

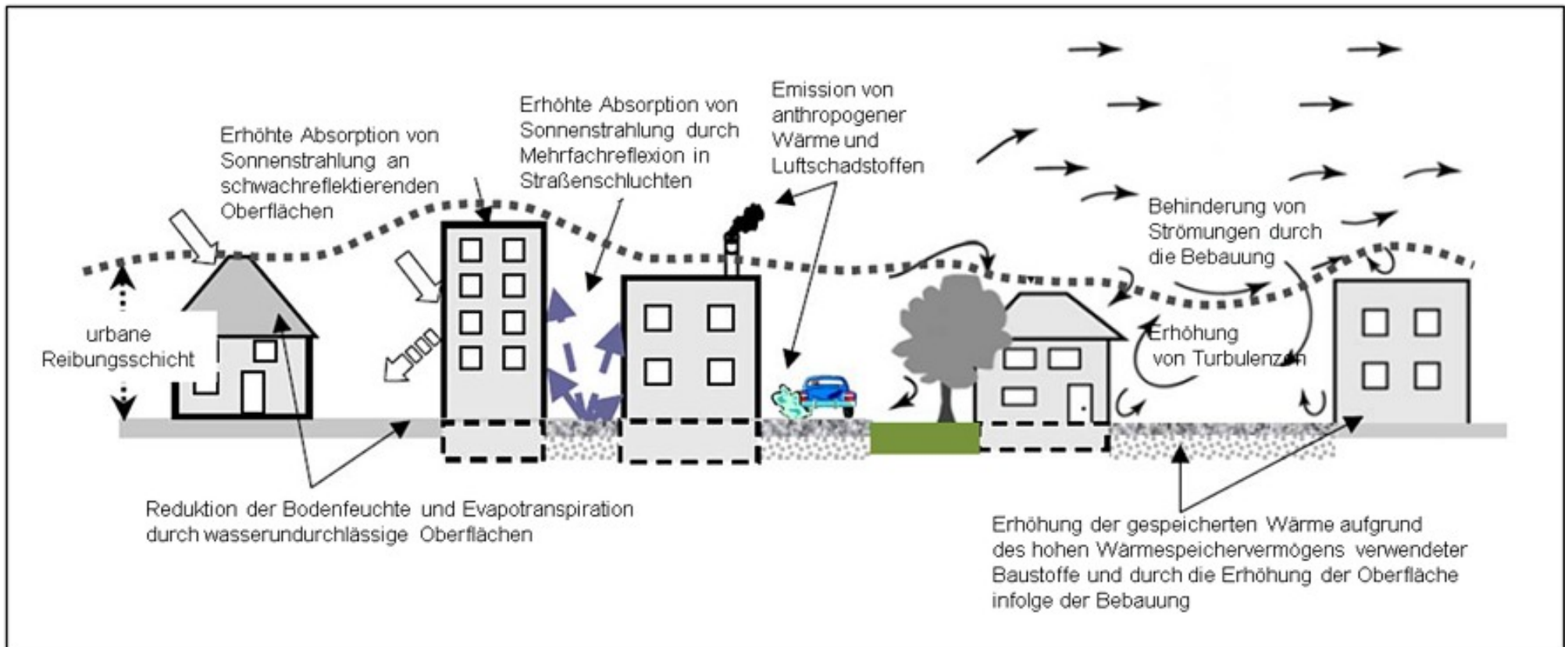


Modellierung stadtklimatischer Fragestellungen sowie Rückschlüsse auf die Stadtplanung am Beispiel STUTTGART

– Festlicher Fachworkshop „Luftreinhaltung“
der Lohmeyer GmbH, Dresden 12. Juni 2023 –



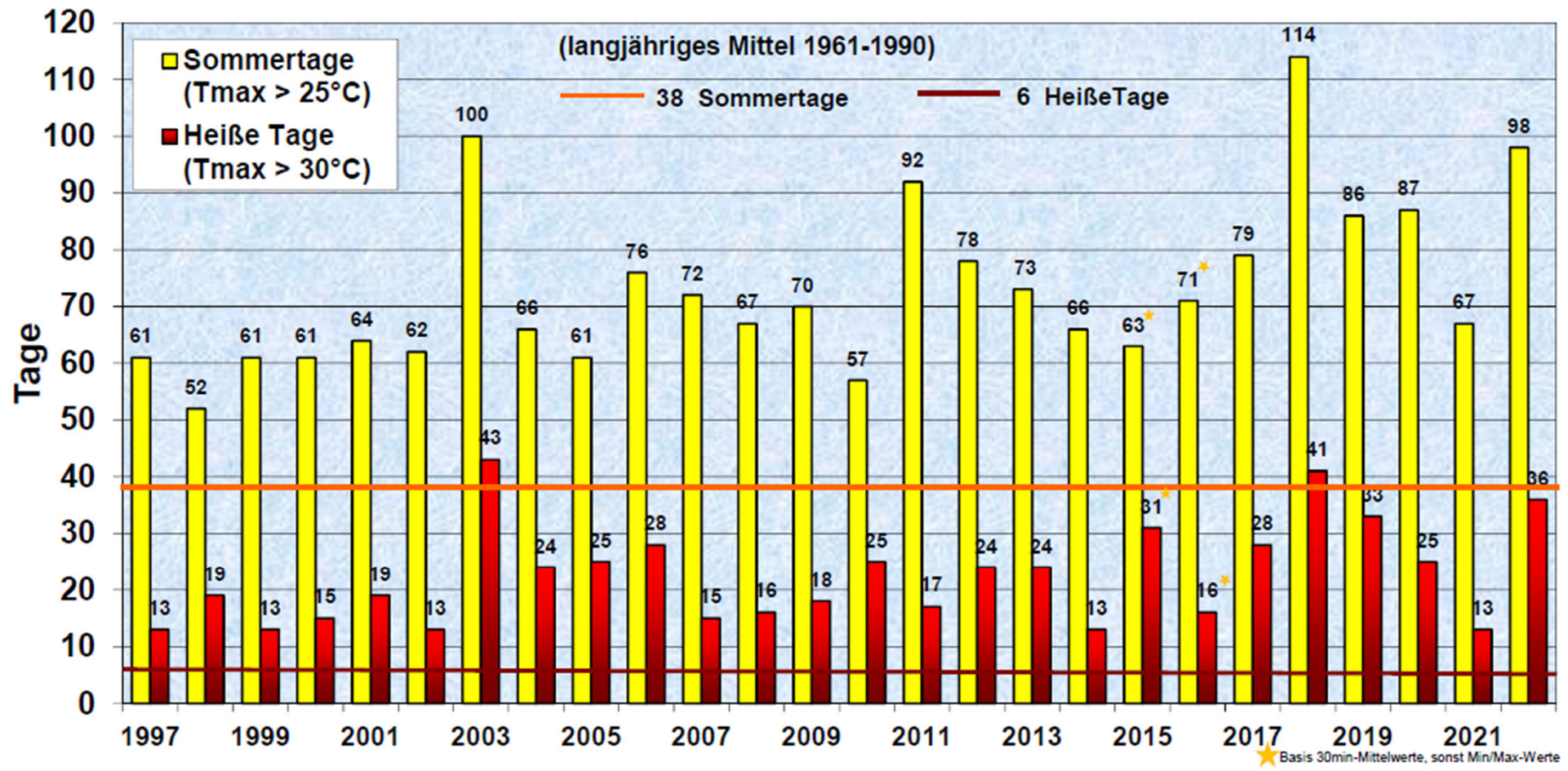
Das Arbeitsgebiet Stadtklimatologie ist in Stuttgart ein traditionsreiches Tätigkeitsfeld. 1938 beschloss der Gemeinderat die Anstellung eines Meteorologen, um Untersuchungen über die klimatischen Verhältnisse Stuttgarts vornehmen zu lassen und ihre Beziehungen zum Städtebau aufzuzeigen. Bereits damals wurde die Klimahygiene im Städtebau als Mittel zur Förderung und Erhaltung der Gesundheit der Stadtbewohner anerkannt.



Quelle: www.stadtklima-stuttgart.de



Sommertage und Heiße Tage in Stuttgart Mitte Messstation Schwabenzentrum 1997 - 2022



Quelle: AfU Stuttgart, Abt. 36-4



Die **Bauleitpläne** sollen eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung, ... gewährleisten. Sie sollen dazu **beitragen, ... den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern, ...** Hierzu soll die städtebauliche Entwicklung vorrangig durch Maßnahmen der Innenentwicklung erfolgen. (§ 1 Abs. 5)

Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind insbesondere zu berücksichtigen:

- a. die Auswirkungen auf ... Luft, Klima ...
 - h. die Erhaltung der bestmöglichen Luftqualität ...
- (§ 1 Abs. 6 Nr. 7)

Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl **durch Maßnahmen**, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, **die der Anpassung an den Klimawandel dienen**, Rechnung getragen werden. (§ 1a Abs. 5)

Städtebauliche Sanierungsmaßnahmen bzw. **Stadtumbau-maßnahmen** dienen dem Wohl der Allgemeinheit. Sie sollen dazu beitragen, dass

- 1. die **bauliche Struktur** in allen Teilen des Bundesgebiets **nach den allgemeinen Anforderungen an den Klimaschutz und die Klimaanpassung ... entwickelt wird, ...**

(§ 136 Abs. 4)

- 1. die **Siedlungsstruktur** den Erfordernissen der Entwicklung von Bevölkerung und Wirtschaft sowie **den allgemeinen Anforderungen an den Klimaschutz und die Klimaanpassung angepasst wird, ...** (§ 171a Abs. 3)




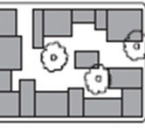



Quelle: Amt für Stadtplanung und Wohnen, LHS Stuttgart



VDI 3785 Blatt 1 (2008)

Tab.1 Planungsstrukturen und Klima-Relevanz

Klimatologische Bedeutung/ Planungsraum Abschnitt	Wärme- insel	Windfeld	Flurwind	Kaltluft- strom	Kaltluft- see	Bioklima	Luft- hygiene	Wind- komfort
 4.2 Regional-/ Landschaftsplan	++	++	+	+	+	o	o ^{*)}	--
 4.3 Stadtentwicklungs-/ Flächennutzungsplanung	++	++	+	++	++	+	++	--
 4.4 Ortsteil mit Flächen- nutzungs- Bauleitplanung	+	+	++	++	++	+	++	-
 4.5 Bebauungsstruktur/ Block und Bauleit-/ Freiraumplanung	-	+	o	o	-	++	++	+
 4.6 Gebäudearchitektur Bebauungsplan bauvertrag	--	+	-	-	--	++	++	++

++ von großer Bedeutung + von Bedeutung o neutral, das heißt, im Einzelfall von Bedeutung
 - von geringer Bedeutung -- ohne Bedeutung *) Erläuterung siehe Text

Wind

- Strömungsfelder bzw. Windrichtung und -geschwindigkeit
- Aussagen zur Durchströmung des Plangebiets und seiner Umgebung; Einfluss auf die Windströmungen
- Windkomfort

Kaltluft

- Kaltluftvolumenstromdichte, -schichtdicke, -geschwindigkeit im Plangebiet und dessen Umgebung, Kaltluftverlust durch Bebauung, Kaltluftpotential (Strömung / thermisch)
- auch vertikal: zeitlicher Verlauf Bodeninversion für entsprechendes Gebiet und Zusammenhang mit Kaltluft

Thermische Belastung

- meteorologische Kenngrößen für verschiedene Klimazeiträume: zB Anzahl Hitzetage, Anzahl Sommertage
- Anzahl Tage mit starker Wärmebelastung / Jahr im Plangebiet und dessen Umgebung
- humanbiometeorologische Bewertung
- nächtliche Lufttemperatur; städtische Wärmeinsel
- Lufttemperatur, Strahlungstemperatur

Baugesetzbuch, Anlage 1

- Beschreibung und Bewertung der erheblichen Umweltauswirkungen
- Bestandsaufnahme der einschlägigen Aspekte des derzeitigen Umweltzustands (Basisszenario), voraussichtliche Entwicklung des Umweltzustands bei Nichtdurchführung der Planung, Prognose über die Entwicklung des Umweltzustands bei Durchführung der Planung



** mesoskalig – mikroskalig * prognostisch – diagnostisch * hydrostatisch und nicht-hydrostatisch * RANS - LES*

Der Haupteinsatzbereich von mesoskaligen Modellen liegt in der Beschreibung von regionalen durch die topographische und thermische Situation verursachten Windverhältnissen wie auch Kaltluftabflüssen und die Ausbreitung von Luftschadstoffen. Beispiele für mesoskalige Modelle im Bereich der Gelände- und Stadtklimatologie sind: **FITNAH** (GROSS, 1991), **METRAS** (SCHLÜNZEN, 1988, 1990), **PROWIMO** (Flassak 2016, 2018) .

Gängige Kaltluftabflussmodelle sind beispielsweise das Modell **KALM** (SCHÄDLER, LOHMEYER 1996) oder das Modell **KLAM_21** der Deutschen Wetterdiensts (DWD). Hier ist in erster Linie darauf zu achten, dass alle relevanten Kaltlufteinzugsgebiete im Modellgebiet berücksichtigt sind, um möglichst realistische Ergebnisse zu erzielen.

Zur Untersuchung von Strömungsverhältnissen und Ausbreitungen von Luftbeimengungen im lokalen Bereich eignet sich die Basisversion des 3-dimensionalen mikroskaligen urbanen Klimamodells **MUKLIMO_3** des Deutschen Wetterdienstes (SIEVERS, 1990). Die Thermodynamikversion eignet sich sowohl zur Untersuchung klimatischer Auswirkungen infolge Flächennutzungsänderungen, als auch zur Klimaanalyse ganzer Städte.

Das mikroskalige Modell **ENVI-met** (Bruse) ermöglicht die numerische Betrachtung von urbanen Strukturen als gesamtheitlichen Wirkungskomplex unter besonderer Berücksichtigung der kleinskaligen Umweltgestaltung wie Gebäudestrukturen, Straßen- und Gebäudebegrünungen oder verschiedenen Versiegelungsmaterialien.

Die Anwendung des Modells **RayMan** (MATZARAKIS et al., 2000; MATZARAKIS u. MAYER, 2000) eignet sich für die Erarbeitung von Bioklimakarten oder vergleichbaren Kartendarstellungen sowie für die human-biometeorologische Bewertung von planungsbedingten Änderungen der mikroklimatischen Bedingungen.

Das diagnostische Programmsystem **AUSTAL2000** zur Ausbreitungsrechnung von Schadstoffen in der Atmosphäre wurde im Rahmen der Novellierung der TA Luft erstellt und steht kostenfrei zur Verfügung. Bei Fragestellungen in komplexerer Topographie wird dabei oftmals auf das Lagrange'sches Partikelmodell **LASAT** (JANICKE, 1996; VDI-Richtlinie 3945 Bl.3, 2000) zurückgegriffen, das die Möglichkeit bietet, das Gelände und dessen Einfluss explizit zur berücksichtigen.

Für die Bewertung verkehrsbedingter Immissionen wurde im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg das Screeningmodell **STREET** (PFEIFER et. al., 1996; VDI-RICHTLINIE 3782 Bl. 8, www.kttumwelt.com) entwickelt. Für die Berechnung der Schadstoffbelastung für einzelne Straßenabschnitte oder auch für Straßennetze wird häufiger auf die Screeningmodelle **PROKAS** (BÖSINGER, 1996; VDI-RICHTLINIE 3782 Bl.8) oder **IMMIS** (IVU Umwelt) zurückgegriffen.

Mikroskalige Modelle sind in der Lage, die einzelnen Baukörper detailliert darzustellen und Prozesse an einzelnen Gebäuden oder sogar Gebäudeteilen zu betrachten. Das Programm **MISKAM** (EICHHORN, 2010; VDI-RICHTLINIE 3782 Bl.8) ist einer der anspruchsvollsten Vertreter einer ganzen Reihe mikroskaliger Modelle. MISKAM ist ein dreidimensionales Strömungs- und Ausbreitungsmodell zur kleinräumigen Prognose von Windverteilungen und Immissionskonzentrationen in Straßen bis hin zu Stadtteilen. Auch das Modell ABC berechnet für eine vorgegebene meteorologische Anströmsituation (Windrichtung, Windgeschwindigkeit) die Wirkung von Gebäudehindernissen auf das Strömungsfeld.

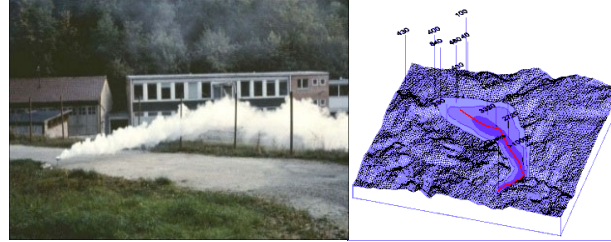
Bisher gibt es jedoch kein Modell, das alle planungsrelevanten Fragestellungen lösen kann, so dass jeweils eine dem Problem angemessene Auswahl erforderlich ist und zwar unter den physikalischen, numerischen und empirisch-statistischen Modellen, ABER:

Im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Stadtklima im Wandel“ wurde ein neues, innovatives Stadtklimamodell entwickelt. Mithilfe des hochauflösenden Modells können fachübergreifende Analysen zur Bewertung des Stadtklimas und der Luftreinhaltung durchgeführt werden. Darüber hinaus findet das Modell auch in anderen Bereichen, wie Wolkenphysik, Windenergie und Gebirgsmeteorologie Anwendung. **PALM-4U** basiert auf dem hoch-parallelisierten Large-Eddy Simulation (LES) Model PALM der Universität Hannover (<https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/palm4u>).

... => s.a. Städtebauliche Klimafibel Baden-Württemberg, 2012

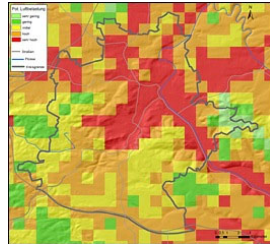


Tracergasversuche



Messung

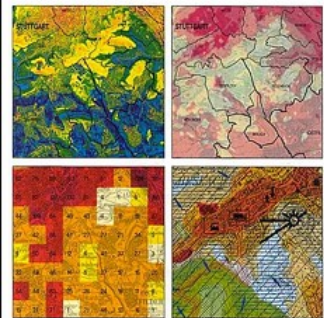
Fesselballonsondierung



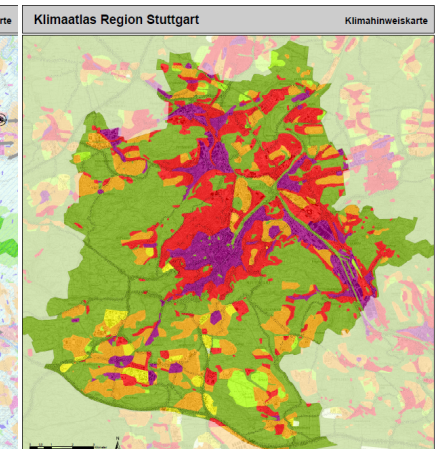
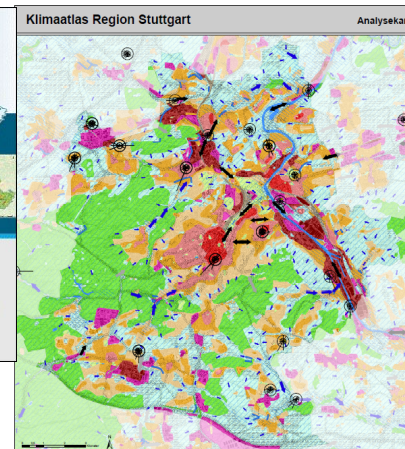
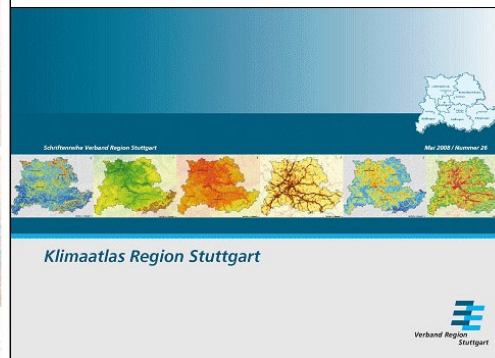
Räumliche Emissionsverteilung

Klimaatlas

Nachbarschaftsverband Stuttgart
KLIMAAATLAS

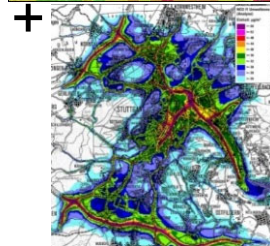


Klimauntersuchung für den Nachbarschaftsverband Stuttgart und angrenzende Teile der Region Stuttgart



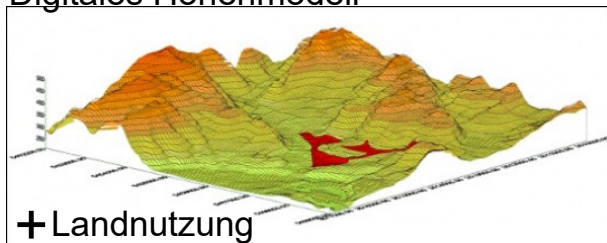
Klimaanalyse- und Planungshinweiskarte

BMBF-RegKlim-Projekt: „ISAP – Integrative stadt-regionale Anpassungsstrategien in einer polyzentrischen Wachstumsregion: Modellregion – Region Stuttgart“

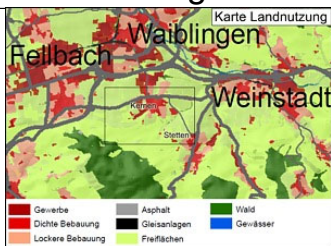


Luftschadstoffmodellierung

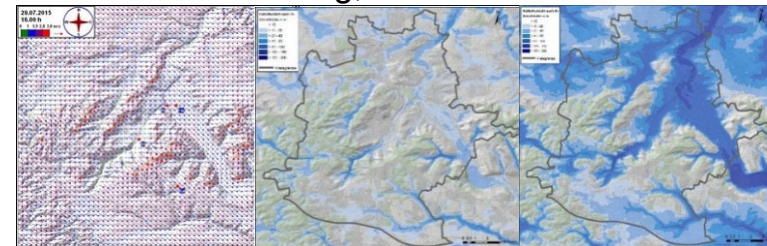
Digitales Höhenmodell



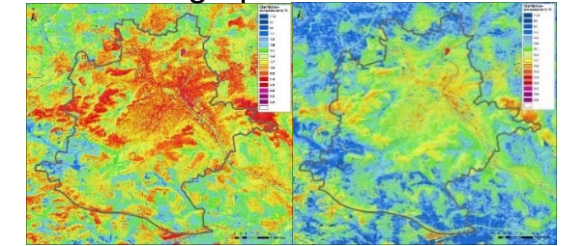
+ Landnutzung



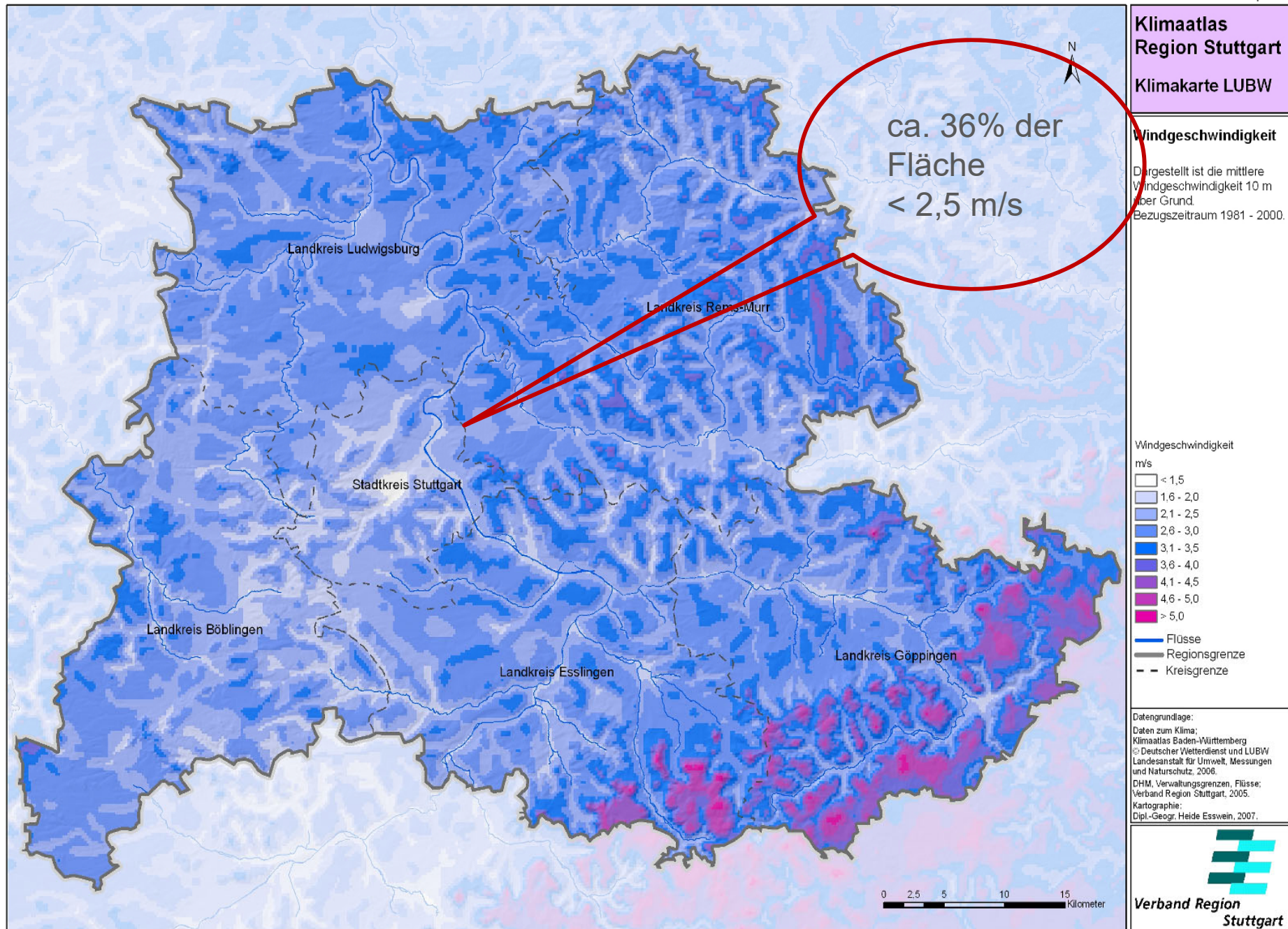
Windfeldmodellierung, Kaltluftsimulation



IR Thermographie



Fotos/Quellen: Amt für Umweltschutz, LHS Stuttgart

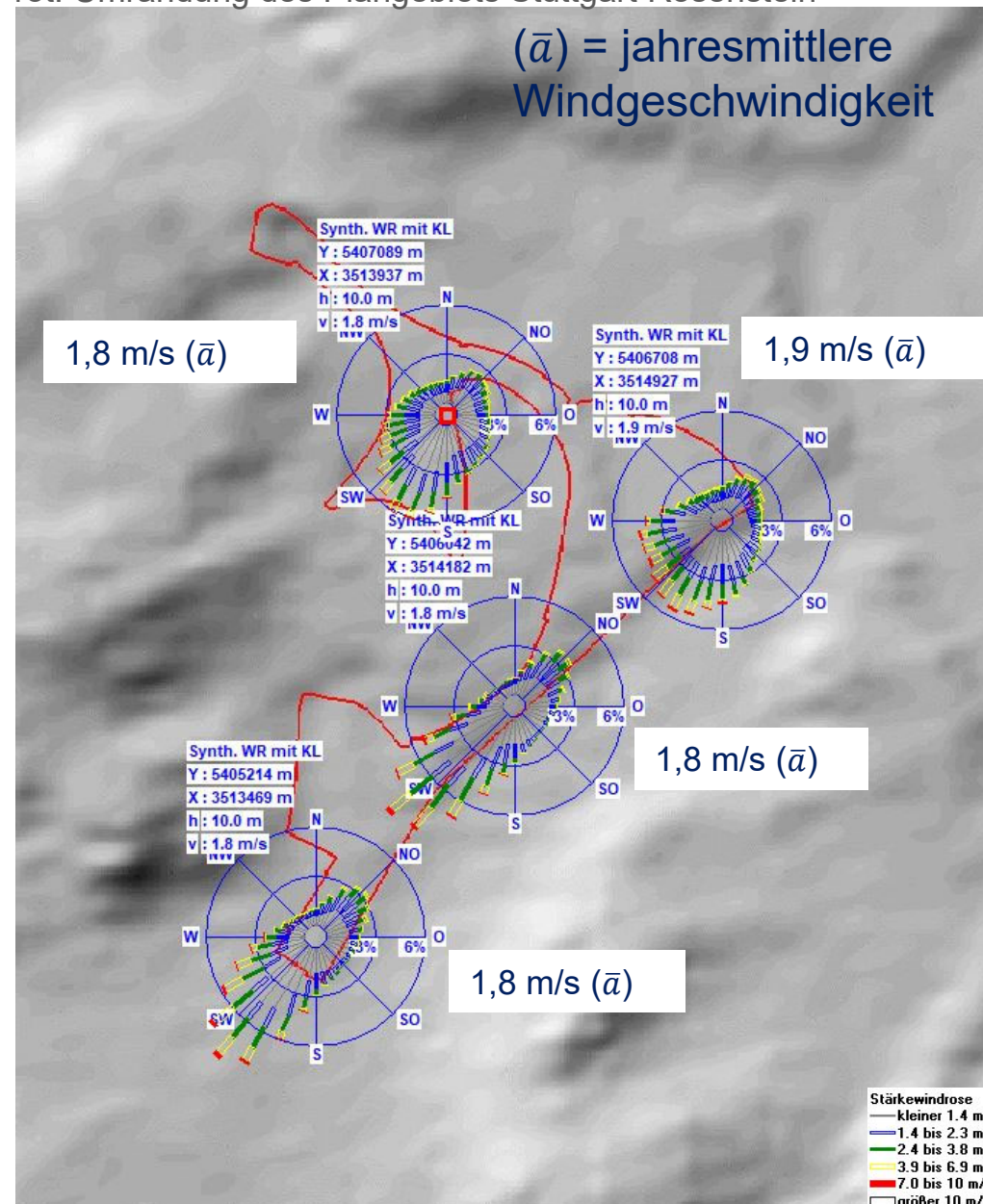




Wettbewerbsgebiet Rosenstein,
nach Amt für Stadtplanung und Wohnen, 2018



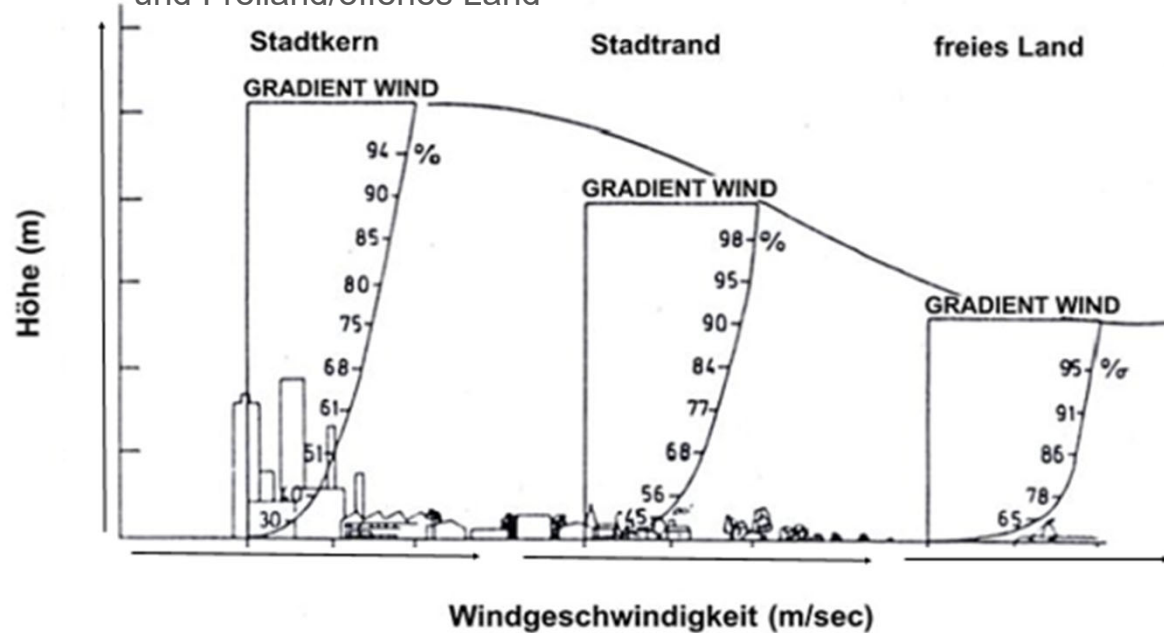
Stärkewindrosen an verschiedenen Punkten des Entwicklungsgebiets;
rot: Umrandung des Plangebiets Stuttgart Rosenstein





Vertikales Windprofil über Stadtkern/Stadt, Stadtrand/Vorstadt und Freiland/offenes Land

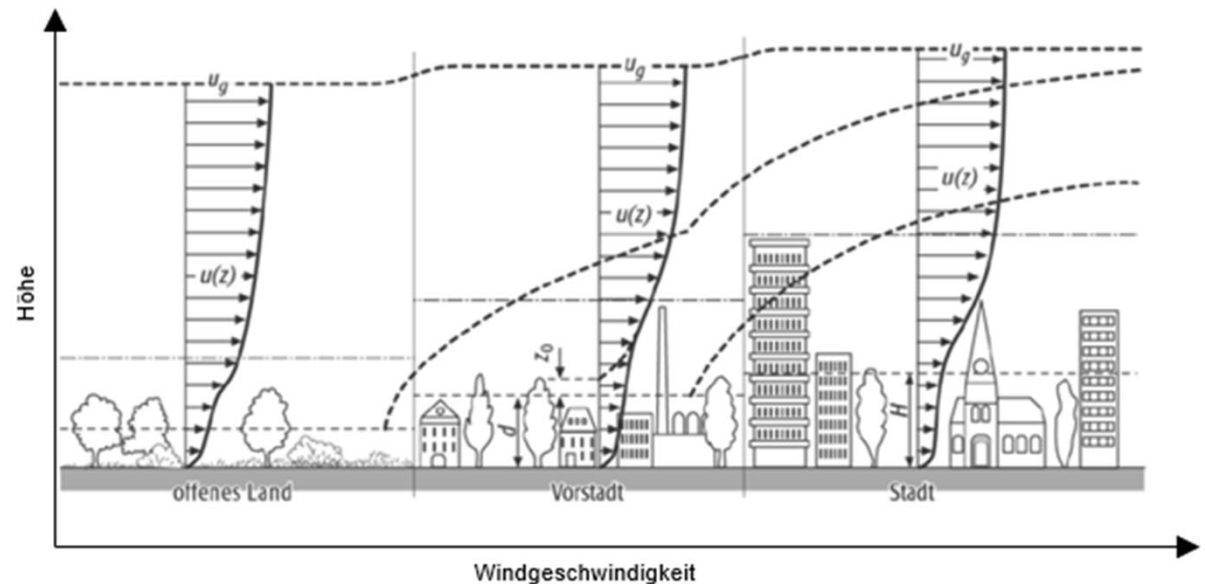
- Durchsetzung Wind von oben nach unten
- In gewisser Höhe nahezu ungestörtes Windfeld, innerhalb Grenzschicht nimmt Reibung zu und damit Windgeschwindigkeit ab, versiegt nahe Erdboden ganz
- Reibungskraft abhängig von Oberflächenbeschaffenheit (Orographie, Landnutzung, Gebäude, ...)
- Mathematische Beschreibung durch logarithmisches Windprofil
- Rauigkeit (Hindernisstruktur (Höhe, Form, Abstände))
- Verdrängungshöhe (Verdrängung nach oben durch erzwungenes Überströmen)



Quelle: Robel F., Hoffmann U., Riekert A. (1978): Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot-Thermographie. Beiträge zur Stadtentwicklung Nr. 15, LHS

Neue Referenzgröße (Grundbebauung): nahezu um ein Drittel reduzierte jahresmittlere Windgeschwindigkeit (Ausgang $1,8 \text{ ms}^{-1}$)

unter Berücksichtigung der Hochpunkte: zudem Geschwindigkeitsreduzierung von nahezu 40% (deutliche Reduzierung)



Quelle: Uni Freiburg



Der FNP 2010 enthält erstmals auch eine Aussage zur 3. Dimension der Höhenentwicklung.

Auf der Grundlage des Hochhaus-Gutachtens von Prof. Stracke aus dem Jahr 1993 wurde vom Stadtplanungsamt ein Standortkonzept „Hochhäuser in Stuttgart“ ausgearbeitet, das als generelle Leitlinie für die Bauhöhenentwicklung im Stadtgebiet dem FNP 2010 zugrunde gelegt wird.

➤ Zone 1: Schutzzone

Tabuflächen für Hochhäuser aufgrund der topographischen, stadtklimatischen und stadtgestalterischen Randbedingungen.

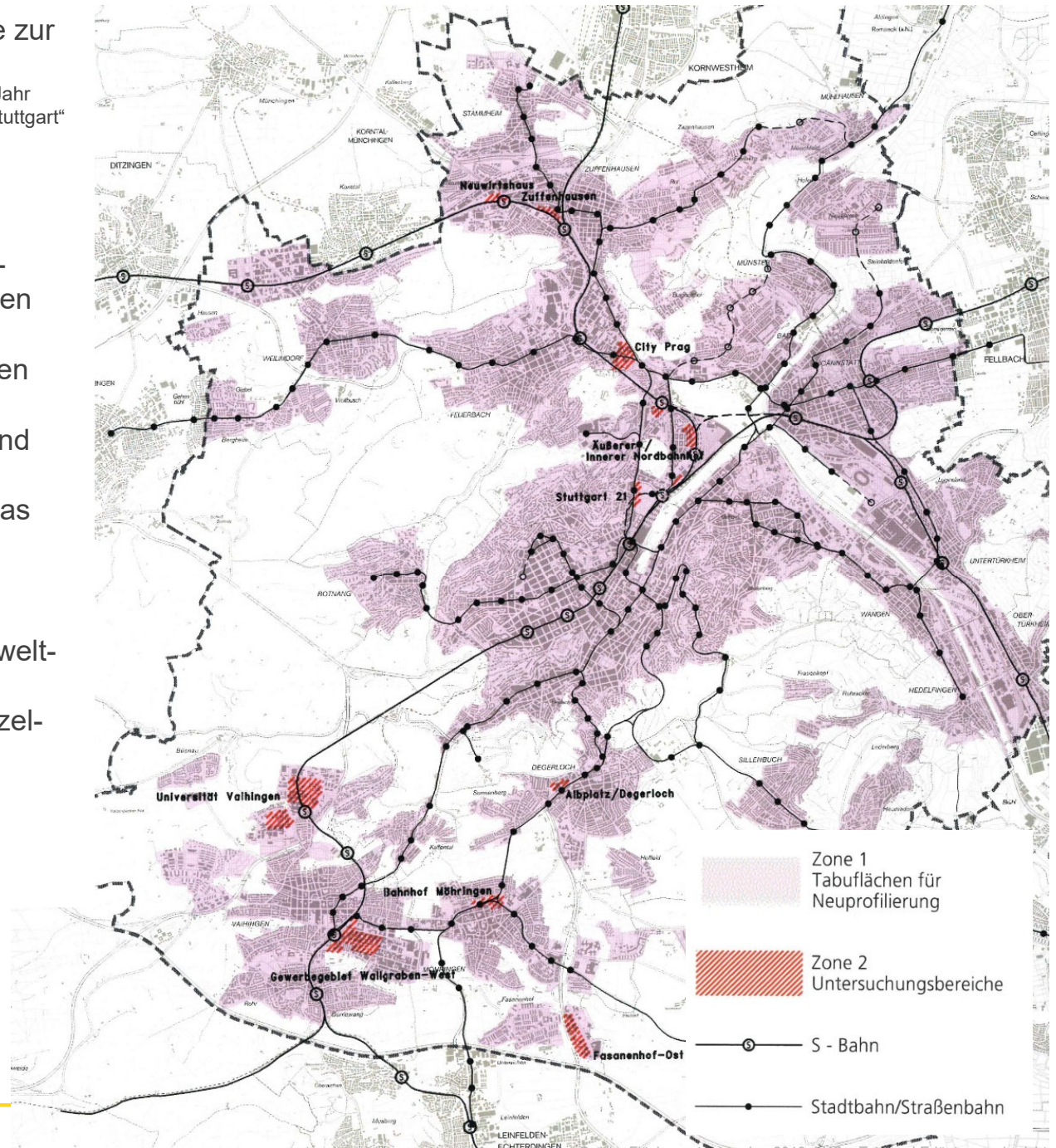
Keine Neuprofilierung der Stadtsilhouette in allen Bereichen, die eine wesentliche Funktion für das Stadtklima haben (Hauptluftleitbahnen entsprechend Klimaatlas).

Neuprofilierung nur, wenn [...] Auswirkungen auf das Stadtklima kompensierbar sind.

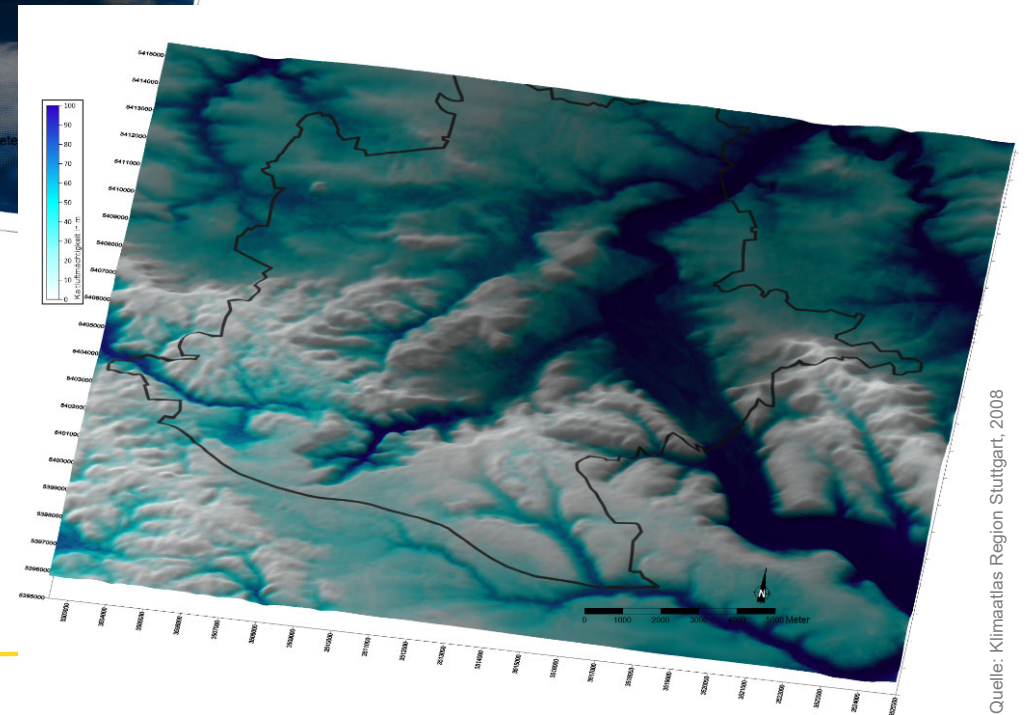
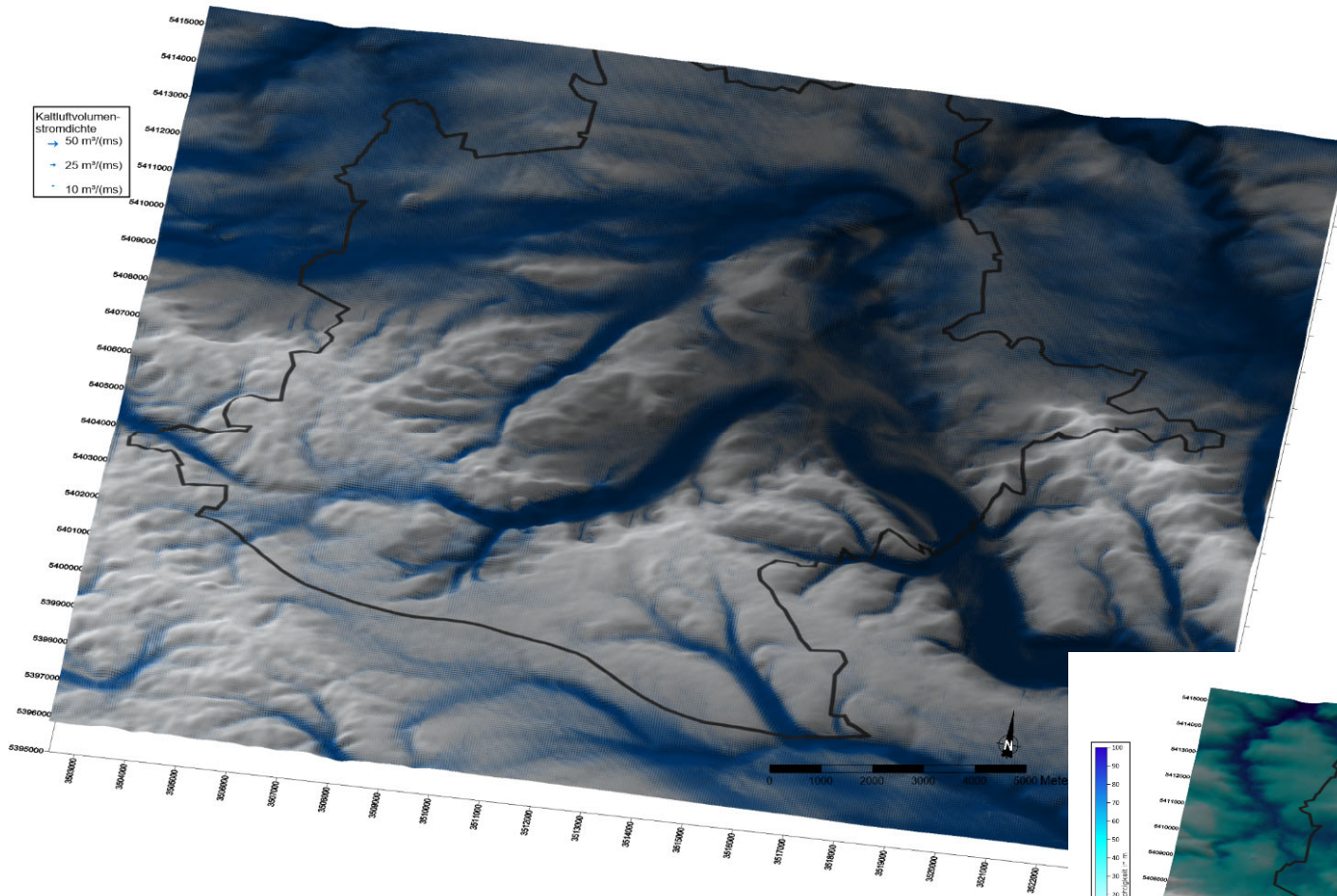
➤ Zone 2: Untersuchungsbereich

Bau höherer Häuser bei Berücksichtigung der Umwelt- und Sozialverträglichkeit grundsätzlich möglich; in jedem Fall städtebauliche und klimatologische Einzelprüfung erforderlich).

APPELL AN ALLE BETEILIGTEN!

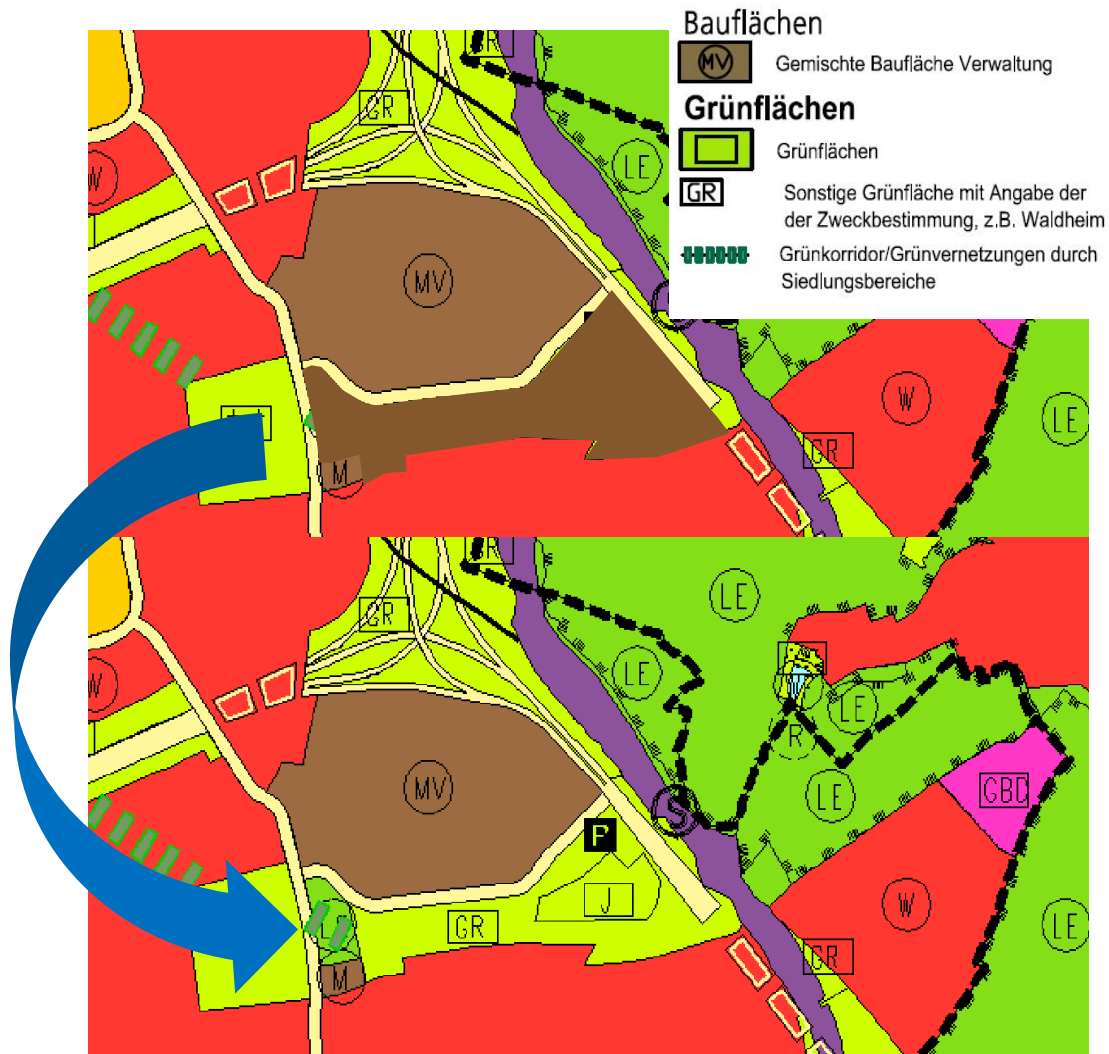


Kaltluft – ausgeprägte Phase





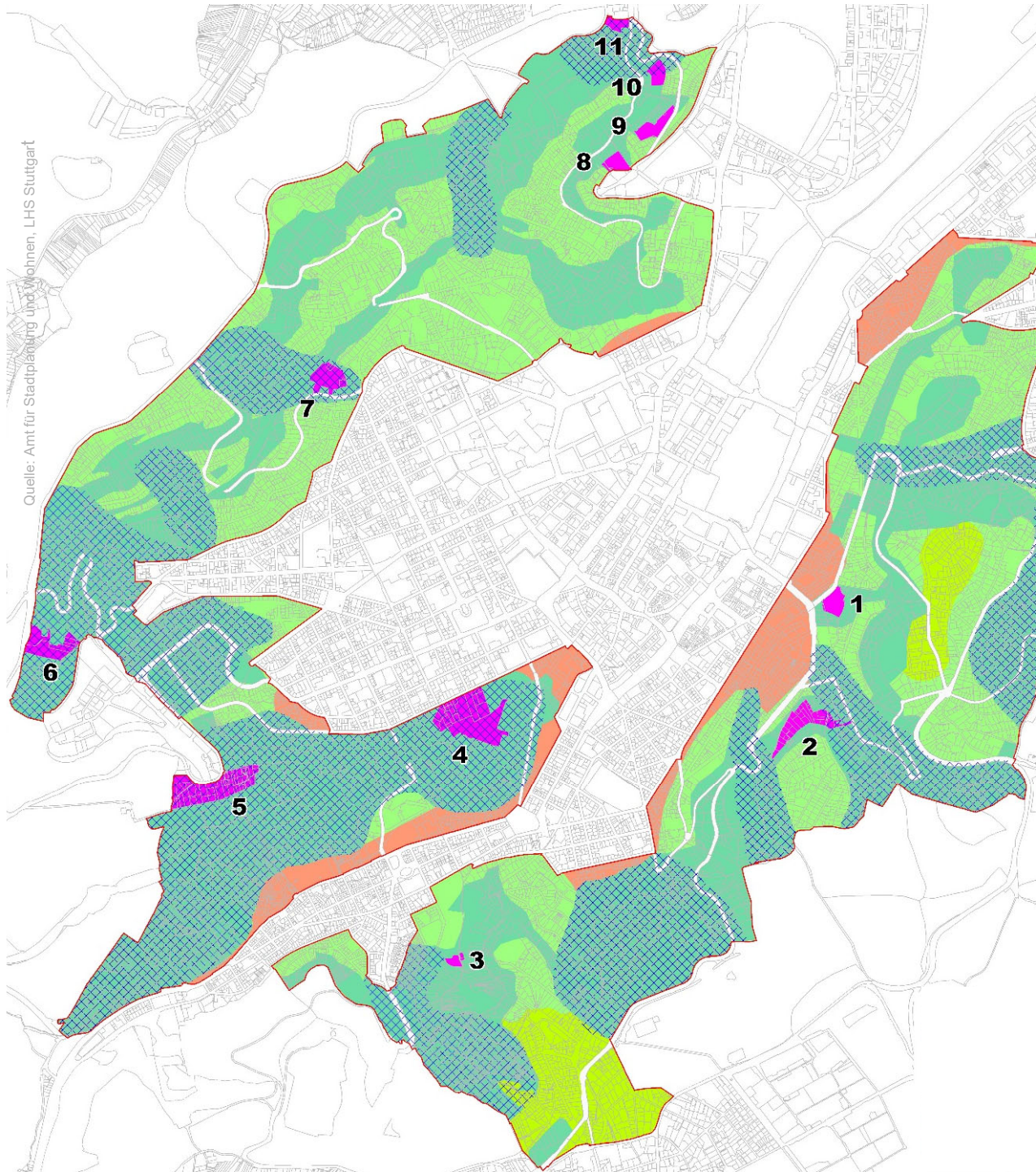
Gebiet „STEP“ Unterer Grund Stuttgart-Vaihingen:
Erzielte Veränderung der vorgesehenen Darstellung
als gemischte Baufläche in Grünfläche.



Quelle: Amt für Stadtplanung und Wohnen, LHS Stuttgart



Fotos: LHS Stuttgart



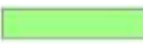
Quelle: Amt für Stadtplanung und Wohnen, LHS Stuttgart


Qualitätsbereich 1

 Kaltluftbahn

 Grünzusammenhang

Qualitätsbereich 2

 Baugebiet – Klimarelevanz hoch

 Baugebiet – Klimarelevanz mittel

Maßnahme

 Bebauungsplanänderungen

Stuttgart: Normenkontrollanträge gegen Bebauungsplan "Oberer Hasenberg/Nordhang, Stgt. 230" erfolglos; **Einschränkung bisheriger Baurechte** zur Bewahrung des Stadtklimas gemäß Rahmenplan "Halbhöhenlage" **rechtmäßig**

Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg, 18.12.2014

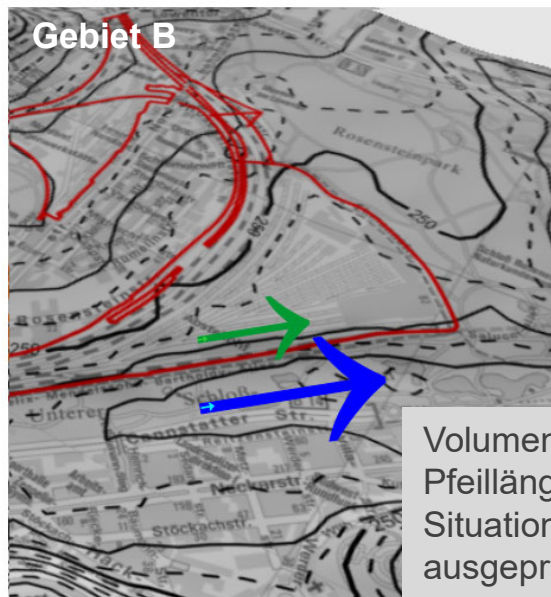
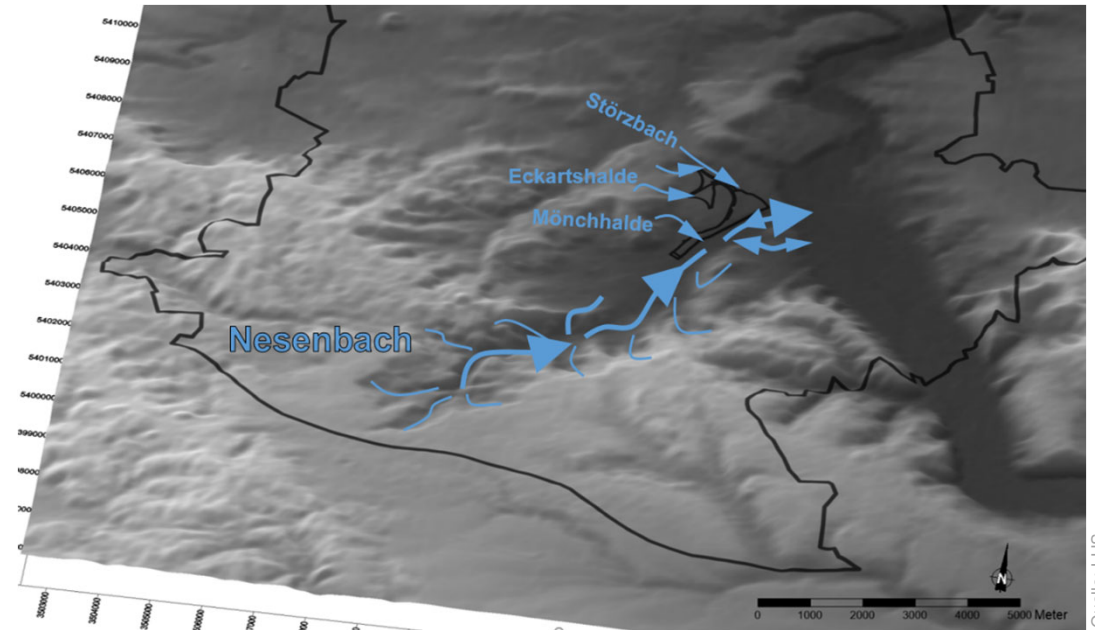
...Baurechte nur aus gewichtigen städtebaulichen Allgemeinwohlgründen eingeschränkt werden. **Ein solcher gewichtiger Belang des allgemeinen Wohls sei die Bewahrung des Stadtklimas der Landeshauptstadt Stuttgart.** Die Antragsgegnerin habe sich gerade wegen des durch Windarmut und mangelnde Durchlüftung geprägten Klimas der Landeshauptstadt Stuttgart und wegen klimatischer Beeinträchtigungen der Hanglagen für ein Planungskonzept entscheiden dürfen, **das die Festsetzung privater Grünflächen auf ehemals überbaubaren Flächen rechtfertige...**



Wettbewerbsgebiet Rosenstein, nach Amt für Stadtplanung und Wohnen, 2018



Relevanz für das Plangebiet



Anteil Volumenstromdichte

- Plangebiet 30%
- Schlossgarten 70%

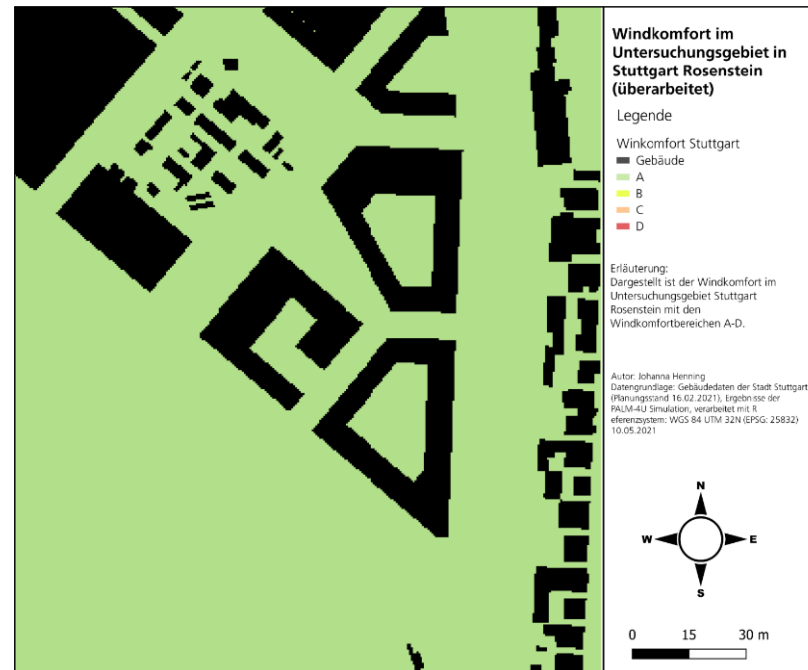
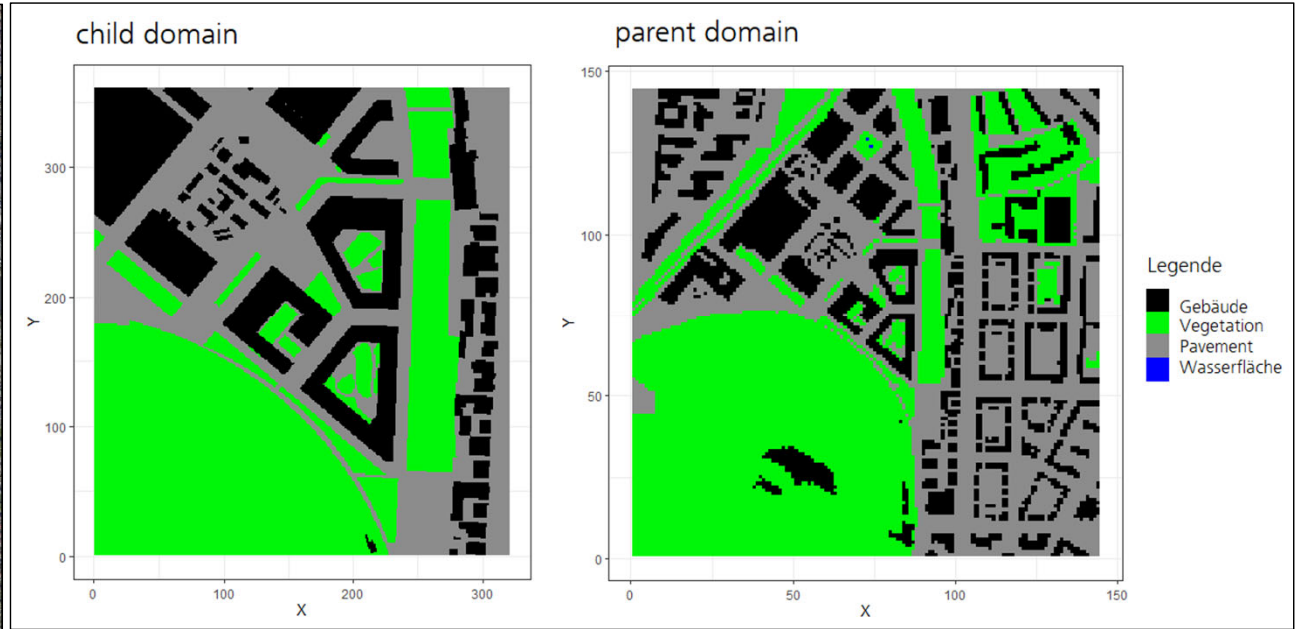
- **Grundbebauung:**
Reduktion im Gesamtquerschnitt um 10%
(Anfangsphase Kaltluft ab 35%)
- ...



Wettbewerbsgebiet Rosenstein, nach Amt für Stadtplanung und Wohnen, 2018



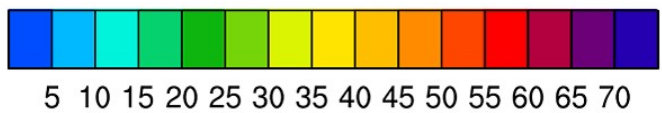
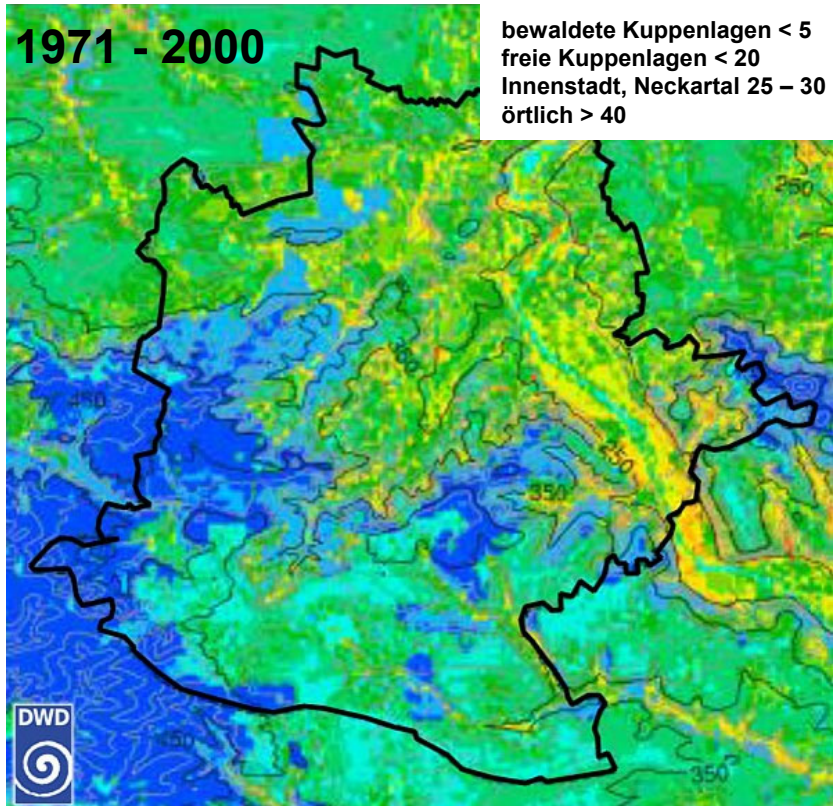
Untersuchungsgebiet Stuttgart Rosenstein C1, static driver ohne Bäume / Einheiten in Gridpunkten nach Henning, 2021



Ergebniskarte nach Henning, 2021

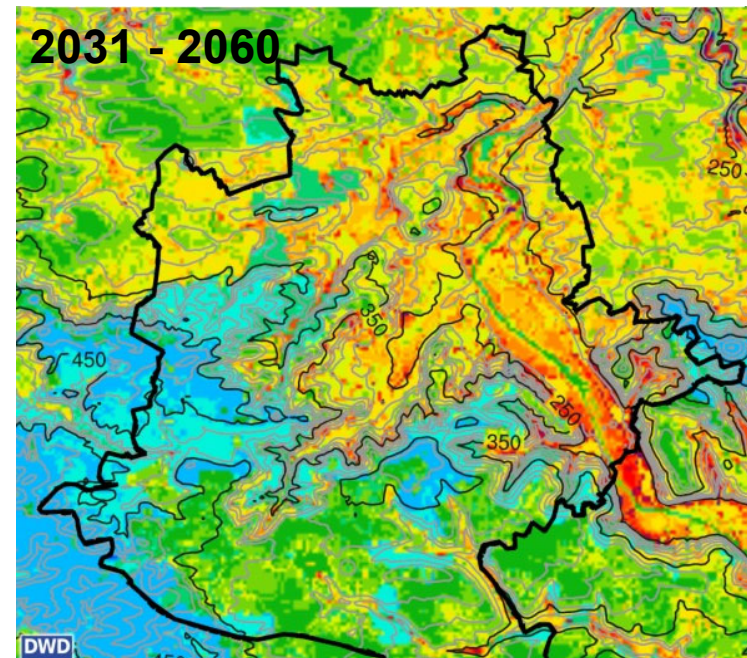
Herausforderung Hitzelastung

Mittlere jährliche Anzahl an Tagen mit starker Wärmebelastung, Gefühlte Temperatur max $\geq 32^{\circ}\text{C}$

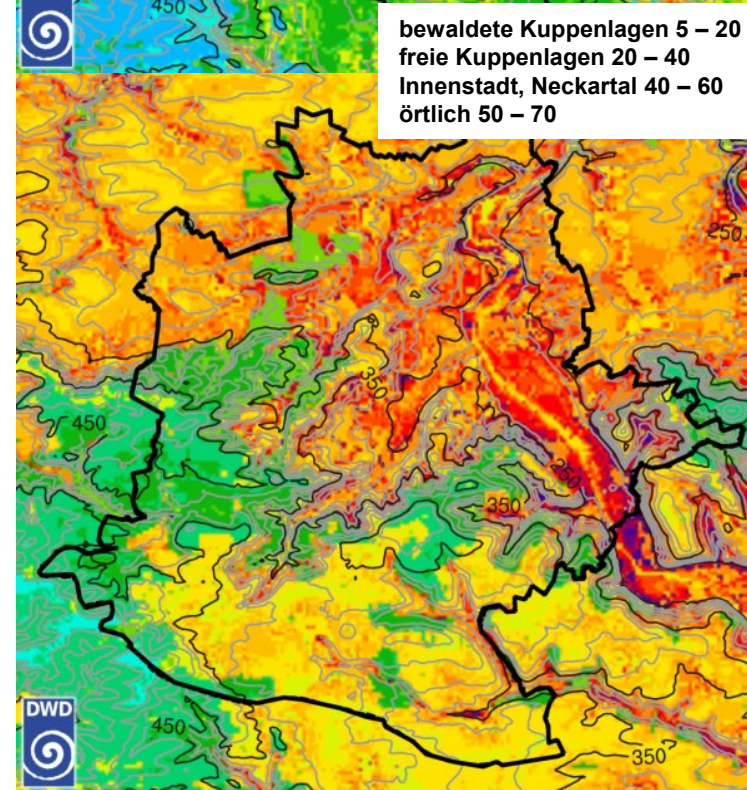


Anzahl Tage / Jahr

Quelle: DWD, 2017



25. Perzentil



bewaldete Kuppenlagen 5 – 20
freie Kuppenlagen 20 – 40
Innenstadt, Neckartal 40 – 60
örtlich 50 – 70

75. Perzentil



STADTARCHIV

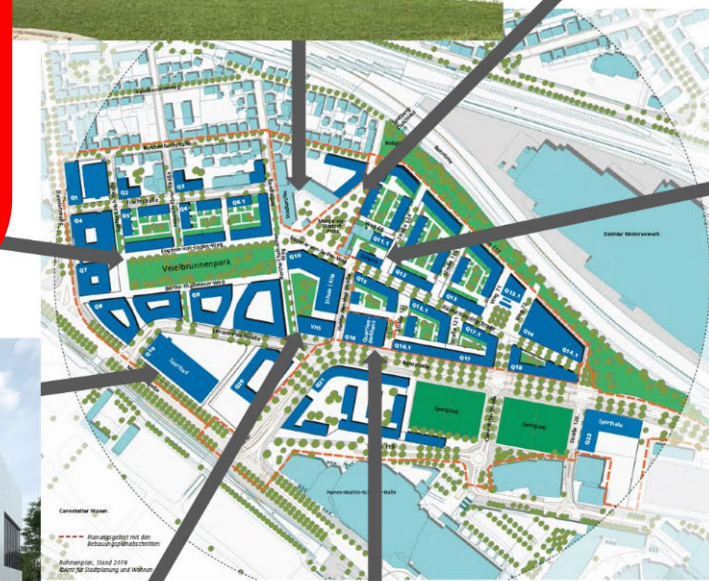


PLÄTZE => V.A. MARGA-VON-ETZDORF-PLATZ
=> VERANSTALTUNGEN, BOULE-FELD, BÄUME,
BRUNNEN

ZOLLAMT-AREAL =>
KULTURQUARTIER, STADTTEILHAUS
KULTURINSEL



ATTRAKTIVE FREIFLÄCHEN =>
VEIELBRUNNENPARK MIT 9000 M²
REGENWASSER-MANAGEMENT UND
KLEINKLIMA!!



SPORTBAD



BILDUNGSQUARTIER =>
GANZTAGESGRUNDSCHULE,
SPORTHALLE, KiTA,
VOLKSHOCHSCHULE



UMWELTFREUNDLICHE MOBILITÄT => QUARTIERSGARAGE ETC.
NACHHALTIGE ENERGIEVERSORGUNG => ABWASSER ALS
HAUPTWÄRMEQUELLE ETC.

Quelle: Amt für Stadtplanung und Wohnen

Fotos: Thomas Wagner, Stadt Stuttgart; Zooney Braun Fotografie, Stuttgart; Fotografie Christina Katzenberg, Ostfildern



3D-Modell des Untersuchungsgebiets nur mit Bebauung (oben) bzw. mit Begrünungsmaßnahmen (unten)



Quelle: LHS



Diff. Ta (K)

- Gebäude
- < 0.1
- 0.1 - 0.2
- 0.2 - 0.3
- > 0.3

Simulationen mit ENVI-met:
Differenz der Lufttemperatur von
10 bis 16 Uhr



Diff. PET (K)

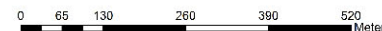
- Gebäude
- < 3
- 3 - 6
- 6 - 9
- 9 - 12

Simulationen mit ENVI-met:
Differenz der PET um 14 Uhr

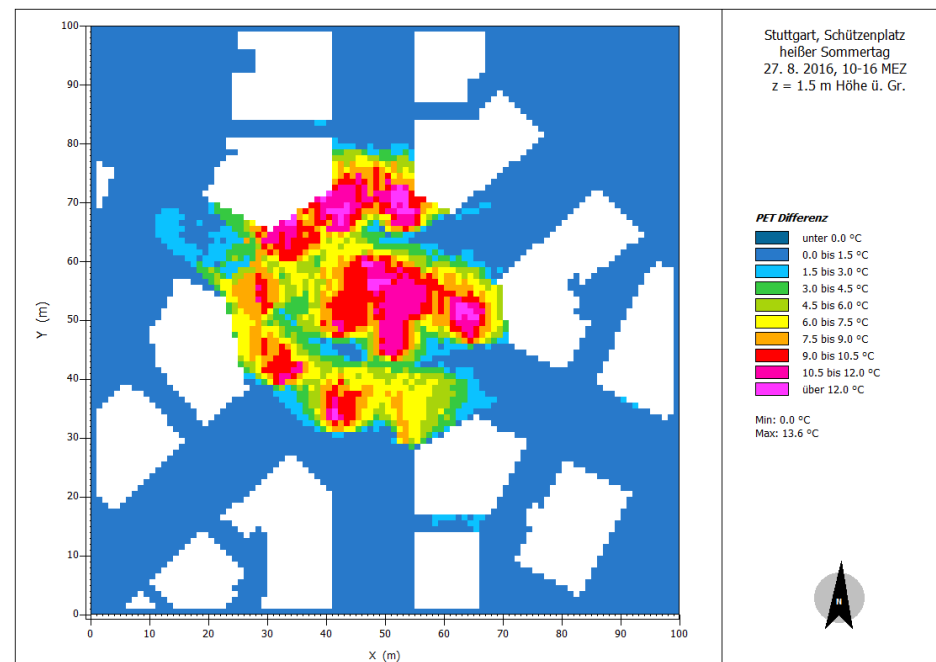
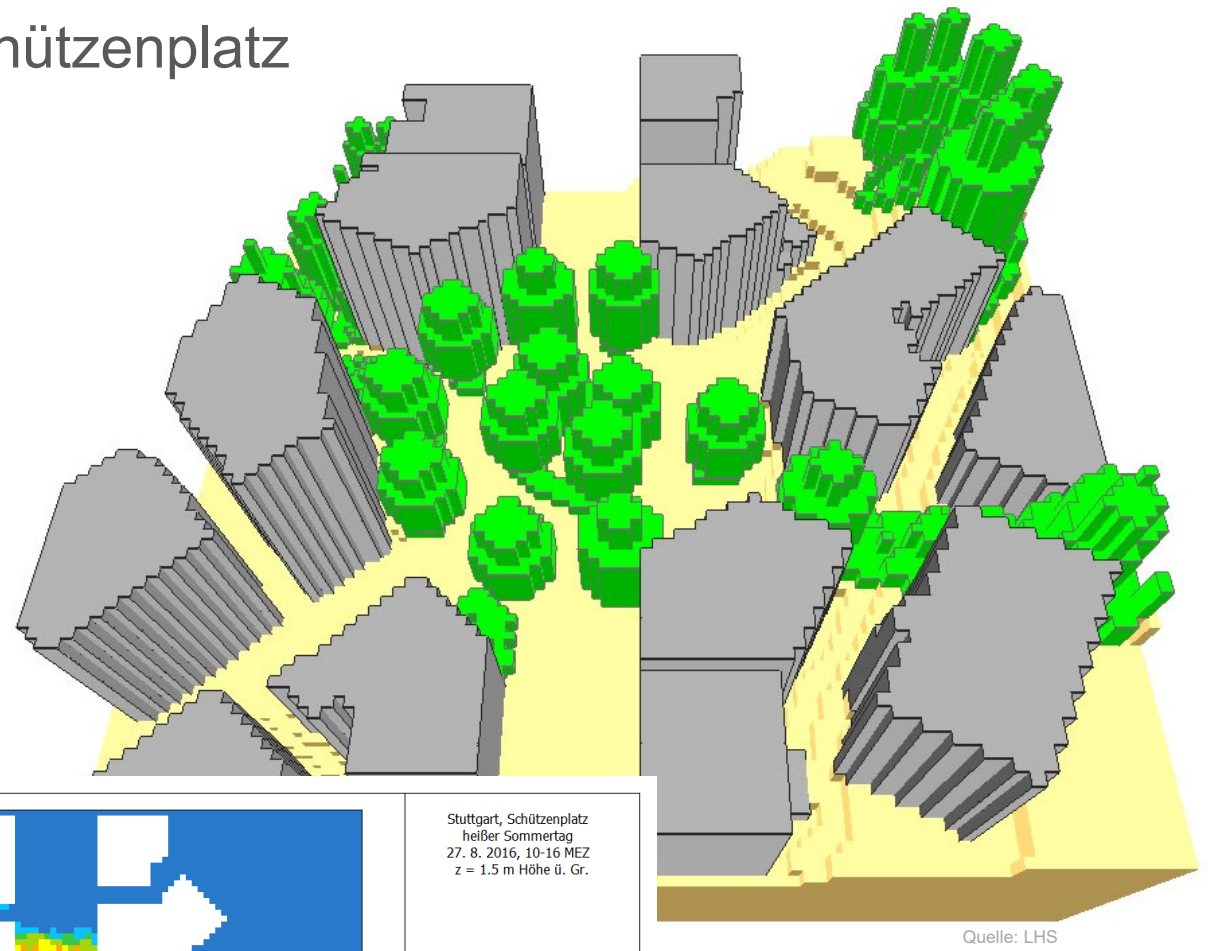
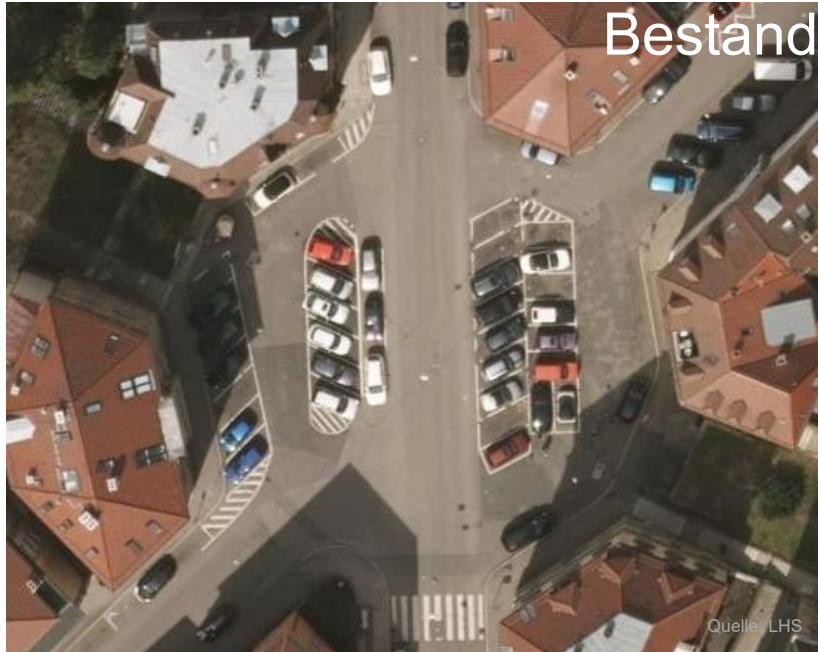


Setup:

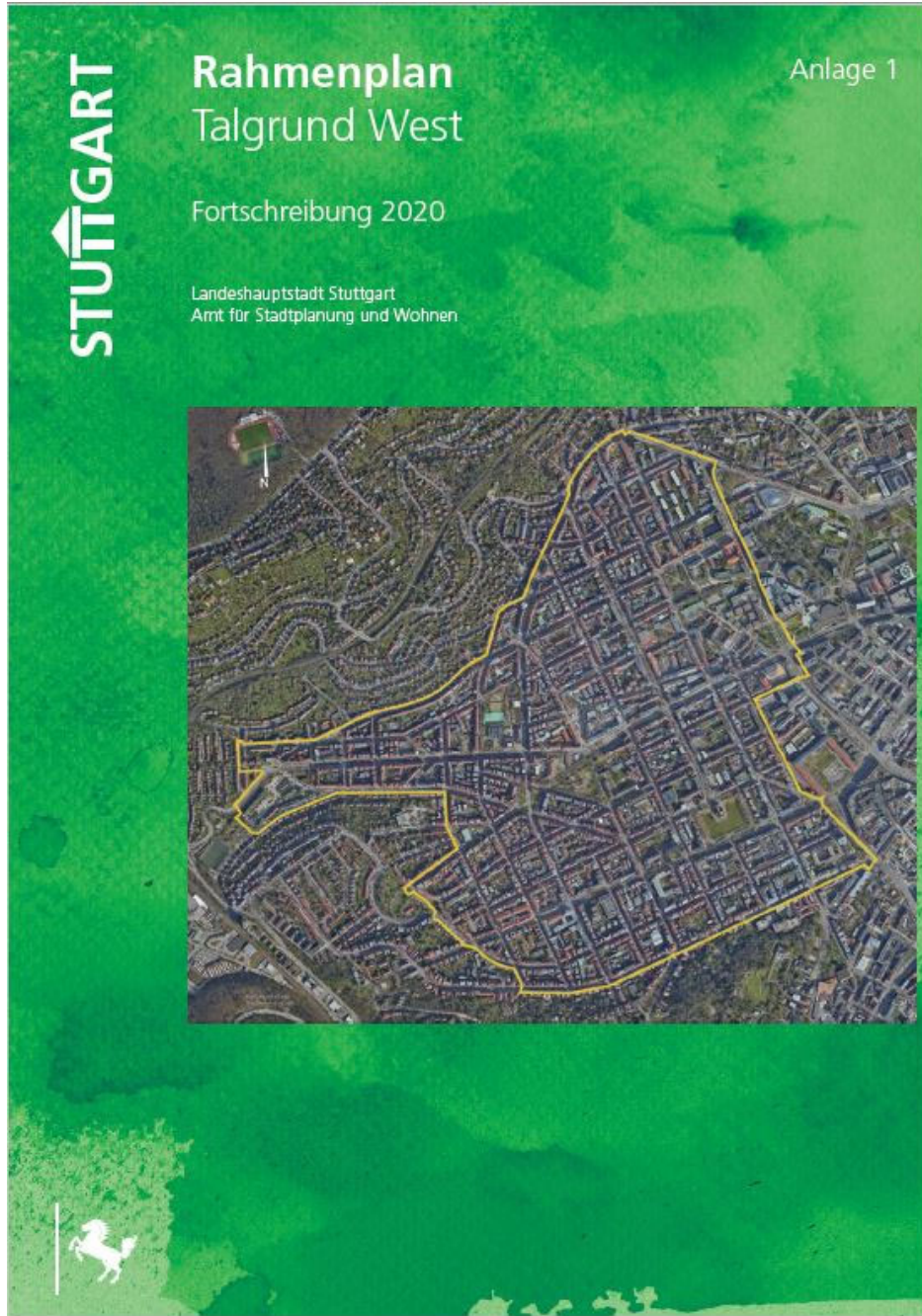
Simulationstag	25. Jul 19
Simulationsbeginn:	0 Uhr MEZ
Simulationsdauer	48 h
Modellgittergröße	3 x 3 m
m. Windgeschwindigkeit (min/max)	1,5 m/s (0/5,7 m/s)
Windrichtung (um 10-16 Uhr/14 Uhr/ 4 Uhr)	NO-SO/ NO/SO
m. Temperatur (min/max)	30,4 °C (21,9/38,2)
anfängliche Bodentemperatur	19,8 °C
Bodenfeuchtigkeit (0-20 cm /20-50 cm/50-200 cm/unter 200 cm)	65 %/70%/75 %/75%



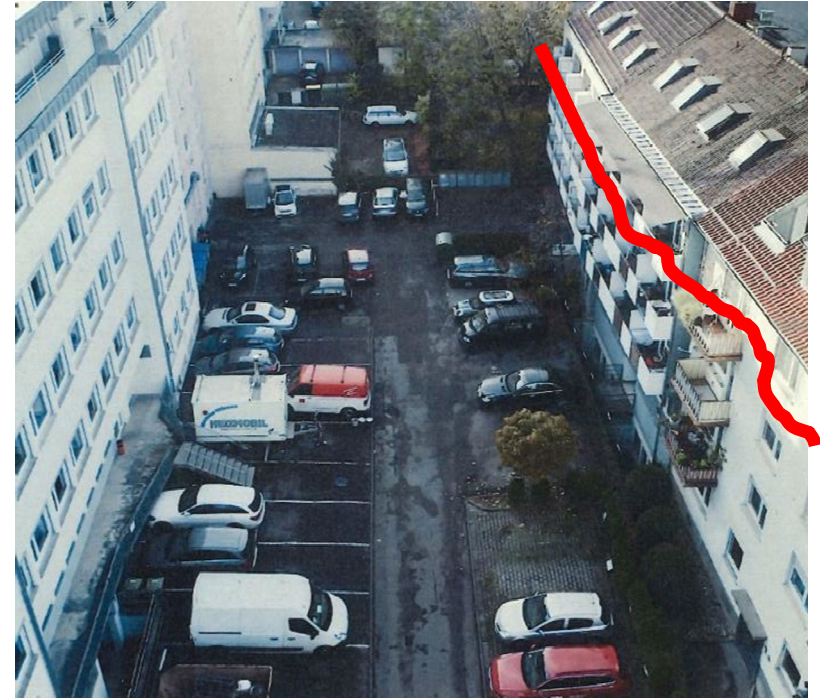
Öffentlicher Raum: Sanierung Schützenplatz



Rahmenplan Talgrund West



vorher



nachher



Quellen: Amt für Stadtplanung und Wohnen sowie Stadtmessungsamt, LHS Stuttgart
zT in Zusammenarbeit mit VISUELL Studio für Kommunikation GmbH

Blau – grüne Konzepte

BMBF-Leitinitiative Zukunftsstadt:
„**INTERESS-I: Integrierte Strategien zur
Stärkung Blau-Grüner Infrastrukturen**“
(<https://www.interest-i.net/>)



STUTTGART INTERESS-I

Gutes Klima für die Zukunftsstadt



Universität Stuttgart

Institut für
sozial-ökologische
Forschung



STADT FRANKFURT AM MAIN



Beispiel Stuttgart Rosenstein, Impuls vor Ort:

- Zwei Containermodule mit Speicher, Bodenfilter und Technikraum
- Retentionszisterne für Niederschlagswasser
- Vertikalbegrünungs-systeme
- Wasserressourcen: Grauwasser (Dusche, Handwaschbecken), Regenwasser



Empfehlung: VDI-RL 3785/1, 3787/1, 3787/2, 3787/3, 3787/4, 3787/5, 3787/8, 3787/9 etc., DIN ISO/TS 14092
Ausblick: VDI-RL 3787/voraussichtlich 12: „Visualisierung klimatischer Analysen und Ergebnisse“

Besten Dank!

www.stadtklima-stuttgart.de

Silke.Drautz@stuttgart.de

0711/216-88658



Fotos: LHS



Foto: Bernd Kammerer, fnp.de