

Das numerische Simulationsmodell FITNAH

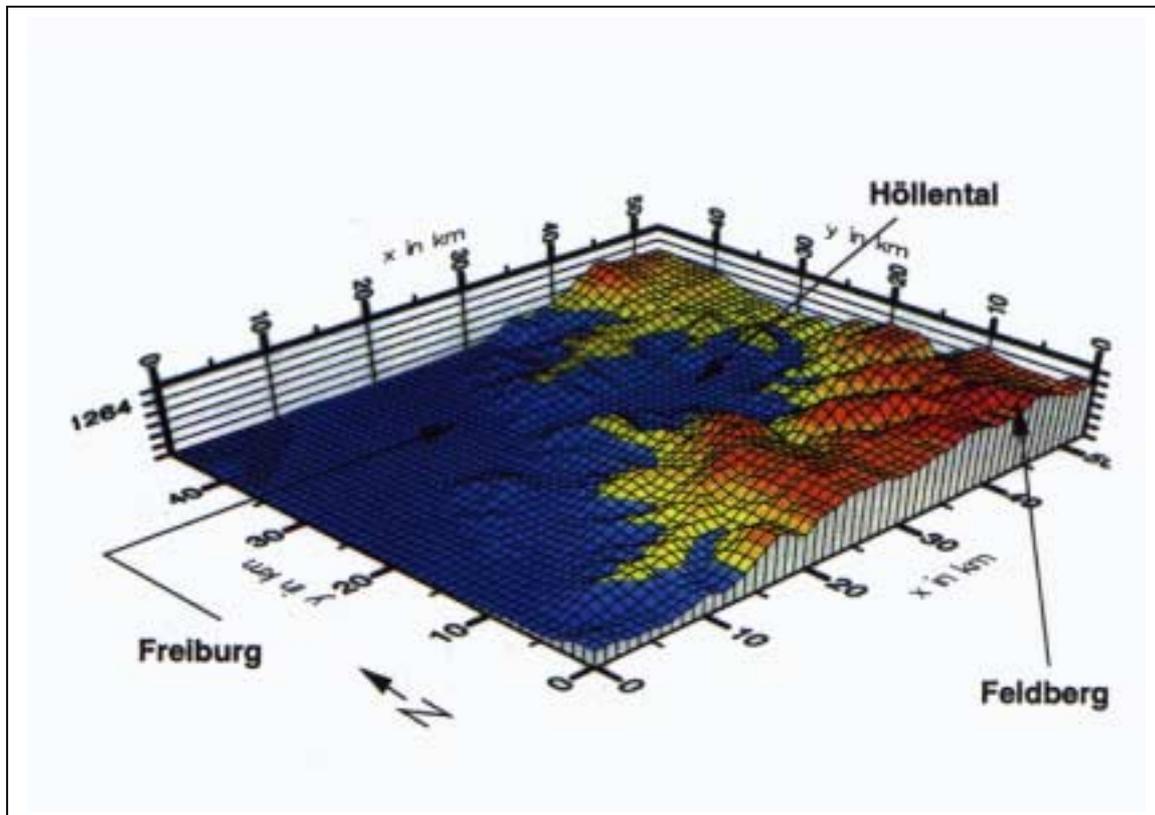


Abbildung 1: Beispiel für die Wiedergabe einer Naturlandschaft im Modellgebietsraster.

Ziele und Konzept des Modells FITNAH

Das wesentliche Ziel von Untersuchungen mit **FITNAH** (**F**low Over **I**rrregular **T**errain With **N**atural And **A**nthropogenic **H**eat Sources) besteht darin, die Veränderung der klimatischen Verhältnisse, die sich z.B. durch eine Bebauung ergeben, zu prognostizieren.

Dies sind zum einen die Wind- bzw. Strömungsverhältnisse, aus deren Auftreten und Ausbleiben, aber auch aus deren Modifikation (Kanalisation, Beschleunigung, Umlenkung) wichtige Schlüsse auf die Belüftungssituation gezogen werden können.

Weiterhin sind Temperatur-, Energie- und Feuchtehaushalt wichtige Parameter zur Beurteilung mikroklimatischer Veränderungen. Aus den ermittelten physikalischen Größen lassen sich Aussagen über den gegenwärtigen Zustand und die zu erwartende Änderung der Wohnqualität und des lokalen Klimakomforts für Bürger und Anwohner ableiten.

Basiskonzeption des Modells FITNAH

Das Modell FITNAH berechnet meteorologische Größen auf einem dreidimensionalen Gitternetz. In der Horizontalen handelt es sich um ein äquidistantes Gitter. Maschenweiten zwischen 50 m und 10 km sind dabei möglich. Vertikal wird die Maschenweite üblicherweise gestreckt: Von 3 m Abstand in Bodennähe bis zu einigen 100 m in Höhen oberhalb 5.000 m.

Es werden Bilanzgleichungen für Temperatur, Feuchte und Turbulenzenergie berechnet. Die Strömung, dargestellt als Windvektor mit Komponenten in alle 3 Raumrichtungen, wird durch ein dynamisches Gleichungssystem berücksichtigt. Das bedeutet, dass zahlreiche Effekte, die Einfluss auf die Strömung haben, durch die verwendeten Gleichungen darstellbar sind:

- Antrieb durch Luftdruckunterschiede
- Antrieb durch veränderte Windverhältnisse stromaufwärts
- Antrieb durch vertikale und horizontale Temperaturunterschiede
- Einfluss von Turbulenz auf die Strömung
- Einfluss von Geländeformen auf die Strömung (Kanalisation, Beschleunigung, Umlenkung)
- Einfluss von Bebauung und Bewuchs auf die Strömung

Für die Untersuchung in gegliedertem Gelände in Ballungsräumen ist das gleichzeitige Auftreten und die Überlagerung von Flurwindssystemen und Kaltluftabflüssen von entscheidender Bedeutung für die Ausbildung von Strömungssystemen, die den Stadtbereich mit Frischluft aus dem Umland versorgen. Da häufig aufgrund des nur sanft geneigten Reliefs keine der beiden meteorologischen Prozesse a priori als dominierend bezeichnet werden kann, ist die Verwendung eines Simulationsmodells, das beide Phänomene parallel berechnet, dringend geboten.

Mit dem Modell FITNAH steht ein Modell zur Verfügung, das diese Anforderung erfüllt. Es berechnet die Produktion von Kaltluft über den Freiflächen über eine Energiebilanz am Erdboden und die sukzessive Abkühlung der darüber liegenden Luft und benötigt keine Vorgabe einer Kaltluftproduktionsrate.

Die Wärmeabstrahlung von Gebäuden und Industriekomplexen wird, wenn nicht Messdaten vorliegen, gemäß der Bebauungscharakteristik vorgegeben und als Quellterm in der Temperaturbilanzgleichung sowohl des Bodens als auch der bodennahen Luftschichten mit berechnet. Unter Berücksichtigung vieler weiterer Prozesse, die einen Einfluss auf die Temperatur haben, stellt sich so modellintern eine Gleichgewichtstemperatur ein, die in Stadtbereichen höher liegt als im Umland und daher den Antrieb für die Flurwinde darstellt.

Da das Modell eine Strahlungsnacht in Zeitschritten von typischerweise¹⁾ 2 bis 10 Sekunden berechnet (d.h. für diese Zeitintervalle werden alle meteorologisch relevanten Größen immer wieder neu berechnet), können beide Effekte parallel und gekoppelt im Modell ablaufen und die übrigen Größen, z.B. die Strömung, sich entsprechend einstellen.

Modelle, die routinemäßig vor 10 bis 20 Jahren eingesetzt wurden, konnten diese komplexen Überlagerungen nicht berechnen. Zwar waren die physikalischen Hintergründe bekannt, die zur Verfügung stehenden Rechenleistungen reichten jedoch bei weitem nicht aus.

¹⁾: Bei der verwendeten Maschenweite von 50 m horizontal und 3 m vertikal

Meteorologische Prozesse, die mit FITNAH berechnet werden können

Das Modell FITNAH ist im Gegensatz zu Modellen, die in den späten 80er und frühen 90er Jahren routinemäßig eingesetzt wurden in der Lage, die komplexen, nicht additiven Wechselwirkungen und Überlagerungen verschiedener mikroklimatischer Prozesse zu berechnen.

Folgende Phänomene sind beispielsweise für die Untersuchungen in gegliedertem Gelände von großer Bedeutung:

Nächtliche Flurwinde: Aufgrund der Abgabe von anthropogen erzeugter Wärme in Stadtbereichen und Industriegebieten kommt es zu einer Temperaturerhöhung (Wärmeinsel). Bei gleichzeitiger Abkühlung der Luft über Freiflächen in der Umgebung kommt es selbst in ebenem Gelände zum Aufbau einer Luftzirkulation, die eine Strömung aus der Umgebung zu den wärmeren Stadtgebieten zur Folge hat.

Kaltluftproduktion und -abfluss: Auf den umliegenden landwirtschaftlich genutzten Flächen kommt es aufgrund der negativen Strahlungsbilanz in klaren, windschwachen Nächten zur Produktion von Kaltluft, die bei vorhandenen Geländeneigungen mit dem Gefälle abfließt. Die Kaltluftabflüsse mehrerer Hänge vereinigen sich mitunter zu komplexen Kaltluftsystemen. Kommt ein Stadt- oder Industriegebiet in den Genuss eines solchen Kaltluftzuflusses, so kann dieser erheblich zur Belüftung beitragen.

Strömungsbeeinflussung durch Bewuchs und Bebauung: Oberflächenelemente wie Waldstücke und Bebauungsareale haben einen deutlichen Einfluss auf Strömung, Wärme- und Feuchtehaushalt. Neben der unmittelbaren Bremswirkung auf die Strömung kann es dabei auch im Lee solcher Strukturen noch zu deutlich geminderten Windgeschwindigkeiten kommen. Selbst Feinstrukturen wie ein erstes Geschwindigkeitsmaximum im unteren Stammbereich eines Laubwaldes lassen sich durch die Erfassung dieser Strukturen im Modell FITNAH darstellen. Beschleunigung und Umlenkung innerhalb von Bebauungsstrukturen können, bei geeigneter horizontaler Auflösung, ebenfalls berechnet werden.

Veränderung von Temperatur- und Feuchtehaushalt: Bei Umwandlung von Wiesen und Freiflächen in bebauten Gelände, generell die Versiegelung von Landschaftsräumen führt zu Veränderungen im Temperatur- und Feuchtehaushalt. Diese Veränderungen können sich negativ auf den Wohnkomfort und die empfundene Luftqualität auswirken.

Viele ältere Modellansätze widmeten sich der ausschließlichen Simulation eines dieser genannten Phänomene. In der Natur beobachtet man das isolierte Auftreten des einzelnen Phänomens allerdings höchst selten. So treten z.B. Kaltluftabflüsse in der Regel kombiniert mit Flurwind-Effekten auf. In extrem steilem Gelände sind die Kaltluftabflüsse sicherlich dominierend, und eine Betrachtung des Einzelphänomens kann gerechtfertigt sein. In flacher geneigten Arealen hingegen kann nur die kombinierte Betrachtung beider meteorologischer Prozesse zu realistischen Ergebnissen führen. Hierzu ist nur die z.B. im Modell FITNAH umgesetzte komplexe und vollständige Modellphysik in der Lage.

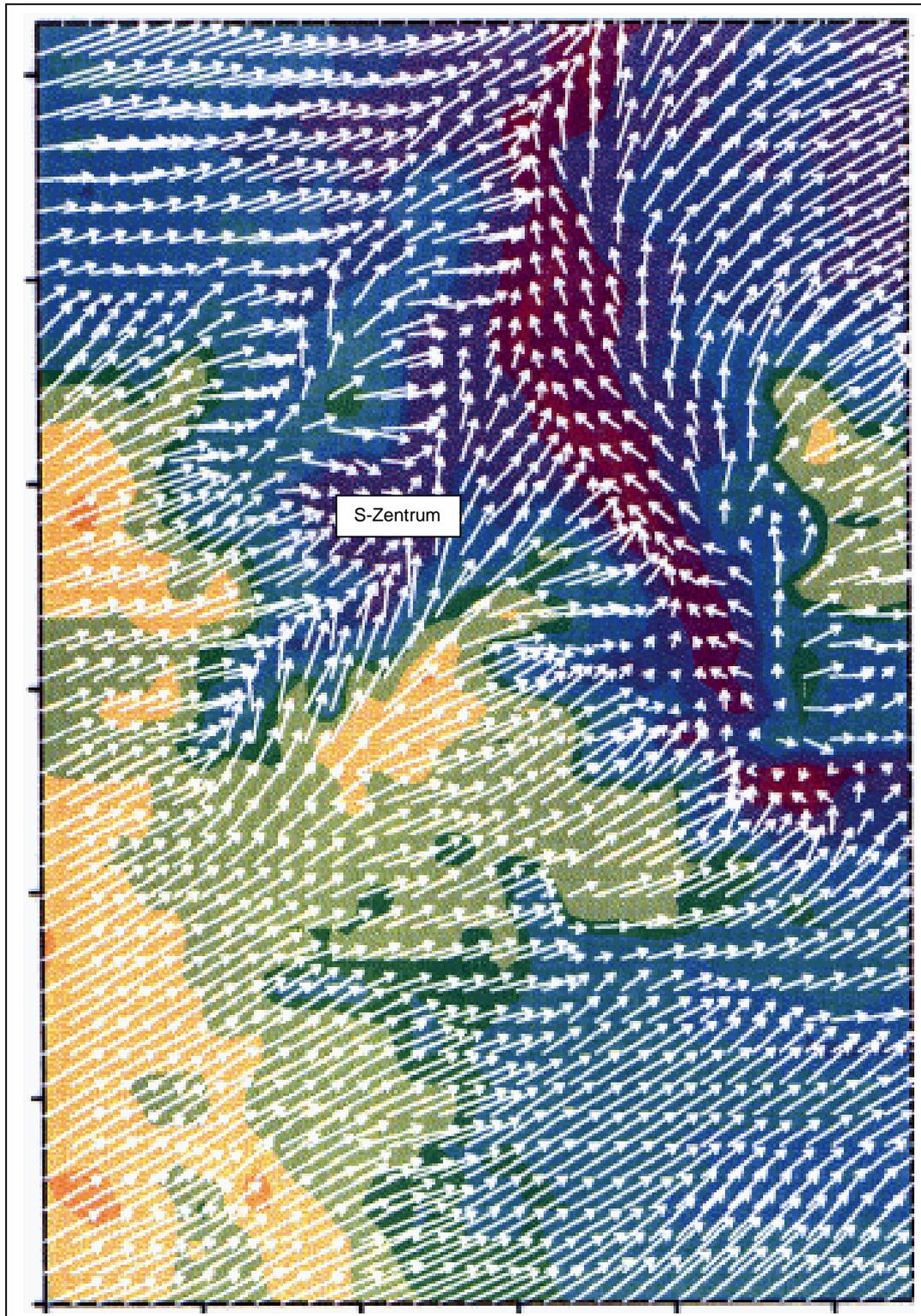


Abbildung 2: Kanalisierung eines Südwestwindes aufgrund der orographischen Strukturen am Beispiel des Neckartales bei Stuttgart. Pfeile stellen die Strömung dar, die farbige Hintergrundinformation die Höhenlage über NN.

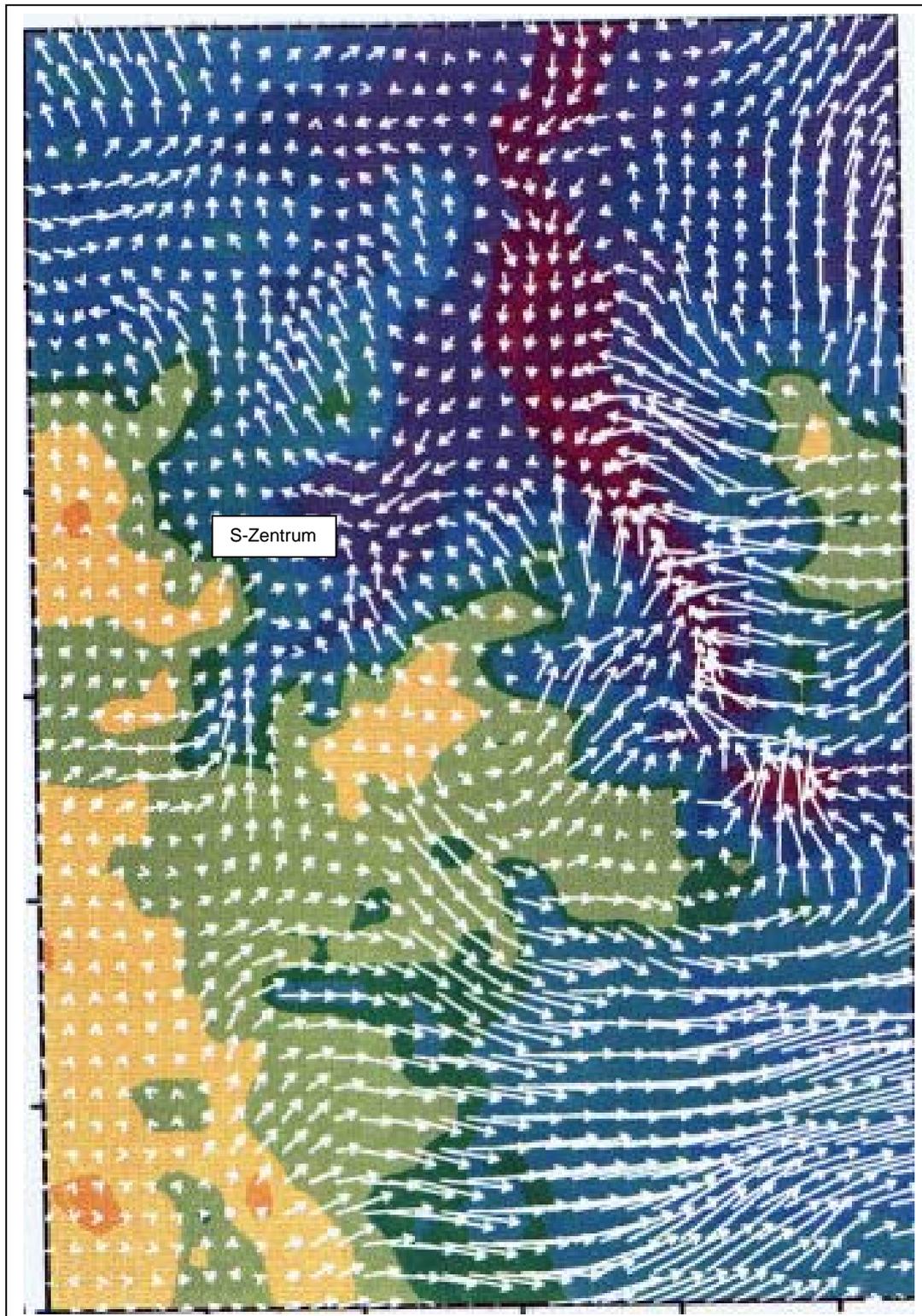


Abbildung 3: Komplexe Überlagerung mehrerer Kaltluftabflusssysteme auf den Fildern, im Neckartal und im Großraum Stuttgart. Überlagerung mit Flurwindeffekten im Stadtgebiet sowie im Neckartal erkennbar. Pfeile stellen die Strömung dar, die farbige Hintergrundinformation die Höhenlage über NN.

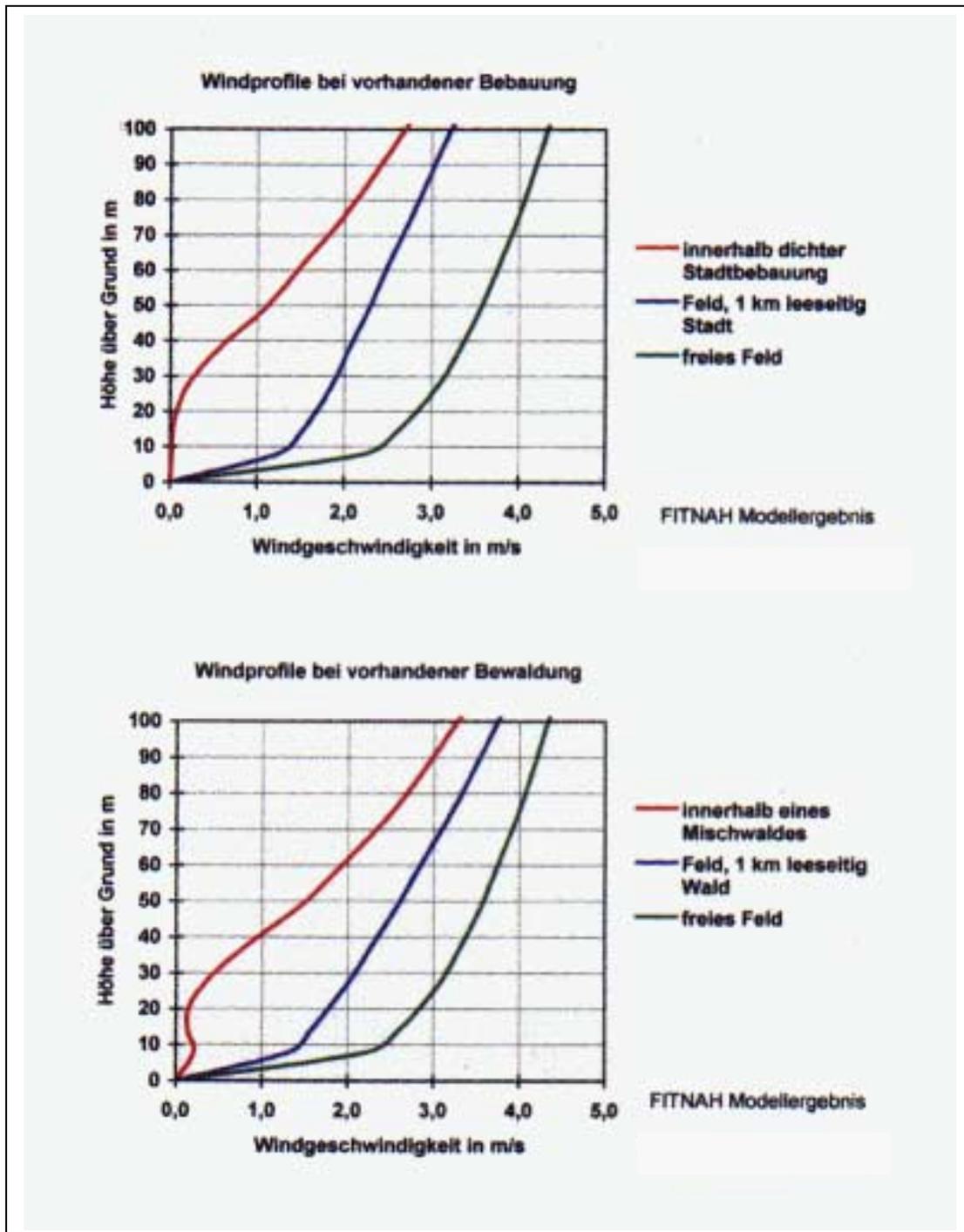


Abbildung 4: Beispiel für die Auswirkungen von Bewuchs und Bebauung auf die Strömungsverhältnisse. Windgeschwindigkeit gegen die Höhe über Grund aufgetragen. Man beachte die Detailstruktur des Windprofils im Laubwald. Sekundäres Maximum der Windgeschwindigkeit im unteren Stammbereich, weil die Belaubung im Kronenbereich erheblich dichter ist.

Weitere Vorteile des Modellsystems FITNAH

Die Berechnung mit dem Computermodell liefert dreidimensionale konsistente Daten mit einer hohen räumlichen Auflösung, die keine Messung vor Ort auch nur annähernd erreichen könnte. Die großräumigen meteorologischen Rahmenbedingungen können leicht zur Berechnung vorgegeben werden, und es muss nicht, wie bei einer Messung, lange auf das tatsächliche Auftreten der Wettersituation gewartet werden. Schließlich ist zur Bearbeitung weder die (kostenintensive) Ausstattung mit Messinstrumenten noch die hohe Zahl an Personal zu deren Bedienung und Wartung erforderlich.

Die Modellrechnung bietet darüber hinaus den Vorteil, dass mehrere Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert werden können und die Optimale ausgewählt werden kann.

Zur Berücksichtigung des Geländeprofiles muss lediglich für jeden Boden-Gitterpunkt eine Angabe zur mittleren Geländehöhe der unmittelbaren Umgebung und zur entsprechenden Landnutzung (Bebauung, Bewuchs, Rauigkeit) bestimmt und dem Modell in geeignetem Format zur Verfügung gestellt werden. Die Modelle unterscheiden dabei bis zu 5 verschiedene Typen von Bewuchs und bis zu 6 verschiedene Arten von Bebauung, wobei jeweils individuell deren Höhe über Grund berücksichtigt wird.

Mit typischerweise 70 x 70 horizontalen Gitterpunkten lassen sich durch Variation der Maschenweiten des Berechnungsnetzes (zwischen 50 m und 10 km) Gebiete einer Ausdehnung von wenigen bis zu einigen hundert Kilometern simulieren. Das Gebiet selbst kann dabei individuell den Projekterfordernissen angepasst werden.

In vertikaler Richtung können bodennah Auflösungen von bis zu 3 m realisiert werden. Man ist dadurch unabhängig von (empirischen) Näherungsbeziehungen zur Berechnung des Windprofils mit der Höhe.

Neben der Standardhöhe zur Messung des Bodenwindes (10 m über Grund) ist es aus Sicht der Aufgabenstellungen mit FITNAH häufig interessant, die Verhältnisse in verschiedenen Höhengniveaus zu betrachten. Sei es, um die Vertikalerstreckung eines Flurwindes und/oder Kaltluftabflusses zu bestimmen oder, z.B. bei Standortuntersuchungen für potentielle Windkraftanlagen, die Energieausbeute in verschiedenen Nabenhöhen über Grund zu betrachten, fast immer ist die Information über die Vertikalstruktur von großer Bedeutung für das Ergebnis der Untersuchung. Das Modell FITNAH bietet hierfür hervorragende Möglichkeiten, da die vertikale Auflösung problemorientiert der jeweiligen Fragestellung angepasst werden kann.

Um die Ausbreitung etwaiger Emissionen zu dokumentieren, können auf Basis der FITNAH-Rechenergebnisse realistische Ausbreitungsrechnungen durchgeführt werden. Dabei werden die Strömungs- und Turbulenzfelder, die mit dem dreidimensionalen Modell FITNAH berechnet wurden, genutzt.

Das Modell hat sich in der Praxis bei zahlreichen Anwendungen bewährt, wobei auch extreme Geländeformationen (Alpenraum) erfolgreich berechnet wurden. Darüber hinaus wird es auch für viele akademische Fragestellungen verwendet. Es zählt zu den modernsten Werkzeugen, die die Umweltmeteorologie derzeit zur atmosphärischen Strömungsberechnung bereithält.