

**Entsiegelung
erkunden und
messen.
Maßnahmen
zur
Bodenregene-
ration**

Autoren: Sara Favargiotti, Anna Codemo, Lorenzo Giovannini, Gianluca Maracchini, Alessandra Marzadri, Giacomo Sarti, Giulia Zantedeschi.

Diese Broschüre ist das Ergebnis der Studie „Flächennutzung und Entsiegelung“, die von der Handels-, Industrie-, Handwerks-, Tourismus- und Landwirtschaftskammer (CCIATA) finanziert und vom Fachbereich Bau-, Umwelt- und Maschinenbauingenieurwesen der Universität Trient, 2025, durchgeführt wurde.

Forschungsgruppe:

DICAM-Universität Trient

Prof. Sara Favargiotti (wissenschaftliche Verantwortliche), Prof. Lorenzo Giovannini, Prof. Alessandra Marzadri, Prof. Gianluca Maracchini, Dr. Anna Codemo, Giacomo Sarti, Giulia Zantedeschi.

Mit Unterstützung und Zusammenarbeit von:

Handelskammer Bozen - Rechtsangelegenheiten

Alfred Aberer, Karin Pichler, Lisa Giacomozzi

Lokale Stakeholder:

Autonome Provinz Bozen

Abteilung Natur, Landschaft und Raumentwicklung

Carlotta Polo, Roberta Covi, Martin Primisser

Abteilung Vermögensverwaltung

Virna Bussadori

Gemeinde Bozen

Abteilung 5 - Raumplanung und Raumentwicklung

Paolo Bellenzier, Matthias Zingerle, Alessandra Montel

Kammer der Architekten, Raumplaner, Landschaftsplaner und Denkmalpfleger der Provinz Bozen

Marco Molon, Stefano Adami, Richard Veneri

Übersetzung:

Lisa Giacomozzi

Redaktionelle Koordination:

Sara Favargiotti

Grafikdesign und Layout:

Giulia Zantedeschi

© Universität Trient und Handelskammer Bozen. Alle Rechte vorbehalten.

Alle Inhalte des Leitfadens sind urheberrechtlich geschützt. Jede Veröffentlichung, Vervielfältigung, Übersetzung und sonstige Änderung oder Verbreitung, auch auszugsweise, ist nur mit Angabe der Quelle (Herausgeber und Titel) und nach ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers gestattet. Es wird darauf hingewiesen, dass trotz der Sorgfalt bei der Erstellung und Bearbeitung alle Informationen ohne Gewähr bereitgestellt werden. Der Herausgeber und die Autoren übernehmen keine Haftung.



**UNIVERSITÀ
DI TRENTO**



HANDELS-, INDUSTRIE-, HANDWERKS-,
TOURISMUS- UND LAND-
WIRTSCHAFTSKAMMER BOZEN

Inhaltsverzeichnis

I

Vorwort und Ziele der Studie

Methodik

Planungsinstrumente

Themen und KPIs

II

Messbarkeit von Entsiegelung

Versuchsflächen

Planen mit Nature based Solutions (NbS)

Co-Benefits der Entsiegelung | Bewertung der Szenarien

III

Versuchsfläche| Bozen Süd

ENVI-met | Lufttemperaturänderung

ENVI-met | Komfortindex (PET)

SWMM

Zusammenfassung | KPI

Anfälligkeit und Risiko

Bewertungsmatrix

Entsiegelung erkunden und messen. Maßnahmen zur Bodenregeneration

Die EU-Anpassungsstrategie EU-Klimagesetz (2021) und das europäische Klimaschutzgesetz unterstreichen die Notwendigkeit, auf europäischer, nationaler, regionaler und lokaler Ebene Anpassungsmaßnahmen für eine resiliente Gesellschaft einzuführen. Der Klimaplan Südtirol 2040 (Strategie zur Anpassung an den Klimawandel der Autonomen Provinz Bozen ist in Ausarbeitung) hat die Integration von Anpassungsaspekten in die Strategien und Planung auf Provinz- und lokaler Ebene eingeleitet. Insbesondere **Maßnahmen für eine nachhaltige Bodennutzung und Entsiegelung sind eine grundlegende Lösung für die Umsetzung der Strategie im Bereich der Siedlungen und städtischen Gebiete und bringen Vorteile in verschiedenen Bereichen**, wie z. B. der nachhaltigen Wasserbewirtschaftung und der Minderung von Wärmeinseln, indem sie die Umsetzung naturbasierter Lösungen und ökosystembasierter Ansätze fördern.

In einem nationalen Kontext, in dem der Flächenverbrauch doppelt so schnell voranschreitet wie im europäischen Durchschnitt, wird es noch dringlicher, wirksame Maßnahmen zur Bekämpfung dieses Phänomens zu ergreifen. Es ist von grundlegender Bedeutung, die Ausbreitung zu begrenzen; aber ebenso wichtig ist es, möglichst viele bereits bebaute Flächen der Natur zurückzugeben, insbesondere in städtischen Gebieten, indem Beton und Asphalt entfernt werden. Aus technischer Sicht wird diese Tätigkeit als **Entsiegelung oder Entversiegelung** bezeichnet, wobei der Prozess der Renaturierung städtischer Räume ökologische, soziale und wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt. Auf Antrag der Handels-, Industrie-, Handwerks-Tourismus und Landwirtschaftskammer Bozen hat das Projekt eine **Methode zur Ermittlung von Maßnahmen und zur Festlegung von wirksam umsetzbaren und überprüfbaren Maßnahmen** entwickelt, die zu einer Verbesserung der Bodennutzung im Hinblick auf Umweltvorteile bei Bauplanungsmaßnahmen führen, und zwar durch naturbasierte Lösungen und die Integration innovativer Aspekte in die Instrumente der lokalen Verwaltung.

Vorwort und Ziele der Studie

Die wissenschaftlichen Forschungsaktivitäten, von der Forschungsgruppe des DICAM – Universität Trient koordiniert, wurden in Zusammenarbeit mit der Handelskammer Bozen durchgeführt, um Ziele von öffentlichem Interesse zu verfolgen:

- **Ermittlung von Maßnahmen** zur Verbesserung der Bodennutzung bei Bau- und Stadtplanungsmaßnahmen zur Klimaanpassung und Klimaschutz unter Berücksichtigung der Planungsinstrumente und des territorialen Kontexts der Autonomen Provinz Bozen;
- **Sammlung nationaler und internationaler Fallstudien und erfolgreicher Erfahrungen** als wissenschaftlicher und wissenschaftlicher Referenzrahmen (Best Practices), auch durch direkte Besichtigungen vor Ort;
- **Teilnahme an Kommunikation, Sensibilisierung und sozialen Verbreitung** der Ziele und Lösungen für ein Fachpublikum und die breite Öffentlichkeit.

Die **Auswirkungen** des Projekts in Bezug auf die Provinz Bozen und die wissenschaftliche Gemeinschaft waren

- **Die Identifizierung von Instrumenten zur Förderung des ökologischen Wandels im Bausektor**, um zu den Zielen der Strategien zur Anpassung an den Klimawandel und zur Eindämmung seiner Folgen beizutragen, mit besonderem Augenmerk auf die Themen Landnutzung und Entsiegelung (kurzfristige Auswirkungen);
- **Die Verfolgung von Zielen zum Wohle der Gemeinschaft und künftiger Generationen** im Einklang mit den Zielen der Agenda 2030, mit positiven Auswirkungen für die Bürger und die Bevölkerung im universitären Umfeld (langfristige Auswirkungen);
- **Der Transfer von innovativem Wissen und Erfahrungen aus der Forschung in die Praxis** (angewandte Forschung, dritte Mission).



Depave, Portland

DEPAVING

Das Verfahren des Depaving wurde 2008 vom Verein Depave in Portland ins Leben gerufen und bezieht sich auf **Maßnahmen zur Entfernung undurchlässiger Oberflächen, um Teile der Stadt zu renaturieren, den Boden wiederherzustellen und Platz für Vegetation zu schaffen**. Technisch gesehen spricht man von der Entsiegelung oder Entversiegelung von Böden durch ein Projekt zur Renaturierung eines neuen Raums. Die nachgewiesenen **Vorteile** dieser konkreten Maßnahme sind **ökologischer Natur**, da sie zur Senkung der Temperaturen, zum Regenwassermanagement und zur Förderung der Biodiversität beiträgt; sozial, durch die Rückgewinnung undurchlässiger Flächen als offene Räume für die dort lebenden Gemeinschaften, die wiederum hochwertige Orte für die Pflege der Menschen und ihre geistige und körperliche Gesundheit bieten; und **wirtschaftlich**, durch die Wertsteigerung von Immobilien, die Senkung der Energiekosten und die Verringerung der Anfälligkeit der Räume gegenüber extremen und weitreichenden Wetterereignissen.

Methodik

Die Forschungsgruppe der Universität hat folgendes entwickelt:

a) experimentelle wissenschaftliche Forschungstätigkeiten mit folgenden Schwerpunkten:

- Identifizierung und Untersuchung nationaler und internationaler Fallstudien als wissenschaftliche Referenzgrundlage, um angewandte Beispiele für erfolgreiche Praktiken, Prozesse und Maßnahmen (Best Practices) zu liefern;
- die Identifizierung innovativer, origineller und für den lokalen Kontext spezifischer Instrumente und Vorrichtungen zur Unterstützung der Umsetzung von Maßnahmen, die eine nachhaltige Bodennutzung fördern und die Entsiegelung im Bausektor begünstigen;
- die Teilnahme an und wissenschaftliche Leitung von Veranstaltungen zur Sensibilisierung und Interaktion der Öffentlichkeit zu den behandelten Themen, die von der Handelskammer Bozen organisiert werden;

b) Kommunikations-, Verbreitungs- und Austauschaktivitäten:

- wissenschaftliche Unterstützung für Veranstaltungen und Aktivitäten zur Verbreitung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit und von Fachleuten der Branche;
- eventuelle Teilnahme an wissenschaftlichen Konferenzen und wissenschaftlichen Publikationen zur Verbreitung der Methode und der Ergebnisse.



T.U.T. Dall'urbanistica concordata all'urbanistica condivisa. Dispositivi di orientamento. DICAM-UNITN für die Gemeinde Trient, 2021-2022.
Legt Leitlinien für die Integration von Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen in städtebauliche Vereinbarungen fest.



R.E.C. Dentro la sfida del clima. DICAM-UNITN für die Gemeinde Trient, 2024-2025.
Legt Richtlinien für die Aktualisierung der Bauvorschriften mit Themen der ökologischen Nachhaltigkeit, Klimaanpassung und Klimaschutz fest.



ARV Climate Positive Circular Communities. DICAM-UNITN, 2022-2026.
Europäisches Projekt, das Richtlinien für klimapositive und zirkuläre Gemeinschaften in Trient festlegt.

► REFERENZ-PROJEKTE VON DER DICAM UNIVERSITÄT TRIENT

Planung

Vertiefende Studie zu allgemeinen Planungsinstrumenten, Vorschriften und Normen in der Autonomen Provinz Bozen



NbS-Katalog

Studie und ausgewählte Sammlung von Projektreferenzen (PROJEKTE) und Lösungstypen (INSTRUMENTE) von NbS zur Förderung der Entsiegelung und nachhaltigen Bodennutzung



Messbarkeit

Recherche wissenschaftlicher und praktischer Literatur zur Messbarkeit der Entsiegelung in Bezug auf die Themen Wasser, Mikroklima, Biodiversität, Umweltverschmutzung und Qualität



Versuchsflächen

Identifizierung möglicher Untersuchungsgebiete für experimentelle Modellierung und die Ausarbeitung von Bewertungsszenarien

Validierung/ Feedback

Dialog und Austausch mit Fachleuten und lokalen Stakeholdern

Planungsinstrumente

Öffentliche Verwaltungen – insbesondere kommunale und provinciale – verfügen über verschiedene Instrumente, um die Versiegelung des Territoriums zu reduzieren und den Einsatz naturbasierter Lösungen (Nature based Solutions, NbS) zu fördern. Es handelt sich um heterogene Instrumente, die von der strategischen Planung bis hin zu operativen Hinweisen zur Unterstützung von Maßnahmen reichen. Diese Instrumente lassen sich in drei Hauptkategorien einteilen:

- **Informationsinstrumente:** Sie bilden die Ausgangsbasis, da sie nützliche Informationen zur Ermittlung von Risikogebieten, vorrangigen Interventionsbereichen und der Art der Auswirkungen auf das Gebiet liefern.
- **Strategien und Pläne:** Dazu gehören die von der Autonomen Provinz Bozen verabschiedeten Leitdokumente, die darauf abzielen, eine langfristige Vision und Entwicklungsprioritäten zu definieren.
- **Vorschriften und technische Leitlinien:** Sie umfassen verbindliche Vorschriften sowie von der Provinz erarbeitete Empfehlungen, die der Orientierung und Unterstützung bei Entsiegelungsprozessen dienen.

Es wurden die am besten geeigneten Instrumente ermittelt, um die Umsetzung von NbS im Provinzgebiet zu erleichtern. Die Anpassungsmaßnahmen und Entsiegelungsstrategien in Südtirol drehen sich um Schlüsselthemen, die anhand der Erkenntnisinstrumente ermittelt wurden: Verbesserung des mikroklimatischen Wohlbefindens durch Kühlinselfen und Grünkorridore; Wassereinsparung und -wiederverwendung durch Regenwassersammel- und -versickerungssysteme; die Regulierung der natürlichen Kreisläufe durch durchlässige Pflasterungen und vorzugsweise multifunktionale Grünflächen; der Schutz der Biodiversität mit besonderem Augenmerk auf Baumarten und die Rolle von Bäumen in städtischen und alpinen Gebieten. Diese Prioritäten werden durch wissenschaftliche Instrumente wie Klimaberichte und den Klimaplan Südtirol 2040 unterstützt, die eine langfristige Vision für Nachhaltigkeit und Klimaresilienz festlegen. Der provinciale Rechtsrahmen, der durch zahlreiche technische Leitfäden ergänzt wird, definiert Grenzen und Kriterien, um die Umsetzung der Praktiken zu fördern: das DLH vom 7. Mai 2020, Nr. 17 zum Regenwassermanagement (hydraulische Invarianz), zur Durchlässigkeit (B.V.F.-Index), das LG vom 10. Juli 2018, Nr. 9 zu Raum und Landschaft und das DLH vom 21. Jänner 2008, Nr. 6 im Bereich Gewässerschutz.

INFORMATIONSTOOL

Klimarisiken und Anpassung, EURAC
Klimabericht Südtirol, EURAC
Gefahrenzonenplan (GZP)
VerdeVale | Baumkataster



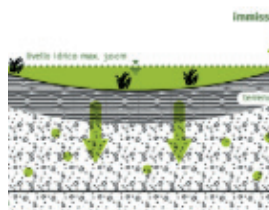
STRATEGIEN UND PLÄNE

Klimaplan Südtirol 2040
Spross Südtirol
Strategien / Pläne für Grünflächen
Vorschriften für städtische Grünflächen



VERORDNUNGEN UND TECHNISCHE RICHTLINIEN

DLH vom 7. Mai 2020, Nr. 17 zum
Regenwassermanagement
DLH vom 7. Mai 2020, Nr. 17 zur Durchlässigkeit
LG vom 10. Juli 2018, Nr. 9 zu Raum und Landschaft
DLH vom 21. Jänner 2008, Nr. 6 im Bereich
Gewässerschutz
Gründächer, Autonome Provinz BZ
Baumplan (kommunal)
Bauordnung (kommunal)
Grünflächenordnung (kommunal)
Leitlinien Regenwasser



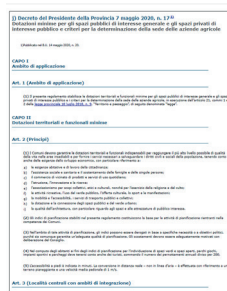
UMSETZUNGSTRUMENTE



Klimaplan Südtirol
2040, Provinz Bozen |
**Legt die strategischen
Ziele für die Klima-
anpassung in der Provinz
fest**



Klimareport Südtirol,
Eurac Research |
**Legt die thematischen
Leitlinien für die
Anpassung und den
Zustand des Klimas
fest**



DLH vom 7. Mai 2020,
Nr. 17, Provinz Bozen |
**Legt die Anforderungen
an durchlässigen Bo-
den fest, um die Leben-
squalität durch Indizes
zu gewährleisten**



Planungsinstrumente
der Gemeinde Bozen |
**Legt Mindestwerte für
durchlässigen Boden
fest**

Themen und KPIs

Das Projekt hat **fünf grundlegende Themenbereiche** definiert, die jeweils mit spezifischen KPIs (Key Performance Indicators) verbunden sind, welche die Wirksamkeit der Bodenentsiegelung in Bezug auf die Leistung messen.

Wasser. Eine nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung wird durch den Einsatz von drainierenden Bodenbelägen und die Einführung von Systemen zur Filterung und Rückgewinnung von Regenwasser gewährleistet, wodurch die Belastung des Kanalisationsnetzes verringert und die natürliche Versickerung in den Boden gefördert wird.

Mikroklima. Die Verbesserung des städtischen Mikroklimas erfolgt durch die Anpflanzung von Bäumen, die Vergrößerung der Vegetationsflächen und die Umsetzung von Gründächern, was zur Verringerung des Wärmeinseleffekts und zur Erhöhung des thermohygrometrischen Komforts in offenen Räumen beiträgt.

Biodiversität. Die Diversifizierung der Pflanzenarten und die Schaffung ökologischer Verbindungen (grüne Korridore) fördern das Vorkommen und die Mobilität der Fauna und erhöhen die ökologische Widerstandsfähigkeit des städtischen Umfelds.

Umweltverschmutzung. Der Einsatz von NbS ermöglicht die Minderung der Luftverschmutzung durch die Speicherung von CO₂ und die Abscheidung von Feinstaub (z. B. PM₁₀), wodurch die Luftqualität verbessert und zur Dekarbonisierung der Städte beigetragen wird.

Qualität. Über die Umweltaspekte hinaus gewährleistet ein wirkungsvolles Projekt hohe Standards städtischer Qualität. Es schafft inklusive, zugängliche, widerstandsfähige, reaktionsfähige und ästhetisch ansprechende öffentliche Räume, die Orte der Fürsorge und des Wohlbefindens für die Gemeinschaft bieten.

WASSER

Förderung einer nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung durch den Einsatz von drainierenden Bodenbelägen und Systemen zur Filterung und Rückgewinnung von Regenwasser.

MIKROKLIMA

Verbesserung des städtischen Komforts durch Lösungen wie die Anpflanzung von Bäumen, die Schaffung von Grünflächen und die Installation von Gründächern, die zur **Verringerung von Wärmeinseln** beitragen.

BIODIVERSITÄT

Erhöhung der biologischen Vielfalt durch die Einführung verschiedener Pflanzenarten und die Schaffung ökologischer Korridore, die die Verbindung zwischen natürlichen Lebensräumen fördern.

UMWELTVER- SCHMUTZUNG

Verbesserung der Luftqualität durch Maßnahmen, die CO₂ absorbieren und Feinstaub (PM₁₀) zurückhalten.

QUALITÄT

Sicherstellung der Qualität des öffentlichen Raums durch die Schaffung von zugänglichen, inklusiven, sicheren und widerstandsfähigen, einladenden und schönen Umgebungen, die auf die Bedürfnisse der Menschen eingehen und das kollektive Wohlbefinden fördern.

Messbarkeit der Entsiegelung

Die Messbarkeit der Entsiegelungsmaßnahmen wurde anhand wissenschaftlicher und operativer Literaturrecherchen zu den Themen/KPIs (Wasser, Mikroklima, Biodiversität, Umweltverschmutzung, Qualität) untersucht. Daraus wurde eine Struktur abgeleitet, die auf drei verschiedenen Vertiefungsgraden basiert:

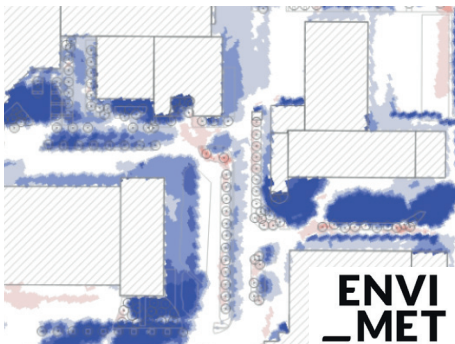
- **Vorläufige Bewertung:** gedacht als erster Hinweis auf die Wirksamkeit der NbS in Bezug auf die identifizierten Themen. Es werden qualitative Bewertungen der Wirksamkeit der NbS in Bezug auf die identifizierten Themen auf der Grundlage von KPIs und physikalisch-technischen Parametern bereitgestellt. Letztere sind auch die Aspekte, die bei der Anwendung der NbS zu berücksichtigen sind, da sie die wichtigsten physikalisch-technischen Aspekte darstellen. Diese erste Phase ist bewusst leicht verständlich gehalten, damit sie auch von Laien genutzt werden kann.
- **Spezifische Software:** durch Modellierung und anschließende Simulation unter Berücksichtigung der beiden Hauptaspekte, nämlich des Mikroklimas unter Verwendung von ENVI-met und der nachhaltigen Wasserbewirtschaftung unter Verwendung von SWMM. Angesichts der Komplexität der Verwendung dieser Software ist diese Phase auf den professionellen Einsatz durch Techniker ausgerichtet.
- **Ex-post-Tests:** Diese letzte Phase hat eine doppelte Bedeutung. Zum einen dient sie als vertiefende Studie über die Eigenschaften des Projektstandorts, um nützliche Informationen für die Machbarkeit der Anwendung von NbS in der Planungsphase zu gewinnen. Zum anderen können die Vorteile nach der Anwendung von NbS überwacht werden. In beiden Fällen ist die Unterstützung durch qualifizierte Techniker und der Einsatz von Überwachungsinstrumenten wie Temperatur- und Wassergehaltssensoren, Wetterstationen usw. erforderlich.

Die Struktur des Bewertungsprozesses ist nicht als linear und konsekutiv zu verstehen, sondern als hermeneutischer Zyklus, in dem jede nachfolgende Vertiefungsphase die technische/planerische Durchführbarkeit der Maßnahme immer detaillierter beschreibt.

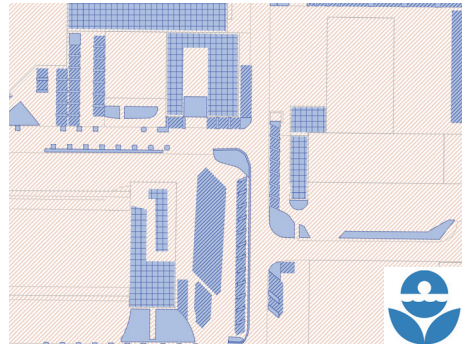
VORLÄUFIGE BEWERTUNG

WASSER	MIKROKLIMA	BIODIVERSITÄT	UMWELTVER- SCHMUTZUNG	QUALITÄT
Reduzierung des Oberflächenabflusses Wasserrückhalt	Senkung der Temperaturen Reduzierung des Wärmeinseleffekts Erhöhung des mikroklimatischen Komforts	Vielfalt der Pflanzenarten Vielfalt der städtischen Tierarten	Luftqualität CO₂-Speicherung	Planungsqualität Wohlbefinden Risiko/Anfälligkeit

Spezifische Software



ENVI-met: Mikroklima-Analysen



SWMM: Analyse der technischen Vorteile von NbS

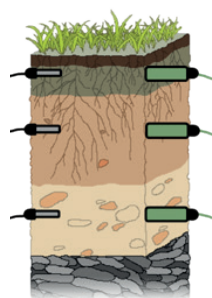
EX-POST-TESTS



Infiltrationstests



Infiltrationstests



Temperatur- und Wassergehaltssensoren



Wetterstationen

Versuchsflächen

Die Auswahl der Versuchsflächen für die Bewertung der Auswirkungen und Vorteile von Entsiegelungsmaßnahmen erfolgte mit dem Ziel, **unterschiedliche und repräsentative Kontexte** innerhalb der Autonomen Provinz Bozen zu identifizieren, in denen **reproduzierbare und skalierbare Lösungen getestet werden** können. Die Gebiete wurden entsprechend dem Umfang der Maßnahmen in drei Makrokategorien eingeteilt: Stadtteil, Grundstück, Freifläche.

Stadtteil

Umfasst konsolidierte Gebiete innerhalb des städtischen Gefüges, in denen die Präsenz undurchlässiger Oberflächen besonders bedeutend ist:

- Dienstleistungsbereiche (Büros, öffentliche Einrichtungen, Verwaltungszentren)
- Gewerbegebiete (Einkaufszentren, Verkaufsflächen)
- Wohngebiete (Wohnkomplexe mit undurchlässigen Gemeinschaftsflächen).

Grundstück

Zu dieser Kategorie gehören spezifische, oft monofunktionale Flächen, die potenziell für gezielte Entversiegelungsmaßnahmen geeignet sind:

- Freizeitbereiche (Spielplätze, Sportanlagen) mit angeschlossenen großen Parkflächen
- Weinkeller (Produktionsgebäude im Zusammenhang mit dem Weinbau)
- Skilifte (Technik- und Servicebereiche) mit angeschlossenen großen Parkflächen
- Raststätten A22 (Autobahnparkplätze und zugehörige Bereiche)
- Bereiche zur Energieerzeugung (Müllverbrennungsanlage, Fernwärmeleistungswerk).

Offene Flächen

Dazu gehören öffentliche Flächen für die gemeinschaftliche Nutzung, bei denen die Entsiegelung die städtische Qualität, Funktionalität und den Umweltkomfort verbessern kann:

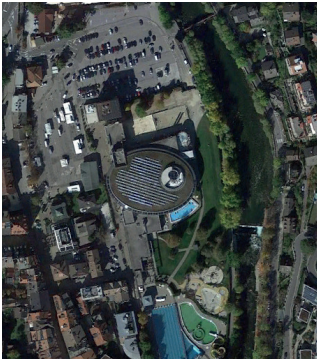
- Plätze (gepflasterte Freiflächen, die oft nicht ausreichend genutzt werden)
- Parkplätze (öffentliche oder private, in Wohngebieten)

Auf der Grundlage einer größeren Auswahl an Flächen und in Absprache mit den Interessengruppen wurden **drei Versuchsflächen** ausgewählt, um experimentelle Modellierungsszenarien mit hohem Replikationspotenzial zu entwickeln.

Vorgeschlagene Bereiche für die Erprobung auf Bezirksebene, Grundstücks- und offenen Flächen

 STADTTEIL	 GRUNDSTÜCK	 OFFENE FLÄCHE
 TERTIÄRBEREICHE	 FREIZEITGEBIETE	 PLÄTZE
 GEWERBEGEBIETE	 KELLER	 PARKPLÄTZE
 WOHNGEBIETE	 SKILIFTE	
	 RASTSTÄTTEN A22	
	 GEBIETE FÜR DIE ENERGIEERZEUGUNG	

Ausgearbeitete Versuchsflächen

		
Dienstleistungs-/Industrie-/Produktionsgebiet Bozen Süd – Messe 	Wohngebiet Bozen 	Freizeitgebiet Brixen 

Planen mit Nature based Solutions (NbS)

Im Gegensatz zu **undurchlässigen Bodenbelägen** ermöglichen drainierende Bodenbeläge das direkte Versickern von Regenwasser im Boden. Darüber hinaus verbessern begrünte Bodenbeläge die Reinigung des Regenwassers und tragen zur Verbesserung des lokalen Mikroklimas bei. Im Versuchsgebiet wird die Verwendung von begrünten Betonrosten in der Nähe von Parkplätzen vorgeschlagen.



Die **Filterstreifen** sind grasbewachsene Flächen mit mäßiger Neigung, die zur Rückhaltung von Regenwasser konzipiert sind. Im Versuchsgebiet wurden sie abwechselnd mit Parkplätzen angelegt und mit Bäumen bepflanzt.



Das Anpflanzen von **Bäumen** und Sträuchern in städtischen Gebieten sorgt für Schatten und verbessert das lokale Mikroklima. Außerdem tragen sie wirksam zur Verbesserung der Luftqualität bei und fördern die Biodiversität. In der Planung des Versuchsgebiets wurden sie in den Entwässerungstreifen zwischen den Parkplätzen und in begrünten Bereichen in der Nähe der Gebäudeeingänge sowie als Schutzbereiche im Sommer vorgesehen.

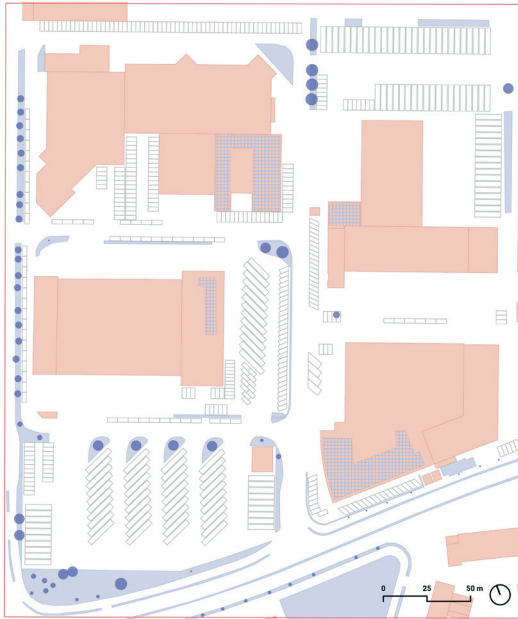
Gründächer bieten nicht nur Vorteile innerhalb der Gebäude, sondern sorgen auch für eine Verringerung des Regenwasserabflusses und eine Minderung des Wärmeinseleffekts. Im Ist-Zustand des Projekts waren bereits einige Gründächer vorhanden, jedoch wurden sie auch auf anderen Flachdächern implementiert, wobei die Solarmodule erhalten blieben.



Grüne Wände verbessern das Mikroklima, die Luftqualität und die Biodiversität. Im Projekt wurden zwei Arten von grünen Wänden verwendet: Die erste, die die blinden Wände bedeckt, sieht eine kompakte Vegetation vor, die von Platten mit Erde auf einem Rahmen getragen wird. Die zweite Lösung für Wände mit Öffnungen sieht die Bepflanzung mit Kletterpflanzen vor, die unten verwurzelt sind und von Kabelementen getragen werden.



Projektvorschlag unter Verwendung von NbS für die Versuchsfläche Bozen Süd



► Versuchsfläche Bozen Süd – Bestehende Situation

Gesamtfläche: 105.000 m²
Bebaute Fläche: 47.800 m²
Grünfläche: 7.000 m²
Begrünte Dächer: 2.8000 m²



► Versuchsfläche Bozen Süd – Gesamtprojektansicht

• **Entwässerungsfähige Bodenbeläge** als Ersatz für Parkplätze

• **Bäume** und Grünstreifen zwischen den Parkplätzen

• **Anpflanzung von Bäumen** in bestehenden und geplanten Grünflächen

• **Entwässerungstreifen**

• **Gründächer** auf Flachdächern

• **Grüne Fassaden** dicht auf blinden Flächen, spärlich bei Öffnung

Co-Benefits der Entsiegelung | Bewertung der Szenarien

Die Bewertung der Auswirkungen der Entsiegelung ist von grundlegender Bedeutung, um die Auswirkungen der verschiedenen Strategien auf die Umgebung zu verstehen und die am besten geeignete Lösung entsprechend den Merkmalen des Kontexts und den spezifischen Zielen zu ermitteln. In dieser Studie liegt der Schwerpunkt insbesondere auf den mikroklimatischen Vorteilen und der Verringerung des Wasserabflusses, die anhand von Simulationen mit Computermodellen analysiert werden: **ENVI-met für die Aspekte der Stadtklimatologie und SWMM für die hydrologische Komponente**. Die betrachteten Szenarien wenden jeweils eine einzelne strategische Lösung an, um deren isolierte Auswirkungen auf das Mikroklima und die Wasserwirtschaft zu bewerten. Das endgültige Szenario kombiniert hingegen alle vorherigen Lösungen und bietet einen integrierten Überblick über die Vorteile. Da diese Instrumente Fachkenntnisse erfordern, werden die Ergebnisse auch in **B.V.F. (Beschränkungsindex der versiegelten Flächen)** umgerechnet, der den in der Stadtplanung verwendeten Instrumenten näher kommt. Die Berechnung wird sowohl für die bestehende Situation als auch für die einzelnen Szenarien durchgeführt, wobei die geltenden Vorschriften als Referenz dienen, wonach der zu erreichende Mindestwert des B.V.F. für als produktiv oder verkehrsbezogen klassifizierte Gebiete (Zonen B und E) 1,5 betragen muss, während er für Wohngebiete und ähnliche Gebiete sowie für öffentlich genutzte Gebiete (Zonen A, C, D, F) 4 betragen muss. Es ist zu betonen, dass nicht immer ein direkter Zusammenhang zwischen NbS-Maßnahmen, der Messbarkeit der Entsiegelung und dem Beitrag zum B.V.F. besteht. Tatsächlich kann derselbe B.V.F. -Wert unterschiedlichen Lösungen entsprechen und unterschiedliche Auswirkungen auf das Mikroklima oder die Wasserbewirtschaftung haben, da diese durch die Gestaltung des offenen und bebauten Raums bestimmt werden.

Im Folgenden werden die methodischen Verfahren schematisch dargestellt, die mit den drei Instrumenten angewendet werden.

ENVI-MET

GEOMETRIE

Abmessungen und Materialien von Oberflächen und Gebäuden, Abmessungen und Eigenschaften von Grünflächen, Abmessungen und Eigenschaften von Bäumen

KLIMA-INPUT

Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung, Wind und relative Luftfeuchtigkeit für jeden Bereich, generiert durch das Wettermodell Weather Research and Forecasting

GENERIERTE DATEN

Mikroklima und PET-Komfortindex für einen sehr heißen Tag (Juli 2024) über einen Zeitraum von 24 Stunden

SZENARIEN

Bestandaufnahme und alternative Szenarien mit Entsiegelung in den drei Versuchsflächen

ERGEBNISSE

Karten mit mikroklimatischen Parametern und PET-Index

Karten mit einer Auflösung von 2 m und durchschnittlichen Lufttemperatur- und PET-Werten um 16:00 Uhr für jedes Szenario, in Mannshöhe (1,8).

Karten mit Temperaturunterschieden der Luft und PET zwischen der bestehenden Situation und jedem Szenario.

EINGABEDATEN

SIMULATIONEN

VISUALISIERUNG

SWMM

GEOMETRIE

Größe des Einzugsgebiets, Prozentsätze der durchlässigen und undurchlässigen Fläche sowie Abflusskoeffizient.

NIEDERSCHLAG-INPUT

Intensität, Dauer und Häufigkeit

ERGEBNISSE

Abflussvolumen, Versickerung und Beitrag der Maßnahmen.

Hydrogramm (Durchflussmenge/Zeit)

Bewertung der hydrologischen Verluste und der Rückhalte-/Speicherkapazität der verschiedenen Techniken der nachhaltigen Stadtentwässerung

EINGABEDATEN

SIMULATIONEN

VISUALISIERUNG

B.V.F.

AUßENFLÄCHEN

Art der Oberflächenmaterialien, eventuelle Rückgewinnung und Bewirtschaftung von Regenwasser

BÄUME UND DACHGARTEN

Angabe der verschiedenen Baumarten

ABFLUSSKOEFF. ψ UND ÄQUIVALENTE FLÄCHEN BAUMBESTAND

Wirksamkeit von Flächen und Baumbestand bei der Verringerung des Abflusses

B.V.F. FORMEL

Anwendung der Formel

VERGLEICH DER ERGEBNISSE

Zwischen der bestehenden Situation und dem einzelnen Projektszenario

ÜBERPRÜFUNG DER MINDESTANFORDERUNGEN

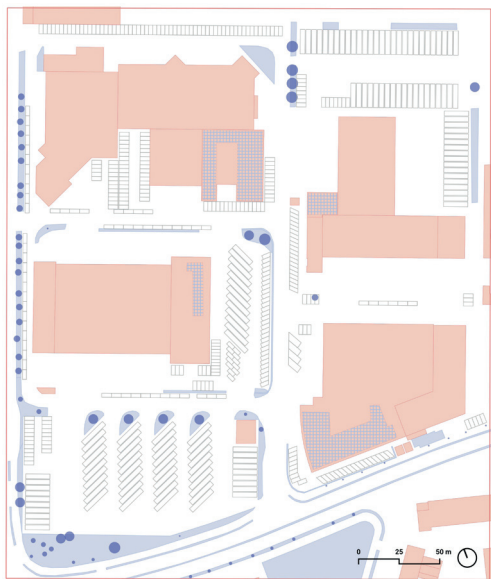
Basierend auf der Art des betrachteten Stadtgebiets

EINGABEDATEN

SIMULATIONEN

VERGLEICH

Versuchsfläche | Bozen Süd

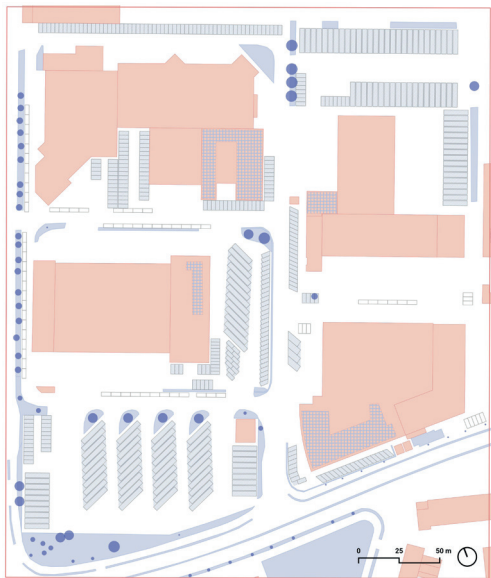


Bestehende Situation

- ▶ Fläche: 105.000m²
- ▶ B.V.F.: 0.84

Legende

- Gebäude
- Begrünte Dachflächen
- Grünflächen
- Drainagepflaster
- Baumbestand
- Kompakte begrünte Fassade
- Spärlich begrünte Fassade



Szenario S1 | B.V.F.: 1.15

Ersatz der asphaltierten Flächen durch drainierende Bodenbeläge auf den Parkplätzen



Szenario S2 | B.V.F.:1.77

Vergrößerung der Grünflächen und Anpflanzung von Bäumen zur Beschattung

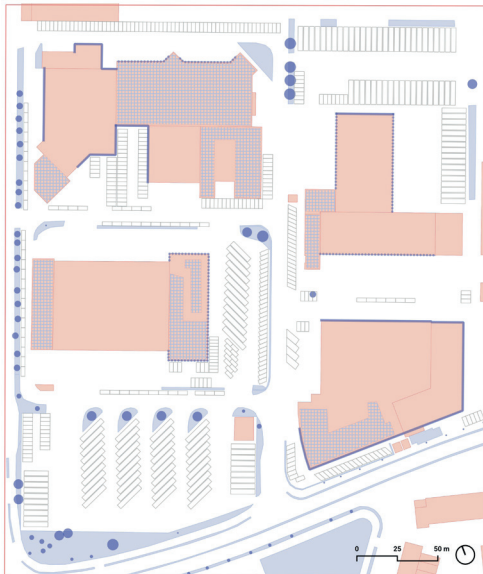
Für jeden Versuchsbereich wurden verschiedene Maßnahmenkonzepte erstellt, die nach Art der Maßnahme gegliedert und zu einem Gesamtkonzept zusammengefasst wurden.

In **Strategie 1** wird ausgehend von der aktuellen Konfiguration vorgeschlagen, den Asphaltbelag durch einen **drainierenden Belag** zu ersetzen, der auf die vorhandenen Parkplätze beschränkt ist. Im konkreten Fall wird die Verwendung von begrünten Betonrosten vorgeschlagen.

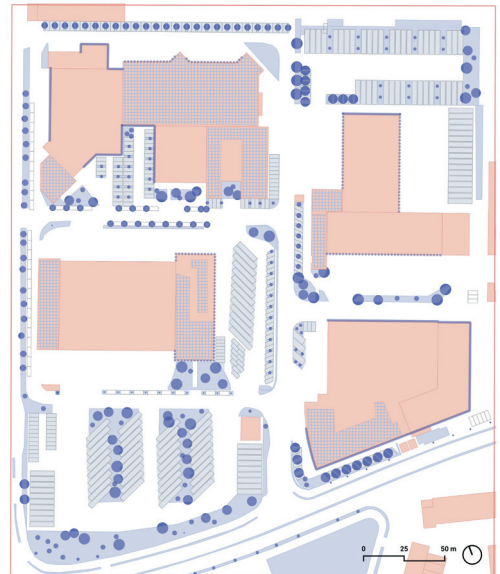
Strategie 2 schlägt in Anlehnung an die erste Strategie eine Maßnahme für die Grünflächen vor, bei der die bestehenden Flächen erweitert und Filterstreifen mit Bäumen zwischen den Parkplätzen angelegt werden. Im Rahmen dieser Strategie werden Bäume gepflanzt, um schattige Bereiche in der Nähe der Gebäudeeingänge zu schaffen und Schatten auf die Parkplätze zu werfen.

Strategie 3 sieht vor, die **Grünflächen** auf den Dächern zu vergrößern, wobei die Photovoltaikmodule auf dem Dach belassen werden, und führt die Lösung der begrünten Fassaden ein. **Begrünte Fassaden** werden vor allem für blinde Fassaden vorgeschlagen.

Strategie 4 schließlich stellt die **Kombination** der drei vorangegangenen Strategien als Gesamtszenario dar.



Szenario S3 | B.V.F.: 0.96
Implementierung von Dachbegrünungen und Einbau
von begrünten Fassaden



Szenario S4 | B.V.F.: 1.89
Kombination der vorherigen Szenarien

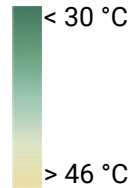
Versuchsfläche | Bozen Süd | ENVI-met Lufttemperaturänderung



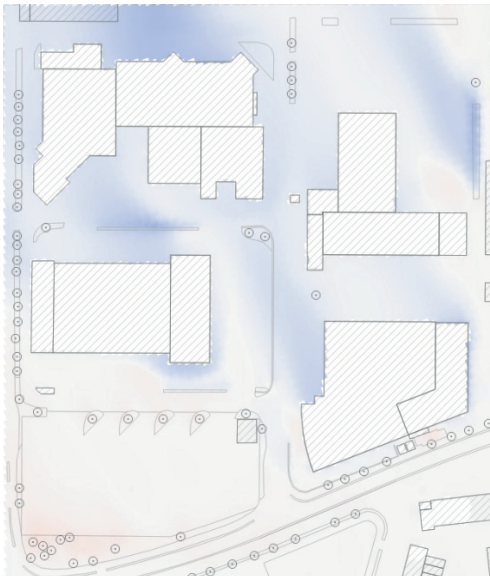
Bestehende Situation

- Lufttemperatur (°C)
h. 1,8m
H:16:00

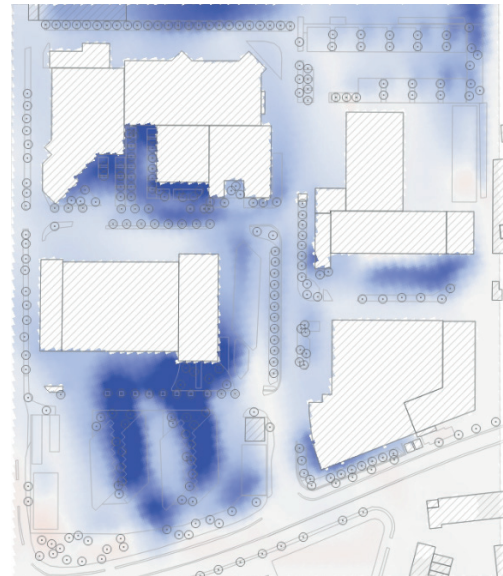
Legende



- B.V.F.: 0.84
- Durchschnittliche Lufttemperatur: 42.2°C

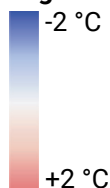


Szenario S1 | B.V.F.: 1.15
Durchschnittstemperatur des Gebiets: 41.9°C



Szenario S2 | B.V.F.: 1.77
Durchschnittstemperatur des Gebiets: 41.3°C

Legende



Unterschied
Lufttemperatur (°C)

h. 1,8m

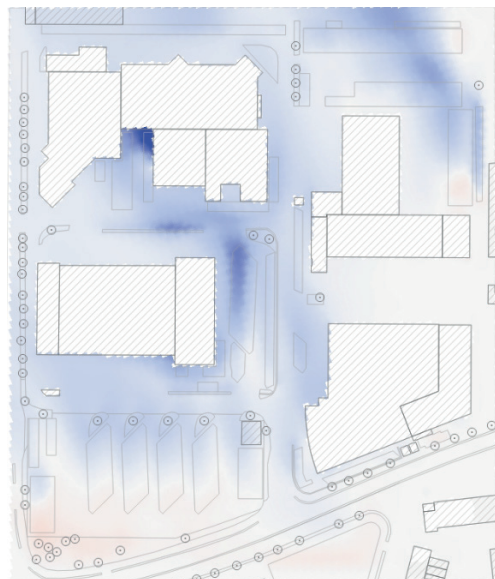
H:16:00

Die Differenz wird
berechnet als die
Lufttemperaturwerte
der bestehenden
Situation abzüglich
derjenigen des
Szenarios



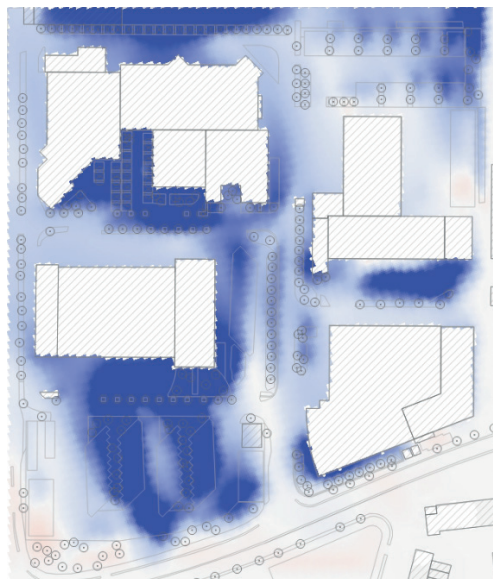
Entsiegelungsszenarien können zur Senkung der Lufttemperatur beitragen, **indem sie den Wärmeinseleffekt verringern und zur Verbesserung des mikroklimatischen Komforts beitragen.**

Die angewandten NbS-Strategien haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Senkung der Lufttemperatur. (S1) sieht die Verwendung von drainierenden Oberflächen vor, die dazu beitragen, die Lufttemperatur um durchschnittlich 0,3 °C zu senken. (S2) sieht die Anpflanzung von Bäumen (im Alter von 10 Jahren) unterschiedlicher Größe vor und trägt zur Verbesserung der Lufttemperatur um 0,9 °C bei. Die lokalen Auswirkungen der Anpflanzung von Bäumen können zu einer Senkung der Temperatur in der heißesten Stunde um bis zu 2,5 °C beitragen. Dieser Effekt hängt von der Anzahl der Bäume, ihrer Anordnung, ihrer Art und ihrem Alter ab. (S3) mit begrünten Dächern und Fassaden senkt die Lufttemperatur um durchschnittlich 0,2 °C. Das Szenario, das eine Kombination der vorgenannten Lösungen vorsieht, führt zu einer Abkühlung der Lufttemperatur um durchschnittlich 1,0 °C. Es ist zu beachten, dass sich die angegebene mikroklimatische Simulation auf einen extrem heißen Tag und die heißeste Stunde des Tages bezieht.



Szenario S3 | B.V.F.: 0.96

Durchschnittstemperatur des Gebiets: 42.0°C



Szenario S4 | B.V.F.: 1.89

Durchschnittstemperatur des Gebiets: 41.2°C

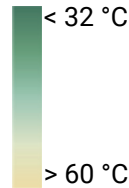
Versuchsfläche | Bozen Süd | ENVI-met Komfortindex (PET)



Bestehende Situation

- ▶ PET (°C)
- h. 1,8m
- H:16:00

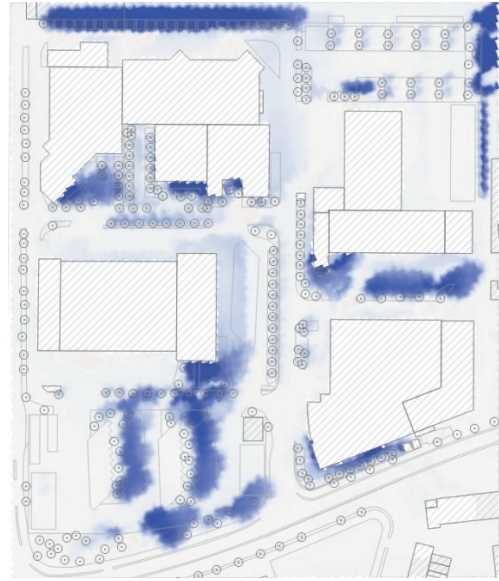
Legende



- ▶ B.V.F.: 0.84
- ▶ Durchschnittlich empfundene Temperatur: 54.3°C

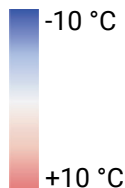


Szenario S1 | B.V.F.: 1.15
Durchschnittlich empfundene Temperatur: 54.2°C



Szenario S2 | B.V.F.: 1.77
Durchschnittlich empfundene Temperatur: 52.6°C

Legende



PET-Unterschied
(°C)

h. 1,8m

H:16:00

Die Differenz wird
berechnet als die PET-
Werte der bestehenden
Situation abzüglich
derjenigen des
Szenarios.

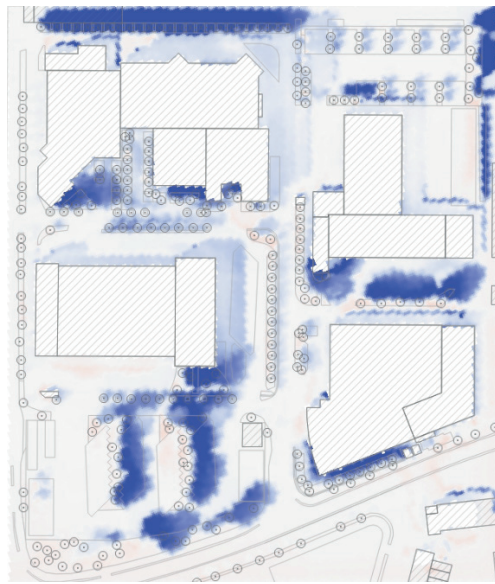


Die Entsiegelungsszenarien sollten eine Kombination verschiedener Lösungen vorsehen, darunter bodenbasierte Maßnahmen, Baumpflanzungen und begrünte Gebäudehüllen. Dies hat einen starken Einfluss **auf die lokale Wärmebelastung**, wie die Untersuchung des lokalen Mikroklimas zeigt. Im Szenario (S1) werden ausschließlich versickerungsfähige Oberflächen eingesetzt, die nur einen geringen Effekt haben, indem sie Albedo und Evapotranspiration verbessern und die gefühlte Temperatur um 0,1 °C senken. Im Szenario (S2), mit der Pflanzung von Bäumen (10 Jahre alt, verschiedene Größen), ist die gefühlte Temperatur im Durchschnitt 1,7 °C niedriger als im Ausgangszustand. Dieser Kühleffekt erreicht in einigen Bereichen bis zu 10 °C und kompensiert damit die Aufheizung durch asphaltierte Flächen. Das Szenario (S3), mit begrünten Dächern und Fassaden, reduziert die gefühlte Temperatur im Durchschnitt um 0,1 °C, mit lokal wahrnehmbaren, jedoch in Augenhöhe geringen Effekten. Das kombinierte Szenario, das die vorherigen Lösungen integriert, führt zu einer durchschnittlichen Verbesserung der gefühlten Temperatur um 1,8 °C. Auch hier können lokale Abkühlungseffekte bis zu 10 °C erreichen. Trotz der beobachteten Verbesserungen bleibt das gesamte Gebiet unter starker thermischer Belastung. Es ist jedoch zu beachten, dass die mikroklimatische Simulation sich auf einen extrem heißen Tag und auf die heißeste Tagesstunde bezieht.



Szenario S3 | B.V.F.: 0.96

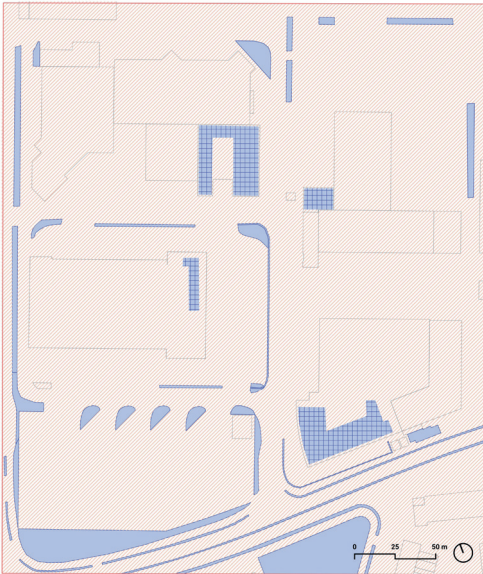
Durchschnittlich empfundene Temperatur: 54.2°C



Szenario S4 | B.V.F.: 1.89

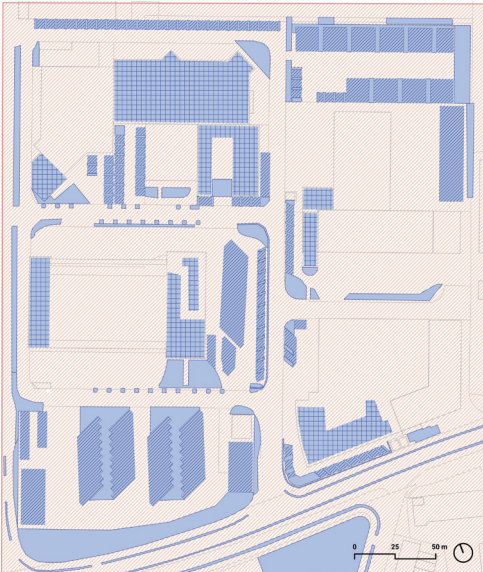
Durchschnittlich empfundene Temperatur: 52.5°C

Versuchsfläche | Bozen Süd | SWMM



Bestehende Situation

- ▶ Gesamtfläche: 105.000m²
Bebaute Fläche: 45%
- ▶ Durchlässige Flächen: 7%
Undurchlässige Gesamtfläche: 93%
LID Fläche Gründächer: 3%
- ▶ B.V.F.: 0.84



Szenario S4

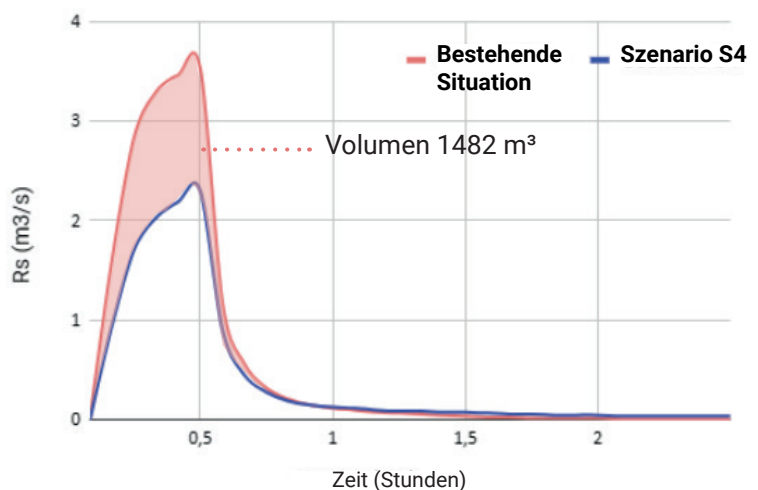
- ▶ Durchlässige Flächen: 11%
Undurchlässige Gesamtfläche: 89%
LID Fläche Gründächer: 8%
LID Drainagepflaster: 11%
- ▶ B.V.F.: 1.89

Legende

- Undurchlässige Fläche
- Grünfläche
- Drainagepflaster
- Gründächer

Mit Hilfe der Software SWMM (Storm Water Management Model, US-Environmental Protection Agency) kann die hydrologische Reaktion eines städtischen Gebiets auf meteorologische Ereignisse analysiert werden. Anhand eines Zufluss-Abfluss-Modells ermöglicht die Software die Quantifizierung des Anteils der Niederschläge, der zum **Oberflächenabfluss** beiträgt, sowie der **Verluste durch Versickerung**. Um den Oberflächenabfluss zu reduzieren und die Fähigkeit zur Bewältigung von Niederschlägen vor Ort zu verbessern, wurden im Versuchsgebiet nachhaltige Lösungen für die städtische Entwässerung (LID, Low Impact Development) umgesetzt, darunter: Gründächer, Entwässerungsgräben, entwässernde Pflasterungen und begrünte Beete. Der Vergleich zwischen der bestehenden Situation und dem Szenario, das die Umsetzung naturbasierter Lösungen vorsieht, hat gezeigt, dass bei einem meteorologischen Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 5 Jahren und einer Dauer von 30 Minuten (Niederschlagsintensität von 40.731 mm/h) Gründächer, Entwässerungsgräben, dränierende Pflasterungen und begrünte Beete in der Lage sind, die **Spitzenabflussmenge** um etwa 23 % zu reduzieren und vorübergehend ein Wasservolumen von 1482 m³ zu laminieren, wodurch dessen **Ableitung in das Entwässerungsnetz reduziert und verzögert wird**.

Vergleichendes
Hydrogramm der
Simulationen



Zusammenfassung | KPI

Die anhand von Entsiegelungsszenarien entwickelten Simulationen zeigen positive Auswirkungen auf das lokale Mikroklima, insbesondere dank der Verwendung von begrünten Dächern, durchlässigen Bodenbelägen und Baumbepflanzungen. Diese Lösungen führen zu einer **Senkung der Oberflächentemperaturen, mildern den städtischen Wärmeinseleffekt** und verbessern den mikroklimatischen Komfort in Freiflächen. Darüber hinaus zeigt sich die Notwendigkeit, in der Planungsphase die Beziehung zwischen **Oberflächenmaterialien und Albedo** zu vertiefen, um die Wirksamkeit der Maßnahmen zu optimieren. Die Ergebnisse bestätigen die **Bedeutung eines integrierten Planungsansatzes**, der auf Klimaresilienz und nachhaltige Regeneration des städtischen Raums ausgerichtet ist.





Anfälligkeit und Risiko

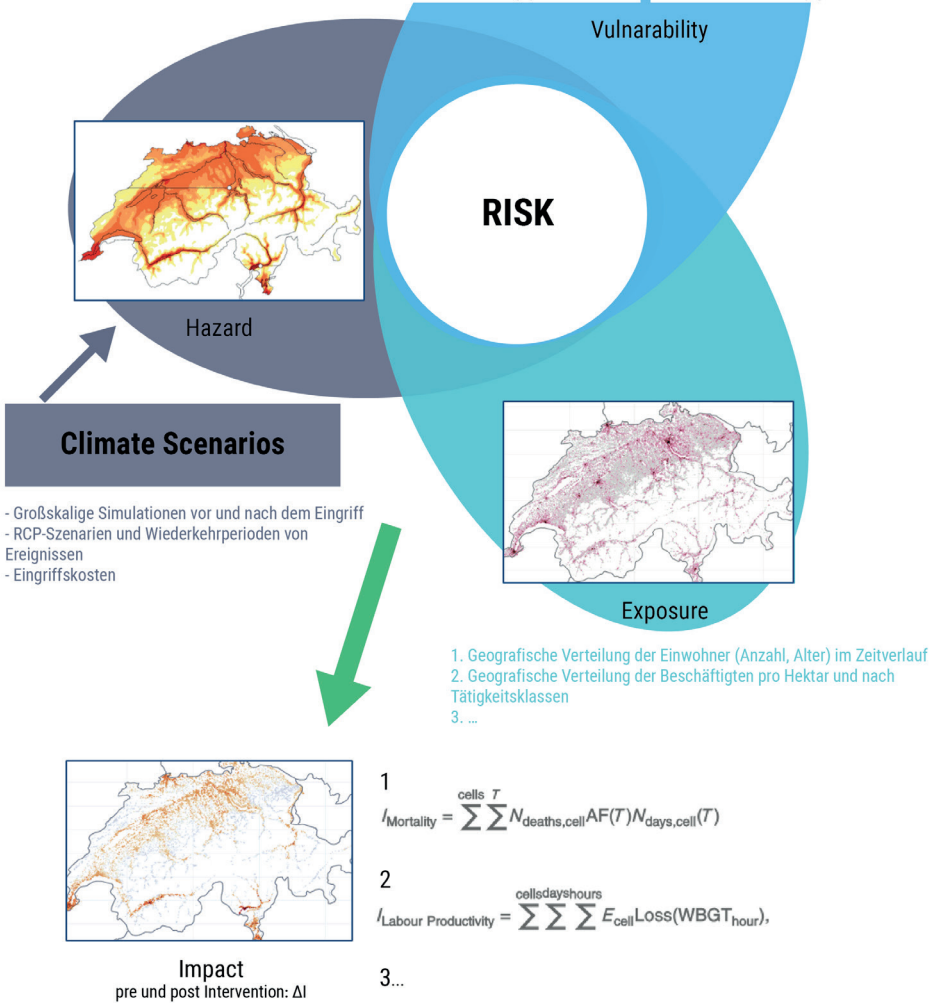
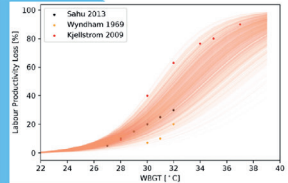
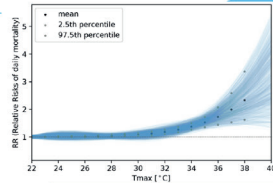
Die Analyse der Anfälligkeit und des Risikos in Bezug auf das Mikroklima und hydroklimatische Ereignisse ermöglicht es, die potenziellen Auswirkungen von Hitzewellen, Dürren und Überschwemmungen auf Gesellschaft und Wirtschaft zu quantifizieren, indem drei grundlegende Elemente integriert werden: **Klimagefahr, Exposition und Anfälligkeit.**

Die Gefahr wird anhand hochauflösender Klima- und Hydrologieszenarien rekonstruiert: extreme Temperaturen, thermische Stressindizes, intensive Niederschläge oder Wasserdefizite (z. B. reduzierte Flussdurchflussmengen). Die Exposition wird durch Bevölkerung, Infrastruktur, wirtschaftliche Aktivitäten und sensible Sektoren (Gesundheit, Arbeit, Landwirtschaft, Energie, Verkehr) dargestellt.

Die Anfälligkeit wird durch Wirkungsfunktionen ausgedrückt, die die Intensität des Ereignisses mit den zu erwartenden Schäden in Verbindung bringen: Sterblichkeit und Produktivitätsrückgang aufgrund von Hitze; landwirtschaftliche Verluste, Wasser- und Energieausfälle, Schäden an der Infrastruktur und der Flussschifffahrt aufgrund von Dürren oder Überschwemmungen. Durch die Kombination dieser drei Komponenten lassen sich Risikoindikatoren sowohl für aktuelle als auch für zukünftige Bedingungen abschätzen, wobei zwischen verschiedenen Szenarien der globalen Erwärmung unterschieden wird. Durch Wahrscheinlichkeitsanalysen werden die Unsicherheiten im Zusammenhang mit Klimamodellen und sozioökonomischen Daten ausdrücklich berücksichtigt.

Das Ergebnis ist eine **räumlich detaillierte Kartierung der Auswirkungen, die die am stärksten gefährdeten Gebiete und Sektoren hervorhebt**: hitzeempfindliche Stadtteile, landwirtschaftliche Gebiete, die Wasserstress ausgesetzt sind, Gebiete, die von Überschwemmungen oder Bodensenkungen bedroht sind. Dieses Wissen bildet die Grundlage für die Bewertung der Kosten der Untätigkeit und die Planung von Anpassungsmaßnahmen, vom Wassermanagement über den Katastrophenschutz bis hin zur resilienten Stadt- und Infrastrukturplanung.

1. Zusammenhang zwischen Mortalität und Gefährdungsindikatoren (hazard)
2. Arbeitsproduktivität, WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) innerhalb und außerhalb von Gebäuden (energetische Simulationen)
3. ...



IPCC risk framework

Bewertungsmatrix

Die Studie präsentiert eine **Bewertungsmatrix** als Syntheseinstrument zur Messbarkeit von Maßnahmen zur Entsiegelung von Böden. Die Matrix setzt die in den Versuchsgebieten getesteten NbS-Maßnahmen in Beziehung zu den fünf Themenbereichen und den entsprechenden KPIs. Für jede Maßnahme wird eine niedrige, mittlere oder hohe Bewertung der Wirksamkeit in Bezug auf die KPIs angeboten, die auf wissenschaftlicher, operativer und planerischer Literatur basiert und durch die Ergebnisse der Simulationen in den Versuchsgebieten ergänzt wird. Die Matrix soll als **Planungsinstrument** dienen, das bereits in der frühen Phase der **Projektentwicklung Orientierung** bietet.

	WASSER		MIKROKLIMA	
	Verringerung des Oberflächenabflusses	Wasserrückhalt	Senkung der Temperaturen	Erhöhung des mikroklimatischen Komforts
Durchlässige Bodenbeläge	● ● ●	● ● ●	●	●
Regengärten	● ● ●	● ●	● ● ●	○
Regenwassernutzung	● ● ●	● ● ●	○	○
Unterirdische Versickerungssysteme	● ●	● ● ●	●	○
Oberflächenfiltersysteme	●	●	● ●	○
Taschengärten	● ●	● ● ●	○	○
Anpflanzung von Bäumen und Sträuchern	● ● ●	○	●	● ●
Gründächer	● ●	● ●	●	○
Grüne Wände	●	●	● ●	● ●
Grüne Pergolen	●	●	● ● ●	○
Stadtgärten	●	● ● ●	● ● ●	○
Ökologische Korridore	● ●	● ●	○	○

Legende

- ● ● Hohe Wirksamkeit
- ● Mittlere Wirksamkeit
- Geringe Wirksamkeit
- ● Durch Forschungssimulationen validierte Daten
- Keine Daten

BIODIVERSITÄT		UMWELTVERSCH- MUTZUNG		QUALITÄT	
Vielfalt der Pflanzenarten	Vielfalt der städtischen Tierarten	Luftqualität	CO2-Speicherung	Planungsqualität	Wohlbefinden
●	○	○	○	●	●
● ●	● ● ●	○	○	● ●	○
●	○	○	○	●	○
●	● ●	● ● ●	○	● ●	○
● ●	○	○	○	● ●	○
○	● ● ●	● ●	○	● ● ●	○
● ●	● ●	● ● ●	○	● ● ●	● ● ●
● ●	●	● ●	○	● ●	○
○	● ●	● ● ●	○	● ● ●	○
○	● ● ●	● ●	○	● ● ●	● ●
○	● ● ●	● ●	○	○	○
○	● ●	● ● ●	○	● ●	○

