

Stadtklimaanalyse Friedrichshafen

Dr. Rainer Röckle
Dipl.-Meteorologe

iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG
Eisenbahnstr. 43
79098 Freiburg

Tel.: 0761 / 202 1662
roeckle@ima-umwelt.de
www.ima-umwelt.de

Dr. Christine Ketterer
M.Sc. in Climate Sciences

Tel.: 0761 / 202 58268
ketterer@ima-umwelt.de

Das Stadtgebiet von Friedrichshafen ist durch die naturräumliche Lage und den Folgen des Klimawandels zunehmend thermisch belastet. Infolge des prognostizierten Klimawandels werden Tage mit Wärmebelastung weiter zunehmen. Deshalb ist es zum einen wichtig, die lokalen Belastungsschwerpunkte zu kennen, zum andern aber auch die Bereiche zu schützen, die für eine lokalklimatische Entlastung sorgen.

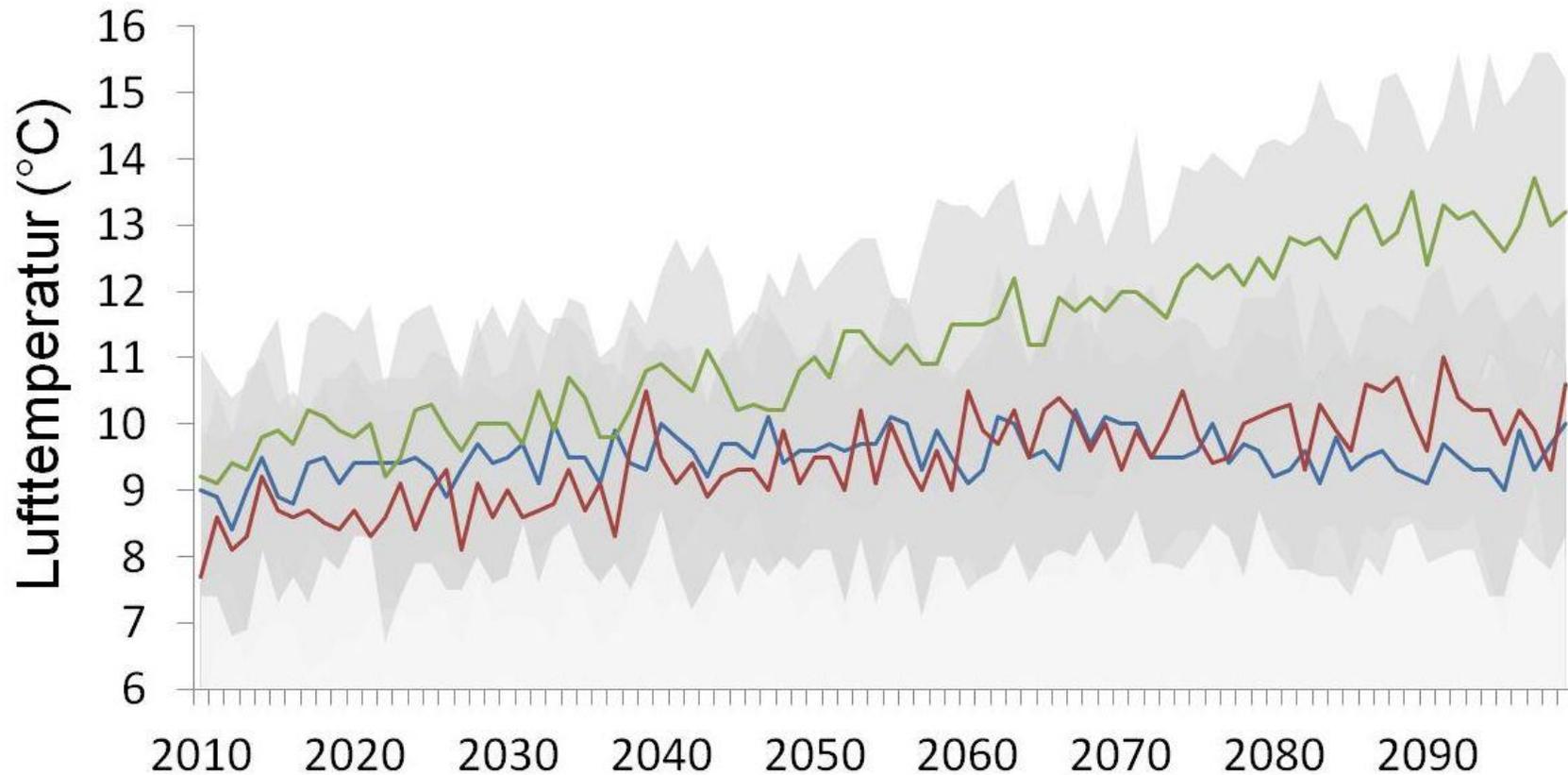
Um diese landschaftsklimatischen Vorgänge wie auch die Aspekte des Stadtklimas sowohl für das eigentliche Klimaanpassungskonzept wie für den Flächennutzungsplan zu erfassen und aufzuarbeiten, wurden mittels umfangreicher Modellsimulationen die Gunstfaktoren (Strömungen, Luftleitbahnen und Kaltluftproduktionsflächen) und die thermischen sowie lufthygienischen Belastungen ermittelt.

Neben den Einzelkarten (Belastungen, Luftaustausch, usw.) stellt die Planungshinweiskarte für die städtebauliche Planung die komprimierte Grundlage für die Flächennutzungsplanung dar.

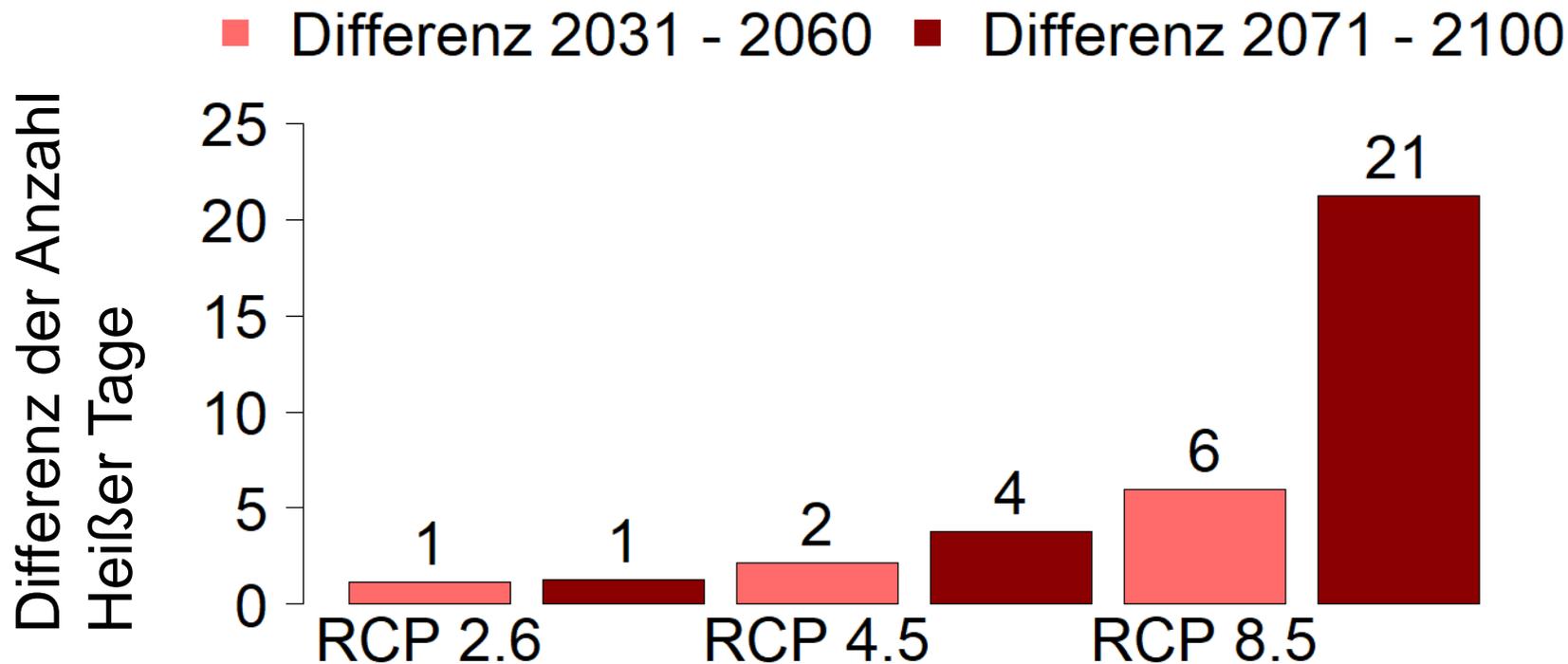
Der Detaillierungsgrad der Daten kann in der Präsentation nicht ausreichend abgebildet werden. Deshalb werden die gesamten verwendeten und erzeugten Datenebenen im GIS (geographischen Informationssystem) für die Anwendungen der Stadt aufbereitet.

Jahresmitteltemperatur (°C) von 2010 - 2100

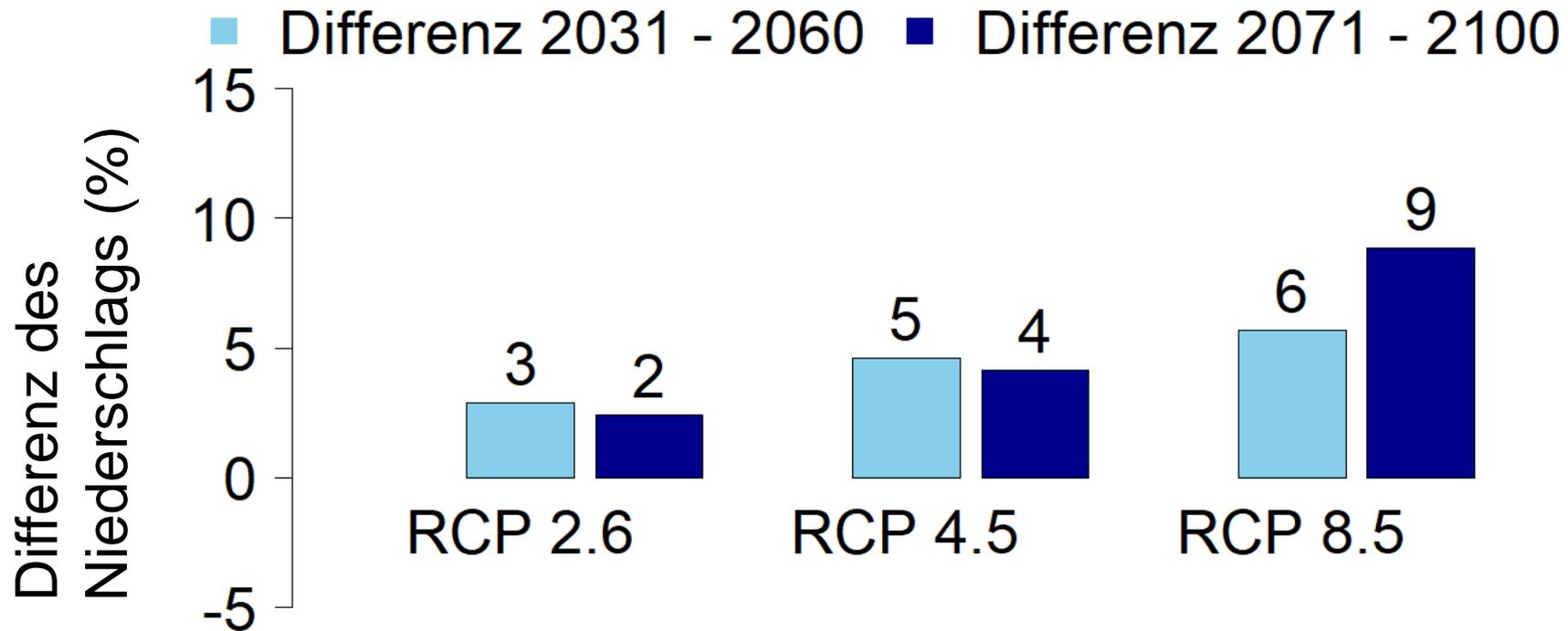
—RCP 2.6 —RCP 4.5 —RCP 8.5



Veränderung der Anzahl an **Heißen Tagen**

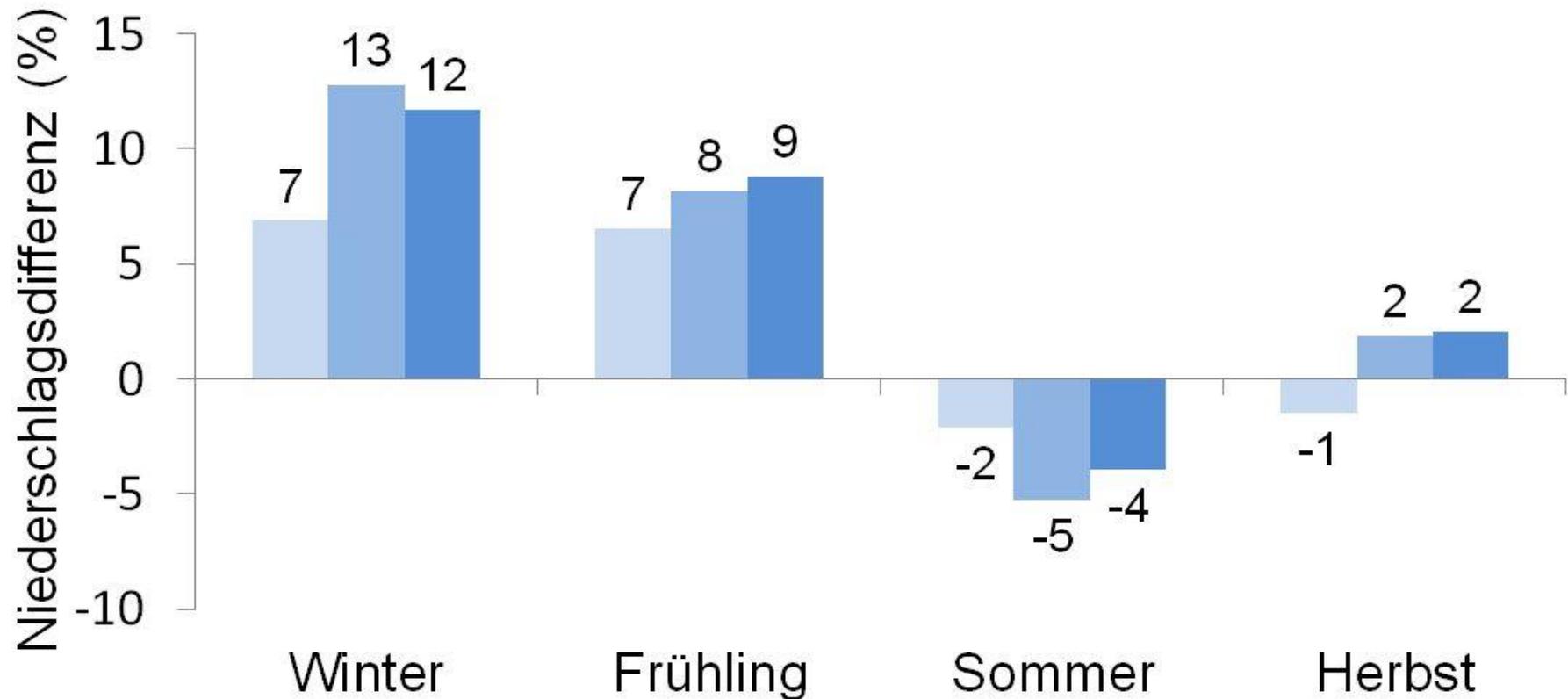


Prozentuale Veränderung des Niederschlags



Niederschlagsdifferenz 2031 - 2060 gegenüber der
Klimanormalperiode 1971 - 2000

■ RCP 2.6 ■ RCP 4.5 ■ RCP 8.5



Planungsziele

- Erhalt gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse
- Verbesserung der Luftbelastung
- Reduzierung der Wärmebelastung
- Erhalt des Luftaustausches

Analysen

- Thermische und lufthygienische Verhältnisse, Betroffenheit
- Durchlüftung, Kaltluftabflussverhältnisse, innerstädtische Ausgleichsflächen
- Klimawandel, potenzielle Planungen

Ergebnisse

- Belastungssituation, Gunstfaktoren
- Klimafunktionskarte + Planungshinweiskarte
- Prognose (Klimawandel + FNP-Entwurf)
- Kartenmaterial für das städtische GIS

Die Luftbelastung an einem Ort setzt sich aus unterschiedlichen Beiträgen zusammen:

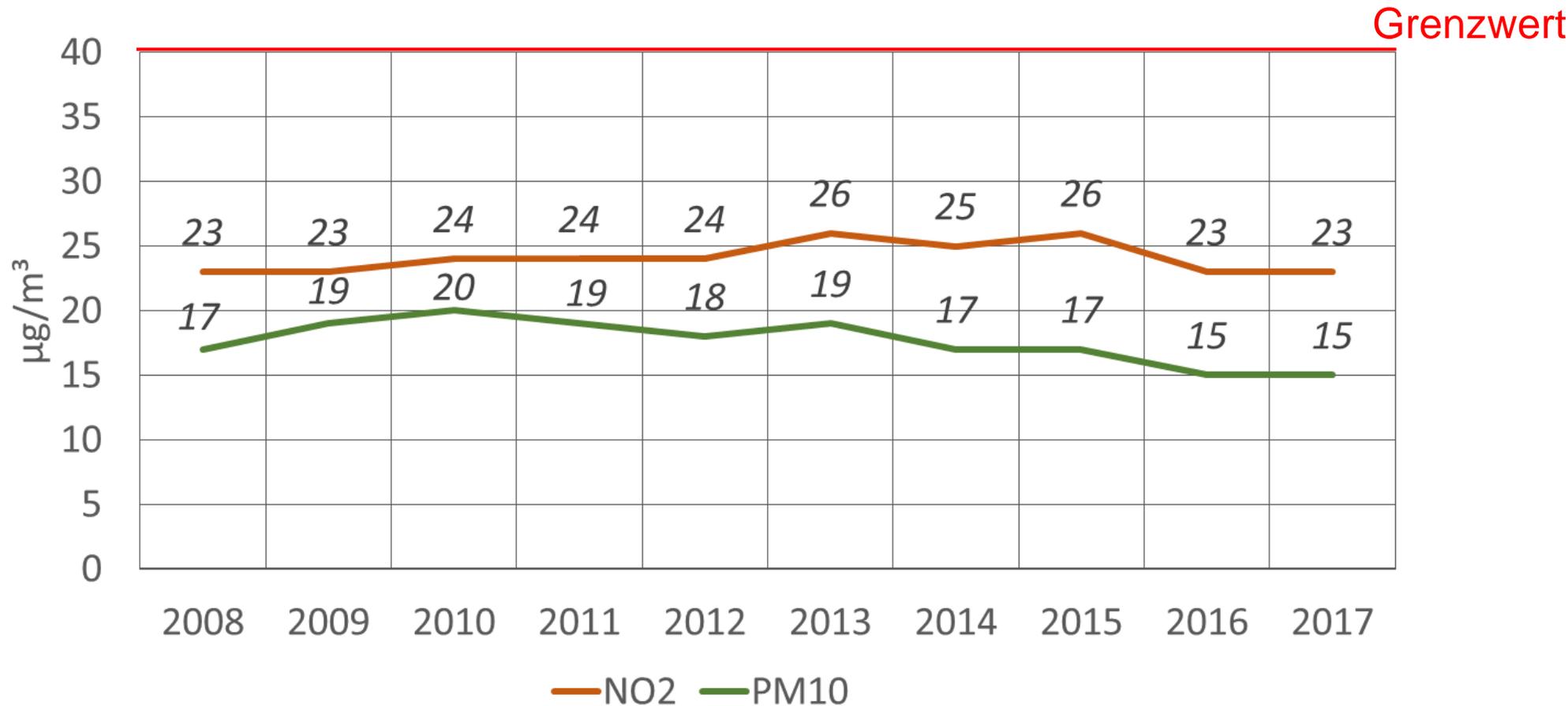
- Kfz-Verkehr (Hauptquelle für die bodennahe Luftbelastung),
- Hausbrand,
- Gewerbe und Industrie,
- Luftfahrt,
- Schifffahrt ,
- und die allgemeine Hintergrundbelastung.

Vorbelastung auf der Basis der
Vorbelastungskarten und Messungen der
LUBW

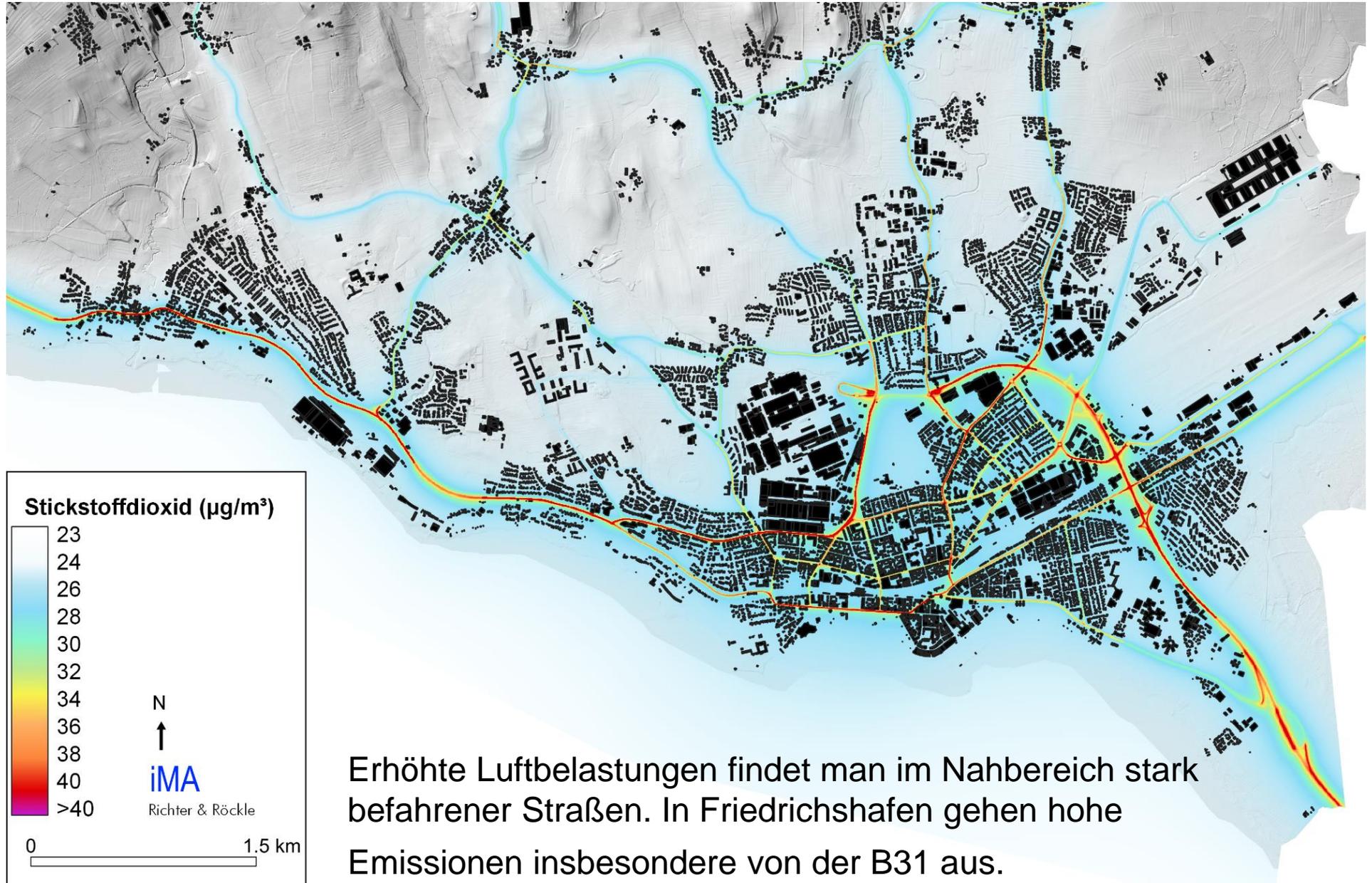
Die Beiträge des Kfz-Verkehrs wurden auf Basis der Verkehrsaufkommen (Modus Consult) für den Nullfall (derzeitige Verkehrssituation) und den Planfall (Prognose mit Umfahrung) berechnet.

Die Feinstaubbelastungen sind in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. Deshalb ist die Stickstoffdioxid-Belastung hinsichtlich der Beurteilung die relevante Größe.

Gemessene Jahresmittelwerte (LUBW) Friedrichshafen Ehlerstraße



Belastung - Luftschadstoffe



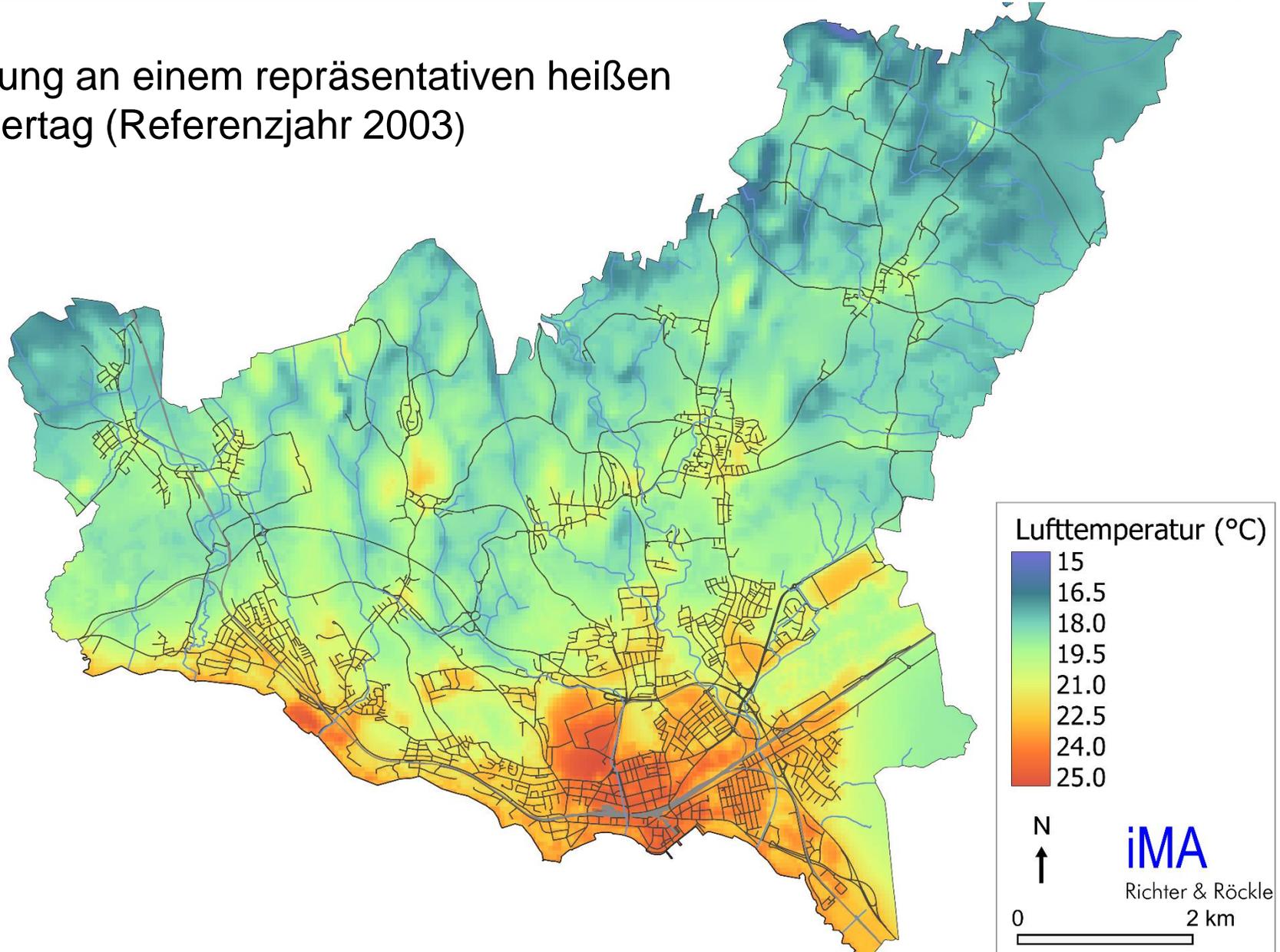
Erhöhte Luftbelastungen findet man im Nahbereich stark befahrener Straßen. In Friedrichshafen gehen hohe Emissionen insbesondere von der B31 aus.

Belastung – Lufttemperatur (22:00 Uhr)

Für die FITNAH-Simulation wurde von einer autochthonen* Wetterlage ausgegangen. Die Luftdruckverteilung weist kaum Druckunterschiede auf (wie es z.B. im Kern von Hochdruckgebieten typischerweise der Fall ist) und es gibt keine übergeordnete bzw. überregionale Strömung. Lokalklimatische Besonderheiten im Untersuchungsgebiet können sich unter diesen Bedingungen am besten ausbilden.

Belastung – Lufttemperatur (22:00 Uhr)

Belastung an einem repräsentativen heißen
Sommertag (Referenzjahr 2003)



Die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) ¹²³⁴

- basiert auf dem Münchner Energiebilanzmodell für Individuen (MEMI).
- PET ist definiert als diejenige Lufttemperatur in definierten Innenraumbedingungen, bei welcher dieselbe mittlere Hauttemperatur und Schweißrate durch die Berechnung der menschlichen Energiebilanz ermittelt werden, wie bei den zu untersuchenden Außenraumbedingungen.
- Die Innenraumbedingungen sind definiert als:
 - $T_{\text{mrt}} = T_{\text{a}}$
 - $v = 0,1 \text{ m/s}$
 - $VP = 12 \text{ hPa}$
- Ergebnisse sind vergleichbar, da PET einer der am häufigsten verwendeten Indizes deutschland- und weltweit ist.

¹ Höppe, P.: Heat balance modelling. *Experientia* 49 (1993):741–746

² Mayer, H.; Höppe, P.: Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor. Appl. Climatol.* 38 (1987), S. 43–49.

³ Höppe, P.: The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.* 43 (1999), S. 71–75.

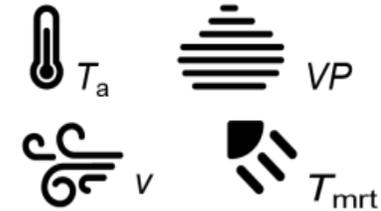
⁴ VDI 3787 Blatt 2: Human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Luftqualität

Mikroskalige Modellierung Human-Bioklima

THERMO-PHYSIOLOGISCHE PARAMETER



THERMISCHE UMGEBUNG



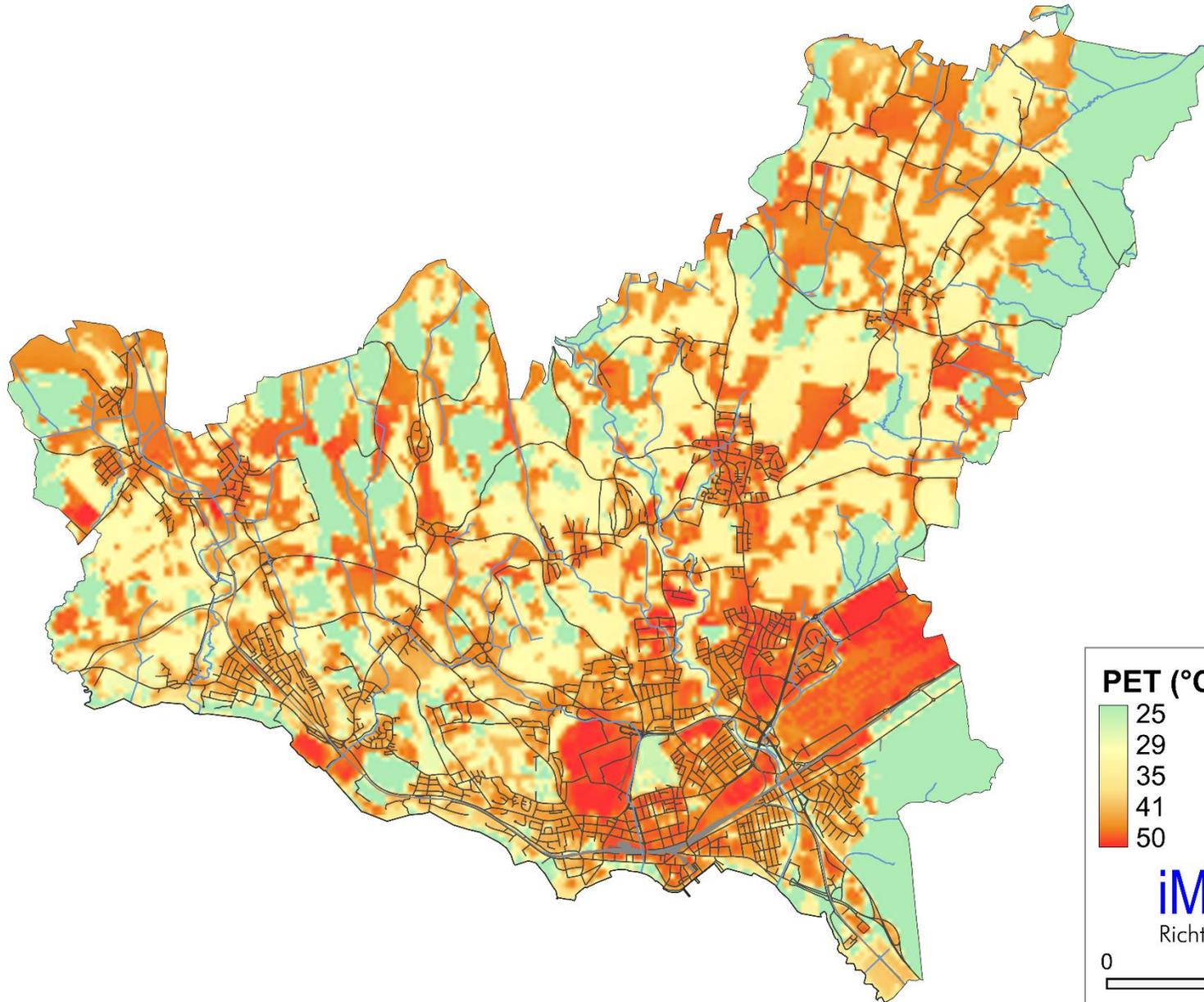
ENERGIEBILANZ
DES MENSCHLICHEN
KÖRPERS



THERMISCHE INDIZES
(PET, UTCI, ...)

T_a : Lufttemperatur
 VP : Dampfdruck
 T_{mrt} : mittlere Strahlungstemp.
 v : Windgeschwindigkeit

Belastung – „gefühlte Temperatur“, mittags

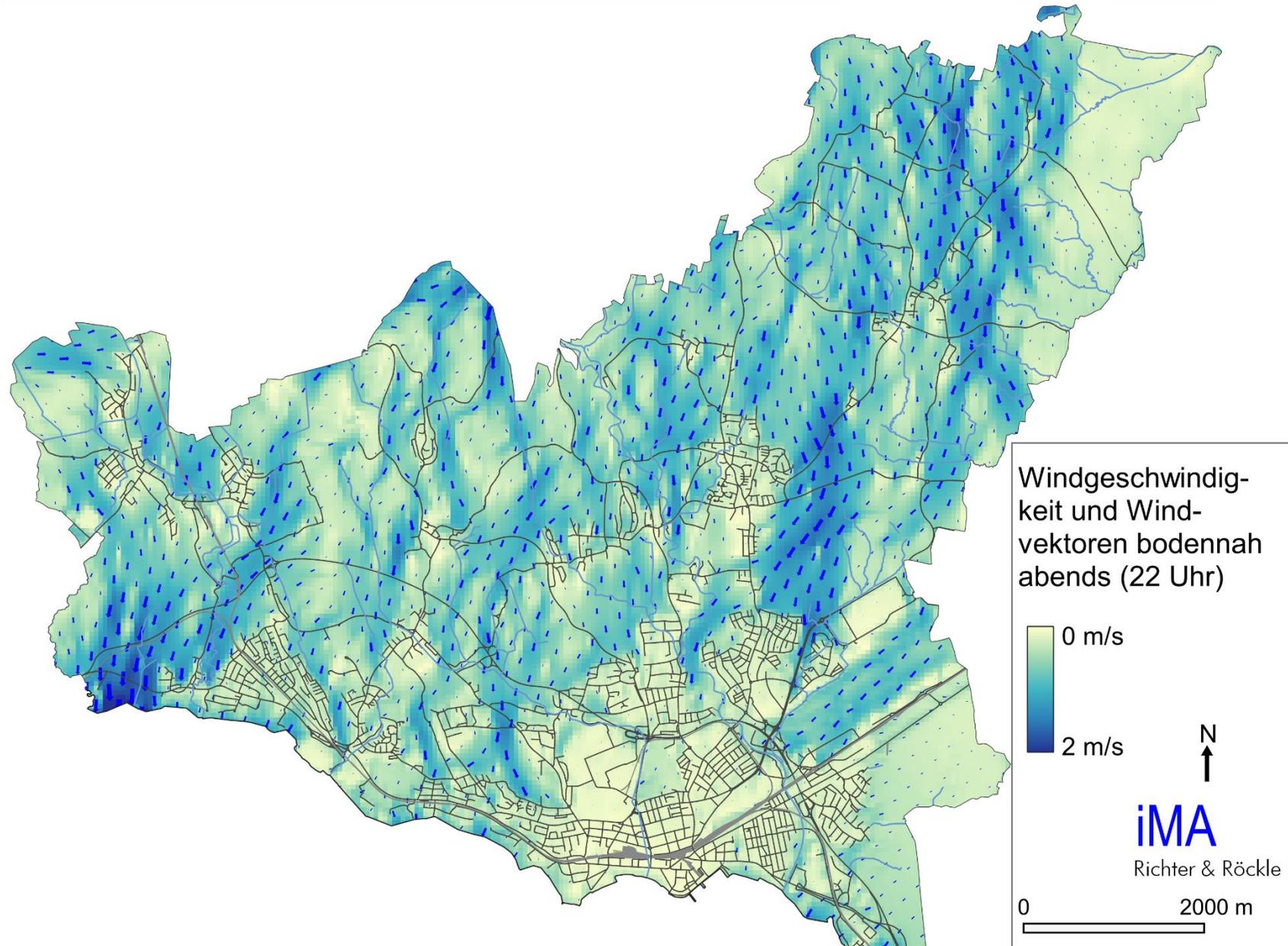


Die nächste Folie zeigt die mit FITNAH simulierte, bodennahe Kaltluftströmung in den Abendstunden. Die Luftdruckverteilung weist kaum Druckunterschiede auf (wie es z.B. im Kern von Hochdruckgebieten typischerweise der Fall ist) und es gibt keine übergeordnete bzw. überregionale Strömung.

Durch die Nähe zu den Hanglagen am nördlichen Ufer des Bodensees gibt es bei austauscharmen wolkenarmen Wetterlagen Kaltluftabflüsse, welche auch durch eine Land-See-Wind-Zirkulation überlagert und verstärkt werden. Diese erreichen und über- und durchströmen in den Abend- und Nachtstunden das Stadtgebiet. Dabei wird Frischluft zugeführt, die die tagsüber entstandenen thermischen und lufthygienischen Belastungen abtransportieren können.

Die Strömungsgeschwindigkeiten bei Kaltluftabflusssituationen sind im südlichen Stadtgebiet deutlich geringer als im nördlichen Teil von Friedrichshafen. Dies liegt an der zunehmenden Entfernung zum Hügelland und der zunehmenden Bebauungsdichte. Insbesondere die Industrie- und Gewerbegebiete sorgen für eine Schwächung der bodennahen Kaltluftströmung.

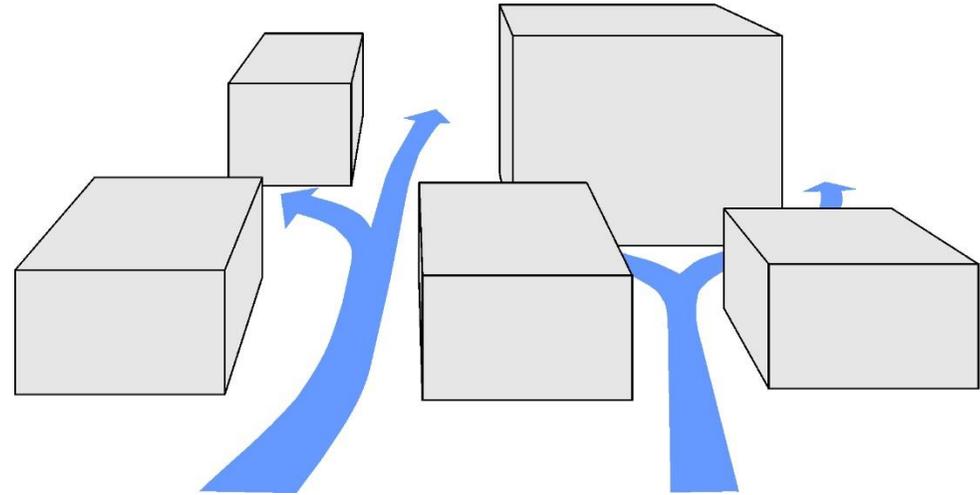
Entlastung: Kaltluftströmung abends, bodennah



Einfluss von Gebäuden auf die Durchlüftung

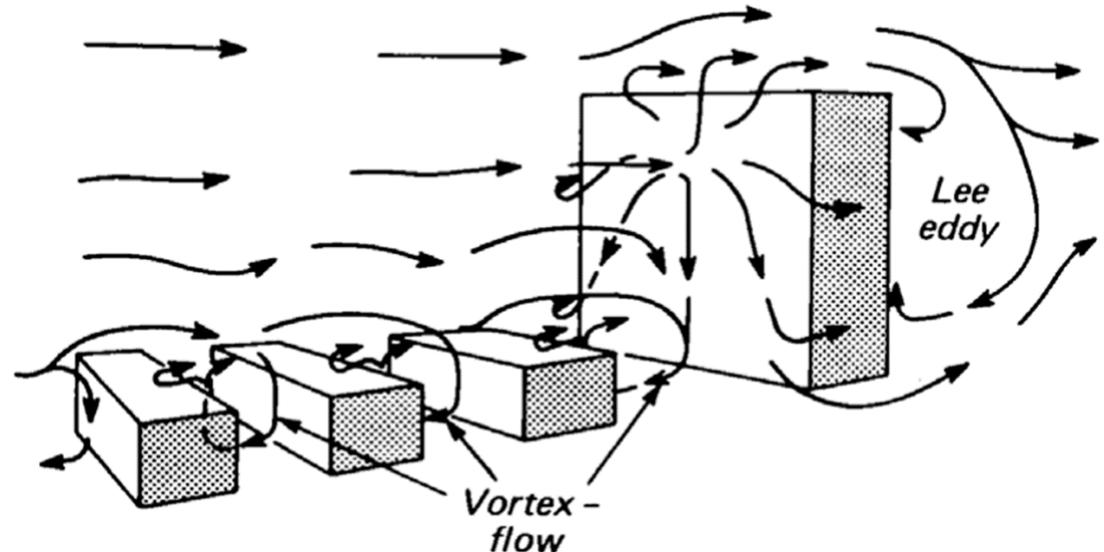
Bodennah 5 m

Belüftung der Peripherie:
Bodennahes Eindringen der Kaltluft am Siedlungsrand.



Dachniveau 28 m

Belüftung „innerstädtischer“
Bereiche über die
Durchströmung im
Dachniveau.

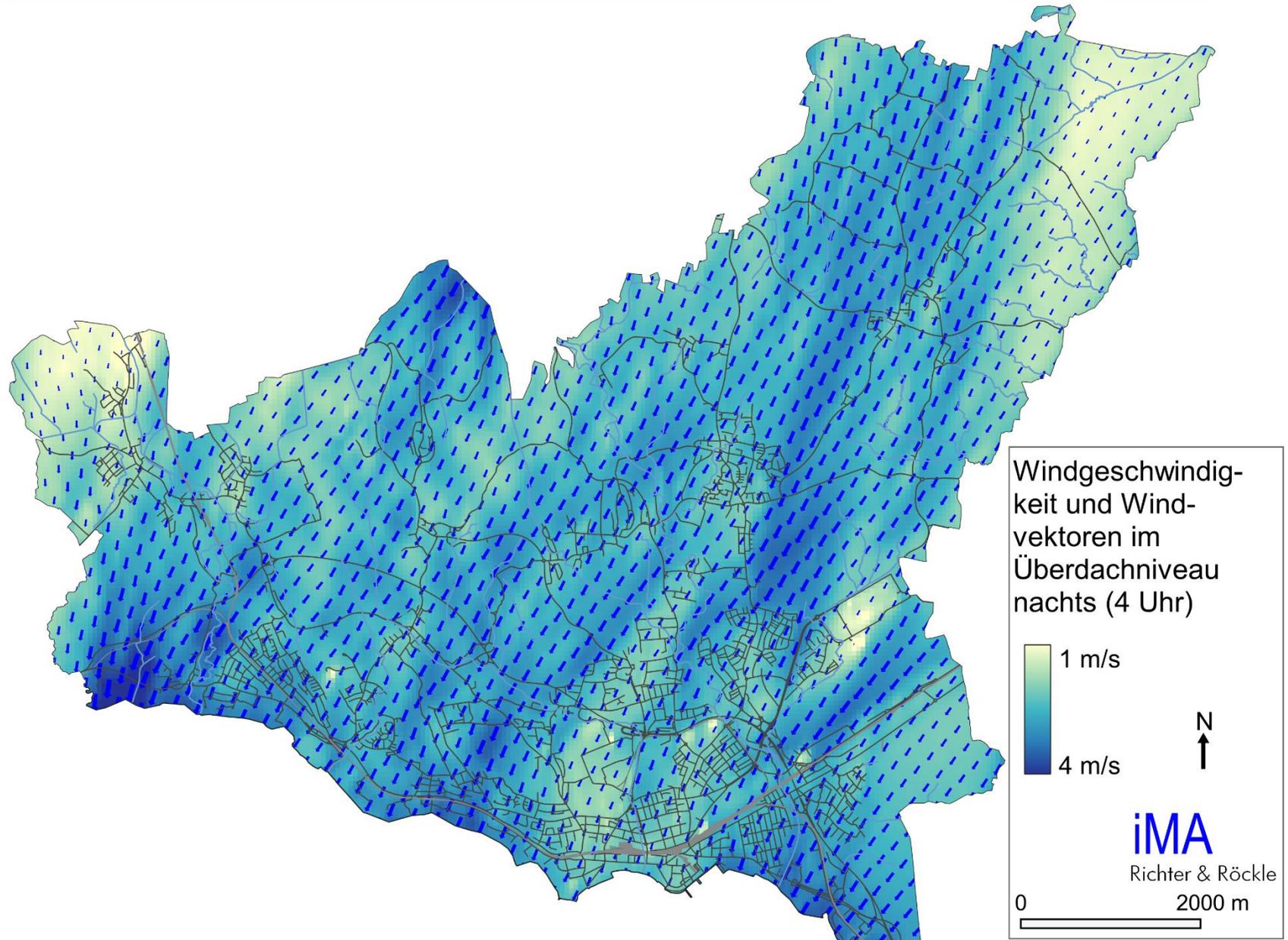


Entlastung: Kaltluftströmung abends, bodennah

Die nächste Folie zeigt die mit FITNAH simulierte Kaltluftströmung im Dachniveau in der zweiten Nachthälfte.

Der Land-See-Wind unterstützt die aus den nördlichen Anhöhen stammende Kaltluftströmung.

Kaltluftströmung nachts, im Überdachniveau



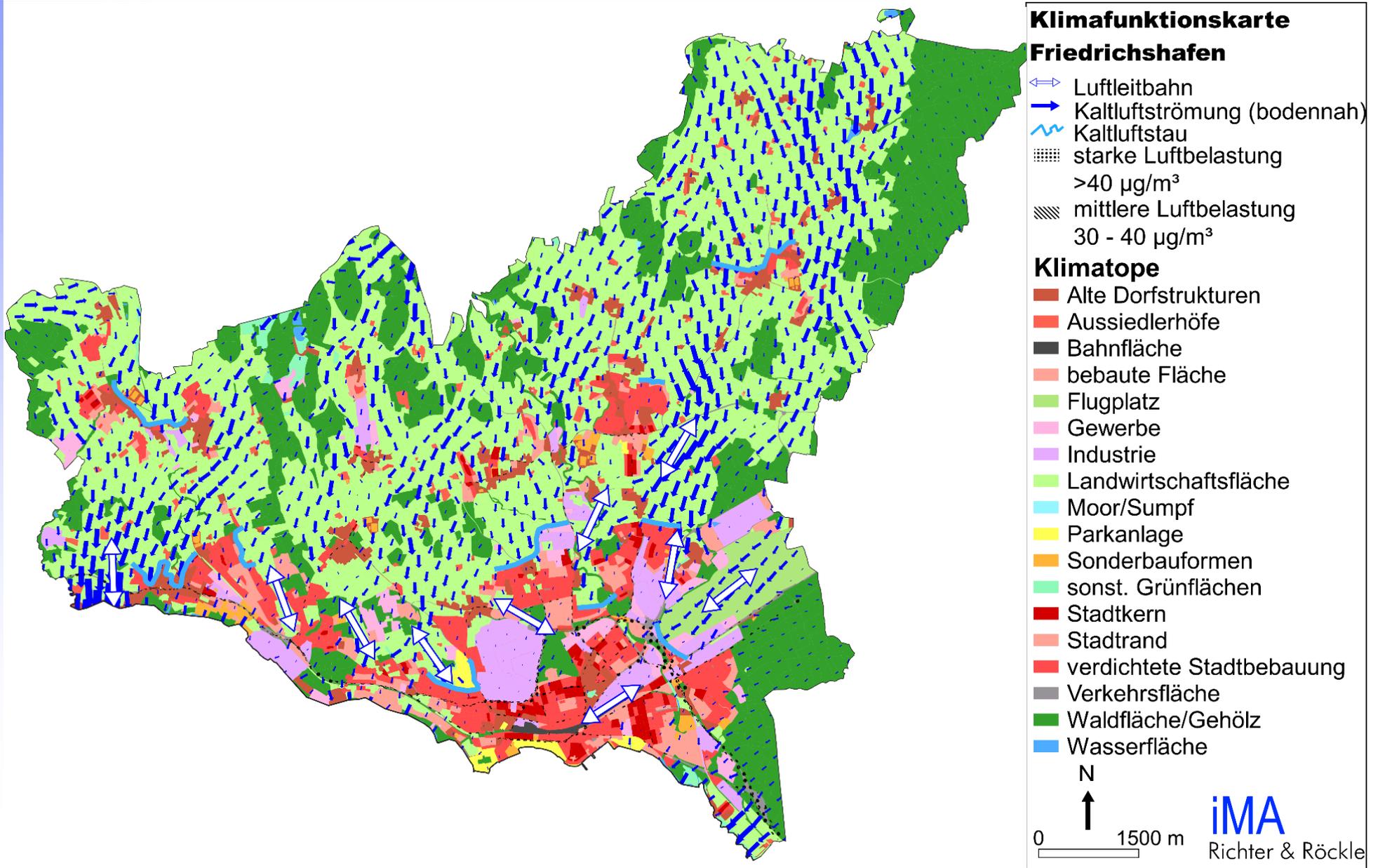
Die Klimatopkarte stellt eine weitgehend wertfreie Darstellung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse dar.

Es sind die relevanten Kaltluftströmungen, die dazugehörigen Luftleitbahnen und Kaltluftstaubereiche eingezeichnet.

Kaltluftstau (hellblaue Linien) entsteht an den nördlichen Siedlungsrändern abhängig von der Windrichtung der Kaltluftströmung. Davor staut sich die Luft zu einem Kaltluftstausee, dessen vertikale Mächtigkeit durch die Hindernishöhe begrenzt wird. Das Frostrisiko ist in diesem Bereich erhöht, dahinter verringert.

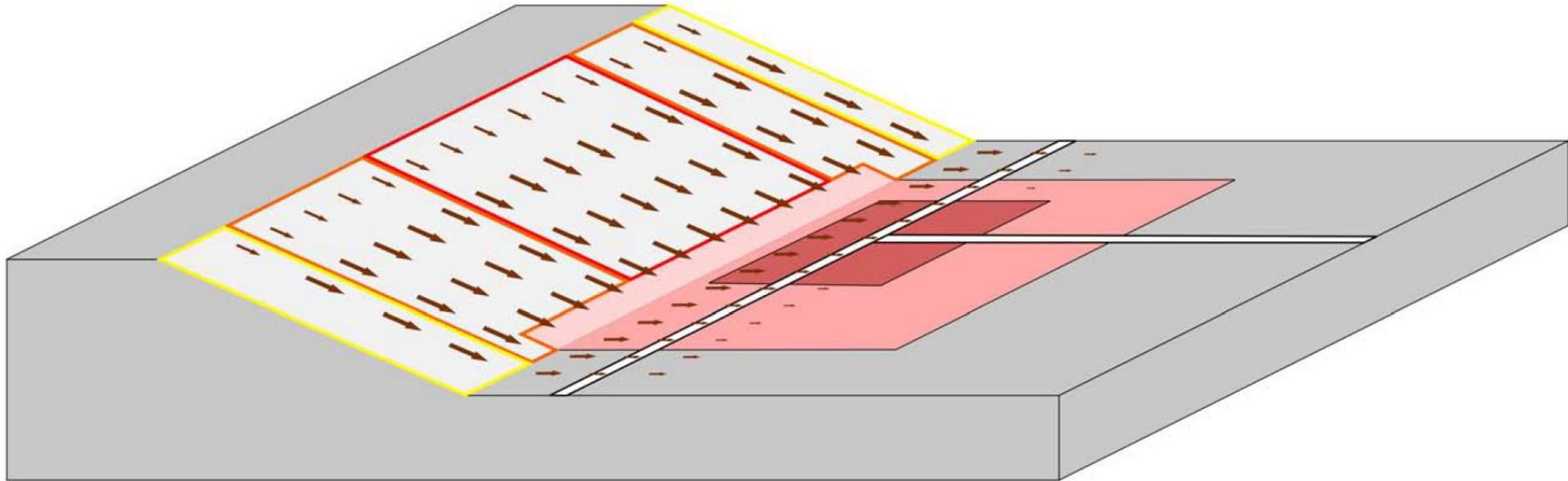
Die Gebiete mit mittlerer und starker Luftbelastung (Aerotop) sind schraffiert dargestellt und kennzeichnen die Gebiete mit einer Stickstoffdioxidbelastung von $30\text{-}40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $>40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Stickstoffdioxidbelastung $>40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ kommt allerdings nur auf den Fahrbahnen vor, nicht auf beurteilungsrelevanten Flächen.

Klimarelevanten Flächen, sogenannte Klimatope, bezeichnen räumliche Einheiten mit ähnlichen mikroklimatischen Strukturen (VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1).



Bewertungskriterien Ausgleichsraum – Wirkungsraum

Beispiel: Sicherung regional und lokal bedeutsamer Kaltluftentstehungsgebiete



□ Siedlung locker bebaut

■ Siedlung dicht bebaut

➔ Hangabwind

Kaltluftzufuhr erhalten/aufwerten:

□ höchste Priorität

□ mittlere Priorität

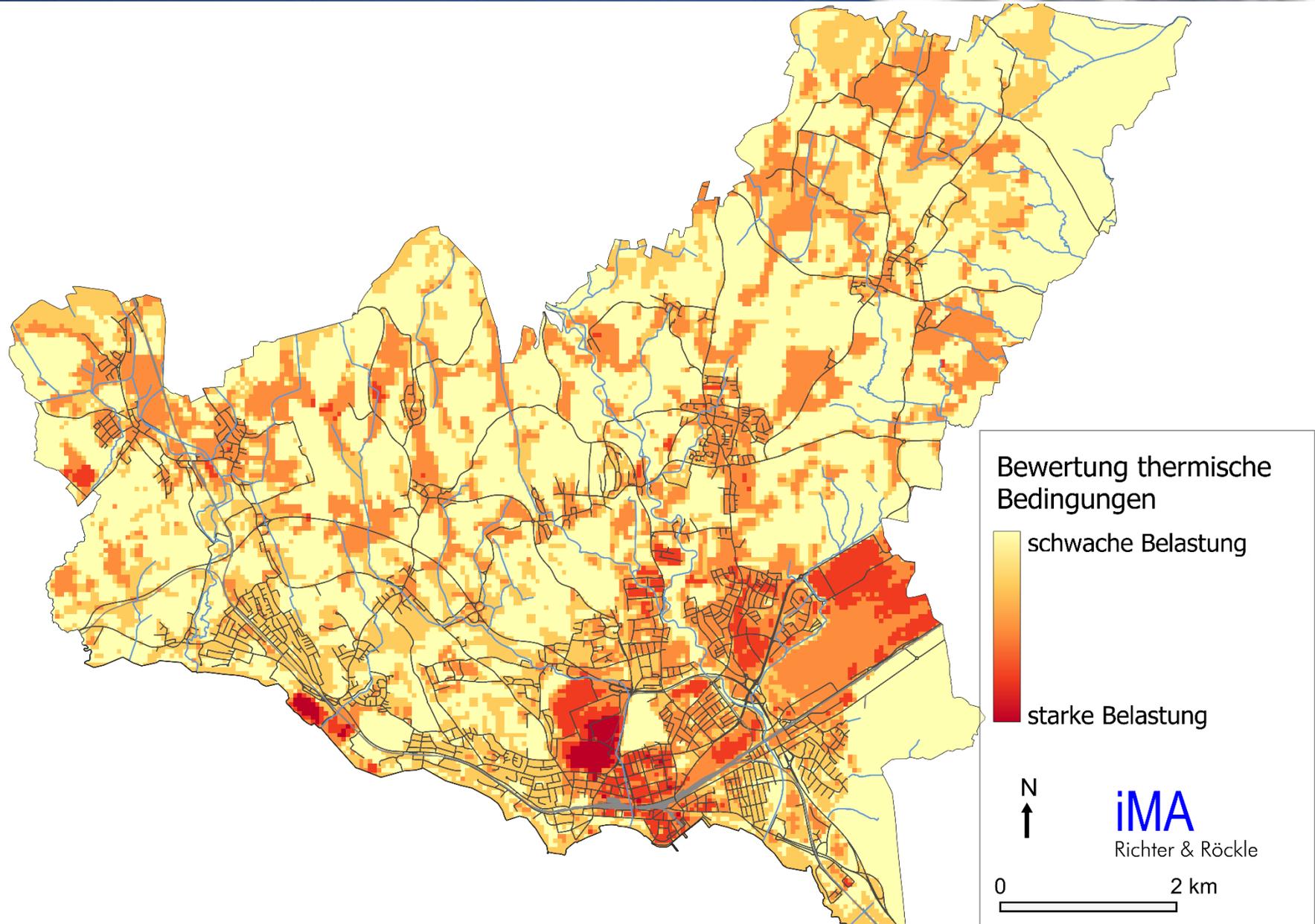
□ niedrige Priorität

Bewertung thermische Belastung (tagsüber und nachts)

Zur Bewertung der thermischen Belastung der Einwohner von Friedrichshafen sind folgende Größen eingeflossen:

- PET („gefühlte Temperatur“ in den Mittagsstunden)
- Nächtliche Lufttemperatur
- Erreichbarkeit von Grünflächen (siehe Präsentation aus dem Klimaanpassungskonzept).

Bewertung thermische Belastung (tagsüber und nachts)



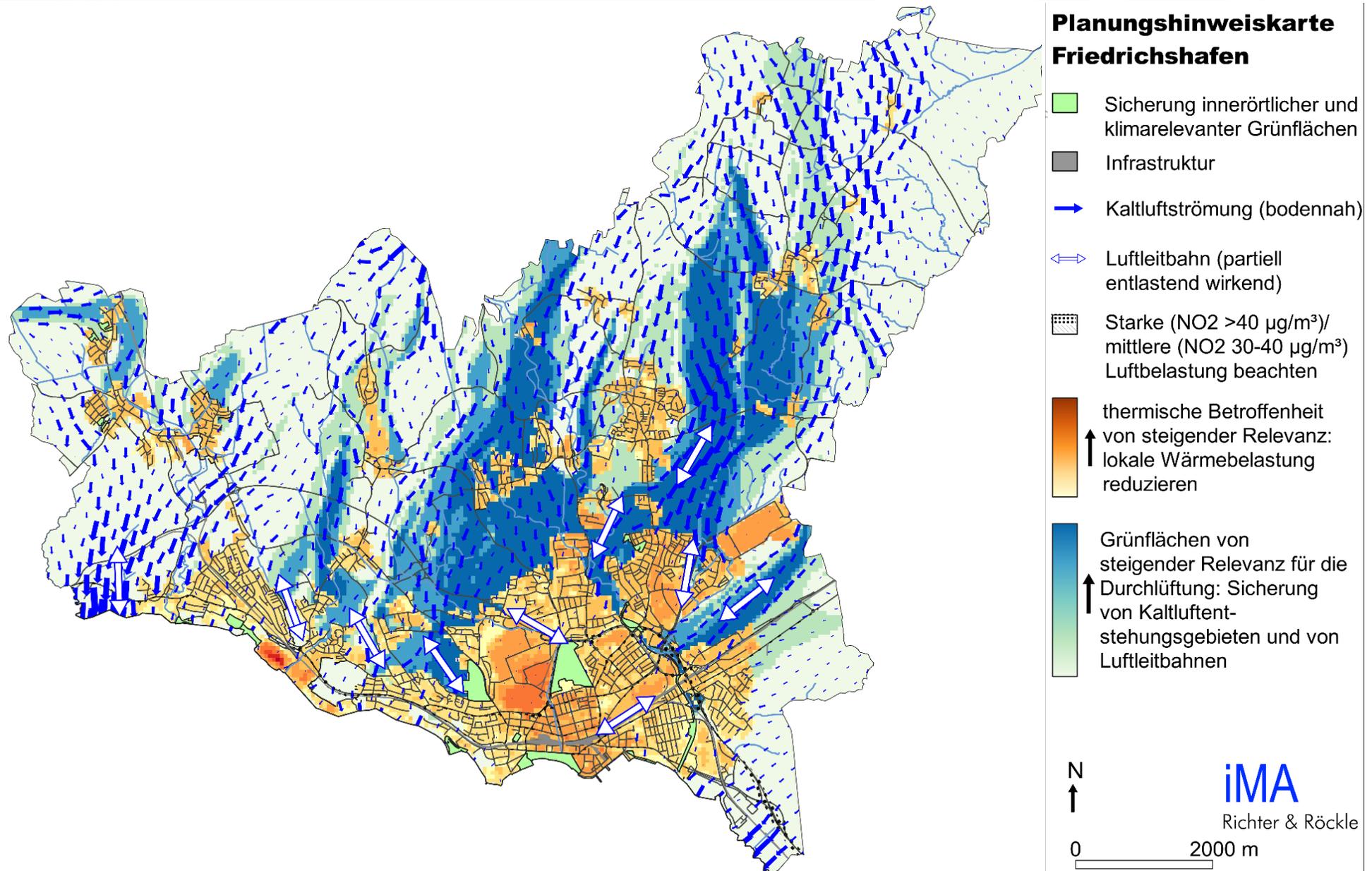
Auf der Planungshinweiskarte sind die Freiflächen hinsichtlich ihrer klimatisch-lufthygienischen Ausgleichsfunktion und die Siedlungsflächen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer Siedlungsverdichtung oder –erweiterung klassifiziert.

Die Siedlungsbereiche werden nach steigender thermischer Belastung eingefärbt. Je dunkler die Farbe, desto höher ist dort die Belastung. In den stark belasteten Bereichen sind eher Minderungsmaßnahmen anzustreben (Stichwort Begrünung). Nachverdichtungen in diesen Bereichen sind hinsichtlich der Schaffung von Ausgleichsflächen zu überprüfen.

Die außerstädtischen Grünflächen werden nach steigender Relevanz für die Durchlüftung eingefärbt. Bei der Bewertung der bodennahen Kaltluftabflüsse wurde die Karte zur Bewertung der thermischen Belastung zusätzlich mit der Einwohnerdichte pro Hektar verschnitten.

Die innerörtlichen klimarelevanten Grünflächen stellen Ausgleichsflächen für die Nachbarschaft dar.

Die wichtigen Luftleitbahnen für die Durchlüftung von Friedrichshafen sind eingezeichnet, ebenso die Aerotope (s.o.).



Vielen Dank!