

# Klimaökologische Begleitung des Projekts „Bebauungs- und Grünordnungsplan Nr. 613 Ä I Mittelschule NO“



Auftraggeber:

**Stadt Ingolstadt**  
**Stadtplanungsamt**  
Spitalstraße 3  
85049 Ingolstadt



**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

Große Pfaßstraße 5a  
30161 Hannover  
Tel. (0511) 3887200  
FAX (0511) 3887201  
[www.geo-net.de](http://www.geo-net.de)

In Zusammenarbeit mit: Prof. Dr. Günter Groß  
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG)  
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und  
Kleinklima der IHK Hannover und Hildesheim

Hannover, Januar 2020

## 1. Einleitung

Der Bebauungs- und Grünordnungsplan Nr. 613 Ä I „Mittelschule Nord-Ost – südlich Au graben“ sieht die Realisierung eines neuen Schulareals für circa 600 Schüler im Nordosten Ingolstadts vor. Das Gebiet befindet sich innerhalb des 2. Grünrings, welcher sich im Wesentlichen aus Parkanlagen, Kleingärten und wie im Fall des Plangebiets aus landwirtschaftlich genutzten Flächen zusammensetzt. Der 2. Grünring bildet gemeinsam mit dem ersten und dem sich im Aufbau befindlichen dritten Grünring das Ingolstädter Grünflächenverbundsystem, welches über Fluss- und Bachtäler miteinander vernetzt ist. Aus klimaökologischer Betrachtungsweise ergibt sich für das Plangebiet demnach eine bedeutende Ausgleichsfunktion.

Im vorliegenden Fachgutachten werden mit Hilfe von Modellrechnungen die aktuelle klimaökologische Situation im Nahbereich des Planareals sowie mögliche Auswirkungen des Bauvorhabens auf die bioklimatischen Funktionen des 2. Grünrings untersucht. Des Weiteren werden gegebenenfalls zu erwartende Effekte auf die umliegende Wohnbebauung betrachtet und bewertet. Weiterhin werden konkrete Planungshinweise gegeben, die eine klimaangepasste Gestaltung unterstützen.



Abb. 1: Ausschnitt des nordöstlichen Stadtgebietes von Ingolstadt mit dem Plangebiet (rot markiert).

Beim Plangebiet handelt es sich um eine etwa 1,9 ha große und derzeit landwirtschaftlich genutzte Fläche, welche im Norden und Westen von Parkanlagen, im Süden von der Fichtestraße mit der parallel verlaufenden Bahnlinie und im Osten vom Unterhaunstädter Weg sowie der Versorgungsanlage Wasserwerk begrenzt wird. Letztere stellt bisher innerhalb des 2. Grünrings die einzige höhere Bebauung im Nahbereich des Plangebiets dar.

Für eine aussagekräftige Modellierung der klimatischen Ist-Situation ist es notwendig ein geeignetes Untersuchungsgebiet festzulegen. Dieses sollte die nähere Umgebung des Plangebiets möglichst repräsentativ wiederspiegeln und möglichst alle einflussreichen Strukturen im näheren Umfeld miteinschließen. In



der vorliegenden Untersuchung wurde ein ca. 2,5 x 3,5 km großes Areal als Untersuchungsgebiet festgelegt (siehe schwarze Markierung in Abb. 1). Dieses beinhaltet die nördlich und südlich angrenzende Wohnbebauung, einen Teil des Audi-Werks im Westen und der Ö Raffinerie im Osten sowie die weiträumigen Freiflächen außerhalb der Wohn- und Industriebauung im nördlichen Teil des Untersuchungsgebiets.

Als wichtigste Eingangsdaten lagen der Modellrechnung Informationen zur Landnutzung, Geländeoberfläche und zu Gebäuden (Umriss und Höhe) folgender Herkunft und Aktualität zugrunde:

- Landnutzung:
  - ATKIS Ingolstadt (2019, Stadt Ingolstadt) bzw. ALKIS Ingolstadt (2019, Stadt Ingolstadt)
- Geländeoberfläche:
  - DGM1 Ingolstadt (Stadt Ingolstadt)
  - DOM1 Ingolstadt (Stadt Ingolstadt)
- Gebäude:
  - LOD1 Ingolstadt (2018, Stadt Ingolstadt)
- Luftbilder:
  - DOP (2018, Stadt Ingolstadt)
  - Mittels der vierkanaligen Luftbilder wurden Baumstandorte (bzw. der Kronenraum von Bäumen) automatisiert anhand des NDVI abgeleitet<sup>1</sup>. Die Höhe der Bäume konnte aus der Differenz zwischen DOM (Oberflächenmodell) und DGM (Geländehöhe) gewonnen werden (Strukturhöhe).

Zum Abschluss der Datenaufbereitung erfolgte eine Validierung anhand der Luftbilder (visueller Abgleich der Landnutzung, Gebäude- und Baumstandorte). Die Abbildung 3 zeigt die aufbereiteten Landnutzungsdaten des Untersuchungsgebiets.

---

<sup>1</sup> Der „Normalized Difference Vegetation Index“ ist ein Vegetationsindex, der anhand von Fernerkundungsdaten berechnet wird (Reflexionswerte im nahen Infrarotbereich und des roten sichtbaren Bereichs).

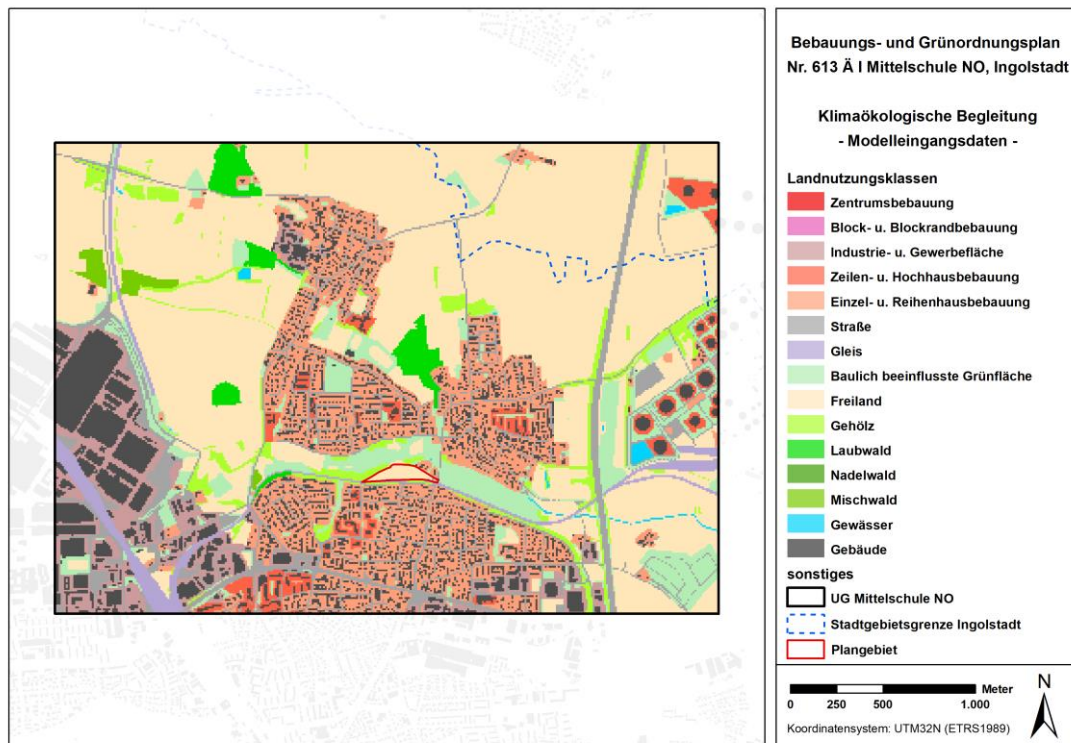


Abb. 2: Rasterhafte Darstellung der Landnutzung des Untersuchungsgebietes in insgesamt 15 Nutzungskategorien.

## 2. Methodik

Bei numerischen Modellen wie FITNAH 3D müssen zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird.

Das gesamte Untersuchungsgebiet hat bei einer Abmessung von exakt 3,59 km x 2,55 km eine Fläche von etwa 9,15 km<sup>2</sup>. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m ist es möglich, die Gebäude- sowie Baumstrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den Luftaustausch abzubilden.

Der Modellrechnung liegt eine sommerliche Strahlungswetterlage zugrunde, in der sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt ausprägen (keine Bewölkung, kein übergeordneter Luftaustausch). Eine solche „autochthone Wetterlage“ führt typischerweise zu den höchsten klimaökologischen Belastungen und steht daher bei stadtklimatischen Untersuchungen im Fokus.



### 3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Klimasimulation repräsentieren die Nachtsituation um 4 Uhr morgens sowie die Tagsituation um 14 Uhr. Bei den modellierten Parametern handelt es sich um die bodennahe Lufttemperatur in 2 m Höhe, das bodennahe Kaltluftströmungsfeld in 2 m Höhe, den Kaltluftvolumenstrom (jeweils Nachtsituation) sowie die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) als Maß für die Wärmebelastung am Tage.

#### 3.1 Lufttemperatur in der Nacht

In der Nacht steht weniger der Aufenthalt im Freien, sondern die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum im Vordergrund. Nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 besteht ein Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft, so dass die Temperatur der Außenluft die entscheidende Größe für die Beurteilung der Nachtsituation darstellt (VDI 2008). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur  $\geq 20$  °C als besonders belastend gelten.

Abbildung 3 zeigt das Temperaturfeld des Untersuchungsgebietes um 04 Uhr nachts in einer Höhe von 2 m über Grund.

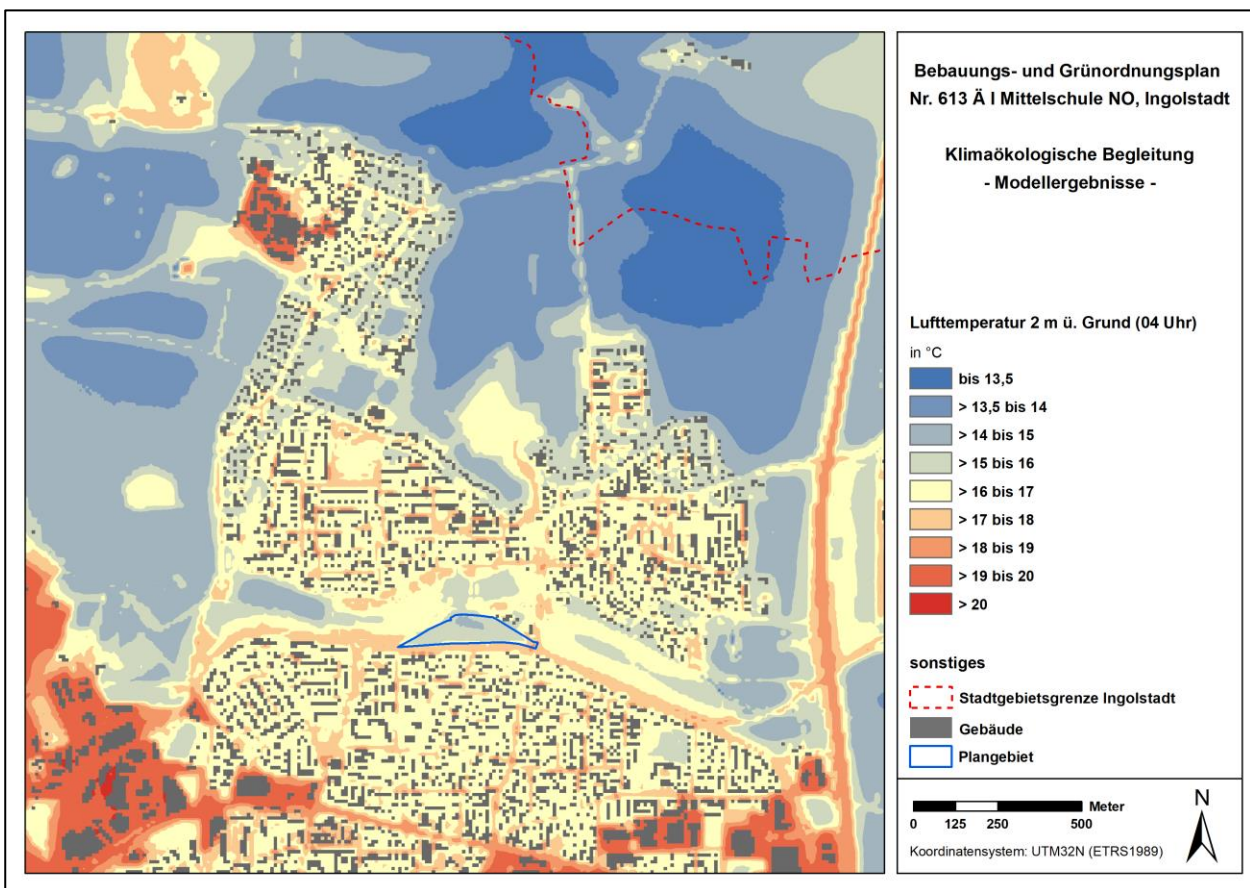


Abb. 3: Lufttemperatur in 2 m über Grund um 04 Uhr.



#### Zusammenfassung der Modellierungsergebnisse zur nächtlichen Lufttemperatur:

- ➔ 19 bis über 20 °C im Bereich der stark versiegelten und dicht bebauten Industrie- und Gewerbeflächen im Südwesten (Audi-Werk), Südosten sowie Nordwesten.
- ➔ 15 bis 18 °C im Bereich der Wohnbebauung nördlich und südlich des 2. Grünrings sowie bewaldeten Gebieten; stellenweise Temperaturen bis 19 °C im Bereich verhältnismäßig dicht bebauter Wohnbebauung und weiträumiger Verkehrsflächen (z.B. Autobahn 9).
- ➔ 14 bis 18 °C im Bereich städtischer Grünflächen (z.B. Plangebiet 14 bis 16 °C).
- ➔ Unter 15 ° im Bereich der landwirtschaftlichen Freiflächen.

#### Bewertung der nächtlichen Lufttemperatur:

- ➔ Wohnungsbebauung im Umfeld des Plangebietes weist nur geringfügig Belastungen auf.
- ➔ Die höchste Überwärmungsintensität ist in den großflächigen, stark versiegelten Industrie-/Gewerbeflächen zu verzeichnen. Insbesondere die verhältnismäßig niedrigen Lufttemperaturen der Freiflächen innerhalb des 2. Grünrings zeigen die bioklimatische Bedeutung dieser Ausgleichsfläche.
- ➔ Der Grünring stellt in der Nacht eine wichtige Kaltluftentstehungsfläche dar, die in den südlich nachgelagerten Siedlungsflächen für eine deutliche Kühlwirkung sorgt.
- ➔ Der Grünring verhindert als „Kältesenke“ ein Zusammenwachsen der leicht ausgeprägten Wärmeinseln in der nördlichen und südlich angrenzenden Bebauung. Das Temperaturniveau in den Siedlungskörpern würde deutlich steigen, wenn diese kühle, grüneprägte Struktur überbaut würde.

### 3.2 Kaltluftprozessgeschehen in der Nacht

Die variable bodennahe Lufttemperaturverteilung bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Die wichtigsten nächtlichen Ausgleichsströmungen dieser Art sind Hangabwinde und Flurwinde. Mit ihrer (dichten) Bebauung stellen Stadtkörper ein Strömungshindernis dar, so dass deren Luftaustausch mit dem Umland eingeschränkt ist. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus, wenn der Siedlungsraum schwach bis gar nicht mehr durchlüftet wird. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr kühlerer (und frischer) Luft eine bedeutende klimaökologische (und immissionsökologische) Ausgleichsleistung für Belastungsräume erbringen. Da die potentielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), wird auch der sogenannte Kaltluftvolumenstrom betrachtet.

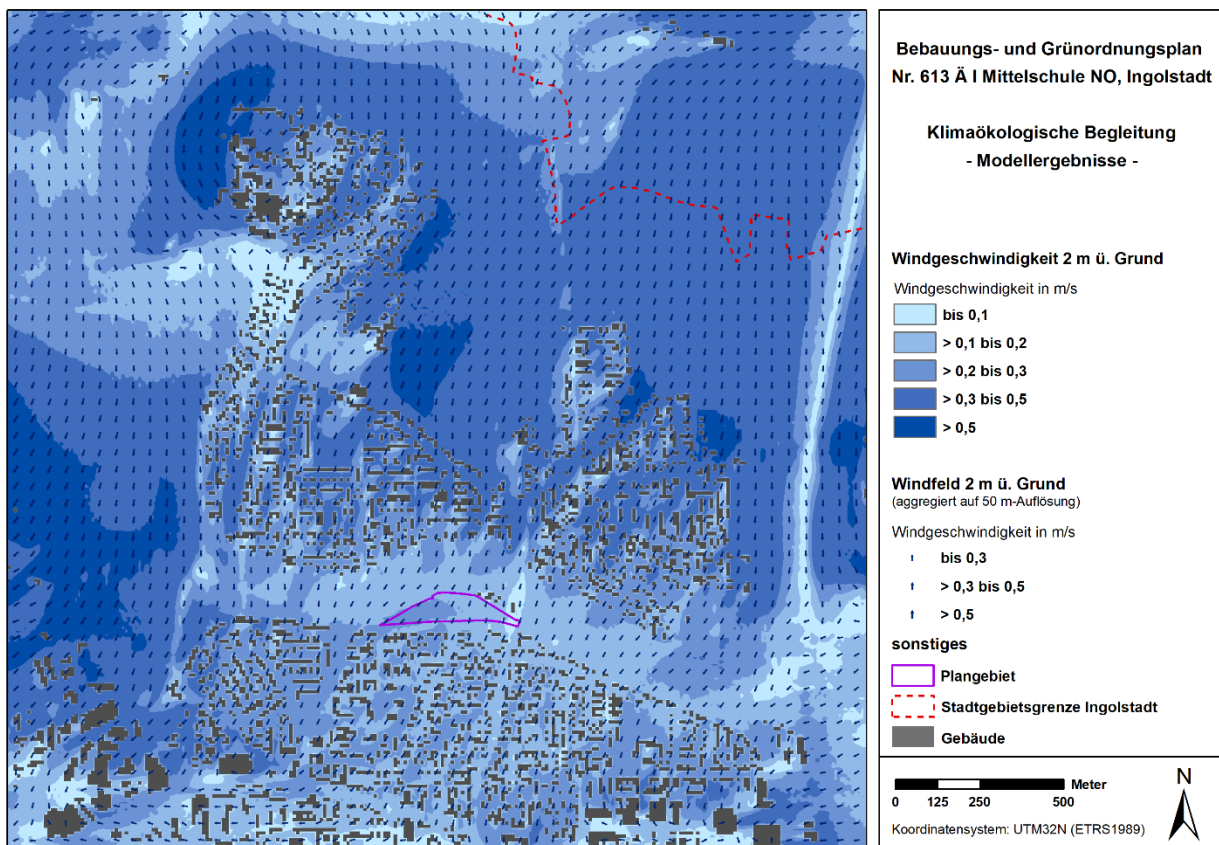


Abb. 4: Strömungsfeld und Strömungsgeschwindigkeit in 2 m über Grund um 04 Uhr.

Zusammenfassung der Modellergebnisse zum bodennahen Windfeld (Abb. 4):

- ➔ Kaltluftanstrom aus nördlicher Richtung mit Windgeschwindigkeiten von 0,3 bis über 0,5 m/s entlang des von Norden nach Süden leicht abfallenden Geländes.
- ➔ Hohe Windgeschwindigkeiten von über 0,5 m/s insbesondere im Nahbereich hoher thermischer Belastung (Industrie- und Gewerbeflächen) → Ausgleichwinde.
- ➔ Abnahme der Windgeschwindigkeit reliefbedingt sowie durch Hinderniswirkung des Gebäude- und Baumbestands im Untersuchungsgebiet.

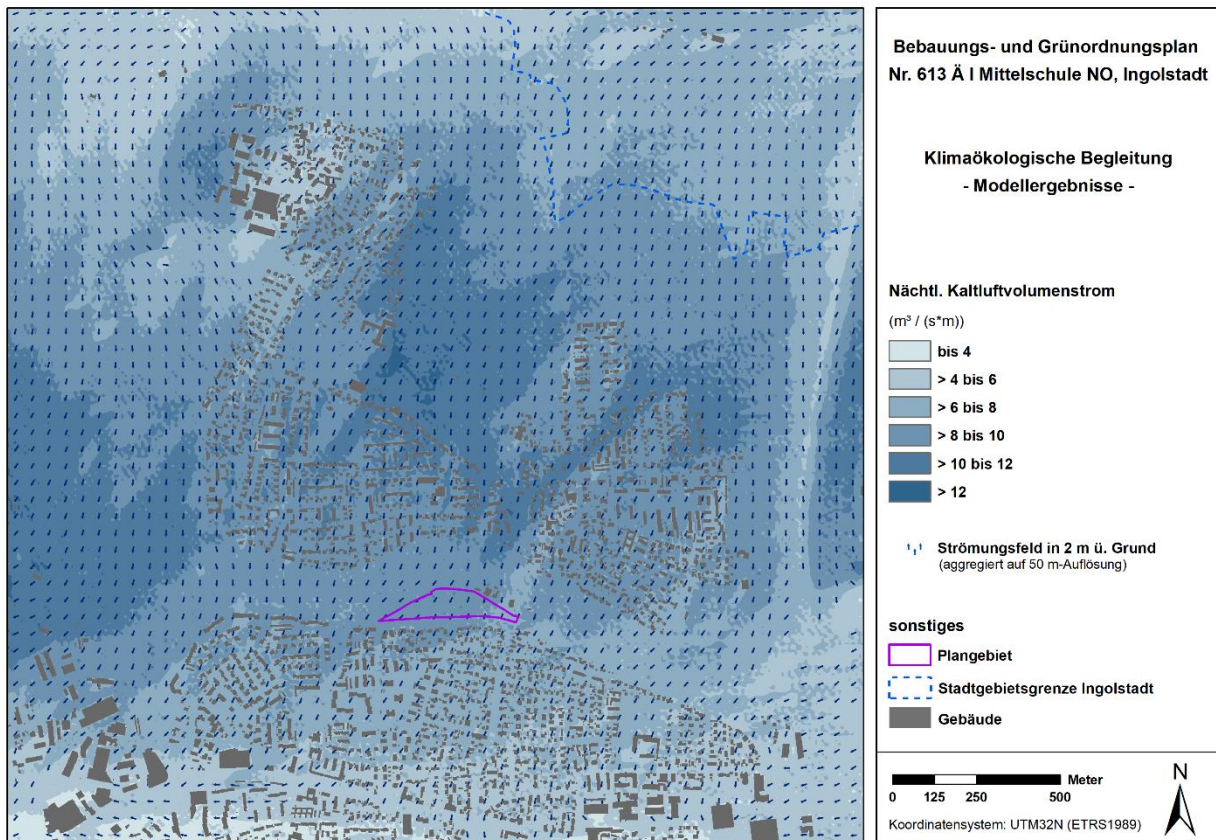


Abb. 5: Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms um 04 Uhr.

Zusammenfassung der Modellergebnisse zum Kaltluftvolumenstrom (Abb.5.):

- ➔ Großräumige von Nord nach Süd und auf das Stadtgebiet ausgerichtete Kaltluftströmung ausgehend von den landwirtschaftlichen Freiflächen mit einem Kaltluftvolumen von bis zu 12 m<sup>3</sup>/(s\*m).
- ➔ Deutliche Abnahme des Kaltluftvolumenstroms innerhalb der Siedlungsflächen.
- ➔ Siedlungsflächen mit vergleichsweise geringem Gebäude und Baumbestand bewirken stellenweise eine deutlich bessere Durchströmbarkeit.

Bewertung des nächtlichen Kaltluftprozessgeschehens:

- ➔ Die weitestgehend von Nord nach Süd ausgerichtete, orographisch induzierte Kaltluftströmung zeigt, dass der 2. Grünring inklusive des betrachteten Plangebiets nicht als Kaltluftleitbahn fungiert.
- ➔ Der Grünring fungiert als Kaltluftentstehungsfläche. Eine West – Ost orientierte Leitbahnfunktion kann dem Grünzug nicht zugeordnet werden.
- ➔ Die unterschiedliche Durchströmbarkeit der nördlichen Siedlungsflächen zeigt, dass eine der Kaltluftströmung angepasste Gebäudeanordnung die Durchlüftung der nachgelagerten Siedlungsflächen maßgeblich begünstigt.



### 3.3 Wärmebelastung am Tage

Zur Bewertung der Wärmebelastung werden Indizes verwendet, die Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. In Modellen wird der Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung berechnet und die Wärmebelastung eines Menschen abgeschätzt. Zur Bewertung der Tagsituation wird der humanbio-klimatische Index PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) um 14 Uhr herangezogen (Matzarakis und Mayer 1996). Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden quantifiziert (siehe Tabelle A1 im Anhang, VDI 2004).

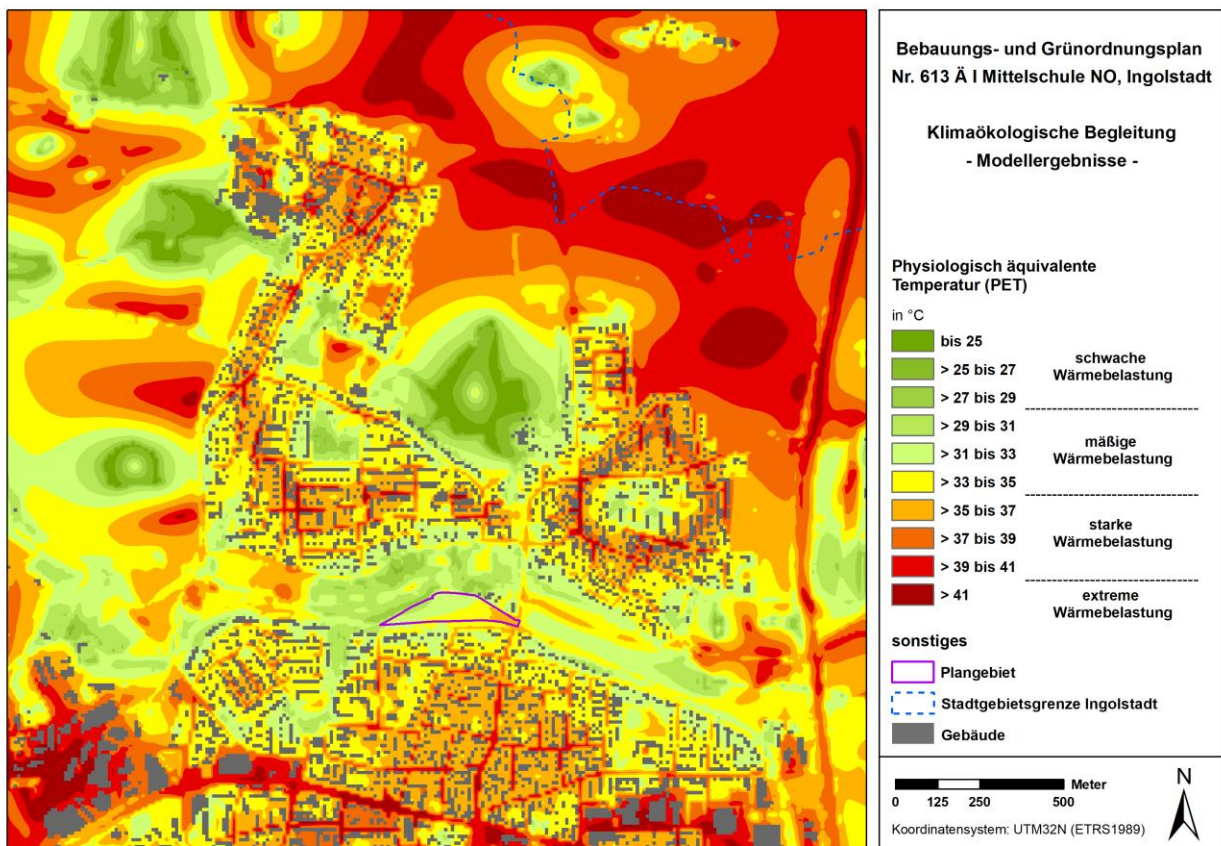


Abb.6: Ausprägung der PET in 2 m über Grund um 14 Uhr.

Zusammenfassung der Modellergebnisse zur PET:

- ➔ Die Modellergebnisse zeigen eine sehr heterogene Verteilung der Wärmebelastung innerhalb des Untersuchungsgebiets.
- ➔ Starke bis extreme Wärmebelastung tritt am Tag insbesondere im Bereich dicht versiegelter sowie unverschatteter Bereiche wie Industrie- und Gewerbeflächen, Verkehrsflächen sowie der großräumigen landwirtschaftlichen Freiflächen auf.
- ➔ Die weiteren Siedlungsflächen weisen je nach Bebauungsdichte und Baumbestand eine mäßige bis starke Wärmebelastung auf.



- ➔ Grünflächen wie Parkanlagen und Wälder weisen bei entsprechendem Baumbestand mit einer schwachen bis mäßigen Wärmebelastung die geringsten Werte hinsichtlich der PET (→ Verdunstung(skühlung) und Verschattung).

Bewertung der Wärmebelastung am Tage:

- ➔ Der 2. Grünring fungiert insbesondere durch seinen vergleichsweise hohen Baumbestand und der daraus resultierenden geringeren Wärmebelastung als bioklimatisch wichtige Ausgleichsfläche.
- ➔ Die stellenweise nur mäßige Wärmebelastung innerhalb der nordöstlichen Wohnbebauung zeigt die Wirksamkeit eines entsprechenden Baumbestands hinsichtlich der Wärmebelastung auch innerhalb von Siedlungsflächen.
- ➔ Der Grünring stellt am Tag eine wichtige klimaökologische Klimaoase für die Anwohner da.

#### 4. Fazit und planerische Hinweise

##### Fazit:

Der geplante Schulstandort tangiert die kaltlufttaushaltliche Funktion des 2. Grünringes nicht nachhaltig:

- ➔ Eine Ost-West ausgerichtet Leitbahnfunktion kann dem Grünring nicht zugeordnet werden.
- ➔ Die Funktion als wichtige Kaltluftentstehungsfläche wird auch nach Realisierung des Schulgebäudes erhalten bleiben. Durch die im Verhältnis zur Gesamtfläche des Grünzugs relativ kleinen überbauten Flächenanteile, ist keine nachhaltige Verringerung der Kaltluftentstehung zu erwarten.
- ➔ Der lokale Kaltluftaustausch erfolgt vorrangig durch der Nord-Süd gerichteten bzw. geländefolgenden Strömung. Er nimmt die in den Grünflächen entstehende Kaltluft auf und transportiert sie in die südlich angrenzenden Siedlungsareale.
- ➔ Wenn davon ausgegangen wird, dass es keine vorrangig West-Ost gerichtet Strömung in dem Grünzug gibt, ist die Lage des geplanten Schulneubaus als günstig anzusehen, da durch die Bestandsgebäude im Grünzug eine „Vorbelastung“ vorhanden ist, die schon heute die Nord-Süd-Strömung negativ beeinflusst.

Der 2. Grünring bewirkt als wichtige klimaökologische Kühl- und Ausgleichsfläche eine Reduzierung der Überwärmungsintensität in den angrenzenden Siedlungsflächen. Diese Funktion bleibt durch die Schulplanung im Grundsatz erhalten, wird aber negativ beeinflusst.

Die Grünflächen des Rings erfüllen am Tag die Kriterien einer „Klimaoase“ (= Vielzahl von unterschiedlichen Mikroklimaten; verschattete, kühle Areale unter Bäumen, Kühlwirkung im Uferbereich von Gewässern). Durch die Überplanung kann diese Funktion geschwächt werden, was es planerisch zu vermeiden gilt.

##### Planungshinweise:

Eine riegelartige Bebauung in der Längsachse des Plangrundstücks sollte vermieden werden. Die Ausrichtung der Schulgebäude sollte die Nord-Süd gerichtete Hangabwindströmung berücksichtigen.

Es sollten Grün-geprägte Achsen in Nord-Süd-Richtung zwischengeschaltet werden, die eine gute Durchströmbarkeit des Plangebiets ermöglichen.



Die Schulgebäude sollten im Grundsatz möglichst geringe „Footprints“ (= geringe Grundfläche) aufweisen und können dafür eher in die Höhe entwickelt werden.

Grundsätzlich sollten ebenerdig versiegelt, wasserundurchlässige Flächen, z.B. für den ruhenden Verkehr, im Bereich des Schulhofs, vermieden werden.

In den Aufenthaltsbereiche im Freien sind verschattete Areale mit einzuplanen, insbesondere durch großkronige Bäume.

Fußwegeverbindungen sollten als „Schattenallee“ ausgebaut werden, um die Hitzebelastungen in diesen Bereichen zu reduzieren

Süd- und Südwestfassaden der Gebäude sowie die Dachstrukturen sollten Begrünt werden. Verschattung der Fassaden kann ergänzend durch Bäume erreicht werden.

Dachflächen sollten „multifunktional“ ausgelegt werden. Neben der Kühlwirkung, sollte der Wasser-einstau bei (Stark-)Regenereignissen eingeplant werden sowie die Nutzung als zusätzliche „Freifläche“ für die Schüler.

Sinnvoll ist eine enge Verzahnung mit der Entwässerungsplanung: Über ein Konzept zum Regenwasser-management kann eine nachhaltige Wasserversorgung der Vegetationselemente auf dem Schulgelände erreicht werden.

Unter Berücksichtigung dieser Hinweise kann die Planung des Schulstandorts weitgehend klimaverträglich erreicht werden. Sinnvoll ist es, diese Klimaexpertise mit den Informationen der gesamtstädtischen Klimanalyse, die zurzeit von GEO-NET erarbeitet wird, abzugleichen.



## 5. Quellen

UBA 2016: Heizen, Raumtemperatur, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, [www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur](http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur) (07.11.2019).

VDI 2008: VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI 2003: Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

MATZARAKIS, A. UND H. MAYER 1996: Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO Newsletter No. 18: 7-10.

VDI 2004: Richtlinie VDI 3787 Blatt 9 Umweltmeteorologie – Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Hannover, den 28.01.2020

**Erstellt von:**

-----  
Jonas Kaup (M.Sc. Landschaftswissenschaften)

**Geprüft von:**

-----  
Dipl.-Geogr. Peter Trute

Die Erstellung dieses Klimagutachtens erfolgte entsprechend dem Stand der Technik nach besten Wissen und Gewissen. Das Klimagutachten bleibt bis zur Abnahme und Bezahlung alleiniges Eigentum des Auftragnehmers. Eigentum und Nutzungsrecht liegen bei den Auftraggebern.



## 6. Anhang

Tab. A 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET in den Tagesstunden (Auszug nach VDI 2004).

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung