

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	GreenAdaptation
Langtitel:	GreenAdaptation – Adaptive capacities and resilience in urban and landscape planning
Zitiervorschlag:	Reinwald F., Damyanovic D., Hahn C., Kainz A., Luger R., Scharll L., Thiel S., Zimmermann D., Zuzvela-Aloise M. (2025): GreenAdaptation – Adaptive capacities and resilience in urban and landscape planning / Adaptive Kapazitäten und Resilienz in der Stadt- und Landschaftsplanung, publizierbarer Endbericht
Programm inkl. Jahr:	ACRP14, 2022
Dauer:	30 Monate
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Universität für Bodenkultur – Institut für Landschaftsplanung
Kontaktperson Name:	DI Dr. Florian Reinwald
Kontaktperson Adresse:	Peter-Jordan-Straße 65, 1180 Wien
Kontaktperson Telefon:	01 47654 854 17
Kontaktperson E-Mail:	florian.reinwald@boku.ac.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	GeoSphere Austria (former ZAMG), Division Climate and Environment, Competence Unit Urban Climate, (Wien), 3:0 Landschaftsarchitektur, Gachowetz Luger Zimmermann OG (Wien)
Schlagwörter:	Klimawandelanpassung; Stadtklimaanalyse
Projektgesamtkosten:	299.560,00 €
Fördersumme:	299.560,00 €

Allgemeines zum Projekt	
Klimafonds-Nr:	KR21KB0K00001
Erstellt am:	30.05.2025

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Ausgangslage und Motivation

Die Anpassung an veränderte Klimasignale ist eine zentrale Herausforderung in der räumlichen Entwicklung österreichischer Städte und Gemeinden. Einige österreichische Städte und Gemeinden verfügen bereits über kleinräumige Expositions- und Vulnerabilitätsanalysen. Bisher konzentrierten sich die Städte auf die Analyse und Anpassung an die zunehmende städtische Überwärmung. Es werden jedoch auch vermehrt Veränderungen der Niederschlagsmuster erkannt, die Anpassungen erfordern. Die auf der Grundlage dieser Analysen vorzunehmende Integration konkreter Anpassungsmaßnahmen in die Raumentwicklung sowie die verschiedenen Projekte, Pläne und Programme einer Stadt ist eine Herausforderung. Zwei wichtige Faktoren schränken die Fähigkeit zur umfassenden Anpassung ein: mangelndes Bewusstsein für die Gebiete einer Stadt mit erhöhtem Risiko und Unsicherheit über die je nach Gemeindestruktur möglichen oder wirksamen Maßnahmen. Darüber hinaus wird es zunehmend notwendig, sich durch gemeinsames und synergetisches Denken auf die steigende Hitzebelastung und die Veränderungen der Niederschlagsmuster (sowohl Dürre- als auch Starkregenereignisse) einzustellen.

Projektziele

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Instrumenten- und eines Methodensets zur Unterstützung österreichischer Gemeinden. Das Projekt „GreenAdaptation“ befasst sich mit Analyse-, Planungs- und Umsetzungsschritten der Anpassung an den Klimawandel in der Stadt-, Raum- und Landschaftsplanung und zielt darauf ab, ein Methodenset und Instrumentarium zur Unterstützung der räumlichen Anpassung an den Klimawandel zu entwickeln. Ausgehend von der Ausgangssituation zielt das Forschungsprojekt darauf ab, (1) Städte und Gemeinden bei der Entwicklung von Methoden zur Identifizierung von besonders vom Klimawandel betroffenen Gebieten zu unterstützen, (2) die Möglichkeiten zu untersuchen, die Gefahren von Hitze, Dürre und Starkregen auf möglichst kleinem Maßstab gemeinsam zu berücksichtigen, (3) die Anpassungsfähigkeit verschiedener Quartiere und öffentlicher Räume zu bestimmen, (4) die Zielkonflikte und Synergien von Maßnahmen zur Anpassung an Hitze/Dürre/Starkregen zu untersuchen,

(5) verschiedene Maßnahmen und ihre Auswirkungen anhand verschiedener Kriterien (z. B. Hitzereduktion, Wasserrückhalt, Flächenbedarf etc.) zu bewerten, (6) eine Methodik zu entwickeln, die je nach baulich-räumlichen Bedingungen geeignete bzw. optimale Maßnahmen für bestimmte Orte identifiziert (Entscheidungsbaum), (7) eine Methodik zur Erstellung räumlich expliziter Karten, die die Klimaanpassungsplanung unterstützen können, zu entwickeln und (8) das Monitoring und die Bewertung von Anpassungsmaßnahmen durch die Entwicklung von Anpassungs- oder Resilienzfaktoren zu verbessern.

Methodik und Aktivitäten

Das Projekt basiert auf einer inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit und verwendet daher einen gemischten Methodenansatz, bei dem jede beteiligte Disziplin ihren methodischen Ansatz einbringt (z. B. in Form von Modellsimulationen, GIS-Analysen, partizipativen Methoden und Politikanalysen). Das Projekt beinhaltete eine intensive Zusammenarbeit mit dem Stadt-Umland-Management Wien/Niederösterreich (SUM) und der Marktgemeinde Perchtoldsdorf. Dies ermöglichte es, die Anforderungen aus der Praxis und aus der Perspektive verschiedener Stakeholder:innengruppen zu erfassen und zu sammeln, die (Zwischen-)Ergebnisse des Projekts zu reflektieren, die entwickelten Methoden und Instrumente laufend anzuwenden und Feedback aus der Praxis einzuholen.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus dem Projekt

Hitze, Dürre und Starkregen müssen und können gemeinsam betrachtet werden: Ein integrierter Ansatz für Hitze, Dürre und Starkregen kann umgesetzt und sowohl in die Analyse als auch in die Entwicklung und Auswahl von Maßnahmen einbezogen werden. Großmaßstäblich können für die Identifikation von Bereichen mit hohem Synergiepotenzial hinsichtlich Hitze und Überflutung z. B. Stadtklimasimulationen und höhenmodellbasierte Auswertungen wie der „Topographic Wetness Index“ (TWI) genutzt werden.

Vier zentrale Elemente einer umfassenden Analyse zur räumlichen Klimawandelanpassung: In der bisherigen Literatur wurden in der Regel nur die Stadtklimaanalyse selbst und eine darauf basierende Planungshinweiskarte beschrieben. Wie die Forschungsergebnisse zeigen, sollten umfassende Analysen zur Klimawandelanpassung, die die räumliche Gemeindeentwicklung unterstützen, jedoch vier Komponenten umfassen: (1) Stadtklimaanalyse im Hinblick auf die Gefährdungskomponente; (2) umfassende soziale und räumliche Analysen im Hinblick auf Exposition und Vulnerabilität; (3) Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen, Anpassungsmaßnahmen und Wirkungsanalysen sowie (4) Planungshinweiskarten als Anleitung zur Risikominderung.

Von der Stadtklimaanalyse zur Planungshinweiskarte: Der methodische Ansatz für die Durchführung der verschiedenen erforderlichen zusätzlichen Analysen, insbesondere die Erstellung der Planungshinweiskarten, weist erhebliche Forschungslücken auf und wirft viele Fragen hinsichtlich der Objektivierung der Prozesse und der Methodik auf.

Klimawandelanpassung als interdisziplinärer und sektorübergreifender Prozess: Klimawandelanpassung auf Gemeindeebene erfordert nicht nur die Analyse durch Expert:innen, sondern muss in einen ganzheitlichen Prozess integriert werden. Viele verschiedene Akteur:innen müssen zusammenkommen, da unterschiedliche Expertisen für die Analyse und die Umsetzung erforderlich sind, die von vielen verschiedenen Akteur:innen in den Gemeinden (von öffentlich bis privat) getragen werden müssen.

Erfolgreiche Klimawandelanpassung erfordert den Aufbau lokaler Handlungskapazitäten: Neben den verschiedenen technischen Analysen durch Expert:innen ist der Aufbau von Kapazitäten auf Gemeindeebene notwendig, um die Ergebnisse richtig zu interpretieren und geeignete Ziele und Maßnahmen für die Klimawandelanpassung zu entwickeln. Die Begleitung der Prozesse durch Expert:innen im Bereich der Klimawandelanpassung und der gezielte Aufbau lokaler Handlungskapazitäten sind entscheidend für eine erfolgreiche Klimawandelanpassung.

Ausblick

Der Leitfaden „(Stadt-)Klimaanalyse und Klimawandelanpassung für Gemeinden“ beschreibt erstmals für österreichische Gemeinden, wie ein Prozess zur Klimawandelanpassung – von der Analyse bis zur Umsetzung – aufgebaut ist und welche methodischen Schritte dafür notwendig sind. Der „Maßnahmenkatalog“ bietet erstmals einen umfassenden Überblick über mögliche Anpassungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von Hitze, Starkregen und Dürre. Beide Leitfäden können Gemeinden künftig bei der Klimawandelanpassung unterstützen.

2 Executive Summary

Initial situation and motivation of the project

Adapting to changing climate signals is a central challenge in spatial development for Austrian cities and municipalities. Some Austrian cities and municipalities already have small-scale exposure and vulnerability analyses. So far, cities have focused on analysing and adapting to increasing urban overheating. However, there is a growing recognition of changes in precipitation patterns, which require adaptation. Integrating concrete adaptation measures based on these analyses into the spatial development or the various projects, plans and programmes of a city is a challenge. Two important factors constrain the ability to adapt comprehensively: a lack of awareness of the areas of a city that are at increased risk, and uncertainty about the measures that are possible or effective, depending on the specific structure of the municipality. Furthermore, it is becoming increasingly necessary to adjust to the growing heat stress and alterations in the precipitation patterns (both drought and heavy rainfall occurrences) by "thinking jointly and in a synergistic manner."

Objectives of the project

The aim of the project is to develop a set of tools and methods to support Austrian municipalities. Thus the project „GreenAdaptation“ addresses crucial analysis, planning and implementation steps of adaptation to climate change in urban-, spatial- and landscape planning and aims to develop a consistent set of methods and tools to support spatial adaptation to climate change. Based on the initial situation and trends, the research project aims to (1) support cities and municipalities in developing methods to identify areas that are particularly affected by climate change, (2) examine the possibilities of jointly considering the hazard of heat, drought and heavy rainfall on the smallest possible scale, (3) determine the adaptive capacities of different neighbourhoods and public spaces, (4) examine trade-offs and synergies of adaptation measures for heat/drought/heavy rainfalls, (5) assess different measures and their effects regarding different criteria (e. g. heat reduction, water retention, space requirement, etc.), (6) develop a methodology that identifies appropriate / the best measures for specific places depending on the structural-spatial conditions (decision tree), (7) develop a methodology to generate spatially explicit maps which can support climate adaptation planning, and (8) improve the monitoring and the assessment of adaptation measures by developing e. g. adaptation or resilience factors.

Methodology and activities

The project is based on an inter- and transdisciplinary cooperation and thus uses a mixed method approach where each discipline involved contributed their methodological approach (e. g. in the form of model simulations, GIS analyses, participatory methods, policy analyses). The project involved intensive cooperation with Stadt-Umland-Management Wien/Niederösterreich (SUM) and the market town of Perchtoldsdorf. This made it possible to record and collect the requirements from practice and from the perspective of different stakeholder groups, to reflect on the (interim) results of the project, to use the methods and instruments developed on an ongoing basis and to obtain feedback from practice.

Results and conclusions of the project

Heat, drought, and heavy rainfall must and can be considered together: An integrative approach to heat, drought, and heavy rainfall can be implemented and integrated into both the analysis and the development and selection of measures. On a large scale, for example, urban climate models and the Topographic Wetness Index (TWI) can be used to identify areas with high synergy potential regarding heat and flooding.

Four central components of an extended urban climate analysis: Previous literature has generally described the urban climate analysis itself and a planning recommendation map based on it. However, as our results show, comprehensive urban climate analyses should include four components to enable spatial adapta-

tion to climate change: (1) urban climate analysis related to the hazard component; (2) comprehensive social and spatial analysis related to exposure and vulnerability; (3) consideration of future developments, adaptation measures, and impact analysis and (4) planning recommendation maps as "guidance for risk reduction".

From urban climate analysis to planning recommendation maps: The methodological approach for conducting the various additional analyses required, and especially the step of creating the planning recommendation maps, is an area with significant research gaps and raises many questions regarding the objectification of the processes and methodology.

Climate change adaptation as an interdisciplinary and cross-sectoral process: Climate change adaptation at the community level not only requires expert's analysis, but must be integrated into a holistic process. Many different actors must come together, as different expertise is required for analysis and implementation, which must be supported by many different actors in the communities (from public to private).

Successful climate change adaptation requires building local capacity for action: In addition to the various technical analyses conducted by experts, capacity building at the municipal level is necessary to correctly interpret the results and develop suitable goals and measures for climate change adaptation. Accompanying the processes and targeted development of local capacity for action is crucial for successful climate change adaptation.

Outlook

The guideline "(Urban) Climate Analysis and Climate Change Adaptation for Municipalities" describes, for the first time for Austrian municipalities, how a process for climate change adaptation is structured – from analysis to implementation – and which methodological steps are necessary for this. The "Catalogue of Measures" provides, for the first time, a comprehensive overview of possible adaptation measures, taking heat, heavy rainfall, and drought into account. Both guidelines can support communities in climate change adaptation in the future.

3 Hintergrund und Zielsetzung

Ausgangslage

Die Anpassung an sich verändernde Klimasignale ist eine zentrale Herausforderung in der Raumentwicklung der österreichischen Städte und Gemeinden. Einige österreichische Städte und Gemeinden verfügen bereits über kleinräumige Expositions- und Vulnerabilitätsanalysen zu Veränderungen ausgewählter Klimasignale. Bisher haben sich die Städte auf die Analyse und Anpassung an die zunehmende städtische Überhitzung konzentriert. Immer öfter wird aber auch erkannt, dass sich die Niederschlagsmuster ändern und auch in kleineren Städten und ländlichen Gemeinden Anpassungsmaßnahmen erforderlich sind.

Die auf der Grundlage dieser Analysen vorzunehmende Integration konkreter Anpassungsmaßnahmen in die räumliche Entwicklung oder die verschiedenen Projekte, Pläne und Programme einer Stadt ist eine Herausforderung. Zwei wichtige Faktoren – neben den allgemeinen notwendigen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Klimawandelanpassung wie politischer Wille und finanzielle Ressourcen oder klare Prioritätensetzungen und Zuständigkeiten – schränken die Fähigkeit zu einer umfassenden Anpassung ein: das fehlende Bewusstsein für die Bereiche einer Stadt, die einem erhöhten Risiko ausgesetzt sind, und die Ungewissheit über die Maßnahmen, die je nach der spezifischen Struktur der Gemeinde möglich oder wirksam sind. Darüber hinaus wird es immer notwendiger, sich auf den zunehmenden Hitzestress und die veränderten Niederschlagsmuster (sowohl Trockenheit als auch Starkregenereignisse) einzustellen, indem man „gemeinsam und synergetisch denkt“.

Aufgabenstellung und Zielsetzung

Ziel des Projekts ist es, eine Reihe von Werkzeugen und Methoden (weiter) zu entwickeln, um österreichische Gemeinden bei den oben genannten Herausforderungen zu unterstützen. Das Projekt „GreenAdaptation“ adressiert somit wesentliche Analyse-, Planungs- und Umsetzungsschritte der Anpassung an den Klimawandel in der Stadt-, Raum- und Landschaftsplanung und zielt darauf ab, ein konsistentes Set an Methoden und Werkzeugen zur Unterstützung der räumlichen Anpassung an den Klimawandel zu entwickeln. Ausgehend von dieser Ausgangssituation zielt das Forschungsprojekt darauf ab,

- Städte und Gemeinden bei der Entwicklung von Methoden zur Identifizierung von Gebieten, die vom Klimawandel besonders betroffen sind, zu unterstützen,
- die Möglichkeiten einer gemeinsamen Betrachtung der Gefährdung durch Hitze, Trockenheit und Starkregen zu untersuchen,
- die Anpassungsfähigkeit verschiedener Quartiere und öffentlicher Räume zu ermitteln,

- Trade-offs und Synergien von Anpassungsmaßnahmen für Hitze/Dürre/Starkregen zu prüfen,
- verschiedene Maßnahmen und ihre Auswirkungen im Hinblick auf verschiedene Kriterien (z. B. Wärmereduzierung, Wasserrückhalt, Platzbedarf etc.) zu bewerten,
- eine Methodik, die in Abhängigkeit von den strukturell-räumlichen Gegebenheiten geeignete / die besten Maßnahmen für bestimmte Orte identifiziert (Entscheidungsbaum), zu entwickeln,
- eine Methodik zur Erstellung räumlich expliziter Karten, die die Klimaanpassungsplanung unterstützen können, zu entwickeln sowie
- eine Verbesserung des Monitorings und der Bewertung von Anpassungsmaßnahmen durch die Entwicklung von z. B. Anpassungs- oder Resilienzfaktoren zu ermöglichen.

Das Projekt basiert auf einem inter- und transdisziplinären sowie einem transformativen Ansatz. Um Veränderungen zu bewirken, sind bei der Anpassung an den Klimawandel transformative Ansätze, die regulative (hoheitliche) Ansätze wie in der Stadt- und Raumplanung, technische und naturbasierte Ansätze wie in der Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur sowie Klimaforschung oder Lösungen mit partizipativen Ansätzen kombinieren, wichtig und notwendig. Der Ansatz des „Reallabors“ als inter- und transdisziplinäre Forschungsmethode ermöglicht es, Wissensgenerierung, Wissenstransfer und Wissensverbreitung zu verbinden und Experimentierräume zu eröffnen.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

Das Projekt gliederte sich in fünf inhaltliche Arbeitspakete:

- AP 2: Integrative Berücksichtigung von Temperatur- und Niederschlagsänderungen in der Gefahrenanalyse
- AP 3: Entwicklung, Bewertung und Evaluierung von Maßnahmen sowie Vorarbeiten zur Entwicklung eines Entscheidungsbaums
- AP 4: Planungshinweiskarten, Zuordnung von Maßnahmen und Resilienzfaktoren
- AP 5: Anwendungsfälle und Einbeziehung von Interessengruppen
- AP 6: Proof of Concept – Methoden und Instrumente sowie Verbreitung der Forschungsergebnisse

Diese Struktur wird im Folgenden auf die Dokumentation der Ergebnisse angewandt.

4.1 Integrative Berücksichtigung von Temperatur- und Niederschlagsänderungen in der Gefahrenanalyse (AP 2)

Für die integrative Berücksichtigung mehrerer Klimagefahren wurden verschiedene Methoden und Ansätze getestet, die für die Gefahrenanalyse auf Stadt- bzw. Gemeindeebene und zur Unterstützung für die räumliche Planung eingesetzt werden können.

Analyse von Klimaindizes

Für eine erste Abschätzung potenzieller Gefahren und für die Sensibilisierung einer Gemeinde eignen sich verschiedene Klimaindizes. In Kombination mit lokalem Wissen über bisherige Probleme lassen sich so die Hauptaspekte, die bei einer Klimaanalyse und Planungshinweiskarte betrachtet werden sollen, erarbeiten.

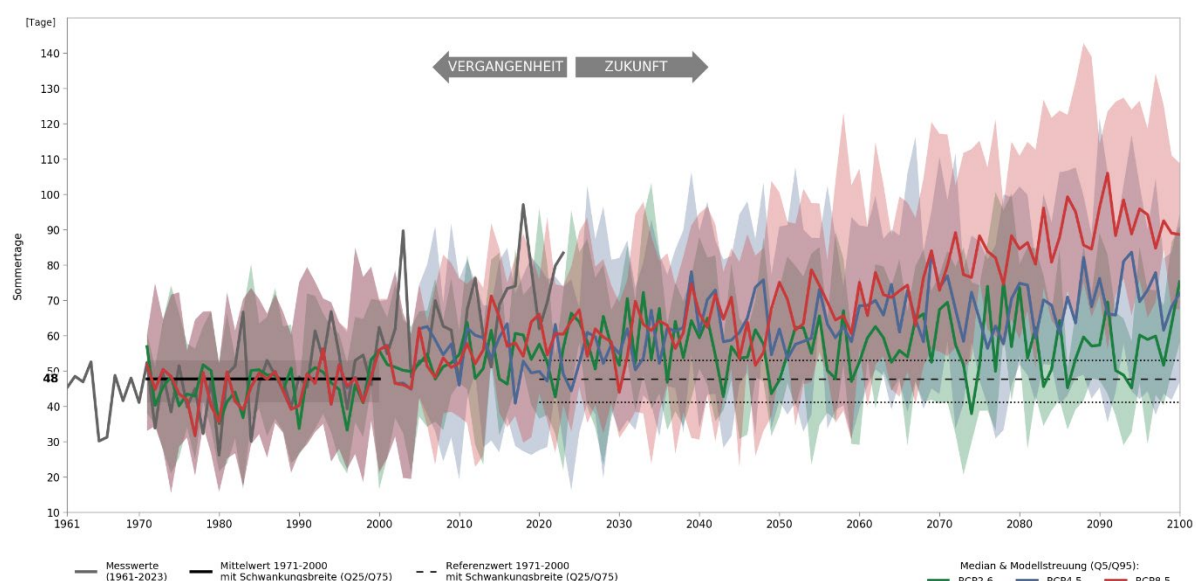


Abbildung 1: Entwicklung der Anzahl der Sommertage für die Gemeinde Perchtoldsdorf, basierend auf SPARTACUS- und ÖKS15-Daten (eigene Darstellung GeoSphere Austria)

Die Analyse von Klimaindizes für die Beispiel-Gemeinde Perchtoldsdorf hat gezeigt, dass die Hitzebelastung in den letzten Jahren angestiegen ist und mit einer weiteren Hitzebelastung aufgrund des Klimawandels zu rechnen ist (Abbildung 1). Die Niederschlagsdaten weisen auf eine Zunahme der maximalen täglichen Niederschlagsmenge (Abbildung 2), der mittleren 1-tägigen Niederschlagsintensität sowie der zwischenjährlichen Variabilität hin. Zudem zeigt die Arbeit von Haslinger et al. (2025), dass in Österreich generell die Intensität der Starkniederschläge zugenommen hat und dies mit einem Anstieg der Hochwasserspitzen einhergeht. Um einzuschätzen, inwieweit Trockenheit ein Problem darstellt, wurde die Klimatische Wasserbilanz (CWB) betrachtet. Die Auswertung der CWB basierte auf dem räumlichen Mittelwert der CWB-Daten (1 km Auflösung) von Haslinger et al. (2023) für ein 5 x 5 Rasterzellen umfassendes Gebiet in und um Perchtoldsdorf und verdeutlicht, dass die mittlere CWB im Sommer in den letzten beiden Klimaperioden negativ war (Abbildung 2). Perchtoldsdorf ist somit von Trockenheit im Sommer betroffen, da tendenziell mehr verdunstet, als durch Niederschlag dem System zugeführt wird. Die Betrachtung zukünftiger Perioden und verschiedener Klimaszenarien deutet auf eine Intensivierung der negativen Wasserbilanz im Sommer hin. Eine weitere Herausforderung ist die große zwischenjährliche Variabilität, die voraussichtlich zunehmen wird und die Wahrscheinlichkeit von Extremereignissen erhöht. Ähnlich wie die für ganz Österreich durchgeführte Analyse von Haslinger et al. (2023) deuten die Daten auch für Perchtoldsdorf auf eine Zunahme der zwischenjährlichen Variabilität hin.

Diese Ergebnisse sowie die Trockenperioden der letzten Jahre verdeutlichen die Notwendigkeit, die Wasserknappheit im Sommer im Auge zu behalten und die Umsetzung von Nature-based Solutions (NbS), die eine ausreichende Wasserversorgung benötigen um zu überleben und ihre Ökosystemleistungen zu erbringen, angemessen zu planen. Überflutungsflächen aufgrund von Starkregen sollten ebenso bei der Implementierung von NbS berücksichtigt werden, da NbS Abflussspitzen reduzieren können.

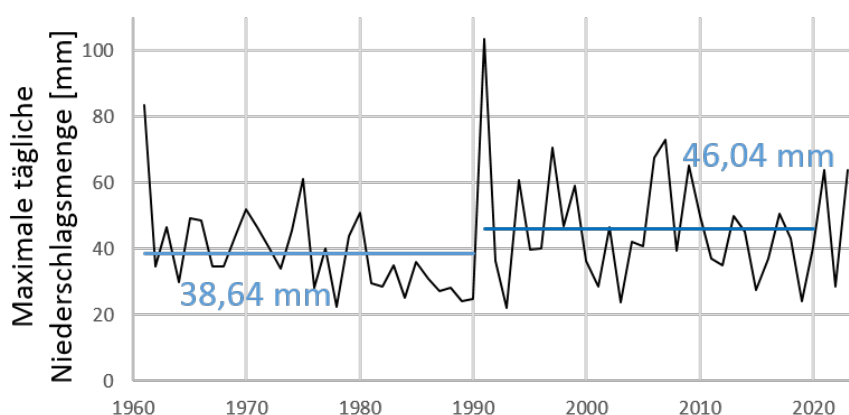


Abbildung 2: Maximale tägliche Niederschlagsmenge für die Gemeinde Perchtoldsdorf, basierend auf SPARTACUS-Daten. Die horizontalen Linien markieren den Mittelwert für die Klimanormalperioden 1961–1990 und 1991–2020 (eigene Darstellung GeoSphere Austria)

Analyse der Hitzebelastung inkl. der Analyse des Kaltluftabflusses

Die räumliche Verteilung der Hitzebelastung wurde mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO_3 (Sievers 2012, 2016) für einen repräsentativen heißen Tag während einer Hitzewelle (17.08.2022) simuliert. Die Simulationen basieren auf meteorologischen Eingangsdaten des numerischen Wettervorhersagemodells AROME und Landnutzungsdaten aus nationalen und europäischen Datenquellen. Die sich daraus ergebende Temperaturkarte (Abbildung 3, links) wurde in weiterer Folge für die Überlagerung mit potenziell von Überflutung betroffenen Gebieten verwendet, um Bereiche mit hohem Synergiepotenzial zu identifizieren.

Für die Analyse der möglichen zukünftigen Entwicklung der Hitzebelastung wurde die Anzahl der Sommertage simuliert, für zwei zukünftige Perioden und zwei Klimaszenarien (siehe Abbildung 12).

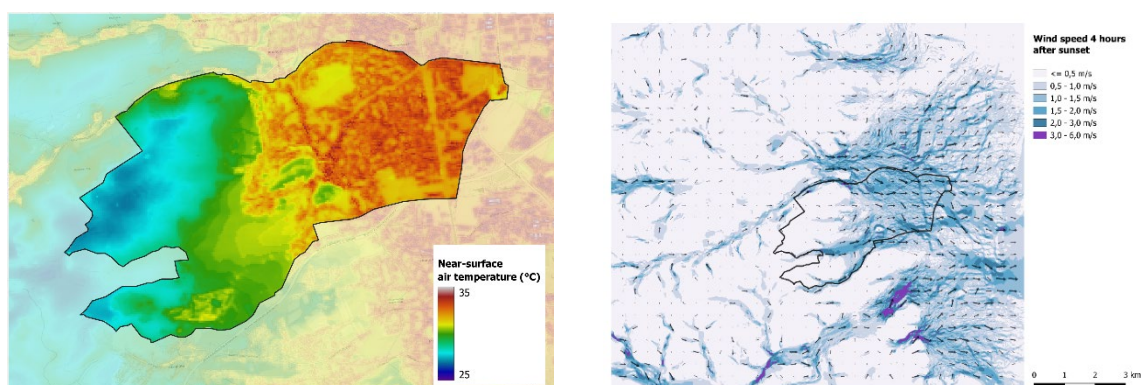


Abbildung 3: Räumliche Verteilung der Lufttemperatur in 2 m Höhe (20 m horizontale Auflösung) um 14:00 Uhr MESZ (links) am 17. August 2022 sowie Windgeschwindigkeit (schattierte Gebiete) und Windrichtung (schwarze Pfeile) 4 Stunden nach Sonnenuntergang (rechts) (eigene Darstellung GeoSphere Austria)

Das vom DWD entwickelte Kaltluftabflussmodell KLAM_21 (Sievers 2005) wurde zur Simulation der räumlichen Verteilung der Kaltluftschichthöhe und des entsprechenden Strömungsfeldes verwendet (Abbildung 4). Dies ist für die Betrachtung der nächtlichen Abkühlung wichtig.

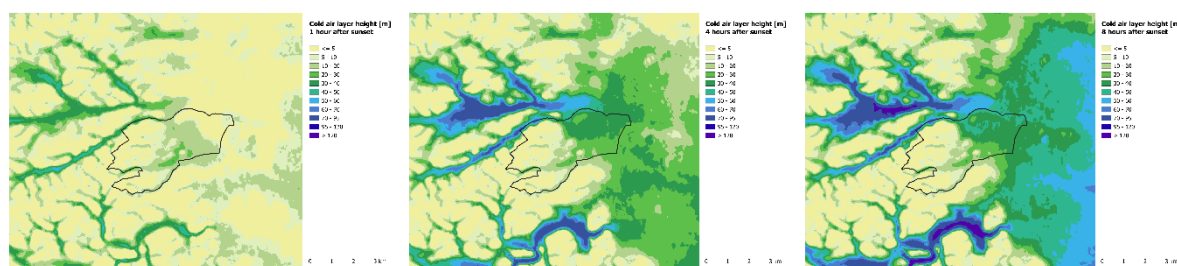


Abbildung 4: Räumliche Verteilung der Höhe der Kaltluftschicht (m) 1 Stunde (links), 4 Stunden (Mitte) und 8 Stunden (rechts) nach Sonnenuntergang, basierend auf KLAM_21-Simulationsergebnissen (eigene Darstellung GeoSphere Austria)

Analyse der Gefährdung hinsichtlich Starkregen und Überflutung

Hochaufgelöste hydrologische und hydraulische Modelle liefern wertvolle Informationen über von Überflutung betroffene Gebiete, Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit. Sie benötigen aber auch viel Rechenressourcen und detaillierte Eingangsdaten, um korrekte Ergebnisse zu erzeugen. Deshalb werden sie meist in kleinen Gebieten eingesetzt oder nutzen generalisierte Daten, was bei der Interpretation berücksichtigt werden muss. Für die Identifikation von potenziell von Überflutung betroffenen Gebieten können auch Höhenmodell-basierte Auswertungen wie der Topographic Wetness Index oder die Blue Spot Methode genutzt werden. Diese beiden Ansätze wurden hier getestet.

Topographic Wetness Index (TWI)

In mehreren Studien (z. B. Kelleher & McPhillips 2020, Pourali et al. 2016, Seilem et al. 2021) wurde die Anwendbarkeit des TWI für die Identifikation von potenziellen Überflutungsflächen in städtischen Gebieten untersucht, wobei entweder Hochwasserberichte oder hydrodynamische Modelle als Referenz verwendet wurden. Die Ergebnisse sind vielversprechend und mehrere Autor:innen (Kelleher & McPhillips 2020, Pourali et al. 2016, Watson et al. 2022, Altunel 2023) weisen darauf hin, dass der TWI zumindest für ein erstes Screening verwendet werden kann, bzw. nutzen den TWI zusammen mit Hitzeindikatoren, um Hitze und Überschwemmung gemeinsam zu betrachten (Yavari Bajehbaj et al. 2023, Fahy et al. 2019). Der TWI wird für jede Rasterzelle anhand des oberhalb liegenden Einzugsgebiets (a) und des Gefälles (β) berechnet: $TWI = \ln(a/\tan\beta)$.

Verschiedene Methoden zur Vorbereitung des Höhenmodells sowie zur Berechnung von a und β existieren und beeinflussen die Ergebnisse, ebenso wie die Wahl der räumlichen Auflösung des Höhenmodells. Daher haben wir untersucht, was bisher in der Literatur verwendet wurde, und verschiedene Methoden getestet, um ihre Auswirkungen in Perchtoldsdorf zu analysieren. Basierend auf der Literaturrecherche und unserer Analyse haben wir die folgenden Einstellungen zur Berechnung des TWI verwendet (siehe Abbildung 7): SAGA GIS Version 9.5.1: (1) Fill Sinks (Planchon & Darboux 2001) with minimum slope set to 0.01 degree, (2) Flow Accumulation (Top-Down): method: multiple flow direction (Freeman 1991), convergence = 1.0, (3) Slope, Aspect, Curvature: unit: radians, method: (Zevenbergen & Thorne 1987), (4) Topographic Wetness Index, with Area Conversion set to "1/cellsizes" and Method (TWI) set to "Standard".

Eine Auflösung von 10 m (Geoland 2015) wurde verwendet, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass der TWI für ein erstes Screening genutzt werden kann und Karten mit hoher räumlicher Auflösung als hohe Genauigkeit fehlinterpretiert werden könnten. Zudem wollen wir hier vor allem die großmaßstäblichen Effekte der Topografie abbilden.

Blue-Spot-Methode

Zusätzlich zum TWI wurde das „Blue Spot Model“, ein von Thomas Balstrøm von der Universität Kopenhagen (Balstrøm & Crawford 2018) entwickeltes, in ArcGIS Pro integriertes Tool genutzt, um potenziell von Überflutung betroffene Bereiche abzuleiten. Hierbei werden Senken im Höhenmodell identifiziert, welche sich bei Starkregenereignissen mit Wasser füllen können und überlaufen, wenn ihr Fassungsvermögen erreicht ist. Das Blue-Spot-Modell liefert Senken und Fließwege und benötigt ein hochaufgelöstes Höhenmodell sowie Gebäudegrundrisse als Eingangsdaten. Die Blue-Spot-Analyse wurde für ein Einzugsgebiet in Perchtoldsdorf durchgeführt, wobei ein digitales Höhenmodell (DEM) mit einer räumlichen Auflösung von 1 m verwendet wurde (BEV 2022) (Abbildung 5).

Vergleich mit den im „Natural Hazard Overview & Risk Assessment Austria“ (HORA) verfügbaren Daten

Seit 2024 steht in HORA die Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss zur Verfügung. Der Oberflächenabfluss wurde mit dem hydrodynamischen Modell JFlow für ein 30-minütiges, 100-jährliches Niederschlagsereignis berechnet. Die Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss (Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit) sowie die neuesten Daten der Hochwasserrisikozonen für fluviale Hochwasser mit einer Wiederkehrperiode von 30, 100 bzw. 300 Jahren wurden uns für die Region Perchtoldsdorf vom BML zur Verfügung gestellt.

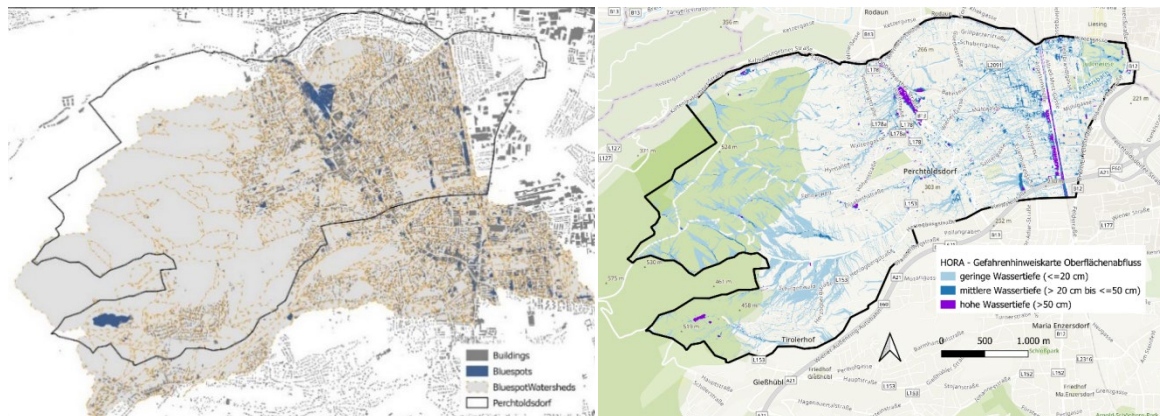


Abbildung 5 Senken abgeleitet mit dem Blue-Spot-Modell (links) und Wassertiefe (3 Klassen) basierend auf der Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss (rechts) (eigene Darstellung GeoSphere Austria)

Einige in der Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss (HORA-OA) (v.a. mit mittlerer oder hoher Wassertiefe) ausgewiesene Gebiete werden auch mit dem Blue-Spot-Modell als Senken identifiziert (Abbildung 5). Während HORA-OA potenzielle Überflutungsflächen auch außerhalb von Senken darstellt, ist das bei der Blue-Spot-Methode, auch bei der Betrachtung von Niederschlagsereignissen, nicht der Fall.

Der Vergleich von HORA-OA mit dem TWI hat gezeigt, dass die in HORA ausgewiesenen von Oberflächenabfluss betroffenen Gebiete im Mittel signifikant höhere

TWI-Werte aufweisen als das gesamte Gemeindegebiet. Zudem spiegelt sich die Unterteilung in verschiedene Wassertiefen auch in den TWI-Werten wider (Abbildung 6).

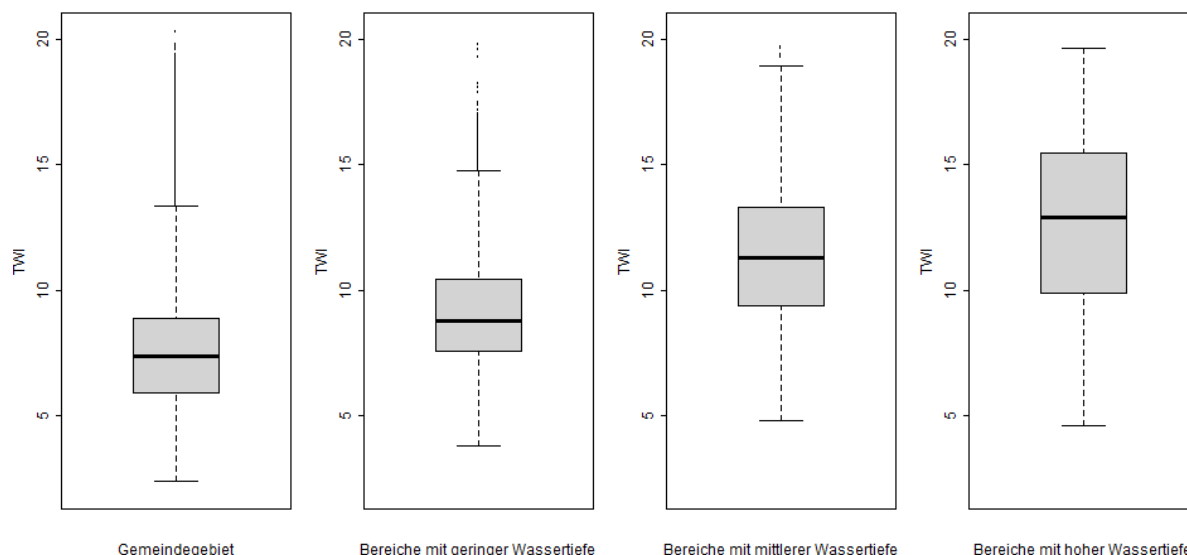


Abbildung 6: Darstellung der TWI Werte als boxplots für das gesamte Gemeindegebiet in Perchtoldsdorf sowie für die laut Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss von Überflutung betroffenen Bereiche

Dies unterstützt die Annahme, dass der TWI als Indikator für die Anfälligkeit von Überflutungen genutzt werden kann. Der Vergleich verdeutlicht zudem, dass bei HORA-OA Fließgewässer (aus dem GGN Datensatz: Fließgewässer des Gesamtgewässernetz Österreich) und mögliche Überschwemmungen ausgehend und entlang dieser nicht dargestellt werden, während der TWI auch die Tiefenlinien und somit Fließgewässer miterfasst (Abbildung 7).

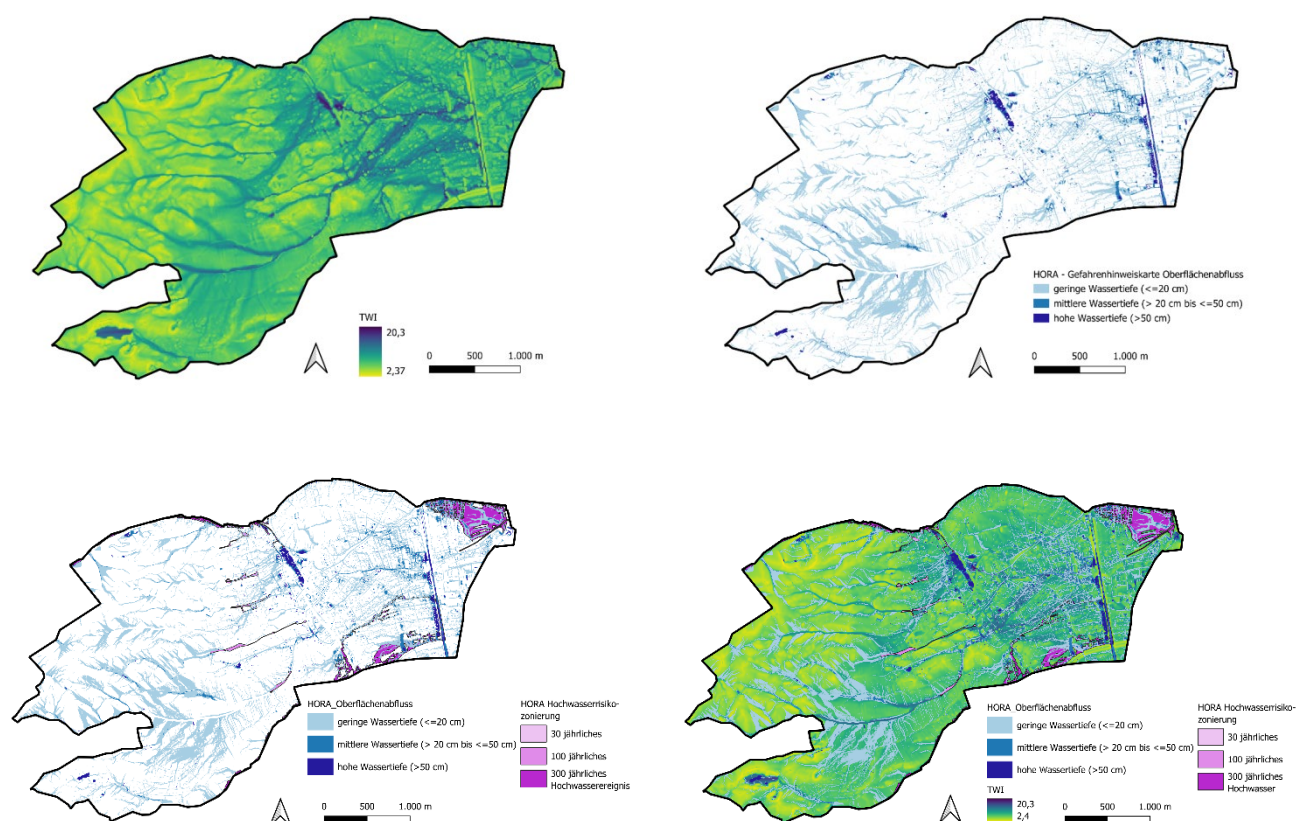


Abbildung 7: Darstellung der potenziell von Überflutungen betroffenen Gebiete in Perchtoldsdorf mittels TWI (oben links), Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss in HORA (pluviale Überflutungen, oben rechts), Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss und Hochwasserrisiko-zonierung (pluviale Überflutungen & fluviale Hochwasser, unten links), Kombination aller drei Datensätze (unten rechts) (eigene Darstellung GeoSphere Austria)

Schlussfolgerung

Alle drei betrachteten Methoden (TWI, Blue-Spot-Analyse, Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss) sind mit Unsicherheiten behaftet, liefern aber eine erste Einschätzung darüber, wo potenziell von Überflutung betroffene Bereiche sein können.

Bei der Blue-Spot-Analyse werden nur die Bereiche der Senken als anfällig für Überflutungen durch Starkregen betrachtet. Der TWI ermöglicht eine kontinuierliche Abschätzung der potenziellen Anfälligkeit für Überflutungen, liefert aber keine Information darüber, bei welchem Niederschlagsereignis welche Fläche überflutet wird. Trotz des deutlich anspruchsvolleren Ansatzes bei der Generation der Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss bietet auch diese Karte keine parzellenscharfen Aussagen, da nicht alle Eingangsdaten einen entsprechenden Detailgrad aufweisen bzw. vor Ort überprüft werden konnten. Zudem wird nur ein Starkregenereignis betrachtet und Überflutungen ausgehend von Fließgewässern werden nicht erfasst.

Basierend auf folgenden Kriterien wurde im Rahmen des Projekts mit dem TWI mit 10 m Auflösung und der HORA-OA weitergearbeitet: (1) Der Vergleich des TWI mit der Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss und mit der Hochwasserri-sikozonierung ergab eine gute Übereinstimmung. (2) Beide Ansätze ergänzen sich dahingehend, dass HORA-OA eine erste Abschätzung der Überflutungsflä-chen für ein bestimmtes Ereignis liefert (außer entlang von Fließgewässern) und der TWI eine kontinuierliche Einschätzung für jeden Bereich bietet, was somit auch die Berücksichtigung von Überflutungen entlang von Fließgewässern ermög-licht. Letzteres ist wichtig, da Haslinger et al. (2025) gezeigt haben, dass der An-stieg der stündlichen Starkniederschläge einhergeht mit einem Anstieg der Hoch-wasserspitzen in kleinen Einzugsgebieten. (3) Ein zusätzlicher Vorteil der konti-nuierlichen Einschätzung der Überflutungsanfälligkeit im gesamten Gebiet be-steht darin, dass auch Auswirkungen extrem intensiver Niederschlagsereignisse, die bisher nicht beobachtet wurden, in Zukunft aber ggf. auftreten, berücksich-tigt werden können.

Das heißt, trotz aller Einschränkungen stellt die gemeinsame Betrachtung des TWI zusammen mit HORA-OA einen guten Ansatz dar, um großmaßstäblich be-sonders gefährdete Gebiete zu identifizieren und um Bewusstsein für die Gefahr von Überflutungen zu wecken. Die Angaben in den Karten sollten vor Ort über-prüft werden. Für die genaue Planung und Platzierung von Anpassungsmaßnah-men sind zusätzlich ggf. Detailuntersuchungen und Simulationen nötig, welche die konkreten Gegebenheiten vor Ort (z. B. Unterführungen etc.) berücksichti-gen.

Entwicklung eines Indikators zur (vereinfachten) Abschätzung der Anfäl- ligkeit für Trockenheit

Wir verwendeten die Klimatische Wasserbilanz, um großräumige Schwankungen der Bodenfeuchte aufgrund der Meteorologie zu analysieren. Um die Bodenfeuch-temuster in höherer Auflösung zu untersuchen und den Einfluss der Topografie zu berücksichtigen, haben wir den TWI als Ausgangspunkt verwendet. Regionen mit niedrigeren TWI-Werten sind tendenziell trockener, weil sie eine relativ kleine flussaufwärts gelegene zum Abfluss beitragende Fläche und/oder ein steiles Ge-fälle aufweisen, welches eher den Abfluss als die Infiltration oder Akkumulation fördert. Zusätzlich wurde die Exposition aus dem 10-m-DEM berechnet und neu klassifiziert, sodass nach Norden ausgerichtete Hänge einen Wert von 1,5, nach Osten und Westen ausgerichtete Hänge einen Wert von 1 und nach Süden aus-gerichtete Hänge einen Wert von 0,5 erhielten. Dieses neu klassifizierte Expositi-ons-Raster wurde dann mit dem TWI-Raster multipliziert, um der Tatsache Rech-nung zu tragen, dass nach Süden ausgerichtete Hänge aufgrund der längeren Sonneneinstrahlung schneller austrocknen (Abbildung 8). Hohe Werte des resul-tierenden Bodenfeuchte-Indikators kennzeichnen daher feuchtere Gebiete, wäh-rend Regionen mit niedrigen Werten tendenziell trockener sind.

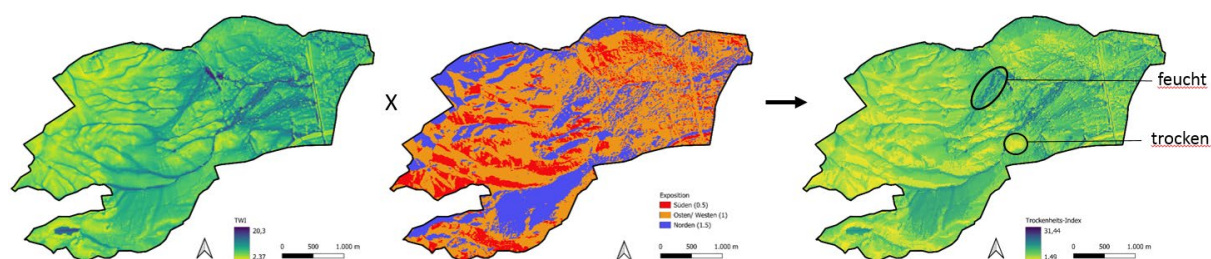


Abbildung 8: Berechnung eines Trockenheitsindikators (rechts) basierend auf der Multiplikation des TWI (links) mit dem klassifizierten Expositionsraaster (Mitte)
(eigene Darstellung GeoSphere Austria)

Neben der Topografie wird die Bodenfeuchte und insbesondere die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen auch durch (1) die Bodeneigenschaften (Durchlässigkeit, Wasserhaltevermögen / nutzbare Feldkapazität), (2) die darunterliegende Geologie (durchlässig oder eher undurchlässig), (3) die Landnutzung und Bodenbedeckung (die den Grad der Beschattung sowie den Wasserentzug durch Pflanzen bestimmt) sowie (4) die Entfernung zum Grundwasser beeinflusst.

Um die oben genannten Aspekte zu berücksichtigen, müssten zusätzliche Datenquellen in die Analyse einbezogen werden. Nicht alle sind jedoch mit der erforderlichen Auflösung verfügbar. Darüber hinaus muss bewertet werden, welche Aspekte gut abstrahiert und für die Abgrenzung eines Bodenfeuchte- oder Dürreproxys verwendet werden können.

Überlagerung der Gefahren Hitze/Starkregen zur Ableitung von Gebieten mit hohem Synergiepotenzial

Ein Ansatz zur Berücksichtigung mehrerer Gefahren ist die Nutzung hochauflösender mikroklimatischer und hydrodynamischer Modelle. Angesichts des hohen Rechenaufwands und der großen Menge an benötigten Daten ist dies oft nur für relativ kleine Gebiete möglich oder es stellt sich die Frage nach der Genauigkeit und Unsicherheit der Daten. Für die Untersuchung größerer Gebiete mit dem Ziel, die Stadtplanung zu unterstützen, großräumige Effekte zu berücksichtigen und das Bewusstsein zu schärfen, sind Analysen mit gröberer Auflösung sinnvoll. Hier haben wir das Modell MUKLIMO_3 mit einer Auflösung von 20 m für die Simulation der Hitzebelastung verwendet. Als Indikator für potenziell von Überflutung betroffene Gebiete haben wir den TWI mit einer Auflösung von 10 m sowie die Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss (und die Hochwasserrisikozonierung von HORA) genutzt.

Eine gemeinsame Betrachtung der Hitzebelastung und der potenziellen Überflutungsflächen kann bereits bei der Auswahl von Anpassungsmaßnahmen in den einzelnen Gebieten helfen. Die Nutzung der Karten in HORA ermöglicht zudem die Überlagerung der Gefahrenkarten. Um Oberflächenabfluss (pluviale Überschwemmungen) und Überschwemmungen ausgehend von Gewässern (fluviale Überschwemmungen) zu erfassen, wurde die Lufttemperaturkarte mit HORA-OA und der Hochwasserrisikozonierung überlagert (Abbildung 9, links). Hierbei muss beachtet werden, dass bei letzterem Überflutungsbereiche für 30-, 100- und

300-jährliche Hochwasserereignisse dargestellt werden, und nicht für ein 30-minütiges, 100-jährliches Starkregenereignis, wie bei HORA-OA.

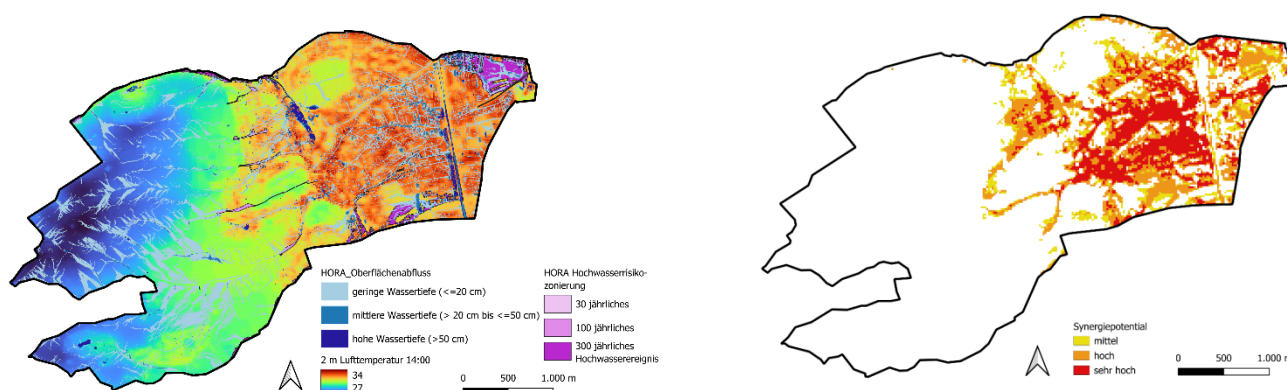


Abbildung 9: Überlagerung der Lufttemperaturkarte (14:00 Uhr) mit der Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss und der Hochwasserrisikozonierung (links) und Kombination der Lufttemperatur und des TWI zur Identifikation von Gebieten mit hohem Synergiepotenzial (rechts) (eigene Darstellung GeoSphere Austria)

Um die Gefahrenkarten (Lufttemperatur und TWI) zu kombinieren, haben wir den Ansatz der Multi-Kriterien-Analyse (MCA) verwendet. Hierbei wurden für beide Gefahrentypen Perzentile berechnet, darauf basierend die Daten jeweils in fünf Klassen unterteilt und die beiden höchsten Klassen jeder Gefahrenkarte für die Überlagerung berücksichtigt, was zu drei kombinierten Klassen führte (mittleres, hohes, sehr hohes Synergiepotenzial). Somit können Gebiete ausgewiesen werden, die von beiden Gefahren betroffen sind und bei denen das Synergiepotenzial besonders hoch ist (Abbildung 9, rechts).

Umgang mit Unsicherheiten

Simulationen für größere Gebiete können für eine großmaßstäbliche Gefahrenabschätzung genutzt werden, sind aber, entweder aufgrund vereinfachter Modellansätze oder aufgrund generalisierter Eingangsdaten, welche nicht überprüft und angepasst (z. B. Unterführungen) wurden, mit Unsicherheiten behaftet und ermöglichen keine parzellenscharfen Aussagen. Für die Projektplanung oder die konkrete Planung von Anpassungsmaßnahmen sind deshalb Vor-Ort-Begehungen und ggf. detaillierte Simulationen, welche die konkreten Gegebenheiten korrekt berücksichtigen, notwendig.

4.2 Entwicklung, Bewertung und Evaluierung von Maßnahmen sowie Vorarbeiten zur Entwicklung eines Entscheidungsbaums (AP 3)

Ziel dieses Arbeitspakets war einerseits die Erfassung unterschiedlicher Maßnahmen zur Anpassung an Hitze, Trockenheit sowie Starkregenfälle und ihrer Anpassungskapazitäten bzw. Umsetzungsmöglichkeiten in unterschiedlichen baulich-

räumlichen Settings. Andererseits wurde eine Bewertung der identifizierten Maßnahmen hinsichtlich ihres Beitrags bzw. der Wirkungen zur Anpassung – differenziert nach Hitze, Trockenheit und Starkregen – durchgeführt.

Maßnahmen zur Anpassung an Hitze, Trockenheit und Starkregenfälle

Grundlage für die Erstellung eines umfangreichen Maßnahmenkatalogs war eine Auswertung vorhandener Leitfäden und Maßnahmenbeschreibungen im Bereich der Klimawandelanpassung. Die üblicherweise getrennt nach unterschiedlichen Anpassungserfordernissen (Hitze, Trockenheit und Starkregen) beschriebenen Maßnahmen wurden im Rahmen des Projekts integrativ betrachtet und für jede Maßnahme Synergien herausgearbeitet sowie beschrieben. Ebenso wurden ihre (Ökosystem-)Leistungen in den drei Anpassungsfeldern bewertet. Erstmals werden damit nicht nur die Beiträge der Maßnahmen zur Hitzereduktion, sondern eben auch für mit den steigenden Temperaturen verbundene Entwicklungen wie die Verlängerung der Trockenperioden, aber auch Starkregenereignisse beschrieben.

Maßnahmenkatalog zur Klimawandelanpassung im öffentlichen Raum

Der Maßnahmenkatalog dient Gemeinden als praxisnahes Nachschlagewerk zur Klimawandelanpassung im öffentlichen Raum. Er stellt eine systematisch aufgebaute Sammlung von Maßnahmen dar, die auf die konkreten Herausforderungen und Möglichkeiten im kommunalen Bereich zugeschnitten sind.

Der entwickelte Maßnahmenkatalog adressiert eine zentrale Herausforderung in der kommunalen Planungspraxis: den Mangel an zugänglichen, praxisorientierten und zugleich wissenschaftlich fundierten Orientierungshilfen. Vor dem Hintergrund zunehmender Extremwetterereignisse und klimabedingter Belastungen stellt der Katalog ein essenzielles Werkzeug dar, um kommunale Akteur:innen bei der Auswahl, Bewertung und Umsetzung geeigneter Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen. Die Wirksamkeit der Maßnahmen wurde anhand empirischer Erfahrungswerte sowie einer internationalen Literatur- und Fallstudienrecherche systematisch bewertet.

Ziel des Maßnahmenkatalogs ist es, eine fundierte Entscheidungsgrundlage bereitzustellen, die sowohl strategische als auch operative Handlungsspielräume sichtbar macht. Die Maßnahmen wurden hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, Relevanz und Kosteneffizienz bewertet, um eine evidenzbasierte Priorisierung zu ermöglichen. Damit leistet der Katalog nicht nur einen Beitrag zur Wissensvermittlung, sondern auch zum gezielten Kompetenzaufbau in kommunalen Verwaltungen.



Abbildung 10: Beispiel für die umfangreiche Beschreibung und Bewertung der einzelnen Maßnahmen (eigene Darstellung 3:0)

Die enge Verzahnung mit der Klimacheckliste (siehe Kap. 4.3) ermöglicht darüber hinaus eine direkte Anwendung in konkreten Planungs- und Umsetzungsprozessen, etwa im Rahmen von Straßenraumgestaltungen oder Sanierungsmaßnahmen. Durch die Kombination beider Instrumente wird die Integration klimaangepasster Lösungen in kommunale Routinen erleichtert.

Ziele und Nutzen des Maßnahmenkatalogs:

- Orientierung und Entscheidungshilfe:** Der Katalog unterstützt Gemeinden dabei, passende Anpassungsmaßnahmen auszuwählen und zu priorisieren. Durch die Bewertung der Maßnahmen nach Relevanz, Wirksamkeit und Kosten wird die Entscheidungsfindung erleichtert.
- Kompetenzaufbau:** Gemeinden erhalten eine fundierte Grundlage für die Entwicklung eigener Strategien zur Anpassung an den Klimawandel.
- Klimacheckliste bei Umsetzungsmaßnahmen:** Bei der Planung und Umsetzung von allen Maßnahmen im öffentlichen Raum – etwa im Zuge einer Straßensanierung – sollte die Klimacheckliste stets als Planungsinstrument herangezogen werden. Sie hilft dabei, klimaangepasste Gestaltungsoptionen frühzeitig zu identifizieren und gezielt in die Maßnahme zu integrieren.
- Verbreitung und Diskussion:** Der Maßnahmenkatalog wurde im Rahmen verschiedener Fachveranstaltungen präsentiert und diskutiert – unter anderem bei der SUM-Konferenz – und fand dort positive Resonanz.

4.3 Planungshinweiskarten, Zuordnung von Maßnahmen und Resilienzfaktoren (AP 4)

Die Planungshinweiskarte ist eine Schnittstelle zwischen Klimatologie und Planung und dient als Orientierungshilfe für Gemeinden im Umgang mit Klimagefahren. Sie übersetzt die Erkenntnisse der (Stadt-)Klimaanalyse in eine verständliche „Sprache“ für die Stadt-, Raum- und Landschaftsplanung.

Von Gefahrenkarten zu Planungshinweiskarten

Wie die Analyse diverser internationaler Beispiele zur Erstellung von Planungshinweiskarten zeigte (siehe dazu ausführlich Reinwald et al. 2024), werden zusätzlich zu den Gefahrenanalysen vertiefende Analysen (z. B. sozialräumliche Analyse oder Analyse kritischer Infrastruktur) durchgeführt und häufig potenzielle (zukünftige) klimatische, soziodemografische oder räumliche Entwicklungsszenarien (inkl. Sensitivitätsanalysen potenzieller Maßnahmen) entwickelt, um Planungshinweiskarten zu erstellen.

Vertiefende Expositions- und Vulnerabilitätsanalysen

Ziel dieser vertiefenden Analysen ist es, jene bebauten Gebiete sowie Bevölkerungsgruppen zu identifizieren, die besonders exponiert und/oder besonders vulnerabel gegenüber den analysierten Klimagefahren sind (Chen et al. 2022). Dies ist notwendig, um zu vermeiden, dass die abgeleiteten Planungshinweise sowie die Entwicklung darauf basierender Anpassungsoptionen die urbane Vulnerabilität und soziale Marginalisierung reproduzieren oder sogar verschärfen.

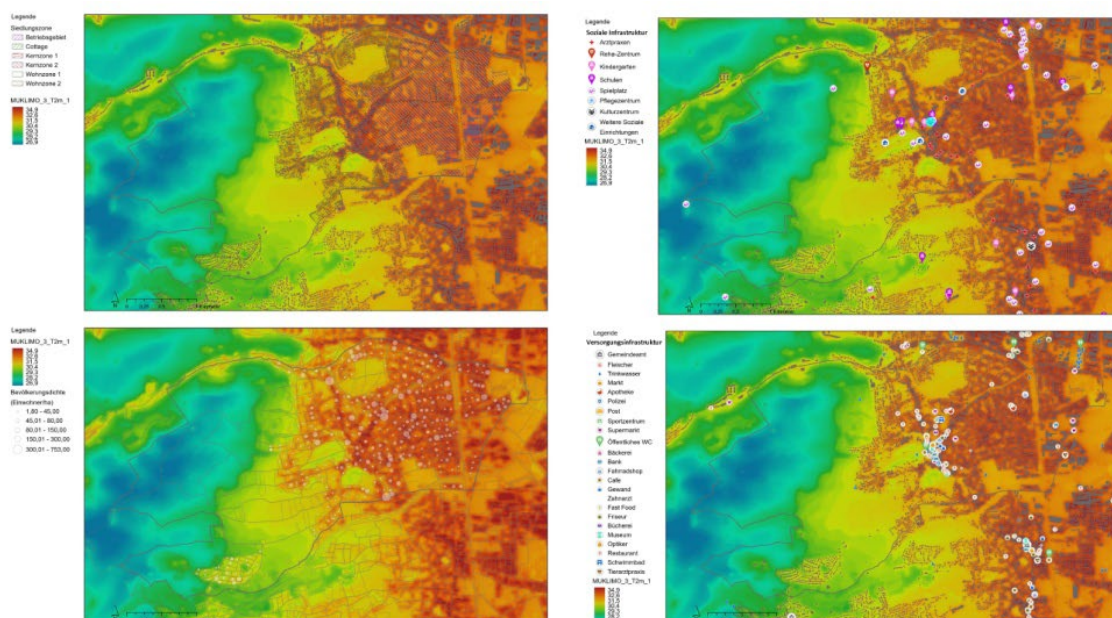


Abbildung 11: Beispiel für vertiefende Analysen: Hitzebelastung verschnitten mit Widmungen (links oben), Bevölkerungsdichte (links unten) sowie sozialer Infrastruktur (rechts oben) und Versorgungsinfrastruktur (rechts unten) (eigene Darstellung BOKU auf Basis GeoSphere Austria)

Ausgehend von den Klimagefährdungsanalysen und deren Abgrenzung in der (Stadt-)Klimaanalysekarte werden für die vertiefenden Analysen zunächst die stark gefährdeten Bereiche einer Gemeinde ermittelt und abgegrenzt. Auf Basis dieser detaillierten Expositionsanalysen können dann durch Verschneidung mit anderen Daten spezifische sozialräumliche Vulnerabilitäten abgeleitet werden. Die Bevölkerungsdichte kann als erster Indikator für die soziale Vulnerabilität verwendet werden, um Gebiete abzugrenzen, in denen viele Menschen gefährdet sind.

Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen

Die Erstellung der Planungshinweiskarte erfordert neben der Analyse der aktuellen Situation (also des Ist-Zustands) auch die Berücksichtigung klimatischer Zukunftsprojektionen, die die zu erwartende Entwicklung der Exposition aufzeigen. Denn auch derzeit als wenig belastet eingestufte Gebiete könnten in den kommenden Jahrzehnten eine hohe Belastung entwickeln (VDI 2020).

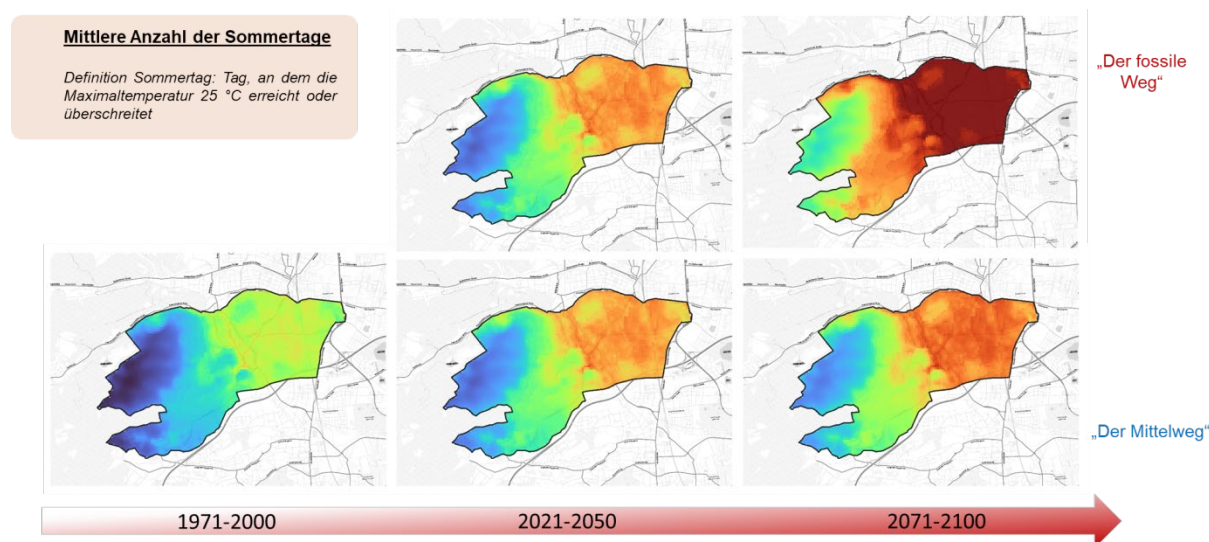


Abbildung 12: Modellierter Entwicklung der mittleren Anzahl an Sommertagen für drei Klimaperioden (1971–2000, 2021–2050, 2071–2100) und zwei RCP-Emissionsszenarien (RCP4.5 und 8.5) (eigene Darstellung GeoSphere Austria)

Neben den modellierten Zukunftsszenarien für Perchtoldsdorf (siehe Abbildung 12) sollten auch geplante städtebauliche Veränderungen im Gemeindegebiet möglichst konkret in die vertiefenden Analysen miteinbezogen werden (z. B. unter Zuhilfenahme des Örtlichen Entwicklungskonzepts sowie von Bebauungsbestimmungen und -plänen wie im Projekt geschehen; siehe Abbildung 11).

Umfang und Ziele von Planungshinweiskarten

Wie die Analyse der zahlreichen internationalen Beispiele (Reinwald et al. 2024) und auch die Anwendungen im Rahmen des Projekts zeigten, hängen die Aussagekraft und der Informationsgehalt von Planungshinweiskarten von der Analysetiefe der einzelnen Komponenten ab (also davon, welche vertiefenden Analysen gemacht wurden). Dies wirkt sich auch direkt auf die Qualität der abgeleiteten

Planungsmaßnahmen für kommunale Klimaanpassungs- und Klimaschutzplanung aus. Entscheidend ist, die klimatischen Funktionen und ihre Wechselwirkungen mit baulichen sowie sozialräumlichen Strukturen zu bewerten und darzustellen. Auch wurde deutlich, dass hier noch ein großer Forschungsbedarf gegeben ist, da es kaum methodische oder inhaltliche Vorgaben gibt.

Resilienzfaktoren für die Beurteilung und Steuerung der Durchgrünung und Versiegelung auf Quartiersebene

Eine der zentralen Strategien zur Anpassung an den Klimawandel ist das Nützen der Ökosystemleistungen grüner und blauer Infrastruktur. Ein zentraler Ansatz zur Bewertung der Anpassungsleistung von grüner (und blauer) Infrastruktur sind Grünflächenfaktoren, auch bekannt als „Green Area Indicators“, „Green Points Systems“ oder Grünflächenzahlen (Ring et al. 2021, Stange et al. 2022).

Die Einsatzbereiche dieser Faktoren sind breit und reichen vom Einsatz als städtebaulichem Kennwert über den Einsatz als Analyse- und Evaluierungsinstrument bis hin zu Qualitätssicherungsinstrumenten in Wettbewerben. Zunehmend werden sie auch als rechtsverbindliche Planungs- bzw. Steuerungsinstrumente im Rahmen der Bebauungsplanung bzw. der Baubewilligung oder bei städtebaulichen Verträgen eingesetzt (wie z. B. in Österreich in den Städten Graz und Salzburg). Die zugrundeliegende Berechnungsmethode ist bei den meisten recht ähnlich: Die Flächen der unterschiedlichen Elemente der grünen und blauen Infrastruktur werden ermittelt, mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert, aufsummiert und dann durch die Grundstücksfläche dividiert (Keeley 2011, Kruuse 2011, Peroni et al. 2020).

Eines der Ziele im Rahmen des Projekts „GreenAdaptation“ war die Entwicklung eines „Resilienzfaktors“, der zusätzlich den öffentlichen (Straßen-)Freiraum inkludiert, also auf Quartiersebene anwendbar ist. Damit soll die Möglichkeit eröffnet werden, nicht nur einzelne Grundstücke, sondern ganze Quartiere zu analysieren und zu vergleichen und ihre Durchgrünung besser steuern zu können.

In einem ersten Schritt wurden unterschiedliche Siedlungsstrukturen in Perchtoldsdorf kartiert (Einfamilienhäuser, Reihenhäuser, Doppelhäuser und verschiedene Typen von Mehrfamilienhäusern) und mit ArcGIS digitalisiert. Basierend auf verschiedenen vorhandenen Grünflächenfaktoren wurde eine Berechnungstabelle erstellt und der „Resilienzfaktor“ für die unterschiedlichen Beispiele berechnet.



Abbildung 13: Beispiel für die Berechnung des „Resilienzfaktors“ für die verschiedenen Siedlungstypologien anhand des realen Bestands sowie der vereinheitlichten Szenarien (eigene Darstellung ILAP)

Um die Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Siedlungstypen und ihrer grün-blauen Infrastruktur zu gewährleisten, wurden zunächst alle sieben Siedlungstypen auf die gleiche Anzahl von Wohneinheiten (10 Wohneinheiten) vereinheitlicht – also hoch- bzw. runtergerechnet. Anschließend wurde ein Begrünungsszenario definiert und einheitlich auf alle Siedlungstypen angewendet. Durch die Anwendung dieses homogenen Begrünungsszenarios auf alle Siedlungstypen können diese hinsichtlich ihres Versiegelungs- und Begrünungsgrads zueinander in Beziehung gesetzt und verglichen werden.

Die erstmalige Anwendung eines Grünflächenfaktors auf Quartiersebene zeigt, dass dieser prinzipiell auch geeignet ist, ganze Siedlungen zu bewerten. Damit können die Durchgrünung und die Versiegelung sowohl auf privaten Grundstücken als auch unter Berücksichtigung der Erschließung und der öffentlichen Freiräume analysiert und verglichen werden. Durch den Ansatz, die Beispiele zu vereinheitlichen, wird zusätzlich deutlich, wie groß die unterschiedliche Flächeninanspruchnahme verschiedener Siedlungstypologien – eben inkl. der Straßen – im Vergleich ist. Zahlreiche städtebauliche (z. B. Geschößflächenzahl, Versiegelungsgrad, Flächeneffizienz) und freiraumplanerische (z. B. Begrünungsanteil, Überschildungsgrad) Indikatoren lassen sich anhand der Datenbasis errechnen und unterstützen eine differenzierte Prüfung.

Entscheidungsbaum/Klimacheckliste

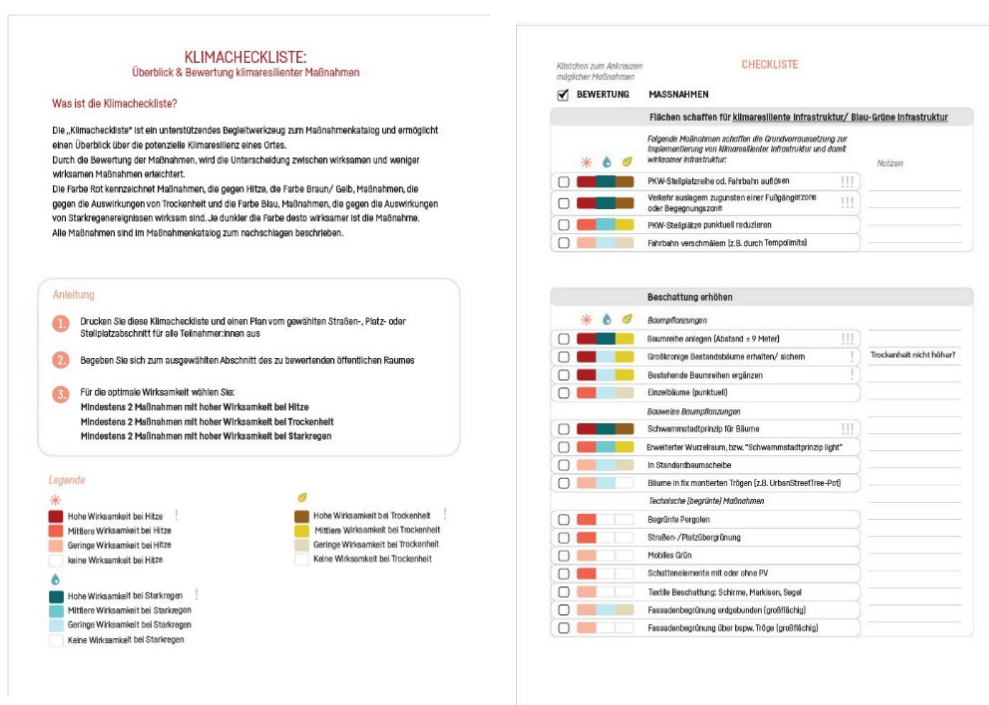
Als praxisnahes Werkzeug für eine klimaresiliente Planung wurde ein Entscheidungsbaum in Form einer „Klimacheckliste“ entwickelt, um die Entscheidung für die effektivsten und effizientesten Maßnahmen zur Klimawandelanpassung zu unterstützen.

Die Klimacheckliste wurde im Rahmen eines partizipativen und iterativen Entwicklungsprozesses konzipiert mit dem Ziel, ein praxisorientiertes Instrument zur klimaresilienten Planung im kommunalen Kontext bereitzustellen. Ausgangspunkt war die systematische Sammlung und Bewertung bestehender Maßnahmen zur

Klimaanpassung im öffentlichen Raum, insbesondere im Hinblick auf deren Wirksamkeit gegenüber zentralen Klimarisiken wie Hitze, Starkregen und Trockenheit (siehe Kap. 4.2).

Sie bietet eine umfassende Übersicht wirksamer Maßnahmen zur Anpassung des öffentlichen Raumes an die Folgen des Klimawandels und ermöglicht es, relevante Maßnahmen strukturiert und unkompliziert zu erfassen – beispielsweise im Rahmen von Straßenraumgestaltungen, Platzsanierungen oder Grünraumentwicklungen.

Im weiteren Verlauf wurde die Checkliste im Rahmen von Workshops mit kommunalen Vertreter:innen erprobt und weiterentwickelt. Dieser partizipative Ansatz ermöglichte eine direkte Rückkopplung aus der praktischen Anwendungsperspektive. Anregungen und Verbesserungsvorschläge der Teilnehmenden wurden gezielt aufgenommen und flossen in die Optimierung der Struktur, Verständlichkeit und Anwendbarkeit der Checkliste ein.



KLIMACHECKLISTE:
Überblick & Bewertung klimaresilienter Maßnahmen

Was ist die Klimacheckliste?

Die „Klimacheckliste“ ist ein unterstützendes Begleitwerkzeug zum Maßnahmenkatalog und ermöglicht einen Überblick über die potenzielle Klimaresilienz eines Ortes. Durch die Bewertung der Maßnahmen, wird die Unterscheidung zwischen wirksamen und weniger wirksamen Maßnahmen erleichtert.

Die Farbe rot kennzeichnet Maßnahmen, die gegen Hitze, die Farbe Braun/ Gelb, Maßnahmen, die gegen die Auswirkungen von Trockenheit und die Farbe Blau, Maßnahmen, die gegen die Auswirkungen von Starkregenereignissen wirksam sind. Je dunkler die Farbe desto wirksamer ist die Maßnahme. Alle Maßnahmen sind im Maßnahmenkatalog nach nachschlagen beschrieben.

Anleitung

- Drucken Sie diese Klimacheckliste und einen Plan vom gewählten Straßen-, Platz- oder Steilplatzabschnitt für alle Teilnehmer:innen aus
- Begeben Sie sich zum ausgewählten Abschnitt des zu bewertenden öffentlichen Raumes
- Für die optimale Wirksamkeit wählen Sie:
Mindestens 2 Maßnahmen mit hoher Wirksamkeit bei Hitze
Mindestens 2 Maßnahmen mit hoher Wirksamkeit bei Trockenheit
Mindestens 2 Maßnahmen mit hoher Wirksamkeit bei Starkregen

Legende

Hohe Wirksamkeit bei Hitze	Hohe Wirksamkeit bei Trockenheit
Mittlere Wirksamkeit bei Hitze	Mittlere Wirksamkeit bei Trockenheit
Geringe Wirksamkeit bei Hitze	Geringe Wirksamkeit bei Trockenheit
Keine Wirksamkeit bei Hitze	Keine Wirksamkeit bei Trockenheit
Hohe Wirksamkeit bei Starkregen	
Mittlere Wirksamkeit bei Starkregen	
Geringe Wirksamkeit bei Starkregen	
Keine Wirksamkeit bei Starkregen	

CHECKLISTE

BEWERTUNG **MASSNAHMEN**

Flächen schaffen für klimaresiliente Infrastruktur/ Blau-Grüne Infrastruktur

Folgende Maßnahmen schaffen die Grundvoraussetzung zur Implementierung von klimaresilienter Infrastruktur und damit wirksamer Infrastruktur:

☐			PKW-Stellplätze od. Fahrrad auf dem	!!!	Nutzen
☐			Verkehr auslagern zugunsten einer Fußgängerzone oder Begegnungszone	!!!	
☐			PKW-Stellplätze punktuell reduzieren	!!!	
☐			Fahrbahn verschmälern (z.B. durch Tempomittel)	!!!	

Beschattung erhöhen

☐			Baumreihen	Trockenheit nicht höher?
☐			Baumreihe anlagen (Abstand > 9 Meter)	
☐			Größtenteils laubbäumig erhalten/ sichern	
☐			Besühnende Baumreihen ergänzen	
☐			Einzelbäume (punktuell)	
☐			Baumreihe Beschattungen	
☐			Schwammstadtprinzip für Bäume	!!!
☐			Erweiterter Wurzelraum, bzw. "Schwammstadtprinzip light"	
☐			In Ständerbaumreihe	
☐			Bäume in fix montierten Trägern (z.B. UrbanStreetTree-Pot)	
☐			Technische (begrünte) Maßnahmen	
☐			Begrünte Pergolen	
☐			Straßen-/Platzbegrünung	
☐			Mobiles Grün	
☐			Schattenelemente mit oder ohne PV	
☐			Textile Beschattung: Schirme, Markisen, Segel	
☐			Fassadenbegrünung erdgebunden (größtmöglich)	
☐			Fassadenbegrünung über bspw. Träger (größtmöglich)	

Abbildung 14: Ausschnitt aus der „Klimacheckliste“ (eigene Darstellung 3:0)

Ergänzt wurde die Maßnahmenübersicht durch einen farbcodierten Wirksamkeitsindikator, der eine schnelle Einschätzung der Relevanz einzelner Maßnahmen in Bezug auf spezifische Klimarisiken erlaubt. Die finale Version der Checkliste zeichnet sich durch eine klare, selbsterklärende Struktur aus, die sowohl eine fachlich fundierte als auch niederschwellige Nutzung in verschiedenen Planungs- und Entscheidungsprozessen ermöglicht.

Struktur und Anwendung

Die Maßnahmen sind in einer übersichtlichen Checklistenform dargestellt und können direkt angekreuzt werden – ideal für Planungsprozesse, Ortstermine oder Projektbesprechungen.

Ein Farbcode kennzeichnet die jeweilige Wirksamkeit der Maßnahmen in Bezug auf zentrale Klimarisiken: Hitze, Starkregen und Trockenheit. So wird auf einen Blick ersichtlich, welche Maßnahmen für welche Herausforderungen besonders geeignet sind.

Die Checkliste wurde im Rahmen der Workshops gemeinsam mit Vertreter:innen der Gemeinde erprobt. Dabei eingebrachtes Feedback wurde aktiv eingearbeitet, um Benutzerfreundlichkeit, Verständlichkeit und Relevanz weiter zu erhöhen.

4.4 Anwendungsfälle und Einbeziehung von Interessengruppen (AP 5)

Dieses Arbeitspaket diente sowohl der Erfassung der Anforderungen an die verschiedenen entwickelten Methoden und Instrumente durch die Einbeziehung von und den Austausch mit verschiedenen Stakeholder:innengruppen als auch der Evaluierung dieser. Aufgrund der Zusammenarbeit mit und der Unterstützung durch das Stadt-Umland-Management Wien/Niederösterreich (SUM, LOI-Geber) konnten sowohl verschiedene Austauschformate (u. a. SUM-Konferenzen, SUM-Forum, verschiedene Dialogverfahren) genutzt werden, um mit unterschiedlichen Stakeholder:innen die Anforderungen an (Stadt-)Klimaanalysen zu diskutieren, als auch konkrete Tests der entwickelten Methoden und Instrumente durchgeführt werden.

Erfassung der Anforderungen sowie Vorstellung und Diskussion der entwickelten Instrumente und Methoden

Im Rahmen der verschiedenen Austauschformate wurden die Anforderungen der unterschiedlichen Gruppen – u. a. Politik, Verwaltung, Planung – an (Stadt-)Klimaanalysen erfasst und Erfahrungen ausgetauscht. Auch konnten die verschiedenen Methoden und Instrumente, die im Zuge des Projekts entwickelt wurden, getestet und diskutiert werden. Dieser inter- und transdisziplinäre Austausch unterstützte die Qualitätssicherung und die Prüfung der Anwendbarkeit in der Praxis. Hinsichtlich pluvialer Überflutungen waren wir zudem im Austausch mit Experten der TU Graz, des Bundesforschungszentrums für Wald (BFW), des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML), des Elementarschadenpräventionszentrums (EPZ), des Landes Kärnten Abt. Wasserwirtschaft und der Stadt Berlin.

Zusammenarbeit mit der Gemeinde Perchtoldsdorf

Basierend auf einer Vorstellung des Projekts auf der SUM-Konferenz 2023 wurde die Marktgemeinde Perchtoldsdorf als Beispielgemeinde gewonnen und in einem

intensiven Prozess die Anforderungen und Möglichkeiten der Klimawandelanpassung diskutiert. Im Rahmen einer Workshopreihe – deren Themen vom Erfassen der spezifischen lokalen Anforderungen und der Analysen der unterschiedlichen Gefahren über die Diskussion von Anpassungsmaßnahmen bis hin zur Entwicklung neuer Instrumente für eine verbesserte Klimawandelanpassung reichten – wurden die entwickelten Instrumente und Methoden laufend mit Vertreter:innen der Gemeinde (Gemeindepolitik und -verwaltung) diskutiert und angepasst.

Inhalte der Workshops:

- Verständnis lokaler Klimarisiken: Anhand von Instrumenten wie Hitzekarten und Überflutungskarten wurden die spezifischen Auswirkungen des Klimawandels auf die jeweilige Gemeinde analysiert.
- Interdisziplinärer Input: Input aus verschiedenen fachlichen Richtungen von wissenschaftlich bis angewandt (z. B. Meteorologie, Landschaftsarchitektur)
- Maßnahmenüberblick: Vermittlung eines umfassenden Überblicks über mögliche Klimawandelanpassungsmaßnahmen grün-blauer Infrastruktur im öffentlichen Raum
- Bewertung Baumbestand: Der aktuelle Zustand des kommunalen Baumbestands wurde mithilfe des Baumkatasters systematisch erfasst und bewertet. Dabei wurden nicht nur bestehende Defizite aufgezeigt, sondern auch konkrete Empfehlungen zu klimaresilienten Baumarten gegeben. Zusätzlich wurden Hinweise zur fachgerechten Pflege sowie typische Fehler im Umgang mit Bäumen thematisiert, um die langfristige Vitalität und Anpassungsfähigkeit des Stadtgrüns zu sichern.
- Klimacheckliste zur selbstständigen Einschätzung kritischer Bereiche und notwendiger Maßnahmen: Schulung im Umgang mit einer Klimacheckliste zur eigenständigen Bewertung und Planung klimasensibler Maßnahmen – z. B. bei Straßenraumgestaltungen
- Beantwortung der Rückfragen / Diskussion: Viele konkrete Fragen der Gemeinden konnten direkt im Workshop beantwortet und besprochen werden. Diskussionen wurden angeregt.
- Rechtlicher Rahmen: Überblick über rechtliche Möglichkeiten zur Förderung klimarelevanter Maßnahmen im Rahmen von Flächenwidmungs- und Bebauungsplänen mithilfe von landschaftsplanerischen/ordnungsplanerischen Rückmeldungen und Hinweisen

Kompetenzaufbau durch Workshops

Ziel war es, das Bewusstsein für lokale Auswirkungen des Klimawandels zu schärfen und praktische Kompetenzen zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen zu fördern. Im Rahmen der Workshops wurde deutlich, dass neben der Begleitung der Prozesse auch ein Kompetenzaufbau der kommunalen Vertreter:in-

nen notwendig ist und diese gezielt geschult werden müssen, um die Hintergründe und Auswirkungen sowohl des Klimawandels als auch der Anpassungsmöglichkeiten zu verstehen und Maßnahmen dann umsetzen zu können.

4.5 Proof of Concept – Methoden und Instrumente sowie Verbreitung der Forschungsergebnisse (AP 6)

Die Konsolidierung und Verbreitung der Projektergebnisse erfolgte in einem eigenen Arbeitspaket. Ziel des Projekts war, sowohl die Wissenschaft als auch die Praxis zu unterstützen.

Konsolidierung und Disseminierung der Projektergebnisse

Neben der oben beschriebenen intensiven Diskussion der Projektergebnisse mit der Praxis (siehe AP 5) wurden die Forschungsergebnisse auch auf internationalen Tagungen präsentiert und diskutiert (siehe auch Kap. 8). Auch hier zeigte sich, dass insbesondere der Schritt von den zahlreichen Analysen hin zu konkreten und validen Planungshinweisen (inkl. entsprechender Karten) ein international wachsender Forschungsbereich ist, in dem noch ein großer Forschungsbedarf gegeben ist.

Entwicklung eines Methoden- und Tool-Sets

Die zentralen Projektergebnisse werden den österreichischen Gemeinden sowie den Planer:innen und Beteiligten in der Klimawandelanpassung in Form von zwei Leitfäden zur Verfügung gestellt.



Abbildung 15: Cover des Leitfadens zu (Stadt-)Klimaanalysen sowie des Maßnahmenkatalogs

Im Dokument „(Stadt-)Klimaanalysen und Klimawandelanpassung für Gemeinden. Fragen und Antworten – Ein Leitfaden für die Praxis“ werden erstmals für Österreich die wichtigsten Schritte zur erfolgreichen Klimawandelanpassung beschrieben und verschiedene Methoden und Instrumente vorgestellt, die diese unterstützen. In sechs Kapiteln werden sowohl Grundlagen zum Stadtklima und der

Klimawandelanpassung als auch die notwendigen Schritte zur Durchführung einer (Stadt-)Klimaanalyse bis zur Planungshinweiskarte beschrieben, um eine erfolgreiche kommunale Klimawandelanpassung zu unterstützen (Download unter: <https://boku.ac.at/lawi/ilap/projekte/greenadaptation>).

Der „Maßnahmenkatalog. Sammlung möglicher klimawirksamer Maßnahmen für den öffentlichen Raum in Gemeinden“ beschreibt strukturiert die Maßnahmen, die in öffentlichen (Straßen-)Freiräumen umgesetzt werden können. Neben einer Beschreibung der einzelnen Maßnahmen ist auch eine detaillierte Bewertung der Wirksamkeiten der Maßnahmen (differenziert nach Hitze, Starkregen und Trockenheit) sowie der Kosten enthalten (Download unter: <https://www.3zu0.com/forschung-entwicklung/acrp-green-adaptation>).

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Bisher haben rund 20 österreichische Gemeinden und Städte bzw. Regionen (Stadt-)Klimaanalysen umgesetzt und ein Teil verfügt auch über Planungshinweiskarten. In den meisten Analysen – auch international – steht die Analyse der urbanen Überwärmung im Vordergrund.

Hitze, Trockenheit und Starkregen müssen und können gemeinsam gedacht werden

Neben der städtischen Überwärmung sind Österreichs Gemeinden auch von anderen Folgen des Klimawandels wie zunehmenden Trockenperioden, aber auch Starkregenereignissen betroffen. Wie die Projektergebnisse zeigen, lässt sich eine integrative Betrachtung von Hitze, Trockenheit und Starkregen sowohl in der Analyse als auch in der Maßnahmenentwicklung und -auswahl umsetzen. Bei der Planung von Anpassungsmaßnahmen zur Reduktion der Hitzebelastung muss das berücksichtigt werden, um die Wirksamkeit der Maßnahmen auch in trockenen Phasen zu ermöglichen und um Synergieeffekte zu nutzen und so gleichzeitig die Gefahr von Überschwemmungen zu reduzieren.

Methodischer Rahmen - Elemente einer umfassenden Analyse zur räumlichen Klimawandelanpassung

Basierend auf einer Analyse internationaler Beispiele von Stadtklimaanalysen und Planungshinweiskarten und den Vergleich der unterschiedlichen Methoden und Arbeitsschritte (Reinwald et al. 2024) wurde ein methodischer Rahmen als Grundlage für die weitere Bearbeitung des Projekts entwickelt (siehe Abbildung 16).

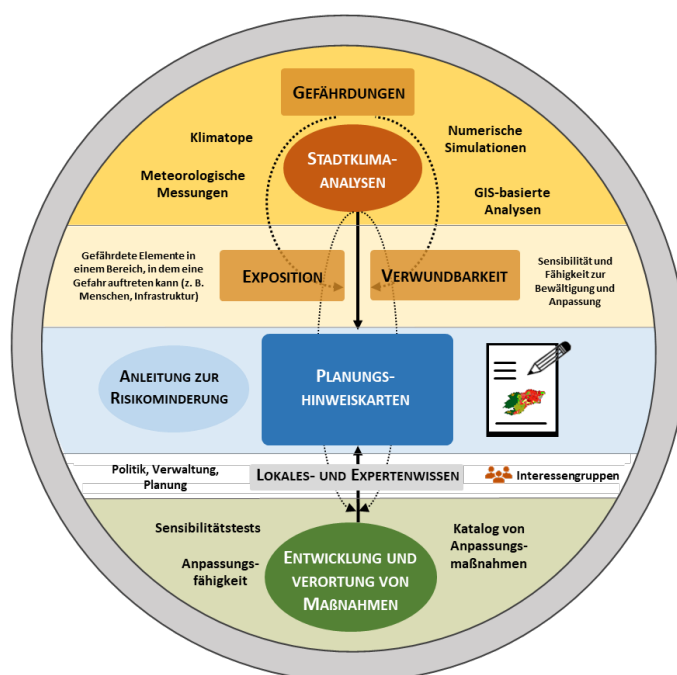


Abbildung 16: Methodischer Rahmen und entscheidende Schritte bei der Entwicklung von Planungshinweiskarten (eigene Darstellung GeoSphere Austria, basierend auf World Bank 2020)

Um die lokale räumliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu unterstützen, sollte die Analyse folgende Komponenten umfassen:

- (1) **(Stadt-)Klimaanalyse** im Zusammenhang mit der Gefahrenkomponente
- (2) Umfassende **soziale und räumliche Analyse** im Zusammenhang mit der Exposition und Verletzlichkeit
- (3) Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen, **Anpassungsmaßnahmen** und **Analyse ihrer Effekte**
- (4) **Planungshinweiskarten** als „Anleitung zur Risikominderung“

Neben der Analyse der Gefahren durch die städtische Überwärmung bzw. sonstiger Naturgefahren in der eigentlichen Gefahrenanalyse müssen vertiefende räumliche und soziale Analysen durchgeführt werden, um unterschiedliche Expositionen und Verletzlichkeiten zu berücksichtigen. Entscheidend ist, auch zukünftige klimatische, bauliche und soziale Entwicklungen zu berücksichtigen, um Fehlanpassungen zu vermeiden. Nicht zuletzt bestimmen auch die Möglichkeiten, Anpassungsmaßnahmen umzusetzen, das Risiko für die Gemeindeentwicklung in Bezug auf die Klimawandelfolgen und müssen deshalb analysiert werden. Ein entscheidender Schritt ist, diese Analysen integrativ und interdisziplinär zu interpretieren und daraus Planungshinweise und Planungshinweiskarten abzuleiten, die helfen, das Risiko zu reduzieren.

Starkregenereignisse und deren Folgen als Teil von (Stadt-)Klimaanalysen

Großmaßstäblich können für die gemeinsame Betrachtung verschiedener Gefahren Stadtklimaanalysen genutzt werden. Sie ermöglichen die Identifikation von Gebieten, die besonders von Hitze und / oder Überschwemmungen betroffen sind. Für die Identifikation von potenziell von Überflutungen betroffenen Gebieten bietet sich, großmaßstäblich, der TWI (10 m Auflösung) in Kombination mit der Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss von HORA an. Letztere umfasst potenzielle Überflutungsflächen bei einem 30-minütigen 100-jährlichen Starkregenereignis. Überflutungsflächen ausgehend von Gewässern werden nicht dargestellt. Haslinger et al. (2025) zeigen allerdings, dass die beobachtete Zunahme der stündlichen Starkniederschlagsintensitäten einhergeht mit einem Anstieg der Hochwasserspitzen in kleinen Einzugsgebieten. Durch die Kombination der Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss mit dem TWI werden auch Gebiete entlang von Gerinnen berücksichtigt und zusätzlich wird für das gesamte Gebiet eine graduelle Abstufung der Überflutungsgefahr angezeigt.

Identifikation von Gebieten mit hohem Synergiepotenzial

Das Verschneiden oder Überlagern der verschiedenen Gefahrenkarten ermöglicht die Identifikation von Gebieten mit hohem Synergiepotenzial. Aber auch die separate Darstellung der potenziell von Überflutung betroffenen Bereiche schärft

bereits das Bewusstsein und kann bei der Auswahl geeigneter Anpassungsmaßnahmen unterstützen.

Berücksichtigung der Unsicherheiten

Es ist jedoch wichtig hervorzuheben, dass der TWI sowie die Gefahrenhinweiskarte Oberflächenabfluss mit Unsicherheiten behaftet sind und eine erste großräumige Gefahrenabschätzung darstellen. Für die konkrete Projektplanung und Maßnahmensetzung sind Abklärungen vor Ort und ggf. Detailstudien nötig, die die kleinräumigen Strukturen korrekt berücksichtigen.

Deshalb wird die Betrachtung zweier verschiedener (Maßstabs-)Ebenen empfohlen. Großmaßstäblich können durch (Stadt-)Klimaanalysen und Planungshinweiskarten verschiedene Gefahren bei der Stadtplanung berücksichtigt werden. Auf Objektebene und für kleine Gebiete sind dann detaillierte Simulationen und die Berücksichtigung der konkreten Gegebenheiten und kleinskaligen Effekte vor Ort essenziell. Zudem unterstützt auf dieser Ebene der Maßnahmenkatalog dabei, Hitze, Starkregen und Trockenheit zusammenzudenken und sich der Synergieeffekte von Anpassungsmaßnahmen bewusst zu sein.

Von der (Stadt-)Klimaanalyse zur Planungshinweiskarte

Im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels ergeben sich Risiken aus den dynamischen Wechselwirkungen zwischen klimabedingten Gefahren und der Exposition und Verletzlichkeit des betroffenen menschlichen oder ökologischen Systems gegenüber diesen Gefahren (IPCC 2014).

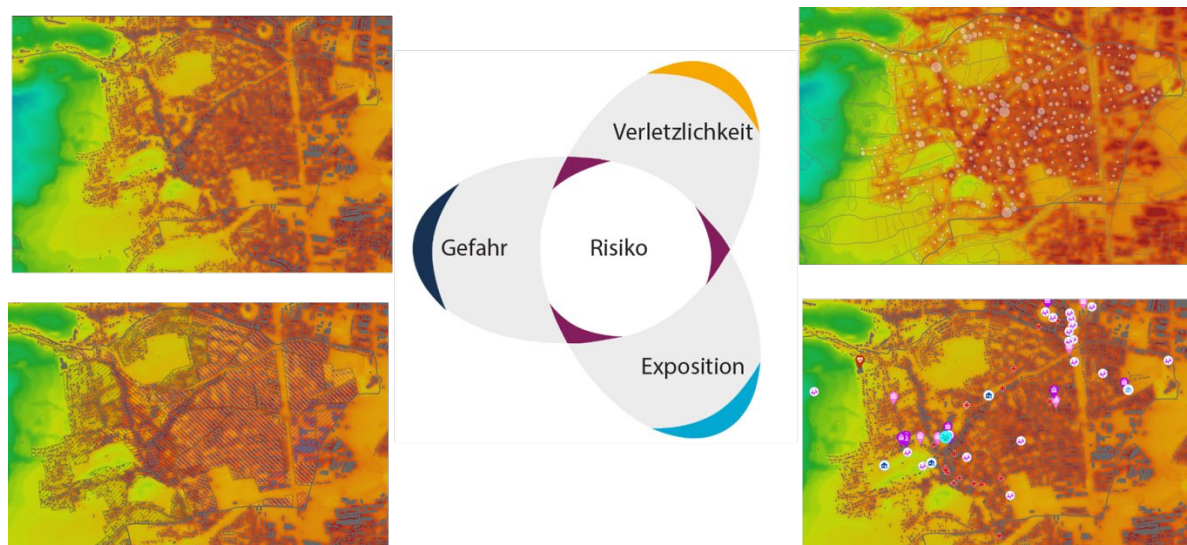


Abbildung 17: Bestimmung des Risikos durch Auswirkungen des Klimawandels in der räumlichen Planung durch Überlagerung von Gefahren (z. B. Überwärmung, links oben), Vulnerabilitäten und Exposition (z. B. Betroffene Bevölkerung oder Infrastruktur, rechts oben und unten), aber auch durch Anpassungskapazitäten (z. B. Planungsabsichten, links unten) (eigene Darstellung ILAP)

Das bedeutet übersetzt für die Planung, dass Maßnahmen und vor allem deren Priorisierung erst aus einer integrativen Betrachtung der Gefahren in Kombination mit den soziodemografischen und sozioökonomischen Strukturen, aber auch

den unterschiedlichen Siedlungstypologien abgeleitet werden sollten. Zusätzlich gilt es, die unterschiedlichen adaptiven Kapazitäten mitzudenken, um das verbleibende Restrisiko zu bestimmen.

Klimawandelanpassung als interdisziplinärer und abteilungsübergreifender Prozess

Klimawandelanpassung auf Gemeindeebene muss als ein (kontinuierlicher) Prozess gesehen werden (siehe Abbildung 18). Der erste Schritt ist, die Folgen des Klimawandels für die eigene Gemeinde zu identifizieren und daraus in einem zweiten Schritt die Betroffenheit konkret abzuleiten. In einem weiteren Schritt sollten dann zielgerichtet Strategien entwickelt und Maßnahmen zur Anpassung definiert werden. Der nächste Schritt ist die Integration der Maßnahmen in die Gemeindeentwicklung und die Umsetzung dieser. Um die Wirksamkeit der Maßnahmen zu prüfen, ist eine laufende Evaluierung notwendig.

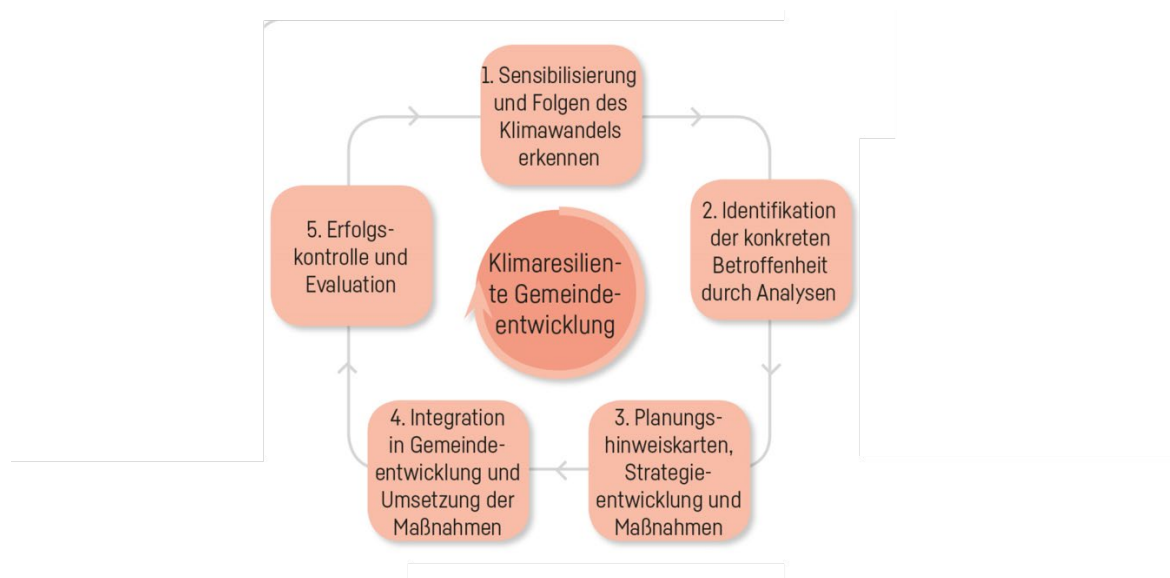


Abbildung 18: Schritte für eine klimaresiliente Gemeindeentwicklung (eigene Darstellung ILAP)

Wie die Projektergebnisse und Diskussionen im Rahmen des Projekts zeigten, müssen viele verschiedene Akteur:innen (verschiedene Bereiche der Stadtverwaltung, Expert:innen aus der Klimaforschung, Regenwassermanagement etc.) zusammenkommen, da unterschiedliche Expertisen in der Analyse benötigt werden, aber auch die Umsetzung durch viele unterschiedliche Player:innen in den Gemeinden (von öffentlich bis privat) getragen wird. Eine Förderung der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Disziplinen wie Klimawissenschaft, Stadtplanung, Ingenieurwesen, Soziologie und Ökologie wird empfohlen. Erst durch eine inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit über Sektoren sowie Verwaltungs- und Planungsgrenzen hinweg können die Folgen des Klimawandels erfolgreich gemildert werden.

Aufbau lokaler Handlungskompetenzen als Voraussetzung erfolgreicher Klimawandelanpassung

Begleitend zu den diversen fachlichen Analysen durch Expert:innen ist ein Kompetenzaufbau auf Gemeindeebene notwendig, um die Ergebnisse der Bearbeitungen richtig interpretieren zu können und um geeignete Ziele und Maßnahmen zur Klimawandelanpassung zu entwickeln. Eine Begleitung der Prozesse und ein gezielter Aufbau von lokalen Handlungskompetenzen sind für eine erfolgreiche Klimawandelanpassung entscheidend.

In den projektbegleitenden Workshops wurden den Beteiligten Grundlagen des Stadtklimas vermittelt und auch alle eingesetzten Methoden detailliert erläutert, um eine Nachvollziehbarkeit zu unterstützen und mit Unsicherheiten in den Analysen und Prognosen umgehen zu können. Auch konnten konkrete Fragestellungen aus der Praxis identifiziert und durch Expert:innen adressiert werden. In der Folge wurden die Inhalte der Workshops adaptiv weiterentwickelt, um eine bedarfsorientierte Wissensvermittlung sicherzustellen.

Darüber hinaus wurden die lokalen Akteur:innen für die entwickelten Instrumente wie den Maßnahmenkatalog oder die Klimacheckliste „geschult“, um eigenständig Entscheidungen vorbereiten beziehungsweise vorab ersteinschätzen zu können. Dadurch ist es den Gemeinden möglich, für gezielte und konkrete Planungs- und Baumaßnahmen die notwendigen Vorbereitungen zu treffen.

Der Leitfaden „(Stadt-)Klimaanalysen und Klimawandelanpassung für Gemeinden“ in Kombination mit der „Klimacheckliste“ und dem „Maßnahmenkatalog“ kann künftig kommunale Entscheidungsprozesse unterstützen. Der selbsterklärende Aufbau der Dokumente erleichtert eine eigenständige Anwendung auch ohne fachliche Vorkenntnisse.

C) Projektdetails

6 Methodik

Das Projekt basiert auf einem inter- und transdisziplinären sowie einem transformativen Ansatz. Um Veränderungen zu bewirken, sind bei der Anpassung an den Klimawandel transformative Ansätze, die regulative (hoheitliche) Ansätze wie in der Stadt- und Raumplanung, technische und naturbasierte Ansätze wie in der Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur oder Lösungen mit partizipativen Ansätzen kombinieren, wichtig und notwendig (Grin et al. 2010).

Transformative Experimente oder Ansätze, wie sie im Projekt „GreenAdaptation“ verfolgt werden, helfen, praktische Lösungen zu identifizieren und zu entwickeln (Morgan 2018, Eneqvist & Karvonen 2021). Die Öffnung von Experimentierräumen ist ein vielversprechender Ansatz in der Governance zur Anpassung an den Klimawandel und ermöglicht es, potenzielle Lösungen zu entwickeln und Entwicklungspfade zu zeichnen (Hildén et al. 2017).

Der Ansatz des „Reallabors“ als inter- und transdisziplinäre Forschungsmethode ermöglicht es, Wissensgenerierung, Wissenstransfer und Wissensverbreitung zu verbinden und Experimentierräume zu eröffnen (Schäpke et al. 2017). Der „Real-labor“-Ansatz hilft, das gewonnene Wissen und die entwickelten Methoden anhand von Praxisbeispielen und unter Einbeziehung von Stakeholder:innen, Planner:innen und Entscheidungsträger:innen zu evaluieren. Dieser Ansatz ermöglicht es, „Real-World-Probleme“ aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten.

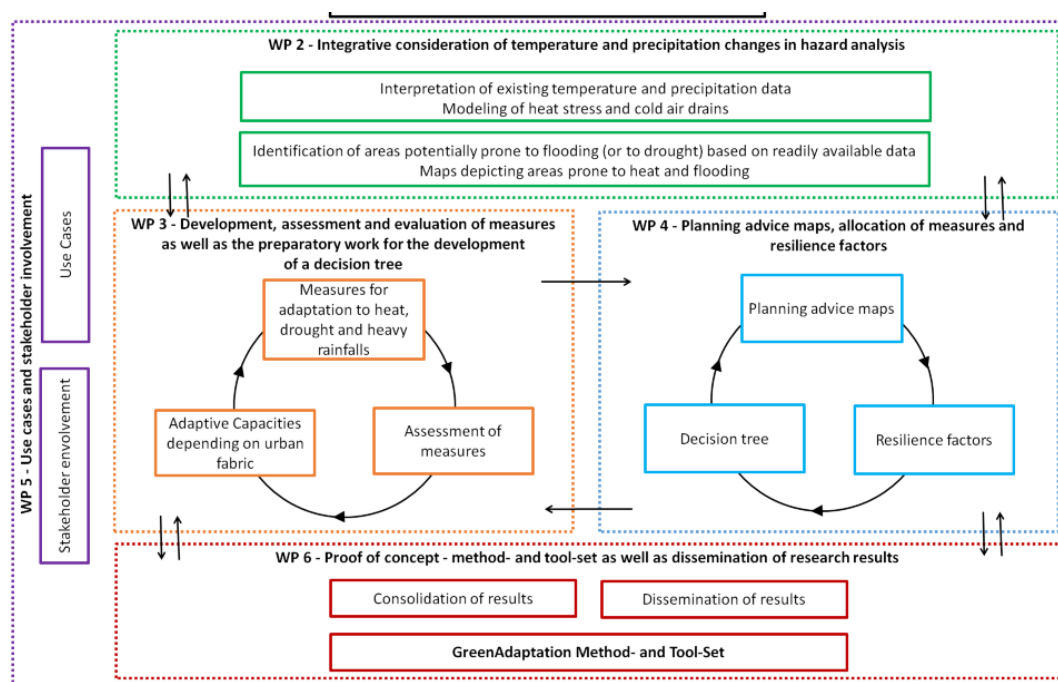


Abbildung 19: Übersicht der Arbeitspakete (eigene Darstellung)

In den verschiedenen Arbeitspaketen (siehe Abbildung 19) des Projekts „GreenAdaptation“ wurden unterschiedliche disziplinspezifische Methoden eingesetzt. Die wichtigsten verwendeten Methoden sind quantitative und qualitative sowie partizipative Methoden aus den verschiedenen beteiligten Disziplinen:

- Literaturrecherche und „Policy“-Analysen
- Sammlung von Good-Practice-Beispielen einschließlich einer Bewertung und eines Vergleichs
- Stakeholder:innenanalyse
- Partizipative Methoden wie Workshops und Fokusgruppen oder Begehungen
- Expert:inneninterviews
- GIS-Analysen und Auswertungen
- Methoden der Öffentlichkeitsarbeit

Modell-Simulationen

Mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO_3 (Sievers 2012, 2016) wurde die Temperaturverteilung, welche hier als Indikator für die Hitzebelastung genutzt wird, für einen repräsentativen Hitzetag (17.08.2022) mit einer Auflösung von 20 m simuliert. Um die zukünftige Hitzeentwicklung für die Gemeinde Perchtoldsdorf abzubilden, wurden mithilfe eines dynamisch-statistischen Downscaling-Verfahrens („Quadermethode“, Früh et al. 2011) langfristige Klimaindizes wie die mittlere jährliche Anzahl der Sommertage für vergangene und zukünftige 30-Jahres-Zeiträume unter Berücksichtigung verschiedener Treibhausgas-Emissionsszenarien berechnet. Die Ergebnisse basieren auf Modellsimulationen von MUKLIMO_3 mit einer räumlichen Auflösung von 50 m in Kombination mit regionalen Klimaprojektionen der EURO-CORDEX-Initiative (basierend auf globalen Klimamodellen CMIP5; IPCC 2014-5th Assessment Report). Für die Simulation der Kaltluftströmungen wurde das Modell KLAM21 (Sievers 2005) verwendet.

GIS-Analysen

Das Blue-Spot-Modell in ArcGIS Pro wurde genutzt, um den FSM-Ansatz zu testen. Der TWI wurde mit SAGA GIS Version 9.5.1 berechnet. ArcGIS sowie SAGA GIS wurden zudem für die Datenaufbereitung, die Verschneidung der Daten sowie die Auswertung und Darstellung der Daten verwendet. R kam für weitere (statistische) Auswertungen zum Einsatz. Für die Verschneidung der verschiedenen Gefahrenkarten wurde die Multi-Criteria-Analyse (MCA) genutzt. Hierfür wurden für beide Rasterlayer (Temperatur und TWI) Perzentile berechnet und basierend auf diesen die Daten in fünf Klassen unterteilt. Die Klassifizierung von 10–50 für die Temperatur und von 1–5 für den TWI ermöglicht bei der Summenbildung die Identifikation von Bereichen, in denen eine hohe Hitzebelastung (Klas-

sen 40 und 50) und ein großes Potenzial für Überflutungen (Klassen 4 und 5) gegeben ist. Für den Synergiepotenzial-Layer wurden jeweils die beiden höchsten Klassen betrachtet. Daraus ergibt sich folgende Bewertung für das Synergiepotenzial:

mittel	44
hoch	45, 54
sehr hoch	55

Triangulation der Ergebnisse

Die mit diesen verschiedenen Methoden gewonnenen Ergebnisse, Informationen und Einsichten werden „trianguliert“, um ein besseres Verständnis der „Real-World-Probleme“ zu erhalten und um transformative Lösungen zu entwickeln (Flick 2008). Der Ansatz der „Triangulation“ trägt dazu bei, die Gültigkeit der Forschungsergebnisse zu erhöhen und systematische Fehler zu vermeiden, indem verschiedene disziplinspezifische Theorien und Methoden einbezogen werden (Blaikie 1991).

7 Arbeits- und Zeitplan

Die Bearbeitung des Projekts erfolgte zwischen November 2022 und Ende April 2025 (30 Projektmonate).

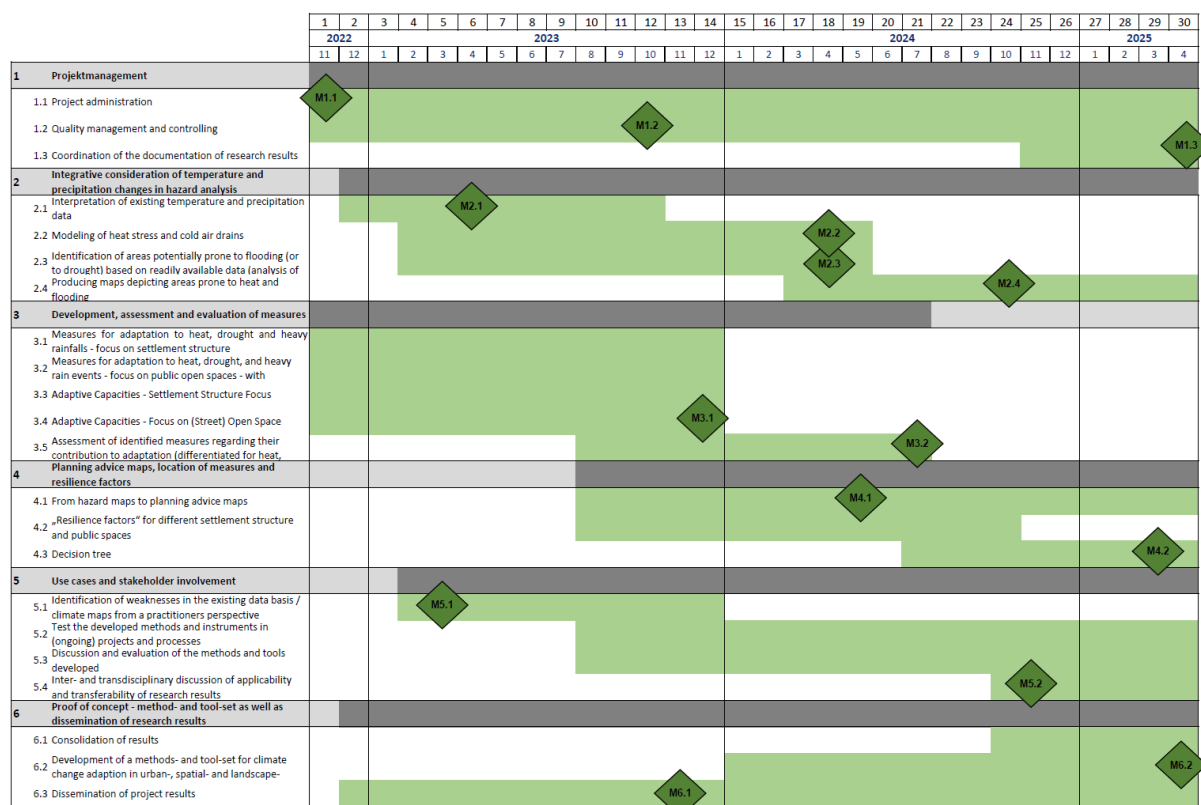


Abbildung 20: Überblick der Arbeitspakete und des Projektablaufs (eigene Darstellung ILAP)

8 Publikationen und Disseminierungsaktivitäten

Wissenschaftliche Publikationen und Beiträge zu wissenschaftlichen Konferenzen

- Hahn, C., Reinwald, F., Kainz, A. (forthcoming). Joint consideration of heat and flooding to support urban planning in a municipality in Austria. Natural Hazards and Earth System Sciences
- Reinwald, F. & Hahn, C. (2025). Klimawandelanpassung – Vom Reden ins Tun kommen [Vortrag]. Stadt-Umland-Management-Forum 2025, 25.03.2025, Perchtoldsdorf.
- Zimmermann, D. (2025). Green Adaptation – Methoden und Instrumente. Hilfestellung zur Umsetzung [Vortrag]. Stadt-Umland-Management-Forum 2025, 25.03.2025, Perchtoldsdorf.
- Reinwald, F., Thiel, S., Kainz, A. & Hahn, C. (2024). Components of urban climate analyses for the development of planning recommendation maps. Urban Climate, 57, 102090. ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.u-clim.2024.102090>
- Reinwald, F., Hahn, C., Kainz, A., Luger, R., Scharll, L., Thiel, S., Zimmermann, D. & Zuvela-Aloise, M. (2024). GreenAdaptation – Adaptive Kapazitäten und Resilienz in der Stadt- und Landschaftsplanung [Poster]. Stadt-Umland-Konferenz 2024, Laxenburg.
- Reinwald, F., Hahn, C., Kainz, A., Luger, R., Scharll, L., Thiel, S., Zimmermann, D. & Zuvela-Aloise, M. (2024). Klimawandelanpassung am Beispiel der Gemeinde Perchtoldsdorf [Poster]. Stadt-Umland-Konferenz 2024, Laxenburg.
- Reinwald, F., Hahn, C., Kainz, A., Luger, R., Scharll, L., Thiel, S., Zimmermann, D. & Zuvela-Aloise, M. (2024). GreenAdaptation – Adaptive capacities and resilience in urban and landscape planning [Poster/Abstract]. 24. Österreichischer Klimatag, Stadt und Land im Fluss, 02.–04.04.2024, TU Wien.
- Kainz, A., Hahn, C., Zuvela-Aloise, M., Reinwald, F., Thiel, S. & Zimmermann, D. (2023). Providing urban climate analyses to support climate sensitive urban planning and climate change adaptation. EMS Annual Meeting 2023, Bratislava, Slovakia, 04.–08.09.2023, EMS2023-456. <https://doi.org/10.5194/ems2023-456>
- Thiel, S., Kainz, A., Hahn, C. & Reinwald, F. (2023). From urban climate analysis maps to planning recommendation maps [Poster]. In: ECCA2023, Posters, 6th European Climate Change Adaptation Conference 2023, Dublin, 19.–21.06.2023. Online: <https://www.ecca2023.eu/posters>
- Thiel, S., Reinwald, F., Kainz, A., Hahn, C., Zimmermann, D. & Luger, R. (2023). Theoretical and methodological framework for the development of urban climatic planning recommendation maps. In: Schrenk, M., Popovich, V. V., Zeile,

P., Elisei, P., Beyer, C. & Ryser, J. (Eds.), REAL CORP 2023 Proceedings/Ta-
gungsband, REAL CORP 2023, Laibach, 18.–20.09.2023. Online:
<https://corp.at/index.php?id=42&L=1>

Leitfäden

Reinwald, F., Hahn, C., Kainz, A., Luger, R., Scharll, L., Thiel, S., Zimmermann, D., Hollosi, B. & Zuvela-Aloise, M. (2025). (Stadt-)Klimaanalysen und Klimawandelanpassung für Gemeinden. – Fragen und Antworten. Ein Leitfaden für die Praxis. Wien.

Zimmermann, D., Scharll, L., Luger, R., Reinwald, F., Hahn, C., Kainz, A., Thiel, S. & Zuvela-Aloise, M. (2025). Maßnahmenkatalog. Sammlung möglicher klimawirksamer Maßnahmen für den öffentlichen Raum in Gemeinden. Wien.

Quellen und Literaturverzeichnis

Altunel, A. O. (2023). The effect of DEM resolution on topographic wetness index calculation and visualization: An insight to the hidden danger unraveled in Bozkurt in August, 2021. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 165–172. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1110560>

Balstrøm, T. & Crawford, D. (2018). Arc-Malstrøm: A 1D hydrologic screening method for stormwater assessments based on geometric networks. *Computers & Geosciences*, 116, 64–73.

BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (2022). Serie ALS DTM Höhenraster 1m Stichtag 15.09.2019. Online:
<https://doi.org/10.48677/9a4e3e4f-2cd5-4f73-af51-384beb9331d0>

Blaikie, N. (1991). A Critique of the Use of Triangulation in Social Research. *Quality & Quantity*, 25(2), 115–136. doi:10.1007/BF00145701

Chen, B., Xie, M., Feng, Q., Wu, R. & Jiang, L. (2022). Diurnal heat exposure risk mapping and related governance zoning: a case study of Beijing, China. *Sustain. Cities Soc.*, 81, 103831.

Eneqvist, E. & Karvonen, A. (2021). Experimental governance and urban planning futures: Five strategic functions for municipalities in local innovation. *Urban Planning*, 6(1), 183–194.

Fahy, B., Brenneman, E., Chang, H., & Shandas, V. (2019). Spatial analysis of urban flooding and extreme heat hazard potential in Portland, OR. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 39, 101117.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101117>

- Freeman, G. T. (1991). Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computers and Geosciences*, 17, 413–422.
doi:10.1016/0098-3004(91)90048-I
- Flick, U. (2008). *Triangulation: Eine Einführung*. 2. Auflage. VS Verlag, Wiesbaden.
- Früh, B., Becker, P., Deutschländer, T., Hessel, J-D., Kossmann, M., Mieskes, I., Namyslo, J., Roos, M., Sievers, U., Steigerwald T., Turau H., Wienert, U. (2011). Estimation of climate-change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. *J Appl Meteorol Climatol* 50:167–184
- Geoland (2015). Digitales Geländemodell (DGM) Österreich. Online:
<https://www.data.gv.at/katalog/dataset/d88a1246-9684-480b-a480-ff63286b35b7>
- Grin, J., Rotmans, J. & Schot, J. (2010) (Eds.). *Transitions to Sustainable Development. New Directions in the Study of Long-Term Transformative Change*. In collaboration with Frank Geels and Derk Loorbach. Routledge, New York & London.
- Haslinger, K., Schöner, W., Abermann, J., Laaha, G., Andre, K., Olefs, M. & Koch, R. (2023). Apparent contradiction in the projected climatic water balance for Austria: wetter conditions on average versus higher probability of meteorological droughts. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(8), 2749–2768. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-2749-2023>
- Haslinger, K., Breinl, K., Pavlin, L., Pistotnik, G., Bertola, M., Olefs, M., Greilinger, M., Schöner, W. & Blöschl, G. (2025). Increasing hourly heavy rainfall in Austria reflected in flood changes. *Nature*, 639, 667–672.
<https://doi.org/10.1038/s41586-025-08647-2>
- Hildén, M., Jordan, A. & Huitema, D. (2017). The search for climate change and sustainability solutions: The promise and the pitfalls of experimentation. *Journal of Cleaner Production*, 169, 1–7.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C. et al. (Eds.); Cambridge University Press, Cambridge, UK; New York, NY, USA.
- Keeley, M. (2011). The Green Area Ratio: an urban site sustainability metric. *Journal of Environmental Planning and Management*, 54, 937–958.
<https://doi.org/10.1080/09640568.2010.547681>
- Kelleher, C. & McPhillips, L. (2020). Exploring the application of topographic indices in urban areas as indicators of pluvial flooding locations. *Hydrological*

- Processes, 34(3), 780–794.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hyp.13628>
- Kruuse, A. (2011). The GRaBSProject: GRaBS Expert Paper 6: The Green Space Factor and the Green Points System. Online: <https://nextcity.nl/wp-content/uploads/2017/01/1701256-Malmoe-Tools-c-Annika-Kruuse.pdf>
- Morgan, K. (2018). Experimental governance and territorial development. Background paper for an OECD/EC Workshop on 14 December 2018 within the workshop series "Broadening innovation policy: New insights for regions and cities", Paris.
- Peroni, F., Pristeri, G., Codato, D., Pappalardo, S. E. & De Marchi, M. (2020). Biotope Area Factor: An Ecological Urban Index to Geovisualize Soil Sealing in Padua, Italy. Sustainability, 12, 150. <https://doi.org/10.3390/su12010150>
- Planchon, O. & Darboux, F. (2001). A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. CATENA, 46(2), 159–176.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00164-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3)
- Pourali, S. H., Arrowsmith, C., Chrisman, N., Matkan, A. A. & Mitchell, D. (2016). Topography Wetness Index Application in Flood-Risk-Based Land Use Planning. Applied Spatial Analysis and Policy, 9(1), 39–54.
<https://doi.org/10.1007/s12061-014-9130-2>
- Reinwald, F., Thiel, S., Kainz, A. & Hahn, C. (2024). Components of urban climate analyses for the development of planning recommendation maps. Urban Climate, 57, 102090. ISSN 2212-0955,
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102090>
- Ring, Z., Damyanovic, D. & Reinwald, F. (2021). Green and open space factor Vienna: A steering and evaluation tool for urban green infrastructure. Urban Forestry & Urban Greening, 62(3), 127131.
- Schäpke, N., Stelzer, F., Bergmann, M., Singer-Brodowski, M., Wanner, M., Caniglia, G. & Lang, D. J. (2017). Reallabore im Kontext transformativer Forschung: Ansatzpunkte zur Konzeption und Einbettung in den internationalen Forschungsstand. IETSR Discussion papers in Transdisciplinary Sustainability Research. Leuphana Universität, Lüneburg.
- Seleem, O., Heistermann, M. & Bronstert, A. (2021). Efficient Hazard Assessment for Pluvial Floods in Urban Environments: A Benchmarking Case Study for the City of Berlin, Germany. Water, 13(18).
<https://doi.org/10.3390/w13182476>
- Sievers, U. (2005). Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Theoretische Grundlagen, Anwendungen und Handhabung des PC-Modells. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 227.

- Sievers, U. (2012). Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3 – Teil 1: Theoretische Grundlagen, PC-Basisversion und Validierung. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- Sievers, U. (2016). Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3 – Teil 2: Thermodynamische Erweiterungen. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- Stange, E. E., Barton, D. N., Andersson, E. & Haase, D. (2022). Comparing the implicit valuation of ecosystem services from nature-based solutions in performance-based green area indicators across three European cities. *Landscape and Urban Planning*, 219, 104310. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104310>
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2020). 3787 Blatt 8. Umweltmeteorologie; Stadtentwicklung im Klimawandel.
- Watson, C. S., Elliott, J. R., Ebmeier, S. K., Vásquez, M. A., Zapata, C., Bonilla-Bedoya, S., ... Sevilla, E. (2022). Enhancing disaster risk resilience using greenspace in urbanising Quito, Ecuador. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(5), 1699–1721. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-1699-2022>
- World Bank (2020). Analysis of Heat Waves and Urban Heat Island Effects in Central European Cities and Implications for Urban Planning. Online: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/740251596528336330/analysis-of-heat-waves-and-urban-heat-island-effects-in-central-european-cities-and-implications-for-urban-planning>
- Yavari Bajehbaj, R., Wu, H., Grady, C., Brent, D., Clark, S. E., Cibir, R., Duncan, J. M., Kumar Chaudhary, A. & McPhillips, L. E. (2023). Identifying Sweet Spots for Green Stormwater Infrastructure Implementation: A Case Study in Lancaster, Pennsylvania. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 9(3). <https://doi.org/10.1061/jswbay.sweng-513>
- Zevenbergen, L. W. & Thorne, C. R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(1), 47–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können.

nen, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwendungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.