

Wasserhaushalt und Kühlpotential städtischer Freiräume im ak-tuellen und zukünftigen Klima

F. Funke^{1*}, C. Huynh Thi Ngoc¹, V. Grimme¹, L. Ambrosi², Y. Back¹, J. Kelvin³, A. Jasper-Tönnies³, Birgitta Hörnschemeyer⁴, G. Leitingner² & M. Kleidorfer¹

¹ Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich für Umwelttechnik,
Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck, Österreich

² Universität Innsbruck, Institut für Ökologie, Sternwartestraße 15, 6020 Innsbruck, Österreich

³ hydro & meteo GmbH, Breite Straße 6-8, 23552 Lübeck, Deutschland

⁴ FH Münster, Institut für Infrastruktur Wasser Ressourcen Umwelt, Corrensstraße 25,
48149 Münster, Deutschland

Kurzfassung: Diese Studie quantifiziert die Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserbilanz und Bewässerungsbedarf von drei neu gestalteten urbanen Plätzen in Innsbruck (Österreich). Mittels hydrologischer Langzeitsimulationen (SWMM-UrbanEVA, RCP8.5) wurden die Plätze für eine historische und zwei zukünftige Klimaperioden analysiert. Die Ergebnisse zeigen drei zentrale Aspekte: Erstens weisen alle Plätze durch weiterhin hohe Versiegelungsanteile keine natürliche Wasserbilanz auf, wobei zwischen den einzelnen Plätzen deutliche Unterschiede bestehen. Zweitens hängt die Verdunstung und damit die Kühlung während Hitzetagen stark vom Anteil und der Art der Vegetation sowie der Wasserverfügbarkeit ab. Drittens ist zukünftig mit einem drastischen Anstieg des Bewässerungsbedarfs zu rechnen. Bedingt durch höhere potenzielle Evapotranspiration und volatile Sommerniederschläge wird für die Bewirtschaftung von städtischen Grünflächen eine standortangepasste Regenwasserbewirtschaftung und effiziente Bewässerung immer wichtiger.

Key-Words: Klimawandel, urbane Vegetation, SWMM Urban-EVA, Bewässerungsbedarf, Blau-grüne Infrastruktur, Kühlleistung

1 Hintergrund

Aufgrund des Klimawandels ist in Österreich künftig mit einer Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen (Maraun et al., 2022), Trockenperioden und Hitzewellen (APCC, 2025) zu rechnen. Dies hat weitreichende Folgen für das Stadtklima, die urbane Wasserbilanz sowie den Wasserbedarf zur Erhaltung gesunder Grünflächen. Während Trockenperioden führt die abnehmende Bodenfeuchte zu zunehmendem Trockenstress für Pflanzen – mit negativen Auswirkungen auf das Stadtklima. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, werden öffentliche Räume zunehmend klimawandelgerecht umgestaltet. Vegetationsflächen und Bäume spielen

hierbei eine zentrale Rolle. Trockene Böden und abgestorbene Vegetation reduzieren zudem die Leistungsfähigkeit von Blau-Grüner Infrastruktur (BGI) gegenüber Starkregenereignissen, da Infiltrationskapazität, Reinigungsleistung und Retention abnehmen und die Erosionsgefahr steigt (Brune, 2016). Vor diesem Hintergrund untersuchen wir mithilfe des Niederschlag-Abfluss Modells SWMM-UrbanEVA (Hörnschemeyer et al., 2021) drei öffentliche Plätze in Innsbruck hinsichtlich Wasserbilanz, Wasserbedarf und Kühlleistung – sowohl unter aktuellen Bedingungen als auch unter Berücksichtigung zukünftiger Klimaszenarien. Ziel ist es, Handlungsempfehlungen für eine zukunftsfähige Gestaltung öffentlicher Freiräume zu formulieren.

2 Untersuchungsgebiete

Die Untersuchung basiert auf drei Fallstudien in Innsbruck (Österreich): (i) dem Campus Technik der Universität Innsbruck, (ii) dem Alois-Lugger-Platz sowie (iii) dem Messepark. Der Alois-Lugger-Platz wurde in drei verschiedenen Varianten untersucht. Alle drei Fallstudien wurden kürzlich im Hinblick auf Hitzereduktion und Aufenthaltsqualität umgestaltet. Der **Campus Technik** (30.800 m²) wurde 2018 neugestaltet und mit BGI-Elementen wie Versickerungsmulden, begrünten Dächern und Bäumen ausgestattet. Dennoch bleiben rund 87 % der Fläche versiegelt und sind größtenteils an die Kanalisation angeschlossen (vgl. Abbildung 1 & Tabelle 1). Der **Alois-Lugger-Platz** (8.500 m²) wurde im Rahmen des Projekts COOLYMP neugestaltet und im Sommer 2025 fertiggestellt. Im Zentrum entstand ein „Grünes Wohnzimmer“ mit Rasen und Bäumen, um das Stadtklima zu verbessern und den Platz klimaresilient zu gestalten (vgl. Abbildung 1 & Tabelle 1). Versiegelte Flächen sind sowohl in der alten- als auch in der neuen Variante an unterirdische Versickerungssysteme angeschlossen. Der **Messepark** (7.792 m²) wurde 2022 im Zuge des Projekts cool-INN umgestaltet. Dabei wurden Flächen entsiegelt, neue Bäume gepflanzt, ein Nebelsystem sowie Wasserelemente installiert und Wege wasserdurchlässig gestaltet (vgl. Abbildung 1 & Tabelle 1). Eine neu errichtete Straße südlich des Parks leitet Regenwasser von nichtbefahrenen Flächen zu Baumrigolen und Versickerungsmulden. Ein Großteil der umgebenden Verkehrsflächen ist weiterhin an das Kanalnetz angeschlossen.

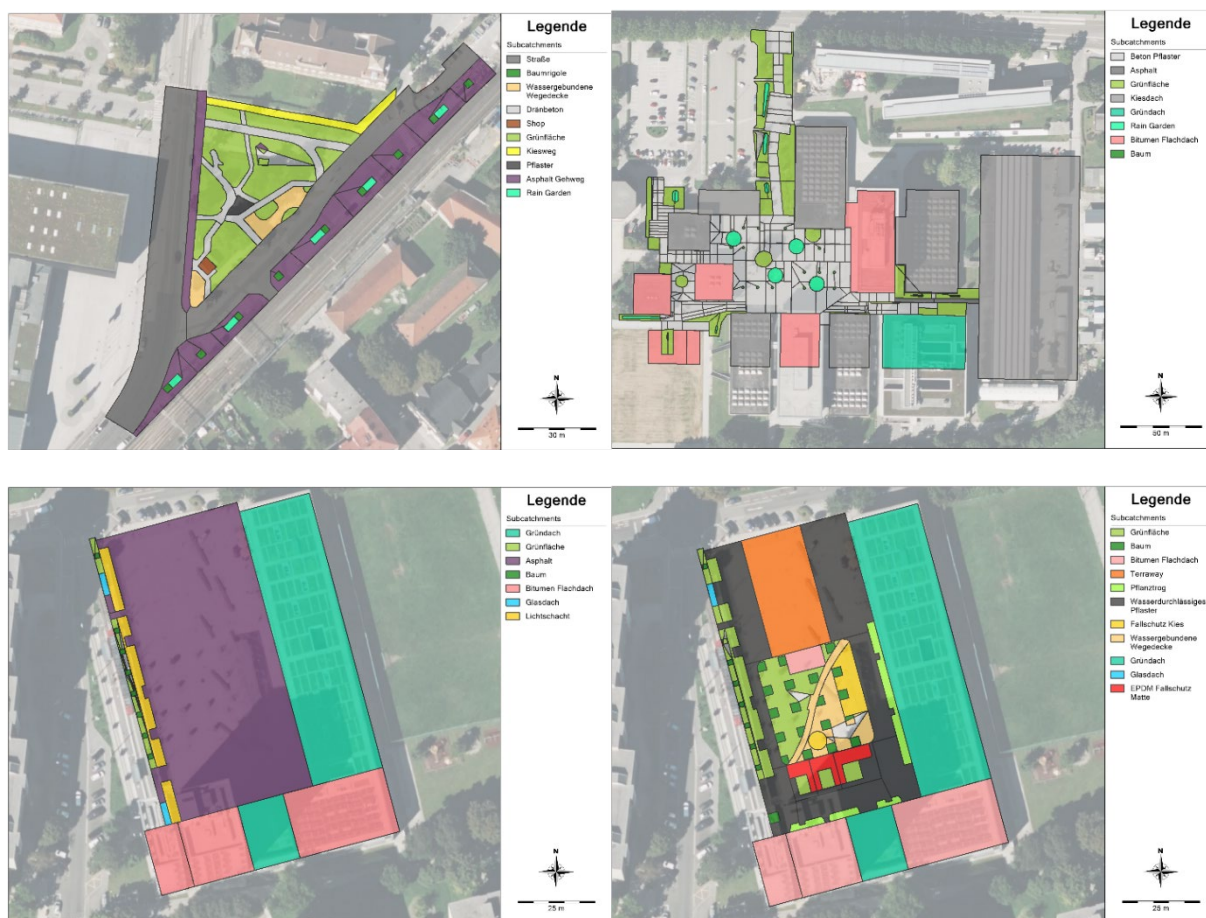


Abbildung 1: Übersichtskarten der 4 Untersuchungsgebiete. Oben links: Messenpark, oben rechts: Campus Technik, unten links: Alois-Lugger-Platz (alt), unten rechts: Alois-Lugger-Platz (neu).

Tabelle 1: Eigenschaften der 3 Fallstudien (5 Untersuchungsgebiete) in Bezug auf Größe, versickerungsfähige Verkehrsflächen und Grünflächen. Eine Beschreibung der Alois-Lugger-Platz Varianten findet sich in Kapitel 5.

| | Campus Technik | Alois-Lugger-Platz (alt) | Alois-Lugger-Platz (neuT) | Alois-Lugger-Platz (neuW) | Messenpark |
|--|----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| Wasserverbrauch Wasserspiel und Bewässerung (m³/Jahr) | 0 | 0 | 0 | 2.198 | 0 |
| Gesamtfläche (m²) | 30.800 | 8.500 | 8.500 | 8.500 | 7792 |
| Versickerungsfähige Verkehrsflächen (m²) | 0 | 0 | 3.500 | 3.500 | 1045 |
| Grünfläche (m²) | 4.000 | 1.900 | 2.900 | 2.900 | 1680 |
| Anteil Versickerungsfähige Verkehrsflächen (%) | 0 | 0 | 41 | 41 | 13 |
| Anteil Grünfläche (%) | 13 | 22 | 34 | 34 | 22 |

3 Modell

Die drei Fallstudien wurden mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell SWMM-UrbanEVA modelliert. Dieses basiert auf dem verbreiteten SWMM 5.1-Modell und bietet zusätzlich die Möglichkeit Vegetation abzubilden. BGI-Elemente werden durch sogenannte LID Controls mit vier Schichten (Vegetation, Oberfläche, Boden, Speicher) dargestellt, die die zentralen Prozesse des Wasserhaushalts abbilden. Regenwasser kann dabei durch Transpiration oder Evaporation verdunsten, in tiefere Bodenschichten infiltrieren oder oberflächlich abfließen.

Für die Langzeitsimulation wurden Bias-korrigierte Niederschlagsdaten und Referenz-Evapotranspiration (ET_0) aus einem konvektionsauflösenden Klimamodell verwendet (vgl. Abbildung 2). Die LID-Parameter der Rasenflächen basieren auf Messdaten von zwei Bodensensoren im Messepark im Zeitraum März 2022 bis Oktober 2023 (Funke et al., 2024); andere LIDs wurden anhand von Literaturwerten parametrisiert.

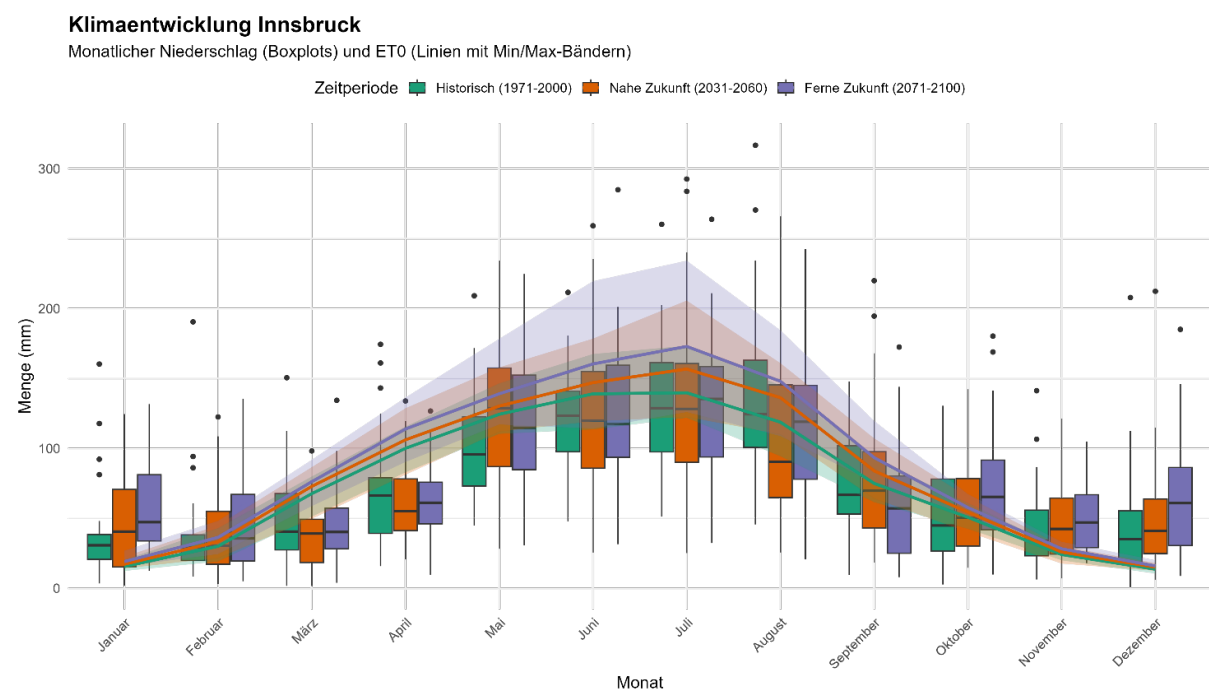


Abbildung 2: Monatsniederschläge und monatliche Referenz-Evapotranspiration (ET_0) für die drei Klimaperioden Vergangenheit (grün), Nahe Zukunft (orange) und Ferne Zukunft (lila).

4 Klimawandel

Als Grundlage für zukünftige Klimabedingungen dient ein Simulationslauf des konvektionsauflösenden Modells CCLM-CPM (Rybka et al., 2023). Dessen hohe räumliche (ca. 3 km) und zeitliche (stündlich) Auflösung ist für die realistische

Abbildung urbaner Extremereignisse entscheidend. Das Modell basiert auf dem Emissionsszenario RCP8.5 und liefert Eingangsdaten für SWMM-UrbanEVA.

5 Szenarien

Der Alois-Lugger-Platz wurde in drei verschiedenen Varianten untersucht: i) der alte Zustand des Platzes mit einem sehr hohen versiegelten Anteil, ii) der neue Zustand des Platzes ohne Wasserspiel und Bewässerung der Grünflächen (neuT) und iii) mit Wasserspiel und Bewässerung der Grünflächen (neuW). Alle drei Fallstudien wurden jeweils für eine Klimaperiode aus der Vergangenheit (1971-2000) und zwei Klimaperioden für die Zukunft (2031-2060 und 2071-2100) simuliert. Im Anschluss erfolgt für alle Szenarien die Untersuchung von drei Zielgrößen: a) die mittlere langjährige Wasserbilanz über einen Zeitraum von 30 Jahren, b) die Kühlleistung des Parks durch Verdunstung in mm und c) der zusätzliche Bewässerungsbedarf der Grünflächen zur Aufrechterhaltung der Vegetationsvitalität und Maximierung der Verdunstungsleistung.

6 Ergebnisse

Die Modellergebnisse für die Referenzperiode zeigen signifikante Unterschiede in der langjährigen Wasserbilanz und der Verdunstungsleistung der drei Fallstudien (vgl. Tabelle 2). Die Standorte Campus Technik und Messepark weisen trotz implementierter BGI-Elemente aufgrund hoher Versiegelungsgrade und Kanalanschlüsse hohe Abflussanteile auf. Im Gegensatz dazu wird am Alois-Lugger-Platz das Niederschlagswasser fast vollständig lokal bewirtschaftet (Versickerung und Verdunstung). Dennoch weichen alle Standorte von einer natürlichen Wasserbilanz ab, charakterisiert durch einen zu geringen Verdunstungsanteil zugunsten von Abfluss oder erhöhter Grundwasserneubildung. Folglich wird das Kühlpotential der BGI selbst bei den neugestalteten Plätzen nicht voll ausgeschöpft.

Die Umgestaltung des Alois-Lugger-Platzes führt zu einer deutlichen Steigerung der Verdunstung. Der relative Verdunstungsanteil steigt von 32 % (alt) auf 54 % (neuT). Bei der Variante mit Wasserspiel (neuW) ist der relative Anteil mit 47 % zwar geringer, da das Gesamtwasserdargebot höher ist, die absolute jährliche Verdunstung erreicht mit 539 mm jedoch den höchsten Wert und übertrifft die Variante neuT um 54 mm. Diese hohe Verdunstungsleistung, auch an Hitzetagen ($>30\text{ }^{\circ}\text{C}$), resultiert aus dem größeren Grünflächenanteil und dem zusätzlichen Wasserangebot durch das Wasserspiel. Im Kontrast dazu zeigt der Messepark mit 342 mm den mit Abstand höchsten Bewässerungsbedarf, was auf den hohen Anteil an Rasen- und Baumflächen zurückzuführen ist, die bereits unter historischen Klimabedingungen regelmäßig unter Trockenstress leiden.

Tabelle 2: Mittlere langjährige Wasserbilanz, Verdunstung und Bewässerungsbedarf der 5 Untersuchungsgebiete für die Klimaperiode historisch.

| Historisch (1971-2000) | | | | | |
|---|----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------|
| | Campus Technik | Alois-Lugger-Platz (alt) | Alois-Lugger-Platz (neuT) | Alois-Lugger-Platz (neuW) | Messepark |
| Anteil Abfluss (%) | 57 | 3 | 0 | 0 | 40 |
| Anteil Grundwasserneubildung (%) | 17 | 65 | 46 | 53 | 28 |
| Anteil Verdunstung (%) | 26 | 32 | 54 | 47 | 32 |
| Verdunstung (mm/Jahr) | 269 | 289 | 485 | 539 | 290 |
| Verdunstung an Tagen >30°C auf Grünflächen (mm/Tag) | 4,46 | 2,69 | 3,83 | 4,43 | 3,94 |
| Verdunstung an Tagen >30°C Gesamtpark (mm/Tag) | 0,58 | 0,6 | 1,31 | 1,68 | 0,85 |
| Bewässerungsbedarf Grünfläche (mm/Jahr) | 139 | 81 | 96 | 48,26 | 342 |
| Bewässerungsbedarf Apr-Sept (mm/Jahr) | 121 | 68 | 83 | 40,63 | 299 |

Für die nahe Zukunft prognostizieren die Modelle, bei weitgehend stabiler Wasserbilanz, einen signifikant ansteigenden Bewässerungsbedarf (Zunahme um 25 % bis 69 %) (vgl. Tabelle 3). Dies indiziert eine Zunahme von Trockenstress, was durch eine leichte Abnahme der Verdunstung an Hitzetagen bestätigt wird – ein klares Anzeichen für eine zunehmende Wasserlimitation. Als primäre Ursache wurde die steigende Referenz-Evapotranspiration identifiziert, während die Niederschlagssummen im Sommer stagnieren, aber deren Variabilität zunimmt (vgl. Abbildung 2).

Tabelle 3: Mittlere langjährige Wasserbilanz, Verdunstung und Bewässerungsbedarf der 5 Untersuchungsgebiete für die Klimaperiode Nahe Zukunft. Die %-Werte geben die Änderung im Vergleich zur Klimaperiode historisch an.

| Nahe Zukunft (2031-2060) | | | | | |
|----------------------------------|----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| | Campus Technik | Alois-Lugger-Platz (alt) | Alois-Lugger-Platz (neuT) | Alois-Lugger-Platz (neuW) | Messepark |
| Anteil Abfluss (%) | 58 (1,8%) | 3 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 41 (+2,5%) |
| Anteil Grundwasserneubildung (%) | 17 (0%) | 67 (+3,1%) | 47 (+2,2%) | 53 (0%) | 27 (-3,6%) |
| Anteil Verdunstung (%) | 25 (-3,8%) | 30 (-6,3%) | 53 (-1,9%) | 47 (0%) | 32 (0%) |

| | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Verdunstung (mm/Jahr) | 261 (-3,0%) | 277 (-4,2%) | 480 (-1%) | 546 (+1,3%) | 287 (-1,0%) |
| Verdunstung an Tagen >30°C auf Grünflächen (mm/Tag) | 4,19 (-6,1%) | 2,59 (-3,7%) | 3,6 (-6,0%) | 4,27 (-3,6%) | 3,94 (0%) |
| Verdunstung an Tagen >30°C Gesamtpark (mm/Tag) | 0,54 (-6,9%) | 0,58 (-3,3%) | 1,23 (-6,1%) | 1,62 (-3,6%) | 0,85 (0%) |
| Bewässerungsbedarf Grünfläche (mm/Jahr) | 215 (+54,7%) | 114 (+40,7%) | 145 (+51%) | 81,32 (+68,5%) | 427 (+24,9%) |
| Bewässerungsbedarf Apr- Sept (mm/Jahr) | 193 (+59,5%) | 100 (+47,1%) | 129 (+55,4%) | 70,88 (+74,5%) | 379 (+26,8%) |

Die Klimaperiode Ferne Zukunft zeigt einen ähnlichen Trend wie die Nahe Zukunft mit geringen Änderungen der Wasserbilanz und der Verdunstung und einer hohen Änderung des Bewässerungsbedarfs im Vergleich zur Vergangenheit (vgl. Tabelle 4). Im Vergleich zur Nahen Zukunft sind die Änderungen vor allem des Bewässerungsbedarf noch einmal deutlich höher.

Tabelle 4: Mittlere langjährige Wasserbilanz, Verdunstung und Bewässerungsbedarf der 5 Untersuchungsgebiete für die Klimaperiode Ferne Zukunft. Die %-Werte geben die Änderung im Vergleich zur Klimaperiode historisch an.

| Ferne Zukunft (2071-2100) | | | | | |
|---|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| | Campus Technik | Alois- Lugger- Platz (alt) | Alois- Lugger- Platz (neuT) | Alois- Lugger- Platz (neuW) | Messepark |
| Anteil Abfluss (%) | 59 (+3,5%) | 3 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 42 (+5%) |
| Anteil Grundwasserneubildung (%) | 17 (0%) | 68 (+4,6%) | 49 (+6,5%) | 53 (0%) | 27 (-3,6%) |
| Anteil Verdunstung (%) | 24 (-7,7%) | 29 (-9,4%) | 51 (-5,6%) | 47 (0%) | 31 (-3,1%) |
| Verdunstung (mm/Jahr) | 264 (-1,9%) | 279 (-3,5%) | 489 (+0,8%) | 565 (+4,8%) | 295 (+1,7%) |
| Verdunstung an Tagen >30°C auf Grünflächen (mm/Tag) | 4,1 (-8,1%) | 2,5 (-7,1%) | 3,49 (-8,9%) | 4,24 (-4,3%) | 3,8 (-3,6%) |
| Verdunstung an Tagen >30°C Gesamtpark (mm/Tag) | 0,53 (-8,6%) | 0,56 (-6,7%) | 1,19 (-9,2%) | 1,61 (-4,2%) | 0,82 (-3,5%) |
| Bewässerungsbedarf Grünfläche (mm/Jahr) | 257 (+84,9%) | 148 (+82,7%) | 182 (+89,6%) | 106,2 (+120,1%) | 485 (+41,8%) |
| Bewässerungsbedarf Apr- Sept (mm/Jahr) | 240 (+98,3%) | 133 (+95,6%) | 166 (+100%) | 95,59 (+135,3%) | 445 (+48,8%) |

7 Schlussfolgerung

Die Modellergebnisse belegen, dass keiner der untersuchten Plätze aufgrund des hohen Versiegelungsgrads eine natürliche Wasserbilanz aufweist, obwohl signifikante Unterschiede zwischen den Standorten bestehen. Eine Annäherung an natürliche hydrologische Verhältnisse erfordert demnach einen wesentlich höheren Anteil unversiegelter Vegetationsflächen. Die Verdunstungsleistung und die damit verbundene Kühlwirkung an Hitzetagen sind direkt von der Art und dem Anteil der Vegetation sowie der Wasserverfügbarkeit abhängig. Um eine effektive Kühlung während Hitzeperioden sicherzustellen, ist eine hydraulische Kopplung von versiegelten (wassergebenden) und begrünten (wasserverdunstenden) Flächen oder eine zusätzliche Bewässerung essenziell.

Die Projektionen zeigen einen drastisch ansteigenden zukünftigen Bewässerungsbedarf. Angesichts einer höheren potenziellen Evapotranspiration und volatilerer Sommerniederschläge werden eine standortangepasste Regenwasserbewirtschaftung und effiziente Bewässerungstechnologien zu kritischen Erfolgsfaktoren für die Resilienz städtischer Grünflächen.

8 Literatur

- [APCC] Austrian Panel on Climate Change. (2025). *Second Austrian Assessment Report on Climate Change (AAR2)*. Austrian Academy of Sciences Press. <https://aar2.ccca.ac.at/>
- Brune, M. (2016). Urban trees under climate change. Potential impacts of dry spells and heat waves in three German regions in the 2050s. In *Climate Service Center Germany*. http://www.climate-service-center.de/about/news_and_events/news/063058/index.php.en
- Funke, F., Ambrosi, L., Back, Y., Kelvin, J., Jasper-Tönnies, A., Hörnschemeyer, B., Leitinger, G., & Kleidorfer, M. (2024). *Einfluss des Klimawandels auf Blau-Grüne Infrastruktur in Städten: Modellierung von Wasserbilanz, Bewässerungsbedarf und Trockenstress*. Scientific Board der Aqua Urbanica. <https://doi.org/10.3217/xsxt-b4373>
- Hörnschemeyer, B., Henrichs, M., & Uhl, M. (2021). SWMM-UrbanEVA: A Model for the Evapotranspiration of Urban Vegetation. *Water*, 13(2), 243. <https://doi.org/10.3390/w13020243>
- Maraun, D., Knevels, R., Mishra, A. N., Truhetz, H., Bevacqua, E., Proske, H., Zappa, G., Brenning, A., Petschko, H., Schaffer, A., Leopold, P., & Puxley, B. L. (2022). A severe landslide event in the Alpine foreland under possible future climate and land-use changes. *Communications Earth and Environment*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00408-7>
- 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>

9 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:

Fabian Funke
Technikerstrasse 13, 6020 Innsbruck, Österreich
Telefon: +43 521 507 62160
E-Mail: Fabian.Funke@uibk.ac.at