

Wirkungen der grünen Stadt

Studie zur Abbildung des aktuellen Wissensstands
im Bereich städtischer Begrünungsmaßnahmen

R. Stangl, A. Medl,
B. Scharf, U. Pitha

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

12/2019

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Wirkungen der grünen Stadt

Studie zur Abbildung des aktuellen Wissensstands
im Bereich städtischer Begrünungsmaßnahmen

Univ. Prof. DI Dr. Rosemarie Stangl, DI Dr. Alexandra Medl,
DI Bernhard Scharf, Priv.Do. Ulrike Pitha
Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
Universität für Bodenkultur, Wien

Wien, Mai 2018

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMVIT publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung	9
2. Abstract	10
3. Executive Summary	12
4. Ausgangslage	17
5. Methodik	18
6. Ergebnisse.....	19
6.1. Energieeinsparung durch Beschattung von Stadtbäumen.....	19
6.2. Kühlleistung durch Parkanlagen.....	21
6.3. Kühlleistung und Verringerung des Energieverbrauchs durch Gründächer.....	23
6.4. Reduktion der Oberflächentemperatur und Verringerung des Energieverbrauchs durch Vertikalbegrünungen.....	25
6.5. Thermischer Komfort durch Grünstrukturen	27
7. Diskussion international publizierter Wirkungsberichte.....	29
7.1. Forschungsfrage 1: Messbare Wirkungen durch Begrünungsmaßnahmen im städtischen Bereich.....	29
7.2. Forschungsfrage 2: Parameter zur Beschreibung der Wirkungen von Begrünungen.....	29
7.2.1. Stadtbäume	30
7.2.2. Grünflächen	31
7.2.3. Gründächer und Vertikalbegrünungen	32
7.3. Forschungsfrage 3: Kriterien zur Beschreibung der Wirkung von Vorhaben und Maßnahmen	32
8. Aktuelle Studien in Österreich.....	35
9. Schlussfolgerungen und Orientierungshilfe	41
9.1. Schlussfolgerungen.....	41
9.2. Orientierungshilfe.....	43
10. Die wichtigsten Erkenntnisse auf einem Blick.....	47
11. Verzeichnisse	48
11.1. Tabellenverzeichnis	48
11.2. Literaturverzeichnis.....	49
12. Anhang.....	61

1. Kurzfassung

Die Studie ‚Wirkungen der grünen Stadt‘ bietet einen Überblick über den Stand des Wissens und internationale wissenschaftliche Erkenntnisse zur Wirkung von städtischen Grünstrukturen mit Fokus auf Temperaturregulation und Verbesserung des urbanen Mikroklimas. Gesundheitsbezogene Wirkungen im Bereich Feinstaubbindung, Lärmreduktion, Luftqualität (drinnen und draussen) oder Windmuster sind nicht Gegenstand dieser Analyse. Die Studie soll als Orientierungshilfe und Basisinformation für Umsetzungsprojekte sowie für mögliche Evaluierungs- und Monitoring-Konzepte dienen.

Folgende Forschungsfragen wurden im Rahmen der Studie bearbeitet und beantwortet.

- F1: Welche konkreten und messbaren Wirkungen im städtischen Bereich sind auf Begrünungen und Begrünungsmaßnahmen zurückzuführen?
- F2: Welche Parameter werden in zurzeit verfügbaren Studien und Arbeiten abgebildet und eignen sich, um Wirkungen einer Begrünung zu beschreiben?
- F3: Welche Kriterien können herangezogen werden, um die Wirkungen von Vorhaben und Maßnahmen zu beschreiben oder eines bereits realisierten Projektes zu messen?

Die Studie baut auf einer umfassenden Literaturanalyse von wissenschaftlichen Studien und Pilotprojekten über die Wirkungen städtischer Begrünung und publizierten Messdaten auf. Zu diesem Zweck wurde eine breite Palette an Quellen herangezogen: wissenschaftliche Publikationen (mit und ohne Peer Review), Konferenzbeiträge, Fachbücher, Dissertationen, Normen, Leitlinien, Berichte und Handbücher. Gesucht wurde unter Anwendung der Datenbanken ScienceDirect, Google Scholar, Springer Link.

Folgende Erkenntnisse konnten aus der Analyse gewonnen werden:

- Die wissenschaftliche Beschreibung und Einschätzung der Wirkungen von grünen Infrastrukturen im urbanen Umfeld sind ein junges Forschungsfeld.
- In der jüngeren Zeit sind die Publikationen zur Quantifizierung der Wirkungen und Leistung von grünen Infrastrukturen massiv angestiegen. Besondere Schwerpunkte bilden die Kategorien Stadtbäume und Parkanlagen, Gründächer und Vertikalbegrünungen.
- Wichtige messbare Wirkungen liegen in den Kühleffekten und damit verbundener Energieeinsparung. Beschattung durch hohe Kronendichte, ausdrückbar durch den LAI (Leaf Area Index), sowie hohe Transpiration sind die wesentlichen dahinterliegenden Funktionen von grünen Strukturen.
- Das Spektrum an erhobenen Parametern oder Parametergruppen sowie der eingesetzten Messtechniken ist sehr breit.
- Ungenaue Definitionen oder Angaben über die zugrundeliegenden Daten und Erhebungs-Setups sowie starke Kontextabhängigkeit führen zu Schwierigkeiten in der Vergleichbarkeit der publizierten Daten und Wertebereiche.
- Erste Ansätze prognostischer Planungswerkzeuge zur Einschätzung ganzheitlicher Wirkungen von grünen Infrastrukturen liegen bereits vor. Sie ermöglichen Vergleichssimulationen unterschiedlicher Begrünungsmaßnahmen.

Um eine bessere Vergleichbarkeit von Messergebnissen zu erzielen, müssten zu erhebende Parameter oder Messmethoden in Studien vorgegeben werden. In Forschungsprojekten würde dies allerdings den Innovationsgehalt bzw. das Innovationspotenzial enorm einschränken. Unabhängige Monitoring-Studien an bereits etablierten Grünstrukturen (etwa Stadtbäume, Parkanlagen, Gründächer, Vertikalbegrünungen etc.) würden eine gesicherte Vergleichbarkeit und Evaluierung von Umsetzungsprojekten erlauben. Mit Hilfe von Langzeitstudien an ausgewählten Objekten kann das dynamische und veränderliche Wirkungsgefüge aus Pflanzen und Stadtklima gesichert abgebildet und evaluiert werden. Einblicke in periodisch auftretende Effekte, Treiber sowie auch Hemmer und Störfaktoren können identifiziert werden.

2. Abstract

The study ‚Effects of Green Cities‘ mirrors the current status of scientific knowledge on urban green structures and regulating effects. Health-related effects such as noise reduction, absorption of particulate matter or indoor or outdoor air quality improvement were not considered. The study serves as an orientation and basis information for implementation projects and potential evaluation and monitoring concepts.

The following research questions (R1-R3) are addressed:

- R1: Which concrete and measurable effects in cities can be traced back to green areas and greening measurements in urban areas?
- R2: Which parameters have been examined and published in recent studies and are suitable to describe the effects of greening measurements?
- R3: Which criteria can be used to describe and evaluate the effects of measurements or already completed projects?

The study builds on an extensive literary analysis of scientific studies and projects on effects of urban greening measurements and published data. For this purpose, a variety of sources was used including scientific publications (with and without peer-review), proceedings, specialist books, dissertations, standards, guidelines, reports and manuals. The data bases ScienceDirect, Google Scholar and Springer Link were used as research base.

Main study findings:

- The scientific description and the estimation of green infrastructure effects in urban areas are only newly established and published in research studies.
- Publications on quantification of effects of green infrastructures have greatly risen in the recent years. Specific emphasis has been put on urban trees, parks, green roofs and vertical greening systems.
- The most important measurable effects are cooling effects and reduced energy consumption. Shading by high crown density, expressed by LAI (Leaf Area Index), and high transpiration rates are the essential functions of green structures.
- The range of recorded parameters and used measurement technology is broad.

- Vague definitions on data and measuring systems as well as strong context dependency lead to difficulties in the comparability of published data and value ranges.
- Initial approaches on prognostic planning tools for the assessment of holistic effects of green structures have been elaborated. Thus, simulation of various greening measurements is feasible.

Clear principles on parameters to be explored, and on the methods to be applied, could be an option to ensure better comparability of results but would strongly restrict the innovative content and potential of research projects. However, independent monitoring studies on established green structures (e.g. urban trees, parks, green roofs, facades etc.) allow for evaluating the effects of implementation projects. Long-term studies and permanent monitoring of selected objects would provide insights into underlying factors and the dynamics of the complex plant and microclimatic interlinkages of green infrastructure in urban environments. Commonly encountered effects, drivers, inhibitors and disruptive factors would be identified.

3. Executive Summary

Die Studie ‚Wirkungen der grünen Stadt‘ bietet einen Überblick über den wissenschaftlichen Kenntnisstand zur Wirkung von städtischen Grünstrukturen, wobei die wissenschaftliche Praxis zur Messung und Wirkungsbeschreibung von Temperaturregulation und Verbesserung des urbanen Mikroklimas im Fokus steht. Gesundheitsbezogene Wirkungen im Bereich Feinstaubbindung, Lärmreduktion, Luftqualität (drinnen und draussen) oder Windmuster sind nicht Gegenstand dieser Analyse. Die Studie soll als Orientierungshilfe und Basisinformation für Umsetzungsprojekte sowie für mögliche Evaluierungs- und Monitoring-Konzepte dienen.

Folgende Forschungsfragen wurden in der Studie bearbeitet und beantwortet.

- F1: Welche konkreten und messbaren Wirkungen im städtischen Bereich sind auf Begrünungen und Begrünungsmaßnahmen zurückzuführen?
- F2: Welche Parameter werden in zurzeit verfügbaren Studien und Arbeiten abgebildet und eignen sich, um Wirkungen einer Begrünung zu beschreiben?
- F3: Welche Kriterien können herangezogen werden, um die Wirkungen von Vorhaben und Maßnahmen zu beschreiben oder eines bereits realisierten Projektes zu messen?

METHODIK

In der Fachliteratur werden städtische Grünstrukturen folgendermaßen kategorisiert: 1) Stadtbäume, 2) Grünflächen, 3) Gründächer und 4) Vertikalbegrünungssysteme (Koc et al., 2017). Zur besseren Übersicht wird auch die vorliegende Studie nach diesen Kategorien strukturiert.

Die Studie baut auf einer umfassenden Literaturrecherche (national und international) und -analyse von wissenschaftlichen Publikationen und Pilotprojekten über die Wirkungen städtischer Begrünung und darin publizierten Messdaten auf. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Kategorien an Literaturquellen herangezogen: Fachpublikationen (mit und ohne Peer Review), Konferenzbeiträge, Fachbücher, Dissertationen, Normen, Leitlinien, Berichte und Handbücher. Gesucht wurde unter Anwendung der Datenbanken ScienceDirect, Google Scholar, Springer Link.

Der Studie liegen 185 Quellen zugrunde. Die Analyse berücksichtigte 130 Scientific Papers (37 davon zur detaillierten Parameteranalyse) und 30 weitere wissenschaftliche Fachpublikationen.

Am häufigsten publiziert wurde in den Kategorien Stadtbäume, Grünflächen, Gründächer und Vertikalbegrünungssysteme zu den Themen Energieeinsparung und Kühlleistung.

ERGEBNISSE

Im Zuge der Analyse wurde besonderes Augenmerk auf die Bandbreite der erhobenen Parameter, die präsentierten Werte(bereiche) und verwendeten Messinstrumente gelegt. Neben den gängigen meteorologischen Parametern wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Solarstrahlung, etc. (detaillierte Darstellung siehe Tabelle 1) haben sich zusätzlich die in der Tabelle 2 zusammengefassten Parameter als besonders relevant im Hinblick auf städtische Grünstrukturen herauskristallisiert.

Tabelle 1: Einordnung der am häufigsten publizierten Parameter in Ranglisten und nach Themenkategorien auf Basis von 159 berücksichtigten Studien (Scientific Papers mit und ohne Review, Veröffentlichungen in Konferenz- und Tagungsbänden, Projektberichte, Dissertationen).

Abk.	Name	Stadtbäume	Parkanlagen	Gründächer	Vertikalbegrünungen
Meteorologische_Parameter					
LT	Lufttemperatur	1	1	1	1
LF	Luftfeuchtigkeit	2	2	1	2
SR	Solarstrahlung	5	4	1	3
WG/WR	Windgeschwindigkeit/ Windrichtung	3	3	1	4
N	Niederschlag	4	4	4	5
OT	Oberflächentemperatur	4	4	2	-
WT	Wandtemperatur	4	-	4	1
-	Albedo	-	4	3	7
BT/BF	Bodentemperatur/ Bodenfeuchtigkeit	-	4	3	6

Die Literatur zeigt, dass die wichtigsten messbaren Wirkungen von Begrünungsmethoden im städtischen Bereich (s. F1) die durch die Vegetation zu erreichenden Kühleffekte sind. Diese werden in den verschiedenen Studien durch die Erhebung unterschiedlicher Daten quantifiziert und können durch einfache Messungen (wie etwa Lufttemperatur) oder z.B. durch Kalkulation des thermischen Komforts, Urban Heat oder Park Cool Island-Effekten etc. dargestellt werden. Als wichtige, den Kühleffekt beeinflussende Größe hat sich insbesondere im Zusammenhang mit dem Thema Energieeinsparung der Leaf Area Index (LAI) herauskristallisiert. Die publizierten Arbeiten haben deutlich gezeigt, dass Bäume mit hoher Kronendichte und Dachbegrünungen mit flächendeckender Vegetation durch eine optimale Beschattungsleistung das größte Energieeinsparungspotenzial aufweisen. Aus mikroklimatischer Sicht ist die Beschattung von Verkehrs- und Gebäudeoberflächen insbesondere auch der Fassaden durch Bauwerksbegrünungen von großer Bedeutung (Scharf et al. 2012, Enzi et al. 2013).

In den Studien ist eine kaum überschaubare Vielfalt an untersuchten Parametern zur Quantifizierung der Wirkung von Begrünungen (s. F2) abgebildet. Zugeteilt den Typologien ‚Stadtbäume‘, ‚Grünflächen‘, ‚Gründächer‘ und ‚Vertikalbegrünung‘ wurden alle zur Umsetzung der berücksichtigten und analysierten Studien beitragenden Parameter dargestellt. Einige Daten wurden den publizierenden AutorInnen extern zur Verfügung gestellt (z.B. aus bestehenden Datenbanken, dem nationalen Wetterdienst, Behörden, etc.), viele wurden durch den Einsatz spezieller Mess-Setups (z.B. Klimastation inkl. Sensoren, Fotografie, Satellitenbilder, etc.) von den AutorInnen selbst erhoben. In einigen Studien fand im Anschluss keine direkte Auswertung oder Gegenüberstellung der gemessenen Parameter statt, meistens wurden sie zur Kalkulation oder Simulation bestimmter Wirkparameter (z.B. Energieeinsparung, Park Cool Island, etc.) und Szenarien weiterverarbeitet.

Die Literaturanalyse zu ‚Wirkungen der grünen Stadt‘ bestätigt die Rolle grüner Infrastrukturen in Stadtgebieten als effektive Maßnahme gegen den Wärmeinseleffekt. Ein besonderer Erkenntnisgewinn liegt in einer hohen Vielfalt an publizierten erhobenen, kalkulierten und simulierten Parametern. Diese Tatsache erschwert eine direkte Vergleichbarkeit der Studien.

Alle untersuchten Studien umfassen eine große Bandbreite an erhobenen Parametern, oft werden diese allerdings nicht genau erklärt, was zu Schwierigkeiten im Verständnis führen kann. Skoulika et al. (2014) beispielsweise verwenden in ihrem Paper sowohl den Begriff ‚Park Cooling Intensity‘ als auch ‚Cool Island Intensity‘, beschreiben aber nicht, wie und ob sich diese beiden Begriffe oder deren Werte voneinander unterscheiden. Generell wird das Kürzel PCI in den untersuchten Studien oft unterschiedlich definiert, in Cao et al. (2010) wird es als ‚Park Cool Island‘, in Vidrih et al. (2013) als ‚Park Cooling Island‘ beschrieben. Ein Vergleich der per se stark Kontext-bezogenen Studien zeigte außerdem ein breites Spektrum an verwendeter Messtechnik, wodurch ein direkter Vergleich von etwa denselben Parametern (z.B. Lufttemperatur, Solarstrahlung, etc.) und Ergebnissen zusätzlich erschwert wird.

Um die Wirkungen von Grünstrukturen in Stadtbereichen doch vergleichen zu können, gibt es Ansätze zur Entwicklung spezieller Planungswerkzeuge, welche die ganzheitlichen Wirkungen grüner Infrastrukturen simulierbar und damit auch direkt vergleichbar machen sollen (s. F3). Ein Beispiel dafür ist das in einigen der untersuchten Studien bereits angewandte ENVI-met. ENVI-met ist ein dreidimensionales prognostisches numerisches Strömungs-Energiebilanzmodell und dient der Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Einbezogen werden dabei Parameter wie Gebäudeoberflächen, Bodenversiegelungsgrad, Bodeneigenschaften, Vegetation und Sonneneinstrahlung. Basierend auf der durch ENVI-met möglichen Mikroklimasimulationen wurde in jüngster Vergangenheit das Greenpass-Planungs- und Zertifizierungstool entwickelt, welches Mikroklimasimulationen mit Raum-Strukturanalysen verbindet und nach standardisierten und transparenten Auswertungsprozessen in Abhängigkeit der Planungsfortschritte in Bezug auf Klimaresilienz, Energieeffizienz, Biodiversität, Windfeld und CO₂, Wasserhaushalt und Kosten für grüne Infrastrukturen bewertbar macht (Scharf, 2018).

Nachfolgend sind die im Rahmen der Studie gewonnenen Erkenntnisse zu den Forschungsfragen zusammengefasst:

	Forschungsfragen	Wirkungen
F1:	Welche konkreten und messbaren Wirkungen im städtischen Bereich sind auf Begrünungen und Begrünungsmaßnahmen zurückzuführen?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Beschattung ✓ Kühlleistung ✓ Energieeinsparung ✓ Thermischer Komfort ✓ Urban Heat Island Urban Cool Island Park Cool Island
		Parameter
F2:	Welche Parameter werden in zurzeit verfügbaren Studien und Arbeiten abgebildet und eignen sich, um Wirkungen einer Begrünung zu beschreiben?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lufttemperatur Luftfeuchte ✓ Beschattung Oberflächentemperatur ✓ Evapotranspiration ✓ LAI LAD LA ✓ PET PMV UTCI MRT <p>Viele der Parameter können nur indirekt erfasst und über andere Messgrößen errechnet werden.</p>

		Kriterien
F3:	Welche Kriterien können herangezogen werden, um die Wirkungen von Vorhaben und Maßnahmen zu beschreiben oder eines bereits realisierten Projektes zu messen?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vergleichbarkeit von Daten und Parametern ✓ Rahmenbedingungen (z.B. Klima, Exposition, Gebäudestrukturen) ✓ Art und Alter der Grünstrukturen (adulte Phase zur Spiegelung der vollen Leistungsfähigkeit) ✓ Dauer des Monitoring-Zeitraums (z.B. Langzeitstudien) ✓ Simulation mit Planungswerkzeugen

Empfehlungen

Eine Vorgabe der in zukünftigen Studien zu erhebenden Parametern bzw. Vordefinition zum Erhebungs-Setup könnte eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleisten, würde allerdings Innovationsgehalt sowie Innovationspotenziale der Forschungsprojekte enorm einschränken. Realistischer erscheint dieser Auftrag auch eher in Monitoring-Studien als in Forschungs- und Entwicklungs- oder Demonstrationsprojekten, in denen Grüne Infrastrukturen erst installiert werden. Empfehlenswert ist eine Umsetzung von Monitoringprojekten an adulten Grünstrukturen (Stadtbäume, Parkanlagen, Gründächer, Vertikalbegrünungen etc.). Die Etablierung neuer Versuchsflächen in Forschungsprojekten nimmt anfänglich geraume Zeit in Anspruch, in der die Leistungsfähigkeit der Grünen Infrastrukturen nicht abgebildet werden können. Daher ist es wichtig, Referenzwerte aus adulten Grünstrukturen zu erheben, um mittel- und langfristige Leistungsspektren abschätzen zu können. Voraussetzung dafür sind einerseits Langzeitstudien an repräsentativen Grünstrukturen und Referenzobjekten als auch selektierte themenspezifische Aufnahmeparameter und -methoden.

Aufträge zu Studien an neuen oder bereits etablierten Grünstrukturen könnten Vorgaben an einfach zu erhebenden wirkungs-relevanten Parametern enthalten. In Orientierung an derzeit in der wissenschaftlichen Literatur abgebildeten Parametern könnten diese folgende, einfach erhebbare Messgrößen zur Beschreibung mikroklimatischer Wirkungen einbeziehen:

- Lufttemperatur | Luftfeuchtigkeit
- Solarstrahlung | Strahlungsbilanz
- Windgeschwindigkeit | Windrichtung
- Niederschlag
- Oberflächen- und/oder Wandtemperatur
- LAI

Referenzen

Cao, X., Onishi, A., Chen, J., Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning* 96, 224–231. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.03.008

Enzi, V; Pitha, U; Scharf, B. (2013): Forschungsprojekt GrünStadtKlima, Endbericht. Verband für Bauwerksbegrünung Österreich, Österr. Forschungsförderungsgesellschaft FFG, 36.

Scharf, B., Pitha, U., Oberarzbacher, S. (2012): Living Walls - more than scenic beauties. [49th IFLA World Congress Landscapes in Transition, Cape Town, SEP 5-7, 2012]. In: IFLA - International Federation of Landscape Architects, Landscapes in Transition: Bioforsk, Reviewed Abstracts Presented at The 3rd European Turfgrass Society Conference Quality Turf and Efficient Utilization of Resources.

Scharf, B. (2018). Coole Städte planen – Mit der ‚Greenpass-Methode‘. In: Neue Landschaft. Fachzeitschrift für Garten-, Landschaft-, Spiel-, und Sportplatzbau. Nr 1, 2018.

Skoulika, F., Santamouris, M., Kolokotsa, D., Boemi, N. (2014). On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece. Landscape and Urban Planning 123, 73– 86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.002>

Vidrih, B., Medved, S. (2013). Multiparametric model of urban park cooling island. Urban Forestry et Urban Greening 12, 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.01.002>

4. Ausgangslage

Durch den stetigen Ausbau an Infrastruktursystemen und dem starken Wachstum von Städten sind urbane Gebiete in den letzten Jahren und Jahrzehnten besonders durch eine kontinuierliche Zunahme versiegelter Oberflächen gekennzeichnet. Dies geht primär zu Lasten von Vegetationsflächen und Grünanlagen mitsamt ihren vielfältigen Funktionen. Durch den damit verbundenen Wegfall von Kühlleistungen durch Beschattung und Evapotranspiration (= Verdunstung von Wasser) führte dies zu messbaren und merkbaren Anstiegen der städtischen Temperaturen. In Kombination mit reflektierter und absorbierter Wärme versiegelter Oberflächen kommt es zur Entstehung von Hot Spots, auch bekannt als ‚Wärmeinseleffekt‘ oder „Urban Heat Island Effect (UHI)“ (Koyama et al., 2013; Hunter et al., 2014). Zu dieser Thematik gibt es bereits unzählige wissenschaftliche Studien, unter anderem jene von Mitterboeck et Korjenic (2017), welche in Wien umgesetzt wurde und eine starke, von Vegetationsflächen ausgehende passive Kühlwirkung auf Gebäude und deren Umgebung bestätigt.

Die Wichtigkeit der Erhaltung und Neuplanung von Grünflächen in Stadtgebieten ist daher unumstritten und wird angesichts des fortschreitenden Klimawandels und der damit einhergehenden Anhäufung von Extremwetterereignissen und Hitzeperioden nicht an Relevanz verlieren. Grünstrukturen in Stadtgebieten werden in der Fachliteratur häufig unter dem Begriff ‚Grüne Infrastruktur‘ (aus dem Engl.: green infrastructure, GI) zusammengefasst. ‚Grüne Infrastruktur‘ ist ein Begriff, der zwar in Fachkreisen immer gebräuchlicher wird, von welchem es bis dato aber keine allgemeingültige Definition gibt (Benedict et McMahon, 2002, Koc et al., 2017). Benedict and McMahon (2002) sprechen von grüner Infrastruktur als zusammenhängendes Netzwerk aus Grünräumen, welches natürliche Ökosystemfunktionen erhält bzw. schützt und diese dem Menschen bereitstellt. Eine von Koc et al. (2017) durchgeführte, systematische Literaturanalyse zeigt, dass grüne Infrastruktur grob in vier verschiedenen Kategorien aufgegliedert werden kann: 1) Stadtbäume, 2) Grünflächen, 3) Gründächer und 4) Vertikalbegrünungssysteme.

Die Erhaltung und Neuplanung von Grünflächen im urbanen Umfeld beschränkten sich mittlerweile nicht mehr nur auf den horizontalen bodennahen Bereich. Vielmehr sind Gebäudeflächen sowohl im gebauten Bestand als auch im Neubau als wichtige Potenzialflächen (vertikal an Fassaden als auch auf Dächern) zur Kompensation zunehmend versiegelter Bodenoberflächen sowie der Funktionsverluste anzuerkennen. Darauf reagieren derzeit viele Stadtverwaltungen und Programme, die Maßnahmen zur Umsetzung von städtischen Grünstrukturen vorantreiben und fördern. Gleichzeitig stellt sich hier die Frage, welche messbaren Wirkungen und Leistungen durch solche Maßnahmen und Strukturen erzielt werden können und insbesondere, ob und wie sie erfasst werden können.

In der Studie „Wirkungen der Grünen Stadt“ wurde detailliert auf die Rolle und Leistung von Grünstrukturen im städtischen Kontext, insbesondere als mögliche Gegenmaßnahme zum städtischen Wärmeinseleffekt eingegangen. Die Einteilung der Grünstrukturen erfolgte dabei nach den oben genannten Kategorien. Im Großteil der untersuchten Studien waren ‚Grünflächen‘ mit ‚Parkanlagen‘ gleichzusetzen. Dementsprechend wurde die Kategorie ‚Grünflächen‘ gleich explizit als ‚Parkanlagen‘ bezeichnet.

Das Ziel der vom BMVIT in Auftrag gegebenen Studie „Wirkungen der Grünen Stadt“ ist die Beantwortung folgender **Forschungsfragen**:

- F1: Welche konkreten und messbaren Wirkungen im städtischen Bereich sind auf Begrünungen und Begrünungsmaßnahmen zurückzuführen?
- F2: Welche Parameter werden in zurzeit verfügbaren Studien und Arbeiten abgebildet und eignen sich, um Wirkungen einer Begrünung zu beschreiben?
- F3: Welche Kriterien können herangezogen werden, um die Wirkungen von Vorhaben und Maßnahmen zu beschreiben oder eines bereits realisierten Projektes zu messen?

5. Methodik

Die Studie baut auf einer umfassenden Literaturrecherche (national und international) und -analyse von Publikationen, Studien und Pilotprojekten über die Wirkungen städtischer Begrünung und publizierten Messdaten auf. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Kategorien an Literaturquellen herangezogen: Fachpublikationen (mit und ohne Peer Review), Tagungsberichte, Fachbücher, Dissertationen, Normen, Leitlinien, Berichte und Handbücher. Gesucht wurde unter Anwendung der Datenbanken ScienceDirect, Google Scholar, Springer Link.

Tabelle 2: In der Studie berücksichtigte Literaturquellen

Literaturquellen	
Fachpublikationen mit Peer Review	130
37 davon zur detaillierten Parameteranalyse verwendet	
Fachpublikationen ohne Peer Review	14
Konferenzbeiträge	13
Fachbücher	4
Dissertationen	3
Normen	2
Leitlinien	3
Berichte	12
Handbücher Manuals	4
Gesamt:	185

Die Datenbanksuche brachte hauptsächlich Ergebnisse aus aktueller Forschung im wissenschaftlichen Kontext und spiegelt in etwa die letzten 15 Jahre, weshalb die Suche nach Literatur um Bibliotheksdatenbanken ergänzt und die Studie um populärwissenschaftliche und gänzlich unveröffentlichte Beiträge erweitert wurde. Insgesamt wurden zur Erstellung der vorliegenden Studie 185 Literaturquellen geprüft und herangezogen.

Durch die Recherche wurde ein umfassender Überblick über die am häufigsten untersuchten Themen gewonnen. Diese sind nachfolgend aufgelistet und wurden als Basisstruktur für die weitere inhaltliche Analyse und aufbauende Unterkapitel herangezogen:

- Kapitel 4.1 ‚Stadtbäume‘: Fokus auf Energieeinsparung durch Beschattung
- Kapitel 4.2 ‚Parkanlagen‘: Fokus auf Kühlleistung in Bezug auf das Stadtklima

- Kapitel 4.3 ‚Gründächer‘: Fokus auf Kühlleistung in Bezug auf das Stadtklima sowie begrünte Gebäude und Verringerung des Energieverbrauchs,
- Kapitel 4.4 ‚Vertikalbegrünungen‘: Fokus auf Temperaturreduktion an Wandoberflächen und Verringerung des Energieverbrauchs.
- Kapitel 4.5 ‚Grünstrukturen und thermischer Komfort des Menschen‘

Aus 37 Peer-Review-Publikationen wurden zu diesen Themen die in den Studien erhobenen Parameter sowie das zur Erhebung verwendete Mess-Setup extrahiert und im Anhang dargestellt.

Die nachfolgenden fünf Unterkapitel der Ergebnisse erläutern nach Themen den aktuellen Stand der Forschung zu verschiedenen Funktionen und Leistungen oben definierter grüner Strukturen.

6. Ergebnisse

6.1. Energieeinsparung durch Beschattung von Stadtbäumen

Stadtbäume haben durch ihre Schattenwirkung und Transpirationsleistung einen signifikanten Einfluss auf die Lufttemperatur von Stadtgebieten, insbesondere in Hinblick auf das thermische Wohlbefinden des Menschen (Stichwort: Hitzestress) (Kong et al., 2017). In welchem Ausmaß ein Baum das lokale Mikroklima beeinflusst, hängt unter anderem von artspezifischen Eigenheiten, wie beispielsweise Blatt- und Kronencharakteristika ab (Sanusi et al., 2017). So weisen Bäume mit hohem Blattflächenindex (leaf area index - LAI) und hoher Transpirationsrate eine entsprechend bessere Kühlleistung hinsichtlich der Lufttemperatur auf (Sanusi et al., 2017; Gillner et al., 2015). In einem von Sanusi et al. (2017) durchgeführten Projekt wurde nachgewiesen, dass *Ulmus procera* und *Platanus x acerifolia* (LAI 5.9 und 5.0) aufgrund der höheren Kronendichte einen größeren Einfluss auf das Mikroklima haben - speziell in Hinblick auf Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Solarstrahlung, Strahlungstemperatur und Windgeschwindigkeit - als beispielsweise *Eucalyptus scoparia* (LAI 2.6). Dieses Ergebnis wird durch eine von Rahman et al. (2018) durchgeführte Studie bestätigt, die zeigt, dass Lindenbäume (*Tilia cordata* Mill.) mit dichteren Kronen (LAI = 3.64) drei Mal so viel Transpiration gewährleisten wie *Robinia pseudoacacia* L. (LAI = 2.61). Laut Shahidan et al. (2012) kann der dadurch entstehende Kühleffekt weiter gesteigert werden, wenn man Bäume mit hoher Kronendichte (z.B. LAI = 9.7) mit ‚kalten‘ Bodenmaterialien (helle Oberflächen, mit hohen Reflexionsgraden) kombiniert. So zeigen Simulationen der durchschnittlichen Tagestemperaturen eines Boulevards in Malaysia durch den Einsatz von Vegetation mit hoher Kronendichte (*Ficus benjamina*) in Kombination mit kühlen Oberflächen (weißer Granit) eine deutliche Temperaturreduktion von bis zu 2.7 °C.

Durch ihre Beschattungs- und Transpirationsleistung tragen in unmittelbarer Nähe zu Gebäuden gepflanzte Bäume effektiv zur Reduktion des Energieverbrauchs im Gebäudeinneren bei (Hsieh et al., 2018; McPherson et Simpson, 2003). Zahlreiche AutorInnen setzen sich in ihren Studien mit der Energieeinsparung durch Beschattung auseinander, wenngleich sich der forschersiche Zugang divers äußert (Desk-Simulation vs. Vor-Ort-Monitoring) und die gemessenen/simulierten Parameter selten

ident sind. Die Einsparung wird gleichwohl monetär wie physikalisch (kWh) oder in Prozent zu keiner Beschattung ausgedrückt.

Tabelle 2 gibt dazu einen Überblick über eine Auswahl an wissenschaftlichen Arbeiten inklusive einer Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse. Obwohl die meisten der dargestellten Studien in den USA umgesetzt wurden, wird erkennbar, dass durch Baumpflanzungen in Gebäudenähe in vielen verschiedenen Klimazonen Erfolge hinsichtlich einer Reduktion des Energieverbrauchs erzielt werden können. Tabelle 12 (Anhang) zeigt die Extraktion der im Rahmen der Studien erhobenen Parameter sowie dafür verwendete Messsetups.

Tabelle 3: Publierte Angaben über Energieeinsparung durch Beschattung aus Simulation und Monitoring (basierend auf Balogun et al. (2014), modifiziert)

Quelle	Standort (Klima)	Energieeinsparung durch Beschattung
Hsieh et al. (2018)	China (Cfa)	10.3% gegenwärtiger Zustand
		15.2% erhöhte Beschattung
		12.4% erhöhte Transpiration
Morakinyo et al. (2018)	Hong Kong (Cfa)	1500 kWh pro Sommertag bei 7.2% Beschattungsrate
		1900 - 3000 kWh pro Sommertag bei 30% Beschattungsrate
Hwang et al. (2017)	USA (Dfa, Cfa)	14 kWh - 44 kWh pro Jahr im gegenwärtigen Zustand
		47 kWh - 170 kWh pro Jahr bei effizienterer Anordnung der Bäume
Calcerano et Martinelli (2016)	Italy (Csa)	11.1% 1 Baum
		21.5% 2 Bäume
		29.7% 3 Bäume
		37.3% 4 Bäume
		44.4% 5 Bäume
Balogun et al. (2014)	Nigeria (Aw)	US\$218 (1500 kWh) pro Monat Einsparung Energiekosten
Laband et Sophocleus (2009)	USA (Cfa)	2.6 mal mehr Energieverbrauch zur Kühlung des Gebäudes ohne Beschattung
Donovan et Butry (2009)	USA (Csa)	185 kWh (5.2%) im Sommer durch Pflanzung an der West- und Südseite
Akbari et al. (1997)	USA (Csa)	30% pro Saison
		3.6 bis 4.8 kWh pro Tag
Simpson et McPherson (1997)	USA (Csa)	153 kWh (7.1%) pro Jahr pro Baum

Klimakürzel gemäß der Köppen-Geiger Klassifizierung (Kottek et al., 2006); Aw – tropisches Savannenklima, Cfa – subtropisches Klima, Csa – Mittelmeerklima, Dfa – feuchtes Kontinentalklima

6.2. Kühlleistung durch Parkanlagen

Viele wissenschaftliche Studien (z.B. Xiao et al., 2018; Chun et Guldmann, 2018; Qiu et al., 2017; Yu et al., 2017) empfehlen die Erhöhung des Flächenanteils an Grünflächen in Stadtgebieten als wichtigste Strategie im Hinblick auf eine Minderung des städtischen Wärmeinseleffekts.

Im Zuge der Forschung zum Thema ‚Wärmeinseleffekt‘ (Engl.: Urban Heat Island Effect - UHI) wurden auch so genannte Urban Cool Islands (UCIs) entdeckt. Diese beschreiben ein Phänomen das auftritt, wenn die Lufttemperaturen des umliegenden ländlichen Bereichs wärmer sind, als jene des Stadtgebiets (Yang et al., 2017). Durch Grünflächen entstehende ‚Cool Spots‘ in Städten sind bekannt unter dem Namen Park Cool Islands (PCIs; Oliveira et al., 2011; Vidrih et Medved, 2013; Chibuike et al., 2018; Anjos et Lopes, 2017) und können durch die Messung von Unterschieden der Oberflächen- und Lufttemperaturen zwischen Parkanlagen oder Grünflächen und dem städtischen Umland quantifiziert werden (Chow et al., 2011). Die Ausprägung der PCIs hängt stark von deren Größe, Form, Typ und den enthaltenen Landschaftselementen ab (Du et al., 2017; Estoque et al., 2017; Cao et al., 2010; Li et al., 2011; Oliveira et al., 2011).

In diesem Zusammenhang haben Upmanis et al. (1998) herausgefunden, dass größere Parkanlagen zu stärkeren PCIs führen und die Temperaturunterschiede (ΔT_{u-p}) zwischen Park und Umgebung gleichzeitig mit der Größe des Parks zunehmen (Größe der Parkanlage: 2.4ha - ΔT_{u-p} : 1.7°C, 3.6ha - 2°C, 156ha – 5.9°C). Dies wurde durch die Studie von Chang et al. (2007) bestätigt, in welcher deutlich gezeigt wurde, dass Parkanlagen in einer Größe von mehr als 3 ha konsequent kühler waren als deren Umgebung. Cao et al. (2010) deuten an, dass PCIs nur dann entstehen, wenn die Größe eines Parks eine spezifische Grenze auch tatsächlich überschreitet (2 ha in der Studie). Du et al. (2017) betrachteten diese Thematik in die andere Richtung und stellten fest, dass es auch eine Grenze im Hinblick auf die maximale Größe einer Grünanlage gibt, ab welcher die Kühlwirkung dann wieder abnimmt. In der Studie lag diese Grenze bei 40 ha. Angenommen wird außerdem, dass kompakte Parkanlagen der PCI-Entwicklung förderlicher sind als unregelmäßige oder bandförmige, welche meist zu geringer intensiven PCIs führen (Cao et al., 2010). Gruppierte Grünräume verbessern die lokale Kühlwirkung durch Agglomerationseffekte, während gestreute Vegetationsflächen zu einer besseren Kühlwirkung auf regionaler Ebene führen (Zhang et al., 2017). Lin et Lin (2016) zeigten, dass sich die unterschiedliche räumliche Anordnung von Parkanlagen signifikant auf zu erreichende Kühleffekte auswirkt und diese am größten sind, wenn folgendes zutrifft:

- eine größere Parkfläche (Vergrößerung von 6 ha mit 9% Grünflächenanteil (Kühleffekt 0.11°C) auf 36 ha mit 28% Grünflächenanteil (Kühleffekt 0.51°C)),
- eine höhere Anzahl an Parkanlagen (36 statt 6 bei gleichbleibender Parkfläche von 36 ha),
- ein höherer Flächenanteil des größten Parks (36 ha statt 1 oder 6 ha),
- eine gleichmäßigere Verteilung der Parkanlagen
- eine höhere Diversität

Zhang et al. (2017) konnten mit Hilfe eines Optimierungsmodells zur Identifizierung optimaler Standorte aufzeigen, dass durch die Ergänzung von Grünräumen Reduktionen der Oberflächentemperaturen von bis zu 2 °C (lokal) bzw. 0.5 °C (regional) erreicht werden können. In diesem Zusammenhang untersuchten Sun et Chen (2017) Grünräume in Peking und entdeckten, dass durch

den Verlust von Grünflächen bedeutende Anstiege der Oberflächentemperaturen (1.6 – 2.2 °C) festzustellen waren.

Onishi et al. (2010) simulierten potenzielle Verringerungen des Wärmeinseleffekts durch die Begrünung von Parkplätzen und erreichten mit einem Anteil von 30% Bäumen und 70% Rasen eine maximale Verringerung von beachtlichen 9.3°C. Eine zu einem ähnlichen Thema von Armson et al. (2012) durchgeführte Studie bestätigt, dass sich Bäume in Kombination mit Rasenflächen deutlich positiv auf den Wärmeinseleffekt auswirken. Im Vergleich mit Beton konnte durch Grasflächen eine Reduktion der Oberflächentemperaturen von bis zu 24°C erreicht werden, durch die Beschattungswirkung der Bäume wurden beeindruckende 19°C erreicht. In der Studie konnten in kleinen Rasenflächen höhere Temperaturreduktionen erreicht werden, was darauf schließen lässt, dass viele kleine Grünflächen im Hinblick auf die Reduzierung des Wärmeinseleffekts effizienter wirken als eine große Grünfläche. Nichtsdestotrotz, durch die Schattenwirkung der Bäume konnte zusätzlich eine signifikante Verringerung der Lufttemperatur erzielt werden, welcher durch Grasflächen alleine nicht erreicht werden konnte (Armson et al., 2012).

In der Literatur ist bereits eine Vielzahl an Studien zur Bedeutung von Grünflächen als Instrument zur Minderung des Wärmeinseleffekts verfügbar. Tabelle 4 zeigt eine Auswahl an identifizierten Studien und deren wichtigste Ergebnisse.

Tabelle 4: Publierte Angaben zur Minderung des Wärmeinseleffekts durch Grünflächen aus Simulation und Monitoring (basierend auf Skoulika et al. (2014), adaptiert und modifiziert)

Quelle	Standort/Klima	Fläche (ha)	Kühlwirkung
			Nächtlich
Doick et al., 2014	Großbritannien (Cfb)	111	1.1 °C (max: 4°C)
Chow et al., 2011	USA (BWh)	23	3.5 °C (max: -6°C)
			Tagsüber
Feyisa et al., 2014	Äthiopien (Cfb)	0.85 - 22.3	3.93 °C
Skoulika et al., 2014	Griechenland (Csa)	6	3.3 °C – 3.8 °C
Vidrih et Medved, 2013	-	1.96	bis zu 4.8 °C
Cao et al., 2010	Japan (Cfa)	41.9	6.8 °C
Oliveira et al., 2011	Portugal (Csa)	0.24	6.9 °C
Jansson et al., 2007	Schweden (Cfb)	14	0.5°C – 2.0 °C
Potchter et al., 2006	Israel (Csa)	3.5	bis zu 2.5 °C
Yu and Hien, 2006	Singapur (Af)	(1): 36, (2): 12	1.8 °C – 2.3 °C

Klimakürzel gemäß der Köppen-Geiger Klassifizierung (Kottek et al., 2006); Af – tropisches Regenwaldklima, BWh – Wüstenklima, Cfa – subtropisches Klima, Cfb – maritimes Klima, Csa – Mittelmeerklima, Dfa – feuchtes Kontinentalklima

6.3. Kühlleistung und Verringerung des Energieverbrauchs durch Gründächer

Grundsätzlich sind bei Gründächern extensive und intensive Dachbegrünungen zu unterscheiden. Extensive Begrünungen sind aufgrund niedrig gehaltener Substrathöhe kostengünstiger und wartungsärmer und werden durch eine niedrig wachsende Vegetation, charakterisiert. Bestandsbildend sind zumeist Sedumgesellschaften und trockenresistente Kräuter. Intensive Dachbegrünungen verfügen über einen höheren Bodenaufbau und müssen auf höhere Lasten ausgerichtet sein als die Extensivbegrünung (Pfoser, 2014). Charakteristisch sind eine hohe Gestaltungsvielfalt durch die Möglichkeit, artenreiche Blumenwiesen, Staudenflächen, Gehölz- und Strauchpflanzungen anzulegen, die sich mit üblichen Gartenstrukturen vergleichen lassen. In den nachfolgend behandelten Studien richtet sich der Fokus verstärkt auf extensive Gründächer.

Aufgrund des großen Flächenanteils von Dächern in städtischen Gebieten prognostizieren aktuelle Forschungsergebnisse ein großes Potenzial hinsichtlich der Linderung des Wärmeinseleffekts (Arabi et al., 2015; Costanzo et al., 2016; Huang et al., 2018; Imran et al., 2018; Santamouris et al., 2014). Damit können einige negative Auswirkungen der städtischen Bodenversiegelung verringert werden, eine Kompensierung für den Verlust der Bodenfunktionen durch Gründächer ist jedoch nicht möglich (Europäische Union, 2012). Laut Akbari et Rose (2008) machen Dächer einen Anteil von 20 – 25% urbaner Oberflächen aus, erreichen bei direkter Sonneneinstrahlung Temperaturen von 50 bis 90°C und haben daher einen signifikanten Einfluss auf das lokale Klima (Arabi et al., 2015). Bei besonders hohen Gebäuden ist der Einfluss von Dachbegrünungen auf das lokale Klima weniger relevant, da besonders wichtige Bereiche wie beispielsweise die Fußgänger-Ebene nicht mehr erreicht werden können (Ng et al., 2012; Chen et al., 2009). Laut Pfoser (2014) sind durch großflächige intensive Dachbegrünungen Reduktionen der urbanen Wärmeinseln um bis zu 1,7 °C möglich.

Dachflächen bieten ideale Voraussetzungen, etablierte sowie innovative Begrünungstechniken anzuwenden (Santamouris et al., 2014). Den Ergebnissen einer von Susca et al. (2011) durchgeführten Studie zufolge können durch die Umgestaltung konventioneller Dachflächen in Gründächer enorme Vorteile erzielt werden, sowohl auf Makroebene (komplettes Stadtgebiet), als auch auf Mikroebene (bezogen auf ein einzelnes Objekt). Betrachtet man den Nutzen von Gründächern auf das komplette Stadtgebiet, sind positive Einflüsse auf die Luftqualität, das Regenwassermanagement, die Biodiversität und die Verringerung des Wärmeinseleffekts zu erreichen. Auf Gebäudeebene liegen die Vorteile von Dachbegrünungen beispielsweise bei einer Verlängerung der Lebensdauer der Baumaterialien, einer Reduktion von Lärm und einer Verringerung des Energiebedarfs für Heizung und Klimaanlage.

Der Kühleffekt von Vegetation auf Dachflächen wurde bereits durch eine Reihe wissenschaftlicher Studien bestätigt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Publierte Angaben zum Thema Kühleffekte durch Gründächer aus Simulation und Monitoring.

Quelle	Standort	Klima	Publizierte Kühleffekte durch Gründächer
Huang et al. (2018)	Taiwan	Cfa	bis zu 3.98 °C (Luft)
Imran et al. (2018)	Australien	Cfb	1 – 3.8 °C (Luft)

Quelle	Standort	Klima	Publizierte Kühleffekte durch Gründächer
Morakinyo et al. (2017)	Ägypten; Hong Kong, Japan; Frankreich	BWh, Cfa, Cfb	0.05 – 0.6 °C (Luft)
Solcerova et al. (2017)	Niederlande	Cfb	0.2 °C (Luft)
Jim et Peng (2012)	Hong Kong	Cfa	bis zu 5.2 °C (Dach), 0.7 °C (Luft)
Krayenhoff et al. (2003)	Kanada	Dfb	0.1 °C (Luft)
Rosenzweig et al. (2006)	USA	Cfa	0.4 °C (Luft)

Klimakürzel gemäß der Köppen-Geiger Klassifizierung (Kottek et al., 2006); BWh – Wüstenklima, Cfa – subtropisches Klima, Cfb – maritimes Klima, Csa – Mittelmeerklima, Dfb – Kontinentalklima

INFO-BOX

Die wichtigsten Einflussfaktoren von Vegetation auf den Wärmeinseleffekt sind Beschattungswirkung, Evapotranspiration (Summe aus Transpiration und Evaporation) und dadurch Vermeidung thermischer Speichereffekte (betrifft urbane Oberflächen und die Pflanzen).

Transpiration ist die Verdunstung von Wasser durch biotische Vorgänge. Die Evaporation ist die Verdunstung von Wasser auf freien Oberflächen (z.B. Gegenstände, Wasserflächen, Bodenflächen etc.).

Die Transpiration durch Vegetation ist entscheidend für den latenten Wärmefluss über bewachsenen Flächen. Vegetation übernimmt damit eine aktive Rolle im Wasserkreislauf bzw. zur Abgabe von Wasser an die Atmosphäre. Gleichzeitig schützt der Mechanismus der Verdunstungskälte die Pflanze vor Überhitzung und allfälliger Hemmung lebenswichtiger Prozesse. Die Verdunstungskälte bewirkt eine Reduktion der Temperatur an der Blattoberfläche und der angrenzenden Luftschichten.

Die Beschattung durch Vegetation sowie die Bodenschicht des Begrünungssystems schwächen zusätzlich die Übertragung der Sonnenstrahlung z.B. durch die Dachoberfläche signifikant ab. Sie führen dadurch zu einer deutlichen Reduktion der Dachoberflächentemperatur und der oberflächennahen Lufttemperatur und in weiterer Folge auch zu einer verringert notwendigen Kühlleistung im Gebäudeinnenraum (vergl. Jim et Peng, 2012).

In diesem Zusammenhang ist, ebenso wie bei den Stadtbäumen, ein hoher LAI essentiell für eine optimale Beschattungs- und Kühlwirkung (Huang et al., 2018). Sailor et al. (2011) nennen einen hohen LAI sogar als Schlüsselparameter im Hinblick auf Energieeinsparungen, welche durch auf Schattenwirkung und Transpiration zurückzuführende Kühleffekte zu erreichen sind. Von Hodo-Abalo et al. (2012) durchgeführte Simulationen zeigen, dass der latente Wärmefluss von Gründächern während den Spitzenzeiten der Sonneneinstrahlung abhängig vom LAI zwischen 250 W/m² (bei LAI = 2), 370 W/m² (bei LAI = 4) und 550 W/m² (bei LAI = 7) variiert (Santamouris et al., 2014). Zhou et al. (2018) bestätigen, dass die Kühlleistungen im Gebäudeinneren durch höhere LAI-Werte der Vegetation deutlich reduziert werden können. Demnach wurden im Vergleich mit einem Dach ohne Begrünung (Kühlleistung = 132 kWh/m²) durch ein Dachbegrünungssystem, abhängig vom LAI, deutlich reduzierte Kühlleistungen erzielt (129 kWh/m² = LAI 0.1, 122 kWh/m² = LAI 1.5, 113 kWh/m² = LAI 3, 110 kWh/m² = LAI 5).

Die Auswahl der Pflanzenarten spielt daher eine wesentliche Rolle im Hinblick auf durch Dachbegrünungen mögliche Energieeinsparungen, da die durch einen hohen LAI zu erreichende Beschattungsleistung die Evaporationsrate ebenso positiv beeinflusst, wie die Gesamt-Albedo (= Reflexionsstrahlung) der Dachoberfläche (Squier et Davidson, 2016; Eksi et al., 2017). Neben Beschattung und Evaporationsleistung hat demnach auch die Albedo einen erheblichen Einfluss auf eine mögliche Verminderung des Wärmeinseleffekts durch Dachbegrünungen. In diesem Zusammenhang gibt es eine negative Korrelation zwischen Albedo-Effekt und Oberflächentemperatur: je höher die Albedo, desto niedriger die Temperatur der Dachoberfläche (Li et Yeung, 2014).

Obwohl die durch Gründächer zu erreichende Kühlleistung nicht primär auf die Albedo zurückzuführen ist, sondern auf den latenten Wärmeverlust, konnten Gaffin et al. (2005) demonstrieren, dass Gründächer (Albedo 0.7 – 0.85) wesentlich effektiver kühlen als die hellsten Weißdächer (Albedo 0.8). Das ist grundsätzlich darauf zurückzuführen, dass die Albedo heller Dachflächen in den meisten Fällen ohne Reinigung nicht beizubehalten ist und durch Schmutz stark beeinträchtigt wird. In diesem Zusammenhang konnte eine durchschnittliche jährliche Abnahme der Albedo von 0.15 verzeichnet werden (Gaffin et al., 2005).

6.4. Reduktion der Oberflächentemperatur und Verringerung des Energieverbrauchs durch Vertikalbegrünungen

In Stadtgebieten, wo Grünzonen spärlich sind und verfügbarer Boden nur begrenzt vorhanden ist, repräsentieren Vertikalbegrünungen eine vielversprechende Möglichkeit den Anteil an Grünflächen auf platzsparende und ressourcenschonende Art und Weise zu erhöhen (Medl et al., 2017a; Medl et al. 2018b). Bei Vertikalbegrünungen wird zwischen bodengebundenen (z.B. Gitterbegrünungen) und wandgebundenen (z.B. green walls) Systemen unterschieden (Medl et al., 2018). Während erstere häufig mit einfachen Kletterpflanzen erreicht werden können, sind wandgebundene Systeme durchaus komplex aufgebaut z.B. als Wannensysteme oder Module

Neben dem ästhetischen Nutzen (z.B. Einbettung von Baukonstruktionen ins Landschaftsbild) von Vertikalbegrünungssystemen konnten in zahlreichen Studien auch ökologische (z.B. Minderung von Kohlendioxidemissionen), soziale (z.B. Verminderung von Lärm) und ökonomische (z.B. Schutz von Gebäudeoberflächen) Vorteile nachgewiesen werden (e.g. Medl et al., 2017b; Marchi et al., 2015; Azkorra et al., 2015; Peck, 1999). Vertikale Begrünungsmethoden repräsentieren daher eine wichtige Maßnahme, dem Wärmeinseleffekt entgegenzuwirken und indem sie durch Beschattung und Dämmeffekte zur Reduktion des Energieverbrauchs im Gebäudeinneren beitragen, während sie wertvolle horizontale Flächen einsparen (Alexandri et al, 2006; Price et al., 2015, Hoelscher et al., 2016).

Als am meisten beeinflussenden Faktor im Hinblick auf die Reduktion von Oberflächentemperaturen heben Coma et al. (2017) die Exposition der jeweiligen Oberfläche hervor, speziell, wenn es um südlich und westlich orientierte Fassaden geht. Eine in Hong Kong durchgeführte Studie zeigt beispielsweise eine deutliche, auf die Anbringung eines Begrünungssystems zurückzuführende Reduktion der Oberflächentemperaturen (6.1 °C) auf einer westlich exponierten Fassade (Pan et al., 2018). Vox et al. (2018) konnten Temperaturunterschiede von bis zu 9 °C zwischen einer begrünten und einer nicht begrünten Fassade aufnehmen. Ähnliche Resultate erzielten Yang et al. (2018) auf einer südlich

exponierten Wand. Razzaghmanesh et Razzaghmanesh (2017) zeigten in einem Vergleich zwischen einer westlich orientierten Fassade mit Begrünungssystem im Vergleich zu einer unbegrünten Fläche einen Temperaturunterschied von bis zu 25°C auf. Medl et al. (2017a) haben im Rahmen einer Versuchsreihe Vertikalbegrünungsmaßnahmen außerhalb der städtischen Bereiche getestet und eine südöstlich exponierte Spritzbetonwand entlang einer Autobahnzufahrt begrünt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass durch das Begrünungssystem insbesondere während der Sommermonate eine Reduktion der Oberflächentemperaturen von bis zu 18.9°C zu erreichen ist.

Die Studie fasst aktuelle Ergebnisse zusammen und gibt in Tabelle 5 eine kurze Übersicht über neuere Forschungsbeispiele im Bereich Vertikalbegrünung und deren wichtigste Ergebnisse. Im Vergleich zu anderen Themen (s.o.) einigen sich Mikroklima-Studien häufig auf den Parameter Oberflächenkühlung und einheitlichen Temperaturangaben. Manche Studien konzentrieren sich auf Angaben zur Energieeinsparung z.B. monetär oder physikalisch.

Tabelle 6: Ausgewählte Studien zu den mikroklimatischen Effekten vertikaler Begrünungen (basierend auf Medl et al., 2018a; adaptiert)

Quelle	Standort (Klima)	Expositon	Publizierte Daten zur Oberflächenkühlung gemessen an Fassaden
Vox et al. (2018)	Italien (Csa)	N,S,O,W	9.0 °C
Victorero et al. (2015)	Chile (Csc)	N	30.0°C
Olivieri et al. (2014)	Spanien (Csa)	S	31.9°C
Chen et al. (2013)	China (Cfa)	W	20.8°C
Mazzali et al. (2013)	Italien (Cfa, Csa)	SW	20.0°C
Scharf et al. (2013)	Österreich (Dfb)	S	15.0°C
Perini et al. (2011)	Niederlande (Cfb)	W	5.0°C
Cheng et al. (2010)	Hong Kong (Cwa)	W, W-SW	16.0°C
Wong et al. (2010)	Singapur (Af)	nd	11.58°C

Klimakürzel gemäß der Köppen-Geiger Klassifizierung (Kottek et al., 2006); Af – tropisches Regenwaldklima, Cfa – subtropisches Klima, Cfb – maritimes Klima, Csa – Mittelmeerklima, Cwa – subtropisches Klima, Dfa – feuchtes Kontinentalklima, Dfb – Kontinentalklima

Basierend auf Simulationen haben Pan et al. (2018) herausgefunden, dass vertikale Begrünungssysteme den für Klimaanlagen notwendigen Energiebedarf zwischen 12% und 42% reduzieren können, abhängig von der Exposition der betroffenen Wand. Yang et al. (2018) konnten durch Anbringen von Fassadenbegrünungssystemen in einem Bürogebäude während der Sommermonate eine Reduktion der Innenraumtemperaturen von 1.9 °C (Anbringung an nordseitiger Fassade) bis 2.7 °C (Anbringung an südseitiger Fassade) messen. Coma et al. (2017) bestätigen das Energieeinsparungspotenzial durch Begrünungssysteme mit 58.9% während der Sommer- und 4.2% während der Wintermonate.

Olivieri et al. (2014) untersuchten die Auswirkungen eines Begrünungssystems auf die Energieeffizienz eines Gebäudes in mediterranem Klima während der Sommermonate und konnten Temperaturreduktionen von bis zu 4°C im Gebäudeinneren messen. Cheng et al. (2010) konnten im Rahmen einer von ihnen durchgeführten Messkampagne Energieeinsparungen von 1.45 ± 1.85 kWh im Zusammenhang mit Klimaanlage messen. Zhou et al. (2018) haben versucht die Energieeinsparungen auch monetär darzustellen und geben einen Betrag von \$ 648 an Einsparungspotenzial in begrünten Bauwerken an. Die Einsparungen entsprechen 3.5% des jährlichen Verdienstes von einkommensschwachen Familien.

6.5. Thermischer Komfort durch Grünstrukturen

Die wichtigsten meteorologischen Größen im Zusammenhang mit thermischem Komfort und Hitzestress sind Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und mittlere Strahlungstemperatur (T_{mrt}) (ASHRAE, 2001; Höppe, 1999; Jendritzky et al., 1990; Jendritzky et al., 2002). Diese Parameter werden benötigt, um thermische Kennzahlen wie beispielsweise den *Universal Thermal Climate Index* (UTCI, Walikewitz et al., 2015) zu kalkulieren, welcher das thermische Wohlbefinden des Menschen quantifiziert (Bröde et al., 2010). Neben dem UTCI existieren noch einige andere Konzepte im Hinblick auf eine Quantifizierung des thermischen Komforts: *Predicted Mean Values* (PMV) und *Physiological Equivalent Temperature* (PET) (Honjo, 2009).

Einige Studien beschäftigen sich mit dem Einfluss grüner Infrastruktur auf das menschliche Wohlbefinden. Ng et al. (2012) beispielsweise setzten sich mit der thermischen Wirkung von Begrünungsmaßnahmen auf das urbane Klima in Hong Kong auseinander und fanden heraus, dass die Lufttemperatur im Fußgängerbereich durch das Pflanzen von Bäumen um fast 1°C reduziert werden konnte. Bestätigt wurde die Wichtigkeit von Stadtbäumen in Bezug auf das urbane Klima auch von Armson et al. (2012).

Coccolo et al. (2018) entwickelten eine neue Methode ('Thermal Comfort Maps') zur Quantifizierung des Einflusses unterschiedlicher Pflanzen in Stadtgebieten auf den thermischen Komfort des Menschen. Durch Simulationen wurde gezeigt, dass die Anzahl an 'komfortablen' Stunden im Frühling durch das Pflanzen von *Vachellia tortilis* Bäumen von 237 auf 268 Stunden reduziert werden konnte. Alleine im Juni kam es zu einer Erweiterung der 'komfortablen' Stunden von 37 (ohne Bäume) auf 48 (mit *Prosopis cineraria*), 62 (mit *Vachellia tortilis*) und 43 (mit *Phoenix dactylifera*) Stunden. In einer von de Abreu-Harbach et al. (2015) durchgeführten Studie wurde gezeigt, dass durch Bäume der Gattung *Caesalpinia pluviosa* F. Temperaturreduktionen zwischen 12 und 16 °C PET (Einzelbäume) bzw. 12.5 und 14.5 °C PET (Baumgruppen) erreicht werden konnten. Cohen et al. (2012) zeigten eine auf eine besonders hohe Kronendichte zurückzuführende Verringerung der Temperaturen des thermischen Wohlbefindens von bis zu 18 °C PET während der Sommerzeit und 10 °C PET im Winter.

Nachdem eine hohe Kronendichte nachweislich die auf den Fußgänger wirkende kurz- und langwellige Sonneneinstrahlung reduziert, liegt die Bedeutung des LAI auch in diesem Zusammenhang auf der Hand (Coccolo et al., 2018). Potchter et al. (2006) haben drei städtische Parkanlagen im Hinblick auf das thermische Wohlbefinden miteinander verglichen: Park A, größtenteils unbeschattet (Rasenfläche, einige, kleine Bäume); Park B, Beschattungsgrad ca. 65% (dichte, mittelgroße *Tipuana tipu* Bäume); Park C, Beschattungsgrad ca. 95% (hohe, breitkronige *Ficus microcarpa* Bäume). Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die schlechtesten Bedingungen hinsichtlich des thermischen Wohlbefindens in Park A

vorzufinden waren, welcher tagsüber mehr als 3°C über den im kühlfsten Park (C) aufgenommenen Lufttemperaturen lag, obwohl die Windgeschwindigkeit in Park A im Vergleich zu allen anderen am höchsten war.

Hinsichtlich der thermischen Auswirkungen von Gründächern haben sich die meisten bisher durchgeführten Studien eher auf den Gebäudebereich beschränkt; nur ein paar einzelne berücksichtigen zusätzlich auch weitreichendere Auswirkungen ganzer Gründach-Netzwerke auf Stadtgebietsebene. Eine von Peng et al. (2013) durchgeführte Studie versuchte diese Lücke durch Evaluierung des thermischen Komforts während der Sommermonate zu schließen. Im Fokus standen dabei die Wirkungen von Gründächern auf ein hypothetisches Stadtgebiet in Hong Kong. Im Zuge der Simulation konnte bewiesen werden, dass die von Gründächern ausgehenden Kühleffekte nicht auf die Dächer alleine beschränkt waren, sondern bis zum Boden hinab reichten und somit das Klima im gesamten Stadtviertel auch im Fußgängerbereich verbessern konnten. Extensive Gründächer konnten dadurch Reduktionen der Lufttemperaturen von 0.4–0.7 °C herbeiführen, durch intensive Dachbegrünungen waren sogar Reduktionen zwischen 0.5–1.7 °C zu erreichen.

In Bezug auf vertikale Begrünungsmaßnahmen wurde das große Potenzial zur Verminderung des Wärmeinseleffekts bereits von Victorero et al. (2015) bestätigt. Scharf et al. (2013) konnten durch die Kalkulation des PMV außerdem beweisen, dass Fassadenbegrünungen einen starken Einfluss auf ihre unmittelbare Umgebung haben. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Reduktion des PMV durch Anbringung von Vertikalbegrünungsmaßnahmen, speziell an südlich exponierten Fassaden. Eine von Medl et al. (2017a) durchgeführte Berechnung des UTCI zeigt eine durch Anbringung einer Green Wall (sogar in vegetationsfreiem Zustand) deutliche zu erreichende Reduktion von Hitzestress an Spritzbetonwänden. Nachdem ein geringerer UTCI einen höheren thermischen Komfort für den Menschen bedeutet, kann die Verwendung von Vertikalbegrünungssystemen speziell im Hinblick auf Wärmeinseleffekt und Klimawandel in urbanen Umgebungen als vorteilhaft angesehen werden (Patz et al., 2005).

7. Diskussion international publizierter Wirkungsberichte

Im Rahmen der hier vorgelegten Literaturstudie konnte festgestellt werden, dass es zum Thema ‚Wirkungen der grünen Stadt‘ eine Vielzahl an Publikationen gibt, die in einer Kurzstudie aufgrund der großen Anzahl an behandelten Themengebieten nicht alle ausreichend abgebildet werden können. Für die vorliegende Studie wurden daher Schwerpunkte (s. Kapitel 3-7) ausgewählt, welche die am häufigsten genannten Themen und Inhalte zur Temperaturregulation und mikroklimatischer Effekte abbilden. Funktionen wie etwa Absorption und Reflexion von Solarstrahlung, Feinstaubbindung, Beeinflussung der Windmuster, Regenwasserretention, Erhöhung der Biodiversität uam. wurden in dieser Studie nicht zentral berücksichtigt.

7.1. Forschungsfrage 1: Messbare Wirkungen durch Begrünungsmaßnahmen im städtischen Bereich

Die Literaturanalyse zeigt, dass die **wichtigsten messbaren Wirkungen von Begrünungsmethoden im städtischen Bereich (vergl. Forschungsfrage F1)** der durch die Vegetation zu erreichende Kühleffekt ist. Dieser wird in den verschiedenen Studien durch die Erhebung unterschiedlicher Daten quantifiziert und kann durch einfache Messungen der Lufttemperaturen oder durch Kalkulation von UHI und PCI dargestellt werden. Tabelle 12 im Anhang bietet eine genaue Übersicht über im Rahmen der Studien erhobene Parameter (meist mikroklimatische Daten zu Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, etc.), den daraus kalkulierbaren Werten (zum Beispiel UHI und PCI) und der dafür notwendigen Messinstrumente oder Software.

Als wichtige, den Kühleffekt beeinflussende Größe hat sich insbesondere im Zusammenhang mit dem Thema Energieeinsparung der LAI herauskristallisiert. Die dazu durchgeführten Studien haben deutlich gezeigt, dass Bäume mit hoher Kronendichte und Dachbegrünungen mit flächendeckender Vegetation durch eine optimale Beschattungsleistung das größte Energieeinsparungspotenzial aufweisen.

7.2. Forschungsfrage 2: Parameter zur Beschreibung der Wirkungen von Begrünungen

In der Literatur und in den hier berücksichtigten Studien sind ein Überangebot an **untersuchten Parametern zur Quantifizierung der Wirkung von Begrünungen (vergl. Forschungsfrage F2)** abgebildet. Entsprechend der Typologien ‚Stadt bäume‘, ‚Grünflächen‘, ‚Gründächer‘ und ‚Vertikalbegrünung‘ wurden in Tabelle 7 bis Tabelle 9 alle zur Umsetzung der angeführten Studien beitragenden Parameter dargestellt. Einige dieser Daten wurden den jeweiligen AutorInnen extern zur Verfügung gestellt (z.B. aus bestehenden Datenbanken, dem nationalen Wetterdienst, Behörden, etc.), viele wurden durch den Einsatz spezieller Mess-Setups (z.B. Klimastation inkl. Sensoren, Fotografie, Satellitenbilder, etc.) von den AutorInnen selbst erhoben. In einigen Studien fand im Anschluss keine direkte Auswertung oder Gegenüberstellung der gemessenen Parameter statt, meistens wurden sie zur Kalkulation oder Simulation bestimmter Werte (z.B. Energieeinsparung, PCI, etc.) und Szenarien weiterverarbeitet.

Tabelle 7: Einordnung der am häufigsten publizierten Parameter in Ranglisten und nach Themenkategorien auf Basis von 157 berücksichtigten Studien (Scientific Papers mit und ohne Review, Veröffentlichungen in Konferenz- und Tagungsbänden, Projektberichte, Dissertationen)

Abk.	Name	Stadtbäume	Parkanlagen	Gründächer	Vertikalbegrünungen
Meteorologische_Parameter					
LT	Lufttemperatur	1	1	1	1
LF	Luftfeuchtigkeit	2	2	1	2
SR	Solarstrahlung	5	4	1	3
WG/WR	Windgeschwindigkeit/ Windrichtung	3	3	1	4
N	Niederschlag	4	4	4	5
OT	Oberflächentemperatur	4	4	2	-
WT	Wandtemperatur	4	-	4	1
-	Albedo	-	4	3	7
BT/BF	Bodentemperatur/ Bodenfeuchtigkeit	-	4	3	6

7.2.1. Stadtbäume

Die Literaturrecherche zu Stadtbäumen und ihren Wirkungen auf den urbanen Wärmeinseleffekt zeigte eine hohe Relevanz des Blattflächenindex (*Leaf Area Index* - LAI). Dieser gibt die Blattfläche pro Bodenoberfläche und damit den Beschattungsgrad an. Die Studien zeigen deutlich, dass ein starker Zusammenhang zwischen dem LAI, der Transpirationsleistung und damit dem zu erreichenden Kühleffekt besteht.

Im Zusammenhang mit der Wirkung von Stadtbäumen auf das Klima von Stadtgebieten wurden im Zuge der Literaturrecherche besonders viele Studien zum Thema Energieeinsparung durch Beschattung gefunden (siehe Tabelle 2). Insgesamt wurden 9 Studien genauer analysiert. Bei den am häufigsten (extern) gemessenen Parametern handelt es sich um mikroklimatische Faktoren, wobei Luftfeuchtigkeit/Lufttemperatur und Wind am öftesten gemessen wurden. Der Energieaufwand wurde in den Studien gemessen (durch Energiekostenmonitor oder Datenlogger am Thermostat), aus den gemessenen Parametern kalkuliert oder mit Hilfe der gemessenen Parameter simuliert. Zum Zweck der Simulationen kam am häufigsten die Software EnergyPlus zum Einsatz.

Bei den ‚anderen‘ in den Studien berücksichtigten Parametern handelt es sich um Saftfluss und Transpirationsrate, T_{mrt} , PET, Kronenbreite und Grundstücksdaten (Gebäudegröße und -alter, Grundfläche, Pool, Heiz-/Kühlsysteme, Stromrechnung, Wasserabrechnung).

Tabelle 8: Publierte Parameter und Daten zum Thema ‚Stadtume‘ und Anzahl der Studien.

LT _(i,a)	LF _(i,a)	SS	WG/WR	N	WT	OT	LAI/LAD	KL	Energieaufwand	Anderes
Externe Dateninformation/Gemessen										
6	5	1	4	2	2	2	1	-	3	4
Kalkuliert										
-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	3
Simuliert										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2

LT_(i,a) – Lufttemperatur (innen/außen), LF_(i,a) – Luftfeuchtigkeit (innen/außen), SS – Solarstrahlung, WG/WR – Windgeschwindigkeit/Windrichtung, N – Niederschlag, WT – Wandtemperatur, OT – Oberflächentemperatur, LAI – leaf area index, KL – Khleistung.

7.2.2. Grünflächen

Die meisten Studien, die sich mit dem Thema Grünflächen in Stadtgebieten beschäftigen, behandeln in diesem Zusammenhang den Wrmeineffekt (*Urban Heat Effect* - UHI) und die durch Grünflächen entstehenden Kühleffekte in Form von PCIs (*Park Cool Islands*). In 7 von 10 Studien wurde der PCI unter Verwendung der erhobenen Klimadaten (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, etc.) kalkuliert. Grundsätzlich handelt es sich bei dem PCI-Wert um ein Maß für den Temperaturunterschied zwischen Park und Umland, welcher mittels Formel berechnet werden kann (Vidrih et al., 2013). Ähnliches gilt für die Kalkulation des UHI, dabei handelt es sich um die Differenz der Lufttemperaturen zwischen Stadt und Umland (Oke, 1987).

Neben den gängigen mikroklimatischen Parametern wurde in 3 Studien ebenfalls der LAI/LAD erhoben. Die LAD (*leaf area density*) ist der Quotient aus LAI und der Bestandeshöhe. Nur vereinzelt wurde auch Parametern wie Wärmeleitung, Albedo, Bodenwasser, T_{mrt} und PET Aufmerksamkeit geschenkt. Für Simulationszwecke wurde in diesen Studien ausschließlich die Software ENVI-met eingesetzt.

Tabelle 9: In den Studien zum Thema ‚Parkanlagen‘ erhobene Parameter.

LT _(i,a)	LF _(i,a)		SS	WG/WR	N	WT	OT	LAI/LAD	UHI	PCI	Energieaufwand	Anderes
Extern/Gemessen												
10	7		5	6	1	-	1	3	-	-	-	5
Kalkuliert												
-	-		-	-	-	-	-	-	1	7	-	2
Simuliert												
-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	1	-

LT_(i,a) – Lufttemperatur (innen/außen), LF_(i,a) – Luftfeuchtigkeit (innen/außen), SS – Solarstrahlung, WG/WR – Windgeschwindigkeit/Windrichtung, N – Niederschlag, WT – Wandtemperatur, OT – Oberflächentemperatur, LAI/LAD – leaf area index/leaf area density, UHI – Urban Heat Island, PCI – Park Cool Island

7.2.3. Gründächer und Vertikalbegrünungen

Nachdem im Zuge der Literaturrecherche ersichtlich geworden ist, dass sowohl im Bereich der Gründächer, als auch der Vertikalbegrünungen vor allem Parameter zum Mikroklima erhoben wurden, werden diese Bereiche nachfolgend zusammengefasst. In vielen Studien zum Thema Bauwerksbegrünung werden aus diesen Daten Ableitungen zum thermischen Komfort gemacht und T_{mrt} sowie PET oder UTCI kalkuliert. Die meisten dieser Studien haben allerdings weder Kalkulationen noch Simulationen durchgeführt, sondern nur die erhobenen Parameter einander direkt gegenübergestellt, um die Werte eines begrünten Bauwerks mit einem unbegrünten Referenzbauwerk zu vergleichen.

Tabelle 10: In den Studien zu den Themen ‚Gründächer‘ und ‚Vertikalbegrünungen‘ erhobene Parameter.

LT _(i,a)	LF _(i,a)	SS	WG/WR	N	WT	OT	BT/BF	UHI	UTCI	Anderes
Gründächer										
Extern/Gemessen										
4	4	4	4	1	1	3	2	-	-	-
Kalkuliert										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Simuliert										
1	-	-	-	-	-	1	-	1	1	1
Vertikalbegrünungen										
Extern/Gemessen										
9	8	6	5	3	9	-	2	-	-	3
Kalkuliert										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Simuliert										
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

BT/BF – Bodentemperatur/Bodenfeuchtigkeit, LT_(i,a) – Lufttemperatur (innen/außen), LF_(i,a) – Luftfeuchtigkeit (innen/außen), SS – Solarstrahlung, WG/WR – Windgeschwindigkeit/Windrichtung, N – Niederschlag, WT – Wandtemperatur, OT – Oberflächentemperatur, UHI – Urban Heat Island, UTCI – Universal Thermal Climate Index

7.3. Forschungsfrage 3: Kriterien zur Beschreibung der Wirkung von Vorhaben und Maßnahmen

Die in der vorliegenden Studie gewonnene Übersicht bestätigt die Bedeutung grüner Infrastrukturen in Stadtgebieten als effektive Maßnahme gegen den Wärmeinseleffekt. Eine Vielzahl an anderen Effekten und Wirkungen ist derzeit noch nicht ausreichend mit Daten und Publikationen belegt, gleichwohl etwa Indizien zur Beeinflussung der städtischen Windmuster durch Grünfassaden z.B. in der Simulationsstudie von Szkordilis (2014) aufgezeigt wurden. Ihre Ergebnisse deuten darauf hin, dass sowohl Windgeschwindigkeiten durch die Rauheit begrünter Fassaden verringert als auch der

Effekt der Ventilation erhöht werden kann in Abhängigkeit von der Lage zur Windrichtung. Das bedeutet, dass nicht nur Objekt-basierte Entscheidungen für oder gegen eine Begrünung für städtische wirksame Effekte ausschlaggebend sind, sondern vielmehr ganzheitliche Planungen auf Basis der Stadtentwicklung und übergeordneter Stadtplanung künftig an Bedeutung gewinnen werden.

Die vorliegende Studie zeigt insbesondere auch auf, wie groß die Vielfalt an erhobenen, kalkulierten und simulierten Parametern ist (Anhang Tabelle 11), was eine direkte Vergleichbarkeit der Studien sehr schwierig macht. Alle untersuchten Studien umfassen eine große Bandbreite an erhobenen Parametern, oft werden diese allerdings nicht genau erklärt, was zu Schwierigkeiten im Verständnis führen kann. Skoulika et al. (2014) beispielsweise verwenden in ihrem Paper sowohl den Begriff *„Park Cooling Intensity“* als auch *„Cool Island Intensity“*, beschreiben aber nicht, wie und ob sich diese beiden Begriffe oder deren Werte voneinander unterscheiden. Generell wird das Kürzel PCI in den untersuchten Studien oft unterschiedlich definiert, in Cao et al. (2010) wird es als *„Park Cool Island“*, in Vidrih et al. (2013) als *„Park Cooling Island“* beschrieben. Ein Vergleich der Studien zeigte zusätzlich zu der Vielzahl an erhobenen Parametern außerdem ein breites Spektrum an verwendeter Messtechnik (siehe Tabelle 12), wodurch auch ein direkter Vergleich von gleichen Parametern (z.B. Lufttemperatur, Solarstrahlung, etc.) zusätzlich erschwert wird.

Um die Wirkungen von Grünstrukturen in Stadtbereichen doch vergleichen zu können, gibt es mittlerweile erste Ansätze zur Entwicklung spezieller Planungswerkzeuge, welche die ganzheitlichen Wirkungen grüner Infrastrukturen abschätzbar machen und damit auch direkt vergleichbar machen sollen (**vergl. Forschungsfrage F3**). Ein Beispiel dafür ist das in einigen der untersuchten Studien bereits angewandte ENVI-met. ENVI-met ist ein dreidimensionales prognostisches numerisches Strömungs-Energiebilanzmodell und dient der Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Einbezogen werden dabei Parameter wie Gebäudeoberflächen, Bodenversiegelungsgrad, Bodeneigenschaften, Vegetation und Sonneneinstrahlung. Basierend auf der durch ENVI-met möglichen Mikroklimasimulationen wurde in jüngster Vergangenheit das Greenpass-Planungs- und Zertifizierungstool entwickelt, welches Mikroklimasimulationen mit Raum-Strukturanalysen verbindet und nach standardisierten und transparenten Auswertungsprozessen in Abhängigkeit der Planungsfortschritte in Bezug auf Klimaresilienz, Energieeffizienz, Biodiversität, Windfeld und CO₂, Wasserhaushalt und Kosten für grüne Infrastrukturen bewertbar macht (Scharf, 2018).

Vorgaben in künftigen Studien über zu erhebende Parameter könnten eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleisten und vorgegeben werden, gehen allerdings zulasten der Projekte und der Innovation. Die Vergleichbarkeit ist grundsätzlich nur dann gegeben, wenn die Rahmenbedingungen und die Messmethode detailliert festgelegt sind. Kritisch zu hinterfragen ist, ob ein solches Korsett an Vorgaben mit dem Anspruch an innovativen Projekten und Ideen in Einklang zu bringen ist.

Empfehlenswerter wäre eine Umsetzung von Forschungsprojekten an adulten Grünstrukturen (Stadtbäume, Parkanlagen, Gründächer, Vertikalbegrünungen etc.). Die Etablierung neuer Versuchsflächen in Forschungsprojekten nimmt anfänglich geraume Zeit in Anspruch, in der die Leistungsfähigkeit der Grünen Infrastrukturen nicht abgebildet werden kann. Das Monitoring in dieser Phase mit juvenilen Pflanzenstadien ergibt kein reales Abbild der potenziellen Leistung von adulten Grünstrukturen. Daher wäre es wichtig, Referenzwerte zu erheben, um mittel- und langfristige Leistungsspektren abschätzen zu können. Voraussetzung dafür sind einerseits Langzeitstudien an

repräsentativen Grünstrukturen und Referenzobjekten als auch selektierte themenspezifische Aufnahmeparameter und -methoden.

Einmalige und zeitlich punktuelle Datenerfassungen sind schwierig zu interpretieren, oft fehlen die dazugehörigen Einflussgrößen. Langzeitstudien und Dauermonitoring gewährleisten Einblicke in periodisch auftretende Effekte. Treiber sowie auch Hemmer und Störfaktoren können identifiziert werden. Die Kenntnis sowohl positiv als auch negativ wirkender Faktoren erhöht nicht nur die Vergleichbarkeit von Daten aus verschiedenen Projekten, sondern ermöglicht auch eine Steuerung der Effekte bzw. gute Anhaltspunkte für Management- und Erhaltungsentscheidungen.

8. Aktuelle Studien in Österreich

Verschiedene Arbeiten der TU Wien (teilweise in Zusammenarbeit mit der BOKU Wien) setzen sich mit der thermischen Resistenz und dem hygrothermischen Verhalten begrünter gegenüber unbegrünter Fassaden auseinander. An den Gebäuden der MA 48 und des Realgymnasiums Kandlgasse zeigten Tudiwer und Korjenic (2017a, 2017b) eine Erhöhung der Wärmebeständigkeit (Reduktion des U-Wertes bzw. der Wärmeabgabe nach außen) um 20% im Vergleich zur unbegrünter Variante, betonen allerdings die Abhängigkeit von der Fassaden- und Dämmkonstruktion. In ihrer Arbeit zu Greening Aspang wird darauf hingewiesen, dass soweit keine Nachweise für verringerten Heizbedarf durch Grünfassaden vorliegen. Im Rahmen von hygrothermischen Behaglichkeitsanalysen für Innenräume durch Simulation mittels WUFI Plus 3.0 drücken Tudiwer et al. (2018) aus, dass die Einhaltung der Sommernorm nach ÖNORM B 8110-3 (Austrian Standards 2015) an den Analyseobjekten nicht belegt werden konnte und dass sommerlicher Überwärmung am effektivsten durch Aussenverschattung und Kombinationen mit Gebäudegrün begegnet werden kann. An Grünfassaden in Kombinationsystemen mit PV beobachteten Penaranda und Korjenic (2017a, 2017b, 2018) ganzjährige Wärmepuffereffekte bzw. beschreiben sie das Fassadengrün als Grünpuffer mit Isolier- und Dämmfunktion hinter PV zur Temperaturregulierung.

An der BOKU Wien werden seit 2009 laufend Arbeiten und Projekte durchgeführt, die sich konsequent mit der konstruktions- und vegetationstechnischen Funktionalität und den Wirkungen von Grünen Infrastrukturen auseinandersetzen. Die Quantifizierung der Ökosystemdienstleistungen im Hinblick auf verschiedenen Wirkungssphären stehen dabei im Fokus (Mikroklima, Stadtklima, Wasserhaushalt, Bauphysik, s. Tabelle 11 und Anhang). Scharf et al. (2017) etwa zeigten auf, dass die gefühlte Temperatur um mehr als 10°C durch Grüne Infrastrukturen und deren Schattenwirkung verringert werden kann. Die Dämmwirkung durch Grünstrukturen ist für den Energiehaushalt von Gebäuden essenziell, wie Ergebnisse von Scharf et al. (2012) und Scharf et Zluwa (2017) zeigen. Bestimmender Faktor für die Wärmedämmung von Dachbegrünungen ist ihre Aufbaustärke oder Schickdicke. Für eine 12 cm dicke extensive Dachbegrünung wurde im Jahresschnitt ein U-Wert von 0,94 W/m².K berechnet, während ein 20 cm starker Aufbau bereits 0,47 W/m².K erreicht. Der 30 cm Aufbau (semi-intensive Dachbegrünung) kommt im Jahresschnitt auf 0,29 W/m².K (Scharf et Zluwa 2017).

U-Werte von Fassadenbegrünungen liegen von den wandgebundenen Systemen des Gebäudes der MA48 vor. Eine Verbesserung des U-Wertes im Vergleich zum Ausgangswert des Gemäuers um 30% konnte beobachtet werden (Scharf et al. 2012), wobei im Sommer geringfügig bessere Dämmleistung (ca. 5%) als im Winter festgestellt wurde. Vergleichbare Werte wurden von Tudiwer und Korjenic (2017a, 2017b publiziert). Am selben Objekt wurden Blattflächen (LAD) zwischen 0,07 und 0,7 m²/m³ Pflanzenvolumen abhängig von der Pflanzenart ermittelt. Am Gebäude der MA 31, das mit Rankpflanzen und Beschattungslamellen ausgestattet ist, wurden Blattflächenwerte in der Höhe von 124% der projizierten Fassadenfläche errechnet (Pitha et al. 2018). Drei Jahre nach der Installation der Fassadenbegrünung bestätigt sich der Trend, dass mit zunehmender Blattmasse und Pflanzenvolumen im Innenraum der Bereich des hygrothermischen Wohlbefindens, das normgemäß bei Raumtemperaturen von 20-24° C mit einer relativen Luftfeuchte im Bereich von 40-60 % liegt, angenähert wird (Pitha et al. 2018).

Die Retentionsleistungen von Gründächern sind schon lange anerkannt (z.B. VanWoert et al. 2005, Speak et al. 2013, Stovin et al. 2013, Todorov et al. 2018) und Retentionsanalysen (aus Messungen

oder Simulation) verhältnismäßig populär. Es liegen auch Hinweise aus Simulationen dafür vor, dass Wasser im Dachsubstrat entscheidend auf den Wärmefluss im Dach einwirkt (tägliche durchschnittliche Reduktion um 11%) und sommerlicher Überhitzung entgegenwirkt (Vertala et al. 2018).

Durchschnittliche Retentionsraten von Intensivgründächern von 67 % (gegenüber unbegrünten Dächern mit 34%) liegen von Speak et al. (2013) vor. Je nach Klima- bzw. Wetterkonditionen geben auch Stovin et al. (2013) Retentionsspannen zw. 19 und 59 %, VanWoert et al. (2005) bis 83 %, Todorov et al. (2018) sogar bis 99% an. Aus Arbeiten des IBLB BOKU Wien liegen Daten zur Retention unterschiedlicher Gründachaufbauten vor, die durchschnittliche Speicherfähigkeiten der Substrate von 4 l/cm Aufbauhöhe aufzeigen. So erreicht ein semiintensiver Dachaufbau mit 30 cm Aufbauhöhe eine maximale Wasserspeicherfähigkeit von 137 l/m² (Pitha et al. 2012). Substrate für Regengärten sind aufgrund ihrer Infiltrationsleistung von durchschnittlich $5 \cdot 10^{-4}$ m/sec in der Lage, Starkregenereignisse aufzunehmen, und dennoch über 35 Vol.-% dauerhaft zu retentieren (Scharf et al. 2017). Die Qualitätszielverordnung Grundwasser Chemie wird dabei eingehalten (Allabashi et al. 2017). Als Standardwissen bekannt und logisch nachvollziehbar ist, dass der Wasserabfluss bzw. die Retentionsleistung neben meteorologischen Einflüssen von der Dachneigung, von Substrathöhe, den hydrologischen Eigenschaften der Substratmischungen, vom Schichtaufbau und den Bestandsstrukturen (Deckungsgrad bzw. Kronenschluss, hoch- oder niedrigwüchsig etc.) abhängt.

Die Arbeitsgruppe Vegetationstechnik des IBLB BOKU Wien) arbeitet seit einigen Jahren konstant an der Entwicklung von leistungsfähigen Substratmischungen (sowohl für Gründächer als auch für Grünfassaden), die multifunktionale Anforderungen wie hohes Wasserspeichervermögen bei ausreichendem Wasserab- bzw. -durchfluss gewährleisten und zudem reduzierte Gewichtslasten verursachen (s. Tabelle 11 Beispielprojekte ProGrün, DrainGarden, SAVE). Zur Simulation der Hydrologie von Gründächern z.B. mittels Hydrus-Modell (1-, 2- oder 3-D) beschäftigen sich zahlreiche internationale Studien (z.B. Hilten et al., 2008; Palla et al., 2009, Newcomer et al., 2014, Li et Babcock, 2015; Brunetti et al. 2017), die u.a. Kalibrierkurven anhand von Messdaten aus dem Freiland erarbeiteten. Mit verlässlichen Simulationswerkzeugen zielen sie auf die Optimierung morphologischer Charakteristika sowie Absorptions- und Retentionsqualitäten von Substrat- und Filterschichten und dem Aufbaudesign ab.

Nachfolgende Tabelle 11 präsentiert einen Überblick über jüngere Monitoringstudien des IBLB BOKU Wien und daraus erworbene Referenzwertebereiche.

Tabelle 11: Ausgewählte Monitoringprojekte des IBLB BOKU Wien mit Schwerpunkt Bauwerksbegrünung sowie Hinweise auf untersuchte Wirkbereiche und ableitbare Referenzwertebereiche (Abkürzungen: DBG...Dachbegrünung, FBG...Fassadenbegrünung, BA...Baum, FF...Freiflächen, WEG...Oberflächenbefestigung)

Projekt Fördergeber	Kurzbeschreibung	Grüne Infrastruktur	Untersuchte Bereiche				Untersuchte Parameter	
			Mikroklima	Bauphysik	Wasserhaushalt	Sonstige	Ableitbare Referenzwertebereiche	Publikationen
GrünStadtKlima - FFG-Basisprogr.	Untersuchung der Wirkungen von grünen Infrastrukturen auf den urbanen Energie und Wasserhaushalt	DBG, FBG, WEG	✓	✓	✓	Reinigungsleistung	<p>Dachbegrünungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Speicherfähigkeit der Substrate bis zu 4 l/m².cm Substrat - Bis zu 137 l/m² bei 30 cm Aufbauhöhe - U-Wert im Jahresschnitt bis zu 0,3 bei 30 cm Aufbauhöhe <p>Fassaden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Oberflächentemperatur auf Umgebungstemperatur; Putzfassade bis zu 60 °Celsius - Erhöhung der rel. Luftfeuchte um bis zu 10 % - Albedo zwischen 10 und 20 % <p>Oberflächenbefestigungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 100 % Versickerung bei 200 l Starkregen durch offenporige OFB - 40 % Versickerung durch Pflasterung 20x10 und Normfuge, bei Zementfuge 10 % <p>Elimination von Schadstoffen im Sickerwasser bei 20x10 Pflasterung mit Normfuge > 90 %,</p>	Pitha et al. (2012) Scharf et al. (2012a) Scharf et Zluwa (2017) Enzi et al. (2013)

Projekt Fördergeber	Kurzbeschreibung	Grüne Infrastruktur	Untersuchte Bereiche				Untersuchte Parameter	
			Mikroklima	Bauphysik	Wasserhaushalt	Sonstige	Ableitbare Referenzwertebereiche	Publikationen
PROGREENcity - EU- ERASME	Entwicklung innovativer Bauwerksbegrünungen, Untersuchung der Wirkungen auf Klima, Wasserhaushalt, Gebäude Feinstaub	DBG, FBG	✓	✓	✓	Feinstaub	Dachbegrünungen: Feldkapazität der Substrate bis zu 4 l/m ² .cm Substrat Fassaden: <ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung der rel. LF bis 10 % - Albedo zwischen 10 und 20 % Bauphysik: <ul style="list-style-type: none"> - Reduktion Innenraum-T 4,5°C (FBG+DBG) - Reduktion der Deckmaterial-T 6°C (DBG) Feinstaubbindung: Depositionsleistung am Einzelpflanzenvolumen 15 – 30% (je nach Partikelgrößen (PM10, PM5, PM2,5))	Londershausen et al. (2016) Scharf et al. (2013a)
MA48 Grünwand - FFG-InnovationscheckStadt Wien	Untersuchung der Vegetationsentwicklung und der mikroklimatischen und bauphysikalischen Wirkungen eines wandgebundenen Fassadenbegrünungssystems	FBG	✓	✓	✓	Biomasse, CO ₂ -Speicherung	Fassaden: <ul style="list-style-type: none"> - Reduktion OT > 20 °C (gegenüber Putz) - Albedo zwischen 10 und 20 % (FBG wandgebunden) - Verdunstungsleistung > 3 l/d.m² - Kühlleistung von 75 Klimaanlage mit 12 h Betriebsdauer Bauphysik: <ul style="list-style-type: none"> - Reduktion T-Schwankungen in der Hinterlüftungsebene 7 °C - Verbesserung des U-Wertes um 30 % - Reduktion Heizkosten 13 %/a 	Scharf (2012) Scharf et al. (2012) Scharf et al. (2013b)

Projekt Fördergeber	Kurzbeschreibung	Grüne Infrastruktur	Untersuchte Bereiche				Untersuchte Parameter	
			Mikroklima	Bauphysik	Wasserhaushalt	Sonstige	Ableitbare Referenzwertebereiche	Publikationen
MA31 Pflanzenfassade - Stadt Wien	Untersuchung der Vegetationsentwicklung und daraus resultierenden bauphysikalischen Wirkungen	FBG		✓	✓	LAI, Biomasse	Fassade: - Blattfläche der Kletterpflanzen 1.200 m ² (= 124% der projektiven Fassadenfläche) Bauphysik: - Reduktion Innenraum-LT 3 °C - Reduktion Wärmedurchgang ca. 1 W/m ² .K CO₂: - Speicherung von 480 kg CO ₂ (entspricht Ausstoß von 2.300 PKW-km)	Pitha et al. (2018)
PV Dachgarten - FFG - COIN	Entwicklung eines Dachgartens zur Energiegewinnung, Wasserretention und als Aufenthaltsraum	DBG	✓		✓	Biomasse, LAD	- Pflanzenwachstum ideal bei 30%-iger Lichtdurchlässigkeit der PV-Paneele - Auflast 300 kg/m ² (durchdringungsfreie Konstruktion mit Pflanzbeeten, Sitzbereichen und PV-Pergola) - Die tägliche Amplitude des UTCI innerhalb des PV-Dachgartens ist kleiner als außerhalb (= erhöhte Aufenthaltsqualität für Menschen, da Temperaturextreme abgeschwächt werden, thermischer Stress wird reduziert im PV-Dachgarten)	Österreicher et al. (2017) Sattler et al. (2017) Weixelbaumer et al. (2018)
Greening Aspang - FFG - Smart City Sondierung	Optimierung des Energiehaushalts eines bestehenden Stadtteils	DBG, FBG, BA, FF	✓	✓			Mikroklima: - Reduktion TLS 1 ° - 1,5 °C auf einer Strecke von 400 m (Bäume+ FBG + DBG) - Reduktion T durch Gebäudedämmung 0,2°C Fassaden: - Reduktion abgestrahlte sensible Wärme bis 170 W/m ² (FBG bodengebunden)	Bretschneider et Scharf (2018) Bretschneider et al. (2018)

Projekt Fördergeber	Kurzbeschreibung	Grüne Infrastruktur	Untersuchte Bereiche				Untersuchte Parameter	
			Mikroklima	Bauphysik	Wasserhaushalt	Sonstige	Ableitbare Referenzwertebereiche	Publikationen
Draingardens - WAW Innovation	Entwicklung von hydraulisch hocheffizienten und Schadstoff bindenden Substraten zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung	FF			✓	Reinigungsleistung	Freiflächen: - Infiltrationsgeschwindigkeit >10 ⁻⁵ m/s.30cm ÖNORM B2506-3 - Wasserspeicherfähigkeit > 35 Vol.-% - Porenvolumen über 45 %	Scharf et al. (2017) Allabashi et al. (2018)
GrünPlusSchulen@ Ballungsraum - FFG - Smart City Demo	Untersuchung von Gebäudebegrünungs-Systemen (mit PV-Modulen) an Wiener Schulen, hydrothermisches Verhalten der Gebäude, Energiesparpotenzial, Luftfeuchtigkeit, Beschattung, Lärm-minderung, Wasserrückhalt, Wärmeinseleffekt	DBG, FBG		✓	✓	Luftqualität innen Lärmschutz	- Pflanzeneignung ist vom verwendeten System abhängig – nicht jede Pflanze wächst nachhaltig in jedem Fassadenbegrünungssystem an jedem Standort Fassadenbegrünungen eignen sich für den Standort ‚öffentliche Schule‘; jedoch ist eine kontrollierte Pflege von Fachfirmen unumgänglich; je sensibler das System, desto ‚überwachter‘ und engmaschiger müssen Pflegemaßnahmen durchgeführt werden.	Tudiwer und Korjenic (2017a, 2017b)

9. Schlussfolgerungen und Orientierungshilfe

9.1. Schlussfolgerungen

- I. Die aus der internationalen Literatur recherchierten Erkenntnisse geben NICHT ausreichend Aufschluss über eindeutige Wirkungen von grünen Infrastrukturen, sondern nur Indikationen. Diese Einsicht bestätigt die Erwartungshaltung und Annahme der AutorInnen: die Ergebnisse lassen derzeit eine Ableitung eines Evaluierungs- und Monitoringkonzeptes, das auf breitem Level vergleichbar wird, nicht zu.
- II. Die Publikationen über Energieeinsparungen zeigen KEINE eindeutigen Angaben oder Bezüge über Zeit und Gebäudeflächen auf, die Einsparungen sind nicht in gleichbedeutenden physikalischen Einheiten (etwa kWh) angegeben, sondern teilweise monetär ausgedrückt, teilweise werden Prozente oder Prozentbereiche dargestellt mit oder auch ohne genauere Definitionen (Beispiele für monetäre Angaben: Heizkosten, Anteil am Jahresverdienst ohne weitere Definition).

Das wirft die Grundproblematik auf, dass die meisten publizierten Ergebnisse untereinander nicht vergleichbar sind und ausschließlich Kontext-bezogene, nur für sich stehende Werte darstellen.

- III. Derzeit sind keine Übersichtstabellen zu erreichbarer Temperaturreduktion durch Grünstrukturen verfügbar. Die in dieser Studie erarbeiteten Tabelle 5 und Tabelle 6 sind ein erster Vorstoß dieser Art:

Tabelle 5 zeigt publizierte Wertebereiche für Gründächer aus Simulation UND Monitoring (also unterschiedliche methodische Zugänge), mit nicht immer klaren Angaben dafür deutlichen Unschärfen, wo genau die Temperatur erhoben wurde (Luft vs. Dach; Abstand der Messpunkte zur Konstruktion unklar, etc.).

Tabelle 6 zeigt publizierte Werte für Oberflächenkühlung an Fassaden. Angeführt wurden hier nur Studien, die sich auf denselben Parameter Oberflächenkühlung und auf einheitliche Temperaturangaben geeinigt haben. Auch hier gab es Unschärfen in der Information, ob die Kühlleistung im Vergleich zu einer Referenzfläche stand, einen Vorher-Nachher-Vergleich beschreibt oder anderes.

- IV. Die Studien basieren auf sehr unterschiedlichen Erhebungsparametern, bzw. Arten der Begrünung (bodengebundene vs. wandgebundene Fassadensysteme, Wannens vs. Module, verschiedene Expositionen, abweichende Substrate bzw. Pflanzträgermedien etc.). Spezifische Angaben über den Messort (außen vs. innen, Oberfläche am System/an der Begrünung, Oberfläche an der Fassadenwand etc.) bzw. Referenzwerte fehlen teilweise oder sind entsprechend unterschiedlich. Dadurch entstehen große Spannbreiten in den Angaben (bis 25° C in Tabelle 6), die eine Wertung „gute“ oder „schlechte“ Leistung nicht zulassen.
- V. Parameter(gruppen), die sich zur Wirkungsbeschreibung eignen (z.B. Lufttemperatur und Luftfeuchte, Beschattung, Evapotranspiration, Kühlleistung, LAI, LAD, LA, PET, PMV, UTCI, thermischer Komfort) werden in der nachfolgenden Orientierungshilfe (Kap. 9.2) übersichtlich dargestellt und in Kapitel.10 zusammengefasst. Die aktuelle Forschungsrealität spiegelt leider

keine Zielwerte für bestimmte Parameter. Publizierte Wertebereiche eignen sich derzeit nicht zur Zielwertfestlegung.

- VI. Die Studie hat zutage gebracht und veranschaulicht, dass es derzeit nicht möglich ist, allgemeingültige Referenzbereiche aus den publizierten Angaben abzulesen (s. auch Unschärfen oben), weil die Vergleichbarkeit der abgebildeten Werte nicht gegeben ist. Teilweise liegen Referenzwerte vor, sind jedoch häufig mit großen Spannbreiten behaftet. Aussagekräftige Erkenntnisse inhaltlicher Natur lassen sich ablesen und wurden diskutiert, relevante Wertebereiche sind nur teilweise verfügbar. Kapitel 9.2 bietet eine **Orientierungshilfe mit Glossar** über Parameter und Indikatoren, die für die Evaluierung von Umsetzungsmaßnahmen potenziell Relevanz zeigen.

9.2. Orientierungshilfe

Nachfolgende Tabelle stellt eine Orientierungshilfe (inklusive Glossar) über Parameter und Indikatoren dar, die für die Evaluierung von Umsetzungsmaßnahmen potenziell Relevanz zeigen. Die Bewertung und Einschätzung der Relevanz (sehr relevant bis wenig relevant bzw. nicht geeignet) erfolgte auf Basis persönlicher Expertise der AutorInnen. Das Format der folgenden 4 Seiten ist auf A3 eingestellt. Die Abkürzungen orientieren sich am international gültigen Standard.

ORIENTIERUNGSHILFE und GLOSSAR

Abk.	Parameter und potenzielle Indikatoren	Deutsche Bezeichnung	Messung	Erhebungsmethode	Relevante Referenzwerte vorhanden JA/NEIN	Referenzbereiche	Kurzbeschreibung	Beurteilung der Relevanz für die Evaluierung von Umsetzungsmaßnahmen	
								+++ sehr relevant	++ mäßig relevant
	Air Temperature / Air Humidity	Lufttemperatur / Luftfeuchte	Direkt	Sensormessung	NEIN	NEIN		+++	Für UHIF, UTCI, PET
	Surface Temperature	Oberflächentemperatur	Direkt	Sensormessung Thermokamera Thermoelemente (Thermoelektrische Effekte)	NEIN	Kühlung: 5.0 °C – 31.9 °C; (siehe Tabelle 6) Werte nicht pauschalisierbar aufgrund unterschiedlicher Parameter (Exposition, Klimazone)	Oberflächennahe Lufttemperatur – Keine ausreichende Definition; Wesentlicher Parameter für den Energiehaushalt	+++	Muss standardisiert werden
	Shading	Beschattung	Indirekt	Strahlungsmessung mittels Pyranometer unter und oberhalb der z.B. Baumkronen	JA	Keine	Gibt Solarstrahlung unter bzw. hinter grüner Infrastruktur, die auf konventionelle urbane Materialien trifft (Lee et al. 2016). Die Transmissivität von Baumkronen ist nur unzulänglich bekannt; keine Kenntnis von Beständen aus Gebäudebegrünungen. Beschattung durch Fassadenbegrünungen bringen bessere Kühlleistung im Innenraum (Pfoser et al., 2013, Pfoser 2016)	+++	Gut messbar
PET	Physiological Equivalent Temperature	Physiologisch Äquivalente Temperatur	Indirekt	Kalkulation aus Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Wasserdampfdruck, Solarstrahlung	NEIN	<4 Very cold 4 – 8 Cold 8 – 13 Cool 13 – 18 Slightly cool 18 – 23 Comfortable 23 – 29 Slightly warm 29 – 35 Warm 35 – 41 Hot >41 Very hot	Thermischer Index, der unter Berücksichtigung der Thermoregulation und Bekleidung des Menschen die Wärmebelastung bewertet (Höppe 1999); Beschreibt den Einfluss der thermischen Umgebung auf den Menschen, beruht auf dessen Energiebilanz; Standardisierte Skalen (gefühlte T in °C) mit Absolutwerten, geben keine subjektiven Empfindungen wieder (Lozán et al., 2008)	+++	Wert inkludiert thermischen Komfort des Menschen in einer standardisierten Art und Weise mit numerischer Skalierung der Temperatur (kumulativer Wert) Punktuell messbar Flächig simulierbar
UHI - Factor	Urban Heat Island Factor	Keine offizielle Übersetzung des Fachbegriffs; aus dem Engl.: 'Urbaner Hitzeinselfaktor'	Indirekt	Kalkulation aus Lufttemperatur (2 m über Grund): Differenz zw. Umlandtemperatur und Stadttemperatur	NEIN	NEIN	Differenz aus Lufttemperatur im Umland und jener der Stadt (Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – MA22, 2015)	+++	Einfach messbar, Sensor im Umland und in der Stadt

	Evaporation Capacity	Verdunstungsleistung	Indirekt	Stomatäre Leitfähigkeit (Blattporometer) und LAI Bestimmung oder Saftflussmessungen sehr aufwändig	JA	keine	Stomatäre Transpiration, misst die Wasserabgabe/m ² , kann über LAI Bestimmung der untersuchten Pflanze berechnet werden. Saftflussmessung berechnet den Flüssigkeitstransport in den Leitbahnen von Gehölzen, repräsentiert den Wasserverbrauch	++ Einfache Blattporometermessung nur gemeinsam mit LAI möglich
LAI	Leaf Area Index	Blattflächenindex	Direkt	Hemisphärenfotografie Blattscan (ganze Pflanze oder repräsentative Teilprobe) PAR-Sensoren Messmethode, z.B. mittels: AccuPAR PAR/LAI	JA	5°-31,9° (z.B. Santamouris et al., 2014) Große Spanne, nicht pauschalisierbar aufgrund fehlender Detailinformationen (z.B. Pflanzenarten)	Spiegelt die Belaubungsdichte; beschreibt das Verhältnis der gesamten Blattoberfläche eines Bestandes zur gesamten Bestandsgrundfläche (Kuttler, 2013); Zur Anwendung des LAI in Vertikalebene werden Anpassungen empfohlen (Perez et al. 2014)	++ Gibt Informationen zur Strahlungsreduktion, Transpirationsleistung und Photosyntheseleistung (sowie O ₂ , CO ₂)
			Indirekt	Ceptometer Model LP-80	JA			
PMV	Predicted Mean Vote	Keine offizielle Übersetzung des Fachbegriffs; aus dem Engl.: ‚erwartete durchschnittliche Empfindung‘	Indirekt	Kalkulation aus menschlicher Aktivität, Wärmeisolation durch Bekleidung, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Mittlerer Strahlungstemperatur, Windgeschwindigkeit, Wasserdampfdruck, Strahlungstemperatur	NEIN	PMV Index nach AHRAE: +3 hot +2 warm +1 slightly warm 0 neutral -1 slightly cool -2 cool -3 cold	Index zur Angabe des Behaglichkeits-/Unbehaglichkeitsgrades, spiegelt die mittlere subjektive Beurteilung größerer Personengruppen (qualitative Bewertung im Gegensatz zum PET) Basis für das Klima-Michel-Modell (Energiebilanzmodell für den menschlichen Organismus)	++ Wert inkludiert den thermischen Komfort des Menschen in einer standardisierten Art und Weise ohne numerischer Skalierung der Temperatur
	Runoff	Abflussbeiwert	Direkt/Indirekt	Niederschlagsmessung Abflussmessung über Sammelvorrichtungen	JA	0,5 (extensiv begrünte Dächer gemäß ÖNORM L 1131, ÖNORM B 2501, < 10cm Aufbauhöhe) 0,3 (intensiv begrünte Dächer gemäß ÖNORM L 1131, ÖNORM B 2501, > 10 cm Aufbauhöhe) 0,1 (Aufbauhöhe > 50cm)	Repräsentiert den Oberflächenabfluss als Teil des Gesamtniederschlags (Abflussbeiwert 1 = 100% Abfluss) Verringerung des Oberflächenabflusses und hohe Retentionsleistung über Grünflächen erhöht die Klimaresilienz	++ Nicht geeignet, aufwändig in der Messumsetzung Labormessung nötig
	Solar Radiation	Solarstrahlung	Direkt/Indirekt	Sensormessung Pyranometer	NEIN	NEIN	Gibt an, wieviel Energie von der Sonne einen Punkt erreicht.	++ Teilgröße für MRT und Eingangsgröße für Strahlungsbilanz und MRT
TCS	Thermal Comfort Score	Gewichteter thermischer Komfort nach Flächenanteilen	Simulation, Flächenanalyse und Berechnung	Mikroklimasimulation und Berechnung aus Rohdaten für Modellgebiet	Keine	Keine	Wird aus den unterschiedlichen Komfortkategorien gemäß PET errechnet. Er stellt eine Zahl dar, die die Qualität von Projektgebieten ausdrückt und vergleichbar macht (Fassbinder 2018)	++ Simulation notwendig
TLS	Thermal Load Score	Differenz aus der Temperatur des einströmenden und des ausströmenden Luftpokers aus einem Modellgebiet		Mikroklimasimulation und Berechnung aus Rohdaten für Modellgebiet	Keine	Keine	Entspricht Abluftstrom, zeigt auf, ob und wie stark ein Projektgebiet zur Aufheizung der nachgereihten Stadtquartiere beiträgt. (Scharf 2018)	++ Simulation notwendig
T _{mrt}	Mean Radiant Temperature	Mittlere Strahlungstemperatur	Indirekt → S	Kalkulation aus der Summe aller auf einen Punkt wirkenden Strahlungen zu einem Zeitpunkt (lang- und kurzweilig); Messbar mit Energiebilanzmessern (kurz- und	NEIN	NEIN	T _{mrt} ist die einheitliche Temperatur einer schwarz strahlenden Umschließungsfläche, die für eine Referenzperson zu einem identischen Gewinn an Strahlungsenergie führen würde wie in der aktuellen Umgebung (VDI, 2008).	++ Wesentliche Eingangsgröße für PET, leichter messbar

				langwellige Strahlungsbilanz)				
TSC	Thermal Storage Capacity	Thermische Energiespeicherkapazität	Simulation	Mikroklimasimulation und Berechnung aus Rohdaten für Modellgebiet	Keine	Keine	Energiespeicherung von urbanen Strukturen (Scharf, 2018) Liefert numerische Ergebnisse über die Energie, die von urbanen Oberflächen pro Tag aufgenommen wird (Gradmesser für Überhitzung)	++ Simulation notwendig
UTCI	Universal Thermal Climate Index	Universeller thermischer Klimaindex	Indirekt	Kalkulation aus Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Solarstrahlung, mittlere Strahlungstemperatur	NEIN	< -40 Extreme cold stress -40 – 27 very strong cold stress -27 – 13 strong cold stress -13 – 0 Moderate cold stress 0 – 9 Slight cold stress 9 – 26 No thermal stress 26 – 32 slight heat stress 32 – 38 moderate heat stress 38 – 46 strong heat stress > 46 extreme heat stress	Index, der unter Berücksichtigung der Thermoregulation und Bekleidung des Menschen das thermische Wohlbefinden bewertet; eine globalgültige Skala (Jendritzky et al., 2009).	++ In Anwendung eingeschränkt Macht in gewissen Messumgebungen keinen Sinn (funktioniert bei Windgeschwindigkeit < 0,5 m/sec nicht, weil die Formel es nicht vorsieht)
	U-Value	U-Wert	Direkt	Sensormessung	JA	0,3 im Jahresdurchschnitt für semi-intensive Gründächer 0,2 für Dachflächen (OIB 2011)	Eingangsgroßen Wärmedurchfluss und Temperaturdifferenz	++
	Wind Wind Speed	Wind Windgeschwindigkeiten	Direkt	Sensormessung Anemometer	NEIN	NEIN	Wesentlich für urbanen Energieaustausch, Transport von kühler Luft und nächtlicher Abkühlung Standardisierte Windkomfortbewertungen mittels Simulation (Bretschneider et al. 2018)	++
BR	Bowen Ratio	Bowen-Verhältnis	Indirekt	Kalkulation aus vertikaler Lufttemperatur und Feuchtigkeitsgradienten	Keine	Keine	Verhältnis von fühlbarer Wärme zu latenter Wärme; Beschreibt den Wärmefluss und gibt Hinweise über die Abkühlung urbaner Quartiere; Hoher Versiegelungsgrad und Wassermangel resultiert in Umsetzung der Energie in fühlbare Wärme (BR etwa 2:1); Anteil an verdunstungsfähigem Wasser ist im ländlichen Umfeld höher (BR etwa 1:2) (Cook, 2000)	+ Leicht berechenbar
	Cooling Capacity	Kühlleistung	Indirekt:	eigentlich Beschattung (s. MRT)	JA	1.1 – 6.9 °C durch Grünflächen in Stadtgebieten; 0.05 – 3.98 °C durch Gründächer in Stadtgebieten; Werte nicht pauschalierbar, da von sehr diversen Faktoren (z.B. Klimazonen) abhängig	Kühlung von Oberflächen, die sonst energetisch aufladen; sehr divers Energetisch entscheidend ist die Schattenspendung, und dass keine Energie gespeichert wird (abgebildet im Thermal Storage Score) (Früh et al. 2010)	+ Simulation nötig
	Heat Flow	Wärme(durch)fluss	Direkt	Sensormessung Wärmeflussmesser	NEIN	NEIN	Indikator für die Energie, die in tiefere Schichten geht; von Wärmeleitfähigkeit des Materials abhängig (Scharf et Zluwa 2017, Scharf et al. 2012)	+
LAD	Leaf Area Density	Blattflächendichte	Indirekt	Kalkulation aus LAI und Bestandeshöhe/-volumen	NEIN		Summe der einseitigen grünen Blattflächen je Einheit Kronenvolumen, variiert mit Kronenhöhe;	+ Messmethode aufwendiger als bei LAI

SVF	Sky View Factor		Indirekt	Analytisch (Winkel-messungen); Grafische Schätzungen; Schätzungen aus GPS-Signalen; Schätzungen aus 3-Geodaten; Hemisphärenfotos	Keine	Keine	repräsentiert die dreidimensionale Kronenstruktur; Definiert als Maß für städtische Öffnung: Gemessen wird, wieviel % des Himmels vom Boden aus sichtbar sind (Sichteinschränkungen durch Gebäude gegeben), Unger 2009; Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – MA22 2015)	+ Leicht messbar
	Energy Saving	Energieeinsparung	Indirekt	Sehr divers Betriebs-/Heiz- und Kühlkostenersparnis Kühlgradstunden (Aussenwirkung)	Nicht geeignet	10.3 – 44.4%; 3.6 kWh – 3000 kWh (siehe Tabelle 3); Werte nicht pauschalierbar	Sehr divers, nicht pauschalierbar; Gibt Auswirkungen von Grünen Infrastrukturen auf den Energiebedarf von Gebäuden an (Heizkosten, Kühlkosten, U-Wert, Kühlgradstunden (Schmidt 2010, The Mersery Forest 2010)	NICHT GEEIGNET
PCI	Park Cool Islands	Keine offizielle Übersetzung des Fachbegriffs; aus dem Engl.: ‚Kälteinseln in Parkanlagen‘	Indirekt	Kalkulation aus Unterschieden zwischen Oberflächen- und Lufttemperaturen	NEIN	Keine	Unterschied zwischen den Lufttemperaturen in Parkanlagen und den Temperaturen in den Randbereichen (Vidrih et al., 2013, Chow et al., 2011)	NICHT GEEIGNET auf Gebäudeebene
	Soil Temperature/ Moisture	Bodentemperatur/ Bodenfeuchte	Direkt	Sensormessung (T) Thermografie	NEIN	NEIN	Relevant in Substraten, leicht messbar	NICHT GEEIGNET
UCI	Urban Cool Islands	Keine offizielle Übersetzung des Fachbegriffs; aus dem Engl.: ‚Urbane Kälteinseln‘	Indirekt	Kalkulation aus Lufttemperatur	NEIN	NEIN	Tritt auf, wenn die Lufttemperatur der ländlichen Umgebung wärmer als die Lufttemperatur in der Stadt ist. Im Gegensatz zum UHI tritt der UCI immer tagsüber und mit relativ schwacher Intensität auf (Yang et al., 2017).	NICHT GEEIGNET auf Gebäudeebene
UHI	Urban Heat (Island) Effect	Urbane Hitzeinseleffekt	Indirekt	Kalkulation aus Lufttemperatur (2 m über Grund)	NEIN	NEIN	Höhere Temperaturen in Stadtgebieten im Vergleich zum Umland (Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – MA22, 2015) Mikroklimatische Werte bestimmen wesentlich PET, MRT und Luft-T in der Nacht	NICHT GEEIGNET auf Gebäudeebene

10. Die wichtigsten Erkenntnisse auf einem Blick

Die wissenschaftliche Beschreibung und die Einschätzung der Wirkungen von grünen Infrastrukturen im urbanen Umfeld sind ein junges Forschungsfeld.

In der jüngeren Zeit sind die Publikationen zur Quantifizierung der Wirkungen und Leistung von grünen Infrastrukturen massiv angestiegen. Besondere Forschungsschwerpunkte bilden die Kategorien Stadtbäume und Parkanlagen, Gründächer und Vertikalbegrünungen.

Wichtige messbare Wirkungen liegen in den Kühleffekten und damit verbundener Energieeinsparung. Beschattung durch hohe Kronendichte, ausdrückbar durch den LAI, sowie hohe Transpiration sind die wesentlichen dahinterliegenden Funktionen von grünen Strukturen.

Das Spektrum an erhobenen Parametern sowie der eingesetzten Messtechnik bzw. Versuchsdesigns ist sehr breit.

Ungenauere Definitionen oder Angaben über die dahinterliegenden Daten und Erhebungs-Setups führen zu Schwierigkeiten im Verständnis oder in der Vergleichbarkeit der publizierten Daten und Wertebereiche. Zielwerte können daraus nicht abgeleitet werden.

Erste Ansätze prognostischer Planungswerkzeuge zur Einschätzung ganzheitlicher Wirkungen von grünen Infrastrukturen liegen bereits vor. Sie ermöglichen Vergleichssimulationen unterschiedlicher Begrünungsmaßnahmen.

Nachfolgend sind die im Rahmen der Studie gewonnenen Erkenntnisse zu den Forschungsfragen zusammengefasst.

	Forschungsfragen	Wirkungen
F1:	Welche konkreten und messbaren Wirkungen im städtischen Bereich sind auf Begrünungen und Begrünungsmaßnahmen zurückzuführen?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Beschattung ✓ Kühlleistung ✓ Energieeinsparung ✓ Thermischer Komfort ✓ Urban Heat Island Urban Cool Island Park Cool Island
		Parameter
F2:	Welche Parameter werden in zurzeit verfügbaren Studien und Arbeiten abgebildet und eignen sich, um Wirkungen einer Begrünung zu beschreiben?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lufttemperatur Luftfeuchte ✓ Beschattung Oberflächentemperatur ✓ Evapotranspiration ✓ LAI LAD LA ✓ PET PMV UTCI MRT <p>Viele der Parameter können nur indirekt erfasst und über andere Messgrößen errechnet werden.</p>
		Kriterien
F3:	Welche Kriterien können herangezogen werden, um die Wirkungen von Vorhaben und Maßnahmen zu beschreiben oder eines bereits realisierten Projektes zu messen?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vergleichbarkeit von Daten und Parametern ✓ Rahmenbedingungen (z.B. Klima, Exposition, Gebäudestrukturen) ✓ Art und Alter der Grünstrukturen (adulte Phase zur Spiegelung der vollen Leistungsfähigkeit) ✓ Dauer des Monitoring-Zeitraums (z.B. Langzeitstudien) ✓ Simulation mit Planungswerkzeugen

11. Verzeichnisse

11.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einordnung der am häufigsten publizierten Parameter in Ranglisten und nach Themenkategorien auf Basis von 159 berücksichtigten Studien (Scientific Papers mit und ohne Review, Veröffentlichungen in Konferenz- und Tagungsbänden, Projektberichte, Dissertationen).....	13
Tabelle 2: In der Studie berücksichtigte Literaturquellen	18
Tabelle 3: Publierte Angaben über Energieeinsparung durch Beschattung aus Simulation und Monitoring (basierend auf Balogun et al. (2014), modifiziert)	20
Tabelle 4: Publierte Angaben zur Minderung des Wärmeinseleffekts durch Grünflächen aus Simulation und Monitoring (basierend auf Skoulika et al. (2014), adaptiert und modifiziert).....	22
Tabelle 5: Publierte Angaben zum Thema Kühleffekte durch Gründächer aus Simulation und Monitoring.....	23
Tabelle 6: Ausgewählte Studien zu den mikroklimatischen Effekten vertikaler Begrünungen (basierend auf Medl et al., 2018a; adaptiert)	26
Tabelle 7: Einordnung der am häufigsten publizierten Parameter in Ranglisten und nach Themenkategorien auf Basis von 157 berücksichtigten Studien (Scientific Papers mit und ohne Review, Veröffentlichungen in Konferenz- und Tagungsbänden, Projektberichte, Dissertationen).....	30
Tabelle 8: Publierte Parameter und Daten zum Thema ‚Stadtbäume‘ und Anzahl der Studien.	31
Tabelle 9: In den Studien zum Thema ‚Parkanlagen‘ erhobene Parameter.....	31
Tabelle 10: In den Studien zu den Themen ‚Gründächer‘ und ‚Vertikalbegrünungen‘ erhobene Parameter.....	32
Tabelle 11: Ausgewählte Monitoringprojekte des IBLB BOKU Wien mit Schwerpunkt Bauwerksbegrünung sowie Hinweise auf untersuchte Wirkbereiche und ableitbare Referenzwertebereiche (Abkürzungen: DBG...Dachbegrünung, FBG...Fassadenbegrünung, BA...Baum, FF...Freiflächen, WEG...Oberflächenbefestigung).....	37
Tabelle 12: Übersicht über alle im Zuge der untersuchten Studien erhobenen Parameter sowie dazu verwendete Messsetups und Software.....	61

11.2. Literaturverzeichnis

1. Abreu-harbach, L.V., De, Chebel, L., Matzarakis, A. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning* 138, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.008>.
2. Akbari, H., Kurn, D.M., Bretz, S.E., Hanford, J. W. (1997). Peak power and cooling energy savings of shade trees. *Energy and Buildings* 25, 139-148. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)01003-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01003-1).
3. Akbari, H., Rose, L.S. (2008). Urban Surfaces and Heat Island Mitigation Potentials. *Journal of the Human-Environmental System* 11, 85–101.
4. Alexandri, E., Jones, P. (2006). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, *Build. Environ.* 43: 480- 493. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>.
5. Allabashi, R; Measho Haile, T; Fuerhacker, M; Pitha, U; Scharf, B; Stach, W; Ziegenbalga, F; Heidinger, S; Ertl, T. (2018): Simultaneous removal of heavy metals from synthetic storm water using sustainable urban drainage systems; *Urban Water Journal*, DOI: 10.1080/1573062X.2018.1524016.
6. Anjos, M., Lopes, A. (2017). Urban Heat Island and Park Cool Island Intensities in the Coastal City of Aracaju, North-Eastern Brazil. *Sustainability* 9, 1 – 17. doi:10.3390/su9081379.
7. Arabi R, Shahidan M. F, Kamal M. S. M, Jaafar M. F. Z. B, Rakhshandehroo M. (2015). Mitigating Urban Heat Island Through Green Roofs. *Current World Environment* 10, 918-927. <http://dx.doi.org/10.12944/CWE.10.Special-Issue1.111>.
8. Armson, D., Stringer, P., Ennos, A.R. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry et Urban Greening* 11, 245– 255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002>.
9. Ashrae, *Ashrae Handbook: Fundamentals*, 8. American Society of Heating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, 2001.
10. Austrian Standards (2015). *ÖNORM B 8110-3: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Vermeidung sommerlicher Überwärmung)*. Austrian Standards: Wien, 2018 09 01.
11. Aylor, D. (1972). Noise reduction by vegetation and ground, *J. Acoust. Soc. Am.* 51, 197 - 205.
12. Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L.F., Bures, S., Álvaro, J.E., Erkoreka, A., Urrestarazu, M. (2015). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics* 89, 46– 56. doi - 10.1016/j.apacoust.2014.09.010.
13. Balogun, A.A., Morakinyo, T.E., Adegun, O.B. (2014). Effect of tree-shading on energy demand of two similar buildings. *Energy and Buildings* 81, 305–315. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.046>.
14. Benedict, M.A., McMahon, E.T. (2002). *Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century*. *Renewable Resources Journal*, Volume 20, 12 – 17.
15. Blanus, T., Monteiro, M.M.V., Fantozzi, F., Vysini E., Li, Y., Cameron, R.W.F. (2013). Alternatives to Sedum on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better ‘cooling service’? *Building and Environment* 59, 99-106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.011>.
16. Bretschneider, B; Korjenic, A; Pitha, U; Lutz, M; Bruse, M. (2018): *Greening Aspang - Entwicklung eines Verfahrens zur gesamtenergetischen Optimierung von Stadtgebieten am Beispiel der Aspangstraße*. *Klima- und Energiefonds (Hrg.)*. Online: <http://www.klimafonds.gv.at/> [2019-03-25].

17. Bretschneider, B; Scharf, B. (2018): Greening Aspang - Entwicklung eines Verfahrens zur gesamtenergetischen Optimierung von Stadtgebieten am Beispiel der Aspangstraße; Blue GlobeReport Smart Cities #8/2018; Klima and Energy Fonds Austria.
18. Bröde, P., Jendritzky, G., Fiala, D., Havenith, G. (2010). The universal thermal climate index UTCI in operational use, in: Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort Cumberland Lodge, Windsor, London.
19. Brunetti, G., Šimůnek, J., Turc, M., Piroa, P. (2017): On the use of surrogate-based modeling for the numerical analysis of Low Impact Development techniques. *Journal of Hydrology* 548: 263-277. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.013>.
20. Bullen, R., Fricke, F. (1982). Sound propagation through vegetation, *J. Sound Vib.* 80, 11 - 23.
21. Ca, V.T., Asaeda, T., Abu, E.M. (1998). Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings* 29, 83-92. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(98\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(98)00032-2).
22. Calcerano, F., Martinelli, L. (2016). Numerical optimisation through dynamic simulation of the position of trees around a stand-alone building to reduce cooling energy consumption. *Energy and Buildings* 112, 234–243. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.023>.
23. Cao, X., Onishi, A., Chen, J., Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning* 96, 224–231. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.03.008.
24. Chang, C.R., Li, M.-H., Chang, S.-D. (2007). A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning* 80, 386–395. doi:10.1016/j.landurbplan.2006.09.005.
25. Chen, H., Ooka, R., Huang, H., Tsuchiya, T. (2009). Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled simulation. *Building and Environment* 44, 2290–2299. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.03.012>.
26. Chen, Q., Li, B., Liu, X. (2013). An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate, *Energy Build.* 61, 298-307, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.030>.
27. Cheng, C.Y., Cheung, K.K.S., Chu, L.M. (2010). Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls, *Build. Environ.* 45 1779e1787, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.02.005>.
28. Chibuikwe, E.M., Ibukun, A.O., Abbasa, A., Kunda, J.J. (2018). Assessment of green parks cooling effect on Abuja urban microclimate using geospatial techniques. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 11, 11-21.
29. Chow, W.T.L., Pope, R.L., Martin, C.A., Brazel, A.J. (2011). Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city: horizontal and vertical impacts. *Theoretical and Applied Climatology* 103, 197–211. DOI 10.1007/s00704-010-0293-8.
30. Chun, B., Guldmann, J.-M. (2018). Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies. *Computers, Environment and Urban Systems* 71, 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.006>.
31. Cocolo, S., Pearlmutter, D., Kaempfer, J., Scartezzini, J.-L. (2018). Thermal Comfort Maps to estimate the impact of urban greening on the outdoor human comfort. *Urban Forestry et Urban Greening* 35, 91–105. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.08.007>.
32. Cohen, P., Potchter, O., Matzarakis, A. (2012). Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort. *Building and Environment* 51, 285-295. doi:10.1016/j.buildenv.2011.11.020.

33. Coma, J., Perez, G., de Gracia, A., Bures, S., Urrestarazu, M., Cabeza, L.F. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: a comparative study between green walls and green façades, *Build. Environ.* 111, 228 - 237, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014>.
34. Cook, D (2000): *Energy Balance Bowen Ratio (EBBR) Handbook*; April 2018; Work supported by the U.S. Department of Energy, Office of Science, Office of Biological and Environmental Research.
35. Costanzo, V., Evola, G., Marletta, L. (2016). Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. *Energy and Buildings* 114, 247–255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.053>.
36. Cuce, E. (2016). Thermal regulation impact of green walls: an experimental and numerical investigation, *Appl. Energy* 194 247-254, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.079>.
37. Dimoudi, A., Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* 35, 69 – 76.
38. Doick, K.J., Peace, A., Hutchings, T.R. (2014). The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of the Total Environment* 493, 662–671. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.048>.
39. Donovan, G.H., Butry, D.T. (2009). The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. *Energy and Buildings* 41, 662–668. doi:10.1016/j.enbuild.2009.01.002.
40. Du, H., Cai, W., Xu, Y., Wang, Z., Wang, Y., Cai, Y. (2017). Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data. *Urban Forestry et Urban Greening* 27, 24-31.
41. Eksi, M., Rowe, D.B., Wichman, I.S., Andresen, J.A. (2017). Effect of substrate depth, vegetation type, and season on green roof thermal properties. *Energy and Buildings* 145, 174–187.
42. Enzi, V, Pitha, U, Scharf, B. (2013): Forschungsprojekt GrünStadtKlima, Endbericht. Verband für Bauwerksbegrünung Österreich, Österr. Forschungsförderungsgesellschaft FFG, 36.
43. Ertl, T., Allabashi, R., Fürhacker, M., Pitha, U., Scharf, B., Measho Haile, T. (2016): Forschungsbericht, Expertengutachten (extern. Auftraggeber): Straßen Abwasserlösungen für Vegetation und Entwässerung - Evaluierung der Substrate durch Laborversuche. Wien Kanal (WKN), Modecenterstraße 14, Block C, 1030 Wien, Österreich, 32.
44. Estoque, R.C., Murayama, Y., Myint, S.W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment* 577, 349–359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.195>.
45. Europäische Union. (2012). Leitlinien für bewährte Praktiken zur Begrenzung, Milderung und Kompensierung der Bodenversiegelung. Luxemburg. <https://doi.org/10.2779/73172>.
46. Fassbinder, H. (2018): EIN BIOTOPE-CITY-QUARTIER FÜR WIEN. Internationales multilinguales Biotope City Journal. Online: https://biotope-city.com/de/2018/09/09/artikel_hf0002-de/ [2019-03-25].
47. Feyisa, G.L., Dons, K., Meilby, H. (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning* 123, 87– 95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008>.
48. Früh, B; Panitz, H.J; Keuler, K; Feldmann, H; Schädler, G; Jacob, D; Lorenz, P. (2010): Determination of Precipitation Return Values in Complex Terrain and Their Evaluation. *Journal of Climate* 5(9); DOI: 10.1175/2009JCLI2685.1
49. Gaffin, S., Parshall, L., O’Keeffe, G., Braman, D., Beattie, D., Berghage, R. (2005): *Energy Balance Modeling Applied to A Comparison of White and Green Roof Cooling Efficiency*, 7-14. Proceedings of the 3rd Annual Greening Rooftops for Sustainable Cities Conference, Washington, D.C., May 4–6, 2005.

50. Gidlöf-Gunnarsson, A., Öhrström, E. (2007). Noise and well-being in urban residential environments: the potential role of perceived availability to nearby green areas, *Landsc. Urban Plan.* 83, 115-126, <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.03.003>.
51. Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S., Roloff, A. (2015). Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. *Landscape and Urban Planning* 143, 33–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.06.005>.
52. Hilten, R.N., Lawrence, T.M., Tollner, E.W. (2008): Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D. *J Hydrol* 358: 288–293. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.06.010>.
53. Hodo-Abalo, S., Banna, M., Zeghmami, B. (2012). Performance analysis of a planted roof as a passive cooling technique in hot-humid tropics. *Renewable Energy* 39, 140 – 148.
54. Hoelscher, M.-T., Nehls, T., Jänicke, B., Wessolek, G. (2016). Quantifying cooling effects of façade greening: shading, transpiration and insulation, *Energy Build.* 114, 283 – 290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.047>.
55. Honjo, T. (2009). Thermal Comfort in Outdoor Environment. *Global Environmental Research* 13, 43-47.
56. Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *Int. J. Biometeorology* 43, 71-75., ISSN 0020-7128.
57. Hsieh, C.-M., Li, J.-J., Zhang, L., Schwegler, B. (2018). Effects of tree shading and transpiration on building cooling energy use. *Sustainable Cities and Society* 19, 236-249. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.045>.
58. Huang, Y.-Y., Chen, C.-T., Liu, W.-T. (2018). Thermal performance of extensive green roofs in a subtropical metropolitan area. *Energy and Buildings* 159, 39–53. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.039>.
59. Hunter, A.M., Williams, N.S.G., Rayner, J.P., Aye, L., Hes, D., Livesley, S.J. (2014). Quantifying the thermal performance of green facades: a critical review, *Ecol. Eng.* 63, 102 – 113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.021>.
60. Hwang, W. H., Wiseman, P. E., Thomas, V.A. (2017). Enhancing the energy conservation benefits of shade trees in denser residential developments using an alternative tree placement strategy. *Landscape and Urban Planning* 158, 62–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.09.022>.
61. Imran, H.M., Kala, J., Ng, A.W.M., Muthukumar, S. (2018). Effectiveness of green and cool roofs in mitigating urban heat island effects during a heatwave event in the city of Melbourne in southeast Australia. *Journal of Cleaner Production* 197, 393-405. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.179>.
62. Jansson, C., Jansson, P.-E., Gustafsson, D. (2007). Near surface climate in an urban vegetated park and its surroundings. *Theoretical and Applied Climatology* 89, 185 – 193. DOI 10.1007/s00704-006-0259-z.
63. Jendritzky, G., Maarouf, A., Fiala, D., Staiger, H. (2002). An update on the development of a universal thermal climate index, in: 15th Conf on Biometeorology and Aerobiology and 16th ICB02, 27 Octe1 Nov, 2002, Kansas City.
64. Jendritzky, G., Schirmer, H., Menz, G., Schmidt-Kessen, W. (1990). Methode Zur Raumbezogenen Bewertung Der Thermischen Komponente Im Bioklima Des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-modell). Akad. Raumforschung Landesplanung, Hannover.
65. Jendritzky, P. Bröde, D. Fiala, G. Havenith, P. Weihs, E. Batchvarova, R. DeDear (2009): Der Thermische Klimaindex UTCI; DWD; Klimastatus 2009.
66. Jim, C.Y., Peng L.L.H. (2012). Weather effect on thermal and energy performance of an extensive tropical green roof. *Urban Forestry et Urban Greening* 11, 73 – 85.

67. Kjellstrom, T., McMichael, A.J. (2015). Climate change threats to population health and well-being: the imperative of protective solutions that will last, *Glob. Health Action* 2013 (6) 20816, <http://dx.doi.org/10.3402/gha.v6i0.20816>.
68. Koc, C.B., Osmond, P., Peters, A. (2017). Towards a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies. *Urban Ecosystems*, 15–35. Doi - 10.1007/s11252-016-0578-5.
69. Köhler, M. (1993). *Fassaden- und Dachbegrünung*, Eugen Ulmer GmbH et Co, Stuttgart.
70. Kong, K.L., Lau, K.K.L., Yuand, C., Chena, Y., Xuc, Y., Rena, C., Ng, E. (2017). Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society* 31, 12–25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.018>.
71. Kontoleon, K.J., Eumorfopoulou, E.A. (2010). The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone, *Build. Environ.* 45, 1287 - 1303, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.11.013>.
72. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorol. Z.* 15, 259-263, <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
73. Koyama, T., Yoshinaga, M., Hayashi, H., Maeda, K., Yamauchi, A. (2013). Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls, *Build. Environ.* 66, 96 - 103, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.020>.
74. Kragh, J. (1979). Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees, *J. Sound Vib.* 66, 407 - 415.
75. Krayenhoff, E.S., Martilli, A., Bass, B., Stull, R. (2003). Mesoscale simulation of urban heat mitigation strategies in Toronto, Canada. *Proc. Fifth Int. Conf. on Urban Climate*, 343-346.
76. Kuttler, W., 2013: *Klimatologie. 2., aktualisierte und erg. Aufl.*, Paderborn: Schöningh.
77. Laband, D.N., Sophocleus, J.P. (2009). An Experimental Analysis of the Impact of Tree Shade on Electricity Consumption. *Arboriculture et Urban Forestry* 35, 197–202.
78. Lee, H; Chen, L; Mayer,H (2016):Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg; Article in *Landscape and Planning* · January 2016 DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.12.004.
79. Leuzinger, S., Vogt, R., Körner, C. (2009). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 56 – 62. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.08.006>.
80. Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., Wu, J. (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment* 115, 3249–3263. doi:10.1016/j.rse.2011.07.008.
81. Li, W.C., Yeung, K.K.A. (2014). A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment* 3, 127–134.
82. Li, Y., Babcock, R.W., (2015): Modeling hydrologic performance of a green roof system with HYDRUS-2D. *J. Environ. Eng.* 141 (11): [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000976](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000976).
83. Lin, B.-S., Lin, C.-T. (2016). Preliminary study of the influence of the spatial arrangement of urban parks on local temperature reduction. *Urban Forestry et Urban Greening* 20, 348–357. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2016.10.003>.
84. Londershausen, T., Scharf, B., Schmidt, E (2016): *Immissionsminderung durch Gebäudebegrünung, Untersuchung der Abscheidung von Feinstaub auf Blattoberflächen verschiedener Pflanzenarten*; Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Genthiner Straße 30 G, D-10785 Berlin; ISSN 1430-9262

85. Lozán, J., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K. (2008). Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken: Gefahren für Pflanzen, Tiere et Menschen, Universität Hamburg, Institut für Hydrobiologie.
86. MacIvor, S., Margolis, L., Perotto, M., Drake, J. A.P. (2016). Air temperature cooling by extensive green roofs in Toronto Canada. *Ecological Engineering* 95, 36–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.050>.
87. Madre, F. Clergeau, P. Machon, N. Vergnes, A. (2015). Building biodiversity: vegetated façades as habitats for spider and beetle assemblages, *Glob. Ecol. Conservation* 3, 222 – 233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2014.11.016>.
88. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22 (Eds., 2015): Urban Heat Islands Strategieplan Wien. Online: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/uhi-strategieplan.pdf> [2019-02-28].
89. Marchi, M, Pulselli, R.M., Marchettini, N., Pulselli, F.M., Bastianoni, S. (2015). Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecological Modelling* 306, 46 - 56. doi – 10.1016/j.ecolmodel.2014.08.013.
90. Mazzali, U., Peron, F., Romagnoni, P., Pulselli, R.M., Bastianoni, S. (2013). Experimental investigation on the energy performance of living walls in a temperate climate, *Build. Environ.* 64, 57-66, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.005>.
91. McPherson, E. G., Simpson, J. R. (2003). Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California. *Urban Forestry and Urban Greening* 2, 73–86.
92. Medl, A. (2018b). Begrünung von Spritzbetonwänden am Standort Steinach am Brenner, Tirol. Dissertation, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Universität für Bodenkultur, Wien.
93. Medl, A., Mayr, S., Rauch, H.P., Weihs, P., Florineth, F. (2017a). Microclimatic conditions of ‘Green Walls’, a new restoration technique for steep slopes based on a steel grid construction, *Ecol. Eng.* 101, 39-45, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.01.018>.
94. Medl, A., Stangl, R., Florineth, F. (2018a). Vertical greening systems - A review on recent technologies and research advancement. *Building and Environment* 107, 235-244.
95. Medl, A., Stangl, R., Kikuta, S.B., Florineth, F. (2017b). Vegetation establishment on ‘Green Walls’: Integrating shotcrete walls from road construction into the landscape. *Urban Forestry and Urban Greening* 25, 26 – 35. doi - 10.1016/j.ufug.2017.04.011.
96. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen MULNV NRW (2011). Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Erfstadt. Online: https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/handbuch_stadtklima_kurzfassung.pdf [2018-12-18].
97. Mitterboeck, M., Korjenic, A. (2017). Analysis for improving the passive cooling of building's surroundings through the creation of green spaces in the urban built-up area, *Energy Build.* 148, 166 - 181, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.005>.
98. Morakinyo, T. E., Dahanayake, K.W.D.K.C., Ng, E., Chow, C.L. (2017). Temperature and cooling demand reduction by green-roof types indifferent climates and urban densities: A co-simulation parametric study. *Energy and Buildings* 145, 226–237. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.066> 0378-7788.
99. Morakinyo, T.E., Lau, K.K-L., Ren, C., Ng, E. (2018). Performance of Hong Kong's common trees species for outdoor temperature regulation, thermal comfort and energy saving. *Building and Environment* 137, 157–170.

100. Newcomer, M.E., Gurdak, J.J., Sklar, L.S., Nanus, L., (2014). Urban recharge beneath low impact development and effects of climate variability and change. *Water Resour. Res.* 50: 1716–1734. <http://dx.doi.org/10.1002/2013WR014282>.
101. Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C. (2012). A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment* 47, 256 – 271.
102. OIB (2015): Richtlinie des Österreichischen Instituts für Bautechnik, OIB-Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz. OIB-330.6-009/15. Online: https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_26.03.15.pdf [2019-03-25]
103. Oke TR. *Boundary layer climates* 2nd ed. 1987. p. 435 [Routledge, London].
104. Oliveira, S., Andrade, H., Vaz, T. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment* 46, 2186-2194. doi:10.1016/j.buildenv.2011.04.034.
105. Olivieri, F., Olivieri, L., Neila, J. (2014). Experimental study of the thermal-energy performance of an insulated vegetal façade under summer conditions in a continental mediterranean climate, *Build. Environ.* 77 61e76, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.019>.
106. Onishi, A., Cao, X., Ito, T., Shi, F., Imura, H. (2010). Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. *Urban Forestry et Urban Greening* 9, 323–332. doi:10.1016/j.ufug.2010.06.002.
107. Österreicher, D.; Sattler, S.; Zluwa, I.: (2017): Combining green roofs and renewable energy – the photovoltaic rooftop garden. [SGEM2017, Wien, 27 - 29 November 2017]; ISBN: 978-619-7408-29-4.
108. Ottel , M., Perini, K., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., Raiteri R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems, *Energy Build.* 43, 3419-3429. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010>.
109. Ottel , M., van Bohemen, H.D., Fraaij, A.L.A. (2010). Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls, *Ecol. Eng.* 36, 154 - 162, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.02.007>.
110. Pal, A.K., Kumar, V., Saxena (2000). Noise attenuation by green belts, *J. Sound Vib.* 234, 149 - 165, <http://dx.doi.org/10.1006/jsvi.2000.2863>.
111. Palla, A., Gnecco, I., Lanza, L.G., (2009). Unsaturated 2D modelling of subsurface water flow in the coarse-grained porous matrix of a green roof. *J Hydrol* 379 (1-2): 193-204. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.10.008>.
112. Pan, L., Wei, S., Chu, L.M. (2018). Orientation effect on thermal and energy performance of vertical greenery systems. *Energy and Buildings* 175, 102-112.
113. Patz, J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., Foley, J.A. (2005). Impact of regional climate change on human health, *Nature* 438, 310-317, <http://dx.doi.org/10.1038/nature04188>.
114. Peck, S.W., Callaghan, C., Kuhn, M.E., Bass, B. (1999). Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada. Status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion. Canada: Canada Mortgage and Housing Corporation.
115. Penaranda M.M, Korjenic A. (2017a): Hotter and colder - How Do Photovoltaics and Greening Impact Exterior Facade Temperatures: The synergies of a Multifunctional System. *Energy and Buildings*, Volume 147: 123–141. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.082>.
116. Penaranda M.M, Korjenic A. (2017b): Green Buffer Space Influences on the Temperature of Photovoltaic Modules (Multifunctional System: Building Greening and Photovoltaic). *Energy and Buildings*, Volume 146: 364-382. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.051>.

117. Penaranda M.M., Korjenic A. (2018): Untersuchungen zum ganzjährigen Wärmeschutz an Varianten eines kombinierten Dachaufbaus mit Photovoltaik und Begrünung. *Bauphysik*, 40 (3): 131-142. <https://doi.org/10.1002/bapi.201810016>.
118. Peng, L.L.H., Jim, C.Y. (2013). Green-Roof Effects on Neighborhood Microclimate and Human Thermal Sensation. *Energies* 6, 598-618; doi:10.3390/en6020598.
119. Pérez G., Coma J., Martorell I, Luisa F. Cabeza L.F. (2014): Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39: 139-165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.055> <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.055>>.
120. Perini, K., Ottele, M., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope, *Build. Environ.* 46 2287e2294, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>.
121. Perini, K., Ottele, M., Giulini, S., Magliocco, A., Roccotiello, E. (2017). Quantification of fine dust deposition on different plant species in a vertical greening system, *Ecol. Eng.* 100, 268 - 276, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.12.032>.
122. Pfoser N. (2016): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Dissertation Technische Universität Darmstadt. Darmstadt. Online: http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/5587/1/Dissertation_Pfoser.pdf [2017-08-19].
123. Pfoser, N. (2014). Gebäude Begrünung Energie. (F. L. Landschaftsbau, Hrsg.). Bonn: Landschaftsbau, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung.
124. Pfoser, N., Jenner, N., Johanna Henrich, J., Heusinger, J., Weber, St. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013; Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur.
125. Pitha, U., Scharf, B., Enzi, V. (2012): Comparison of laboratory and in-field water storage properties of different green roofs and gravel roof. [World Green Roof Congress Copenhagen 2012, Copenhagen, SEP 18-21, 2012] In: World Green Roof Congress, Urban Grey to Urban Green.
126. Pitha, U., Scharf, B., Zluwa, I., Pelko C., Korjenic, A., Salonen, T., Mitterböck, M. (2018): Vegetationstechnisches und bauphysikalisches. Monitoring des „Vertikalen Gartens“ der MA31 in der Grabnergasse 4-6, 1060 Wien. Forschungsbericht. TU Wien und BOKU Wien.
127. Potchter, O., Cohen, P., Bitan, A. (2006). Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology* 26, 1695–1711. DOI: 10.1002/joc.1330.
128. Price, A., Jones, E.C., Jefferson, F. (2015). Vertical greenery systems as a strategy in Urban Heat Island mitigation, *Water, air soil Pollut.* 226-247, <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-015-2464-9>.
129. Qiu, G.Y., Zou, Z., Li, X., Li, H., Guo, Q., Yan, C., Tan, S. (2017). Experimental studies on the effects of green space and evapotranspiration on urban heat island in a subtropical megacity in China. *Habitat International* 68, 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.07.009>.
130. Rahman, M.A., Moser, A., Gold, A., Rötzer, T., Pauleit, S. (2018). Vertical air temperature gradients under the shade of two contrasting urban tree species during different types of summer days. *Science of the Total Environment* 633, 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.168>.
131. Razzaghmanesh, M., Razzaghmanesh, M. (2017). Thermal performance investigation of a living wall in a dry climate of Australia, *Build. Environ.* 112, 45 - 62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.023>.

132. Rosenzweig, C., W.D. Solecki, and R. Slosberg. (2006). Mitigating New York City's Heat Island with Urban Forestry, Living Roofs, and Light Surfaces. A report to the New York State Energy Research and Development Authority.
133. Sailor, D. J., Elley, T.B., Gibson, M. (2011). Exploring the building energy impacts of green roof design decisions – a modeling study of buildings in four distinct climates. *Journal of Building Physics* 35, 372 – 391. [10.1177/1744259111420076](https://doi.org/10.1177/1744259111420076).
134. Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy* 103, 682–703. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>.
135. Sanusi, R., Johnstone, D., May, P., Livesley, S.J. (2017). Microclimate benefits that different street tree species provide to sidewalk pedestrians relate to differences in Plant Area Index. *Landscape and Urban Planning* 157, 502–511. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.08.010>.
136. Sattler, S., Zluwa, I., Pitha, U. (2017): Der Quadratmeter³; Energienutzung und Lebensqualität unter einem Dach im Photovoltaik-Dachgarten. [BauZ! 2017 – Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen, Vienna, Austria, Februar 15-17, 2017] In: IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (Hrsg.), Tagungsband. Was wird anders? Planen 2017–2050. Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen 2017, IBO Verlag, Wien; ISBN: ISBN: 978-3-900403-4.
137. Scharf, B. (2012): Beitrag zum Klimaschutz oder teure Dekoration? *Garten + Landschaft*, 05/2012, 24-27; ISSN 0016-4720
138. Scharf, B. (2018). Coole Städte planen – Mit der ‚Greenpass-Methode‘. In: *Neue Landschaft. Fachzeitschrift für Garten-, Landschaft-, Spiel-, und Sportplatzbau*. Nr 1, 2018.
139. Scharf, B., Zluwa, I. (2017): Case study investigation of the building physical properties of seven different green roof systems. *Energy and Buildings* 151: 564-573. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.050>.
140. Scharf, B., Pitha, U., Oberarzbacher, S. (2012): Living Walls - more than scenic beauties. [49th IFLA World Congress Landscapes in Transition, Cape Town, SEP 5-7, 2012]. In: IFLA - International Federation of Landscape Architects, Landscapes in Transition: Bioforsk, Reviewed Abstracts Presented at The 3rd European Turfgrass Society Conference Quality Turf and Efficient Utilization of Resources.
141. Scharf, B., Pitha, U., Trimmel, H. (2012a): Thermal performance of green roofs. [World Green Roof Congress Copenhagen 2012 Urban Grey to Urban Green, Copenhagen, SEP 18-21, 2012] In: World Green Roof Congress, Urban Grey to Urban Green.
142. Scharf, B., Pitha, U., Enzi, V. (2013a): PROGREENcity - Development of Green Building Technologies in different Climates. [6. FBB Symposium Fassadenbegrünung, Frankfurt, SEP 19, 2013] In: Fachvereinigung Bauwerksbegrünung (Hrsg.), Tagungsband 6. FBB Symposium Fassadenbegrünung 2013, Vortragsreihe zu Themen der Fassadenbegrünung.
143. Scharf, B., Pitha, U., Trimmel, H. (2013b): Resilience of Cityscapes. [50th IFLA World Congress, Shared Wisdom in an Age of Change, Auckland, APR 10-12, 2013] In: IFLA, Renee Davies (Ed.), Dr. Diane Menzies (Ed.), Proceedings for the 50th IFLA World Congress, ISBN 978-0-473-24360-9 2012
144. Scharf, B., Pitha, U., Allabashi, R., Ertl, T. (2017): Entkoppelung von Niederschlägen mit DrainGardens; *Neue Landschaft* 10/2017; Patzer, Berlin; ISSN 0548-2836.
145. Scherber, K. (2014). Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während Sommermonaten in Berlin und Brandenburg. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin – Geographisches Institut.
146. Schmidt, M. (2010): Ecological design for climate mitigation in contemporary urban living. *Int. J. Water* 5 (4):337 – 352. DOI: [10.1504/IJW.2010.038727](https://doi.org/10.1504/IJW.2010.038727).

147. Schweitzer, O., Erell, E. (2014). Evaluation of the energy performance and irrigation requirements of extensive green roofs in a water-scarce Mediterranean climate. *Energy and Buildings* 68, 25-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.012>.
148. Shahidan, M. F., Jones, P.J., Gwilliam J., Salleh, E. (2012). An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. *Building and Environment* 58, 245-257. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.012>.
149. Simpson, J. R., McPherson, E. G. (1997). Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento. *Atmospheric Environment* 32, 69-74.
150. Skoulika, F., Santamouris, M., Kolokotsa, D., Boemi, N. (2014). On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece. *Landscape and Urban Planning* 123, 73– 86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.002>.
151. Solcerova, A., van de Ven, F., Wang, M., Rijdsdijk, M., van de Giesen, N. (2017). Do green roofs cool the air? *Building and Environment* 111, 249-255.
152. Speak, A.F., Rothwell, J.J., Lindley, S.J., Smith, C.L. (2013): Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. *Science of The Total Environment* 461–462: 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.085>.
153. Squier, M., Davidson, C., 2016. Heat flux and seasonal thermal performance of an extensive green roof. *Building and Environment* 107, 235 – 244.
154. Sternberg, T., Viles, H., Cathersides, A., Edwards, M. (2010). Dust particulate absorption by ivy (*Hedera helix* L) on historic walls in urban environments, *Sci. Total Environ.* 409, 162 - 168, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.022>.
155. Stovin, V., Vesuviano, G., Kasmin, H. (2012). The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *J. Hydrol.* 414/415 148–61. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.022>.
156. Sun, R., Chen, L. (2017). Effects of green space dynamics on urban heat islands: Mitigation and diversification. *Ecosystem Services* 23, 38–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.011>.
157. Susca, T., Gaffin, S. R., Dell’Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution* 159, 2119-2126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>.
158. Szkordilis, F. (2014). Microclimatic Effects of Green Facades in Urban Environment. *Advanced Materials Research* 899, 415-420. Doi - 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.415.
159. Takács, Á., Kiss, M., Gulyás, Á., Kántor, N. (2015). Microclimate regulation potential of different tree species: transmissivity measurements in Szeged, Hungary. ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment.
160. Takács, Á., Kiss, M., Hof, A., Tanács, E., Gulyás, Á., Kántor, N. (2016). Microclimate modification by urban shade trees – an integrated approach to aid ecosystem service based decision-making. *Procedia Environmental Sciences* 32, 97 – 109.
161. The Mersey Forest, Natural Economy Northwest, CABE, Natural England, Yorkshire Forward, The Northern Way, Design for London, Defra, Tees Valley Unlimited, Pleasington Consulting Ltd, and Genecon LLP (2010). GI-Val: the green infrastructure valuation toolkit. Version 1.6 (updated in 2018). <https://bit.ly/givaluationtoolkit> <https://bit.ly/givaluationtoolkit> [2019-03-25].
162. Tudiwer D., Höckner V., Korjenic A. (2018): Greening Aspang – Hygrothermische Gebäudesimulation zur Bestandsanalyse und Bewertung unterschiedlicher Szenarien bezogen auf das Innenraumklima. *Bauphysik*, 40 (3): 120 - 130. <https://doi.org/10.1002/bapi.201810015>.
163. Todorov, D., Driscoll, C. T., Svetoslava, G. (2018): Long-term and Seasonal Hydrologic Performance of an Extensive Green Roof. *Hydrological Processes* 32(16): 2471-2482. <https://doi.org/10.1002/hyp.13175>.

164. Tudiwer D., Korjenic A. (2017a): "The Effect of Living Wall Systems on the Heat Resistance Value of the Façade". *International Journal of Earth & Environmental Sciences*, Volume 2 (2017), 141; S. 1 – 5.
165. Tudiwer D., Korjenic A. (2017b): The effect of living wall systems on the thermal resistance of the façade. *Energy and Buildings*, 135: 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.023>.
166. Ulrich, R.S., Simons, R.F., Losito, B.D., Fiorito, E., Miles, M.A., Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments, *J. Environ. Psychol.* 1, 201 - 230.
167. Unger J. (2009): Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 36, Nos. 1/2/3.
168. Upmanis, H., Eliasson, I., Lindqvist, S. (1998). The influence of green areas in nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). *International Journal of Climatology* 18, 681–700.
169. VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., et al. (2005): Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth. *Journal of Environmental Quality* 34(3): 1036-44. DOI: 10.2134/jeq2004.0364.
170. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1 B, Umweltmeteorologie, Beuth Verlag, Berlin.
171. Vertaľa M., Zozuláka M., Vašková A., Korjenic A. (2018): Hygrothermal initial condition for simulation process of green building construction. *Energy and Buildings* 167: 166-176. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.004>.
172. Victorero, F., Vera, S., Bustamante, W., Tori, F., Bonilla, C., Gironas, J., Rojas, V. (2015). Experimental study of the thermal performance of living walls under semiarid climatic conditions, *Build. Environ.* 46, 293-397, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.07.017>.
173. Vidrih, B., Medved, S. (2013). Multiparametric model of urban park cooling island. *Urban Forestry et Urban Greening* 12, 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.01.002>.
174. Vox, G., Blanco, B., Schettini, E. (2018). Green façades to control wall surface temperature in buildings. *Building and Environment* 129, 154-166.
175. Walikewitz, N., Jänicke, B., Langner, M., Meier, F. (2015). The difference between the mean radiant temperature and the air temperature within indoor environments: a case study during summer conditions, *Build. Environ.* 84, 151-61, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.004>.
176. Weixelbaumer, V., Zluwa, I., Weihs, P. (2018): Roof shelter environment: An experimental study about increasing thermal comfort on a rooftop terrace by combining photovoltaic energy production and greenroofs. [e nova international conference, Zukunft der Gebäude?, Pinkafeld, 22.-23. November 2018] In: Hildegard Gremmel-Simon, Fachhochschule Burgenland GmbH Steinamangerstraße 21, 7423 Pinkafeld, Gebäude der Zukunft? vernetzt-digital-ökosozial, Leykam, Buchverlagsgesellschaft, m.b.H; ISBN: 978-3-7011-0420-8
177. Wong, N.H., Kwan Tan, A.Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P.Y., Chand, D., Chiang, K., Wong, N.C. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, *Build. Environ.* 45, 663-672, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>.
178. Xiao, X.D., Dong, L., Yan, H., Yang, N., Xiong, Y. (2018). The influence of the spatial characteristics of urban green space on the urban heat island effect in Suzhou Industrial Park. *Sustainable Cities and Society* 40, 428–439. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.002>.
179. Yan, H., Wang, X., Hao, P., Dong, L. (2012). Study on the microclimatic characteristics and human comfort of park plant communities in summer. *Procedia Environmental Sciences* 13, 755 – 765. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.069>.
180. Yang, F., Yuan, F., Qian, F., Zhuang, Z., Yao, Z. (2018). Summertime thermal and energy performance of a double-skin green facade: A case study in Shanghai. *Sustainable Cities and Society* 39, 43-51.

181. Yang, X., Li, Y., Luo, Z., Chan, P. W. (2017). The urban cool island phenomenon in a high-rise high-density city and its mechanisms. *International Journal of Climatology* 37, 890–904. DOI: 10.1002/joc.4747.
182. Yu, C., Hien, W. N. (2006). Thermal benefits of city parks. *Energy and Buildings* 38, 105–120. doi:10.1016/j.enbuild.2005.04.003.
183. Yu, Z., Guo, X., Jørgensen, G., Vejre, H. (2017). How can urban green spaces be planned for climate adaptation in subtropical cities? *Ecological Indicators* 82, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.002>.
184. Zhang, Y., Murray, A.T., Turner II, B.L. (2017). Optimizing green space locations to reduce daytime and nighttime urban heat island effects in Phoenix, Arizona. *Landscape and Urban Planning* 165, 162–171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.009>.
185. Zhou, L.W., Wang, Q., Li, Y., Liu, M., Wang, R.Z. (2018). Green roof simulation with a seasonally variable leaf area index. *Energy et Buildings* 174, 156–167. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.020>.

12. Anhang

Tabelle 12: Übersicht über alle im Zuge der untersuchten Studien erhobenen Parameter sowie dazu verwendete Messsetups und Software.

Nr.	Quelle	Erhobene Parameter				Messsetup	Software		
		Extern	Gemessen	Kalkuliert	Simuliert				
Stadtbäume									
1	Hsieh et al. (2018)		LT, LF, SS, WG,WR, N, Saftfluss	?	Transpirationsrate	?	Energieaufwand	Klimastation, Saftflussensor	EnergyPlus
2	Morakinyo et al. (2018)		LT, LF, WG, OT, LAI	?	T _{mrt} , PET, KL, Energieaufwand	?	Mikroklima 3D	Klimastation, Hemisphärenfotografie	ENVI-met
3	Hwang et al. (2017)	LT, WG, N		?		?	Energieaufwand	Luftbildaufnahmen, LiDAR	EnergyPlus
4	Calcerano et Martinelli (2016)	aus EnergyPlus				?	T _{mrt} , Energieaufwand		EnergyPlus
5	Balogun et al. (2014)		LTi, LTa, LF, WT, Energieaufwand	?	KL			Sensoren, Infrarotthermometer, Plug-in Energiekostenmonitor	
6	Laband et Sophocleus (2009)		LTa, LF, PAR, Energieaufwand					Klimastation, Datenlogger an Thermostat	
7	Donovan et Butry (2009)	Gebäudegröße und -alter, Grundfläche, Pool, Heiz-/Kühlsysteme, Stromrechnung, Wasserabrechnung	Kronenbreite	?	Energieaufwand			Luftbildaufnahmen	
8	Akbari et al. (1997)		LTi, LTa, LFi, LFa, WG, WR, WTi, WTa, OT, Energieaufwand	?	Energieaufwand				
9	Simpson et McPherson (1997)	Daten zu Gebäude, Wetter und Vegetation		?	Beschattung, Energieaufwand				Shadow Pattern Simulator (SPS), Micropas 4.01
Grünflächen									
1	Doick et al. (2014)	urbane und ländliche Temperaturen	LT	?	UHI			Sensor	
2	Feyisa et al. (2014)		LT, LF, LST	?	PCI			Sensoren, Satellitenaufnahme	
3	Skoulika et al. (2014)		LT, LF	?	PCI			Thermohygrometer	
4	Vidrih et Medved, 2013		LT, LF, SS, WG, Bodenwasser, LAI	?	PCI				
5	Cao et al., 2010	LT, SS		?	PCI			Satellitenaufnahmen	
6	Oliveira et al., 2011		LT, LF, SS, WG	?	PCI, T _{mrt} , PET			Temperatursensoren, Anemometer, Pyranometer	
7	Chow et al., 2011	LT, LF, WG,WR, BT, BF, Lti, Wärmeleitung, Albedo,	LAD	?	PCI			Plant Canopy Analyzer	ENVI-met
8	Jansson et al., 2007	SS	LT, WG, WR, OT	?	PCI			Infrarotsensor, Thermoelemente, Anemometer	
9	Potchter et al., 2006		LT, LF, WG, WR, LAI					Temperatursensor, Anemometer	
10	Yu and Hien, 2006		LT, LF, SS, WG, WR, N, LAI				Energieverbrauch	Temperatursensoren,Plant Canopy Analyzer	ENVI-met
Gründächer									

Nr.	Quelle	Erhobene Parameter				Messsetup	Software
1	Huang et al. (2018)		LT, LF, SS			Smart Sensoren	
2	Imran et al. (2018)	Anteil an Gründächern in %, LT, LF, WT, WG, WF				UHI, UTCI	WRF-SLUCM modeling system WRFv3.8.1
3	Morakinyo et al. (2017)	Substratdicke, LAI, meteorologische Daten für 4 Klimazonen (LF, WG, WR, OT, SS)				Fußgängerbereich, OT, LT _i , Energieersparnis	ENVI-met, Energy-Plus
4	Solcerova et al. (2017)		LT, SS, WG, N, BF			Klimastation, Bodenfeuchtigkeitssensor	
5	Jim et Peng (2012)		OT, LT, LF, SS, WG, BF		WF, Energieverbrauch → Kostenersparnis	Sensoren	
6	Rosenzweig et al. (2006)	Wetterdaten	OT			OT Reduktion	Satellitenfotos
							MM5 Regional Climate Model
	Vertikalbegrünung						
1	Vox et al. (2018)		LT, LF, WG, WT, SS, LAI		Emissionsgrad	Sensor, Pyranometer, PAR/LAI Ceptometer	
2	Victorero et al. (2015)		VT, OT, BF/BT/Salz, LT, LF, N, SS, WG, WR			Thermoelemente, Klimastation, Thermografiebilder	
3	Olivieri et al. (2014)		SS, LT, LF, N, OT, WF, LT			Klimastation, PT100 thermoresistances, Huseflux HFP01	
4	Chen et al. (2013)		OT, LT _i , LFi, AT, SS, WG		konvektiver Wärmestrom, Strahlungswärmestrom	Klimastation, Thermoelemente	
5	Mazzali et al. (2013)		OT, LT, LF, WF, SS				
6	Scharf et al. (2013)		LT, LF, OT, WF, Albedo			Wärmebilder, Klimastation, Sensoren	
7	Perini et al. (2011)		LT, WT, WG			Thermometer, Hitzedrahtsonde	
8	Cheng et al. (2010)		OT, Vegetationsabdeckung, BF, WF, LT, LF			Fotografien, Sensoren	
9	Wong et al. (2010)		LT, LF, WT, SS, WG, WR, N			Thermoelemente, Klimastation	

BT/BF – Bodentemperatur/Bodenfeuchtigkeit, KL – Kühlleistung, LAI – leaf area index, LF_(i,a) – Luftfeuchtigkeit (innen/außen), LT_(i,a) – Lufttemperatur (innen/außen), LST - , N – Niederschlag, OT – Oberflächentemperatur, PAR - , PCI - , PET - , SS – Solarstrahlung, WF – Wärmefluss, WG/WR – Windgeschwindigkeit/Windrichtung, WT – Wandtemperatur,



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)