



# Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

Modul 1 „Erwärmung und Hitzeereignisse“

---

Teilbericht II

## Auftraggeber

Stadt Lauingen (Donau)  
Herzog-Georg-Str. 17 | 89415 Lauingen (Donau)  
Projektbegleitung: Frau Pflügel (Bauverwaltung)



## Projektbearbeitung

GreenAdapt Gesellschaft für Klimaanpassung mbH  
Luisenstraße 53 | 10117 Berlin  
E-Mail: [info@greenadapt.de](mailto:info@greenadapt.de)



In Zusammenarbeit mit *Wieland Philipp (Dipl.-Hydrol.)*

### **Modul: Erwärmung und Hitzeereignisse**

Dipl.-Phys. Carsten Walther  
M.Sc. Susan Thiel,  
Dipl.-Geogr. Adrian Pfalzgraf,  
M.Sc. Carl Schmidt-Rohr,  
B.Sc. Özge Yazici,  
B.Sc. Patrick Schmid,  
B.Sc. Lara Deppermann

### **Modul: Sturzflut-Riskmanagement**

Dipl.-Hydrol. Wieland Philipp

## Projektförderung

Das vorliegende Klimaanpassungskonzept und das dazugehörige Projekt wurden erfolgreich im Rahmen des Förderschwerpunkts „Klimaschutz in Kommunen“ im Klimaschutzprogramm Bayern 2050 (Förderrichtlinien Kommunaler Klimaschutz - KommKlimaFÖR) gefördert.



## Titelbild

Das Titelbild zeigt die klimaangepasste Vision der Herzog-Georg-Straße mit Blick auf den Schimmelturm in Lauingen (Donau) mit begrünten Straßenrändern, Bäumen, Radwegen, einer einspurigen Fahrbahn und Fassadenbegrünungen und Dächer, die mit Solarzellen ausgestattet sind. Die Urheberrechte liegen bei GreenAdapt Gesellschaft für Klimaanpassung mbH.

Künstlerische Umsetzung: Daniel Petermann-Fallis

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Modul 1 „Stadtklimakonzept - Erwärmung und Hitzeereignisse“</b> .....	<b>1</b>
1.1	Stadtklimaanalyse .....	1
1.2	Mikroklimatische Simulationen.....	8
1.3	Verifizierung der Hitze Hotspots .....	24
<b>2</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>31</b>

Zur vereinfachten Lesbarkeit wurde der Endbericht in vier Teile aufgeteilt. Einleitung, Klimaveränderungen und Methodik sind in den Teilbericht I überführt worden. Modul 1 „Stadtklimakonzept - Erwärmung und Hitzeereignisse“ befindet sich im Teilbericht II. Modul 2 „Sturzflut-Risikomanagement“ wurde in den Teilbericht III überführt und die Berichtsteile „Konzeptionelle Maßnahmenentwicklung“ und „Integrale Strategien“ befinden sich im Teilbericht IV. Die Nummerierungen der Abbildungen und Tabellen enthält jeweils das Kürzeln I, II, III, IV sowie A für die vier Teilberichte und den Anhang.

## Abkürzungsverzeichnis

ALKIS	Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BWK	Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e. V.
CN	Curve Number
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
D8	Deterministic 8 Algorithm
EZG	Einzugsgebiet
GIS	Geoinformationssystem
HEC	Hydrologic Engineering Center
HSG	Hydrologic Soil Group
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
LoD1	Gebäudemodell mit Flachdach bzw. Blockmodell
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
NHN	Normalhöhennull
PEN LAWA	Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags
SCS-CN	Soil Conservation Service - Curve Number
STMUV	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
THW	Technisches Hilfswerk
ÜBK25	Digitale Übersichtsbodenkarte von Bayern, Maßstab 1:25000
WWA	Wasserwirtschaftsamt

# 1 Modul 1 „Stadtklimakonzept - Erwärmung und Hitzeereignisse“

Städte sind stark modifizierte, künstliche Umgebungen, die sich klimatisch von ihrer Umwelt unterscheiden. Dies hängt in hohem Maße mit den Merkmalen der Flächennutzung in diesen städtischen Gebieten zusammen. Die Untersuchung und Darstellung des daraus entstehenden städtischen „Meso-“ und „Mikroklimas“, sowie der Bedeutung für die sommerliche Hitzebelastung unter wachsendem Klimawandeleinfluss, sind Gegenstand dieses Moduls.

Ziel der Stadtklimaanalyse ist es, die für sommerliche Hitzebelastung am stärksten gefährdeten Gebiete zu ermitteln, um die Behörden, die Raumplanung und die Politik bei der Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen.

Zunächst wird eine das ganze Gemeindegebiet erfassende Kartierung von flächenhaften und statischen Indikatoren (Versiegelung, Bebauungsdichte, Grün- und Wasserflächen) durchgeführt. Damit können die für Hitzestress besonders empfindlichen Gebiete in der Gemeinde identifiziert werden.

Im zweiten Teil der Analyse wird die Hitzebelastung für die Lauinger Innenstadt dreidimensional mikroklimatisch simuliert. Dabei wird neben dem Status Quo auch ein Klimawandelszenario und ein Szenario mit ausgewählten Anpassungsmaßnahmen modelliert. Auf Basis der Simulationen werden passgenaue Maßnahmenvorschläge für die Lauinger Innenstadt formuliert.

## 1.1 Stadtklimaanalyse

Grundsätzlich tragen der unterschiedliche Versiegelungsgrad, der Anteil an Grünflächen, Beschattung und Wasserflächen zum wechselnden Lokalklima in der Stadt bei. Wärmespeichernde Materialien wie Gebäude und Straßen speichern einen Teil der von der Sonne eingestrahnten Energie über einen längeren Zeitraum und geben sie nachts wieder ab. Dies führt zu einer schnelleren Erwärmung nach Sonnenaufgang und zu einem Anstieg der nächtlichen Temperaturen über diesen Flächen. Außerdem verändert sich das Reflexions- und Absorptionsverhalten im Stadtgebiet. Versiegelung oder fehlende Vegetation verringern die durch Wasserdampf transportierte Wärme (latenter Wärmestrom) und schwächen den damit verbundenen Kühleffekt der Verdunstung (Oke et al., 2017).

### 1.1.1 Indikatorbasierte Kartierung der Hitzebelastung

Die Hitzebelastungskarte wurde aus den drei Indikatoren Versiegelung, Gebäudedichte und Anteil der Grün- und Wasserflächen erstellt, welche mit einer GIS-Software aggregiert wurden. Diese Indikatoren stellen statische, stadtstrukturelle Merkmale dar, welche, wie oben dargestellt, einen entscheidenden Einfluss auf das lokale Stadtklima haben.

Die Einordnung der Indikatoren in verschiedene Klassen kann sich auf verschiedene Methoden stützen, wie z. B. gleiches Intervall oder gleiches Quantil. Diese Klassifizierungsmethoden können unter Umständen unterschiedliche Ergebnisse liefern und somit die Interpretation der Kartenergebnisse beeinflussen.

Die folgende Tabelle stellt eine Übersicht über die Indikatoren und die jeweils verwendeten Quellen dar:

Tabelle 1: Übersicht der Indikatoren zur Erstellung der Hitzebelastungskarte und verwendeten Quellen.

Ergebniskarte	Indikator	Datensatz / Quelle	Datentyp
<b>Hitzebelastungskarte</b>	Versiegelung (statisch)	Copernicus, 2018 Auflösung 10x10m	Rasterdaten
	Gebäudedichte (statisch)	Landnutzung, LOD1 (Gebäude Info), Raumgliederung	Vektordaten (shapefiles)
	Anteil der Grün- und Wasserflächen (statisch)	Landnutzung (ATKIS)	Vektordaten (shapefiles)

#### Baublöcke

Entscheidend ist, dass die Eingabedaten auf der gleichen räumlichen Ebene liegen, damit die Werte der Indikatoren zu einer Gesamtanalyse der Hitzebelastung kombiniert werden können. Die räumliche Einheit, die in dieser Analyse verwendet wurde, wird als Block bezeichnet und verweist auf eine homogene Landnutzung einer bestimmten Größe.

Unsere Grundlage für die Blöcke sind die Landnutzungsdaten von ATKIS. Wir haben das Shapefile aus ATKIS bearbeitet, um einige sehr kleine Formen zwischen großen Blöcken zu entfernen oder Zeichenfehler zu korrigieren. Das dafür verwendete Geländemodell hat die tatsächliche Dachform vernachlässigt und stammt aus dem Jahr 2013.

### 1.1.2 Indikator Versiegelung

Städte bestehen, im Vergleich zu offenen Landschaftsräumen, zum großen Teil aus versiegelter Fläche. Durch erhöhte Wärmespeicherkapazität und Wärmeabstrahlung städtischer Oberflächen- und Baumaterialien, erhöht sich die Lufttemperatur in Innenstädten.

Des Weiteren verhindern versiegelte Oberflächen bei (starken) Regenfällen das Versickern des Regenwassers in den Boden und damit die Wasseraufnahme der Vegetation. Der Großteil des Regenwassers fließt stattdessen in die Kanalisation ab oder führt bei schlechten oder überforderten Abwassersystemen zu Überschwemmungen im Siedlungsbereich.

Heiße Sommertage führen zu trockenen Böden und erhöhen den Hitze- und Trockenstress der Stadtvegetation. Dies wiederum beeinträchtigt die durch feuchte Böden und transpirierende Vegetation erzielte Kühlung. Nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes (DWD) können bereits 10 % zusätzliche versiegelte Fläche die lokale Temperatur um 0,3 - 0,4 °K erhöhen. Diesen starken Einfluss der Versiegelung auf die Umgebungstemperatur berücksichtigend, ist es sinnvoll den Indikator Versiegelung bei der Hitzebelastungsanalyse mit einzubeziehen.

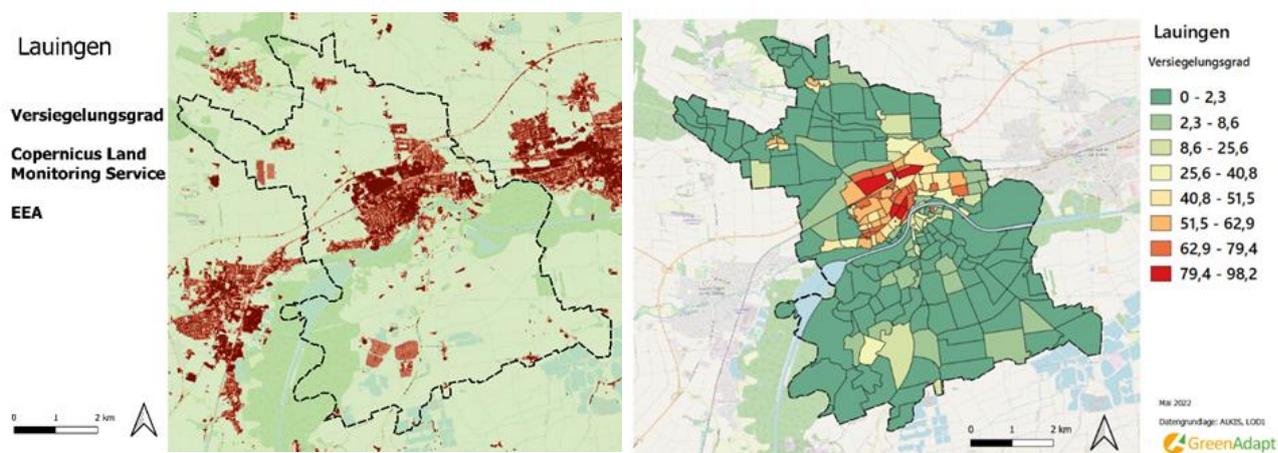


Abbildung 1: Versiegelte Flächen in Lauingen (Donau) nach Copernicus Satellitendaten (links) und Versiegelungsgrad je Baublock (rechts). Quelle: Eigene Darstellung

Die Informationen zum Versiegelungsgrad basieren auf Copernicus-Satellitendaten (Copernicus Land Monitoring Service; CLMS). Sie zeigen den Grad der Bodenversiegelung mit einem Durchlässigkeitsgrad zwischen 1 und 100 % und einer Auflösung von 10 Metern (siehe Abbildung 1– links). Die Abbildung 1 (rechts) (Anlage Modul 1\_1) zeigt den Versiegelungsgrad auf die Baublöcke aggregiert (in 8 Klassen). Dabei wurden Baublöcke mit mehr als 63 % bzw. 68 % versiegelter Fläche in die beiden höchsten Hitzerisiko-Klassen eingeteilt.

Die stark versiegelten Flächen befinden sich überwiegend im Zentrum Lauingens. Beim Abgleich dieser Flächen mit der Landnutzung und Oberflächenbedeckung, kann eine

Übereinstimmung der stärker versiegelten Areale mit einem hohen Anteil von Industrieflächen verifiziert werden.

### 1.1.3 Indikator Gebäudedichte

Neben der Versiegelung ist auch die Dichte der Bebauung ein entscheidender Faktor, für das Stadtklima. Während eine dichte Bebauungsstruktur die Wärmestrahlung nicht nur besonders gut nach Sonnenuntergang speichern, blockiert sie auch die freie Bewegung der Luft innerhalb des Stadtgebiets. Allerdings können Gebäude, Balkone oder Überhänge auch den Straßenraum beschatten – je nach Städtebau, Architektur, Tages- und Jahreszeit. Eine dichte Bebauung ist jedoch in der Regel mit einem geringeren Anteil an Grünflächen und einem hohen Versiegelungsgrad verbunden. Daher ist die Gebäudedichte trotzdem ein entscheidender Faktor für die Bewertung der Hitzebelastung.

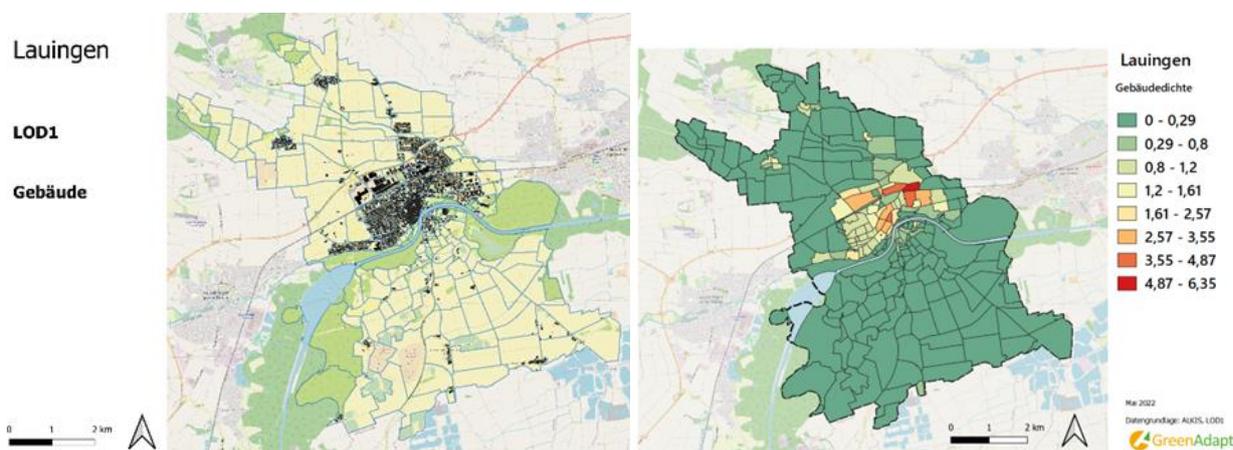


Abbildung 2: Basiskarte- Gebäude und Baublöcke (links) und Gebäudedichte auf Baublöcke aggregiert (rechts).  
Quelle: Eigene Darstellung.

Daher wird eine Gebäudedichtekarte (Abbildung 2 (rechts), Anlage Modul 1\_2) erstellt. Dazu wurden die Attributangaben, wie die Gebäudehöhe, die Größe der bebauten Fläche und die der Baublöcke verwendet. Die höchste Bebauungsdichte befindet sich im Zentrum Lauingens mit 4,87– 6,35 m<sup>3</sup> pro Quadratmeter Baufläche, während die Wohngebiete mit lockerer Bebauung nur 1,2 m<sup>3</sup> pro Quadratmeter erreichen.

### 1.1.4 Anteil der Grün- und Wasserflächen

Latente Wärmeströme, verursacht durch blaue und grüne Infrastruktur, sind ein wichtiger Indikator für die Analyse von Hitzestress, da sie dazu beitragen, potenzielle kühlere Bereiche der Stadt und Gebiete mit einem hohen Risiko zu identifizieren, insbesondere während einer Hitzewelle.

Der latente Wärmestrom ist die Energie, die für den Phasenwechsel von flüssigem Wasser zu Wasserdampf verbraucht wird. Als Nebeneffekt wird die Umgebung abkühlt. Grün- und Wasserflächen formen daher die größte Ressource für die Verdunstung. Es ist wichtig, dass sie in der Stadt gleichmäßig verteilt und leicht erreichbar sind.

Neben der Verbesserung des Mikroklimas tragen städtische Grünflächen und Gewässer zur Verringerung von Hitzestress für die Bevölkerung bei, indem sie durch Verdunstung zur Kühlung der Umgebungstemperatur beitragen und durch das Vorhandensein von Bäumen Schatten spenden.

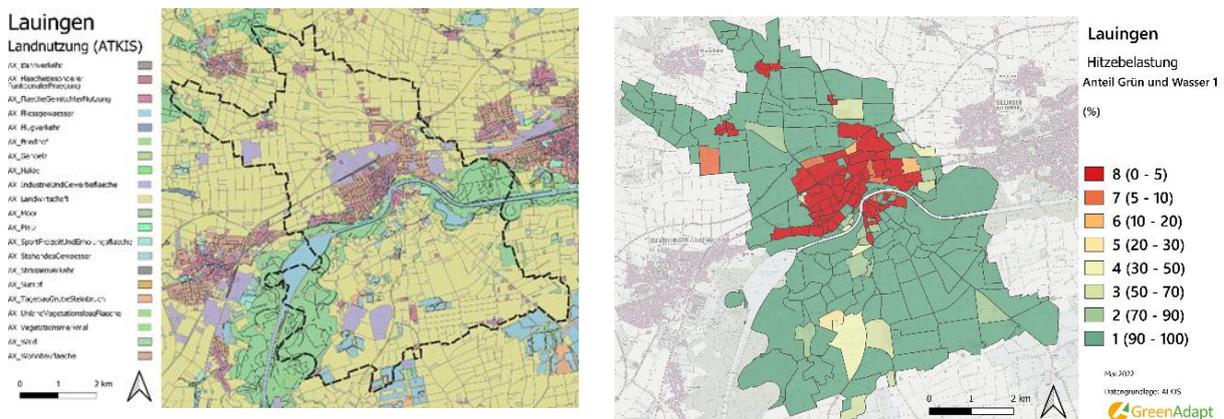


Abbildung 3: Landnutzungskarte (links) und Anteil der Grün- und Wasserflächen Version 1 (Mit ATKIS Landnutzung) (rechts). Quelle: Eigene Darstellung.

### Version 1 (Mit der ATKIS-Landnutzung):

Die Grün- und Wasserkarte wurde aus der Landnutzung- ATKIS (Abbildung 3, links) erstellt. Alle unversiegelten Flächen, einschließlich landwirtschaftlicher Flächen (aufgrund ihrer Verdunstungs- und Versickerungsfähigkeit gelten sie als Grünflächen), wurden in die Kategorie der Grün- und Wasserflächen aufgenommen. Allerdings kann der Grünflächeneffekt durch Einbezug dieser Flächen überschätzt werden, da, anders als Wälder oder natürliche Grünflächen, landwirtschaftliche Flächen in der Regel eine geringere Verdunstung (geringere Pflanzendecke) aufweisen. Die Karte (Version 1) zeigt den Anteil der Grün- und Wasserflächen je Baublock. Den Flächennutzungsdaten zufolge scheinen die meisten Wohngebiete wenig Grün- oder Wasserflächen zu haben (0 %). Im Stadtzentrum haben die Baublöcke zwischen 0 und 5 % Grün- und Wasserflächen. Stadtbäume oder Grünflächen in Wohngrundstücken sind mit diesem Datensatz nicht sichtbar, dennoch sind sie ein wichtiger Faktor für die Kühlung durch Transpiration, die in Version 2 diskutiert wird.

Version 2 (Mit der ATKIS-Landnutzung und Laserpunktdaten):

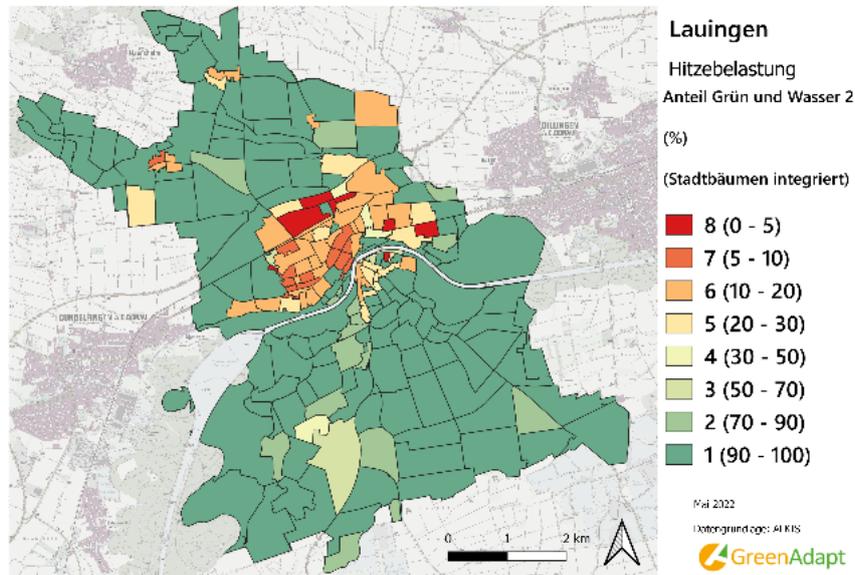


Abbildung 4: Anteil der Grün- und Wasserflächen Version 2 (Mit den Stadtbäumen). Quelle: Eigene Darstellung.

Die Stadtbäume wurden nach der Verarbeitung der Laserscan-Daten in die Indikatorkarte integriert (Abbildung 4) (Anlage Modul 1\_3). Die Blöcke, die nur 0 – 5 % Grünflächen aufweisen, haben nun zwischen 10 – 50 %. Risikobereiche mit hohen Belastungen sind besser erkennbar, nämlich z.B. stark versiegelte Gewerbegebiete nördlich des Stadtzentrums.

### 1.1.5 Hitzebelastungskarte

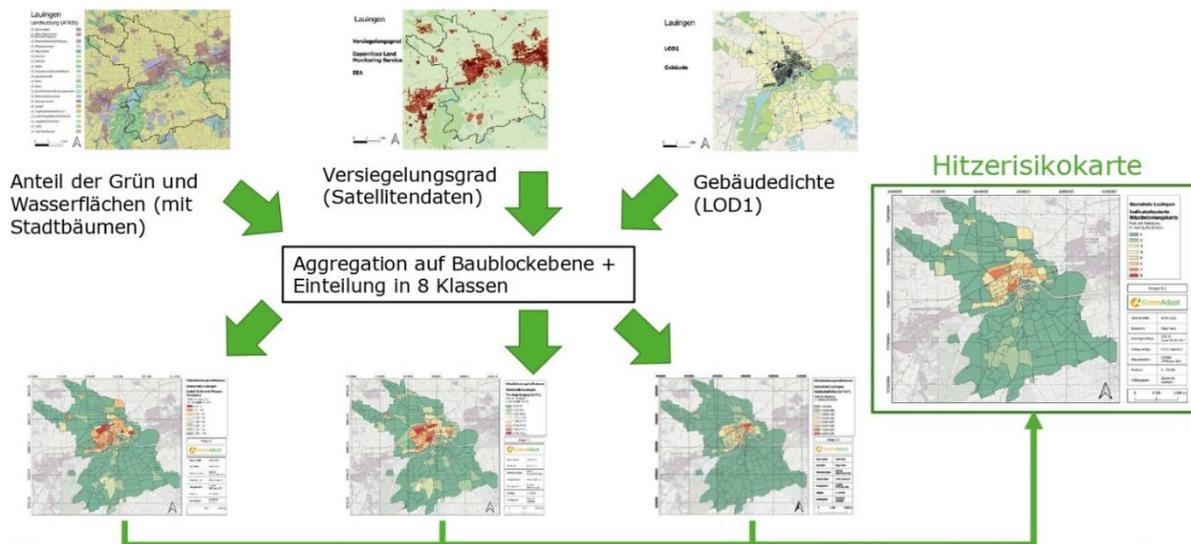


Abbildung 5: Entstehungsprozess der Hitzebelastungskarte auf Baublockebene durch verschiedene Indikatoren und Kartenergebnisse. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Hitzebelastungskarte (Anlage Modul 1\_4) setzt sich aus den drei oben genannten Indikatoren zusammen, die räumlich und statisch sind und sich aus der städtischen Form, Flächennutzung und Dichte ergeben. Die Indikatoren wurden in 8 Hitzestress-Klassen eingeteilt, wobei Werte von 1 für das geringste und 8 für das höchste Risiko stehen und diese wurden anschließend mit dem Mittelwert dieser Indikatoren überlagert.

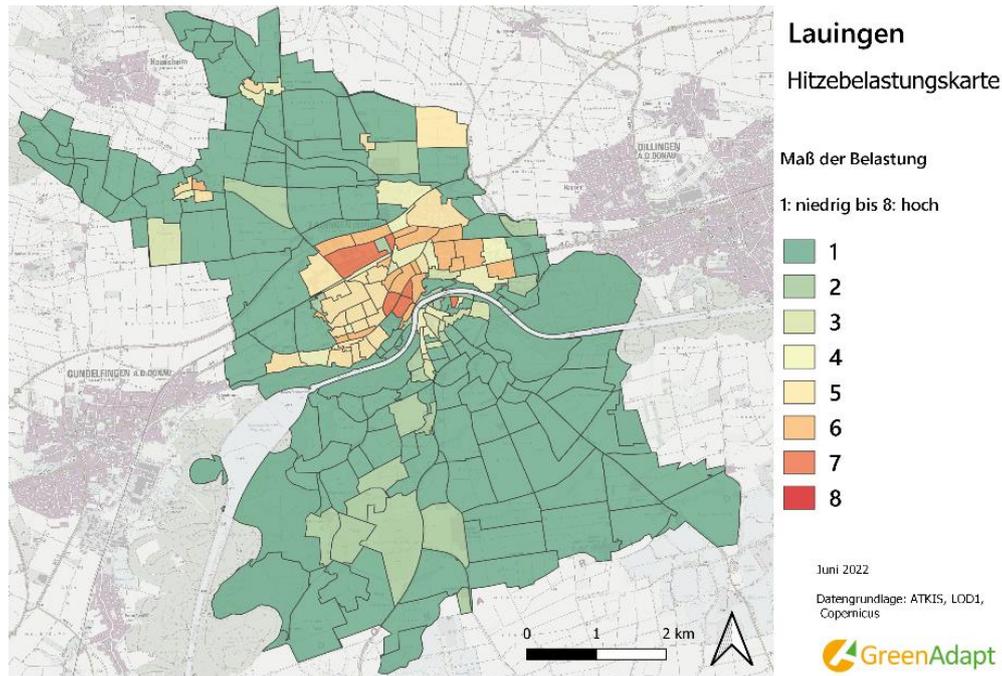


Abbildung 6: Indikatorbasierte Hitzebelastungskarte für die Stadt Lauingen (Indikatoren: Versiegelungsgrad, Bebauungsdichte, Anteil Grün- und Wasserflächen).

Lauingen (Donau) besteht größtenteils aus landwirtschaftlich genutzten, unversiegelten Flächen. Das Stadtzentrum befindet sich direkt am Wasser und wird von einer großen Grünfläche begrenzt. Aufgrund der großen Freiflächen haben die meisten Gebiete (dunkelgrün) ein sehr geringes Hitzestressrisiko. Es gibt jedoch einige Gewerbegebiete (orange) am Rande des Stadtzentrums, die aufgrund des hohen Anteils an versiegelten Flächen und des Mangels an Grünflächen bei Hitzewellen einem hohen Risiko ausgesetzt sind. Darüber hinaus ergibt sich im mittelalterlichen Stadtzentrum, mit seinen dichten Gebäudestrukturen, ein hohes Risiko in der Hitzebelastungskarte.

## 1.2 Mikroklimatische Simulationen

Für die Lauinger Innenstadt wurden mikroklimatische Simulationen mit der Software Envi-met (Version 5.0.3) durchgeführt. Envi-met ist ein dreidimensionales nicht-hydrostatisches Stadtklimamodell.

Die Simulationsergebnisse können die kleinräumliche Verteilung der Hitzebelastung in der Lauinger Innenstadt aufzeigen. Sie liefern damit eine präzisere Analyse als die indikatorbasierte Hitzebelastungskarte, welche Hitzebelastung für das gesamte Stadtgebiet auf Ebene der Baublöcke darstellt (siehe Kapitel 1.1.5). Aus den Simulationsergebnissen werden zudem in Kapitel

1.2.6 Maßnahmen abgeleitet, welche auf die städtebauliche Situation und die Hitzebelastung der Innenstadt passgenau zugeschnitten sind.

### *1.2.1 Methodik der mikroklimatischen Simulationen*

Die Software Envi-met basiert auf einem dreidimensionalen Gitternetz, in dem für jede Gitterzelle verschiedene meteorologische Größen berechnet werden. Dazu braucht die Software zwei Eingangsdateien: Zum einen eine Beschreibung des die Lauinger Innenstadt umgebenden Makroklimas für den Verlauf von 24 Stunden. Es werden dementsprechend stündliche Werte für unterschiedliche meteorologische Parameter (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, etc.) definiert, welche einen 24 Stunden Tag abbilden. Zum anderen wird ein digitales, dreidimensionales Modell der Innenstadt erstellt. Die Software errechnet dann die Wirkung von stark vereinfacht dargestellten Gebäuden, der Vegetation und der Bodenbeschaffenheit auf die meteorologischen Größen.

Es wurden drei Simulationen durchgeführt:

1. Eine Simulation, welche auf Messwerten des 20.6.2020 (DWD-Daten, Messstation Dillingen) und dem IST Zustand der Bebauung und Vegetation basiert. Diese Simulation bildet also **einen Sommertag ohne den Einfluss des zukünftigen Klimawandels und ohne Anpassung an diesen** ab.
2. Eine Simulation, welche auf dem idealisierten Tagesverlauf meteorologischer Parameter eines „Wüstentages“ (Tmax = 35 Grad Celsius) und einer „Tropennacht“ (Tmin = 20 Grad Celsius), sowie auf dem IST-Zustand der Bebauung und Vegetation basieren. Diese Simulation bildet also **einen Sommertag gegen Mitte oder Ende des Jahrhunderts unter dem Einfluss eines fortschreitenden Klimawandels** ab.
3. Eine Simulation, welche ebenfalls auf Messwerten des 20.6.2020 basiert und in **der vegetationsbezogene Anpassungsmaßnahmen** modelliert wurden. Die Maßnahmen sind die Implementierung von Bäumen, Rasengittersteinen, Rasenflächen und Fassadenbegrünungen. Der Kühleffekt dieser „grünen“ Maßnahmen ist wissenschaftlich umfangreich erforscht und bestätigt worden. Die Verortung richtet sich nach der städtebaulichen Struktur und beachtet keine gesetzlichen Rahmenbedingungen oder Eigentumsverhältnisse (siehe Abbildung 17). Es handelt sich also um ein „Best-Case-Szenario“, durch welches die thermische Wirkung der vier Maßnahmen im konkreten städtebaulichen Kontext der Innenstadt untersucht werden soll. Die Ergebnisse dieser Simulation zeigen die **Auswirkungen der Maßnahmen auf das Mikroklima** (Kühleffekte) und dienen

als Grundlage für die abschließende Empfehlung von Maßnahmen für die Innenstadt (siehe Kapitel 1.2.6).

### 1.2.2 Modellgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich zwischen Stadthalle und Rathaus (Abbildung 7). Um dieses Gebiet in ein Modellgebiet zu übersetzen, wurden verschiedene Schritte angewandt. Zunächst konnten mit Hilfe der LOD 1 Daten, welche vom Auftraggeber bereitgestellt wurden, sämtliche Gebäude dargestellt werden.

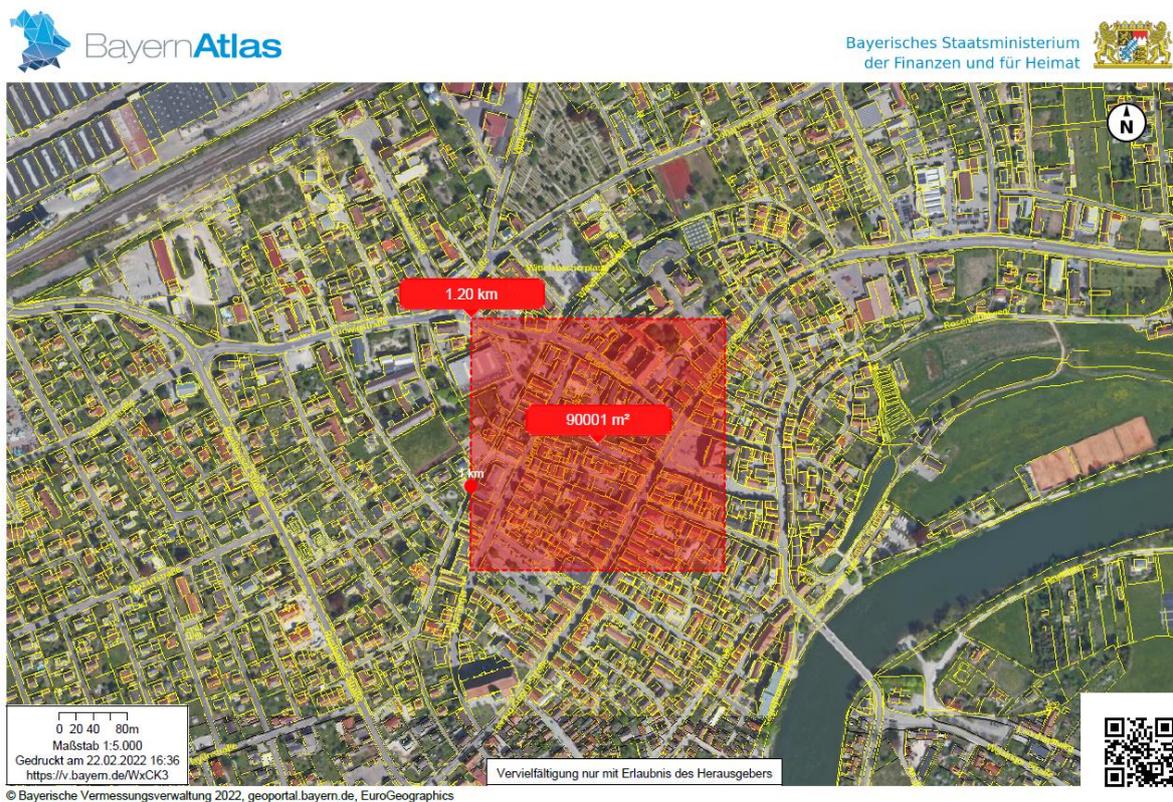


Abbildung 7: Untersuchungsgebiet der Stadt Lauingen (Donau) für die Wirkung konkreter Klimaanpassungsmaßnahmen auf die thermische Belastung. Quelle: BayernAtlas.

Zur vereinfachten Bearbeitung verfügt das Simulationsmodell über ein Extratool namens Monde. In diesem kann das gesamte Stadtgebiet mit seiner Bebauung und Topographie (Digitales Gelände-Modell, DEM) eingegeben werden. Wird nun eine Modellgebietsdatei zur weiteren Bearbeitung erstellt, entspricht die Lage und die Gebäudehöhe ohne Dach den Daten der Shape-Datei (LOD1).

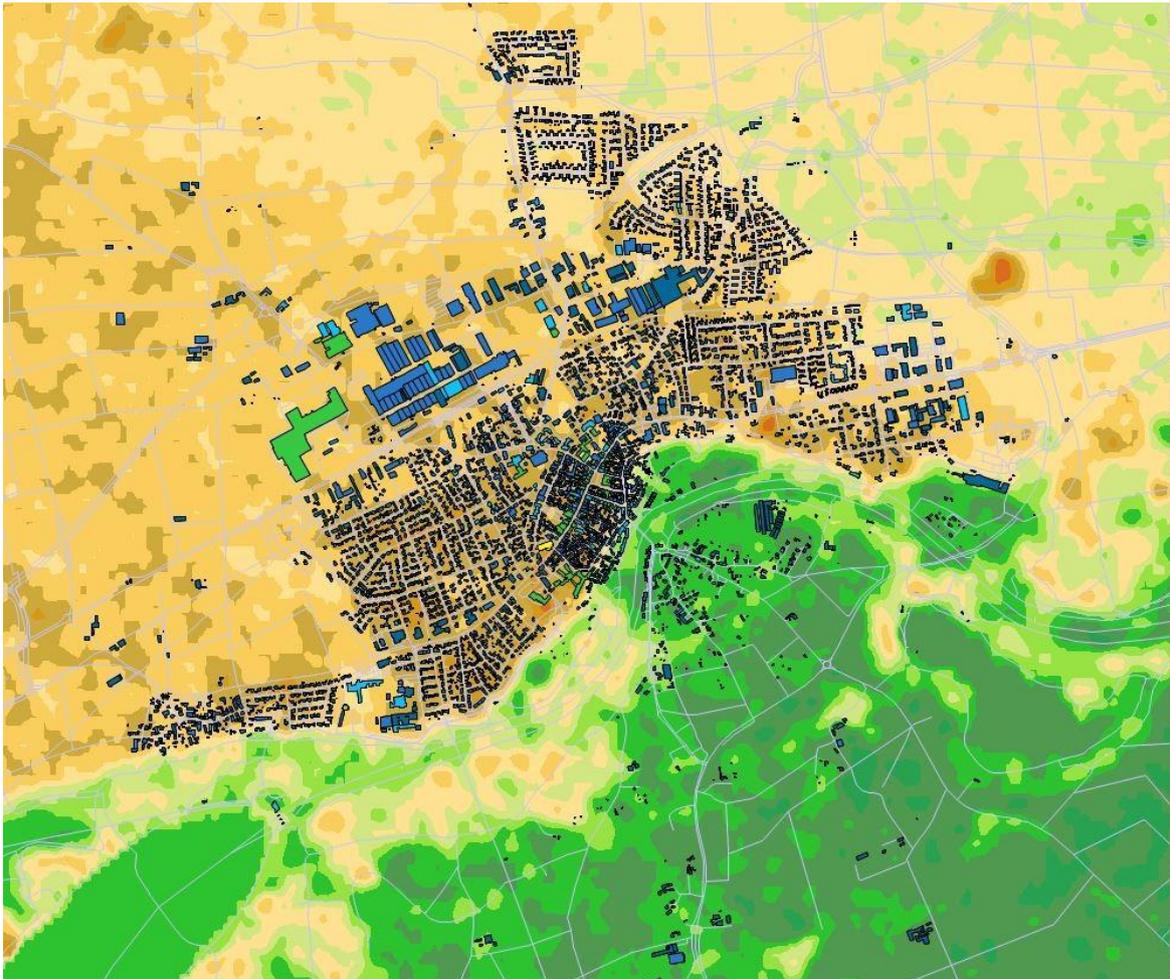


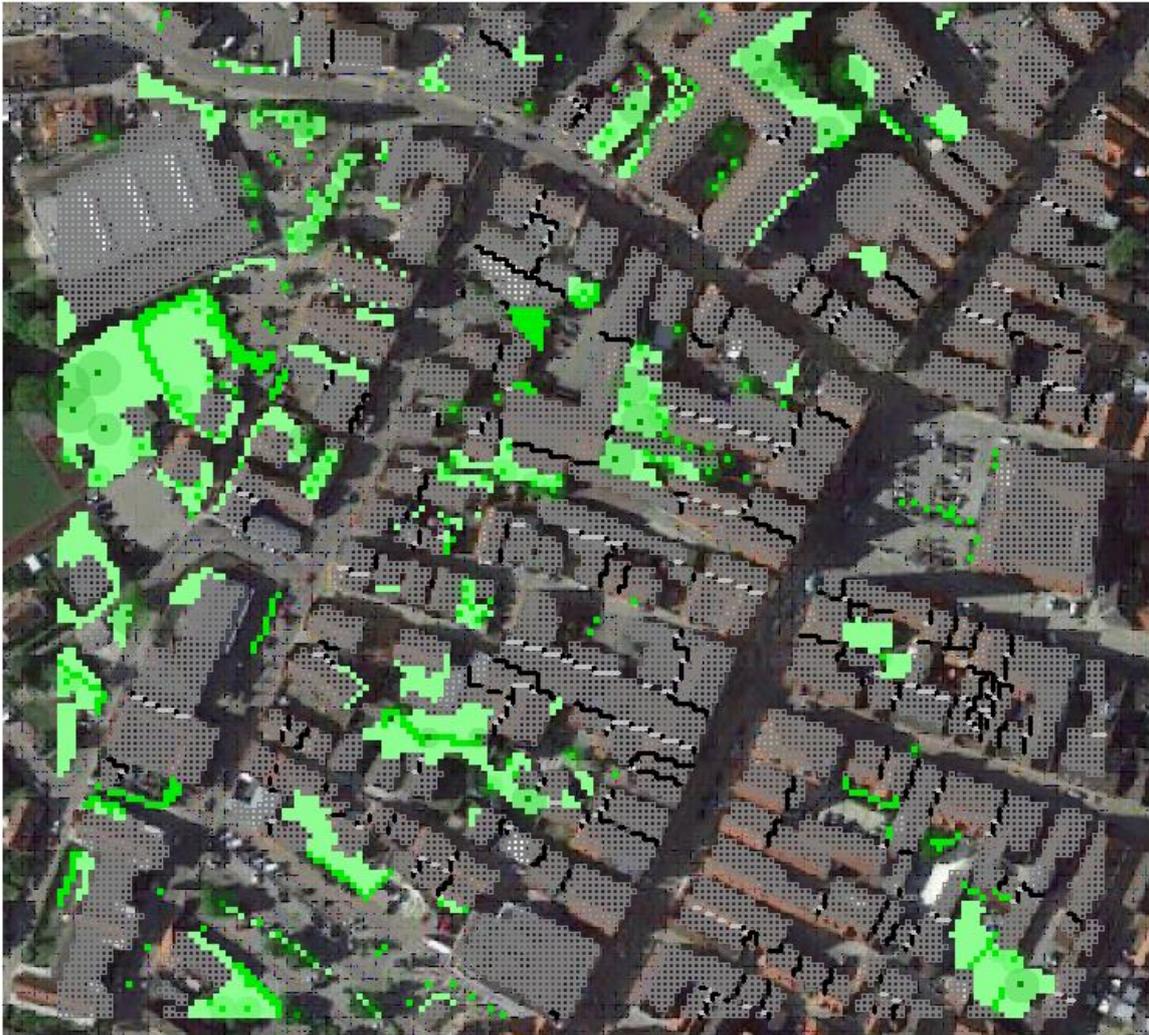
Abbildung 8: Darstellung Lauingens inkl. DOM (Topographie) und Gebäude (-Höhen) in MONDE (Environment). Quelle Eigene Darstellung.

Zur Verortung der Vegetation, insbesondere der Bäume im Modellgebiet wird das Luftbild (Google) verwendet (Abbildung 8). Die Auflösung ist jedoch nicht ausreichend, um die Baumhöhen und Kronenformen abzuschätzen, welche für das Modellgebiet jedoch nötig sind. Daher wurde eine Begehung vorgenommen. Im Untersuchungsgebiet befindet sich verhältnismäßig wenig Stadtgrün, was ein Grund für die Auswahl dieses Bereichs der Stadt war.

Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)



*Abbildung 9: Exemplarische Darstellung der Stadtbegrünung im Untersuchungsgebiet. Straßenbaum Herzog-Georg-Straße (links) und Symbolbild einer versiegelten Fläche im Untersuchungsgebiet (rechts).  
Quelle: Eigene Aufnahmen.*



*Abbildung 10: Dargestellt ist die Vegetation im Modellgebiet (2-D).Hintergrundbild ist eine Google-Maps-Karte. Grau = Gebäude (LOD1 Datensatz), hellgrün = gras (25 cm Höhe), grün = Hecken (2 oder 4 m), dunkelgrün mit Kreis = Baum (Kreis entspricht Kronendurchmesser), 2 Bereiche mit je Fassadenbegrünung und Dachbegrünung sind vorhanden, aber in der Abbildung aufgrund der Darstellungsart nicht erkennbar. Quelle: Eigene Darstellung.*

Neben der Vegetation wurden auch Straßen, Wege und Plätze in das Modell übertragen (Abbildung 10). Dazu wurde eine Google-Maps-Karte hinter das Modell gelegt, wie bei der Aufnahme der Vegetation geschehen.



Abbildung 11: E2D Darstellung der Oberflächen im Untersuchungsgebiet. Braun = lehmiger Sandboden (Standardeinstellung), hellgrau = asphaltierter Fußweg, dunkelgrau = Kopfsteinpflaster, schwarz = asphaltierte Straße (bzw. Größere Parkplätze), rot = Terre battue (Sportplatz), blau = Wasser (Teich im Senioren Heim), gelb = Sand (als Kontrast zu Lehmboden und als Ersatz zu Rindenmulch und anderen nicht erdigen Beetböden).  
Quelle: Eigene Darstellung.

Die Auflösung des Modellgebiets beträgt 2 m x 2 m x 3 m (x, y, z). Das bedeutet Stadtstrukturen (Mauern, Wege, Hecken usw.) unter 2 m Größe können nur bedingt dargestellt werden. Dies ist später wichtig bei der Interpretation der Ergebnisse.

Das Modellgebiet besteht also aus einem Bodenmodell (Oberflächen), dem Vegetationsmodell (Stadtgrün, Bauwerksgrün) und dem Gebäudemodell, welche sich auf dem Digitalen Geländemodell aufbauen (Abbildung 11).

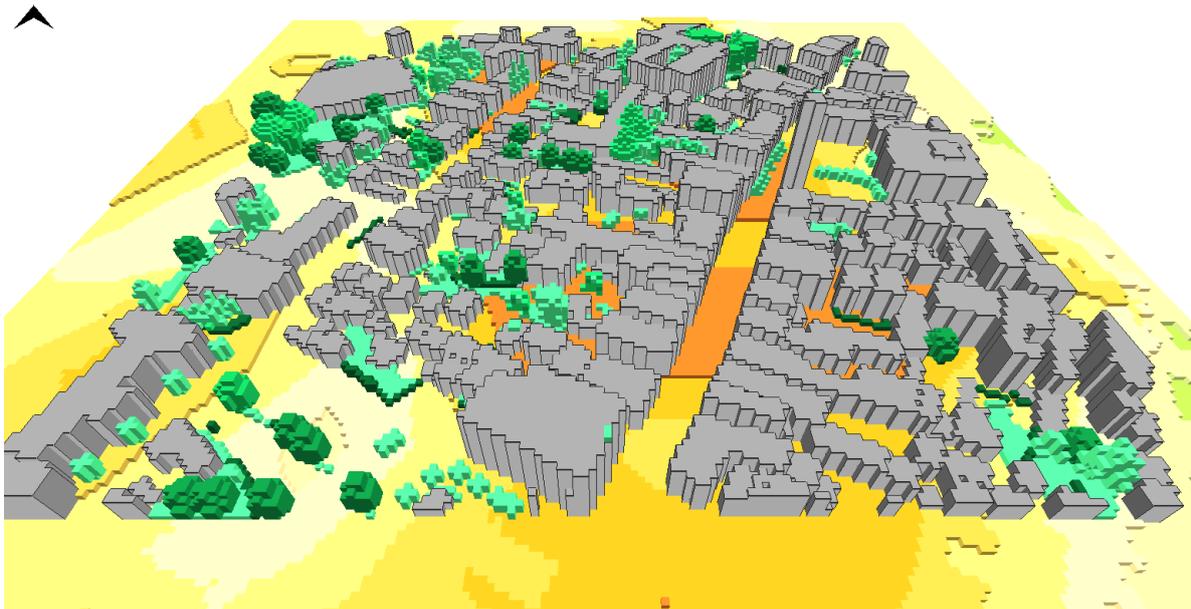


Abbildung 12: Dreidimensionale Darstellung des Untersuchungsgebiets. Der Untergrund entspricht dem digitalen Geländemodell, graue Blöcke = Gebäude, grüne Blöcke = Stadtgrün. Quelle: Eigene Darstellung.

### 1.2.3 Ergebnisse der mikroklimatischen Simulationen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der mikroklimatischen Simulation der Lauinger Innenstadt vorgestellt. Es wird dafür der biometeorologische Index PET in kartographischen Abbildungen für jeweils 14:00 und 23:00 Uhr dargestellt: Zunächst wird demnach das kleinräumige Bioklima im Sommer unter **gegenwärtigen makroklimatischen Verhältnissen** (basierend auf Messwerten vom 20.6.2021) dargestellt. Daraufhin wird das kleinräumige Bioklima im Sommer unter **Klimawandeleinfluss** (basierend auf einem idealisierten Tagesverlauf klimatologischer Parameter: „Wüstentag“ und „Tropennacht“) dargestellt. In einer dritten Auswertung werden die **Auswirkungen der modellierten Maßnahmen** auf das Bioklima unter gegenwärtigen makroklimatischen Verhältnissen dargestellt.

Die „**Physiological Equivalent Temperature**“ (**PET**) ist ein biometeorologischer Index, welcher Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und die Energiebalance eines normierten Menschen (35, männlich) zu einem Indexwert verrechnet. Das Ergebnis hat mehr Aussagekraft für das „thermische Wohlbefinden“ der BürgerInnen als die Lufttemperatur. PET-Werte werden in Grad Celsius angegeben und lassen sich nach folgender Tabelle interpretieren:

Tabelle 2: PET Klassen. Quelle: Übersetzt nach Matzarakis und Mayer 1996.

PET	Thermische Wahrnehmung	Grad des physiologischen Stresses
<4	Sehr kalt	Extremer Kältestress
4	Kalt	Starker Kältestress
8	Kühl	Mäßiger Kältestress
13	Mäßig-Kühl	Leichter Kältestress
18	Angenehm	Kein Thermischer Stress
23	Leicht Warm	Leichter Hitzestress
29	Warm	Mäßiger Hitzestress
35	Heiß	Starker Hitzestress
41	Sehr Heiß	Extremer Hitzestress

Bei der Interpretation der PET-Indexwerte ist zu beachten, dass sie auf der Energiebalance eines **mittelalten, männlichen Individuums** basieren. Sehr junge Menschen können bspw. noch nicht schwitzen, wodurch die Gefahr einer Überhitzung und Dehydration während hoher thermischer Belastungen größer ist. Ältere Menschen haben ein verringertes Hitze- und Durstempfinden und u.U. einen schwächeren Kreislauf, wodurch sie ebenfalls anfälliger sind.

Ergebnisse IST-Zustand | Gegenwärtige klimatische Verhältnisse

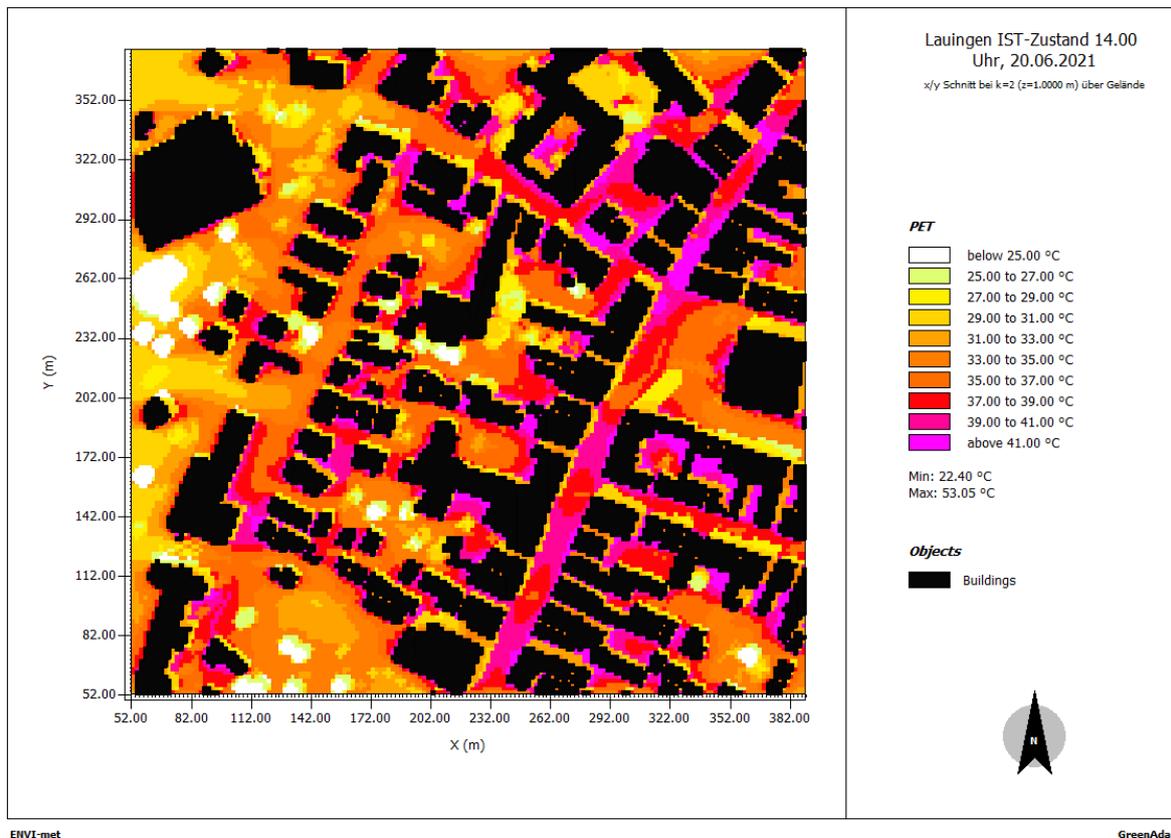


Abbildung 13: Simulationsergebnis IST-Zustand & gegenwärtiges Klima 14:00 Uhr. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Ergebnisse für 14:00 Uhr zeigen **starken bis extremen Hitzestress** für große Teile der nicht verschatteten Freiräume. Die **Verschattungen durch Gebäude und Bestandsbäume** (punktartig) sind deutlich erkennbar. Sie senken den Hitzestress, wobei die Bestandsbäume lokal einen stärkeren Kühleffekt erzeugen als die Verschattungen durch Gebäude. Auffallend ist zudem, dass in den Bereichen, welche nicht gegenüber dem **Westwind** exponiert sind (geschlossene Innenhöfe, Herzog-Georg Straße) stärkerer Hitzestress angezeigt wird als in den besser „durchlüfteten“ Bereichen.

## Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

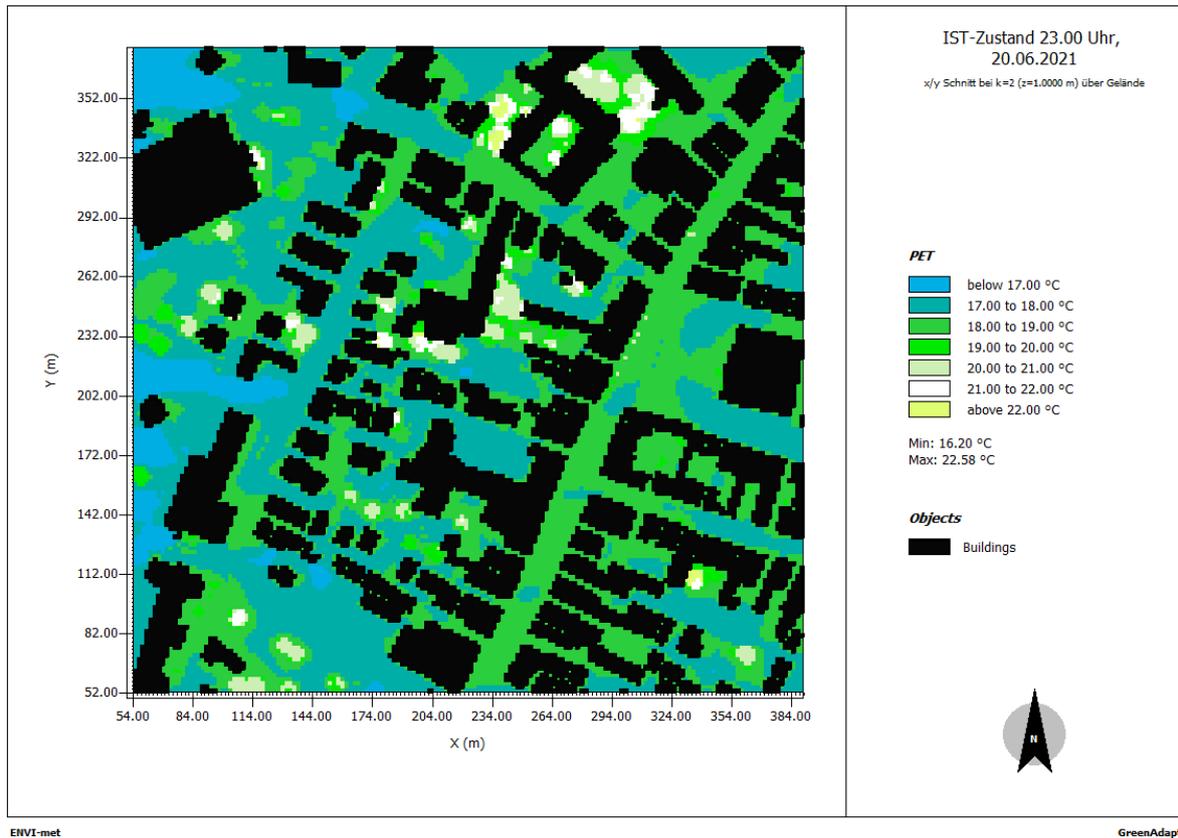


Abbildung 14: Simulationsergebnis IST-Zustand & gegenwärtiges Klima 23:00 Uhr. Quelle: Eigene Darstellung.

Für 23 Uhr zeigen die Ergebnisse **keinen Hitzestress** an. Für weite, offene Freiräume, welche dem Westwind exponiert sind, wird leichter Kältestress angezeigt (Wobei dazu angemerkt werden sollte, dass der PET-Algorithmus eine Anpassung der Bekleidung an kühlere Umgebungen nicht mitberechnet). Die **Bestandsbäume** haben einen leicht erhöhenden Effekt auf den PET, wobei dadurch kein Hitzestress entsteht.

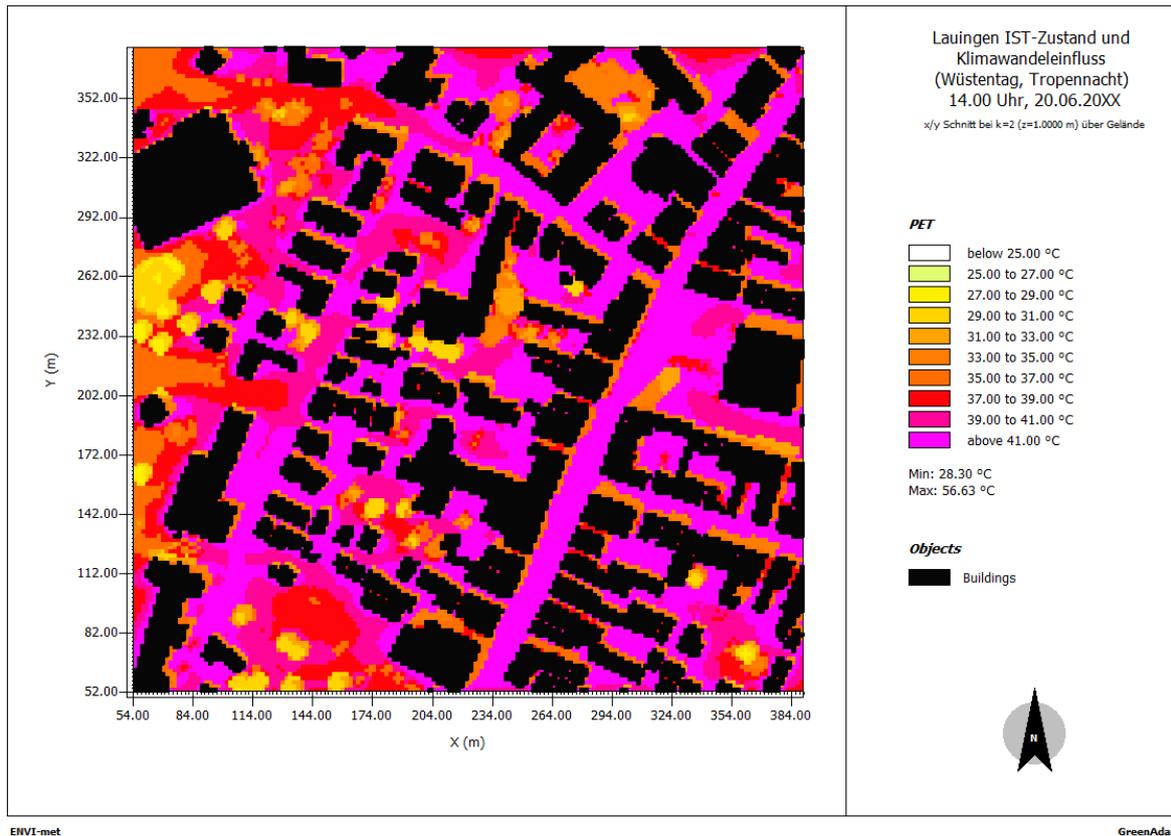


Abbildung 15: Simulationsergebnis IST-Zustand & Klimawandeleinfluss 14:00 Uhr. Quelle: Eigene Darstellung.

#### 1.2.4 Ergebnisse IST-Zustand | Klimawandeleinfluss (Wüstentag, Tropennacht)

Die Ergebnisse für 14:00 Uhr zeigen für den Großteil der nicht verschatteten Freiräume, insbesondere für die nicht gegenüber dem Westwind exponierten Bereiche, **extremen Hitzestress** an. Der Bereich mit extremem Hitzestress ist deutlich größer als in den 14:00 Uhr Ergebnissen, welche auf Messwerten basieren. Auch hier findet sich eine Hitzereduktion in den von Gebäuden oder Bestandsbäumen **verschatteten Bereichen**, wobei die Bestandsbäume einen stärkeren Kühleffekt erzeugen. Selbst unter den Baumkronen wird jedoch noch **moderater Hitzestress** angezeigt.

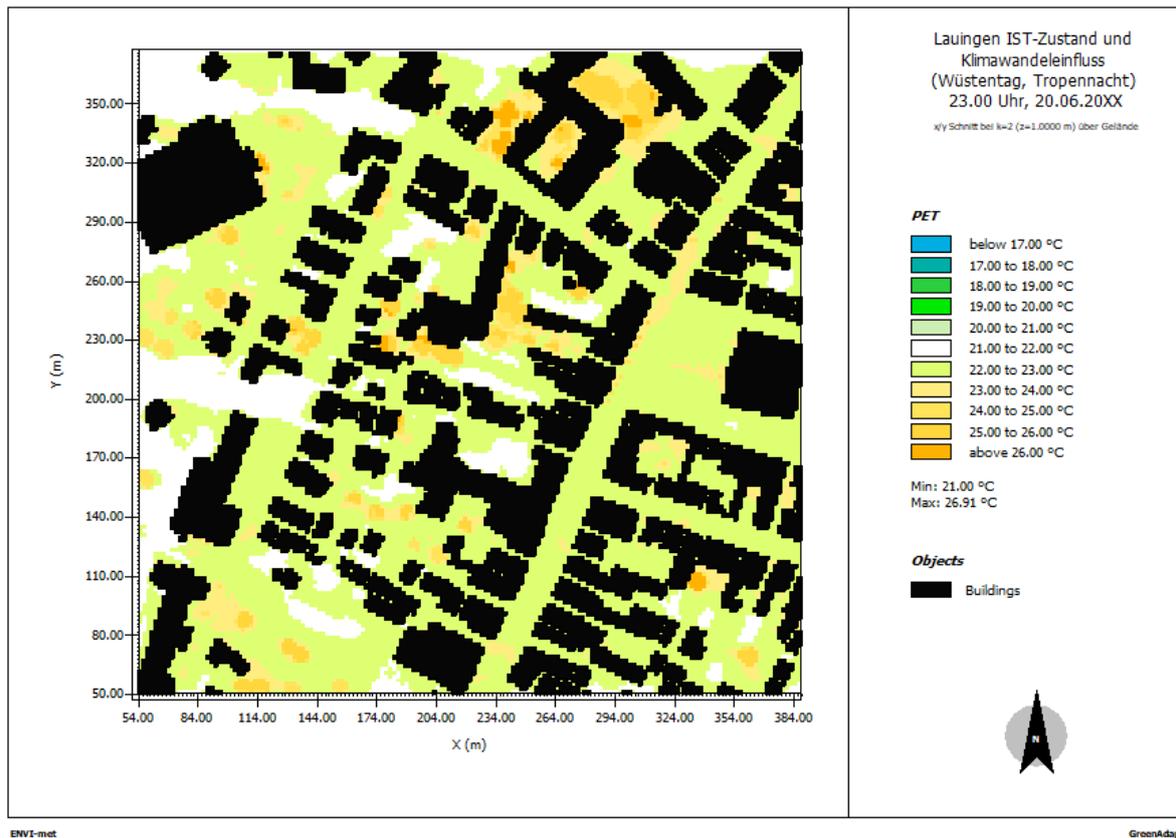


Abbildung 16: Simulationsergebnis IST-Zustand & Klimawandeleinfluss 23:00 Uhr. Quelle: Eigene Darstellung.

Die Ergebnisse für 23:00 Uhr zeigen **keinen Kältestress** mehr, sondern Indexwerte zwischen 22 und 23 Grad Celsius PET für den Großteil der Freiräume („no thermal stress“). Die Bestandsbäume führen durch ihren Abblockeffekt auf den Westwind zu **sehr leichtem Hitzestress**. Zu beachten ist bei diesem Ergebnis, dass diese Temperaturbereiche zu einer **ungenügenden Abkühlung der Innenräume** führen können, auch wenn in den Freiräumen kein stärkerer Hitzestress besteht.

### 1.2.5 Ergebnisse zu den Auswirkungen der modellierten Maßnahmen

Die Verortung der Maßnahmen wird in den nachfolgenden Übersichtskarten dargestellt:



Abbildung 17: Übersicht der modellierten Maßnahmen. Legende; Rasenflächen + Rasengittersteine + Fassadenbegrünungen nördliche Innenstadt; Bäume nördliche Innenstadt; Rasenflächen + Rasengittersteine + Fassadenbegrünungen südliche Innenstadt; Bäume südliche Innenstadt (von oben nach unten). Quelle: Eigene Darstellung.

Die folgende Abbildung stellt die **Differenzwerte** der Ergebnisse der Maßnahmensimulation und der Ergebnisse der Simulation des IST-Zustandes um 14:00 Uhr dar. Dadurch werden die **Auswirkungen der Maßnahmen auf das Bioklima** ersichtlich.

## Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

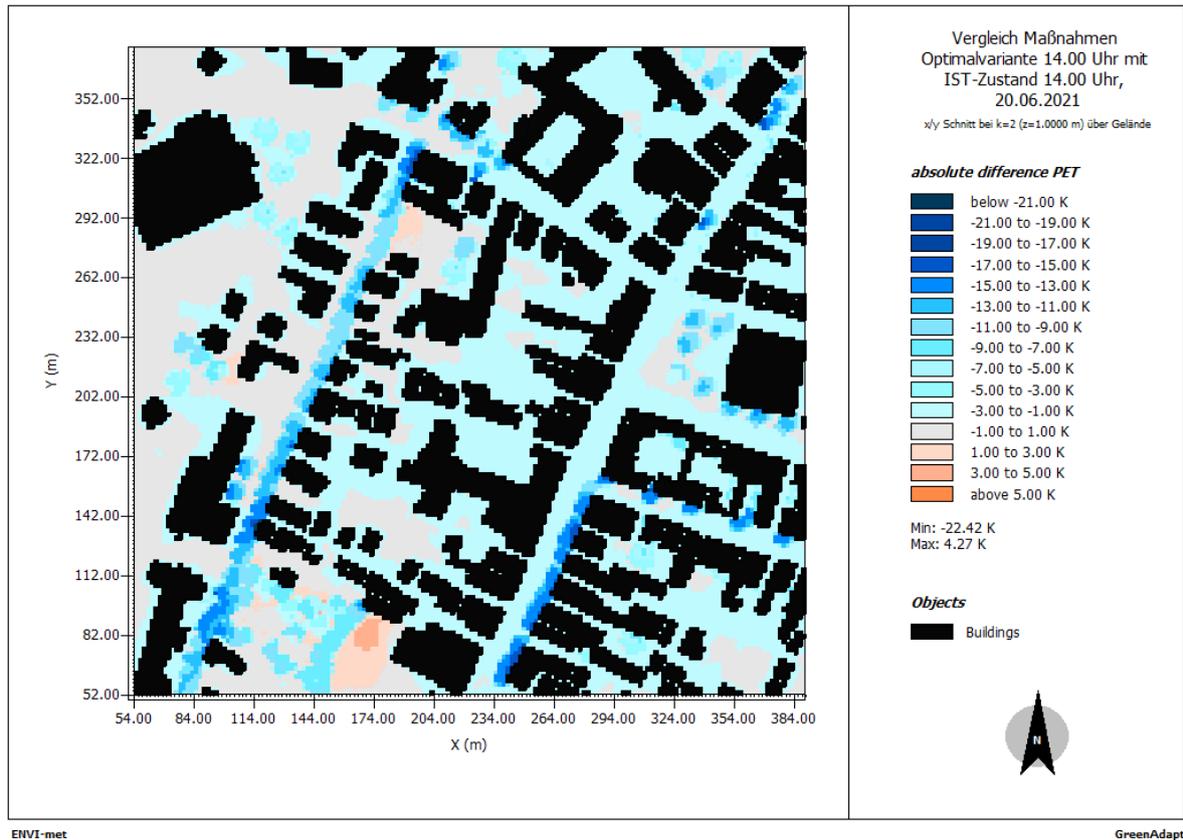


Abbildung 18: Auswirkungen der modellierten Maßnahmen auf das Bioklima um 14:00 Uhr. Quelle: Eigene Darstellung.

Deutlich zu erkennen sind die **punktartigen, sehr starken Kühleffekte der modellierten Bäume**, welche bis zu 22 PET Grad Celsius (hier automatisiert als Kelvin angegeben) betragen. Die modellierten Fassadenbegrünungen, Grünflächen und Rasengittersteine zeigen nur an wenigen Orten zuzuordnende Effekte auf den PET (Die modellierte Grünfläche nordöstlich der Stadthalle hat z.B. einen in der Abbildung zu erkennenden, geringen Effekt). Die **flächigen, leichten Kühleffekte** von ca. 1-3 PET Grad Celsius, welcher in großen Teilen der Innenstadt erkennbar sind, werden jedoch auch durch diese Maßnahmen (mit)entstanden sein. Der **Westwind** führt dazu, dass durch Transpiration entstehende Beeinflussungen der Luftfeuchtigkeit und des latenten Wärmestromes nach Osten „verblasen“ werden.

Östlich der auf dem Parkplatz Radgarten modellierten Bäumen zeigt sich ein Abblockeffekt des Westwindes, welcher zu einer leichten, bis zu 4 PET Grad Celsius starken Erwärmung führt.



Abbildung 19: Auswirkungen der modellierten Maßnahmen auf das Bioklima um 23:00 Uhr. Quelle: Eigene Darstellung.

Hier ist zu erkennen, dass um 23 Uhr **kein nennenswerter Kühleffekt** durch die Maßnahmen entsteht. Die modellierten Grasflächen, Fassadenbegrünungen und Rasengittersteine sind anscheinend nicht groß genug um die PET-Werte um 23 Uhr merkbar zu beeinflussen. Deutlich erkennbar sind allerdings die **Abblockeffekte des Westwindes** durch die modellierten Bäume, welcher die PET-Werte leicht um maximal 5,2 Grad Celsius PET steigen lässt.

### 1.2.6 Maßnahmenempfehlungen für die Lauinger Innenstadt

Auf Basis der Simulationsergebnisse (Kapitel 1.2) werden in diesem Unterkapitel abschließende Maßnahmenvorschläge speziell für die Lauinger Innenstadt ausformuliert. Maßnahmenvorschläge für das gesamte Gemeindegebiet finden sich in Teilbericht IV.

Für die gesamte Innenstadt lässt sich festhalten, dass **Baumpflanzungen einen effektiveren Hitzeschutz bieten als Grasflächen, Fassadenbegrünungen und Rasengittersteine**. Es sollten daher Baumpflanzungen in größerem Umfang integriert werden, insbesondere an den **Orten, welche in den Sommermonaten in den Mittags- und Nachmittagsstunden nicht verschattet sind** (insbesondere die Ost- und Nordseiten der Straßen, der Rathausvorplatz, der

Parkplatz Radgarten). Die durch neu gepflanzte Bäume entstehenden Abblockeffekte auf den Wind sind zwar tagsüber und nachts vorhanden, sind aber gegenüber den tagsüber realisierten, starken Kühleffekten durch Verschattung und Transpiration zu vernachlässigen. Dies gilt umso mehr, da Windgeschwindigkeiten und -Richtungen nicht konstant sind.

Da im **Winterhalbjahr** die direkte Sonneneinstrahlung auch unter den Bedingungen eines fortschreitenden Klimawandels zum thermischen und gesundheitlichen Wohlbefinden beitragen wird, sollten **laubabwerfende Bäume** gepflanzt werden und es sollten langfristig auch öffentliche Flächen beibehalten werden, welche nicht durch Baumkronen verschattet werden. An Orten, an denen Baumpflanzungen nicht umsetzbar sind, sind aus diesem Grund **temporäre Sonnensegel für die Sommermonate** eine zwar thermisch weniger wirksame, aber dennoch sinnvolle Alternative. Die Abwägung zwischen Baumpflanzungen, Sonnensegeln und unverschattet belassenen Freiräumen ist Gegenstand landschaftsarchitektonischer Detailplanungen.

**Grasflächen, Fassadenbegrünungen und Rasengittersteine** haben aus der Perspektive des Hitzeschutzes für die Freiräume der Innenstadt eine **geringere Priorität**. Um einen stärkeren nächtlichen Kühleffekt zu realisieren, welcher großen Grasflächen in der Fachliteratur zugeschrieben wird (vgl. OKE ET AL. 2017), wäre Rückbau in der Lauinger Innenstadt notwendig. Die zur Verfügung stehenden Freiflächen sind dafür zu klein, auch wenn die Bereitschaft vorhanden ist, Parkplätze zu entsiegeln.

Grasflächen lassen sich landschaftsarchitektonisch natürlich trotzdem gut mit Baumpflanzungen kombinieren und sind dort, wo der Platz vorhanden ist, versiegelten Flächen vorzuziehen. Zudem erhöhen sie die Versickerungsmöglichkeiten und leisten somit einen Beitrag zur Starkregen- bzw. Hochwasservorsorge.

## 1.3 Verifizierung der Hitze Hotspots

### *1.3.1 Vergleich von indikatorbasierter Hitzebelastungskarte und der mikroklimatischen Simulation der Innenstadt:*

Die in Kapitel 1.1 und 1.2 vorgestellten Ergebniskarten betrachten zwei unterschiedliche Raumeinheiten und es liegen ihnen zwei unterschiedliche Methodiken zugrunde. Während die indikatorbasierte Hitzebelastungskarte das ganze Stadtgebiet und die umliegenden Grünflächen betrachtet, beschränken sich die Ergebnisse der mikroklimatischen Simulation auf die Innenstadt. Trotzdem erfassen beide Modellierungs-Methoden das gleiche Phänomen: Die **städtische Wärmeinsel**. Sie entsteht, wenn sich stark versiegelte und dicht bebaute Städte nach

Sonnenuntergang langsamer abkühlen als die ländliche Umgebung, da städtische Oberflächen wie Beton oder Asphalt tagsüber gespeicherte Wärme nachts abstrahlen (vgl. OKE ET AL. 2017).

Nach der indikatorbasierten Hitzebelastungskarte wird den Baublöcken der Lauinger Innenstadt eine hohe Hitzebelastung (Klasse 7 von 8) zugeordnet. Die mikroklimatischen Simulationen der Innenstadt bestätigen diese indikatorbasierte Klassifizierung und **verifizieren den Hitze-Hotspot Innenstadt**: Die nachts simulierten Temperaturwerte liegen höher, als die für die Simulation eingegebenen Temperaturstartwerte für dieselben Uhrzeiten - die Innenstadt kühlt sich in der Simulation also langsamer ab als der Temperaturverlauf der Messwerte. Sie wirkt nach Sonnenuntergang als (simulierte) „Heizfläche“. Für 23 Uhr wurde in der Simulation ein Temperaturwert von 22,5 Grad Celsius initial eingegeben. Betrachtet man die Ergebnisse der Simulation für 23 Uhr, die Lufttemperatur und in einer Höhe von 1,4 Metern über dem Erdboden, so wird eine Temperaturspanne zwischen 22,7 und 23,3 Grad Celsius angegeben. Die Lufttemperatur liegt in einer Höhe von 1,4 Metern also überall höher.

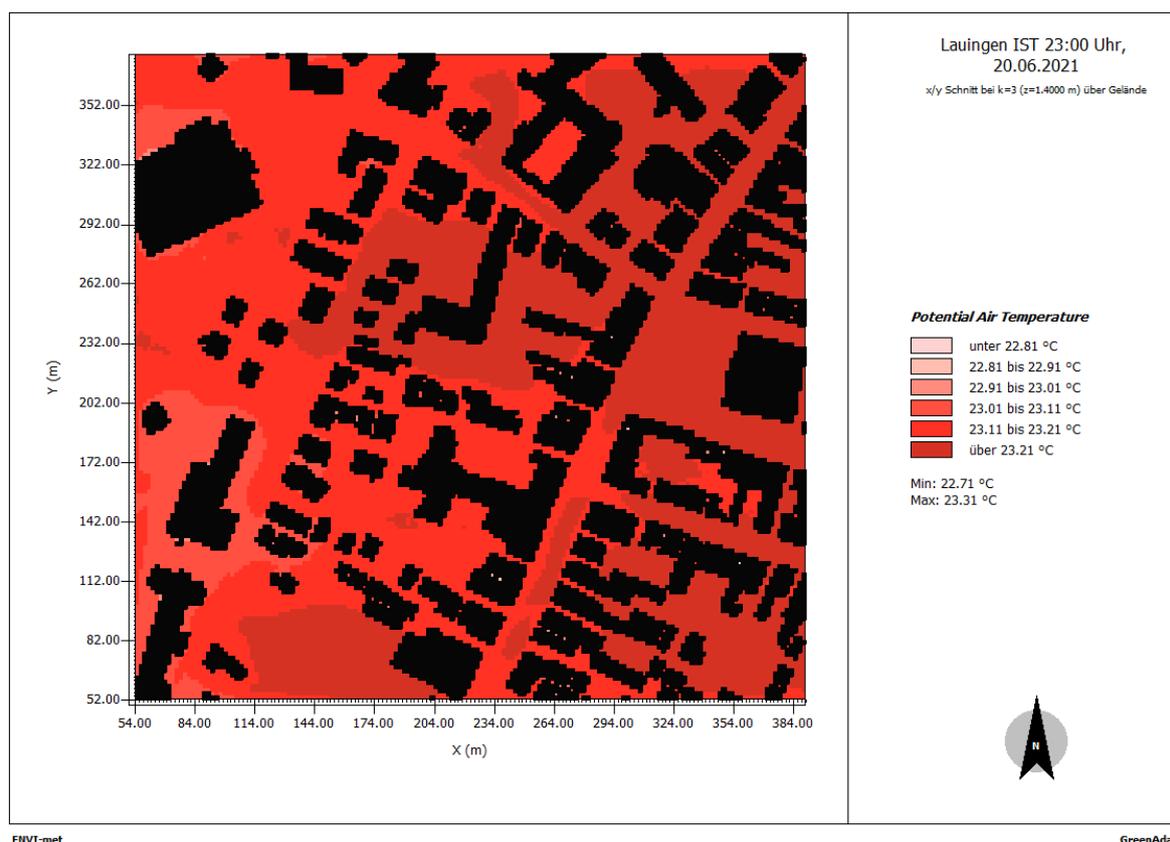


Abbildung 20: Simulierte Lufttemperatur um 23 Uhr in der Lauinger Innenstadt. Quelle: Eigene Darstellung.

Der geringe Unterschied zwischen dem eingegebenen Temperaturstartwert und den simulierten Werten im Tagesverlauf täuscht dabei: Laut aktuellen Studien liegt der nächtliche Temperaturunterschied bei autochthoner Witterung, also Wetterlagen mit geringer Bewölkung und

schwachen Winden, vermutlich höher. Dieser wurde aufgrund der Modellgröße (Innenstadt) nicht abgebildet.

### 1.3.2 Vergleich von indikatorbasierter Hitzebelastungskarte und Oberflächentemperatur

Die **Satellitenaufnahmen der Oberflächentemperaturen** zeigen, welche Flächen sich an bestimmten Tageszeiten wie stark erwärmen. Die Oberflächentemperatur ist eine wichtige Größe für meso- und mikroskalige Klimaphänomene wie den **städtischen Wärmeinseleffekt**, da sich die Lufttemperatur in unmittelbarer Nähe des Bodens (welche für das Wohlbefinden der Bürger:innen relevant ist) in direktem thermischem Austausch mit den Boden- oder Materialoberflächen befindet (vgl. OKE ET AL. 2017). Zudem sind diese Daten flächendeckend, kostenfrei und ohne aufwändige Messungen verfügbar. Die folgende Abbildung zeigt die Oberflächentemperatur am Tag in und um das Lauinger Stadtgebiet mit einer Auflösung von 30 Metern am 22.7.2021:

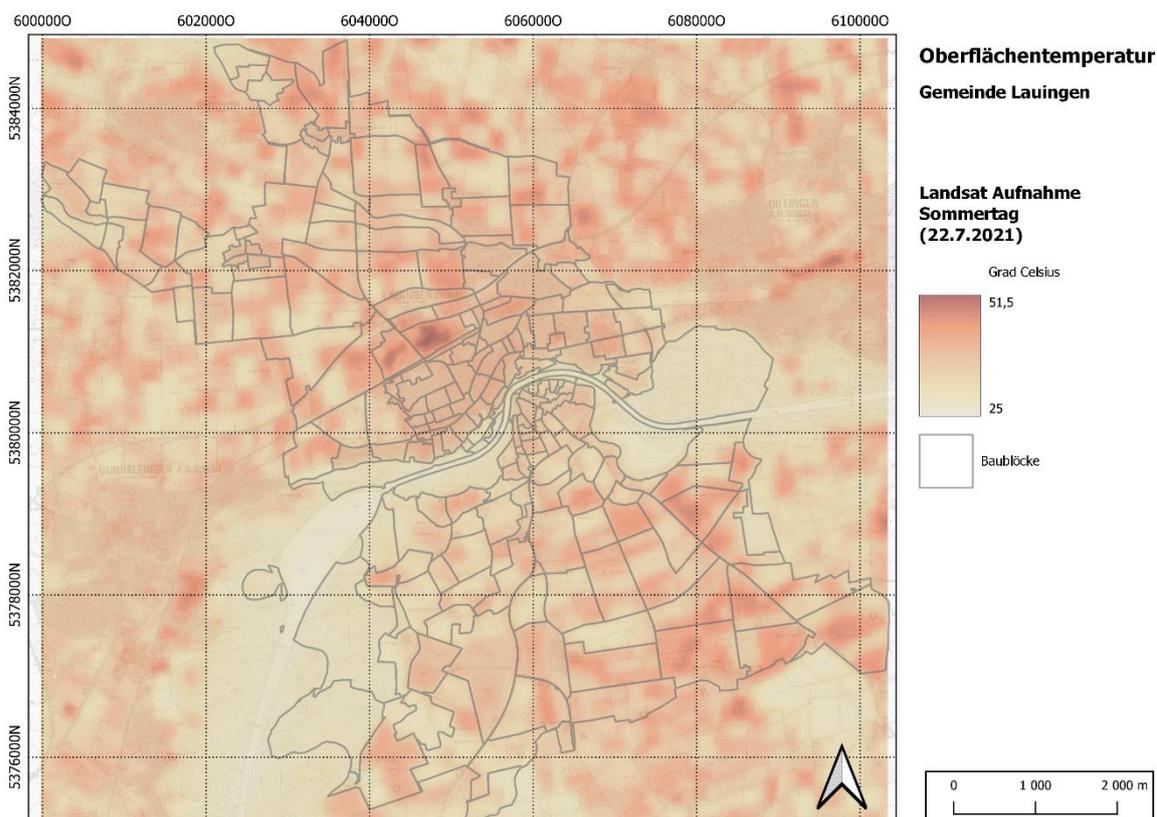


Abbildung 21: Oberflächentemperatur am Tag (Aufnahme vom 22.7.2021). Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von USGS Landsat.

Wie sich hier sehen lässt, erreichen insbesondere die **Gewerbegebiete**, sowie einige **landwirtschaftliche Flächen** am Tag hohe Temperaturwerte. Die Temperaturwerte im Rest des

## Klimaanpassungskonzept für die Stadt Lauingen (Donau)

Lauinger Stadtgebietes liegen im oberen Mittelfeld. Das Donautal und andere landwirtschaftliche Flächen sind vergleichsweise kälter. Die sehr hohen Temperaturwerte der Gewerbegebiete lassen sich aus großen, stark versiegelten Verkehrs- und Dachflächen erklären, welche wenig Verschattung bieten. Der Rest des Lauinger Stadtgebietes zeigt geringere Temperaturwerte, vermutlich weil dort mehr Grünflächen existieren und durch verwinkeltere Bebauungsstrukturen mehr Verschattung entsteht. Die starken Unterschiede zwischen den landwirtschaftlichen Flächen sind vermutlich auf die Art der Bestellung zum Aufnahmezeitpunkt zurückzuführen: Unbewachsene Felder besitzen keine transpirierende Biomasse mehr und bieten keine Verschattung. Sie heizen sich dementsprechend bei direkter Sonneneinstrahlung stark auf.



Abbildung 22: Oberflächentemperatur in der Nacht. Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von MODIS Terra.

Diese Satellitenaufnahme zeigt die nächtliche Verteilung der Oberflächentemperaturen am 14.8.2021 mit einer Auflösung von einem Kilometer. Die unterschiedlichen Auflösungen resultieren aus unterschiedlichen Aufnahmesensoren. **Das bebauten Lauinger Stadtgebiet** ist klar als Bereich mit höheren Oberflächentemperaturen erkennbar. Diese resultieren aus der intensiveren Wärmespeicherung und langwelligen Ausstrahlung der versiegelten Flächen und Baukörper gegenüber unversiegelten landwirtschaftlichen Flächen, Wäldern und Wasserkörpern.

Der Vergleich der zwei beschriebenen Satellitenaufnahmen mit der Hitzebelastungskarte zeigt eindeutig, dass die nächtliche Oberflächentemperatur stärker der indikatorbasierten Hitzebelastungskarte entspricht als die Oberflächentemperatur des Tages.

### *1.3.3 Fazit für die Aussagekraft und Anwendbarkeit der indikatorbasierten Hitzebelastungskarte*

Die **Hitzebelastungskarte** repräsentiert die **räumliche Ausprägung der nächtlichen Wärmeinsel** bzw. der Hitzebelastung in sommerlichen Hitzewellen **nach Sonnenuntergang**. Auch am Tag, bei direkter Sonneneinstrahlung, wird das bebaute Stadtgebiet eine höhere Hitzebelastung aufweisen als viele unversiegelte ländliche Flächen. Es kann jedoch am Tag unbeschattete, landwirtschaftliche Flächen geben, über welchen eine noch höhere Hitzebelastung als im Siedlungskörper herrscht (siehe Landsat-Aufnahme, Abbildung 21). Dieser Aspekt ist jedoch aus Sicht der Hitzebelastung für den Menschen vernachlässigbar, da sich auf diesen Flächen im Vergleich zum Siedlungsgebiet nur sehr wenig Personen aufhalten.

Die Karte kann als **Planungshinweiskarte** genutzt werden: Je höher das Maß der Hitzebelastung klassifiziert wird, desto höher ist die Dringlichkeit zur Reduktion der sommerlichen Hitzebelastung durch **physische Maßnahmen** wie z.B. Baumpflanzungen. Dabei muss in der Konzeption der Maßnahmenentwicklung auf Stadtteilebene entschieden werden, welche Maßnahmen sich am besten in die städtebauliche Struktur, Architektur und die Nutzungen des jeweiligen Stadtteils integrieren lassen. Auf Stadtteilebene sollte auch entschieden werden, ob Maßnahmen, welche am Tag thermisch wirken oder solche, welche in der Nacht thermisch wirken, priorisiert werden sollten.

## 2 Literaturverzeichnis

- AI, T. und J. LI (2010): A DEM generalization by minor valley branch detection and grid filling. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65 (2).
- BAYERISCHE STAATSREGIERUNG (2015): Klimaschutzprogramm Bayern 2050.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2002): Hochwasser im August 2002.
- BILL, R. (2010): Grundlagen der Geoinformationssysteme. Berlin.
- BWK (2013): Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. BWK-Fachinformation 1/2013. Sindelfingen.
- CLIMATE.GOV (2020): Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. NOAA; Rebecca Lindsey. Internet: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> (31.10.2020).
- DAVID, A. und B. SCHMALZ (2021): A Systematic Analysis of the Interaction between Rain-on-Grid-Simulations and Spatial Resolution in 2D Hydrodynamic Modeling. In: Water 2021, Vol. 13 13 (17). Internet: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/17/2346/htm> (20.04.2023).
- DVWK (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten. Teil II. Synthese. . Internet: <https://www.irb.fraunhofer.de/dokumentlieferung/dienst/?id=1985029930193&from=rss> (20.04.2023).
- DWA (2019a): Merkblatt DWA-M 543-1 - Geodaten in der Fließgewässermodellierung Teil 1: Grundlagen und Verfahren. Hennef.
- DWA (2019b): Merkblatt DWA-M 543-2 - Geodaten in der Fließgewässermodellierung – Teil 2: Bedarfsgerechte Datenerfassung und -aufbereitung. Hennef.
- DWA (2019c): Merkblatt DWA-M 543-3 - Geodaten in der Fließgewässermodellierung – Teil 3: Aspekte der Strömungsmodellierung und Fallbeispiele . Hennef.
- DWA (2016): Merkblatt DWA-M 119 - Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Hennef.
- DWA (2006): Arbeitsblatt, DWA-A 118 - Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Internet: <https://webshop.dwa.de/de/dwa-a-118-hydraulische-bemessung-3-2011.html> (20.04.2023).
- DWD (2021): Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. Internet: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721\\_bericht\\_starkniederschlaege\\_tief\\_bernd.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.pdf?__blob=publicationFile&v=6).
- GREENADAPT (2022): Auswahlvorschlag zweidimensionale hydraulische Modellierung der Fließgewässer III. Ordnung in der Gemeinde Lauingen. Leipzig.
- HEC (2021): HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual—Version 6.0 Beta. Davis.
- HUANG, M. und S. JIN (2019): A methodology for simple 2-D inundation analysis in urban area using SWMM and GIS. In: Natural Hazards 97 (1): 15–43.
- INGENIEURBÜRO JOHANN KAPFER (2006): Gewässerentwicklungsplan Stadt Lauingen (Donau), Erläuterungsbericht. Dillingen a.d. Donau.
- IPCC (2021): Klimawandel 2021. Naturwissenschaftliche Grundlagen.

- IPCC (2014): Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Internet: <http://www.ipcc.ch>. (03.05.2023).
- JÄTZOLD, R. (1962): Naturräumliche Gliederung, BI. 172 Nördlingen. Institut für Landeskunde. Bad Godesberg.
- JENSON, S. K. , T. C. M. (1987): Methods and applications in surface depression analysis.
- KRVAVICA, N. und J. RUBINIĆ (2020): Evaluation of Design Storms and Critical Rainfall Durations for Flood Prediction in Partially Urbanized Catchments. In: *Water* 12 (7). Internet: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/2044/htm> (20.04.2023).
- LANUV KISS (2013): Klimawandel in der Stadtentwässerung und Stadtentwicklung, Abschlussbericht.
- LUBW (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg.
- MANIAK, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Berlin/Heidelberg.
- MARKS, D., J. DOZIER und J. FREW (1984): AUTOMATED BASIN DELINEATION FROM DIGITAL ELEVATION DATA. In: *Geo-processing* 2 (3).
- MATZARAKIS, A. und H. MAYER (1996): Another kind of environmental stress: Thermal stress. In: WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control 18: 7–10.
- OKE ET AL. (2017): *Urban Climates*.
- S. FU, G. ZHANG, N. WANG und L. LUO (2011): Initial Abstraction Ratio in the SCS-CN Method in the Loess Plateau of China. In: *Transactions of the ASABE* 54 (1): 163–169.
- SCHEID, C. (2018): GIS-basierte Starkregen-Risikoanalyse unter besonderer Berücksichtigung von Datenerfordernissen und methodischer Aussagefähigkeit. In: *Wasser Infrastruktur Ressourcen Band 4*.
- SCHRÖDER, A., A. ROSKOSCH, C. RAU, C. MANSTEIN, L. SIECK, M. SCHMIED, O. WEBER und W. NIEDERLE (2022): Herausforderungen und Chancen einer ressourcenschonenden Stadt- und Infrastrukturentwicklung. Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) (03.05.2023).
- SHI, Z. H., L. D. CHEN, N. F. FANG, D. F. QIN und C. F. CAI (2009): Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. In: *CATENA* 77 (1): 1–7.
- STMUV BAYERN (2019): Infoblatt zum Sonderprogramm nach Nr. 2.4 RZWas 2018, Integrale Konzepte zum kommunalen Sturzflut-Risikomanagement.
- STMUV BAYERN (1995): Arten- und Biotopschutzprogramm Bayern, Landkreis Dillingen.
- WOODWARD, D., R. HAWKINS, R. JIANG, A. HJELMFELT, J. A. VAN MULLEM und Q. D. QUAN (2003): Runoff curve number method: Examination of the initial abstraction ratio. In: Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conf. Internet: [https://www.researchgate.net/publication/313007483\\_Runoff\\_curve\\_number\\_method\\_Examination\\_of\\_the\\_initial\\_abstraction\\_ratio](https://www.researchgate.net/publication/313007483_Runoff_curve_number_method_Examination_of_the_initial_abstraction_ratio) (20.04.2023).
- ZEIGER, S. J. und J. A. HUBBART (2021): Measuring and modeling event-based environmental flows: An assessment of HEC-RAS 2D rain-on-grid simulations. In: *Journal of Environmental Management* 285.

### 3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung II-1: Versiegelte Flächen in Lauingen (Donau) nach Copernicus Satellitendaten (links) und Versiegelungsgrad je Baublock (rechts).....	3
Abbildung II-1: Basiskarte- Gebäude und Baublöcke (links) und Gebäudedichte auf Baublöcke aggregiert (rechts).....	4
Abbildung II-3: Landnutzungskarte (links) und Anteil der Grün- und Wasserflächen Version 1 (Mit ATKIS Landnutzung) (rechts).....	5
Abbildung II-4: Anteil der Grün- und Wasserflächen Version 2 (Mit den Stadtbäumen). ....	6
Abbildung II-5: Entstehungsprozess der Hitzebelastungskarte auf Baublockebene durch verschiedene Indikatoren und Kartenergebnisse. Quelle: Eigene Darstellung.....	7
Abbildung II-6: Indikatorbasierte Hitzebelastungskarte für die Stadt Lauingen (Indikatoren: Versiegelungsgrad, Bebauungsdichte, Anteil Grün- und Wasserflächen). ....	8
Abbildung II-7: Untersuchungsgebiet der Stadt Lauingen (Donau) für die Wirkung konkreter Klimaanpassungsmaßnahmen auf die thermische Belastung. ....	10
Abbildung II-8: Darstellung Lauingens inkl. DOM (Topographie) und Gebäude (-Höhen) in Monde (Envi-met). ....	11
Abbildung II-9: Exemplarische Darstellung der Stadtbegrünung im Untersuchungsgebiet. ....	12
Abbildung II-10: Dargestellt ist die Vegetation im Modellgebiet (2-D).....	13
Abbildung II-11: E2D Darstellung der Oberflächen im Untersuchungsgebiet. ....	14
Abbildung II-12: Dreidimensionale Darstellung des Untersuchungsgebiets. ....	15
Abbildung II-13: Simulationsergebnis IST-Zustand & gegenwärtiges Klima 14:00 Uhr.....	17
Abbildung II-14: Simulationsergebnis IST-Zustand & gegenwärtiges Klima 23:00 Uhr.....	18
Abbildung II-15: Simulationsergebnis IST-Zustand & Klimawandeleinfluss 14:00 Uhr.....	19
Abbildung II-16: Simulationsergebnis IST-Zustand & Klimawandeleinfluss 23:00 Uhr.....	20
Abbildung II-17: Übersicht der modellierten Maßnahmen. ....	21
Abbildung II-18: Auswirkungen der modellierten Maßnahmen auf das Bioklima um 14:00 Uhr...	22
Abbildung II-19: Auswirkungen der modellierten Maßnahmen auf das Bioklima um 23:00 Uhr...	23
Abbildung II-20: Simulierte Lufttemperatur um 23 Uhr in der Lauinger Innenstadt.....	25
Abbildung II-21: Oberflächentemperatur am Tag (Aufnahme vom 22.7.2021). ....	26
Abbildung II-22: Oberflächentemperatur in der Nacht. Quelle: ....	27

### 4 Tabellenverzeichnis

Tabelle II-1: Übersicht der Indikatoren zur Erstellung der Hitzebelastungskarte und verwendeten Quellen. ....	2
Tabelle II-2: PET Klassen. ....	16