

Planung von Blau-Grüner Infrastruktur auf Stadtebene unter Berücksichtigung von urbanen Überflutungen, Wasserbilanz und Stadtklima

Yannick Back¹, Fabian Funke¹, Martina Hauser¹, Jaya Kelvin²,
Alrun Jasper-Tönnies², Georg Leitinger³ & Manfred Kleidorfer¹

¹ Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich für Umwelttechnik, Österreich

² hydro&meteo GmbH, Lübeck, Deutschland

³ Universität Innsbruck, Institut für Ökologie, Österreich

Kurzfassung: Die Implementierung von Blau-Grüner Infrastruktur (BGI) ist eine zentrale Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Städten. Anhand eines integrierten Modellierungsansatzes für die Stadt Innsbruck zeigen wir, dass Abkopplungsmaßnahmen durch BGI, die gemäß österreichischer Regelblattbemessung dimensioniert sind, zur Reduktion von Überstauvolumen und Überflutungsfläche beitragen und die Wasserbilanz, insbesondere durch erhöhte Grundwasserneubildung, verbessern. Allerdings steigt die Evapotranspiration nur geringfügig an, sodass keine Senkung des UTCI (Universal Thermal Climate Index) auf stadtweiter Ebene erreicht wird. Eine Begrünung verringert den UTCI zwar um bis zu 2.5 °C, dieser Effekt wirkt jedoch nur sehr lokal. Selbst bei einer stadtweiten Abkopplung von 30% aller versiegelten Flächen mit BGI sind kaum Auswirkungen sichtbar. Dafür ist die Flächenveränderung von versiegelt in begrünt zu gering. Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass Beschattung besonders stark zur Hitzestressreduzierung beiträgt, und attestieren der Kombination aus wasserbewirtschaftender BGI und beschattender Vegetation die wohl wirksamste Strategie zur ganzheitlichen Resilienzsteigerung urbaner Räume gegenüber den Herausforderungen des Klimawandels.

Key-Words: Blau-Grüne Infrastruktur, urbane Überflutungen, Wasserbilanz, Stadtklima, Hitzestress, Abkopplung

1 Einleitung

Die gezielte Implementierung Blau-Grüner Infrastruktur (BGI) gilt als zentrale Maßnahme zur Klimawandelanpassung in Städten. Sie verbessert die Wasser- und Energiebilanz an der Oberfläche und beeinflusst dadurch maßgeblich den Wasser- und Wärmeaustausch zwischen Boden, Vegetation, Oberfläche und Atmosphäre (Back et al., 2024, Almaaitah et al., 2021). Die Abkopplung von versiegelten Flächen mit BGI reduziert die Ableitung von Niederschlagswasser in die Kanalisation, wodurch

das Kanalisationssystem entlastet und das Risiko städtischer Überflutungen verringert wird. Gleichzeitig sinkt die Belastung durch Mischwasserüberläufe (Hauser et al. Under Review), was in weiterer Folge einen positiven Effekt auf die Qualität nachgeschalteter Gewässer hat.

Neben zunehmenden Starkregenereignissen (Haslinger et al., 2025) führen klimawandelbedingte Veränderungen der Niederschlagsverteilung auch zu längeren und intensiveren Trockenphasen (Büntgen et al., 2021). Infolgedessen kann die Versorgung der urbanen Vegetation, insbesondere der grünen Infrastrukturelemente, durch natürlichen Niederschlag immer häufiger nicht mehr zuverlässig gewährleistet werden. Eine nachhaltige und gezielte Bewässerung wird daher immer wichtiger, um deren Funktion als Verdunstungskühler in Hitzewellen sicherzustellen (Back et al., 2025). Durch die Versickerung von Regenwasser versiegelter Flächen in BGIs kann das Regenwasser zurückgehalten und nutzbar gemacht werden, wodurch diese Elemente auch längere Trockenperioden überstehen können, abhängig vom Vegetationstyp und der Auslegung der Systeme.

Ziel dieser Studie ist es, das Potenzial von Abkopplungsmaßnahmen und BGI-Implementierung zur Minderung urbaner Überflutungsrisiken sowie zur Verbesserung der Wasserbilanz und des Stadtklimas am Beispiel der Stadt Innsbruck zu untersuchen. Die Ergebnisse umfassen zunächst eine Status-Quo-Analyse hinsichtlich Überflutungsgefährdung, Wasserbilanz und Hitzestress. Darauf aufbauend erfolgt eine Bewertung der Auswirkungen unterschiedlicher BGI-Typen, dimensioniert nach österreichischen Regelblattvorgaben. Abschließend wird der kombinierte Effekt der Begrünung und Beschattung auf die Hitzestressreduktion untersucht.

2 Modelle & Simulationen

Die Simulationen erfolgen in unterschiedlichen Modellen und werden für die gesamte Stadt Innsbruck auf Basis, so genannter „Zählsprengel“, durchgeführt. Dies sind abgegrenzte Bereiche mit einer eindeutigen Nummer und einer definierten Fläche, die für statistische Zwecke, wie die Erfassung der Bevölkerungszahl, herangezogen werden. Die Modelle umfassen, ein hydrodynamisches 1D Modell für das Überstauvolumen der Schächte im Entwässerungsnetz, ein gekoppeltes 1D/2D Modell basierend auf zellulären Automaten für die Überflutungsfläche, ein Niederschlags-Abfluss-Modell mit einem Aufsatz zur verbesserten Verdunstungsberechnung für Wasserbilanz, Trockenstress und Bewässerungsbedarf, und ein Geoinformationssystem-basiertes Modell für Energiebilanzen, innerstädtische Überwärmung und Hitzestress.

Die Klimadaten zu Temperatur und Niederschlag stammen aus einem konvektionsauflösenden Simulationsmodell (CPS, vgl. Rybka et al., 2023) für den historischen Zeitraum 1971 bis 2000. Diese hohe räumliche Auflösung von 3 km ist zusammen mit der stündlichen Zeitauflösung entscheidend, um die für Innsbruck

relevanten Prozesse physikalisch robust abzubilden: die komplexe alpine Topographie und die für Überflutungen kritischen, konvektiven Starkregenereignisse. Zur Validierung und Verbesserung der lokalen Genauigkeit wurden die Daten abschließend mit Beobachtungsdaten der Geosphere Austria Bias korrigiert. Neben dem Ist-Zustand von Innsbruck werden zusätzlich Szenarien einer Flächenabkopplung und BGI-Implementierung gerechnet. Des Weiteren werden unterschiedliche Anteile an abgekoppelter Fläche und BGI-Implementierungen mit 10%, 20% und 30% Anstieg in Straßenzügen (Straßen und Gehwege) und auf Gebäuden simuliert.

Als Szenario wurde untersucht welche Auswirkungen eine 30% Abkopplung aller versiegelten Flächen in allen Zählsprengeln durch unterschiedliche BGI hat (Tabelle 1). Die BGI wurden nach österreichischem Regelblatt (ÖWAV-Regelblatt 45) dimensioniert. Im 1D-Kanalnetzmodell und 1D-2D Überflutungsmodell wird die Abkopplung vereinfacht durch Verringerung der Fläche dargestellt und keine BGI im Modell implementiert. Die Reduktionen des Überstauvolumens und der Überflutungsfläche für die gesamte Stadt wurden jeweils für ein 5-jährliches und 50-jährliches Regenereignis bei einer Dauerstufe von 180 min untersucht.

2.1 Überflutungsgefährdung

Zur Simulation des Kanalnetzes von Innsbruck wurde das Stormwater Management Model (SWMM) von Rossman (2015) verwendet. Das 1D-SWMM-Modell umfasst 6.853 Abwasserkanäle, 6.432 Schächte und 39 Speicherbauwerke. Es umfasst außerdem 137.513 Teileinzugsgebiete mit einer Gesamtfläche von 794,2 Hektar, die sich auf sieben Niederschlagsmessstationen verteilen. Das Modell wurde kalibriert, indem die Ergebnisse mit Wasserstandsmessdaten von zehn beobachteten Niederschlagsereignissen aus dem Jahr 2023 verglichen wurden. Anschließend wurde das 1D-SWMM-Modell der Stadt Innsbruck mit einem 2D Oberflächenmodell gekoppelt und so ein gekoppeltes 1D/2D Fast Flood Model (mittels „Dynamic CA-ffé“) erstellt. Dieses Modell ist eine Weiterführung basierend auf dem Ursprungsmodell CA-ffé von Jamali et al. (2019) und verwendet zelluläre Automaten, um die Topografie und die Kontinuitätsgleichung zu integrieren. Dadurch ist eine effiziente, hochauflösende Überflutungsgefährdung möglich. „Dynamic CA-ffé“ kombiniert eine 2D-Oberflächenabflusssimulation mit einem dynamischen Abfluss aus dem Kanalnetz und gewährleistet so eine kontinuierliche Interaktion zwischen Oberflächen- und Kanalabflüssen durch einen permanenten Datenaustausch.

2.2 Wasserbilanz

Zur Modellierung der Wasserbilanz von Innsbruck wurde das Niederschlag-Abfluss-Modell SWMM-UrbanEVA (Hörschemeyer et al., 2021) verwendet. Das Modell hat sowohl das kalibrierte 1D-SWMM-Kanalnetzmodell, als auch hochaufgelöste Befliegungsdaten als Datengrundlage. Ausgehend von den Befliegungsdaten wurde das gesamte Stadtgebiet mit einer Auflösung von 0,2m in 6 Landnutzungsklassen unterteilt: Gebäude, Gründächer, Straßenflächen, Wasserflächen, Grünflächen < 2m

Höhe und Grünflächen > 2m Höhe. Die Landnutzungsklassen Gebäude und Verkehrsflächen wurden mit den Teileinzugsgebieten des Kanalnetzmodells verglichen und alle Gebäude und Straßenflächen im Wasserbilanzmodell an Abkoppelungsmaßnahmen (Sickerschächte und Mulden) angeschlossen die im Kanalnetzmodell nicht vorhanden sind. Alle versiegelten Flächen wurden im Wasserbilanzmodell als einfaches Subcatchment und die Gründächer, Grünflächen und Abkopplungsmaßnahmen als SWMM LID-Baustein umgesetzt.

2.3 Hitzestress

Mithilfe eines GIS-basierten Modellierungsansatzes wurden die Wechselwirkungen zwischen Land und Atmosphäre untersucht, insbesondere die Oberflächentemperatur und der Universal Thermal Climate Index (UTCI). Letzterer dient der Bestimmung der menschlichen Hitzebelastung. Der Modellierungsansatz basiert auf früheren Studien von Back et al. (2023) sowie Back et al. (2024) und wurde angepasst, um eine Modellierung aller Parameter auf stadtweiter Ebene zu ermöglichen. Die Berechnungen basieren auf Falschfarben Infrarotbildern (CIR - Colour Infrared). Dabei handelt es sich um multispektrale Bilder, die Informationen im nahen Infrarot-, Rot- und Grünbereich des elektromagnetischen Spektrums erfassen. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Fähigkeit, verschiedene Wellenlängen zu reflektieren und zu absorbieren, sind diese Bilddaten besonders nützlich für die Analyse des Zustands der Vegetation oder der Bodenbedeckung. Bestimmte Reflexionsmuster der Vegetation korrelieren beispielsweise mit dem Wasserzustand, etwa mit Trockenheit. Die räumliche Auflösung der eingegebenen CIR-Bilddaten bestimmt die räumliche Genauigkeit der Ausgabedaten und beträgt in diesem Fall 0.2m. Die Modellierung wird in ArcGIS Pro 3.3 (ESRI, 2019) durchgeführt.

3 Fallstudie & Eingangsdaten

Das Fallbeispiel ist die Stadt Innsbruck, die auf einer Höhe von ca. 574 m ü. M. im Inntal in den österreichischen Alpen liegt (siehe Abb. 1 A). Sie erstreckt sich über eine Fläche von 36,6 km² und hat etwa 130.000 Einwohner. Die Untersuchungen in dieser Studie umfassen die 172 Zählsprengel der Stadt. Neben den bereits beschriebenen Niederschlags- und Temperaturdaten aus der Klimamodellierung, benötigen die Simulationen ein Falschfarben-Infrarot Bild (Abb. 1 C), Informationen zum Sky View Factor (SVF) (Abb. 1 B) und eine Oberflächenklassifizierung (Abb. 1 D) als weitere Eingangsdaten. Der SVF gibt an, wie viel vom Himmel von einem bestimmten Punkt aus sichtbar ist. Dadurch bestimmt dieser Faktor maßgeblich, wie viel einfallende direkte und diffuse Sonnenstrahlung an diesem Punkt ankommt. Die Oberflächenklassifizierung, die die Kategorien Wasser, Verkehrsflächen, Vegetation > 2m, Vegetation < 2m, Gründach und Gebäude umfasst, bestimmt die unterschiedlichen Oberflächentypen in der Stadt. Sie dient zur Berechnung des aktuellen Grünanteils, Gebäudeanteils und Versiegelungsanteils in den einzelnen Zählsprengeln. Diese Datensätze werden zusätzlich durch einen Gebäudedatensatz

und ein digitales Oberflächenmodell unterstützt. Letzteres dient der Berechnung des SVF und als Eingangsdatensatz für die Überflutungssimulationen im Modell „CA-ffé“. Alle nötigen Datensätze wurden von der Abteilung Geoinformation des Landes Tirol zur Verfügung gestellt.

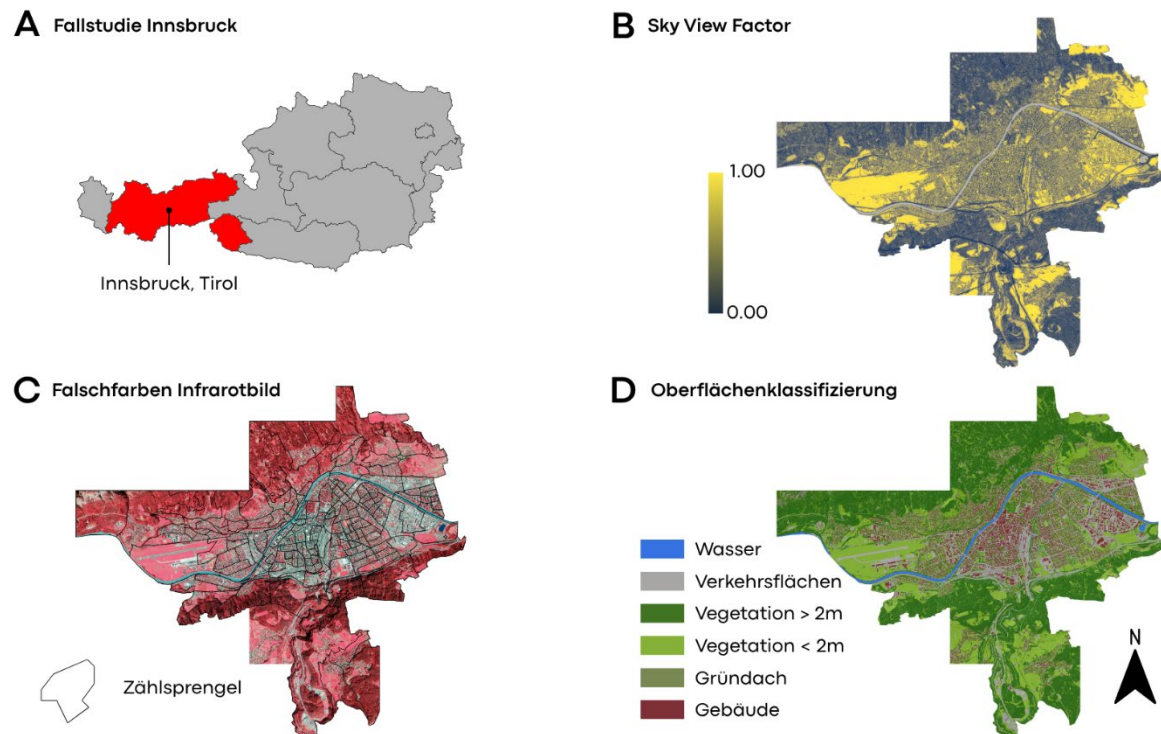


Abbildung 1: Geographische Daten für die Fallstudie Innsbruck. A - Geographische Lage der Fallstudie Innsbruck, B - Sky View Factor, C - Falschfarben Infrarotbild, D - Oberflächenklassifizierung.

4 Ergebnisse

4.1 Status-Quo - Überflutungsgefährdung, Wasserbilanz und Hitzestress

Auf Basis der Simulationen in den einzelnen Modellen wurde der Status-Quo in Bezug auf die Überflutungsgefährdung, die Wasserbilanz und den Hitzestress für die einzelnen Zählsprenkel der Stadt Innsbruck ermittelt (Abb. 2). Abbildung 2 A, B und C zeigen die Aufteilung der Komponenten der Wasserbilanz: Evapotranspiration, Grundwasserneubildung und Abfluss. Abbildung 2 D und E zeigen das Überstauvolumen und die Überflutungsfläche. Abbildung 2 F zeigt den menschlichen Hitzestress anhand des Universal Thermal Climate Index (UTCI) an einem Hitzetag mit einer Lufttemperatur von 31.2 °C.

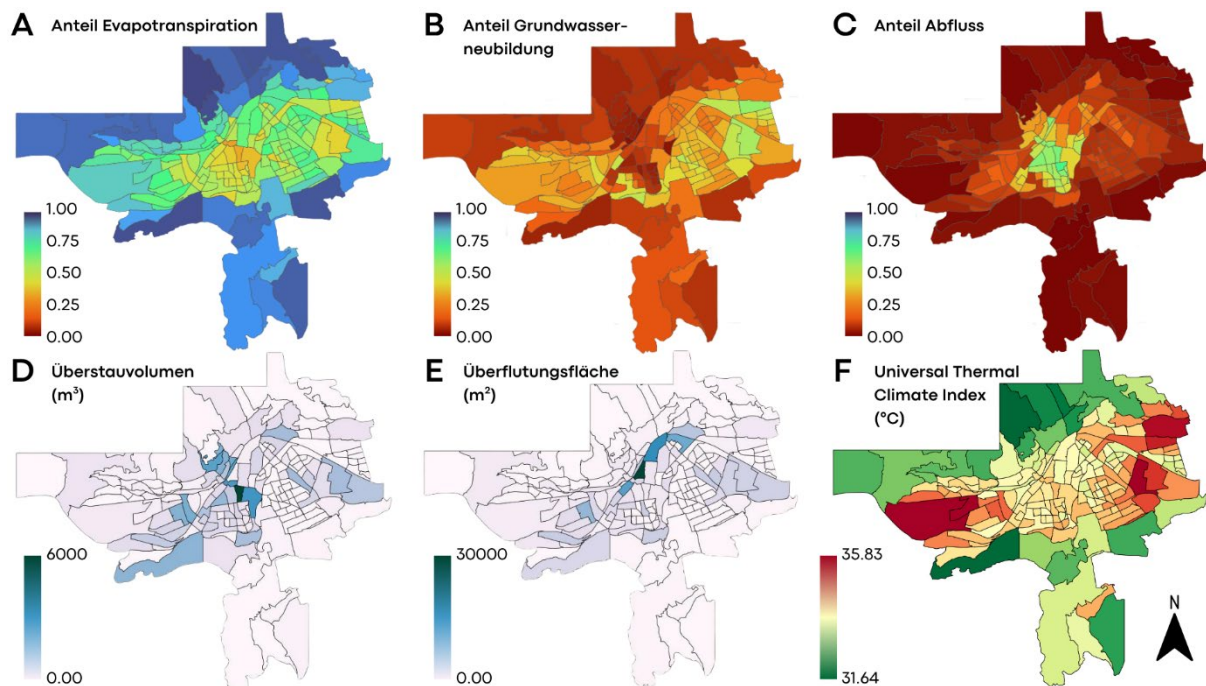


Abbildung 2: A, B und C - Aufteilung der Komponenten der Wasserbilanz: Evapotranspiration, Grundwasserneubildung und Abfluss. D - Überstauvolumen. E - Überflutungsfläche. F - Menschlicher Hitzestress anhand des Universal Thermal Climate Index (UTCI) an einem Hitzetag mit einer Lufttemperatur von 31.2 °C.

4.2 Auswirkung von Abkopplungsmaßnahmen und BGI Implementierung

Die Ergebnisse bestätigen, dass eine großflächige Flächenabkopplung geeignet ist das Überstauvolumen und die Überflutungsfläche auf stadtweiter Ebene zu reduzieren. Der Effekt nimmt mit steigender Niederschlagsintensität etwas ab. Ebenso kann festgehalten werden, dass durch die großflächige Abkopplung mit BGI, dimensioniert nach Regelblatt 45, die Wasserbilanz auf stadtweiter Ebene leicht verbessert wird. Dies ist an dem deutlichen Rückgang des Abflussanteils an der Wasserbilanz erkennbar. Jedoch ist auch zu erkennen, dass der Reduktion des Abflusses lediglich ein Anstieg der Infiltration entgegensteht. Der Anstieg der Evapotranspiration hingegen ist nur sehr gering.

In Bezug auf die Hitzestressreduktion, zeigen die Ergebnisse, dass die Veränderung einer versiegelten Fläche in eine begrünte Fläche lokal den UTCI um bis zu 2.5°C herabsetzen kann. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass bei einer Entkopplung von 30% der versiegelten Fläche mit BGI in jedem Zählsprenkel, dimensioniert nach Regelblatt 45, keine erkennbare Änderung des Hitzestress (auf Basis der berechneten UTCI Werte), weder in den einzelnen Zählsprenkeln, noch auf stadtweiter Ebene,

stattfindet, was sich mit dem sehr geringen Anstieg der Evapotranspiration im Wasserbilanzmodell deckt.

Tabelle 1: Auswirkung von Abkopplungsmaßnahmen und BGI Implementierung auf die Überflutungsgefährdung und die Wasserbilanz.

BGI	Überflutungsgefährdung				Wasserbilanz		
Bei 30% Abkopplung	Überstauvolumen		Überflutungsfläche		ET	I	R
	Änderung im Vergleich zum Ist-Zustand (%)						
	J5/ D180	J50/ D180	J5/ D180	J50/ D180			
	-45.96	-36.07	-46.95	-31.64			
Baumrigole					+0.26	+7.81	-23.99
Mulde					+0.24	+8.34	-25.21
Raingarden					+0.14	+8.25	-24.02
Gründach					+0.95	-0.37	-9.02

Dass die BGI auf sehr lokaler Ebene bedeutende Auswirkungen auf den Hitzestress haben können (UTCI-Reduktion um bis zu 2.5°C), jedoch weder auf Zählsprenkel noch auf stadtweiter Ebene Auswirkungen zeigen, liegt daran, dass auch durch eine Entkopplung um 30% die Flächenveränderung zur stadtweiten Hitzereduktion zu gering ist. Durch eine Entkopplung von 30% in allen Zählsprenkeln werden, in Abhängigkeit der Zählsprenkelgröße, beim Einsatz von Baumrigolen, Raingardens und Mulden lediglich bis zu 3,18% bzw. 5,09% der versiegelten Fläche in begrünte Fläche umgewandelt. Diese geringe Flächenänderung bewirkt nur eine sehr geringe Reduktion des mittleren UTCI bzw. des Hitzestresses.

Baumrigolen wurden in diesem Zusammenhang vereinfacht ohne Änderung des SVF im Stadtklimamodell umgesetzt. Sie hätten durch ihre Schatten spendende Wirkung potentiell einen größeren Einfluss auf den UTCI.

4.3 Auswirkung von Begrünung und Beschattung auf den Hitzestress

In Abbildung 3 wurde der mittlere UTCI je Zählsprenkel mit dem jeweiligen mittleren Begrünungsanteil und mittleren SVF verglichen. Die Grafik zeigt, dass der SVF und damit die Beschattung, einen größeren Effekt auf den UTCI zeigt, als der Begrünungsanteil. Dies ist vor allem auf die deutliche Absenkung der mittleren Strahlungstemperatur zurückzuführen, einem der zentralen Faktoren für die

Wahrnehmung von Hitzestress durch den Menschen. Durch die Verringerung der direkten Sonneneinstrahlung wird die auf den Körper einwirkende thermische Energie reduziert, was sich unmittelbar auf die Wärmebilanz des menschlichen Organismus auswirkt. Begrünungsmaßnahmen wirken primär, neben Effekten auf die Wasserbilanz, auf die Energiebilanz der Oberfläche und führen in der Folge vor allem zu einer Reduktion der Oberflächentemperatur. Die Veränderung der thermischen Abstrahlung durch Begrünung ist jedoch im Vergleich zur Reduktion der direkten Sonneneinstrahlung durch Beschattung deutlich geringer, was die geringere Wirkung auf den UTCI erklärt.

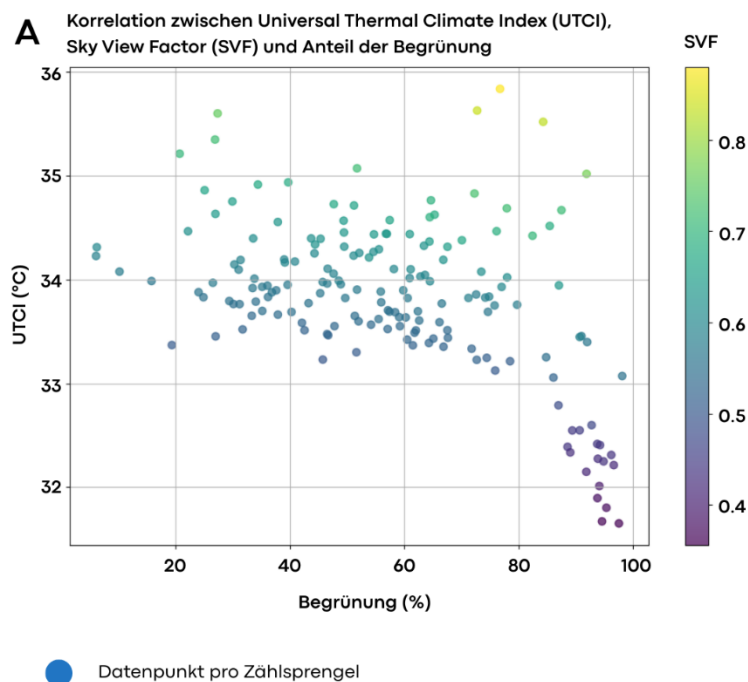


Abbildung 3: A - Korrelation zwischen dem Universal Thermal Climate Index (UTCI), dem Sky View Factor (SVF) und dem Anteil der Begrünung, hier bei einer Lufttemperatur von 31.2 °C. Jeder Datenpunkt stellt die Mittelwerte eines Zählsprengels dar.

Bäume nehmen in diesem Kontext eine besondere Rolle ein, da sie, abhängig von Kronendurchmesser und Alter, nicht nur über die Begrünungseffekte auf die Wasser- und Energiebilanz der Oberfläche wirken, sondern zusätzlich durch ihre Krone wirksame Beschattung bieten können. Mit zunehmender Größe steigt ihr Potenzial, die mittlere Strahlungstemperatur zu senken, wodurch sie direkt zur Reduktion des UTCI beitragen. Sie vereinen somit die Vorteile beider Strategien und stellen eine besonders effektive Maßnahme zur Verbesserung des thermischen Komforts im urbanen Raum dar. Der kombinierte Effekt aus Verdunstungskühlung, Oberflächenabkühlung und Beschattung macht Bäume zu einer multifunktionalen Anpassungsmaßnahme im Rahmen der klimagerechten Stadtgestaltung. Dabei wirkt sich, analog zu dichten Wäldern, eine höhere Baumdichte zusätzlich positiv aus, da sich die beschriebenen

Effekte gegenseitig verstärken und eine flächige Reduktion der thermischen Belastung ermöglichen.

5 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Studie belegen, dass die Umsetzung von Abkopplungsmaßnahmen durch Blau-Grüne Infrastruktur (BGI), dimensioniert nach österreichischer Regelblattbemessung, das Potenzial besitzen, die städtische Wasserbilanz zu verbessern und die Überflutungsgefährdung zu reduzieren.

Jedoch zeigt sich auch, dass diese Maßnahmen nur in sehr begrenztem Maße zur Reduktion des Hitzestresses auf stadtweiter Ebene beitragen, da der Anstieg der Evapotranspiration in Relation zur Gesamtbilanz marginal bleibt. Begrünung ist in der Lage den Universal Thermal Climate Index (UTCI) tagsüber um bis zu 2.5 °C zu reduzieren, dieser Effekt wirkt jedoch nur sehr lokal.

Für die thermische Entlastung des urbanen Raums ist insbesondere die Beschattung entscheidend, wobei der Sky View Factor (SVF) als zentraler erklärender Parameter identifiziert wurde. Bäume bieten in diesem Zusammenhang einen doppelten Nutzen. Sie fördern nicht nur die Wasserbilanz über Wurzelinfiltration und Verdunstung, sondern reduzieren gleichzeitig durch ihre Kronen die mittlere Strahlungstemperatur und damit den menschlichen Hitzestress.

Planung und Dimensionierung von BGI sollte in einem ganzheitlichen Ansatz nicht nur Regenwasser versickern und zur Überflutungsprävention beitragen, sondern auch so gestaltet werden, dass sie zur Verbesserung des Stadtklimas beiträgt. Dafür braucht es vor allem mehr Flächen und einen höheren Anteil an schattenspendenden Bäumen. Baumrigolen, Mulden und Regengärten sind vor allem dann stadtklimatisch wirksam, wenn sie einen Großteil des zugeführten Regenwassers verdunsten und nicht dem Grundwasser zuführen.

6 Literatur

- ALMAAITAH, T., APPLEBY, M., ROSENBLAT, H., DRAKE, J. & JOKSIMOVIC, D. 2021. The potential of Blue-Green infrastructure as a climate change adaptation strategy: a systematic literature review. *Blue-Green Systems*, 3, 223-248.
- BACK, Y., BACH, P. M., SANTAMOURIS, M., RAUCH, W. & KLEIDORFER, M. 2024. Role of Surface Energy Fluxes in Urban Overheating Under Buoyancy-Driven Atmospheric Conditions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 129, e2023JD039723.
- BACK, Y., JASPER-TÖNNIES, A., BACH, P. M., KUMAR, P., SANTAMOURIS, M., RAUCH, W. & KLEIDORFER, M. 2025. Current Interventions Are Inadequate to Maintain Cities' Resilience During Concurrent Drought and Excessive Heat. *Earth's Future*, 13, e2024EF005208.

- BACK, Y., KUMAR, P., BACH, P. M., RAUCH, W. & KLEIDORFER, M. 2023. Integrating CFD-GIS modelling to refine urban heat and thermal comfort assessment. *Science of The Total Environment*, 858, 159729. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159729>.
- BÜNTGEN, U., URBAN, O., KRUSIC, P. J., RYBNÍČEK, M., KOLÁŘ, T., KYNCL, T., AČ, A., KOŇASOVÁ, E., ČÁSLAVSKÝ, J., ESPER, J., WAGNER, S., SAURER, M., TEGEL, W., DOBROVOLNÝ, P., CHERUBINI, P., REINIG, F. & TRNKA, M. 2021. Recent European drought extremes beyond Common Era background variability. *Nature Geoscience*, 14, 190-196.
- ESRI 2019. ArcGIS Desktop: Release 10. [Software]. Redlands, California.: Available: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop/resources>.
- 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.
- Hauser, M., BACK, Y., RAUCH, W. & KLEIDORFER, M. (Under Review). Assessing combined sewer overflow performance under climate projections and urban development with respect to European Urban Wastewater Treatment Directive and Austrian regulations. *Journal of Hydrology*.
- HÖRNSCHEMEYER, B., HENRICHS, M. & UHL, M. 2021. Swmm-urbaneva: A model for the evapotranspiration of urban vegetation. *Water (Switzerland)*, 13.
- JAMALI, B., BACH, P. M., CUNNINGHAM, L. & DELETIC, A. 2019. A Cellular Automata Fast Flood Evaluation (CA-ffé) Model. *Water Resources Research*, 55, 4936-4953.
- ROSSMAN, L. 2015. Storm water management model user's manual, version 5.1 (EPA-600/R-14/413b). US EPA National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, USA.
- Rybka, H., Haller, M., Brienens, S., Brauch, J., Früh, B., Junghänel, T., Lengfeld, K., Walter, A., & Winterrath, T. (2023). Convection-permitting climate simulations with COSMO-CLM for Germany: Analysis of present and future daily and sub-daily extreme precipitation. *Meteorologische Zeitschrift*, 32(2), 91–111. <https://doi.org/10.1127/metz/2022/1147>.

Danksagung

Diese Arbeit ist Teil des Projekts *BlueGreenCities* (Projekt Nr. KR21KB0K00001), Förderzeitraum: Oktober 2022 bis September 2025, welches vom Österreichischen Klima- und Energiefonds gefördert wird.

Korrespondenz an:

Yannick Back
Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck, Österreich
Telefon: +43 6642422200
E-Mail: yannick.back@uibk.ac.at