Stadt Plauen
Geschäftsbereich II
Fachbereich Bau und Umwelt
Fachgebiet Tiefbau

#nachhaltigaktiv

SPITZEN STADT PLAUEN

Nachhaltiges Klimaanpassungskonzept

für Plauen

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Auftraggeber

Stadt Plauen

GB II/FB Bau und Umwelt
FG Tiefbau
Unterer Graben 1
08523 Plauen

https://www.plauen.de/

Projektleitung: Carla May

Auftragnehmer

ThINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz GmbH
Hainstraße 1a
D - 07745 Jena
www.think-jena.de

Projektleitung: Marie-Charlott Rümmler
Mitarbeit: Dennis Kehl, Dr. Uwe Kurmutz

Oktober 2024

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG 11

1. Rahmenbedingungen und Bestandsaufnahme 13

1.1. Anthropogener Klimawandel 13

1.1.1. Aktueller Wissensstand 13

1.1.2. Verwendung von Klimamodellen 17

1.1.3. Klimaschutz 23

1.1.4. Klimafolgenanpassung 23

1.2. Ausgangslage der Stadt Plauen 25

1.2.1. Ausstattung 25

1.2.2. Bisherige Wetterereignisse 28

1.2.3. Aktivitäten zur Klimafolgenanpassung (vorhandene Ziele und Pläne) 29

1.2.4. Bestehende Datengrundlagen 30

1.3. Rechtliche Rahmenbedingungen für das Konzept auf Bundesebene 31

1.3.1. Klimaanpassung in der Bauleitplanung 31

1.3.2. Das Klimaanpassungsgesetz (KAnG) 33

1.4. Inhalte und Vorgehen bei der Untersuchung 33

2. Stadtklimatische Grundlagen 36

2.1. Stadtklimaanalyse 36

2.2. Besonderheiten des Stadtklimas 36

2.2.1. Einführung Klimafunktionskarte 38

2.2.2. Klimatope 38

2.2.3. Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21 42

2.2.4. Ergebnisse der Kaltluftmodellierung 45

2.2.5. In der Klimafunktionskarte dargestellte Kaltluftmerkmale 53

2.2.6. Überwärmung – Wärmebelastungsindex und Verschattungsanalyse 57

2.2.7. Verkehrsbelastung 61

2.2.8. Anlagen nach Bundes-Immissionsschutzverordnung 62

2.2.9. Darstellung und Auswertung der Klimafunktionskarte 63

2.2.10. Planungshinweiskarte - Einführung 65

2.2.11. Planungshinweiskarte - Methodische Herleitung 67

2.2.12. Darstellung und Auswertung der Planungshinweiskarte 68

2.3. Lokale Überflutungen nach Starkregen 71

2.3.1. Randbedingungen und Methodik 71

2.3.2. Ergebnisse der Abflussmodellierung 72

3. Auswirkungen des Klimawandels 80

3.1. Einführung Klimastations- und Klimaprojektionsdaten 80

3.1.1. Klimastationsdaten 80

3.1.2. Klimaprojektionsdaten 81

3.2. Veränderung des Klimas in der Stadt Plauen 82
3.2.1. Temperatur 82
3.2.2. Niederschlag 88
3.2.3. Wind 93
3.2.4. Klimatische Wasserbilanz 93
3.2.5. Zusammenfassung der Klimaveränderungen 95
3.3. Auswirkungen auf die kommunalen Handlungsfelder 97
3.3.1. Menschliche Gesundheit 97
3.3.2. Landwirtschaft und Boden 98
3.3.3. Wald und Forstwirtschaft 99
3.3.4. Wasserwirtschaft 100
3.3.5. Biologische Vielfalt 101
3.3.6. Verkehrswesen 102
3.3.7. Industrie und Gewerbe 102
3.3.8. Bauwesen 103
3.3.9. Katastrophenschutz 103
3.4. Analyse priorisierter Klimawirkungen 104
3.4.1. Priorisierung von Handlungsfeldern und Klimawirkungen 104
3.4.2. Methodik der Klimawirkungsanalysen 105
3.4.3. Überschwemmungen durch Starkregen 108
3.4.4. Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen 113
3.4.5. Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung 119
3.4.6. Wärmebelastung für die Bevölkerung 125
3.4.7. Trockenstress auf Waldflächen 129
3.4.8. Trockenstress für das Stadtgrün 138
3.5. Anpassungsbedarfe 143
3.6. Anpassungskapazitäten der Akteure 147
3.7. Künftige Vulnerabilitäten 149
4. Gesamtstrategie für die Stadt Plauen 152
4.1. Leitbild für den Anpassungsprozess 152
4.2. Anpassungsziele und Erfolgsindikatoren 153
5. Anpassungsmaßnahmen 156
5.1. Struktur der Steckbriefe und Maßnahmenübersicht 156
5.2. Maßnahmensteckbriefe 158
5.2.1. Handlungsfeld Überschwemmung durch Starkregen 158
5.2.2. Handlungsfeld Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen 164
5.2.3. Handlungsfeld Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung 165
5.2.4. Handlungsfeld Wärmebelastung für die Bevölkerung 167
5.2.5. Handlungsfeld Trockenstress 173
5.2.6. Themenübergreifende Maßnahmen 179
5.3. Maßnahmenpriorisierung und Umsetzungsplan 182
6. Akteursbeteiligung 183

6.1. Akteursidentifikation 183
6.2. Beteiligung 184
7. Verstetigungsstrategie 187
8. Kommunikationsstrategie 190
8.1. Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Kommunikationsprozess 190
8.2. Zielgruppen und Kommunikationskanäle 192
9. Controllingkonzept 194
9.1. Organisation des Controlling-Prozesses 195
9.2. Monitoring von Klimawandel und -folgen (Top-down-Controlling) 197
9.3. Evaluation der Umsetzung von Maßnahmen (Bottom-up-Controlling) 200
9.4. Zertifizierung 202
10. Ausblick 203
Literatur 204
Anhang 211
Zusätzliche Diagramme Klimastationsauswertung 211
Zusätzliche Diagramme Klimaprojektionen 216
Best-Practice Beispiele mit Projektlinks 220

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der globalen CO_2-Konzentration in Teilchen pro Millionen (ppm) in den letzten 800.000 Jahren. Quelle: NOAA (2024). 14

Abbildung 2: Änderung der globalen Oberflächentemperaturen aus Beobachtungsdaten und simuliert unter Berücksichtigung von menschlichen & natürlichen sowie nur natürlichen Faktoren in den Jahren 1850. Quelle: IPCC (2021b). 15

Abbildung 3: Schematische Darstellung des natürlichen Treibhauseffektes, welcher zu einer Durchschnittstemperatur auf der Erde von 15 °C führt. Durch zusätzliche Freisetzung von Treibhausgasen sorgt der Mensch dafür, dass immer mehr langwellige Wärmestrahlung zurück zur Erdoberfläche reflektiert wird. Quelle: Helbig (2019). 16

Abbildung 4: Anthropogen bedingte Veränderung des Strahlungsantriebs in W/m^2 an der Tropopause (gemessen in Kohlenstoffäquivalenten) im Vergleich zum vorindustriellen Wert um 1765. Quelle: Brasseur et al. (2017, S.11). 18

Abbildung 5: Übersicht der vier Standard SSP-Szenarien. Quelle: DKRZ (2022) 19

Abbildung 6: Projizierte Entwicklung der globalen Lufttemperatur in Bezug zum Zeitraum von 1850 bis 1900 am Beispiel von fünf SSP-Szenarien. Für SSP 1-2.6 und SSP 3-7.0 ist zusätzlich der Unsicherheitsbereich farblich hinterlegt. Quelle: IPCC (2021b, S.22). 21

Abbildung 7: Veränderung des globalen Meeresspiegels in Bezug zum Jahr 1900. Die gestrichelte Linie zeigt eine nicht auszuschließende Entwicklung, bei der es zu Instabilitäten der Eisflächen in den polaren Breiten kommen würde. Quelle: IPCC (2021b, S.22). 21

Abbildung 8: Entwicklung und Prognose des globalen Strahlungsantriebes (a), der globalen CO_2-Konzentration (b) und der globalen CO_2-Emissionen (c) anhand der vier Standard SSP-Szenarien. Quelle: DKRZ (2022). 22

Abbildung 9: Verteilung der kumulierten anthropogenen CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2100 auf Basis von fünf SSP-Szenarien. Der Prozentwert gibt an, wie viel CO_2 von den Land- und Meeresflächen gespeichert werden kann. Quelle: IPCC (2021b, S.20). 23

Abbildung 10: Administrative Gliederung und Landnutzungen in der Stadt Plauen 26

Abbildung 11: Bevölkerungsentwicklung der Stadt Plauen von 1910 bis 2022 sowie deren Prognose bis zum Jahr 2040. Datenquelle: Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2023, S. 6, 2024, S. 8,14). 27

Abbildung 12: Prognostizierte Entwicklung der Bevölkerungsgruppen in der Stadt Plauen unter Verwendung der Prognose (Variante 1). Datenquelle: Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2023, S. 18). 28

Abbildung 13: Auswertung der Feuerwehrdaten von 2013 bis 2022. 29

Abbildung 14: Schematische Übersicht zum Stadtklima. Quelle: DWD (2010). 36

Abbildung 15: Aufbereitetes DGM im Modelliergebiet für KLAM_21. 45

Abbildung 16: Aufbereitete Landbedeckung im Modelliergebiet für KLAM_21. 45

Abbildung 17: Zeitserie der Kaltluftvolumenstromdichte nach Sonnenuntergang. Die Legende ist vergrößert auf der rechten Seite zu sehen. 49

Abbildung 18: Kaltlufthöhe zwei Stunden nach Sonnenuntergang. 51

Abbildung 19: Kaltluftfließgeschwindigkeit in 2 m Höhe nach Sonnenuntergang. 52

Abbildung 20: Schematische Darstellung des Wärmebelastungsindex und dessen Eingangsdaten am Beispiel der Innenstadt von Chemnitz. 58

Abbildung 21: Wärmebelastungsindex im Stadtgebiet von Plauen. 59

Abbildung 22: Ausschnitt der Karte zur Verschattungsanalyse. Rote Farben stehen für sehr viel Sonneneinstrahlung und blaue Farben für eine geringe Sonneneinstrahlung im Sommerhalbjahr von April bis September. Die schwarzen Linien stellen Gebäudeumrisse dar, lilafarbene Punkte Schulen. 61

Abbildung 23: Von der Stadt Plauen zur Verfügung gestellte DTV-Übersicht aus dem Verkehrsentwicklungsplan. 62

Abbildung 24: Klimafunktionskarte im Stadtgebiet von Plauen (Originalmaßstab 1:9.000). 63

Abbildung 25: Ausschnitt der Klimafunktionskarte aus dem Stadtzentrum im Originalmaßstab von 1:9.000. 64

Abbildung 26: Übersetzungsmatrix zur Umwandlung der Klimafunktionskarte in die Planungshinweiskarte. 67

Abbildung 27: Ausschnitt der Planungshinweiskarte aus dem Stadtzentrum im Originalmaßstab von 1:9.000. 69

Abbildung 28: Planungshinweiskarte im Stadtgebiet von Plauen (Originalmaßstab: 1:9.000). 70

Abbildung 29: Zeitlicher Verlauf des Starkregenereignisses: Niederschlagssummen (oben) und Niederschlagsintensitäten (unten). 72

Abbildung 30: Lage des Modellgebietes (blau) und der berücksichtigten Teileinzugsgebiete (violett) im Verhältnis zum Stadtgebiet Plauen (rot) (Datenquelle: LfULG 2023, OpenStreetMap 2024). 73

Abbildung 31: Starkregengefahrenkarte für das 100-jährliche, einstündige Starkregenereignis (Originalmaßstab 1:9.000). 75

Abbildung 33: Niederschlag und Infiltration auf einem undurchlässigen (oben) und einem durchlässigen Standort (unten) bei einem 100-jährlichen, einstündigen Starkregenereignis. 76

Abbildung 34: Maximale Wasserstände bei einem 100-jährlichen Starkregen von einer Stunde Dauer an den Kontrollpunkten 1 (Alt Chrieschwitz Brücke Langenberggasse) und 2 (Alt Chrieschwitz Beginn Ortslage) sowie in der Bahnhofsvorstadt, dargestellt mittels Luftbildes (links) und Starkregengefahrenkarte (rechts). 78

Abbildung 35: Zeitverlauf von Abflussgeschwindigkeit und Abflusshöhe an den Kontrollpunkten 1 und 3 bei einem 100-jährlichen, einstündigen Starkregenereignis. 79

Abbildung 36: Zeitverlauf von Abfluss und Gesamtabfluss an den Kontrollpunkten 1 und 3 bei einem 100-jährlichen, einstündigen Starkregenereignis. 79

Abbildung 37: Alter Standort der DWD-Station Plauen nördlich der Alten Reichenbacher Straße. Quelle: amtliches Luftbild in Google Earth (2023). 80

Abbildung 38: Seit 1983 aktueller Standort der DWD-Station Plauen an der Meßbacher Straße. Quelle: amtliches Luftbild in Google Earth (2023). 81

Abbildung 39: Mittlere jährliche Lufttemperatur an der DWD-Station Plauen. Die zehn wärmsten und kältesten Jahre sind gesondert hervorgehoben. 83

Abbildung 40: Projizierte Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Plauen. 85

Abbildung 41: Vergleich der mittleren Lufttemperatur je Monat an der DWD-Station Plauen für die beiden Klimaperioden 1961-1990 (blau) und 1991-2020 (grün). 86

Abbildung 42: Jährliche Anzahl von Hitzetagen an der DWD-Station Plauen. 87

Abbildung 43: Projizierte Entwicklung der Hitzetage in Plauen. 87

Abbildung 44: Jährliche Niederschlagssumme an der DWD Station Plauen. 88

Abbildung 45: Projizierte Entwicklung der Jahresniederschläge in Plauen. 89

Abbildung 46: Vergleich der mittleren Niederschlagssumme je Monat an der DWD-Station Plauen für die beiden Klimaperioden 1961-1990 (blau) und 1991-2020 (grün). 90

Abbildung 47: Jährliche Anzahl der Starkregentage an der DWD-Station Plauen. 91
Abbildung 48: Projizierte Entwicklung der Starkregentage. 92
Abbildung 49: Entwicklung der Sturmtage an der DWD-Station Plauen. 93
Abbildung 50: Prognostizierte Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz im Winterhalbjahr in Plauen. 94
Abbildung 51: Prognostizierte Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr in Plauen. 95
Abbildung 52: Konzept zur Bestimmung der Klimawirkung und der Vulnerabilität aus dem Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen des Umweltbundesamtes (Quelle: UBA 2017b). 107
Abbildung 53:Beispiele für Infrastrukturen mit potenzieller Überflutungsgefährdung bei Starkregenereignissen: Einrichtung des DRK in Chrieschwitz (links) und Polizeistation in der Neundorfer Vorstadt (rechts). 109
Abbildung 54: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen. .. 110
Abbildung 55: Sensitivitäten für die Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen. 111
Abbildung 56: Bewertung der Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen. 112
Abbildung 57: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen. 116
Abbildung 58: Sensitivitäten für die Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen. 117
Abbildung 59: Bewertung der Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen. 118
Abbildung 60: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung. 122
Abbildung 61: Sensitivitäten für die Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung. 123
Abbildung 62: Bewertung der Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung. 124
Abbildung 63: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung. 130
Abbildung 64: Sensitivitäten für die Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung. 131
Abbildung 65: Bewertung der Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung. 132
Abbildung 66: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen. 135
Abbildung 67: Sensitivitäten für die Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen. 136
Abbildung 68: Bewertung der Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen. 137
Abbildung 69: Projizierte Veränderung der dynamischen forstlichen Klimastufen. 138
Abbildung 70: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün. 140
Abbildung 71: Sensitivitäten für die Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün. 141
Abbildung 72: Bewertung der Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün. 142
Abbildung 73: Betroffenheitskarte Klimawandel für die Stadt Plauen. 146
Abbildung 74: Übersicht über die Prinzipien des Controllingkonzeptes. 194

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prognosen zur Veränderung der globalen Lufttemperatur für fünf SSP-Szenarien im Vergleich zum Zeitraum von 1850 bis 1900. Quelle: IPCC (2021b, S.14). 20

Tabelle 2: Übersicht zur Umwandlung der Klimatopklassen zu den passenden KLAM_21 Nutzungsklassen. 44

Tabelle 3: Lage und Abflussparameter der Kontrollpunkte für das modellierte Starkregenereignis. 74

Tabelle 4: Stärke der Veränderung zwischen Referenzperiode (1971-2000) und ferner Zukunft (2071-2100)..... 96

Tabelle 5: Für die Detailanalysen ausgewählte Klimawirkungen. 105

Tabelle 6: Übersicht der wichtigsten Handlungsfelder und Klimawirkungen für die Stadt Plauen sowie deren Beeinflussung durch beobachtete und projizierte Klimaveränderungen. 106

Tabelle 7: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen. ... 113

Tabelle 8: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen. 119

Tabelle 9: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung. 125

Tabelle 10: Bevölkerungsverteilung und Altersgruppenzusammensetzung in den Ortsteilen der Stadt Plauen (Wohnberechtigte Bevölkerung, Stand: 30.06.2023; Quelle: Stadt Plauen 2023). 127

Tabelle 11: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung. 128

Tabelle 12: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen. 134

Tabelle 13: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün. 143

Tabelle 14: Stärke der Klimawirkung bzw. des Anpassungsbedarfs für die priorisierten Klimafolgen in den Ortsteilen bzw. Einzugsgebieten der Stadt Plauen. 144

Tabelle 15: Anpassungskapazitäten bei den priorisierten Klimafolgen auf Basis der Experteninterviews. 148

Tabelle 16: Künftige Vulnerabilitäten in der nahen Zukunft für die priorisierten Klimafolgen für eine klimatische Entwicklung entsprechend des derzeit wahrscheinlichen RCP8.5-Szenarios. 150

Tabelle 17: Anpassungsziele und Erfolgsindikatoren für die priorisierten Klimafolgen. 154

Tabelle 18: Aufbau der Maßnahmensteckbriefe mit Beschreibung der enthaltenen Kategorien. 156

Tabelle 19: Übersicht über die Maßnahmensteckbriefe sowie ihre priorisierten Klimawirkungen. 158

Tabelle 20: Übersicht über Maßnahmen, die mit hoher zeitlicher Priorisierung umgesetzt werden sollen. 182

Tabelle 21: Übersicht über die Akteure, mit denen Interviews zur Ermittlung von Anpassungskapazitäten und -bedarfen durchgeführt wurden..... 185

Tabelle 22: Kommunikationsmatrix. 193

Tabelle 23: Geschätzter Zeitaufwand des Klimaanpassungsmanagements im Bereich Controlling. . 197

Tabelle 24: Indikatoren zum Monitoring der Klimawandelfolgen für Sachsen (SMEKUL 2024) und deutschlandweit (DAS, UBA 2023), sowie Zuständigkeiten für die Evaluation in der Stadt Plauen ... 198

Verwendete Abkürzungen

ABAG	allgemeine Bodenabtragsgleichung
APA	Aktionsplan Anpassung
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
B-Plan	Bebauungsplan
BauGB	Baugesetzbuch
BLP	Bauleitplanung
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie
DGM	Digitales Geländemodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
DTV	Digitale tägliche Verkehrsstärke
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECA	European Climate Adaptation Award
EEA	European Energy Award
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
ESA	European Space Agency
FB	Fachbereich
FBL	Fachbereichsleiter/ Fachbereichsleiterin
FG	Fachgebiet
FGL	Fachgebietsleiter/ Fachgebietsleiterin
FNP	Flächennutzungsplan
FRL	Förderrichtlinie
GAV	Gebäude- und Anlagenverwaltung
GIS	Geoinformationssystem
InSEK	Integriertes Stadtentwicklungskonzept
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KAM	Klimaanpassungsmanagement
KAnG	Klimaanpassungsgesetz
KGV	Kleingartenverein
KLAM	Klimaartenmatrix
KWB	Klimatische Wasserbilanz
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
MDK	Mitteldeutsches Klimaensemble
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RCP	Repräsentative Konzentrationspfade
ReKIS	Regionales Klimainformationssystem
SAB	Sächsische Aufbaubank
SB	Sachbearbeiter/ Sachbearbeiterin
SPEI	Standardisierten Niederschlags-Verdunstungsindex
TIR	thermales Infrarot

ZUSAMMENFASSUNG

Durch das hier vorliegende Klimaanpassungskonzept für die Stadt Plauen wird die Basis zur lokalen Anpassung an die Folgen des Klimawandels gesetzt. So wird die Bevölkerung geschützt und die Sicherheit kommender Generationen gewährleistet. Durch das am 01.07.2024 in Kraft getretene Klimaanpassungsgesetz (KAnG) wird von Bund, Ländern und Kommunen verlangt, ein Klimaanpassungskonzept vorweisen zu können, und das Thema systematisch vor Ort anzugehen. Das Klimaanpassungsgesetz bietet zudem eine Chance auf nachhaltige Finanzierung durch Förderungen von Klimaanpassung in Kommunen. Demgegenüber stehen die Folgekosten des zu späten Handelns, welche die Kosten der Anpassungsmaßnahmen bei Weitem überschreiten werden.

Das methodische Vorgehen bei der Erstellung des Klimafolgenanpassungskonzepts für die Stadt Plauen unterteilt sich in die folgenden Arbeitsschritte: Beschreibung der Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 1), Erarbeitung von stadtklimatischen Grundlagen (vgl. Kapitel 2), Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels (vgl. Kapitel 3), Entwicklung einer Gesamtstrategie und eines korrespondierenden Maßnahmenkataloges (vgl. Kapitel 4 und 5), Beteiligung relevanter Akteure aus Stadt und Kreis (vgl. Kapitel 6), Erstellung einer Verstetigungs- und Kommunikationsstrategie (vgl. Kapitel 7 und 8) und die Erarbeitung eines Controlling-Konzeptes (vgl. Kapitel 9).

Im Rahmen der Bestandsanalyse wurde eine Stadtklimaanalyse durchgeführt, deren Ergebnis eine Klimafunktionskarte sowie eine Planungshinweiskarte sind. Aus der Klimafunktionskarte geht, u.a. anhand von Klimatopen beschrieben, hervor, welche mikroklimatischen Bedingungen in den Quartieren in Plauen vorherrschen. Integriert sind neben den Klimatopen der Wärmebelastungsindex, die Luftschadstoffbelastung sowie die Kaltluftdynamik. Zuvor wurden Kaltluftvolumenstromdichte, Kaltlufthöhe und Kaltluftgeschwindigkeit für eine achtstündige, sommerliche Strahlungsnacht (wenig Wind durch übergeordnete Wetterlagen, wenig Wolken) simuliert. Die Planungshinweiskarte schließlich dient der Stadtverwaltung als Orientierung zur klimatischen Relevanz der jeweiligen Flächen für zukünftige Projekte, bildet jedoch keinen rechtlichen Handlungsrahmen. Sie weist aus klimatischer Sicht auf besonders belastete und schützenswerte Flächen hin.

Des Weiteren wurden mittels der Bestandsaufnahme die aktuellen klimatischen Gegebenheiten und die bisherige Entwicklung des Klimas betrachtet. Die Auswirkungen des Klimawandels in Plauen wurden anhand Klimastationsdaten der Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes im Plauener Ortsteil Chrieschwitz sowie Klimaprojektionsdaten für die Temperatur, den Niederschlag, den Wind und der klimatischen Wasserbilanz ausgearbeitet. Betrachtet wurde zudem, welche Auswirkungen damit in den kommunalen Handlungsfeldern einhergehen.

Seit Beginn der Aufzeichnung im Jahr 1880 ist eine Zunahme der Temperaturen im linearen Trend erkennbar. Im Vergleich zwischen der Referenz-Klimaperiode 1961-1990 und der aktuellen Klimaperiode 1991-2020 hat sich die Temperatur bereits um ~1,3 Kelvin erhöht. Dieser Trend wird sich auch in Zukunft fortsetzen. Demgegenüber ist die Veränderung des Niederschlags nicht so eindeutig interpretierbar. Bezogen auf den gesamten Messzeitraum (1880-2022) ist eine Abnahme der jährlichen Niederschlagssummen im linearen Trend zu verzeichnen. Vergleicht man jedoch die beiden Klimaperioden 1961-1990 und 1991-2020, so zeigt sich eine geringe Zunahme der jährlichen Niederschlagsmenge. Monatlich spiegelt sich diese Zunahme in den Monaten Januar bis März sowie Juli bis Dezember wider.

Somit sind die vegetationsrelevanten Monate April bis Juni von einer verminderten Niederschlagsmenge gekennzeichnet, was weitreichende Konsequenzen für die Vegetation nach sich zieht.

Um die direkte Betroffenheit durch Klimawandelfolgen in Plauen sichtbar zu machen, wurden sechs Klimafolgen („Betroffenheiten“) im Stadtgebiet untersucht. Diese Betroffenheiten sind mit den Akteuren der Stadtverwaltung und externen Beteiligten abgestimmt worden. Explizit handelt es sich dabei um Überschwemmung durch Starkregen, erosive Sturzfluten auf Ackerflächen, Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung, Wärmebelastung für die Bevölkerung, Trockenstress auf Waldflächen und Trockenstress für Stadtgrün. Als Zusatzleistung wurde eine Starkregengefahrenanalyse beauftragt, die die entsprechende Betroffenheit noch einmal tiefergehend analysiert. Für die sechs Betroffenheiten wurde die Sensitivität sowie die Klimawirkung in den einzelnen Ortsteilen, bzw. Flusseinzugsgebieten analysiert. Mittels Experteninterviews wurden anschließend die Anpassungskapazitäten der Stadt Plauen gegenüber jeder Betroffenheit betrachtet. Dabei zeigt sich, dass die Stadt Plauen eine hohe Vulnerabilität gegenüber der Wärmebelastung für die Bevölkerung sowie Trockenstress für das Stadtgrün hat. Die Vulnerabilität gegenüber dem Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung und dem Trockenstress auf Waldflächen wird auf mittel bis hoch eingestuft. Sturzfluten auf Ackerflächen sind als mittel zu bewerten. Und die Überschwemmungen durch Starkregen können aufgrund der hohen Anpassungsfähigkeit der Stadt als gering bis mittel eingestuft werden.

Anschließend wurden mit den Akteuren die Gesamtstrategie, bestehend aus einem Leitbild und vier Leitlinien, sowie Anpassungszielen und Erfolgsindikatoren, verfasst. Die vorangegangenen Arbeitsschritte münden im Maßnahmenkatalog, welcher insgesamt 16 Maßnahmen enthält. Jede Maßnahme ist mit einem eigenen Steckbrief ausgearbeitet worden. Um sich den Überschwemmungen infolge von Starkregen anzupassen, wurden die Maßnahmen „Anpassung der Handlungsvorgaben bei Extremwetterlagen“ und „Anwendung des Prinzip Schwammstadt auf die Stadt Plauen“ entworfen. Ersteres soll die Einsatzkräfte für kommende Extremwetterlagen besser vorbereiten und letzteres bezieht sich auf Entsiegelung, Schaffung multifunktionaler Flächen und bauliche Maßnahmen an Gewässern. Um den erosiven Sturzfluten auf Ackerflächen gerecht zu werden, wird zukünftig der Erosionsschutz in der Landwirtschaft verstärkt. Im Umgang mit dem Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung wird primär auf die Renaturierung von Fließgewässern gesetzt. Zur Bewältigung der Wärmebelastung für die Bevölkerung wird der Umgang mit der Hitze in der Stadt angepasst sowie eine klimaangepasste Stadtentwicklung vorangetrieben. Dies bezieht sich auf den Erhalt und die Schaffung von Kalt- und Frischluftschneisen, klimaangepasstes Sanieren und Bauen, Gleisbettbegrünung und das Vorantreiben von Dach- und Fassadenbegrünung. Um künftig den Trockenstress in den Wäldern und im Stadtgrün einzudämmen, wird klimaangepasster Waldumbau und ein klimaangepasstes Stadtgrün sowie eine nachhaltige Wasserspeicherung und -nutzung vorangetrieben. Zu den themenübergreifenden Maßnahmen zählen die Sensibilisierung der Bevölkerung sowie der Stadtverwaltung und des Stadtrates gegenüber den Folgen des Klimawandels.

Zur langfristigen Nutzung des Klimaanpassungskonzeptes wurde eine Verstetigungsstrategie entwickelt. Entsprechend sollte das Klimaanpassungsmanagement in der Stadtverwaltung beibehalten und für die weitere Zusammenarbeit mit den Akteuren eine Arbeitsgruppe gebildet werden. Zur weiteren Einbindung der Bevölkerung ist in der Kommunikationsstrategie festgeschrieben, wie die jeweiligen Zielgruppen informiert werden können. Ziel ist die Vermittlung und Bereitstellung von Informationen, die Schaffung von Problembewusstsein und Akzeptanz, die Aktivierung und Stärkung zur Eigenvorsorge

sowie die Förderung und Stärkung des Austauschs. Innerhalb des Controllingkonzeptes ist festgeschrieben, wie das künftige Monitoring und die Evaluation der Klimaanpassung stattfinden werden.

1. RAHMENBEDINGUNGEN UND BESTANDSAUFNAHME

1.1. Anthropogener Klimawandel

1.1.1. Aktueller Wissensstand

Der menschgemachte (anthropogene) Klimawandel und damit die unabwendbaren Folgen der Erderwärmung sind in der heutigen Zeit längst kein Thema mehr nur für wissenschaftliche Kreise und Fachgremien, das auf einer abstrakten Ebene diskutiert wird. Der Klimawandel ist angekommen, in der Bundesrepublik, den Bundesländern, Regionen und Landkreisen, Städten und Gemeinden, im ganz persönlichen Erfahrungsschatz der meisten Menschen. Seien es die gehäuften „Jahrhundertsommer", die Jahre anhaltende „Dauertrockenheit", die vielen „Winter ohne Schnee" oder die immer häufigeren „sintflutartigen Wolkenbrüche", all dies sind spürbare Auswirkungen der menschgemachten Erderwärmung in den letzten Jahrzehnten.

Auf die Herausforderungen des menschengemachten Klimawandels reagiert auch die Stadt Plauen, indem sie ein Klimaanpassungskonzept mit einem integrierten Stadtklimagutachten erarbeiten lässt. Das Konzept stellt auf der Basis einer wissenschaftsbasierten und partizipativ mit regionalen Akteuren erarbeiteten Strategie, eine politisch akzeptierte und handlungsorientierte Studie dar, die nach Verabschiedung im Stadtrat zur Grundlage der Aktivitäten der Stadt Plauen im Bereich der Klimaanpassung wird.

Die Wissenschaft ist sich heute einig über Ursache und Wirkung der meisten mit der Erderwärmung verbundenen Prozesse. Es geht nicht mehr um Theorien, sondern um Fakten. Seit mittlerweile über 30 Jahren widmet sich der Weltklimarat der Vereinten Nationen (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) den Fragen im Zusammenhang mit dem natürlichen und dem vom Menschen verursachten Klimawandel. Dieses Gremium, bestehend aus tausenden Wissenschaftlern aus aller Welt, sammelt die neuesten Erkenntnisse und veröffentlicht diese im Konsensverfahren etwa alle sechs Jahre in einem Sachstandsbericht. In den Jahren 2013 und 2014 wurde der 5. Sachstandsbericht (IPCC 2014) veröffentlicht, welcher inzwischen durch drei Sonderberichte ergänzt wurde. Der aktuelle 6. Sachstandsbericht besteht aus drei Teilen, von denen der erste (IPCC 2021b) im August des Jahres 2021 veröffentlicht wurde. Er befasst sich mit den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels.

Demnach war die letzte Dekade global betrachtet um 1,09 °C wärmer als der Zeitraum von 1850 bis 1900. Jede der letzten vier Dekaden war jeweils wärmer als die vorherige. Dabei ist die Erwärmung der Landflächen (+1,59 °C) bis heute wesentlich stärker als die der Ozeane und Meere (+0,88 °C). Außerdem haben Hitzewellen deutlich zugenommen und Kältewellen abgenommen. Starkregenereignisse, Dürren und (Wirbel-)Stürme treten insgesamt häufiger und intensiver auf. Der Meeresspiegel ist seit 1950 im Durchschnitt um etwa 20 cm gestiegen und auch in Zukunft ist mit einem weiteren, teils deutlichen, Anstieg zu rechnen (Kapitel 1.1.2, Abbildung 7).

Der zweite Teil des aktuellen IPCC-Sachstandberichts zum Thema „Auswirkungen, Anpassung und Vulnerabilität" erschien im März 2022. Gemäß diesem Bericht leiden bereits heute sowohl die Natur als auch die Menschen weltweit unter den Folgen des Klimawandels (IPCC 2022a). Mit zunehmenden Temperaturen wird es für beide in einigen Bereichen immer schwieriger bis unmöglich werden, sich an

die neuen Verhältnisse anzupassen. Aufgrund der hohen Anzahl an Menschen in Städten ist es dort besonders wichtig, durch geeignete Maßnahmen die Aufenthaltsbedingungen und die Lebensqualität so gut es geht zu erhalten bzw. im Idealfall zu verbessern, um insbesondere vulnerable Personengruppen vor den Folgen des Klimawandels zu schützen (IPCC 2022a). Damit sich auch die Umwelt soweit wie möglich an den Klimawandel anpassen kann, ist deren Erhalt und Schutz ebenfalls unabdingbar (IPCC 2022a).

Das Erscheinen des dritten Teils (Thema: „Abmilderung des Klimawandels“) erfolgte ebenfalls im Jahr 2022 (IPCC 2022b). Dieser Bericht stellt zunächst fest, dass die globalen Treibhausgasemissionen im Zeitraum von 2010 bis 2019 weiter gestiegen sind, der Anstieg jedoch etwas langsamer ausfiel als noch im Zeitraum von 2000 bis 2009. Dabei Tragen die 10 % der Haushalte mit dem höchsten Einkommen zu mehr als einem Drittel der Emissionen bei. Die bisherigen globalen Bestrebungen sind nicht ausreichend, um die Erderwärmung auf weniger als 2,0 °C zu begrenzen. Die Autoren empfehlen daher mit größter Dringlichkeit die nationalen Bemühungen im Bereich des Klimaschutzes deutlich auszuweiten (IPCC 2022b).

Der Synthesebericht wurde am 20. März 2023 veröffentlicht und fasst die Erkenntnisse aller drei vorangegangener Teile in kompakter Form zusammen (DE-IPCC 2023).

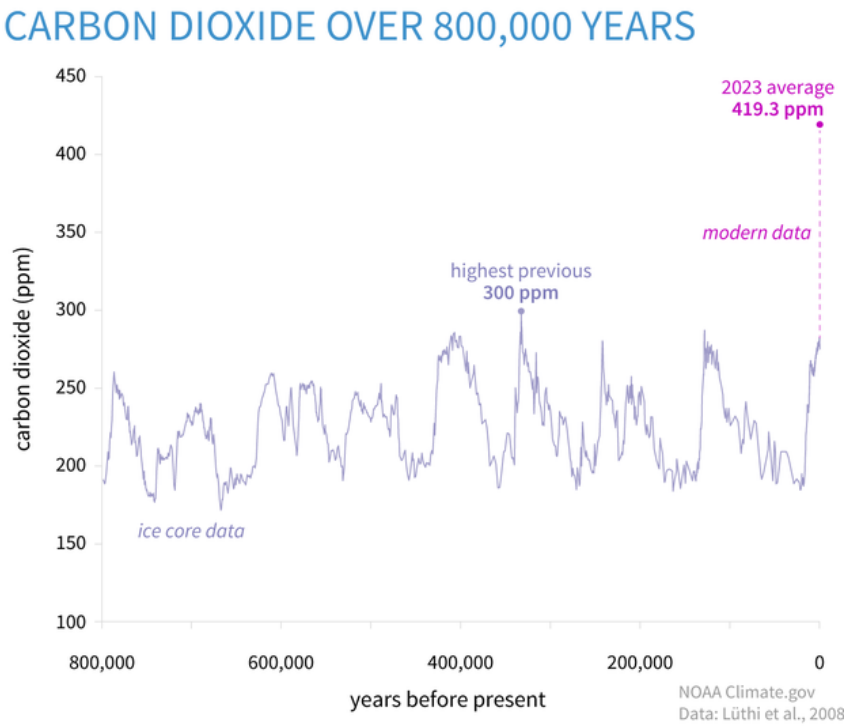


Abbildung 1: Entwicklung der globalen CO_2-Konzentration in Teilchen pro Millionen (ppm) in den letzten 800.000 Jahren. Quelle: NOAA (2024).

Die Konsequenzen, die sich bereits heute und insbesondere zukünftig durch die Erderwärmung ergeben werden, sind nicht zu übersehen. Neben den bisher nur schwer einschätzbaren Rückkopplungseffekten des Klimasystems hat eine Vielzahl weiterer Faktoren Einfluss darauf, wie groß das Ausmaß der Klimaveränderungen in Zukunft sein wird. Fest steht, dass die Intensität des sich vollziehenden Klimawandels stark davon abhängt, inwieweit es gelingt, die durch anthropogene Prozesse hervorgerufenen Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Dennoch ist es heute wissenschaftlicher Konsens, dass selbst bei

großen Bemühungen im Klimaschutz die Folgen der globalen Erwärmung auch für die nächsten Generationen spürbar sein werden (IPCC 2007, IPCC 2021a).

Schwankungen der Klimabedingungen traten in der Erdgeschichte regelmäßig auf, wenn sich die Umgebungsbedingungen änderten, z. B. die solare Einstrahlung, großräumige Systeme der Luft- und Wasserzirkulation oder die Zusammensetzung der Atmosphäre nach großen Vulkanausbrüchen oder Asteroideneinschlägen (Abbildung 1).

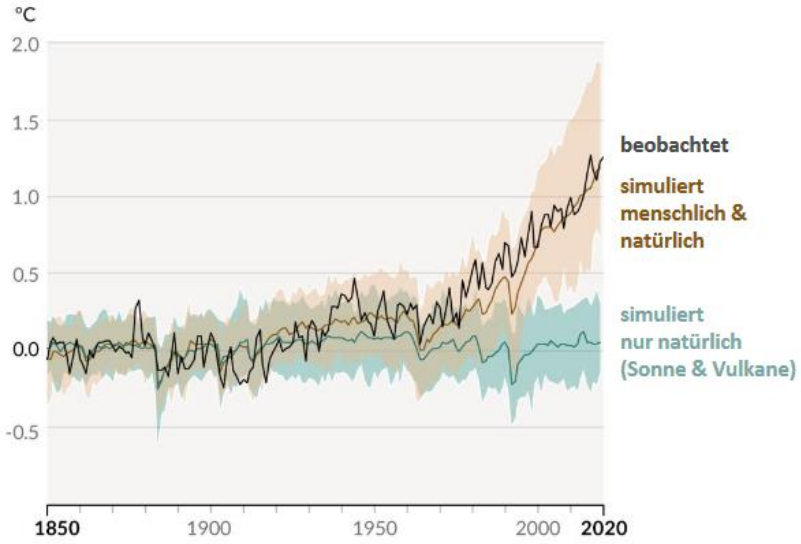


Abbildung 2: Änderung der globalen Oberflächentemperaturen aus Beobachtungsdaten und simuliert unter Berücksichtigung von menschlichen & natürlichen sowie nur natürlichen Faktoren in den Jahren 1850. Quelle: IPCC (2021b).

Spätestens mit dem Eintritt in das industrielle Zeitalter hat jedoch die Menschheit eine Klimadynamik in Gang gesetzt, die selbst mit langzeitlichen, natürlichen Klimaschwankungen nicht mehr zu erklären ist (Abbildung 2, IPCC 2021b).

Durch Nutzung fossiler Energieträger und dem damit verbundenen Ausstoß von Treibhausgasen werden die natürlichen Umgebungsbedingungen des globalen Klimasystems geändert (siehe Abbildung 3 zum Treibhauseffekt). Diese Änderungen beeinflussen das globale Klimageschehen in erheblichem Ausmaß. Es wird wärmer, die Niederschlagsverteilung ändert sich und Extremwetterereignisse treten regional häufiger auf. Bedeutend im Vergleich zu vorangegangenen, natürlichen Klimaänderungen ist die enorme Schnelligkeit, mit welcher der anthropogene Klimawandel heute auftritt.

Im Rahmen politischer Diskussionen um den Klimawandel wird häufig das 1,5-Grad-Ziel thematisiert, also eine nötige Begrenzung des durchschnittlichen globalen Temperaturanstiegs auf 1,5 °C bzw. maximal 2 °C bis zum Jahr 2100 im Vergleich zum vorindustriellen Niveau (Referenzzeitraum 1850-1900). Schon eine Überschreitung des Wertes von 1,5 °C gilt nicht nur als kritisch für Ökosysteme, sondern könnte unkontrollierbare Rückkopplungen hervorrufen (IPCC 2022, S.20). Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass es sich bei dem 1,5-Grad-Ziel nicht um eine Grenze handelt, ab der wir mit Konsequenzen zu rechnen haben. Der Klimawandel verläuft graduell und hat bereits unter den bekannten 1,5 Grad vielfältige Auswirkungen auf die Umwelt.

Neben der zunehmenden Verdunstung, die den Wassergehalt der Atmosphäre erhöht und damit den Treibhauseffekt weiter verstärkt, wären auftauende Permafrost-Gebiete, schmelzende Eisflächen und

Gletscher sowie die Abnahme von CO_2-Senken wie Wäldern (Absterben, Rodung) und Mooren (Austrocknung) Beispiele für Folgen des Klimawandels, welche die Erderwärmung zusätzlich beschleunigen. Mögliche Risiken bei höheren Temperaturen bestehen in der zunehmenden Überschwemmung küstennaher Gebiete durch den ansteigenden Meeresspiegel, das Aussterben von immobilen angestammten Arten in ihren ursprünglich heimischen Gebieten oder eine fortschreitende Wüstenbildung (WBBGU 2006, IPCC 2022a). Besonders der Wasserkreislauf wird sich signifikant verändern, sodass in vielen bisher bereits trockenen Gebieten die wasserarmen Perioden intensiver werden, während in anderen Regionen aufgrund der höheren Verdunstung deutlich mehr und stärkere Niederschläge fallen (IPCC 2021b).

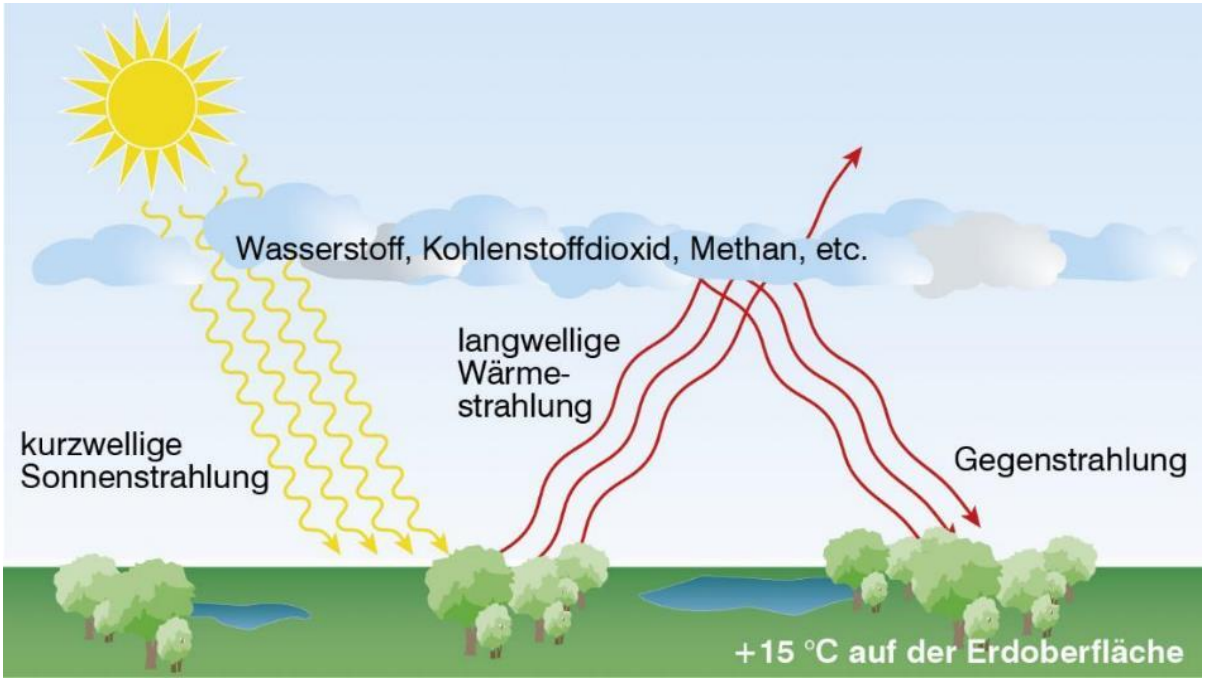


Abbildung 3: Schematische Darstellung des natürlichen Treibhauseffektes, welcher zu einer Durchschnittstemperatur auf der Erde von 15 °C führt. Durch zusätzliche Freisetzung von Treibhausgasen sorgt der Mensch dafür, dass immer mehr langwellige Wärmestrahlung zurück zur Erdoberfläche reflektiert wird. Quelle: Helbig (2019).

Die regionalen Unterschiede in den Auswirkungen der Erderwärmung sind enorm. Vor allem die hohen polaren Breiten sind gegenwärtig und wahrscheinlich auch zukünftig von einer massiven Erwärmung betroffen. Für Mitteleuropa wird von den Klimamodellen im globalen Vergleich zwar eine etwas geringere Erwärmung projiziert, welche allerdings verglichen mit den heutigen Verhältnissen, je nach zu Grunde gelegtem Szenario, immer noch besorgniserregend ist (siehe Kapitel 1.2.2). Das Klima muss insgesamt als komplexes System verstanden werden, welches als Bestandteil des globalen Ökosystems alle anderen Umweltfaktoren bzw. Systemelemente beeinflusst. Es ist daher von entscheidender Bedeutung für die Funktionsfähigkeit des globalen Naturhaushaltes als Ganzes. Die Beeinflussung wesentlicher physikalischer Parameter wie z. B. der Temperatur und elementarer Landschaftsfaktoren wie des Wasserhaushaltes führt dabei zu signifikanten Veränderungen der Lebensprozesse auf der Erde. Die schnelle Veränderung des Klimas hat somit weitreichende und aufgrund der Vielzahl an Rückkopplungen teils schwer kalkulierbare Konsequenzen für Mensch und Umwelt.

1.1.2. Verwendung von Klimamodellen

Im Gegensatz zu gemessenen Klimadaten beruhen Aussagen für das zukünftige Klima auf globalen Klimamodellen. Dabei nutzen die Klimamodelle bekannte physikalische Gesetze und beruhen auf in der Vergangenheit gewonnenen Kenntnissen der Klimabeobachtung.

Diese Klimamodelle sind in der Lage, das gegenwärtige und zurückliegende Klima in seinem mittleren Zustand zu reproduzieren und gelten damit auch für Aussagen des zukünftigen Klimas als belastbar. Dies gilt allerdings nur für den mittleren Zustand längerer Zeiträume (mindestens 20 Jahre) und nicht für einzelne Zeitpunkte in der Zukunft. Häufig werden daher 30-jährige Klimaperioden verwendet. Unsicherheiten herrschen dagegen bzgl. der zukünftigen sozioökonomischen Entwicklung. Durch sogenannte Szenarien wird aufgezeigt, wie sich die sozioökonomischen Randbedingungen verändern könnten und in welchem Ausmaß wir von der Erderwärmung betroffen sein werden. Unterschiedliche Pfade der zukünftigen Treibhausgasemissionen führen zu Differenzen der zukünftigen Temperatur- und Niederschlagsentwicklung.

Im 5. Sachstandsbericht des IPCC (2014) wurden die sogenannten RCP-Szenarien (Repräsentative Konzentrationspfade, engl. Representative Concentration Pathways) vorgestellt, welche seitdem die Grundlage für zahlreiche Klimamodelle bilden. Dazu gehören auch die Klimaprojektionsdaten, welche durch das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) bereitgestellt und im Kapitel 3.1.2 genauer vorgestellt werden. Die RCP-Szenarien basieren auf unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich der zukünftigen globalen Entwicklung im Hinblick auf Treibhausgasemissionen, Klimaschutzmaßnahmen etc. und werden im Folgenden kurz beschrieben. Die Zahlenwerte im jeweiligen Namen entsprechen dem im Jahr 2100 erwarteten Strahlungsantrieb (Maß für die Energiebilanz der Erde) in W / m^2.

RCP 2.6: **ein Minderungsszenario**; es geht von deutlichen Anstrengungen im Klimaschutz und damit sehr niedrigen Emissionen aus. Eine mittlere globale Erwärmung um mehr als 2 °C im Jahr 2100 im Vergleich zum vorindustriellen Niveau wird nicht überschritten. Das Szenario entspricht dem Ziel der Vereinbarungen von Paris aus dem Jahr 2015. Nach jetzigem Kenntnisstand ist das Erreichen dieses Szenarios äußerst unwahrscheinlich.

RCP 4.5: ein „moderates" Stabilisierungsszenario, nach dem die mittlere Erderwärmung bis zum Jahr 2100 um etwa 2,6 °C verglichen mit dem vorindustriellen Niveau steigt.

RCP 6.5: ein negatives Szenario, bei dem es nur geringe Anstrengungen im Bereich des Klima-schutzes gibt. Die Emissionen werden ebenfalls nur in geringem Maße reduziert. Eine mittlere Erderwärmung von 3,0 °C bis 3,5 °C wäre zu erwarten.

RCP 8.5: **ein „worst-case"-Szenario** mit sehr hohen Treibhausgas-Emissionen und sehr geringen Klimaschutzbemühungen. Eine mittlere globale Erwärmung um 4 °C bis 5 °C wäre hier wahrscheinlich. Die CO_2-Konzentration würde sich auf etwa 1200 ppm verdreifachen. Dieses Szenario ist wesentlich extremer als die drei vorherigen (siehe Abbildung 4).

Für den 6. Sachstandbericht des IPCC wurden diese vier RCP-Szenarien aktualisiert und um eine vom Klimawandel unabhängige sozioökonomische Komponente erweitert. Von diesen sozioökonomischen Narrativen gibt es insgesamt fünf (siehe Box unten). Damit geht auch eine Namensänderung auf SSP-

Szenarien einher (Sozioökonomische Entwicklungspfade, engl. Shared Socioeconomic Pathways). Außerdem gibt es statt vier nun acht dieser kombinierten Szenarien, welche in vier Standardszenarien („Tier 1“, Abbildung 5, Box unten) und vier Ergänzungsszenarien unterteilt werden („Tier 2“) (O`Neil et al. 2016, DKRZ 2022).

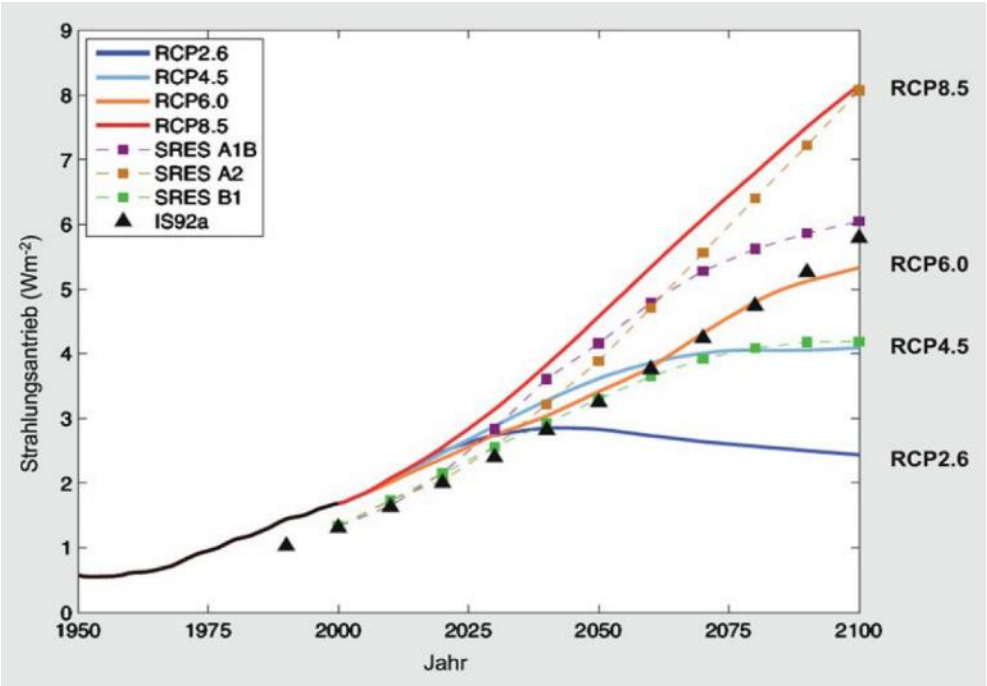


Abbildung 4: Anthropogen bedingte Veränderung des Strahlungsantriebs in W/m² an der Tropopause (gemessen in Kohlenstoffäquivalenten) im Vergleich zum vorindustriellen Wert um 1765. Quelle: Brasseur et al. (2017, S.11).

SSP 1: **Der nachhaltige und grüne Weg** beschreibt eine zunehmend nachhaltige Welt. Globale Gemeinschaftsgüter werden bewahrt, die Grenzen der Natur werden respektiert. Statt Wirtschaftswachstum steht zunehmend das menschliche Wohlbefinden im Fokus. Einkommensungleichheiten zwischen den Staaten und innerhalb der Staaten werden reduziert. Der Konsum orientiert sich an geringem Material- und Energieverbrauch.

SSP 2: Der mittlere Weg schreibt die bisherige Entwicklung fort. Einkommensentwicklungen einzelner Länder gehen weit auseinander. Es gibt eine gewisse Zusammenarbeit zwischen den Staaten, die jedoch nur geringfügig weiterentwickelt wird. Das globale Bevölkerungswachstum ist moderat und schwächt sich in der zweiten Jahrhunderthälfte ab. Umweltsysteme erfahren eine gewisse Verschlechterung.

SSP 3: Regionale Rivalitäten. Eine Wiederbelebung des Nationalismus und regionale Konflikte rücken globale Themen in den Hintergrund. Die Politik orientiert sich zunehmend an nationalen und regionalen Sicherheitsfragen. Investitionen in Bildung und technologische Entwicklung nehmen ab. Ungleichheiten nehmen zu. In einigen Regionen kommt es zu starken Umweltzerstörungen.

SSP 4: Ungleichheit. Die Kluft zwischen entwickelten Gesellschaften, die auch global kooperieren, und solchen, die auf einer niedrigen Stufe der Entwicklung mit niedrigem Einkommen und geringem Bildungsstand verharren, nimmt weiter zu. In einigen Regionen ist Umweltpolitik bei lokalen Problemen erfolgreich, in anderen nicht.

SSP 5: Die fossile Entwicklung. Die globalen Märkte sind zunehmend integriert, mit der Folge von Innovationen und technologischem Fortschritt. Die soziale und ökonomische Entwicklung basiert jedoch auf der verstärkten Ausbeutung fossiler Brennstoffressourcen mit einem hohen Kohleanteil und einem weltweit energieintensiven Lebensstil. Die Weltwirtschaft wächst und lokale Umweltprobleme wie die Luftverschmutzung werden erfolgreich bekämpft (Quelle für alle: DKRZ 2022).

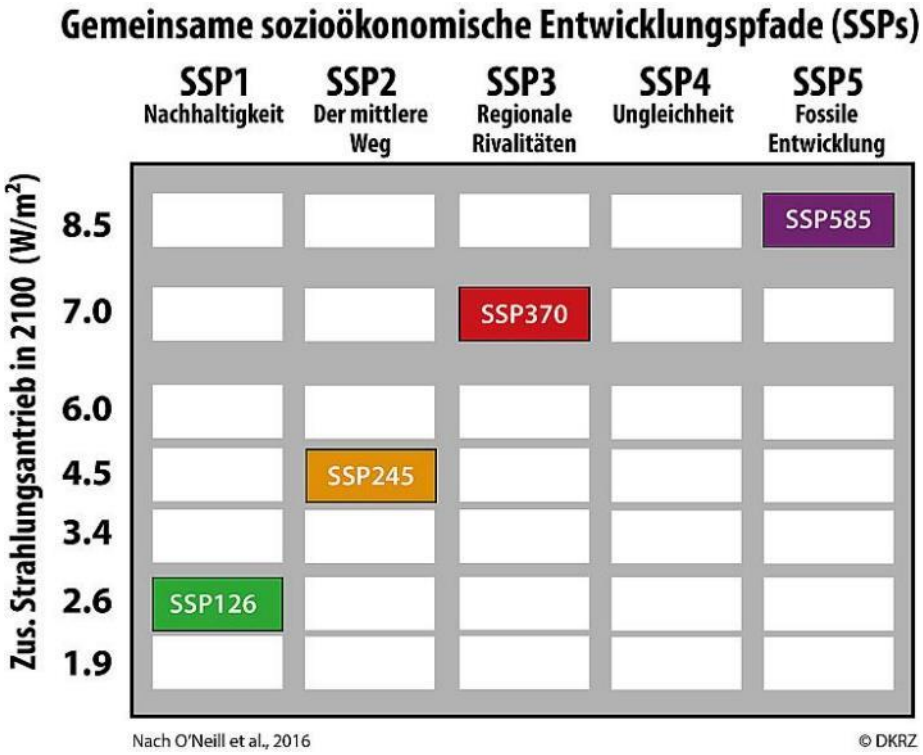


Abbildung 5: Übersicht der vier Standard SSP-Szenarien. Quelle: DKRZ (2022)

SSP 1-26: Dieses Szenario ist mit 2,6 W/m² im Jahr 2100 eine Neuauflage des optimistischen Szenarios RCP 2.6 und wurde entwickelt, um eine mit dem Zwei-Grad-Ziel kompatible Entwicklung simulieren zu können. Bei diesem Szenario wird die globale Umsetzung von strengen und konsequenten Klimaschutzmaßnahmen angenommen.

SSP 2-45: Als Aktualisierung des RCP 4.5-Szenarios repräsentiert SSP2-45 mit 4,5 W/m² im Jahr 2100 in etwa die Mitte der möglichen zukünftigen Treibhausgasentwicklungen. Bei diesem Szenario werden Maßnahmen zum Klimaschutz in geringerem Umfang angenommen.

SSP 3-70: Dieses Szenario liegt mit 7 W/m² in 2100 im mittleren bis oberen Bereich der Bandbreite aller Szenarien. Es wurde gegenüber den RCP-Szenarien neu hinzugefügt und füllt die Lücke zwischen RCP 6.0 und RCP 8.5.

SSP 5-85: Mit einem zusätzlichen Strahlungsantrieb von 8,5 W/m² im Jahr 2100 repräsentiert dieses Szenario den oberen Rand in der Bandbreite der in der Literatur beschriebenen Szenarien und kann als Aktualisierung des CMIP5-Szenarios RCP 8.5 verstanden werden, welches nun aber mit einer sozioökonomischen Begründung verbunden ist (Quelle für alle: DKRZ 2022).

Der Name eines jeden Szenarios ergibt sich nun aus der Kombination eines der fünf sozioökonomischen Narrative (erste Ziffer) und dem zu erwartenden Strahlungsantrieb im Jahr 2100 (letzten beiden Ziffern). Eine ausführliche Erläuterung zu den Hintergründen jedes einzelnen Szenarios kann O`Neil et al. (2016) entnommen werden. Nachfolgend werden, in Anlehnung an das vorangegangene Kapitel, anhand ausgewählter Grafiken und Tabellen die wichtigsten Erkenntnisse der Klimaprojektionen des CMIP6-Projektes (Coupled Model Intercomparison Project; Details bei Eyring et al. 2016 oder WCRP 2020) auf Basis der neuen SSP-Szenarien vorgestellt.

Tabelle 1 und Abbildung 6 zeigen die prognostizierte Entwicklung der mittleren globalen Lufttemperatur bis zum Jahr 2100. Während sich bei der nahen Zukunft kaum Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien zeigen und auch der Unsicherheitsbereich größtenteils identisch ist, fallen diese zum Ende des Jahrhunderts hingegen erheblich aus. Nur das äußerst ambitionierte SSP1-1.9-Szenario erfüllt das 1,5 °C Ziel. Es wurde extra entwickelt, um einen (theoretischen) Weg zu zeigen, wie dieses Ziel erreicht werden kann (O`Neil et al. 2016). Eine Umsetzung ist nach jetzigem Stand „praktisch unmöglich." Das ebenfalls sehr optimistische SSP1-2.6-Szenario, welches die Weiterentwicklung des RCP 2.6-Szenarios darstellt, würde die globale Erwärmung mit hoher Wahrscheinlichkeit auf maximal 2 °C begrenzen können. Die anderen drei Szenarien liegen mit 2,7 / 3,6 / 4,4 °C deutlich höher, was wie bereits im Kapitel 1.1.1 beschrieben, teils katastrophale Folgen nach sich ziehen würde. Im Folgenden soll zum besseren Verständnis der Szenarien anhand weiterer Diagramme gezeigt werden, von welchen Entwicklungen dabei hinsichtlich verschiedener Kennzahlen ausgegangen wird. Damit lassen sich auch die Unterschiede zwischen den Szenarien noch klarer herausstellen.

Tabelle 1: Prognosen zur Veränderung der globalen Lufttemperatur für fünf SSP-Szenarien im Vergleich zum Zeitraum von 1850 bis 1900. Quelle: IPCC (2021b, S.14).

	Nahe Zukunft (2021 – 2040)		**Mittlere Zukunft (2041 – 2060)**		**Ferne Zukunft (2081 – 2100)**	
Szenario	**Vorhersage (°C)**	**Unsicherheitsbereich (°C)**	**Vorhersage (°C)**	**Unsicherheitsbereich (°C)**	**Vorhersage (°C)**	**Unsicherheitsbereich (°C)**
SSP1-1.9	1,5	1,2 – 1,7	1,6	1,2 – 2,0	1,4	1,0 – 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 – 1,8	1,7	1,3 – 2,2	1,8	1,3 – 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 – 1,8	2,0	1,6 – 2,5	2,7	2,1 – 3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2 – 1,8	2,1	1,7 – 2,6	3,6	2,8 – 4,6
SSP5-8.5	1,5	1,3 – 1,9	2,4	1,9 – 3,0	4,4	3,3 – 5,7

Gemäß Abbildung 7 wird der Meeresspiegelanstieg bis zu einem Meter verglichen mit dem Jahr 1900 betragen (derzeit 20 cm). Mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit können im Falle von Instabilitäten der Eismassen in den Polarregionen sogar mehr als 1,5 m erreicht werden. Abbildung 8 zeigt die Veränderung des globalen Strahlungsantriebes, der CO_2-Konzentration sowie der CO_2-Emissionen. Zu beachten ist, dass gemäß SSP1-2.6-Szenario, ab etwa 2075 von negativen CO_2-Emissionen ausgegangen wird. Dies bedeutet, dass mehr CO_2 aus der Atmosphäre entfernt bzw. gebunden wird, als emittiert wird. Ergänzend zeigt Abbildung 9, wie viel CO_2 Land- und Meeresflächen je nach Szenario binden können und wie viel in der Atmosphäre verbleibt. Nach dem SSP1-2.6-Szenario können 70 % gebunden werden, während es nach dem SSP5-85-Szenario nur noch 38 % wären.

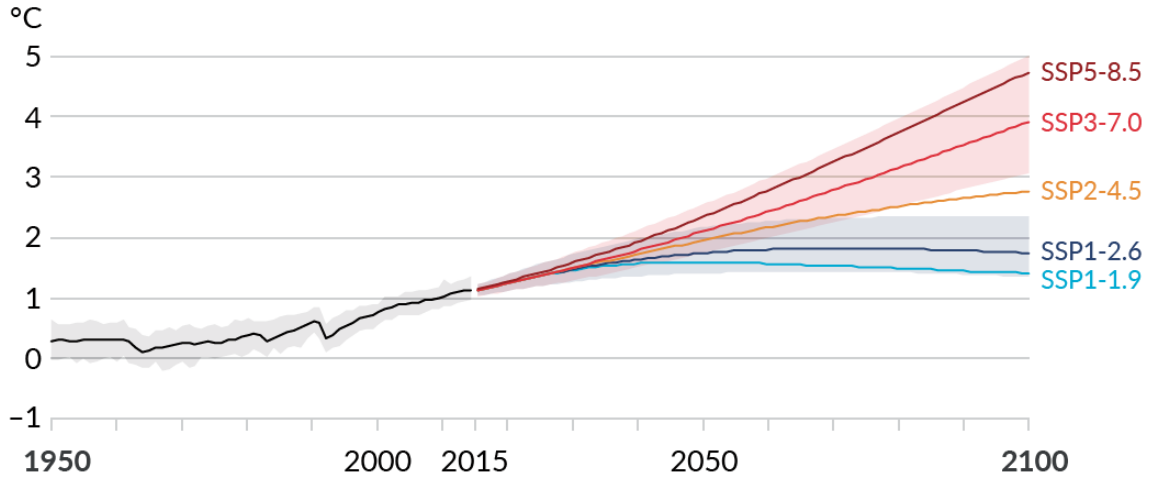


Abbildung 6: Projizierte Entwicklung der globalen Lufttemperatur in Bezug zum Zeitraum von 1850 bis 1900 am Beispiel von fünf SSP-Szenarien. Für SSP 1-2.6 und SSP 3-7.0 ist zusätzlich der Unsicherheitsbereich farblich hinterlegt. Quelle: IPCC (2021b, S.22).

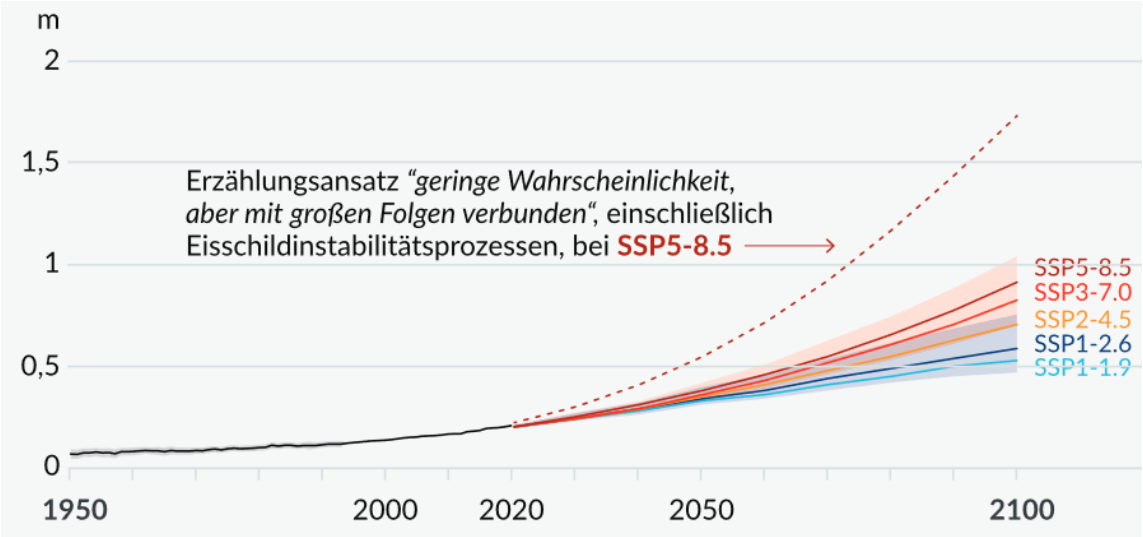


Abbildung 7: Veränderung des globalen Meeresspiegels in Bezug zum Jahr 1900. Die gestrichelte Linie zeigt eine nicht auszuschließende Entwicklung, bei der es zu Instabilitäten der Eisflächen in den polaren Breiten kommen würde. Quelle: IPCC (2021b, S.22).

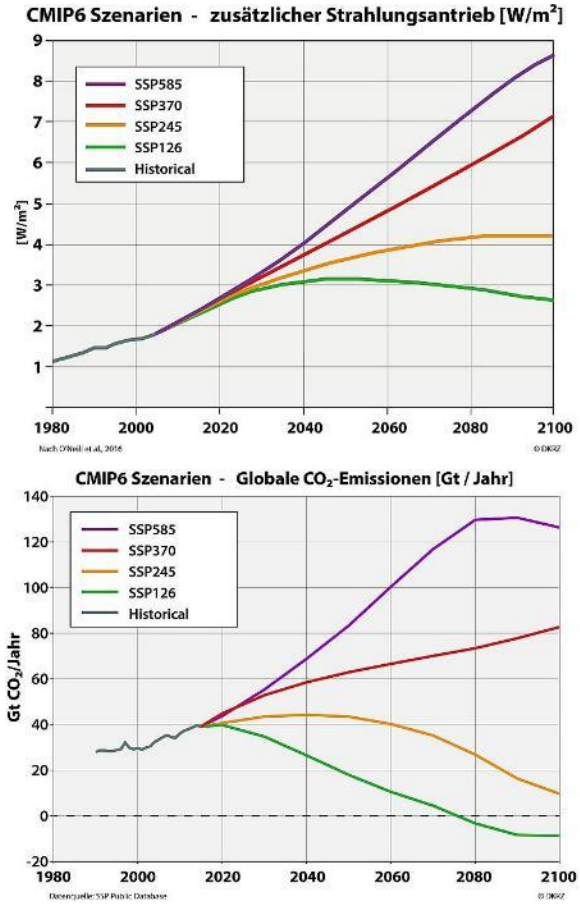


Abbildung 8: Entwicklung und Prognose des globalen Strahlungsantriebes (a), der globalen CO_2-Konzentration (b) und der globalen CO_2-Emissionen (c) anhand der vier Standard SSP-Szenarien. Quelle: DKRZ (2022).

Die von den globalen Klimamodellen für die unterschiedlichen Szenarien projizierten klimatischen Entwicklungen und Ergebnisdaten werden in einem weiteren Schritt mittels regionaler Klimamodelle verfeinert und für die Anwendung auf Bundesland- bzw. Regionsebene aufbereitet. Während die räumliche Auflösung von Globalmodellen meist über 100 km x 100 km groß ist, weisen die im Projekt verwendeten regionalen Klimaprojektionsdaten eine Auflösung von 12,5 km x 12,5 km auf (vgl. Kapitel 3.1.2).

Die hinter den Szenarien stehenden Klimamodelle werden zwar stetig weiterentwickelt, sind für lange Zeiträume jedoch zwangsläufig mit Unsicherheiten behaftet. Physikalische Vorgänge sind in großen, komplexen Systemen nur begrenzt genau beschreibbar. Die Projektionen der Klimamodelle müssen also eher als Rahmen der wahrscheinlichen Entwicklung verstanden werden, denn als exakte Beschreibung.

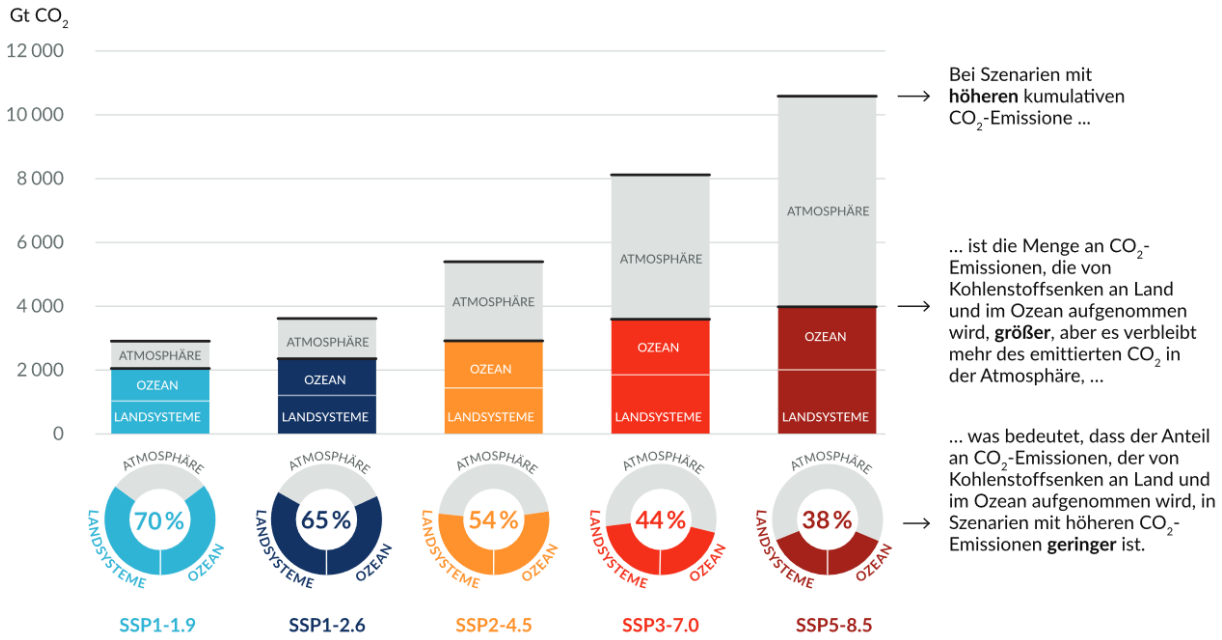


Abbildung 9: Verteilung der kumulierten anthropogenen CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2100 auf Basis von fünf SSP-Szenarien. Der Prozentwert gibt an, wie viel CO_2 von den Land- und Meeresflächen gespeichert werden kann. Quelle: IPCC (2021b, S.20).

1.1.3. Klimaschutz

Die Intensität der sich vollziehenden Erderwärmung hängt, wie bereits erläutert, stark von den vorausgegangenen, aktuellen und zukünftigen Treibhausgasemissionen ab. Sie zu reduzieren ist Ziel des Klimaschutzes. Eine ganzheitlich ausgerichtete Strategie zur Anpassung an die Folgen der Erderwärmung geht daher einen Schritt weiter und nimmt bereits zur Kenntnis, dass eine Vielzahl negativer Folgen nicht mehr verhindert werden kann und dass es notwendig ist, sich auf die zu erwartenden Veränderungen vorzubereiten. Trotzdem dürfen die Anstrengungen zur Anpassung an die projizierten Auswirkungen des Klimawandels (Adaption) nicht losgelöst vom Klimaschutz (Mitigation) erfolgen. Eine nachhaltige Abmilderung der zu erwartenden Konsequenzen ist nur durch erfolgreich umgesetzte Maßnahmen im Klimaschutz möglich. Gemäß IPCC (2021a) kann die globale Erwärmung nur durch sofortige und großflächige Klimaschutzmaßnahmen – (vor allem die Reduzierung von Treibhausgasemissionen) – auf 1,5 °C begrenzt werden.

Klimaschutz muss folglich einen festen Platz in den Strategiepapieren der Stadt- und Regionalplanung einnehmen; Klimaschutzaktivitäten müssen unterstützt und klimaschädliche Entwicklungen vermieden werden (SSB 2011). Dazu zählen Maßnahmen, die auf eine Reduktion von Treibhausgasemissionen (Steigerung der Energieeffizienz, Vermeidung energieintensiver Aktivitäten, Etablierung erneuerbarer Energiequellen), aber auch auf den Schutz bzw. die Entwicklung von Treibhausgassenken wie Wäldern abzielen.

1.1.4. Klimafolgenanpassung

Der globale Klimawandel findet statt und ist nur noch begrenzbar, aber nicht mehr abzuwenden. Zu den gravierendsten Risiken zählen u. a. die Zunahme der Extremwettereignisse, die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur, der Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels durch das kontinuierliche

Abschmelzen des Festlandeises sowie das Auftauen riesiger Permafrost-Gebiete und die damit verbundene Freisetzung großer Mengen des Treibhausgases Methan. Daher ist es mehr denn je von Bedeutung, dass politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Entscheidungsträger gemeinsam auf unterschiedlichen Ebenen (global, national, regional und lokal) Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel entwickeln und umsetzen. Es geht darum, sich bestmöglich auf die bereits eingetretenen und die bevorstehenden, weitreichenden klimatischen Änderungen für Mensch und Umwelt einzustellen und gleichzeitig die Treibhausgasemissionen deutlich zu verringern. „Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sowie zu seiner Minderung können Risiken effektiv reduzieren. Je stärker der Klimawandel voranschreitet, desto mehr nehmen weltweit die Risiken zu und desto eher werden die Grenzen der Anpassung erreicht“ (IPCC 2014). Bei der Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen müssen „die Veränderung von Ökosystemen und sozioökonomische Entwicklungen wie Urbanisierung oder Demographie berücksichtigt“ werden (IPCC 2014).

Die Grundlage auf nationaler Ebene bildet die „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS). Die Bundesregierung gibt dabei die Einhaltung des langfristigen 2-Grad-Ziels vor, bei dem davon ausgegangen wird, dass dank weitreichender Anpassungsstrategien schwere Folgen vermieden werden können (BBD 2008). Um diese Begrenzung des Temperaturanstiegs auf maximal 2,0 °C bis 2100 im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu erreichen, müssen die Anstrengungen im Klimaschutz deutlich verstärkt werden. Seit Dezember 2015 besteht zwischen 195 Staaten eine Einigung, die internationale Klimaschutz-Vereinbarung von Paris, die Erwärmung auf 1,5 bis 2,0 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu beschränken. Nach aktuellem Kenntnisstand werden die getroffenen Absichtsbekundungen allerdings nicht in der Lage sein, die Temperaturerhöhung auf maximal 2,0 °C zu begrenzen, da bereits 1,1 °C globale Erwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Niveau eingetreten sind (IPCC 2021b). Nach neuesten Klimamodellrechnungen ist eine globale Erwärmung von ca. 2,8 °C bei vollständiger Umsetzung der Vereinbarung realistischer. Welche gravierenden Reduktionen der globalen Treibhausgas-Emissionen zur Einhaltung des 1,5- bzw. 2-Grad-Zieles und damit eines Pfades, der dem RCP 2.6-Szenario bzw. dem SSP1-2.6-Szenario (Minderungs- bzw. Klimaschutz-Szenario) entspricht, erforderlich wären, lässt Abbildung 8c erahnen.

Die Ziele der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) wurden im „Aktionsplan Anpassung“ der Deutschen Anpassungsstrategie zusammengefasst und im August 2011 vom Bundeskabinett beschlossen. Konkret soll die Verwundbarkeit (Vulnerabilität) natürlicher, sozialer und wirtschaftlicher Systeme gegenüber Klimafolgen vermindert und dabei deren Anpassungskapazität gestärkt sowie die Ausnutzung möglicher Chancen erhöht werden (BBD 2011). Seitdem wird die Deutsche Anpassungsstrategie kontinuierlich weiterentwickelt. 2015 wurde ein Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie mit einem zweiten Aktionsplan Anpassung (APA II) beschlossen. Der zweite Fortschrittsbericht inkl. weiterentwickeltem Aktionsplan Anpassung (APA III) erschien im Oktober 2020 (BMUV 2020). Ein Jahr später erfolgte durch das Umweltbundesamt (UBA) die Veröffentlichung einer umfangreichen Klimawirkungs- und Risikoanalyse für ganz Deutschland (UBA 2021).

1.2. Ausgangslage der Stadt Plauen

1.2.1. Ausstattung

Geographische Lage, Naturräume und Schutzgebiete

Die Stadt Plauen liegt im Südwesten des Freistaates Sachsen im Vogtlandkreis und umfasst etwa 102 km². Naturräumlich zählt es zum Mittelvogtländischen Kuppenland und wird regionalgeologisch dem Vogtländischen Synklinorium zugeschrieben. In diesem sowohl geomorphologisch als auch von der Landnutzung her abwechslungsreichen Raum wird das Landschaftsbild durch das Tal der Weißen Elster und die sich über den weichen Tonschiefern erhebenden Diabaskuppen geprägt. Von Südwesten nach Nordosten wird die Stadt durch die Weiße Elster geteilt. Von der Höhenlage ist das Stadtgebiet den unteren Mittelgebirgslagen zuzuordnen - der tiefste Punkt liegt mit 320 m ü. NN am Austritt der Weißen Elster, der höchste Punkt mit 529 m ü. NN am Kulmberg im Süden der Stadt.

Die Landschaft weist mehrere Schutzgebiete auf, wie zum Beispiel Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete, Flächennaturdenkmäler, Naturdenkmäler, Flora-Fauna-Habitate sowie Vogelschutzgebiete. In Plauen sind insgesamt 13 flächige geschützte Landschaftsbestandteile vorzufinden, welche 14 ha umfassen und somit 0,15 % des Stadtgebietes ausmachen.

Verwaltungs- und Siedlungsstruktur

Die große Kreisstadt Plauen ist Sachsens fünftgrößte Stadt mit 65.218 Einwohnern (Stand: 31.12.2023). Plauen ist zudem Oberzentrum und größte Kreisstadt des Vogtlandkreises, dessen Verwaltungssitz sich ebenfalls in der Stadt befindet. Das Stadtgebiet ist in 5 Stadtgebiete mit 39 Ortsteilen gegliedert und umfasst eine Fläche von 102,12 km² (Abbildung 10). Zu den Ortsteilen gehören unter anderem die eingegliederten Ortschaften Neundorf, Jößnitz, Kauschwitz, Straßberg, Großfriesen und Oberlosa.

Wirtschaft und Infrastruktur

In Plauen gibt es einen vorherrschenden Branchenmix von Textil-, Lebensmittel-, Elektroindustrien, Maschinen-, Metall- und Fahrzeugbau, sowie Handwerk, Einzelhandel und dem Dienstleistungssektor. Die Stadt setzt zukünftig zusätzlich verstärkt auf Digitalisierung, KI, Nachhaltigkeit, Umweltschutz und auf eine Clusterbildung im Lebensmittel- und Gesundheitsbereich. Zu Beginn des 20. Jahrhundert wuchs Plauen durch den Erfolg der Plauener Spitze zu einer Großstadt an. Nach 1990 kam es zum Niedergang der großen Betriebe, wodurch noch heute viele Gewerbebrachen vorhanden sind. Die Elsteraue war einst ein wichtiger Standort für die Textilindustrie und bietet noch heute wichtige Gewerbe- und Industrieflächen in Flussnähe.

Die Stadt Plauen liegt verkehrstechnisch günstig gelegen im Vierländereck (Tschechien, Bayern, Thüringen, Sachsen). Sie verfügt über zwei Autobahnanschlüsse in Plauen-Ost und Plauen-Süd an die A72, welche Anschlussmöglichkeiten an die A9, A4 und A93 bietet. Zudem kreuzen die Bundesstraßen B92 und B173 zentrumsnah. An den Stadträndern schneiden zudem die B282 sowie die B169 das Stadtgebiet. Der Bahnverkehr läuft über die zwei Bahnhöfe „Oberer Bahnhof“ sowie „Bahnhof Mitte“ und bindet weitere Stationen in der Stadt an. Eine Anbindung an das Fernreisenetz der Bahn ist nicht vorhanden. Vom Oberen Bahnhof gibt es direkte Verbindungen mit dem Regionalexpress nach Dresden und Hof. Eine direkte Verbindung nach Leipzig mit der S-Bahn ist ab 2028 möglich. Am Bahnhof Mitte halten die Regionalbahnen auf der Strecke Gera – Weischlitz.

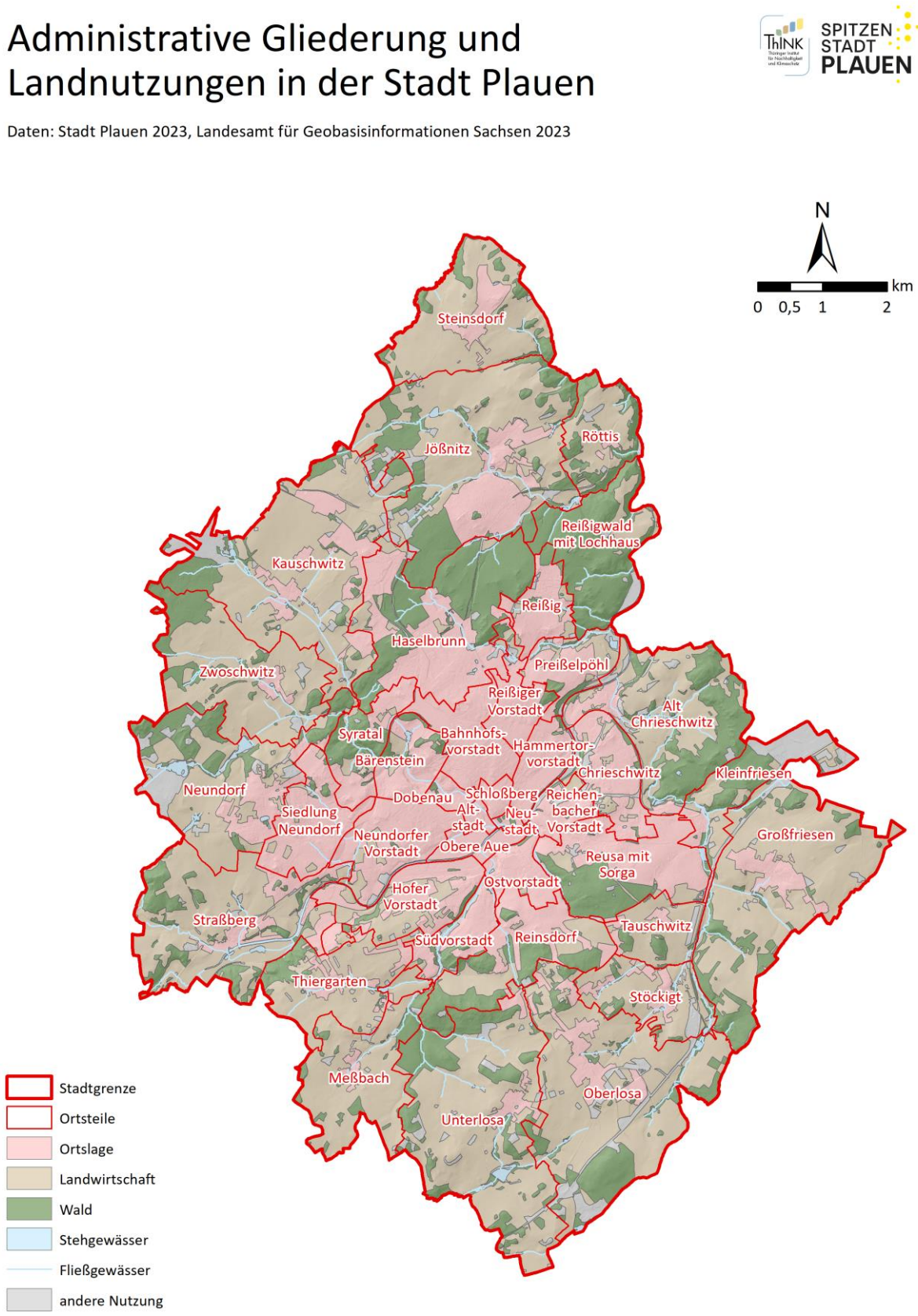


Abbildung 10: Administrative Gliederung und Landnutzungen in der Stadt Plauen

Plauen verfügt über eine gute ÖPNV-Erschließung die Straßenbahn, Stadtbusse und durch Regionalbusse. Ein gut ausgebautes Radwegweisungssystem führt Radfahrer auf den Radrouten. Zudem verläuft der Elsterradweg sowie die Euregio Egrensis durch Plauen.

Demographie

Die Stadt Plauen kann für das Jahr 2022 eine Bevölkerungsanzahl von 64.763 Personen verzeichnen (vgl. Abbildung 11), wobei der weibliche Anteil mit 51,3 % minimal höher ist als der männliche mit 48,6 %. Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelte sich Plauen zu einer Stadt mit mehr als 128.000 Einwohnenden. Seit 1940 ist dagegen ein fortlaufender Bevölkerungsrückgang zu verzeichnen. Ab den späten 60er Jahren lässt sich dieser Rückgang mit einem Geburtendefizit begründen. Durch Zuwanderung kam es ab 2014 zu einem Anstieg des Einwohnerbestandes (Abbildung 11) sowie der Geburtenrate – wobei letztere bereits stark gesunken ist. Inwiefern hieraus eine langfristige Wirkung ausgeht, ist ungewiss. Die Bevölkerungsprognose des Statistischen Landesamtes Sachsen (2024) sieht ein kurzes Bevölkerungswachstum vor, das jedoch rasch in einen stetigen Bevölkerungsrückgang übergeht. Je nach Vorausberechnungsvariante, wird für das Jahr 2040 eine Bevölkerungszahl zwischen ca. 57.000 bis 59.500 erwartet (Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2024, Abbildung 11).

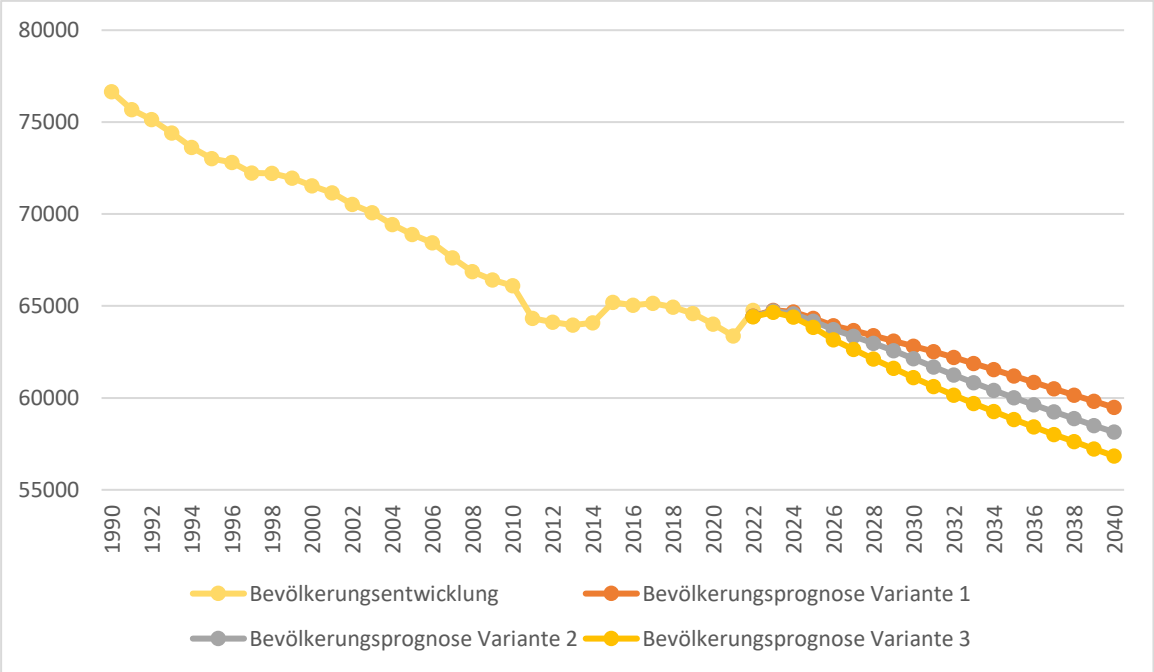


Abbildung 11: Bevölkerungsentwicklung der Stadt Plauen von 1910 bis 2022 sowie deren Prognose bis zum Jahr 2040. Datenquelle: Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2023, S. 6, 2024, S. 8,14).

Die Altersverteilung gliedert sich in 17,2 % unter 20-Jährigen, 53,9 % im Alter von 20 bis 65 und 28,9 % über 65-Jährige. Das Durchschnittsalter liegt hierbei bei 48 Jahren. Entsprechend den Hochrechnungen der optimistischeren ersten Variante des Statistischen Landesamtes ist eine vorübergehende Zunahme der Bevölkerung bis 2025 in allen Bevölkerungsgruppen zu verzeichnen, danach nimmt diese ab (Abbildung 12). Eine langfristige Zunahme ist nur in der Bevölkerungsgruppe der über 65-Jährigen bis zum Jahr 2035 zu erwarten. Im Jahr 2040 sinkt auch die Bevölkerungszahl der über 65-Jährigen (Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2023).

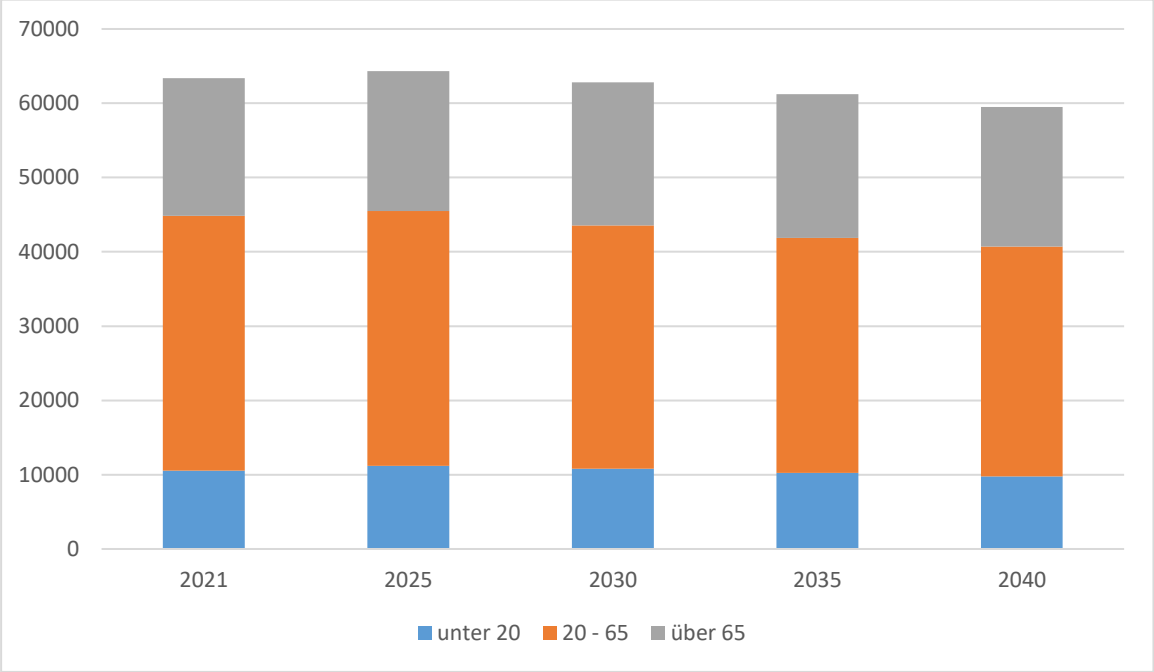


Abbildung 12: Prognostizierte Entwicklung der Bevölkerungsgruppen in der Stadt Plauen unter Verwendung der Prognose (Variante 1). Datenquelle: Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2023, S. 18).

Landnutzung

Landschaftlich ist Plauen geprägt von seiner bewegten Topographie, großen Landwirtschafts- und Waldflächen am Stadtrand sowie einer Vielzahl von Kleingarten-, Grün- und Parkanlagen, die vor allem im Stadtkern die versiegelten Wohn- und Verkehrsflächen unterbrechen (Abbildung 10). So ergibt sich, dass 72% der Stadt Plauen Vegetationsflächen sind. Mit ca. 2.400 ha Forstfläche ist die Stadt einer der größten Waldbesitzer Sachsens. 19% der Stadtfläche werden für Siedlungszwecke und 8% als Verkehrsfläche genutzt. 1% der Fläche machen Gewässer aus.

1.2.2. Bisherige Wetterereignisse

Nachfolgend sind beispielgebend vergangene Wetterereignisse aufgelistet, um eine grobe Übersicht über Plauens Betroffenheit zu geben. So wurde Plauen bereits mehrfach von Hochwasser- und Starkregenereignissen heimgesucht, welche zu Überflutungen führten. Ein folgenschweres Starkregenereignis traf Plauen am 22. Juli 1834, bei dem die Syra über die Ufer trat und mehrere Häuser zum Einsturz brachte sowie dutzenden Menschen das Leben nahm (Vogtländischer Heimatverein 1934). Vom 09.07.1954 sind weitere Überflutungen durch die Weiße Elster dokumentiert worden, wobei dieser ebenso zu einem Anstieg des Rosenbachs in Straßberg führte (Fehlhauer 2013). Aktuell sind am häufigsten der Friesenbach, der Rosenbach, der Milmesbach, der Thiergartener Dorfbach sowie der Pietzschebach betroffen. So auch in den Jahren 2002, 2006 und 2013. Aktuelle Starkregenereignisse traten am 24.05.2018 in Straßberg, am 13.07.2021 entlang des Friesenbaches sowie am 18.08.2024 in Thiergarten, Neundorf und Meßbach auf.

Neben den Starkregenereignissen verringert sich die Niederschlagsmenge im Sommer, womit es zu Wasserdefiziten in der Vegetation kommt. Im Zusammenspiel mit der zunehmenden Hitze kommt es zu Trockenheit, welche einen Einfluss auf die Stadtvegetation, Forst- und Landwirtschaft hat. Die Gefahr

für Brände steigt. Damit einhergehend sinken auch die Grundwasserspiegel, was wiederum zu Niedrigwasser führt. Durch aktuelle Zeitungsartikel lassen sich Rückschlüsse auf die Hitzeperioden von 2013 bis 2015, 2018 bis 2020 sowie 2022 bis 2024 schließen. Dies geht einher mit zunehmender Trockenheit von 2018 bis 2020 und 2022 bis 2024, welche zu Trockenstress in der Vegetation geführt hat. Im Jahr 2010 wurde erstmals das Problem des Niedrigwassers in der Weißen Elster dokumentiert - am 17.08.2023 wiederholte sich dieses.

Durch Auswertungen der Feuerwehreinsätze von 2013 bis 2022 lassen sich ebenso Rückschlüsse auf bisherige Wetterereignisse ziehen (Abbildung 13). Der Anstieg an Einsätzen durch Trockenheit hat 2018 rapide zugenommen. Die Werte sind hier definiert durch Ausfahrten zum Gießen der Vegetation und lassen somit auf eine voranschreitende Trockenheit schließen. Ebenso lassen sich die oben beschriebenen Überschwemmungen an den Einsätzen ablesen. So wurde die Feuerwehr 2013, 2018 und 2021 zu Hilfe gerufen. Die Daten für Brände beziehen sich auf Waldflächen sowie Wiese/Ödland/Bahndamm und stellen für Plauen eine geringere Wichtigkeit dar. Gesondert hervorzuheben sind die Einsätze für Sturmschäden, welche eine große Anzahl an Einsätzen zur technischen Hilfeleistung zur Beseitigung der Schäden verdeutlicht. Übereinstimmend mit Presseartikeln ist das Sturmereignis „Herwart“ von 2017, dem Sturm „Hendrik“ sowie das Sturmtief „Ylenia“ aus dem Jahr 2022. Die Einsätze von 2015 lassen sich nicht durch die Presse verifizieren.

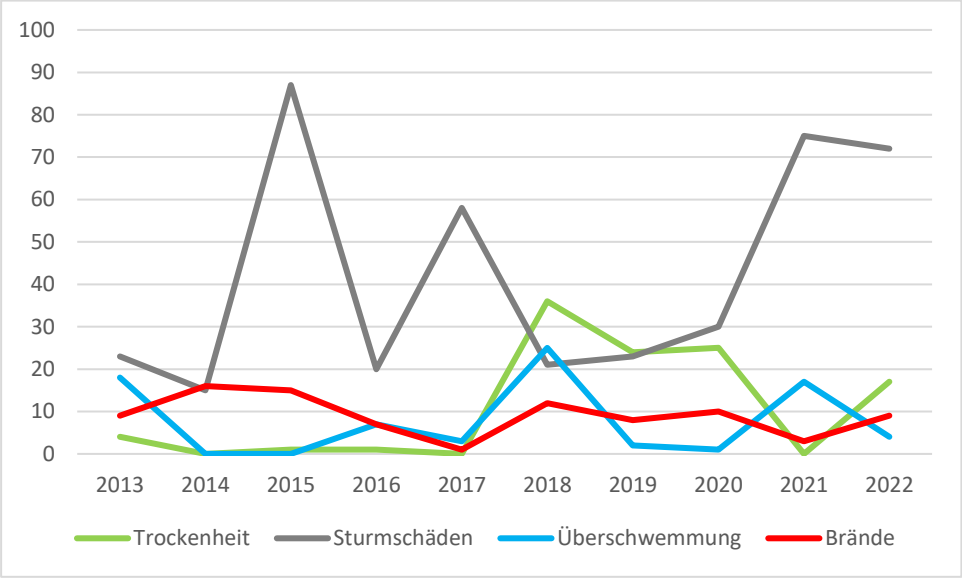


Abbildung 13: Auswertung der Feuerwehrdaten von 2013 bis 2022.

1.2.3. Aktivitäten zur Klimafolgenanpassung (vorhandene Ziele und Pläne)

Erste stadtklimatische Untersuchungen wurden 1996 durch die Stadtklimauntersuchung Plauen getätigt. Hier fand eine Thermalbefliegung des Stadtgebietes statt, zudem wurden eine Klimatopkarte und eine Klimafunktionskarte erstellt und mit Planungshinweisen versehen. Die Analysen stellen die Relevanz der Kaltluftschneisen, insbesondere entlang des Tals der Weißen Elster, heraus. Inwieweit die Handlungsempfehlungen und Maßnahmen mit denen aus diesem Klimaanpassungskonzept übereinstimmen, wird aus den Maßnahmensteckbriefen innerhalb der Synergien ersichtlich.

Im 2010 erarbeiteten Landschaftsplan wurde eine Bestandserfassung durchgeführt und Umweltqualitätsziele mit Leitlinien und Unterzielen formuliert. Diese befassen sich mit dem Erhalt der Leistungsfähigkeit der Böden; Wasserqualität und Hochwasserschutz; Arten- und Biotopschutz; Verbesserung von Klima- und Luftqualität; Landschaftliche Vielfalt, Erholungseignung und Wohnqualität sowie umweltfachliche Vorgaben für die Bauleitplanung. Diese Ziele sind zudem mit Maßnahmen unterlegt, die Synergie zu den Maßnahmen des Klimaanpassungskonzeptes sind in den Maßnahmensteckbriefen eingefügt.

Im Rahmen der Erstellung des Flächennutzungsplans wurde ebenfalls eine Umweltprüfung durchgeführt. Im Flächennutzungsplan sind für die Klimaanpassung wichtige Bereiche wie Grünflächen, Wasserflächen und Flächen für Landwirtschaft und Wald festgesetzt.

In der 2019 erschienen Fortschreibung des Integrierten Stadtentwicklungskonzeptes wurden im Fachkonzept Städtebau und Denkmalpflege Entwicklungsziele für die Umwelt festgeschrieben. Diese fokussieren sich primär auf die Förderung und Vernetzung des Stadtgrüns.

Nach einem schadensreichen Starkregenereignis am Friesenbach wurde eine Auswertung sowie Ereignisanalyse durch das UBV – Umweltbüro GmbH Vogtland durchgeführt und mit Maßnahmenempfehlungen für hydrologisch kritische Stellen untersetzt.

Im Maßnahmenkatalog des European Energy Awards wurde festgeschrieben ein Klimaanpassungsmanagement zu etablieren und ein Klimaanpassungskonzept zu erstellen. Dies wurde 2022 durch die „Förderung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ angegangen und umgesetzt.

In der Stadt wird aktuell durch den europäischen Fonds für Regionale Entwicklung das Gebiet Haselbrunn mit Dobenauareal angegangen. Hier wurden gezielt Maßnahmen zur Verbesserung der Stadtökologie ausformuliert. So werden zum Beispiel Klimainseln geschaffen, das Straßenbegleitgrün gefördert, ein Teilabschnitt der Syra freigelegt sowie eine Fläche entsiegelt.

Des Weiteren entstand im Jahr 2019 das Projekt „Grünpaten für Plauen“, welches zum Ziel hat, die Plauener Bevölkerung zu Baumpatenschaften zu animieren und so das Grün in der Stadt zu fördern. Darauf aufbauend wurde das Projekt der Gießpatenschaften ins Leben gerufen, um gegen die zunehmende Trockenheit für Stadtbäume anzugehen. Durch die Bürgerwerkstatt Stadtgrün das ehrenamtliche Engagement der Bürger für das Stadtgrün gefördert. In diesem Rahmen findet zudem der Wettbewerb für den nachhaltigsten Kleingartenverein statt.

1.2.4. Bestehende Datengrundlagen

Die bestehenden Datenlagen können von den oben genannten kommunalen Grundlagen, um folgende erweitert werden. Vom LfULG werden regelmäßig Fortschreibungen durch das Regionale Klimainformationssystem für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen in Form von Klimasteckbriefen für die Kommunen veröffentlicht. Aus diesen gehen Informationen zur vergangenen und zukünftigen Entwicklung der Temperatur, Niederschlag, und deren Klimakenntagen sowie zur Trockenheit, klimatischen Wasserbilanz und dem Standardisierten Niederschlags-Verdunstungsindex (SPEI) hervor.

Im Juni 2021 wurde der Klimaausblick für den gesamten Vogtlandkreis durch das Climate Service Center Germany veröffentlicht. Dieser Bericht befasst sich mit zukünftigen Klimaprojektionen bezogen auf die Temperatur, den Niederschlag und deren Klimakenntagen.

Zur Untersuchung der Klimaanpassungsmöglichkeiten am Friesenbach wurde 2022 eine Masterarbeit zum Thema „Klimaanpassung in Mittelgebirgsregionen – Bewertung der Resilienz städtischer Straßeninfrastruktur gegenüber Starkregenereignissen“ durchgeführt. Hieraus ergab sich eine starke Betroffenheit der Straßeninfrastruktur in Alt Chrieschwitz, welcher vornehmlich durch bauliche Maßnahmen entgegengewirkt werden kann.

Ein weiteres wissenschaftliches Projekt wird durch das Forschungsprojekt KlimaKonform geleitet. Diese haben die Hitzebelastung an der Kemmlerschule untersucht und passende Maßnahmen ausgearbeitet.

1.3. Rechtliche Rahmenbedingungen für das Konzept auf Bundesebene

1.3.1. Klimaanpassung in der Bauleitplanung

Die Bauleitplanung (BLP) als Hauptgegenstand des Allgemeinen Städtebaurechts ist ein wichtiges Instrument für die Klimaanpassung in Verantwortung der Kommunen. Sie besteht aus vorbereitender Bauleitplanung (Flächennutzungsplan – FNP) und verbindlicher Bauleitplanung (Bebauungsplan – B-Plan). Ihre Planungen schaffen für einen Zeitraum von vielen Dekaden städtebauliche Tatsachen und müssen daher weitsichtig und nachhaltig verfasst sein.

Schon heute erfordern bereits spürbar gewordene Auswirkungen des Klimawandels eine Anpassung betroffener Stadtbereiche an Hitze, Starkregen, Hochwasser und veränderte Lebensbedingungen fürs Stadtgrün durch zunehmende Trockenheit. Dieser Trend wird sich in Zukunft fortsetzen und die Notwendigkeit weiterer Anpassung stetig begründen. Ziel der klimaangepassten Bauleitplanung muss es daher sein, reaktiv aktuelle städtebauliche Missstände in betroffenen Stadtgebieten zu beheben und proaktiv vorausschauende, vorsorgende Maßnahmen für die kommunale Klimaanpassung auf den Weg zu bringen. Dazu können bestehende Pläne geändert, ergänzt oder aufgehoben bzw. neu aufgestellt werden, um die Resilienz des urbanen Raums im Allgemeinen und besonders vulnerabler Stadtgebiete im Besonderen gegenüber den Folgen des Klimawandels zu erhöhen.

Rechtliche Stellung der Klimaanpassung in der Bauleitplanung

Die kommunale Selbstverwaltung, mit der deutsche Städte und Gemeinden Verwaltungsaufgaben wie die Planungshoheit übertragen bekommen haben, um sie eigenverantwortlich auszugestalten, ermächtigt die Stadt Plauen zur Aufstellung von Bauleitplänen, „[…] sobald und soweit es für die städtebauliche Entwicklung und Ordnung erforderlich ist.“ (§ 1 Abs. 3 BauGB). Die Bauleitpläne können rechtskonform die Entwicklungsziele der Kommune darstellen und festsetzen. Hierin liegt momentan noch der Nachteil für die Klimaanpassung, deren rechtliche Stellung noch zu wenig etabliert ist. Klimaanpassung ist keine kommunale Pflichtaufgabe. Zudem gibt es kaum belastbare Grenzwerte oder konkrete Vorgaben in anderen Gesetzestexte, die die Position der Klimaanpassung in der bauleitplanerischen Abwägung stärken können.

Seit der Novellierung des Baugesetzbuches (BauGB) im Sommer 2011 ist Klimaanpassung im bauleitplanerischen Abwägungsprozess der Kommunen pflichtmäßig zu berücksichtigen: „Sie [die Bauleitpläne, d. h. FNP und B-Plan] sollen dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern, […]“ (§ 1 Abs. 5 Satz 2 BauGB) und findet auch in der Klimaschutzklausel Ausdruck: „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 BauGB). Mit einer weiteren Novellierung im Jahr 2013 wurde Klimaanpassung auch als Ziel städtebaulicher Sanierungs- und Stadtumbaumaßnahmen eingeführt (§ 136 Abs. 2 (1), Abs. 3 (1h) BauGB, 171a Abs. 2 BauGB). Seit 2017 ist Klimaanpassung sowie auch der Klimaschutz ein Leitsatz für die BLP (§ 1a Abs. 5 BauGB) und pflichtmäßiger Bestandteil der Umweltprüfung (§2 Abs. 4 BauGB). Im September 2024, kurz vor Fertigstellung dieses Konzeptes, wurde außerdem der Entwurf einer weiteren Novellierung beschlossen, welche planmäßig Ende 2024 in Kraft treten soll. Hierin wird die Klimaanpassung noch einmal konkret betont: „Den Erfordernissen der Klimaanpassung soll Rechnung getragen werden; dabei sind insbesondere Klimaanpassungskonzepte, Starkregenvorsorgekonzepte, Hochwassergefahrenkarten und Hitzebelastungskarten zu berücksichtigen. […]“ (§1b Abs 5 BauGB). Mit dieser zunehmenden Festschreibung von Klimaanpassungszielen (sowie Umwelt- und Klimaschutz) im BauGB wird die zunehmende Dringlichkeit solcher Maßnahmen deutlich.

Ist der politische Konsens zur Anpassung an den Klimawandel da, kann die Stadt Plauen die vorhandenen Gesetzesgrundlagen und das hier vorliegende Konzept zielführend für Klimaanpassung im Stadtgebiet einsetzen (BauGB 2017, Huber & Dunst 2021, S. 502 f., UBA 2021a, S. 9).

Stärkung der Verhandlungsposition für die Klimaanpassung

Damit Klimaanpassung in der BLP das angemessene Gewicht erhält, sind daher im Vorfeld vielfältige Anstrengungen notwendig, um die fehlende Verbindlichkeit auszugleichen und Konsens zur Erforderlichkeit herzustellen (Grothmann et al. 2021, Kowarik et al. 2016, UBA 2019a, UBA 2020):

- Mainstreaming der Klimaanpassung – Position der Klimaanpassung als kommunale Querschnittsaufgabe nutzen, in vorhandene Strukturen und Abläufe einbinden (Politik, Verwaltung, Instrumente, Maßnahmen, Projekte)
- Anstoß der politischen Diskussion – politische Willensbildung, Motivierung bzw. Überzeugungsarbeit potenzieller Entscheidungsträger
- Klimaanpassung als neue Normalität – gute Sichtbarkeit bzw. Präsenz erzeugen, Thema breit streuen
- Information und Weiterbildung – stetigen Lernprozess für Entscheidungsträger fördern zu Klimaanpassung und ihren multiplen Verknüpfungen/ Synergien zu anderen kommunalen Aufgabenfeldern/ Zielen
- Huckepack-Bonus für Klimaanpassung nutzen – Unterbringung von Klimaanpassungsbelangen in anderen Themenfeldern/ Synergiepotenziale heben (z. B. Planungen und Konzepte zur Generalentwässerung, Niederschlagswasserbewirtschaftung oder -beseitigung, Stadtgrün, Freiflächengestaltung), erfolgreiche Umsetzung ohne zusätzliche finanzielle und personelle Ressourcen
- Kosten-Nutzen-Analysen bzw. Bewertung von Ökosystemleistungen – Monetarisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen, um eine bessere Argumentationsgrundlage für Entscheidungsträger im Abwägungsprozess bzw. im Diskurs mit anderen Interessenvertretern bereitzustellen

1.3.2. Das Klimaanpassungsgesetz (KAnG)

Im Dezember 2023 wurde das erste Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG) beschlossen, welches im Juli 2024 in Kraft getreten ist. Das Gesetz setzt den Rahmen für die Klimaanpassung in Bund, Ländern und Kommunen und definiert Verpflichtungen zur Erstellung und Fortschreibung von Klimaanpassungsstrategien auf Bundes- und Landesebene sowie die Berichtspflichten zum Stand der Klimaanpassung. Das KAnG umfasst außerdem ein Berücksichtigungsgebot. Dabei sind die Träger öffentlicher Aufgaben – auch die Kommunen – dazu verpflichtet, das Ziel der Klimaanpassung fachübergreifend und integriert zu berücksichtigen (§ 8 KAnG). Die Bundesländer bestimmen, welche Landkreise und Gemeinden eigene Klimaanpassungskonzepte aufstellen müssen (§ 12 KAnG).

Mit dem vorliegenden Klimaanpassungskonzept wird die Stadt Plauen einer möglichen Verpflichtung zur Aufstellung eines Klimaanpassungskonzepts schon vorzeitig gerecht.

1.4. Inhalte und Vorgehen bei der Untersuchung

Das methodische Vorgehen bei der Erstellung des Klimafolgenanpassungskonzepts für die Stadt Plauen unterteilt sich in die folgenden Arbeitsschritte:

- Beschreibung der Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 1),
- Erarbeitung von stadtklimatischen Grundlagen (vgl. Kapitel 2)
- Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels (vgl. Kapitel 3),
- Entwicklung einer Gesamtstrategie und eines korrespondierenden Maßnahmenkataloges (vgl. Kapitel 4 und 5),
- Beteiligung relevanter Akteure aus Stadt und Kreis (vgl. Kapitel 6),
- Erstellung einer Verstetigungs- und Kommunikationsstrategie (vgl. Kapitel 7 und 8),
- Erarbeitung eines Controlling-Konzeptes (vgl. Kapitel 9).

Rahmenbedingungen

Die vorangegangenen Kapitel dienten der Beschreibung der Rahmenbedingungen für die Klimafolgenanpassung in der Stadt Plauen und umfassten die Darstellung des Wissenstandes zum Klimawandel, der naturräumlichen, strukturellen und demographischen Ausstattung des Stadtgebietes und den Datengrundlagen. Zudem wurden bestehende Aktivitäten zur Klimafolgenanpassung aufgezeigt.

Stadtklimatische Grundlagen

Auf Wunsch der Stadt Plauen wurden auch stadtklimatische Untersuchungen durchgeführt. Dazu gehörten eine Kaltluftabflussmodellierung mittels KLAM_21 (vgl. Kapitel 2.2.4) und die Erstellung einer Klimafunktionskarte und einer Planungshinweiskarte (vgl. Kapitel 2.2.9 und 2.2.12). Ergänzend wurde auch der neu von ThINK entwickelte Wärmebelastungsindex mit einer räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m aus Fernerkundungsdaten berechnet, um den städtischen Wärmeinseleffekt anschaulich zu visualisieren. Zudem erfolgte auf Basis des amtlichen Digitalen Oberflächenmodells für das gesamte Stadtgebiet eine Verschattungs- bzw. Einstrahlungsanalyse. Diese soll der Stadt Plauen aufzeigen, wo

sich Bereiche mit besonders hoher Sonneneinstrahlung befinden. Dabei ist die Analyse genau genug, um die Effekte einzelner Bäume sowie den Einfluss von Nord- und Südfassaden abzubilden.

Da Starkregenüberflutungen ein häufiges Problem in Plauen darstellen, wurde auch eine Niederschlags-Abfluss-Modellierung für ein 100-jährliches Ereignis von einer Stunde Dauer durchgeführt und in der Folge eine Starkregengefahrenkarte für das Stadtgebiet erstellt (vgl. Kapitel 2.3). Die Ergebnisse der Modellierung dienten zugleich als Eingangsdaten für die Klimawirkungsanalyse der Klimafolge Überschwemmungen durch von Starkregen (vgl. Kapitel 3.4.3).

Auswirkungen des Klimawandels

Zuerst wurde die Entwicklung der wichtigsten Klimaelemente (Temperatur, Niederschlag, Wind) und der daraus abgeleiteten Klimakennwerte (z. B. Hitzetage, klimatische Wasserbilanz) beschrieben (vgl. Kapitel 3.2). Für diese und alle anderen Klimakennwerte wurde die Stärke der Veränderung zwischen dem Referenzzeitraum (1971-2000), der Gegenwart (2001-2030) sowie der nahen und fernen Zukunft (2031-2060 bzw. 2071-2100) ermittelt.

Für die kommunalen Handlungsfelder erfolgte jeweils ein kurzer Überblick über die zu erwartenden Klimawandelfolgen. Dabei wurde sich auf aktuelle Veröffentlichungen der Landes- und Bundesebene bezogen. Die Wahl der Handlungsfelder (z. B. Menschliche Gesundheit, Wasserwirtschaft) orientierte sich an der Deutschen Anpassungsstrategie, wie sie auch von vielen Landes- und Kommunalstrategien aufgegriffen wird. Als nächster Schritt folgte die Betrachtung einzelner Klimafolgen bzw. deren Ausprägungen im Stadtgebiet mittels Detailanalysen. Da nicht alle möglichen Klimafolgen in den Handlungsfeldern (z. B. Wärmebelastung der Bevölkerung oder Ausbreitung von vektorbasierten Krankheiten im Handlungsfeld Menschliche Gesundheit) innerhalb des Konzeptes untersucht werden konnten, sei es aufgrund fehlender Daten oder des Zeit- und Finanzrahmens, wurden in Abstimmung mit der Stadtverwaltung die wichtigsten Klimafolgen ausgewählt und detaillierter untersucht. Die Analyse folgte dem Vulnerabilitäts-Ansatz des IPCC (vgl. Kapitel 3.4.2). Anschließend wurden die Ergebnisse der einzelnen Analysen zusammengefasst sowie eine mögliche künftige Veränderung der Klimawirkungen bzw. Vulnerabilitäten abgeschätzt, um Anpassungsbedarfe und damit Schwerpunkte für die Strategie- und Maßnahmenentwicklung abzuleiten.

Beteiligung relevanter Akteure aus Stadt und Kreis

In einer Auftaktveranstaltung wurde über die (klimatische) Ausgangslage der Stadt Plauen gesprochen, über bisherige Aktivitäten zur Klimafolgenanpassung berichtet und Erwartungen an die Anpassungsstrategie erhoben. In einem weiteren Treffen wurden die Betroffenheiten der Stadt besprochen und Schwerpunktthemen für die Analysen herausgearbeitet, welche daraufhin mit relevanten Akteuren der Stadt beschlossen wurden. Nachdem Ergebnisse der Betroffenheitsanalysen vorlagen, wurden in verschiedenen Workshops und Treffen klimabedingte Herausforderungen und Risiken sowie erste Maßnahmenideen intensiv diskutiert. Außerdem wurden Experteninterviews, vorrangig mit Führungskräften der verschiedenen Handlungsfelder, durchgeführt. Die Erkenntnisse aus der Klimaanalyse, der Auftaktveranstaltung sowie den Interviews und Workshops wurden zusammengeführt.

Gesamtstrategie für die Stadt Plauen

Die Erarbeitung der eigentlichen Anpassungsstrategie bestand aus einer Vielzahl von Einzelschritten. Wichtig hierbei war die Einbindung der städtischen Akteure, die die spezifischen Problemlagen ihrer

Handlungsfelder kennen und die späteren Anpassungsmaßnahmen unterstützen bzw. umsetzen sollen. Hier sind neben Abstimmungsgesprächen vor allem die durchgeführten Akteursworkshops, aber auch die Bürgerbeteiligung zu nennen. Als erster Schritt im Prozess diente die Formulierung eines Leitbilds und von vier thematischen Leitlinien dazu, dem Anpassungsprozess eine gemeinsame übergeordnete Vision zu geben, die sich in allen späteren Schritten niederschlägt. Ausgehend vom Leitbild wurden für die priorisierten Klimafolgen Anpassungsziele definiert und, in Vorbereitung auf das Controlling-Konzept, mögliche Erfolgsindikatoren für die Erreichung der Ziele ausgearbeitet. Daraufhin folgte die Maßnahmenentwicklung zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Abstimmung mit dem Klimaanpassungsmanagement der Stadt und den Akteuren. Diese mündete im Maßnahmenkatalog mit abgestimmten und ausführlich beschriebenen Handlungsoptionen. Hinweise zur Berücksichtigung des Klimaschutzes bei der Klimaanpassung erfolgten ebenfalls. Ein Umsetzungsplan zu zeitlichen und räumlichen Prioritäten der Maßnahmen runden die kommunale Anpassungsstrategie ab.

Verstetigung, Kommunikation und Controlling

Anknüpfend an die Maßnahmenentwicklung wurde ein Managementkonzept, bestehend aus einer Verstetigungs- sowie Kommunikationsstrategie und einem Controllingkonzept, entwickelt. Dieses trägt insgesamt zur Umsetzung der Klimaanpassungsmaßnahmen und zur langfristigen Integration der Klimaanpassung in das Verwaltungshandeln bei. Die Verstetigungsstrategie beinhaltet eine zeitliche Priorisierung des Maßnahmenkatalogs, wobei die Maßnahmen mit dem größten Beitrag zur Klimaanpassung sowie zur Verringerung des Schadenspotenzials priorisiert wurden.

Flankiert wird dies von der Kommunikationsstrategie, deren Kernelement eine Kommunikationsmatrix ist. Zudem erfolgte eine Auseinandersetzung mit der bisherigen Öffentlichkeitsarbeit im Zuge des Klimaschutzmanagements und die Identifizierung verstetigter Kommunikationskanäle.

Zur langfristigen und auch zukünftigen Sicherung der Qualität und des Umsetzungserfolgs der Gesamtstrategie ist ein Controllingkonzept mit Empfehlungen und Vorschlägen ausgearbeitet worden. Das Monitoring bezieht sich auf die kontinuierliche und standardisierte Beobachtung und Dokumentation der klimatischen Entwicklung und Auswirkungen im Stadtgebiet. Zur Ausarbeitung wurde das Monitoringsystem auf Landesebene genauer betrachtet und passende Elemente übertragen und angepasst. Die Evaluation bezieht sich einmal auf den Umsetzungsstand von Maßnahmen sowie auf die internen Arbeits- und Organisationsprozesse. Für die Bewertung des Umsetzungsstandes der Maßnahmen wurde eine Vorlage erstellt und ein Orientierungsrahmen zur Organisation des Controlling-Prozesses vorgeschlagen. Ergänzend wird eine Empfehlung für ein Qualitätsmanagement und Zertifizierungsverfahren gegeben, unter Berücksichtigung der bisherigen Aktivitäten der Stadt Plauen in diesem Bereich.

2. STADTKLIMATISCHE GRUNDLAGEN

2.1. Stadtklimaanalyse

2.2. Besonderheiten des Stadtklimas

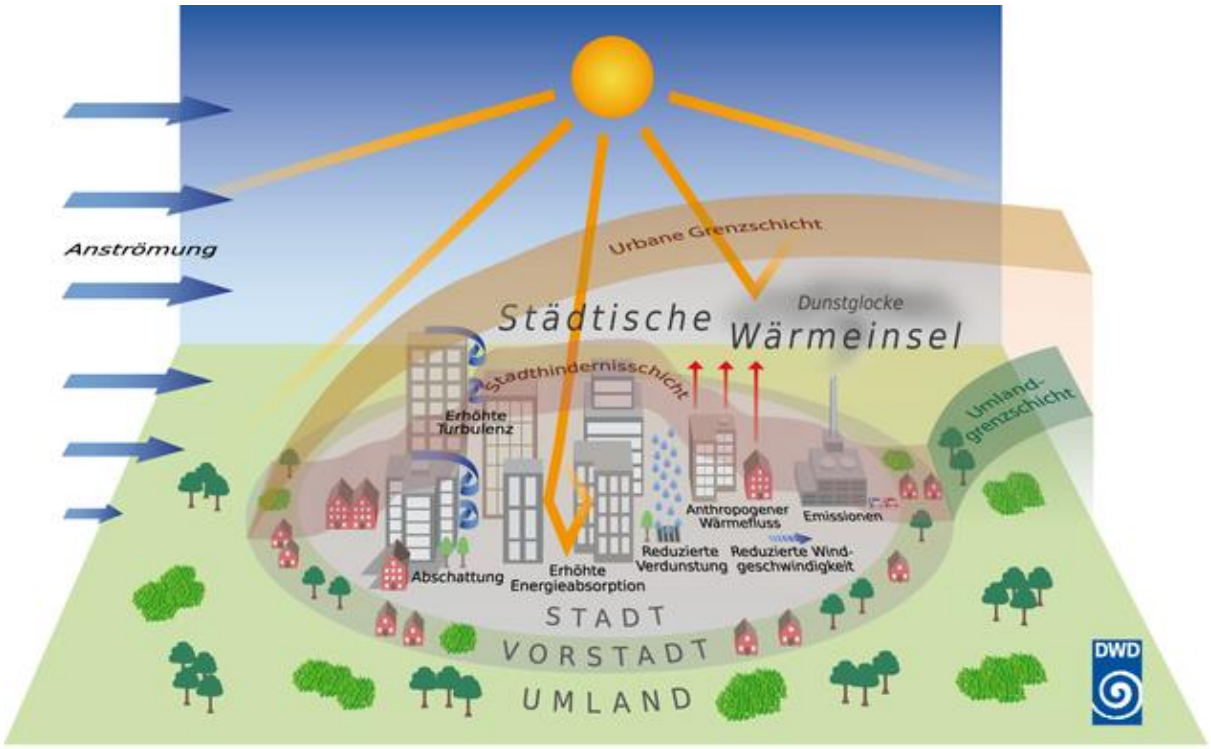


Abbildung 14: Schematische Übersicht zum Stadtklima. Quelle: DWD (2010).

In diesem Kapitel steht das Stadtklima im Fokus. Als erstes werden allgemeine Aspekte und Grundlagen präsentiert, bevor im zweiten Teil dieses Kapitels speziell auf die Ausbildung von städtischen Wärmeinseln eingegangen wird. Die kompakt gehaltenen Ausführungen orientieren sich am aktuellen Stand der Forschung.

Das Deutsche Klimaportal (2020) definiert Stadtklima kurz und prägnant als „gegenüber dem Umland verändertes Lokalklima“. Die in Städten vorherrschenden lokalklimatischen Rahmenbedingungen haben Einfluss auf zahlreiche meteorologische Parameter, wie z. B. die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit oder den Wind (aerodynamische Rauigkeit aufgrund von Bebauung) und zeichnen sich in erster Linie durch einen deutlich erhöhten Versiegelungsgrad und damit einhergehend weniger Vegetation sowie höhere Immissionen in den Bereichen der Luftqualität, der Abwärme und des Lärms, verglichen mit dem Umland aus (Deutsches Klimaportal 2020, DWD 2020a, b, Kurmutz et al. 2012, Parlow 2011). In ihrer Summe führen all die vorliegenden Modifikationen zur Ausbildung eines eigenen Klimas, dem sogenannten Stadtklima. Kurmutz et al. (2012) sprechen zudem von einer grundlegenden Modifikation des Energiehaushaltes einer Stadt aufgrund der genannten Aspekte.

Windschwache Hochdruckwetterlagen begünstigen in Städten die Ausbildung einer Dunstglocke, welche sich mit der Zeit zunehmend mit Aerosolen und Luftschadstoffen anreichert (DWD 2020b). Fehlende

Vegetations- und Wasserflächen führen zu einer Erhöhung der fühlbaren Wärmeströme und zur Verringerung latenter Wärme, da weniger Verdunstung stattfinden kann (Imhoff et al. 2009, Kurmutz et al. 2012, Stewart & Oke 2012).

Grimmond et al. (2014) und Stewart & Oke (2012) beschreiben weitere Faktoren, welche das Stadtklima individuell beeinflussen können. Dazu gehören beispielsweise: die Verteilung und Ausrichtung der Gebäude, die verwendeten Baumaterialien, der Anteil von Gewerbe- und Industrieflächen, der Anteil blaugrüner Infrastruktur sowie das Verkehrsaufkommen (→ Anteil der Luftschadstoffe) und das Heizen und Kühlen von Gebäuden. Die meisten der bereits beschriebenen stadtklimatischen Besonderheiten treten während des gesamten Jahres auf, wobei ihre Stärke i.d.R. bei windschwachen und sonnenreichen Wetterlagen zunimmt. Eine zusammenfassende Veranschaulichung der besprochenen Aspekte ist in der Abbildung 14 zu sehen. Diese zeigt auch bereits die städtische Wärmeinsel, um die es im folgenden Teil dieses Kapitels gehen soll.

Städtischer Wärmeinseleffekt

Die städtische Wärmeinsel (englisch: **U**rban **H**eat **I**sland – UHI) ist ein typisches Merkmal des Stadtklimas und wurde erstmals im Jahr 1818 durch Luke Howard publiziert (Deutsches Klimaportal 2020, Parlow 2011). Sie zeichnet sich durch eine Temperaturdifferenz zwischen einer Stadt und ihrer Umgebung aus und kann für sehr große Städte bis zu 10 K betragen (Bruns & Simko (2017), Deutsches Klimaportal 2020, Kurmutz et al. 2012). Im Mittel schwankt dieser Wert zwischen 2 K und 6 K (Parlow 2011, S.288).

Zur besseren Verständlichkeit sei an dieser Stelle erwähnt, dass im Folgenden, wie in der Literatur üblich, Temperaturveränderungen stets in Kelvin (K) und konkrete Temperaturwerte in Grad Celsius (°C) angeben werden.

Die Ausprägung der städtischen Wärmeinsel ist insbesondere in den Nachtstunden zu beobachten, in denen die Lufttemperatur nicht so sehr abkühlen kann, wie es in der Umgebung der Fall ist (Parlow 2011). Zusätzlich ist tagsüber eine erhöhte Wärmbelastung besonders in stark versiegelten und wenig durchgrünten Stadtbereichen feststellbar. Dies gilt ebenso für Gebäude oder Plätze, welche wenig Schattenflächen aufweisen und damit einer hohen Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind.

Wie bereits beschrieben, ist die Stadtgröße ein wesentlicher Faktor für die Stärke der Ausprägung von städtischen Wärmeinseln. Zhou et al. (2017) haben 5000 Großstädte untersucht und festgestellt, dass die Intensität der städtischen Wärmeinsel logarithmisch mit der Stadtgröße zunimmt. Außerdem hat auch die Kompaktheit einer Stadt und ihre Form Einfluss auf das Ausmaß der städtischen Wärmeinsel. Sie wird darüber hinaus durch die freigesetzte Wärme von Klimaanlagen und Heizungen verstärkt (Zhou et al. 2017, DWD 2020). Mit Blick auf dieses Phänomen empfehlen Zhou et al. (2017) kleine, verstreute (also mit niedrigerer Bebauungsdichte) und gestreckte Städte zu entwickeln.

Die hohen nächtlichen Temperaturen stellen vor allem in den Sommermonaten eine Belastung für die Stadtbevölkerung, speziell für kleine Kinder sowie ältere und/oder kranke Menschen dar, da diese ihre Körpertemperatur weniger gut regulieren können als gesunde Erwachsene (Bruns & Simko 2017, DWD 2020a, Zhou et al. 2017).

Abschließend für dieses Unterkapitel lässt sich festhalten, dass Städte eine zunehmend wichtige Rolle vor dem Hintergrund des Klimawandels spielen (Bronto & Bulkeley 2013). Sie müssen sich vor allem

für eine Erhaltung oder Verbesserung der dortigen Umwelt- und Lebensbedingungen einsetzen, um u. a. die Gesundheit der Bevölkerung zu gewährleisten (Carmin et al. 2013, Mirzaei 2015). Stadtplanende können hierfür beispielsweise einen Beitrag durch eine Erhöhung des städtischen Grünflächenanteils, ausreichender Verschattung und einer Verbesserung der Durchlüftung leisten, indem z. B. Kaltluftbahnen erhalten bzw. neu geschaffen werden (DWD 2020b).

Außerdem sei noch erwähnt, dass das Stadtklima an sich, neben den aufgeführten Nachteilen und Beeinträchtigungen, auch einige positive Eigenschaften mit sich bringen kann. Kurmutz et al. (2012) erwähnen hier wirtschaftliche Einsparungen im Zuge eines verminderten Heizungsbedarfes im Winter oder die Ausdehnung der Vegetationsperiode (mehr Sauerstoffproduktion und Feinstaubbindung).

An dieser Stelle noch ein Hinweis zu den Karten der Stadtklimaanalyse. Sie wurden für das vorliegende Konzept auf A4-Größe kompromiert. Die originalen PDF-Dateien (liegen der Stadt Plauen vor) sind jedoch im A0-Format (bzw. im Maßstab 1:9.000) und ermöglichen damit ein starkes Hereinzoomen in die jeweiligen Karten, um Details zu sehen, welche bei A4-Darstellung nicht oder nur sehr schwer erkennbar sind. Das gilt vor allem für die mit vielen Inhalten bestückte Klimafunktionskarte.

2.2.1. Einführung Klimafunktionskarte

Die Klimafunktionskarte beschreibt Klimaeigenschaften und Klimaphänomene für die planerische Anwendung. Adressaten sind die Stadtplanung / Stadtentwicklung oder auch die Landschafts- und Freiraumplanung, welche sich mit der Planung urbaner und suburbaner Freiräume befasst. Die Klimafunktionskarte bietet einen flächenbezogenen Überblick über die klimatischen Sachverhalte des betrachteten Raumes und bildet damit auch die Grundlage zur sachgerechten Ableitung von Planungs- und Handlungsempfehlungen (z. B. Regionalplan, Flächennutzungsplan, Bebauungsplan) in einer Stadt. Die Klimafunktionskarte ist darüber hinaus die Ausgangsbasis für die weiterführende Erstellung einer oder mehrerer Planungshinweiskarte(n) (VDI 2015).

Weiterhin ermöglicht die Klimafunktionskarte die Gliederung des Untersuchungsraumes in bioklimatisch belastete Siedlungsräume (Wirkungsräume) einerseits und Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen andererseits (Ausgleichsräume). Die Klimafunktionskarte stellt die räumlichen Klimaeigenschaften wie thermische, dynamische sowie lufthygienische Verhältnisse in einem Stadtgebiet dar, die sich aufgrund der Flächennutzung und Topographie einstellen. Die VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 aus dem Jahr 2015 liefert hierfür methodische und theoretische Grundlagen.

2.2.2. Klimatope

Das zentrale Element der Klimafunktionskarte bilden die Klimatope, auf deren Erstellung im Folgenden eingegangen wird. Als Klimatop werden Gebiete mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen bezeichnet (VDI 2015, S.4). Die Empfehlung der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 ist es, neun Klimatope auszuweisen. Dazu gehören u. a. die Klassen Freilandklima, Waldklima, Innenstadtklima sowie das Klima innerstädtischer Grünflächen. Weil in Plauen einige Kleingartenanlagen vorhanden sind, wurde das Kleingartenklima als weitere Klimatopklasse eingeführt, da es viele lokalklimatisch positive Eigenschaften aufweist und nicht pauschal dem Vorstadtklima oder dem Klima innerstädtischer Grünflächen zugeordnet werden kann.

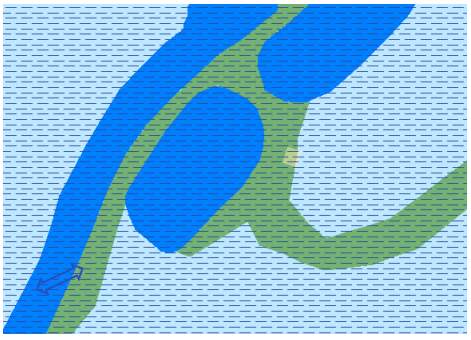
Die Klimatope wurden auf gutachterlicher Basis manuell durch Digitalisieren unter Verwendung von ArcGIS in der Version 10.7 erstellt. Dabei kamen mehrere weitere Datensätze bzw. Dienste als Hilfsmittel zum Einsatz. In erster Linie gilt dies für das Luftbild der Stadt Plauen aus dem Jahr 2022 mit einer räumlichen Auflösung von 40 cm x 40 cm, welches stets im Hintergrund als „Zeichenfläche“ vorlag. Ergänzend erfolgte u. a. eine Berücksichtigung von ALKIS-Daten (Basis-DLM) sowie vom berechneten Wärmebelastungsindex und dessen Eingangsdaten (siehe Kapitel 2.2.6).

Dennoch ist zu beachten, dass Flächen existieren, bei denen eine eindeutige Zuordnung bzw. Abgrenzung nicht immer gegeben ist und vom Ersteller bzw. dem Grad der Generalisierung abhängt.

Hinsichtlich der Generalisierung wurde darauf geachtet, keine Kleinstflächen auszuweisen. In der Regel gilt (von einzelnen Ausnahmen abgesehen) ein Schwellwert von 0,4 ha. Lediglich innerstädtische Grünflächen wurden aufgrund ihrer hohen lokalklimatischen Bedeutung und günstigen Aufenthaltsbedingungen teilweise bis zu einer Mindestgröße von 0,1 ha erfasst.

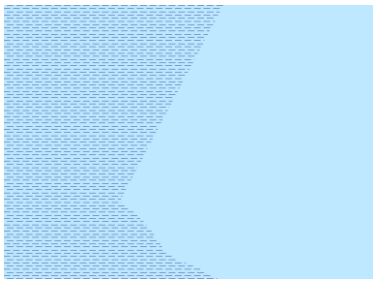
Nachdem die Ausweisung der nicht städtisch geprägten Klimatope und des Gewerbeklimas in den meisten Fällen zweifelsfrei möglich war, soll nun (neben der Vorstellung der restlichen Klimatope) genauer auch anhand von einigen ausgewählten Beispielen erläutert werden, wie die Abgrenzung zwischen den städtischen Klimatopen (Vorstadtklima, Stadtrandklima, Stadtklima und Innenstadtklima) erfolgte und was diese jeweils kennzeichnet. Die Orientierung war hierfür wieder die VDI 2015, S.14-22, an die auch die nachfolgenden Beschreibungen angelehnt sind. Zur besseren Veranschaulichung wird für jedes Klimatop auf der linken Seite zusätzlich ein kleiner Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte gezeigt.

Gewässer- und Seenklima



Wie bereits aus dem Namen hervorgeht, entfallen alle vorhandenen klimatisch relevanten Wasserflächen auf diese Klimatopklasse. Das Gewässer- und Seenklima zeichnet sich im Allgemeinen durch einen gedämpften Tagestemperaturgang verglichen mit umgebenden Bereichen aus (kühler am Tag, wärmer in der Nacht). Folgendes ist jedoch zu beachten: stehende Gewässer können sich über die Zeit so stark aufheizen, dass von ihnen am Tag keine kühlende Wirkung mehr ausgeht und sie in der Nacht sogar als Wärmequellen fungieren. Aufgrund der geringen Rauigkeit von Wasserflächen behindern sie keine Luftaustauschvorgänge und können, wie es z. B. beim Fluss Weiße Elster der Fall ist, selbst als Luftleitbahnen in Erscheinung treten.

Freilandklima

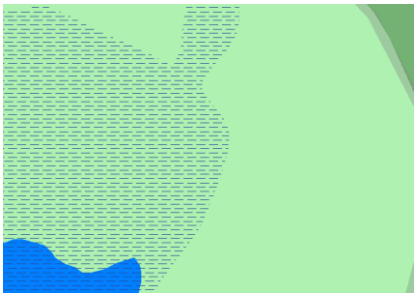


Zum Freilandklima gehören Freiflächen, wie z. B. Wiesen, Felder oder Brachen mit einem Versiegelungsgrad von weniger als 10 %, die gleichzeitig nur einen sehr geringen Baumbestand aufweisen. Der Tagesgang der Temperatur ist im Bereich des Freilandklimas ungestört, während der Einfluss auf die Luftfeuchtigkeit sehr gering ist. Entsprechende Flächen können noch zwei weitere sehr positive Eigenschaften besitzen. Zum einen bildet sich hier großflächig Kaltluft, welche bei entsprechender Hangneigung (> 2 %) auch in die (städtische) Umgebung abfließt und zum anderen kann über Freiflächen ungehinderter Luftaustauch in Form von Kaltluft-, Luftleitbahnen oder Talwinden erfolgen. Große Freiflächen befinden sich in allen Himmelsrichtungen jeweils in den Randbereichen des Stadtgebietes. Das Freilandklimatop ist mit einer Gesamtfläche von 50,5 km² (entspricht 49,5 %) das mit Abstand flächenmäßig größte Klimatop im Stadtgebiet von Plauen.

Waldklima

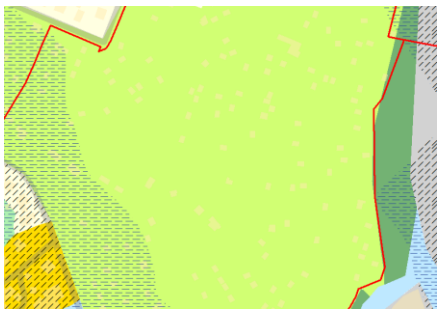
Zum Waldklima gehören alle Flächen, die zu mindestens 90 % mit Laub- oder Nadelbäumen bedeckt sind. Hier liegt ein stark gedämpfter Tagesgang der Lufttemperatur und -feuchte vor. Oberhalb der Kronen bildet sich Kaltluft, die etwa ab einer Hangneigung von 2 % auch in nennenswertem Umfang abfließen kann. Außerdem fungieren Wälder als Luftfilter, da sie verglichen mit Freiflächen in wesentlich größerem Umfang CO_2 in Sauerstoff umwandeln. Das größte Waldgebiet in Plauen ist der Stadtwald im nördlichen Teil des Stadtgebietes. Insgesamt werden 24,3 km² (entspricht 23,8 %) vom Waldklimatop geprägt.

Klima innerstädtischer Grünflächen



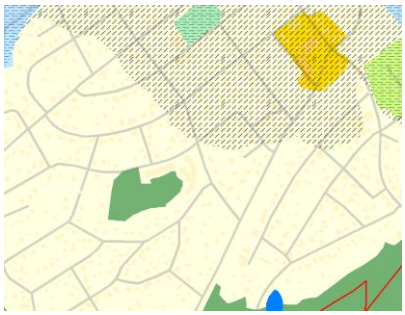
Innerstädtische Grünflächen sind aufgrund ihrer sehr günstigen lokalklimatischen Eigenschaften von sehr hoher Bedeutung in Städten und können in Form von Parks, Wiesen, Friedhöfen oder mit Naturrasen begrünten Sportplätzen vorliegen. Ihr Versiegelungsgrad beträgt in aller Regel weniger als 20 %. Je nach Größe und Zusammensetzung verfügen innerstädtische Grünflächen über eine Kombination der positiven Eigenschaften des Freiland- bzw. Waldklimas und können einen wichtigen Beitrag zur Verringerung des städtischen Wärmeinseleffektes leisten. Wichtige innerstädtische Grünflächen in Plauen sind u. a. der innenstadtnahe Lutherpark, der Hauptfriedhof oder der Stadtpark.

Kleingartenklima



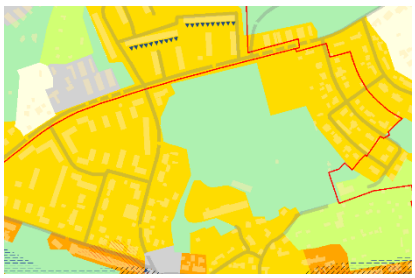
Das Kleingartenklima verfügt über einen gedämpften Tagesgang der Lufttemperatur und -feuchte. Durch die nahezu permanente Bewässerung der dortigen Grünflächen lässt sich eine intensive Verdunstungskühlung feststellen. Die geringe Versiegelung und das geringe Bauvolumen führen zu einer geringen Wärmespeicherung. Damit können auch Kleingartenanlagen den städtischen Wärmeinseleffekt verringern. Auf ihnen kann darüber hinaus auch Kaltluft entstehen und etwa ab einer Hangneigung von 2 % in die Umgebung abfließen. Größere Kleingartenanlagen gibt es beispielsweise in der Ostvorstadt (Gartenverein Ostvostadt 1921), in der Hofer Vorstadt (KGV „Am Thiergartner Weg“) und in der Neundorfer Vorstadt (KGV „Sommerfreude“).

Vorstadtklima



Das Vorstadtklima bildet den Übergangsbereich zwischen Freilandklima und städtischer Bebauung und zeichnet sich durch einen hohen Grünanteil sowie vorwiegend niedrige Ein- und Mehrfamilienhäuser in lockerer Bauweise aus (Versiegelungsgrad < 30 %), was in günstigen bioklimatischen Verhältnissen resultiert. Entsprechend ist der Einfluss auf die umgebende Temperatur, die Luftfeuchte und den Wind gering. Typischerweise trifft dies auf die kleineren umliegenden Siedlungen und Dörfer außerhalb der Kernstadt zu (z. B. Jößnitz, Reißig oder Kleinfriesen).

Stadtrandklima

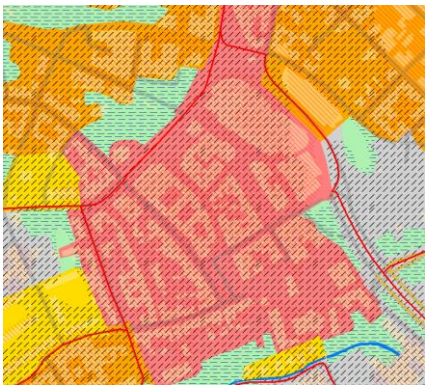


Die nächsthöhere Kategorie bildet das Stadtrandklima. Hier ist im Allgemeinen die Bebauung mit einem Versiegelungsgrad von ca. 30 % bis 50 % dichter und der Grünflächenanteil geringer, wodurch sich oft schon eine schwache Wärmeinsel bilden kann. Mit einer Fläche von knapp 2,7 km² besitzt das Stadtrandklima einen Anteil von 2,6 % an der Gesamtfläche des Stadtgebietes und bildet damit ein vergleichsweise selten vorkommendes Klimatop ab. Hierzu gehören beispielsweise Teile von Reusa, der Ostvorstadt oder der Bahnofsvorstadt.

Stadtklima

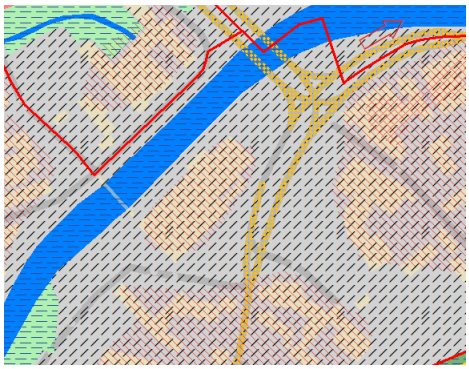
Noch dichtere und / oder höhere Bebauung und damit ein Versiegelungsgrad von 50 % bis 70 % ist charakteristisch für das Stadtklima. In diese Kategorie lassen sich z. B. durch Blockrandbebauung, nördlich an die Innenstadt angrenzende geprägte Bereiche mit einem relativ geringen Grünflächenanteil einordnen. Außerdem fallen dicht bebaute Gebiete u.a. dicht bebaute Gebiete im Umfeld der Moritzstraße sowie der Dittesstraße in diese Klimatopklasse. Mit einem ausgeprägten Wärmeinseleffekt ist zu rechnen.

Innenstadtklima



Die höchste siedlungsbezogene Klimatopklasse bildet das Innenstadtklima, welches vorwiegend in der Altstadt vorliegt. Weiterhin fallen auch Bereiche im Umfeld der Antonstraße aufgrund der sehr dichten Bebauung in das Innenstadtklima. Hier beträgt der Versiegelungsgrad mehr als 70 % und die Durchgrünung beschränkt sich auf wenige Bäume oder nur sehr kleine zusammenhängende Grünflächen. Die dichte Bebauung und die daraus resultierende hohe Rauigkeit behindern die Durchlüftung erheblich. Diese Voraussetzungen sind ideal für die Ausbildung einer starken Wärmeinsel. Zusammen mit den schlechten Luftaustauschverhältnissen ergeben sich human-biometeorologisch sehr ungünstige Aufenthaltsbedingungen.

Gewerbe- und Industrieklima



Zu dieser Klimatopklasse gehören gewerblich geprägte Flächen mit einem Versiegelungsgrad von bis zu 100 % (Gewerbegebiete, Gewerbebrachen, Bahnanlagen, Fabriken, etc.). Entsprechende Flächen stellen häufig einen massiven Eingriff in die Natur dar und bilden je nach vorhandener Fläche eine große Wärmeinsel aus. Zudem liegt häufig auch ein erhöhter Ausstoß an Luftschadstoffen vor, sofern es sich um produzierendes Gewerbe handelt. Vorhandene Kaltluft – oder Luftleitbahnen können z. B. durch hohe Fabriken oder Hallen abgeschwächt, umgeleitet oder sogar gänzlich gestoppt werden. Im Stadtgebiet von Plauen befinden sich mehrere große Gewerbeflächen. Dazu gehören beispielsweise zahlreiche Gewerbegebiete entlang der Weißen Elster, das Gewerbegebiet Zadera oder das Industriegebiet Plauen Neuensalz Nord.

2.2.3. Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21

Theoretische Grundlagen

Nach DWD (2021) ist „KLAM_21 ein vom Deutschen Wetterdienst entwickeltes zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftflüssen in orographisch gegliedertem Gelände für Fragen der Standort-, Stadt- und Regionalplanung.“ Es simuliert flächendeckend die Dynamik und Entwicklung von Kaltluftflüssen sowie die Ansammlung von Kaltluft in einem beliebig rechteckig abgegrenzten Untersuchungsgebiet bei einer Maximalgröße von 3000 x 3000 Pixeln. Die Auflösung der einzelnen Rasterzellen kann dabei beliebig definiert werden. Das Untersuchungsgebiet ist so groß zu wählen, dass alle für ein Stadtgebiet relevanten Kaltlufteinzugsgebiete erfasst werden.

Für die Berechnung wird jeder Landbedeckungsklasse u. a. eine bestimmte Rauigkeit und eine Kaltluftproduktionsrate zugewiesen. Zusätzlich spielt die Geländehöhe je Pixel für die Kaltluftdynamik eine wesentliche Rolle, insbesondere da das Stadtgebiet von Plauen über eine ausgeprägte Topografie verfügt und somit eine erhebliche Kaltluftdynamik (vor allem im Bereich der Weißen Elster) aufweist.

KLAM_21 rechnet mit einer sogenannten „Strahlungsnacht“ im Sommer (kein Wind von außerhalb, kaum Wolken, gleichbleibende Ausstrahlung) mit einer Dauer von 8 Stunden, um ausschließlich das lokale Kaltluftgeschehen unabhängig von übergeordneten Wetterlagen zu erfassen. Der Simulationsbeginn liegt kurz vor Sonnenuntergang. Ergebnisse können vom Modell für jeden beliebigen Zeitpunkt ausgegeben werden. Man erhält entsprechend flächenhaft für das gesamte Modellgebiet die Verteilung der Kaltlufthöhe, den Kaltluftvolumenstrom und die mittlere Fließgeschwindigkeit. Letztere als Höhenmittel und für eine selbst zu definierende Höhe, welche standardmäßig 2 m beträgt und dem Aufenthaltsbereich des Menschen entspricht.

Nach der VDI 3787, Blatt 1 (VDI 2015, S. 37,38) gehört KLAM_21 zu den Modellen, „deren Strömungsmodul nach einem anerkannten Verfahren verifiziert wurde“. Es ist somit besonders für stadtklimatische und kaltluftspezifische Fragestellungen geeignet und hat sich schon in zahlreichen amtlichen Gutachten zur Stadt-, Regional- und Landesplanung bewährt.

Neben der Einstellung von einigen KLAM_21 Konfigurationsparametern ist es für den Start der Modellierung erforderlich, das DGM (Digitales Geländemodell) und die Landnutzung so aufzubereiten, dass sie vom Modell eingelesen werden können. Bei Interesse können weiterführende Informationen u. a. zu den mathematisch-physikalischen Grundlagen von KLAM_21 Sievers (2005) entnommen werden.

Praktische Umsetzung - Vorbereitung der Modellierung

Der erste Schritt, welcher bei Bedarf im weiteren Verlauf der Vorbereitungen allerdings noch angepasst werden kann, ist die Auswahl des Modelliergebietes. Dabei sind die oben genannten Rahmenbedingungen zu beachten.

Da KLAM_21 sensibel auf zu kleine Modelliergebiete reagiert, ist es im Zweifel immer besser, dieses etwas zu groß als zu klein zu wählen (Fuchs 2018). Vor diesem Hintergrund wurde ein weit in alle Himmelsrichtungen hineinreichendes Modelliergebiet gewählt, um auch wirklich alle Kaltluftströme aus der Umgebung von Plauen zu erfassen. Durch die Ausnutzung der maximal möglichen Gebietsgröße von 3000 x 3000 Rasterzellen, konnte eine gesamtstädtisch recht hohe räumliche Auflösung von 10 m x 10 m realisiert werden.

Der nächste Schritt besteht nun darin, für das gewählte Modellierungsgebiet Informationen zur Geländehöhe und zur Landbedeckung so aufzubereiten, dass sie von KLAM_21 eingelesen werden können. Hierzu wurde des vorliegende DGM1 auf die Zielauflösung von 10 m x 10 m umgerechnet und auf das Modelliergebiet zugeschnitten (Abbildung 15).

Komplizierter ist die Vorbereitung der Landbedeckung, da sich hier als aller erstes die Frage stellt, welche Daten die Grundlage bilden sollen. Hier wurde eine kombinierte Variante gewählt. Innerhalb des Stadtgebietes von Plauen wurden die erstellten Klimatope herangezogen und gemäß Tabelle 2 in die von KLAM_21 benötigten Klassen überführt, sodass hier eine hohe Detailqualität gewährleistet ist.

Außerhalb des Stadtgebietes erfolgte die Verwendung des europäischen, aus Satellitendaten erzeugten und frei verfügbaren CORINE-Landbedeckungsdatensatzes. Dieser weist mit einer räumlichen Auflösung von 100 m x 100 m eine geringere Detailschärfe auf, verfügt andererseits jedoch über mehr als 40 Klassen, welche ebenfalls nach einer vorliegenden Tabelle umgewandelt wurden. Aufgrund deren Größe und der Übersichtlichkeit wird sie an dieser Stelle nicht gesondert dargestellt. Das finale Landbedeckungsraster ist Abbildung 16 zu entnehmen.

Tabelle 2: Übersicht zur Umwandlung der Klimatopklassen zu den passenden KLAM_21 Nutzungsklassen.

Klimatop	KLAM_21 Klasse Name	KLAM_21 Klasse Code
Freilandklima	unversiegelte Freifläche	7
Waldklima	Wald	3
Klima innerstädtischer Grünflächen	Park	6
Kleingartenklima	Park	6
Wasserklima	Wasser	9
Gewerbeklima	Industriegebiet	5
Vorstadtklima	Siedlung locker	2
Stadtrandklima	Siedlung locker	2
Stadtklima	Siedlung dicht	1
Innenstadtklima	Siedlung dicht	1

Nachdem das DGM und die Landbedeckung in für KLAM_21 aufbereiteter Form vorliegen, kann die Modellierung gestartet werden. Für die Ergebnisausgabe wurden insgesamt elf Zeitschritte (15 min, 30 min, 60 min, 90 min, 120 min, 180 min bis 480 min) gewählt, welche gemeinsam eine Nachtdauer von acht Stunden abdecken. Die angegebenen Minutenwerte entsprechen der vergangenen Zeit nach Sonnenuntergang. Die erhöhte Anzahl an Zeitschritten zu Beginn der Nacht stellt sicher, dass gerade in den (für das Einschlafen) wichtigen ersten Nachtstunden differenzierte Informationen vorliegen.

Praktische Umsetzung - Datenaufbereitung nach der Modellierung

Sobald die Modellierung abgeschlossen ist, bietet KLAM_21 die Möglichkeit, provisorische Karten für alle Zeitschritte zu erzeugen. Von Seiten des Nutzers ermöglichen diese aber nur geringe Anpassungsoptionen. Außerdem liegen die vom Modell erstellten Ergebnisdaten in einer Form vor, in der Sie nicht weiter im GIS bearbeitet, ausgewertet und kartographisch dargestellt werden können.

Vor diesem Hintergrund wurde eine weitgehend automatisierte Methodik unter Verwendung der Programmiersprache R sowie des Geographischen Informationssystems ArcGIS entwickelt, welche es ermöglicht, folgende Ergebnisse jeweils für alle Zeitschritte zu erhalten:

- die Kaltlufthöhe [in m] als GeoTIFFs
- die Kaltluftvolumenstromdichte [in m^3 / (m*s)] als GeoTIFFs
- die Kaltluftfließgeschwindigkeiten inkl. deren Richtung als Höhenmittel und in 2 m Höhe als Punktshapefiles in der Ursprungsauflösung (10 m x 10 m)
- aggregierte Punktshapefiles der Kaltluftfließgeschwindigkeiten zur besser lesbaren Kartendarstellung (100 m x 100 m)

Mit den oben genannten Daten lassen sich nun alle erforderlichen Karten erstellen. Eine Auswahl davon wird im nächsten Kapitel vorgestellt. Alle übrigen Karten können bei der Stadtverwaltung angefragt werden.

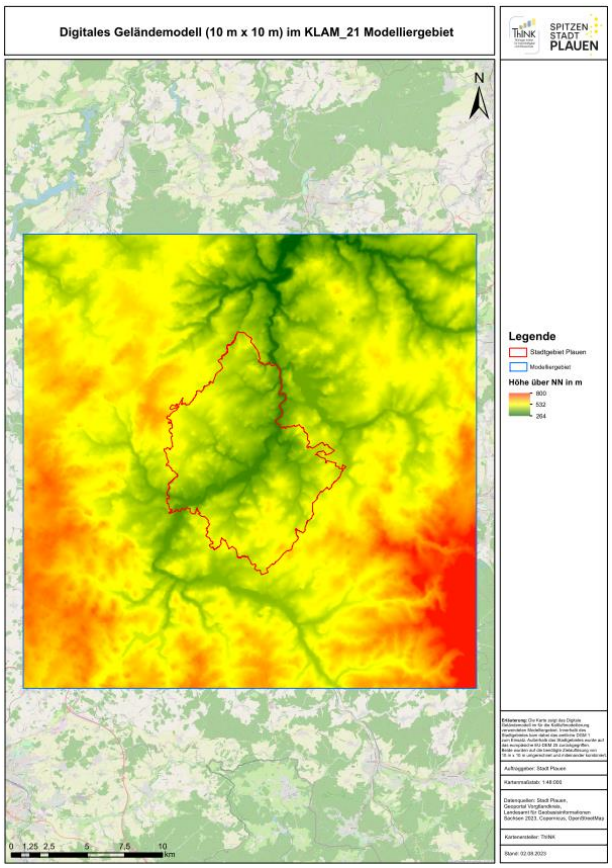


Abbildung 15: Aufbereitetes DGM im Modelliergebiet für KLAM_21.

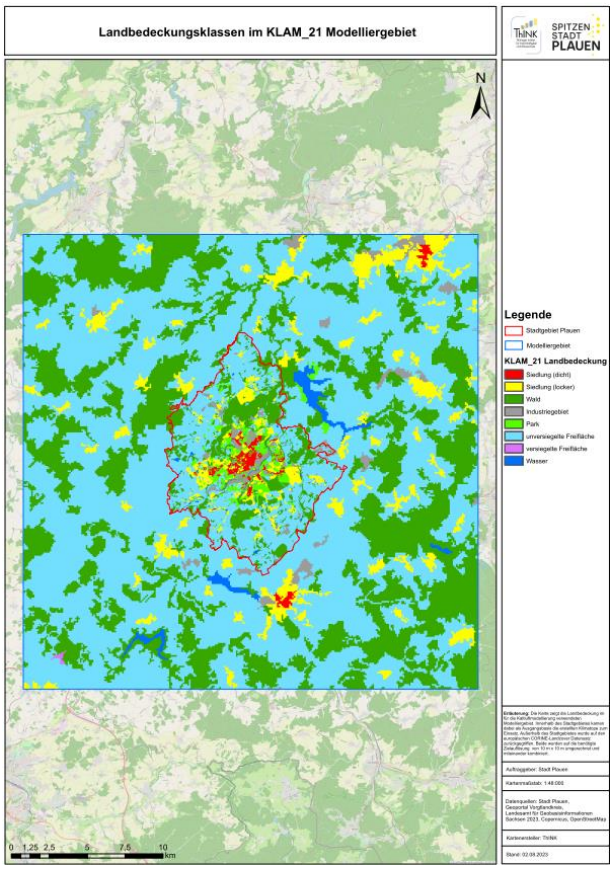


Abbildung 16: Aufbereitete Landbedeckung im Modelliergebiet für KLAM_21.

2.2.4. Ergebnisse der Kaltluftmodellierung

Um den Umfang dieses Unterkapitels sowie die Anzahl an Karten zu begrenzen, wird nachfolgend zunächst der Zeitverlauf der Kaltluftvolumenstromdichte präsentiert, bevor darauffolgend für alle drei Parameter der Zeitschritt nach zwei Stunden gesondert besprochen wird, da dieser in großen Teilen maßgeblich für die späteren Darstellungen in der Klimafunktionskarte ist (siehe Kapitel 2.2.9).

Kompletter Zeitverlauf der Kaltluftvolumenstromdichte

Die Karten zur Kaltluftvolumenstromdichte gelten als besonders anschaulich, um die zeitliche Kaltluftdynamik im Stadtgebiet von Plauen zu visualisieren, weshalb im Folgenden alle elf Zeitschritte dargestellt sind (Abbildung 17) und kurz zusammenfassend erläutert werden. Zusätzlich ist zum besseren Verständnis auch eine Definition der Kaltluftvolumenstromdichte angegeben. Die gleichen Zeitserien zur Kaltluftfließgeschwindigkeit sowie zur Kaltlufthöhe können bei der Stadtverwaltung angefragt werden.

Definition Kaltluftvolumenstromdichte: Die Kaltluftvolumenstromdichte ist diejenige Kaltluftmenge in Kubikmeter, die pro Sekunde durch einen ein Meter breiten Streifen zwischen der Erdoberfläche und der Obergrenze der Kaltluftschicht, welche senkrecht zur Strömung steht, fließt.

Ihre Werte können folgendermaßen eingeordnet werden:

0 bis 2: sehr niedrig

> 2 bis 10: niedrig

>10 bis 20: mäßig

> 20 bis 50: hoch

> 50 bis 100: sehr hoch

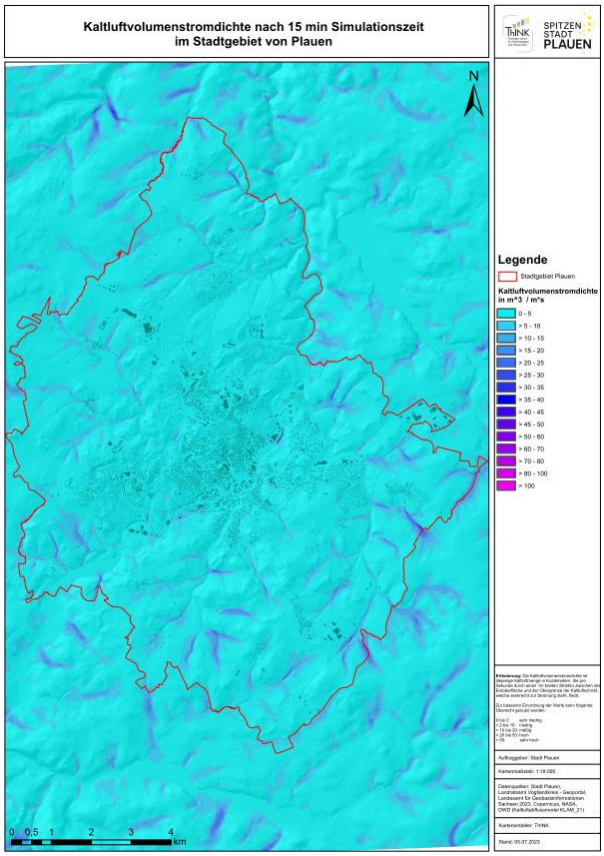
> 100: extrem hoch

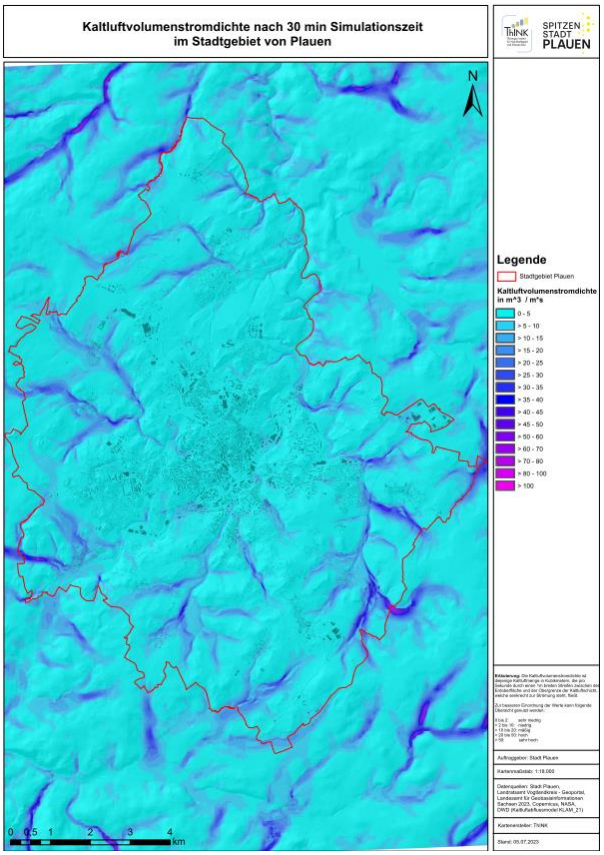
Die Stadt Plauen zeichnet sich durch ihre Mittelgebirgslage mit ausgeprägter Topographie im Vergleich zu vielen anderen Städten durch eine relativ stark ausgeprägte Kaltluftdynamik aus. Weite Teile des Stadtgebietes profitieren in den Sommermonaten bei entsprechenden Hochdruckwetterlagen hiervon. Direkt die ersten Zeitschritte zeigen, wie schnell die Kaltluft von den Hängen in die tieferen Gebiete fließt und im Laufe der Zeit mehr und mehr an Dynamik entwickelt.

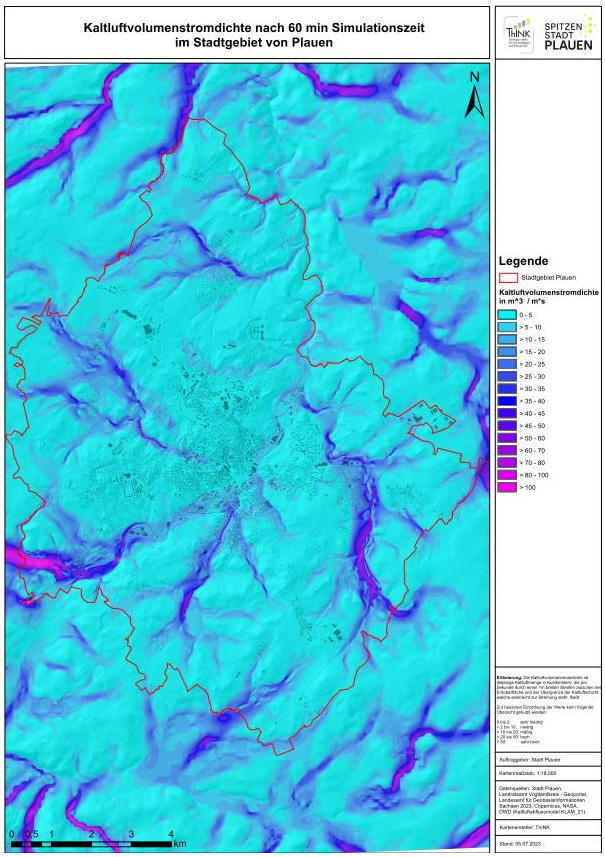
Besonders prägnant sind Bereiche, welche in violetten Farben auftauchen. Dort werden Kaltluftvolumenstromdichten von mehr als 50 m^3 / m*s erreicht, was sehr hohen Werten entspricht (DWD 2017, S. 53). Bereits nach einer Stunde Simulationszeit lassen sich entsprechende Bereiche an folgenden Orten finden: Stadtteil Straßberg im Umfeld der Weißen Elster, im Umfeld des südöstlichen Friesenbaches, im Syratal, entlang des Lohbaches sowie in der Umgebung des südlichen Teils der B173.

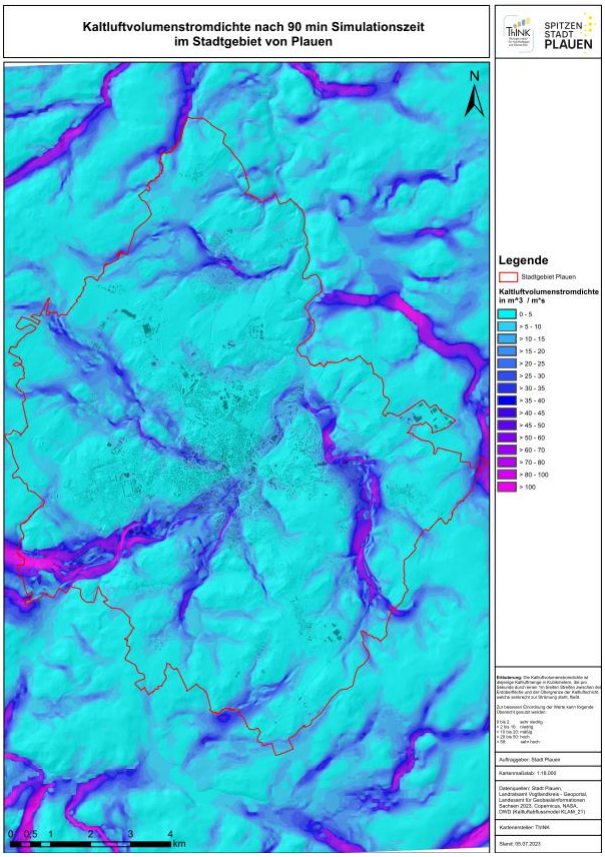
Nach zwei Stunden Simulationszeit werden darüber hinaus sehr häufig Kaltluftvolumenstromdichten von mehr als 10 m^3 / m*s erreicht. Das gilt auch für die Altstadt. Ab diesem Wert kann von einer klimatisch relevanten Kaltluftvolumenstromdichte gesprochen werden, welche auch von der Bevölkerung wahrgenommen wird (Moldenauer et al. 2015). Außerdem verstärkt sich den Kaltluftdynamik von den Hängen in die Täler weiter. Nach etwa drei Stunden nimmt die Kaltluftvolumenstromdichte weiter zu. Im Umfeld von Chrieschwitz kommt es zu einer Windumkehr von Nordost in Richtung Südost, da von nun an der Talstrom der Weißen Elster mehr und mehr Gestalt annimmt und die Komponente des Friesenbaches überlagert.

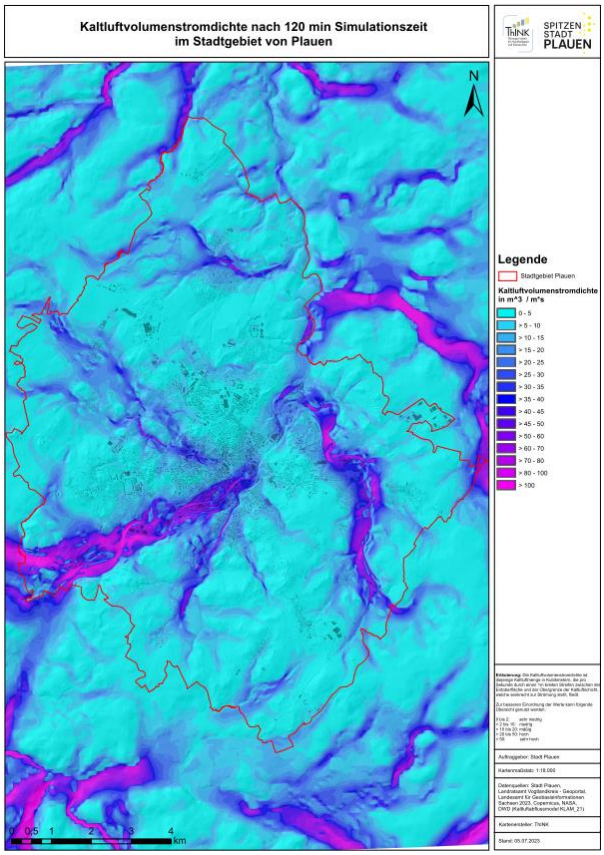
Bis zum Ende der Nacht nimmt die Kaltluftdynamik ausgehend vom Tal der Weißen Elster kontinuierlich weiter zu und erreicht dabei sehr hohe Werte von bis zu 100 m^3 / m*s. Insgesamt kann somit für weite Teile des Stadtgebietes bis zum Ende der Nacht eine gute bis sehr gute Kaltluftversorgung und damit nächtliche Abkühlung bei Strahlungswetterlagen (Hochdruck, wenig Wolken, wenig Wind) festgehalten werden. Allerdings gibt es Unterschiede, zu welchem Zeitpunkt die Durchströmung mit Kaltluft einsetzt. Dabei gilt im Allgemeinen je früher dies der Fall ist, desto schneller sinken die Temperaturen und desto besser sind die nächtlichen Einschlafbedingungen. Für detaillierte Informationen sei auf die Einzelkarten zu den jeweiligen Zeitschritten bzw. auf die der Stadt Plauen bereitgestellten Animationen verwiesen.

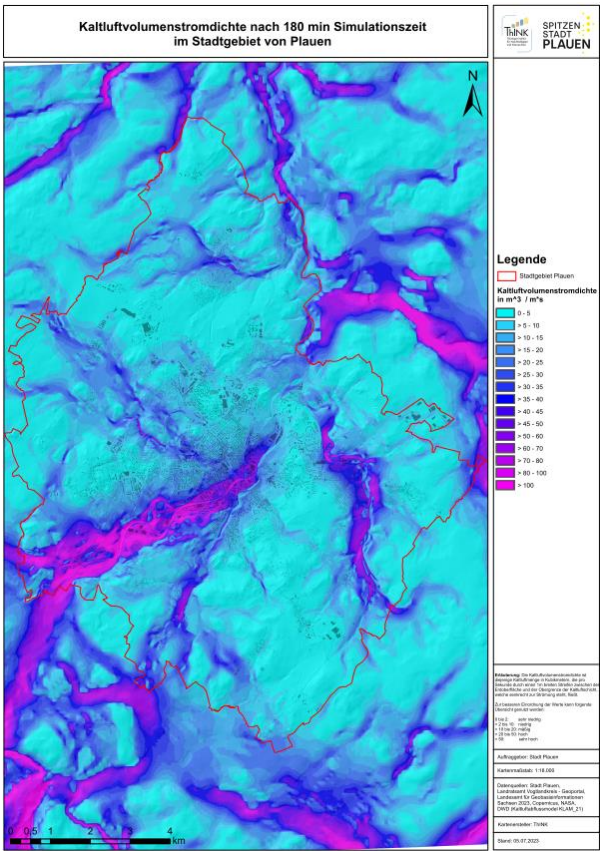

Kaltluftvolumenstromdichte nach 15 min Simulationszeit
im Stadtgebiet von Plauen
SPITZEN STADT PLAUEN
N
Legende
Stadtgebiet Plauen
Kaltluftvolumenstromdichte in m^3 / m*s
0 - 5
> 5 - 10
> 10 - 15
> 15 - 20
> 20 - 25
> 25 - 30
> 30 - 35
> 35 - 40
> 40 - 45
> 45 - 50
> 50 - 60
> 60 - 70
> 70 - 80
> 80 - 100
> 100
0 0,5 1 2 3 4 km

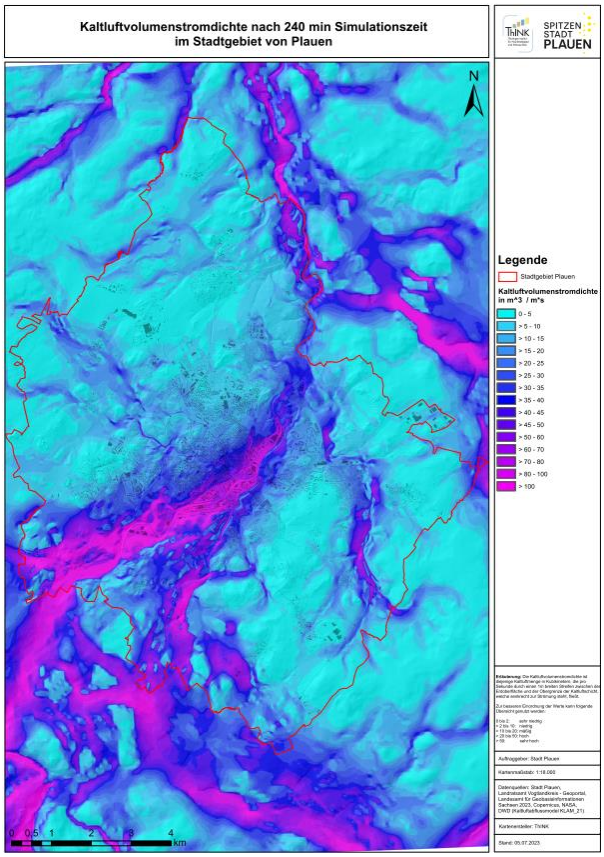

Kaltluftvolumenstromdichte nach 30 min Simulationszeit
im Stadtgebiet von Plauen
SPITZEN STADT PLAUEN
N
Legende
Stadtgebiet Plauen
Kaltluftvolumenstromdichte in m^3 / m*s
0 - 5
> 5 - 10
> 10 - 15
> 15 - 20
> 20 - 25
> 25 - 30
> 30 - 35
> 35 - 40
> 40 - 45
> 45 - 50
> 50 - 60
> 60 - 70
> 70 - 80
> 80 - 100
> 100
0 0,5 1 2 3 4 km

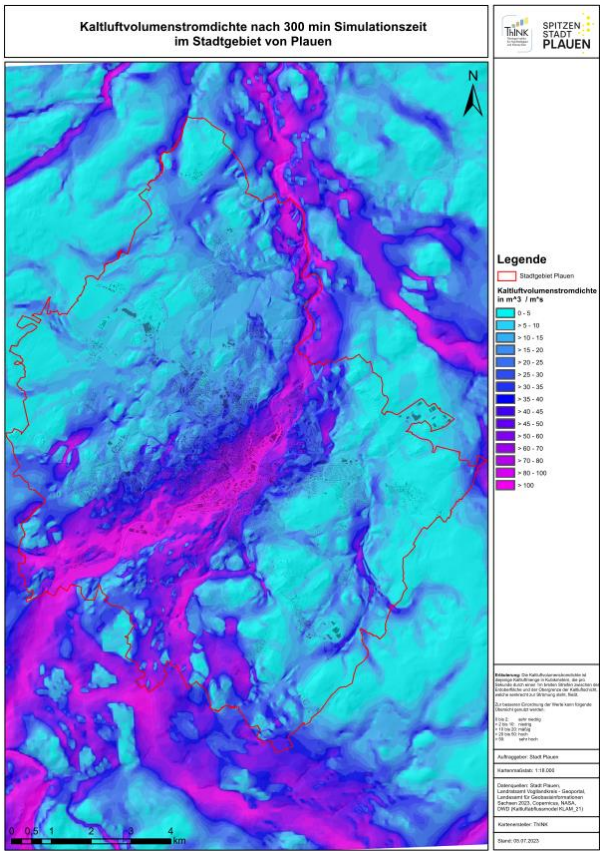

Kaltluftvolumenstromdichte nach 60 min Simulationszeit
im Stadtgebiet von Plauen
SPITZEN STADT PLAUEN
N
Legende
Stadtgebiet Plauen
Kaltluftvolumenstromdichte in m^3 / m*s
0 - 5
> 5 - 10
> 10 - 15
> 15 - 20
> 20 - 25
> 25 - 30
> 30 - 35
> 35 - 40
> 40 - 45
> 45 - 50
> 50 - 60
> 60 - 70
> 70 - 80
> 80 - 100
> 100
0 0,5 1 2 3 4 km


Kaltluftvolumenstromdichte nach 90 min Simulationszeit
im Stadtgebiet von Plauen
SPITZEN STADT PLAUEN
N
Legende
Stadtgebiet Plauen
Kaltluftvolumenstromdichte in m^3 / m*s
0 - 5
> 5 - 10
> 10 - 15
> 15 - 20
> 20 - 25
> 25 - 30
> 30 - 35
> 35 - 40
> 40 - 45
> 45 - 50
> 50 - 60
> 60 - 70
> 70 - 80
> 80 - 100
> 100
0 0,5 1 2 3 4 km


Kaltluftvolumenstromdichte nach 120 min Simulationszeit
im Stadtgebiet von Plauen
SPITZEN STADT PLAUEN
N
Legende
Stadtgebiet Plauen
Kaltluftvolumenstromdichte in m^3 / m*s
0 - 5
> 5 - 10
> 10 - 15
> 15 - 20
> 20 - 25
> 25 - 30
> 30 - 35
> 35 - 40
> 40 - 45
> 45 - 50
> 50 - 60
> 60 - 70
> 70 - 80
> 80 - 100
> 100
0 0,5 1 2 3 4 km


Kaltluftvolumenstromdichte nach 180 min Simulationszeit
im Stadtgebiet von Plauen
SPITZEN STADT PLAUEN
N
Legende
Stadtgebiet Plauen
Kaltluftvolumenstromdichte in m^3 / m*s
0 - 5
> 5 - 10
> 10 - 15
> 15 - 20
> 20 - 25
> 25 - 30
> 30 - 35
> 35 - 40
> 40 - 45
> 45 - 50
> 50 - 60
> 60 - 70
> 70 - 80
> 80 - 100
> 100
0 0,5 1 2 3 4 km


Kaltluftvolumenstromdichte nach 240 min Simulationszeit
im Stadtgebiet von Plauen
SPITZEN STADT PLAUEN
N
Legende
Stadtgebiet Plauen
Kaltluftvolumenstromdichte in m^3 / m*s
0 - 5
> 5 - 10
> 10 - 15
> 15 - 20
> 20 - 25
> 25 - 30
> 30 - 35
> 35 - 40
> 40 - 45
> 45 - 50
> 50 - 60
> 60 - 70
> 70 - 80
> 80 - 100
> 100
0 0,5 1 2 3 4 km


Kaltluftvolumenstromdichte nach 300 min Simulationszeit
im Stadtgebiet von Plauen
SPITZEN STADT PLAUEN
N
Legende
Stadtgebiet Plauen
Kaltluftvolumenstromdichte in m^3 / m*s
0 - 5
> 5 - 10
> 10 - 15
> 15 - 20
> 20 - 25
> 25 - 30
> 30 - 35
> 35 - 40
> 40 - 45
> 45 - 50
> 50 - 60
> 60 - 70
> 70 - 80
> 80 - 100
> 100
0 0,5 1 2 3 4 km

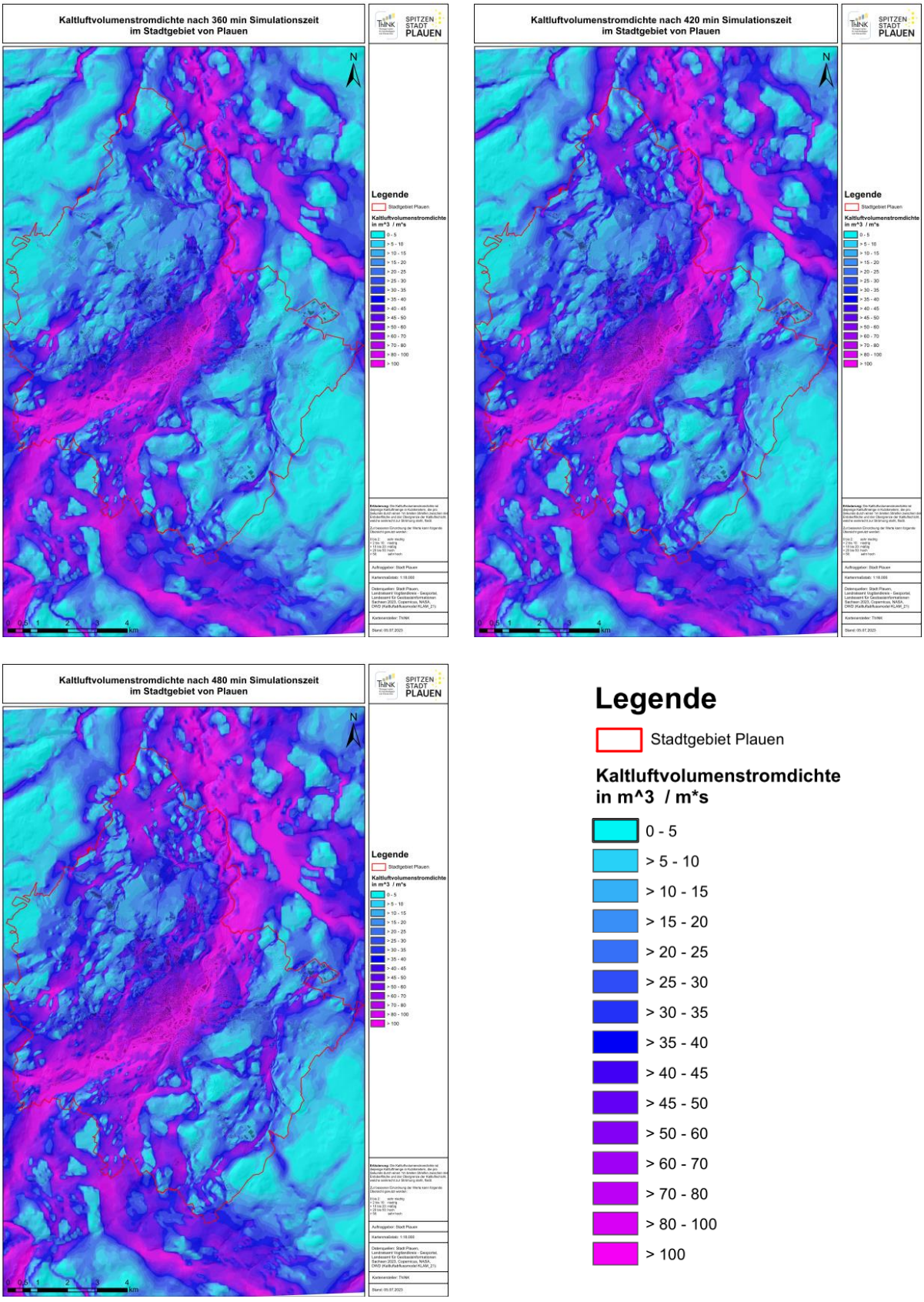


Abbildung 17: Zeitserie der Kaltluftvolumenstromdichte nach Sonnenuntergang. Die Legende ist vergrößert auf der rechten Seite zu sehen.

Grundlage für die Darstellung in der Klimafunktionskarte – Zeitschritt nach 2 Stunden Simulationszeit

Die Klimafunktionskarte allein ist nicht in der Lage, als statische Karte den kompletten nächtlichen Zeitverlauf der Kaltluftdynamik zu erfassen. Da jedoch gerade im Sommer die ersten Nachtstunden entscheidend für eine schnelle Abkühlung überwärmter Bereiche sind, ist die Klimafunktionskarte darauf ausgelegt, im Wesentlichen die „Anfangsphase der Nacht“ abzubilden (Moldenauer et al. 2017, Geißler & Dröscher 2017, VDI 2015).

Vor diesem Hintergrund und auf Basis der Erfahrung aus anderen Städten fiel die Wahl auf den Zeitpunkt von 120 min nach Simulationsbeginn / Sonnenuntergang. Das entspricht im Hochsommer in etwa 23 bis 0 Uhr. Dieser Zeitpunkt bildet damit die Grundlage für alle im Kapitel 2.2.5 vorgestellten Kaltluftmerkmale.

Da zur Kaltluftvolumenstromdichte bereits im vorangegangen Abschnitt Aussagen getätigt wurden, soll sich dieses Unterkapitel auf die Kaltlufthöhe sowie die bodennahe Kaltluftfließgeschwindigkeit konzentrieren.

In fast allen tieferen Lagen des Stadtgebietes treten bereits zwei Stunden nach Sonnenuntergang nennenswerte Kaltluftmächtigkeiten von mehr als 50 m auf. Das heißt, diese Bereiche erfahren eine schnelle und intensive Abkühlung (vgl. dunkelblaue Farben in Abbildung 18). Die bodennahen Fließgeschwindigkeiten (Abbildung 19) sinken entsprechend schnell ab. Im Allgemeinen gilt, dass je höher die Kaltluftschicht ist, desto niedriger ist die Fließgeschwindigkeit in 2 m Höhe darunter, da die unteren Luftschichten „zur Ruhe kommen“ und sich die hohen Geschwindigkeiten in Richtung der Oberkante der Kaltluftschicht verlagern. Dieses Verhalten lässt sich in Plauen sehr gut anhand der Animation zur bodennahen Fließgeschwindigkeit nachvollziehen. So breiteten sich die Bereiche mit sehr geringen Fließgeschwindigkeiten in 2 m Höhe von weniger als 0,1 m/s im Laufe der Nacht proportional zur Zunahme der Kaltlufthöhe immer weiter aus.

In höher gelegenen Stadtteilen wie z. B. dem Umfeld des oberen Bahnhofs beträgt die Kaltlufthöhe hingegen zwei Stunden nach Sonnenuntergang noch weniger als 5 m. Gleichzeitig sind hier die bodennahen Fließgeschwindigkeiten mit etwa 0,3 m/s etwas höher. Entsprechend fließt kalte Luft von dort in tiefere Lagen ab und kann sich erst am Oberen Bahnhof sammeln, wenn die darunter liegenden Bereiche aufgefüllt sind. Die Abkühlung findet also zeitverzögert statt.

In vielen anderen Städten gibt es noch Bereiche mit Kaltluftstau. Dabei handelt es sich um Gebiete (Waldflächen, Wiesen, Acker) mit sehr geringen Hangneigungen. Auf diesen kann die sich bildende Kaltluft nicht bzw. nur sehr langsam abfließen und wächst an Ort und Stelle zunehmend in die Höhe. Aufgrund der topographischen Gegebenheiten ist Kaltluftstau in Plauen jedoch nur in sehr geringem Umfang auf einigen landwirtschaftlichen Flächen vorhanden.

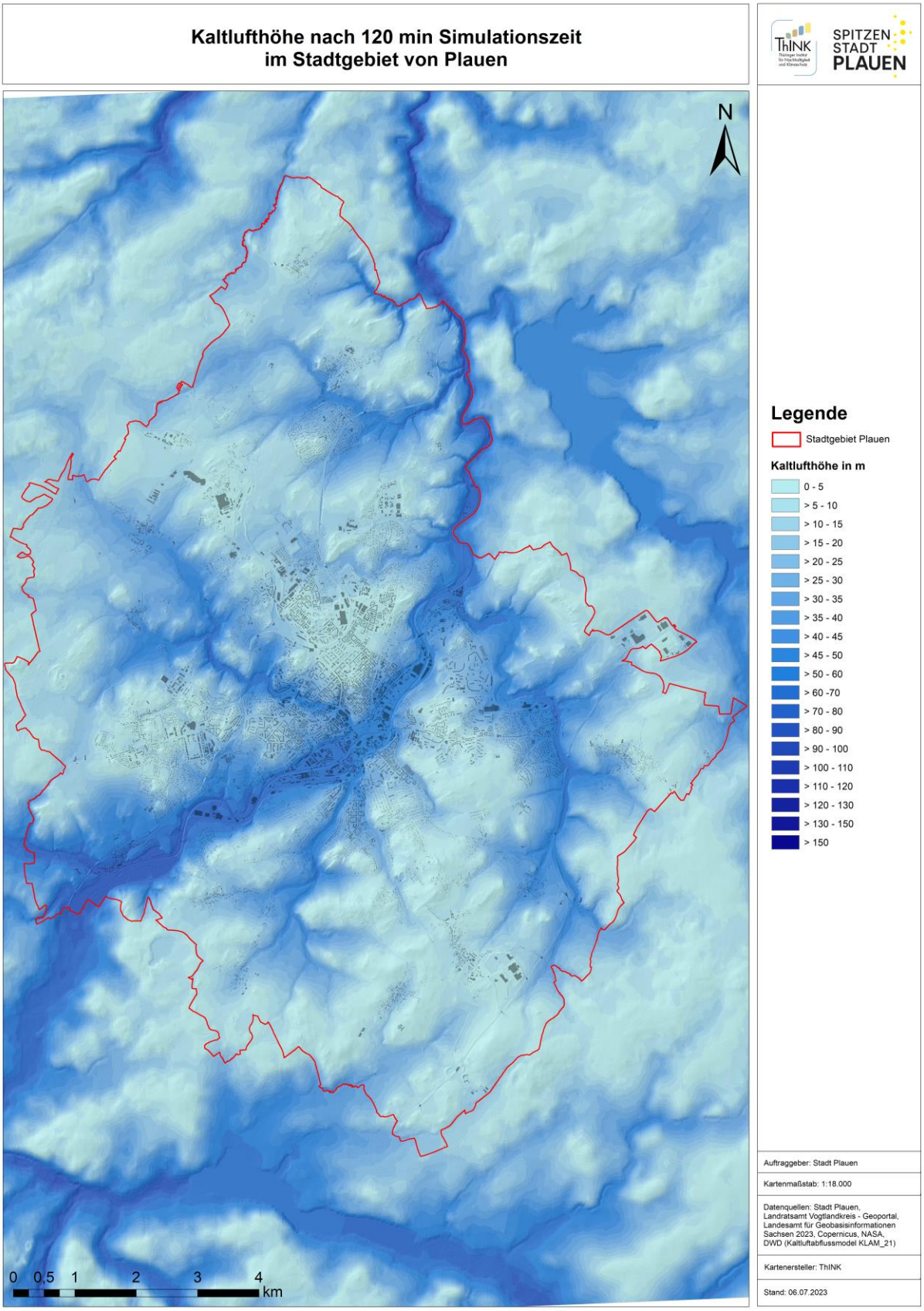


Abbildung 18: Kaltlufthöhe zwei Stunden nach Sonnenuntergang.

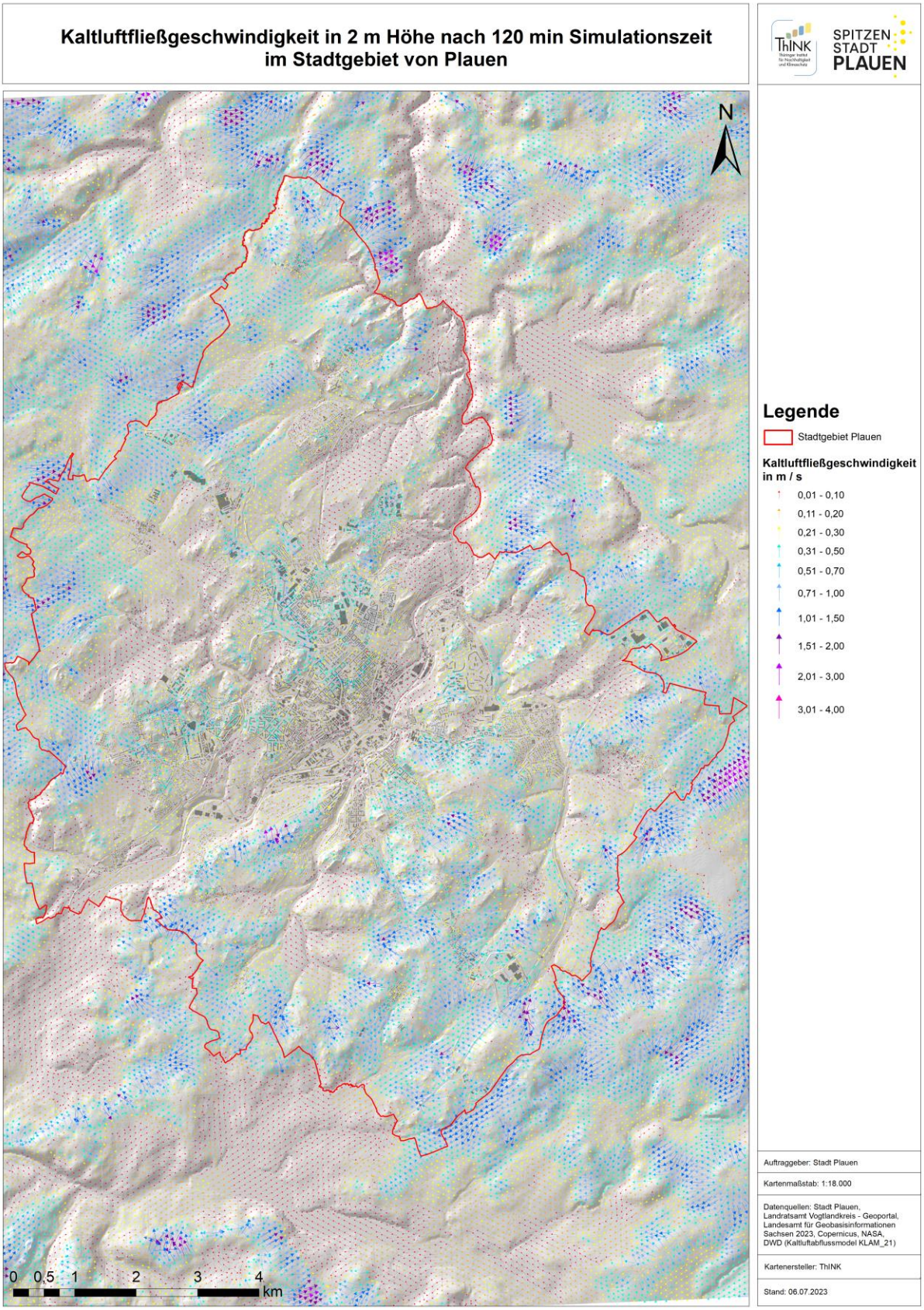


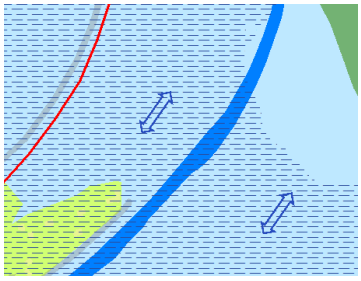
Abbildung 19: Kaltluftfließgeschwindigkeit in 2 m Höhe nach Sonnenuntergang.

2.2.5. In der Klimafunktionskarte dargestellte Kaltluftmerkmale

Die im Kapitel 2.2.4 gezeigten Modellierungsergebnisse wurden als Ausgangsbasis verwendet und im GIS (Geographisches Informationssystem) umfassend aufbereitet, um die VDI-konformen Kaltluftinformationen zu gewinnen. Folgende kaltluftbezogene Informationsebenen wurden abgeleitet und in der Klimafunktionskarte dargestellt (bitte beachten: alle Pfeile sind idealisierte Piktogramme räumlich kontinuierlicher Phänomene, somit ist keine scharfe Grenzziehung möglich).

Weiterhin gilt es zu beachten, dass auch in Bereichen, in denen keine Kaltluft eingezeichnet ist, diese durchaus vorhanden ist, aber eben nicht die für die Darstellung erforderlichen Grenzwerte erfüllt. Die Festlegung von entsprechenden Grenzwerten ist notwendig, um für die Kaltluftversorgung in Plauen besonders relevante Flächen zu identifizieren und damit letztlich eine Differenzierung zu ermöglichen.

Luftleitbahn



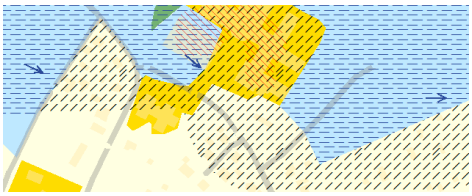
Gemäß Moldenauer et al. (2015) sind Luftleitbahnen bzw. auch Ventilationsbahnen Bereiche, „in denen sich der regionale Windeinfluss, insbesondere bezüglich der Hauptwindrichtung, unbehindert entfalten kann. In Plauen handelt es sich dabei um West / Südwest. Voraussetzung für die Entstehung einer Luftleitbahn sind nach VDI (2015) eine geringe Rauigkeit ohne Hindernisse im gesamten Verlauf, eine möglichst geradlinige oder nur leicht gekrümmte Ausrichtung und eine hinreichend große Breite. Ideal wären mehr als 300 m. Außerdem sollte die Hangneigung sehr gering sein. Diese Bedingungen sind häufig z. B. im Fall von breiten Flussauen, Straßen und Bahngleisen erfüllt.

Wichtig zu beachten ist darüber hinaus, dass Luftleitbahnen sowohl in der Nacht als auch am Tag bestehen. Alle anderen Kaltluftmerkmale beziehen sich hingegen nur auf die Nachtsituation.

Führen Luftleitbahnen entlang von Straßen mit einer täglichen Verkehrsbelastung von mehr als 10.000 Kfz oder queren diese, so gelten sie als potenziell lufthygienisch belastet und werden in roter Farbe dargestellt.

Entsprechend der genannten Kriterien befinden sich große und wichtige Luftleitbahnen im Stadtgebiet von Plauen im Bereich der Weißen Elster sowie der Gleisanlagen des Oberen Bahnhofs. Ihre Lage wurde qualitativ auf Basis des Wissens um die Hauptwindrichtung und der Betrachtung der Geländebeschaffenheit sowie der bodennahen Strömungsrichtung in 2 m Höhe während der ersten vier Nachtstunden ermittelt.

Lokaler Kaltluft(ab)fluss

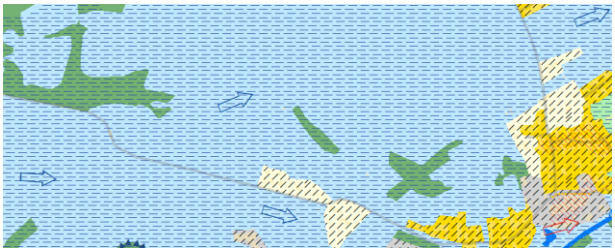


Der nächtliche flächenhafte Kaltluftabfluss (dargestellt durch kleine blaue Pfeile – siehe Abb. links) ist Teil eines thermisch induzierten Windsystems (Hangab- und -aufwind). Nachts fließt die bodennah gebildete Kaltluft am Hang ab, ist also durch die Schwerkraft beeinflusst (VDI 2015). Prinzipiell kann an allen Hängen mit naturnaher Vegetation (Wiese, Wald) oder auf Ackerflächen Kaltluft entstehen und ab einem Gefälle von etwa 1° (Wiese, Ackerland) bzw. 5° (höherer Bewuchs) in Richtung Talsohle abfließen (VDI 2003). Im Planungskontext sind jedoch vor allem die Kaltluftabflüsse relevant, die einen

Siedlungsbezug haben, also von einem Ausgleichsraum (Wald, Wiese, Park) zu einem Wirkungsraum (Siedlungsbereiche) strömen und bioklimatische Entlastung bringen (z. B. in Jößnitz oder Reusa mit Sorga).

Flächenhafte Kaltluftabflüsse bestimmen besonders in der Anfangsphase einer Strahlungsnacht das Kaltluftgeschehen vor Ort. Dementsprechend wurden die bodennahen Kaltluftflüsse (2 m über Grund) für den Zeitschritt 2 h (nach Sonnenuntergang), mit einer Fließgeschwindigkeit von ≥ 0,5 m/s und klarem Siedlungsbezug zur Herleitung verwendet. Verlaufen flächenhafte Kaltluftabflüsse entlang oder im näheren Umfeld verkehrsbelasteter Straßen (Kapitel 2.2.8), so erfolgt eine Darstellung in roter Farbe.

Talwind

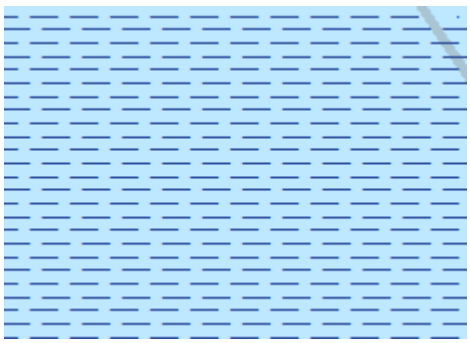


Die an den Talhängen abfließende Kaltluft sammelt sich in der Talsohle und bildet nachts talabwärts gerichtete Kaltluftströme, auch Tal(ab)winde genannt. Diese haben Ausgleichsströmungen am Tage (Bergwinde), die talaufwärts gerichtet sind und bilden zusammen ein Berg- / Talwindsystem (VDI 2015). Talwinde tragen zur Belüftung von (überwärmten) Siedlungsbereichen bei, wenn die Täler auf diese ausgerichtet sind, also Ausgleichsraum mit Wirkungsraum verbinden.

Abgeleitet wurden die Talwinde aus dem Höhenmittel der Kaltluftströme in den Talsohlen (> 0,5 m/s) bei gleichzeitigen Kaltluftvolumenstromdichten von mindestens 10 m^3 / (m*s) nach zwei Stunden Simulationszeit und einem direkten Siedlungsbezug. Talwinde ohne Siedlungsbezug wurden nicht in die Klimafunktionskarte übernommen. Sofern sich verkehrsbelastete Straßen in der Nähe befinden (DTV > 10.000), werden diese in roter Farbe gekennzeichnet.

Markante Talwinde verlaufen vor allem entlang des Tals der Weißen Elster, des Syratals und des Friesenbachtals.

Kaltlufteinzugsgebiet



Kaltlufteinzugsgebiete werden von Flächen gespeist, über denen infolge der nächtlichen Energiebilanz eine stärkere Abkühlung der Luft auftritt und somit Kaltluft entsteht (z. B. Wiesen, Ackerland, Wald, Parks). Über eine vorhandene Geländeneigung wird die Kaltluft hang- bzw. talabwärts aus dem Kaltlufteinzugsgebiet zum Wirkungsraum transportiert (VDI 2015). Im Stadtgebiet von Plauen sind Kaltlufteinzugsgebiete verbreitet in allen Himmelsrichtungen vorhanden.

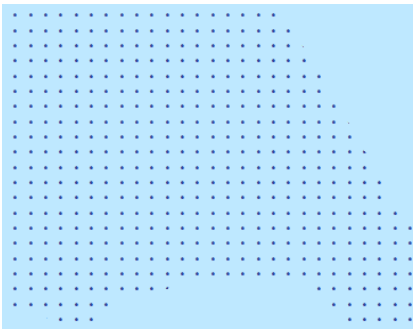
Als Basis für die Ausweisung der Kaltlufteinzugsgebiete dienten vor allem die bodennahen Kaltluftfließgeschwindigkeiten (2 m über Grund) zu Anfang der Nacht (Zeitschritt 2 h nach Sonnenuntergang), die eine Fließgeschwindigkeit von ≥ 0,5 m / s erreichen. Zudem wurde ein direkter Siedlungsbezug berücksichtigt, d. h., die Kaltluftentstehungsgebiete befinden sich nicht weiter als 1 km vom Siedlungsbereich entfernt. Als Siedlungsbereich wurden alle Klimatope außer Freiland, Wald, Kleingarten, innerstädtische

Grünflächen und Wasser definiert. Außerdem muss eine Mindestgröße von 2 ha für die einzelnen Teilflächen vorliegen.

Neben der Kaltluftgeschwindigkeit wurden Kaltlufteinzugsgebiete zusätzlich auch unter Berücksichtigung der Kaltluftvolumenstromdichten ausgewiesen. Dies ist der Fall, wenn nach 2 h Simulationszeit eine Kaltluftvolumenstromdichte von mehr als 10 m^3 / m*s festzustellen ist.

Zusammenfassend lässt sich damit festhalten, dass Kaltlufteinzugsgebiete ausgewiesen werden, wann immer entweder das Kriterium der Fließgeschwindigkeit oder das der Kaltluftvolumenstromdichte zusätzlich zur Mindestgröße und dem Abstand von maximal 1 km zu Siedlungsflächen erfüllt ist.

Kaltluftstau



Ein Kaltluftstau oder Kaltluftsee bildet sich vor Strömungshindernissen, z. B. an Straßen- und Bahndämmen, in natürlichen oder künstlichen Geländesenken, an Übergängen vom Freiland zum Wald oder auch vor Bebauungsriegeln. In Kaltluftstaugebieten stellen sich niedrige Lufttemperaturen im Vergleich zur Umgebung ein und es besteht eine erhöhte Nebelneigung und Nachtfrostgefahr (VDI 2015). Führen vielbefahrene Straßen durch Kaltluftstaugebiete, können sich dort Luftverunreinigungen aus dem Kfz-Verkehr ansammeln und zu hohen Schadstoffbelastungen führen.

Die Ableitung der Kaltluftstaugebiete erfolgte anhand von sechs Kriterien, welche im Folgenden aufgelistet sind, und alle erfüllt sein müssen:

- bodennahe Kaltluftgeschwindigkeit in 2 m Höhe nach 2 Stunden Simulationszeit kleiner als 0,3 m/s
- Hangneigung kleiner als 5 °
- Kaltluftvolumenstromdichte nach 2 Stunden Simulationszeit kleiner als 10 m^3 / m*s
- Kaltlufthöhe nach 8 Stunden Simulationszeit (am Ende der Nacht) größer als 50 m
- Freilandklima, Waldklima, Klima innerstädtischer Grünflächen oder Gewässerklima
- Mindestfläche 2 ha

In Plauen kommt es, wie bereits kurz im Kapitel 2.2.5 angedeutet, aufgrund der vorliegenden topographischen Bedingungen nur sehr vereinzelt und kleinräumig zu Kaltluftstau.

Kaltlufthindernis bzw. Kaltluftbarriere

Quer zur Strömungsrichtung verlaufende Hindernisse für den Kaltluftabfluss (dargestellt durch eine gezackte Linie) können natürlicher (z. B. Waldrand, Geländekante) aber auch menschengemachter Art sein (z. B. Bahndamm, Riegelbebauung, quer stehende Gebäude) (VDI 2015). Vor diesen Hindernissen sammelt sich gerade in der Anfangsphase der Nacht Kaltluft, wenn diese noch nicht so stark ausgeprägt ist. Meist werden diese Kaltlufthindernisse mit steigender Kaltluftschichtdicke nach einiger Zeit überströmt bzw. umströmt, stellen also nur temporäre Hindernisse für den Kaltluftabfluss dar. Wie schnell dies geschieht und wie groß die Hinderniswirkung ausfällt, ist abhängig von der lokalen Kaltluftdynamik und der Größe der Barriere. Hergeleitet wurden die Kaltlufthindernisse aus den Geschwindigkeitsabnahmen der bodennahen Kaltluftströme (2 m über Grund) in der ersten Nachthälfte (Zeitschritte bis zu 4 h nach Sonnenuntergang), wann immer diese im Zusammenhang mit hohen (>10 m) quer zur Strömungsrichtung stehenden Gebäuden, Waldflächen oder der Geländecharakteristik stehen.

In Plauen finden sich Kaltluftbarrieren sowohl in Form von ungünstig stehenden Gebäuden (ein sehr markantes Beispiel hierfür ist das Einkaufszentrum Plauen Park), als auch bei einigen Waldflächen (z. B. westlicher Bereich des Stadtwaldes).

Eindringtiefe der Kaltluft

Obwohl der Übergang von den Freiflächen des unbebauten Umlands zum Siedlungsbereich meist mit einer Verlangsamung der Kaltluftströmung sowie Kaltlufthindernissen und -staus verbunden ist, können die Kaltluftmassen vielerorts in die Bebauung eindringen und eine Abkühlung überwärmter Siedlungsbereiche bewirken. Die Eindringtiefe der Kaltluft hängt im Wesentlichen von der Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft und der Konfiguration der Bebauung ab. Offene bzw. aufgelockerte Bebauungsstrukturen (Kleingärten, Einfamilienhaussiedlungen, etc.) ermöglichen ein weites Eindringen der Kaltluft in den Siedlungskörper, wohingegen abriegelnde, quer zur Strömungsrichtung stehende Bebauung oft ein Strömungshindernis darstellt, welches je nach Hindernishöhe und benachbarter Bebauung ggf. über- oder umströmt werden kann.

Die Ausweisung der Kaltlufteindringtiefe in der Karte basiert auf den bis in den Siedlungsbereich vordringenden bodennahen Kaltluftströmen (2 m über Grund) mit mindestens 0,5 m / s Strömungsgeschwindigkeit zwei Stunden nach Sonnenuntergang. Außerdem muss die Kaltluftvolumenstromdichte zum gleichen Zeitpunkt mindestens 10 m^3 / m*s betragen.

Trotz dieser recht strengen Grenzwerte lässt sich feststellen, dass die Kaltluft aufgrund ihrer hohen Dynamik in zahlreiche vor allem tiefer gelegene Teile der Bebauung in Plauen eindringen kann.

2.2.6. Überwärmung – Wärmebelastungsindex und Verschattungsanalyse

Wärmebelastungsindex – Eingangsdaten

Für die Durchführung der Analyse kommen frei verfügbare amtliche Geobasisdaten sowie ebenfalls frei verfügbare Satellitendaten der Raumfahrtunternehmen NASA (National Aeronautics and Space Administration) und ESA (European Space Agency) zum Einsatz. Von Seiten der NASA werden Landsat-8- bzw. Landsat-9-Daten (beide Satelliten rotieren zeitversetzt im selben Orbit) aus dem Spektrum des Thermalen Infrarots (TIR) zur Ableitung der Landoberflächentemperatur verwendet. In diesem Fall wurden Landsat-8-Daten vom 03.08.2022 mit einer ursprünglichen räumlichen Auflösung von 30 m x 30 m beschafft. Die ESA betreibt ihrerseits das Sentinel-2-Satellitenpaar, dessen Daten dafür geeignet sind, daraus den NDVI mit einer räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m abzuleiten. Hierbei handelt es sich um einen Vegetationsindex, der es ermöglicht, Aussagen zum Vorhandensein und zur Vitalität von Vegetationsflächen am Aufnahmezeitpunkt (hier: 27.06.2022) zu treffen.

Einen weiteren aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten, hier verwendeten Datensatz der ESA bildet der europaweit berechnete Versiegelungsgrad mit Stand 2018 (nächste geplante Aktualisierung ist Ende des Jahres 2024 zu erwarten), ebenfalls mit einer räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m.

Als einziger nicht fernerkundungsbasierter Datensatz werden amtliche 3D-Gebäudedaten für das Untersuchungsgebiet, LoD1 oder LoD2, benötigt. Diese enthalten Informationen über die Gebäudegrundflächen sowie zugehörige Gebäudehöhen und ermöglichen die Ableitung der Gebäudevolumendichte, einem Maß für die Dichte und Höhe der vorliegenden Bebauung bei einer räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m.

Bei den Landsat- und Sentinel-Daten, welche für Landoberflächentemperatur und NDVI herangezogen werden, handelt es sich um „Momentaufnahmen“ der Temperatur und Vegetationsvitalität zu einem spezifischen Aufnahmezeitpunkt. Bei der Auswahl geeigneter Daten sollten Aufnahmetage mit hohen Temperaturen, hoher Sonneneinstrahlung und Trockenheit gewählt werden. Dies liegt zum einen darin begründet, dass für die Erzielung aussagekräftiger Ergebnisse wolkenfreie Satelliten-Szenen verwendet werden müssen. Räumliche Muster bei der Landoberflächentemperatur zeigen sich darüber hinaus am besten bei hohen Tagestemperaturen und für die sommerliche Hitzebelastung aussagekräftige NDVI-Werte in Hinblick auf Trockenstress liegen nur im Sommer, vor allem in und nach Trockenperioden, vor. Als saisonaler Zeitraum, aus dem die verwendeten Landsat- und Sentinel-Daten stammen sollten, wurde deshalb hier der 1. Juni bis 15. September festgesetzt. Bei der Auswahl geeigneter Aufnahmen für die Landoberflächentemperatur sollte zusätzlich die Lufttemperatur am jeweiligen Tag herangezogen werden. Hitzetage (mit $T_{max} \geq 30$ °C) oder zumindest annähernd hohe Temperaturen sind am besten geeignet, um die räumliche Heterogenität im Untersuchungsgebiet der Stadt Plauen abzubilden.

Wärmebelastungsindex – Methodik und Ergebnis

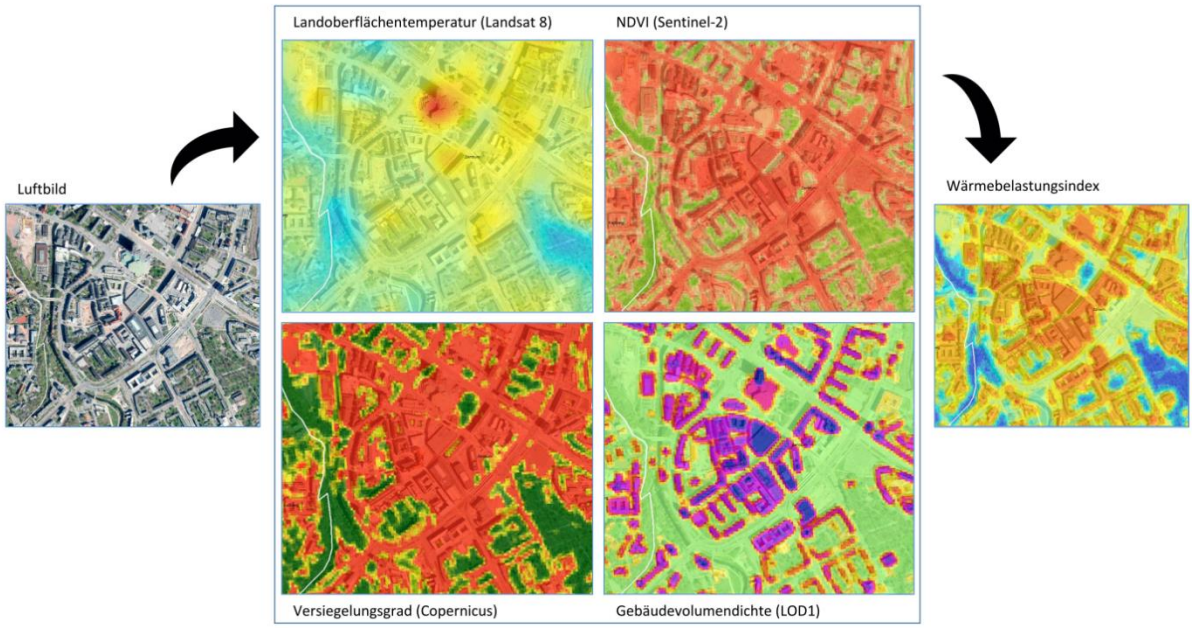


Abbildung 20: Schematische Darstellung des Wärmebelastungsindex und dessen Eingangsdaten am Beispiel der Innenstadt von Chemnitz.

Der Wärmebelastungsindex für das Stadtgebiet von Plauen wurde anhand eines GIS-basierten Indikatorenansatzes (vgl. Abbildung 20) aus den in im vorangegangenen Abschnitt genannten Eingangsdatensätzen berechnet. Für die vier Eingangsindikatoren sowie den resultierenden Wärmebelastungsindex wurden hochaufgelöste Karten erstellt, welche bei der Stadtverwaltung angefragt werden können.

Aus den oben genannten Rohdaten werden zunächst die benötigten vier Eingangsindikatoren Landoberflächentemperatur in Grad Celsius, NDVI (ohne Einheit) sowie die Gebäudevolumendichte in m^3 / m^2 berechnet. Der Versiegelungsgrad der Landoberfläche in Prozent liegt bereits in geeigneter Form vor. Anschließend erfolgt die Angleichung der Auflösung der Landoberflächentemperatur auf die der drei anderen Indikatoren. Hierfür wird eine Umrechnung von 30 m x 30 m auf 10 m x 10 m mittels kubischem Resampling durchgeführt. Dies dient rein technisch dem Erhalt der 10 m x 10 m Auflösung im Endprodukt und ändert nichts an der inhaltlichen Aussagekraft der Daten.

Da die vier Eingangsindikatoren unterschiedliche Wertebereiche besitzen, ist auch hier ein Angleich erforderlich. Dabei wurde eine dekadische Logarithmierung mit anschließender statistischer Normierung auf einen Wertebereich von +1 (geringste Betroffenheit) bis +2 (höchste Betroffenheit) gewählt. Dieser Wertebereich wurde den rein mathematisch gleichwertigen Grenzen von 0 bis +1 bewusst vorgezogen, um Fehlinterpretationen des Wertes 0 im Ergebnis zu vermeiden.

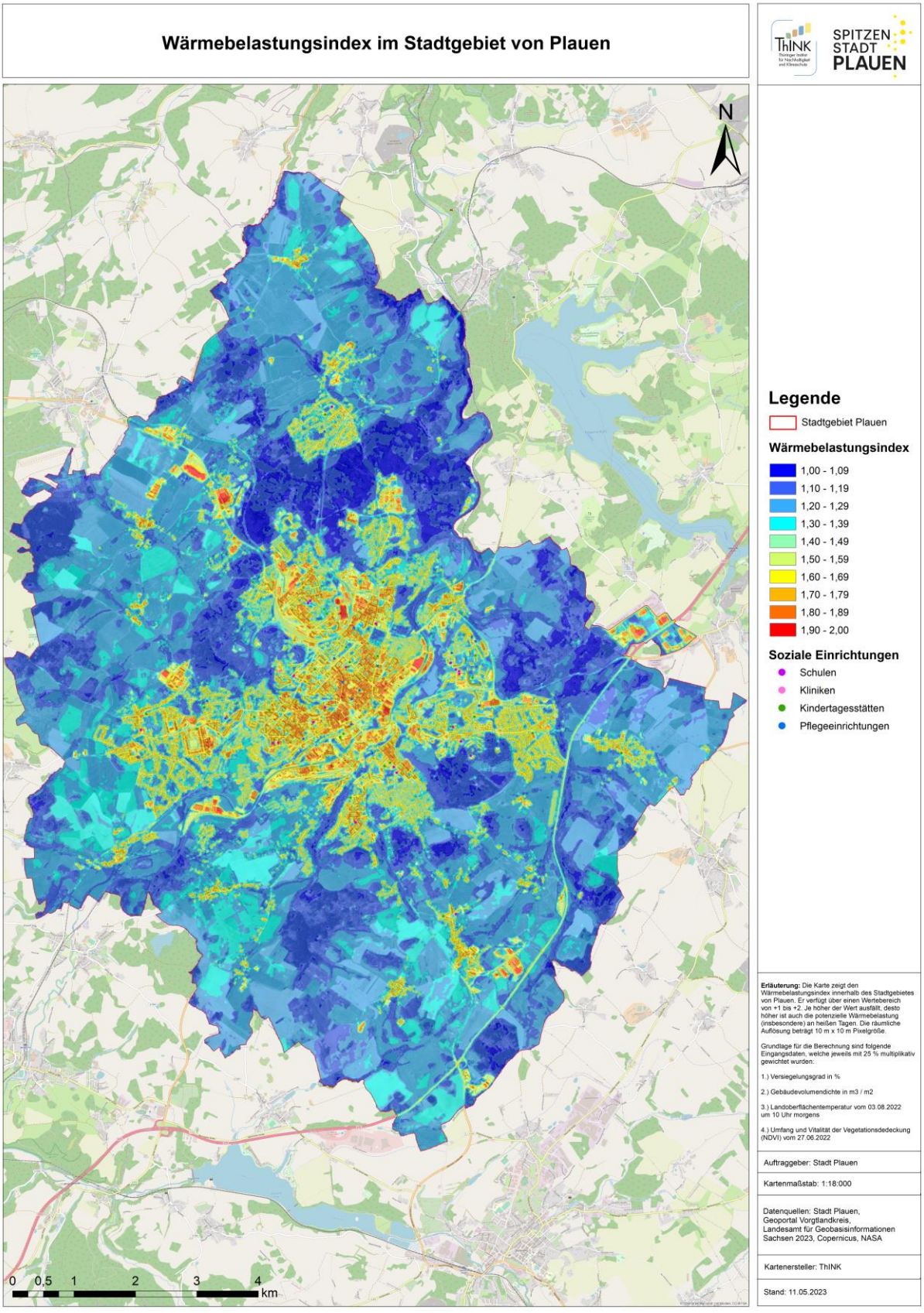


Abbildung 21: Wärmebelastungsindex im Stadtgebiet von Plauen.

Zur Vergleichbarkeit der Eingangsdaten und in Vorbereitung auf die Logarithmierung wurden zuerst, wo nötig, Wertebereiche der Eingangsindikatoren invertiert und Null- sowie negative Werte auf inhaltlich sinnvolle Grenzwerte gesetzt.

Nachdem die vier Eingangsdatensätze in normierter Form vorliegen, werden diese jeweils mit 25 % Gewichtung multiplikativ miteinander verrechnet (geometrisches Mittel). Die multiplikative Variante hat gegenüber dem arithmetischen Mittel den Vorteil, dass besonders hohe und niedrige Wärmebelastungswerte nur dann auftreten können, wenn alle Eingangsdaten am jeweiligen Ort eine sehr hohe bzw. niedrige Betroffenheit anzeigen.

In der Klimafunktionskarte sind Bereiche mit „mäßiger Überwärmung“ sowie mit „hoher Überwärmung“ gekennzeichnet. Hierfür wurden als Grenzwerte beim Wärmebelastungsindex größer als 1,70 bzw. 1,85 angesetzt. Die höchsten Wärmebelastungswerte befinden sich in der Altstadt und in Gewerbegebieten. Um die Bedeutung vulnerabler Personengruppen deutlich zu machen, sind in der Wärmebelastungskarte auch die Standorte verschiedener sozialer Einrichtungen dargestellt.

Für das Verständnis und die Interpretation ist stets zu beachten, dass es sich beim Wärmebelastungsindex (Abbildung 21) um ein relatives Betroffenheitsmaß innerhalb eines definierten Untersuchungsgebietes handelt – hier das Stadtgebiet von Plauen. Die räumliche Verteilung der einzelnen Wertebereichsklassen variiert entsprechend je nach deren Charakteristik (Grünflächenverteilung, Vorhandensein von Gewässern, Vorhandensein von stark versiegelten Gewerbegebieten, Struktur der Wohnbebauung, Anordnung der Gebäude, etc.). Weiterhin kann der Wärmebelastungsindex als Beitrag der entsprechenden Flächen zum städtischen Wärmeinseleffekt verstanden werden. Je höher die Werte, desto stärker ist die Aufheizung tagsüber und desto stärker ist wiederum die nächtliche Wärmeabgabe.

Der Wärmebelastungsindex kann für die Stadt Plauen eine wichtige Datengrundlage sein, um einen belastbaren Überblick über die aktuelle Situation im Hinblick auf städtische Überwärmung und lokale Hitzeinseln zu erhalten und auf Basis dessen Maßnahmen zur Klimaanpassung zu ergreifen bzw. diese bei künftigen Bauvorhaben von Vorherein in den Bebauungsplänen festzusetzen.

Verschattungsanalyse

Unter Verwendung des Digitalen Oberflächenmodells (DOM1) mit einer räumlichen Auflösung von 1 m x 1 m ist es mit Hilfe der Software ArcGIS möglich, ergänzend zum Wärmebelastungsindex eine sehr detaillierte Verschattungsanalyse durchzuführen (Kartenausschnitt in Abbildung 22). Hierfür wird für das Sommerhalbjahr von April bis September berechnet, wie viel Sonneneinstrahlung für jede Rasterzelle zu erwarten ist. Blaue Farben stehen dabei für tagesüber praktisch permanent verschattete Bereiche, während rote Farben auf eine weitgehend dauerhafte Sonneneinstrahlung hinweisen.

Die sehr hohe räumliche Auflösung ermöglicht nun – im Gegensatz zu den Satellitendaten – auch Aussagen hinsichtlich der Wirkung von einzelnen Bäumen. Weiterhin werden sehr anschaulich auch Unterschiede zwischen Nord- und Südfassaden sichtbar.

So zeigt die Analyse, dass vor allem Südfassaden und Dachflächen erheblicher Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind und sich entsprechend aufheizen können. Aber auch belebte öffentliche Bereiche, wie z. B. der Marktplatz oder der Fußweg vom Bahnhof Plauen Mitte in Richtung Innenstadt erhalten überdurchschnittlich viel Sonneneinstrahlung. Dort, wo sich viele Bäume befinden (z. B. in Parks), ist die

Sonneneinstrahlung wesentlich geringer und damit die Aufenthaltsqualität an heißen Tagen entsprechend höher. Selbst der schattenspendende Effekt einzelner Bäume ist sichtbar.

Die Verschattungsanalyse soll der Stadt Plauen dabei helfen, zielgerichtete Maßnahmen zur Verschattung in besonders überwärmten Bereichen, vor allem dort, wo sich viele (vulnerable) Personen aufhalten, zu ergreifen. Die Karte kann beispielsweise genutzt werden, um verschattete Schulwege zu planen, oder Bereiche zu identifizieren, an denen besonders dringend Maßnahmen zur Verschattung ergriffen werden sollten. Wir empfehlen, diese Karte bei der Maßnahmenplanung gemeinsam mit dem Wärmebelastungsindex zu verwenden.

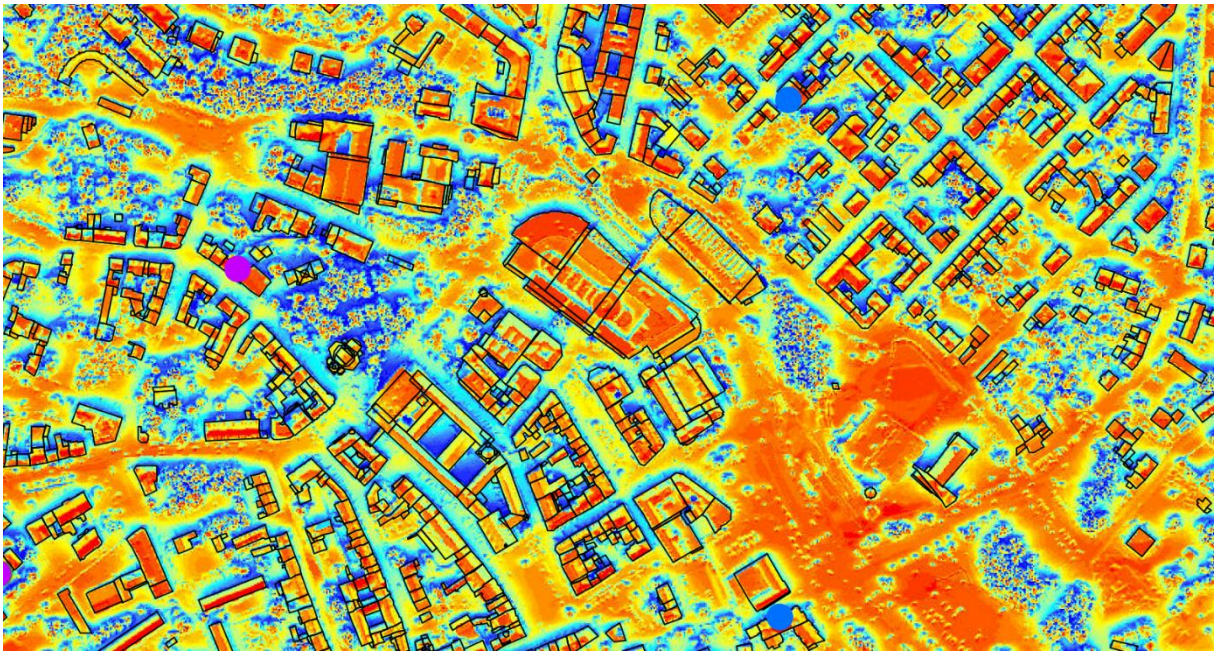


Abbildung 22: Ausschnitt der Karte zur Verschattungsanalyse. Rote Farben stehen für sehr viel Sonneneinstrahlung und blaue Farben für eine geringe Sonneneinstrahlung im Sommerhalbjahr von April bis September. Die schwarzen Linien stellen Gebäudeumrisse dar, lilafarbene Punkte Schulen.

2.2.7. Verkehrsbelastung

Als Maß für die Verkehrsbelastung empfiehlt sich die sogenannte DTV (Digitale Tägliche Verkehrsstärke). Sie gibt an, wie viele Fahrzeuge an einem typischen Tag auf bestimmten Straßen unterwegs sind.

Gemäß der VDI (2015, S.14) kann die DTV als „indirektes Maß für die Emissionen durch den Kfz-Verkehr herangezogen werden." Für die Darstellung in der Klimafunktionskarte empfiehlt die VDI (2015) eine Zuweisung der einzelnen Straßen in drei Stufen. Die erste bildet Straßen mit „mäßiger" Verkehrsbelastung, welche einen DTV-Wert zwischen 10.000 und 30.000 besitzen. Es folgt die Kategorie der „hohen" Verkehrsbelastung, in die alle Straßen mit einem DTV-Wert zwischen 30.000 und 50.000 fallen. Sofern der DTV-Wert mehr als 50.000 beträgt, erfolgt die Ausweisung als Straße mit „sehr hoher" Verkehrsbelastung. Je höher die Kategorie einer Straße bzw. eines Straßenabschnitts ausfällt, desto stärker ist auch die Belastung mit Luftschadstoffen in angrenzenden Bereichen. Dies ist besonders proble-

matisch, wenn entsprechende Straßen von Wohnbebauung umgeben sind oder sich dort viele Fußgänger bewegen. Von stark belasteten Straßen aus können außerdem je nach Windrichtung Luftschadstoffe in Wohngebiete transportiert werden.

Die Stadt Plauen hat zur Darstellung der DTV Karten aus dem Verkehrsentwicklungsplan (Beispiel in Abbildung 23) zur Verfügung gestellt. Abgesehen von der A72 deckt diese alle wesentlichen Hauptverkehrsachsen in Plauen ab. Aus den Daten wird ersichtlich, dass Werte über 30.000 in Plauen (ohne A72) nicht vorkommen.

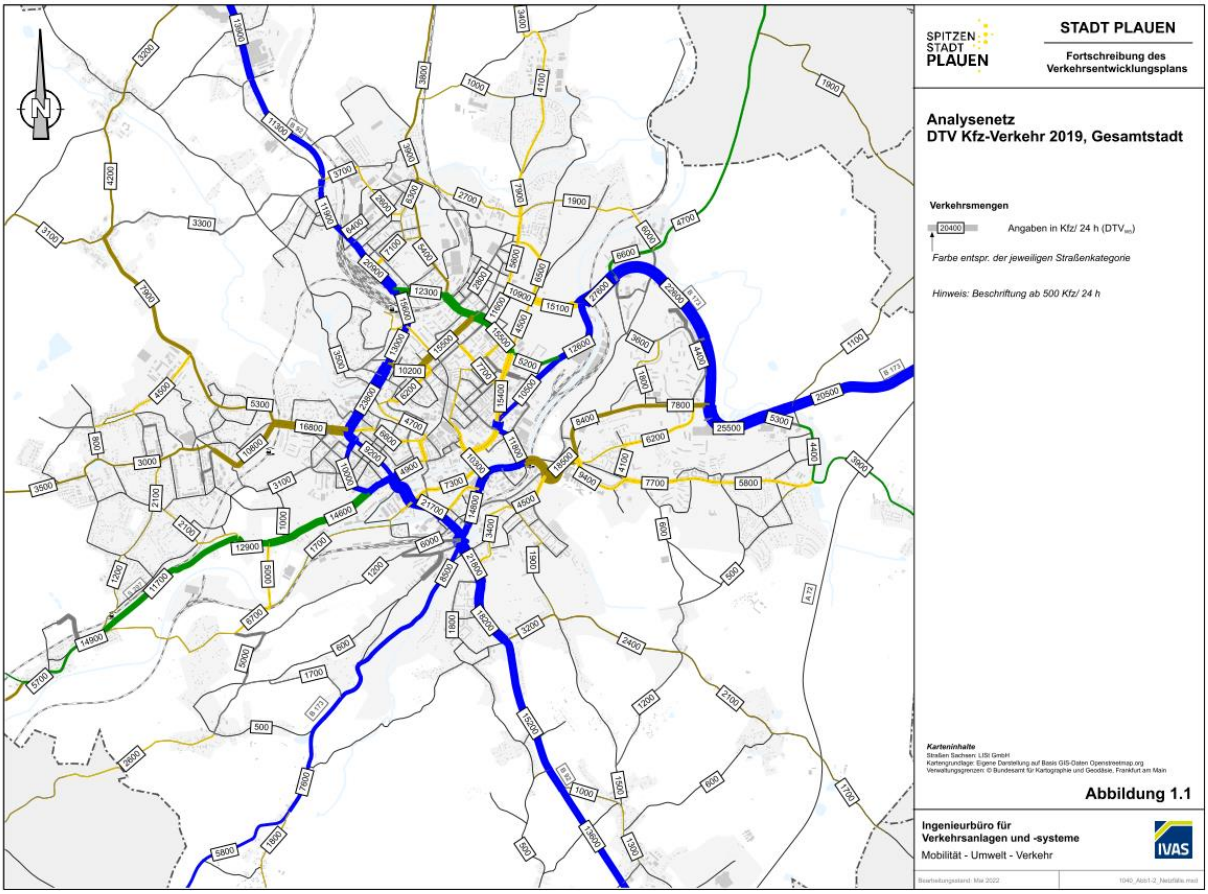


Abbildung 23: Von der Stadt Plauen zur Verfügung gestellte DTV-Übersicht aus dem Verkehrsentwicklungsplan.

2.2.8. Anlagen nach Bundes-Immissionsschutzverordnung

Die VDI (2015) sieht vor, Gewerbegebiete oder einzelne Fabriken bzw. Kraftwerke mit erhöhten Emissionen auszuweisen. Hierfür wurde durch die Stadt Plauen ein Datensatz mit insgesamt zwei Anlagen, die nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz genehmigungspflichtig sind, zur Verfügung gestellt (Heizkraftwerke Plauen-Hammerstraße und Plauen-Seehaus). Diese wurden mit einem Industriesymbol in der Klimafunktionskarte visualisiert.

2.2.9. Darstellung und Auswertung der Klimafunktionskarte

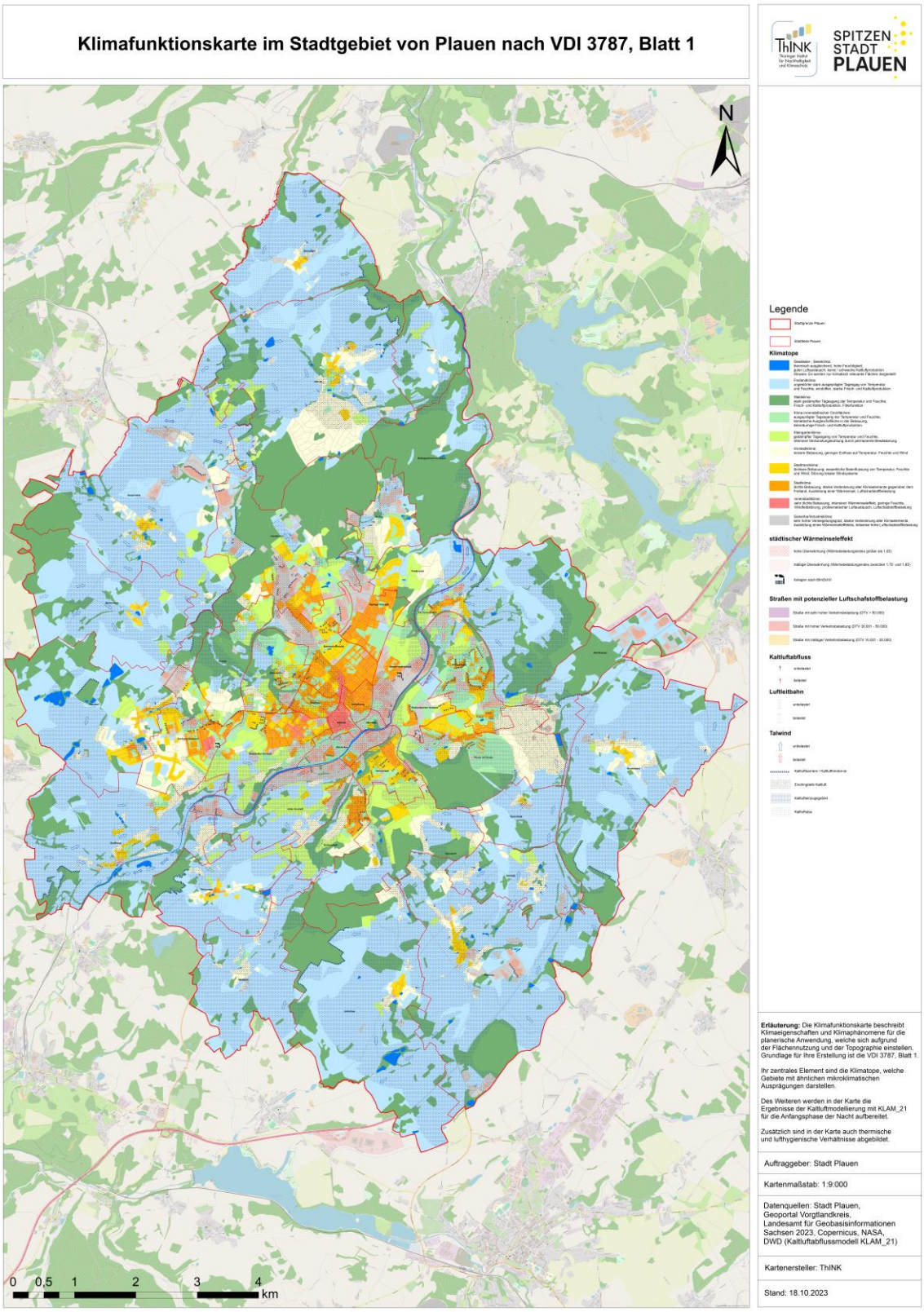


Abbildung 24: Klimafunktionskarte im Stadtgebiet von Plauen (Originalmaßstab 1:9.000).

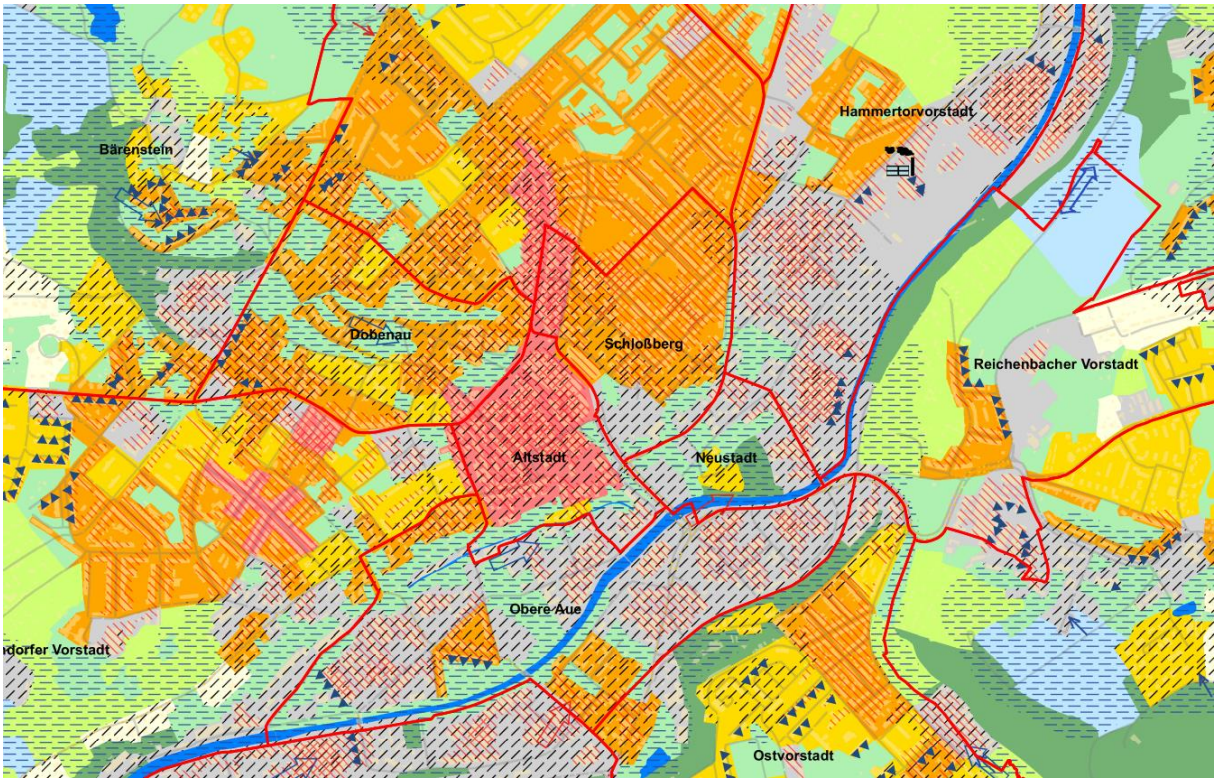


Abbildung 25: Ausschnitt der Klimafunktionskarte aus dem Stadtzentrum im Originalmaßstab von 1:9.000.

Beim Betrachten der Klimafunktionskarte (Abbildung 24, Ausschnitt in Abbildung 25) wird ersichtlich, dass sich die dichteste Bebauung in Plauen im Wesentlichen auf die Innenstadt inkl. der daran angrenzenden Stadtteile und die größeren Gewerbegebiete konzentriert. Dort ist auch verbreitet eine hohe Wärmebelastung auszumachen. Markante und klimatisch sehr bedeutsame innerstädtische Grünflächen sind u. a. der innenstadtnahe Lutherpark, der Hauptfriedhof oder der Stadtpark. Auch die zahlreichen Kleingartenanlagen sind lokalklimatisch als sehr positiv zu bewerten.

Eine wichtige Verwendung der Klimafunktionskarte (gemeinsam mit der Planungshinweiskarte) ist deren Anwendung bei der klimatischen Bewertung des Ist-Zustandes von Flächen für zukünftige Bauvorhaben. Im Folgenden wird zunächst auf allgemeiner Ebene beschrieben, wie dies erfolgen kann.

Am wichtigsten ist die Prüfung, welche der in der Klimafunktionskarte dargestellten klimabedeutsamen Merkmale im Zielgebiet vorliegen. In der Regel gilt: je mehr klimaausgleichende oder klimabedeutsame Funktionen betroffen sind, desto bedeutender sind die negativen lokalklimatischen Auswirkungen eines geplanten Bauvorhabens. Verläuft z. B. auf einem Feld, das gleichzeitig auch Kaltluftentstehungsgebiet ist, eine Luftleitbahn oder ein Talwind, so sind die Auswirkungen (in Abhängigkeit der gewählten Bebauung und ggf. sogar auf benachbarte Stadtteile) größer, als wenn keines der beiden Merkmale vorhanden wäre. Zudem sind weitere zusätzliche Bauvorhaben in ohnehin schon mäßig bis stark überwärmten Bereichen kritischer als an Orten, wo (noch) keine erhöhte Wärmebelastung vorliegt. Weiterhin sind je nach konkretem Standort u. a. folgende Aspekte zu beachten:

- ggf. neu entstehende Barrierewirkung durch große oder quer zu Luftleitbahnen oder Talwinden stehende Gebäude
- Verringerung der Menge an eindringender Kaltluft in vorhandene Siedlungsbereiche
- Abschwächung, Ablenkung oder sogar vollständiges Erliegen von Luftleitbahnen und Kaltluftströmen
- Ausbildung oder Verstärkung von Wärmeinseln, wo bislang keine oder nur schwache vorhanden sind

Die tatsächlichen klimaökologischen Auswirkungen von geplanten Bauvorhaben sind hochgradig von individuellen Parametern wie der geplanten Baudichte, Gebäudestellung, dem Wasserrückhaltevermögen, der Oberflächenalbedo, der Grünausstattung und den aktuellen lokalklimatischen Gegebenheiten abhängig. Zusammen mit der Planungshinweiskarte, kann die Klimafunktionskarte ein wichtiges Hilfsmittel bei der Bewertung geplanter Bauvorhaben und weiterer Maßnahmen der Stadtentwicklung sein.

2.2.10. Planungshinweiskarte - Einführung

Die Planungshinweiskarte basiert auf der bereits vorgestellten Klimafunktionskarte und „soll unter Klima- und Lufthygienegesichtspunkten die für eine möglichst optimale Raumgliederung relevanten Bereiche und Planungsaufgaben hervorheben“ (VDI 2015, S.39). Die Ausweisung der Flächen in der Planungshinweiskarte erfolgt im Allgemeinen in drei Stufen für Grün- und Freiflächen (Ausgleichsräume) und vier Stufen für Siedlungsflächen (bebaute Gebiete), die im Folgenden beschrieben werden. Die Ausführungen basieren auf der VDI (2015) sowie teilweise auch auf Geißler & Dröscher (2017), Moldenauer et al. (2017) und eigenen Referenzen.

Ausgleichsraum hoher Bedeutung

Die so gekennzeichneten Flächen gelten als besonders schützenswert, da es sich in aller Regel um siedlungsrelevante, klimaaktive Wald– und Freiflächen, innerstädtische Grünflächen oder Kleingartenanlagen handelt, die maßgeblich zur Verbesserung der lokalklimatischen Verhältnisse beitragen. Entsprechend herrscht eine hohe Sensibilität gegenüber Nutzungsänderungen. Bei etwaiger Bebauung sollte unbedingt auf den Erhalt der klimatischen Wirksamkeit auf angrenzende Siedlungsbereiche und die klimaökologische Funktion geachtet werden. Mit 52 km² fallen etwas mehr als 50 % des Stadtgebietes von Plauen in diese Planungshinweisklasse. Der Hauptgrund hierfür ist in der topographisch bedingt günstigen Lage von Plauen in Hinblick auf die nächtliche Kaltluftversorgung zu finden.

Ausgleichsraum mittlerer Bedeutung

Die nächstniedrigere Planungshinweisklasse stellen Ausgleichsräume mittlerer Bedeutung dar. Bei diesen Flächen kann es sich auch um Kaltlufteinzugsgebiete handeln. Allerdings fließt die dort entstehende Kaltluft nicht direkt bzw. nur sehr begrenzt in bebaute Gebiete, oder ist sehr langsam, wodurch die Bevölkerung kaum von ihr profitieren kann. Vor diesem Hintergrund sind die Auswirkungen durch Nutzungsänderungen auf die Bevölkerung eher gering, sofern die geplanten Eingriffe maßvoll sind und den Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigen. Die Ausgleichsräume mittlerer Bedeutung befinden sich in Plauen abseits der wichtigen Kaltluftbahnen und machen mit 30,7 km² etwa 30 % der Fläche des Stadtgebietes aus.

Ausgleichsraum niedriger Bedeutung (in Plauen nicht ausgewiesen)

Gemäß der VDI existiert noch die dritte Klasse der Ausgleichsräume niedriger Bedeutung. Dabei handelt es sich um Grün- und Freiflächen die keine klimatische Relevanz für Siedlungen aufweisen und zudem weitgehend unbedeutend für die Kalt- und Frischluftproduktion sind. Nach eingehender Prüfung der geographischen und klimatischen Situation im Stadtgebiet von Plauen konnte festgestellt werden, dass solche Flächen im Untersuchungsgebiet nicht vorliegen.

Bebautes Gebiet mit geringer klimatisch-lufthygienischer Belastung und Funktion

Hierbei handelt es sich um locker bebaute und gut durchlüftete Bereiche, in denen bislang keine erhöhte Wärmebelastung vorliegt. Somit ist die Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung und Bebauungsverdichtung als sehr gering bis gering einzustufen, sofern diese die ortsüblichen Gegebenheiten nicht überschreitet. Üblicherweise fallen dörflich geprägte Siedlungen wie z. B. der südliche Teil von Jößnitz in diese Kategorie.

Bebautes Gebiet mit klimarelevanter Funktion

Bebaute Gebiete mit klimarelevanter Funktion sind etwas dichter bebaute Bereiche, die eine klimarelevante Funktion übernehmen und eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung und Bebauungsverdichtung besitzen, jedoch noch keine erhöhte Wärmebelastung aufweisen. Zu dieser Kategorie gehören im Allgemeinen dichter bebaute Dorfkerne, randlich gelegene Stadtbereiche oder schnell von Kaltluft beeinflusste Dörfer wie z. B. der nördliche Teil von Jößnitz.

Bebautes Gebiet mit bedeutender klimarelevanter Funktion

Städtische Bereiche können aus unterschiedlichen Gründen in diese Klasse eingestuft werden (vgl. Abbildung 26). Ein Grund ergibt sich aus dichter und / oder hoher Bebauung, die keine erhöhte Wärmebelastung aufweist. Darüber hinaus fallen auch Bereiche des Stadtrandklimas mit erhöhter Wärmebelastung und / oder eindringender Kaltluft in diese Klasse. Unabhängig von der Ursache besteht in allen Fällen i.d.R. eine erhebliche klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung. Es werden Maßnahmen zur Verbesserung der lokalklimatischen Situation vor Ort empfohlen. Dies gilt in dem Umfang nicht für Bereiche, wo eindringende Kaltluft die Ursache für die Klassenzuweisung ist. Dort ist hingegen der zukünftige Erhalt dieser klimatisch günstigen Verhältnisse nach Möglichkeit zu gewährleisten. Insbesondere diese Klasse ist ein wichtiger Grund, weshalb die Planungshinweiskarte in Detailfragen immer gemeinsam mit der Klimafunktionskarte betrachtet werden sollte.

Bebaute Gebiete mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen

Letztlich weist die VDI (2015, S.46) „bebaute Gebiete mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen“ als Planungshinweisklasse aus. Dazu gehören stark verdichtete oder überwärmte städtische Bereiche, in denen eine maßgebliche Behinderung des Luftaustausches vorliegt. Die VDI (2015, S.46) spricht von „aus stadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftigen Bereichen“. Maßnahmen zur Verbesserung der lokalklimatischen Situation vor Ort haben hier höchste Priorität. Unter anderem weite Teile der Altstadt sowie des Stadtteils Schlossberg fallen in diese Planungshinweisklasse.

Wie die einzelnen Planungshinweise aus der Klimafunktionskarte abgeleitet wurden, wird im folgenden Kapitel aufgezeigt.

2.2.11. Planungshinweiskarte - Methodische Herleitung

Planungshinweise → / Klimatope ↓	Ausgleichsraum hoher Bedeutung	Ausgleichsraum mittlerer Bedeutung	bebaute Gebiete mit geringer Belastung und/oder klima-relevanter Funktion	bebaute Gebiete mit mittlerer Belastung und/oder klimarelevanter Funktion	bebaute Gebiete mit hoher klimarelevanter Funktion und Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung	bebaute Gebiete mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen
Freilandklima	Kaltlufteinzugs-gebiet, Siedlungsnähe	Übernahme				
Waldklima	Kaltlufteinzugs-gebiet, Siedlungsnähe	Übernahme				
Gewässer– und Seenklima	keine Zuweisung					
Klima inner-städtischer Grünflächen	Übernahme					
Kleingartenklima	Übernahme					
Vorstadtklima			Übernahme	eindringende Kaltluft oder mit Überwärmung		
Stadtrandklima				Übernahme	eindringende Kaltluft oder mit Überwärmung	
Stadtklima					Übernahme	mit Überwärmung
Innenstadtklima						Übernahme
Gewerbe/ Industrieklima				Übernahme	eindringende Kaltluft	mit Überwärmung

Abbildung 26: Übersetzungsmatrix zur Umwandlung der Klimafunktionskarte in die Planungshinweiskarte.

Für die Übersetzung der Klimafunktionskarte in die Planungshinweiskarte (beide jeweils im Maßstab 1:9.000) wurde eigenständig eine Matrix vor dem Hintergrund lokalklimatischer- und lufthygienischer Gesichtspunkte entwickelt (Abbildung 26), die auf Basis der VDI (2015), Geißler & Dröscher (2017), Moldenauer et al. (2017) sowie eigenen Referenzen beruht, da für diesen Vorgang kein allgemeingültiges Schema existiert.

Abbildung 26 zeigt in der linken Spalte die vorhandenen Klimatope und in der oberen Zeile die Planungshinweise. Alle Felder in denen „Übernahme“ angegeben ist, wurden eins zu eins aus der Klimafunktionskarte übernommen und mit dem jeweiligen Planungshinweis versehen. Da für Wasserflächen gemäß VDI (2015) in der Planungshinweiskarte keine Eingruppierung in die bestehenden Klassen vorgesehen ist, werden diese ebenfalls direkt übernommen und separat dargestellt.

Sofern in einem Bereich gemäß der Klimafunktionskarte spezifische Merkmale in Bezug auf Kaltluft und / oder Überwärmung (siehe Kapitel 2.2.5 und 2.2.6) vorliegen, werden entsprechend betroffene Flächen über die Standardzuweisung hinaus mit einem angepassten Planungshinweis versehen. Im Fall von Wald- und Freiflächen werden diese immer dann als Ausgleichsraum hoher Bedeutung angesehen, wenn es sich nachweislich um ein siedlungsrelevantes Kaltluftentstehungsgebiet handelt (maximale Distanz 1 km). Flächen, die dem Vorstadt- oder dem Stadtrandklima zugeordnet sind, erhalten bei eindringender Kaltluft oder wenn eine erhöhte Überwärmung festgestellt wurde, eine Zuweisung in die nächsthöhere Planungshinweisklasse, da dann eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber zukünftiger Nutzungsintensivierung gegeben ist.

Im Bereich des Stadtklimas erfolgt eine Hochstufung in die höchste Planungshinweisklasse, sobald eine mäßige oder hohe Überwärmung auszumachen ist. Das Innenstadtklima wird aufgrund seiner Charakteristiken pauschal in die höchste Planungshinweisklasse überführt.

Differenzierter ist die Lage bei Gewerbe- und Industriegebieten. Hier erfolgt eine Erhöhung der Planungshinweisklasse in Abhängigkeit von der Tatsache, ob Kaltluftmerkmale oder eine Überwärmung vorliegen. Hierbei ist bei einer mäßigen oder hohen Überwärmung ein erhöhter Handlungsbedarf auszuweisen. Wenn keine Überwärmung vorliegt, aber Kaltlufteinflüsse vorhanden sind, so erfolgt die Einteilung in die zweithöchste Planungshinweisklasse.

Nach der vollständig automatisierten Anwendung der Übersetzungsmatrix, erfolgte nachträglich noch eine manuelle Überprüfung auf Plausibilität. Im Zuge derer wurden einige manuelle, gutachterlich abgeleitete Anpassungen bei der Ausweisung der Planungshinweise vorgenommen.

Speziell aufgrund der – methodisch bedingt – teils kleinteiligen Strukturen wurden nach der Übersetzung zahlreiche Flächen (außer Wasser und Ausgleichsräume hoher Bedeutung) generalisiert und dem umliegenden Planungshinweis zugeordnet, mit welchem die längste gemeinsame Grenze besteht. Der Hauptgrund der vorgenommenen Generalisierung war, wie schon bei der Klimafunktionskarte, dass sonst eine Vielzahl von Kleinstflächen individuelle Planungshinweise erhalten hätten, was für die weitere Planung nicht zielführend, sondern eher verwirrend gewesen wäre.

2.2.12. Darstellung und Auswertung der Planungshinweiskarte

Beim Betrachten der Planungshinweiskarte (Abbildung 28, vergrößerter Ausschnitt in Abbildung 27) fällt auf, dass in Plauen eine Vielzahl an Grün- und Freiflächen als Ausgleichsräume hoher Bedeutung dargestellt sind. Dies bedeutet, dass, wie ausführlich im Kapitel 2.2.4 erläutert, aufgrund der Mittelgebirgslage großflächig günstige Voraussetzungen für die Kaltluftentstehung und Kaltluftflüsse vorliegen.

Besonders positiv und bedeutsam sind lokalklimatische Ausgleichsräume, wenn diese sich im Umfeld der höchsten Planungshinweisklassen für Siedlungsgebiete befinden. Nördlich der Altstadt gibt es hierfür ein gutes Beispiel, den Lutherpark. Aufgrund seiner Fläche und dem vorhandenen Baumbestand kann er einen wichtigen Beitrag zur thermischen Regulierung in den angrenzenden Bereichen leisten (Moldenauer et al. 2017). Solche Grünflächen ermöglichen zudem der Bevölkerung, besonders an heißen Tagen, eine angenehme Aufenthaltsqualität. Eingriffe zur Nutzungsänderung oder Bebauung in Ausgleichsräumen hoher Bedeutung sollten nach Möglichkeit vermieden werden. Falls doch entsprechende Vorhaben geplant sind, ist es wichtig - z. B. in Form eines Gutachtens - etwaige lokalklimatische Auswirkungen auf die Fläche selbst sowie die Umgebung zu untersuchen.

Die hellgrünen Gebiete sind ebenfalls sehr häufig Kaltlufteinzugsgebiete, allerdings ist hier entweder die Entfernung zu Wohnflächen größer als 1 km oder die im Kapitel 2.2.5 genannten Kriterien wurden nicht erfüllt (zu niedrige Kaltluftfließgeschwindigkeit bzw. zu geringe Kaltluftvolumenstromdichte nach zwei Stunden Simulationszeit). Hier ist eine nachträgliche Nutzungsänderung oder Neubebauung weniger kritisch, sofern diese maßvoll erfolgt. Dennoch sollte auch hier stets sichergestellt sein, dass etwaige negative klimatische Auswirkungen in bereits bewohnten Bereichen, auf ein Minimum zu reduzieren sind.

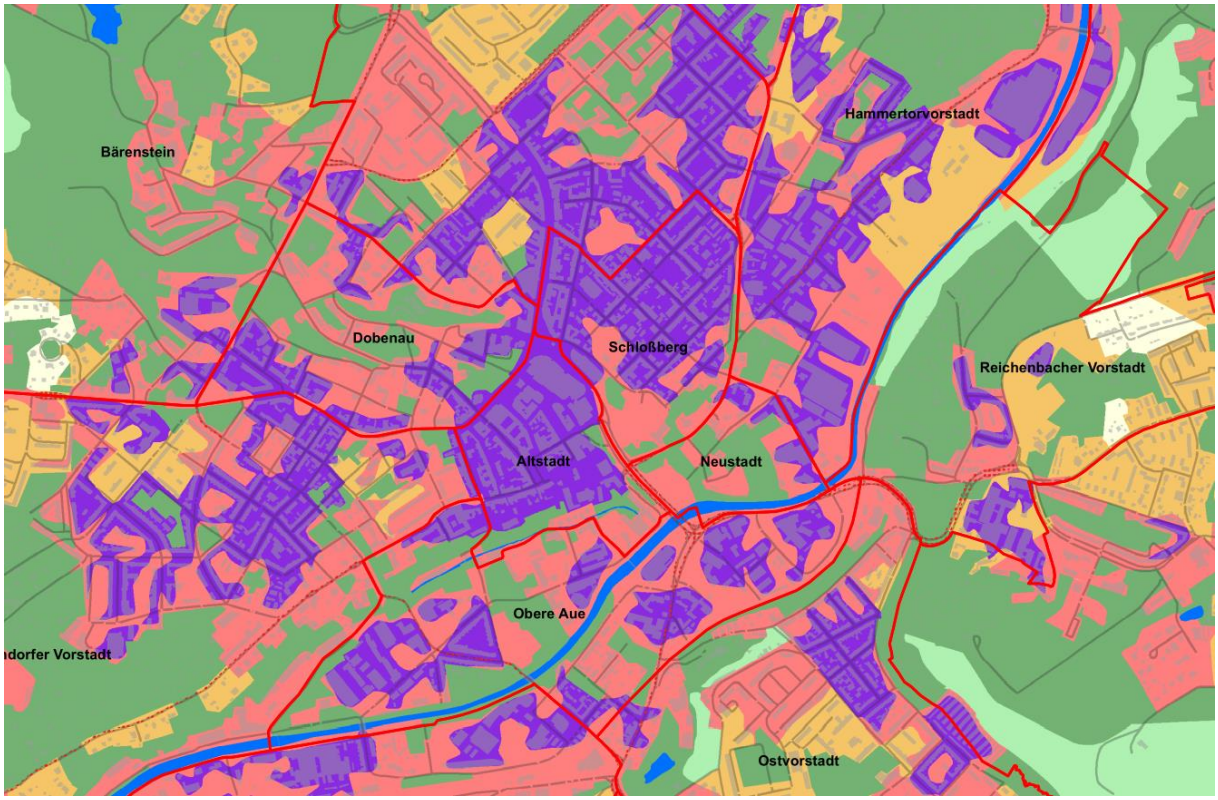


Abbildung 27: Ausschnitt der Planungshinweiskarte aus dem Stadtzentrum im Originalmaßstab von 1:9.000.

Bei den städtisch geprägten Räumen herrscht vor allem in den lila dargestellten Bereichen, besonderer Handlungsbedarf durch geeignete Maßnahmen. Dies betrifft vor allem weite Teile der Altstadt, den Stadtteil Schlossberg und zahlreiche Gewerbegebiete. Zusammen mit dem südlichen Teil der Bahnhofsvorstadt entsteht ein großer zusammenhängender Bereich, welcher die höchste Planungshinweisklasse aufweist.

Bei den drei anderen Planungshinweisklassen lässt sich beim Vergleich mit der Klimafunktionskarte gut erkennen, wo Kaltluftmerkmale oder eine erhöhte Wärmebelastung zu einer Hochstufung führten.

Sehr wichtig ist es allerdings, bei der Interpretation und Bewertung der Planungshinweiskarte immer die Klimafunktionskarte mitzuberücksichtigen. Nur so lassen sich manche Zuweisungen von bestimmen Flächen gut nachvollziehen. Darüber hinaus sollte immer mitbedacht werden, dass die Planungshinweiskarte wie auch die Klimafunktionskarte auf den Maßstab 1:9.000 ausgelegt sind und damit für sehr kleinräumige Fragestellungen aufgrund der Generalisierung keine Aussagen getroffen werden können. Sehr wohl ermöglicht die Planungshinweiskarte aber eine schnelle Übersicht, wo in Plauen der höchste Handlungsbedarf besteht und welche Flächen besonders schützenswert sind.

Da die eigentlichen Handlungsempfehlungen sich auch innerhalb einer Planungshinweisklasse je nach den Gegebenheiten vor Ort zum Teil stark unterscheiden können, werden im weiteren Projektfortschritt anerkannte Maßnahmen zur Verbesserung des städtischen Klimas benannt und es wird erläutert, unter welchen Voraussetzung diese besonders geeignet sind (siehe Kapitel 5.2).

Insgesamt sollte der Fokus der Stadt Plauen auf dem Erhalt der sehr günstigen Kaltluftbedingungen sowie auf der Verbesserung der Aufenthaltsbedingungen in den vorgestellten Hitze-Hotspots liegen.

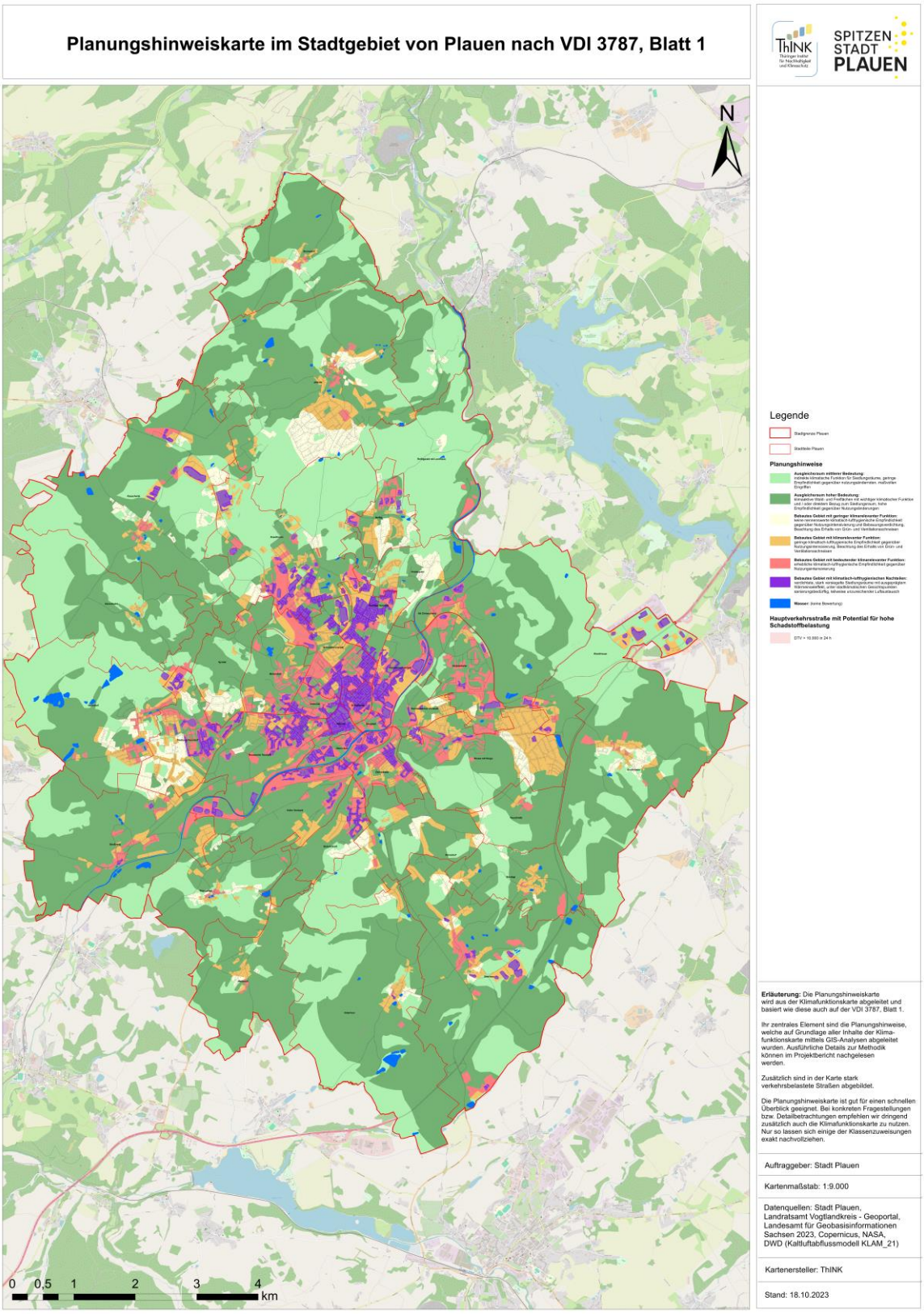


Abbildung 28: Planungshinweiskarte im Stadtgebiet von Plauen (Originalmaßstab: 1:9.000).

2.3. Lokale Überflutungen nach Starkregen

2.3.1. Randbedingungen und Methodik

Es ist wahrscheinlich, dass sich mit dem erwärmenden Klima die Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen besonders in den hohen und mittleren Breiten sowie den feuchten Tropen bis Ende des 21. Jahrhunderts verstärken werden (IPCC 2012, 2013). Dabei wird auf lokaler Ebene mit einer Zunahme der Niederschlagshöhe von 5-10 % pro ein Kelvin Erwärmung auf der täglichen und subtäglichen Zeitskala gerechnet. Im Ergebnis könnte sich die Wiederkehrzeit eines heute 20-jährlichen Ereignisses (1986-2005) am Ende des 21. Jahrhunderts (2081-2100) auf 14 Jahre (RCP2.6), 11 Jahre (RCP4.5) bzw. 6 Jahre (RCP8.5) reduzieren (Kharin et al. 2013). Die Zunahme von Starkregenereignissen dürfte künftig zu verstärkten Überschwemmungen und Sturzfluten, besonders im städtischen Raum, führen.

Aus diesem Grund wurde mit der Stadtverwaltung Plauen ein beispielhaftes Regenereignis festgelegt und dessen Abfluss im Stadtgebiet modelliert. Es handelt sich dabei um einen stadtweiten, zeitlich und räumlich variablen 100-jährlichen Starkregen. Der gefallene Niederschlag variiert nach Kostra-Atlas des DWD (2020) zwischen 48,0 und 49,5 mm bzw. 48,0 und 49,5 Liter je Quadratmeter zwischen verschiedenen Punkten im Stadtgebiet.

Die Abflusssimulation des Regenereignisses erfolgte mittels Itzï, eines dynamischen, distributiven, hydrologischen und hydraulischen Modells, das Oberflächenabflüsse zweidimensional und Kanal-netzabflüsse eindimensional abbildet. Da die dominanten Abflussprozesse bei Starkregenereignissen an der Oberfläche stattfinden und das durch das Kanalnetz abgeführte Wasser eine untergeordnete Rolle spielt (Niemann & Illgen 2011, DWA 2016), wurde die Wasseraufnahme des Kanalnetzes pauschal über eine anteilige Reduzierung der Niederschlagshöhe um einen ortsüblichen Bemessungsregen (fünfjährlich über fünf Minuten) berücksichtigt. Dieser variiert nach Kostra-Atlas des DWD (2020) zwischen 10,5 und 11,0 mm bzw. 10,5 und 11,0 Liter je Quadratmeter zwischen verschiedenen Punkten im Stadtgebiet. Die Kanalnetzabflüsse selbst wurden nicht modelliert, so dass sich kleinere Abweichungen im Abflussgeschehen zur realen Situation vor Ort ergeben können.

Der genutzte Modellregen war räumlich einheitlich, d. h., überall im Stadtgebiet Plauen fiel die gleiche Regenmenge. Gleichzeitig besaß er eine variable Intensität, die entsprechend Euler-Typ II abgeleitet wurde. Abbildung 29 zeigt den zeitlichen Verlauf des Modellregens bzgl. Niederschlagssumme und -intensität in Zeitschritten von fünf Minuten. Nach der einstündigen Regenphase wurde eine vierstündige Ablaufphase simuliert, um die Abflusswellen aus größeren Teileinzugsgebieten bei der Auswertung berücksichtigen zu können. Die Simulation wurde beispielhaft für den Zeitraum 16 bis 21 Uhr durchgeführt.

Das Modellgebiet, für das die Abflusssimulation durchgeführt wurde, umfasst ca. 250 km^2 und reicht über das eigentliche Stadtgebiet hinaus, um Zuflüsse von Regenwasser aus allen Teileinzugsgebieten in das Stadtgebiet zu berücksichtigen (Abbildung 30). Einzig das oberliegende Einzugsgebiet der Weißen Elster konnte aufgrund seiner Größe nicht einbezogen werden. Die Modellierung erfolgte mit einer räumlichen Auflösung von 1,50 x 1,50 m, so dass alle relevanten Fließwege abgebildet werden konnten.

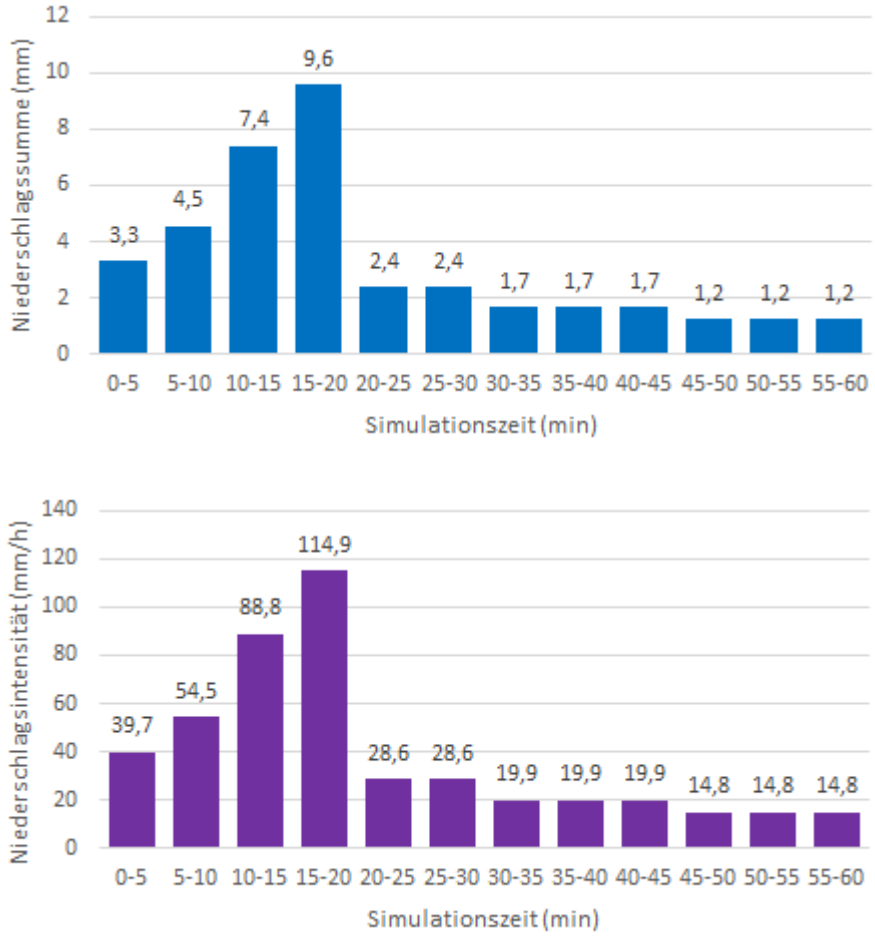


Abbildung 29: Zeitlicher Verlauf des Starkregenereignisses: Niederschlagssummen (oben) und Niederschlagsintensitäten (unten).

Die Datengrundlagen für die Abflussmodellierung umfassten ein digitales Geländemodell (DGM1), ein 3D-Stadtmodell (LoD1), Landnutzungsinformationen (ATKIS/Basis-DLM) und Bodeninformationen (Bodenarten in Oberböden). Letztere wurden für die räumlich und zeitlich variable Infiltration mittels Green-Ampt-Modell verwendet. Diese bewirkt, dass die Infiltration mit zunehmender Wassersättigung des Bodens zurückgeht und mehr Wasser über die Oberfläche abfließt. Das Geländemodell wurde an diversen Stellen im Modellgebiet modifiziert, um korrekte Abflüsse zu gewährleisten. Dies erfolgte z. B. an Brücken, Unterführungen und Haus- bzw. Tordurchfahrten. Im Ergebnis wurden einzelne Unterführungen und Durchfahrten „freigelegt“, so dass abfließendes Regenwasser dem Straßen- und Wegeverlauf folgen konnte (z. B. Fußgängertunnel zwischen Kasernenstraße und nach dem Seehaus).

2.3.2. Ergebnisse der Abflussmodellierung

Im Ergebnis der Abflussmodellierung für das Starkregenereignis liegen Abflusshöhe, Abflussgeschwindigkeit, Infiltrationsrate und Volumenflüsse in Zeitschritten von fünf Minuten für das gesamte Stadtgebiet vor. Momentan- und Gesamtabfluss wurden nach der Modellierung aus diesen Daten berechnet. Einen Überblick zur maximalen Abflusshöhe gibt die Starkregengefahrenkarte in Abbildung 31. Die Karte zeigt die maximale Wassertiefe, die jedoch nicht überall im Stadtgebiet zum gleichen Zeitpunkt auftreten

muss. Die Daten zum maximalen Wasserstand wurden auch auf der städtischen Internetseite veröffentlicht und ist für die Bevölkerung und die Akteure zugänglich (https://www.plauen.de/starkregen).

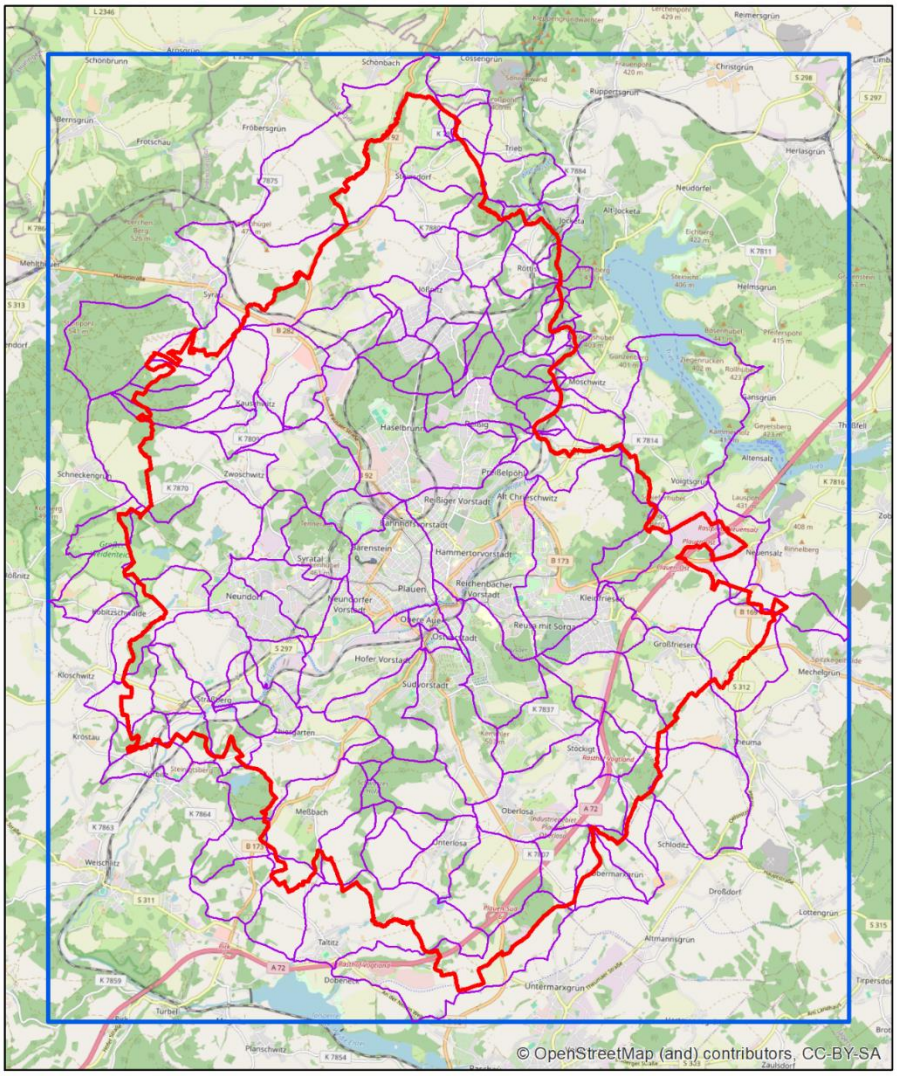


Abbildung 30: Lage des Modellgebietes (blau) und der berücksichtigten Teileinzugsgebiete (violett) im Verhältnis zum Stadtgebiet Plauen (rot) (Datenquelle: LfULG 2023, OpenStreetMap 2024).

Der zeitliche Verlauf der Abflussparameter kann für jeden Punkt im Stadtgebiet in Diagrammen dargestellt werden. Hierfür wurden beispielhaft 28 Kontrollpunkte von der Stadtverwaltung festgelegt (siehe Tabelle 3), die auch in der Starkregengefahrenkarte dargestellt sind.

Sichtbar wird in der Starkregengefahrenkarte, welche Ortsteile besonders von Starkregenüberflutungen betroffen sein können. So fallen Alt-Crieschwitz und Kleinfriesen (Friesenbach), Kauschwitz (Syrabach), Zwoschwitz (Zwoschwitzbach) und Jößnitz (Kaltenbach) auf, wo größere Flächen nach einem hundertjährlichen Regen unter Wasser stehen würden. Aber auch innenstädtische Ortsteile sind nicht davor geschützt, wie die Obere Aue, Dobenau und die Hammertorvorstadt eindrücklich zeigen.

Tabelle 3: Lage und Abflussparameter der Kontrollpunkte für das modellierte Starkregenereignis.

Kontrollpunkt	Gewässer	Lokalität	max. Abflusshöhe (m)	max. Abflussgeschwindigkeit (m/s)	max. Abfluss (m^3/s)	Gesamtabfluss (m^3)
1	Friesenbach	Alt Chrieschwitz Brücke Langenberggasse	1,60	0,16	0,36	3.420
2	Friesenbach	Alt Chrieschwitz Beginn Ortslage	1,34	0,24	0,38	3.998
3	Friesenbach	Südl. Stollenweg	0,23	1,96	0,63	4.471
4	Friesenbach	Brücke Gondelteich	2,42	0,09	0,18	1.173
5	Friesenbach	Autobahnbrücke am Erlbusch	1,33	0,28	0,42	5.336
6	Friesenbach	Einmündung Stöckigtbach	4,15	0,26	1,54	11.451
7	Friesenbach	Krummer Weg	0,81	0,48	0,55	4.139
8	Milmesbach	Südinsel/Hammerpark	2,59	0,38	0,71	5.079
9	Thiergartener Dorfbach	Feuerwehr	1,07	0,26	0,23	1.134
10	Thiergartener Dorfbach	Weg übern Hauerstein	0,05	1,83	0,15	354
11	Rosenbach	Kürbitzer Landstraße	1,23	0,13	0,23	2.871
12	Kaltenbach	Bahnhofstr.	1,51	0,13	0,12	793
13	Sattelbach	Feuerwehr Jößnitz	0,99	0,08	0,05	293
14	Syrabach	Zwoschwitzer Str.	1,84	0,11	0,23	2.833
15	Syrabach	Einmündung Hakenbach	1,69	0,12	0,27	2.924
16	Syrabach	Ehem. Sternquell Gelände	2,53	0,58	1,31	6.335
17	Syrabach	Melanchthonstraße	2,85	0,07	0,03	61
18	Syrabach	Einmündung Weiße Elster	0,40	0,14	0,10	179
19	Zwoschwitzbach	An den Teichen	0,86	0,24	0,24	2.319
20	Ferbigbach	Ruhteich	0,62	0,10	0,05	202
21	Ferbigbach	Strunzenteich	0,07	0,07	0,00	13
22	Stöckigtbach	Zusammenfluss Am Park	0,70	0,25	0,24	1.470
23	Stöckigtbach	Kurt-Friedrich-Weg	0,09	1,02	0,12	774
24	Stöckigtbach	Schloditzer Str.	1,34	0,21	0,17	1.465
25	Losabach	Am Teich	0,16	0,48	0,10	371
26	Pietzschebach	Seumestraße	0,00	0,10	0,00	0
27	Pietzschebach	Wiesengrund	0,01	0,10	0,00	1
28	Pietzschebach	Reußenländer Str.	0,47	0,12	0,07	712

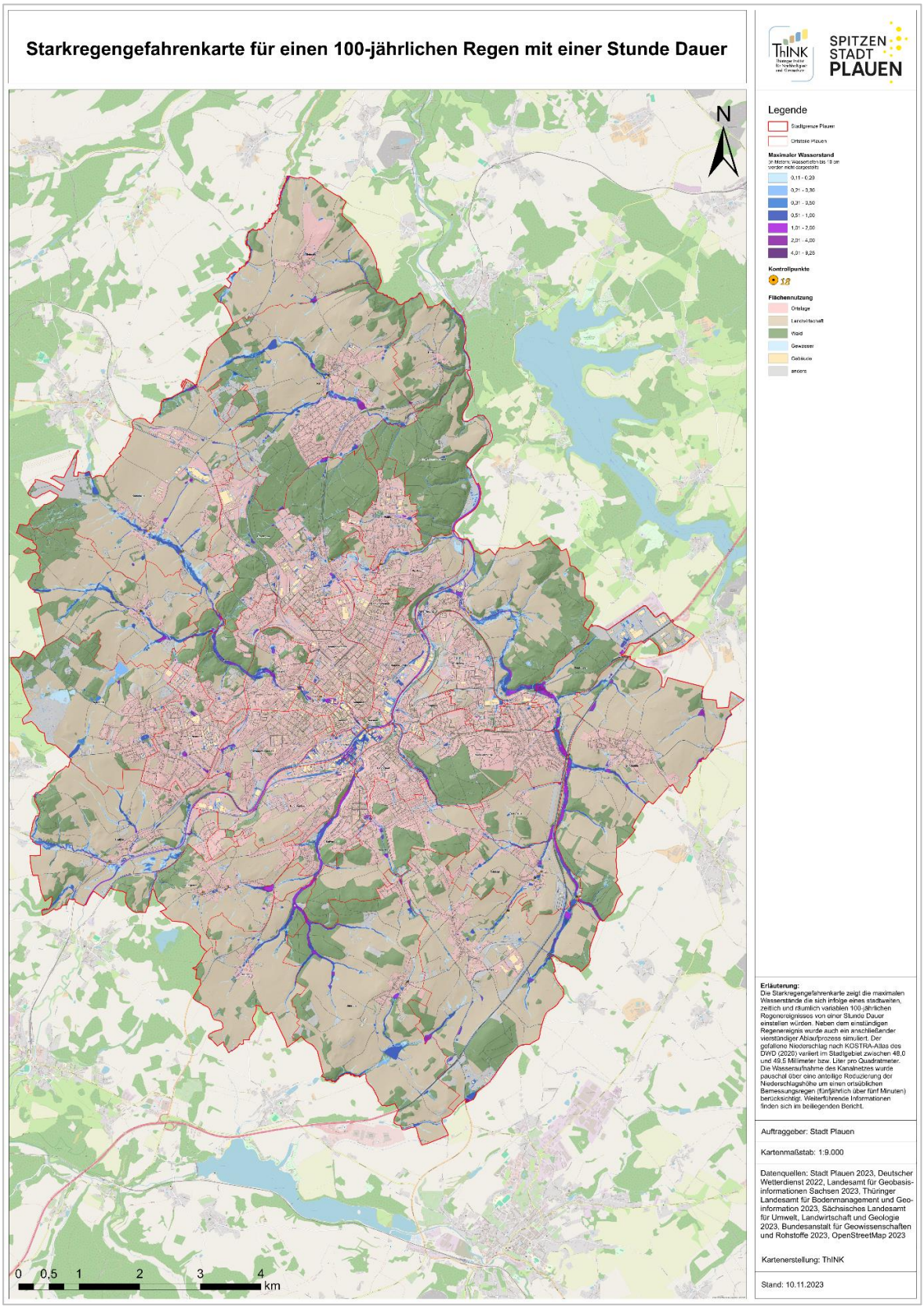


Abbildung 31: Starkregengefahrenkarte für das 100-jährliche, einstündige Starkregenereignis (Originalmaßstab 1:9.000).

Je nach Lage des Kontrollpunktes kann zwischen zwei grundlegenden Infiltrationscharakteristiken unterschieden werden. Der überwiegende Teil der Kontrollpunkte liegt auf undurchlässigen Flächen (v. a. Bachbetten bzw. Wasserflächen). Hier wird keine Infiltration angenommen; alles Regenwasser wird dem oberflächlichen Abfluss zugeführt (Abbildung 32 oben). Wenige Kontrollpunkte liegen in Bereichen mit durchlässigen Flächen, auf denen das Regenwasser so lange versickert, bis der Boden sich der Wassersättigung nähert (Abbildung 32 unten). Ab dann nimmt die Versickerung ab und es tritt verstärkt oberflächlicher Abfluss ein. Dies weist bereits auf die Relevanz von (innerstädtischen) Grünflächen als Regenwasserspeicher hin.

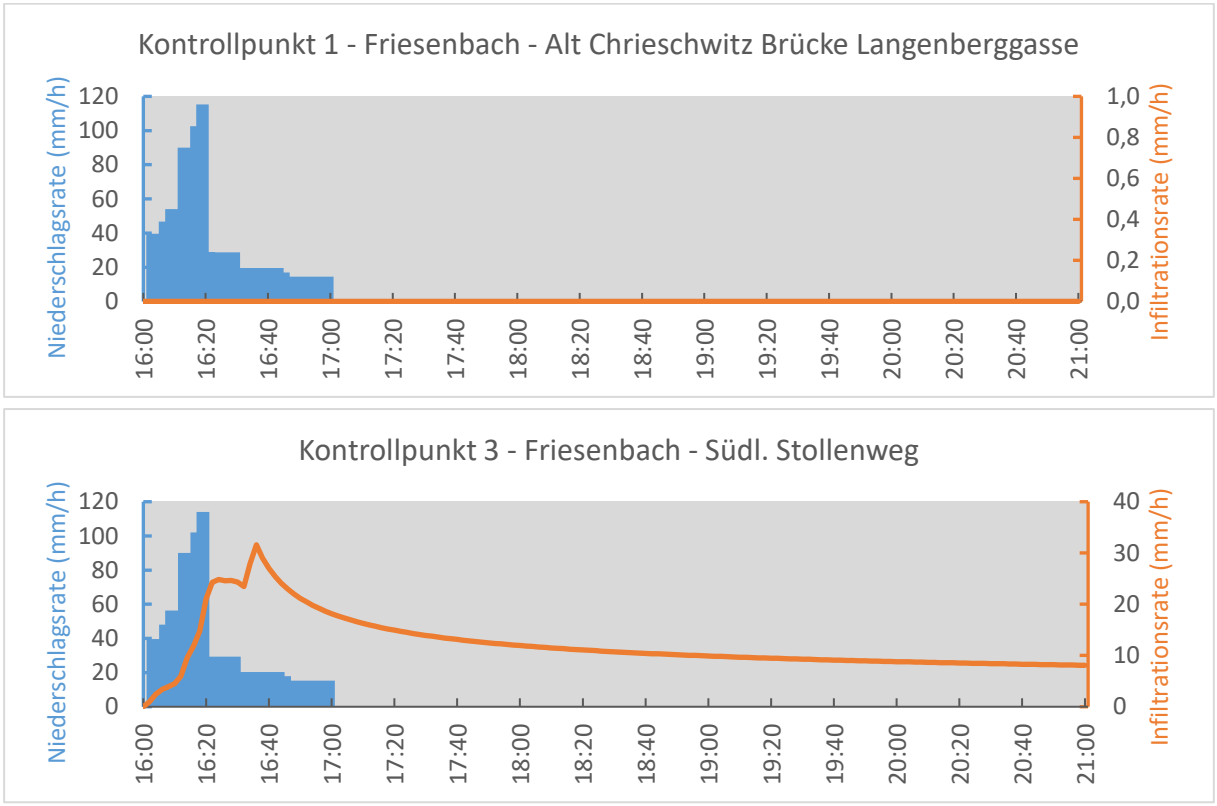


Abbildung 32: Niederschlag und Infiltration auf einem undurchlässigen (oben) und einem durchlässigen Standort (unten) bei einem 100-jährlichen, einstündigen Starkregenereignis.

Tabelle 3 zeigt bereits auf, an welchen Kontrollpunkten im Stadtgebiet besonders große Abflusshöhen, Abflussgeschwindigkeiten und Gesamtabflüsse erreicht werden. Dies soll exemplarisch für die zwei Kontrollpunkte 1 (Alt Chrieschwitz Brücke Langenberggasse) und 3 (Stollenweg am Friesenbach) dargestellt werden. Abbildung 33 zeigt die Situation vor Ort an Kontrollpunkt 1 – und zusätzlich einen zweiten, innerstädtischen Standort –, einerseits als Überlagerung von Luftbild und maximalen Wassertiefen (links) und andererseits als Darstellung in der Starkregengefahrenkarte (rechts). Man kann bereits hier erkennen, welche maximalen Wassertiefen in der Umgebung der Kontrollpunkte erreicht werden. Den zeitlichen Verlauf an den Kontrollpunkten 1 und 3 zeigen Abbildung 34 und Abbildung 35.

Für Kontrollpunkt 1 steigt die Abflussgeschwindigkeit nach einem ersten Ausschlag stetig an und erreicht ihren Höchstwert von nur 0,16 m / s gegen 18:20 Uhr. Nachfolgend fällt sie bis zum Ende der Simulationszeit wieder langsam auf 0,1 m / s ab. Die Abflusshöhe zeigt einen nicht unähnlichen Verlauf

mit einem Höchstwert von 1,60 m gegen 18:30 Uhr und einem leichten Abfall hin zum Ende der Simulationszeit, wo sie mit ca. 1,30 m endet. Zu diesem Zeitpunkt (21 Uhr) sind weder Abflussgeschwindigkeit noch Abflusshöhe nahe Null, d.h., das Abflussgeschehen setzt sich auch nach Ende der Simulationszeit fort. Dies ist mit der Größe des Einzugsgebietes des Friesenbaches von 27 km^2 zu erklären, in dem das letzte Niederschlagswasser aus dem Oberlauf mehr als vier Stunden benötigt, um zum Kontrollpunkt 1 zu gelangen. Der momentane Abfluss steigt gleichfalls bis etwa 18:20 Uhr an – hier werden bis zu 0,36 m^3 / s erreicht – um bis Ende der Simulationszeit wieder auf 0,17 m^3 / s abzufallen. Der Gesamtabfluss an Kontrollpunkt 1 erreicht bis 21 Uhr ein Volumen von rund 3.400 Kubikmetern. Gleichzeitig ist auch hier erkennbar, dass nach diesem Zeitpunkt weiterhin Abfluss stattfindet, wenn auch auf niedrigerem Niveau.

An Kontrollpunkt 3 zeigt sich ein etwas anderes Bild. Aufgrund des Wiesenstandortes kann auch Regenwasser versickern, bevor ab etwa 16:40 Uhr der Boden wassergesättigt ist und mehr Regen zum oberflächlichen Abfluss gelangt. Abflussgeschwindigkeit und –höhe zeigen ein ähnliches, wellenförmiges Verhalten, das darauf hinweist, dass an diesem Kontrollpunkt zu unterschiedlichen Zeitpunkten Abflusswellen aus verschiedenen Teileinzugsgebieten des Friesenbaches nacheinander eintreffen. Die Maxima der Abflusshöhe und –geschwindigkeit werden mit 0,23 m bzw. 1,96 m / s gegen 21 Uhr erreicht. Der momentane Abfluss zeigt einen ähnlichen Wellenverlauf mit steigender Tendenz wie die Abflusshöhe und -geschwindigkeit und erreicht sein Maximum von 0,63 m^3 / s zu Ende der Simulationszeit. Zu diesem Zeitpunkt beläuft sich der kumulierte Abfluss auf ca. 4.500 Kubikmeter. Auch an Kontrollpunkt 3 gilt das zuvor Gesagte: der Abfluss aus den oberliegenden Bereichen ist 21 Uhr noch nicht abgeschlossen und wird sich noch einige Zeit fortsetzen. Die hier zu sehende Abflusswelle gegen Ende der Simulationszeit würde sehr wahrscheinlich zeitversetzt auch an Kontrollpunkt 1 zu beobachten sein. Der Gesamtabfluss an den Kontrollpunkten 1 und 3 dürfte dementsprechend noch größer sein als in der Simulation erfasst wurde.

Die Ergebnisse der Abflussmodellierung wurden anhand von Aussagen und Unterlagen der Stadtverwaltung zu vergangenen Starkregenereignissen validiert. Dies geschah vor allem bzgl. der Situation am Friesenbach in Kleinfriesen, wo die Abflussmodellierung die potenzielle Überflutung eines Senkenbereiches der Äußeren Reichenbacher Straße ergab. Dies konnte für eine Starkregensituation an gleicher Stelle am 13.07.2021 anhand von Fotos einer Pressemitteilung bestätigt werden (siehe https://www.spitzenstadt.de/vogtland-nachrichten/land-unter-im-vogtland-und-plauen-nach-unwetter). Damals fielen im Einzugsgebiet des Friesenbaches in zwei Stunden zwischen 8 und 63 mm Regen, mit einem Flächenmittel von 42 mm, was tatsächlich zu einer Überflutung des Senkenbereiches der Äußeren Reichenbacher Straße führte. Auch für eine weiter oben im Gewässerverlauf gelegene Weide in der Nähe der Falkensteiner Straße konnte der modellierte Überflutungszustand für das gleiche Ereignis anhand von Fotos bestätigt werden.

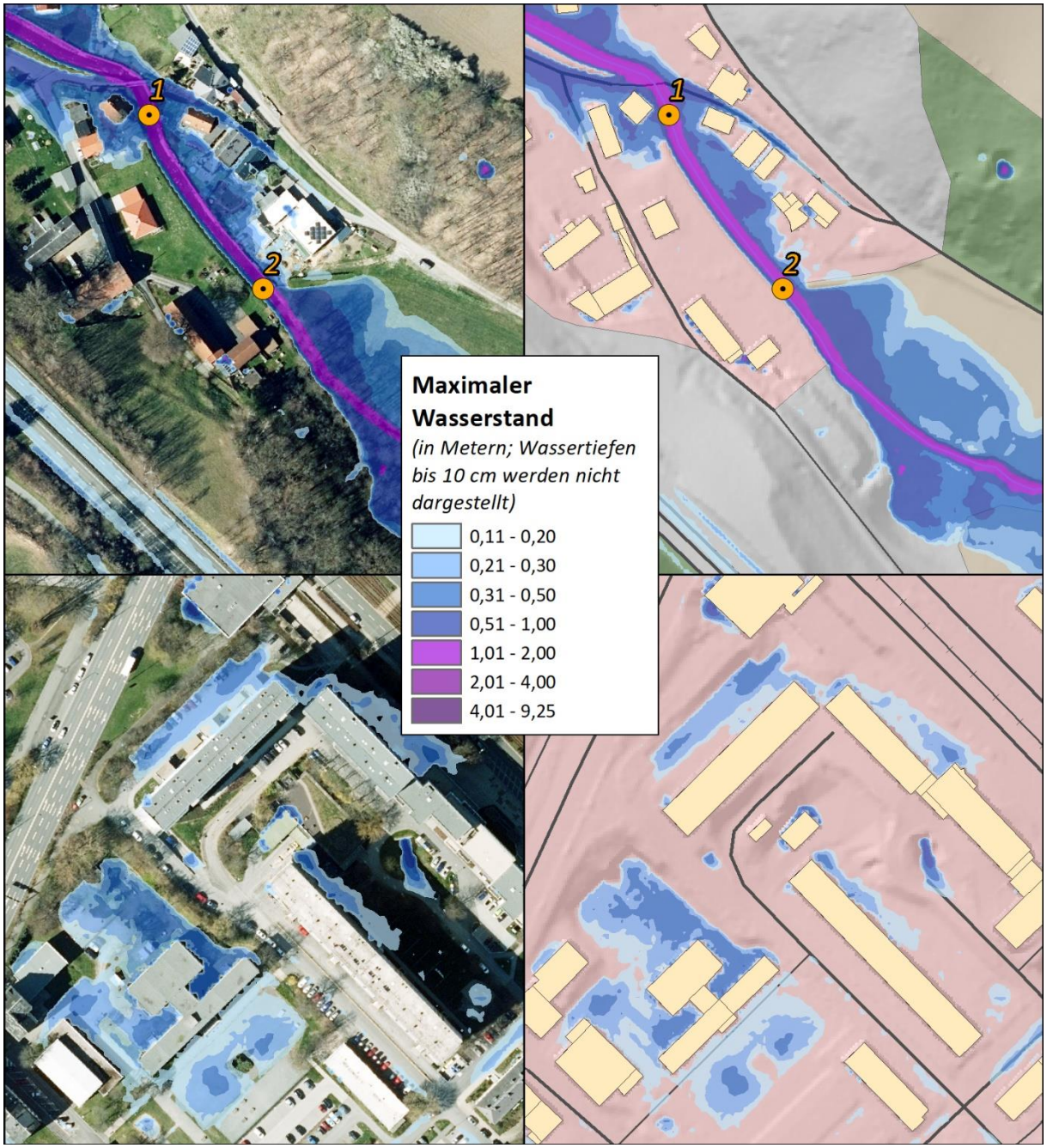


Abbildung 33: Maximale Wasserstände bei einem 100-jährlichen Starkregen von einer Stunde Dauer an den Kontrollpunkten 1 (Alt Chrieschwitz Brücke Langenberggasse) und 2 (Alt Chrieschwitz Beginn Ortslage) sowie in der Bahnhofsvorstadt, dargestellt mittels Luftbildes (links) und Starkregengefahrenkarte (rechts).

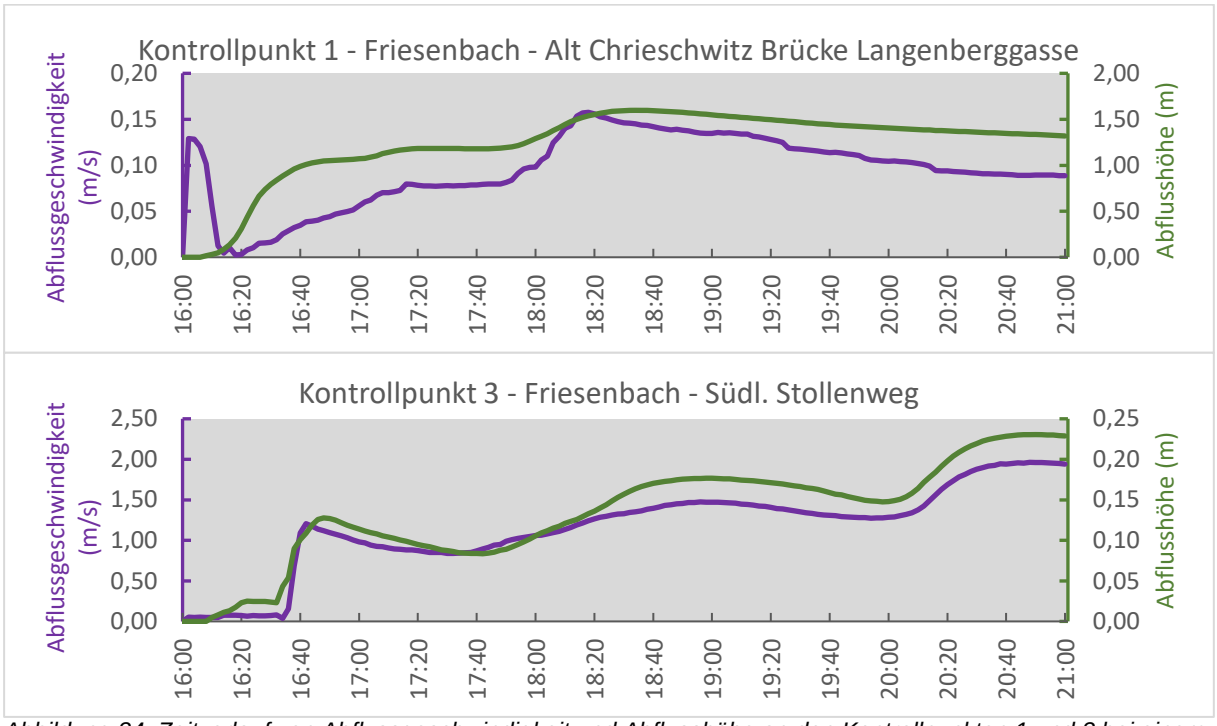


Abbildung 34: Zeitverlauf von Abflussgeschwindigkeit und Abflusshöhe an den Kontrollpunkten 1 und 3 bei einem 100-jährlichen, einstündigen Starkregenereignis.

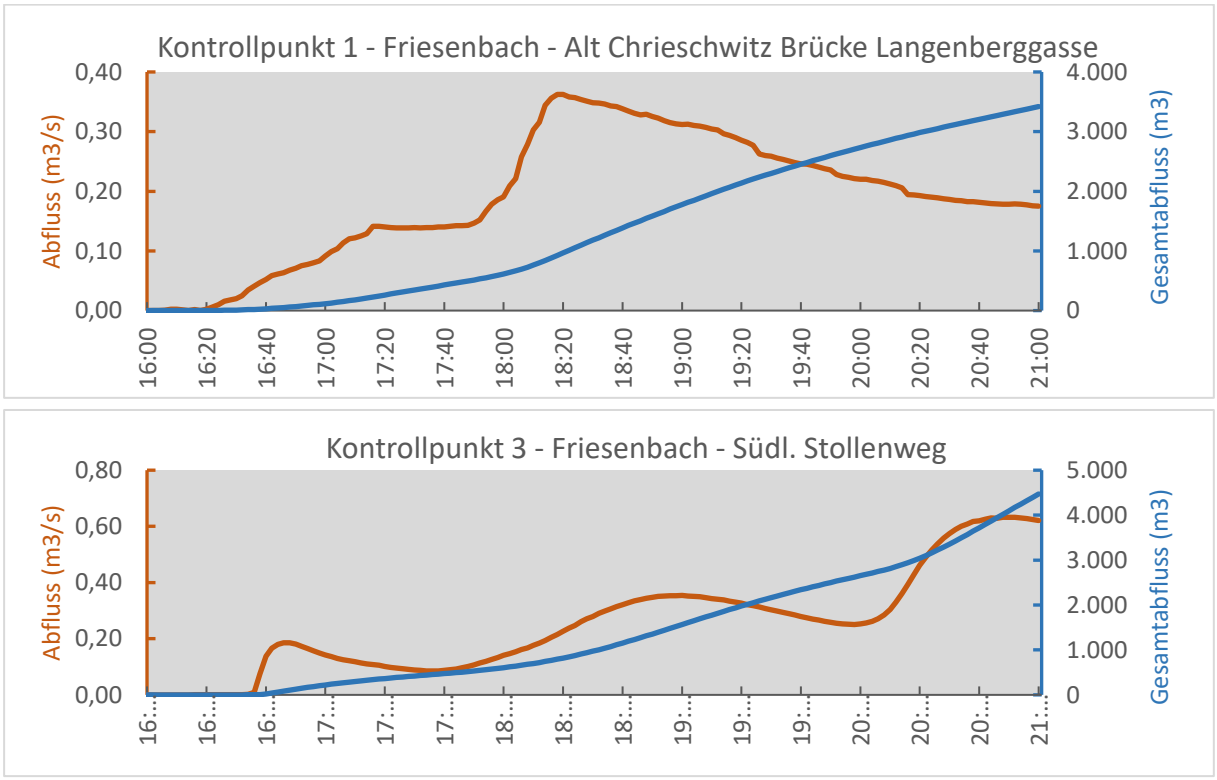


Abbildung 35: Zeitverlauf von Abfluss und Gesamtabfluss an den Kontrollpunkten 1 und 3 bei einem 100-jährlichen, einstündigen Starkregenereignis.

3. AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS

Für die Erarbeitung von Klimaanpassungskonzepten bedarf es räumlich differenzierter Aussagen dazu, wie sich das Klima in der Vergangenheit bereits geändert hat bzw. wie es sich in Zukunft entwickeln könnte. Hierzu hat das LfULG Sachsen Datensätze erarbeitet, die die Grundlage für die Analyse der künftig zu erwartenden Klimaveränderungen bilden. Darüber hinaus wird die DWD Station Plauen ausgewertet, um auf jährlicher Basis Informationen zur historischen Entwicklung der wichtigsten Klimaparameter zu erhalten.

3.1. Einführung Klimastations- und Klimaprojektionsdaten

3.1.1. Klimastationsdaten

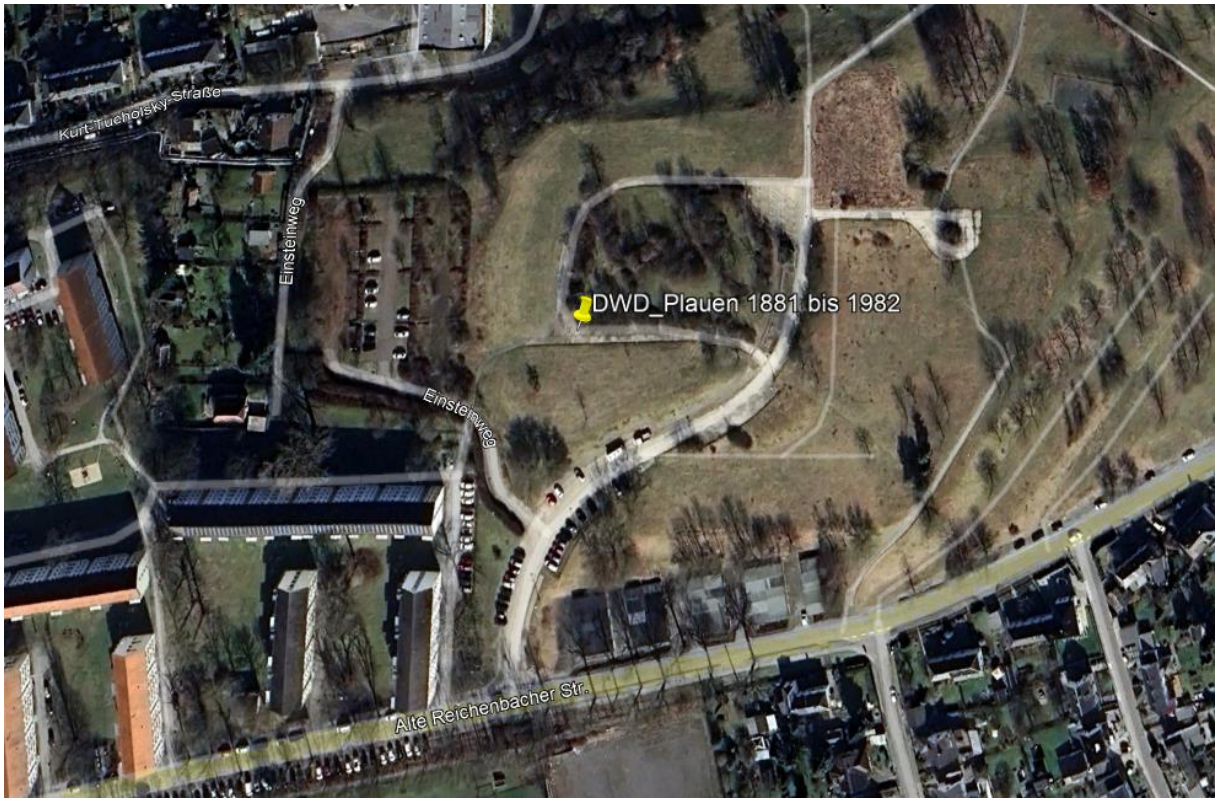


Abbildung 36: Alter Standort der DWD-Station Plauen nördlich der Alten Reichenbacher Straße. Quelle: amtliches Luftbild in Google Earth (2023).

Historische Klimastationsdaten sind sehr gut dafür geeignet, die klimatische Entwicklung in der Vergangenheit an einem bestimmten Ort anhand verschiedener Kennwerte wie z. B der Temperatur oder dem Niederschlag aufzuzeigen. Messungen des DWD weisen hierbei eine besonders hohe Qualität auf, da deutschlandweit einheitliche Standards gelten und sich die Ergebnisse somit gut miteinander vergleichen lassen.

Die für die Stadt Plauen relevante DWD-Station ist die Station Plauen, welche seit 1881 Messungen durchführt. Hierbei handelt es sich um eine sehr lange Messreihe. Leider fehlen einige Jahre, in denen die Station bzw. einige Messgeräte nicht in Betrieb waren. Bei der Temperatur ist dies beispielsweise von 1921 bis 1934 sowie von 1943 bis 1946 der Fall.

Abbildung 37: Seit 1983 aktueller Standort der DWD-Station Plauen an der Meßbacher Straße. Quelle: amtliches Luftbild in Google Earth (2023).

Die Station besaß in Ihrer Geschichte zwei Standorte. Der erste von 1881 bis 1982 östlich der Dr.-Max-Breitung-Straße auf 387 m Höhe über dem Meeresspiegel (Abbildung 36). Nach einer Umverlegung um 2,8 km in Richtung Südwesten befindet sich die Station seit 1983 am neuen Standort an der Meßbacher Straße auf 407 m Höhe (Abbildung 37). Aufgrund ähnlicher Standortbedingungen sind in den Ergebnisdaten keine markanten Unterschiede zwischen beiden Standorten erwartbar. Zum Vergleich die Altstadt von Plauen liegt auf einer Höfe von etwa 350 m.

In aller Regel lassen sich grundsätzliche klimatische Trends auf das erweiterte Umfeld einer jeden Station übertragen. Zu beachten sei jedoch, dass bedingt durch die beiden bewusst vom DWD gewählten Standorte der städtische Wärmeinseleffekt bei den Messungen nur eingeschränkt berücksichtigt wird und etwa im Stadtzentrum insgesamt ein höheres Temperaturniveau zu erwarten ist.

3.1.2. Klimaprojektionsdaten

Um Aussagen über die mögliche künftige Entwicklung des Klimas zu treffen, werden Klimamodelldaten genutzt, die von globalen Klimamodellen stammen, welche auf Basis gesellschaftlicher Entwicklungsszenarien mögliche zukünftige Klimaentwicklungen errechnen. Da globale Klimamodelle nur eine sehr grobe Auflösung haben, werden deren Ergebnisse mithilfe regionaler Klimamodelle verfeinert und für die Anwendung auf regionaler Ebene aufbereitet. Da es eine Vielzahl globaler und regionaler Klimamodelle gibt, die auch verschieden miteinander gekoppelt werden können und meist unterschiedliche Ergebnisse liefern, ist es zur Regel geworden, Ensembles von Klimamodellen zu benutzen und so die Aussagesicherheit zu erhöhen.

Für das vorliegende Klimaanpassungskonzept wurden auf die vom LfULG Sachsen bereitgestellten Daten des Mitteldeutschen Kernensembles zurückgegriffen. Die Daten wurden für jeweils 10-jährige Zeiträume aufbereitet. Pro Zeitraum ist das Minimum, der Mittelwert sowie das Maximum dargestellt.

Die abgebildeten Daten stellen dabei die von einem Ensemble an Klimamodellen (hier Mitteldeutsches Kernensemble) projizierten Entwicklungen für zwei verschiedene Klimaszenarien dar. Es handelt sich bei diesen Szenarien nicht um eine Prognose wahrscheinlicher Entwicklungen, sondern um die simulierten Entwicklungen bei zwei unterschiedlich angenommenen Entwicklungen der Treibhausgase und Aerosole in der Atmosphäre sowie der Landnutzung (IPCC Data Distribution Centre 2023). Gegenübergestellt werden dabei für jede ausgewertete Klimakennzahl das RCP-Szenario 2.6, welches von einem umfangreichen globalen Klimaschutz innerhalb der nächsten Jahrzehnte ausgeht (1,5 Grad-Ziel bzw. Pariser Klimaabkommen) sowie das Szenario RCP 8.5, in welchem kaum globale Klimaschutzmaßnahmen ergriffen werden („worst-case“). Aktuelle Messdaten des Weltklimarates (IPCC) bewegen sich global gesehen eher im Bereich von RCP 8.5. Das Erreichen der Ziele des Pariser Klimaabkommens gilt momentan in anbetracht der globalen Entwicklung als extrem unwahrscheinlich.

3.2. Veränderung des Klimas in der Stadt Plauen

Für dieses Unterkapitel werden nun aus Umfanggründen für ausgewählte Klimakennwerte aus der Klimastations- und Klimaprojektionsauswertung vorgestellt. Alle hier nicht vorgestellten Diagramme können im Anhang nachgeschlagen werden.

3.2.1. Temperatur

Jahresmitteltemperatur

Die Stationsabbildungen zur Jahresmitteltemperatur sowie zum Jahresniederschlag bestehen aus den folgenden Inhalten:

- *schwarze Linie:* Mittelwerte (bzw. beim Niederschlag Summen) der einzelnen Jahre
- *rote Linie:* lineare Trendlinie (entspricht einer linearen Regressionsanalyse)
- *grüne Linie:* langjähriger Mittelwert der alten Klimareferenzperiode von 1961 bis 1990
- *orange Linie:* langjähriger Mittelwert der aktuellen Klimareferenzperiode von 1991 bis 2020
- *blaue Linie:* 10-Jahre gleitendes Mittel. Hierfür wird immer jeweils für 10 aufeinanderfolgende Jahre der Mittelwert gebildet (Jahr 1 bis 10). Im genannten Beispiel wird dieser Mittelwert dann dem Jahr 5 zugewiesen. Nun werden die Jahre 2 bis 11 betrachtet. Für sie wird wieder der Mittelwert gebildet und für das Jahr sechs aufgetragen. Dieses Vorgehen wird so lange wiederholt, bis das Ende der Zeitreihe erreicht ist. Letztlich wird eine Glättung der Messdaten erreicht, sodass lokale Trends besser abgebildet werden können, als es mit der linearen Regression möglich ist.
- *eingetragene Jahreszahlen:* Diese stehen jeweils für die zehn Jahre mit den höchsten bzw. niedrigsten Werten

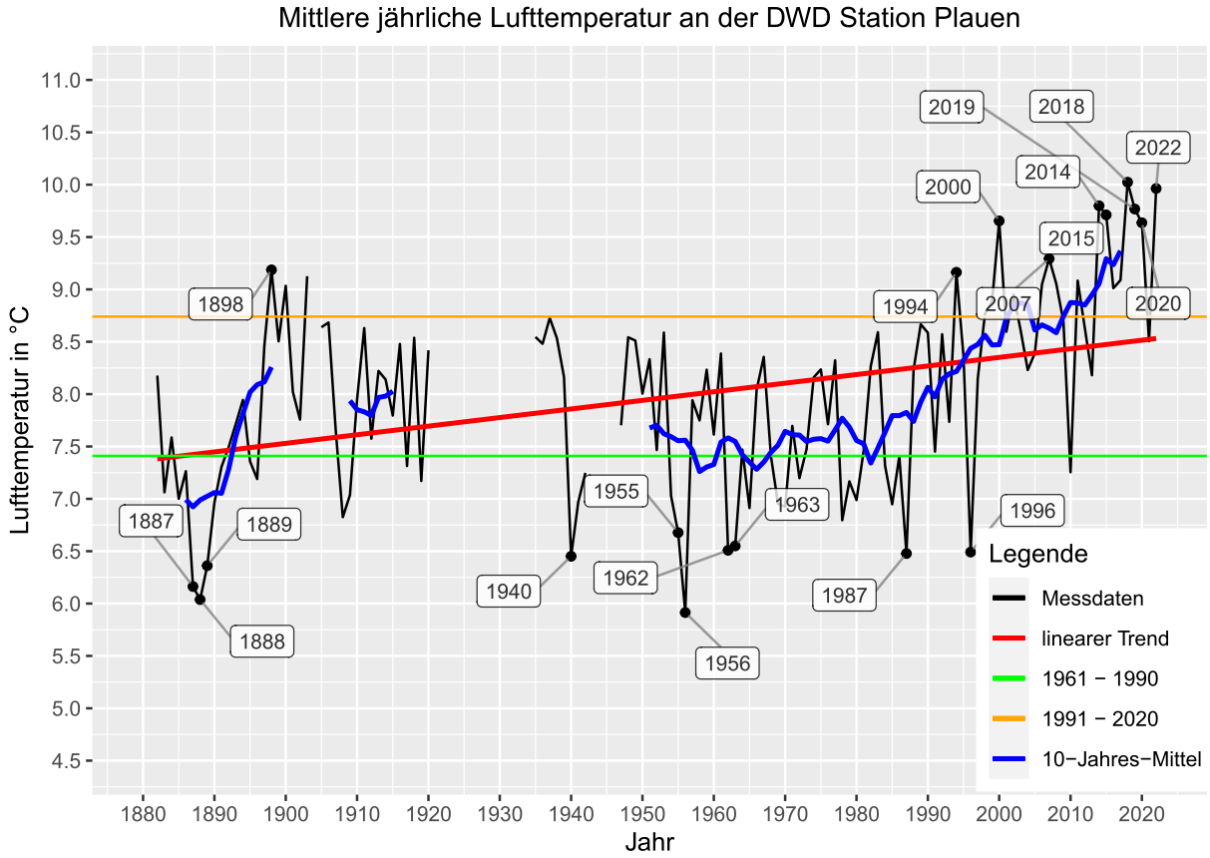


Abbildung 38: Mittlere jährliche Lufttemperatur an der DWD-Station Plauen. Die zehn wärmsten und kältesten Jahre sind gesondert hervorgehoben.

Die mittlere jährliche Lufttemperatur ist der geläufigste Indikator in der Diskussion um den menschengemachten Klimawandel. Abbildung 38 zeigt dabei die Entwicklung der mittleren jährlichen Lufttemperatur seit 1881. Zusätzlich sind als Orientierung der lineare Trend (rot), der Mittelwert der Referenzperiode 1961-1990 (grün), der Mittelwert der Referenzperiode 1991-2020 (orange), das 10-jährige gleitende Mittel (blau) sowie die 10 wärmsten bzw. kältesten Jahre gekennzeichnet. Neben den stets vorhandenen jährlichen Schwankungen wird deutlich, dass insbesondere seit etwa Mitte der 1980er Jahre ein starker Temperaturanstieg vorliegt. So liegen neun der zehn wärmsten Jahre seit Messbeginn im 21. Jahrhundert. Der Referenzwert von 7,4 °C (1961 – 1990) wurde letztmalig in den Jahren 1996 und 2010 unterschritten. Dabei überstiegen in jüngster Vergangenheit die Jahre 2014, 2015, 2018, 2019, 2020, 2022 und auch 2023 (hier nicht dargestellt) diesen Wert bereits um mehr als 2 K, was in dieser Häufung äußerst beunruhigend ist.

Im Folgenden soll kurz der Aufbau der Klimaprojektionsdiagramme anhand der Abbildung 39 erläutert werden.

- Links im Diagramm sind jährliche Messwerte der DWD-Klimamessstation Plauen als Referenzwerte für die Einordnung der projizierten klimatischen Änderungen dargestellt. Sie entsprechen den in Abbildung 38 dargestellten Messdaten.
- Rechts daran schließen für den Zeitraum 2000 bis 2100 die projizierten Werte jeweils beider genannter Klimaszenarien (RCP 2.6 und RCP 8.5) an. Diese werden im Flächenmittel für das Stadtgebiet von Plauen betrachtet.

- Die senkrechten Balken bilden dabei den Median einer hier verwendeten Auswahl von sieben Klimamodellen, dem Mitteldeutschen Kernensemble (MDK), im zehnjährigen Mittel (z. B. 2001 bis 2010) ab.
- Die grauen senkrechten Linien mit Punkten an den Enden zeigen die Bandbreite der Werte aller vorliegenden Modelle im Ensemble, ebenfalls im zehnjährigen Mittel. Die Punkte zeigen also die höchsten und niedrigsten Werte, welche von allen Modellen hier simuliert wurden.
- Die horizontalen Balken stellen 30-jährige Mittel der im Balkendiagramm gezeigten Mess- und Projektionsdaten für ausgewählte Klimaperioden dar. Sie stellen die 30-jährige Referenzperiode 1971-2000 (basierend auf Messdaten), Gegenwart (2001-2030), Nahe Zukunft (2031-2060) und Ferne Zukunft (2071-2100) gegenüber.
- Die gestrichelte senkrechte Linie zeigt zur Orientierung das zur Abbildungserstellung aktuelle Jahr 2023.

Analog zu den historischen Messwerten zeigt Abbildung 39 eine Fortsetzung des Trends der Zunahme der Jahresmitteltemperaturen. Unter Annahme umfangreicher globaler Klimaschutzbemühungen lässt sich diese Zunahme auf etwa +1 K (im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000) bis zum Ende des 21. Jahrhunderts begrenzen. Bei RCP 8.5 kommt es dagegen im gleichen Zeitraum zu einer Zunahme um knapp +4 K. Die Jahresmitteltemperatur würde dabei auf bis zu 11,3 °C (10-jähriges Mittel) ansteigen. Nach jetzigem Stand der Messwerte und (mangelnder globaler) Klimaschutzbemühungen sind die im Szenario RCP 2.6 angenommenen Werte bereits nicht mehr zu erreichen. Insbesondere die Prognosen des RCP-8.5 Szenarios sind extrem besorgniserregend.

Die Auswertung der saisonalen Temperaturentwicklungen (Sommer-/ Winterhalbjahr) zeigt hierzu vergleichbare Trends auch bei der getrennten Betrachtung beider Jahreshälften. Die entsprechenden Diagramme befinden sich im Anhang.

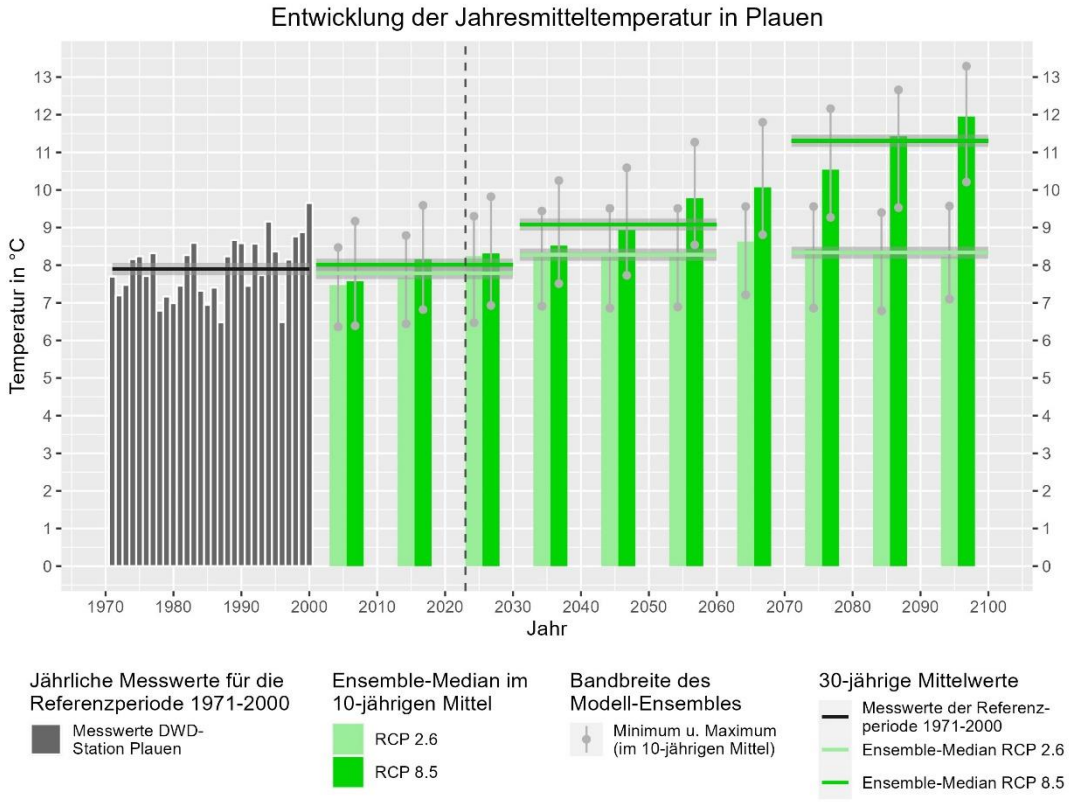


Abbildung 39: Projizierte Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Plauen.

Monatsmitteltemperatur

Ein Vergleich der Monatswerte zwischen den beiden letzten Klimareferenzperioden 1961-1990 sowie 1991-2020 (Abbildung 40) zeigt differenzierte Ergebnisse, da die Lufttemperatur sich nicht in allen Monaten gleichermaßen verändert hat. So ist die mittlere Lufttemperatur zwar in allen Monaten gestiegen, allerdings gibt es durchaus nennenswerte Unterschiede zwischen den einzelnen Monaten. Der Anstieg ist beispielsweise in den Herbstmonaten September (+0,3 K), Oktober (+0,5 K) und November (+0,9 K) verhältnismäßig gering. Besonders hoch ist er hingegen in den Monaten Januar (+1,6 K), März (+1,6 K) und April (+1,8 K) sowie den Sommermonaten Juni (+1,5 K), Juli (+1,5 K) und August (+1,6 K).

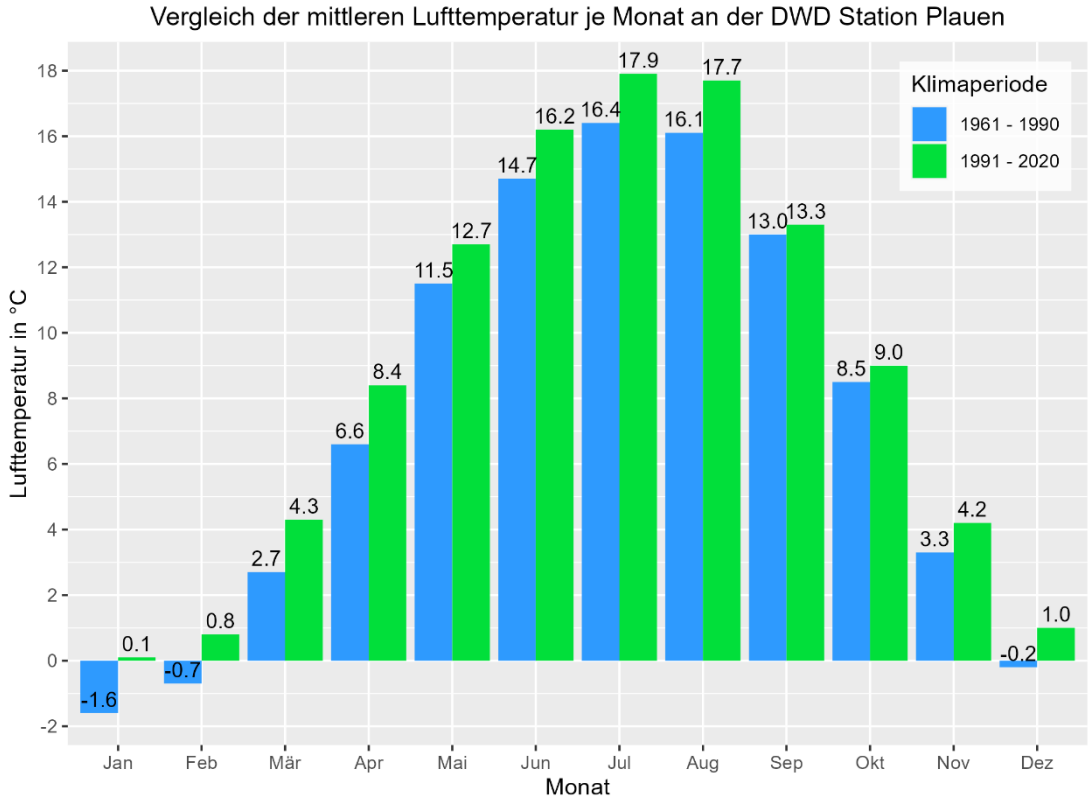


Abbildung 40: Vergleich der mittleren Lufttemperatur je Monat an der DWD-Station Plauen für die beiden Klimaperioden 1961-1990 (blau) und 1991-2020 (grün).

Hitzetage

Zur Beschreibung von Temperaturveränderungen eignen sich auch sogenannte Kenntage bzw. Ereignisstage, von denen einige (wie z. B Hitzetage, Sommertage, Hitzewellentage, Frosttage und Eistage, zusätzliche Abbildungen im Anhang), ausgewählt wurden, um den abstrakten Wert der mittleren Temperaturen etwas nachvollziehbarer darzustellen. Ein Tag wird dabei als Hitzetag definiert, sobald die Tageshöchsttemperatur 30,0 °C erreicht oder übersteigt.

In der Stationsgeschichte zeigt der lineare Trend (blaue Linie) in Abbildung 41 einen Anstieg der Hitzetage im Mittel von drei auf acht. Die Stationsgeschichte zeigt sehr anschaulich, dass es auch von 1920 bis 1940 eine Häufung an Hitzetagen gab. Gleichzeitig gab es auch immer wieder Jahre ohne einen einzigen Hitzetag. Seit den 2000er Jahren gibt es keine Jahre mehr, die nicht mindestens zwei Hitzetage hatten. Außerdem häufen sich in jüngster Vergangenheit Jahre mit außergewöhnlich vielen Hitzetagen (2003, 2015, 2018, 2019, 2022, 2023).

Wie schon bei der Jahresmitteltemperatur zeigen die Klimamodelle eine Fortführung dieses Trends an (Abbildung 42). Unter Annahme des derzeit durchaus wahrscheinlichen RCP 8.5 Szenarios, wären zum Ende des Jahrunderts extreme Jahre wie 2018 die „neue Normalität“. Dies bedeutet gleichermaßen, dass es dann in einzelnen Jahren durchaus auch 40 oder 50 Hitzetage geben kann. Das RCP 2.6 Szenario gibt hier etwas Hoffnung. Sollten sich die globalen Klimaschutzbemühungen doch positiver als erwartet entwickeln, kann der Anstieg der Hitzetage gestoppt oder zumindest abgeschwächt werden.

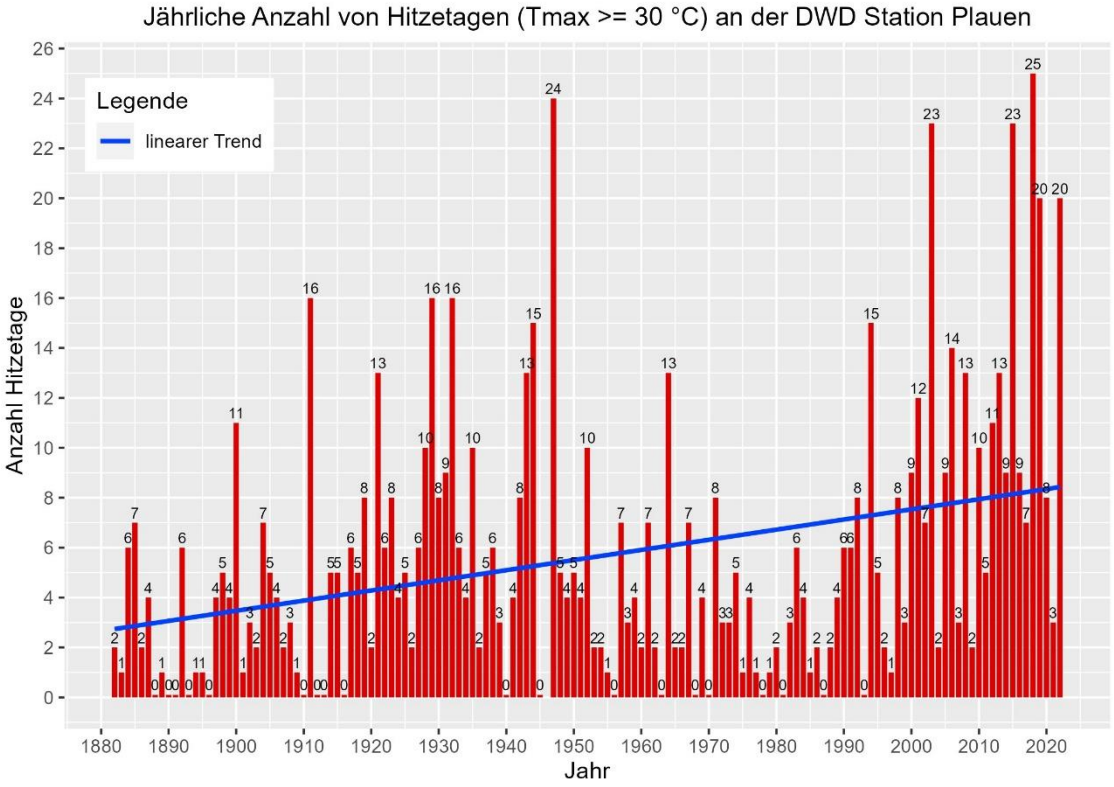


Abbildung 41: Jährliche Anzahl von Hitzetagen an der DWD-Station Plauen.

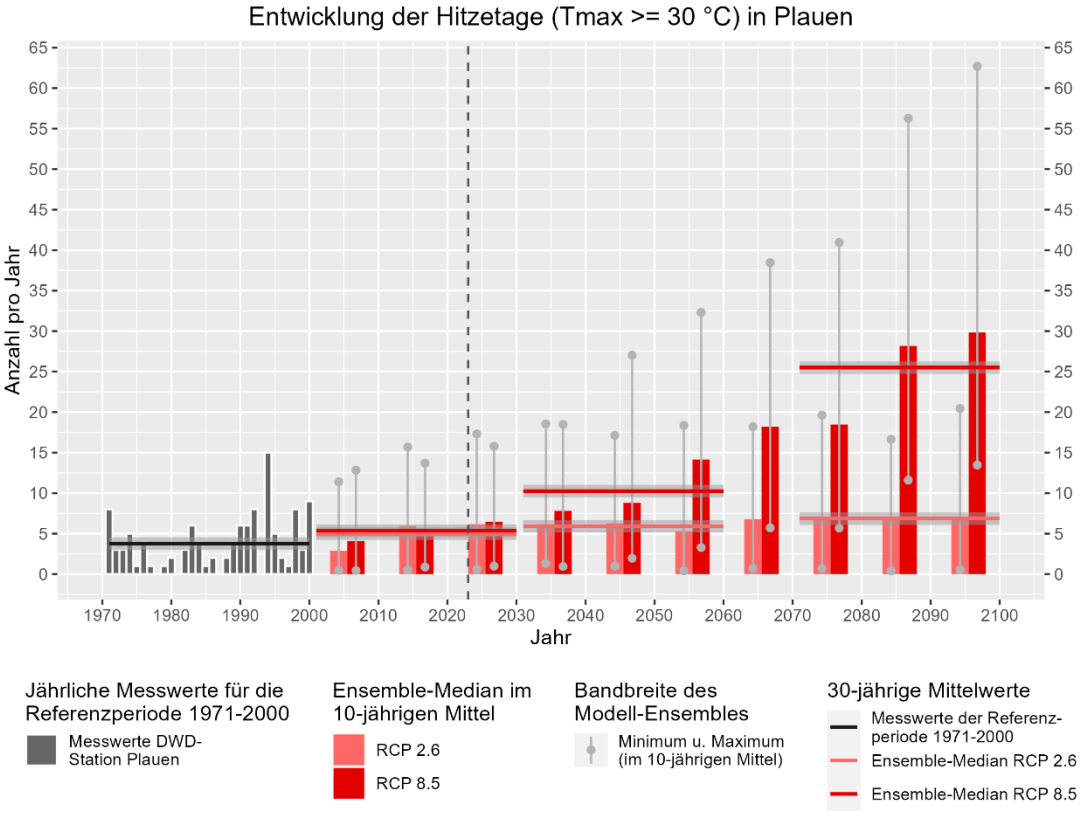


Abbildung 42: Projizierte Entwicklung der Hitzetage in Plauen.

3.2.2. Niederschlag

Jahresniederschlag

Neben der Temperatur bildet der Niederschlag ein wichtiges Kriterium bei der Bewertung von Klimaveränderungen. Vor diesem Hintergrund wird dieser daher im Rahmen dieses Unterkapitels unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet. Begonnen wird mit dem Jahresniederschlag.

Ganz so eindeutig wie bei der Temperatur ist die Entwicklung beim Jahresniederschlag zumindest in den letzten 60 Jahren nicht. Davor war an der Station das Niederschlagsniveau um etwa 150 mm höher. Ob dies tatsächlich so korrekt ist oder die Unterschiede auf anderen Messverfahren beruhen, kann nicht mit abschließender Sicherheit geklärt werden. Das Diagramm (Abbildung 43) zeigt deutlich, dass eine hohe jährliche Schwankung von mehreren 100 mm Niederschlag durchaus typisch ist. Die Mittelwerte der letzten beiden 30-jährigen Klimaperioden unterscheiden sich nur geringfügig. Ähnlich wie in den 80er Jahren, gab es zuletzt mit den Jahren 2015, 2018, 2019 und 2022 vier relativ trockene Jahre in kurzem Abstand. Weit überdurchschnittlich nasse Jahre kommen tendenziell eher seltener vor, als dies in der Vergangenheit der Fall war. Geringe Niederschlagssummen über einen längeren Zeitraum können mitunter sehr problematisch für die Vegetation oder den Grundwasserspiegel sein, wenn sie in der Vegetationsperiode oder gar über mehrere Jahre hinweg auftreten.

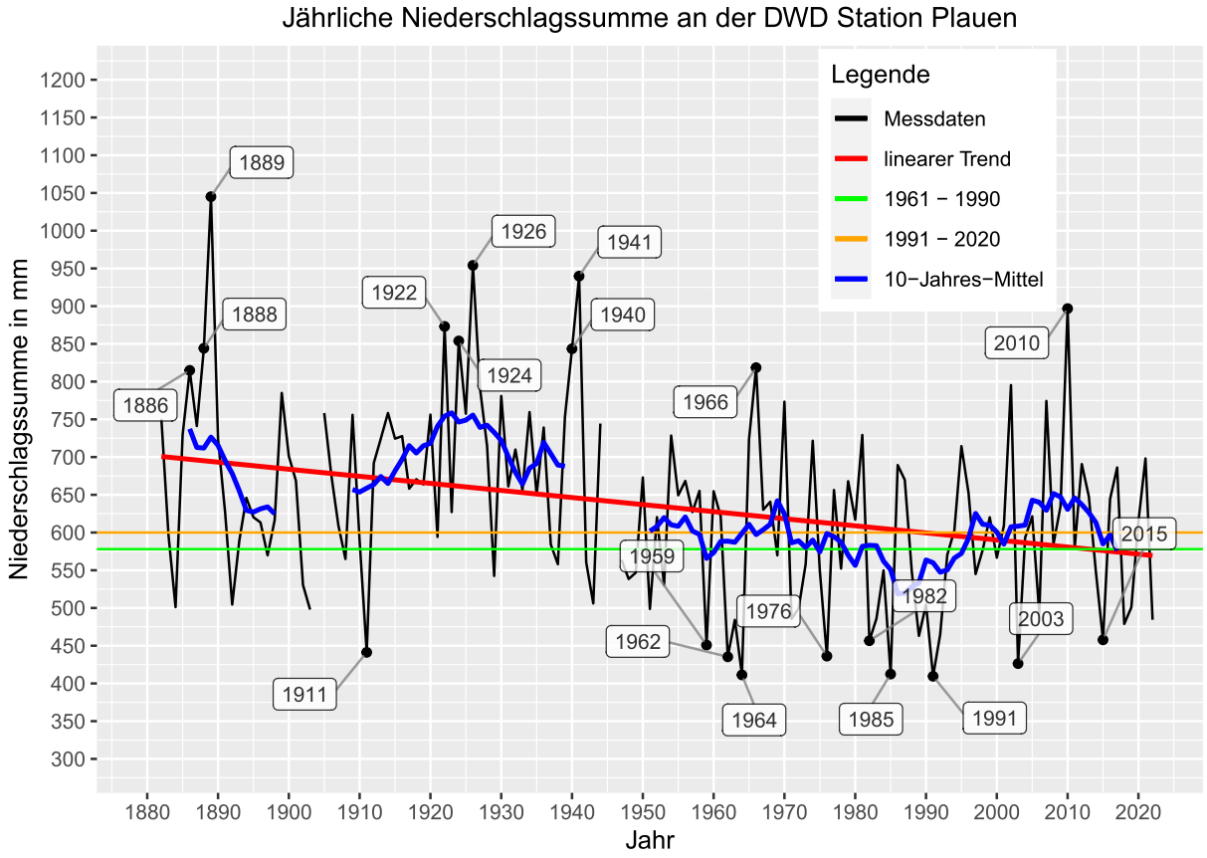


Abbildung 43: Jährliche Niederschlagssumme an der DWD Station Plauen.

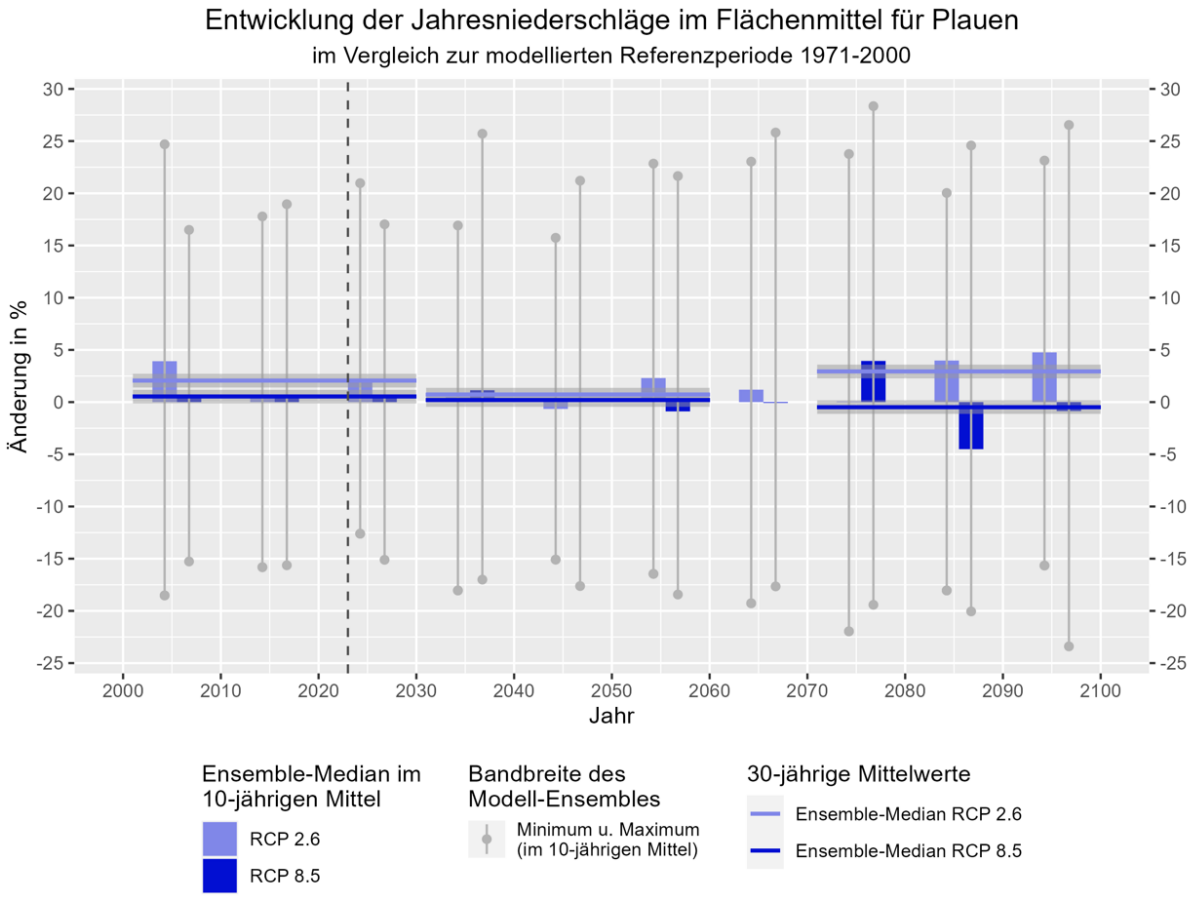


Abbildung 44: Projizierte Entwicklung der Jahresniederschläge in Plauen.

Im Unterschied zu den anderen Kennzahlen werden die (jährlichen und saisonalen) projizierten Niederschlagssummen hier nicht als Absolutwerte dargestellt, sondern als prozentuale Änderungswerte im Bezug zur modellierten Referenzperiode 1971-2000. Die modellierte Referenzperiode wurde hier analog zur verwendeten gemessenen Referenzperiode in den Diagrammen anderer Kennzahlen gewählt. Grund für die prozentuale Darstellungsform ist die tendenzielle Überschätzung der Klimamodelle des Mitteldeutschen Kernensembles von Niederschlägen in Gebirgsnähe.

In Abbildung 44 wird deutlich, dass die zukünftige Entwicklung der Jahresniederschläge einer großen Bandbreite zwischen den herangezogenen Modellen des MDK unterliegt. Die Bandbreite der Ensembles beider Klimaszenarien (RCP 2.6 und 8.5) liegt dabei über den gesamten Betrachtungszeitraum zwischen Änderungsraten der Niederschläge von +17 bis +28 % (Ensemble-Maximum) und -12 % bis -23 % (Ensemble-Minimum) im 10-jährigen Mittel. Die Ensemble-Mediane bilden für Gegenwart (2001-2030) und Nahe Zukunft (2031-2060) nur minimale Änderungsraten ab, während innerhalb der Fernen Zukunft (2071-2100) 10-jährige Mittel von bis zu ±5 % auftreten. Die projizierten Jahresniederschläge unterliegen somit einer großen Bandbreite und ein eindeutiger Entwicklungstrend ist nicht erkennbar. Wirft man einen genaueren Blick auf Sommer- und Winterhalbjahr, so deutet sich zumindest beim RCP 8.5 Szenario an, dass die Sommer tendenziell trockener und die Winter tendenziell nasser werden.

Monatsniederschlag

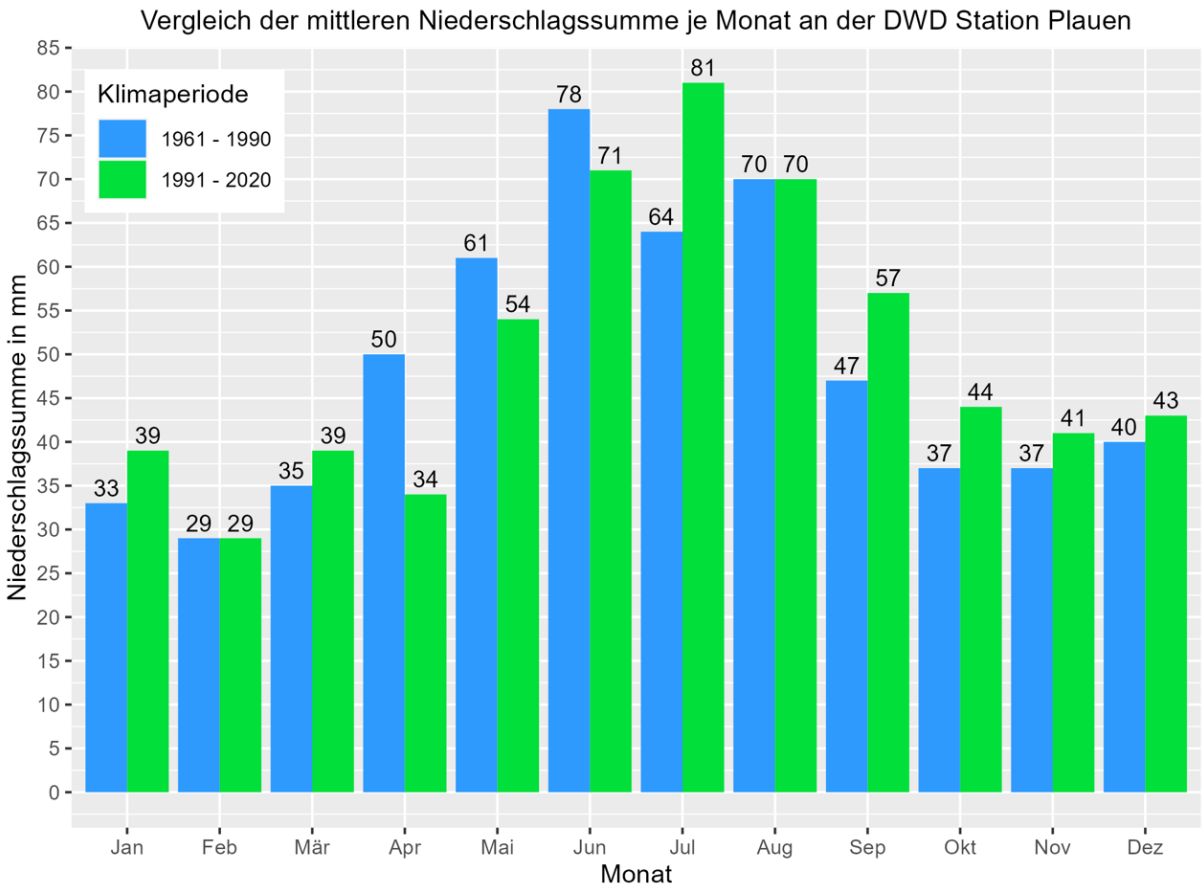


Abbildung 45: Vergleich der mittleren Niederschlagssumme je Monat an der DWD-Station Plauen für die beiden Klimaperioden 1961-1990 (blau) und 1991-2020 (grün).

Im Folgenden liegt der Fokus auf dem Vergleich der gemessenen Monatsniederschläge zweier Klimaperioden. Dadurch soll ermittelt werden, ob sich etwaige Veränderungen des Jahresniederschlages gleichmäßig auf alle Monate verteilen oder es hier (größere) Unterschiede gibt. Verglichen werden in Abbildung 45 die Zeiträume 1961-1990 (Vergangenheit) und 1991-2020 (Gegenwart).

Die Auswertung der beiden Klimaperioden zeigt für die einzelnen Monate ein heterogenes Bild bzgl. der Veränderung der Niederschlagssummen. So lassen sich Monate mit einer Zunahme, Abnahme oder auch keiner Veränderung finden. Am prägnantesten ist die Niederschlagsabnahme im April (-14 mm). Auf der anderen Seite sind die Niederschlagssummen in den Monaten Juli (+17 mm) und September (+10 mm) gestiegen. Kaum Veränderungen gab es im Februar (+- 0 mm) und im Dezember (+3 mm). Insbesondere der deutliche Rückgang im April ist kritisch zu sehen, da die Vegetation gerade zu Beginn ihres Wachstums ausreichend Wasser benötigt und hier eine deutliche Abnahme des Niederschlages vorliegt.

Starkregentage

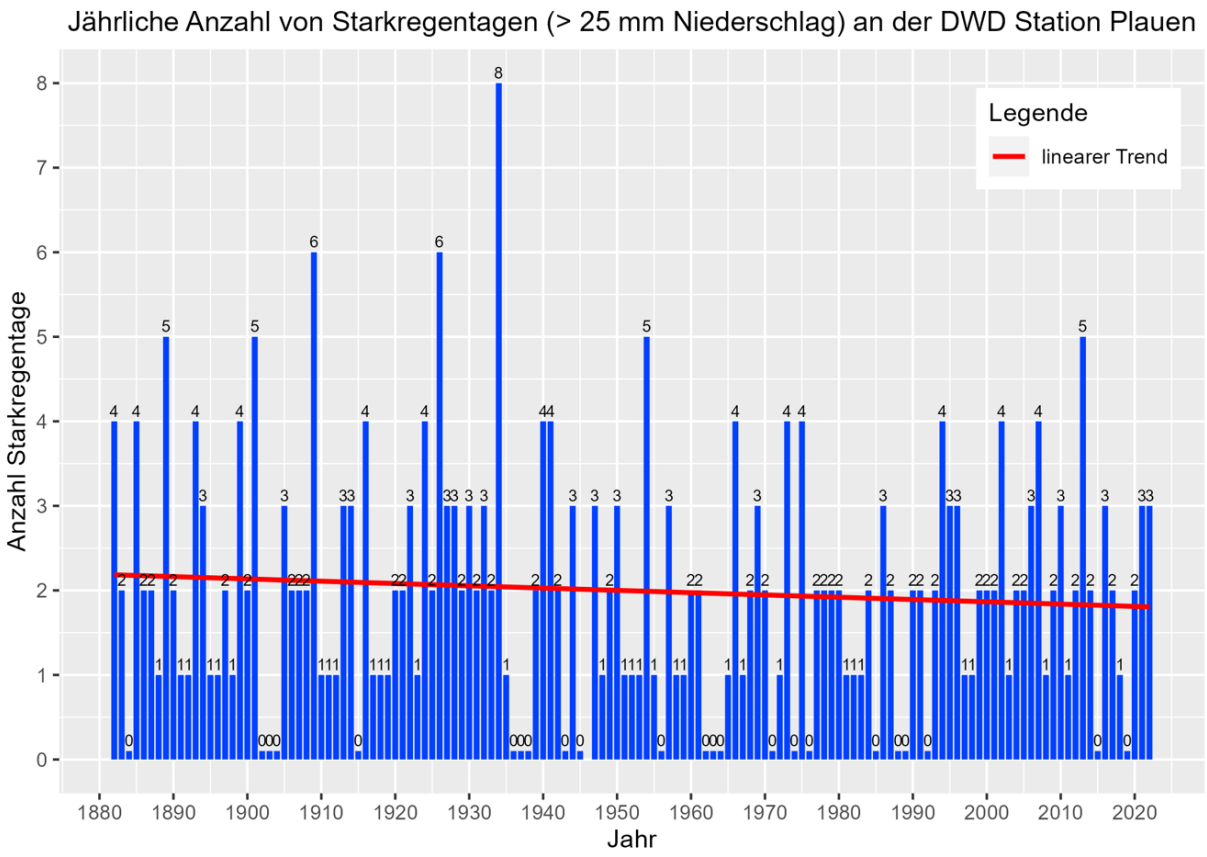


Abbildung 46: Jährliche Anzahl der Starkregentage an der DWD-Station Plauen.

Betrachtet man die Entwicklung der jährlichen Starkregentage seit 1882, so lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen. Im Mittel kommt es zu etwa zwei Starkregenereignissen pro Jahr. Beim Thema Starkregen und dessen Interpretation ist dabei jedoch zwingend dessen Charakter der starken räumlichen Heterogenität zu beachten. In der Regel treten intensive Starkregenereignisse räumlich sehr stark begrenzt auf. So kann es sein, dass 1 km von der Station entfernt, ein solches Ereignis stattfindet, es an der Station selbst jedoch gar nicht oder nur sehr leicht regnet.

Betrachtet man die zukünftige Entwicklung, so sei zunächst angemerkt, dass die Klimamodelle einen Starkregentag anders definieren. Hier wird die Niederschlagsmenge der oberen 10 % aller Regentage als Grenzwert verwendet. Von daher ist die Anzahl deutlich höher. Ungeachtet dessen, zeigen die Klimamodelle auch für die Zukunft bei beiden Szenerien keinen Trend an. Es ist jedoch so, dass künftige Niederschlagsprognosen modellbedingt mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Rein physikalisch betrachtet ist mit höheren Temperaturen ein größeres Starkregenrisiko (vor allem in Hinblick auf die Intensität) verbunden, da warme Luftmassen mehr Feuchtigkeit speichern können.

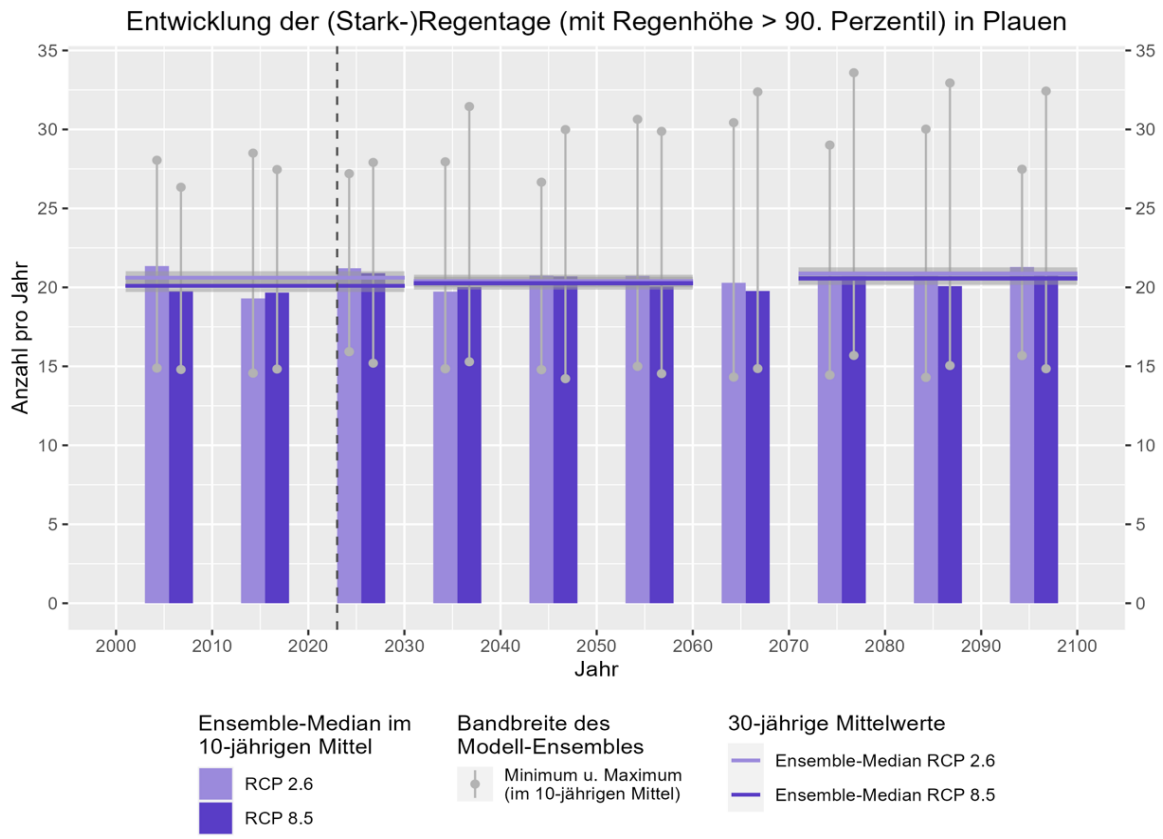


Abbildung 47: Projizierte Entwicklung der Starkregentage.

3.2.3. Wind

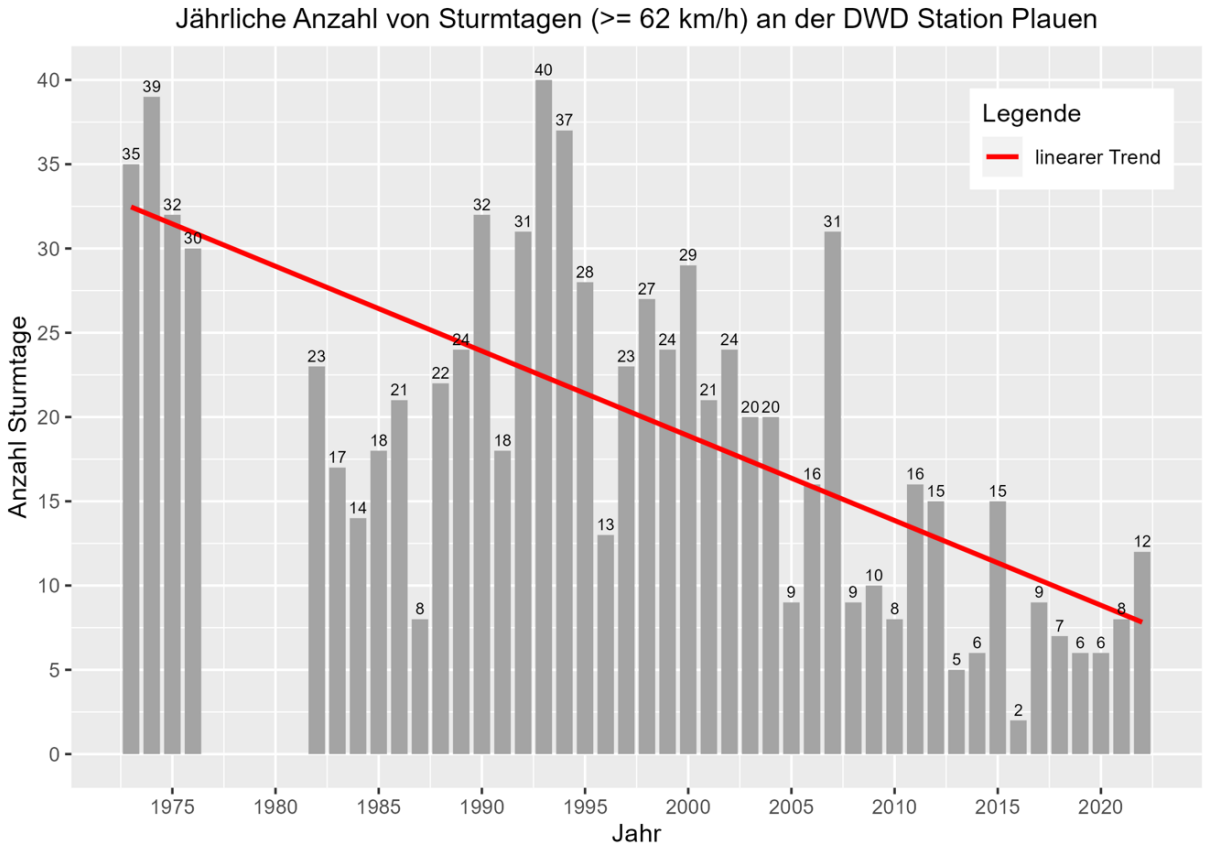


Abbildung 48: Entwicklung der Sturmtage an der DWD-Station Plauen.

Bei den Sturmtagen (Windgeschwindigkeit im 10 min Mittel mindestens einmal am Tag größer als 62 km/h, Abbildung 48) zeigt sich in den letzten Jahren ein markanter Trend zur Abnahme. Dieses Verhalten zeigt sich auch an vielen weiteren Klimastationen in Deutschland. Eine mögliche Ursache hierfür kann die erhöhte Häufigkeit von stabilen, windschwachen Hochdruckwetterlagen sein, während früher die atlantisch geprägte Westwetterlage in Mitteleuropa vorherrschend war.

Daten zur zukünftigen Entwicklung von Sturmtagen liegen im Mitteldeutschen Kernensemble nicht vor.

3.2.4. Klimatische Wasserbilanz

Ein komplexer Klimakennwert mit hoher Relevanz für eine Vielzahl von Handlungsfeldern ist die Klimatische Wasserbilanz (KWB). Diese ergibt sich aus der Differenz des Niederschlags sowie der potenziellen Verdunstung und beeinflusst maßgeblich die Wasserverfügbarkeit und damit die Vegetationsentwicklung und -vitalität. Die tatsächlichen Auswirkungen der Änderungen der Klimatischen Wasserbilanz sind aber im hohen Maß von den lokalen Standorteigenschaften wie Bodenart und Grundwasseranbindung abhängig.

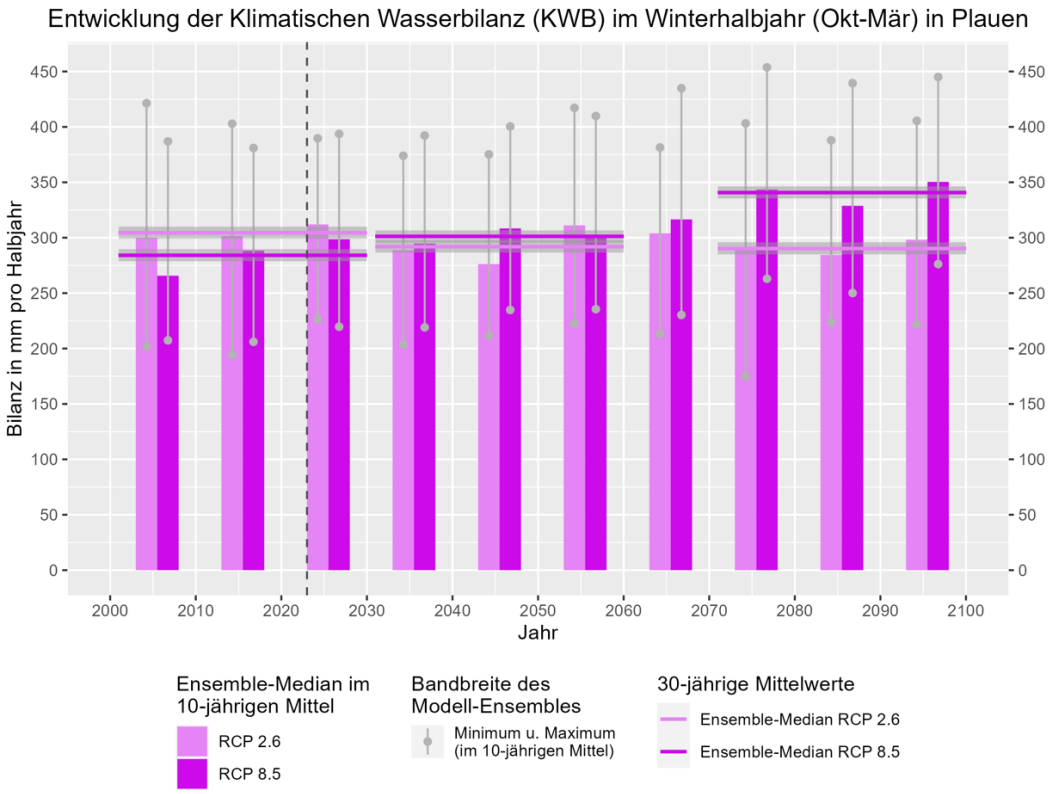


Abbildung 49: Prognostizierte Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz im Winterhalbjahr in Plauen.

Die Klimatische Wasserbilanz kann nicht direkt aus DWD-Stationsdaten ermittelt werden, sodass sich die Betrachtung in diesem Unterkapitel auf die projizierten Klimaveränderungen konzentriert. Eine räumliche Darstellung der gemittelten Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr für den Zeitraum von 1991 bis 2020 kann im Kapitel 3.4.7 (Betroffenheitsanalyse Trockenstress für das Stadtgrün) nachgeschlagen werden.

Gemäß RCP 2.6 Szenario (viel globaler Klimaschutz, Pariser Klimaabkommen) bleibt die KWB im Winterhalbjahr (Abbildung 49) mit etwa +300 mm bis zum Ende des Jahrhunderts konstant. Das bedeutet, dass es im Schnitt 300 mm mehr regnet als zur gleichen Zeit Niederschlag verdunsten kann.

Anders ist die Situation im Sommerhalbjahr (Abbildung 50). Hier ist die KWB bereits heute im Mittel mit etwa -50 mm negativ. Das heißt, es verdunstet mehr Wasser als Niederschlag fällt. Beide Klimaszenarien zeigen eine weitere Abnahme der KWB an, wobei diese besonders beim RCP 8.5 Szenario sehr markant ausfällt und bis zum Ende des Jahrhunderts bei -150 mm liegen würde. Zu beachten sind auch hier die teils großen Unsicherheiten (senkrechte graue Linien), welche in den bereits beschriebenen Schwierigkeiten der Klimamodelle bei den Niederschlagsprognosen begründet liegen.

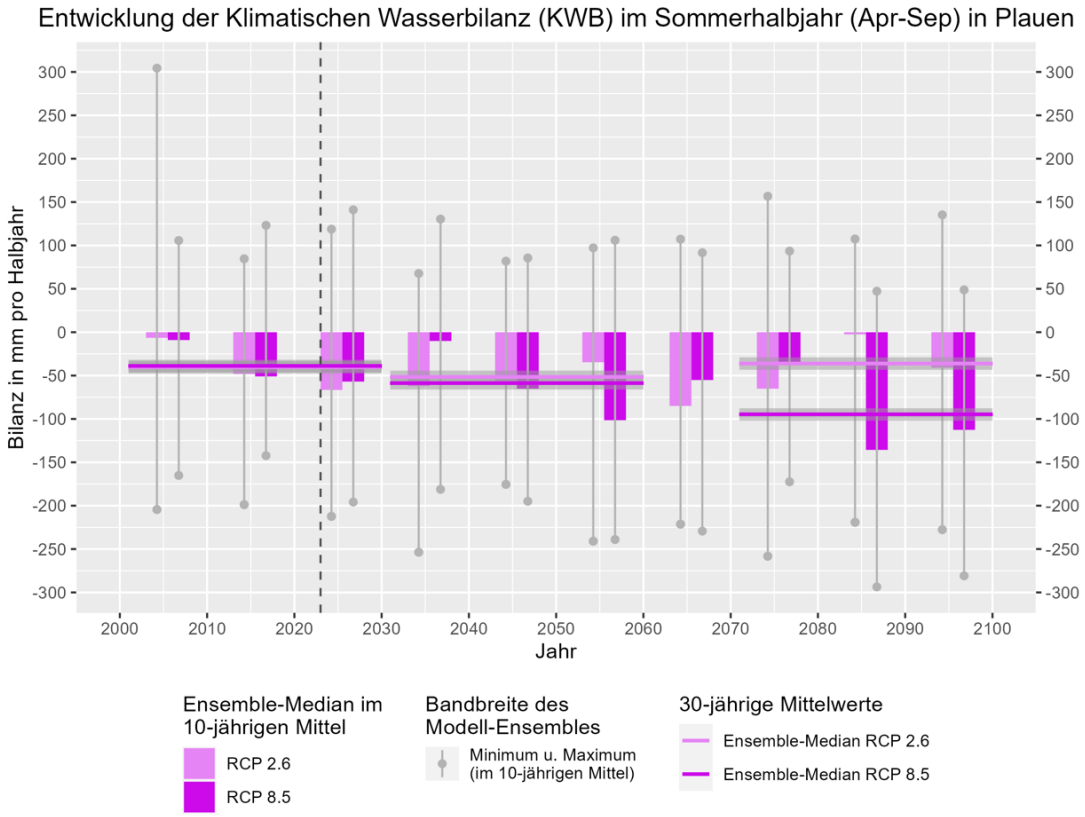


Abbildung 50: Prognostizierte Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr in Plauen.

3.2.5. Zusammenfassung der Klimaveränderungen

Die Auswertung der DWD-Klimastationsdaten zeigte, dass in etwa seit den 1980er Jahren eine deutliche Temperaturzunahme festzustellen ist. Jährliche Schwankungen gibt es zwar nach wie vor, allerdings ist das Grundniveau bedeutend höher. Kalte Jahre kamen mit Ausnahme von 1996 und 2010 in den letzten 30 Jahren nicht mehr vor.

Beim Niederschlag ist der Trend sowohl auf das Jahr betrachtet als auch bei den Starkniederschlägen weniger eindeutig. In den letzten Jahren kamen jedoch vermehrt trockene Jahre vor. Auffällig ist außerdem, dass es vor allem im April eine erhebliche Abnahme der Regensummen zwischen den Zeiträumen 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020 messbar ist.

Bei den Sturmtagen zeigt die Messstation Plauen eine erhebliche Abnahme. So gab es vor dem Jahr 2000 zahlreiche Jahre mit 30 oder mehr Sturmtagen, während sich z. B. in den letzten 15 Jahren die Werte im Bereich von 15 oder weniger Sturmtagen bewegen.

Tabelle 4: Stärke der Veränderung zwischen Referenzperiode (1971-2000) und ferner Zukunft (2071-2100) Erläuterung: [+++] sehr starke Zunahme, [++] = starke Zunahme, [+] = leichte Zunahme, [o] = etwa gleichbleibend, [-] = leichte Abnahme, [- -] = starke Abnahme, [- - -] sehr starke Abnahme; Belastbarkeit der Aussagen der Modelle/Szenarien: gering, mittel, hoch.

Untersuchungsgebiet	Stadt Plauen	
Szenario	**RCP 2.6**	**RCP 8.5**
Temperatur		
Jahresmittel	+	+ + +
Sommerhalbjahr	+	+ + +
Winterhalbjahr	+	+ + +
Eistage	-	- - -
Frosttage	o	- - -
Sommertage	+	+ + +
Hitzetage	+	+ + +
Niederschlag		
Jahressumme	o	o
Sommerhalbjahr	o	-
Winterhalbjahr	o	+
Starkregentage mit > 90. Perzentil	o	o
Regentage mit > 1 mm	o	-
Klimatische Wasserbilanz		
Gesamtjahr	-	-
Sommerhalbjahr	-	- -
Winterhalbjahr	o	+

Aufgrund des großen Umfanges der vorangegangenen Unterkapitel sollen an dieser Stelle in kompakter Form die wichtigsten Erkenntnisse aus den Klimamodellen zusammengefasst werden (Tabelle 4). Die Analysen haben gezeigt, dass sich das Klima in der Stadt Plauen selbst nach den optimistischsten Szenarien (RCP 2.6) verändern wird. So ist ein – verglichen mit den heutigen Verhältnissen – weiterer leichter Anstieg der Temperatur sowie der temperaturbezogenen Kennwerte zu erwarten (bei Eis- und Frosttagen entsprechend genau entgegengesetzt). Der Niederschlag bliebe demnach, über das Jahr gesehen, insgesamt unverändert. Allerdings ist mit einer leichten Abnahme im Sommerhalbjahr bei gleichzeitiger Zunahme im Winterhalbjahr zu rechnen. Die Anzahl der Starkregentage soll nach den Modellen in etwa gleich bleiben (Achtung große Unsicherheiten). Die klimatische Wasserbilanz würde im Winterhalbjahr positiver werden und im Sommerhalbjahr deutlich abnehmen.

Wie bereits beschrieben und vom IPCC festgestellt, ist nach dem derzeitigen Wissensstand ein Eintreten des RCP 2.6 Szenarios äußerst unwahrscheinlich. Vielmehr ist es so, dass die derzeitige globale Entwicklung eher den Prognosen des „worst-case“ Szenarios RCP 8.5 entspricht. Wenn sich diese Entwicklung fortsetzt, wären zum Ende des Jahrhunderts massive Klimaveränderungen hinsichtlich aller untersuchten Parameter zu erwarten. Besonders ausgeprägt wäre der Temperaturanstieg mit einer Zunahme von etwa +4,0 K im Jahresmittel der Jahre 2071 bis 2100. Damit wäre das 1,5 bzw. 2-Grad-Ziel weit verfehlt! Vor diesem Hintergrund würden alle wärmebezogenen Kennwerte sehr stark zunehmen, während es auf der anderen Seite, zu einer deutlichen Abnahme der Frost- und Eistage käme. Die höheren Temperaturen begünstigen darüber hinaus das vermehrte Auftreten von Starkregenereignissen, da warme Luftmassen mehr Feuchtigkeit speichern können und damit das Potenzial für schwere Gewitter und Starkregenereignisse immer weiter ansteigt.

3.3. Auswirkungen auf die kommunalen Handlungsfelder

Im Folgenden werden die allgemein erwarteten Auswirkungen des projizierten Klimawandels auf die kommunalen Handlungsfelder kurz beschrieben. Dabei wird sich auf aktuelle Veröffentlichungen, besonders auf den Monitoringbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (UBA 2019b) und die Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland (UBA 2021) bezogen. Die Auswahl der Handlungsfelder (z. B. Menschliche Gesundheit, Wasserwirtschaft) orientiert sich an den Vorgaben der Deutschen Anpassungsstrategie (BBD 2008). Auf die Darstellung von für die Stadt Plauen nicht oder minder relevanten Handlungsfeldern wie Fischerei, Energiewirtschaft oder Tourismus wurde verzichtet. Dies soll nicht bedeuten, dass diese Handlungsfelder in Plauen grundlegend keine Rolle spielen, jedoch wird davon ausgegangen, dass Beeinträchtigungen durch den Klimawandel keine oder nur geringe wirtschaftliche oder gesellschaftliche Relevanz haben. Beispielsweise gibt es zwar auch Tourismus in Plauen, jedoch ist dieser nicht, wie beispielsweise in den Alpen, von klimawandelbedingten Veränderungen beeinflusst.

3.3.1. Menschliche Gesundheit

Die Gesundheit der Bevölkerung ist auf unterschiedliche Weise vom Klimawandel betroffen. Die Klimafolge, die die meisten Menschen treffen wird, sind Extremereignisse in Form von Hitzewellen. Diese treten heute bereits auf, werden künftig jedoch häufiger und länger. Die Auswirkungen von Hitzewellen sind spätestens seit dem Sommer 2003 im Bewusstsein verankert. Langanhaltender Hitzestress führt verstärkt zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit einer erhöhten Mortalität.

Gefährdet sind vor allem Risikogruppen wie Senioren bzw. alleinstehende ältere und pflegebedürftige Menschen, Säuglinge und Kleinkinder, chronisch Kranke oder Menschen in Außenberufen. Aber auch für gesunde Erwachsene hat die Hitze negative Auswirkungen in Form von geminderter Leistungsfähigkeit und herabgesetztem Wohlbefinden. Hitze kann auch zu aggressivem Verhalten führen. Gleichzeitig ist der Hitzestress in städtischen Umgebungen stärker, da durch die versiegelten und insbesondere überbauten Flächen mehr Energie als Wärme aufgenommen und gespeichert wird, während die Durchlüftung herabgesetzt ist (Wärmeinseleffekt).

Als Klimafolge gilt zudem das erhöhte Sonnenbrand- und Hautkrebsrisiko, das durch die stärkere Sonneneinstrahlung bzw. die enthaltenen kurzwelligen UV-Anteile verursacht wird. Die höheren Temperaturen, besonders bei Hitzewellen, führen zudem zu einer erhöhten Konzentration bodennahen Ozons, was Atemwegsprobleme verursachen bzw. verstärken kann.

Für Asthmatiker und Allergiker wird sich die Beschwerdezeit verlängern, da die Pollensaison aufgrund der steigenden Jahresdurchschnittstemperatur früher beginnen und länger andauern wird. Auch ist die Ausbreitung allergieauslösender Pflanzen und Tiere in den letzten Jahren vermehrt zu beobachten, z. B. der Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) oder des Eichen-Prozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea*). Ebenfalls eine Folge der steigenden Temperaturen sind neue Lebensräume, die sich Krankheitsüberträger (Vektoren) wie Stechmücken, Wanzen oder Zecken erschließen, z. B. die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*). Mildere Winter bewirken zudem längere jährliche Aktivitätsperioden. Als von den Vektoren transportierte Krankheitserreger sind z. B. Borrelien sowie Hanta- und FSME-Viren zu nennen. Zunehmende Verkehrs- und Warenströme fördern das Vordringen nicht-heimischer Erreger.

Andere Extremereignisse wie Frost, Stürme, Starkniederschläge, Hagel oder Hochwasser bergen zusätzliche Gefahren für Leib und Leben in direkter Form, z. B. durch Verletzungen oder indirekt durch psychische Belastung in Folge des Ereignisses (z. B. bei Verlust von Angehörigen oder Beschädigung von Eigentum). Als Chance ist eine Abnahme der gesundheitlichen Belastungen durch Kälte im Winterhalbjahr zu sehen.

3.3.2. Landwirtschaft und Boden

Das Handlungsfeld Landwirtschaft und Boden ist durch die Folgen des Klimawandels sehr vielseitig betroffen, in Bezug auf Risiken, aber auch auf Chancen.

Die Erhöhung der Jahresmitteltemperatur hat unterschiedliche Auswirkungen für die Landwirtschaft. Sie bewirkt als Chance die Verlängerung der ackerbaulichen Vegetationsperiode und somit die Erhöhung der Erträge bestehender Sorten (z. B. Mais), die Möglichkeit neue Sorten zu etablieren und Sonderkulturen wie Wein verstärkt anzubauen. Ob diese günstigen Bedingungen pflanzen-baulich genutzt werden können, hängt auch in starkem Maße von der Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen ab. Gleichzeitig werden durch den immer früheren Beginn der Vegetationsperiode Frostschäden im Frühjahr wahrscheinlicher (z. B. Apfel und Wein), während andererseits der Rückgang der Frosttage für z. B. den Winterweizen problematisch ist.

Neben dem Einfluss auf Höhe und Stabilität von Ernteerträgen, kann sich der Klimawandel auch bei der Qualität der Ernteprodukte bemerkbar machen. Veränderte Niederschlagsmuster und Temperaturverläufe und die atmosphärische CO_2-Konzentration beeinflussen physiologische Prozesse in den Pflanzen und nehmen damit Einfluss auf den Gehalt und die Zusammensetzung von Inhaltsstoffen, die wichtige Qualitätsparameter darstellen (z. B. bei Obst oder Wein). Höhere Temperaturen und mildere Winter führen auch zur weiteren Verbreitung von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen.

Für die Nutztierhaltung sind höhere Temperaturen, besonders Hitzewellen, als Risiko zu sehen, da sie zusätzlichen Hitzestress für die Tiere und erhöhte Aufwendungen für die Stallklimatisierung bedeuten. So geht beispielsweise die Milchleistung von Kühen schon bei geringem Hitzestress zurück, und auch die Qualität der Milch wird von diesem beeinflusst. Zudem sorgen auch hier zunehmende oder neue vektorübertragene Krankheiten, z. B. Blauzungenkrankheit und Schmallenberg-Virus, für eine höhere Gefährdung.

Steigende Temperaturen führen zu einer verstärkten Verdunstung, welche die klimatische Wasserbilanz verschlechtert und Veränderungen des Bodenwasser- und des Grundwasserhaushaltes hervorruft. Unsicherheiten herrschen in Aussagen über die zukünftige saisonale Niederschlagsentwicklung, somit besteht die Annahme, dass selbst bei zukünftig gleichbleibenden Niederschlagssummen während der Vegetationsperiode die Zunahme der Verdunstung zu einer Verschlechterung der Wasserverfügbarkeit für die Landwirtschaft führt. Dies kann zu intensiven Trockenphasen mit Dürreschäden und Ernteausfällen führen.

Zeitgleich kann es jedoch häufiger zu einem Zuviel an Wasser kommen, da Starkniederschläge wahrscheinlich an Intensität und Häufigkeit zunehmen. Dies führt über Erosion nicht nur zum Verlust wertvollen Oberbodens, sondern auch zu erosiven Sturzfluten, die Ortslagen und Infrastrukturen überspülen und schädigen können. Übermäßige Feuchte durch Starkniederschläge sowie Hagel und Stürme verursachen zudem erhebliche Ertragsausfälle.

Neben der Land- und Forstwirtschaft hat Boden auch noch andere wichtige Funktionen und Wirkungsbereiche, wie in der Biodiversität als Lebensraum oder als Grundwasserfilter und -schutz. Prozesse im Boden sind stark von Temperatur- und Wasserbedingungen abhängig und sehr langwierig. Dadurch erholt sich der Boden auch nur sehr langsam von Schäden und Störungen. Konkrete Folgen des Klimawandels auf Bodensysteme sind nur sehr schwer abzuschätzen und quantitativ kaum zu erfassen.

Bodenerosionen durch Wasser (Niederschläge und Oberflächenabfluss), aber auch durch Winde verschieben die Bodenverhältnisse und beeinträchtigen sie damit nachhaltig. Letztere treten vor allem auf ausgetrockneten, nicht ausreichend mit Vegetation bedeckten Böden auf, welche in Zukunft zunehmen könnten. Diese Verlagerungen können unter anderem zur Versauerung des Oberbodens oder zum Verlust von Humus führen.

3.3.3. Wald und Forstwirtschaft

Die Forstwirtschaft ist ebenso wie die Landwirtschaft ein sehr naturbezogenes Handlungsfeld und seit langem mit sich ändernden Klimabedingungen vertraut. Im Gegensatz zur Landwirtschaft sind deren angebaute Arten – also Bäume – sehr viel langlebiger und machen eine frühzeitige und vorausschauende Planung notwendig. Wichtige Größen für das Handlungsfeld sind Niederschlag und Temperatur. Für den Niederschlag ist künftig mit einer leichten Verschiebung vom Sommer hin zum Winter zu rechnen. Eine Veränderung des Bodenwasserhaushaltes wäre die Folge, die z. B. zu langanhaltenden Nassphasen im Winter führen kann. Hohe Feuchtegehalte begünstigen zudem die Entstehung und Verbreitung von Schadorganismen wie Pilzen (z. B. Braun- und Rotfäule).

Die erhöhte Jahresdurchschnittstemperatur führt als Chance zu einer Verlängerung der forstlichen Vegetationsperiode, zudem kann das zunehmende atmosphärische CO_2 das Waldwachstum beschleunigen. Die Nutzung dieses Potenzials hängt jedoch stark von der standörtlichen Wasserverfügbarkeit in der Vegetationsperiode ab. Die klimatische Wasserbilanz dürfte sich unter dem Einfluss des Klimawandels jedoch im Sommerhalbjahr spürbar gegenüber der Gegenwart verschlechtern. Die veränderten Standortbedingungen schränken die Verbreitung bzw. den Anbau gering hitze- und trockenheitstoleranter Arten ein. Vor allem die Gemeine Fichte (*Picea abies*) ist unter den veränderten Bedingungen nicht angepasst, was zu Ertragseinbußen für die Forstwirtschaft führen kann, falls diese Baumart einen großen Anteil des Bestandes stellt. Ausgewachsene Bäume sterben selten direkt an den Folgen von Trockenheit, sie erhöht jedoch ihre Empfindlichkeit gegenüber anderen Faktoren, die im Folgenden noch beschrieben werden. Dagegen haben Jungbäume große Schwierigkeiten mit (zu) trockenen Bedingungen, da ihr Wurzelwerk noch nicht tief genug reicht. Dies erhöht die Absterbewahrscheinlichkeit stark und erschwert somit die Auf- und Umforstung.

Gleichzeitig ist mit Risiken durch häufigere Dürre- und Hitzeperioden zu rechnen, die Waldbrände begünstigen. Diese entstehen zwar meist durch das Fehlverhalten von Menschen und seltener durch Selbstentzündungen, bestimmte klimatische Verhältnisse erhöhen aber die Gefahr von flächenhaften Waldbränden. Auch die Baumartenzusammensetzung und die Bewirtschaftung spielen eine Rolle beim Waldbrandrisiko. Waldbrandüberwachungsmaßnahmen und Risikomanagement können der Waldbrandgefahr erheblich entgegenwirken.

Höhere Durchschnittstemperaturen bieten auch bessere Überdauerungs- und Ausbreitungsbedingungen für Schadinsekten wie Borkenkäfer, Eichen-Prozessionsspinner, Nonnenspinner oder Maikäfer.

Ebenso sorgen die höheren Durchschnittstemperaturen für weniger Bodenfrost, was die Anzahl der Tage, an denen die Wege auch mit schwerem Forstgerät befahrbar sind, reduziert.

Extreme Wettereignisse sind neben Dürre- und Hitzeperioden auch Starkregen und Stürme. Die großen Stürme der letzten Jahre (u. a. Kyrill 2007, Xynthia 2010, Xavier 2017, Sabine 2020) haben beachtliche Schäden in Form von Windbruch (Baumkronen oder Äste brechen ab) oder Windwurf (der Baum wird entwurzelt) hinterlassen. Ob und wie sich die Häufigkeit und Intensität von Sturmereignissen mit dem Klimawandel ändert, kann bisher nicht belastbar projiziert werden.

3.3.4. Wasserwirtschaft

Der projizierte Klimawandel hat auch für das Handlungsfeld Wasserwirtschaft weitreichende Auswirkungen. Im Sommerhalbjahr werden die Niederschläge wahrscheinlich abnehmen, dafür im Winterhalbjahr zunehmen. Insgesamt dürfte die jährliche Niederschlagsmenge jedoch in etwa gleichbleiben. Der abnehmende Niederschlag im Sommer verringert die Grundwasserneubildung, vor allem in Bereichen mit wenig durchlässigen Böden und geringer Wasserspeicherkapazität. Dies kann auf lange Sicht auch tiefere Grundwasservorräte betreffen, die oft der Trinkwassergewinnung dienen.

Eine geringere Wasserverfügbarkeit im Sommer führt neben Problemen in Land- und Forstwirtschaft auch zu Risiken für feuchteliebende Biotope. Gleichzeitig kann es in niederschlagsarmen Sommern zu häufigeren und längeren Perioden mit Niedrigwasser in Still- und Fließgewässern kommen. Dies kann dazu führen, dass Leitungssysteme trockenfallen und sich bei geringen Durchflüssen zusetzen, was weitergehende hygienische Probleme mit sich bringt. Niedrigwasser ist auch ein Problem für die Betreiber von Wasserkraftanlagen und Gewerben, die Brauchwasser zu Kühlzwecken oder als Rohstoff entnehmen. Weiterhin beeinflusst es den Wassersport und Badetourismus, was zu wirtschaftlichen Einbußen im Tourismussektor führen kann.

Die steigenden Temperaturen im Jahresverlauf und speziell im Sommer sorgen für eine stärkere Erwärmung der oberen Wasserschichten von Gewässern. Eine Verringerung des Sauerstoffgehaltes des Wassers ist eine Folge. Bei gleichzeitiger Wasserverminderung in Trockenperioden kann es zur Anreicherung von Nährstoffen (Eutrophierung) kommen. Die Änderungen speziell der Wassertemperatur können sich deutlich auf das Ökosystem des Gewässers auswirken, zum Beispiel durch einen Zuwachs der Wasserflora. Verschiebungen der Zusammensetzungen der Tierwelt, zum Beispiel Änderungen der Fischregionen, können eine weitere Folge sein.

Auch ein Mehr an Wasser birgt Risiken für das Handlungsfeld. Da Niederschlag im Winter häufiger als Regen fallen wird, wird dieser, im Gegensatz zum Schnee, stärker bzw. kurzfristiger zum Abfluss beitragen. Eine höhere Wahrscheinlichkeit von Hochwassern könnte die Folge sein. Bisher sind die Erkenntnisse der Klimafolgenforschung zu diesem Thema noch dürftig, was vor allem im sehr seltenen Auftreten solcher Extremereignisse begründet liegt.

Durch den Klimawandel werden auch Extremereignisse wie Starkregen beeinflusst. Es wird damit gerechnet, dass es künftig zu intensiveren und wahrscheinlich auch häufigeren Starkniederschlägen kommen wird. Zu den Folgen zählen lokale Überschwemmungen infolge überlasteter Kanalisation, Beiträge zu Flusshochwassern sowie erosive Sturzfluten auf Ackerflächen, die auch angrenzende Ortslagen betreffen können.

3.3.5. Biologische Vielfalt

Eine Vielzahl sozioökonomischer Einflussgrößen (z. B. Flächenbedarf für Siedlungs- und Verkehrsflächen, intensive Landnutzung) führen direkt oder indirekt zu Beeinträchtigungen der Tier- und Pflanzenwelt (z. B. durch Zerschneidung der Landschaft oder Eutrophierung). Die Folgen des Klimawandels bergen ein zusätzliches Gefahrenpotenzial für die Diversität auf Art- und Ökosystemebene. Diese klimawandelbedingten Veränderungen lassen sich seit einiger Zeit bereits beobachten.

Der Wuchs- und Blühbeginn der Vegetation verschiebt sich im Jahresverlauf nach vorn, Ankunfts- und Wegzugszeiten von Vögeln verschieben sich, Arealgrenzen verschiedener Tier- und Pflanzenarten verlagern sich (ca. 200 bis 300 km polwärts je 1 °C Temperaturerhöhung), wärmeliebende, z. T. invasive Neophyten und Neozoen (z. B. Drüsiges Springkraut (*Impatiens glandulifera*)) breiten sich aus und verdrängen teilweise einheimische Arten. Derartige Entwicklungen werden sich zukünftig sehr wahrscheinlich fortsetzen und intensivieren (IPCC 2014a; Essl & Rabitsch 2013), sodass das Risiko, bestimmte naturschutzfachliche Zielstellungen nicht erreichen zu können, tendenziell steigt.

Die Auswirkungen regionaler klimatischer Veränderungen sind sehr komplex. Am unmittelbarsten jedoch wirken sich Veränderungen im Temperatur- und Niederschlagsregime und damit auch in der Wasserverfügbarkeit auf die Arten und Lebensräume aus, woraus sich je nach Kontext vielfältige, indirekte Veränderungen bzgl. der Phänologie, Habitatstruktur, Nährstoff- / Nahrungsangebot, Konkurrenzverhältnisse u.v.m. ergeben. Zu wenig Niederschlag führt z. B. zum Trockenfallen kleiner Teiche und Kleinstgewässer und der Gefährdung der daran gebundenen Arten; Starkregenereignisse können die Tier- und Pflanzenwelt nachhaltig schädigen, indem Biotope kurz- oder längerfristig überflutet und evtl. sogar zerstört werden. Steigende Temperaturen gefährden andere Tierarten ähnlich wie uns Menschen, durch das Eingehen von Vegetation werden zusätzlich Nahrungs-, Brut- und Unterschlupfhabitate zerstört.

Für den Stadtbereich erscheint dieses Handlungsfeld vielleicht auf den ersten Blick irrelevant oder unerheblich, jedoch spielt Biodiversität in der Stadt ebenfalls eine große Rolle, zum Beispiel, wenn es um städtisches Grün mit all seinen stadtklimatischen Funktionen oder auch Wohlfühl- und Erholungseffekte geht. Durch die Habitatzerschneidung und generell erschwerte Lebensbedingungen in der Stadt ist Biodiversität hier ohnehin bereits gefährdet, wodurch Auswirkungen des prognostizierten und bereits beobachteten Klimawandels eine noch größere Bedeutung darstellen können. Der Stadtbereich ist mit seinen heterogenen Grünstrukturen neben seiner Bedeutung für den Menschen auch von großer Bedeutung für die Biodiversität. Parkanlagen, Friedhöfe, Kleingartenanlagen und brachliegende Flächen können einer vielfältigen Flora und Fauna einen geeigneten Lebensraum bieten. Auch hier sind Veränderungen zu erwarten, welche die klimatischen Änderungen widerspiegeln. So werden z.B. feuchteliebende Pflanzenarten wie z.B. der Wiesen-Knöterich (Polygonum bistorta) bei zunehmender Trockenheit und höheren Temperaturen deutlich weniger auf Wiesen im Stadtbild zu sehen sein und von Pflanzenarten verdrängt, welche mit trockeneren Standorten und höheren Temparaturen besser zurechtkommen. Bei der Fauna sind Veränderungen zu erwarten, welche durch die veränderten klimatischen Bedingungen hervorgerufen werden. So können z.B. die steigenden Temperaturen und die milden Winter dazu führen, dass exotische Insektenarten wie z.B. die Asiatische Tigermücke langfristig sich in Deutschland ausbreiten und auch unsere Region erreichen. Ferner geht ein Rückgang der Biodiversität von Insektenarten, welche an Gehölze gebunden sind mit dem Rückgang von Großgrün (z.B. Straßenbäume) in der Stadt einher.

3.3.6. Verkehrswesen

Das Handlungsfeld Verkehrswesen und Infrastruktur wird sowohl von temperatur-, als auch niederschlagsgetriebenen Klimafolgen beeinflusst. Starkregenereignisse führen zu unterspülten Straßen sowie Aquaplaning und Überschwemmungen in Straßensenken. Letztere können auch durch erosive Sturzfluten begründet sein, bei denen Schlammlawinen von benachbarten Äckern die Verkehrsinfrastruktur überschwemmen. Wenig intensive, aber langanhaltende Regenereignisse können die Stabilität von Böschungen beeinträchtigen und zu Hangrutschungen führen.

Niederschlag in fester Form ist ebenfalls von Bedeutung für das Verkehrswesen. Starke Schneefälle und Eisglätte sorgen für Verkehrsbehinderungen. Gleichzeitig sind Frost-Tau-Wechsel mittels Frostsprengung für Straßenschäden verantwortlich. Auch wenn Schnee und Eis künftig tendenziell weniger werden, sind Extremereignissen wie plötzliche Kälteeinbrüche oder heftige Schneefälle nicht ausgeschlossen. Als Chance der überwiegend steigenden Temperaturen sind sinkende Kosten für Winterdienste und Straßeninstandsetzung infolge weniger werdender Frostschäden zu sehen.

Auch hohe Temperaturen wirken sich auf Straßen und Schienen aus und führen zu Material- und Strukturschäden (z. B. Spurrinnen, Blow-ups). Hohe sommerliche Temperaturen wirken sich bei nicht klimatisierten Fahrzeugen negativ auf Konzentrations- und Reaktionsfähigkeit der Insassen und damit auf die Verkehrssicherheit aus. Aus diesem Grund sind Fahrstände bei der Bahn oder im ÖPNV heute meist klimatisiert.

Andere Extremereignisse mit Auswirkungen auf den Verkehr sind Stürme. Diese verursachen durch Windwurf regelmäßig Behinderungen im Verkehrsfluss und Schäden an Fahrzeugen, Verkehrsleitsystemen und Oberleitungen (vgl. Kapitel 1.3.2 und Kapitel 2.3.8).

3.3.7. Industrie und Gewerbe

Die Einflüsse des Klimawandels auf das Handlungsfeld Industrie und Gewerbe sind so vielfältig wie die Unternehmen selbst. Hierbei treten Risiken auf, es bieten sich aber auch Chancen. Extremwetterereignisse wie Stürme, Hochwasser und Sturzfluten können Betriebsanlagen, Bauwerke, Fahrzeuge und Infrastrukturen der Unternehmen beschädigen. Gleichzeitig wirken sich diese Extremwetterereignisse auch auf den Warentransport auf Straße und Schiene aus, sowohl für die Anlieferung der zur „Just-in-time“-Produktion benötigten Grundstoffe als auch den Abtransport der fertigen Produkte.

Die Produktion von Industrie und Gewerbe kann auch durch Wasserknappheit beeinflusst werden. Wasser wird als Kühl- oder Produktionsmittel verwendet, z. B. im Ernährungs- und Getränkegewerbe. Sinkt das Wasserangebot aus Grund- und Oberflächenwasser aufgrund veränderter Niederschlagsmuster und steigender Temperaturen, kann es zu Nutzungskonflikten und steigenden Preisen kommen.

Infolge steigender sommerlicher Temperaturen kommt auf viele Industrie- und Gewerbebetriebe auch ein steigender Energiebedarf zu. Die zunehmende Kühlung hitzeempfindlicher Produkte, Raum- und Gebäudeklimatisierung und die Prozesskühlung dürften zu entsprechenden Zusatzkosten führen.

Der Klimawandel birgt jedoch auch Chancen für innovative Unternehmen im Feld der Umwelttechnik und Bauwirtschaft, z. B. bei der Dämmung von Gebäuden oder Klima- und Lüftungstechnik, sowie durch die steigende Nachfrage nach klimaverträglichen Produkten und Anpassungsgütern.

3.3.8. Bauwesen

Das Bauwesen ist unterschiedlich von Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Zwar sind Niederschläge in Form von Schnee und damit entstehende Schneelasten auf Dächern weiterhin relevant, jedoch werden die Schneemengen in Zukunft weiter abnehmen. Dagegen gewinnen extreme Niederschlagsereignisse wie Starkregen, mit lokalen Überschwemmungen und volllaufenden Kellern, oder Hagel, mit Schäden an Fassaden und Dächern, an Bedeutung, da sie intensiver und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch häufiger werden. Auch Stürme könnten an Intensität gewinnen, mit entsprechenden Folgen für die Bausubstanz.

Steigende Temperaturen verbunden mit Hitzewellen stellen neue Herausforderungen an die Gebäudegestaltung und -technik. Gleichzeitig besteht durch Verwendung aktiver Kühlsysteme die Gefahr, den Energiebedarf zu steigern und dem Klimaschutz entgegenzuwirken. Sommerliche Hitze und die damit verbundene Aufheizung der Innenräume treffen nicht nur die Bewohner und Berufstätigen in den Gebäuden. Auch die Baubranche selbst ist – positiv wie negativ – vom Klimawandel betroffen. Einerseits verlängert sich durch erhöhte Jahresdurchschnittstemperaturen die Bausaison. Andererseits führen höhere sommerliche Temperaturen zur Einschränkung der Leistungsfähigkeit bzw. Produktivität des Personals, was auch veränderte Arbeitsschutzmaßnahmen erfordert.

Bauwesen und Stadtplanung können sowohl an der Verstärkung als auch an der Minderung des städtischen Wärmeinseleffektes mitwirken. Überall dort, wo z. B. Materialien, welche sich nur geringfügig durch die Sonneneinstrahlung aufheizen, verwendet werden, wo für eine Begrünung und Beschattung von Straßen und Gebäuden gesorgt wird (z. B. Straßenbegleitgrün, Dachbegrünungen usw.) oder Durchlüftungsschneisen freigehalten werden, kann dies der Entstehung bzw. Verstärkung des Wärmeinseleffektes entgegenwirken und so zur Verbesserung des innerstädtischen (Mikro-)Klimas beitragen.

3.3.9. Katastrophenschutz

Eine Katastrophe ist ein Ereignis, bei dem Leben oder Gesundheit einer Vielzahl von Menschen, die natürlichen Lebensgrundlagen, erhebliche Sachwerte oder die lebensnotwendige Versorgung der Bevölkerung in ungewöhnlichem Ausmaß gefährdet oder geschädigt werden. Im Zusammenhang mit klimatischen Ursachen sind dies z. B. Hochwasser, (erosive) Sturzfluten durch Starkregenereignisse, Orkane oder Hitzewellen.

Hitzewellen sind vor allem für jene Bevölkerungsteile problematisch, die bereits eine erhöhte Grundsensitivität aufweisen: (chronisch) Kranke, Senioren, Kleinkinder. Besonders das Herz-Kreislauf-System ist durch die hohen Temperaturen belastet. Der Hitzesommer 2003 führte in der Bundesrepublik Deutschland zu etwa 7.000 zusätzlichen Todesfällen (UBA 2013). Auf der anderen Seite bleibt die Möglichkeit von Verletzten durch plötzliche, heftige Schneefälle und Temperaturstürze mit Frostperioden bestehen, da diese trotz insgesamt steigender Temperaturen nicht auszuschließen sind.

Starkniederschläge verursachen nicht nur lokale Überschwemmungen, sondern tragen auch zu Flusshochwassern bei. Diese bedrohen das Leben und Eigentum von Flussanrainern. Sie beschädigen aber auch Infrastrukturen wie Straßen, Bahnstrecken oder Leitungsnetze und beeinträchtigen die Versorgung der Bevölkerung. Ähnliches gilt für Extremereignisse wie Stürme und Gewitter, die durch Windwurf Straßen- und Bahnstrecken unpassierbar machen können als auch Infrastrukturen (Oberleitungen, Signalanlagen etc.) zerstören.

Neben der Veränderung der Häufigkeit und Intensität von Schadensereignissen sind auch die Akteure im Handlungsfeld Katastrophenschutz selbst künftig stärker betroffen. Höhere Einsatzzahlen bedeuten neben Sachschäden in Form der Beschädigung und des Verlustes von Einsatztechnik auch höhere körperliche Belastungen für die Einsatzkräfte. Zeitgleich sind auch die zum Einsatz notwendigen Strukturen (Telekommunikation, Rettungswege) von den Schadensereignissen betroffen und machen die Koordination und Durchführung der Einsätze schwieriger. Durch den demografischen Wandel wird es zunehmend schwerer, Freiwillige / Ehrenamtliche für den Katastrophenschutz zu gewinnen. Dies führt zu einer herabgesetzten Einsatzfähigkeit.

3.4. Analyse priorisierter Klimawirkungen

3.4.1. Priorisierung von Handlungsfeldern und Klimawirkungen

Je nach Untersuchungsraum können unterschiedliche Handlungsfelder für die Klimaanpassung relevant sein. Diese ergeben sich in erster Linie aus der Ausstattung des Untersuchungsraumes: Bevölkerungsverteilung und -struktur, Naturräume, vorherrschende Landnutzungen, vorhandene Infrastrukturen, ansässige Industrie/Gewerbe etc. Wie in Kapitel 1.2.1 dargelegt, weist die Stadt Plauen einerseits ein verdichtetes urbanes Zentrum mit Wohnnutzung, Industrie, Gewerbe und Verkehrsinfrastrukturen auf, andererseits ergibt sich durch die ländlich geprägten Ortsteile mit großen Landwirtschafts- und Waldflächen sowie zahlreiche Kleingarten-, Grün- und Parkanlagen ein hoher Anteil von 72 % Vegetationsfläche im Stadtgebiet. Dies deutet auf Klimafolgen aus Land- und Forstwirtschaft hin. Der hügelige, landschaftlich abwechslungsreiche Stadtraum und die ihn durchfließende Weiße Elster und ihre Zuflüsse weisen auf mögliche Hochwasser- und Sturzflutereignisse nach Starkregen und das Thema Wasserwirtschaft hin. Darüber hinaus sind die Handlungsfelder Menschliche Gesundheit und Katastrophen- bzw. Bevölkerungsschutz in allen Untersuchungsräumen relevant.

In Kapitel 3.2 wurden die beobachteten und projizierten klimatischen Veränderungen dargelegt und in Tabelle 4 zusammengefasst. Daraus ergeben sich die Klimaparameter, die sich zwischen Referenzperiode (1971-2000) und Ende des Jahrhunderts (2071-2100) für das „worst case“-Szenario (RCP 8.5) besonders stark verändern und in den Handlungsfeldern in Klimafolgen starke Wirkung entfalten werden. Hier sind langfristige Temperaturzunahmen, intensive Hitzeperioden und eine abnehmende sommerliche Wasserbilanz zu benennen. Werden die für die Stadt Plauen relevanten Handlungsfelder und die Klimaparameter mit starker Veränderung zusammengebracht, ergeben sich die in Tabelle 6 dargestellten Klimawirkungen in den Handlungsfeldern als wichtigste mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf das Stadtgebiet.

Basierend auf den Ergebnissen der Auswertung der Klimamess- und -modelldaten (Kapitel 3.2), dem Wissen um die generellen Klimafolgen in den kommunalen Handlungsfeldern (Kapitel 3.3), der Ausstattung des Stadtgebietes (Kapitel 1.2.1), den bisherigen Wetterereignissen (Kapitel 1.2.2) und den zur Verfügung stehenden Datengrundlagen (Kapitel 1.2.4) wurden in Abstimmung mit der Stadtverwaltung Plauen die in Tabelle 5 aufgeführten Klimawirkungen mit hoher Relevanz für weiterführende Detailanalysen ausgewählt.

Tabelle 5: Für die Detailanalysen ausgewählte Klimawirkungen.

Handlungsfeld	Korrespondierende Handlungsfelder	Klimawirkung
Wasserwirtschaft	Katastrophenschutz, Bauen und Planen	Überschwemmungen durch Starkregen
Landwirtschaft und Boden	Katastrophenschutz	Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen
Wasserwirtschaft	Naturschutz	Niedrigwasser in Gewässern 2. Ordnung
Menschliche Gesundheit	Katastrophenschutz, Bauen und Planen	Wärmebelastung für die Bevölkerung
Wald und Forstwirtschaft	Wasserwirtschaft	Trockenstress auf Waldflächen
Bauen und Planen	Wasserwirtschaft	Trockenstress für das Stadtgrün

3.4.2. Methodik der Klimawirkungsanalysen

Die Detailanalysen für die priorisierten Klimawirkungen folgen dem Vulnerabilitäts-Ansatz des IPCC, der durch das Umweltbundesamt in verschiedenen Studien für Deutschland adaptiert wurde (UBA 2017b, 2021, 2022). Hierbei wird ein oder mehrere Klimaparameter (Klimatischer Einfluss bzw. Klimasignal) mit einem oder mehreren Proxy-Indikatoren der Empfindlichkeit gegenüber der klimatischen Änderung (Sensitivität) und deren räumlichen Vorkommen zur Klimawirkung verschnitten (Abbildung 51). Diese Vorgehensweise ermöglicht eine Ermittlung der Klimawirkung mittels geeigneter Indikatoren, wenn keine Datengrundlagen aus eigenständigen Wirkmodellen vorliegen. Im Falle vorhandener Modellergebnisse (z. B. der Starkregenabflussmodellierung) wurden diese genutzt. Ziel war die Bestimmung der räumlich differenzierten Stärke der Klimawirkung für die priorisierten Klimafolgen für die Gegenwart, da nur hierfür Daten zu den Sensitivitäten (Bevölkerungsstruktur, Landnutzungsverteilung etc.) und die Klimaparameter des klimatischen Einflusses zur Verfügung stehen.

Die Bestimmung einer künftigen Klimawirkung bzw. Vulnerabilität ist nicht ohne weiteres möglich, da hierfür nicht nur das künftige Klimasignal, sondern auch die künftige Sensitivität bekannt sein müssen. Während es für das Klimasignal mehr oder weniger stark belastbare Aussagen in Form von Klimaprojektionen gibt, sind diese für die Sensitivität selten bis gar nicht vorhanden. Es gibt zwar Bevölkerungsprognosen oder Abschätzungen zur Entwicklung der Landnutzung; diese sind jedoch meist nur bis ca. 2030/2040, nicht aber für das Ende des 21. Jahrhunderts verfügbar. Aus diesem Grund wurde die Klimawirkung für die Gegenwart bestimmt und die künftige Klimawirkung anhand der Klimaprojektionen und prognostizierten Entwicklung der Sensitivitäten qualitativ abgeschätzt (siehe Kapitel 3.7). Die (künftige) Vulnerabilität wurde im Rahmen der Konzepterstellung aus den künftigen Klimawirkungen und der mittels Akteursinterviews abgeschätzten Anpassungsfähigkeit (Kapitel 3.6) ermittelt.

Tabelle 6: Übersicht der wichtigsten Handlungsfelder und Klimawirkungen für die Stadt Plauen sowie deren Beeinflussung durch beobachtete und projizierte Klimaveränderungen.

Klimagruppe	Temperatur		Niederschlag			Klimatische Wasserbilanz	Wind**	
Zentrale Klimaparameter Handlungsfelder und wichtige Klimawirkungen	**Langfristige Temperaturzunahme***	**Häufigere, intensivere Hitzeperioden***	Langfristige Niederschlagsveränderungen	Häufigere, intensivere Starkregenereignisse*	Schneeanteil am jährlichen Niederschlag**	**Klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr***	Langfristige Zunahme der Windgeschwindigkeit	Häufigere, intensivere Sturmereignisse
Menschliche Gesundheit								
Wärmebelastung für die Bevölkerung	**X**	**X**						
Neuartige Krankheitsüberträger	**X**		X					
Landwirtschaft und Boden								
Trockenstress auf Landwirtschaftsflächen	**X**		X			**X**		
Erosive Sturzfluten durch Starkregen				X				
Ertragszuwachs durch Verlängerung der Wachstumsperiode	**X**					**X**		
Ertragsausfälle durch Schadorganismen	**X**		X			**X**		
Ertragsausfälle durch Extremereignisse		**X**		X				X
Wald und Forstwirtschaft								
Erhöhtes Waldbrandrisiko		**X**				**X**		
Trockenstress auf Waldflächen	**X**		X			**X**		
Ertragszuwachs durch Verlängerung der Wachstumsperiode	**X**					**X**		
Schäden durch Windwurf								X
Ertragsausfälle durch Schadorganismen	**X**		X			**X**		
Wasserwirtschaft								
Überschwemmungen durch Hochwasser			X	X	X			
Niedrigwasser in Fließ-/Standgewässern	**X**		X			**X**		
Überschwemmungen durch Starkregen				X				
Veränderung des Gewässerzustandes	**X**		X			**X**		
Biodiversität								
Ausbreitung invasiver Arten	**X**							
Auswirkungen auf die biologische Vielfalt	**X**		X					
Bauen und Planen								
Hitzebelastung in sozialen Einrichtungen	**X**	**X**						
Trockenstress für Stadt- und Straßenbäume	**X**	**X**	X			**X**		
Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen durch Extremereignisse		**X**		X				X
Industrie und Gewerbe								
Wärmebelastung für Arbeitnehmende	**X**	**X**						
Überschwemmungen von Industrie- und Gewerbeflächen durch Hochwasser und Starkregen				X				X
Erhöhter Energiebedarf für Kühlzwecke	**X**	**X**						
Verringertes Angebot von Brauchwasser	**X**		X			**X**		
Verkehrswesen								
Hitzeschäden an Verkehrswegen	**X**	**X**						
Sturmschäden an Verkehrswegen								X
Überschwemmungen von Verkehrswegen durch Hochwasser und Starkregen				X				
Katastrophenschutz								
Erhöhte Anforderungen infolge verstärkter/häufigerer Extremereignisse		**X**		X				X

*Fett gedruckter Klimakennwert = starke beobachtete bzw. projizierte klimatische Veränderung zwischen Referenzperiode (1971-2000) und Ende des Jahrhunderts (2071-2100) für das Szenario RCP 8.5, ** Keine Klimadaten vorliegend

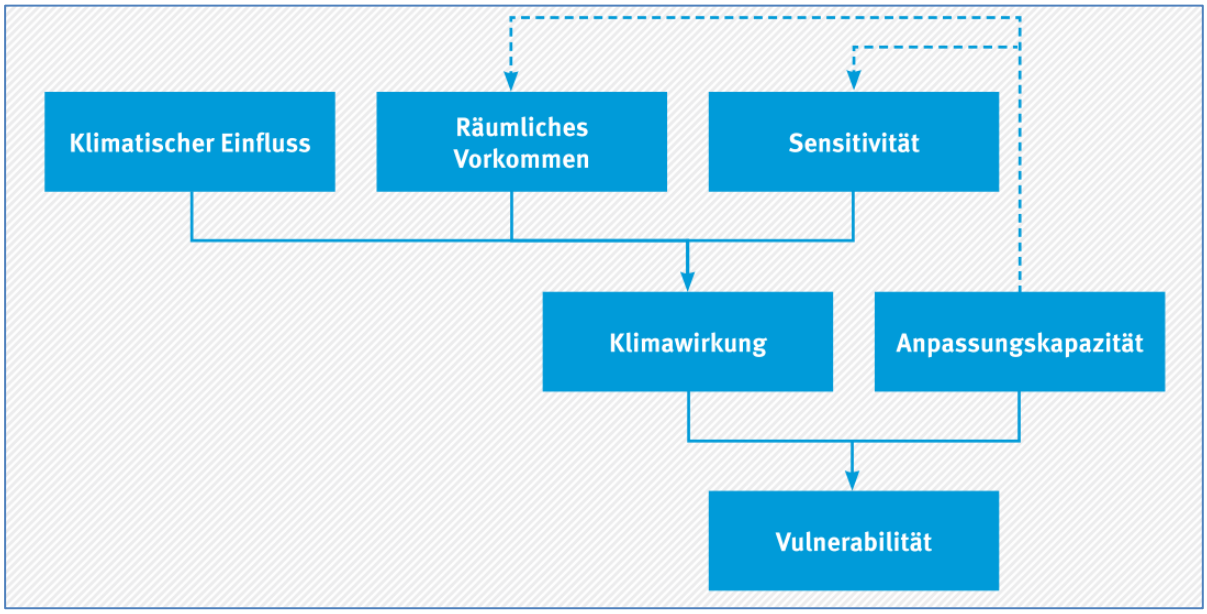


Abbildung 51: Konzept zur Bestimmung der Klimawirkung und der Vulnerabilität aus dem Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen des Umweltbundesamtes (Quelle: UBA 2017b).

Die Klimadaten des LfULG und DWD liegen in einer räumlichen Auflösung von 1 x 1 km für die Gegenwart (1991-2020) vor. Diese Auflösung ist noch ausreichend, um klimatische Unterschiede im Stadtgebiet aufzuzeigen und die Klimadaten als Input für die Klimawirkungsanalysen zu verwenden. Jedoch wurde die Gewichtung zwischen Klimasignal und Sensitivität, die für gewöhnlich bei 50:50 liegt, für die meisten Klimawirkungsanalysen auf 25 % für das Klimasignal zu 75 % für die Sensitivität geändert. Dies hat seinen Grund einerseits in der erwähnten groben räumlichen Auflösung der Klimadaten und andererseits in der teilweise reduzierten inhaltlichen Bandbreite dieser, z. B. bei den Heißen Tagen mit einem Wertebereich von nur sieben bis neun. Beides zusammen senkt die Aussagekraft der Klimadaten für den Untersuchungsraum, so dass eine Anpassung der Gewichtung vorgenommen wurde.

Die Daten zur Sensitivität bzw. zum räumlichen Vorkommen dieser sind i.d.R. von höherer räumlicher Auflösung als die Klimadaten. Sensitivitäten können auch unabhängig vom klimatischen Einfluss betrachtet – z. B. wenn keine Klimadaten vorliegen – und für die Verortung von Anpassungsmaßnahmen herangezogen werden. Dies hat den Vorteil, dass sich auf die Stellgrößen konzentriert wird, die die Stadt und ihre Akteure – im Gegensatz zum Klima an sich – vor Ort aktiv beeinflussen können: Landnutzungsverteilung, Bebauung, Baumarten, Retentionsflächen usw. Für die Klimafolgen, für die Daten vorlagen, die vom Charakter her Klimawirkmodellen entsprechen, wurden diese zur Analyse und Bewertung verwendet.

Für jede betrachtete Klimawirkung wurden – wenn möglich – drei Karten erstellt. Die erste stellt die Verteilung des klimatischen Einflusses im Stadtgebiet dar (Klimakarte). Die zweite (Analysekarte) zeigt die Verteilung der Empfindlichkeiten gegenüber der klimatischen Änderung (Sensitivität und räumliches Vorkommen) oder der Klimawirkung (falls hierzu Daten vorhanden sind) in der Stadt Plauen. Die dritte Karte stellt die Bewertung der Klimawirkung in den Ortsteilen dar. Dabei zeigt sich eine Schwierigkeit bei der Bestimmung der Betroffenheit durch die Folgen des Klimawandels: es fehlt ein einheitlicher absoluter Bewertungsmaßstab. Es gibt derzeit keine standardisierten Vergleichs- oder Grenzwerte wie sie aus dem Umweltbereich z. B. für Feinstaub oder Ozon existieren. Daher kann die Bewertung nur

relativ erfolgen, also bezogen auf das Untersuchungsgebiet und dessen Grundeinheiten, in diesem Fall die Ortsteile der Stadt Plauen. Dabei wird jeder Ortsteil hinsichtlich der für ihn ermittelten Klimawirkung mit der mittleren Klimawirkung im Stadtgebiet verglichen und bewertet und auf einer fünfstufigen Skala von „stark unterdurchschnittlich“ bis „stark überdurchschnittlich“ eingeordnet. Im Ergebnis wird ersichtlich, welcher der Ortsteile in Bezug auf eine Klimafolge die höchste Klimawirkung im Stadtgebiet aufweist. Diese Methodik ist allgemein üblich und wurde auch in der Untersuchung des Umweltbundesamtes „Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel“ (UBA 2015) bundesweit genutzt.

3.4.3. Überschwemmungen durch Starkregen

Starkniederschlagsereignisse führen oft zu lokalen Überflutungen, auch abseits der Vorfluter auf Straßen, in natürlichen Geländesenken oder im Bereich überlasteter Kanalisation, können aber auch Hochwasser in Fließgewässern auslösen oder begünstigen. Bei dieser Klimawirkung wurden Proxy-Indikatoren zum klimatischen Einfluss und der Sensitivität verknüpft. Die Daten zur Sensitivität entstammen vor allem der Niederschlag-Abfluss-Modellierung (vgl. Kapitel 2.3).

Klimatischer Einfluss

Starkregen sind kurze, intensive Niederschlagsereignisse, die meist kleinräumig und vor allem im Sommer in Verbindung mit konvektiven Niederschlagszellen auftreten. In Kapitel 3.2.2 wurden Klimadaten des LfULG zur Anzahl von Starkregentagen mit mehr als 25 mm Tagesniederschlag ausgewertet und beschrieben (siehe Abbildung 46). Diese eignen sich als erster Hinweis auf die räumliche Verteilung von Starkregenereignissen. Da sie jedoch Ereignisse im gesamten Jahr, also auch im Winterhalbjahr, abbilden und 25 mm Niederschlag ebenso durch langanhaltende, niedrigintensive Regen erreicht werden können, wurde für die Klimawirkungsanalyse auf Regenradardaten des DWD (RADOLAN) zurückgegriffen. Die Auswertung erfolgte stundenbasiert für Niederschläge ab 20 mm und nur für das jeweilige Sommerhalbjahr für den verfügbaren Zeitraum 2001-2022. Auch wenn es damit streng genommen kein Klimasignal darstellt (mindestens 30 Jahre Auswertungszeitraum!), ist die inhaltliche Aussagekraft dieser stundenbasierten Werte jedoch höher als die tagesbasierten Daten des LfULG und wurden daher hier eingesetzt.

Abbildung 53 zeigt die räumliche Verteilung der Starkregenereignisse im Stadtgebiet. Aufgrund der Seltenheit solcher Starkregen werden nur Werte bis etwa 0,5 erreicht. Dies bedeutet, dass ein solcher Starkregen von mind. 20 mm statistisch etwa alle zwei Jahre auftritt. Die Ortsteile mit der höchsten mittleren Anzahl dieser Ereignisse im Zeitraum 2001-2022 sind Thiergarten, Dobenau und Altstadt. Reißigwald mit Lochhaus, Röttis und Kauschwitz weisen die geringste mittlere Anzahl auf.

Methodisch korrekt müsste, zur Sensitivität passend, als Parameter für den klimatischen Einfluss die Auftrittshäufigkeit von 100-jährlichen Regenereignissen mit 48,0 bis 49,5 mm pro Stunde genutzt werden. Die Auswertung der Regenradardaten war jedoch nur für einen Zeitraum von 22 Jahren möglich, so dass keine belastbaren Verteilungsdaten für 100-jährliche Starkregenereignisse abgeleitet werden konnten. Daher wurde auf Ereignisse mit mindestens 20 mm/h zurückgegriffen, was näherungsweise der LfULG -Definition von Starkregentagen (mind. 25 mm Niederschlag) entspricht.

Sensitivität und räumliches Vorkommen

Als Basis für die Sensitivität und deren räumliches Vorkommen dienten die, durch die Niederschlag-Abfluss-Modellierung eines 100-jährlichen Starkregens von einer Stunde Dauer gewonnenen, Überflutungsflächen im Stadtgebiet. Diese liegen stadtweit mit einer Auflösung von 1,5 x 1,5 m vor und bieten eine ideale Datengrundlage. Von diesen Überflutungsflächen wurde die zur weiteren Auswertung ausgewählt, die mind. 10 cm Wassertiefe aufweisen, ähnlich zur Darstellung in der Starkregengefahrenkarte (Abbildung 31). Anschließend wurden die Gesamtgröße dieser überfluteten Flächen und deren mittlere Wassertiefe je Ortsteil ermittelt und bewertet. Da in den Ortslagen allgemein ein höheres Schadenspotenzial vorhanden ist, wurden Flächen innerhalb der Ortslagen höher gewichtet als Flächen außerorts. Diesbezüglich schnitten die Ortsteile Hammertorvorstadt, Alt Chrieschwitz und Haselbrunn am ungünstigsten ab.

Um spezifisch Gefahren für Leib und Leben besser einzubeziehen, wurden zusätzlich die Flächen mit Wohnnutzung (Nutzungstypen „Wohnbaufläche“ und „Flächen gemischter Nutzung“) mit den Überflutungsflächen (mind. 10 cm Wassertiefe) räumlich verschnitten und in die Bewertung je Ortsteil integriert. Unter diesem Aspekt zeigen die Ortsteile Obere Aue, Haselbrunn und Alt Chrieschwitz die höchste Teilsensitivität.

Als weiterer Aspekt für die Sensitivität gegenüber Starkregenereignissen wurden die Lage kritischer Infrastrukturen zu Überflutungsflächen mit mind. 10 cm Wassertiefe analysiert. Die Daten zu den kritischen Infrastrukturen wurden von der Stadtverwaltung bereitgestellt und umfassen 150 Einrichtungen aus den Bereichen Verwaltung, Energie, Sicherheit/Ordnung, Verkehr, Kultur und Gesundheit/Soziales. Von diesen 150 Einrichtungen würden 98 im näheren Bereich von Starkregenüberflutungen liegen (Abbildung 52). Aus diesen potenziell gefährdeten Einrichtungen könnten in einer weiteren Priorisierung Objekte ausgewählt werden, an denen bauliche Anpassungsmaßnahmen umgesetzt werden sollten. Die Ortsteile mit den meisten gefährdeten Objekten dieser Art sind Chrieschwitz (14), Bahnhofsvorstadt (10) und Hammertorvorstadt (7).

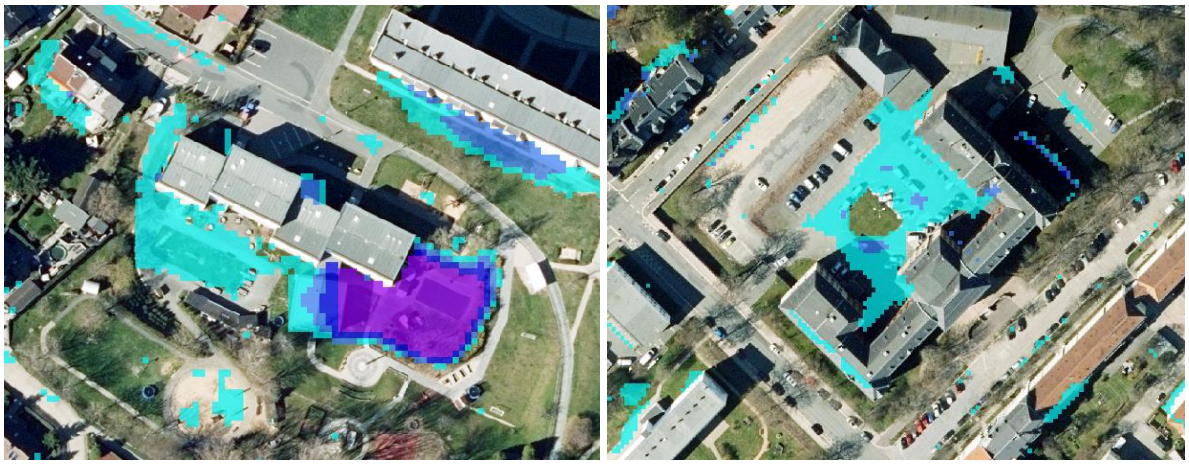


Abbildung 52:Beispiele für Infrastrukturen mit potenzieller Überflutungsgefährdung bei Starkregenereignissen: Einrichtung des DRK in Chrieschwitz (links) und Polizeistation in der Neundorfer Vorstadt (rechts).

Unter Berücksichtigung aller Sensitivitäts-Aspekte weisen die Ortsteile Hammertorvorstadt, Obere Aue und Jößnitz die höchste Sensitivität für diese Klimafolge auf. Am anderen Ende der Bewertungsskala sind es Reißigwald mit Lochhaus, Steinsdorf und Tauschwitz mit der geringsten Sensitivität.

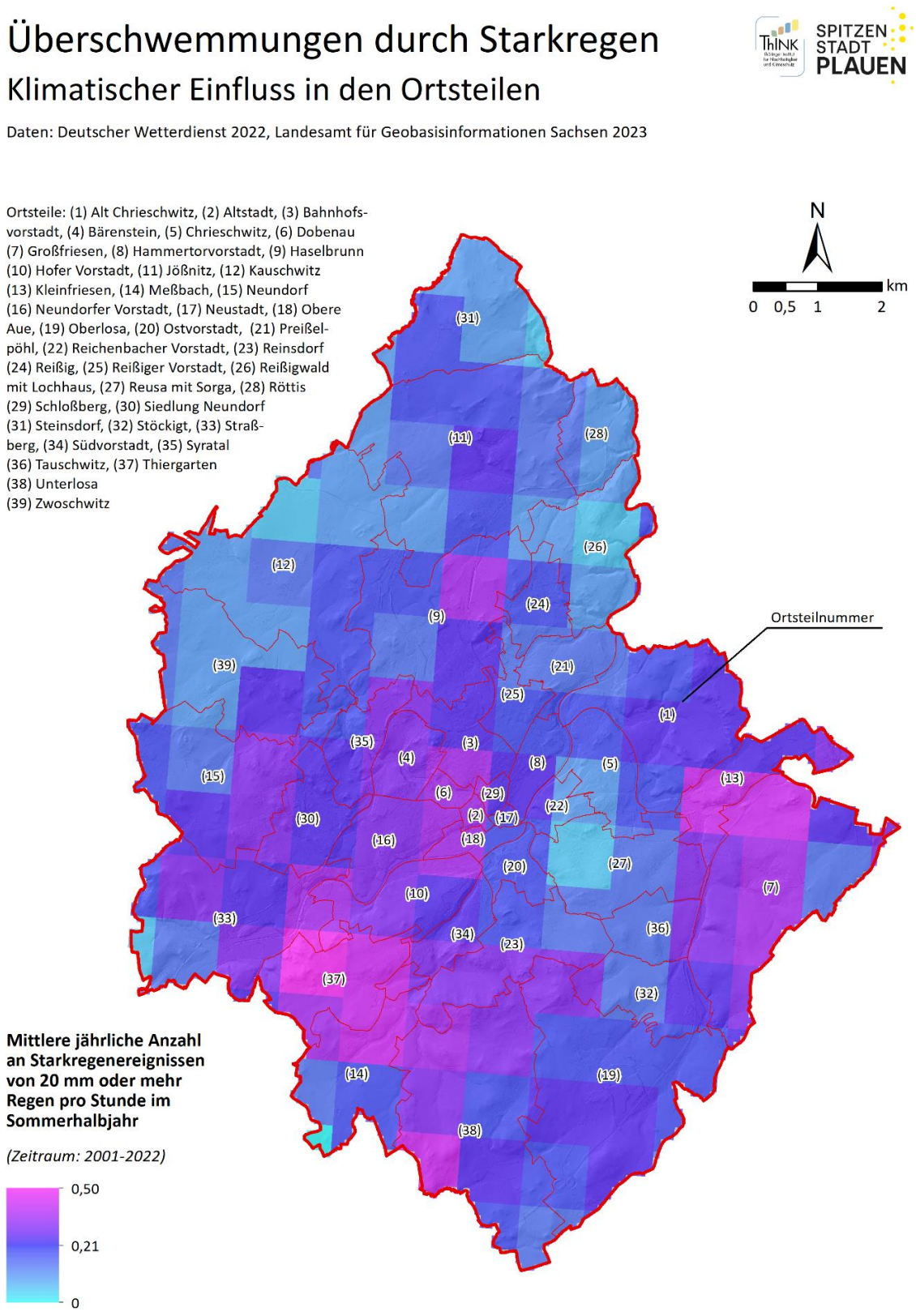


Abbildung 53: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen.

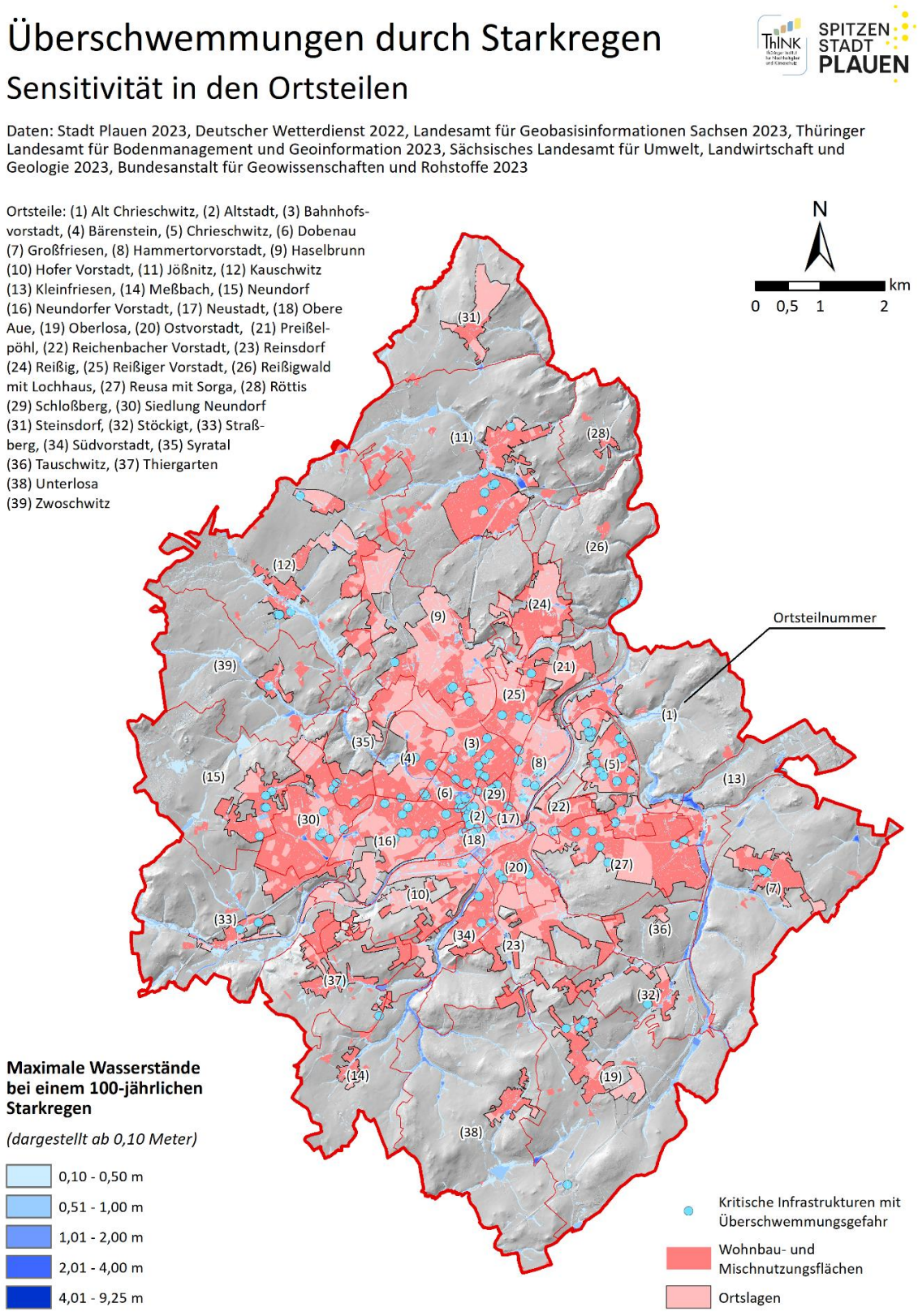


Abbildung 54: Sensitivitäten für die Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen.

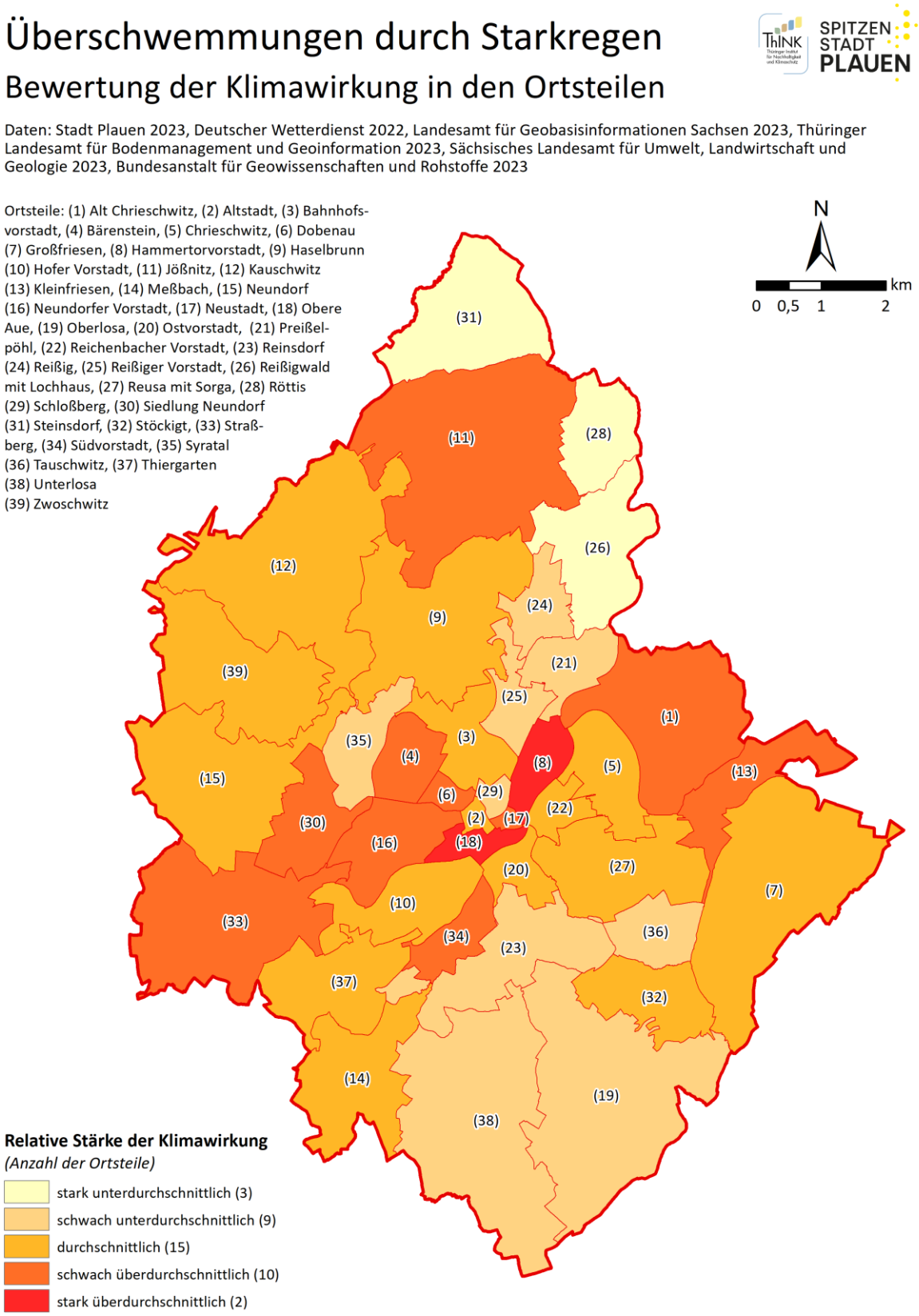


Abbildung 55: Bewertung der Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen.

Klimawirkung

Die verwendeten Proxy-Indikatoren (Tabelle 7), die diese Klimawirkung charakterisieren, wurden zusammengeführt, beginnend mit den Indikatoren der Sensitivität. Daraufhin wurde das Produkt aus klimatischem Einfluss und Sensitivität statistisch ausgewertet. Dabei wurde der klimatische Einfluss, wie in Kapitel 3.4.2 erläutert, mit 25 % gewichtet, die Sensitivität dagegen mit 75 %. In Abbildung 55 ist das Bewertungsergebnis auf Ebene der Ortsteile dargestellt. Demnach sind die Ortsteile Hammertorvorstadt, Obere Aue und Neundorfer Vorstadt diejenigen, für welche die Klimawirkung eines 100-jährlichen Starkregen am stärksten ausfallen dürfte. Reißigwald mit Lochhaus, Steinsdorf und Röttis dagegen weisen eine nur stark unterdurchschnittliche Klimawirkung auf Ortsteilebene auf.

Tabelle 7: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen.

Kategorie	Indikatoren
Klimatischer Einfluss	Mittlere jährliche Anzahl an Starkregenereignissen (20mm+/h) im Sommerhalbjahr im Zeitraum 2001-2022
Sensitivität und räumliches Vorkommen	Überflutete Flächen (Ausdehnung und Tiefe) bei einem 100-jährlichen Ereignis von einer Stunde Dauer ab 10 cm Überflutungshöhe innerhalb und außerhalb der Ortslagen
	Wohnbau- und Mischnutzungsflächen im überschwemmten Gebiet ab 10 cm Überflutungshöhe
	Anzahl kritischer Infrastrukturen bei überfluteten Flächen von mind. 10 cm Überflutungshöhe

3.4.4. Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen

Sommerliche Starkregenereignisse verursachen u. a. linienhafte Bodenabträge, die sich sturzflutartig in Tiefenlinien fortbewegen, dabei wertvollen Oberboden abschwemmen und Schäden, u. a. an der kommunalen und ländlichen Infrastruktur, hervorrufen, aber auch zu Gefährdungen im öffentlichen Straßenverkehr führen können oder Gewässer verschmutzen.

Klimatischer Einfluss

Als Indikator für den klimatischen Einfluss wurde das Sturzflutpotenzial verwendet. Es entstammt dem Regionalen Klimainformationssystem (ReKIS) der Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen und wurde aus Radardaten des DWD abgeleitet. Das Sturzflutpotenzial ist die Summe der Quotienten aus Niederschlagsintensität und Verlagerungsgeschwindigkeit eines konvektiven Zellkerns. Dabei werden nur Zellkerne von konvektiven Zellen berücksichtigt, die eine Niederschlagsintensität von mindestens 20 mm/h erreichen. Das Sturzflutpotenzial ist besser geeignet als eine einzelne Niederschlagssumme oder eine Auftrittshäufigkeit von z. B. Starkregentagen, da es neben der Niederschlagsintensität anhand der Verlagerungsgeschwindigkeit der Starkniederschlagszelle auch die Information enthält, wie intensiv sich der Niederschlag über einem Gebiet potenziell abregnet. Da konvektive Wetterlagen vor allem in den Sommermonaten auftreten und für starke Regenereignisse sorgen, wurde der jährliche Untersuchungszeitraum auf die Monate April bis September eingegrenzt. Ein Nachteil des

Sturzflutpotenzials ist der bisher kurze Betrachtungszeitraum von 2001-2016. Es handelt sich beim Sturzflutpotenzial somit nicht um ein „echtes Klimasignal“ mit einem Betrachtungszeitraum von 30 oder mehr Jahren. Trotzdem wird es aufgrund seiner thematischen Aussagekraft hier als Klimasignal eingesetzt. Perspektivisch sollte der Datensatz von den Landesämtern mit aktuellen Daten fortgeschrieben werden, um die Belastbarkeit sukzessive zu erhöhen. Abbildung 56 zeigt die Verteilung des Sturzflutpotenzials im Stadtgebiet. Die Ortsteile Steinsdorf, Jößnitz und Stöckigt weisen die höchsten mittleren Werte auf, Straßberg, Neundorf und Thiergarten die niedrigsten. Hier wird auch die grobe räumliche Auflösung von 1 x 1 km und die geringe Bandbreite des Wertebereiches erkennbar, was, wie in Kapitel 3.4.2 erläutert, zu einer geringeren Gewichtung des Klimasignals in der Bewertung führte.

Sensitivität und räumliches Vorkommen

Die allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG) beinhaltet den Regenerosivitätsfaktor (R), den Bodenerodierbarkeitsfaktor (K) und den Hangneigungsfaktor (S), die zusammen die natürliche Erosionsgefährdung, also den Einfluss des Standortes auf den Bodenabtrag, beschreiben. Demgegenüber stehen die drei ABAG-Faktoren für die Hanglänge (L), die Bodenbearbeitung (C) und den Erosionsschutz (P), die die bewirtschaftungsabhängige Erosionsgefährdung, also den Einfluss der Landwirte auf den Bodenabtrag, charakterisieren. Für die Sensitivität wurde einerseits die potenzielle Erosionsgefährdung des Standortes als Produkt der Faktoren K, S, L und R verwendet, wie sie durch das LfULG in ihrem Erosionsatlas zur Verfügung gestellt wird. Des Weiteren wurden die beiden Datensätze aus dem Erosionsatlas zu besonders erosionsgefährdeten Abflussbahnen und Steillagen auf Ackerflächen verwendet, um Geländebereiche abzugrenzen, die besonders stark von Wassererosion betroffen sind. Die Verteilung der Ackerflächen und deren potenzielle Erosionsgefährdung zeigt Abbildung 57. Die Ortsteile Großfriesen (355 ha), Kauschwitz (350 ha) und Unterlosa (340 ha) weißen die größten Ackerflächen auf, die Ortsteile Reichenbacher Vorstadt, Alt Chrieschwitz und Reusa mit Sorga die stärkste mittlere Erosionsgefährdung.

Erosive Sturzfluten von Ackerflächen können benachbarte Siedlungsflächen und Infrastrukturen beschädigen sowie in Fließ- und Stehgewässern durch Stoffeinträge für Arten und Lebensräume zum Problem werden. Aus diesem Grund wurden Gebäude (aus dem 3D-Gebäudemodell), Bahntrassen, Straßen und Wirtschaftswege (aus dem Basis-DLM, letztere aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht in der Analysekarte dargestellt) sowie Fließ- und Stehgewässer als potenziell gefährdete Objekt in die Analyse und Bewertung der Sensitivität einbezogen. Alle Gebäude, Verkehrswege und Gewässer wurden dazu mit einem 25 m-Puffer umgeben. Für alle Stellen, an denen besonders erosionsgefährdete Abflussbahnen und Steillagen auf Ackerflächen in diesen Sicherheitsbereich von 25 m hineinragen, wurde in der Karte ein blauer (für Abflussbahnen) oder grüner (für Steillagen) Punkt gesetzt. Die Punkte symbolisieren demnach von erosiven Sturzfluten potenziell gefährdete Bereiche im Stadtgebiet Plauen. Hier können bei starken Regenereignissen Schlammlawinen Gebäude beschädigen und Straßen unpassierbar machen. Für die Bewertung wurden einerseits die Anzahl der Problemstellen je Ortsteil herangezogen. Andererseits wurde für jeden potenziellen Problempunkt eine nutzungsabhängige Punktzahl vergeben (Gebäude = 4, Bahntrassen oder Gewässer = 3, Straßen = 2, Wirtschaftswege = 1), die je Ortsteil aufsummiert wurde. Bei räumlicher Überlagerung von gefährdeten Nutzungen bzw. deren Sicherheitspuffer können sich die Bewertungspunkte auch summieren (z. B. Gebäude plus Straße im Bereich einer Erosionsbahn: 4+2=6) und somit eine höhere Priorität für Anpassungsmaßnahmen aufweisen. In der Summe wurden 59 Problempunkte im Stadtgebiet identifiziert und in der Analysekarte

(Abbildung 57) dargestellt. Hinsichtlich dieses Aspektes sind es die Ortsteile Großfriesen, Straßberg und Oberlosa, die eine erhöhte Sensitivität zeigen.

Werden die Teilaspekte der Sensitivität zusammengefasst, sind es die Ortsteile Großfriesen, Straßberg und Steinsdorf, die die größte Sensitivität für erosive Sturzfluten aufweisen. Die geringste Sensitivität zeigen sich in Südvorstadt, Neundorfer Vorstadt und Haselbrunn. Alle elf Ortsteile ohne Ackerflächen, wurden von der Bewertung ausgenommen (vgl. Abbildung 58).

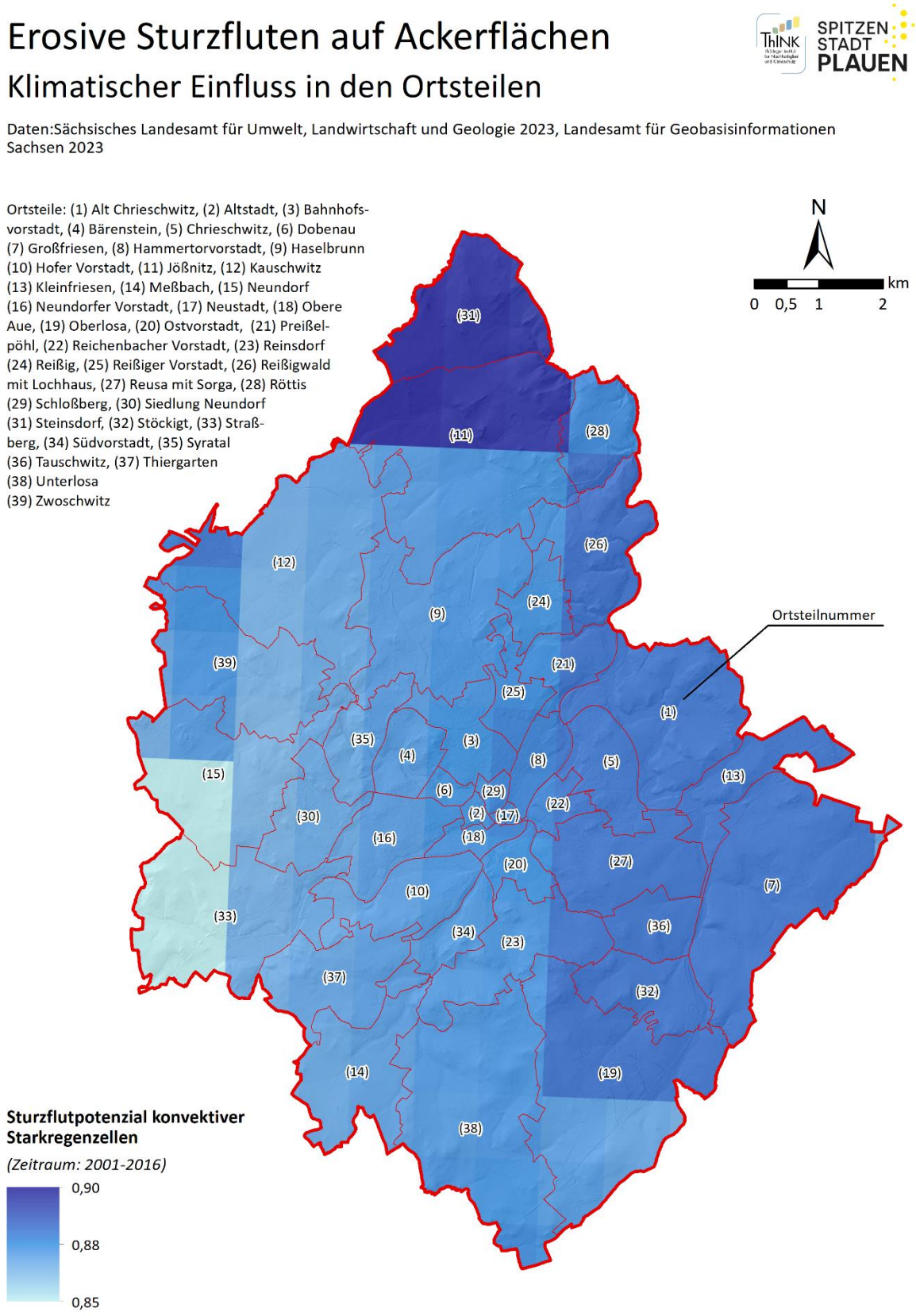


Abbildung 56: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen.

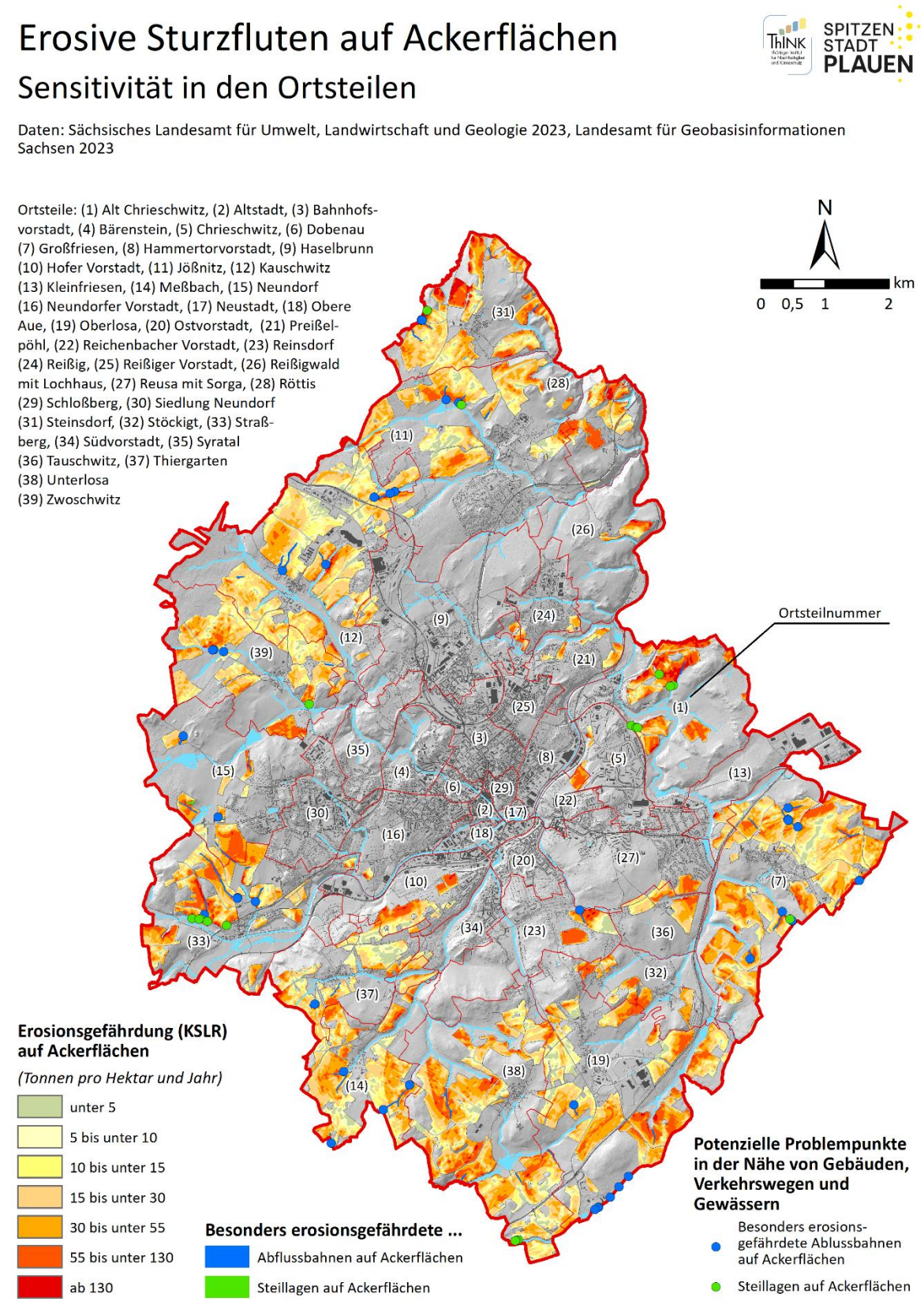


Abbildung 57: Sensitivitäten für die Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen.

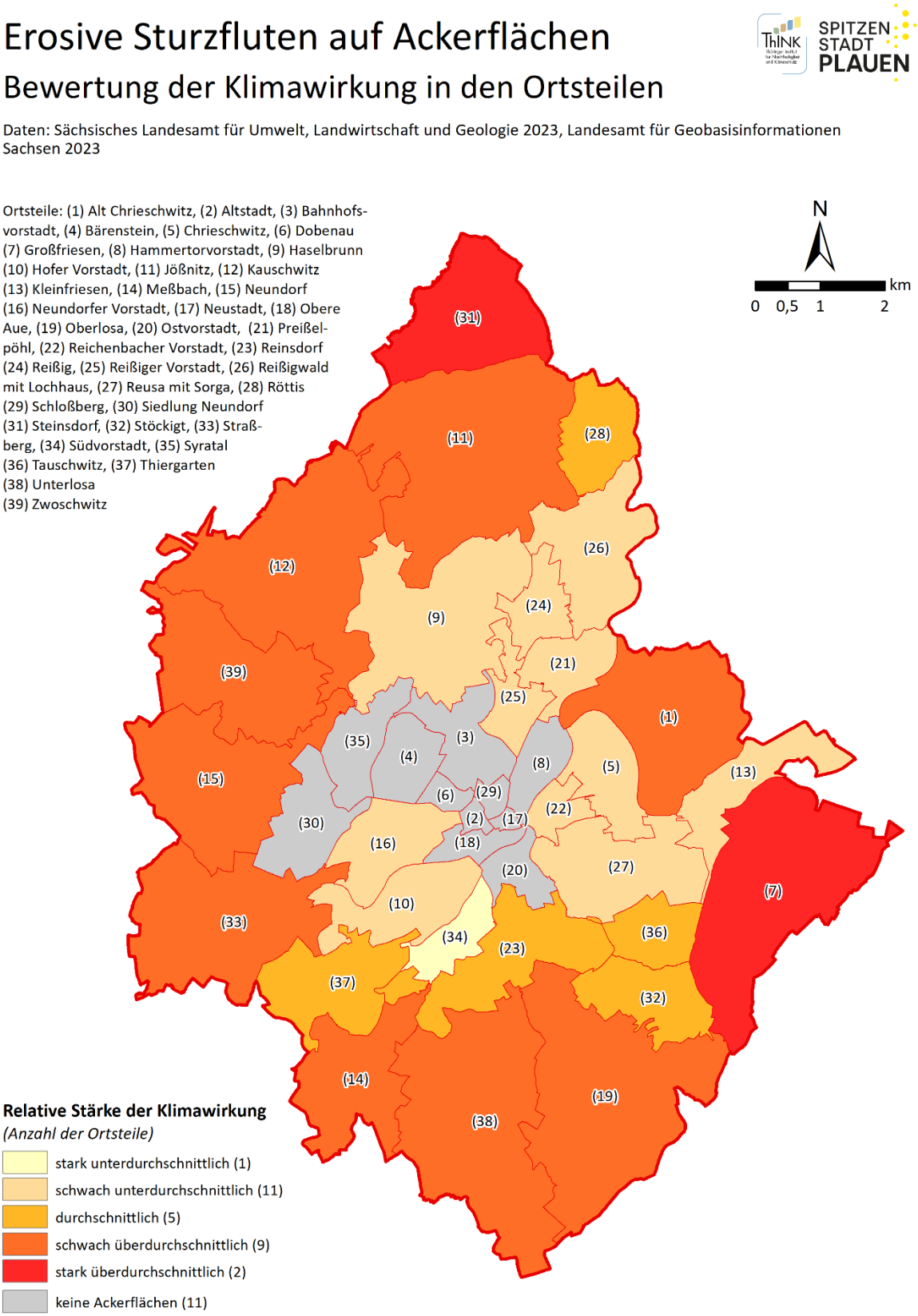


Abbildung 58: Bewertung der Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen.

Klimawirkung

Die zur Ableitung der Stärke der Klimawirkung bzw. ihrer Bewertung genutzten Indikatoren sind noch einmal in Tabelle 8 zusammengefasst. Auch für diese Klimafolge wurde der klimatische Einfluss geringer gewichtet als die Sensitivität, nämlich nur mit 25 statt der üblichen 50 %.

Abbildung 58 zeigt das abschließende Ergebnis der Bewertung der Klimawirkung. Für elf innerstädtische Ortsteile wurde keine Bewertung vorgenommen, da hier keine Ackerflächen existieren, von den Sturzfluten ausgehen könnten. Auch Erosionseinträge aus benachbarten Ortsteilen sind hier nicht zu erwarten. Unter den bewerteten Ortsteilen finden sich Großfriesen, Steinsdorf und Alt Chrieschwitz auf den vordersten Plätzen, was die Klimawirkung der erosiven Sturzfluten betrifft. Die Ortsteile Südvorstadt, Neundorfer Vorstadt und Haselbrunn zeigen die geringste Klimawirkung von den Ortsteilen mit Ackerflächen.

Tabelle 8: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen.

Kategorie	Indikatoren
Klimatischer Einfluss	Mittlere jährliche Anzahl an Starkregenereignissen (20mm+/h) im Sommerhalbjahr im Zeitraum 2001-2022
Sensitivität und räumliches Vorkommen	Mittlere potenzielle Erosionsgefährdung (KLSR) auf Ackerflächen
	Fläche besonders erosionsgefährdeter Abflussbahnen und Steillagen auf Ackerflächen (absolut und relativ zur Ackerfläche)
	Anzahl der Stellen, wo sich besonders erosionsgefährdete Abflussbahnen und Steillagen auf Ackerflächen in der Nähe von Gebäuden, Gewässern und Verkehrstrassen befinden sowie deren nutzungsabhängige Bewertungssumme
	Ackerfläche (absolut und relativ zur Ortsteilfläche)

3.4.5. Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung

Durch den projizierten Klimawandel kann es künftig zu geringeren Niederschlägen und höherer Verdunstung im Sommer kommen. In Verbindung mit erschöpften Grundwasservorräten kann der Wasserstand in Flüssen deutlich sinken. Niedrigwasser haben ökologische und ökonomische Auswirkungen, z. B. bei der Wasserver- und Abwasserentsorgung, der Land- und Forstwirtschaft, der Fischerei sowie teilweise beim Tourismus. Auch für die aquatischen Lebensgemeinschaften sind die Folgen durch einen verengten Lebensraum, das Trockenfallen einzelner Bereiche, den Sauerstoffmangel sowie hohe Wassertemperaturen bedeutend. Da kleinere Gewässer in der Regel stärker bzw. häufiger von Niedrigwasser betroffen sind als z. B. die Weiße Elster, wurde bei dieser Klimafolge auf die Fließgewässer 2. Ordnung fokussiert (u. a. Friesenbach, Syrabach, Milmesbach).

Klimatischer Einfluss

Natürliche Fließgewässer erhalten einen Großteil ihres Wassers aus seitlich zuströmendem Grundwasser und weniger durch Niederschlagswasser. Aus diesem Grund wurde die Grundwasserneubildungsrate (auch Sickerwasserrate) als Indikator für die Klimafolge herangezogen. Die Daten hierfür entstammen dem GWN-Viewer (https://www.visdat.de/gwn-sachsen/mapview), indem die Ergebnisse des KLiWES-Projektes (Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen, 2019-2021) aufbereitet sind und zum Download bereitstehen. Abbildung 59 zeigt die mittlere jährliche Grundwasserneubildung in allen, für die Stadt Plauen relevanten, Teileinzugsgebieten für den Zeitraum 1988-2015. Die roten und orangen Farbtöne weisen auf die relativ geringen Grundwasserneubildungsraten von unter 100 mm pro Jahr in den meisten Teileinzugsgebieten hin. Nur sehr wenige Teileinzugsgebiete überschreiten diese Schwelle und erreichen Grundwasserneubildungsraten von bis zu 200 mm pro Jahr. Schwarz umrahmt sind die Einzugsgebiete zu sehen, die für diese Klimafolge genauer untersucht wurden. Von diesen neun bilden Milmesbach, Eiditzlohbach und Teichlebächle alle mit nur rund 25 mm Grundwasserneubildungsrate die Schlusslichter. Aber auch die drei „besten“ Einzugsgebiete von Rosenbach, Syrabach und Friesenbach zeigen mit etwa 43 mm Grundwasserneubildungsrate keine grundsätzlich andere Situation.

Da im KLiWES-Projekt auch künftige Veränderungen der Grundwasserneubildung untersucht wurden, können im GWN-Viewer potenzielle Veränderungen dargestellt werden. Vergleicht man hier die Gegenwart (KLiWES 2.1 / Zeitraum 1988-2015) mit den Projektionen für das Ende des Jahrhunderts (KLiWES 2.1 / RCP8.5 / Klimaperiode 2071-2100) zeigt sich eine mittlere Abnahme der Grundwasserneubildung im Stadtgebiet Plauen um 49 bis 61 mm. Damit würde der Mittelwert für das Stadtgebiet negativ ausfallen (-13 bzw. -25 mm), im Gegensatz zur Gegenwart mit rund 36 mm pro Jahr, und sich die Situation bzgl. des Niedrigwassers weiter verschlechtern.

Sensitivität und räumliches Vorkommen

Als wichtigstes Kriterium für die Auswirkungen der klimatischen Faktoren wurde die Verschattung der Fließgewässer angenommen. Gewässer mit einer hohen Verschattung (reichhaltiger Baum- und Buschbestand im Uferbereich) sind resilienter gegen die Folgen von weniger Wassereintrag und weniger Niederschlag, da nicht zusätzlich hohe Verdunstungsraten durch starke Sonneneinstrahlung auf sie wirken und die Wassertemperatur weniger stark ansteigt. Zur Abschätzung der Verschattung der Flussabschnitte wurden die Daten der bereits in Kapitel 2.2.6 beschriebenen Verschattungsanalyse genutzt und in einem Bereich von 10 m um die Fließgewässer betrachtet. Da große Abschnitte der Flüsse unterirdisch verlaufen, wurden diese Abschnitte als 100 % verschattet angenommen. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass dies natürlich nicht gleichbedeutend mit einem naturnahen Gewässer ist, sondern sich diese Einstufung nur auf die Einstrahlungsintensität bezieht. Die stärkste Sonneneinstrahlung im Stadtgebiet Plauen erfährt der Rosenbach, während der Neundorfer Bach aufgrund seiner fast vollständigen Verrohrung die höchste Verschattung aufweist.

Weitere Kriterien zur Einstufung der Sensitivität der Fließgewässer dienten vor allem dazu, den ökohydrologischen Zustand des Gewässers zu bewerten und stammen aus dem Fließgewässerkartierungsdaten der Stadt Plauen. Die grundlegende Argumentationsbasis war hier, dass gesündere Gewässer resilienter gegenüber Belastungen sind und somit Trocken- und Hitzeperioden besser überstanden werden können. Die analysierten Parameter waren Wassertemperatur (Gewässer mit bereits erhöhter Temperatur geraten bei Belastung schneller in kritische Situationen), pH-Wert (Gewässer mit einer großen

Abweichung des pH-Wertes vom neutralen Normwert (7) haben ein höheres Risiko), Sauerstoffsättigung (Gewässer mit geringer Sauerstoffsättigung sind weniger resilient) und der Saprobienindex. Letzterer stuft die Güte eines Gewässers anhand vorgefundener Zeigerorganismen ein, wobei ein niedriger Saprobienindex (geringe Gewässerbelastung) auf ein gesundes Gewässer und damit eine höhere Resilienz hindeutet. Diese Daten sind nur punktuell vorhanden (siehe Messstellen in Abbildung 60) und werden teils auch nur einmal im Jahr erhoben, so dass ihre Aussagekraft für das Gesamtgewässer kritisch zu betrachten ist, weshalb sie nur mit einer geringeren Wichtung in die Bewertung eingingen. Trotzdem sollte die Kombination dieser Indikatoren einen guten Einblick in den Gesamtzustand des Gewässers liefern.

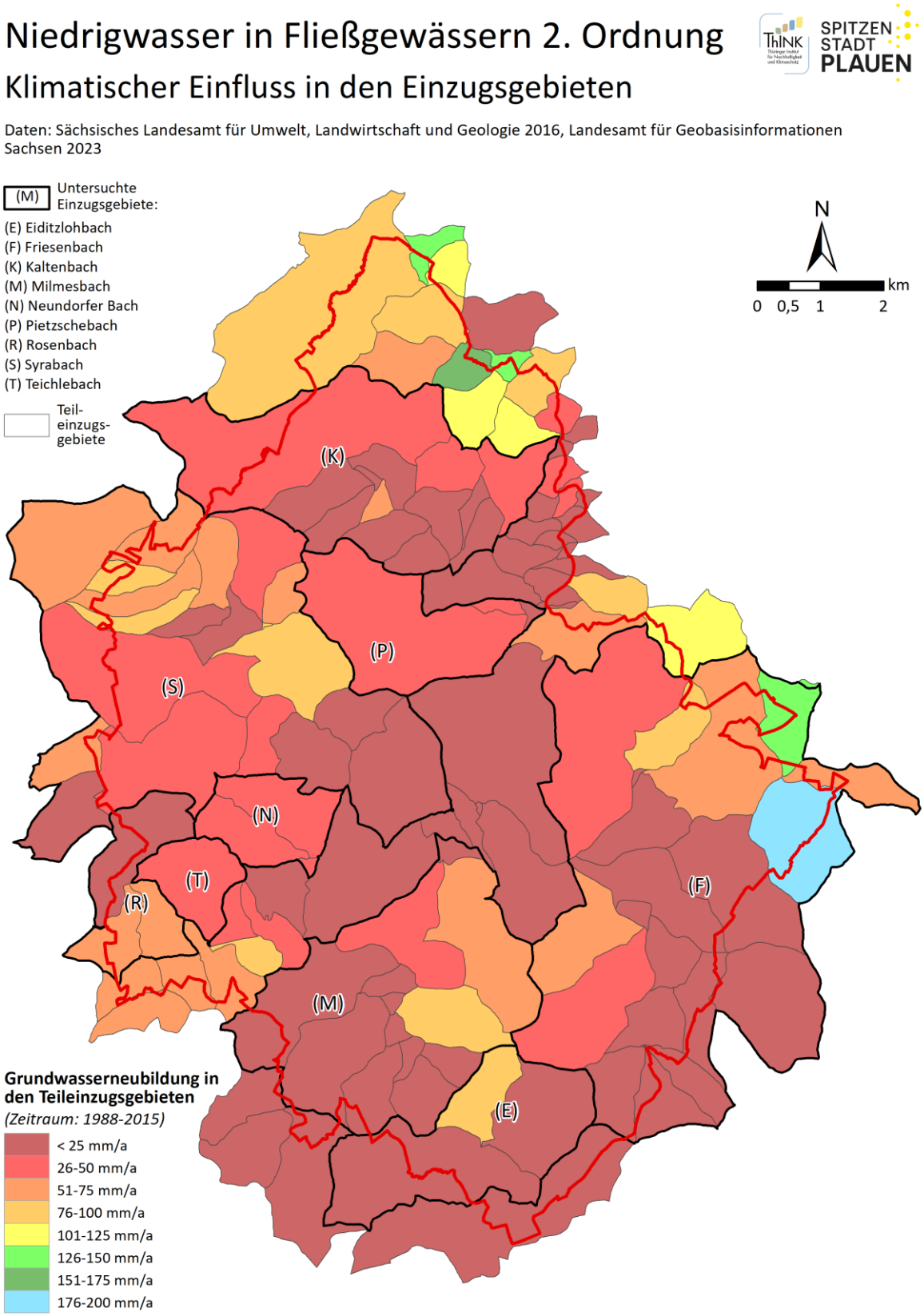


Abbildung 59: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung.

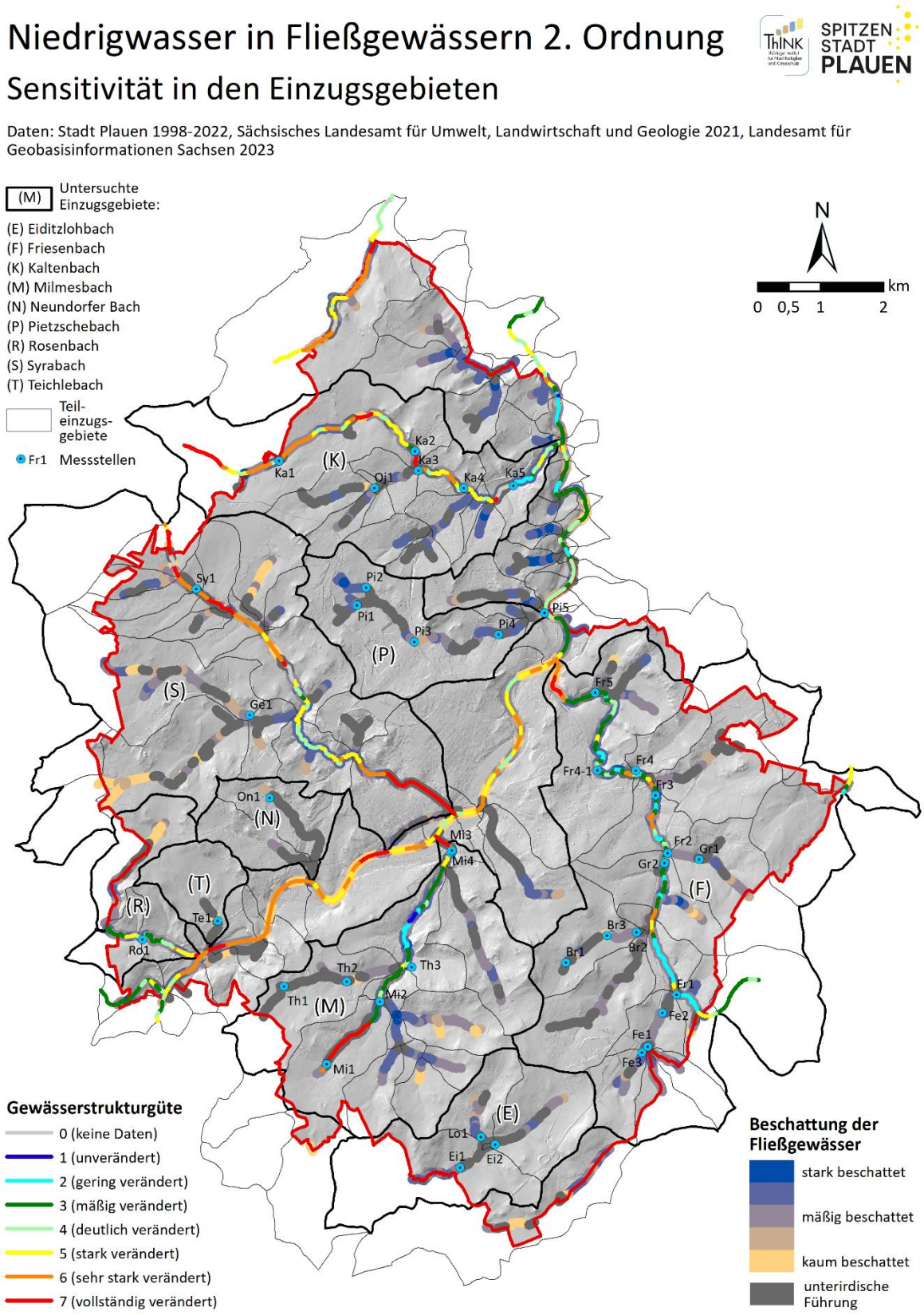


Abbildung 60: Sensitivitäten für die Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung.

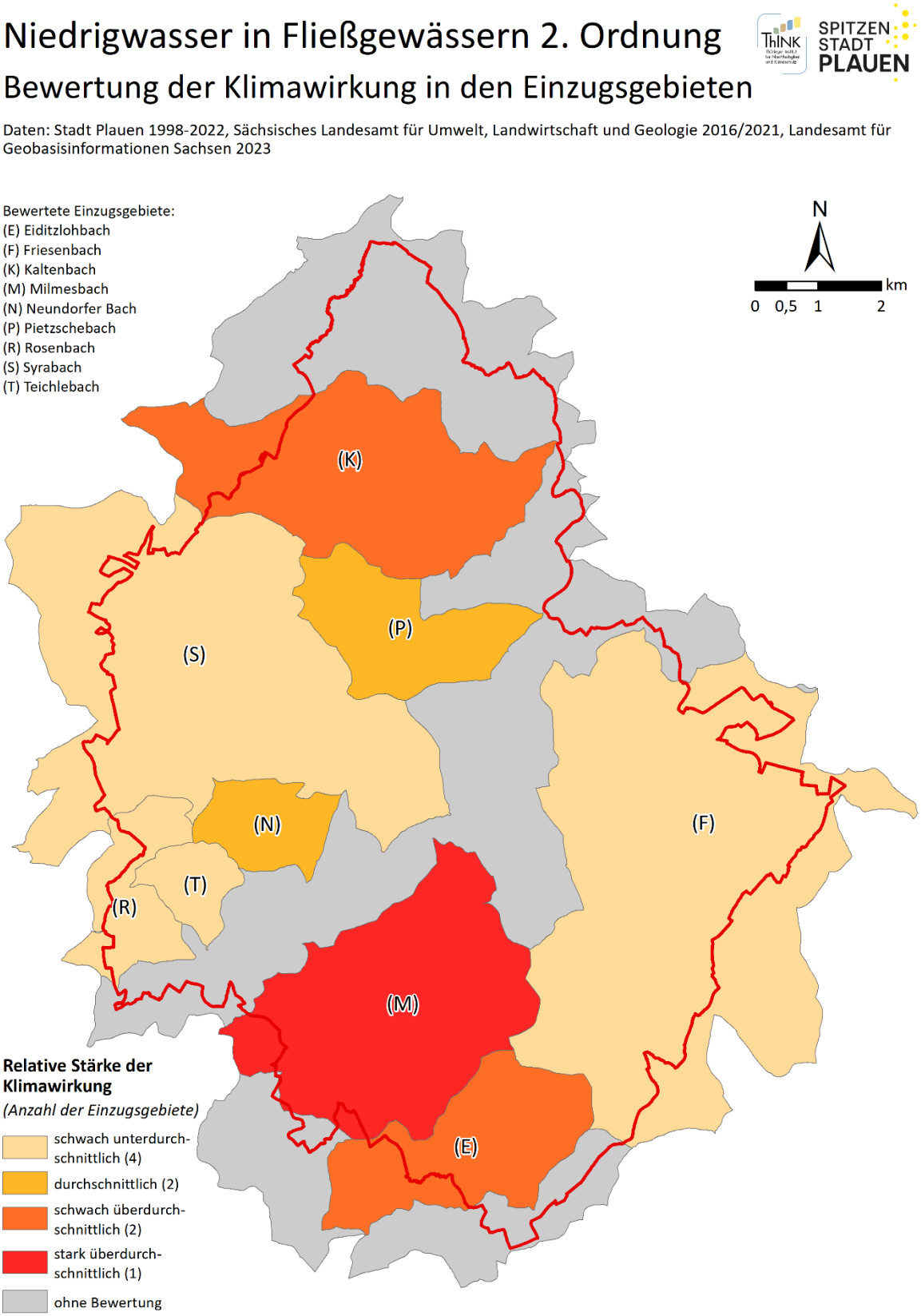


Abbildung 61: Bewertung der Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung.

Aus allen Indikatoren (Verschattung und ökohydrologische Parameter) ergibt sich eine besonders hoher Sensitivität der Fließgewässersysteme des Syrabach, des Milmesbach und des Rosenbach, wobei auch die anderen Flusssysteme nicht deutlich weniger sensitiv sind. Lediglich der Teichlebach weist eine erkennbar geringere Sensitivität auf als die anderen Systeme. In Abbildung 60 ist zusätzlich die Gewässerstrukturgüte dargestellt, um einen Eindruck von der Naturbelassenheit der Gewässer zu erhalten. Da diese jedoch für Flussabschnitte unterschiedlicher Länge und nicht für alle Fließsysteme vorliegen und außerdem ihre Interpretation in Hinblick auf die Sensitivität nicht eindeutig ist (beispielsweise sind verrohrte Abschnitte sehr stark verändert, haben jedoch, wie oben beschrieben, geringere Sensitivität in Bezug auf Sonneneinstrahlung; stark eingefasste Flussbetten dagegen heizen sich stärker auf), wurden die Daten nicht in die Wichtung mit einbezogen.

Klimawirkung

Die zur Ableitung der Stärke der Klimawirkung bzw. ihrer Bewertung genutzten Indikatoren sind noch einmal in Tabelle 9 zusammengefasst. Bei dieser Klimafolge wurde bei der Bewertung nicht auf die Ebene der Ortsteile abgestellt, sondern die Einzugsgebiete bewertet. Das Ergebnis ist in Abbildung 61 zu sehen. Von den untersuchten Einzugsgebieten sind die des Milmesbaches, Eiditzlohbaches und Kaltenbaches die am stärksten von der Klimafolge betroffenen. Rosenbach, Friesenbach und Teichlebächle zeigen eine unterdurchschnittliche Klimawirkung und damit eine geringe Betroffenheit durch die Klimafolge Niedrigwasser. Aufgrund der geringen Anzahl von untersuchten Einzugsgebieten und der durchwachsenen Datenlage (in Hinblick auf die Sensitivität) ist die Aussagekraft, im Vergleich zu den anderen Klimafolgen, als geringer einzuschätzen und die Ergebnisse entsprechend mit Vorsicht zu behandeln.

Tabelle 9: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung.

Kategorie	Indikatoren
Klimatischer Einfluss	Mittlere jährliche Grundwasserneubildung im Zeitraum 1988-2015
Sensitivität und räumliches Vorkommen	Mittlere Sonneneinstrahlung/Verschattung des Gewässers
	Mittlere Sauerstoffsättigung der Messstellen des Gewässers
	Mittlerer Saprobienindex der Messstellen des Gewässers
	Mittlere Wassertemperatur der Messstellen des Gewässers
	Mittlerer pH-Wert der Messstellen des Gewässers

3.4.6. Wärmebelastung für die Bevölkerung

Im Handlungsfeld Menschliche Gesundheit wurde die sommerliche Wärmebelastung der Bevölkerung in den Vordergrund gestellt und analysiert. Zwar sind auch neuartige Krankheitsvektoren und allergene Tiere und Pflanzen eine neue bzw. steigende Gefahr für die menschliche Gesundheit, jedoch stellt die Wärmebelastung die spürbarste Auswirkung des Klimawandels für die meisten Menschen dar und führt darüber hinaus auch zu wesentlich mehr Todesfällen.

Klimatischer Einfluss

Als Bewertungsgrundlage für den klimatischen Einfluss diente der Klimaparameter Heiße Tage (Tage mit einer Tagesmaximaltemperatur der Luft von mindestens 30 °C), der Auskunft über die Hitze-belastung am Tage gibt. Ein zweiter relevanter Klimaparameter, die Anzahl der Tropennächte (Nächte in denen die Lufttemperatur nicht unter 20 °C fällt), würde helfen, die Hitzebelastung während der Nachtstunden zu beurteilen, ist jedoch für Sachsen nicht verfügbar. Die Verteilung der Heißen Tage für die Gegenwart (Klimaperiode 1991-2020) sind Abbildung 62 zu entnehmen. Es ist ersichtlich, dass die mittlere jährliche Anzahl Heißer Tage im Stadtgebiet Plauens zwischen sieben und neun liegt, wobei die höchten Werte im windgeschützen Tal der Weißen Elster erreicht werden, indem sich auch der Hauptsiedlungskörper mit der Innenstadt befindet. Aufgrund der groben räumlichen Auflösung und des kleinen Wertebereichs von nur zwei Heißen Tagen im Stadtgebiet, wurde der klimatische Einfluss nur mit 25 statt der sonst üblichen 50 % in die Bewertung der Klimawirkung einbezogen. Die Ortsteile Altstadt, Dobenau, Hammertorvorstadt, Neundorfer Vorstadt, Neustadt, Obere Aue, Preißelpöhl und Schloßberg liegen im Tal der Weißen Elster und weisen alle im Mittel eine Zahl von neun Heißen Tagen pro Jahr auf, zeigen also den stärksten klimatischen Einfluss. Oberlosa, Zwoschwitz und Kauschwitz zeigen mit sieben bis acht Heißen Tagen pro Jahr den geringsten klimatischen Einfluss aufgrund der höheren Lage in den Randgebieten des Stadtgebietes.

Sensitivität und räumliches Vorkommen

Als Indikatoren für die Sensitivität wurden einerseits demographische Merkmale verwendet. Die Bevölkerung als Betroffene der Wärmebelastung wurde zum einen nach ihrer absoluten Anzahl in den Ortsteilen bewertet (Wohnberechtigte mit Stand vom 30.06.2023). Je mehr Menschen in einem Ortsteil leben, desto höher ist die Empfindlichkeit des Ortsteiles insgesamt gegenüber Wärmebelastung. Neben der Quantität der Einwohner bestimmt die Altersgruppenzusammensetzung der Bevölkerung ihre Sensitivität. Senioren, Kleinkinder und chronisch Kranke gelten als besonders anfällig für Hitzestress und stellen Risikogruppen mit erhöhter Sensitivität dar. Aus diesem Grund wurden die Altersgruppen der Senioren (ab 65 Jahre) und Kleinkinder (unter 6 Jahre) – in Form von absoluter Anzahl und Bevölkerungsanteil – in der Bewertung höher gewichtet.

Die Analysekarte in Abbildung 63 und Tabelle 10 zeigen die Verhältnisse in der Stadt Plauen. Die bevölkerungsreichsten Ortsteile sind die Bahnhofsvorstadt (8.628), Neundorfer Vorstadt (7.092) und Chrieschwitz (6.457); die bevölkerungsärmsten sind Reißigwald mit Lochhaus (unter 10), Röttis (49) und Neustadt (112). Der Anteil an Kleinkindern ist am höchsten in den Ortsteilen Neustadt und Schloßberg (je 7 %); bei den Senioren sind es Reusa mit Sorga (37 %), Chrieschwitz (36 %) und Bahnhofsvorstadt (34 %). Der höchste Anteil besonders hitzesensitiver Bevölkerung (als Summe von Kleinkindern und Senioren) findet sich in Chrieschwitz (41 %), Reusa mit Sorga (41 %) und Bahnhofsvorstadt (39 %).

Das Umfeld, in dem die Einwohner der Ortsteile leben, hat ebenso einen Einfluss auf den Grad der sommerlichen Wärmebelastung. Lokal unterscheiden sich die Temperaturen in einer Siedlung von denen im unbebauten Umland, da die Bebauung als Wärmespeicher der Sonneneinstrahlung fungiert und einen lokalen Temperaturanstieg zur Folge hat. Enge Straßen und fehlende Freiflächen führen gleichzeitig zur verminderten Durchlüftung von Städten und damit einhergehend zur geringeren nächtlichen

Abkühlung. Der als „städtische Wärmeinsel“ bezeichnete Effekt ist in Abbildung 14 (Kapitel 2.2) illustriert. Aufgrund des Wärmeinseleffektes, der in einer Stadt wie Plauen auftritt, wurde auch der Wärmebelastungsindex, der in Kapitel 2.2.6 bereits eingehend beschrieben wurde, als weiterer Indikator für die Sensitivität verwendet. Abbildung 63 zeigt diesen als Kartenhintergrund. Je mehr orange und rote Farbtöne in einem Ortsteil zu sehen sind, desto höher ist dort der Wärmeinseleffekt. Dies ist vor allem in innenstadtnahen Bereichen ohne großen Grünanteil zu sehen. Daher zeigen auch die Ortsteile Schloßberg, Altstadt und Obere Aue den höchsten mittleren Wärmebelastungsindex für Plauen.

Tabelle 10: Bevölkerungsverteilung und Altersgruppenzusammensetzung in den Ortsteilen der Stadt Plauen (Wohnberechtigte Bevölkerung, Stand: 30.06.2023; Quelle: Stadt Plauen 2023).

Ortsteil	Bevölkerungs-zahl	Prozentualer Anteil der Altersgruppen		
		unter 6 Jahre	6 bis 65 Jahre	ab 65 Jahre
Alt Chrieschwitz	406	4	67	29
Altstadt	580	3	64	33
Bahnhofsvorstadt	8.628	5	61	34
Bärenstein	1.937	4	67	28
Chrieschwitz	6.457	4	59	36
Dobenau	1.155	5	65	30
Großfriesen	632	4	66	29
Hammertorvorstadt	1.202	6	77	17
Haselbrunn	4.384	5	71	24
Hofer Vorstadt	835	5	73	22
Jößnitz	2.317	5	63	32
Kauschwitz	755	3	70	27
Kleinfriesen	234	3	71	25
Meßbach	131	4	73	23
Neundorf	1.415	4	63	33
Neundorfer Vorstadt	7.092	5	68	27
Neustadt	112	7	86	7
Obere Aue	764	5	77	18
Oberlosa	639	5	66	29
Ostvorstadt	3.260	4	65	31
Preißelpöhl	873	4	67	30
Reichenbacher Vorstadt	1.199	5	65	30
Reinsdorf	784	4	70	26
Reißig	907	4	70	27
Reißiger Vorstadt	4.275	6	77	16
Reißigwald mit Lochhaus	*	*	*	*
Reusa mit Sorga	3.669	4	59	37
Röttis	49	2	69	29
Schloßberg	1.773	7	73	21
Siedlung Neundorf	4.234	5	70	25

Steinsdorf	155	4	72	24
Stöckigt	326	4	66	30
Straßberg	778	4	69	27
Südvorstadt	1.944	4	69	27
Syratal	732	5	63	32
Tauschwitz	138	4	70	26
Thiergarten	369	4	65	30
Unterlosa	337	3	68	29
Zwoschwitz	148	4	68	28

* aus Datenschutzgründen ausgeblendet

Es wurde bereits gesagt, dass Senioren, Kleinkinder und chronisch Kranke empfindlicher auf Wärmebelastung reagieren als gesunde Erwachsene. Einrichtungen, in denen sich diese Risikogruppen konzentrieren, verdienen daher besondere Aufmerksamkeit bei der Anpassung an diese Klimafolge. In diesem Sinne wurden Kindertagesstätten, Senioreneinrichtungen und Kliniken erfasst und in die Analysekarte und Bewertung integriert. Für Plauen waren dies 60 Einrichtungen: 29 Kindertageseinrichtungen, 29 Senioreneinrichtungen und zwei Kliniken. Die meisten sozialen Einrichtungen mit besonders hitzesensitiven Personengruppen sind in den Ortsteilen Bahnhofsvorstadt (9), Chrieschwitz (8) und Neundorfer Vorstadt (5) zu finden; an den absoluten Plätzen in den Einrichtungen gemessen sind es Chrieschwitz (979), Bahnhofsvorstadt (918) und Reichenbacher Vorstadt (793). Insgesamt gibt es in 25 Plauener Ortsteilen rund 5.600 Plätze in sozialen Einrichtungen und Kliniken, die eines besonderen Hitzeschutzes bedürfen.

Klimawirkung

Die genannten Indikatoren für den klimatischen Einfluss und die Sensitivität, die auch in Tabelle 11 aufgeführt sind, wurden aggregiert und auf Ebene der Ortsteile statistisch ausgewertet. Der klimatische Einfluss wurde wieder geringer gewichtet aufgrund der groben räumlichen Auflösung und der inhaltlich geringen Bandbreite des Wertebereiches. Das Bewertungsergebnis zeigt Abbildung 64. Wenig überraschend zeigen sich die Ortsteile mit der überdurchschnittlichen Wärmebelastung im schlechter durchlüfteten, baulich verdichteten und stark bevölkerten Tal der Weißen Elster. Die Ortsteile Bahnhofsvorstadt, Schloßberg und Neundorfer Vorstadt finden sich in Bezug auf die Wärmebelastung für die Bevölkerung auf den vorderen Plätzen, während Reißigwald mit Lochhaus, Röttis und Zwoschwitz die geringste Klimawirkung aufweisen. Letztere sind eher höher gelegen, wenig stark bevölkert und zeigen einen geringen Wärmeinseleffekt.

Tabelle 11: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung.

Kategorie	Indikatoren
Klimatischer Einfluss	Mittlere jährliche Anzahl an Heißen Tagen in der Klimaperiode 1991-2020
Sensitivität und räumliches Vorkommen	Bevölkerungszahl und Anteile besonders hitzesensitiver Altersgruppen
	Anzahl an Einrichtungen mit besonders hitzesensitiven Personengruppen
	Mittlerer Wärmebelastungsindex

3.4.7. Trockenstress auf Waldflächen

Auch wenn die Bäume auf den Wald- und Forstflächen nicht solch extremen Standortbedingungen wie Stadt- bzw. Straßenbäume ausgesetzt sind, sind sie vom projizierten Klimawandel betroffen. Hier ist vor allem die Wasserversorgung in der forstlichen Vegetationsperiode zu nennen, die das Wachstum limitieren kann.

Klimatischer Einfluss

Als Indikator für den klimatischen Einfluss wurde die Klimatische Wasserbilanz (KWB) in der forstlichen Vegetationszeit gewählt. Deren zeitlicher Umfang hängt von der Höhenlage und damit von den Durchschnittstemperaturen vor Ort ab. Allgemein wird sie überschlägig mit Mai bis September zeitlich eingegrenzt. Da nur Monatsdaten zur Klimatischen Wasserbilanz vorlagen, wurde letzterer Ansatz gewählt und die Monatsdaten der KWB summiert. Das Ergebnis der Verteilung zeigt Abbildung 65. Das Kartenlayout ist für diese Klimafolge anders aufgebaut und zeigt weitere Flächen außerhalb der Stadtgrenzen Plauens. Dies hängt damit zusammen, dass die Stadt Plauen, als einer der größten Waldbesitzer Sachsens, auch Waldflächen in anderen Gemeinden des Vogtlandkreises besitzt und bewirtschaftet. Es sind dies die Kommunen Rosenbach/Vogtland (im Nordwesten des Stadtgebietes), Pöhl (Nordosten), Bergen, Falkenstein/Vogtland, Grünbach, Neustadt/Vogtland, Theuma und Werda (Südosten) sowie Weischlitz (Südwesten). Die Klimakarte zeigt, dass die Klimatische Wasserbilanz in der Talniederung der Weißen Elster am geringsten ist mit deutlich negativen Werten. D. h., dass hier mehr Wasser verdunstet als durch Niederschläge zur Verfügung steht. Je mehr die Höhenlage steigt, desto besser bzw. positiver wird auch die Klimatische Wasserbilanz, denn mit der Höhenlage nimmt die durchschnittliche Lufttemperatur ab und somit auch die Verdunstung. Daher sind in den höher gelegenen Gemeinden südöstlich Plauens positive Werte mit bis zu rund 100 mm für die Klimatische Wasserbilanz zu beobachten. Entsprechend zeigen die Gemeinden südöstlich Plauens die beste mittlere Klimatische Wasserbilanz auf Waldflächen. Am anderen Ende der Skala von Ortsteilen mit Waldflächen sind es Straßberg, Hammertorvorstadt und Bärenstein, die die schlechtesten Klimatischen Wasserbilanzen aufweisen.

Einen Blick auf die mögliche künftige Entwicklung gibt Abbildung 68. Dargestellt ist die projizierte Veränderung der dynamischen forstlichen Klimastufen zwischen den Klimaperioden 1971-2000 und 2041-2070. Für letztere wird der Gliederungsrahmen der dynamischen forstlichen Klimastufen in Sachsen mittels Auswertung von RCP-Szenarien gerade durch SachsenForst überarbeitet und stellt den momentanen Stand dar (Juli 2024). Da die forstlichen Klimastufen auf Vegetationszeitlänge und Klimatischer Wasserbilanz gründen, kann an der Abbildung nachvollzogen werden, wie sich die klimatischen Randbedingungen des Waldes in Zukunft verändern könnten und es zu einer sogenannten Standortdrift kommt. Zu sehen ist, dass z. B. das Plauener Stadtgebiet von „mäßig trocken bis mäßig frisch & sommerwarm bis mäßig kühl“ zu „sommerdürr bis stark sommertrocken & sommerwarm bis mäßig warm“ verdriften wird, es also zunehmend wärmer und trockener für den Wald auf den Standorten wird.

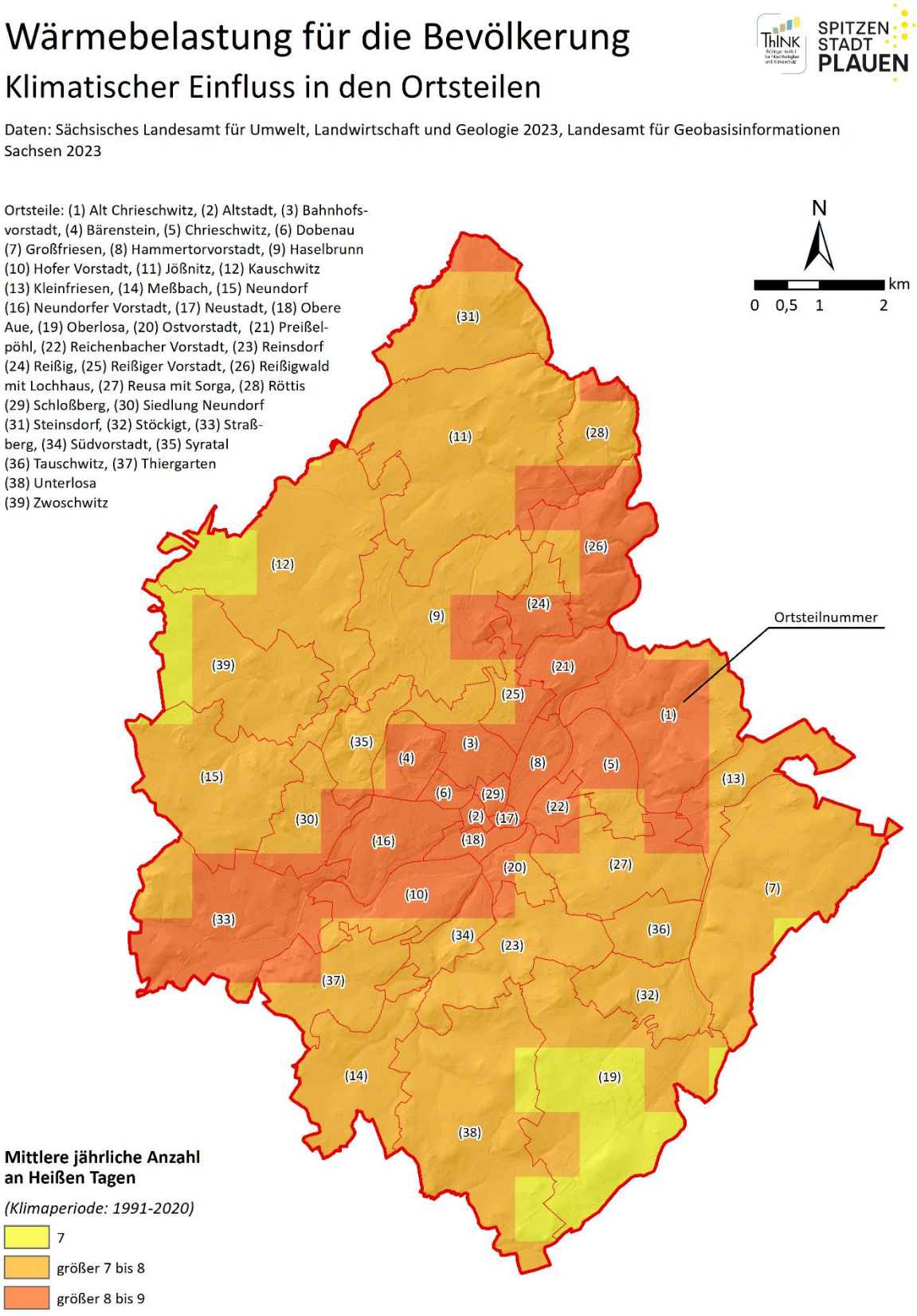


Abbildung 62: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung.

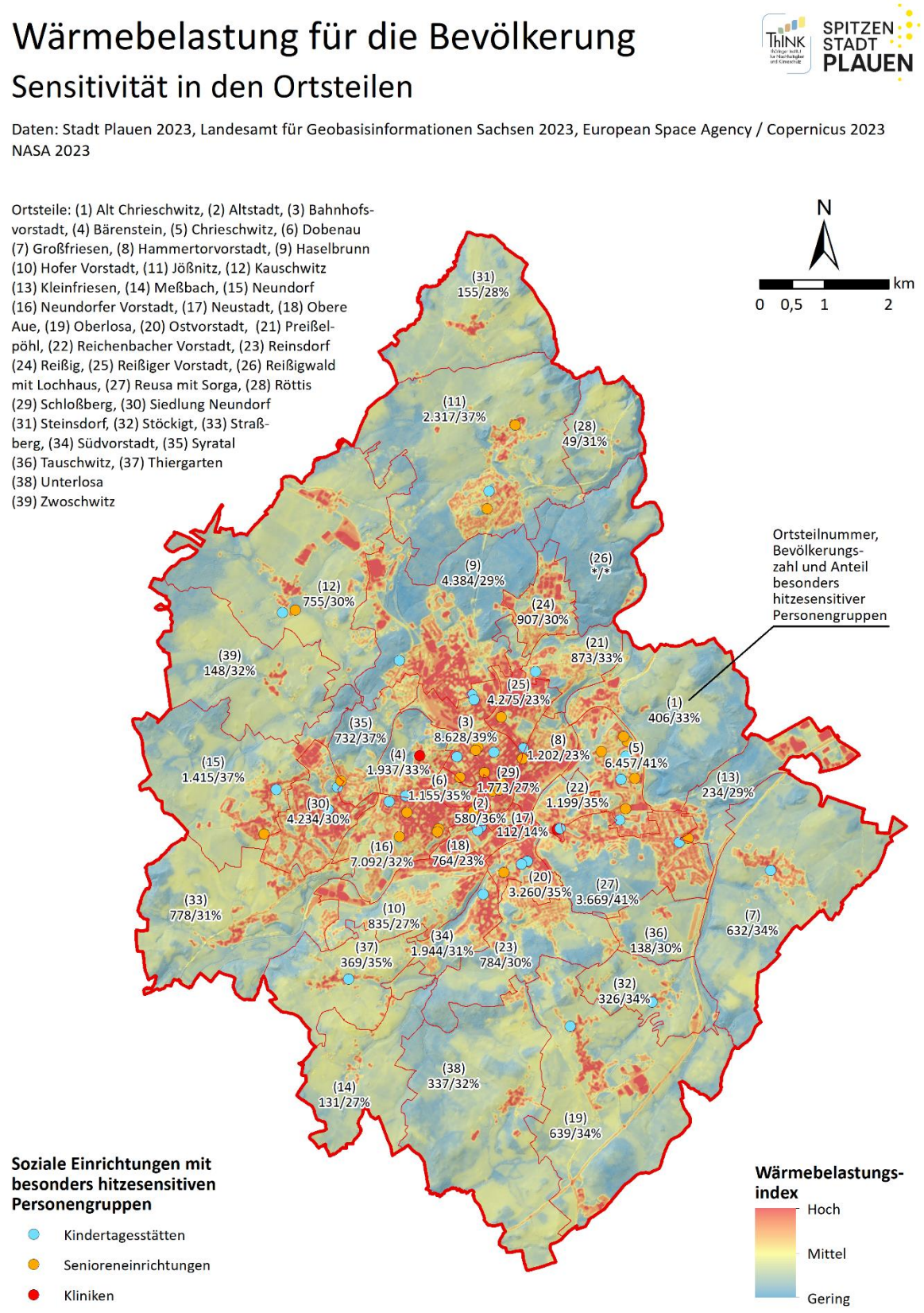


Abbildung 63: Sensitivitäten für die Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung.

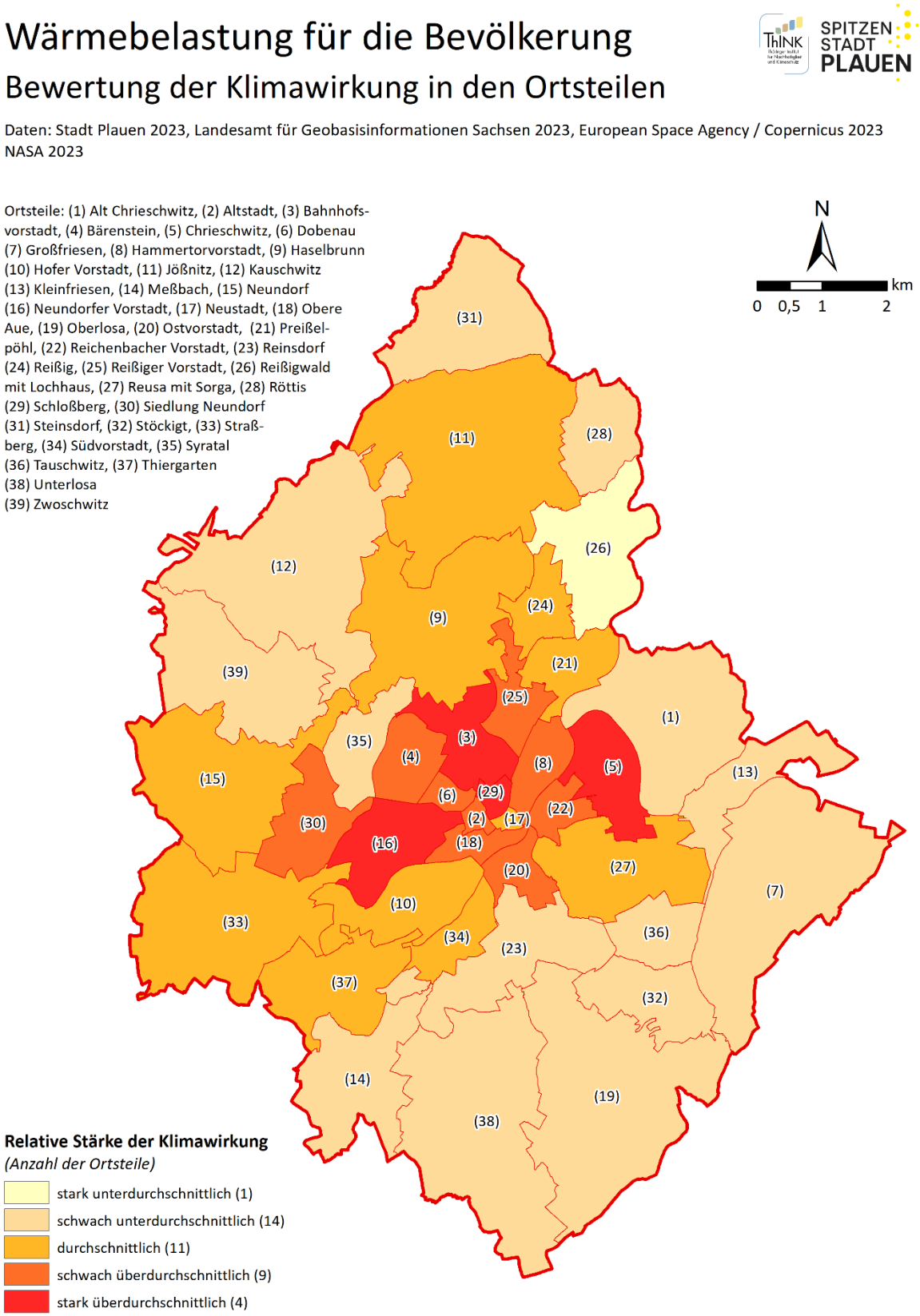


Abbildung 64: Bewertung der Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung.

Sensitivität und räumliches Vorkommen

Für die Sensitivität wurde versucht, die aktuellen Hauptbaumarten auf den Waldflächen hinsichtlich ihrer Trockenresistenz zu bewerten. Hierzu wurde der Ansatz der Klima-Arten-Matrix für Waldbaumarten (KLAM-Wald) von Roloff & Grundmann (2008) angewendet. Er liefert eine Einschätzung für 47 Waldbaumarten zur Verwendung unter Bedingungen des Klimawandels. Dabei liegt das Augenmerk auf der Trockenstresstoleranz und der Frostresistenz. Eine vierstufige Benotung erfolgt für jede Baumart für vier Standortsbereiche unterschiedlicher Wasserversorgung (nass bis sehr frisch, ziemlich frisch bis frisch, mäßig frisch bis mäßig trocken, trocken bis sehr trocken). Die KLAM-Wald berücksichtigt kein explizites klimatisches Signal. Das Ergebnis des Ansatzes bildet somit nur die Sensitivität als Verknüpfung von Baumart und Standorteigenschaften ab. Aufgrund der hohen Zahl der berücksichtigten Baumarten, der zusätzlich integrierten Bewertung der Frostresistenz und der einfachen Anwendung durch ein Notensystem ist die KLAM-Wald zur Beurteilung des Trockenstresses auf Waldflächen gut geeignet.

Die für die Bewertung notwendigen Daten zu Hauptbaumarten und Standortcharakter wurden von SachsenForst (aus Datenschutzgründen nur) für die Flächen des Kommunal- und Landeswaldes zur Verfügung gestellt. Von den rund 3.500 ha Wald im Plauener Stadtgebiet und den Plauener Waldflächen in anderen Gemeinden des Vogtlandes entfallen 66 % auf Kommunalwald, 31 % auf Privatwald, 2 % auf Landeswald, 1 % auf Kirchenwald und weniger als 1 % auf Bundeswald. Für rund 68 % der Waldflächen lagen demnach detaillierte Daten zu Bestockung und Standort vor. Gleichzeitig ist der Ansatz der KLAM-Wald auf eine Höhenlage bis 500 m beschränkt, so dass für einige kommunale Waldflächen – vor allem in den südöstlichen Gemeinden – ein anderer Bewertungsansatz genutzt wurde. Dazu wurde die Hauptbaumartenverteilung ausgewertet. Die Auswertung ergab eine Verteilung von rund 75 zu 25 % für Nadel- zu Laubholz und, dass 93 % der Nadelholzbestände mit Fichte (*Picea abies*) bestockt ist und 23 % bzw. 20 % der Laubholzflächen mit Sandbirke (*Betula pendula*) und Traubeneiche (*Quercus petrea*). Weiterhin ergab sich bei der Berücksichtigung der Bewertung der KLAM-Wald, dass Nadelholzarten (insbesondere die Fichte) im Mittel über die Arten und Standorte weniger geeignet unter Klimawandel-Bedingungen sind als Laubholzarten. Als Schluss daraus wurden für die Flächen, von denen nur die Unterscheidung in Nadel- und Laubholz bekannt war, der Nadelholzanteil als Indikator für die Nicht-Eignung des Bestandes unter Klimawandel-Bedingungen genutzt. Dieser Ansatz wurde ebenfalls für die Waldflächen verwendet, für die aus Datenschutzgründen keine Informationen zu Bestockung und Standort vorlagen, also vor allem die privaten Waldflächen. Trotzdem konnten mit diesen beiden Ansätzen nicht alle Waldflächen Plauens bewertet werden, da es für einige Flächen (Privat- und Landeswald) keine Informationen zur Bestockung gab. Diese Flächen sind in der Analysekarte (Abbildung 66) dunkelgrau gekennzeichnet bzw. konnte für alle farbigen Flächen eine Bewertung (unterschiedlicher Detailtiefe) durchgeführt werden.

Die Karte zur Sensitivität (Abbildung 66) zeigt die Eignung des Kommunal- und Landeswaldes bzgl. dessen Trockenresistenz auf dem Standort zwischen sehr gut geeignet und ungeeignet. Zu erkennen sind überwiegend Gelb- und Orangetöne, die mehrheitlich auf Fichtenbestände und deren geringe Standorteignung unter veränderten Klimabedingungen hindeuten. Jedoch gibt es auch zahlreiche Standorte mit sehr gut geeigneter, klimaresilienter Bestockung, z. B. in Reusa mit Sorga, Syratal und Reißigwald mit Lochhaus. Die höchste Sensitivität bzgl. der Klimafolge Trockenstress auf Waldflächen zeigen die Ortsteile „Südost“ (als Klammerbegriff für die südöstlich Plauens gelegenen Gemeinden mit Plauener Waldflächen), Kauschwitz und Unterlosa.

Klimawirkung

Für die Bewertung der Klimawirkung wurde die oben beschriebenen und in Tabelle 12 aufgeführten Indikatoren für alle Ortsteile mit Waldflächen herangezogen. Auch hier wurde der klimatische Einfluss mit 25 statt der üblichen 50 % gewichtet, um der Datenqualität der Klimadaten Rechnung zu tragen. Abbildung 67 zeigt das Bewertungsergebnis. Die zehn Ortsteile ohne Waldflächen bzw. Bewertung liegen zentral in Plauen und bilden das Gebiet der Innenstadt ab. Die kleineren Waldflächen im Nordwesten und –osten wurden für die Bewertung in die nächstgelegenen Plauener Ortsteile integriert, die größeren Waldflächen im Südwesten und –osten zu den hypothetischen Ortsteilen „Südwest“ und „Südost“ zusammengefasst. Die Ortsteile mit überdurchschnittlich starker Klimawirkung finden sich in den Randlagen des Stadtgebietes und im Umland. Als Ortsteile mit der größten Klimawirkung können Unterlosa, Kauschwitz und „Südwest“ identifiziert werden; die Hammertorvorstadt, Preißelpöhl und Röttis zeigen – auch wegen der geringen Größe der Waldflächen in diesen Ortsteilen – die geringste Klimawirkung beim Trockenstress auf Waldflächen.

Tabelle 12: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen.

Kategorie	Indikatoren
Klimatischer Einfluss	Mittlere Klimatische Wasserbilanz der Monate Mai-September (mm; forstliche Vegetationszeit) in der Klimaperiode 1991-2020
Sensitivität und räumliches Vorkommen	Trockenresistenz der Hauptbaumarten auf Kommunal- und Landesflächen nach KLAM-Wald
	Anteil der Nadelholzflächen auf Flächen, die nicht mittels KLAM-Wald bewertet werden konnten
	Waldfläche (absolut und relativ zur Ortsteilfläche)

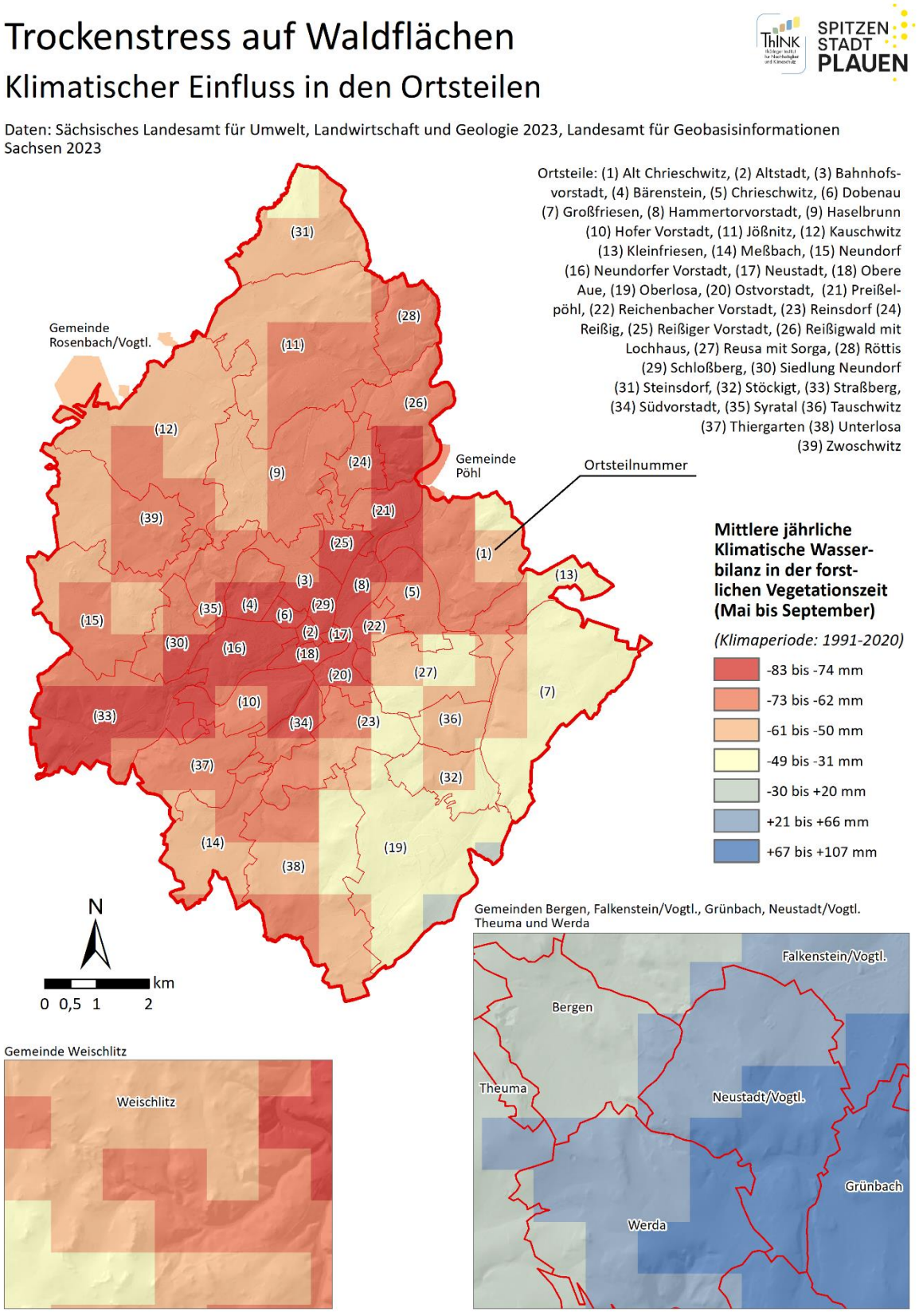


Abbildung 65: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen.

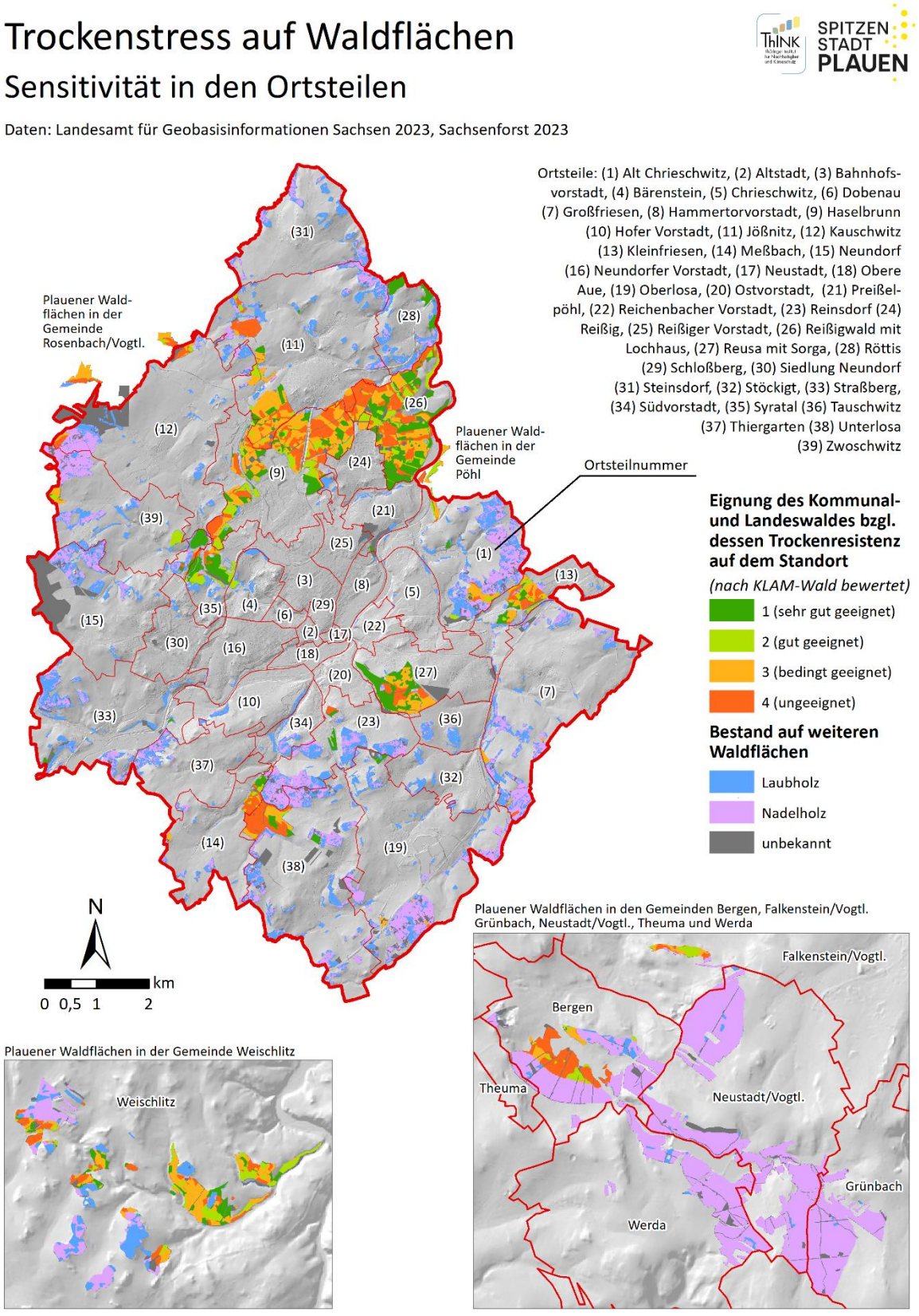


Abbildung 66: Sensitivitäten für die Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen.

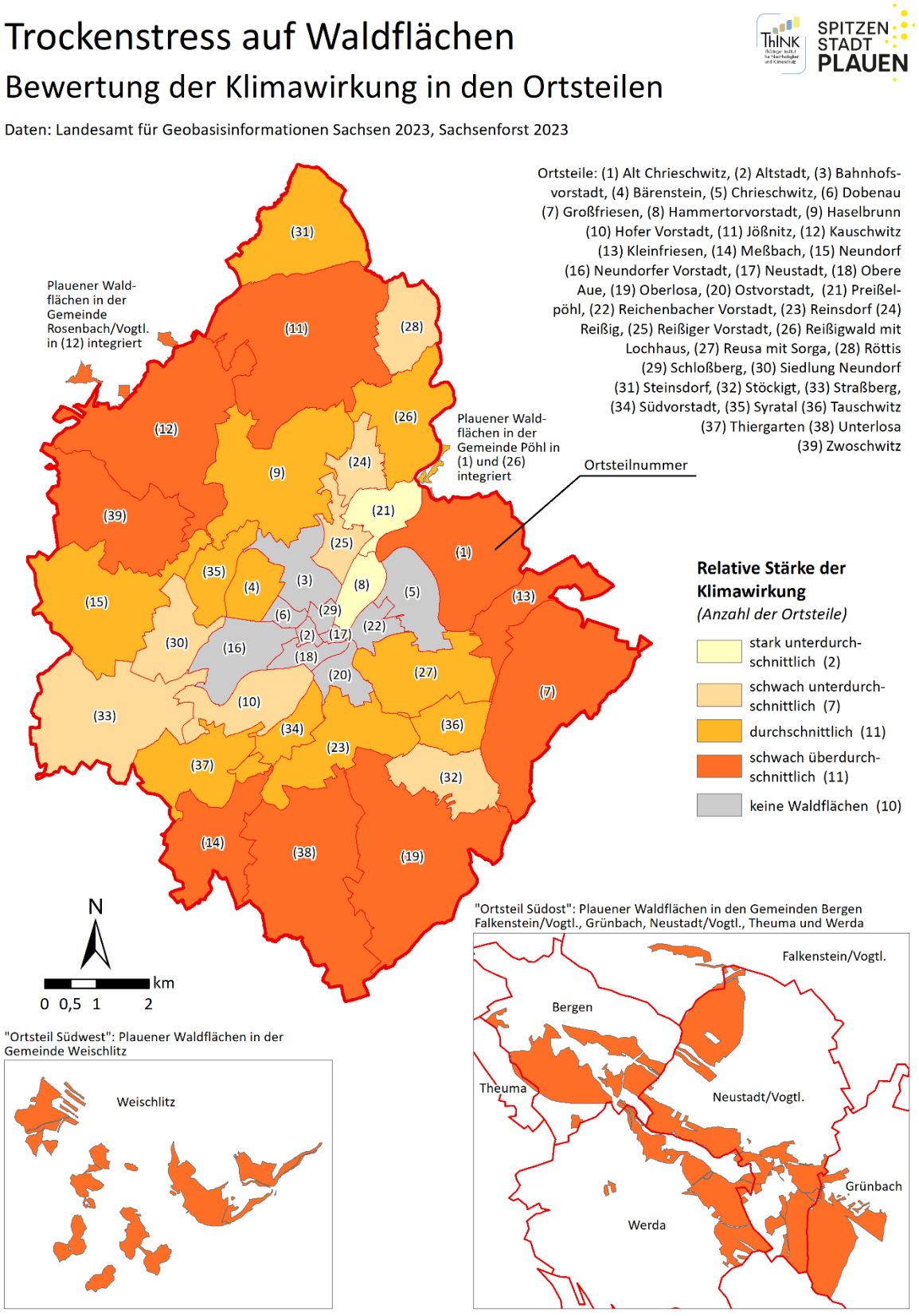


Abbildung 67: Bewertung der Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen.

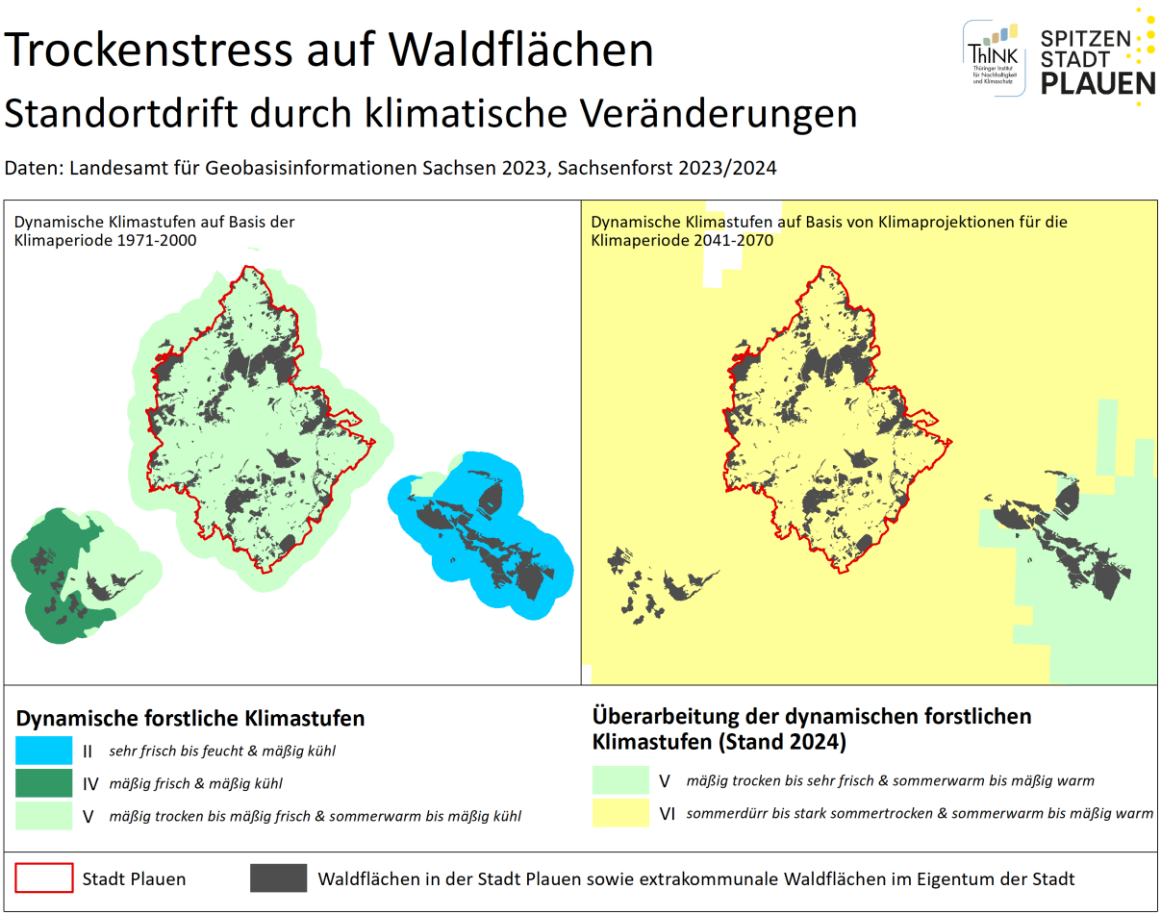


Abbildung 68: Projizierte Veränderung der dynamischen forstlichen Klimastufen.

3.4.8. Trockenstress für das Stadtgrün

Neben Waldbäumen leiden auch Stadt- und Straßenbäume unter den sich verschärfenden klimatischen Bedingungen. Daneben sind die Wuchsbedingungen in städtischen Räumen ungleich extremer für die Bäume. Geringe Wasserversorgung infolge abfließenden Regenwassers auf versiegelten Flächen und kleine Baumgruben mit erschwertem Zugang zum Grundwasser, erhöhte Transpiration aufgrund verstärkter Hitze im versiegelten Straßenraum, Einengung und Beschädigungen der Wurzeln durch Kanalsystem und Leitungen, winterliche Streusalze und Hundeurin, all dies schwächt die Stadtbäume. Neben dem städtischen Großgrün wurden für diese Klimafolge aber auch die städtischen Grünflächen in die Bewertung einbezogen, um ein vollständigeres Bild der Situation zu liefern.

Klimatischer Einfluss

Als Indikator für den klimatischen Einfluss diente die Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (April bis September = Sommerhalbjahr) für die Klimaperiode 1991-2020, die auf Basis der monatlichen Wasserbilanzen aus den Datenbeständen des LfULG generiert wurde (Abbildung 69). Es zeigt sich wieder, dass es im Tal der Weißen Elster am trockensten ist und die negativsten Wasserbilanzen auftreten, bis unter -100 mm. Dementsprechend finden sich die Ortsteile mit der schlechtesten Wasserbilanz mit Altstadt, Schloßberg und Obere Aue auch in der Tallage. Die Ortsteile mit der besten, aber

dennoch negativen Wasserbilanz, liegen mit Oberlosa, Großfriesen und Stöckigt dagegen auf den südöstlichen Höhen, wo die sommerlichen Temperaturen und die damit verbundene Verdunstung geringer sind.

Zwar werden in vielen Kommunen Stadt- und Straßenbäume häufig zusätzlich bewässert und somit die Wasserbilanz künstlich verbessert; dies sollte jedoch nicht in eine Analyse bzw. Bewertung zur Klimafolge Trockenstress für das Stadtgrün einfließen. Denn das Ziel der Analyse und späteren Anpassungsmaßnahmen ist ein Baum- bzw. Grünbestand, der standortangepasst ist und keine zusätzliche Wasserzufuhr durch Grünämter, Anwohner etc. benötigt.

Sensitivität und räumliches Vorkommen

Die Daten für die Betrachtung der Sensitivität des Stadtgrüns stammen aus dem Stadtbaum- bzw. Grünflächenkataster der Stadt Plauen sowie dem aus Fernerkundungsdaten ermittelten NDVI (siehe Kapitel 2.2.6).

Für die Einschätzung der Stadtbäume eines Stadtteiles wurde die Anzahl der im Ortsteil vorgefundenen Bäume, deren derzeitige Vitalität (nach Baumkataster) sowie die Hitzeresistenz der entsprechenden Baumart nach der Klima-Arten-Matrix (KLAM-Stadt; Roloff et al. 2008) verwendet. Zu beachten ist hier, dass durch die Verwendung des Stadtbaumkatasters nur Bäume in die Analyse eingehen, die in kommunaler Betreuung stehen. Andere Bäume, z. B. auf privaten Flächen, haben natürlich auch einen Einfluss auf die Sensitivität, können jedoch im Rahmen dieses Konzeptes nicht erfasst werden. Ein Ortsteil wird als besonders sensitiv eingestuft, wenn er viele Bäume enthält, diese bereits eine geringe durchschnittliche Vitalität aufweisen und häufig Arten mit einer schlechten Hitzeresistenz vorkommen. Die Ortsteile in Plauen unterscheiden sich bezüglich ihrer Sensitivität, was die Stadtbäume angeht, zwar nicht stark, Hofer Vorstadt, Bärenstein, Haselbrunn, Oberlosa und Straßberg zeigen jedoch die höchsten Sensitivitäten.

Für die Grünflächen gingen sowohl die relative als auch absolute Fläche im Ortsteil in die Betrachtung ein wie auch die Vitalität der Grünfläche anhand des NDVI-Wertes. Dieser beschreibt, wie „grün“, also vital, die entsprechende Fläche ist. Es wurde für die Auswertung eine NDVI-Aufnahme vom 27.06.2022 verwendet. An diesem Tag war das Wetter trocken und sonnig mit wenig Wind, mit einer Tageshöchsttemperatur von 32°C. Man kann daher davon ausgehen, dass die Grünflächen unter Hitzestress standen und damit die Anfälligkeit, eine schlechte Vitalität unter solchen Bedingungen aufzuweisen, abgeschätzt werden konnte. Zu beachten ist hier, dass die Bewirtschaftung der Grünfläche natürlich einen Einfluss auf diese Größe hat, vor allem, ob sie bewässert wurde und wann die Mahd erfolgte. In Bezug auf die Sensitivität der Grünflächen zeigen sich die Ortsteile Reusa mit Sorga, Reißiger Vorstadt, Chrieschwitz, Neustadt und Schloßberg besonders sensitiv. Die Stadtteile Reißigwald mit Lochhaus und Tauschwitz weisen keine kommunalen Grünflächen auf und haben deshalb keine dahingehende Sensitivität.

Die Sensitivität des Stadtgrüns ist insgesamt in Tauschwitz und Reißigwald mit Lochhaus am geringsten und am höchsten in Bärenstein, Haselbrunn, Hofer Vorstadt und Reusa mit Sorga.

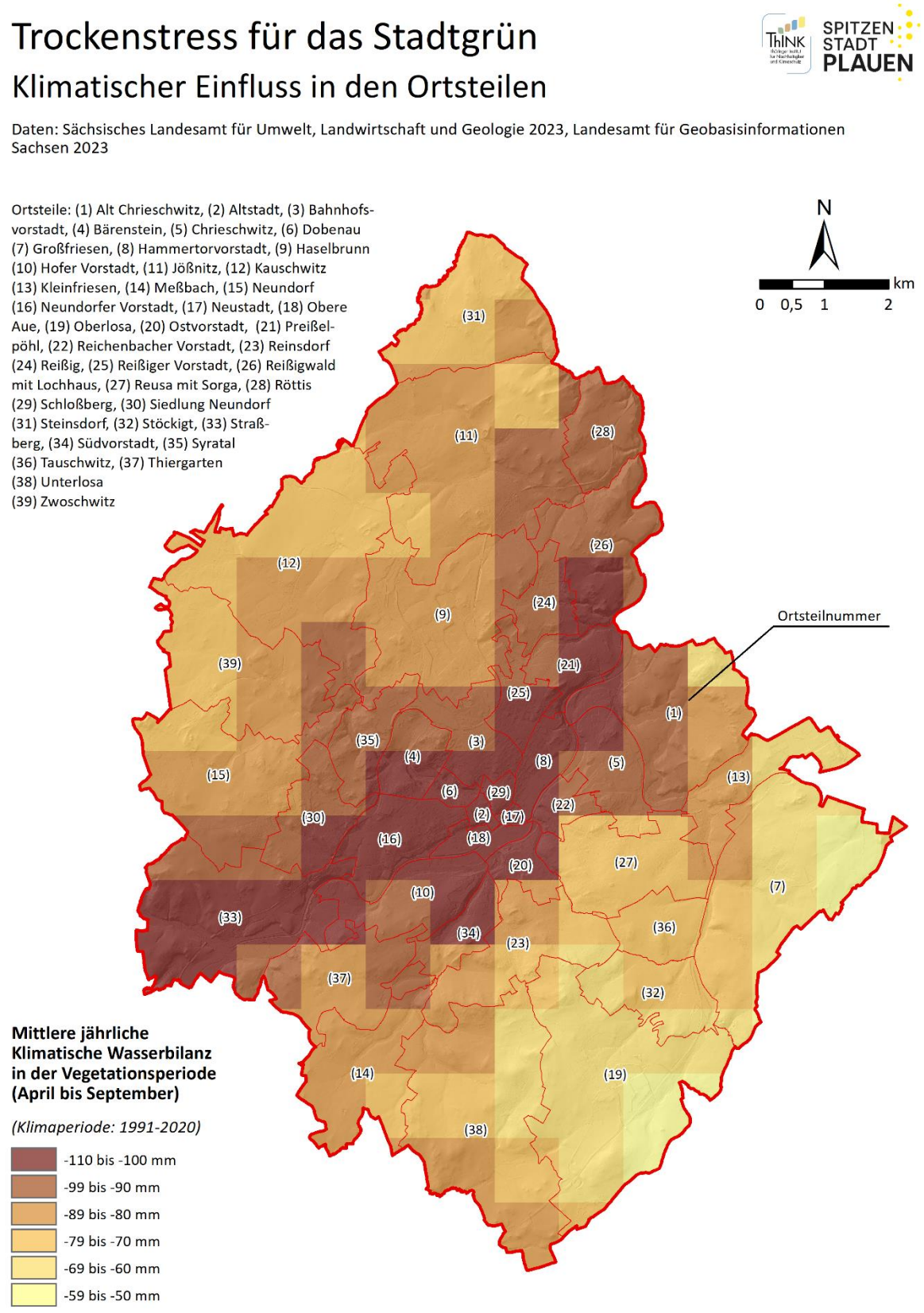


Abbildung 69: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün.

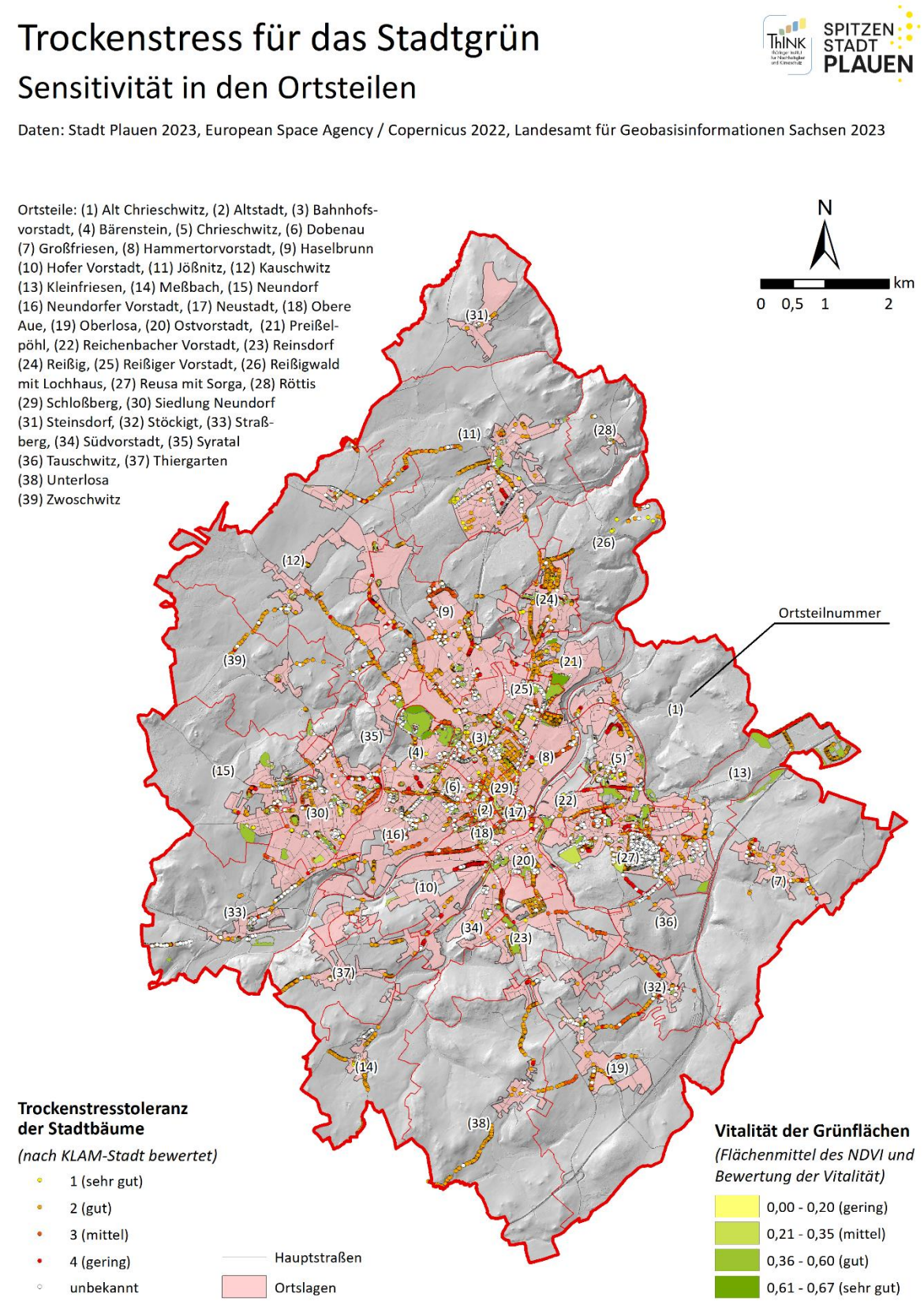


Abbildung 70: Sensitivitäten für die Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün.

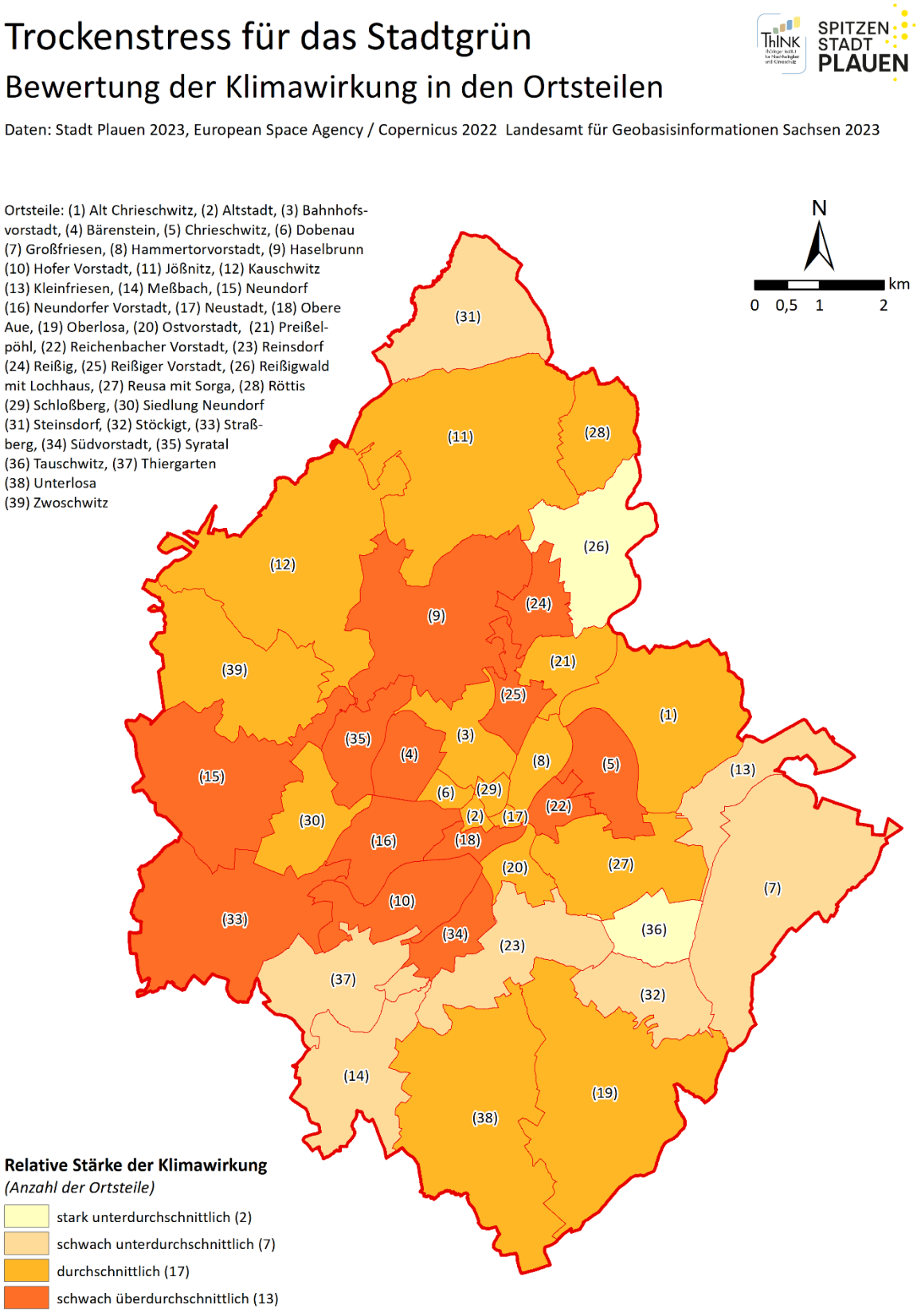


Abbildung 71: Bewertung der Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün.

Klimawirkung

Die Ableitung der Bewertung für diese Klimafolge basiert auf den in Tabelle 13 aufgelisteten Indikatoren für klimatischen Einfluss und Sensitivität. Auch hier ging das Klimasignal mit 25 % und die aggregierte Sensitivität mit 75 % in die Bewertung ein. Im Ergebnis zeigt sich das Bild in Abbildung 72. Die stärksten Klimawirkungen werden in innenstadtnahen Ortsteilen wie Hofer Vorstadt, Bärenstein und Straßberg erreicht. Dies dürfte durch weniger gut geeignete Stadtbäume, größere Grünflächen und eine schlechte Klimatische Wasserbilanz begründet sein. Im Gegensatz dazu stehen Ortsteile wie Tauschwitz, Reißigwald mit Lochhaus und Kleinfriesen, mit einer unterdurchschnittlichen Klimawirkung aufgrund viel weniger Stadtbäume und Grünflächen sowie einer etwas höheren Lage und somit leicht besseren Klimatischen Wasserbilanz.

Tabelle 13: Verwendete Indikatoren für die Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün.

Kategorie	Indikatoren
Klimatischer Einfluss	Mittlere Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (April bis September) in der Klimaperiode 1991-2020
Sensitivität und räumliches Vorkommen	Mittlere Trockenresistenz der Stadtbäume nach KLAM-Stadt
	Mittlere Vitalität der Stadtbäume
	Anzahl der Stadtbäume
	Mittlere Vitalität der Grünflächen
	Absolute Fläche der Grünflächen
	Relative Fläche der Grünflächen (im Verhältnis zur Stadtteilgröße)

3.5. Anpassungsbedarfe

In den letzten Kapiteln wurden die priorisierten Klimafolgen für die Stadt Plauen betrachtet und bzgl. ihrer Klimawirkung in den Ortsteilen bewertet. In diesem Kapitel steht nun die integrierte Betrachtung im Mittelpunkt. Hierzu wurden einerseits die einzelnen Bewertungen in einer Tabelle zusammengefasst, um einen Überblick über alle priorisierten Klimafolgen hinweg zu erhalten (Tabelle 14).

Diese Darstellung gibt Hinweise darauf, welche Ortsteile im Mittel künftig die stärksten Auswirkungen durch den Klimawandel erfahren könnten. Lässt man die nicht auf Ortsteilebene bezogene Klimafolge Niedrigwasser außen vor und betrachtet die restlichen Klimafolgen, sind es die Ortsteile Alt Chrieschwitz, Jößnitz, Kauschwitz und Großfriesen, die von allen Klimafolgen betroffen sind und bei diesen häufiger eine überdurchschnittliche Klimawirkung aufweisen. Am anderen Ende der Bewertungsskala finden sich Ortsteile wie Reißigwald mit Lochhaus, Tauschwitz, Röttis, Schloßberg und Neustadt, die entweder überwiegend unterdurchschnittliche Klimawirkungen zeigen oder gar nicht von allen Klimafolgen betroffen sind (z. B. land- und forstwirtschaftliche Themen bei innerstädtischen Ortsteilen). Die auf Einzugsgebiete fokussierte Klimafolge Niedrigwasser wurde separat dargestellt; hier sind es der Milmesbach, Eiditzlohbach und Kaltenbach mit überdurchschnittlichen Klimawirkungen.

Tabelle 14: Stärke der Klimawirkung bzw. des Anpassungsbedarfs für die priorisierten Klimafolgen in den Ortsteilen bzw. Einzugsgebieten der Stadt Plauen.

Klimafolgen* / ***Ortsteil***	***Überschwemmungen durch Starkregen***	***Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen***	***Wärmebelastung für die Bevölkerung***	***Trockenstress auf Waldflächen***	***Trockenstress für das Stadtgrün***	***Klimafolge**** / ***Einzugsgebiet***	***Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung***
Alt Chrieschwitz	-	-	+	-	o	Eiditzlohbach	-
Altstadt	o	Ø	-	Ø	o	Friesenbach	+
Bahnhofsvorstadt	o	Ø	- -	Ø	o	Kaltenbach	-
Bärenstein	-	Ø	-	o	-	Milmesbach	- -
Chrieschwitz	o	+	- -	Ø	-	Neundorfer Bach	o
Dobenau	-	Ø	-	Ø	o	Pietzschebach	o
Großfriesen	o	- -	+	-	+	Rosenbach	+
Hammertorvorstadt	- -	Ø	-	+ +	o	Syrabach	+
Haselbrunn	o	+	o	o	-	Teichlebächle	+
Hofer Vorstadt	o	+	o	+	-		
Jößnitz	-	-	o	-	o		
Kauschwitz	o	-	+	-	o		
Kleinfriesen	-	+	+	-	+		
Meßbach	o	-	+	-	+		
Neundorf	o	-	o	o	-		
Neundorfer Vorstadt	-	+	- -	Ø	-		
Neustadt	-	Ø	o	Ø	o		
Obere Aue	- -	Ø	-	Ø	-		
Oberlosa	+	-	+	-	o		
Ostvorstadt	o	Ø	-	Ø	o		
Preißelpöhl	+	+	o	+ +	o		
Reichenbacher Vorstadt	o	+	-	Ø	-		
Reinsdorf	+	o	+	o	+		
Reißig	+	+	o	+	-		
Reißiger Vorstadt	+	+	-	+	-		
Reißigwald mit Lochhaus	+ +	+	+ +	o	+ +		
Reusa mit Sorga	o	+	o	o	o		
Röttis	+ +	o	+	+	o		
Schloßberg	+	Ø	- -	Ø	o		
Siedlung Neundorf	-	Ø	-	+	o		
Steinsdorf	+ +	- -	+	o	+		
Stöckigt	o	o	+	+	+		
Straßberg	-	-	o	+	-		
Südvorstadt	-	+ +	o	o	-		
Syratal	+	Ø	+	o	-		
Tauschwitz	+	o	+	o	+ +		
Thiergarten	o	o	o	o	+		
Unterlosa	+	-	+	-	o		
Zwoschwitz	o	-	+	-	o		
Weitere Flächen							
Südost	/	/	/	-	/		
Südwest	/	/	/	-	/		

*Bewertung:
[+ +] = stark unterdurchschnittlich
[+] = schwach unterdurchschnittlich
[o] = durchschnittlich
[-] = schwach überdurchschnittlich
[- -] = stark überdurchschnittlich
[Ø] = keine Klimawirkung, da keine Acker- bzw. Waldflächen im Ortsteil
[/] = keine Analyse durchgeführt

Die Bewertungen der Stärke der Klimawirkungen sind auch als Anpassungsbedarfe zu interpretieren. Zeigt ein Ortsteil bei einer Klimafolge eine unterdurchschnittliche Bewertung, würde das einen geringen Anpassungsbedarf bedeuten, eine überdurchschnittliche Bewertung dagegen zeigt einen hohen Anpassungsbedarf auf. Durchschnittliche Bewertungen markieren einen mittleren Handlungsbedarf. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass sich der Klimawandel in allen Ortsteilen auswirkt, auch z. B. im Falle einer unterdurchschnittlichen Klimawirkung. Diese Anpassungsbedarfe dienen als Hinweis darauf, in welchen Ortsteilen welche Themen im Anpassungsprozess besonders wichtig sind bzw. werden können und wo entsprechend mittels Anpassungsmaßnahmen gegengesteuert werden muss.

Weiterhin wurde eine Überblickskarte erstellt, die alle Flächen und Orte hoher Sensitivität gegenüber Klimaänderungen im Stadtgebiet bündelt (Abbildung 72). Diese ist, ähnlich wie Tabelle 14, die Synthese aller Einzelergebnisse der Klimafolgen, in diesem Fall in Kartenform. Dargestellt sind jeweils die besonders gegenüber Klimaänderungen sensitiven Flächen und Orte der untersuchten Klimafolgen. Dabei wurden nicht alle Ergebnisse aus den Einzelkarten übernommen, sondern vor allem die mit der höchsten Sensitivität, z. B. für die Klimafolge Wärmebelastung für die Bevölkerung nur Flächen mit einem Wärmebelastungsindex größer 1,7 und soziale Einrichtungen mit besonders hitzesensitiven Personengruppen oder für die Klimafolge Überschwemmungen durch Starkregen alle Flächen mit Wohnnutzung und kritische Infrastrukturen mit Überflutungsgefahr. Diese Auswahl dient der Priorisierung von besonders sensitiven Orten/Flächen für die Maßnahmenumsetzung und bietet eine Orientierung, wo in den Ortsteilen welche Themen besonders relevant sind bzw. werden können. Es wurde für diese Karte nur auf die Sensitivität fokussiert. Dies hat den Vorteil, dass sich auf die Stellgrößen konzentriert wird, die die Stadt und ihre Akteure – im Gegensatz zum Klima an sich – vor Ort aktiv beeinflussen können: Landnutzungsverteilung, Bebauung, Baumarten, Retentionsflächen usw.

Beim Blick auf Abbildung 72 wird schnell klar, dass je nach Charakter des Ortsteils unterschiedliche Klimafolgen relevant sind: während in den ländlich geprägten Ortsteilen am Stadtrand eher Trockenstress auf Waldflächen und erosive Sturzfluten ein Thema sind, finden sich in den städtischen Ortsteilen vor allem Wärmebelastung, Überschwemmungen durch Starkregen und Trockenstress für das Stadtgrün. Gleichzeitig können sich in den meisten Ortsteilen Flächen finden, die mehrfach betroffen sind, wo sich also verschiedene Klimafolgen räumlich überlagern, z. B. eine innerstädtische Fläche, die von Wärmebelastung, Trockenstress für die Stadtbäume vor Ort und gelegentlichen Starkregenüberflutungen betroffen sein kann. In solchen Situationen bieten sich multifunktionale Anpassungsmaßnahmen mit hoher Synergie an.

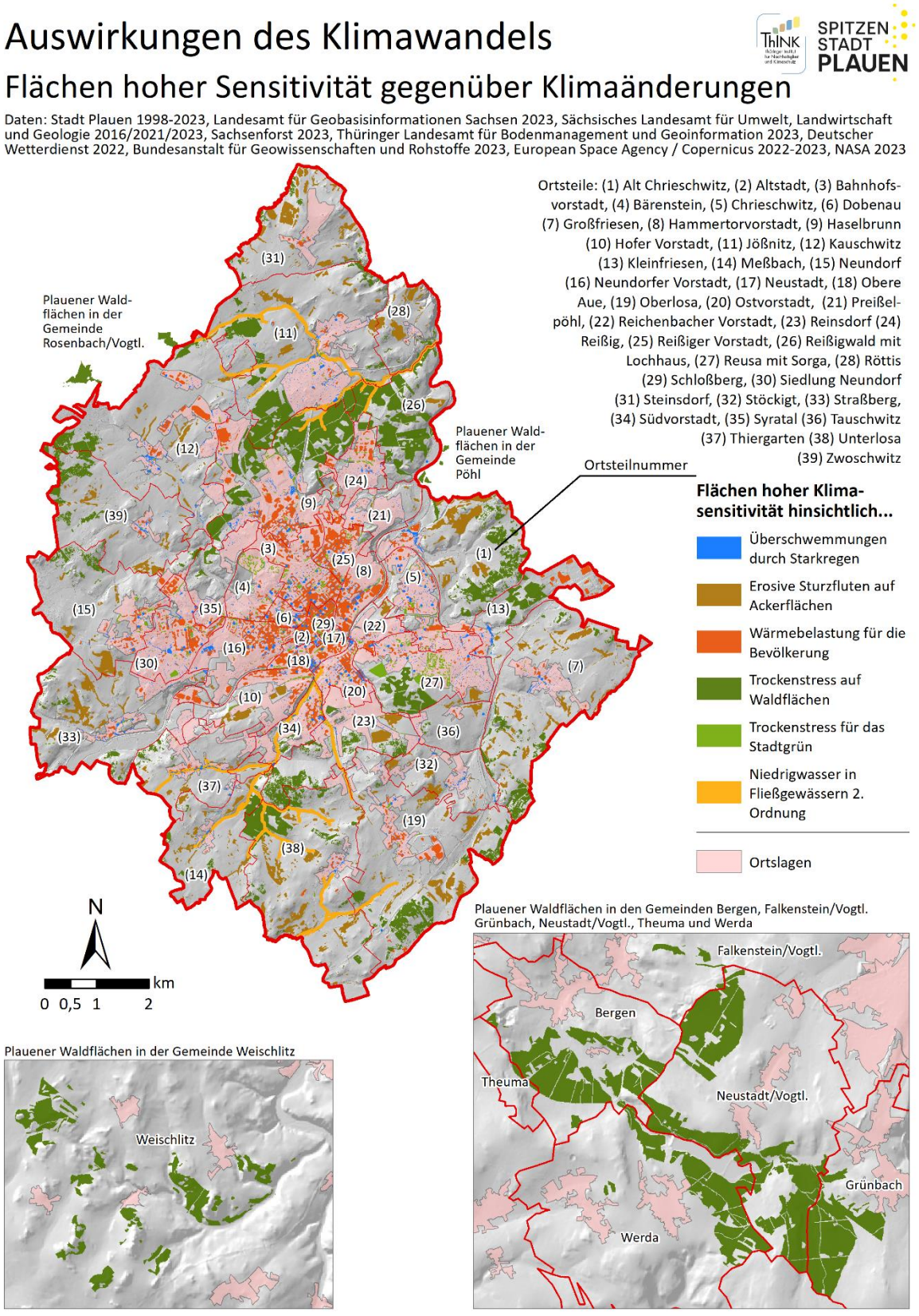


Abbildung 72: Betroffenheitskarte Klimawandel für die Stadt Plauen.

3.6. Anpassungskapazitäten der Akteure

In Kapitel 3.4.2 wurde beschrieben, dass Informationen zur Anpassungskapazität notwendig sind, um Aussagen über die Stärke der künftigen Vulnerabilität eines Untersuchungsraumes oder eines Schwerpunktthemas zu treffen. Die Anpassungskapazität beschreibt die Fähigkeit einer Region/eines Systems, sich durch Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an die veränderten Bedingungen anzupassen oder die Veränderungen auch zum Vorteil nutzen zu können. Die Anpassungskapazität ist von Faktoren abhängig, wie den ökonomischen Ressourcen, Know-how und Technologie, institutionellen Kapazitäten, politischem Willen, Anpassungshindernissen etc.

Da sich die Anpassungskapazität nicht einfach über vorhandene Daten oder Indikatoren abbilden lässt, wurden im Projekt Experteninterviews mit thematisch erfahrenen Akteuren aus der Stadt Plauen durchgeführt. Ziel war es, die Anpassungskapazitäten für die priorisierten Klimafolgen in der nahen Zukunft abzuschätzen. Die acht interviewten Akteure sind in Tabelle 21 (Kapitel 6.2) aufgelistet. Den interviewten Akteuren wurden folgende Fragen gestellt, die eine Beurteilung der verschiedenen Aspekte der Anpassungskapazität ermöglichten:

- Wie stark ist Ihr Handlungsfeld/Ihre Abteilung/Ihr Fachbereich im Allgemeinen von den negativen Auswirkungen des Klimawandels betroffen und von der Klimafolge … [akteursabhängig] im speziellen?
- Führen Sie bereits Maßnahmen durch, um sich an den Klimawandel und die Klimafolge … [akteursabhängig] anzupassen? Planen Sie bzw. Ihre Abteilung/Ihr Fachbereich weitere Maßnahmen gegen die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu ergreifen?
- Inwieweit erfahren Sie bei Ihren Bemühungen zur Klimaanpassung Unterstützung von Ihren übergeordneten Stellen/Verbänden/Strukturen?
- Wie groß ist der Handlungsspielraum in Ihrer Abteilung/Ihrem Fachbereich im Hinblick auf rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen, um Maßnahmen zur Anpassung an die Klimafolge … [akteursabhängig] zu ergreifen?
- Inwieweit verfügen Sie/Ihre Abteilung/Ihr Fachbereich über Know-how bzw. Technologie, um Anpassungsmaßnahmen für die Klimafolge … [akteursabhängig] zu planen und umzusetzen?
- Inwieweit verfügen Sie/Ihre Abteilung/Ihr Fachbereich über finanzielle Ressourcen, um Anpassungsmaßnahmen für die Klimafolge … [akteursabhängig] zu planen und umzusetzen?
- Inwieweit verfügen Sie/Ihre Abteilung/Ihr Fachbereich über personelle Ressourcen, um Anpassungsmaßnahmen für die Klimafolge … [akteursabhängig] zu planen und umzusetzen?
- Wie groß ist die Akzeptanz der Bevölkerung bzw. der Akteure in Ihrem Handlungsfeld/Ihrer Abteilung/Ihrem Fachbereich zur Planung und Umsetzung von verfügbaren Anpassungsmaßnahmen hinsichtlich der Klimafolge … [akteursabhängig]?
- Welche Hinderungsgründe gibt es sonst noch? Wie stark schätzen Sie die Hindernisse ein, die Ihrem Handlungsfeld/Ihrer Abteilung/Ihrem Fachbereich bei der Klimaanpassung hinsichtlich der Klimafolge … [akteursabhängig] im Wege stehen?

Die Akteure wurden pro Frage um eine Bewertung auf einer Skala von 1 (gar nicht/keine) bis 5 (sehr stark/sehr viel) und eine kurze Erläuterung gebeten. Über diese wertebasierte Einschätzung und die weiteren Informationen wurde jeder Aspekt der Anpassungskapazität je priorisierter Klimafolge quantifiziert. Bei mehreren befragten Akteuren pro Thema wurden Mittelwerte gebildet. Falls der Wert für das Feld auf der Kippe zwischen zwei Bewertungsstufen stand (z. B. 3,5), wurde nicht mathematisch gerundet, sondern konservativ entschieden, d. h., für die Kriterien Anpassungsbemühungen, Handlungsspielraum, Anpassungswissen, Finanzen, Personal und Akzeptanz wurde abgerundet, für die Kriterien Betroffenheit und Anpassungshindernisse wurde aufgerundet. Dies diente dazu, einen zusätzlichen Sicherheitsaufschlag für die subjektiven Bewertungen zu berücksichtigen.

Tabelle 15: Anpassungskapazitäten bei den priorisierten Klimafolgen auf Basis der Experteninterviews.

Klimafolge / **Fragen**	**Überschwemmungen durch Starkregen**	**Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen**	**Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung**	**Wärmebelastung für die Bevölkerung**	**Trockenstress auf Waldflächen**	**Trockenstress für das Stadtgrün**
Anzahl der Interviews	1	1	1	2	2	1
Selbsteinschätzung der Betroffenheit	mittel	gering	groß	sehr groß	groß	sehr groß
Durchführung von Anpassungsmaßnahmen	ja	ja	ja	teilweise	ja	ja
Unterstützung der Anpassungsbemühungen	sehr groß	keine	groß	mittel	gering	mittel
Rechtlicher und organisatorischer Handlungsspielraum	groß	gering	groß	groß	mittel	gering
Anpassungswissen und -technologien	groß	groß	gering	gering	groß	groß
Finanzielle Ressourcen	mittel	keine	mittel	keine	mittel	gering
Personelle Ressourcen	mittel	mittel	keine	mittel	gering	mittel
Akzeptanz von Anpassungsmaßnahmen	sehr groß	mittel	mittel	groß	groß	groß
Anpassungshindernisse	gering	sehr groß	sehr groß	mittel	mittel	groß
Anpassungskapazität	**groß**	**gering**	**mittel**	**mittel**	**mittel**	**mittel**

Die Ergebnisse der Analyse zeigt Tabelle 15. Alle Akteure geben für ihre Schwerpunktthemen eine Betroffenheit durch die Auswirkungen des Klimawandels an. Positiv zu vermerken ist, dass zu fast allen Klimawirkungen bereits Anpassungsmaßnahmen durchgeführt werden. Lediglich für das Thema Wärmebelastung der Bevölkerung gab nur ein von zwei interviewten Akteuren an, bereits Maßnahmen umzusetzen; der zweite Akteur sprach jedoch von der Planung solcher. Bei den anderen Aspekten zeigt sich ein breites Feld der Einschätzungen zwischen „keine“ und „sehr groß“. Im Ergebnis der Bewertung zeigen sich große (Überschwemmungen durch Starkregen), geringe (erosive Sturzfluten) und mittlere Anpassungskapazitäten (restliche Themen) bei den priorisierten Klimafolgen und damit ein geringes bis großes Anpassungspotenzial. Denn genau das sind sie erst einmal „nur“: Anpassungspotenziale, die letztlich noch aktiviert und in Anpassungsaktivitäten überführt werden müssen.

3.7. Künftige Vulnerabilitäten

Wie in Kapitel 3.4.2 erläutert, existieren nur wenig belastbare Aussagen, was die künftige Entwicklung der Sensitivitäten der betrachteten Klimafolgen betrifft. Dies steht im Gegensatz zu den zahlreichen Szenarien und Projektionen für den klimatischen Einfluss wie sie auch in Kapitel 3.2 genutzt wurden. Eine zuverlässige Ermittlung der künftigen Betroffenheit bzw. Klimawirkung ist daher nicht möglich und beschränkt sich auf eine qualitative Betrachtung der Trends der Sensitivitäten und Projektionen für die klimatischen Einflüsse. Um die künftige Vulnerabilität zu einer Klimafolge zu ermitteln, bedarf es darüber hinaus Informationen zur Anpassungsfähigkeit bzw. -kapazität (vgl. Abbildung 51). Diese wurden im Projekt über die Akteursinterviews abgeleitet (vgl. Kapitel 3.6).

Um die künftige Vulnerabilität für eine Klimafolge in der Stadt Plauen abzuleiten, wurde zuerst mittels Trendbetrachtung abgeschätzt, wie sich in Zukunft die Sensitivität gegenüber dem Klima (z. B. Bevölkerungszahl) wahrscheinlich ändern wird. Für das Klima selbst (z. B. die Heißen Tage) liegen Projektionen zur möglichen Entwicklung vor. Für die klimatischen Einflüsse wurde sich auf die Projektionen des „Weiter so“-Szenarios (RCP 8.5) gestützt, da es den derzeit wahrscheinlichsten weiteren Verlauf der Treibhausgasemissionen darstellt. Für die Abschätzung der Entwicklung der Sensitivitäten wurde auf Daten des Landesamtes für Statistik, des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie sowie des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen. Wo dies nicht möglich war, wurde eine eigene Einschätzung getroffen. Die Kopplung der Änderungen von Sensitivität und klimatischem Einfluss ergibt einen Hinweis auf die Veränderung der künftigen Klimawirkung. Die Anwendung der Anpassungskapazität aus den Interviews auf die künftige Klimawirkung führt dann zur künftigen Vulnerabilität der Klimafolge. Da die interviewten Akteure die Anpassungskapazität nicht für jeden Ortsteil einzeln beurteilen können und Trends bzw. Projektionen für die Sensitivitäten und klimatischen Einflüsse nicht oder nicht räumlich hoch genug aufgelöst für die Ortsteile vorliegen, kann auch die Vulnerabilität nicht auf räumlicher Ebene der Ortsteile dargestellt werden. Entsprechend erfolgte die Betrachtung der Vulnerabilität auf der thematischen Ebene der Klimafolgen für das gesamte Stadtgebiet und den zeitlichen Horizont der nahen Zukunft (Klimaperiode 2031-2060). Tabelle 16 gibt einen Überblick über die wahrscheinlichen Veränderungen von Sensitivität, klimatischem Einfluss, Klimawirkung sowie die erwartete künftige Vulnerabilität für die priorisierten Klimafolgen.

Bei der Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen zeigt sich eine leichte Verstärkung des klimatischen Einflusses, jedoch bleibt die Sensitivität vermutlich gleich bis hin zu einer leichten Abnahme, so dass hier insgesamt nur von einer leichten Zunahme der Stärke der Klimawirkung auszugehen ist. Bei der großen Anpassungskapazität ist mit einer nur geringen bis mittleren Vulnerabilität für die nahe Zukunft zu rechnen.

Für die Klimafolge erosive Sturzfluten auf Ackerflächen ist ebenfalls eine leichte Zunahme des klimatischen Einflusses wahrscheinlich. Bei der Sensitivität könnten sich positive und negative Veränderungen der einzelnen Komponenten kompensieren, so dass die Sensitivität etwa gleich bleiben dürfte. Bei gleichzeitig geringer Anpassungskapazität, fällt jedoch die künftige Vulnerabilität mittel aus.

Beim Thema Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung ist von einer etwa gleichbleibenden Sensitivität auszugehen, während der klimatische Einfluss mittel bis stark zunehmen dürfte. Dies führt zu einer mittleren bis starken Zunahme der Klimawirkung und bei einer mittleren Anpassungskapazität der Akteure zu einer mittleren bis hohen Vulnerabilität in der nahen Zukunft.

Zu sehen ist, dass für die Wärmebelastung für die Bevölkerung eine sehr hohe künftige Vulnerabilität erwartet wird. Grund ist die wahrscheinliche Zunahme sowohl von Sensitivitäten (leicht) als auch klimatischem Einfluss (stark) sowie eine bisher nur mittlere Anpassungskapazität. Auf diese Klimafolge muss künftig ein besonderes Augenmerk im Anpassungsprozess gelegt werden.

Hinsichtlich der Klimafolge Trockenstress auf Waldflächen könnte die Sensitivität künftig leicht abnehmen. Gleichzeitig führt der Klimawandel zu einer mittleren bis starken Zunahme des klimatischen Einflusses, was kombiniert eine leichte bis mittlere Zunahme der Klimawirkung bedeutet. Wird die mittlere Anpassungskapazität der Akteure berücksichtigt, könnte die Vulnerabilität für die Klimafolge künftig bei mittel bis hoch liegen.

Auch die Klimafolge Trockenstress für das Stadtgrün wird hinsichtlich ihrer künftigen Vulnerabilität als sehr hoch eingestuft. Dies hat seinen Grund in einer gleichbleibenden bis leicht zunehmenden Sensitivität gekoppelt mit einer mittleren bis starken Zunahme des klimatischen Einflusses. In Verbindung mit der mittleren Anpassungskapazität der Akteure kommt es zu dieser hohen Vulnerabilität in der nahen Zukunft. Eine rasche Umsetzung von Anpassungsoptionen ist hier ebenfalls angezeigt.

Es muss jedoch davor gewarnt werden, die beschriebenen künftigen Vulnerabilitäten als gegeben bzw. sicher eintretend zu verstehen. Man unterliegt dann einem Zirkelschluss: man unterstellt die Aktivierung der Anpassungspotenziale und somit eine geringere Vulnerabilität in der Zukunft, obwohl die Aktivierung der Anpassungskapazität und damit die Senkung der Vulnerabilität erst das Ziel der Anpassungsaktivitäten darstellt. In diesem Sinne sind die aufgeführten Vulnerabilitäten nur zu erreichen, wenn die Akteure tatsächlich in den kommenden Jahren zielführende Anpassungsmaßnahmen umsetzen. Ohne die Umsetzung von Maßnahmen werden die künftigen Vulnerabilitäten für die Klimafolgen allesamt höher ausfallen, was besonders bei den Themen Wärmebelastung für die Bevölkerung und Trockenstress für das Stadtgrün dramatische Folgen hätte.

Tabelle 16: Künftige Vulnerabilitäten in der nahen Zukunft für die priorisierten Klimafolgen für eine klimatische Entwicklung entsprechend des derzeit wahrscheinlichen RCP8.5-Szenarios.

Klimafolge	**Wahrscheinliche Veränderung der Stärke der/des**			**Anpassungskapazität**	**Künftige Vulnerabilität**
	Sensitivität	**Klimatischer Einfluss**	**Klimawirkung**		
Überschwemmungen durch Starkregen	• Geländeeigenschaften bleiben gleich • Versiegelung/Überbauung wird leicht zunehmen • Bodeneigenschaften bleiben gleich, insofern keine Versiegelung erfolgt • Gewässernetz bleibt gleich bis leichte Verbesserung durch normale Gewässerrenaturierung und Vergrößerung von Retentionsräumen • Kanalnetz bleibt gleich bis leichte Verbesserung durch normale Erneuerung	• Kein Trend bei der Anzahl der Starkregentage (RCP 2.6 und 8.5) • Potenziell leichte Zunahme der Intensität der Starkregenereignisse (RCP 8.5)	Keine bis leichte Zunahme der Klimawirkung	groß	gering bis mittel
	→ Sensitivität bleibt gleich bis leichte Abnahme	→ Klimatischer Einfluss verstärkt sich leicht			

Klimafolge	Wahrscheinliche Veränderung der Stärke der/des			Anpassungskapazität	Künftige Vulnerabilität
	Sensitivität	Klimatischer Einfluss	Klimawirkung		
Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen	• Geländeeigenschaften bleiben gleich • Siedlungs- und Verkehrsfläche wird leicht zunehmen • Bewirtschaftung der Ackerflächen könnte sich leicht verbessern	• Kein Trend bei der Anzahl der Starkregentage (RCP 2.6 und 8.5) • Potenziell leichte Zunahme der Intensität der Starkregenereignisse (RCP 8.5)	Leichte Zunahme der Klimawirkung	gering	mittel
	→ Sensitivität bleibt etwa gleich	→ Klimatischer Einfluss verstärkt sich leicht			
Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung	• Länge des Gewässernetzes bleibt gleich • Beschattung bleibt etwa gleich • Biologische und chemische Qualität bleibt etwa gleich	• Leichte (RCP 2.6) bis mittlere Abnahme (RCP 8.5) der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr • Mittlere bis starke Abnahme der Grundwasserneubildung (RCP 8.5) in den Teileinzugsgebieten	Mittlere bis starke Zunahme der Klimawirkung	mittel	mittel bis hoch
	→ Sensitivität bleibt etwa gleich	→ Klimatischer Einfluss nimmt mittel bis stark zu			
Wärmebelastung für die Bevölkerung	• Gesamtbevölkerung wird moderat abnehmen • Ältere Bevölkerung wird leicht zunehmen • Städtisches Überwärmungspotenzial wird durch Flächenversiegelung/ Überbauung leicht zunehmen	• Leichte (RCP 2.6) bis starke (RCP 8.5) Zunahme der Anzahl Heißer Tage	Sehr starke Zunahme der Klimawirkung	mittel	sehr hoch
	→ Sensitivität nimmt leicht zu	→ Klimatischer Einfluss nimmt stark zu			
Trockenstress auf Waldflächen	• Baumbestand wird sich durch Waldumbau verbessern • Bodeneigenschaften bleiben gleich	• Leichte (RCP 2.6) bis mittlere Abnahme (RCP 8.5) der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr • Mittlere bis starke Abnahme der Grundwasserneubildung (RCP 8.5) in den Teileinzugsgebieten	Leichte bis mittlere Zunahme der Klimawirkung	mittel	mittel bis hoch
	→ Sensitivität nimmt leicht ab	→ Klimatischer Einfluss nimmt mittel bis stark zu			
Trockenstress für das Stadtgrün	• Baumbestand wird sich durch Erneuerung leicht verbessern • Bodeneigenschaften bleiben gleich • Versiegelung und städtische Überwärmung am Standort wird leicht zunehmen	• Leichte (RCP 2.6) bis mittlere Abnahme (RCP 8.5) der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr • Mittlere bis starke Abnahme der Grundwasserneubildung (RCP 8.5) in den Teileinzugsgebieten	Starke Zunahme der Klimawirkung	mittel	sehr hoch
	→ Sensitivität bleibt etwa gleich bis leichte Zunahme	→ Klimatischer Einfluss nimmt mittel bis stark zu			

4. GESAMTSTRATEGIE FÜR DIE STADT PLAUEN

4.1. Leitbild für den Anpassungsprozess

Auf Grundlage der Analyseergebnisse und den bisherigen Aktivitäten in Plauen wird eine Gesamtstrategie in Form eines Leitbildes entwickelt. Das Leitbild wird in Leitlinien gegliedert, aus denen wiederum konkrete Ziele für die Klimafolgenanpassung gebildet werden. Das Leitbild und die konkretisierten Leitlinien beschreiben einen erstrebenswerten Zukunftszustand und dienen bei künftigen Entscheidungen und Planungen im Rahmen der Klimafolgenanpassung als Orientierungskompass. In erster Linie richten sich Leitbild und -linien an die politischen Entscheidungsträger in der Kommune und an die Mitarbeitenden der Stadtverwaltung. Sie stellen aber auch eine Orientierungshilfe für die Aktivitäten der Kreisverwaltung, der Wirtschaft und der Bürger dar.

Leitbild:

Durch die Umsetzung der Klimaanpassungsstrategie wird Plauen widerstandsfähiger gegenüber potentiellen Klimafolgen. Der Schutz der Bevölkerung steht im Vordergrund. Durch eine klimagerechte Siedlungs- und Freiraumgestaltung soll die Lebensqualität gesteigert werden und ein Standortvorteil entstehen. Städtische Infrastrukturen und Ökosysteme sollen geschützt werden, sodass kostenintensiven Schäden durch die Folgen des Klimawandels vorgebeugt werden kann. Die Maßnahmen des Klimaanpassungskonzeptes gehen Synergien mit weiteren städtischen Konzepten ein. Der Fokus liegt auf der aktiven Vorsorge, statt der kostspieligeren Nachsorge. Eine Kooperation zwischen den Akteuren ist essentiell, da es sich um eine ganzheitliche Querschnittsaufgabe handelt.

Leitlinien:

- Wasser (Starkregen, Niedrigwasser, Sturzfluten)

Die Bevölkerung soll durch vorsorgendes Starkregenrisikomanagement vor den Gefahren geschützt und zur Eigenvorsorge animiert werden. Die Stadt Plauen strebt einen nachhaltigen Umgang mit Wasser an. Eine Erhöhung der Wasseraufnahmekapazität städtischer Flächen dient vor allem dem Schutz der Gebäude, Infrastruktur und Verkehrswege. Eine Rückführung des Wassers in den natürlichen Wasserkreislauf wird durch den Ausbau von Rückhaltemöglichkeiten gefördert. Durch Anpassungsmaßnahmen soll auch die regionale Landwirtschaft gestärkt werden. Die Stadt Plauen unterstützt den Katastrophenschutz durch die Bereitstellung von Ergebnissen sowie die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen und etabliert ein Vorwarnsystem für Klimagefahren. Durch gezielte Information der Bevölkerung sollen Warnungen und angepasste Verhaltenshinweisen vermittelt werden.

- Hitze (Wärmebelastung)

Die Stadt Plauen setzt das Wohl der Bevölkerung und deren Gesundheit durch die Verringerung der klimabedingten Gesundheitsbelastungen insbesondere durch sommerliche Hitze als Ziel. Soziale Einrichtungen werden durch Anpassungsmaßnahmen gestärkt. Die Wärmebelastung wird städtebaulich konsequent berücksichtigt.

- Trockenheit (Wald, Stadtgrün)

Die Stadt Plauen wird innerstädtische Grünflächen und –strukturen an die klimatischen Bedingungen anpassen und sie als Freiräume mit hoher Aufenthaltsqualität fördern und gestalten. Durch das Nutzbarmachen von Regenwasser und der lokalen Versickerung sowie Verdunstung in multifunktionalen

Grünflächen bleibt der natürliche Wasserkreislauf erhalten und wirkt somit der Trockenheit entgegen. Die biologische Vielfalt wird im Stadtgebiet gefördert. Ebenso wird die Forstwirtschaft durch Anpassungsmaßnahmen unterstützt und der Waldumbau weiter vorangetrieben.

- Öffentlichkeitsarbeit

Die Stadt Plauen informiert die Bevölkerung und sensibilisiert sie für Gefahren durch Klimafolgen. Die Bevölkerung soll Hilfe zur Eigenvorsorge erhalten und verschiedene Anpassungsmöglichkeiten kennenlernen.

4.2. Anpassungsziele und Erfolgsindikatoren

Zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels bedarf es neben dem Wissen um die wesentlichen Klimafolgen, die in Kapitel 3.4 analysiert wurden, übergeordnete Ziele für den Anpassungsprozess. Sie bilden den angestrebten Zustand ab, der mittels der Umsetzung der Klimaanpassungsmaßnahmen erreicht werden soll. Idealerweise sollte die Erreichung dieser Anpassungsziele mittels Erfolgsindikatoren überprüfbar sein, um den Akteuren aufzuzeigen, wie weit der Anpassungsprozess vorangeschritten ist und wo es ggf. vermehrter Anstrengungen bedarf.

Die Definition von Zielen für den Anpassungsprozess wurde für die priorisierten Klimafolgen durchgeführt. Die Ziele verkörpern einerseits den wünschenswerten zu erreichenden Zustand, dienen aber gleichzeitig der Prioritätensetzung im Planungsprozess, z. B. wenn es um die Auswahl geeigneter Anpassungsmaßnahmen geht. Diese dienen dann idealerweise der Zielerreichung für die Problemlage, in diesem Fall die jeweilige Klimafolge.

Anpassungsziele drücken auch Werthaltungen aus. Sie sind damit normativ und müssen von den Akteuren der Workshops gemeinsam erarbeitet und mitgetragen werden (RPG-SWT 2015). Im Rahmen des Maßnahmen-Workshops wurden Zielvorschläge zur Diskussion gestellt und von Workshop-Teilnehmenden diskutiert und weiterentwickelt. Zudem wurden seitens der Teilnehmenden weitergehende Vorschläge eingebracht, die später integriert wurden. Das Ergebnis sind die in Tabelle 17 aufgeführten, gemeinsam erarbeiteten Anpassungsziele. Durch die aktive Beteiligung von Akteuren der verschiedenen Handlungsfelder und Interessenvertretungen der Stadt Plauen und des Vogtlandkreises sowie externer Beteiligter bzw. deren Möglichkeit dazu, repräsentieren die festgelegten Ziele einen gemeinsam ausgehandelten Willen.

Gleichzeitig wurden, in Vorbereitung auf das spätere Controlling der Anpassungsmaßnahmen, mit den Zielen auch mögliche Erfolgsindikatoren zur Zielerreichung vorgestellt und diskutiert. Um der Prozessorientierung strategischer Planung hinreichend Rechnung zu tragen, müssen die Ziele für die einzelnen Klimafolgen so gewählt sein, dass der Erfolg von ihnen zugeordneten Maßnahmen evaluierbar ist. In Abhängigkeit vom erzielten oder nicht erzielten Umsetzungserfolg sind dann entweder zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen oder aber die Ziele anzupassen.

Die Beschreibung der Erfolgsindikatoren geschah qualitativ, d. h. auf eine Angabe von absoluten oder prozentualen Zielwerten wurde verzichtet. Diese sind zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht bekannt, da sie sich nach den Gegebenheiten vor Ort richten. Dieser Schritt der Quantifizierung unterliegt den eingebundenen Akteuren im Rahmen der Maßnahmenumsetzung am jeweiligen Umsetzungsort. Während der Diskussion der Anpassungsziele und Erfolgsindikatoren wurden von den Akteuren auch erste mögliche Handlungsoptionen genannt und diskutiert, die in die spätere Maßnahmenentwicklung einflossen

(vgl. Kapitel 5). Im Ergebnis wurden zahlreiche Ideen für Erfolgsindikatoren für die priorisierten Klimafolgen genannt und diskutiert, die in Tabelle 17 aufgeführt sind.

Tabelle 17: Anpassungsziele und Erfolgsindikatoren für die priorisierten Klimafolgen.

Klimawirkung	Anpassungsziel	Mögliche Erfolgsindikatoren
Überschwemmungen durch Starkregen	Die Informationslage der Einsatzkräfte, wann und wo es regnet, und welche Ortslagen betroffen sein werden, soll verbessert werden.	• Lokalisierung der Regenereignisse • Kenntnis potenzieller Abflussbahnen und Überflutungsbereiche
	Die Einsatzkräfte sollen durch zielgerichtete Vorsorge schneller und effektiver auf Starkregenereignisse reagieren können.	• Zeitspanne bis zum Eintreffen am Einsatzort
	Die Ortslagen sollen gegenüber Starkregenüberschwemmungen widerstandsfähiger gemacht werden.	• Anzahl und Umfang der ereignisbezogenen Feuerwehreinsätze • Anzahl von Gefahrenschwerpunkten • Anzahl Warnungen und erreichte Personen • Entstandener (Versicherungs-)Schaden • Vergleich regelmäßiger Niederschlagsabflussmodellierungen
	Die interkommunale Zusammenarbeit hinsichtlich Starkregenüberschwemmungen soll gestärkt werden.	• Anzahl von Abstimmungsgesprächen mit Nachbarkommunen • Anzahl gemeinsamer Einsatzübungen
	Die Akzeptanz in der Bevölkerung für notwendige Maßnahmen zur Schadensreduzierung soll erhöht werden. Die Bevölkerung soll zur Eigenvorsorge animiert werden.	• Kooperationsbereitschaft der Flächeneigentümer bei Umsetzung von Maßnahmen • Bauanträge mit Vorsorge-/ Schutzfunktion • Ausstellung von Hochwasservorsorgeausweisen z. B. durch das Kompetenzzentrum Hochwassereigenvorsorge Sachsen
	Die Straßeninfrastruktur soll baulich an Starkregenüberschwemmungen angepasst werden.	• Monitoring von ortsabhängigen Problemstellungen • Fläche sanierter Straßen mit Anpassungsmaßnahmen
Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen	Der Bodenabtrag von Ackerflächen soll minimiert werden.	• Anzahl der ereignisbezogenen Einsätze des Bauhofs • Anzahl der ereignisbezogenen Straßensperren
	Die Schäden durch erosive Sturzfluten an Gebäuden und Infrastrukturen soll reduziert werden.	• Anzahl und Ausmaß der Schadensfälle
Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung	Die negativen Auswirkungen von Niedrigwasser auf Flora und Fauna sollen vermieden werden.	• Veränderung der Gewässerstrukturgüte
	Die Beschattung der Bäche soll ausgedehnt werden.	• Anteil der beschatteten Bachabschnitte an Gesamtlänge
	Die Entnahme von Löschwasser aus Teichen soll auch bei Niedrigwasser gewährleistet sein.	• Mengenmäßiger Zufluss in Löschteiche
	Der Umgang mit Wassernutzung soll nachhaltig gestaltet werden.	• Wasserentnahmemenge aus Gewässern • Wasserverbrauch städtischer Einrichtungen
Wärmebelastung für die Bevölkerung	Die Bevölkerung soll stärker für das Thema Wärmebelastung sensibilisiert und die Eigenvorsorge gestärkt werden.	• Umfang von Öffentlichkeitskampagnen bzw. Anzahl erreichter Bürger • Anzahl der Besucher von Informationsveranstaltungen

Klimawirkung	Anpassungsziel	Mögliche Erfolgsindikatoren
	Soziale Einrichtungen mit besonders hitzesensitiven Personengruppen sollen unterstützt und vorbereitet werden.	• Anzahl der themenbezogenen Anrufe beim Notdienst 112 aus entsprechenden Einrichtungen • Anzahl Schulungen und Weiterbildungen
	Die politischen Entscheidungsträger sollen stärker für das Thema Wärmebelastung sensibilisiert werden.	• Anzahl von themenbezogenen TOPs, Wortmeldungen, Anfragen etc. in Rats- und Ausschusssitzungen
	Die Wärmebelastung der Bevölkerung soll gemindert werden.	• Anzahl der Krankenhauseinweisungen aufgrund Kreislauf-/Hitzeproblemen • Monitoring der Hitzemorbidität (Krankheitslast) und –mortalität während des Sommers • Anzahl der themenbezogenen Anrufe beim Notdienst 112 • Fläche zur Beschattung öffentlicher Plätze
	Die themenbezogene Zusammenarbeit zwischen der Stadt Plauen und dem Vogtlandkreis soll gestärkt werden.	• Anzahl themenbezogener Arbeitstreffen • Anzahl an Kooperationsprojekten
Trockenstress auf Waldflächen	Die Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion des Plauener Waldes soll langfristig erhalten bleiben.	• Monitoring der Waldfunktionskartierung
	Die Plauener Waldbestände sollen klimaresilient entwickelt werden.	• Jährliche Schadholzmenge
Trockenstress für das Stadtgrün	Der Stadtgrünbestand soll erhalten bzw. erweitert und in seiner Vitalität gestärkt werden. Die biologische Vielfalt im Stadtgebiet soll gefördert werden. Grünverbindungen schaffen zur Verbesserung des innerstädtischen (Mikro-)Klimas.	• Anzahl an Baumneupflanzungen, Artenzusammensetzung • Erfassung von Anzahl, Grund und Baumart bei Baumfällungen • Auswertung des Baumkatasters
	Die Wasserverfügbarkeit für das Stadtgrün soll erhöht werden.	• Anzahl an Gießeinsätzen der Feuerwehr • Anzahl und Volumen von Wasserspeichern (z.B. Zisternen, Fallrohre) • Anzahl an Gießpatenschaften
	Das Stadtgrün soll eine höhere Priorität im Bau erhalten.	• Anzahl an Baumfällungen nach Baueingriff
	Die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum soll erhöht werden.	• Umfragen der Bevölkerung zur Grünausstattung und Aufenthaltsqualität • Erreichbarkeit bzw. Versorgungsgrad von/mit Grünflächen

5. ANPASSUNGSMAßNAHMEN

5.1. Struktur der Steckbriefe und Maßnahmenübersicht

Insgesamt wurden innerhalb der sechs Aufgabenfelder 16 Maßnahmen zur Klimafolgeanpassung in Plauen erarbeitet. Die Maßnahmen werden in jeweils eigenen Steckbriefen detailliert beschrieben. Die Kategorien der Steckbriefe wurden gemeinsam mit dem Klimaanpassungsmanagement der Stadt Plauen ausgewählt. Die Steckbriefe bieten den Entscheidungstragenden in der Stadtverwaltung umfangreiche Informationen, die zur Umsetzung der Maßnahmen benötigt werden. Zudem dient die Maßnahmenübersicht jedoch auch als Grundlage für die Beantragung von Fördermitteln und die Akquise von Geldern und anderen Mitteln. Denn eine sinnvolle Maßnahmengestaltung ist nur dann möglich, wenn finanzielle und personelle Mittel nicht nur für die konkrete Umsetzung, sondern auch für die dauerhafte Beibehaltung, beispielsweise durch geeignete Pflegemaßnahmen, gesichert sind. Der folgende Mustersteckbrief zeigt, wie die einzelnen Kategorien der Steckbriefe zu lesen und zu verstehen sind (Tabelle 18).

Tabelle 18: Aufbau der Maßnahmensteckbriefe mit Beschreibung der enthaltenen Kategorien.

Maßnahmen(gruppen)code	**Titel der Maßnahme/ der Maßnahmengruppe**	
ggf. Untermaßnahmencode	**ggf. Titel der Untermaßnahme**	
Priorisierte Klimawirkung	Hier ist die Klimawirkung bzw. das Handlungsfeld benannt, welches primär mit der Maßnahme behandelt wird.	
Weitere Klimawirkung	Hier sind zusätzliche Klimawirkungen/ Handlungsfelder benannt, welche von der Maßnahme auch profitieren können.	
Maßnahmenziel	Welche Ziele sollen durch die Maßnahme erreicht werden?	
Maßnahmenhintergrund	Hier wird kurz die Notwendigkeit bzw. der Anlass der Maßnahme beschrieben.	
Bausteine	Hier werden einzelne Schritte oder Teilaspekte der Maßnahme aufgezählt.	
Zielgruppe	Wer profitiert von der Maßnahme bzw. soll von ihr angesprochen werden?	
Zuständigkeit	Wer ist hauptverantwortlich für die Ausgestaltung und Umsetzung der Maßnahme?	
Zu beteiligende Akteure	Weitere beteiligte Stellen, die z.B. informiert werden müssen oder unterstützend zur Maßnahme beitragen.	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	Welche Daten können zur Überprüfung der Umsetzung und Effektivität der Maßnahme genutzt werden?	
Synergien und Konflikte	Synergien: Bei welchen anderen Handlungsfeldern oder Themengebieten, die nicht konkret als Handlungsfeld im Konzept bearbeitet wurden (kursiv), sind positive Nebeneffekte zu erwarten?	Konflikte: Mit welchen Handlungsfeldern oder Themengebieten, die nicht konkret als Handlungsfeld im Konzept bearbeitet wurden (kursiv), könnten Schwierigkeiten auftreten?
Beitrag zu den Zielen der DNS	Ziele der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, zu denen die Maßnahme beiträgt.	
Verortung	Stadtviertel, die sich anhand der Analysen als besonders betroffen herausgestellt haben und daher eine hohe Handlungspriorität aufweisen. Diese werden ergänzt durch einzelne Orte innerhalb Plauens, die anhand von Meldungen durch Ortskundige in den Beteiligungen gesammelt wurden.	
Priorität	Angabe der Dringlichkeit der Umsetzung der Maßnahme (relativ zu den anderen Maßnahmen betrachtet). Eine hohe Dringlichkeit kann sich z. B. aus der besonders hohen Betroffenheit Plauens von einer hier angesprochenen Klimawirkung ergeben oder auch aus dem langen Umsetzungszeitraum der Maßnahme, welcher einen schnellen Umsetzungsbeginn erfordert. Die Priorität wird in den drei Kategorien **gering – mittel – hoch** angegeben.	
Zeitrahmen	Hier erfolgt eine Einschätzung des Maßnahmenzeitraums bzw. der Länge des Umsetzungszeitraums der jeweiligen Maßnahme; dabei wird ebenfalls in drei Kategorien unterteilt:	

	kurzfristig: Umsetzung innerhalb weniger Wochen bis Monate und nur unter Aufwendung geringer Ressourcen und/oder weil eine Abstimmung nur mit wenigen Akteuren notwendig ist und/oder weil die Maßnahme auf schnell veränderbare Rahmenbedingungen abzielt (z. B. Druck von Informationsbroschüren). **mittelfristig:** Umsetzung innerhalb einiger Monate oder weniger Jahre, weil Ressourcen dafür aufgewendet werden müssen, die nicht sofort zur Verfügung stehen und/oder weil bei der Umsetzung der Maßnahme Konflikte zu erwarten sind, die eine Abstimmung mit verschiedenen Akteuren notwendig machen und/oder weil die Maßnahme auf nur mittelfristig veränderbare Rahmenbedingungen abzielt (z. B. Tätigung von Investitionen). **langfristig:** Umsetzung innerhalb einiger Jahre bis Jahrzehnte, weil erhebliche Ressourcen dafür aufgewendet werden müssen, die nicht sofort zur Verfügung stehen und/oder weil bei der Umsetzung der Maßnahme erhebliche Konflikte zu erwarten sind, die eine Abstimmung mit verschiedenen Akteuren notwendig machen und/oder weil die Maßnahme auf nur sehr langsam veränderbare Rahmenbedingungen abzielt (z. B. Veränderung der Siedlungsstruktur).
Ressourcenaufwand	Hierunter wird der (grob geschätzte) finanzielle und personelle Aufwand der Maßnahme verstanden. Fördermöglichkeiten sind in dieser Einschätzung noch nicht berücksichtigt. Es werden ebenfalls drei Kategorien unterschieden: Maßnahmen mit **geringem** Kostenaufwand: Nur geringfügige Mittel notwendig (ca. 1.000 bis ca. 10.000 Euro), die in der Regel aus dem laufenden Haushalt heraus aufgebracht werden können (organisatorische Maßnahmen, informationsbezogene Maßnahmen). Maßnahmen mit **mittlerem** Kostenaufwand: Größerer finanzieller Aufwand (ca. 10.000 bis ca. 50.000 Euro), für den Mittel aber in der Regel für die kommende Haushaltsplanung bereitgestellt werden können (vorübergehende personalbezogene Maßnahmen, Aufträge an Dritte, kleinere Investitionen). Maßnahmen mit **hohem** Kostenaufwand: Erhebliche finanzielle Mittel notwendig (über 50.000 Euro), die eine langjährige Finanzplanung notwendig machen (größere Investitionen in Infrastruktur, langfristige personalbezogene Maßnahmen, Entschädigungsleistungen usw.)
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	Hier werden mögliche Förderprogramme genannt. Zu beachten ist hierbei, dass sich die Förderlandschaft stetig ändert und diese Angaben zum Zeitpunkt der Konzepterstellung Gültigkeit haben, nicht zwingend jedoch dauerhaft.
Best-Practice-Beispiel	Beispiele aus Plauen und anderen Städten/Kommunen, in denen diese und vergleichbare Maßnahmen bereits erfolgreich umgesetzt wurden/ werden.

Die Maßnahmen betreffen die zuvor analysierten Klimawirkungen. In Tabelle 19 ist als Übersicht zusammengefasst, welche Maßnahmensteckbriefe besonders zu welchen Klimawirkungen beitragen. Im Anhang findet sich außerdem eine Liste mit Links zu den als „Best-Practice-Beispiel“ vorgestellten Projekten.

Tabelle 19: Übersicht über die Maßnahmensteckbriefe sowie ihre priorisierten Klimawirkungen.

Maßnahmen-Code		Starkregen	Erosive Sturzfluten	Wärmebelastung	Trockenstress	Niedrigwasser
M1	Anpassung der Handlungsvorgaben bei Extremwetterlagen	P	(P)			
M2	Anwendung des Prinzip Schwammstadt auf die Stadt Plauen					
M2.1	• *Flächenhafte Versickerung vorantreiben (Entsiegelung)*	P	(P)	(P)		
M2.2	• *Multifunktionale Flächen schaffen*	P		(P)	(P)	
M2.3	• *Bauliche Maßnahmen an Gewässern*	P		(P)		P
M3	Erosionsschutz in der Landwirtschaft umsetzen		P			
M4	Renaturierung von Fließgewässern			(P)		P
M5	Umgang mit Hitze in der Stadt			P	(P)	
M6	Klimaangepasste Stadtentwicklung					
M6.1	• *Erhalt von Kalt- und Frischluftschneisen*			P		
M6.2	• *Klimaangepasstes Bauen und Sanieren*	(P)		P	(P)	
M6.3	• *Gleisbettbegrünung*	P		P	(P)	
M6.4	• *Dach- und Fassadenbegrünung fördern und fordern*	(P)		P		
M7	Vorantreiben des klimaangepassten Waldumbaus			(P)	P	
M8	Klimaangepasstes Stadtgrün	P		(P)	P	
M9	Nachhaltige Wassernutzung	(P)	(P)		P	(P)
M10	Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber den Folgen des Klimawandels	P	P	P	P	P
M11	Sensibilisierung der Stadtverwaltung und des Stadtrates gegenüber den Folgen des Klimawandels	P	P	P	P	P

5.2. Maßnahmensteckbriefe

5.2.1. Handlungsfeld Überschwemmung durch Starkregen

Im Zuge des Klimawandels nehmen Starkregenereignisse, Stürme, Dürreperioden und Hitzewellen sowohl in ihrer Häufigkeit als auch in ihrer Intensität zu. Klimaanpassung und Katastrophenvorsorge müssen somit eng kooperieren, um sich vor Extremereignissen besser zu schützen. Diese Veränderungen erschweren die Einsatzplanung. Bei Eintreten von Extremwetterereignissen muss eine schnelle Alarmierung und Koordination der unterschiedlichen Einsatzkräfte (Feuerwehr, Technisches Hilfswerk, Rettungsdienst, Polizei) und Einsatzmaßnahmen sichergestellt sein.

In wachsenden Städten besteht die Gefahr, dass durch die Bebauung von Flächen die Überflutungsgefahr zunimmt. Um Risiken durch Extremereignisse zu verringern, können beispielsweise blaue und grüne Infrastrukturen geschaffen werden, damit zum einen der Abfluss bei Starkregen gewährleistet

wird, und zum anderen auch der Wärmeinseleffekt in Städten reduziert wird. Um einem erhöhten Überschwemmungsrisiko infolge von Starkregenereignissen entgegenzuwirken sind folgende Maßnahmen (eine Auswahl) von zentraler Bedeutung für die Klimaanpassung und Entwicklung hin zu einer nachhaltigen und widerstandsfähigen Stadtlandschaft. Das Prinzip der Schwammstadt puffert die Auswirkungen von Starkregenereignissen besser ab. Das Regenwasser wird – wie von einem Schwamm – zurückgehalten. Ziel ist es, sowohl auf längere Trockenphasen als auch plötzlich auftretende Starkregenereignisse vorbereitet zu sein. Eine Reihe von Maßnahmen kann hier aufgeführt werden: Flächenentsiegelungen und wasserdurchlässige Beläge (z.B. auf Parkplätzen, Innenhöfen) fördern die Versickerung und wirken dem städtischen Hitzeinseleffekt entgegen. Das Wasser, das versickert, speist das Grundwasser. Gespeichertes Regenwasser (Bsp. Baumrigolen, Zisternen, Regenrückhaltebecken) kann in Trockenperioden genutzt werden. Förderung von mehr Stadtgrün erhöht die Biodiversität, gleichzeitig die Aufenthaltsqualität und durch mehr Verdunstungskälte wird die Hitzebelastung der Umgebung verringert. Die zukünftige Stadtentwicklung muss verschiedene Nutzungen der Flächen miteinander verknüpfen. Grünflächen (Pflanzung von Bäumen und Sträuchern, Dach- und Fassadenbegrünung) und Überflutungsschutz sollten sich harmonisch in den multifunktional genutzten Straßenraum integrieren.

M1	**Anpassung der Handlungsvorgaben bei Extremwetterlagen**	
Priorisierte Klimawirkung	• Überschwemmungen durch Starkregen	
Weitere Klimawirkung	• Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen	
Maßnahmenziel	• Verbesserter Schutz vor Extremwetterlagen • Verbesserung der Vorbereitung für potentielle Einsätze	
Maßnahmenhintergrund	• Zunahme von klimatischen Extremereignissen (Starkregen, Hochwasser, Hitzewellen)	
Bausteine	• Erstellen/Fortschreibung von Alarm- und Gefahrenplänen • Vorbereitung des Sandsackverbaus • Überprüfung von Risiko-HotSpots • Ausweisung von Überflutungsgebieten • Aufstellung von Aktionsplänen und Kommunikationskaskaden inklusive Zuständigkeiten zur Bewältigung von Extremereignissen • Vorhalten von benötigten Materialen und Einsatzmitteln • Lageplan potentieller, nicht überfluteter Rettungswege • Optimierung von Warnsystemen und der Risikokommunikation	
Zielgruppe	• Einsatzkräfte • Freiwillige Helfer • Anlieger • Anwohnende in betroffenen Gebieten	
Zuständigkeit	• FB Sicherheit und Ordnung	
Zu beteiligende Akteure	• FG Brandschutz • Stab für außergewöhnliche Ereignisse • Stabsstelle für Krisenmanagement und Bevölkerungsschutz • Untere Wasserbehörde • Hilfsorganisationen	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Verabschiedete Handlungsvorgaben • Anzahl durchgeführter Notfallübungen • Zeitspanne bis zum Eintreffen am Einsatzort	
Synergien und Konflikte	Synergien • Anwendung des Prinzip Schwammstadt auf die Stadt Plauen • Umgang mit Hitze in der Stadt	Konflikte • Nachhaltige Wassernutzung

	• Vorantreiben des klimaangepassten Waldumbaus • Nachhaltige Wassernutzung	
Beitrag zu den Zielen der DNS	3.1: Gesundheit und Ernährung 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	
Verortung	• Gesamtstädtisch, Fokus auf Überschwemmungs-HotSpots: Alt Chrieschwitz, Bärenstein, Dobenau, Hammertorvorstadt, Jößnitz, Kleinfriesen, Neundorfer Vorstadt, Neustadt, Obere Aue, Siedlung Neundorf, Straßberg, Südvorstadt	
Priorität	• hoch	
Zeitrahmen	• kurz-, mittel- bis langfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: hoch • Personal: mittel	
Finanzierungs- und Förder-möglichkeiten	• Förderrichtlinie Gewässer- und Hochwasserschutz (RL GH/2018): Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums des Innern über die Gewährung von Zuwendungen für die Mitwirkung im Katastrophenschutz	
Best-Practice-Beispiel	• Katastrophenschutzbedarfsplan der Stadt Essen	

M2	**Anwendung des Prinzip Schwammstadt auf die Stadt Plauen**
M2.1	**Flächenhafte Versickerung vorantreiben (Entsiegelung)**
Priorisierte Klimawirkung	• Überschwemmungen durch Starkregen
Weitere Klimawirkung	• Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen • Wärmebelastung für die Bevölkerung • Trockenstress für das Stadtgrün
Maßnahmenziel	• Verbesserung der Versickerungsfähigkeit • Vorbeugung von Hitzeinseln • Entlastung der Kanalisation bei Starkregen • Förderung des Hochwasserschutzes
Maßnahmenhintergrund	• Zunahme von Starkregenereignissen • Hitzeinseleffekt
Bausteine	• Entsiegelung verbindlich festsetzen (anhand der Bauleitplanung oder kommunaler Satzungen nach Landesbauordnung) • Förderungen des Landes und Bundes öffentlichkeitswirksam bewerben • Vorantreiben der Entsiegelung stadteigener Flächen • Privatrechtliche Sicherung von Überflutungsflächen als Retentionsraum
Zielgruppe	• Kommunalverwaltung • Wohnungsbaugesellschaften • Eigentümer • Soziale Einrichtungen
Zuständigkeit	• FG Stadtplanung und Umwelt • Unternehmen • Klimaanpassungsmanagement
Zu beteiligende Akteure	• FG Tiefbau • FG Bauordnung • priv. Eigentümer/ Unternehmen • Wohnungsbaugesellschaften
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Bsp. Entsiegelungskataster anlegen für Entsiegelungspotential der Stadt • Fläche, die entsiegelt wurde • Fläche mit versickerungsfähigem Belag • Fläche sanierter Straßen mit umgesetzten Klimaanpassungsmaßnahmen

Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Nachhaltige Wassernutzung • Klimaangepasstes Stadtgrün • Umgang mit Hitze in der Stadt • *Erhöhung der Aufenthaltsqualität* • *Klimauntersuchung Plauen* • *Landschaftsplan*	<u>Konflikte:</u> • *Flächennutzungskonflikte*
Beitrag zu den Zielen der DNS	11: Nachhaltige Städte und Gemeinden 11.1: Flächeninanspruchnahme 15.1: Artenvielfalt 15.2/3: Ökosysteme	
Verortung	• Flächen mit starkem Überhitzungspotential und Gebiete mit hoher Überflutungsgefahr, Versickerungsfähige Befestigung von Parkflächen, kommunale Liegenschaften, Grundstücke der Stadt: Alt Chrieschwitz, Altstadt, Bahnhofsvorstadt, Bärenstein, Chrieschwitz, Dobenau, Hammertorvorstadt, Jößnitz, Kleinfriesen, Neundorfer Vorstadt, Neustadt, Obere Aue, Ostvorstadt, Reichenbacher Vorstadt, Reißiger Vorstadt, Schloßberg, Siedlung Neundorf, Straßberg, Südvorstadt	
Priorität	• hoch	
Zeitrahmen	• mittel- und langfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: hoch • Personal: gering	
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• BMUV & KfW "Natürlicher Klimaschutz in Kommunen"	
Best-Practice-Beispiel	• versickerungsoffene Flächen Nibelungenplatz Tulln, vom Parkplatz zum Aufenthaltsort, Tulln an der Donau • Sanierung des Nikolaikirchhofs in Altenburg • ecoQuartier Pfaffenhofen - Deutschlands erstes Schwammstadtquartier	

M2.2	**Multifunktionale Flächen schaffen**
Priorisierte Klimawirkung	• Überschwemmungen durch Starkregen
Weitere Klimawirkung	• Wärmebelastung für die Bevölkerung • Trockenstress für das Stadtgrün
Maßnahmenziel	• Effiziente Nutzung städtischer Flächen • Förderung von Mehrfachnutzung städtischer Flächen • Reduzierung der Überflutungsgefahr • Erhöhung der Aufenthaltsqualität • Stärkung der Regenwasserversickerung • Stärkung der Verdunstungsaktivität • Stärkung des natürlichen Wasserkreislaufs • Entlastung der Kanalisation • Reduzierung von Flächenkonkurrenzen
Maßnahmenhintergrund	• Durch multifunktionale Flächen können z.B. Spiel- oder Sportplätze als Rückhaltebecken während eines Starkregenereignisses fungieren. • Blaue und grüne Infrastruktur sollte hierbei kombiniert werden, um den Folgen des Klimawandels, wie Überhitzung oder Extremniederschläge, entgegenzuwirken.
Bausteine	• Schaffung von Flächen für Retention, Rückhalt und Speicherung von Regenwasser • Multicodierung von Flächen • Sanierungsgebiete oder Umbauten auf Multifunktionalität überprüfen
Zielgruppe	• Kommunalverwaltung

	• Wohnungsbaugesellschaften • Anlieger betroffener Bereiche • Zivilgesellschaft bei Aufenthalt öffentlicher Plätze	
Zuständigkeit	• FG Tiefbau • GAV Hochbau • FG Stadtplanung und Umwelt	
Zu beteiligende Akteure	• FB Jugend/Soziales/Schulen/Sport • FG Bauordnung • priv. Eigentümer/ Unternehmen/ Vereine • Wohnungsbaugesellschaften • Kreis- /Landessportbund	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Anzahl der multifunktionalen Flächen • Volumen der multifunktionalen Flächen	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber den Folgen des Klimawandels • Klimaangepasste Stadtentwicklung • *Klimauntersuchung Plauen* • *Landschaftsplan*	<u>Konflikte:</u> • *bauliche Anforderungen* • *Pflege/ Instandhaltung notwendig*
Beitrag zu den Zielen der DNS	9.1: Innovation 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden 11.1: Flächeninanspruchnahme	
Verortung	• Besonders hitzebelastete Bereiche, Spielplätze, Sportflächen, Parks und öffentliche Grünflächen, sowie betroffene Bereiche der Starkregengefahrenkarte: Alt Chrieschwitz, Altstadt, Bahnhofsvorstadt, Bärenstein, Chrieschwitz, Dobenau, Hammertorvorstadt, Jößnitz, Kleinfriesen, Neundorfer Vorstadt, Neustadt, Obere Aue, Ostvorstadt, Reichenbacher Vorstadt, Reißiger Vorstadt, Schloßberg, Siedlung Neundorf, Straßberg, Südvorstadt	
Priorität	• mittel	
Zeitrahmen	• mittel- bis langfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: hoch • Personal: hoch	
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• BMUV & KfW "Natürlicher Klimaschutz in Kommunen" • DBU – Umweltschutzförderung der Deutschen Bundestiftung Umwelt	
Best-Practice-Beispiel	• BlueGreenStreets Toolbox – Teil A & B. Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere • Forschungsprojekt „MURIEL: Multifunktionale Retentionsflächen – von der Idee zur Realisierung“ • Multifunktionalität des Parkplatzes am Lessing Gymnasium, Plauen	

M2.3	**Bauliche Maßnahmen an Gewässern**
Priorisierte Klimawirkung	• Überschwemmungen durch Starkregen • Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung
Weitere Klimawirkung	• Wärmebelastung für die Bevölkerung
Maßnahmenziel	• Bauliche Maßnahmen zur Vorsorge vor Starkregenereignissen und deren Überflutung • Schutz der flussnahen Anwohnenden • Schutz der ökologischen Vielfalt • Stärkung der Biodiversität, des Klimaschutzes und des Hochwasserschutzes

	• Etablierung eines langfristig natürlichen, resilienten und selbstregulierenden Kreislaufs • Stärkung der ökologischen, freiräumlichen und wasserwirtschaftlichen Funktionsfähigkeit von Gewässern zur Stärkung der natürlichen Widerstandsfähigkeit	
Maßnahmenhintergrund	• Zunahme von Starkregenereignissen	
Bausteine	• Schaffung von Versickerungsflächen • Pflegemaßnahmen zum Erhalt und zur Entwicklung der biologischen Vielfalt • Schaffung von Lebensräumen durch Initialpflanzungen • Schaffung von temporärem Stauraum durch Rückhalt von Wasser in der Fläche • Renaturierung, Maßnahmen zur Erhöhung der Biodiversität • Planung und Entsiegelung einzelner Bachabschnitte • Maßnahmen zur eigendynamischen Entwicklung • Flussaue als Retentionsraum ausweisen • Schaffung von Staumöglichkeiten, z.B. Wall • Pflanzung von Bäumen und Sträuchern zum Regenwasserrückhalt • Zum Beispiel: ○ Maßnahme 1: Grüner Wall Alt Chrieschwitz ○ Maßnahme 2: Renaturierung von Teichen ○ Maßnahme 3: Maßnahmen am Friesenbach ○ Maßnahme 3.1: Nasswiese und ehemalige Orchideenwiese ○ Maßnahme 3.2: Einzelmaßnahmen - Ausbau von Wabenplatten - Anwendung ingenieurbiologischer Bauweisen zur Entwicklung einer Eigendynamik im Gewässer - Abriss einer Brücke - Installation eines Treibholzrechen - Etablierung eines neuen Gewässerarms - Diverse Bachaufweitungen ○ Maßnahme 3.3: Baumpflege, -fällungen und Pflanzungen ○ Maßnahme 5: Pflege- und Entwicklungskonzept	
Zielgruppe	• Anwohnende in Überflutungsgebieten	
Zuständigkeit	• FG Tiefbau • SB Hochwasserschutz	
Zu beteiligende Akteure	• Untere Wasserbehörde • Naturschutzbehörde • GAV Baumpflege	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Geschaffenes Rückhaltevolumen • Freigelegte Flussmeter • Renaturierte Flussmeter	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • *Hochwasserschutz* • *Klimaschutz* • *Naturschutz* • *Biodiversität und Biotopvernetzung* • Erhalt und Schaffung von Kaltluftschneisen • *Landschaftsplan*	<u>Konflikte:</u> • *Veränderung des Landschaftsbildes* • *Flächennutzungskonflikte*
Beitrag zu den Zielen der DNS	6.1: Gewässerqualität 15.1: Artenvielfalt 15.2: Ökosysteme	
Verortung	• Überflutungsgebiete, entlang Friesenbach • Brander Bach	

	• Eiditzlohbach • Kaltenbach • Milmesbach
Priorität	• hoch
Zeitrahmen	• mittel- bis langfristig
Ressourcenaufwand	• Budget: hoch • Personal: mittel
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• Stiftung „Sauberes Wasser Europa“ • BMUV – „Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ • BMWSB – Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel • EU-LIFE – Programm für die Umwelt und Klimapolitik
Best-Practice-Beispiel	• Böschungssicherung an der Pleiße bei Kleintreben • Deichbauwerk und Hochwasserschutzmauer an der Weißen Elster; Weida • Brander Bach, Plauen • Teichlebach, Plauen

5.2.2. Handlungsfeld Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen

Neben intensiveren Trockenphasen mit möglichen Ernteausfällen für die Landwirtschaft, kann es zugleich durch die Zunahme in Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen zu erosiven Sturzfluten und somit Bodenerosion auf Ackerflächen kommen. Diese Sturzfluten gefährden naheliegende Siedlungen und Infrastruktur, sodass Erosionsschutz der Ackerflächen im Zuge des voranschreitenden Klimawandels stärker berücksichtigt werden muss.

Übergeordnetes Ziel ist es den Abfluss des Wassers zu bremsen. Eine dichtere Bodenbedeckung kann die Wasseraufnahme verbessern und Erosion, Nährstoffverlust sowie Verdunstung verringern. Dies ermöglicht es, auf veränderte Niederschlagsmuster und extreme Wetterereignisse wie Starkregen im Bereich der Landwirtschaft besser vorbereitet zu sein.

M3	**Erosionsschutz in der Landwirtschaft verstärken**
Priorisierte KW	• Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen
Weitere KW	• -
Maßnahmenziel	• Erosionsschutz der Ackerflächen verbessern • Rückhalt von abfließendem, häufig sedimentbeladenem Wasser
Maßnahmenhintergrund	• Starkregen führt zu Bodenabschwemmungen, Sturzfluten und Überschwemmungen, Gewässer kann belastet werden und Infrastruktur womöglich beschädigt
Bausteine	• Angepasste Bodenbearbeitung in Hanglagen • Regen- und Bodenrückhalt auf Ackerflächen durch kleinräumige Strukturen wie Heckenstrukturen und Grünstreifen: Einsatz von Hecken und Sträucher schafft Resilienz und beugt Bodenerosion vor • Anbau von Zwischenfrüchten, Unter – oder Mulchsaat – führt zu verbesserter Bodenbedeckung (Verringerung Bodenerosion und Stickstoffaustrag, erhöhtes Wasseraufnahmevermögen, Verringerung Verdunstung) • Multifunktionale Erosionsschutzstreifen • Agroforstsysteme • Sensibilisierung der Betriebe • Pachtverträge überarbeiten
Zielgruppe	• Landwirte • landwirtschaftliche Betriebe

	• allgemeine Bevölkerung	
Zuständigkeit	• landwirtschaftliche Betriebe • RBV Vogtland e.V. • GAV	
Zu beteiligende Akteure	• LfULG Sachsen	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Auswertung von Schadensfällen zur räumlichen Prioritätensetzung • Umfang in Anspruch genommener Förderungen (stadteigene Flächen) • Anzahl und Ausmaß der Schadensfälle • Anzahl Einsätze des Bauhofs • Anzahl ereignisbezogener Straßensperren	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • *Gewässerschutz* (verminderte Stickstoffbelastung) • *Landschaftsplan*	<u>Konflikte:</u> • *Flächennutzungskonflikte*
Beitrag zu den Zielen der DNS	2.1: Landbewirtschaftung 6.1: Gewässerqualität 13.1: Klimaschutz 15.2/3: Ökosysteme	
Verortung	• Landwirtschaftsflächen: Alt Chrieschwitz, Großfriesen, Jößnitz, Kauschwitz, Meßbach, Neundorf, Oberlosa, Steinsdorf, Straßberg, Unterlosa, Zwoschwitz	
Priorität	• hoch	
Zeitrahmen	• kurz-, mittel bis langfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: mittel • Personal: mittel	
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• GAK – Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“	
Best-Practice-Beispiel	• Erosionsschutz durch Agroforstwirtschaft – Hof Hartmann, Niedersachsen • Fahrgassenbegrünung in den Kreisstellen Höxter/Lippe/Paderborn	

5.2.3. Handlungsfeld Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung

Die Eigendynamik der Flussläufe sollte durch die Renaturierung und das Bepflanzen der Gewässerrandstreifen gefördert werden. In den letzten Jahren sind im Zuge des fortschreitenden Klimawandels immer mehr Gewässer zeitweise ausgetrocknet. Auch Fließgewässer haben durch niedrige Wasserstände und hohe Wassertemperaturen an klimaökologischer Funktion verloren. Eine Verbesserung der Gewässerstruktur und Durchgängigkeit an Gewässern 2. Ordnung wird angestrebt.

M4	**Renaturierung von Fließgewässern**
Priorisierte KW	• Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung
Weitere KW	• Wärmebelastung für die Bevölkerung
Maßnahmenziel	• Rückführung von begradigten/eingeengten/verrohrten Gewässern zu ihrem natürlichen Zustand
Maßnahmenhintergrund	• Schutz/Lebensraum sehr artenreicher Ökosysteme • Hochwasser kann abgeschwächt werden durch Wasserrückhalt von Auen • Steigern Lebensqualität/Wohlbefinden in der Stadt
Bausteine	• Renaturierung von Fließgewässern 2. Ordnung • Renaturierung von Teichen • Freilegung verrohrter Bäche

	• Inklusive Baum- und Strauchpflanzungen • Verbreiterung Gewässerrandstreifen, Bepflanzung • Gewässerpflege zur Sicherung des Gewässerquerschnitts	
Zielgruppe	• Anlieger an Flüssen • Naturschutzorganisationen	
Zuständigkeit	• FG Tiefbau	
Zu beteiligende Akteure	• Wasserbehörde • Anlieger und Hinterlieger • FG Stadtplanung und Umwelt	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Nicht verbaute Flussmeter • Anzahl der Pflanzungen an Fließgewässern • Gewässerstrukturgüte • Verschattete Flussmeter	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Anwendung des Prinzip Schwammstadt auf die Stadt Plauen • *Erholungsfunktion* • *Aufenthaltsqualität* • *Biodiversität und Biotopvernetzung* • *Landschaftsplan*	<u>Konflikte:</u> • *Flächennutzungskonflikte*
Beitrag zu den Zielen der DNS	6.1: Gewässerqualität 15.1: Artenvielfalt 15.2: Ökosysteme	
Verortung	• Fließgewässer 2. Ordnung, besonders: Brander Bach, Eiditzlohbach, Kaltenbach, Milmesbach, Thiergartener Dorfbach • Teiche, insbesondere Teich Straßberg	
Priorität	• mittel	
Zeitrahmen	• mittel- bis langfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: hoch • Personal: hoch	
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• BMUV – Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels, Umweltinnovationsprogramm, Blaues Band • Deutschland – Auen • BMWSB – Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel • EU-LIFE – Programm für die Umwelt und Klimapolitik • BfN – Bundesprogramm Biologische Vielfalt • DBU – Umweltschutzförderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt	
Best-Practice-Beispiel	• Renaturierte Murg in Rastatt • Renaturierung der Fulda und ihrer Aue • Brander Bach, Plauen • Teichle Bach, Plauen	

5.2.4. Handlungsfeld Wärmebelastung für die Bevölkerung

Die Wärmebelastung nimmt vor allem in Städten immer weiter zu, messbar durch die Anzahl an Tropennächten (Nachttemperatur nicht unter 20°C) oder heißer Tage (Tagesmaximaltemperatur mind. 30°C). Dichte Bebauung, versiegelte Flächen und der Mangel an städtischem Grün verstärkt den städtischen Wärmeinseleffekt. Im Handlungsfeld Wärmebelastung für die Bevölkerung geht es um zwei Themenfelder: Umgang mit Hitze in der Stadt (Zusammenhang von Hitze und Gesundheit) und klimaangepasste Stadtentwicklung.

Durch extreme Hitzeereignisse besteht, neben klimatischen Folgen, auch ein erhöhtes Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung, betroffen sind vor allem ältere Menschen, chronisch Kranke, Kleinkinder und Schwangere, die es zu schützen gilt.

Klimaangepasste Stadtentwicklung wird zukünftig immer wichtiger werden. Eine Kombination aus baulich-technischen mit grün-blauen Maßnahmen sollte angestrebt werden. Durch den Erhalt von Kalt- und Frischluftschneisen beispielsweise kann der Hitzeinseleffekt reduziert und somit das Risiko von hitzebedingten Gesundheitsproblemen wie Hitzestress und Atemwegserkrankungen verringert werden. Neben technischen Maßnahmen zum Überflutungs- und Hitzeschutz von Gebäuden sollte die Förderung von Stadtgrün und der nachhaltige Umgang mit Regenwasser als essentielle Maßnahmen der Klimaanpassungsstrategie immer mitberücksichtigt werden (siehe Handlungsfeld Überschwemmung und Trockenstress).

M5	**Umgang mit Hitze in der Stadt**
Priorisierte KW	• Wärmebelastung für die Bevölkerung
Weitere KW	• Trockenstress für das Stadtgrün
Maßnahmenziel	• Kommunikation der Risiken an die Bevölkerung/ soz. Einrichtungen • Bürgeraufklärung stärken • Reduzierung der UV-Strahlung und Oberflächentemperatur • Verschattung und somit Erhöhung der Aufenthaltsqualität • Senkung der Innentemperatur
Maßnahmenhintergrund	• Zunahme von extremer Hitze (Anstieg von Hitzetagen und Tropennächten) • Unterstände und Überdachungen führen zu einer Reduzierung der UV-Strahlung sowie Oberflächentemperaturen. Dies hat eine Verbesserung der Aufenthaltsqualität zur Folge.

Bausteine	• Hitzenotfallpläne erstellen (Gesundheits-, Sozialsysteme)
	• Weiterbildungen und Schulungen des Personals von sozialen Einrichtungen
	• Kostenloses Wasser an Trinkwasserbrunnen/ Refill-Stationen ausbauen
	• Anlegen von Wasserflächen/Brunnen
	• Kühle Orte/Straßen schaffen und bekanntmachen
	• Trinkpatenschaft
	• Beschattung öffentlicher Plätze:
	  ○ Überdachung von Parkplätzen
	  ○ Überdachung und Begrünung von Haltestellen
	  ○ Überdachung von Fahrradstellplätzen
	  ○ Verschattung durch Großgrün
	  ○ Außenliegende Verschattungselemente zur Gebäudekühlung (techn./nat.): Markisen, Sonnensegel

Zielgruppe	• Allgemeine Bevölkerung ○ Insb. Ältere, Schwangere, chronisch Erkrankte, Obdachlose, im Freien Arbeitende	
Zuständigkeit	• Gesundheitsamt Vogtlandkreis • Klimaanpassungsmanagement	
Zu beteiligende Akteure	• FB Jugend/Soziales/Schulen/Sport • Pflegenetzwerk Vogtlandkreis • Sozialamt Vogtlandkreis • Jugendamt Vogtlandkreis • Soziale Einrichtungen ○ Seniorenzentren, Integrierte Sozialplanung/Altenhilfeplanung, Hilfsorganisationen, Ehrenamtliche/Freiwillige, Bildungseinrichtungen • Medien- und Öffentlichkeitsarbeit • FG Stadtplanung und Umwelt • FG Bauordnung • GAV – Hochbau • Unternehmen • Wirtschaftsförderung	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Anzahl Trinkbrunnen/ Kühle Orte im Stadtgebiet • Wie viele externe Lokalitäten nehmen an Refill-Netzwerk teil? • Welche kommunalen Gebäude stellen Trinkwasser bereit? • Hitzebedingte Einweisungen • Monitoring durch Wärmebelastungsindex Sachsen • Fläche verschatteter Plätze • Durchführung von Schulungen/Weiterbildungen • Teilnehmendenzahl bei Veranstaltungen	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber den Folgen des Klimawandels • Klimaangepasstes Stadtgrün • Klimaangepasste Stadtentwicklung • *Aufenthaltsqualität*	<u>Konflikte:</u> • *Wartung und Pflege*
Beitrag zu den Zielen der DNS	3.1: Gesundheit und Ernährung 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	

Verortung	• Hitzehotspots der Stadt mit starker Nutzung, besonders durch vulnerable Gruppen:
	  ○ Öffentliche Plätze (Spiel-, Sport- und Freizeitplätze)
	  ○ Soziale Einrichtungen
	  ○ Öffentliche Einrichtungen
	• Besonders in: Altstadt, Bahnhofsvorstadt, Bärenstein, Chrieschwitz, Dobenau, Hammertorvorstadt, Neundorfer Vorstadt, Obere Aue, Ostvorstadt, Reichenbacher Vorstadt, Reißiger Vorstadt, Schloßberg, Siedlung Neundorf	

Priorität	• mittel bis hoch	
Zeitrahmen	• kurz-, mittel- bis langfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: gering bis mittel • Personal: mittel	
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• ZUG – Förderung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (A2) • Förderrichtlinie Energie und Klima – Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Sächsische Aufbaubank – Förderbank – (SAB)) • BEG – Bundesförderung für effiziente Gebäude	

Best-Practice-Beispiel	• TMUEN (2023): Kommunale Hitzetoolbox Thüringen • Trinkwasserbrunnen, Stadt Plauen • Hitze Service – Kompetenter Hitzeschutz für Ihre Kommune • Mehrfamilienhaus mit Sonnenschutzverglasung in Weimar • Physik-Institut der Humboldt-Universität zu Berlin, Südfassade mit Fassadenpflanzen, Adlershof

M6	**Klimaangepasste Stadtentwicklung**	
M6.1	**Erhalt und Schaffung von Kalt- und Frischluftschneisen**	
Priorisierte KW	• Wärmebelastung für die Bevölkerung	
Weitere KW	-	
Maßnahmenziel	• Hitzeinseleffekt reduzieren durch Kalt- und Frischluftschneisen • das Risiko von hitzebedingten Gesundheitsproblemen wie Hitzestress und Atemwegserkrankungen verringern	
Maßnahmenhintergrund	• Ungehinderter Luftaustausch zwischen städtischen und natürlichen Bereichen sorgt für nächtliche Abkühlung und Luftbewegungen	
Bausteine	• Bevorzugung von Punkt-Bauweisen bei der Aufstellung bzw. Überarbeitung von Bauleitplänen • Keine Aufstockung von Gebäuden mit Barrierewirkung • Rückbau brachfallender Gebäude mit Barrierewirkung • Bei Fortschreibung des Flächennutzungsplanes mit integrieren	
Zielgruppe	• Anwohnende in Wärmebelasteten Gebieten • Hitzeanfällige Personengruppen • Soziale Einrichtungen	
Zuständigkeit	• FG Stadtplanung und Umwelt • FG Bauordnung	
Zu beteiligende Akteure	• priv. Eigentümer/Unternehmen	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Wie viele Einwohner profitieren von Frischluftzufuhr? Wie wirken sich Frischluftschneisen auf die gefühlte Temperatur aus? (Anm.: Zur Erfassung ist ein stadtklimatologisches Gutachten nötig)	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Umgang mit Hitze in der Stadt • *Klimauntersuchung Plauen* • *Landschaftsplan*	<u>Konflikte:</u> • *Flächennutzungskonflikte*
Beitrag zu den Zielen der DNS	3.1: Gesundheit und Ernährung 3.2: Luftbelastung 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	
Verortung	• gesamtstädtisch, insb. entlang bestehender Kaltluftschneisen	
Priorität	• hoch	
Zeitrahmen	• langfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: mittel • Personal: gering	
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• Städtebauliche Erneuerung in Sachsen (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz)	
Best-Practice-Beispiel	• Zeche Friedrich Heinrich Kamp-Lintfort	

M6.2	Klimaangepasstes Sanieren und Bauen
Priorisierte KW	• Wärmebelastung für die Bevölkerung
Weitere KW	• Überschwemmungen durch Starkregen • Trockenstress für das Stadtgrün
Maßnahmenziel	• Reduzierung der Hitzebelastung • Erhöhung der Aufenthaltsqualität im Innenbereich von Gebäuden • optimale Gebäudedämmung im Winter und Sommer • Erhöhung der Verdunstungskühle • Erhöhung der Biodiversität • Erhalt von Flächen zur Erhöhung und Vernetzung des Grünstromvolumens • Verbesserung der Kaltluftsituation • Verbesserung der Lufthygiene und positive Auswirkungen auf die Gesundheit • Reduzierung der Überflutungsgefahr bei Starkregen durch Erhalt von Flächen für Retention, Rückhalt und Speicherung von Regenwasser
Maßnahmenhintergrund	• Durch eine kompakte Bauweise und klimaangepasste Nachverdichtung kann die Vermeidung von Flächenversiegelung zur Stärkung von Regenwasserversickerung und Verdunstungsaktivität sowie des natürlichen Wasserkreislaufes vorangetrieben werden (trägt zur Vorbeugung von Trockenperioden bei) • Gebäude müssen baulich angepasst werden an die sich ändernden klimatischen Bedingungen • Wahl der Baumaterialien entscheidend für guten Schutz gegen Hitze (natürliche Baumaterialen)
Bausteine	• Vorantreiben klimaangepasster Sanierung an stadteigenen Gebäuden • Nachnutzung von Leerständen statt Neubau • Nachnutzung der Flächen statt neuer Versiegelung (Flächenrecycling Management) • Verwendung von Materialien mit einem hohen Albedowert, dies bedeutet eine höhere Rückstrahlfähigkeit, sodass sich diese Flächen weniger stark aufheizen • Wahl der Baumaterialien entscheidend für guten Schutz gegen Hitze (natürliche Baumaterialien) • Integration von (Außen-)Verschattungs- und Begrünungselementen • Erstellung Leitfaden für Neubauten • Bevorzugung mehrgeschossiger Bebauung vor flächiger Bebauung unter Beachtung der Ausrichtung der Gebäude hinsichtlich der Frischluftschneisen
Zielgruppe	• Kommunalverwaltung • Eigentümer • Wohnungsbaugesellschaften
Zuständigkeit	• GAV - Hochbau • FG Stadtplanung und Umwelt
Zu beteiligende Akteure	• FG Bauordnung • Wirtschaftsförderung • priv. Eigentümer/ Unternehmen • Wohnungsunternehmen
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Nachverdichtungskonzept • InSEK Plauen • Anzahl sanierter Gebäude

Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Umgang mit Hitze in der Stadt • Erhalt von Kalt- und Frischluftschneisen • Anwendung des Prinzip Schwammstadt auf die Stadt Plauen • Nachhaltige Wassernutzung • *Aufenthaltsqualität* • *Klimaschutz* • *InSEK* • *Klimauntersuchung Plauen*	<u>Konflikte:</u> • *Bei Neubau Konfliktpotential mit Entsiegelung und Gewährleistung von Frischluftschneisen* • *Denkmalschutz*
Beitrag zu den Zielen der DNS	11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	
Verortung	• Gesamtstädtisch, Baulücken mit Nachverdichtungspotenzialen, Schließung der historischen Stadtkante zwischen Altstadt und Elsteraue im Bereich des Topfmarktes (InSEK Plauen), Altstadt, Bahnhofsvorstadt, Bärenstein, Chrieschwitz, Dobenau, Hammertorvorstadt, Neundorfer Vorstadt, Obere Aue, Ostvorstadt, Reichenbacher Vorstadt, Reißiger Vorstadt, Schloßberg, Siedlung Neundorf • Kommunale Liegenschaften	
Priorität	• hoch	
Zeitrahmen	• mittel- und langfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: mittel • Personal: gering	
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• BMUV - "Natürlicher Klimaschutz in Kommunen" • DBU - Umweltschutzförderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt • StMB - Förderinitiative „Klima wandel(t) Innenstadt“ • Förderrichtlinie Energie und Klima – Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Sächsische Aufbaubank – Förderbank – (SAB))	
Best-Practice-Beispiel	• "Gewerbeflächen stapeln" - Gewerbe- und Industrieflächen flächeneffizienter gestalten • Quartier Hochgelegen Heilbronn-Neckargartach • Klimaangepasstes Bauen und Sanieren in Dresden • Gartenstadt Drewitz, Potsdam • Dachbegrünung und Verschattung an Kitagebäude („Rasselbande“), Erfurt	

M6.3	**Gleisbettbegrünung**
Priorisierte KW	• Wärmebelastung für die Bevölkerung • Überschwemmungen durch Starkregen
Weitere KW	• Trockenstress für das Stadtgrün
Maßnahmenziel	• Verbesserung der Regenwasserrückhaltung • Verbesserung des Stadtklimas • Schadstoffbindung • Schallmindernde Wirkung • Verbesserung ästhetische Wirkung
Maßnahmenhintergrund	• Lösungsansatz bei Platzmangel für die Schaffung innerstädtischer Grünflächen
Bausteine	• Bei Gleiserneuerungen wenn möglich Rasengleise einplanen
Zielgruppe	• Allgemeine Bevölkerung

Zuständigkeit	• Verkehrsplanung • Verkehrsbetriebe (Plauener Straßenbahn GmbH) • FG Stadtplanung und Umwelt	
Zu beteiligende Akteure	• Flächeneigentümer • Nutzer • Naturschutzverbände • Anwohner	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Fläche der Entsiegelung an Schienen	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Anwendung des Prinzip Schwamm-stadt auf die Stadt Plauen • Klimaangepasstes Stadtgrün • *Aufenthaltsqualität*	<u>Konflikte:</u> • *Wartung und Pflege*
Beitrag zu den Zielen der DNS	11.1: Flächeninanspruchnahme 11.2: Mobilität	
Verortung	• Städtischer Siedlungsraum, Verkehrsinfrastruktur, besonders in: Altstadt, Bahnhofsvorstadt, Bärenstein, Chrieschwitz, Dobenau, Neundorfer Vorstadt, Obere Aue, Ostvorstadt, Reichenbacher Vorstadt, Reißiger Vorstadt, Schloßberg, Siedlung Neundorf	
Priorität	• gering	
Zeitrahmen	• kurz- und mittelfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: hoch • Personal: hoch	
Finanzierungs- und Förder-möglichkeiten	• Förderbereich Lärmminderung – Fördergegenstand Teil A (EFRE, Absorb-tionselemente zur Lärmminderung zum Beispiel grüne Gleisanlagen)	
Best-Practice-Beispiel	• Gleisbettbegrünung Gera • Begrünung der Straßenbahnstrecke Breiter Weg Nordabschnitt in Magde-burg	

M6.4	**Dach- und Fassadenbegrünung vorantreiben**
Priorisierte Klimawirkung	• Wärmebelastung für die Bevölkerung
Weitere Klimawirkung	• Überschwemmungen durch Starkregen
Maßnahmenziel	• Reduzierung des städtischen Wärmeinseleffekts • Verbesserung der grünen Infrastruktur • Erhalt der biologischen Vielfalt • Verbessertes Mikroklima
Maßnahmenhintergrund	• Platzsparende Begrünungsmöglichkeit in stark bebauten Gebieten • Fassadenbegrünung und daraus folgende Verdunstung besitzt kleinklima-tisch ausgleichende Wirkung • Aufheizung der Fassaden und unmittelbaren Umgebung wird reduziert
Bausteine	• Informationen/Beratung und Förderprogramme zur Dach- und Fassadenbe-grünung bereitstellen • Vorantreiben von Dach- und Fassadenbegrünung an stadteigenen Gebäu-den • Anreize zur privaten Dach- und Fassadenbegrünung schaffen • Festsetzung im Bebauungsplan
Zielgruppe	• Wohnungsbaugesellschaften • Eigentümer • Kommunalverwaltung • Bundes- und Landesbehörden

	• Planungsbüros	
Zuständigkeit	• GAV – Hochbau	
Zu beteiligende Akteure	• Gebäudeeigentümer • Wohnungsgesellschaften • FG Stadtplanung und Umwelt	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Fläche stadteigener Gebäude mit Dach- und Fassadenbegrünung • Teilnehmendenzahl bei Informationsveranstaltungen • Gründachpotenzialkataster	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Klimaangepasstes Stadtgrün • *Aufenthaltsqualität* • *Klimaschutz* • *Biodiversität* • *Lärmschutz*	<u>Konflikte:</u> • *Pflege/Erhalt* • *Statik* • *Denkmalschutz*
Beitrag zu den Zielen der DNS	11.1: Flächeninanspruchnahme	
Verortung	• Gesamtstädtisch, besonders in überwärmten Bereichen mit hoher Nutzung: Altstadt, Bahnhofsvorstadt, Bärenstein, Chrieschwitz, Dobenau, Hammertorvorstadt, Neundorfer Vorstadt, Obere Aue, Ostvorstadt, Reichenbacher Vorstadt, Reißiger Vorstadt, Schloßberg, Siedlung Neundorf • Kommunale Liegenschaften	
Priorität	• hoch	
Zeitrahmen	• kurz-, mittel- bis langfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: hoch • Personal: gering	
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• LZP – „Lebendige Zentren“ • Förderrichtlinie Stadtgrün, Lärm, Radon (FRL Stadtgrün, Lärm, Radon/2023) – Förderbereich Stadtgrün • BMUV – „Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ • KfW "Natürlicher Klimaschutz in Kommunen" • BMWSB – Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel	
Best-Practice-Beispiel	• Dachbegrünung des Kö-Bogens-II in Düsseldorf • Dachbegrünung auf der KiTa „Glückskäfer“ in Erfurt	

5.2.5. Handlungsfeld Trockenstress

Zunehmende Hitze und Trockenheit bedeutet für die Vegetation – in Wäldern und Stadtgrün - eine Gefährdung durch Trockenstress und erhöhte Anfälligkeit gegenüber Schädlingen. Dies führt zu einer Beeinträchtigung der wichtigen klimaregulierenden Funktionen. Gerade die trockenen und heißen Sommer in den Jahren 2018, 2019 und 2022 führten zu immensen Waldschäden, aber auch Stadtbäume sind stark gefährdet. Die zentrale Herausforderung durch den fortschreitenden Klimawandel besteht also darin den Baumbestand widerstandsfähiger gegenüber den Herausforderungen des Klimawandels zu machen. Folgende Maßnahmen heben wir im Rahmen des Handlungsfeldes Trockenstress besonders hervor: i) Klimaangepasster Waldumbau, ii) Klimaangepasstes Stadtgrün sowie iii) Nachhaltige Wassernutzung.

Um die vielfältigen Ökosystemleistungen der Wälder (Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen) langfristig zu erhalten, muss die Resilienz der Wälder an Trocken- und Hitzestress, sowie an die Sensitivität gegenüber anderen Stressfaktoren, wie beispielsweise Schadinsekten, Waldbrand und Windwurf erhöht werden. Die Fichte beispielsweise erzeugt bei langanhaltender Trockenheit weniger Harz, da somit der Abwehrmechanismus des Baumes gestört ist, wird die Ausbreitung des Borkenkäfers begünstigt. Damit

der Wald auch unter den sich ändernden klimatischen Bedingungen seine Funktionen sowohl gegenwärtig als auch in Zukunft erfüllen kann, ist ein klimaangepasstes Waldmanagement erforderlich.

Städtisches Grün ist von großer Bedeutung für das Mikroklima der Stadt – es besitzt eine kühlende Wirkung, filtert Schadstoffe und spendet Schatten. Grüne Infrastruktur muss gestärkt werden, um den Hitzeinseleffekt zu reduzieren und die Aufenthaltsqualität urbaner Räume zu erhöhen. Im Zuge der sich ändernden Klimabedingungen sollte der Baumbestand in der Stadt vielfältiger werden mit einer standortgerechten Baumartenwahl sowie höherer Diversität im Stadtbaumbestand.

Der dritte Bereich betrifft das Bewässerungsmanagement. Dies sollte optimiert werden, um die Ressource Wasser optimal zu nutzen und Stadtbäume bzw. kommunale Grünflächen bei Trockenphasen besser bewässern zu können.

M7	**Vorantreiben des klimaangepassten Waldumbaus**	
Priorisierte KW	• Trockenstress auf Waldflächen	
Weitere KW	• Wärmebelastung für die Bevölkerung	
Maßnahmenziel	• Risiko von Schädlingsbefall und Trockenstress minimieren • Artenvielfalt erhöhen • Dominanz einzelner Arten verringern	
Maßnahmenhintergrund	• Trockenstress in Wäldern, erhöhte Anfälligkeit für Schädlinge (Bsp. Borkenkäfer) • zunehmende Windgeschwindigkeiten führen zu vermehrten Sturmschäden	
Bausteine	• Klimaangepasster Waldumbau mit geeigneten Arten (standortgerecht und klimaresilient) • Baumartenvielfalt erhöhen • Erhöhung der Strukturvielfalt • Weitere Anreize für Waldbesitzende • Erschließung neuer Waldflächen • Gewährleistung geschlossener Waldstrukturen • Verhinderung zusätzlicher Bodenverdichtung	
Zielgruppe	• Forstbetriebe • Waldeigentümer • Bevölkerung	
Zuständigkeit	• Forstbetriebe • Waldeigentümer	
Zu beteiligende Akteure	• GAV Förster • Forschungseinrichtungen • private und kommunale Waldbesitzende • Forstbetriebsverbände • SachsenForst	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Anteil/Fläche klimaresilienter Waldflächen • Monitoring Insekten- und Pilzpopulationen, Schadwirkung auf Bäume • Anzahl der Schadholzmenge am Gesamteinschlag • Monitoring Waldfunktionskartierung	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • *Aufenthaltsqualität, Naherholung* • *Sicherung der Trinkwasserverfügbarkeit* • *Klimauntersuchung Plauen* • *Landschaftsplan*	<u>Konflikte:</u> • *Geringere flächenbezogene Wertschöpfung möglich*

Beitrag zu den Zielen der DNS	3.1: Gesundheit und Ernährung 3.2: Luftbelastung 15.1: Artenvielfalt 15.2/3: Ökosysteme
Verortung	• Ortsteile mit Waldanteilen, die stark von Trockenheit betroffen sind: Alt Chrieschwitz, Großfriesen, Jößnitz, Kauschwitz, Kleinfriesen, Meßbach, Oberlosa, Unterlosa, Zwoschwitz, „Südost“ (Gemeinden Bergen, Falkenstein/ Vogtl., Grünbach, Neustadt/ Vogtl., Theuma und Werda), „Südwest“ (Gemeinde Weischlitz)
Priorität	• hoch
Zeitrahmen	• langfristig
Ressourcenaufwand	• Budget: mittel bis hoch • Personal: hoch
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• Förderprogramm klimaangepasstes Waldmanagement (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) • Wald-Klima-Paket, BMEL
Best-Practice-Beispiel	• Aufbau eines artenreichen und vielstrukturierten Laub-Mischwaldes in der Gemeinde Pirna Pratzschwitz • Aufforstung des “Pappelwaldes Markranstädt”

M8	**Klimaangepasstes Stadtgrün**
Priorisierte KW	• Trockenstress für das Stadtgrün • Überschwemmung durch Starkregen
Weitere KW	• Wärmebelastung für die Bevölkerung
Maßnahmenziel	• Erhöhung der Biodiversität • Risiko von Schädlingsbefall und Trockenstress verringern • Steigerung der Resilienz des Stadtbaumbestandes zur Sicherung der Verdunstungskühle • Verbesserung der Lufthygiene • Verbesserung des innerstädtischen (Mikro-) Klimas • Verbesserung der Versickerungsfähigkeit • Vorbeugung von Hitzeinseln • Natürliche Verschattung
Maßnahmenhintergrund	• Anstieg Trockenstress und Dürreschäden für Stadt- und Straßenbäume durch veränderte Temperaturen und Niederschlagsmengen im Sommer
Bausteine	• Neupflanzungen standortgerechter, klimatoleranter Gehölzarten • Verwendung klimaresilienter Baumarten mit hohem Potential als Futter- und Nistpflanzen (s. z.B. GALK „Zukunftsbäume für die Stadt“ oder Straßenbaumliste) • Pflanzung zusätzlicher Begrünung/Stadtbäume; Mooswände, Dach- und Fassadenbegrünung • Vermeiden von Dominanz bei Arten und Gattungen • Pflanzsubstrate, welche eine tiefere/weitreichendere Verwurzelung ermöglichen • Anwuchspflege/Jungbaumpflege verlängern • Ressourcenaufstockung für Pflege • Erhalt der Baumschutzsatzung • Bewässerungsmanagement optimieren (siehe M9) • Nutzung von Regenwasser zur Bewässerung (siehe M9) • Standortbedingungen verbessern (Bsp. Großzügige Baumscheiben, Rigolen) • Vergrößerung und Vernetzung der grünen Infrastruktur (z.B. Baumpflanzungen, Pocket parks, Tiny Forests)

	• Anlage von Mehrartenalleen
Zielgruppe	• Anlieger • Zivilgesellschaft bei Aufenthalt im Freien
Zuständigkeit	• FG Stadtplanung und Umwelt • GAV Baumpflege • kommunaler Naturschutz
Zu beteiligende Akteure	• SB Stadtgrün • FG Tiefbau • ISP • Klimaanpassungsmanagement • Lokale Agenda • Wohnungsbauunternehmen • Eigentümer • Naturschutzverbände • Gärtnereien • Kleingartenvereine • Privatpersonen, Vereine
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Bestandsaufnahme, z.B. in Stadtbaumkonzept mit Anwendung Klima-Arten-Matrix (KLAM) • Artenzusammensetzung • Anzahl und Zustand Bäume in Stadtbaumkataster • Gegenüberstellung Fällungen und Neupflanzungen • Kosten-Nutzen-Analyse (Abwägung der Kosten für Verbesserung von Standorten und Nutzen von Altbäumen) • Kosten-Nutzen-Abwägung des höheren Pflegeaufwands bei Neupflanzungen
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Anwendung des Prinzip Schwammstadt auf die Stadt Plauen • Klimaangepasste Stadtentwicklung • Umgang mit Hitze in der Stadt • Dach- und Fassadenbegrünung vorantreiben • *Klimaschutz* • *Aufenthaltsqualität* • *Biodiversität und Biotopvernetzung* • *Erholungsfunktion* • *InSEK* • *Klimauntersuchung Plauen* • *Landschaftsplan* <u>Konflikte:</u> • *Flächennutzungskonflikte (u.a. Leitungsnetz)* • *Pflege*
Beitrag zu den Zielen der DNS	3: Gesundheit und Wohlergehen 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden 15.1: Erhalt der Biodiversität
Verortung	• Stadtteile mit hohem Grünanteil, die stark von Trockenheit betroffen sind: Bärenstein, Chrieschwitz , Haselbrunn, Hofer Vorstadt, Neundorf, Neundorfer Vorstadt, Obere Aue, Reichenbacher Vorstadt, Reißig, Reißiger Vorstadt, Straßberg, Südvorstadt, Syratal
Priorität	• hoch
Zeitrahmen	• kurz-, mittel- bis langfristig
Ressourcenaufwand	• Budget: hoch • Personal: hoch
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• BMUV – „Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ • BMWSB – Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel • EU-LIFE-Programm für die Umwelt und Klimapolitik (2021-2027)

	• KfW "Natürlicher Klimaschutz in Kommunen" • BfN – Bundesprogramm Biologische Vielfalt
Best-Practice-Beispiele	• Grüne Klimaoasen im urbanen Stadtraum Jenas • Tiny Forest im Gewerbegebiet (Netzwerk Klimaanpassung & Unternehmen, NRW o.J.), Gummersbach • „Pocket Park“ Duisdorf (Internetseiten der Bundesstadt Bonn o.J.), Stadtteil von Bonn • Forschungsprojekt Stadtgrün 2021, siehe auch „Bayerische Netzwerk Klimabäume“ (Bayern) • Bremer Stadtgrün-Bewertungstool • Klimainsel, Stadt Plauen • Vergrößerung der Baumscheibe in der Freiheitsstraße, Stadt Plauen

M9	**Nachhaltige Wasserspeicherung und -nutzung**
Priorisierte KW	• Trockenstress für das Stadtgrün
Weitere KW	• Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung • Überschwemmung durch Starkregen • Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen
Maßnahmenziel	• Dezentrale Speicherung von Regenwasser um Bewässerung kommunaler Grünflächen während Trockenperioden zu gewährleisten • Verstärkte Nutzung von Regenwasser durch (großangelegte, unterirdische) Zisternen • Bewässerungsmanagement sollte optimiert werden (Brauch- Grau- und Regenwassernutzung), dafür ist eine dezentrale Speicherung nötig (Bsp. Rückhaltebecken, Rigolen, Zisternen) • Regenwasserrückhalt muss ermöglicht werden
Maßnahmenhintergrund	• Ungleichmäßige Wasserverteilung: Langanhaltende Trockenperioden und häufigere Starkregenereignisse • Zunehmende und längere Trockenperioden
Bausteine	• Standortplanung • Mobile Tröpfchenbewässerung oder Baumrigolen • Trockenheitssensoren • Bau von Zisternen • Bau von Regenrückhaltebecken • Gießinitiativen Bevölkerung • Erhalt der Notwasserbrunnen • Dezentrale Regenwasserversickerung sowie Regenwasserrückhalt
Zielgruppe	• Zivilgesellschaft • Wohnungsbaugesellschaften • Eigentümer • Stadtverwaltung Plauen • Naturschutzorganisationen
Zuständigkeit	• FG Tiefbau • GAV - Hochbau • FG Stadtplanung und Umwelt
Zu beteiligende Akteure	• GAV Baumpflege • GAV Friedhofspflege • ISP • Feuerwehr • Kommunalservice • private Eigentümer/Unternehmen/Vereine

Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Wasserspeicherkapazität von Speichern • Wasserverbrauch Trinkwasser • Anzahl Zisternen in der Stadt Plauen	
Synergien und Konflikte	Synergien: • Anwendung des Prinzip Schwammstadt auf die Stadt Plauen • Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber den Folgen des Klimawandels • *Stärkung grün-blauer Infrastruktur* • *Landschaftsplan*	Konflikte: • *Flächennutzungskonflikte*
Beitrag zu den Zielen der DNS	11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	
Verortung	• Priorität auf Stadtgebiete, die besonders von Hitze betroffen sind und hohen Grünflächenanteil besitzen: Altstadt, Bahnhofsvorstadt, Bärenstein, Chrieschwitz, Dobenau, Hammertorvorstadt, Haselbrunn, Hofer Vorstadt, Neundorf, Neundorfer Vorstadt, Obere Aue, Ostvorstadt, Reichenbacher Vorstadt, Reißig, Reißiger Vorstadt, Schloßberg, Siedlung Neundorf, Straßberg, Südvorstadt, Syratal • Priorität der Bewässerung von Grünflächen, die wertvolle Funktionen für die Bevölkerung besitzen (Bsp. Erholungsflächen)	
Priorität	• hoch	
Zeitrahmen	• mittel- bis langfristig	
Ressourcenaufwand	• Budget: mittel bis hoch • Personal: mittel	
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• BMUV – Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels, Umweltinnovationsprogramm • BMWSB – Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel • EU-LIFE – Programm für die Umwelt und Klimapolitik • BMWK – Förderung der Nationalen Klimaschutzinitiative • DBU – Umweltschutzförderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt • KfW „Natürlicher Klimaschutz in Kommunen“	
Best-Practice-Beispiel	• Regenwasserzisterne und automatische Bewässerung der Stadtbäume in Großenhain (SN) • Regenwasserbecken auf dem Gelände der Malzfabrik, Berlin • Zisternenbau in der Mietergenossenschaft Unionplatz Tiergarten eG, Berlin • Zisternenbau am Lessing Gymnasium, Plauen • Bau von Löschwasserzisternen, Plauen • Regenrückhaltebecken am Stadion, an der Pietzsche und am Welahgelände, Stadt Plauen	

5.2.6. Themenübergreifende Maßnahmen

Durch den fortschreitenden Klimawandel nehmen Extremwetterereignisse merklich zu. Ziel dieser übergeordneten Maßnahmen ist es, die damit verbundenen Risiken an die Bevölkerung sowie innerhalb der Stadtverwaltung zu kommunizieren. Die Sensibilisierung der Bevölkerung für die gesundheitlichen Gefahren von Hitze, UV-Strahlung, Trockenheit und Überflutungen sollte erhöht werden, um die individuelle Fähigkeit zur Eigenvorsorge und erhöhte Umsicht für andere Personen zu stärken. Dafür können unterschiedliche Formate gewählt werden, wie z.B. Öffentlichkeitskampagnen, Warnungen per Newsletter (DWD Warnungen) oder generell die Bekanntmachung vorhandener Warnsysteme (Bsp.: Warn-App NINA, KATWARN-App). Dies soll der Bevölkerung helfen, einen besseren Umgang mit Extremwetterereignissen zu finden und gleichzeitig die Bürgerbeteiligung und Bürgeraufklärung stärken. Wichtig ist hierbei, dass die Stadtverwaltung mit gutem Beispiel vorangeht.

M10	**Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber den Folgen des Klimawandels**	
Priorisierte Klimawirkung	• Überschwemmungen durch Starkregen • Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen • Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung • Wärmebelastung für die Bevölkerung • Trockenstress auf Waldflächen • Trockenstress für das Stadtgrün	
Weitere Klimawirkung	-	
Maßnahmenziel	• Kommunikation der Risiken an die Bevölkerung • Bürgeraufklärung stärken • Eigenvorsorge stärken	
Maßnahmenhintergrund	• Zunahme von Extremwetterereignissen: extremer Hitze (Anstieg von Hitzetagen und Tropennächten); Starkregenereignissen; Trockenheit	
Bausteine	• Öffentlichkeitskampagnen • Digitalisierung (lokale Medien, online Formate, kommunale Webseite) • Newsletter DWD abonnieren • Bekanntmachung von Warnsystemen • Bereitstellen von Informationen	
Zielgruppe	• Allgemeine Bevölkerung	
Zuständigkeit	• Medien- und Öffentlichkeitsarbeit • Klimaanpassungsmanagement	
Zu beteiligende Akteure	• FB Jugend/Soziales/Schulen/Sport • FG Brandschutz • Stabsstelle für Krisenmanagement und Bevölkerungsschutz • Pressestelle Vogtlandkreis • Veranstalter von Festen und Events	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Teilnehmendenzahlen bei Veranstaltungen • Aufrufe digitaler Angebote/ Webseite, Reichweite Social Media • Veröffentlichung von Pressemitteilungen, Social Media Beiträgen	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Umgang mit Hitze in der Stadt • Anwendung des Prinzip Schwammstadt auf die Stadt Plauen	<u>Konflikte:</u>
Beitrag zu den Zielen der DNS	3: Gesundheit und Wohlergehen 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	
Verortung	• gesamtstädtisch	
Priorität	• hoch	

Zeitrahmen	• kurzfristig
Ressourcenaufwand	• Budget: gering • Personal: gering
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	• BMUV – „Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“
Best-Practice-Beispiel	• Hitze-Portal Erfurt • Hitzewarnsystem in Stuttgart • Themenstadtplan Starkregen in Dresden

M11	**Sensibilisierung der Stadtverwaltung und des Stadtrates gegenüber den Folgen des Klimawandels**	
Priorisierte Klimawirkung	• Überschwemmungen durch Starkregen • Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen • Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung • Wärmebelastung für die Bevölkerung • Trockenstress auf Waldflächen • Trockenstress für das Stadtgrün	
Weitere Klimawirkung	-	
Maßnahmenziel	• Kommunikation der Risiken an die Stadtverwaltung • Akzeptanz und Beteiligung stärken	
Maßnahmenhintergrund	• Zunahme von Extremwetterereignissen: extremer Hitze (Anstieg von Hitzetagen und Tropennächten); Starkregenereignissen; Trockenheit	
Bausteine	• Akteursbeteiligungen • Informationen im Mitarbeiterportal • Bereitstellung der Karten in der Stadtkarte sowie im GIS • Bekanntmachung von Warnsystemen • Erstellung einer Arbeitsgruppe • Vorstellungen in politischen Gremien, z.B. Stadtrat • Überprüfung und Anpassung bestehender Satzungen auf Klimaanpassung • Berücksichtigungsgebot der Klimaanpassung bei Planungen • Fortschreibung des Flächennutzungsplans • Anpassung B-Pläne	
Zielgruppe	• Stadtverwaltung • Stadtrat	
Zuständigkeit	• Klimaanpassungsmanagement	
Zu beteiligende Akteure	• Medien- und Öffentlichkeitsarbeit • FG Geoinformation und Vermessung • Kommunale Statistikstelle • FG Personal/Organisation • FG Brandschutz • Stabsstelle für Krisenmanagement und Bevölkerungsschutz	
Evaluationsmöglichkeiten/ Erfolgsindikatoren	• Teilnehmendenzahlen bei Veranstaltungen • Anzahl Veröffentlichung von Beiträgen im Mitarbeiterportal • Anzahl Veröffentlichung von Karten im Stadtplan • Thematisch passende Tagesordnungspunkte bei Ausschüssen	
Synergien und Konflikte	<u>Synergien:</u> • Umgang mit Hitze in der Stadt • Anwendung des Prinzip Schwammstadt auf die Stadt Plauen	<u>Konflikte:</u>
Beitrag zu den Zielen der DNS	3: Gesundheit und Wohlergehen 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden	

Verortung	-
Priorität	• hoch
Zeitrahmen	• kurzfristig
Ressourcenaufwand	• Budget: gering • Personal: gering
Finanzierungs- und Förder-möglichkeiten	• BMUV – „Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“
Best-Practice-Beispiel	• Anpassung an den Klimawandel für die Städte Solingen und Remscheid • Klimacheck in der Bauleitplanung

5.3. Maßnahmenpriorisierung und Umsetzungsplan

Von den in Kapitel 5.1 beschriebenen Maßnahmen bzw. Bausteinen zu den übergeordneten Maßnahmen wurden bereits 22 konkrete Maßnahmen ausgewählt, welche in den nächsten drei Jahren umgesetzt werden sollen. Diese finden in der Anschlussförderung zu diesem Konzept Berücksichtigung und sind in Tabelle 20 aufgelistet.

Tabelle 20: Übersicht über Maßnahmen, die mit hoher zeitlicher Priorisierung umgesetzt werden sollen.

Maßnahmengruppe		Umsetzung bis 2027
M1	Anpassung der Handlungsvorgaben bei Extremwetterlagen	Aufstellung von Aktionsplänen und Kommunikationskaskade
		Ausweisung von Überflutungsgebieten
M2.1	Flächenhafte Versickerung vorantreiben (Entsiegelung)	Entsiegelung stadteigener Flächen
M2.2	Multifunktionale Flächen schaffen	Schaffung Multifunktionaler Flächen
M2.3	Bauliche Maßnahmen an Gewässern	Bauliche Maßnahmen am Friesenbach
M4	Renaturierung von Fließgewässern	Renaturierung von Teichen
		Freilegung verrohrter Bäche
		Baum- und Strauchpflanzungen an Gewässern
M5	Umgang mit Hitze in der Stadt	Weiterbildung des Personals in sozialen Einrichtungen
		Refill-Stationen ausbauen
		Kühle Orte schaffen
		Beschattung öffentlicher Plätze
		Dach- und Fassadenbegrünung
M6.1	Erhalt von Kalt- und Frischluftschneisen	Konzeptioneller Rückbau brachfallender Gebäude mit Barrierewirkung
M8	Klimaangepasstes Stadtgrün	Standortverbesserung von Großgrün
M9	Nachhaltige Wassernutzung	Bau von Regenrückhaltebecken
M10	Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber den Folgen des Klimawandels	Öffentlichkeitskampagnen
		Webseite - Veröffentlichung Karten und Ergebnisse des Konzeptes
M11	Sensibilisierung der Stadtverwaltung und des Stadtrates gegenüber den Folgen des Klimawandels	Verwaltungsinterne Informationsbereitstellung

Zudem sind Netzwerkarbeit, Management und organisatorische Aufgaben eingeplant.

6. AKTEURSBETEILIGUNG

Die Beteiligung der Akteure der Stadt und teilweise des Kreises sowie externen Beteiligten stellte einen fundamentalen Bestandteil in dem Prozess der Konzept- und Maßnahmenentwicklung dar. Von Beginn an wurden unterschiedliche partizipativ-dialogische Verfahren mit den relevanten Akteuren innerhalb der Stadt und des Kreises durchgeführt. Es wurde großer Wert darauf gelegt, die Akteure sowohl über (Zwischen-)Ergebnisse zu informieren, als auch die Möglichkeit zu bieten, Herausforderungen, Risiken, Chancen, Bedenken und Erwartungen sowie eigene Maßnahmenideen vorzutragen. Während der Konzeptentwicklung wurden Auftakt- und Abschlussveranstaltungen ausgerichtet, mehrere Workshops und Interviews durchgeführt und regelmäßig Abstimmungsgespräche mit dem Klimaanpassungsmanagement gehalten.

6.1. Akteursidentifikation

Die Identifikation der Akteure wurde durch die Stadtverwaltung übernommen, federführend von der Klimaanpassungsmanagerin. Bei der Auswahl der Akteure wurde darauf geachtet, dass für alle potenziellen Betroffenheiten Vertreter anwesend sind.

Begonnen wurde mit den relevanten Akteuren der Verwaltung, die als Multiplikatoren dienen, und einen genauen Überblick über ihre jeweiligen Fachgebiete haben. Darunter zählen die Bürgermeisterin des Geschäftsbereiches II und die Fachgebietsleiter des Tiefbaus, der Stadtplanung und Umwelt, des Brandschutzes, für Jugend/Soziales/Schulen/Sport sowie der Gebäude- und Anlagenverwaltung. Diese können das Wissen in den Bereichen weitergeben und bei künftigen Veranstaltungen an ihre Mitarbeiter weiterleiten.

Außerdem wurden direkt einige Sachbearbeiter (SB) für ihre Fach-Expertise eingeladen. Darunter zählen die Energie- und Klimaschutzmanagerin, SB Gewässerpflege/Gewässerunterhaltung, SB Brandschau, SB Kommunales Grün, Grün- und Umweltplanung, kommunaler Naturschutz, Baumkontrolle, Forsttechniker, Stadtwegemeister, Touristisches Marketing, Stadtmarketing, Medien- und Öffentlichkeitsarbeit, Wirtschaftsförderung, SB Geodäsie, Lokale Agenda 21 sowie die Behindertenbeauftragte.

Da nicht alle Bereiche von der Kommunalverwaltung abgedeckt werden können, ist ebenfalls das Landratsamt Vogtlandkreis mit einbezogen worden. Hierbei handelt es sich um das Gesundheitsamt, die Seniorenbeauftragte, das Pflegenetzwerk, die Sozialplanung, die untere Wasserbehörde, die untere Naturschutzbehörde, den Katastrophenschutz und den Energiebeauftragten.

Neben den Vertretern der kommunalen Verwaltung und derer auf Landkreisebene, kommen weitere Akteure zum Tragen. Als potenzielle Vetoplayer wird die politische Ebene mit einbezogen. Diese wurden bisher in Ausschüssen und im Stadtrat über Themen der Klimaanpassung informiert. Der Stadtrat ist Entscheidungsträger über das Klimaanpassungskonzept und über kommende Anpassungsmaßnahmen sowie die Finanzkraft eben dieser. Unabhängig der Vetoplayer, der Wirtschaft und dem Finanzsektor kann die Finanzkraft durch monetäre Förderungsprogramme aufgewertet werden.

Der kulturelle und soziale Einfluss wird von der Zivilgesellschaft, Vereinigungen und Forschungseinrichtungen geprägt. Die Plauener Bevölkerung wurde in Bürgerbeteiligungen über die kommunale Klimaanpassung informiert und konnte sich im Maßnahmenkatalog mit einbringen. Die künftige Ansprache der Zivilgesellschaft wird ausführlicher in dem Kapitel Kommunikationsstrategie beschrieben. Eine Zu-

sammenarbeit mit Akteuren des kulturellen Einflusses wurde bereits mit dem Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) Regionalgruppe Vogtland, und in Bearbeitung des Projektes KlimaKonform mit der TU Dresden und dem Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden durchgeführt.

Des Weiteren sind Akteure der kommunalen Versorgungswerke, der Wirtschaft und Vereine einbezogen worden. So konnten sich der Zweckverband Wasser und Abwasser Vogtland, die Landestalsperrenverwaltung, die Plauener Straßenbahn sowie die AWG Wohnungsgenossenschaft Plauen eG, die Wohnungsbaugesellschaft mbH und die Immobilienservice Plauen GmbH mit in das Konzept mit einbringen. Dem regionalen Bauernverband, der Waldbesitzervereinigung und SachsenForst wurde ebenfalls die Möglichkeit eingeräumt, sich auszutauschen und fungieren gleichzeitig als Multipilikatoren. Für den Austausch von Daten wurde das Umweltbüro GmbH Vogtland und das M&S Umweltprojekt zu Beginn der Ausarbeitung mit einbezogen.

Darüber hinaus steht die KAM im regelmäßigen Austausch mit Kollegen aus dem sächsischen Klimaanpassungsnetzwerk sowie dem wissenschaftlichen Forschungsprojekt „KlimaKonform“ der TU Dresden.

6.2. Beteiligung

Um das Klimaanpassungskonzept auf die lokalen Bedürfnisse abzustimmen, wurden Bürgerinnen und Bürger sowie lokale Experten und Akteure bei der Erstellung eingebunden. Mit den Beteiligungsformaten wurden mehrere Ziele verfolgt. Hauptziel stellte die Information und Sensibilisierung zu den Themen des Klimawandels und der Klimafolgen sowie der Anpassung daran dar. Daneben waren jedoch auch die Einbindung des lokalen Wissens zu Klimaphänomenen und den Auswirkungen von Extremwetterereignissen und die Sammlung von Vorschlägen zu möglichen Maßnahmen und ihrer Lokalisation sowie die Verifizierung der Aussagen der Analysen, vor allem der Starkregenmodellierung, durch lokale Akteure wichtige Intentionen.

Folgende Veranstaltungen wurden durchgeführt:

Interne Projekttreffen mit dem Auftraggeber

- Auftakttreffen 27.04.2023, Plauen
  Offizieller Projektstart, Kennenlernen, Besprechung von Grundlagen und des geplanten Projektablaufs sowie vertraglicher und organisatorischer Themen
- Arbeitstreffen 01.06.2023, Plauen
  Diskussion zur Auswahl eines Vorschlages für Themen für die priorisierten Klimawirkungen
- Arbeitstreffen 15.11.2023, Plauen
  Vorstellung der Ergebnisse der Analysen priorisierter Klimawirkungen

Akteursbeteiligungsveranstaltungen

- Auftakttreffen zur Akteursbeteiligung 18.07.2023, Plauen
  Themenschwerpunkt: Vorstellung des Projektes, Kennenlernen der relevanten Akteure, Festlegung von Analysethemen (priorisierte Klimawirkungen)
- Klima-Tisch 1: 01.02.2024, Plauen
  Themenschwerpunkt: Vorstellung der Ergebnisse der Analysen priorisierter Klimawirkungen und des Leitbildes, Diskussion von Anpassungszielen, Indikatoren und Maßnahmenideen in den Schwerpunktthemen
- Klima-Tisch 2: 28.05.2024, Plauen
  Themenschwerpunkt: Vorstellung und Diskussion der Maßnahmensteckbriefe
- Geplant: Abschlussveranstaltung mit Vorstellung der Projektergebnisse und Planungen

Öffentlichkeitsbeteiligungsveranstaltungen

- Bürgerforum 21.03.2024, Plauen
  Offenes Format für interessierte Bürger, Vorstellung der Ergebnisse der Analysen priorisierter Klimawirkungen, Diskussion von Erfahrungen und Ideen, Maßnahmen und Betroffenheiten
- Geplant: Abschlussveranstaltung mit Vorstellung der Projektergebnisse und Planungen

Vorstellungen in Gremien

- Bericht zum Projekt im Stadtrat 30.01.2024, Durchgeführt durch Klimaanpassungsmanagement
- Geplant: Bericht zum Projekt im Stadtrat 19.11.2024, Durchgeführt durch Klimaanpassungsmanagement

Interviews

Zur Ermittlung von Anpassungskapazitäten und -bedarfen wurden Interviews mit Akteuren aus den verschiedenen Themenfeldern der priorisierten Klimawirkungen geführt. Bei zwei Themen wurden je zwei Akteure befragt, um verschiedene Perspektiven auf das Thema zu repräsentieren (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Übersicht über die Akteure, mit denen Interviews zur Ermittlung von Anpassungskapazitäten und -bedarfen durchgeführt wurden

Betroffenheit		Partner	Institution/Fachbereich
KW 01	Überschwemmungen durch Starkregen	Hr. Maetzig	Stadt Plauen, SB Brandschau
KW 02	Niedrigwasser in Kleingewässern	Fr. Grape	Stadt Plauen, SB Gewässerunterhaltung
KW 03	Wärmebelastung für die Bevölkerung	Hr. Jaekel	Vogtlandkreis, Gesundheitsamt
KW 03	Wärmebelastung für die Bevölkerung	Hr. Löffler	Stadt Plauen, FGL Stadtplanung und Umwelt
KW 04	Trockenstress auf Waldflächen	Hr. Ernst	Stadt Plauen, Forsttechniker
KW 04	Trockenstress auf Waldflächen	Hr. Metzner	Waldbesitzervereinigung Plauen-Vogtland w.V

KW 05	Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen	Hr. Hirsch	Sächsicher Landesbauernverband e.V.
KW 06	Trockenstress für das Stadtgrün	Hr. Merkel	Stadt Plauen, SB kommunales Grün

Im Folgenden wird der Erfolg der bisherigen Beteiligungen ausgewertet und ein Resümee für kommende Beteiligungen gezogen. Bei der ersten Akteursbeteiligung wurde abgefragt, welche Akteure zukünftig über welche Themen informiert bleiben, beziehungsweise gemeinsam bearbeiten möchten. Unabhängig dieser Angabe wurden alle Akteure über die weiteren Treffen informiert und eingeladen. Trotz der erfolgreichen Auftaktveranstaltung mit den Akteuren kamen zu den Folgetreffen weniger. Nach der Absage von wichtigen Akteuren wurde in den bilateralen Austausch gegangen, um noch einmal für die Wichtigkeit zu sensibilisieren. Ein relevanter Punkt, der einige Akteure abgeschreckt haben könnte, ist die Vielzahl an Themen, die bei den Akteursbeteiligungen besprochen wurden. Das Ziel war es, dass sich alle beteiligen können, auf dem gleichen Wissensstand sind und sich untereinander austauschen sowie diskutieren können. So kam es vor, dass sich einige Akteure nur zu einem Thema berufen gefühlt haben, wobei insgesamt sechs besprochen wurden. Für die weitere Bearbeitung nach der Konzepterstellung werden die Treffen themenbezogen stattfinden.

Politische Entscheidungsträger werden weiterhin durch Ausschüsse und Präsentationen im Stadtrat informiert.

Die Bevölkerung konnte sich über eine Bürgerbeteiligung über den aktuellen Konzeptstand informieren und ihre Meinung und Wünsche abgeben, welche bei der Maßnahmenplanung berücksichtigt wurden. Zudem können online Wünsche zur Klimaanpassung und –schutz im Portal „klimaaktiv“ geäußert werden. Es wurde zudem regelmäßig in dem Format „Bürgerwerkstatt Stadtgrün“ über Klimaanpassung informiert. Diese Vorgehensweise kann in Zukunft fortgeführt werden.

Eine gezieltere Ansprache der Akteure und der Öffentlichkeit wird für eine erfolgreiche Umsetzung des Konzepts nötig sein. Wie dies stattfinden kann, wird in Kapitel 8 erörtert.

7. VERSTETIGUNGSSTRATEGIE

Neben den erarbeiteten Maßnahmenvorschlägen ist zur langfristigen Steigerung der Resilienz der Stadt Plauen gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels die strategische Verstetigung in vorhandene Strukturen und das Verwaltungshandeln notwendig. Durch eine solche Verstetigungsstrategie kann zum langfristigen Umsetzungserfolg der erarbeiteten Gesamtstrategie und der Umsetzung der Einzelmaßnahmen beigetragen und eine dauerhafte Verankerung in Verwaltungsstrukturen erreicht werden. Im Folgenden werden daher Ansätze zur dauerhaften und erfolgreichen Verankerung im Verwaltungshandeln dargestellt.

Ein Kernelement der Verstetigungsstrategie ist die Schaffung geeigneter organisatorischer Strukturen und Zuständigkeiten, um langfristig einerseits zum Umsetzungserfolg konkreter Einzelmaßnahmen beizutragen und andererseits das Thema der Klimaanpassung dauerhaft und breit im Verwaltungshandeln zu verstetigen. Daher werden im Folgenden Hemmnisse und Herausforderungen angesprochen und mögliche Lösungswege zur Überwindung bzw. zum Abbau dieser Hürden aufgezeigt.

Klimaanpassungsmanagement

Für die Erstellung dieses Konzeptes wurde bereits ein Klimaanpassungsmanagement initiiert. Für die Umsetzung der hier vorgeschlagenen Maßnahmen sowie die dauerhafte Beachtung der Belange der Klimaanpassung und der Sicherstellung von Kommunikations- und Vernetzungsbemühungen ist diese Stelle unbedingt fortzuführen und als fester Bestandteil der Verwaltung zu etablieren. Eine enge Zusammenarbeit mit dem in Plauen ebenfalls bereits vorhandenen Klimaschutzmanagement ist aufgrund der zahlreichen Synergien sowie geteilter Konflikte und Herausforderungen empfehlenswert. Für die Akzeptanz des Klimaanpassungsmanagements ist von zentraler Bedeutung, dass dieses innerhalb der Verwaltung keine Konkurrenz darstellt oder erzeugt. Zuständigkeiten und das Aufgabenspektrum sollten klar abgegrenzt und definiert werden und eine gute Erreichbarkeit des Klimaanpassungsmanagements sowohl für Verwaltung als auch Bevölkerung sichergestellt werden.

Das Aufgabenportfolio des Klimaanpassungsmanagements sollte zum einen die Koordination der Umsetzung von Maßnahmen, zum anderen aber auch die Kommunikation mit Öffentlichkeit und Akteuren (siehe Kapitel 8) und die Koordination des Controllings (siehe Kapitel 9) umfassen. Auch können Beschlussvorlagen oder neue Projekte entwickelt und gleichzeitig Beratung für Fachausschüsse geleistet werden. Weitere Aufgabenbereiche umfassen die Vernetzung mit anderen Institutionen und Akteuren der Klimaanpassung, beispielsweise aber nicht beschränkt auf, die Teilnahme am Klimaanpassungsnetzwerk Sachsen (LfULG). Außerdem wird die Sicherung von Ressourcen für die Umsetzung weiterer Vorhaben (zum Beispiel durch Förderanträge und Sensibilisierung der Verwaltung zur Verwendung interner Haushaltsmittel) und die turnusmäßige Überprüfung/ Erneuerung des Klimaanpassungskonzeptes zu den Aufgaben gehören. Zu diesem Zweck sind die bisherigen personellen Kapazitäten zu prüfen und ggf. zu erweitern.

Arbeitsgruppe Klimaanpassung

Während der Erstellung des vorliegenden Konzepts wurde von mehreren Akteuren die Etablierung einer fachübergreifenden Arbeitsgruppe Klimaanpassung gefordert, da Klimaanpassung eine amts- und abteilungsübergreifende Thematik ist. Im Idealfall sollte diese neben städtischen Akteuren auch Vernet-

zungen zu relevanten Stellen der Kreisverwaltung (z.B. Gesundheitsamt, Katastrophenschutz) beinhalten. Ziel der Arbeitsgruppe sollte vor allem in der Schaffung eines regelmäßigen Vernetzungs- und Austauschangebots liegen. Durch diesen regelmäßigen Austausch soll zum Ausbau der Zusammenarbeit und der Kommunikation zwischen relevanten und betroffenen (Verwaltungs-)Stellen beigetragen und damit die Verstetigung der Gesamtstrategie unterstützt werden. Durch die Akteursbeteiligung im Zuge dieses Konzeptes konnten bereits erste Kontakte geknüpft und Verbindungen hergestellt werden, welche nun fortgeführt und vertieft werden sollte.

Es empfiehlt sich die Leitung und Koordination der Arbeitsgruppe durch das Klimaanpassungsmanagement. Als weitere aktive Kernmitglieder der Arbeitsgruppe werden vorgeschlagen:

- FGL Tiefbau
- FGL Stadtplanung und Umwelt
- FGL Brandschutz
- SB Brandschau
- SB Gewässerunterhaltung
- LK Gesundheitsamt
- SB kommunales Grün
- SB Grün- und Umweltplanung
- SB Baumkontrolle
- SB Naturschutz
- SB Förster

Außerdem sollten die folgenden Stellen zumindest informativ einbezogen werden:

- Bürgermeister Geschäftsbereich II
- FBL Bau und Umwelt
- FBL Sicherheit und Ordnung
- FBL Jugend/Soziales/Schulen/Sport
- FBL Tourismus, Marktwesen, Stadtmarketing
- Betriebsleiter Gebäude- und Anlagenverwaltung (GAV)
- Medien- und Öffentlichkeitsarbeit
- Klimaschutzmanagement
- SB Lokale Agenda
- Wirtschaftsförderung
- LK Energiebeauftragter
- LK Katastrophenschutz, bzw. Stabsstelle für Krisenmanagement und Bevölkerungsschutz
- LK untere Wasserbehörde
- LK Obere Naturschutzbehörde
- LK Pflegenetzwerk
- LK Seniorenbeauftragte
- SB Behinderten- und Ausländerbeauftragte
- Zweckverband Wasser und Abwasser Vogtland
- Landestalsperrenverwaltung
- Immobilienservice Plauen GmbH
- Waldbesitzervereinigung
- SachsenForst
- Regionaler Bauernverband
- Wohnungsbaugesellschaft mbH
- AWG Wohnungsgenossenschaft Plauen eG
- Plauener Straßenbahn GmbH

Ein halbjähriger Austausch der Arbeitsgruppe wird angestrebt.

Festlegung von Zuständigkeiten in der Verwaltung

Anknüpfend an die dauerhafte Einrichtung des Klimaanpassungsmanagements ist für jeden Fachbereich, welcher relevant für die Klimaanpassung ist, ein konkreter Ansprechpartner zu benennen und Zuständigkeiten insgesamt klar zu definieren, um die interne Informationsvermittlung, Kooperation und Kommunikation zu vereinfachen.

Erhöhung des Stellenwerts von Klimaanpassungsbelangen

Häufig werden Maßnahmen, Ziele oder Erfordernisse der Klimaanpassung nur unzureichend umgesetzt oder gewichtet, da ihnen andere Belange, wie z. B. wirtschaftliche Ziele, die anders gewichtet und bewertet werden, entgegenstehen. In vielen Kommunen besteht ein politisches Defizit hinsichtlich der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen aufgrund fehlender politischer Prioritätensetzung und Unterstützung (Schuchardt und Wittig 2012, BBSR 2016). In engem Zusammenhang damit steht auch die Stärkung des Problembewusstseins sowie der Akzeptanz und Kompromissbereitschaft für Klimaanpassungsbelange. Oftmals richtet sich die Aufmerksamkeit erst darauf, wenn bereits Schäden durch Extremereignisse eingetreten sind. Das Aufzeigen von Risiken und Betroffenheiten mit einem konkreten räumlichen und lokalen Bezug kann dazu beitragen, dass Klimaanpassung frühzeitig auf die politische und administrative Agenda rückt. Denn dadurch wird nicht nur das Bewusstsein des Einzelnen geschärft, sondern auch die Bereitschaft zur proaktiven Berücksichtigung aufgrund der ableitbaren Handlungsrelevanz erhöht (Schuchardt und Wittig 2012, BBSR 2015). An dieser Stelle wird auch der Bedarf nach einer verbesserten Informationsbereitstellung deutlich, da die integrierte Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen und die damit einhergehende Kostenreduktion zur Steigerung von Akzeptanz führt. Daher sind gezielt Synergien zu nutzen und Klimaanpassungsmaßnahmen in ohnehin erforderliche bauliche Maßnahmen zu integrieren (BBSR 2015). Auch in zukünftigen Konzepten und Planungen der Stadt Plauen sollten Belange der Klimaanpassung umfangreich und integriert berücksichtigt werden. Insgesamt kann durch die gezielte Anwendung von Kommunikations-, Partizipations- und Kooperationsformaten zur Steigerung der Akzeptanz, Kompromissbereitschaft sowie des Problembewusstseins beigetragen werden (siehe Kapitel 8).

8. KOMMUNIKATIONSSTRATEGIE

Zur Vermittlung der Inhalte und des Umsetzungserfolgs der erarbeiteten Gesamtstrategie sowie zur Verbreitung des Themas Klimaanpassung in Öffentlichkeit, Verwaltung und Politik, ist eine passgenaue und zielgerichtete Kommunikationsstrategie elementar. Es werden die spezifischen Rahmenbedingungen, lokale und regionale Betroffenheiten sowie Möglichkeiten und Ressourcen relevanter Akteure der Stadt Plauen berücksichtigt und individuell zugeschnittene Vorschläge und Empfehlungen gemacht, durch die eine transparente und kontinuierliche Anpassungskommunikation erreicht werden kann. In den Maßnahmensteckbriefen wird das Thema bereits in den Steckbriefen M10 und M11 (Sensibilisierung der Bevölkerung bzw. der Stadtverwaltung und des Stadtrates gegenüber den Folgen des Klimawandels) aufgegriffen. Da das Thema Klimaanpassung aber als ganzheitliche Aufgabe zu verstehen ist, ist auch die Kommunikation losgelöst von konkreten Maßnahmen zu sehen und querschnittsorientiert in Öffentlichkeit, Verwaltung und Politik zu forcieren. Die Koordination der Klimaanpassungskommunikation sollte in erster Linie beim Klimaanpassungsmanagement der Stadt Plauen liegen, wenngleich sie in enger Zusammenarbeit mit der Medien- und Öffentlichkeitsarbeit der Stadt ausgeführt werden sollte. Die Zusammenarbeit ist entsprechend zu vertiefen, zu stärken und die verfügbaren personellen Ressourcen sind zu prüfen und ggf. zu erweitern.

Für die Stadt Plauen werden die folgenden Ziele für die Kommunikationsstrategie abgeleitet:

- Vermittlung und Bereitstellung von Informationen
- Schaffung von Problembewusstsein und Akzeptanz
- Aktivierung und Stärkung der Eigenvorsorge
- Förderung und Stärkung des Austauschs und der Zusammenarbeit (Netzwerkarbeit)

8.1. Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Kommunikationsprozess

Verschiedene Rahmenbedingungen und Faktoren können den Erfolg der Öffentlichkeitsbeteiligung und Umsetzung der Kommunikationsstrategie fördern. Zum Themenbereich Klima besteht in der Regel bereits ein Grundwissen und -verständnis, aber die Differenzierung zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung und deren spezifischer Belange und Betroffenheiten ist oftmals nur oberflächlich erfasst. Eine klarere Differenzierung und die Schaffung von Bewusstsein für die unterschiedlichen Belange sind daher anzustreben, allerdings ist es ebenso wichtig Synergien aufzuzeigen und direkt zu adressieren (Born et al. 2012). Hinsichtlich der Vermittlung von Wissen und Informationen zur Klimaanpassung ist darauf zu achten, dass die Informationen komprimiert und verständlich dargestellt werden (BMVBS 2013). Dabei ist nicht nur Sachwissen zu Gefahren und zur Problematik des Klimawandels zu vermitteln, sondern zudem auch Wissen über Handlungsoptionen mit Belegen zu deren Wirksamkeit bereitzustellen. Je nach Zielgruppe ist zudem zu filtern, welches Wissen notwendig und in welcher Detailtiefe sowie Art und Weise dies zu vermitteln ist, wobei konkret die jeweiligen Lebens- und Arbeitsbedingungen der Zielgruppen individuell zu berücksichtigen sind (UBA 2017a). Entsprechend sind Informationen zielgruppengerecht aufzubereiten und dabei an bestehendes (Praxis-)Wissen anzuknüpfen. Dabei können auch die Berücksichtigung aktueller Interessen, Belange oder Wünsche der Zielgruppen sowie die Einbindung von Schlüsselpersonen in den Kommunikationsprozess zum Umsetzungserfolg der Klimaanpassungsmaßnahmen beitragen (BMVBS 2013).

Die Kreis- und Kommunalverwaltungen haben in Belangen des Klimas eine Vorbildfunktion inne. Dabei kann die Außendarstellung der Verwaltung maßgeblich durch die Art und Weise der Klimaanpassungskommunikation bestimmt werden und ist eine weitere wichtige Stellschraube, um über Umsetzungserfolge, laufende Prozesse, Beratungsangebote oder die klimaangepasste Gestaltung kommunaler Liegenschaften zu berichten. Dies trägt zur Sensibilisierung sowie Stärkung von Motivation und Akzeptanz bei. Elementar ist zudem auch, ob Belange der Klimaanpassung positiv kommuniziert und dargestellt werden können. Es ist zu empfehlen, die vielfältigen positiven Auswirkungen, die durch die Umsetzung von Maßnahmen zur Klimaanpassung entstehen können, zu fokussieren. So können z. B. wirtschaftliche Vorteile durch die Minimierung von Schäden aufgezeigt werden, die daraus resultieren, dass Maßnahmen zur Vorsorge ergriffen worden sind und nicht erst im Nachgang eines Extremereignisses reagiert wird (BMVBS 2013). Zudem leisten viele Maßnahmen zur Anpassung einen direkten Beitrag zu einer lebenswerten Stadtentwicklung (Verbesserung des Klimakomforts, Verringerung potenzieller Schäden usw.). Gleichermaßen ist die Kommunikation auch transparent und offen zu gestalten und (Nutzungs-)Konflikte sind aktiv anzusprechen, da u. a. dies die Akzeptanz erhöhen und die Einbindung von betroffenen Akteuren zur Lösung von Konflikten beitragen kann (BMVBS 2013). Folglich geht es prinzipiell darum, die Kommunikation lösungsorientiert zu gestalten, denn durch die Vermittlung von Zuversicht und Hoffnung, trotz der globalen Klimakrise, wird der Einzelne darin bestärkt und motiviert, dass von kleinen Veränderungen große Effekte ausgehen können.

Die persönliche Risikowahrnehmung ist von Bedeutung bei der Ansprache von Akteuren, denn ein Risiko wird als relevanter wahrgenommen, wenn die adressierte Person einen persönlichen oder geographischen Bezug dazu herstellen kann. Dabei gilt es, möglichst sichere Klimawandelfolgen und wenig Unsicherheiten zu kommunizieren (UBA 2017a). Folglich ist es sinnvoll, lokale Beispiele zu verwenden und an konkreten Bereichen im Kreisgebiet mittels der Projektionen der Klimaanalysen oder vergangener Extremereignisse die lokalen Betroffenheiten zu verdeutlichen, um dadurch auch Emotionalität durch die persönliche Nähe zu erzeugen (BMVBS 2013). In diesem Zusammenhang bietet es sich an, Wettbewerbe auszuloben, um gute lokale Beispiele zu prämieren und darüber zu berichten und verschiedene Akteure aktiv einzubinden und zu motivieren. Auch können Zielgruppen direkt angesprochen und eingebunden werden, wenn sie die Gelegenheit erhalten, über eigene Erfahrungen mit Klimawandelfolgen und Schäden durch Extremereignisse zu berichten.

Entscheidend für die Schaffung und Erhöhung von Aufmerksamkeit und Bewusstsein für ein bestimmtes Thema ist auch der richtige Zeitpunkt der Kommunikation. Gelegenheitsfenster („window of opportunity“) sind zu nutzen, die sich eröffnen, wenn die öffentliche Aufmerksamkeit bereits auf das Thema gelenkt wurde, wie beispielsweise kurz nach einem lokalen Extremereignis (z. B. Starkregenereignis) oder aber auch bei medialer Berichterstattung über ein nationales oder internationales Ereignis (z. B. langanhaltende Hitzewelle und Dürre) (BMVBS 2013). Gerade die Wahrnehmung der eigenen Betroffenheit macht Menschen für weitere Informationen und Ansprachen empfänglicher (Born et al. 2012). Dennoch ist eine langfristige Auseinandersetzung mit Risiken und besonders die Eigenvorsorge und Ergreifung präventiver Maßnahmen notwendig, um große Schadensfälle durch Extremereignisse zu vermeiden (UBA 2017a). Mithin ist eine ganzjährliche Kommunikation sinnvoll, sie sollte aber entsprechend saisonaler Gegebenheiten ausgerichtet sein, zum Beispiel ist im Sommer verstärkt auf Hitzevorsorge hinzuweisen. Empfehlenswert ist zudem auch die Integration von besonderen Interessengruppen oder Schlüsselpersonen in das Prozessgeschehen, um die Akzeptanz und Wahrnehmung zu stärken (BMVBS 2013).

8.2. Zielgruppen und Kommunikationskanäle

Aufbauend auf den Zielen der Kommunikationsstrategie waren die konkreten Bedarfe der verschiedenen Zielgruppen zu ermitteln und zielgerichtete Kommunikationskanäle zu identifizieren, um Kommunikationsinstrumente entsprechend abzustimmen und auszuwählen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, welche konkreten Aussagen an die jeweilige Zielgruppe vermittelt werden sollen. Durch die passgenaue Kommunikation wird das Ziel verfolgt, die Aufmerksamkeit für das Thema Klimaanpassung in der öffentlichen Wahrnehmung und bei allen relevanten Akteuren zu erhöhen (Born et al. 2012). Die Aufmerksamkeit kann zudem durch die Ansprache und Einbindung von Multiplikatoren in den Kommunikationsprozess vergrößert werden. So können Hausärzte oder Apotheken für Senioren oder das Lehrpersonal bei Kindern und Jugendlichen als Multiplikatoren fungieren. Daher ist auch bei der Auswahl der Zielgruppen zu berücksichtigen, ob diese als Multiplikatoren dienen können (Kahlenborn et al. 2016). Abgesehen davon, liegt ein Augenmerk auch auf der Nutzung vorhandener und etablierter Kommunikationsformate und -kanäle bzw. Anknüpfung und Weiterentwicklung dieser. In Tabelle 22 werden die vielfältigen Möglichkeiten und Verknüpfungen der Zielgruppen und Instrumente in Plauen dargestellt.

Bisher haben sich im Bereich Klimaschutzmanagement in Plauen bereits einige Instrumente und Formate der Kommunikation etabliert bzw. als erfolgreich erwiesen, beispielsweise:

- Energie- und Klimadialog: Veranstaltung mit Vertretern der Stadtverwaltung, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zu Information und Austausch rund um aktuelle Klimaschutzprojekte / -themen der Stadt; 3x jährlich für geladene Gäste (nicht öffentlich); seit 2022
- Stadtradeln: Kampagne zum Radfahren; 3-wöchiger Aktionszeitraum zum Kilometersammeln mit dem Rad, anschließend Siegerehrung für beste Teams & Einzelradler; erstmals 2024 teilgenommen, ab sofort jährlich geplant; gute Resonanz in der Bevölkerung
- Earth Hour: jährliche Teilnahme an der WWF-Aktion, Altmarkt und Rathausturm werden abgeschaltet; Pressemitteilung + Social Media Beiträge dazu
- Eigene Erweiterung zum Plauener Corporate Design für alle Klima- / Nachhaltigkeitsthemen vorhanden (#nachhaltigaktiv), für Gestaltung von (Print-)Medien, Pavillon, Roll-Up, usw.
- Infoveranstaltung zur Kommunalen Wärmeplanung: Bürger konnten sich anmelden (online, per Mail, per Post, telefonisch) und vorab Fragen einreichen; Infos zur Kommunalen Wärmeplanung wurden zur Veranstaltung durch externen Dienstleister vorgestellt & eingereichte Fragen wurden beantwortet – keine offene Diskussionsplattform; Verbraucherzentrale stellte anschließend ihr Energieberatungsangebot vor; anschließend standen Experten der Dienstleister & Verbraucherzentrale für persönlich Einzelgespräche zur Verfügung – gute Resonanz, Fragen konnten geklärt werden, ohne dass ungeordnete Diskussion im Publikum entsteht oder Einzelpersonen eine zu große Bühne geboten wird; empfehlenswertes Format für Veranstaltungen zu kritischen Themen mit Meinungsvielfalt
- Energielehrpfad: gemeinsames Projekt der Stadtverwaltung mit Erich-Ohser-Grundschule und SAENA; Gestaltung Lehrpfad in einer Projektwoche; anschließend Errichtung mit Unterstützung von Sponsoren; ist öffentlich zugänglich, informiert über verschiedene Energiethemen in der Stadt; Flyer in Touristinfo

Tabelle 22: Kommunikationsmatrix.

Kommunikationskanäle / Zielgruppen	Passiv									Aktiv								
	Zeitung, lokale Medien (Radio/TV)	Pressemitteilungen & -termine	Kampagnen (Print & digital)	Plakate	Broschüren, Flyer	Website der Stadt Plauen	Social-Media, Apps	Newsletter	Persönliche Briefsendungen	Mitteilungs- und Amtsblätter	Informationsveranstaltungen	Fachveranstaltungen	Bildungsangebote	Vernetzungstreffen, AGs	Workshops	Beratungsangebote	Wettbewerbe	Aktionstage
Private Haushalte	X				X	X	X	X	X	X						X	X	X
Allgemeine Öffentlichkeit			X	X	X					X	X		X		X	X	X	X
Senioren/ Ü65	X			X	X					X			X			X		X
Kinder und Jugendliche			X	X	X		X						X				X	X
Bildungseinrichtungen, Schulen, Kindertagesstätten			X	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X	X	X
Krankenhäuser, Senioren- und Pflegeeinrichtungen	X		X	X	X			X		X		X	X	X	X	X	X	X
Wirtschaft bzw. Unternehmen			X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Energieversorger			X		X			X				X	X	X	X	X		
Wasserversorger			X		X			X				X	X	X	X	X		
Feuerwehr					X			X		X		X	X	X	X	X		
Landwirte			X		X			X		X		X	X	X	X	X	X	
Wald- und Forstbesitzer			X		X			X		X		X	X	X	X	X	X	
Vereine und Verbände			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
Netzwerke			X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X			
Presse und Journalisten	X	X	X				X	X		X	X	X						
Relevante Akteure der Kommunalverwaltungen						X				X	X	X	X	X	X	X		
Relevante Akteure der Kreisverwaltung						X				X	X	X	X	X	X	X		
Kommunalpolitik	X		X			X		X		X	X	X	X	X				X

9. CONTROLLINGKONZEPT

Ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche und langfristige Umsetzung des Klimaanpassungskonzeptes in der Stadt Plauen ist die Etablierung eines Controllingsystems mit regelmäßiger Berichterstattung. Damit wird das Ziel verfolgt, einen umfassenden Überblick über klimatische Bedingungen und das Umsetzungsgeschehen zu erlangen. Zudem können auch Rückkopplungen zwischen den tatsächlich eingetretenen Klimaveränderungen und der Bewertung des bisherigen Umsetzungserfolgs hergestellt und ggf. die Möglichkeit zur Nachsteuerung oder Neudefinition von Zielsetzungen oder Maßnahmen genutzt werden. Die folgenden Komponenten werden für das Controlling empfohlen und näher ausgeführt: Monitoring von Klimaveränderungen bzw. Klimawandelfolgen und die Evaluation der Umsetzung von Maßnahmen. Insgesamt umfasst das hier vorgeschlagene Controllingkonzept die beiden wesentlichen Elemente Monitoring und Evaluation (Abbildung 73).

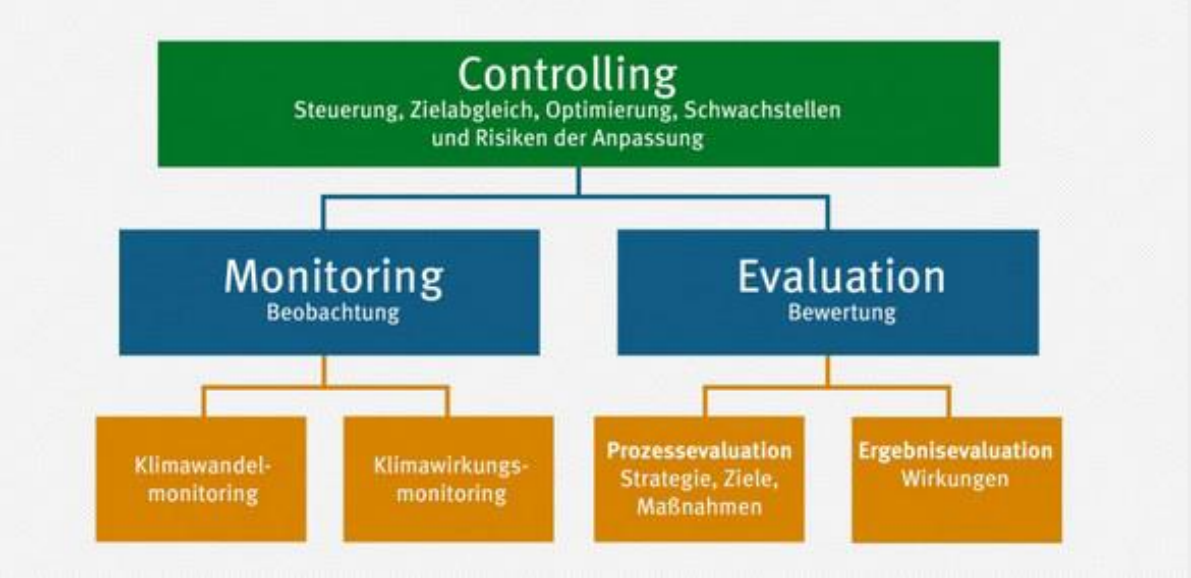


Abbildung 73: Übersicht über die Prinzipien des Controllingkonzeptes.

Die kontinuierliche Beobachtung und Dokumentation der klimatischen Entwicklung im Sinne eines Monitorings ist erforderlich, um Trends und Intensitäten der Auswirkungen des Klimawandels identifizieren und berücksichtigen zu können. Entsprechend sollen im Rahmen des Controllingberichts Daten zu Klimaveränderungen des jeweiligen Beobachtungszeitraums ausgewertet und dargestellt werden und mithin eine umfassende Wissens- und Entscheidungsgrundlage vorliegen. Außerdem soll die Berichterstattung über die deskriptive Wiedergabe des klimatischen Status Quo hinausgehen und durch die Evaluation der Maßnahmenumsetzung sowie der verwaltungsinternen Prozesse und Organisation sowohl Hemmnisse als auch Erfolge aufzeigen. Durch eine solche Evaluation wird langfristig die Umsetzung und Verstetigung von Belangen der Klimaanpassung sichergestellt, da dies auch zur Legitimation und Transparenz gegenüber der Öffentlichkeit, Politik und Wirtschaft beiträgt. Zudem können sich die bei der Evaluation sichtbar gemachten Erfolge auch positiv auf die Motivation und Akzeptanz von Akteuren und Beteiligten auswirken, insbesondere, wenn damit der erfolgreiche Einsatz öffentlicher Mittel aufgezeigt wird (Kaiser und Kind 2018).

9.1. Organisation des Controlling-Prozesses

Der im Konzept angedachte Controlling-Prozess sollte sich in zwei Ebenen gliedern: Das Monitoring des Klimawandels in Plauen und seiner Folgen und die Evaluation der Maßnahmenumsetzung. Die Rahmenbedingen für die Organisation dieses Prozesses sind im Vorhinein abzuklären, im Folgenden soll ein erster Entwurf als Vorschlag dargestellt werden, an dem sich die Stadt Plauen orientieren kann.

Für die Konzipierung der Maßnahmenevaluation werden folgende Empfehlungen formuliert (siehe Kaiser & Kind 2018):

1. (Frühzeitig) Ziele festlegen

   Das Festlegen der Ziele dient vor allem der klaren Ausrichtung der Evaluation und um mögliche Konflikte in der Bewertung der Maßnahmen zu vermindern.

   Für das Klimaanpassungskonzept der Stadt Plauen werden folgende (primäre) Ziele empfohlen:

   - Kontrolle der klimatischen Entwicklung und gegebenenfalls Anpassung der Priorisierungen und Zeitpläne
   - Kontrolle der Funktion von Prozessen und Strukturen
   - Erfolgskontrolle und Anpassung/Verbesserung des Maßnahmenplanes
   - Kommunikation von Erfolgen an Öffentlichkeit sowie ggf. Fördermittelgeber

2. Wer führt die Evaluation durch?

   Die Einschätzung des Fortschritts des Anpassungsprozesses kann sowohl intern als auch extern erfolgen. Im ersten Fall wird eine interne Evaluation durch das KAM, ggf. unter Mitwirkung der Arbeitsgruppe Klimaanpassung als sinnvoll angesehen. Um die Objektivität und Akzeptanz der kommunizierten Ergebnisse zu steigern, kann es zusätzlich sinnvoll sein, externe Dienstleister mit einzubeziehen. Aufgrund des hohen Kosten- und Zeitaufwandes ist dies jedoch nur in Einzelfällen, zum Beispiel bei besonders großen oder brisanten Projekten realistisch.

3. Was sind hilfreiche Datengrundlagen?

   Die Festlegung der Datengrundlagen dient zum einen der Vergleichbarkeit der Evaluationen (Verwendung derselben Ansätze), verringert zum anderen auch den Aufwand und erhöht die Objektivität. In den Maßnahmensteckbriefen sowie in Kapitel 4.2 sind mögliche Indikatoren zur Evaluation des Umsetzungserfolgs der jeweiligen Maßnahme bzw. Anpassungsziele in den priorisierten Klimafolgen aufgeführt.

4. Umfang der Evaluation passend zu den Ressourcen gestalten

   Die finanziellen, zeitlichen und personellen Möglichkeiten müssen bei der Planung der Evaluation beachtet werden, um unrealistische Erwartungen zu vermeiden. Dies ist zum einen durch

die o. g. interne Evaluation gegeben. Zusätzlich kann der zeitliche Rahmen durch die Verwendung von klaren Evaluierungsprotokollen sowie die Verwendung gut verfügbarer Datengrundlagen gering gehalten werden.

Auch sollte der Turnus der Evaluationen festgelegt werden, um für eine klare Veröffentlichungsstruktur zu sorgen. In Anlehnung an die angestrebte ZUG-Förderung werden die hier folgenden Zeiträume empfohlen. Diese müssen gegebenenfalls an das Klimaanpassungsgesetz bzw. die daraus abgeleiteten Vorgaben des Landes Sachsen angepasst werden.

- Monitoring von Klimawandelfolgen: alle 3 Jahre in Form eines „Controlling-Berichtes“
- Evaluation der Umsetzung von Maßnahmen: jährlich als Kurzbericht verwaltungsintern; alle 3 Jahre als Teil des „Controlling-Berichtes“
- Evaluation der Arbeitsgruppe Klimaanpassung: nach 3 Jahren, weitere Evaluationen sind hier je nach Ergebnissen festzulegen

5. Welche Akteure sollen eingebunden werden?

   Durch die bereits genannten durchführenden Hauptakteure KAM und Arbeitsgruppe Klimaanpassung sollten bereits eine Vielzahl relevanter Akteure beteiligt sein. Jedoch kann es in den Einzelfällen der jeweiligen Maßnahmenevaluierungen sinnvoll sein, Personen oder Institutionen aus folgenden Bereichen zu integrieren:

   - Am Maßnahmenprozess beteiligte (politische Ebene/ Forschung und Beratung/…)
   - An der praktischen Umsetzung der Maßnahmen beteiligte
   - Personen mit Fachexpertise
   - Kommunikationsinstitutionen (Presse/Öffentlichkeit/…)

6. Gibt es parallellaufende Prozesse?

   Andere Vorgänge, zum Beispiel Antrags- und Berichtsprozesse bei Fördermittelgebern sollen so mit der Evaluation von Maßnahmen abgestimmt werden, dass möglichst viele Synergien entstehen und Mehraufwand vermieden wird. Da diese Vorgänge noch nicht gänzlich absehbar sind, können hier keine konkreteren Empfehlungen gegeben werden. Es wird jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass beispielweise ein Abweichen vom empfohlenen Evaluationsturnus im Rahmen solcher Angleichungen sinnvoll und erwünscht ist.

7. Wie wird mit den Ergebnissen umgegangen?

   Im Sinne der Transparenz und Akzeptanz von Klimaanpassungsmaßnahmen in der Stadt Plauen sollte grundlegend eine öffentliche Kommunikation der Ergebnisse angestrebt werden. Diese ist jedoch nicht für jede Einzelmaßnahme und in der durchgeführten fachlichen Tiefe sinnvoll, sondern die Ergebnisse sollten vielmehr im Sinne der Verständlichkeit zusammenge-

fasst und übersichtlich dargestellt werden. Daher ist für die tatsächliche Einzelmaßnahmenevaluation in vielen Fällen sicher die interne Weitergabe und Kommunikation an relevante Akteure (s. o.) sinnvoller.

Mögliche Veröffentlichungsformen sind im Detail in Kapitel 8.2 dargestellt, generell kann aber empfohlen werden:

- Klimawandelfolgen/-veränderungen: öffentlich auf Website des Klimaanpassungsmanagements sowie über weitere Presseformate der Stadt Plauen
- Evaluation der Umsetzung von Maßnahmen – Details: verwaltungsintern z. B. im Rahmen der Arbeitsgruppe Klimaanpassung + relevante Akteure
- Evaluation der Umsetzung von Maßnahmen – Fortschrittsberichte: Öffentlich, z. B. Website des Klimaanpassungsmanagements/ Presse

Der Arbeits- bzw. Zeitaufwand, der sich durch das Controlling für das Klimaanpassungsmanagement ergibt, ist in Tabelle 23 abgeschätzt. Es ist jedoch wichtig darauf hinzuweisen, dass es sich hierbei um Schätzungen nach heutigem Stand handelt, welche durch z. B. die Qualifikation des Personals oder die Umsetzung der Arbeitsgruppe Klimaanpassung deutlich nach oben oder unten abweichen können.

Investitionen in Messtechnik sind beim Klimaanpassungsmanagement für die Durchführung des Controllings nicht notwendig, da hier auf bestehende Daten und Veröffentlichungen Dritter zurückgegriffen wird bzw. von den Maßnahmenumsetzenden aktuelle Indikatorenwerte abgefragt werden. Die Investitionen beschränken sich demnach auf eine normale Büroausstattung (Laptop, Bürosoftware, etc.).

Ein jährliches Zeit- und Finanzbudget sollte für regelmäßige fachliche Weiterbildungen, z. B. in Fachwissen und Software, vorgehalten werden.

Tabelle 23: Geschätzter Zeitaufwand des Klimaanpassungsmanagements im Bereich Controlling.

Aufgabenkomplex	Arbeitsaufwand (Arbeitstage)	Turnus
Recherche von Klimawandeldaten und -folgen	3-4	3-jährlich
Recherche der Erfolgsindikatoren für Anpassungsziele	4-5	3-jährlich
Maßnahmenevaluation	4-5	Jährlich
Evaluation der Umsetzung der Arbeitsgruppe Klimaanpassung	1	3-jährlich
Erstellung des verwaltungsinternen Maßnahmenberichtes	2-3	Jährlich
Erstellung des „Controlling-Berichtes“	3-4	3-jährlich
Aufbereitung für Öffentlichkeitskommunikation	4-5	Jährlich
Berichterstattung in Gremien und Ausschüssen	Je nach Terminen	
Fachliche Weiterbildung	Je nach Grundqualifikation	jährlich

9.2. Monitoring von Klimawandel und -folgen (Top-down-Controlling)

Der erste Baustein des Controllings ist das kontinuierliche, standardisierte und indikatorbasierte Monitoring eingetretener Klimaveränderungen und klimawandelbedingter Auswirkungen. Die systematische Erfassung von Klimaveränderungen kann durch ein Klimamonitoringsystem sowie weitere ausgewählte Indikatoren geschehen. Dabei handelt es sich um Maßnahmen des Top-Down-Controllings, bei dem

aus der „Vogelperspektive“, also aus einem übergeordneten Blickwinkel über das gesamte Untersuchungsgebiet auf den Fortschritt der Klimaanpassung geschaut wird (Difu 2023).

In Sachsen existiert ein auf klimasensitiven Indikatoren basierendes Klimafolgenmonitoring. Die Durchführung des Klimafolgenmonitoring Sachsen ist im Maßnahmenplan des Energie- und Klimaprogramms Sachsen (EKP 2021), unter anderem in der Maßnahme 9.03 festgeschrieben. Die Einteilung der Indikatoren basieren auf den Empfehlungen des Umweltbundesamtes im DAS-Monitoring und des EKP Sachsen (2021), um eine vollständige und kompakte Übersicht mit relevanten Indikatoren für Sachsen zu schaffen (SMEKUL 2024). Das sächsische Klimafolgenmonitoring wird weiterhin überarbeitet und weiterentwickelt; daher sollte es vor der Durchführung stets auf Aktualisierungen überprüft werden.

Da im sächsischen Klimafolgenmonitoring nicht für alle Handlungsfelder passende Indikatoren gefunden werden konnten, werden außerdem die für ganz Deutschland geltenden *Indikatoren zu Klimawandelfolgen und Anpassung* aus dem „Monitoringbericht 2023 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ des Umweltbundesamtes (UBA 2023) betrachtet.

Tabelle 24: Indikatoren zum Monitoring der Klimawandelfolgen für Sachsen (SMEKUL 2024) und deutschlandweit (DAS, UBA 2023), sowie Zuständigkeiten für die Evaluation in der Stadt Plauen

Handlungsfeld	Indikatoren SMEKUL	Indikatoren DAS	Zuständigkeiten
Überschwemmungen durch Starkregen	-	• WW-I-4 Hochwasser • WW-I-5 Spitzenabflüsse in Fließgewässern • BAU-I-4 Starkregen im Siedlungsbereich • BAU-I-5 Schadenaufwand in der Sachversicherung • VE-I-3 Starkregen und Straße • VE-I-4 Wetter- und Witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle • VE-I-5 Wetter- und Witterungsbedingte Beeinträchtigungen von Straßen • VE-I-6 Wetter- und Witterungsbedingte Störungen der Schieneninfrastruktur • BS-I-1 Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenereignissen	Initiierung der Evaluation: • KAM Analyse von Änderungen der Rahmenbedingen (Klimatische Situation, Klimawandelfolgen): • KAM Neubewertung der Betroffenheiten und Priorisierungen: • FG Tiefbau • SB Hochwasserschutz Erstellung des Evaluationsberichtes: • KAM Aktualisierung der Anpassungsstrategie: • KAM
Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen	• Bodenerosion • Humusgehalt	• BO-I-1 Bodenwasser in landwirtschaftlich genutzten Flächen • BO-I-3 Regenerosivität	Initiierung der Evaluation: • KAM Analyse von Änderungen der Rahmenbedingen (Klimatische Situation, Klimawandelfolgen): • KAM Neubewertung der Betroffenheiten und Priorisierungen: • Sächsischer Landesbauernverband • Regionalbauernverband Vogtland e.V. Erstellung des Evaluationsberichtes: • KAM Aktualisierung der Anpassungsstrategie: • KAM

Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung	• standardisierter Grundwasserindex • Jahreszeitliche Auflösung der Abflüsse	• WW-I-3 Mittlerer Abfluss • WW-I-6 Niedrigwasser • WW-I-10 Wassertemperaturen von Fließgewässern	Initiierung der Evaluation: • KAM Analyse von Änderungen der Rahmenbedingen (Klimatische Situation, Klimawandelfolgen): • KAM Neubewertung der Betroffenheiten und Priorisierungen: • SB Gewässerunterhaltung Erstellung des Evaluationsberichtes: • KAM Aktualisierung der Anpassungsstrategie: • KAM
Wärmebelastung für die Bevölkerung	-	• GE-I-1 Hitzebelastung • GE-I-2 Hitzebedingte Todesfälle • BAU-I-1 Wärmebelastung in Städten • BAU-I-2 Sommerlicher Wärmeinseleffekt • BAU-I-3 Kühlgradtage • IG-I-1 Hitzebedingte Minderung der Leistungsfähigkeit	Initiierung der Evaluation: • KAM Analyse von Änderungen der Rahmenbedingen (Klimatische Situation, Klimawandelfolgen): • KAM Neubewertung der Betroffenheiten und Priorisierungen: • Gesundheitsamt Vogtland • FG Stadtplanung und Umwelt • FB Jugend/Soziales/Schulen/Sport Erstellung des Evaluationsberichtes: • KAM Aktualisierung der Anpassungsstrategie: • KAM
Trockenstress auf Waldflächen	• Bodenwasser • I-F3 Ausprägung und Auswirkung physiologisch wirksamer Trockenheit • I-F7 Veränderungen in der forstlichen Phänologie • I-F8 Klimatische Wasserbilanz in der forstlichen Vegetationszeit	• BO-I-2 Bodenwasser in Waldböden • FW-I-2 Holzzuwachs • FW-I-3 Waldzustand • FW-I-4 Absterberate • FW-I-5 Schadholz-Umfang nicht planmäßiger Nutzungen • FW-I-8 Waldbrandgefährdung und Waldbrand	Initiierung der Evaluation: • KAM Analyse von Änderungen der Rahmenbedingen (Klimatische Situation, Klimawandelfolgen): • KAM Neubewertung der Betroffenheiten und Priorisierungen: • Revierförster • Forsttechniker Erstellung des Evaluationsberichtes: • KAM Aktualisierung der Anpassungsstrategie: • KAM
Trockenstress für das Stadtgrün	-	• BAU-I-1 Wärmebelastung in Städten • BAU-I-2 Sommerlicher Wärmeinseleffekt	Initiierung der Evaluation: • KAM Analyse von Änderungen der Rahmenbedingen (Klimatische Situation, Klimawandelfolgen): • KAM Neubewertung der Betroffenheiten und Priorisierungen: • SB Kommunales Grün • SB Grün- und Umweltplanung • SB Baumpflege • SB Kommunaler Naturschutz

			Erstellung des Evaluationsberichtes: • KAM Aktualisierung der Anpassungsstrategie: • KAM

Mit Hilfe der in Tabelle 24 zusammengetragenen Indikatoren soll eine Anregung gegeben werden, anhand welcher Daten das Auftreten von Klimawandelfolgen überprüft und daraufhin die Notwendigkeit, Dringlichkeit und Priorisierung von entsprechenden Maßnahmen in den Handlungsfeldern angepasst werden können. Weiterhin sollten auch Indikatoren zur Klimaentwicklung betrachtet werden, wie Temperaturentwicklung, Niederschlagsentwicklung, Trockenheitsentwicklung u. v. m. Dazu werden die kommunalen Klima-Steckbriefe des Regionalen Klimainformationssystem (ReKIS) für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen empfohlen, welche unter http://rekis.hydro.tu-dresden.de/kommunal/#Steckbriefe (Letzter Zugriff 15.07.2024) in übersichtlicher PDF-Steckbrieform abrufbar sind. In diesen Steckbriefen finden sich übersichtlich zusammengefasst und in gut aufbereiteter Form Informationen zu wichtigen Klimaparametern, welche zur Einschätzung der klimatischen Entwicklung in Plauen genutzt werden können. Anhand dieser sollte die projizierte und in diesem Konzept angenommene Entwicklung validiert werden und bei starken Abweichungen Maßnahmen entsprechend, z. B. in ihrer Priorisierung, angepasst werden.

9.3. Evaluation der Umsetzung von Maßnahmen (Bottom-up-Controlling)

Der zweite Bestandteil des Controllings ist die Bewertung des Umsetzungsstandes bzw. -erfolgs der Maßnahmen des Klimaanpassungskonzeptes. Hierbei handelt es sich um die Strategie des ‚bottom-up'-Controlling, da „von unten", aus der Perspektive konkreter, lokaler Einzelmaßnahmen auf den Fortschritt der Klimaanpassung geschaut wird (Difu 2023). Gerade im Hinblick auf den Umsetzungsfortschritt vorgeschlagener und begonnener Maßnahmen erscheint eine Bewertung anhand quantitativer Beobachtungen nicht ausreichend, weswegen zusätzlich auch qualitative Methoden zum Einsatz kommen. Die Darstellung erreichter Meilensteine ist dabei von ebenso großer Bedeutung wie das Aufzeigen von Herausforderungen und Hemmnissen, damit Verbesserungen vorgenommen werden können. Zudem kann durch eine Bewertung auch geprüft werden, ob und inwiefern sich Rahmenbedingungen und Grundlageninformationen verändert haben. So besteht die Möglichkeit, z. B. instrumentelle Neuerungen, technische Innovationen oder rechtliche sowie klimatische Veränderungen zu berücksichtigen und das Konzept sukzessive und kontinuierlich zu verbessern und zu aktualisieren.

Ein Ansatzpunkt zur Überprüfung und Evaluation von Maßnahmen ist der Abgleich des Fortschritts mit den für die Gesamtstrategie erarbeiteten übergeordneten Anpassungszielen. Auch durch die kontinuierliche Rückkopplung von Anpassungszielen und tatsächlich eingetretenen Klimaveränderungen, können neue Anpassungs- und Nachsteuerungsbedarfe identifiziert und Erfolge deutlich sicht- und kommunizierbar werden. Indikatoren zur Überprüfung des Umsetzungserfolges sind für die übergeordneten Handlungsfelder in Tabelle 17 (Kapitel 4.2) bzw. konkret für einzelne Maßnahmen in den Steckbriefen (Kapitel 5.2) nachgeschlagen werden.

Die Evaluation der Einzelmaßnahmen kann anhand der folgenden Checkliste durchgeführt werden:

Evaluation der Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen in der Stadt Plauen

SPITZEN STADT PLAUEN

Maßnahmencode	Bezeichnung der Maßnahme
Datum der Evaluation (M/J)	
Bearbeitung durch	
Zielsetzung der Maßnahme	
Beschreibung der Maßnahme	

Aktueller Status

☐ nicht gestartet ☐ zurückgestellt ☐ Planung ☐ Anlaufend ☐ Umsetzung ☐ umgesetzt, Nachsteuerung nötig ☐ abgeschlossen	Neutrale Beschreibung des aktuellen Stands der Maßnahme in einigen Sätzen, Nennung von erreichten Meilensteinen.

Bewertung des aktuellen Status

Vergleich des aktuellen Status (Ist-Zustand) mit dem geplanten Zustand (Soll-Zustand). Welche Meilensteine wurden (noch nicht) erreicht?

Bewertung der Kosten

	SOLL	IST	Bewertung der Kostenentwicklung: Kostensteigerungen/ geringere Ausgaben? Anpassungsbedarf der Maßnahme?
Investitionskosten			
Laufende Kosten			
Sonstige Kosten			

Beobachtete Wirkung der Maßnahme

Qualitative Beschreibung der beobachteten Wirkungen, betreffend der Klimaanpassung, aber auch Synergieeffekte oder Konflikte.

Probleme und Herausforderungen bei der Umsetzung der Maßnahme

Beschreibung von Schwierigkeiten, die sich bei der Umsetzung ergeben haben.

Lösungsansätze

Beschreibung von Lösungsvorschlägen und -ansätzen für die genannten Probleme

Weitere Schritte

Empfehlungen zu zentralen Schritten zur weiteren Umsetzung/Nachsteuerung, abgeleitet aus den gesammelten Ergebnissen, wenn möglich inklusive Angabe für zeitlichen Rahmen und Verantwortlichkeiten.

9.4. Zertifizierung

In der Stadt Plauen fand mit dem European Energy Award (eea, https://www.european-energy-award.de) zwischen 2008 und 2024 bereits ein europäisches Qualitätsmanagement und Zertifizierungsverfahren Anwendung, mit welchem alle Energie- und Klimaschutzaktivitäten der Stadt regelmäßig und standardisiert überwacht und bewertet wurden. Analog zum eea wurde mit dem European Climate Adaptation Award (eca, https://www.european-climate-award.de) auch ein Qualitätsmanagementsystem und Zertifizierungsverfahren für Städte und Gemeinden entwickelt, mit welchem die effektive und effiziente Umsetzung von Klimafolgenanpassungsmaßnahmen unterstützt wird. Im Zuge des eca-Prozesses erhält eine Kommune individuelle Unterstützung durch einen eca-Beratenden bei der Durchführung einer Klimawirkungsanalyse, der Erstellung eines Arbeitsprogramms sowie bei der Umsetzung von Projekten. Bei erfolgreichem Ablauf dieses Prozesses wird die Kommune mit dem eca-Award zertifiziert und ausgezeichnet. Da die Stadt Plauen bereits am eea teilgenommen hat, wäre es naheliegend, eine Teilnahme am eca zu erwägen und einerseits professionelle Unterstützung zu erhalten, aber andererseits auch ein sichtbares Zeichen des kommunalen Engagements im Bereich der Klimaanpassung zu setzen.

10. AUSBLICK

Das Klimaanpassungskonzept wurde durch das Klimaschutzmanagement initiiert und ergänzt die langjährigen Bemühungen der Stadt im Bereich des Klimaschutzes. Klimaanpassung wird als ämter- und themenübergreifende Gemeinschaftsaufgabe angesehen und sollte in der Politik, der Verwaltung und der Öffentlichkeit verankert werden. Die Stadt Plauen möchte durch das Klimaanpassungskonzept eine effektivere Vorsorge betreiben können, statt in der kostspieligeren Nachsorge hängen zu bleiben. Dadurch können künftig Schäden verringert oder sogar vermieden und die Lebensqualität der Stadt bewahrt werden. Das Ziel besteht, dass Plauen in den kommenden Jahren klimaangepasster wird und das Leben der Bevölkerung so geschützt bleibt.

Das Klimaanpassungskonzept stellt die lokalen Gegebenheiten der Stadt Plauen im Zusammenhang mit dem Klimawandel dar. So wurden die Betroffenheiten ermittelt und entsprechend der Anpassungskapazitäten Anpassungsmaßnahmen entwickelt. Die erarbeiteten Maßnahmen sollen in den kommenden Jahren umgesetzt werden. Um die Fortführung des Klimaanpassungsmanagements zu gewährleisten und die Umsetzung erster Maßnahmen sicher zu stellen, wurde bereits eine Anschlussförderung für weitere drei Jahre beantragt.

Die Stadtverwaltung ist durch die bisherige Arbeit des Klimaanpassungsmanagements sensibilisiert worden, dass diese Aspekte weiterhin Beachtung finden sollen. In künftigen Projekten können die Erkenntnisse dieses Konzeptes genutzt und eingearbeitet werden.

Während der Erstellung des Klimaanpassungskonzeptes trat das Klimaanpassungsgesetz in Kraft, welches einen verbindlichen Rechtsrahmen für die Anpassungen an den Klimawandel stellt. Die Verantwortung liegt hierbei sowohl auf Bundes-, Landes- als auch kommunaler Ebene. So wird künftig von Kommunen ein Klimaanpassungskonzept verlangt. Zudem tritt ein Berücksichtigungsgebot der Klimaanpassungsbelange in Planungen und Entscheidungen in Kraft.

Durch die Erarbeitung eines Klimaanpassungskonzeptes stellt die Stadt Plauen eine Vorreiterrolle im Vogtland dar. Es stellt die Basis für weitere Bemühungen dar und bildet die Grundlage für die kommende Umsetzung. Durch das Klimaanpassungskonzept kommen künftig weitere Aufgaben auf die Stadt zu, die sowohl auf ressourcenarmen als auch ressourcenintensiven Maßnahmen basieren. Einerseits können die erarbeiteten Maßnahmen in Bestandsmaßnahmen und bestehende Prozesse integriert werden. Darüber hinaus muss jedoch der Mittel- und Personalbedarf an kommende Personal-, Investitions- und Unterhaltungsausgaben angepasst werden. Finanzielle Fördermöglichkeiten gilt es hierbei auszuschöpfen, um die Anpassungskapazität der Stadt zu erhöhen.

Der Erfolg dieses Klimaanpassungskonzepts ist abhängig von der Umsetzung!

LITERATUR

BAUGB (BAUGESETZBUCH) (2017): Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 20. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 394) geändert worden ist. Online unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/BauGB.pdf (Letzter Zugriff: 27.09.2024).

BONAFONI, S., BALDINELLI, G. & P. VERDUCCI (2017): Sustainable strategies for smart cities: Analysis of the town development effect on surface urban heat island through remote sensing methodologies. In: Sustainable Cities and Society, Heft 29, S. 211-218.

BBD – Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel; vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. Berlin. Online unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaanpassung/das_gesamt_bf.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

BBD – Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel; vom Bundeskabinett am 31. August 2011 beschlossen. Berlin. Online unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaanpassung/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

BBSR – Bundessinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.) (2015): Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung. Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte. Ergebnisbericht der fallstudiengestützen Expertise „Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen als kommunale Gemeinschaftsaufgabe“. Bonn. Online unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2015/DL_UeberflutungHitzeVorsorge.pdf;jsessionid=C6FE5A28A2C2A9399F0AFD07DAFA8F86.live11294?__blob=publicationFile&v=1 (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.) (2016): Klimaschutz und Klimaanpassung im Stadtumbau Ost und West. BBSR-Online-Publikation Nr. 11/ 2016. Bonn. Online unter: https://www.staedtebaufoerderung.info/SharedDocs/downloads/DE/WeitereProgramme/Stadtumnau/klimaschutz-klimaanpassung.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.) (2013): Kommunikationsinstrumente im Anpassungsprozess an den Klimawandel. Erfahrungen aus den Beteiligungsprozessen in den StadtKlima-ExWoSt-Modellprojekten. BMVBS-Online-Publikation 28/2013. Online unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/bmvbs-online/2013/DL_ON282013.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Letzter Zugriff: 02.07.2024).

BORN, M., LIEBERUM, A. & C. KÖRNER (2012): Prinzipien der Anpassungskommunikation im Projekt „nordwest2050“. Nordwest2050-Werkstattbericht Nr. 15. Bremen.

BRONTO, V. C. & H. BULKELEY (2013): A survey of urban climate change experiments in 100 cities. In: Global environmental change, Heft 23/1, S. 92-102.

BRUNS, J. & V. SIMKO (2017): Stable hotspot analysis for intra-urban heat islands. In: GI Forum 2017, Heft 5, S. 79-92.

CARMIN, J., DODMAN, D. & E. CHU (2013): Urban climate adaptation and leadership. From Conceptual Understanding to Practical Action. In: OECD Regional Development Working Papers, Heft 2013/26, OECD Publishing

DEUTSCHES KLIMAPORTAL (2020): Stadtklima – Wie wir auch in Zukunft im Klima unserer Städte gut leben können. Online unter: http://www.deutschesklimaportal.de/DE/Themen/3_Stadtklima/Stadtklima_node.html (Letzter Zugriff: 08.07.2020).

DIFU – Deutsches Institut für Urbanistik (2023): Klimaschutz in Kommunen: Praxisleitfaden. Im Auftrag von Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). 4. Auflage. Berlin. ISBN 978-3-88118-683-4. https://doi.org/10.34744/0gqz-yq65. Online unter: https://leitfaden.kommunaler-klimaschutz.de/ (Letzter Zugriff: 07.10.2024)

DKRZ – Deutsches Klimarechenzentrum (2022): Die SSP-Szenarien. Online unter: https://www.dkrz.de/de/kommunikation/klimasimulationen/cmip6-de/die-ssp-szenarien (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.) (2016): DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 119. Risikomanagement in der kommunalen Über-flutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Hennef.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2017): Kaltluftabflusssimulation mit KLAM_21 für die Stadt Leipzig und Umgebung. Abteilung Klima- und Umweltberatung. Offenbach. Online unter: https://static.leipzig.de/fileadmin/mediendatenbank/leipzig-de/Stadt/02.3_Dez3_Umwelt_Ordnung_Sport/36_Amt_fuer_Umweltschutz/Energie_und_Klima/Stadtklima/Gutachten_KLAM_21_Leipzig_Abgabe_m_Titel.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

DWD – Deutscher Wetterdienst (2020a): Stadtklima – die Städtische Wärmeinsel. Online unter: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_waermeinseln/startseite_projekt_waermeinseln.html (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

DWD – Deutscher Wetterdienst (2020b): Stadtklima. Online unter: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102248&lv3=102558 (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

EYRING, V., BONY, S., MEEHL, G. A., SENIOR, C. A., STEVENS, B., STOUFFER, R. J., & K. E. TAYLOR (2016): Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. In: Geoscientific Model Development, Heft 9/5, S.1937–1958. Online unter: https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016 (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

FEHLHAUER, G. (2013): Hochwasser im Vogtland 1954 und 2013 (Archivbilder). Sutton Verlag.

GANDHI, G. M., PARTHIBAN, S., THUMMALU, N. & A. CHRISTY (2015): NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and gis – A case study of Vellore District. In: Procedia Computer Science, Heft 57, S. 1199-1210.

GEIßLER, C. & F. DRÖSCHER (2017): Stadt Reutlingen – Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung.

GROTHMANN, T., DEHNHARDT, A., WAGNER, J. & WELLING, M. (2021): Kosten-Nutzen-Analysen in der Klimaanpassungsplanung und –politik. Wofür sie nutzbar sind und was für ihre Nutzbarkeit wichtig ist. Online unter: https://www.ioew.de/publikation/kosten_nutzen_analysen_in_der_klimaanpassungsplanung_und_politik (Letzter Zugriff: 27.09.2024).

GRIMMOND, S., XU, T. & A. BAKLANOV (2014): Towards integrated urban weather, environment and climate services. In: WMO Bulletin, Heft 63/1, S. 10-14.

HELBIG, K. (2019): Warum es auf der Erde wärmer wird. Unterricht Biologie – Wissen vernetzen. Heft Nr. 449. Online unter: https://www.friedrich-verlag.de/biologie/oekologie/warum-es-auf-der-erde-waermer-wird-1838 (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

HUBER, B. & DUNST, L. (2020): Klimaanpassung in der Bauleitplanung. Zum Integrationsstand klimaanpassungsrelevanter Maßnahmen in Flächennutzungs- und Bebauungsplänen mittelgroßer Städte Deutschlands. In: Raumforschung und Raumordnung 2021, 79/5: 501–517. Online unter: https://rur.oekom.de/index.php/rur/article/view/34/216 (Letzter Zugriff: 27.09.2024).

IMHOFF, M. L., ZHANG, P., WOLFE, R. E. & L. BOUNOUA (2009): Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. In: Remote sensing of environment, Heft 114/3, S. 504-513.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2007): Klimaänderung 2007. Synthesebericht. Stuttgart. Online unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/IPCC2007-SYR-german.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024)

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2012): Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. Online unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. Online unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2014a): Klimaänderung 2014. Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Berlin. Online unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/AR5-WGII_SPMgerman.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2014b): Climate Change 2014: Impacts, adaption, and vulnerability. Kernbotschaften des Berichts. Yokohama. Online unter: https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/ (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2021a): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Yokohama. Online unter: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1 (Letzter Zugriff 17.02.2022).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2021b): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu & B. Zhou (Hrsg.)]. Cambridge University Press. In Press.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change Hrsg.) (2022a): Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S.

Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem & B. Rama (Hrsg.)]. Cambridge University Press. In Press.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change (2022b): Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.

KAnG (Bundes-Klimaanpassungsgesetz) (2023): Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG) vom 20. Dezember 2023. Bundesgesetzblatt Teil I. Ausgegeben zu Bonn am 22. Dezember 2023, Nr. 393. Online unter: https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/393/VO (Letzter Zugriff: 27.09.2024).

Kahlenborn, W., Kind, C., Becker, R. & T. Grothmann (2016): Ansätze und Erfolgsbedingungen in der Kommunikation zum Umgang mit Extremereignissen. Anpassung an den Klimawandel alltagstauglich machen und Eigenvorsorge stärken. In: Climate Change 25/2016. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_25_2016_ansaetze_und_erfolgsbedingungen_in_der_kommunikation.pdf (Letzter Zugriff: 02.07.2024).

Kaiser, T. & C. Kind (2019): Handreichung zur Entwicklung von Methoden für die Evaluation von Anpassungsstrategien. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/handreichung_zur_entwicklung_von_methoden_fuer_die_evaluation_von_anpassungsstrategien.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X. & M. Wehner (2013): Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. In: Climatic Change, Heft 119/2, S. 345–357. DOI: 10.1007/s10584-013-0705-8.

Kowarik, I., Bartz, R. & Brenck, M. (Hrsg.) (2016): Naturkapital Deutschland – TEEB DE. Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Berlin, Leipzig.

Kurmutz, U., Gude, M., Maercker, J., Knopf, D., Knetsch, S., Gebhardt, O., Kober, H., Lerm, M., Reinhardt, F., Sittig, Y. & B. Vetter (2012): Handbuch Klimawandelgerechte Stadtentwicklung für Jena. In: Schriften zur Stadtentwicklung, Heft 3, S. 1-156.

Kurmutz, U., Knopf, D., Maercker, J., Knetsch, S., Dr. Mann, M., Bischoff, S. & A. Nozik (2018): Grüne Klimaoasen im urbanen Stadtraum Jenas. S. 61.

Kuttler, W. (1997): Städtische Klimamodifikation. In: VDI-Berichte, Heft 1330. Düsseldorf: VDI-Verlag, S.87-108.

Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo I. F. & J. A. Sobrino (2013): Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. In: Remote sensing of environment, Heft 131, S. 14-37.

Meng, Q., Zhang, L., Sun, Z., Meng, F., Wang, L. & Y. Sun (2018): Characterizing spatial and temporal trends of surface urban heat island effect in an urban main built-up area: A 12-year case study in Beijing, China. In: Remote Sensing of Environment, Heft 204, S. 826-837.

Mirzaei, P. A. (2015): Recent challenges in modeling of urban heat island. In: Sustainable Cities and Society, Heft 19, S. 200-206.

Moldenauer, A., Düring, I. & E. Nitsche (2017): Klimafunktions- und Planungshinweiskarte für die Stadt Chemnitz. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. Kg.

NIEMANN, A. & M. ILLGEN (2011): Urbane Überflutungsvorsorge. Was die Siedlungsentwässerung vom gewässerseitigen Hochwasserschutz lernen kann. In: Abwasser und Abfall e. V., DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft (Hrsg.). DWA Regenwassertage. Frankfurt am Main, 10./11. Mai 2011. DWA, 10 Bände. Hennef.

NOAA – National Oceanic & Atmospheric Administration (2024): Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. Online unter: https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide (Letzter Zugriff: 23.05.2024).

O'NEILL, B. C., TEBALDI, C., VAN VUUREN, D. P., EYRING, V., FRIEDLINGSTEIN, P., HURTT, G., KNUTTI, R., KRIEGLER, E., LAMARQUE, J.-F., LOWE, J., MEEHL, G. A., MOSS, R., RIAHI, K. & B. M. SANDERSON (2016): The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. In: Geoscientific Model Development, Heft 9, 3461–3482. Online unter: https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016. (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

PARLOW, E. (2011): Besonderheiten des Stadtklimas. In: GEBHARDT, H., GLASER, R., RADTKE, U. & P. REUBER (Hrsg.): Geographie. Physische Geographie und Humangeographie. Heidelberg: Spektrum, S. 287-291.

RASUL, A., BALZTER, H., SMITH, C., REMEDIOS, J., ADAMU, B., SOBRINO, SRIVANIT, M. & Q. WENG (2017): A review on remote sensing of urban heat and cool islands. In: Land, Heft 6/2, S. 1-10.

RPG-SWT – Regionale Planungsgemeinschaft Südwestthüringen (Hrsg.) (2015): Regionales Energie- und Klimakonzept. Teilkonzept II - Raumentwicklungsstrategie Klimawandel. Online unter: https://regionalplanung.thueringen.de/fileadmin/user_upload/Suedwestthueringen/Dokumente/Themen_und_Projekte/Energie-_und_Klimakonzept/sw-pdf-broschresklimawandel.pdf (Letzter Zugriff: 28.08.2024).

ROLOFF, A., GILLNER, S. & S. BONN (2008): Gehölzartenwahl im urbanen Raum unter dem Aspekt des Klimawandels. Vorstellung der KLimaArtenMatrix für Stadtbaumarten (KLAM-Stadt). In: BDB (Bund deutscher Baumschulen) (Hrsg.): Klimawandel und Gehölze. Pinneberg (Sonderheft Grün ist Leben), 30–42.

ROMAN, A. & U. TUDOR (2016): Multispectral satellite imagery and airborne laser scanning techniques for the detection of archaeological vegetation marks. In: Landscape archaeology on the northern frontier of the Roman Empire at porolissum - An interdisciplinary research project, Cluj Napoca: Mega Publishing House, 141-152.

ROLOFF, A. & B. GRUNDMANN (2008): Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. In: Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie, Heft 42/3, 97–109.

SCHUCHARDT, B. & S. WITTIG (Hrsg.) (2012): Vulnerabilität der Metropolregion Bremen-Oldenburg gegenüber dem Klimawandel. Synthesebericht. Nordwest2050-Berichte, Heft 2. Bremen/ Oldenburg: Projektkonsortium nordwest2050.

SIEVERS, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21: Theoretische Grundlagen, Anwendung und Handhabung des PC-Modells. In: Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Heft 227. Online unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klam_21/klam-21.html (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

SMEKUL - Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (2024): Klimafolgenmonitoring. Online unter: https://www.klima.sachsen.de/klimafolgenmonitoring-12477.html?_cp=%7B%22accordion-content-%3A%22accordion-content-27271%22%2C%22idx%22%3A0%7D%7D (Letzter Zugriff: 09.07.2024).

STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES Sachsen (2023): 8. Regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung für den Freistaat Sachsen 2022 bis 2040. Datenblatt. Gemeinde Plauen, Stadt. Online unter: https://www.bevoelkerungsmonitor.sachsen.de/download/RBV%20Gemeinden/rbv_abw_gemeinde_plauen-stadt.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN (2024): Vergleich der Ergebnisse der 8. Regionalisierten Bevölkerungsvorausberechnung für Sachsen mit den Ergebnissen der Bevölkerungsfortschreibung, Datenblatt, Gemeinde Plauen. Online unter: https://www.bevoelkerungsmonitor.sachsen.de/download/RBV%20Gemeinden/rbv_abw_gemeinde_plauen-stadt.pdf (Letzter Zugriff: 30.9.2024)

STEWART, I. D. & T. R. OKE (2012): Local climate zones for urban temperature studies. In: Bulletin of the American Meteorological Society, Heft: 93/12, S. 1879-1900.

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2013): Handbuch zur guten Praxis der Anpassung an den Klimawandel. Dessau-Roßlau. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/364/publikationen/uba_handbuch_gute_praxis_web-bf_0.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015a): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau. Online unter: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht_2015_zur_deutschen_anpassungsstrategie_an_den_klimawandel.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015b): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Climate Change 24/2015. Dessau-Roßlau. Online unter: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2017a): Entscheidungsprozesse zur Anpassung an den Klimawandel in Kommunen. Climate Change 04/2015. Dessau-Roßlau. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-07-18_climate-change_04-2015_klimalotse_inkl_zusamm.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2017b): Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen. Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung. Dessau-Roßlau. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/uba_2017_leitfaden_klimawirkungs_und_vulnerabilitatsanalysen.pdf (Letzter Zugriff: 15.08.2024).

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019a): Vorsorge gegen Starkregenereignisse und Maßnahmen zur wassersensiblen Stadtentwicklung - Analyse des Standes der Starkregenvorsorge in Deutschland und Ableitung des zukünftigen Handlungsbedarfs. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-29_texte_55-2019_starkregen-stadtentwicklung.pdf (Letzter Zugriff: 27.09.2024).

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019b): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2020): Praxishilfe. Gestaltungsmöglichkeiten der Raumordnung und Bauleitplanung Klimaanpassung in der räumlichen Planung. Starkregen, Hochwasser, Massenbewegungen, Hitze, Dürre. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaanpassung-in-der-raeumlichen-planung (Letzter Zugriff: 27.09.2024).

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland – Kurzfassung. Climate Change 26/2021. Dessau-Roßlau. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-10_cc_26-2021_kwra2021_kurzfassung.pdf (Letzter Zugriff: 30.09.2024).

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2022): Klimarisikoanalysen auf kommunaler Ebene. Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der ISO 14091. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2022_uba-fachbroschuere_kra_auf_kommunaler_ebene.pdf (Letzter Zugriff: 15.08.2024).

UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2023): Monitoringbericht 2023. Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2023 (Letzter Zugriff: 15.07.2024).

VDI (2003): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5. Umweltmeteorologie: Lokale Kaltluft.

VDI (2015): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1. Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen.

VOGTLÄNDISCHER HEIMATVEREIN (Hrsg.) (1934): Die große Wasserflut vor hundert Jahren am 22. Juli 1834 in Plauen. Schilderung eines Zeitgenossen, Aufruf des Hilfsvereins, Abrechnung des Hilfskomitees, Gedächtnispredigt von Pfarrer Straube gehalten am 22. Juli 1934. Franz Neupert GmbH Vogtländischer Heimatverlag, Plauen i.V.

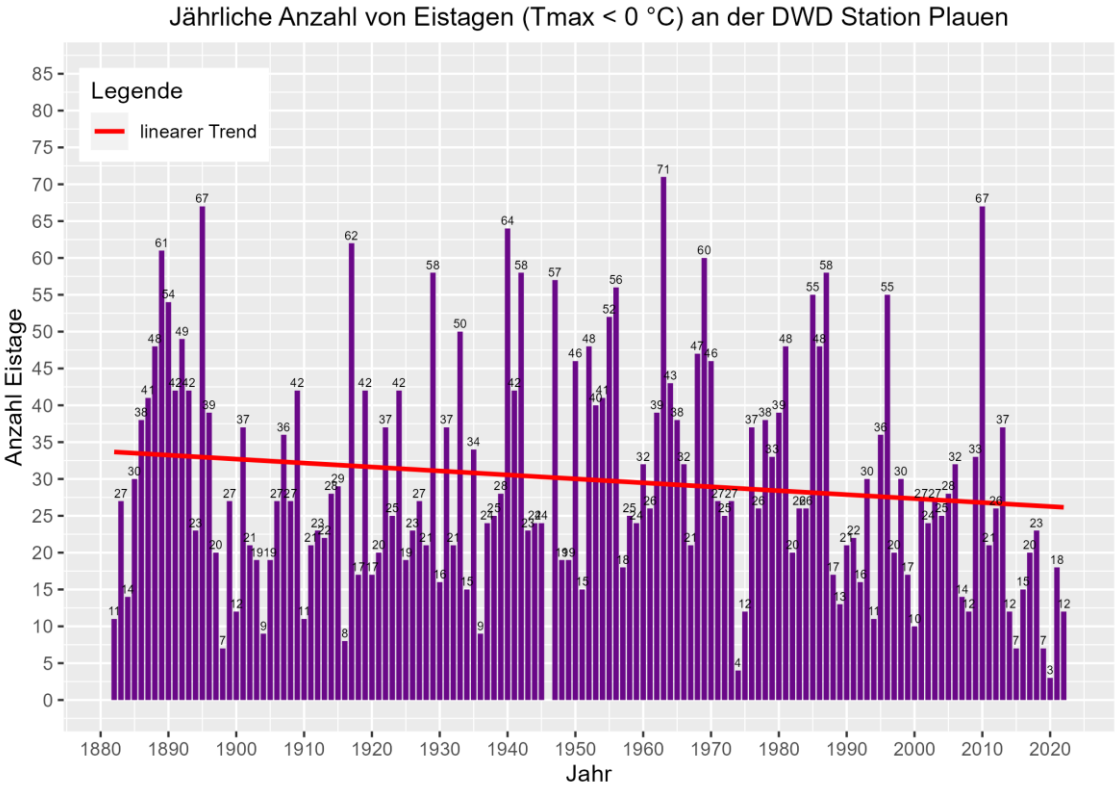
WENG, Q. (2009): Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Heft 64/4, S. 335-344.

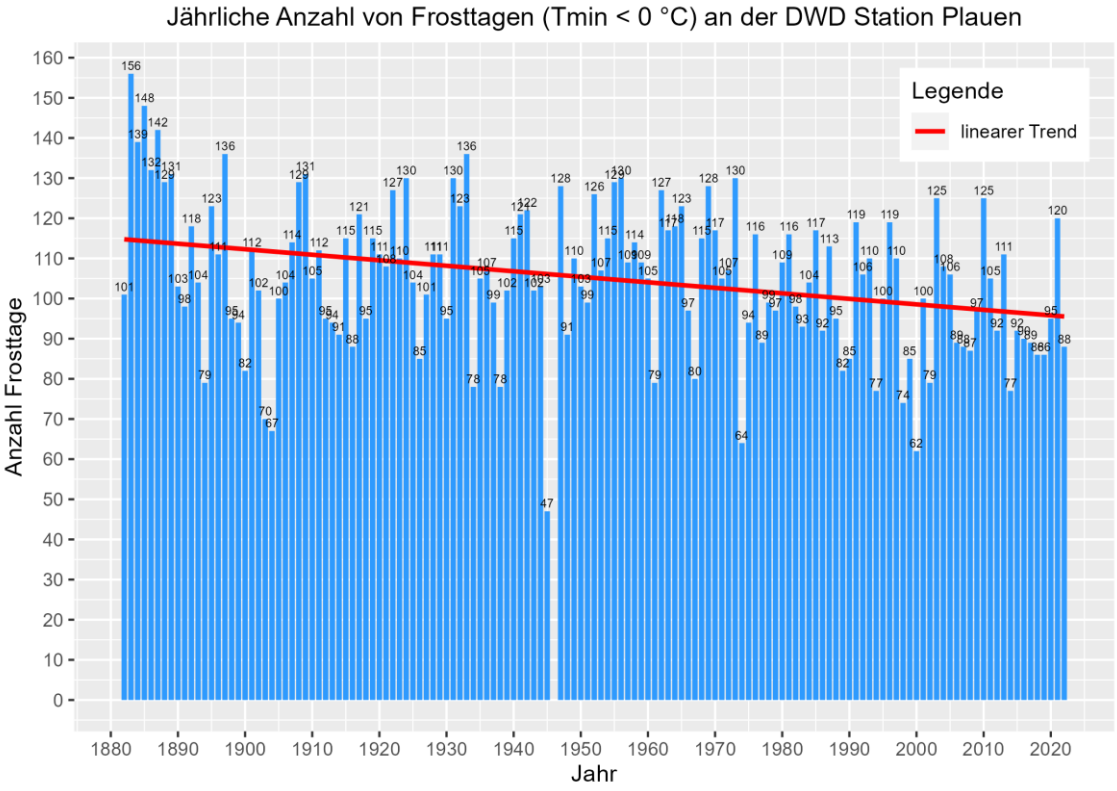
ZHOU, D., BONAFONI, S., ZHANG, L. & R. WANG (2017): Remote sensing of the urban heat island effect in a highly populated urban agglomeration area in East China. In: Science of the Total Environment, Heft 628, S. 415-429.

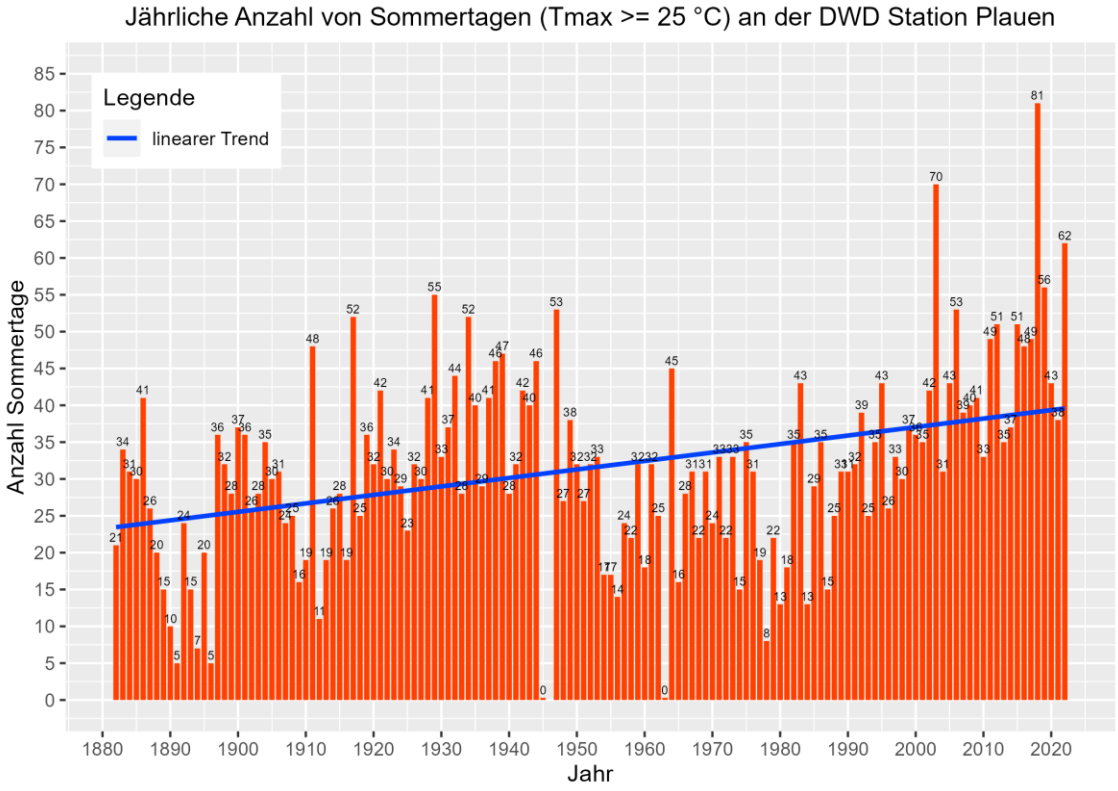
ZHOU, D., XIAO, J., BONAFONI, S., BERGER, C., DEILAMI, K., ZHOU, FROLKING, S., YAO, R., QIAO, Z. & J. A. SOBRINO (2019): Satellite remote sensing of surface urban heat islands: progress, challenges, and perspectives. In: Remote Sensing, Heft 11/1, S. 48.

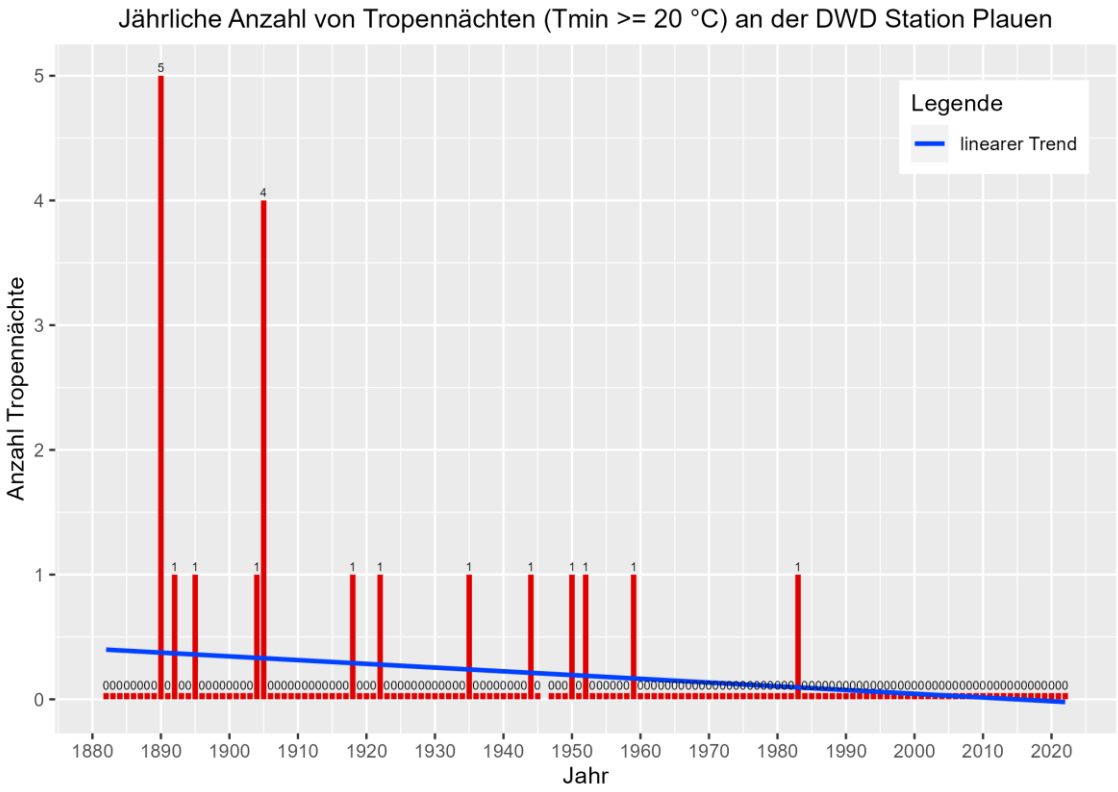
ANHANG

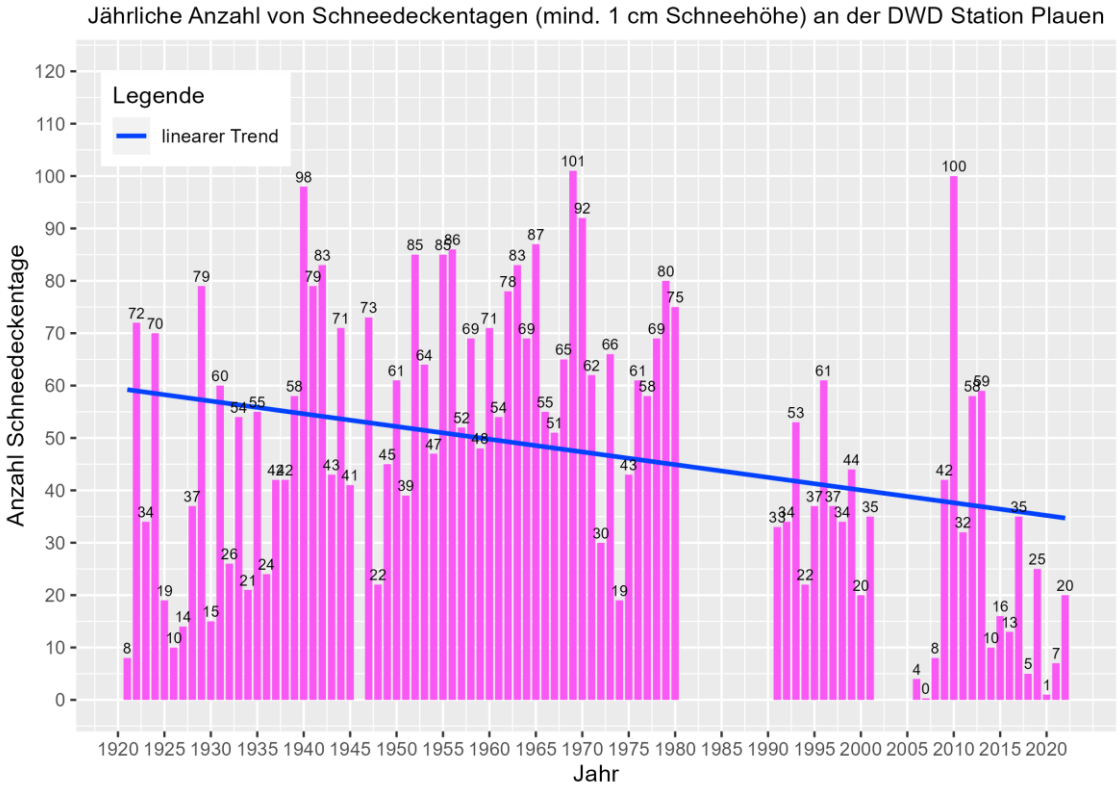
Zusätzliche Diagramme Klimastationsauswertung

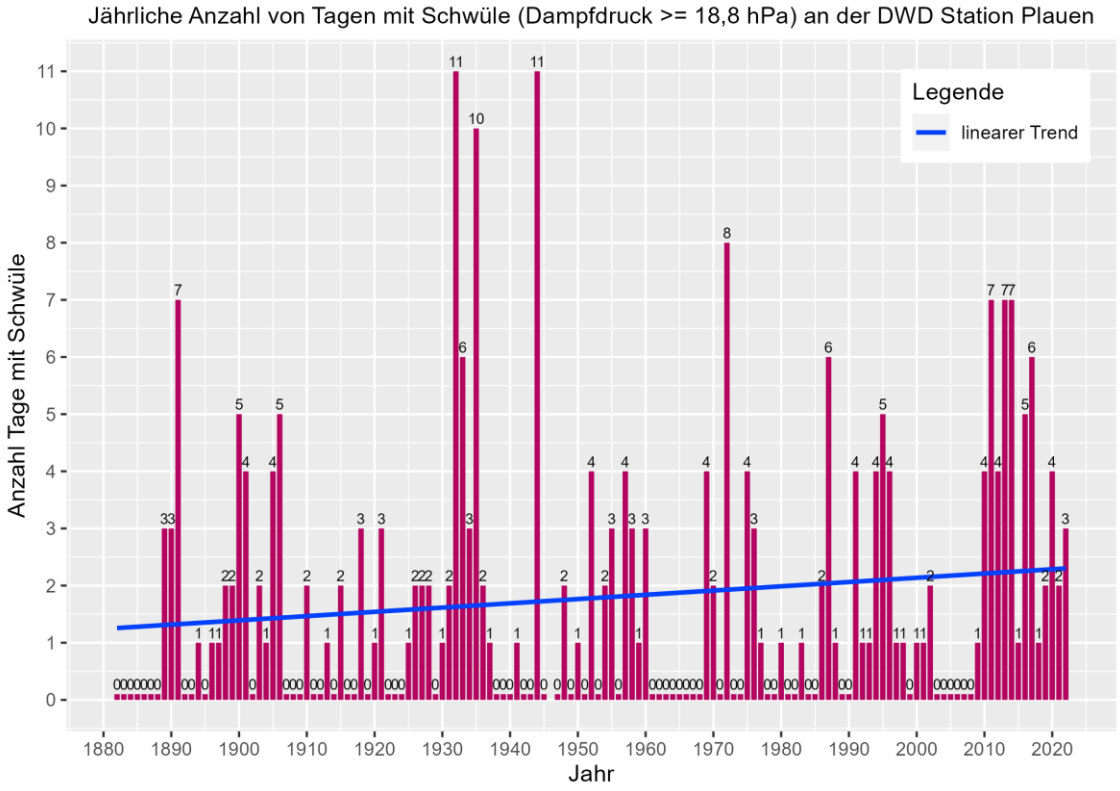


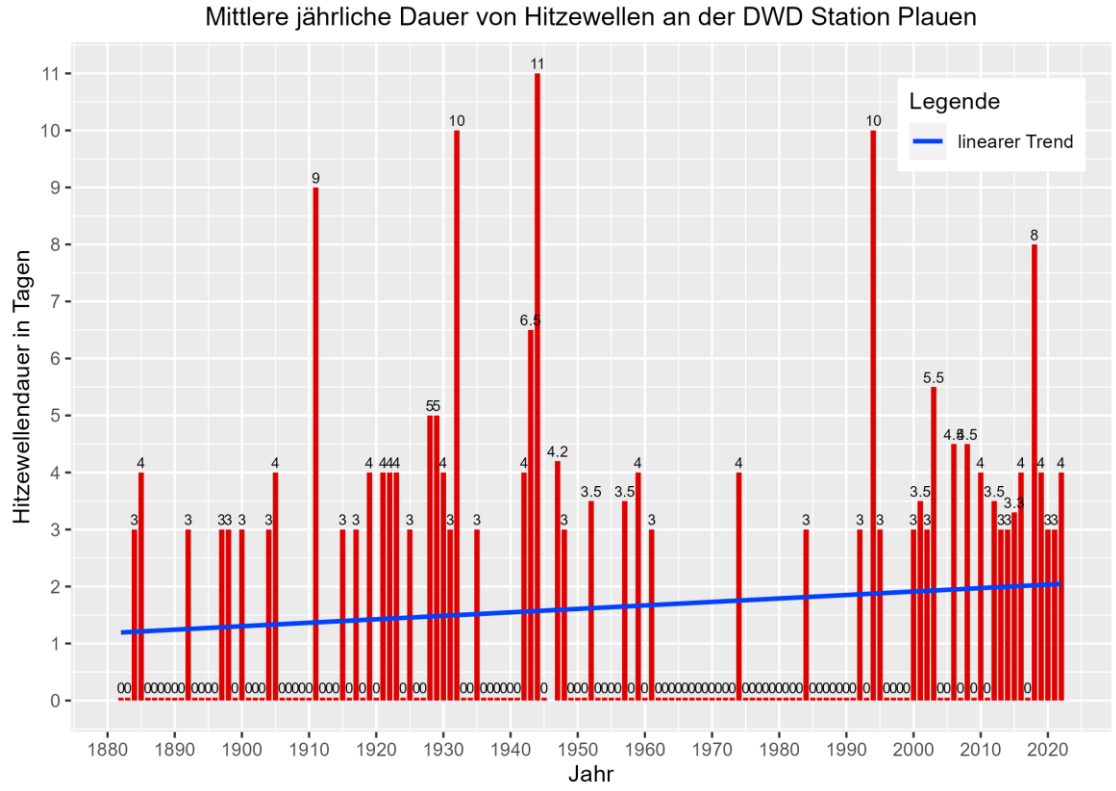


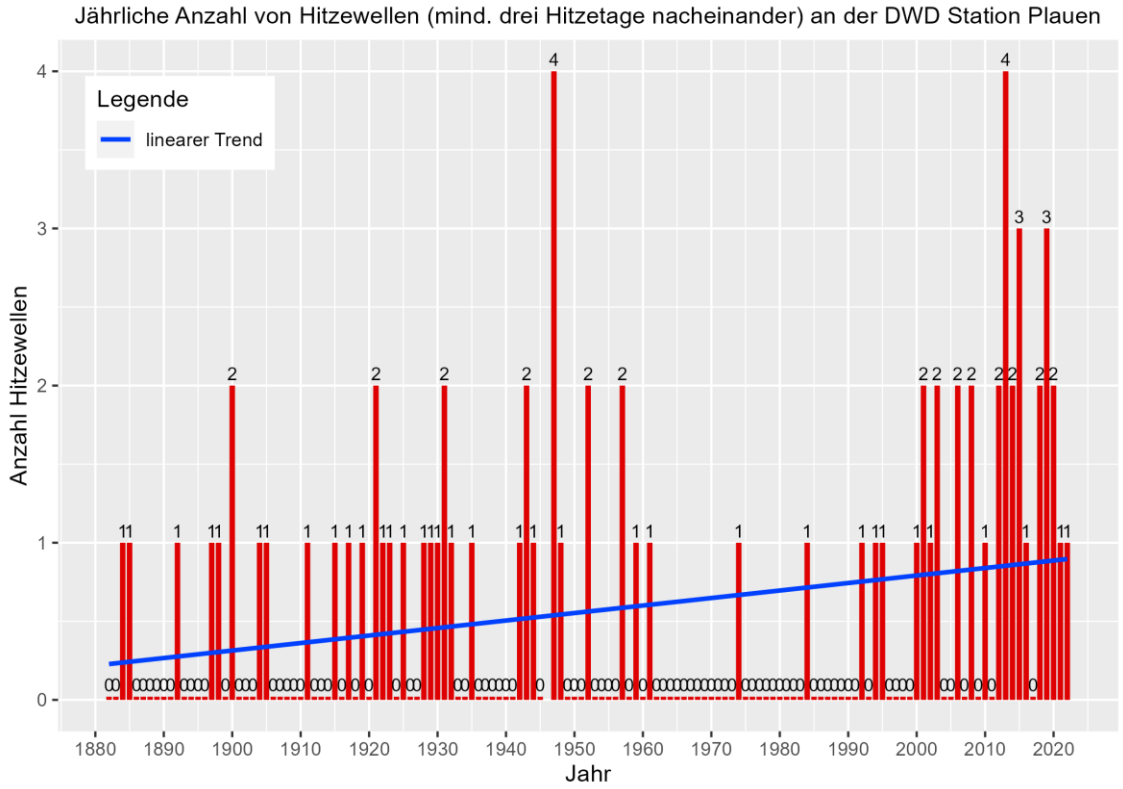

Jährliche Anzahl von Sommertagen (Tmax >= 25 °C) an der DWD Station Plauen
Legende
linearer Trend
Anzahl Sommertage
Jahr
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020

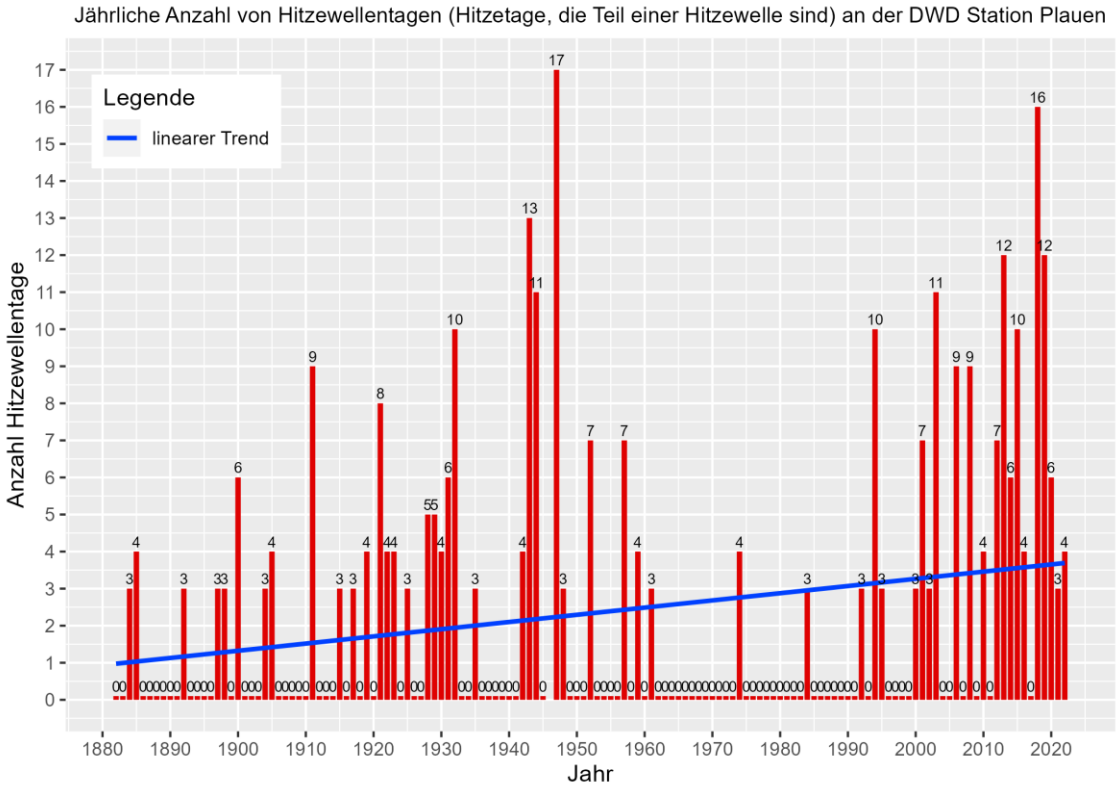

Jährliche Anzahl von Tropennächten (Tmin >= 20 °C) an der DWD Station Plauen
Legende
linearer Trend
Anzahl Tropennächte
Jahr
0
1
2
3
4
5
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020


Jährliche Anzahl von Schneedeckentagen (mind. 1 cm Schneehöhe) an der DWD Station Plauen
Legende
linearer Trend
Anzahl Schneedeckentage
Jahr

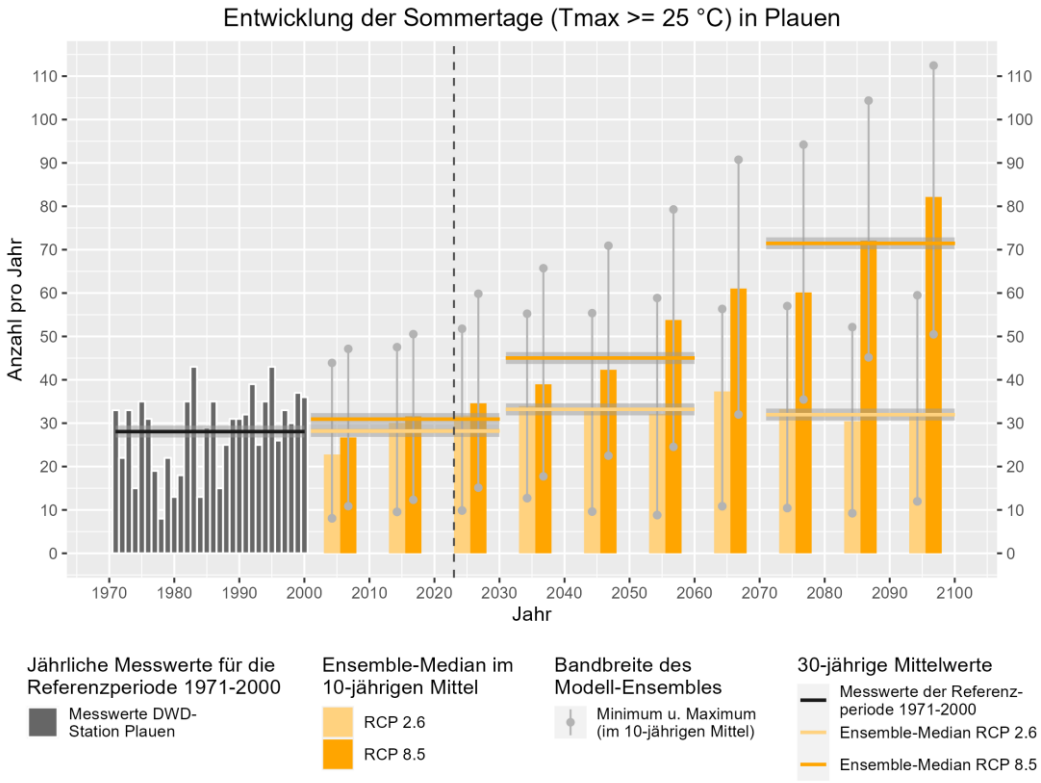

Jährliche Anzahl von Tagen mit Schwüle (Dampfdruck >= 18,8 hPa) an der DWD Station Plauen
Legende
linearer Trend
Anzahl Tage mit Schwüle
Jahr

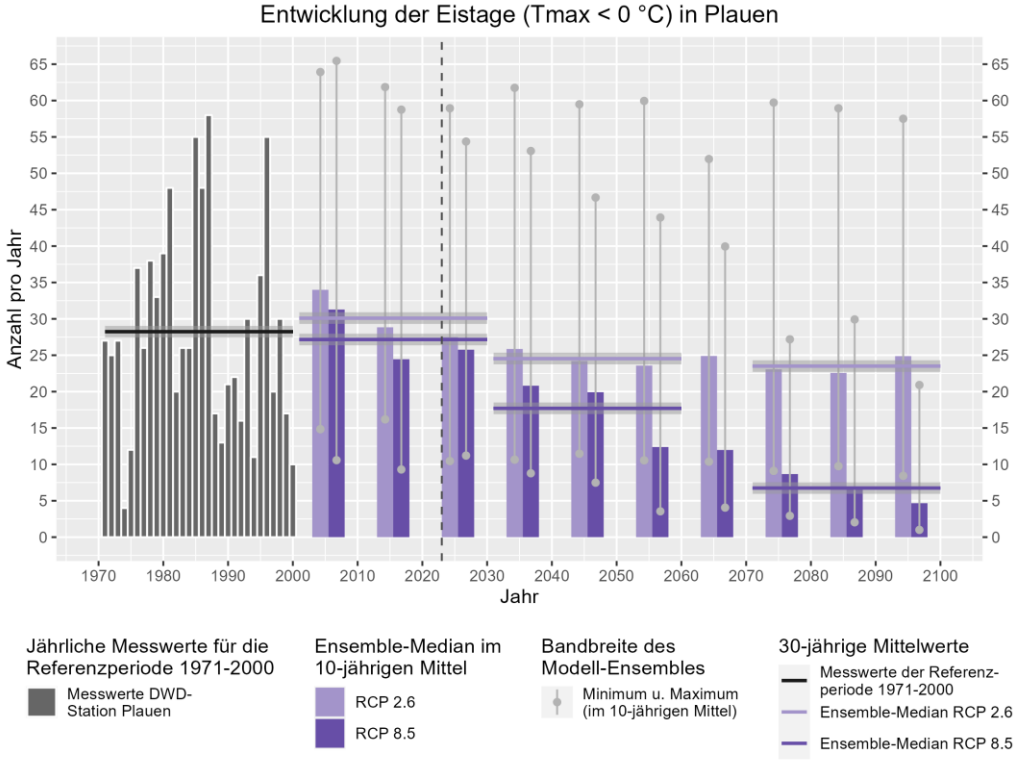

Mittlere jährliche Dauer von Hitzewellen an der DWD Station Plauen
Hitzewellendauer in Tagen
Jahr
Legende
linearer Trend
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020

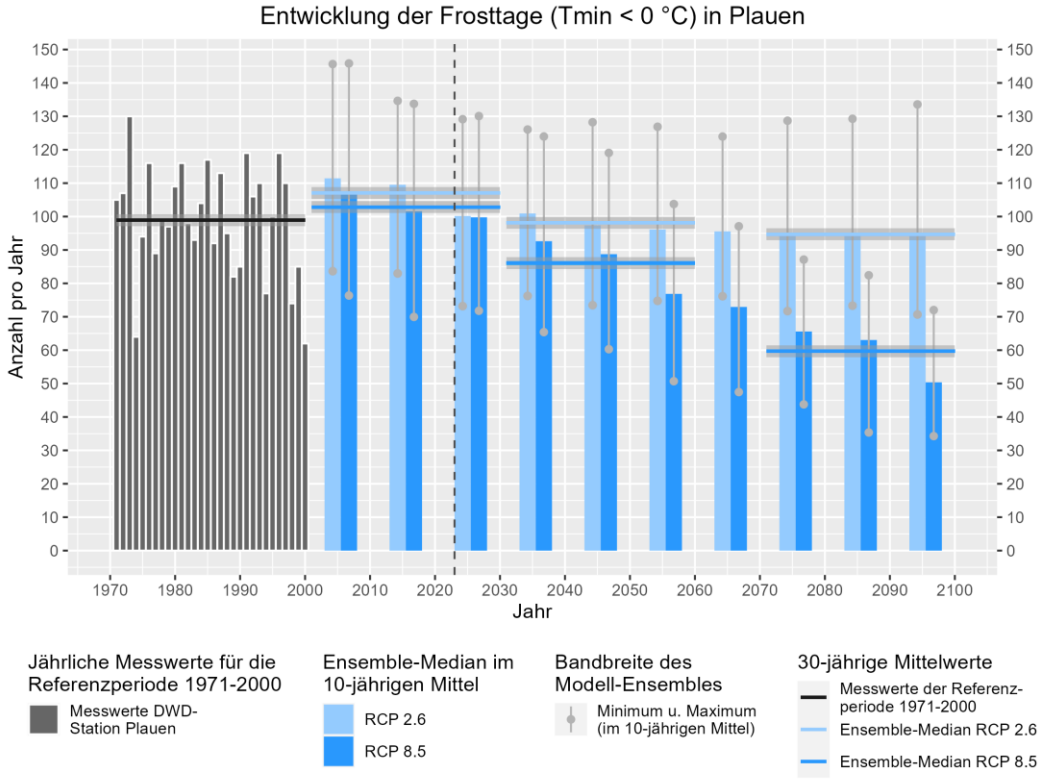

Jährliche Anzahl von Hitzewellen (mind. drei Hitzetage nacheinander) an der DWD Station Plauen
Anzahl Hitzewellen
Jahr
Legende
linearer Trend
0
1
2
3
4
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020

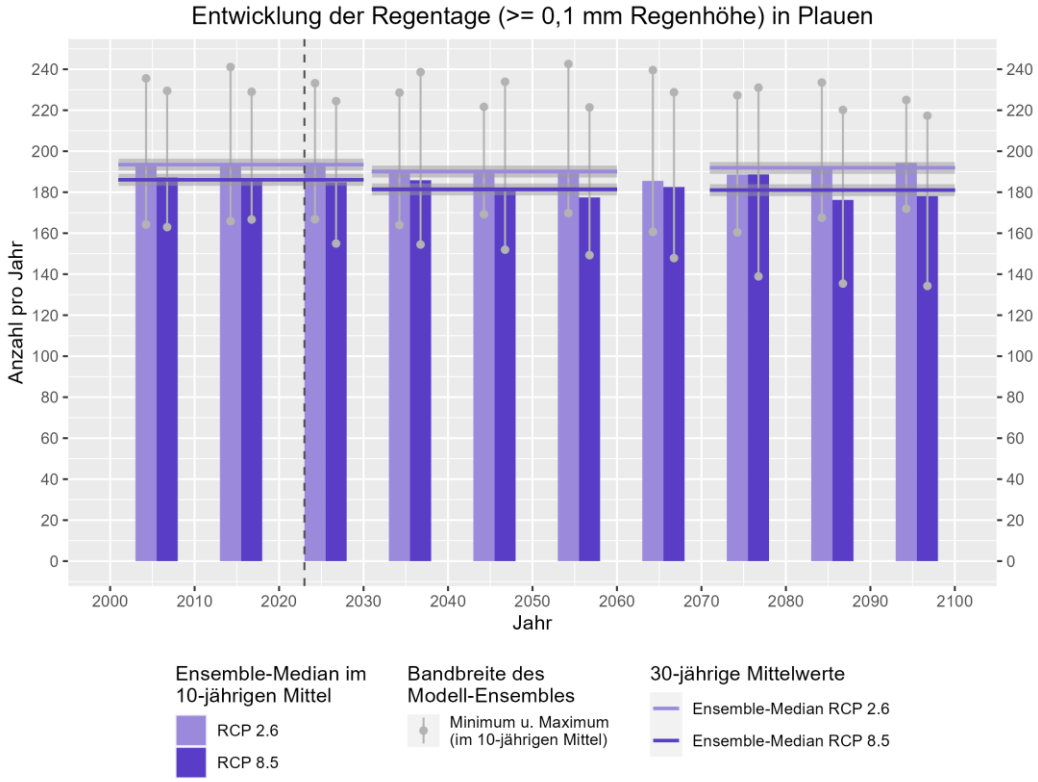

Jährliche Anzahl von Hitzewellentagen (Hitzetage, die Teil einer Hitzewelle sind) an der DWD Station Plauen
Legende
linearer Trend
Anzahl Hitzewellentage
Jahr
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
1880
1890
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
2010
2020

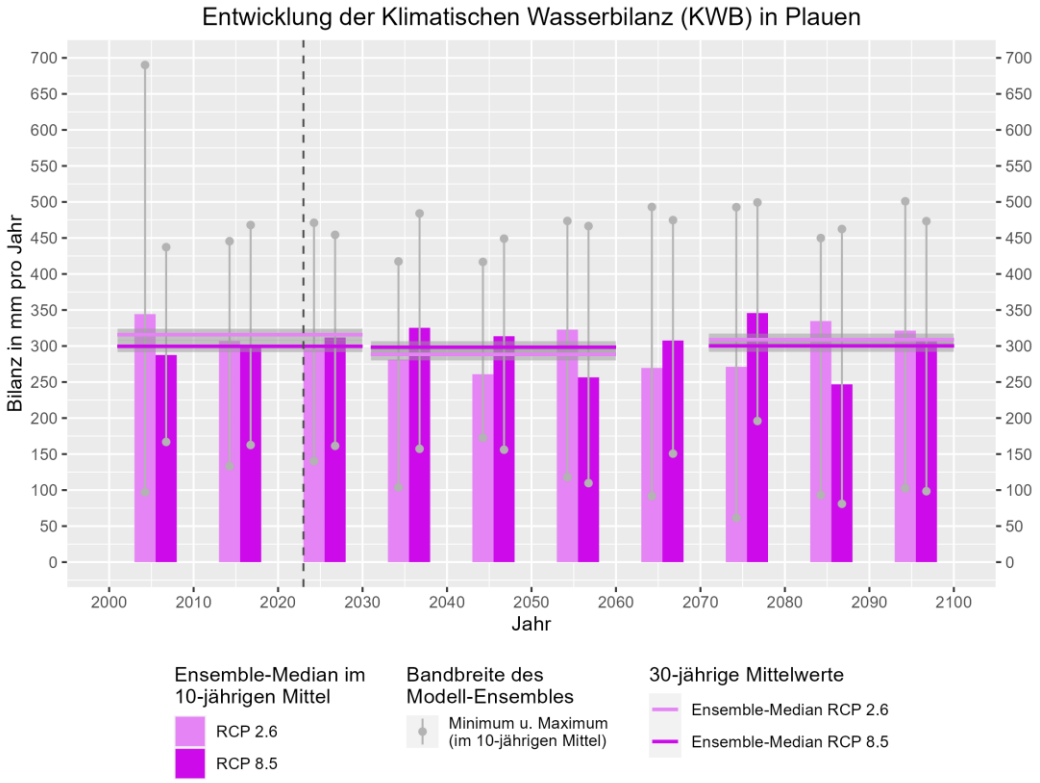
Zusätzliche Diagramme Klimaprojektionen

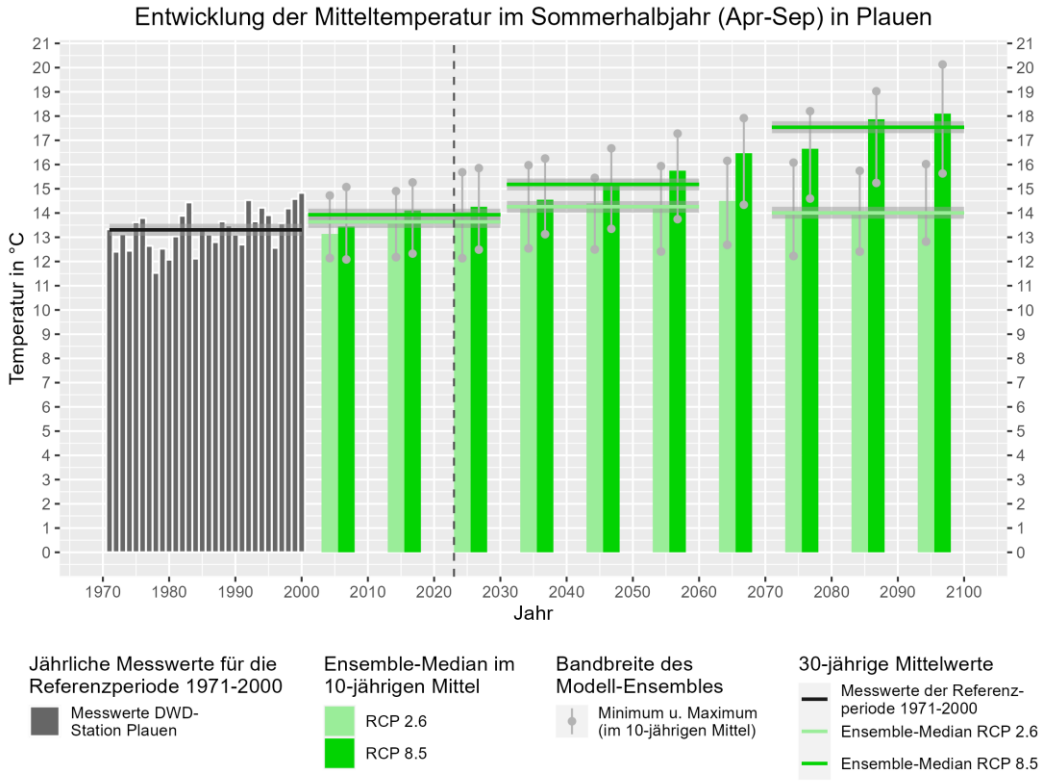


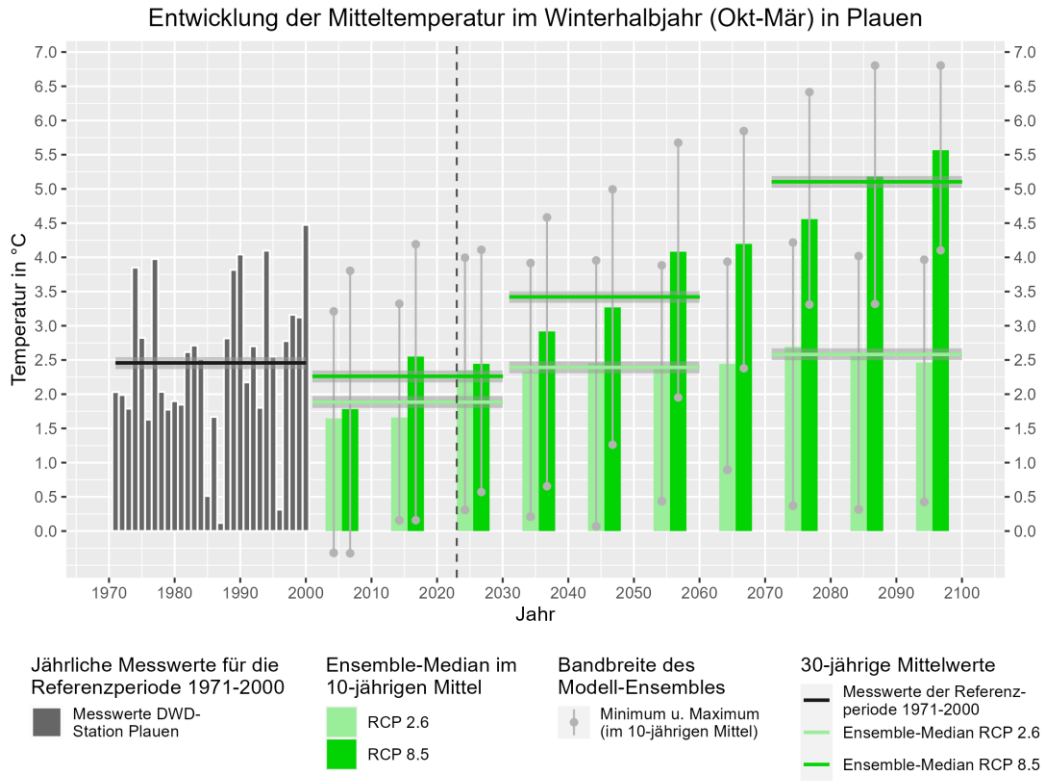


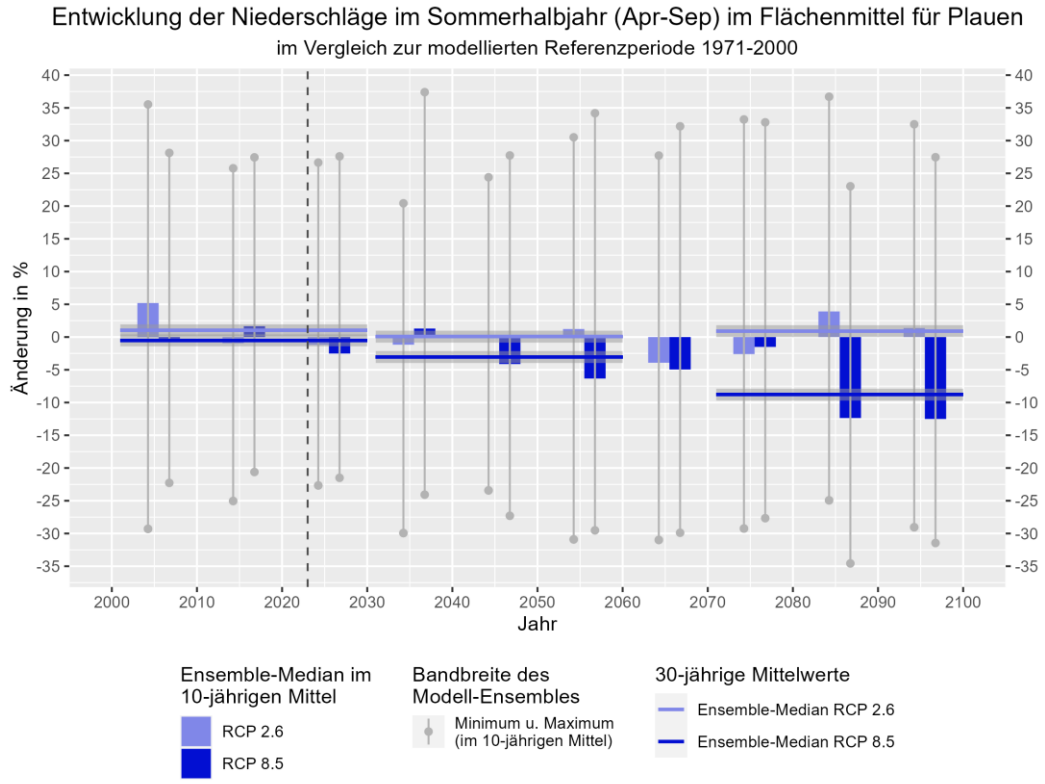

Entwicklung der Frosttage (Tmin < 0 °C) in Plauen
Anzahl pro Jahr
Jahr
Jährliche Messwerte für die Referenzperiode 1971-2000
Messwerte DWD-Station Plauen
Ensemble-Median im 10-jährigen Mittel
RCP 2.6
RCP 8.5
Bandbreite des Modell-Ensembles
Minimum u. Maximum (im 10-jährigen Mittel)
30-jährige Mittelwerte
Messwerte der Referenz-periode 1971-2000
Ensemble-Median RCP 2.6
Ensemble-Median RCP 8.5

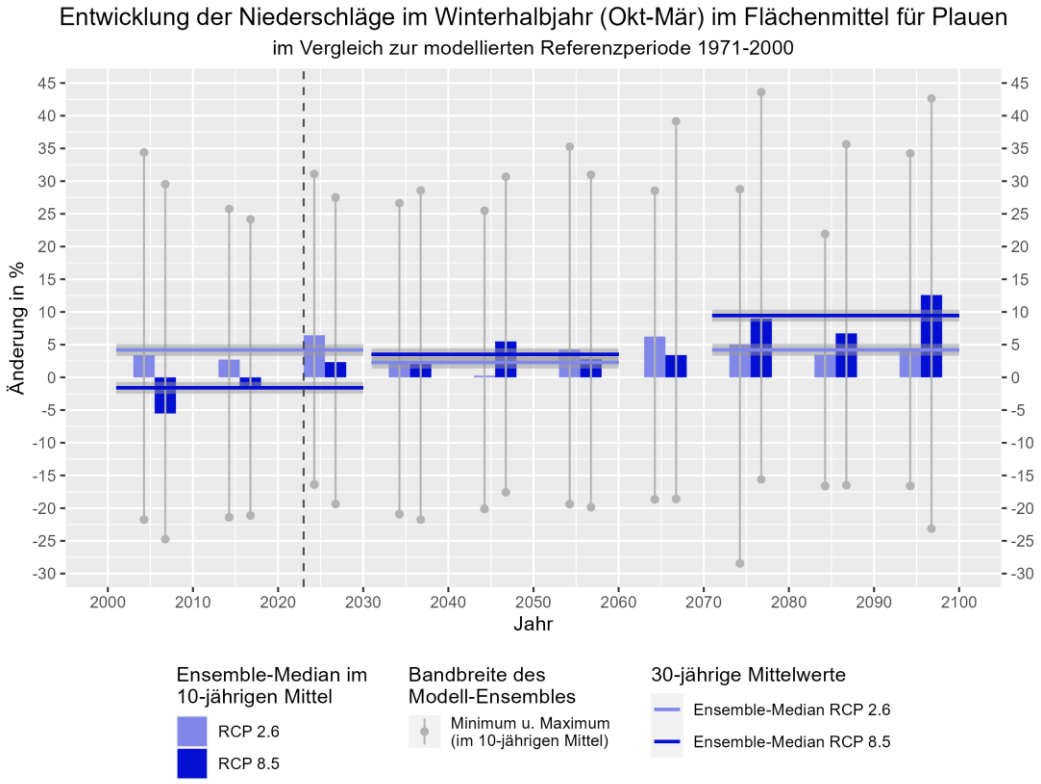

Entwicklung der Regentage (>= 0,1 mm Regenhöhe) in Plauen
Anzahl pro Jahr
Jahr
Ensemble-Median im 10-jährigen Mittel
RCP 2.6
RCP 8.5
Bandbreite des Modell-Ensembles
Minimum u. Maximum (im 10-jährigen Mittel)
30-jährige Mittelwerte
Ensemble-Median RCP 2.6
Ensemble-Median RCP 8.5


Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz (KWB) in Plauen
Bilanz in mm pro Jahr
Jahr
Ensemble-Median im 10-jährigen Mittel
RCP 2.6
RCP 8.5
Bandbreite des Modell-Ensembles
Minimum u. Maximum (im 10-jährigen Mittel)
30-jährige Mittelwerte
Ensemble-Median RCP 2.6
Ensemble-Median RCP 8.5


Entwicklung der Mitteltemperatur im Sommerhalbjahr (Apr-Sep) in Plauen
Temperatur in °C
Jahr
Jährliche Messwerte für die Referenzperiode 1971-2000
Messwerte DWD-Station Plauen
Ensemble-Median im 10-jährigen Mittel
RCP 2.6
RCP 8.5
Bandbreite des Modell-Ensembles
Minimum u. Maximum (im 10-jährigen Mittel)
30-jährige Mittelwerte
Messwerte der Referenz-periode 1971-2000
Ensemble-Median RCP 2.6
Ensemble-Median RCP 8.5


Entwicklung der Mitteltemperatur im Winterhalbjahr (Okt-Mär) in Plauen
Temperatur in °C
Jahr
Jährliche Messwerte für die Referenzperiode 1971-2000
Messwerte DWD-Station Plauen
Ensemble-Median im 10-jährigen Mittel
RCP 2.6
RCP 8.5
Bandbreite des Modell-Ensembles
Minimum u. Maximum (im 10-jährigen Mittel)
30-jährige Mittelwerte
Messwerte der Referenz-periode 1971-2000
Ensemble-Median RCP 2.6
Ensemble-Median RCP 8.5


Entwicklung der Niederschläge im Sommerhalbjahr (Apr-Sep) im Flächenmittel für Plauen
im Vergleich zur modellierten Referenzperiode 1971-2000
Änderung in %
Jahr
Ensemble-Median im 10-jährigen Mittel
RCP 2.6
RCP 8.5
Bandbreite des Modell-Ensembles
Minimum u. Maximum (im 10-jährigen Mittel)
30-jährige Mittelwerte
Ensemble-Median RCP 2.6
Ensemble-Median RCP 8.5



Best-Practice Beispiele mit Projektlinks

Maß-nahme	Best-practice-Beispiel	Links
M1	Katastrophen-schutzbedarfsplan der Stadt Essen	Pressemitteilung: https://www.essen.de/meldungen/pressemeldung_1466918.de.html PDF-Dokument: https://ris.essen.de/sdnetrim/UGhVM0hpd2NXNFdF-cExjZe1jxw9QRTz6rpYqWTIyVyIPWasuMypS0q_kNNHCHtEv/Anlage-_Katastrophenschutzbedarfsplan.pdf
M2.1	versickerungsoffene Flächen Nibelungenplatz Tulln, vom Parkplatz zum Aufenthaltsort, Tulln an der Donau	Infoseite der Stadt: https://www.tulln.at/aktuelles/nibelungenplatz-beteiligungs-und-planungsprozess PDF-Dokument: https://cloud.tulln.at/index.php/s/gDbF664DsRpbYx2 Weitere Informationen: https://www.klimafit-noe.at/best-practice-tulln/
	Sanierung des Nikolaikirchhofs in Altenburg	Infoseite: https://www.klimaleitfaden-thueringen.de/best-practice-beispiel-sanierung-des-nikolaikirchhofs-in-altenburg
	ecoQuartier Pfaffenhofen gilt als Deutschlands erstes Schwammstadtquartier	Infoseite: https://pfaffenhofen.de/artikel/ecoquartier/
M2.2	BlueGreenStreets Toolbox – Teil A & B. Multifunktionale	Infoseite mit Projektblatt: https://ressourceneffiziente-stadtquartiere.de/?page_id=204&lang=de Weitere Informationen: https://www.fona.de/de/online-launch-der-toolbox-vom-resz-projekt-bluegreenstreets- Downloadseite:

	Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere	https://repos.hcu-hamburg.de/handle/hcu/638
	Forschungsprojekt „MURIEL: Multifunktionale Retentionsflächen – von der Idee zur Realisierung	Infoseite: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank/muriel-multifunktionale-retentionsflaechen-von-der PDF-Dokument der Stadt Köln: https://steb-koeln.de/Redaktionell/ABLAGE/Downloads/Brosch%C3%BCren-Ver%C3%B6ffentlichungen/Geb%C3%A4udeschutz/MURIEL-Multifunktionale-Retentionsfl%C3%A4chen.pdf
	Multifunktionalität des Parkplatzes am Lessing Gymnasium, Plauen	-
M2.3	Böschungssicherung an der Pleiße bei Kleintreben	-
	Deichbauwerk und Hochwasserschutzmauer an der Weißen Elster; Weida	-
M3	Erosionsschutz durch Agroforstwirtschaft – Hof Hartmann, Niedersachsen	Internetseite vom Hof Hartmann: https://www.hof-hartmann-rettmer.de/unser-weg/projekt-agroforst/ Allgemeine Informationen: https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/240419-nabu-hintergrundpapier_agroforst-und-naturschutz.pdf
	Fahrgassenbegrünung in den Kreisstellen Höxter/Lippe/Paderborn	PDF-Dokument: https://www.landwirtschaftskammer.de/hoexter/pdf/2022-03-30-broschuere-erosionsschutz-hx-lip-pb.pdf
M4	Renaturierte Murg in Rastatt	Internetseite: https://www.umweltbundesamt.de/murg-gewaesseroekologie-in-rastatt-gefoerdert-von?parent=74914#film-verbesserung-der-gewasserokologie-an-der-murg-in-rastatt Infoseite: https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpk/abt5/ref532/seiten/murg-rastatt/
	Renaturierung der Fulda und ihrer Aue	Internetseite: https://www.umweltbundesamt.de/fulda-kommunen-teilen-sich-kosten-naturnahen?parent=74914#film-naturnaher-hochwasserschutz-an-der-fulda
M5	TMUEN (2023): Kommunale Hitzetoolbox Thüringen	PDF-Kurzfassung: https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/Publikationen/Publikationen_TMUEN/Hitzetoolbox.auf.den.Punkt.pdf PDF-Ausführlich: https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/001_TMUEN/Unsere_Themen/Klima/Klimaanpassung/Toolbox_Thueringen.pdf
	Trinkwasserbrunnen, Stadt Plauen	-

	Hitze Service – Kompetenter Hitzeschutz für Ihre Kommune	Informationenüberblick: https://hitzeservice.de/fakten-und-grundlagen/ Verschiedene Maßnahmen: https://hitzeservice.de/massnahmen/ Hitzeaktionspläne: https://hitzeservice.de/hitzeaktionsplaene/
	Mehrfamilienhaus mit Sonnenschutzverglasung in Weimar	Infoseite: https://www.klimaleitfaden-thueringen.de/best-practice-beispiel-mehrfamilienhaus-mit-sonnenschutzverglasung-in-weimar
	Physik-Institut der Humboldt-Universität zu Berlin, Südfassade mit Fassadenpflanzen, Adlershof	PDF-Dokument: https://uploads-ssl.webflow.com/5d9c753057629d04088465de/5f5b8069806c1234682c1e2b_Garten-Design_03_2019_Fassadenbegruenung_Schmidt.pdf Infoseite: https://gruenstattgrau.at/news/projekt/institut-fuer-physik-humboldt-universitaet-zu-berlin/
M6.1	Zeche Friedrich Heinrich Kamp-Lintfort (Quelle: Bundestransferstelle Stadtumbau 2020)	PDF-Dokument (Kapitel 8.9 Freiraum): https://www.kamp-lintfort.de/www2/sitzungsdienst.nsf/HTML/B762C08B8735C9C1C125791400367092/$FILE/Grundlagenermittlung%20Haupttext_1.pdf Infoseite der Stadt: https://www.kamp-lintfort.de/de/planungen/lin-162-neues-stadtquartier-friedrich-heinrich/
M6.2	"Gewerbeflächen stapeln" - Gewerbe- und Industrieflächen flächeneffizienter gestalten (IHK-Studie, 2021)	PDF der Studie: https://www.ihk.de/blueprint/servlet/resource/blob/5111800/b8e357f1523314550bc41f90b4dabd97/studie-gewerbeflaechen-stapeln-data.pdf
	Quartier Hochgelegen Heilbronn-Neckargartach	PDF-Dokument: https://stadtsiedlung.de/wp-content/uploads/2021/07/HNT_Heilbronn_Zuhause_MZ_38_web.pdf
	Klimaangepasstes Bauen und Sanieren Dresden	Infoseite: https://www.dresden.de/de/stadtraum/umwelt/umwelt/klima-und-energie/klimaanpassung/inklibau.php
	Gartenstadt Drewitz, Potsdam	Infoseite: https://www.potsdam.de/de/gartenstadt-drewitz PDF-Dokument Kurzfassung: https://www.potsdam.de/system/files/documents/iekk_drewitz_kurzf.pdf Weiteres PDF: https://www.potsdam.de/system/files/documents/masterplan_gartenstadt_drewitz.pdf
	Dachbegrünung und Verschattung an Kitagebäude („Rasselbande“), Erfurt	Infoseiten: https://www.zinco.de/f%C3%BCr-kinder-kreativ https://architekten-thueringen.de/aft/projekte/p/neubau_kindertagesstaette__quot_-2581.html

M6.3	Gleisbettbegrünung Gera	Infoseite: https://klimaleitfaden-thueringen.de/best-practice-beispiel-gleisbettbe-gruenung-in-gera PDF-Dokument: http://www.gruengleisnetzwerk.de/images/downloads/wirkung.pdf
	Begrünung der Straßenbahnstrecke Breiter Weg Nordabschnitt in Magdeburg	Infoseite: https://blaugruenestadt.de/bgs/strassenraeume/
M6.4	Dachbegrünung des Kö-Bogens-II in Düsseldorf	Infoseiten: https://www.baunetzwissen.de/stadt--und-dachbegruenung/objekte/buero-verwaltung/koe-bogen-ii-in-duesseldorf-8226129 https://www.detail.de/de_de/autos-zu-hainbuchen-ingenhoven-fk
	Dachbegrünung auf der KiTa „Glückskäfer“ in Erfurt	Infoseite: https://www.klimaleitfaden-thueringen.de/best-practice-beispiel-kita-mit-extensiver-dachbegruenung-und-pv-anlagen-in-erfurt
M7	Aufbau eines artenreichen und vielstrukturierten Laub-Mischwaldes in der Gemeinde Pirna Pratzschwitz	Info zum Projekt und Beispiel Plauen: https://mehr-wald-fuer-sachsen.de/waldprojekte/ PDF (Punkt 3.1.7 Natur und Umwelt): https://www.re-saechsische-schweiz.de/downloads/LEADER-Entwicklungsstrategie_SSW_Textteil_1._nderung1.pdf
	Aufforstung des “Pappelwaldes Markranstädt”	Infos: https://mehr-wald-fuer-sachsen.de/waldprojekte/ Weitere Infos und Zahlen: https://gruene-markranstaedt.de/og-markranstaedt/gruen-wirkt-beschleunigung-des-waldumbaus-im-pappelwald-und-ausweitung-des-stadtgruens-durch-zusaetzliche-foerdermittel/
M8	Grüne Klimaoasen im urbanen Stadtraum Jenas	Infoseite: https://www.bfn.de/praxisbeispiele/klimaoasen-fuer-die-stadt-jena-eine-gruen-flaechenentwicklungsstrategie PDF: https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Veranstaltungen/2019/SH-Dialog/Stadtgr%C3%BCn/Gr%C3%BCne_Klimaoasen_im_urbanen_Stadtraum_Jenas.pdf
	Tiny Forest im Gewerbegebiet (Netzwerk Klimaanpassung & Unternehmen, NRW o.J.), Gummersbach	Infoseite: https://www.oberberg-aktuell.de/news/einzigartiges-projekt--in-windhagen-wird-mit-der-myawaki-methode-geforscht-a-87286 Erste Bestandsaufnahme: https://www.zebio.de/tiny-forest-bestandsaufnahme-9-2023/
	„Pocket Park“ Duisdorf (Internetseiten der Bundesstadt Bonn o.J.), Stadtteil von Bonn	Infoseite: https://www.bonn.de/bonn-erleben/aktiv-und-unterwegs/parks-und-gaerten/derletal.php Karte der Stadt Bonn: https://www.bonn.de/medien-global/amt-67/klimaschutz/ZURES_Planungshinweiskarte_Tagsituation.pdf

	Forschungsprojekt Stadtgrün 2021, siehe auch „Bayerische Netzwerk Klimabäume“ (Bayern)	PDF: https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/abschlussbericht_stadtgruen_2018-74_in.pdf Zusatz, wichtigsten Ergebnisse aus dem Projekt: https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/stadtbaeume_der_zukunft.pdf
	Bremer Stadtgrün-Bewertungstool	Infoseite: https://bresilient.de/2023/07/11/der-wert-urbanen-gruens-fuer-die-bremer-klimaanpassung-das-bremer-stadtgruen-bewertungstool/ Einführungs-PDF für das Tool: file:///C:/Users/Praktikum/Downloads/BRE_Dokumentation_AP1_Wert%20urbanen%20Gr%C3%BCns-1.pdf Das Tool: https://bresilient.app/app/bresilientapp
	Klimainsel, Stadt Plauen	Infoseite: https://www.plauen.de/Stadtentwicklung/Nachrichtenarchiv-Stadtentwicklung/Erste-Plauener-Klimainsel-entsteht.php?object=tx,3317.5.1&ModID=7&FID=3317.26643.1&NavID=3317.1875&La=1&kat=3317.1396.1&startkat=3317.1396.1
	Vergrößerung der Baumscheibe in der Freiheitsstraße, Stadt Plauen	Allgemeine Infoseite: https://www.buergerhaushalt-lichtenberg.de/vorschlag/baumscheiben-erweitern-vergroessern-und-entsiegeln
M9	Regenwasserzisterne und automatische Bewässerung der Stadtbäume in Großenhain (SN)	Infoseite: https://www.klimaleitfaden-thueringen.de/best-practice-beispiel-entwurf-regenwasserzisterne-und-automatische-bewaesserung-der-stadtbaeume-in-grossenhain-sn
	Regenwasserbecken auf dem Gelände der Malzfabrik, Berlin	Infoseite zu Projekt: https://regenwasseragentur.berlin/projekte/malzfabrik/ https://malzfabrik.de/wp-content/uploads/2021/11/Malzfabrik_Infoblatt_Meilensteine.pdf Allgemeine Informationen: https://regenwasseragentur.berlin/agentur/#article-content
	Zisternenbau in der Mietergenossenschaft Unionplatz Tiergarten eG, Berlin	Infoseite auch zu weiteren ähnlichen Projekten: https://regenwasseragentur.berlin/schwammstadt-projekte/
	Zisternenbau am Lessing Gymnasium, Plauen	-
	Bau von Löschwasserzisternen, Plauen	-

	Regenrückhaltebecken am Stadion, an der Pietzsche und am Welahgelände, Stadt Plauen	-
M10	Hitze-Portal Erfurt	Infoseite: https://www.erfurt.de/ef/de/leben/oekoumwelt/stadtklima/hitze/index.html PDF-Downloadseite: https://www.erfurt.de/ef/de/service/mediathek/veroeffentlichungen/2023/146352.html#pk_campaign=Redirector-Webcode&pk_kwd=ef146352
	Hitzewarnsystem in Stuttgart	Infoseite: https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_kliks_hitwis PDF: https://www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima_filestorage/download/tipps-sommerhitze-2022.pdf Weitere Publikation zur Hitzewarnung (HITWIS): https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/50869
	Themenstadtplan Starkregen in Dresden	Infoseite: https://www.dresden.de/de/rathaus/aktuelles/pressemitteilungen/2022/08/pm_085.php https://www.dresden.de/de/stadtraum/umwelt/umwelt/klima-und-energie/klimaanpassung/inklibau/klimaeinwirkungen/inklibau_starkregen.php Online-Karte: https://stadtplan.dresden.de/?TH=UW_HW_STARKREGEN_EXTREM_HMAX
M11	Anpassung an den Klimawandel für die Städte Solingen und Remscheid	PDF Dokument: https://www.remscheid.de/umwelt-mobilitaet/klimaschutz/download-pool/Anpassung_Konzept_Anpassungsstrategie_RS_SG.pdf Weitere Informationen: https://zentrum-klimaanpassung.de/klimaanpassung-und-starkregenvorsorge-im-dreiklang-bergisches-staedtedreieck
	Klimacheck in der Bauleitplanung	PDF Dokument: https://www1.isb.rwth-aachen.de/BESTKLIMA/download/Klima-Check-Final_interaktiv.pdf Visuelle Aufarbeitung: https://www.staedteregion-aachen.de/fileadmin/user_upload/A_70/A70.5_Klimaschutz/70.5_Dateien/Dateien/ESKAPE_Checkliste_klimaangepasste_Bauleitplanung_ISB.pdf Weitere Informationen: https://www.klimastadtraum.de/DE/Arbeitshilfen/ToolboxKLimaanpassung%20im%20Stadtumbau/instrumente/klima-check-bauleitplanung.pdf;jsessionid=AD2C299BF35AEFB085C436DD3B94F2C5.live11294?__blob=publicationFile&v=4