

---

## Das Modell FITNAH 3D

Die Modellrechnungen für das vorliegende Projekt wurden mit dem etablierten hochaufgelösten Stadtklimamodell FITNAH-3D durchgeführt. Die Grundgleichungen von FITNAH sind in der Literatur beschrieben (Gross 2012b). Seit der Veröffentlichung zum Basismodell in den 1990er Jahren wurde FITNAH in einer Kooperation zwischen Prof. Günter Groß und der GEO-NET Umweltconsulting GmbH fortlaufend durch neue Funktionen, Module und Auswerteroutinen weiterentwickelt (u.a. Gross 2017, Gross 2013, Gross 2012a, Gross 2002, Gross et al. 2002, Gross 2021a, Gross 2021b).

Das Grundgerüst des dreidimensionalen Modells FITNAH besteht aus den Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und innerer Energie sowie Bilanzgleichungen für Feuchtekomponenten und Luftbeimengungen. Die verschiedenen turbulenten Flüsse werden mit Hilfe empirischer Ansätze mit den berechenbaren mittleren Größen verknüpft. Der dabei auftretende turbulente Diffusionskoeffizient wird aus der turbulenten kinetischen Energie berechnet, für die eine zusätzliche Gleichung gelöst wird.

Die Erwärmungs- und Abkühlungsraten in der Atmosphäre aufgrund der Divergenz der langwelligen Strahlungsflüsse werden über ein Verfahren berechnet, bei dem die Emissivität des Wasserdampfes in der Luft berücksichtigt wird. Bei detaillierten Simulationen in realem Gelände müssen neben der Geländeform (Orographie) insbesondere auch der Einfluss von Wäldern und urbanen Strukturen auf die Verteilung der meteorologischen Größen realitätsnah berücksichtigt werden. Hierzu sind in FITNAH besondere Parametrisierungen vorgesehen.

Ein Wald oder Baumbestand findet über bestandsspezifische Größen wie Baumhöhe oder Bestandsdichte Eingang in das Modell. Damit gelingt es u.a., die Reduzierung der mittleren Windgeschwindigkeit im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im Kronenbereich und die starke nächtliche Abkühlung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit verfügbaren Beobachtungen zu simulieren. Unter Berücksichtigung der stadtspezifischen Größen Gebäudehöhe, Versiegelungs- und Überbauungsgrad und anthropogene Abwärme kann die typische Ausbildung der städtischen Wärmeinsel bei verringerter mittlerer Strömung simuliert werden (Gross 1989).

Das gesamte Gleichungssystem, einschließlich der Parametrisierungen, wird in ein, dem Gelände folgendem, Koordinatensystem transformiert. Damit gelingt es insbesondere, die Randbedingungen der verschiedenen meteorologischen Größen am unteren Rand, dem Erdboden, problemspezifisch zu formulieren. Die Berechnung der Erdoberflächentemperatur erfolgt über eine Energiestrombilanz, bei der fühlbarer und latenter Wärmestrom, der Bodenwärmestrom, kurz- und langwellige Strahlungskomponenten sowie der anthropogene Wärmestrom Berücksichtigung finden.

Die Lösung der physikalischen Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Gitter. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom jeweiligen Modell erfasst werden können. FITNAH-3D erfüllt die in der VDI-Richtlinie 3787, Bl.7 (VDI 2017) definierten Standards für mesoskalige Windfeldmodelle im Zusammenhang mit dynamisch und thermisch bedingten Strömungsfeldern.

Die Anwendungsbereiche von FITNAH reichen von teilstädtischen Analysen zu den klimaökologischen Auswirkungen von Stadtentwicklungsvorhaben über gesamtstädtische und regionale Klimaanalysen bis hin zu



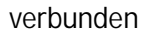
sehr großräumigen Anwendungen für ganze Bundesländer oder Staaten. Die horizontale Auflösung in einem regelmäßigen Gitter reicht dabei von 5 m bis 200 m. Die vertikale Gitterweite ist nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 40 und 70 m über Grund (ü. Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü. Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Relief und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind.


Modellanwendungen mit FITNAH-3D benötigen spezifische Eingangsdaten, die charakteristisch für die Landschaft des Untersuchungsgebiets sind. Dabei müssen für jede Rasterzelle folgende Informationen in der jeweils gewählten Auflösung vorliegen:

- Gelände / Orographie
- Landnutzung / Versiegelungsgrad
- Strukturhöhe

Grundsätzlich gilt dabei, dass je höher die horizontale räumliche Auflösung ist, desto mehr Details der Erdoberfläche können im Modell berücksichtigt werden und desto hochwertiger sind auch die Modellergebnisse. Den limitierenden Faktor stellt dabei nicht die Größe des zu untersuchenden Modellgebietes, sondern einzig die Rechenzeit dar. Die Wahl der „richtigen“ Modellauflösung muss also stets über eine Abwägung zwischen der zu erfüllenden Analyseaufgabe, den bereitgestellten zeitlichen und sonstigen Ressourcen sowie den zur Verfügung stehenden Eingangsdaten erfolgen.

Für die Analysen im vorliegenden Projekt wurde eine horizontale Modellauflösung von 5 m gewählt. Entsprechend große Gebäude- und Grünstrukturen werden dabei explizit aufgelöst. Es handelt sich demzufolge um einen Modellansatz am Übergangsbereich von der Meso- zur Mikroskala. Mit dieser Auflösung lassen sich alle für gesamtstädtische und quartiersbezogene Fragestellungen relevanten Aussagen ableiten.

Dementsprechend wurden im Zuge der Eingangsdatenaufbereitung dem Modellgebiet verschiedene Landnutzungsklassen zugewiesen, die im Modell mit diversen Eigenschaften (u. a. Rauigkeit, Wärmeleitfähigkeit) verbunden sind.  zeigt die Zuweisung dieser Nutzungsklassen für einen Ausschnitt des Modellgebietes.

Die Aufbereitung der Modelleingangsdaten erfolgte auf Basis von bereits existierenden und von der Auftraggeberin zur Verfügung gestellten Datensätzen. Eine Übersicht der verwendeten Datensätze zeigt  Tabelle 1.

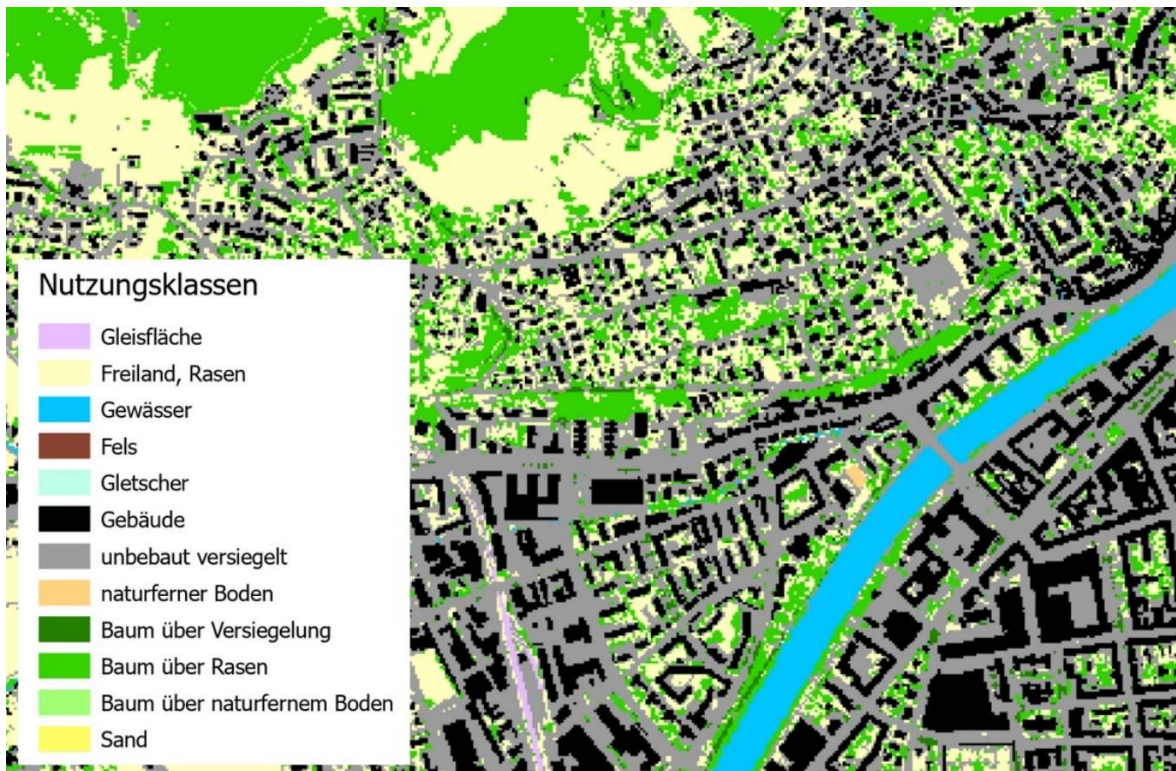


Abbildung 1: Zugewiesene Nutzungsklassen für einen Ausschnitt des Modellgebietes in der Modellauflösung von 5 x 5 m.

Tabelle 1: Datenquellen zur Erstellung der Modelleingangsdaten.

Kategorie	Datensatz	Horizontale Auflösung	Aktualität	Quelle
Geländehöhen	ALS DTM Höhenraster	1 m	15.09.2023	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
Oberflächenmodell	ALS DSM Höhenraster	1 m	15.09.2023	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
Gebäude + Gebäudehöhen	Digitales Landschaftsmodell – Bauwerke	-	18.11.2024	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
Landnutzung	Digitales Orthophoto Farbe und Infrarot	0,2 m	25.06.2024	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
	Digitale Katastralmappe (DKM)	-	01.10.2024	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
	Klassifiziertes Land Cover	0,2 m	15.10.2023	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
Vegetation + Höhen	Kombination Oberflächenmodell + NDVI aus RGBI-Luftbild			

Die Datenaufbereitung erfolgte flächendeckend für das gesamte beauftragte Untersuchungsgebiet des Innerts und darüber hinaus. Das Modellgebiet wurde bewusst größer als das Untersuchungsgebiet gewählt, um auch den Einfluss von regionalen Strömungen zu erfassen, die nicht innerhalb des Untersuchungsgebietes liegen. Zudem wurde ein sogenanntes Nesting-Verfahren eingesetzt, das Informationen zum großräumigen



Strömungsgeschehen an das Modellgebiet weitergibt. Datengrundlage für das Nesting war das Strömungsfeld einer deutschlandweiten Modellrechnung in 200 m-Auflösung, die betriebsintern von GEO-NET erstellt wurde. Diese Rechnung deckt ebenfalls das Gebiet des Inntals ab, so dass diese Daten hier verwendet werden konnten. Einen Überblick gibt Abbildung 2.

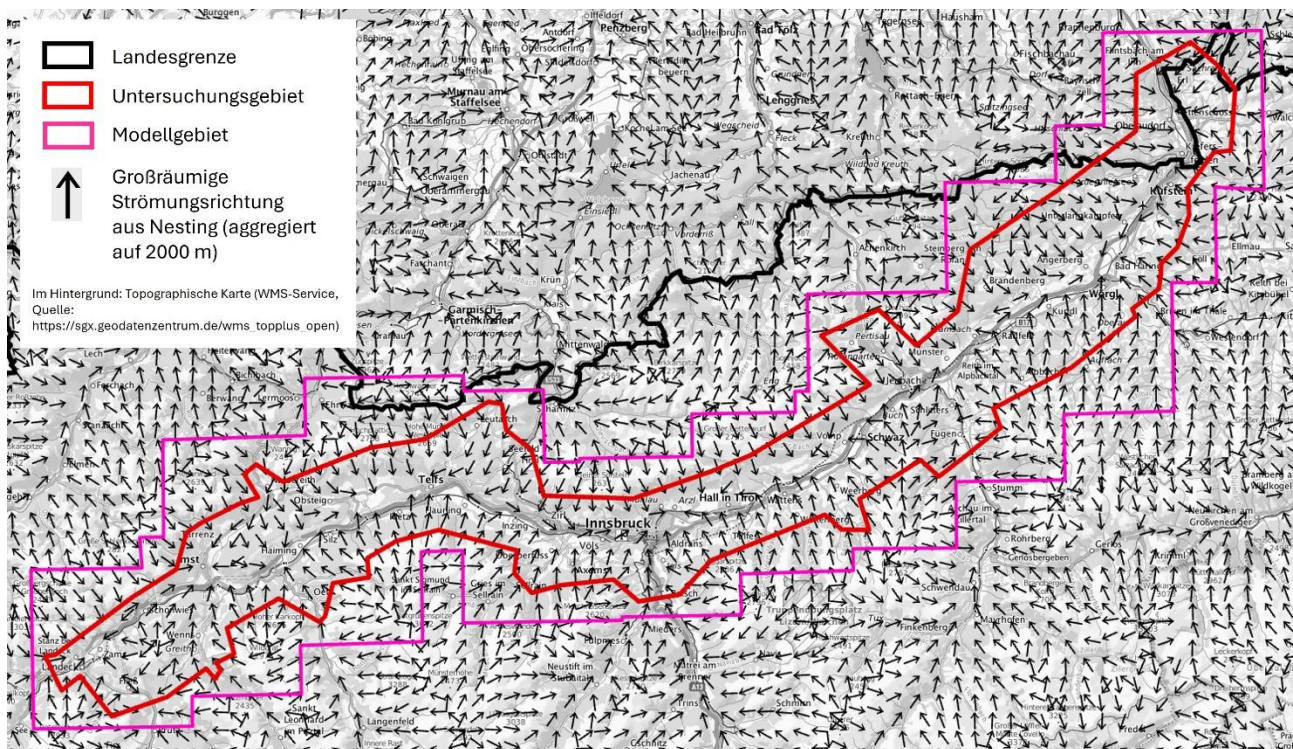


Abbildung 2: Überblick über die Ausdehnung des im Fokus stehenden Untersuchungsgebietes (rot) und des modellierten Gebietes (violett). Die Pfeile zeigen die großräumige Strömungsrichtung aus der deutschlandweiten Rechnung (Quelle: GEO-NET intern), welche im Rahmen des Nesting-Verfahrens in die Modellanalyse eingegangen sind.

## Rahmenbedingungen für die Modellanalyse

Sämtlichen Modellrechnungen liegt dem Stand der Technik entsprechend ein sog. autochthoner Sommertag als meteorologische Rahmenbedingung zugrunde. Typischerweise führt ein autochthoner Sommertag aufgrund der hohen Einstrahlung und des geringen großräumig (allochthon) bedingten Luftaustauschs zu Situationen, die im Jahresverlauf in Teilbereichen der Stadt die höchsten thermischen Belastungen mit sich bringen. Modelliert wurde ein Tagesgang mit Start um 21 bis um 14 Uhr des Folgetages zum Datum des Sonnenhöchststandes. Die Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten besonders gut ausprägen. Charakteristisch für eine solche Wetterlage sind sich ausbildende Flurwinde als Effekt der nächtlichen städtischen Wärmeinsel sowie orographisch bedingte Kaltluftströmungen.

Als weitere Bedingung muss dem Modell eine Starttemperatur für die Modellrechnung vorgegeben werden. Die Modellstarttemperatur wurde anhand der Auswertung einer Zeitreihe von 1995-2024 der Messstelle Innsbruck Flughafen herausgearbeitet. Für einen Sommertag (Tagesmaximaltemperatur > 25 °C) in den Sommermonaten Juni, Juli und August um 21 Uhr abends wurde im 75. Perzentil eine Temperatur von 20,0 °C ermittelt.



Für die Festlegung der Temperatur der Wasserflächen wurden – wo vorhanden – lokale Messstellen herangezogen: Für die Fließgewässer wurde anhand von 21 Messstellen ein Höhengradient berechnet, so dass eine höhenabhängige Wassertemperatur zugewiesen werden konnte. Den Seen Wildsee, Achensee, Brennersee und Blindsee wurde auf Basis der dortigen Messstelle eine Temperatur zugewiesen. Die übrigen Stehgewässer wurden mit einer Standardtemperatur von 15 °C belegt. Künstlichen Wasserbecken, wie beispielsweise Schwimmbädern, wurde eine Temperatur von 22 °C zugewiesen.

## Literaturangaben

Gross, G. (1989): Some effects of deforestation on nocturnal drainage flows and local climate – a numerical study. *Boundary-Layer Meteorol.* 38, 315-337.

Gross, G.; Frey, T.; Trute, P. (2002): Die Anwendung numerischer Simulationsmodelle zur Berechnung der lokalen Windverhältnisse in komplexem Gelände, *DEWI Magazin* Nr. 20.

Gross, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 11, No. 5, 701-710 (October 2002). DOI: 10.1127/0941-2948/2002/0011-0295.

Gross, G. (2012a): Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 21, No. 4, 399-412.

Gross, G. (2012b): Numerical simulation of greening effects for idealised roofs with regional climate forcing, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 21, No. 2, 173-181.

Gross, G. (2021a): A numerical study on the effects of natural ventilation on summer nighttime in-door temperatures in an urban area. In: *metz* 30 (3), S. 227–236. DOI: 10.1127/metz/2021/1066.

Gross, G. (2021b): On the importance of a viscous surface layer to describe the lower boundary condition for temperature. In: *metz* 30 (3), S. 271–278. DOI: 10.1127/metz/2021/1073.

Gross, G. (2013): On the parametrization of urban land use in mesoscale models, *Boundary-Layer Meteorol* (2014) 150:319-326.

VDI (2017): VDI-richtlinie 3783, Bl.7: Umweltmeteorologie. Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder.