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

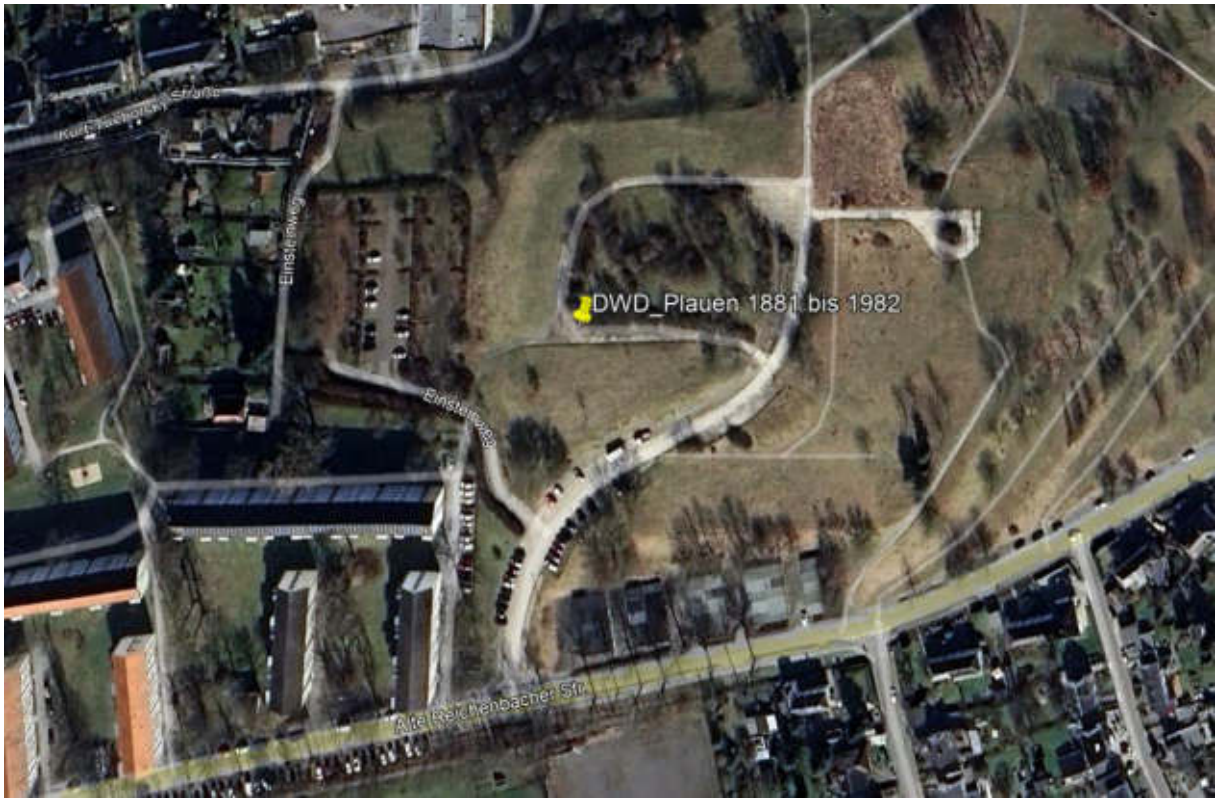

Abbildung 36: Alter Standort der DWD-Station Plauen nördlich der Alten Reichenbacher Straße. Quelle: amtliches Luftbild in Google Earth (2023).

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

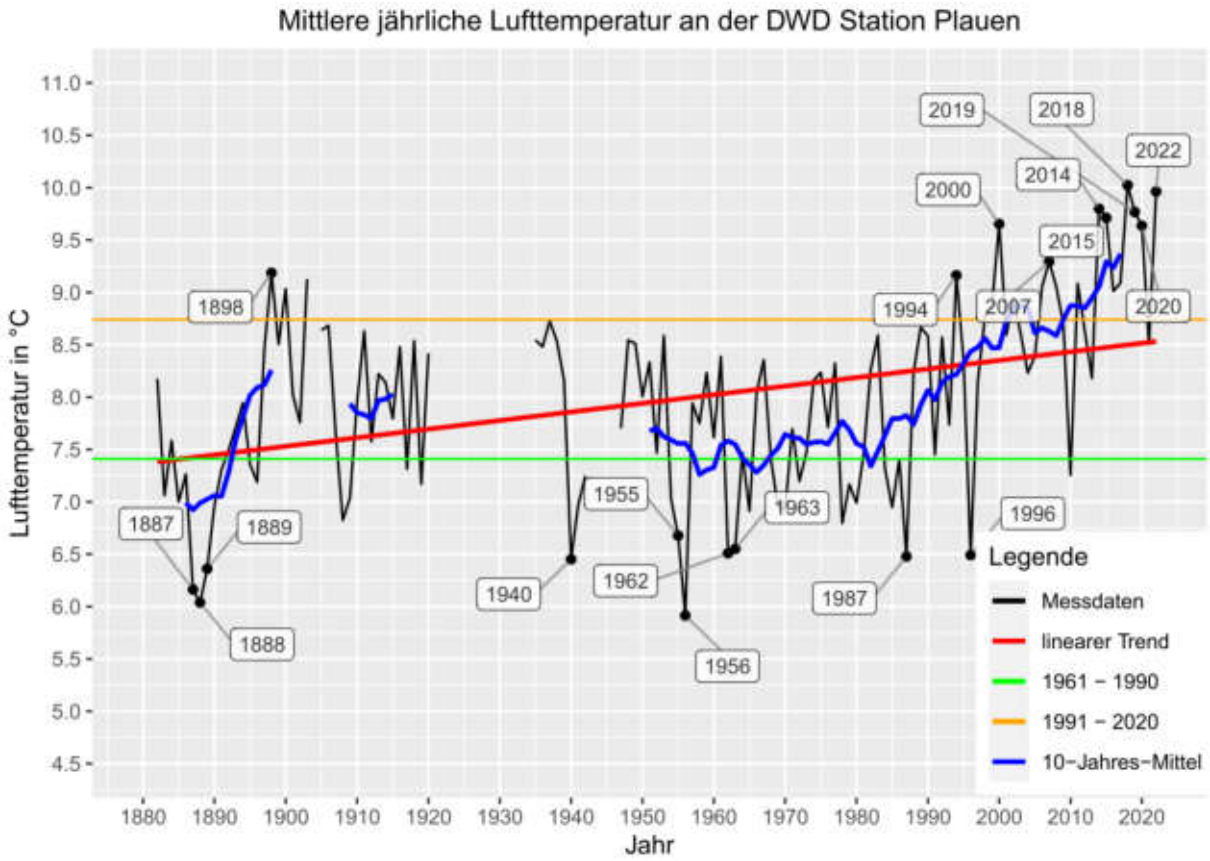

Abbildung 38: Mittlere jährliche Lufttemperatur an der DWD-Station Plauen. Die zehn wärmsten und kältesten Jahre sind gesondert hervorgehoben.

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.

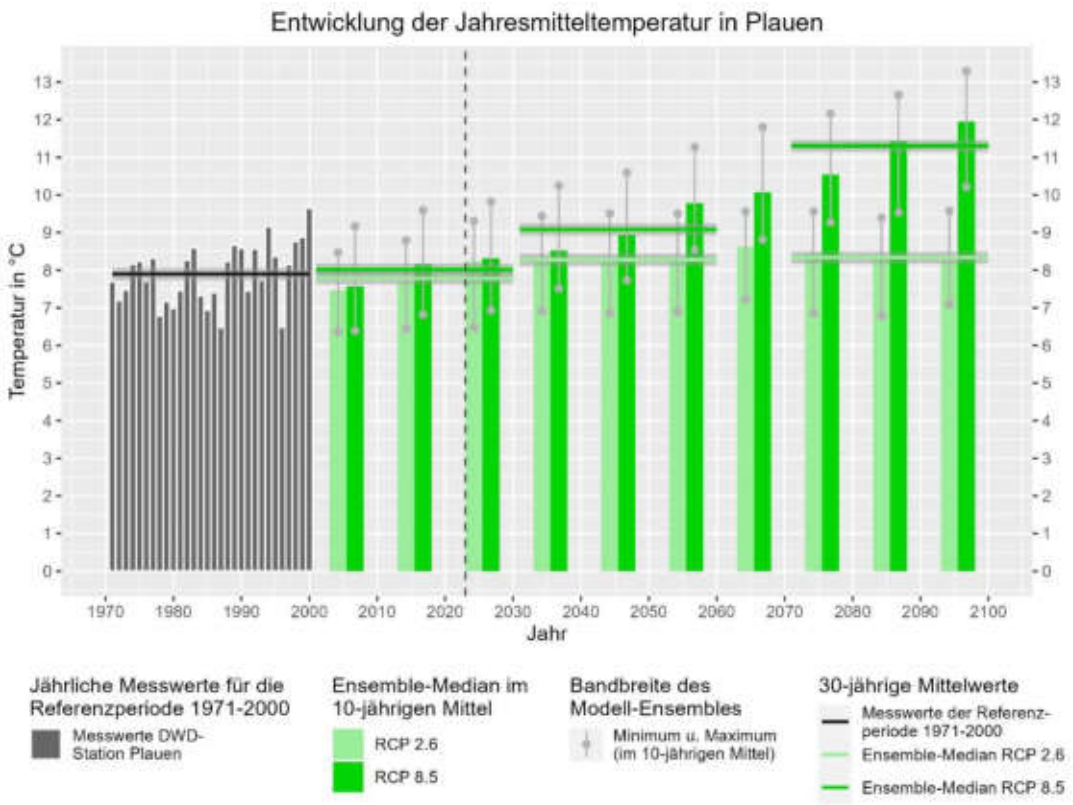

Abbildung 39: Projizierte Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Plauen.

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).

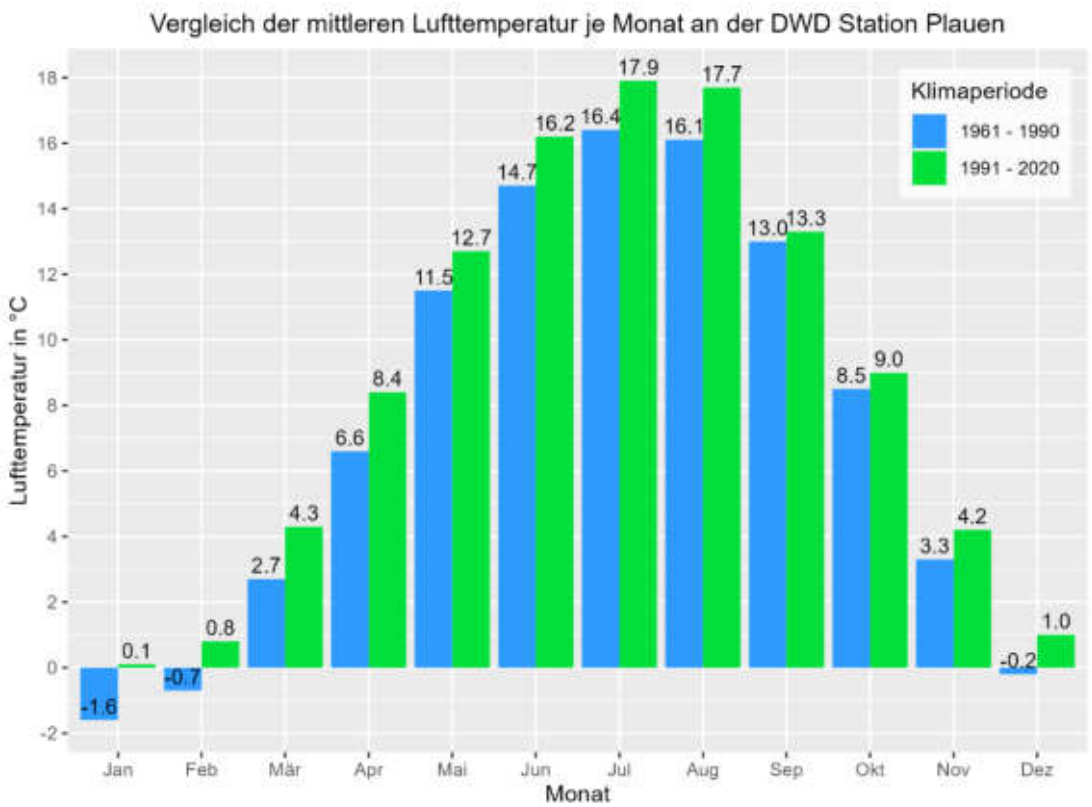

Abbildung 40: Vergleich der mittleren Lufttemperatur je Monat an der DWD-Station Plauen für die beiden Klimaperioden 1961-1990 (blau) und 1991-2020 (grün).

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.

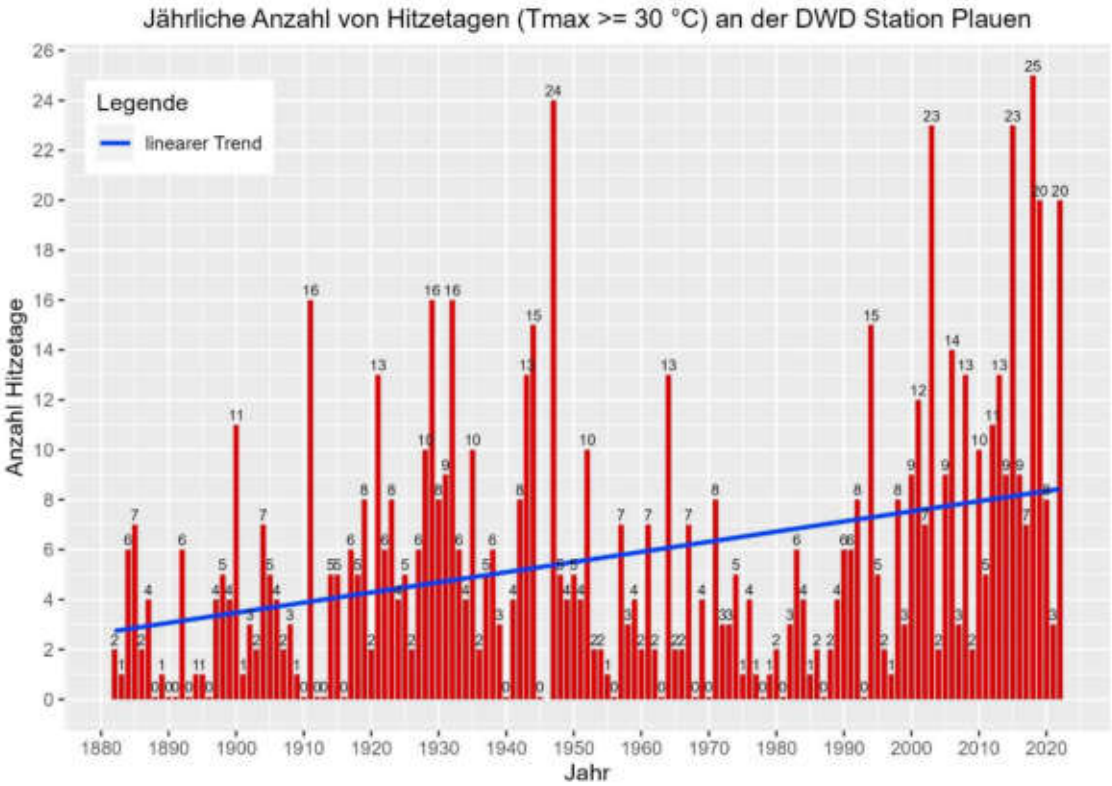

Abbildung 41: Jährliche Anzahl von Hitzetagen an der DWD-Station Plauen.

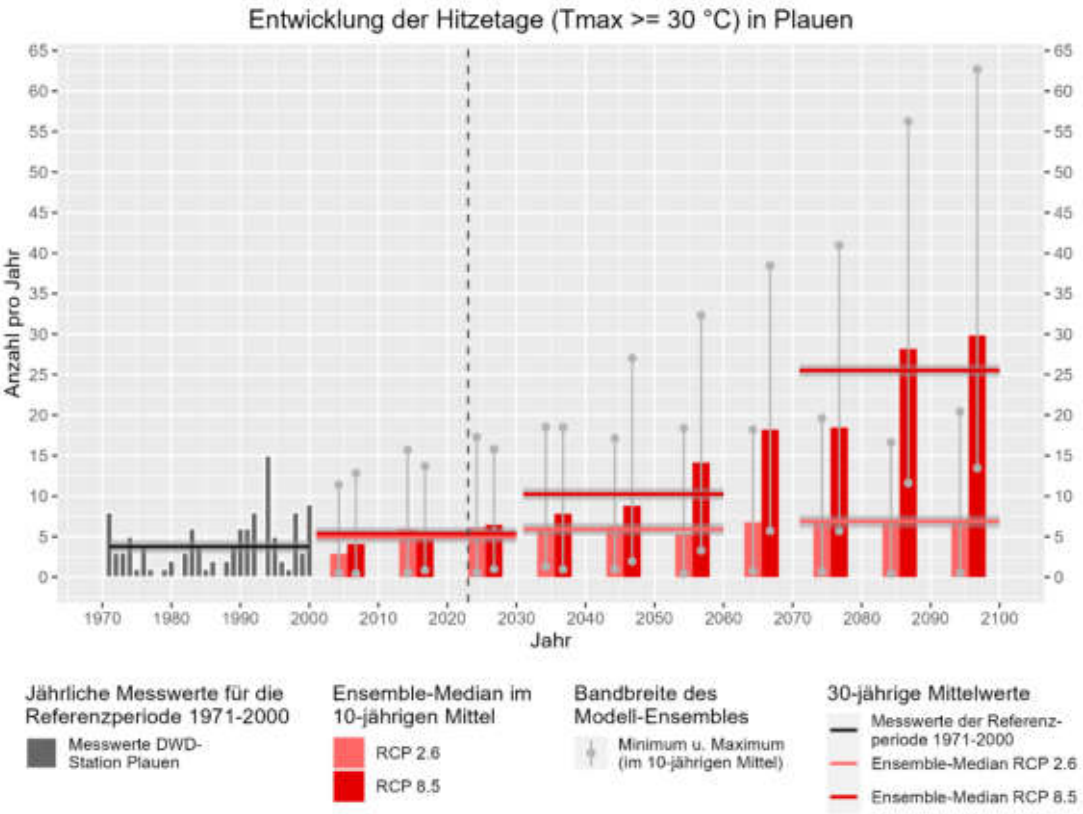

Abbildung 42: Projizierte Entwicklung der Hitzetage in Plauen.

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.

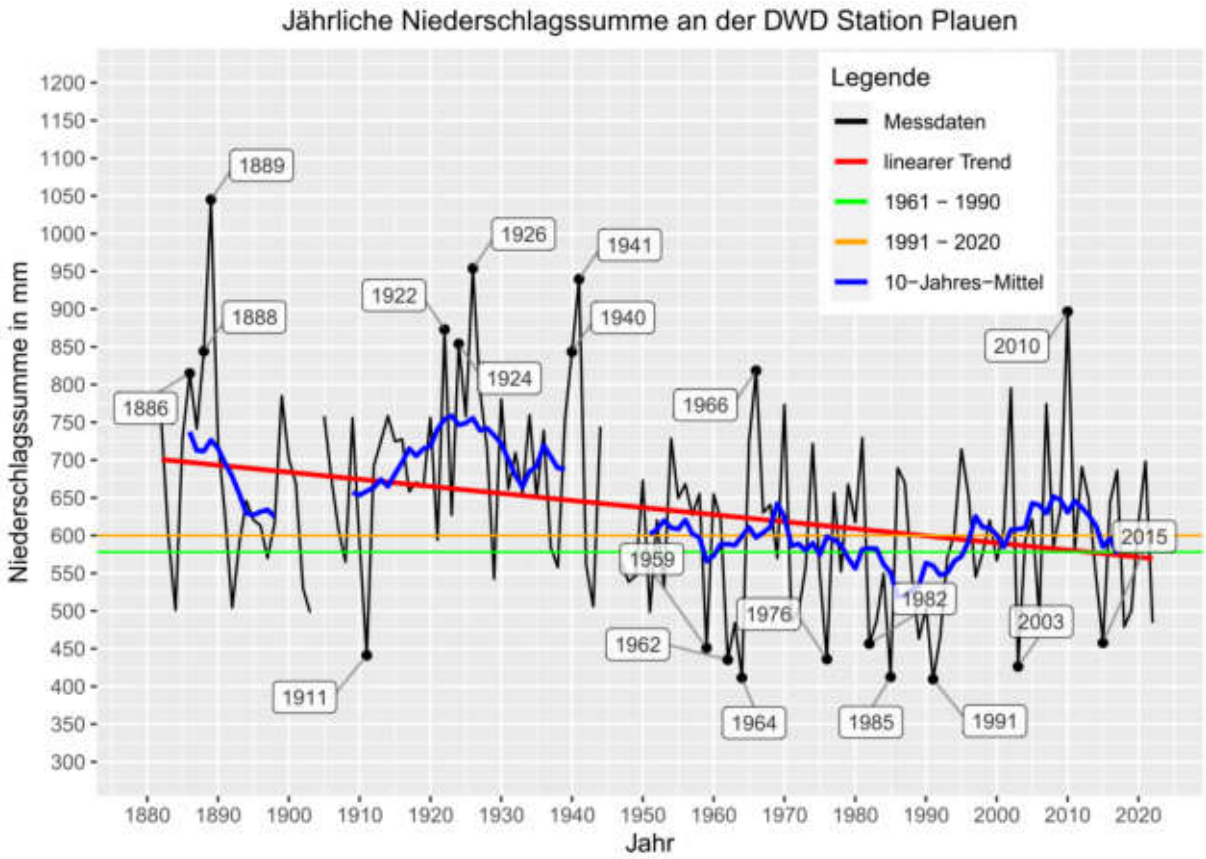

Abbildung 43: Jährliche Niederschlagssumme an der DWD Station Plauen.

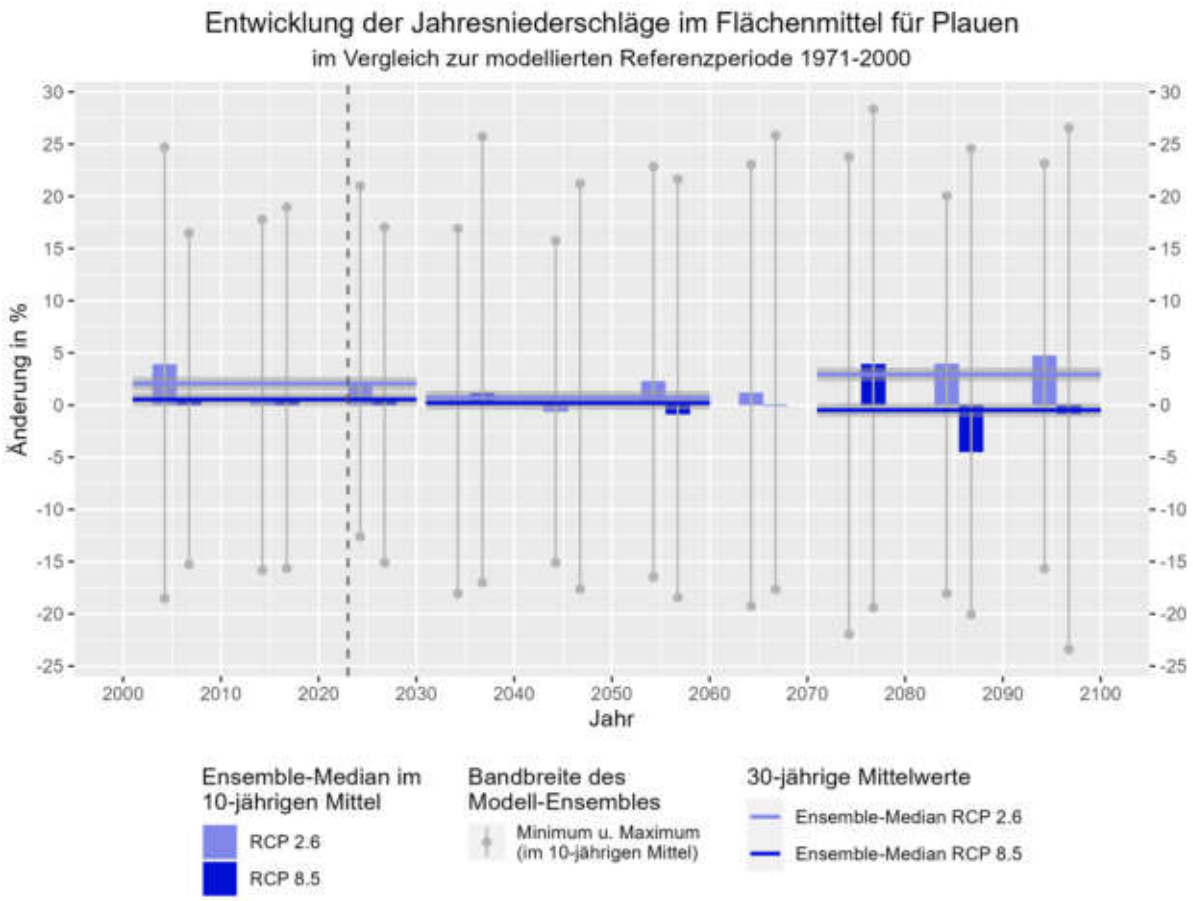

Abbildung 44: Projizierte Entwicklung der Jahresniederschläge in Plauen.

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

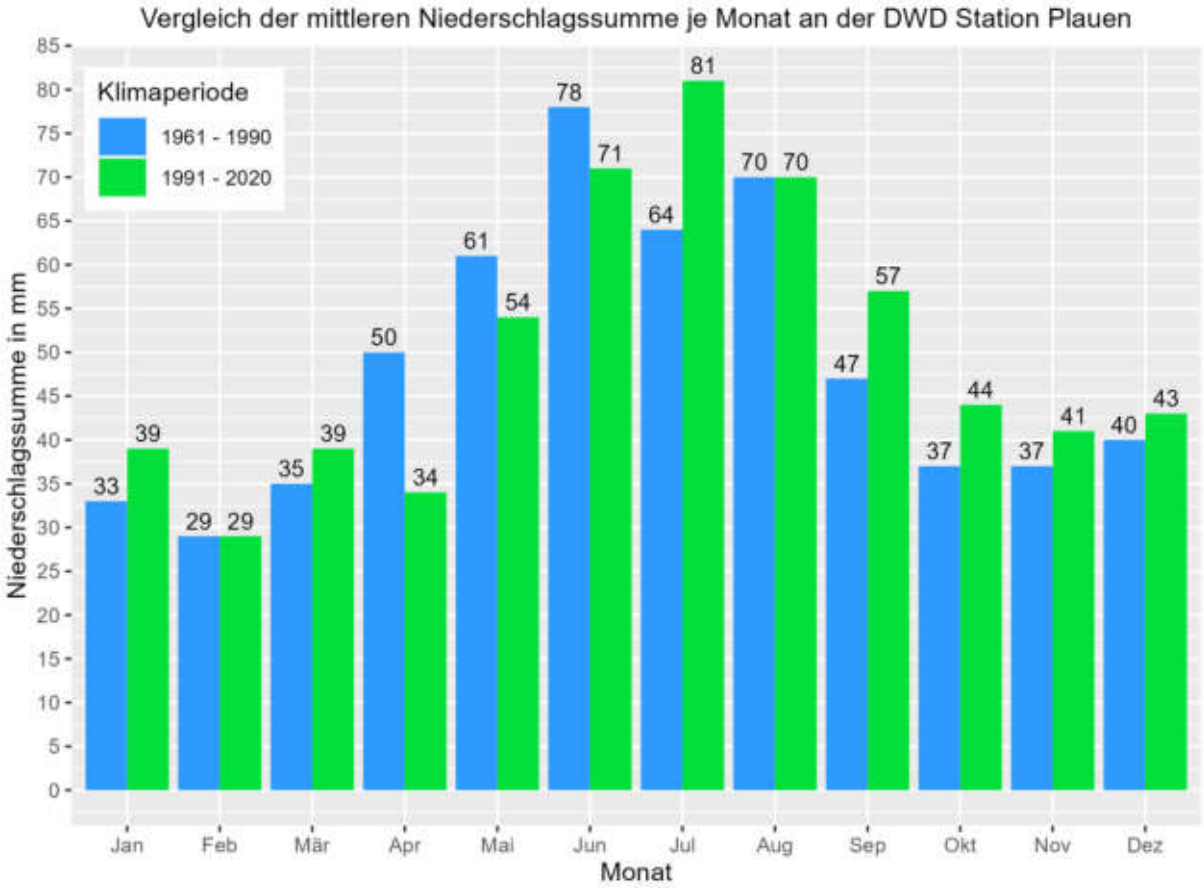

Abbildung 45: Vergleich der mittleren Niederschlagssumme je Monat an der DWD-Station Plauen für die beiden Klimaperioden 1961-1990 (blau) und 1991-2020 (grün).

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

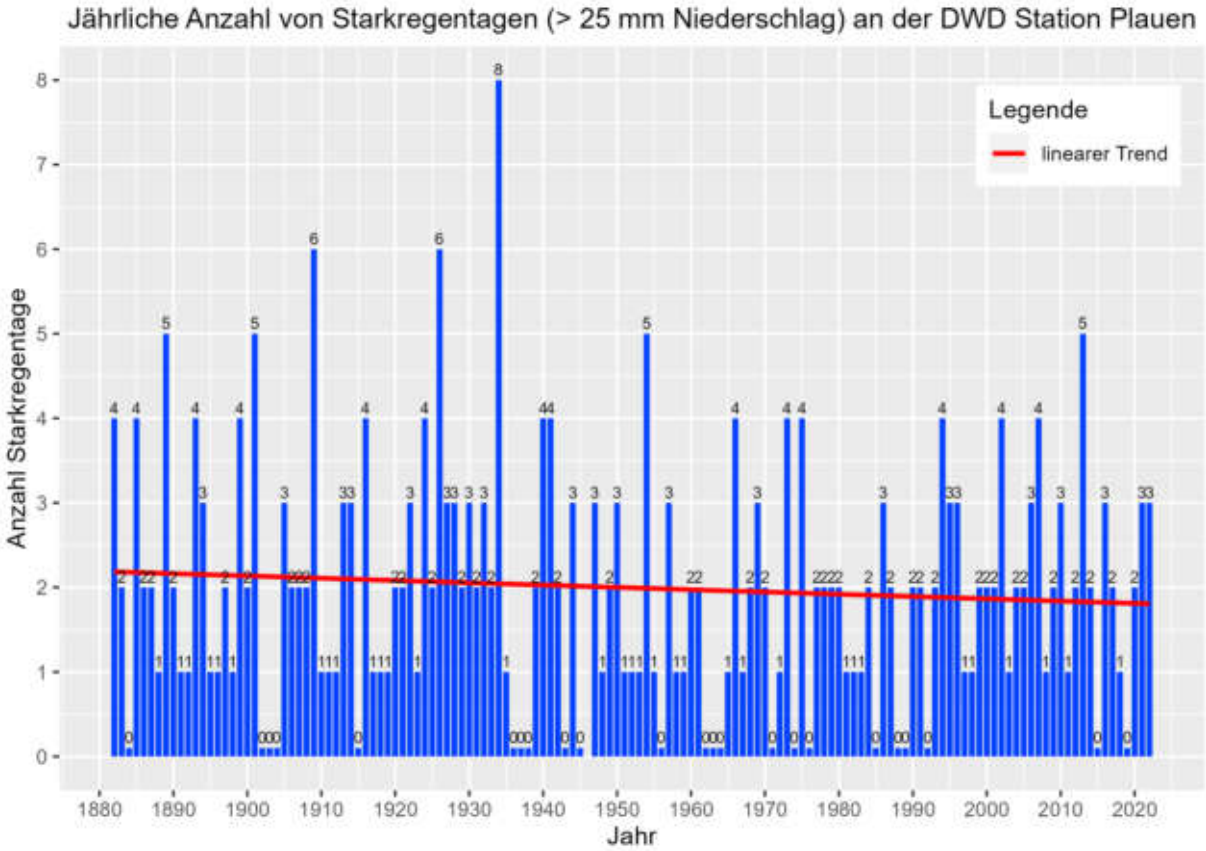

Abbildung 46: Jährliche Anzahl der Starkregentage an der DWD-Station Plauen.

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.

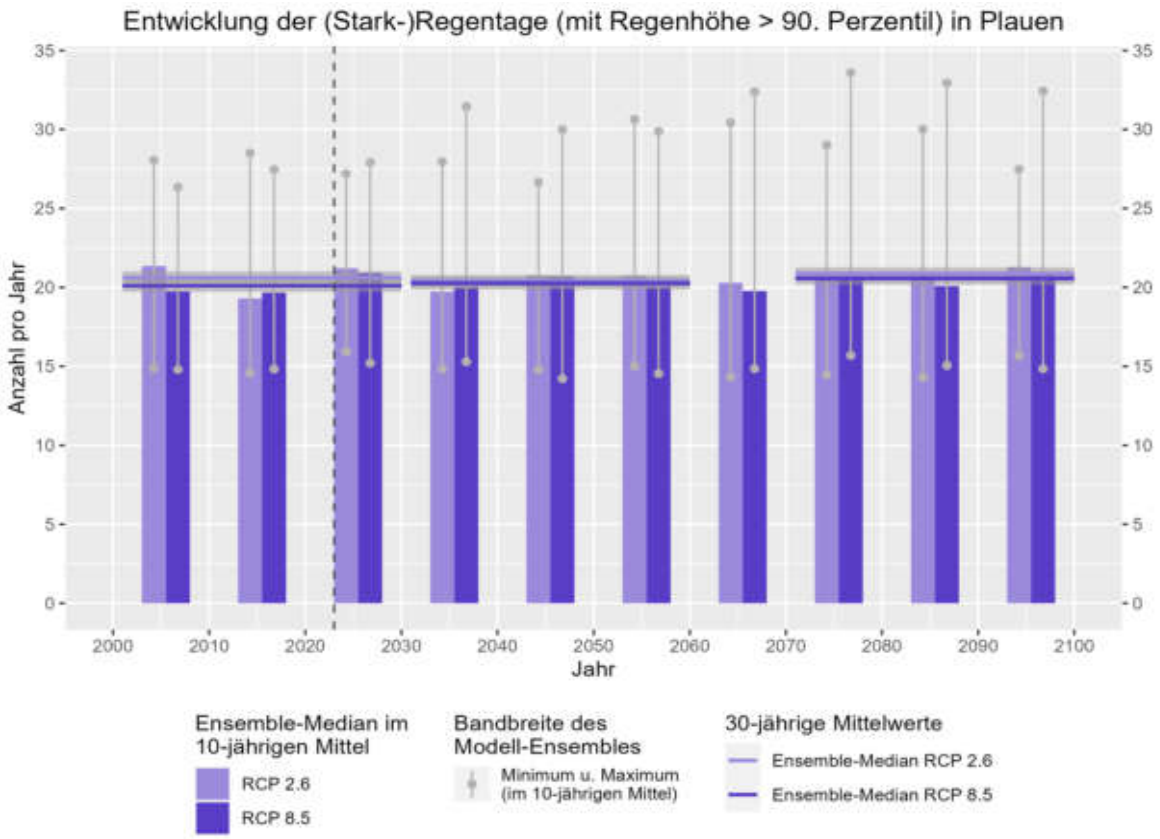

Abbildung 47: Projizierte Entwicklung der Starkregentage.

3.2.3. Wind

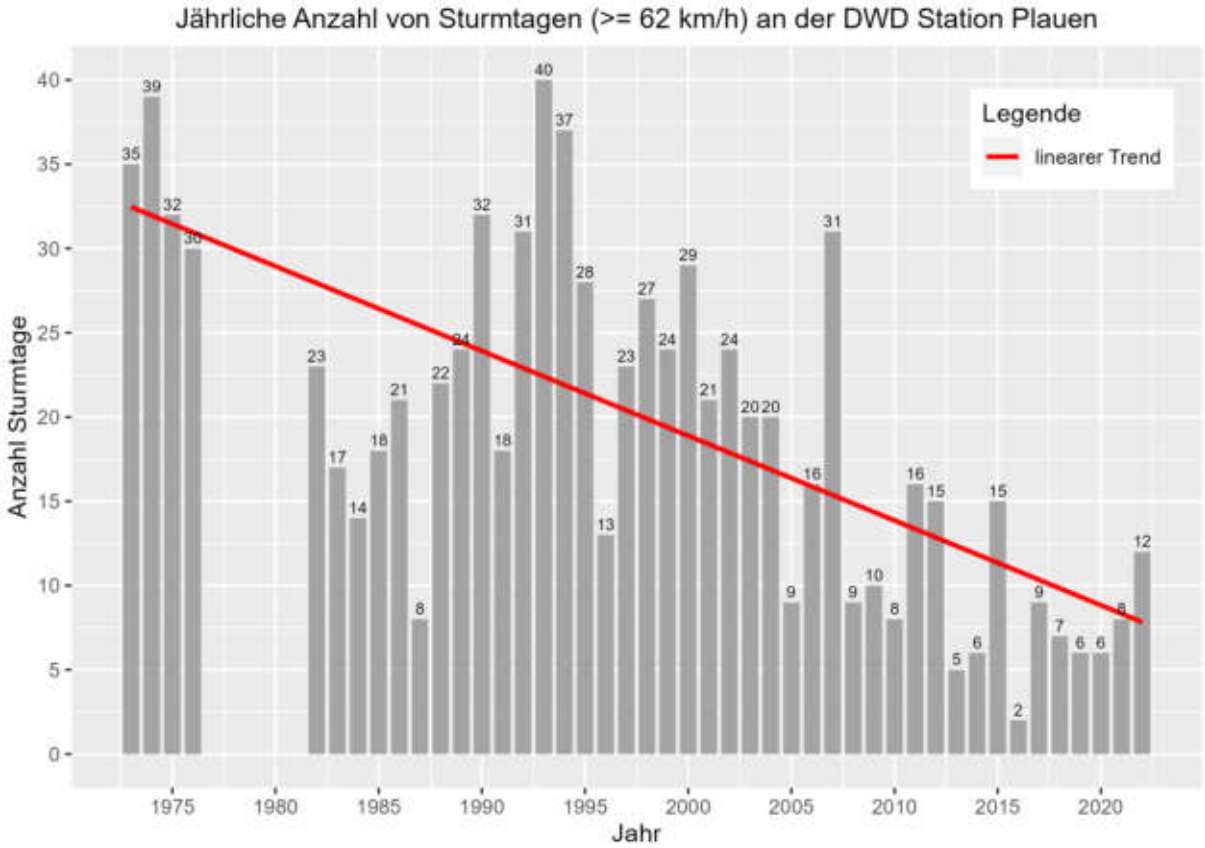

Abbildung 48: Entwicklung der Sturmtage an der DWD-Station Plauen.

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.

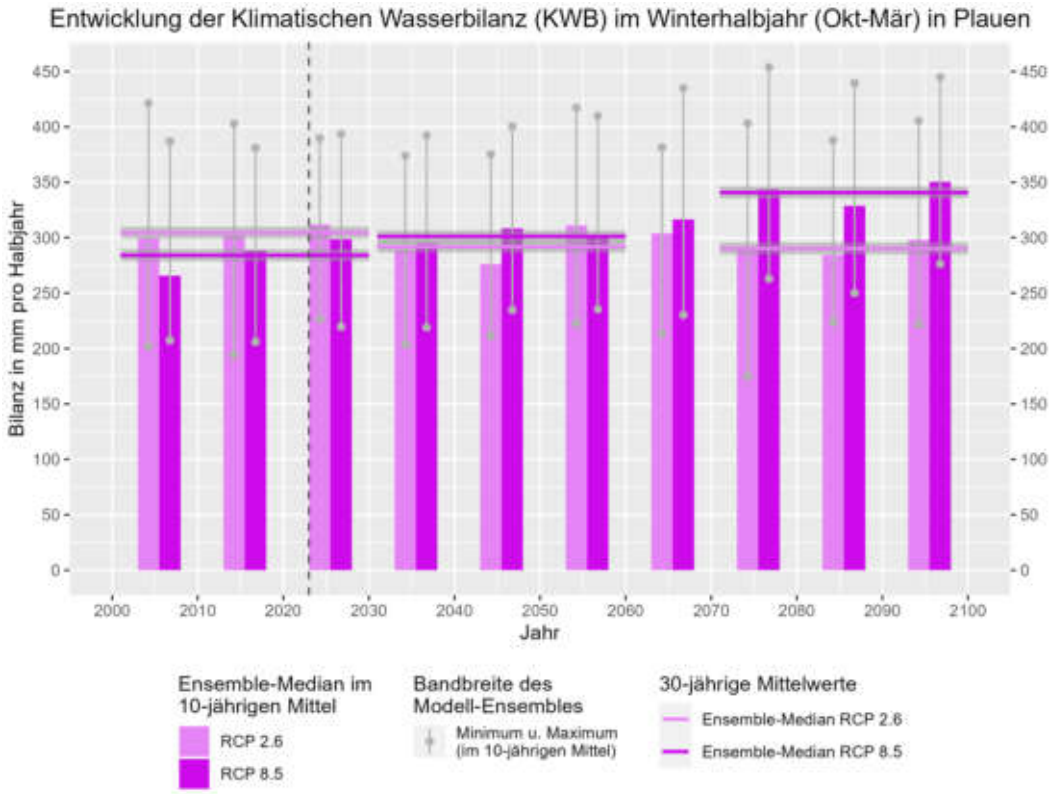

Abbildung 49: Prognostizierte Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz im Winterhalbjahr in Plauen.

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.

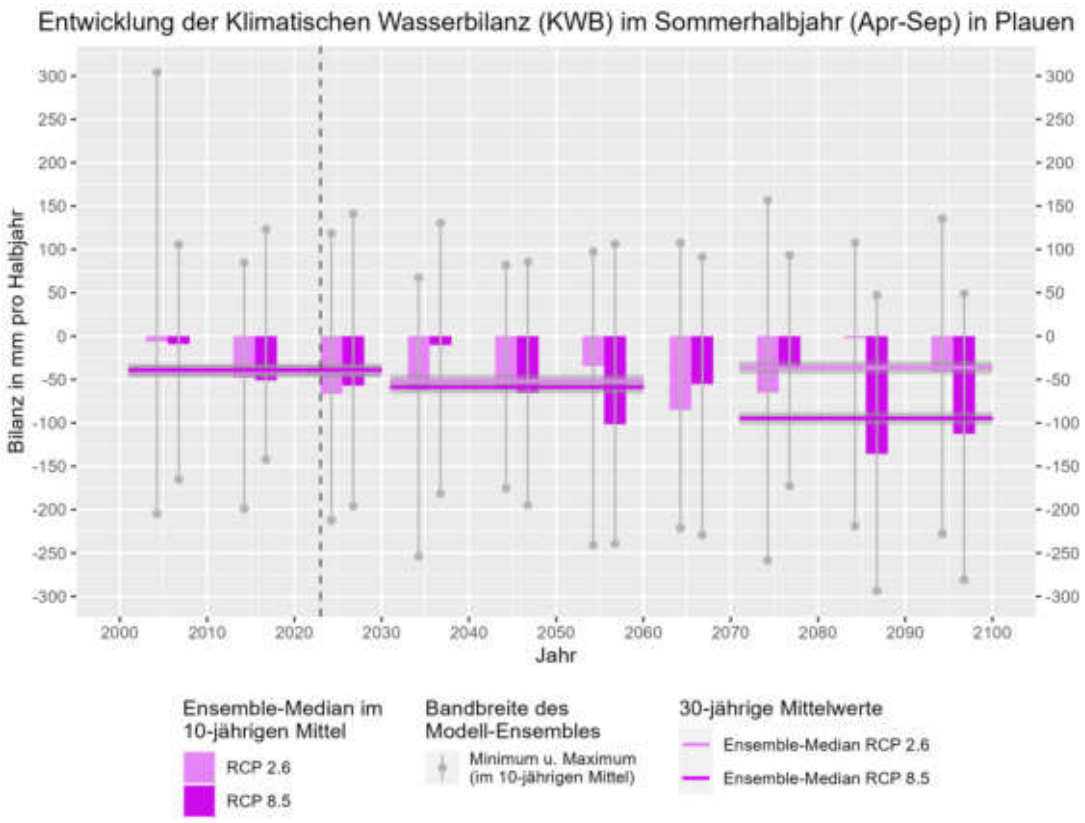

Abbildung 50: Prognostizierte Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr in Plauen.

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 Wasser-bilanz	Wind**	
Zentrale Klimaparameter / Handlungsfelder und wichtige Klimawirkungen	**Langfristige Temperaturzunahme***	**Häufigere, intensivere Hitzeperioden***	Langfristige Niederschlags-veränderungen	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

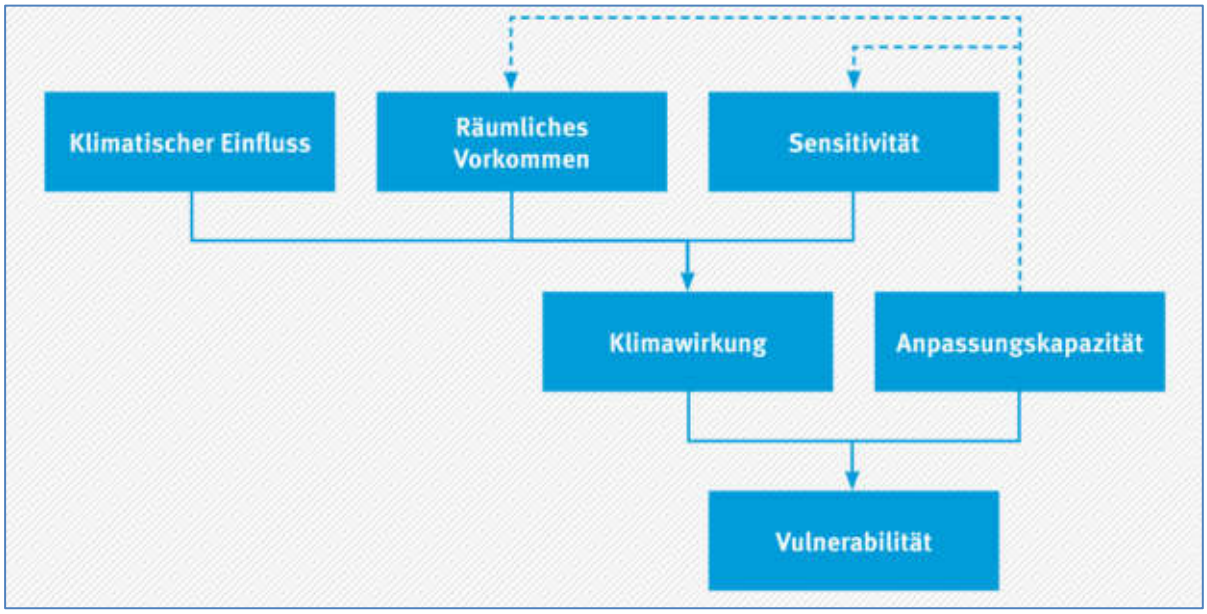

Abbildung 51: Konzept zur Bestimmung der Klimawirkung und der Vulnerabilität aus dem Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen des Umweltbundesamtes (Quelle: UBA 2017b).

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.

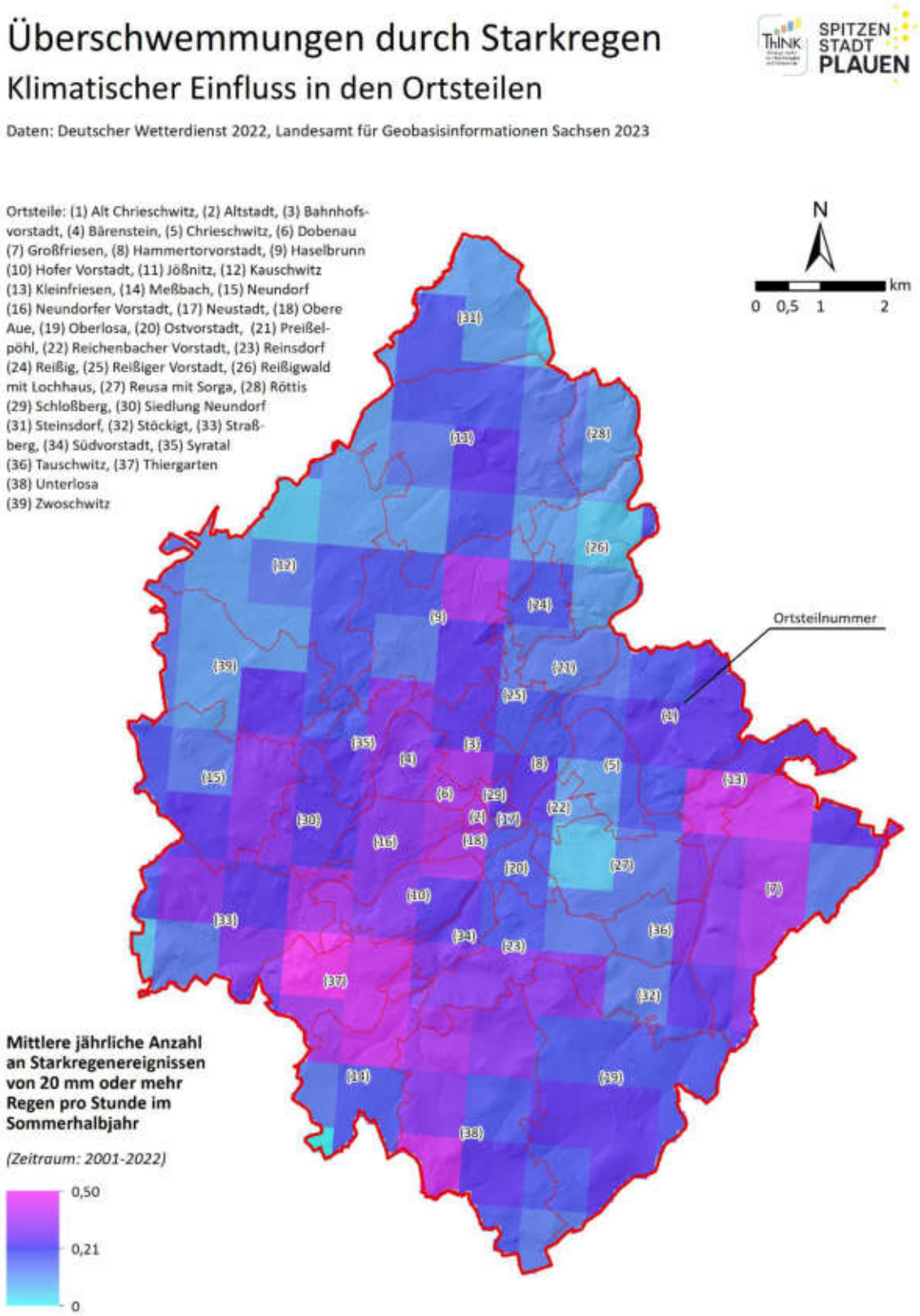

Abbildung 53: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen.

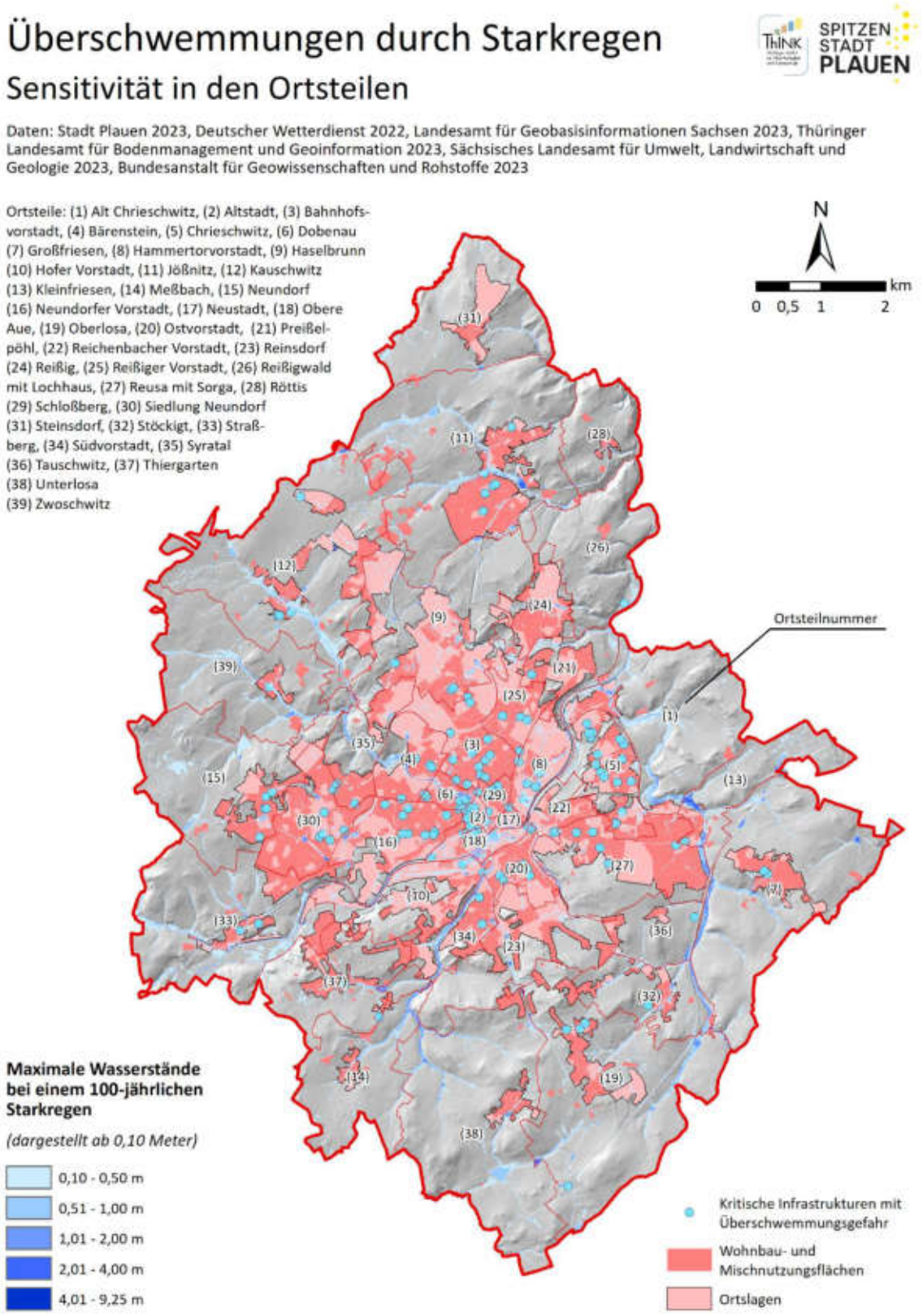

Abbildung 54: Sensitivitäten für die Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen.

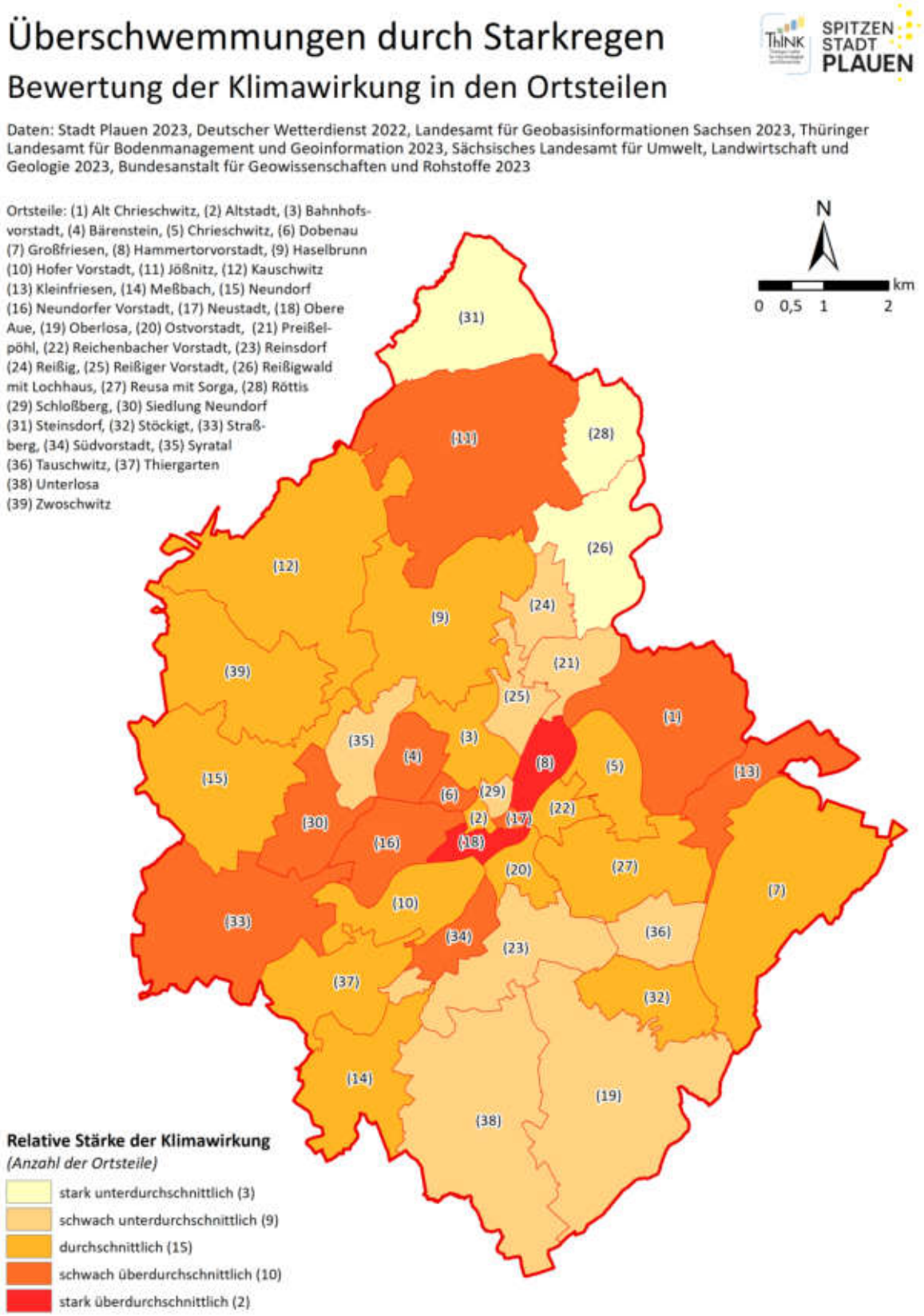

Abbildung 55: Bewertung der Klimawirkung Überschwemmungen durch Starkregen.

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).

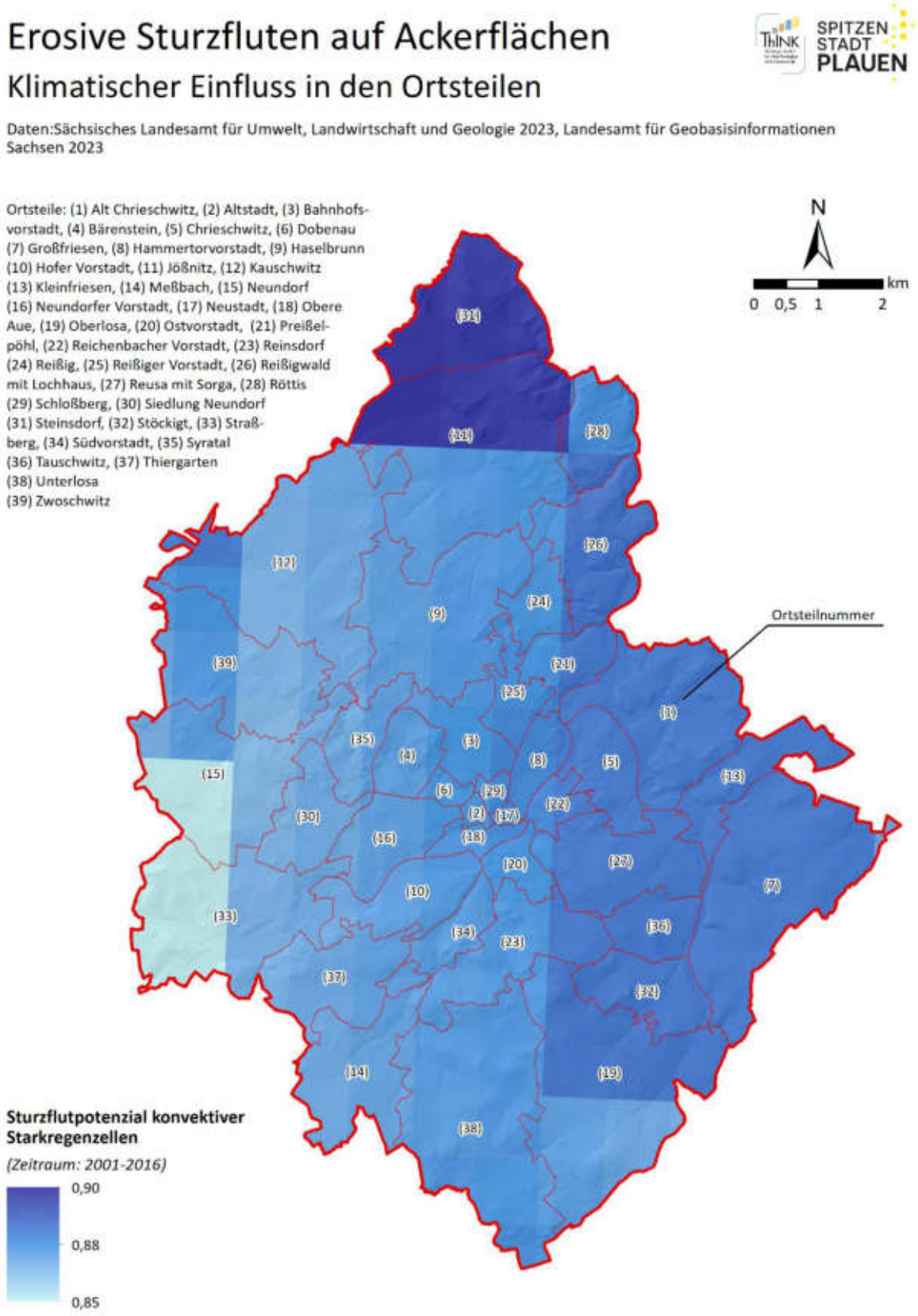

Abbildung 56: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen.

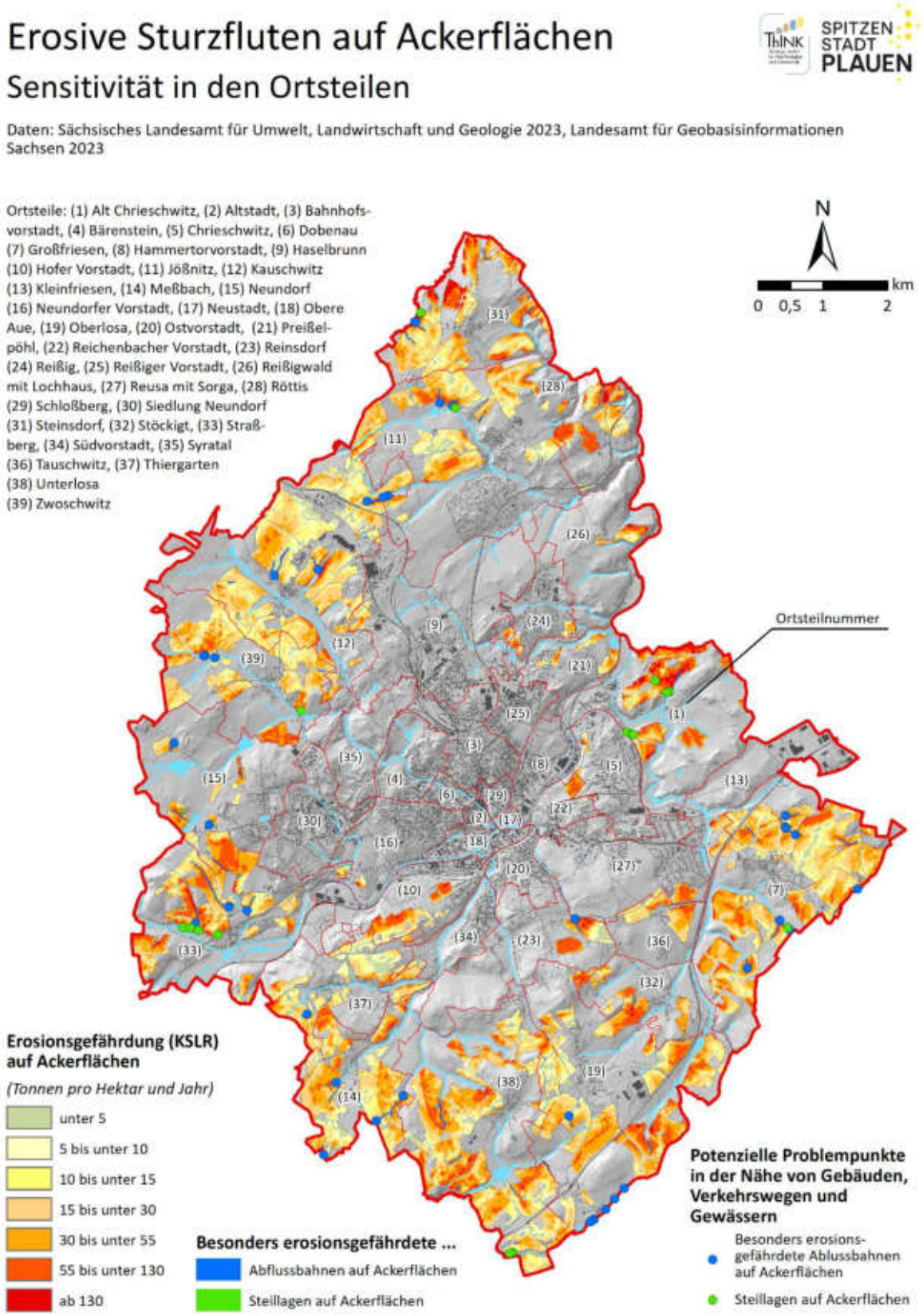

Abbildung 57: Sensitivitäten für die Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen.

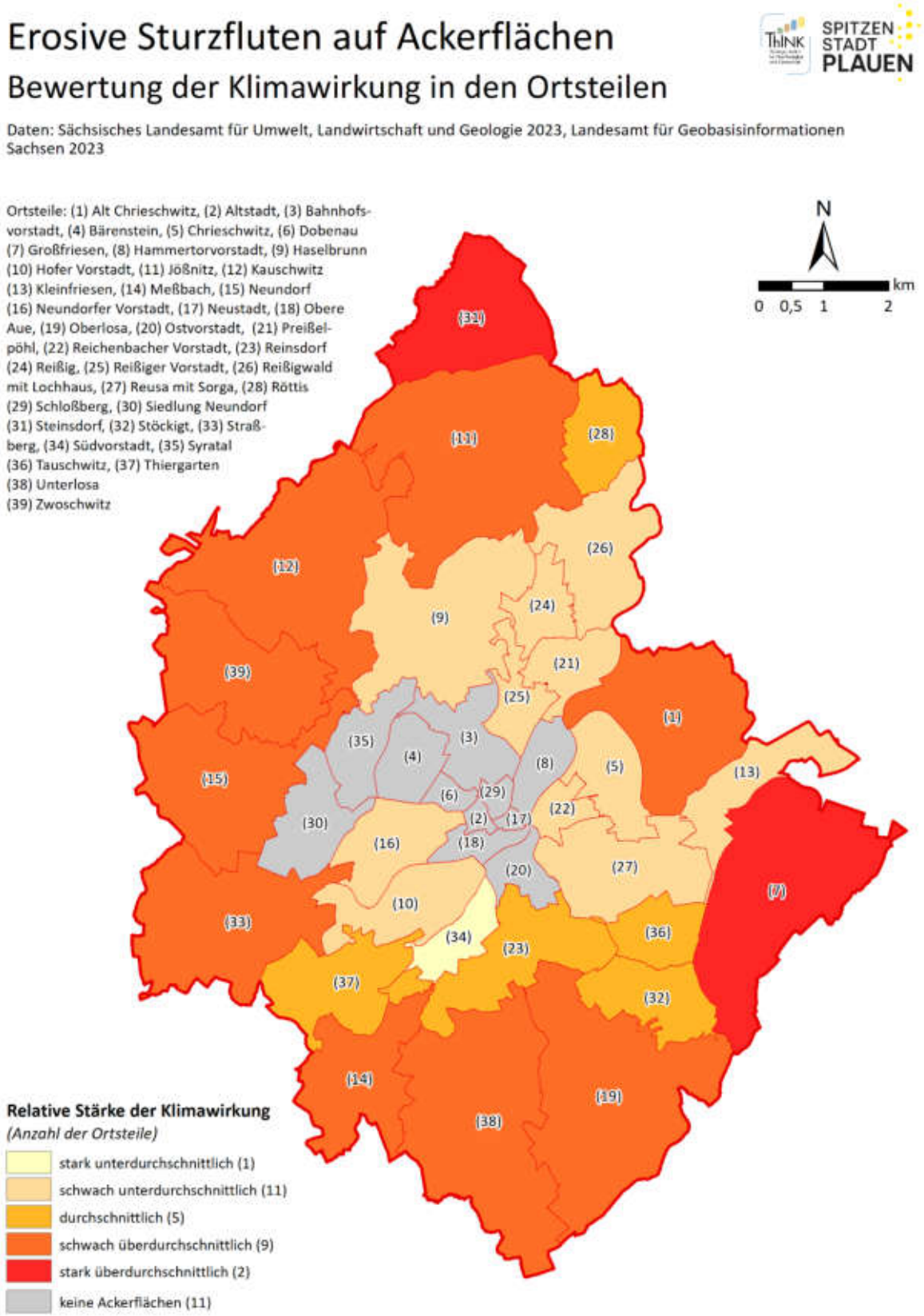

Abbildung 58: Bewertung der Klimawirkung Erosive Sturzfluten auf Ackerflächen.

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.

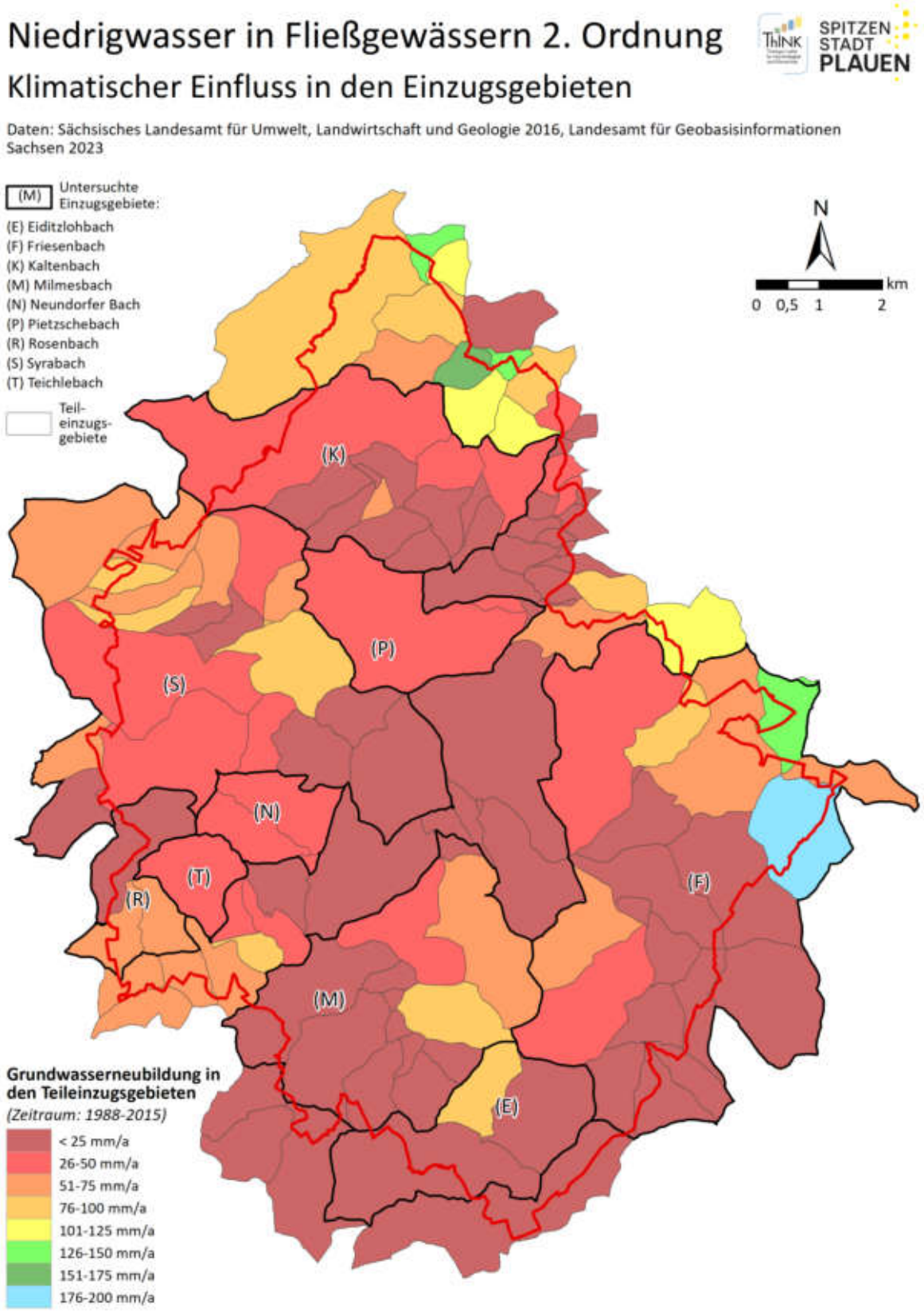

Abbildung 59: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung.

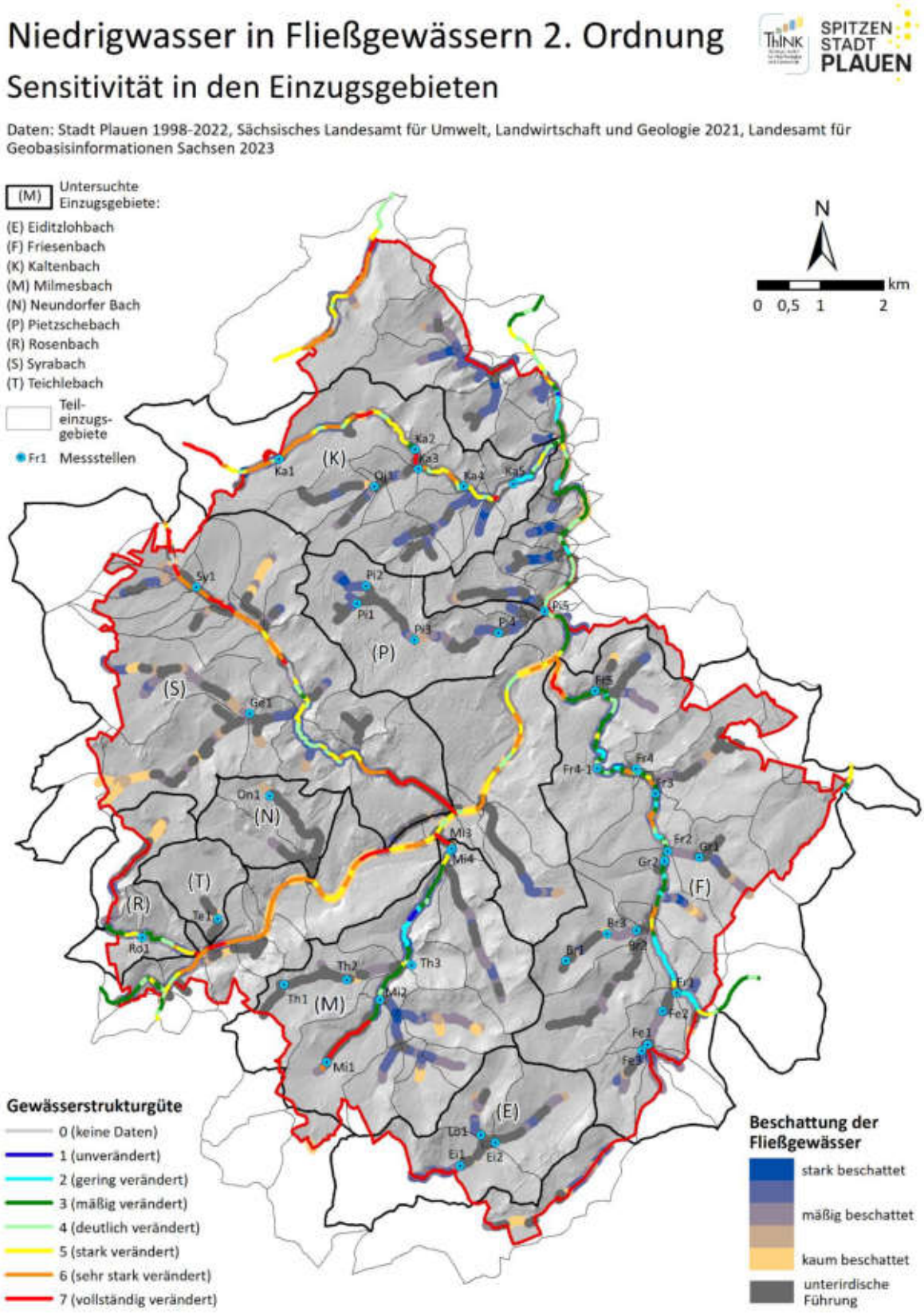

Abbildung 60: Sensitivitäten für die Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung.

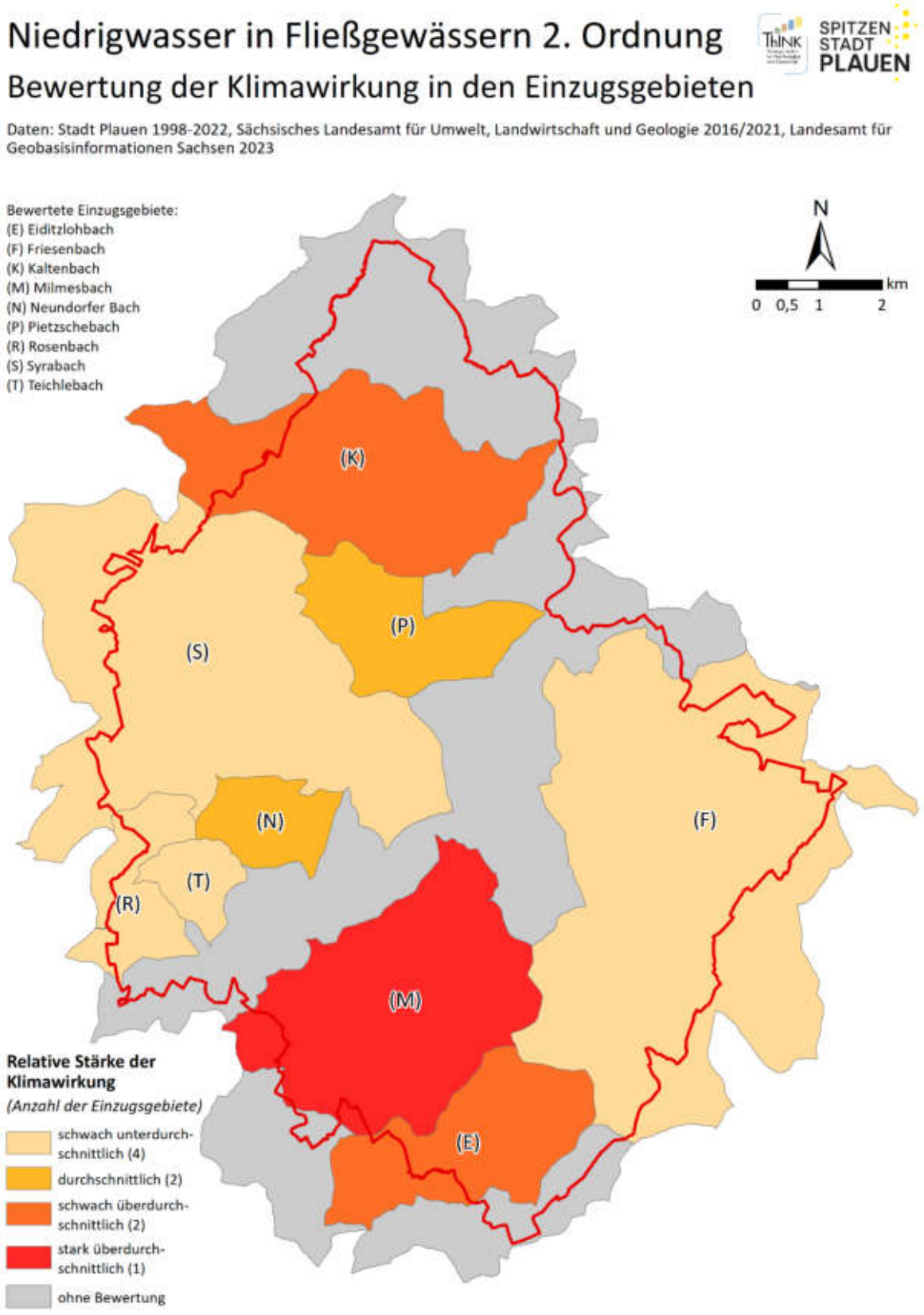

Abbildung 61: Bewertung der Klimawirkung Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung.

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	Bevölkerungszahl	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.

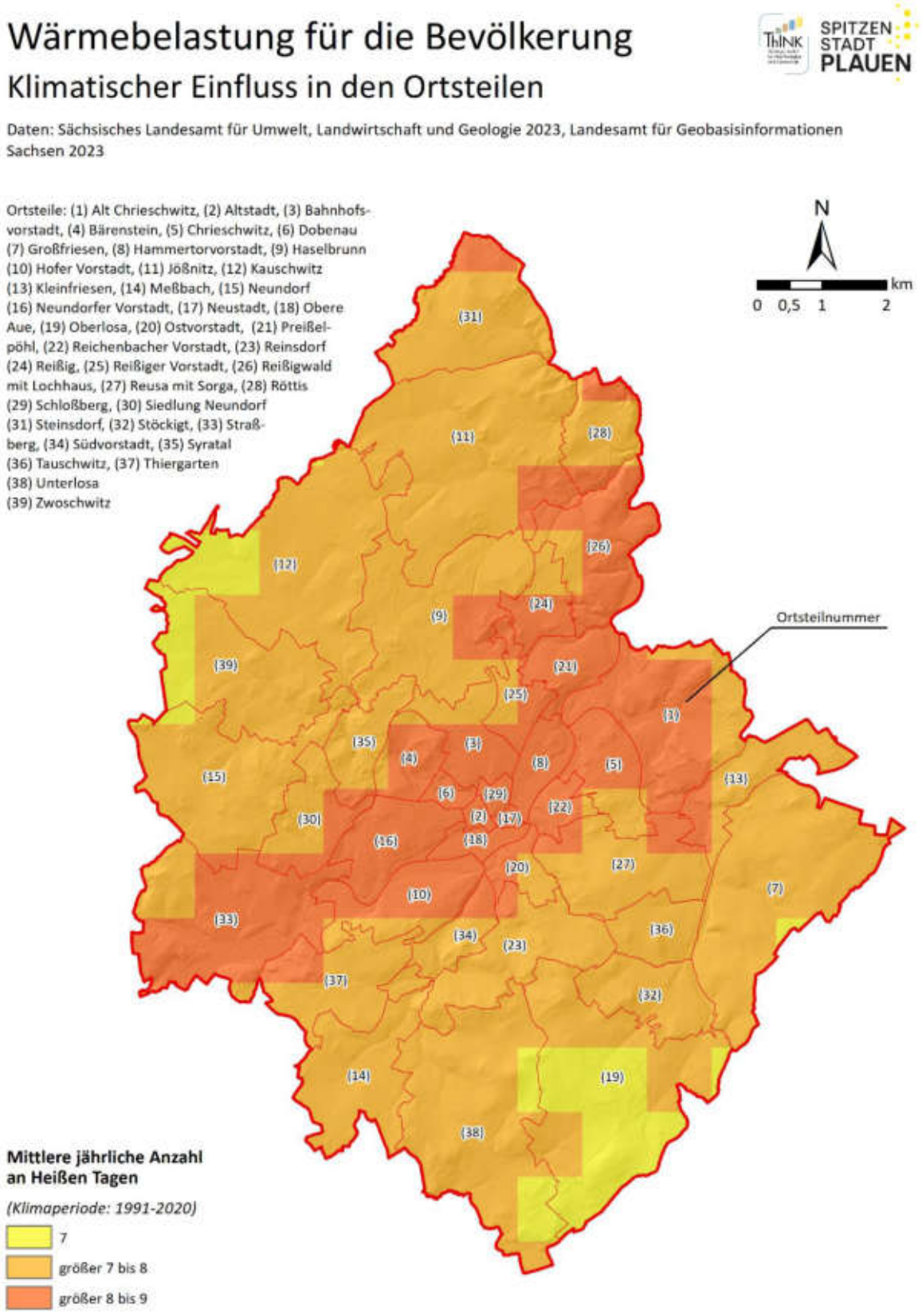

Abbildung 62: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung.

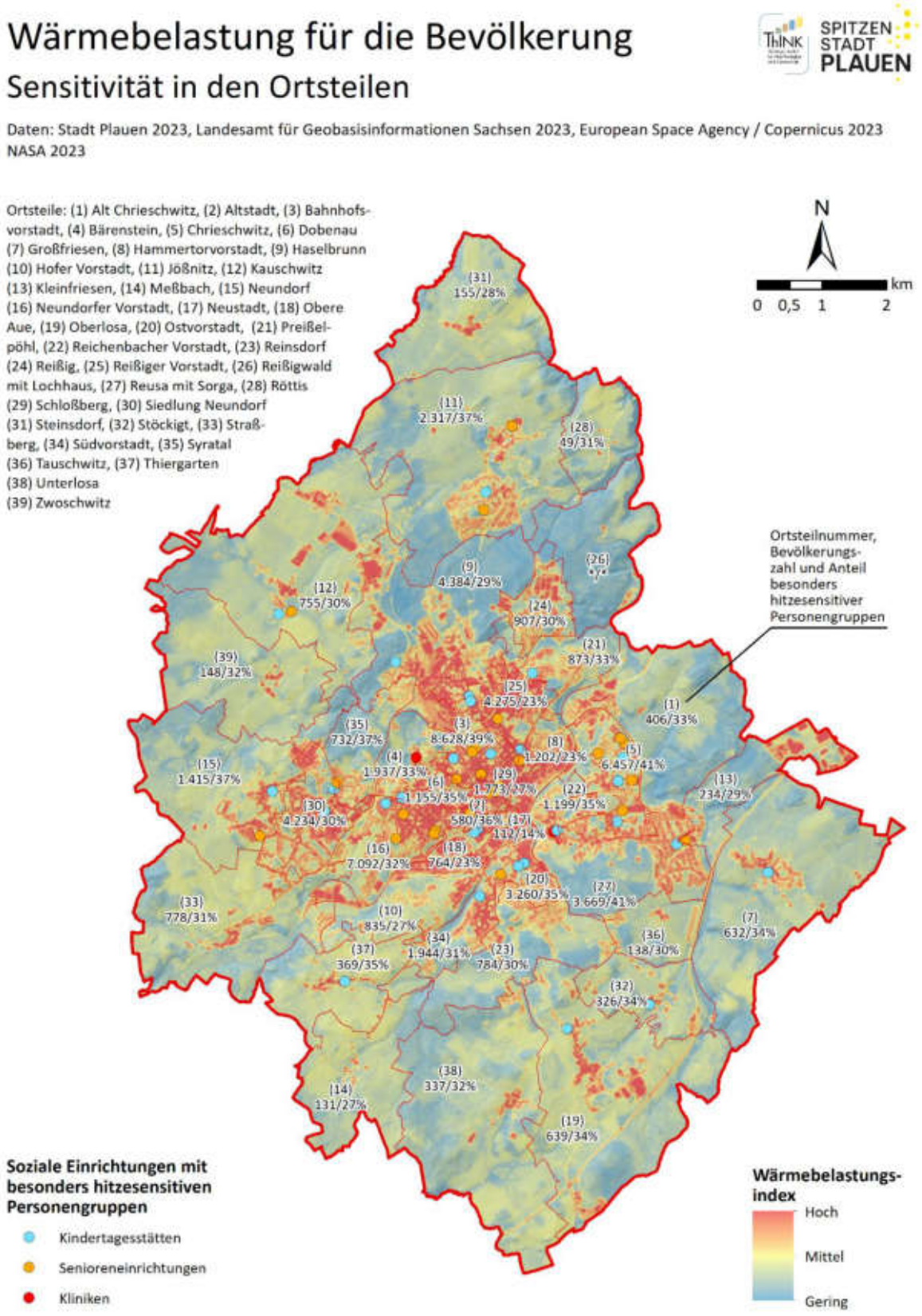

Abbildung 63: Sensitivitäten für die Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung.

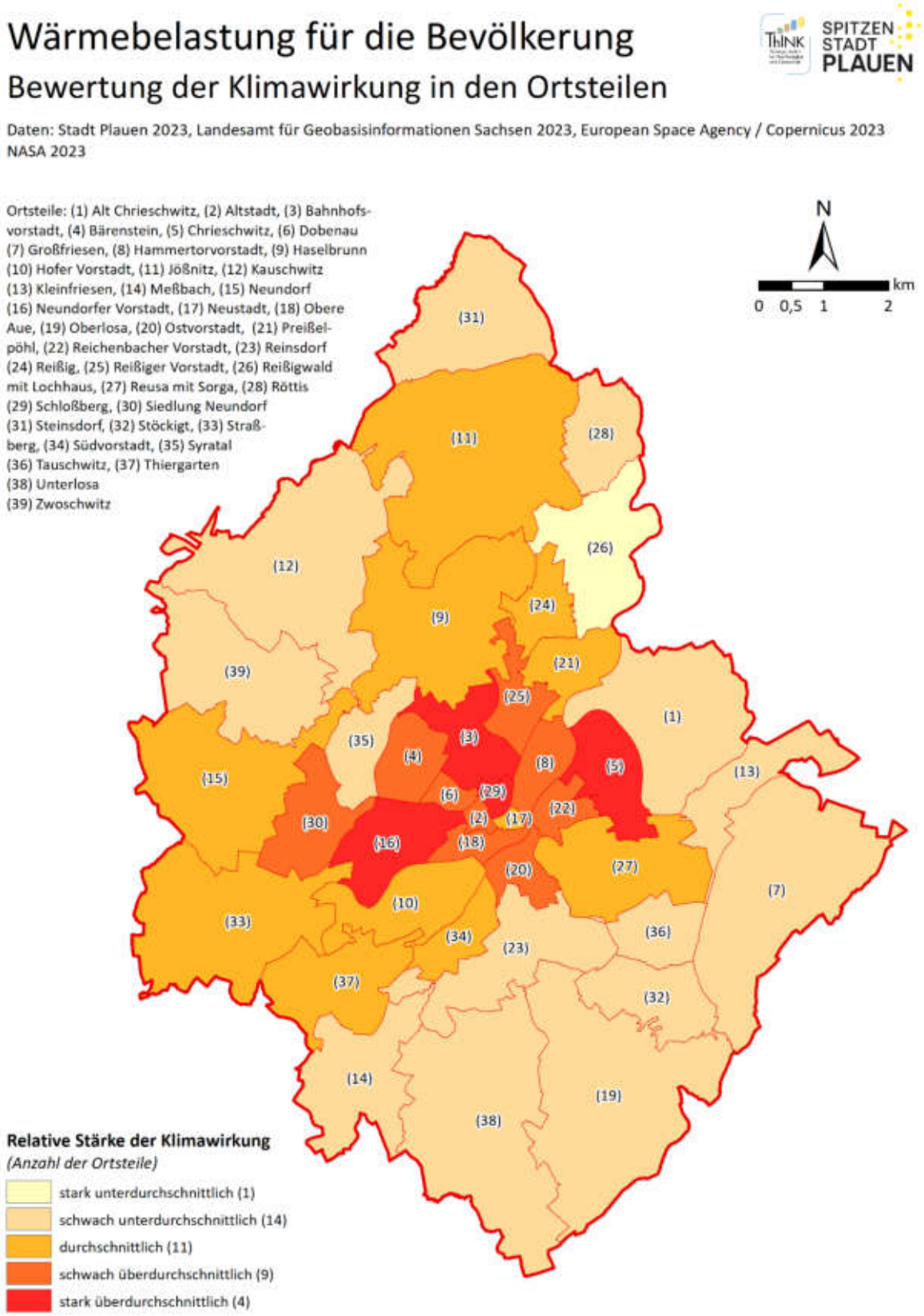

Abbildung 64: Bewertung der Klimawirkung Wärmebelastung für die Bevölkerung.

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)

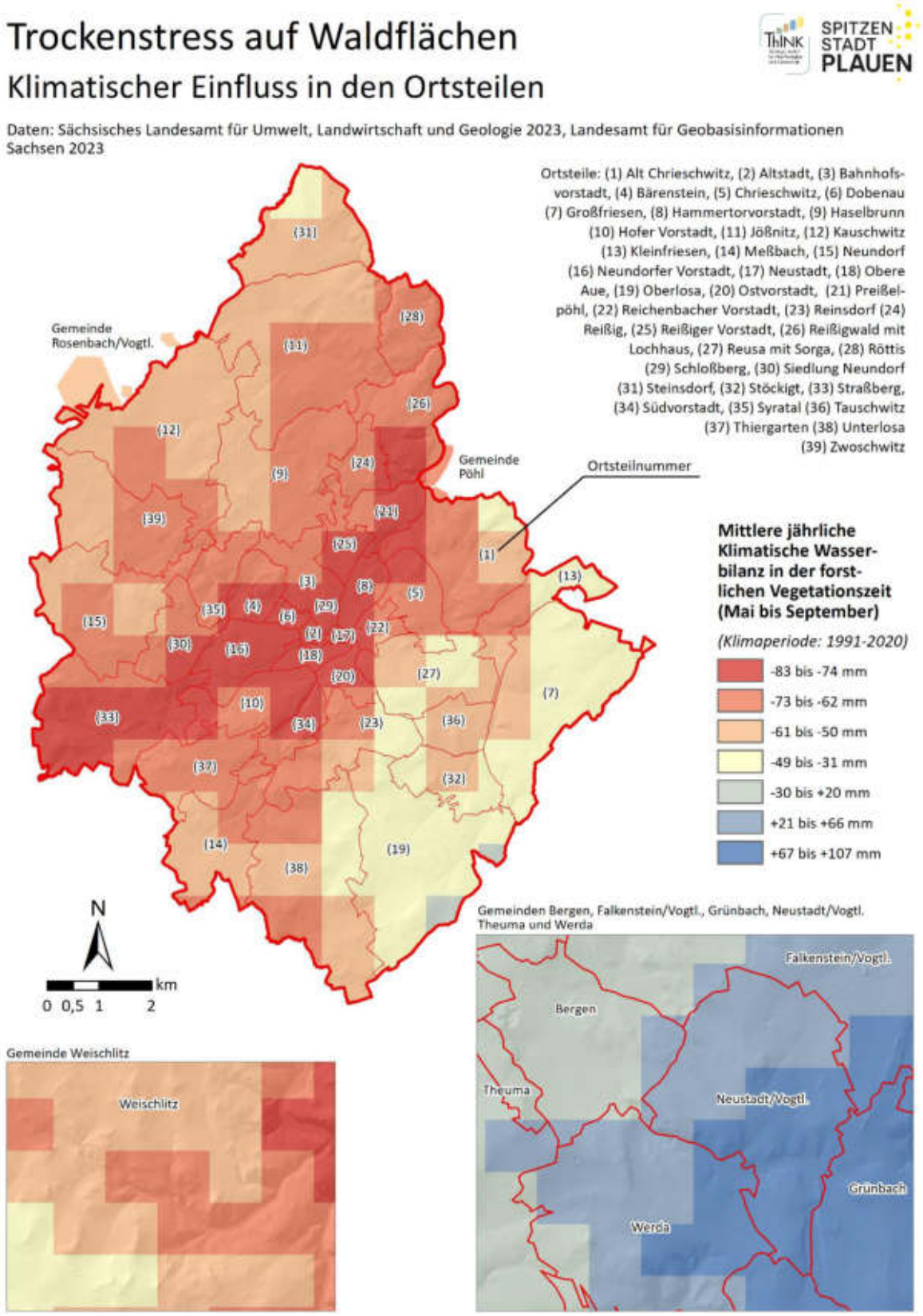

Abbildung 65: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen.

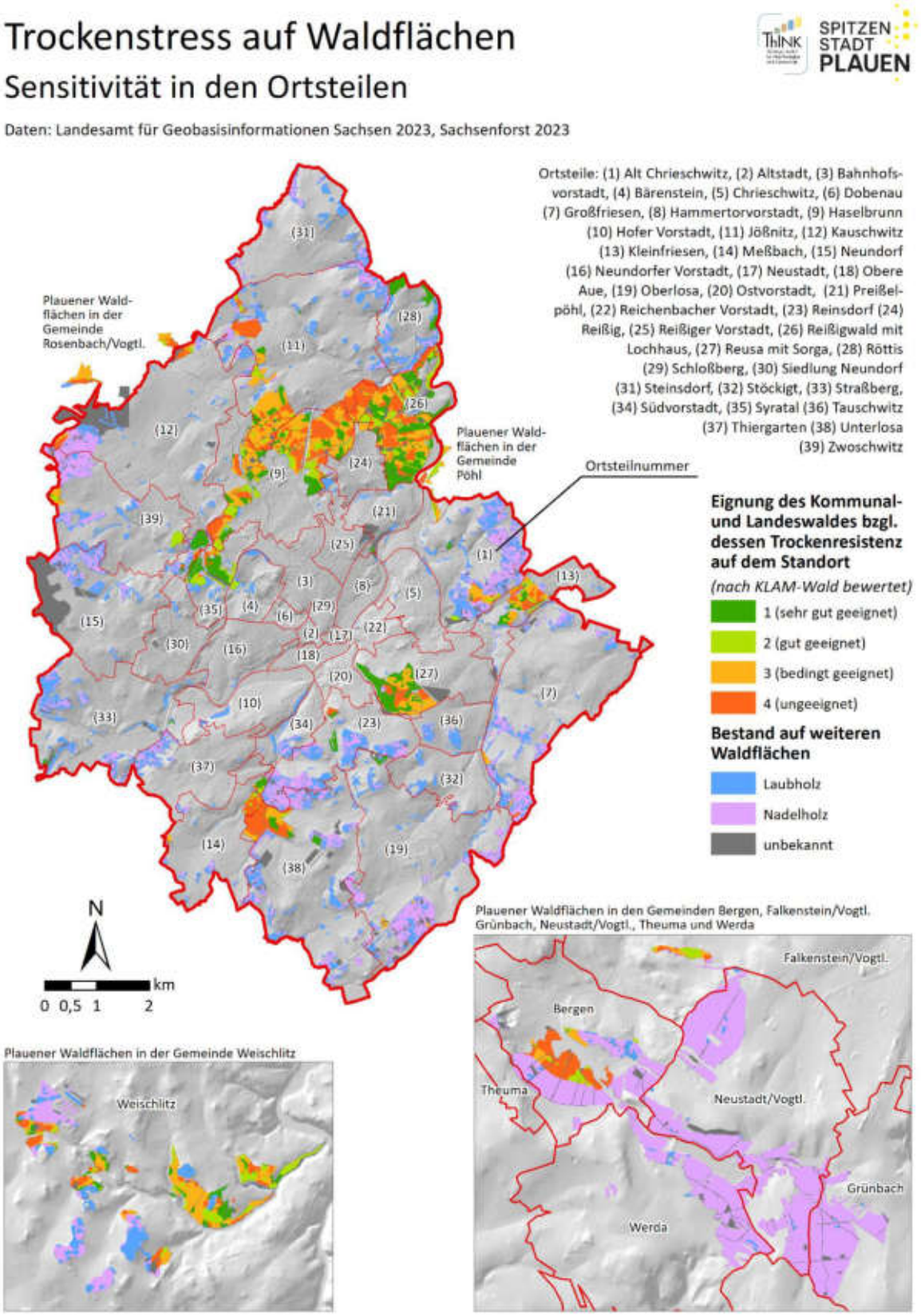

Abbildung 66: Sensitivitäten für die Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen.

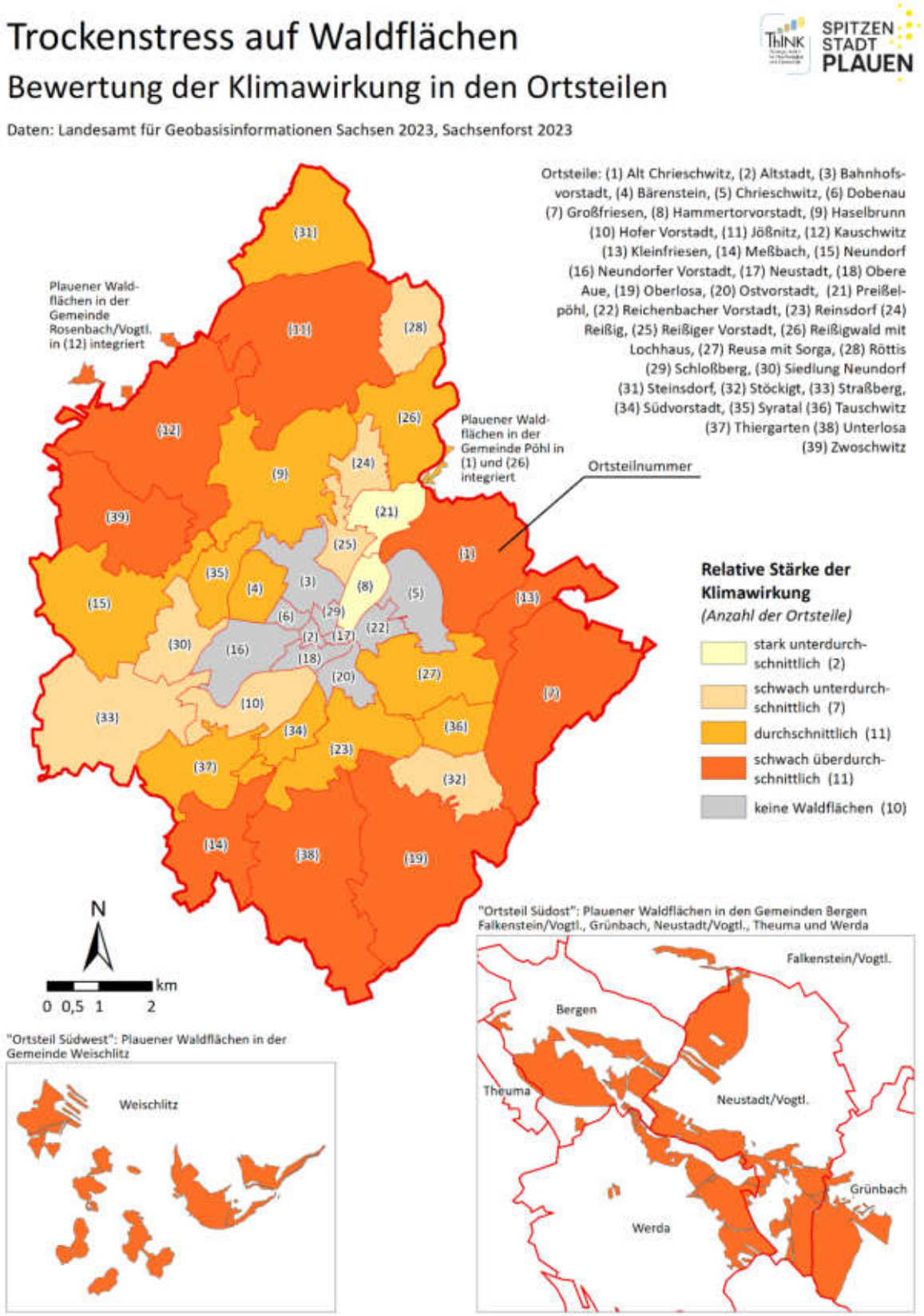

Abbildung 67: Bewertung der Klimawirkung Trockenstress auf Waldflächen.

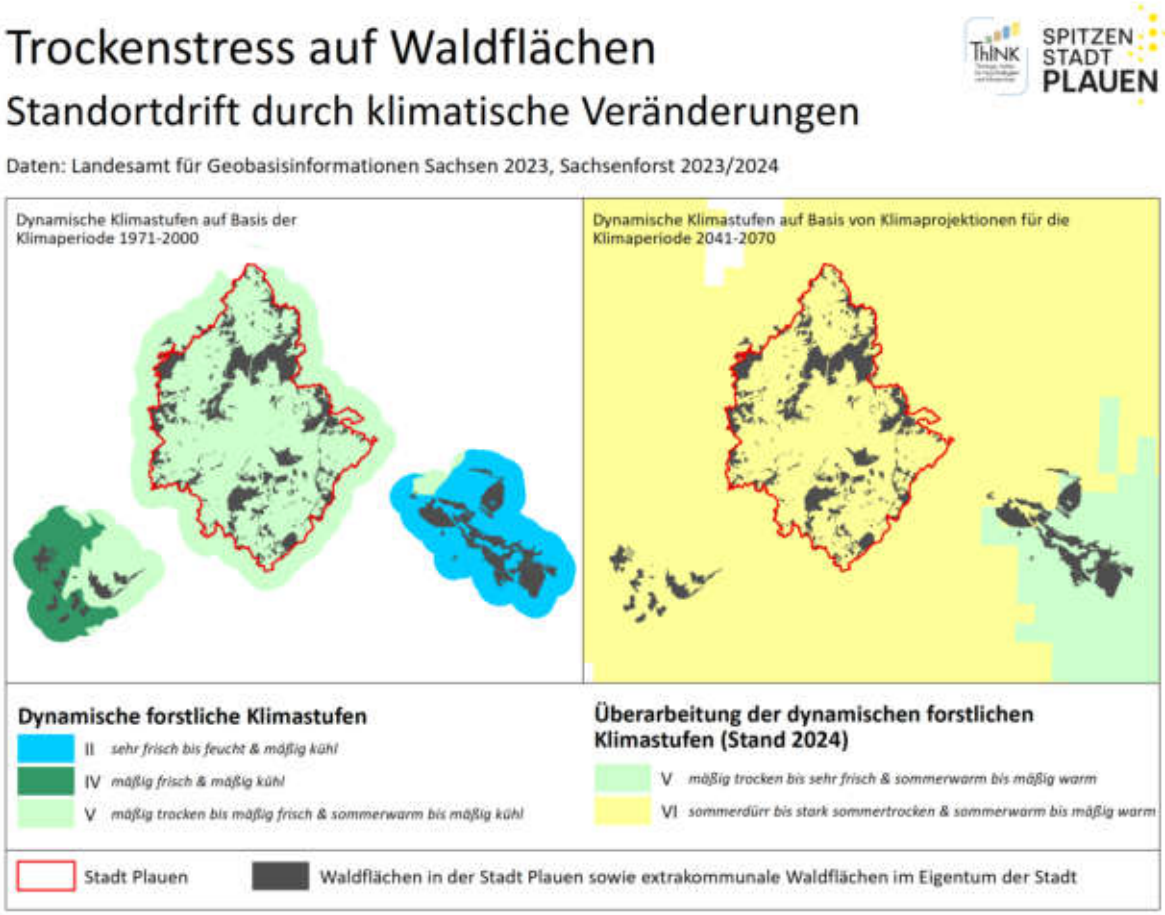

Abbildung 68: Projizierte Veränderung der dynamischen forstlichen Klimastufen.

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.

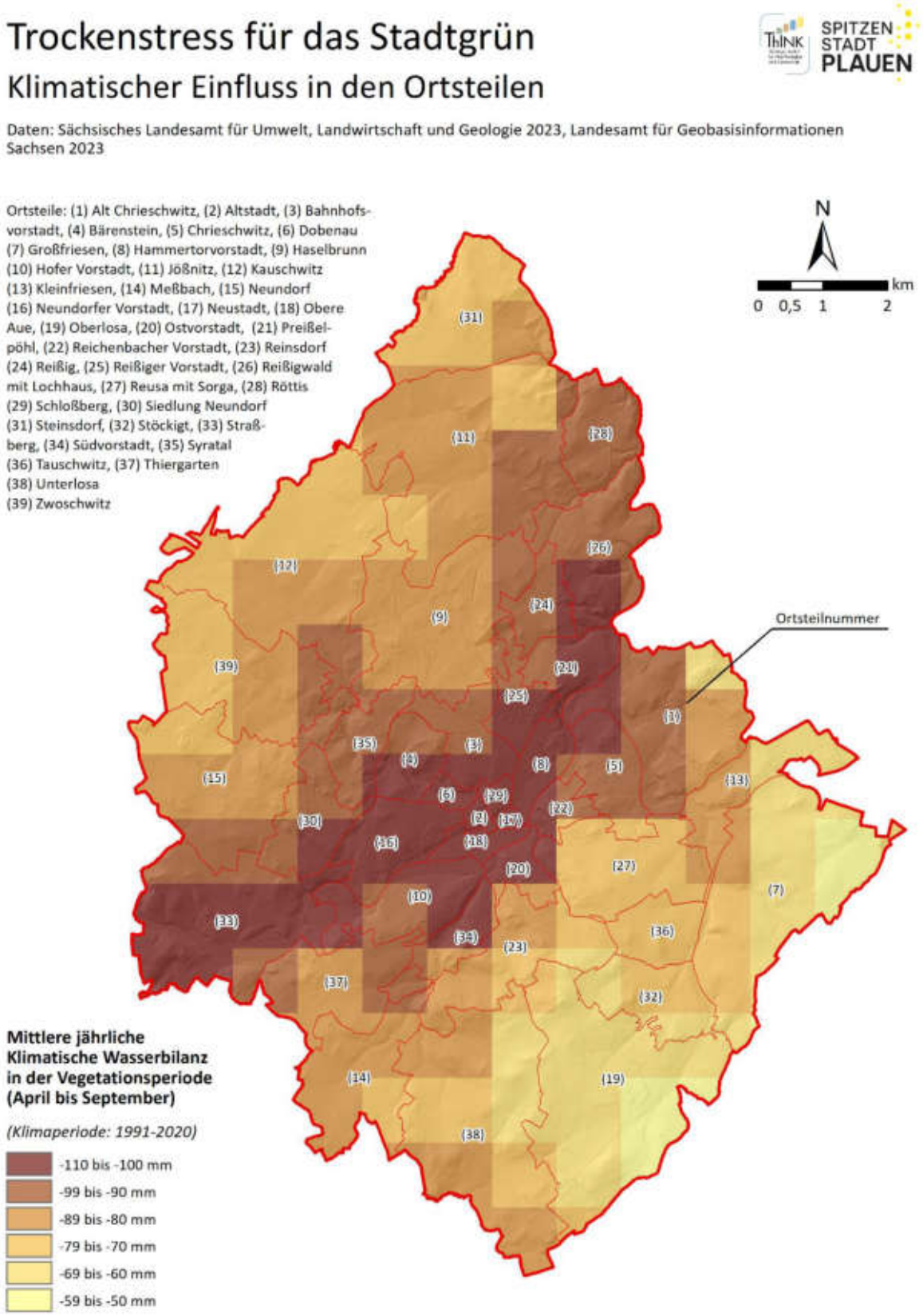

Abbildung 69: Klimatischer Einfluss für die Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün.

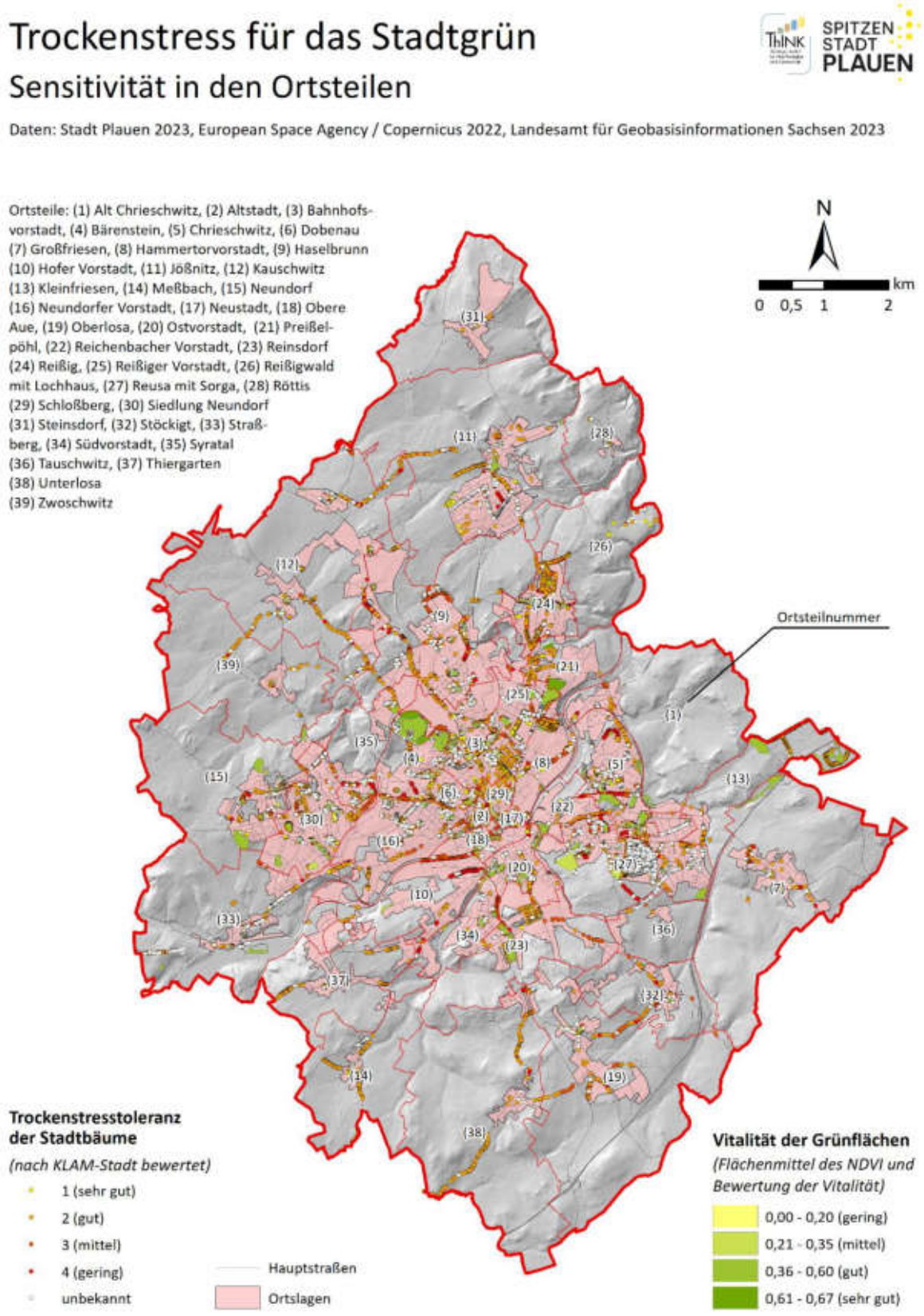

Abbildung 70: Sensitivitäten für die Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün.

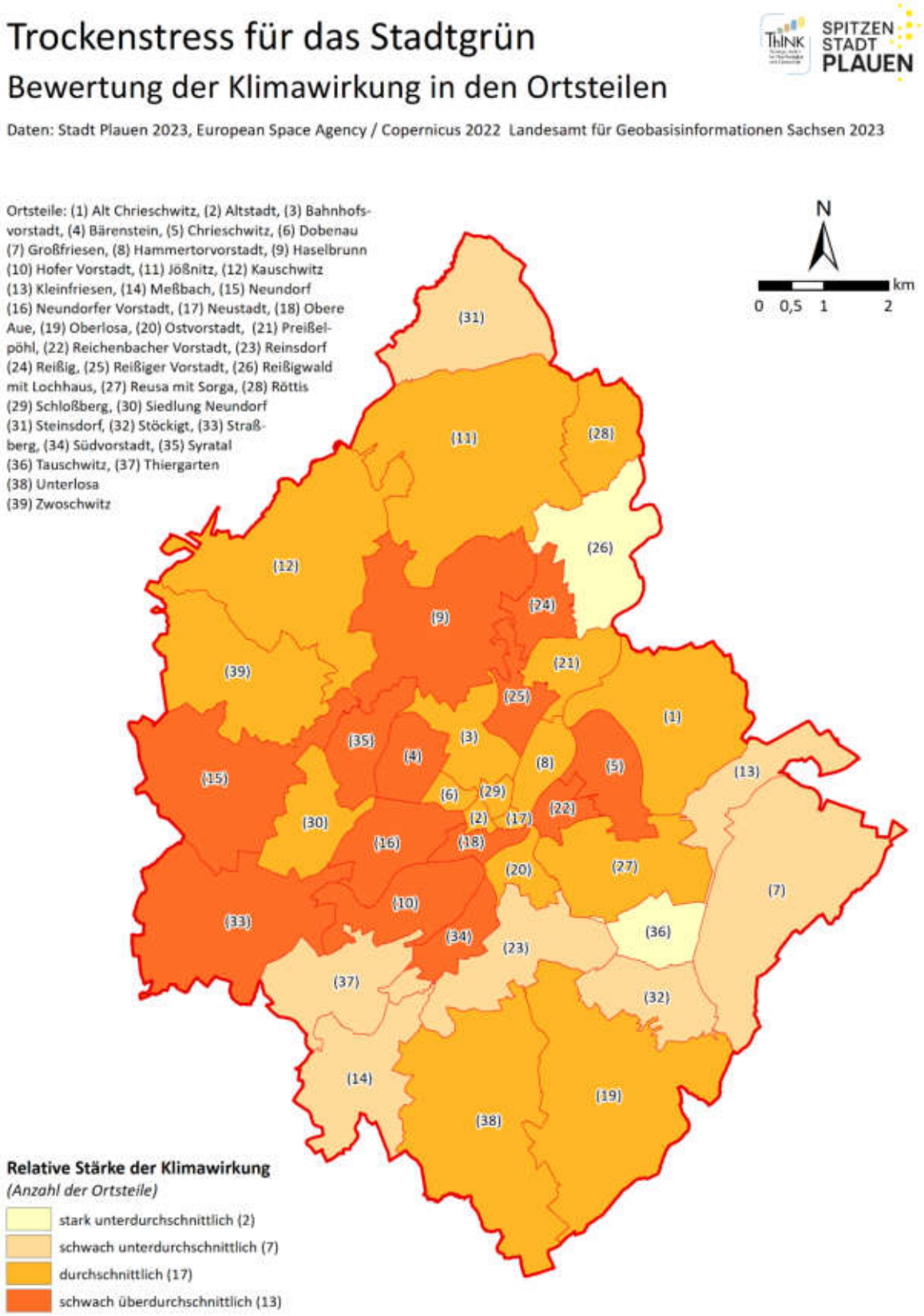

Abbildung 71: Bewertung der Klimawirkung Trockenstress für das Stadtgrün.

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***
Alt Chrieschwitz	-	-	+	-	o
Altstadt	o	Ø	-	Ø	o
Bahnhofsvorstadt	o	Ø	- -	Ø	o
Bärenstein	-	Ø	-	o	-
Chrieschwitz	o	+	- -	Ø	-
Dobenau	-	Ø	-	Ø	o
Großfriesen	o	- -	+	-	+
Hammertorvorstadt	- -	Ø	-	+ +	o
Haselbrunn	o	+	o	o	-
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	/	/	/	-	/

Klimafolge* ***Einzugsgebiet***	***Niedrigwasser in Fließgewässern 2. Ordnung***
Eiditzlohbach	-
Friesenbach	+
Kaltenbach	-
Milmesbach	- -
Neundorfer Bach	o
Pietzschebach	o
Rosenbach	+
Syrabach	+
Teichlebächle	+

*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.

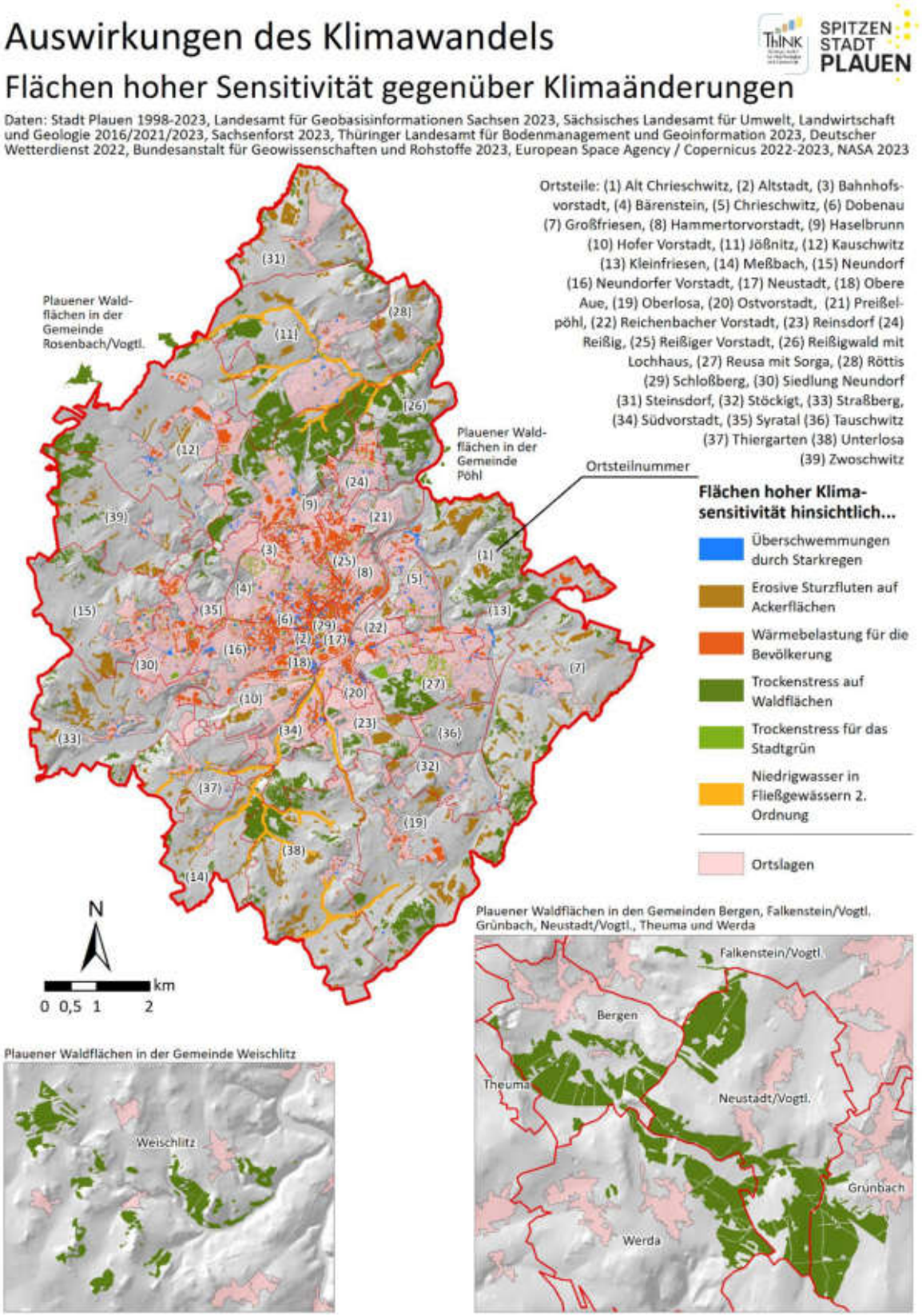

Abbildung 72: Betroffenheitskarte Klimawandel für die Stadt Plauen.

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			