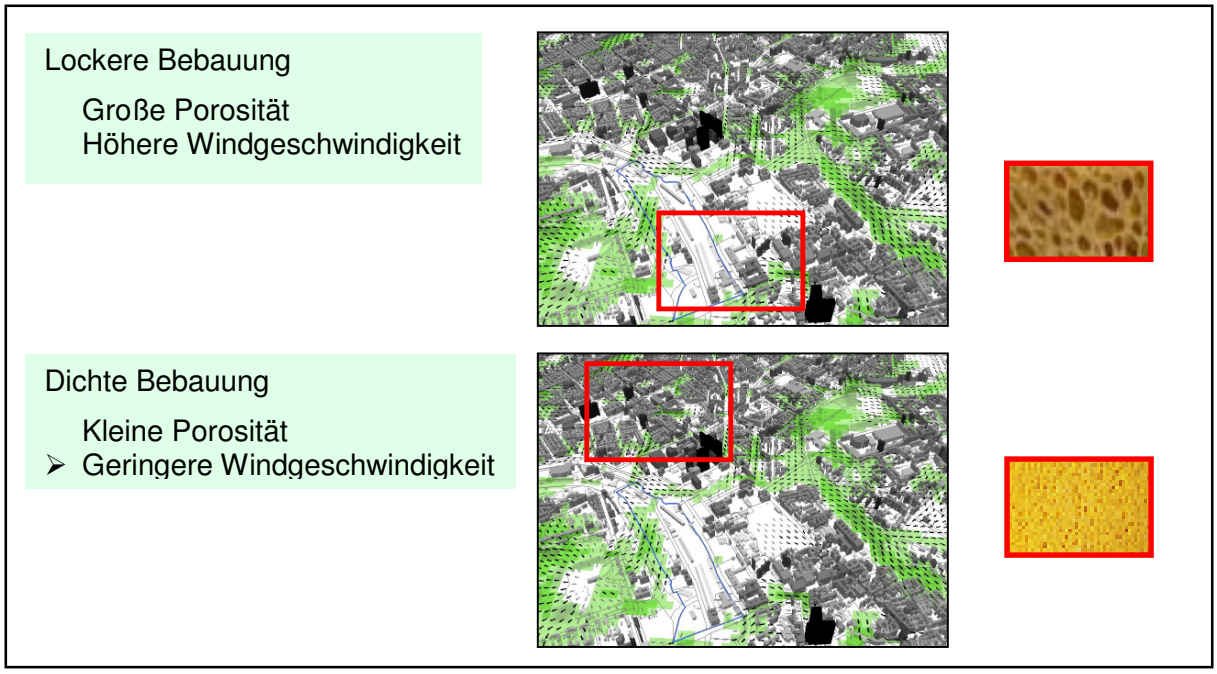

Abb. 2: Einfluss der Bebauungsdichte auf die Strömungsgeschwindigkeit

Eine Strömung ist nur noch in den offenen Poren möglich, was für die mittlere Geschwindigkeit eine deutliche Verzögerung bedeutet. Die Temperatur wird durch die gebäudespezifischen Parameter wie Gebäudehöhe, Überbauungsgrad oder anthropogen Abwärme bestimmt und damit das Temperaturfeld der bodennahen Atmosphäre bis in die mittlere Höhe der Bebauung modifiziert (Grundlagen und Beschreibung: Groß, 1989).

Ein vorhandener Baumbestand kann über die Baumhöhe, die Bestandsdichte und die Baumart charakterisiert werden. Auch diese Bestandsstrukturen sind in der Regel so klein, dass sie nicht vom Raster des Modells aufgelöst werden können und damit parametrisiert werden müssen. Eine solche Parametrisierung muss in der Lage sein, die Windberuhigung im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im oberen Kronenraum und die nächtliche Abkühlung bzw. die mittägliche Erwärmung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit Beobachtungen zu erfassen (Abb. 3).

Bei FITNAH werden zusätzliche Terme in das Gleichungssystem eingeführt, die zum einen über einen Widerstandsterm die Modifizierung des Windfeldes gewährleistet und zum anderen den Strahlungshaushalt im Bereich eines Baumbestandes modifiziert (Grundlagen und Beschreibung: Groß, 1993).

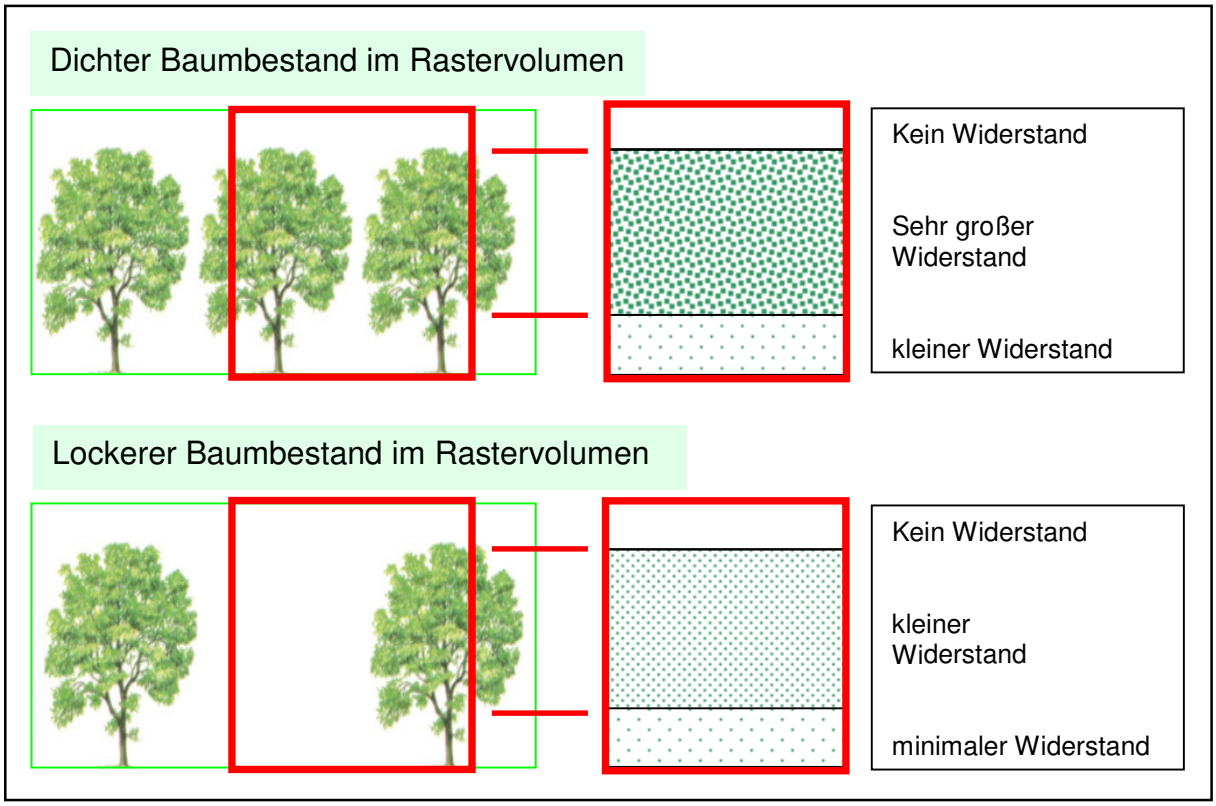

Abb. 3: Einfluss der Vegetation auf die Durchströmbarkeit einer Rasterzelle

Die beschriebenen Parametrisierungen sind geeignet, die aus Beobachtungen her bekannten, charakteristischen Veränderungen der verschiedenen meteorologischen Variablen im Bereich von Städten und Wäldern mit FITNAH zu berechnen. In Abb. 4 sind schematisch die simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt.

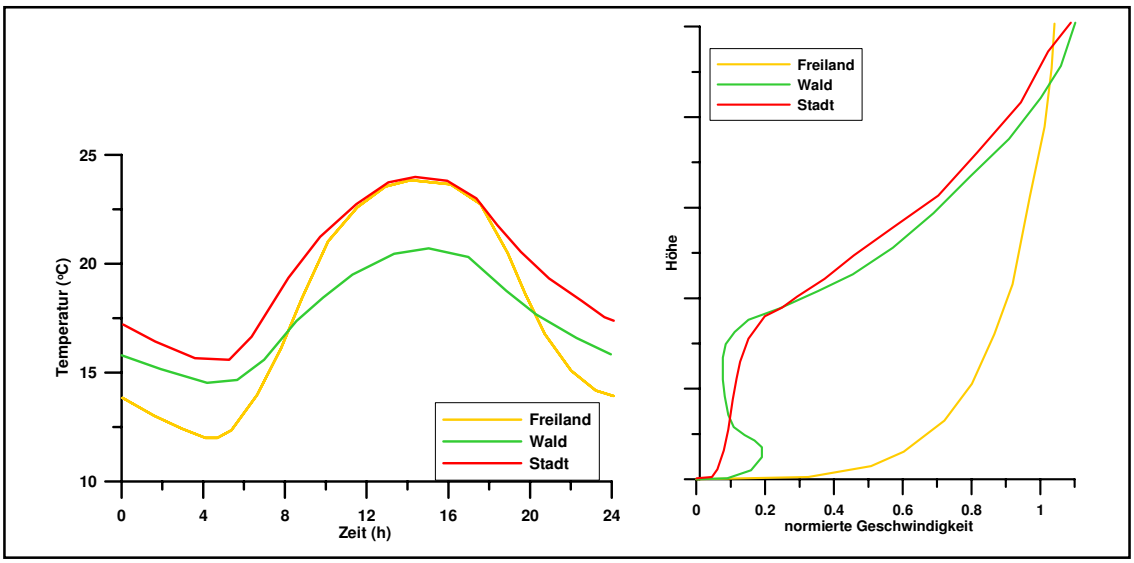

Abb. 4: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen

Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass sowohl Freiflächen wie z.B. Wiesen als auch Bebauung ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen hingegen deutlich geringer ist. Waldflächen nehmen eine vermittelnde Stellung ein. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

2.3 Eingangsdaten

Dem universell einsetzbaren Modell FITNAH müssen zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten bereit gestellt werden (Abb. 5). Diese müssen zum einen die Landschaft charakterisieren für welche die lokalklimatische Studie durchgeführt werden soll und zum anderen auch die größerskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren.

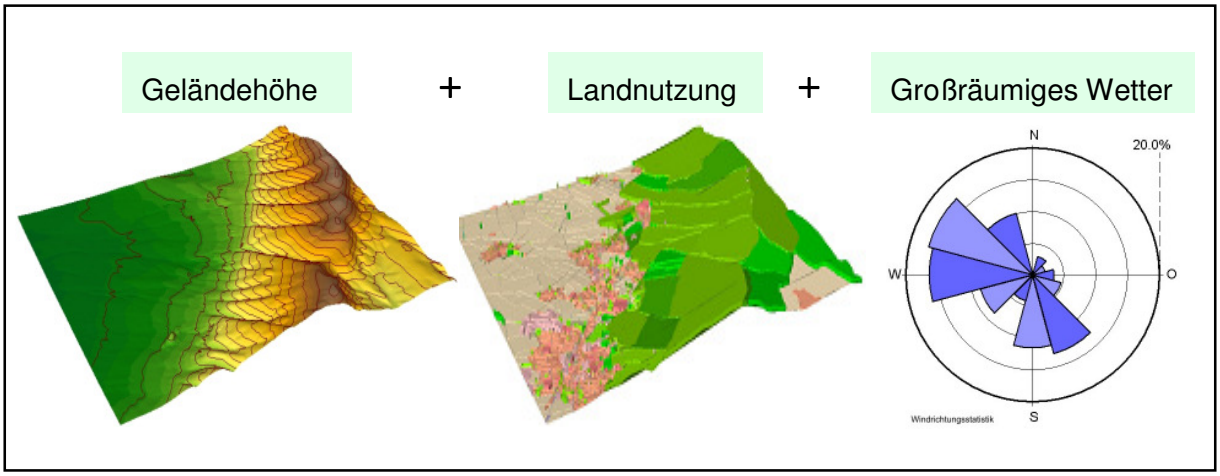

Abb. 5: Eingangsdaten für die Modellrechnung

Alle Eingangsdaten sind jeweils als repräsentativer Wert für eine Rasterzelle bereit zu stellen

- Geländedaten (z.B. Geländehöhe, Neigung, Orientierung)
- Nutzungsdaten (Verteilung der Landnutzung)
  - Bei urbanen Räumen: z.B. Gebäudehöhe, Überbauungsgrad, anthropogene Abwärme, Albedo,.....
  - Bei Bewuchs: z.B. Bestandshöhe, bestandsdichte, Blattflächenverteilung,...
- Wetter-/Klimadaten (z.B. großräumige Anströmungsrichtung und –Geschwindigkeit, Luftmassencharakteristiken wie Temperatur und Feuchte)

3. Anwendungsbeispiele

Das Modell FITNAH ist ein meteorologisches Mesoskalenmodell, das sich in den letzten Jahren in der Praxis bewährt hat. Es erfüllt und übertrifft die in der VDI-Richtlinie 3783 festgelegten Mindestanforderungen an mesoskalige Modelle.

Anhand einer Fülle von Anwendungsbeispielen hat das Modell seine Leistungsfähigkeit zur Berechnung der lokalklimatischen Besonderheiten in komplexem Gelände unter Beweis gestellt. Es wurde dazu verwendet, ein extrem breites Spektrum lokal und regionalklimatologischer Phänomene zu simulieren. Diese Phänomene reichen von der Wanderung von Sanddünen und der Berechung der Schadstoffdeposition auf einzelnen Bäumen bis hin zur Berechnung der komplexen Wind- und Temperaturverhältnisse in einem steilen Alpental. Dabei wurden auch bis dahin völlig unbekannte Phänomene berechnet, die im nachhinein durch Messungen belegt wurden. Kaum ein anderes Modell dieses Typs kann ein derart breites Anwendungsspektrum nachweisen. Nachstehend werden einige Beispiele aus dem Bereich Stadtklima gezeigt.

Kaltluftproduktion und Kaltluftabfluss

Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen kommt es in klaren windschwachen Nächten zur Bildung von Kaltluft, die bei einer vorhandener Geländeneigung in Richtung des Gefälles abfließt. In Abhängigkeit von der Geländeneigung und der Länge des Hanges bilden sich unterschiedlich mächtige Kaltluftabflüsse aus, die in Wechselwirkung miteinander treten und sich zu einem komplexen Kaltluftsystem zusammenschließen. Kommt ein Stadt- oder Industriegebiet in den Genuss eines solchen Kaltluftzuflusses, so kann dieser erheblich zur Belüftung beitragen.

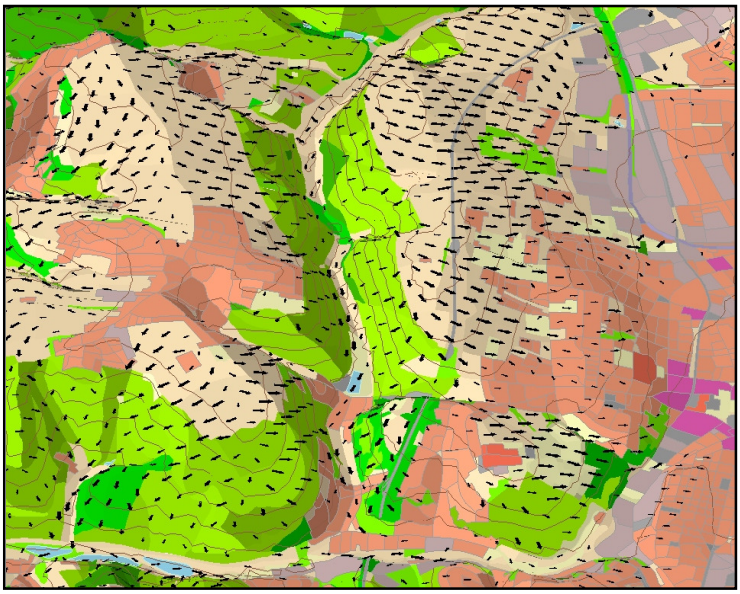

Abb. 6: Kaltluftabflüsse (als Pfeilvektoren) an Hängen mit Bezug zu verdichteten Siedlungsräumen

Die Sicherung wichtiger Kalt-/Frischluftentstehungsgebiete im innerstädtischen Raum und des Umlandes sind vor allem auf Ebene von Landschaftsrahmenplan/Landschaftsplan relevant und ein elementarer Bestandteil von Klimafunktionskarten. Abhängig von den bioklimatischen Belastungen in angrenzenden Siedlungsräumen lassen sich für diese als auch für jede Freifläche entsprechende planerische Prioritäten und Hinweise zuordnen.

Wärmebelastung, Hitzestress

In den Sommermonaten und zur Mittagszeit können sich aufgrund hoher Temperaturen ungünstige thermische Umweltbedingungen für den Menschen einstellen. Diese Situation wird durch die städtische Wärmeinsel noch modifiziert und dies führt oftmals zu einer verstärkten Wärmebelastung der Bewohner. Die Abgrenzung innerstädtischer Gebiete mit Diskomfort und Hitzestress kann über objektive Maßzahlen wie den PMV-Wert oder die gefühlte

Temperatur mit dem Modell FITNAH berechnet werden. Die Darstellung der bioklimatischen Belastungen im Siedlungsraum ist ein weiterer wichtiger Aspekt von Klimafunktions- und Planungskarten, welche meist auf der Stufe von Landschaftsrahmenplan/Landschaftsplan angesiedelt sind. Die Abgrenzung des Siedlungsraumes in günstige und ungünstige Bereiche ist Grundlage für die Einordnung in Planungshinweiskarten. Die Untersuchungsräume können aber auch über einzelne Gemeinden und Städte hinaus auf Metropolregionsebene ausgedehnt werden.

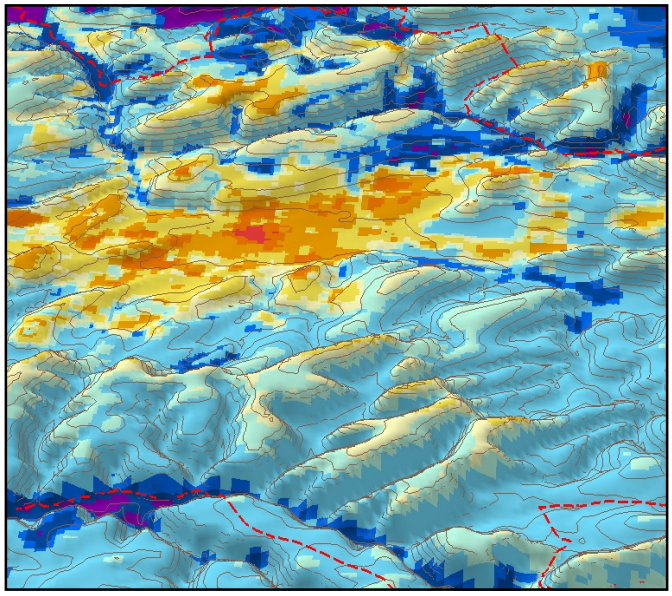

Abb. 7: Wärmebelastung in einem städtischen Raum sowie dem nahen Umland (rot/orange: hoch; blau: gering)

Klimawandel

Aus regionalen Klimaszenarienrechnungen liegen Erkenntnisse zu den Veränderungen der meteorologischen Bedingungen für größere Landschaftsräume vor. Diese können als neue Wetter/Klima Eingangsdaten verwendet werden, um im Rahmen von Szenarienrechnungen auch die stadtklimatischen Veränderungen bei einem Klimawandel abzuschätzen. Auf diese Weise können besonders sensible Bereiche im Bereich einer Stadt identifiziert und mögliche negative Auswirkungen durch stadtplanerische Maßnahmen minimiert werden.

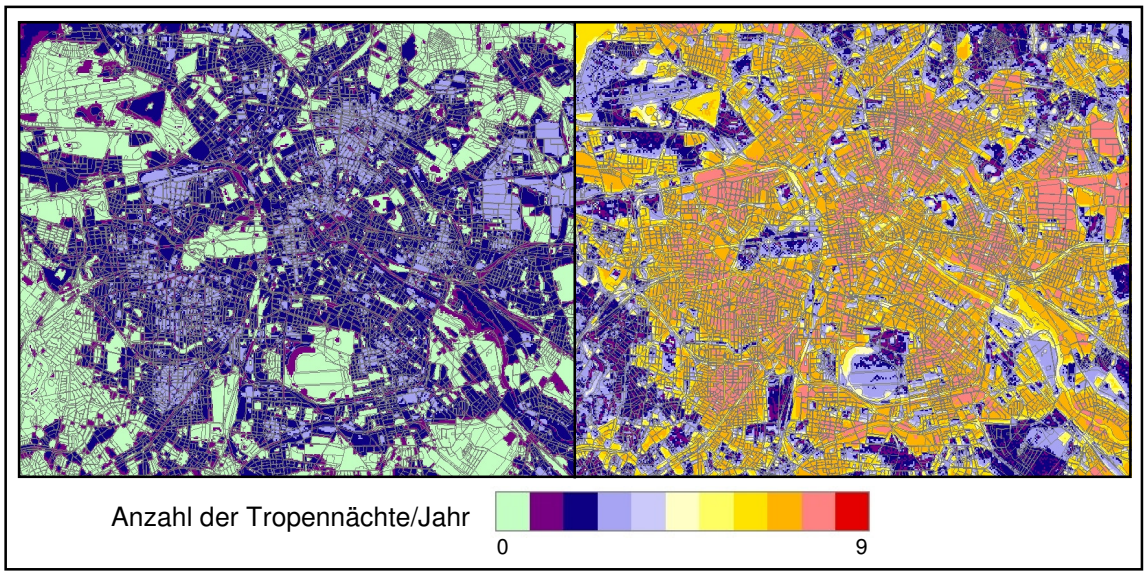

Abb. 8: Anzahl der Tropennächte für die Zeitschnitte 2001 bis 2010 (links) und 2090 bis 2099 (rechts) in einem städtischen Raum

Diese Methode ergänzt die Analyse der klimaökologischen Funktionszusammenhänge für die heutige Situation und ermöglicht die fundierte Integration des Themas „Klimawandel“ in die (kommunale) Umweltplanung. Damit lassen sich die möglichen Spektren von Nutzungsoptionen im urbanen Bereich simulieren und bei Vorgabe von zu erreichenden Zielgrößen eine optimale, an den Klimawandel angepasste Stadtstruktur ermitteln.

Nächtliche Flurwinde

Stadtbereiche und Industriegebiete weisen in den Nachtstunden eine höhere Temperatur auf als die umgebende Flur (Wärmeinsel). Daraus resultiert selbst in ebenem Gelände eine Luftzirkulation, die eine Strömung aus der kalten Umgebung zu den wärmeren urbanen Arealen zur Folge hat. Diese Flurwinde sind vertikal nicht sehr mächtig und ihre Strömungsgeschwindigkeit ist gering, trotzdem können sie zu einer merklichen Belüftung der Umgebung beitragen (z.B. Stadtrandgebiete, innerstädtische Grünzonen).

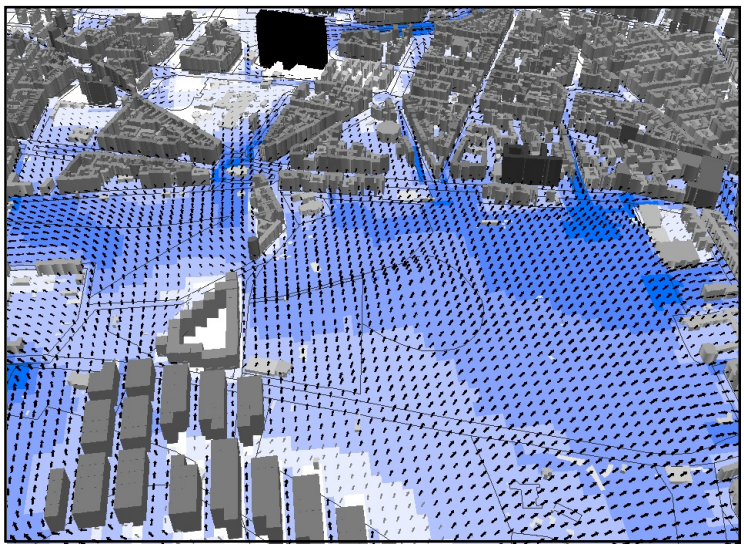

Abb. 9: Einfluss von Baukörpern auf nächtliche Flurwinde

Diese Analysen sind meist auf Stadtteilebene im Bereich der Bauleitplanung angesiedelt. Sie zielen ab auf die Sicherung und Verbesserung der Durchlässigkeit und Eintrittsmöglichkeit von Kaltluft in die an innerstädtische Freiflächen angrenzende Bebauung. In der Regel werden die stadtklimatischen Prozesse mit einer höheren Rasterauflösung als auf Ebene von Landschaftsrahmenplan/ Landschaftsplan modelliert, da nicht mehr die gesamte Stadt sondern Stadtteile und –Quartiere im Mittelpunkt stehen.

Nutzungsänderungen

Mit Hilfe von FITNAH ist man in der Lage, die lokalklimatischen Auswirkungen verschiedener Nutzungsszenarien (z.B. heutiger Zustand, Planungsvarianten) zu berechnen und durch Vergleich der Ergebnisse Rückschlüsse auf mögliche Veränderungen der meteorologischen Variablen zu ziehen. Damit ist man schon im Planungsstadium vorgesehener Nutzungsänderungen in der Lage, mögliche unerwünschte oder gar negative Auswirkungen zu erkennen und durch Veränderungen der Planungsszenarien optimierte Lösungen zu erarbeiten.

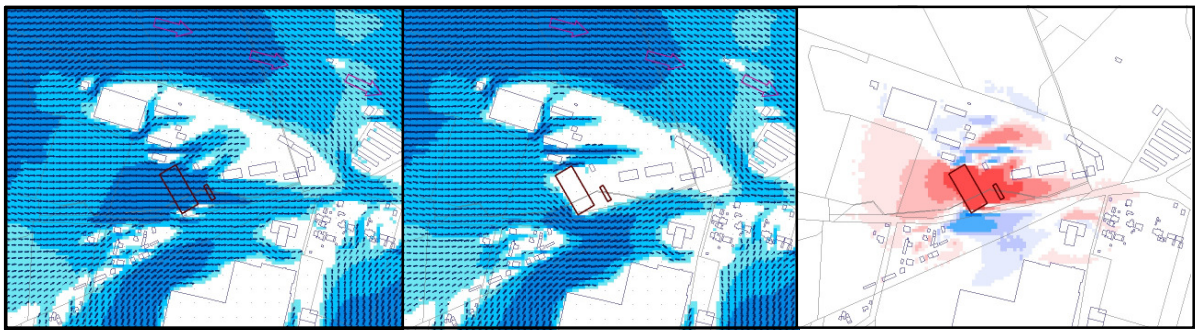

Abb. 10: Veränderung der Kaltluftströmung durch den geplanten Bau einer Lagerhalle sowie die daraus resultierenden Geschwindigkeitsveränderungen (Differenz Plan-Istzustand - rot: Abnahmen; blau: Zunahmen)

Wenngleich diese Analysemethode auch auf B-Plan-Ebene abzielt, steht hier der einzelne Baukörper sowie dessen näheres Umfeld im Blickpunkt. Dabei können z.B. die Auswirkungen einer Bebauung auf eine Kalt-/Frischluftleitbahn ermittelt werden (vgl. Abb. 10).

Luftqualität

Mesoskalige Simulationsmodelle berechnen die räumliche und zeitliche Verteilung von Wind und Turbulenz in einer Stadt einschließlich dem Umland. Sind die Emissionen bestimmter Luftschadstoffe bekannt, so kann über eine Ausbreitungsrechnung die Schadstoffbelastung simuliert und die Gebiete mit Grenzwertüberschreitungen identifiziert werden.

Ausbreitungsrechnungen sind für alle Planungs- und Maßstabsebenen relevant. Untersuchungsgegenstand sind neben Punktquellen wie Industriebetriebe auch die großräumige Analyse des Hauptstraßennetzes in Städten und Regionen oder kleinräumig z.B. im Umfeld von geplanten Gewerbegebieten oder Einkaufszentren.

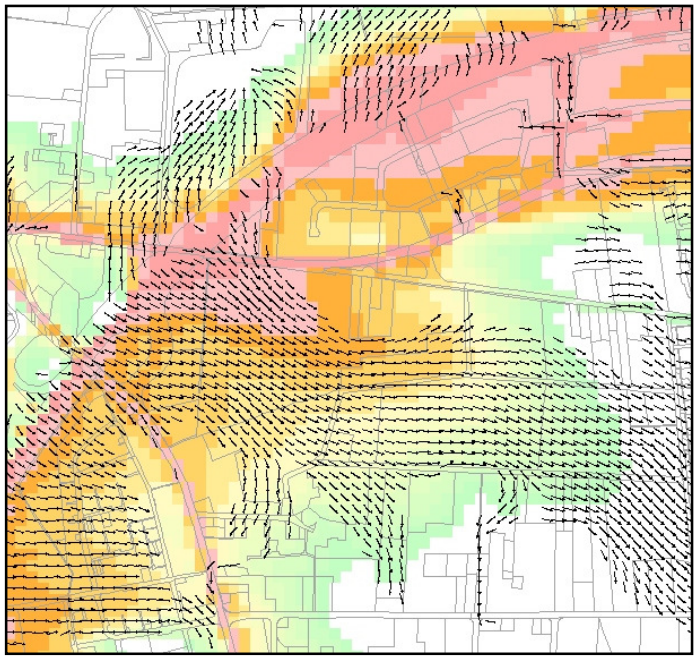

Abb. 11: Immissionssituation mit autochthonem Strömungsfeld im Umfeld einer Schnellstraße (rot: hohe NO_2-Konzentration)

4. Planerische Inwertsetzung der Modellergebnisse

Das Schutzgut Klima/Luft ist ein wichtiger Aspekt der räumlichen Planung und Bestandteil der Abwägung bei der Bauleitplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung. Vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele ist das Vorliegen flächenbezogener Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zur sachgerechten Beurteilung dieses Schutzgutes.

Die mit der Anwendung des Klimamodells FITNAH gewonnenen Ergebnisse der Klimaanalyse führen zu einer umfassenden Bestandsaufnahme der klimatisch-lufthygienischen Situation in einem Untersuchungsraum. Das Ziel ist die unterschiedlichen Teilflächen einer Stadt nach ihren klimatischen Funktionen, d.h. ihrer Wirkungen auf andere Räume, abzugrenzen.

Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen des Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges in Form einer *Klimafunktionskarte*. Die Vorteile des modellgestützten Ansatzes ergeben sich aus der Bereitstellung flächendeckender Quantitäten verschiedener Parameter zum Kaltlufthaushalt, wobei auch der dynamische Aspekt im Klimahaushalt ausreichend berücksichtigt wird. Die Umsetzung in raumspezifische klima- und immissionsökologische Qualitätsziele mündet in der Forderung nach Handlungsempfehlungen. Daher werden in einem weiteren Schritt die Empfindlichkeiten dieser Funktionen gegenüber strukturellen Veränderungen bewertet und in Form einer digitalen *Planungshinweiskarte* dargestellt.

Grundlage für die Ermittlung der bioklimatischen Belastung eines *Siedlungsraumes* ist der Bewertungsindex PMV (Predicted Mean Vote) als Maß für die nächtliche Wärmebelastung. Aus der Z-Transformation des PMV-Ergebnisrasters werden die bioklimatischen Belastungsklassen abgeleitet (vgl. VDI-Richtlinie 3785). Für die planerische Einordnung von *Grünflächen* ist vor allem die Lage im Raum entscheidend und damit die bioklimatische Belastung der angrenzenden Bebauung.

Mit der konkreten Zuordnung *planungsrelevanter Aussagen* zu den wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen wie z.B. Kaltluftentstehungsflächen, Luftleitbahnen und Komforträume, können einerseits diese in ihrem Bestand gesichert und vor negativen Einflüssen geschützt werden. Andererseits werden Belastungsräume mit einem Mangel an Durchlüftung und/oder lufthygienischer Belastung identifiziert. Unter Berücksichtigung von Planungsebene und Fragestellung werden die Ergebnisse als Karten in unterschiedlicher räumlicher Auflösung dargestellt (vgl. Tab. 1).

Planungsebene	Planungsmaßstab	Fragestellung	Eingesetzte Methode
Regionales Raumordnungsprogramm (RROP) Landschaftsrahmenplan	1:100.000 bis 1:50.000	**Klimafunktionen** ➢ Kaltluftlieferung von Freiflächen ➢ Bioklimatische Belastung in den Siedlungsräumen ➢ Funktion von Kaltluftleitbahnen ➢ Immissionssituation ↓ **Planungshinweise Stadtklima**	Modellierung verschiedener meteorologischer Felder für eine austauscharme Strahlungswetternacht mit dem mesoskaligen Klimamodell FITNAH. Immissionsmodellierung z.B. für verkehrsbedingte Schadstoffe mit FITNAH
Vorbereitende Bauleitplanung: Flächennutzungsplan Landschaftsplan	1:20.000 bis 1:5.000	optional: **Berücksichtigung des Klimawandels in der Stadtplanung** ➢ Ermittlung der sommerlichen Belastungssituation für einzelne Klimawandelszenarien ➢ Ausweisung von besonders sensiblen Bereichen ➢ Simulation von möglichen Nutzungsoptionen ➢ Entwicklung einer an den Klimawandel angepassten Stadtstruktur	Nutzung der globalen und regionalen Klimaszenarienrechnungen (z.B. REMO, CLM) als „Antrieb“. Die Modellierung der lokalen (Wärme-) Belastung im Siedlungsraum erfolgt mit dem Klimamodell FITNAH.
Verbindliche Bauleitplanung: Bebauungsplan Grünordnungsplan	1:5000 bis 1:500	➢ Hinderniswirkung von Gebäudekomplexen und größeren Einzelgebäuden wie Lagerhallen (z.B. auf Kaltluftleitbahnen) ➢ Reduktion der Reichweite von Ausgleichsströmungen ➢ Lufthygienische Belastungen (z.B. durch Ziel/Quellverkehre eines Einkaufszentrums)	Klimamodell FITNAH; mikroskalige Ausbreitungsmodelle ASMUS, LASAT; AUSTAL & MISKAM; Vergleich von Ist-Zustand und Planungsszenario

Tab. 1: Maßstabsebenen und mögliche Fragestellungen für stadtklimatische Untersuchungen