

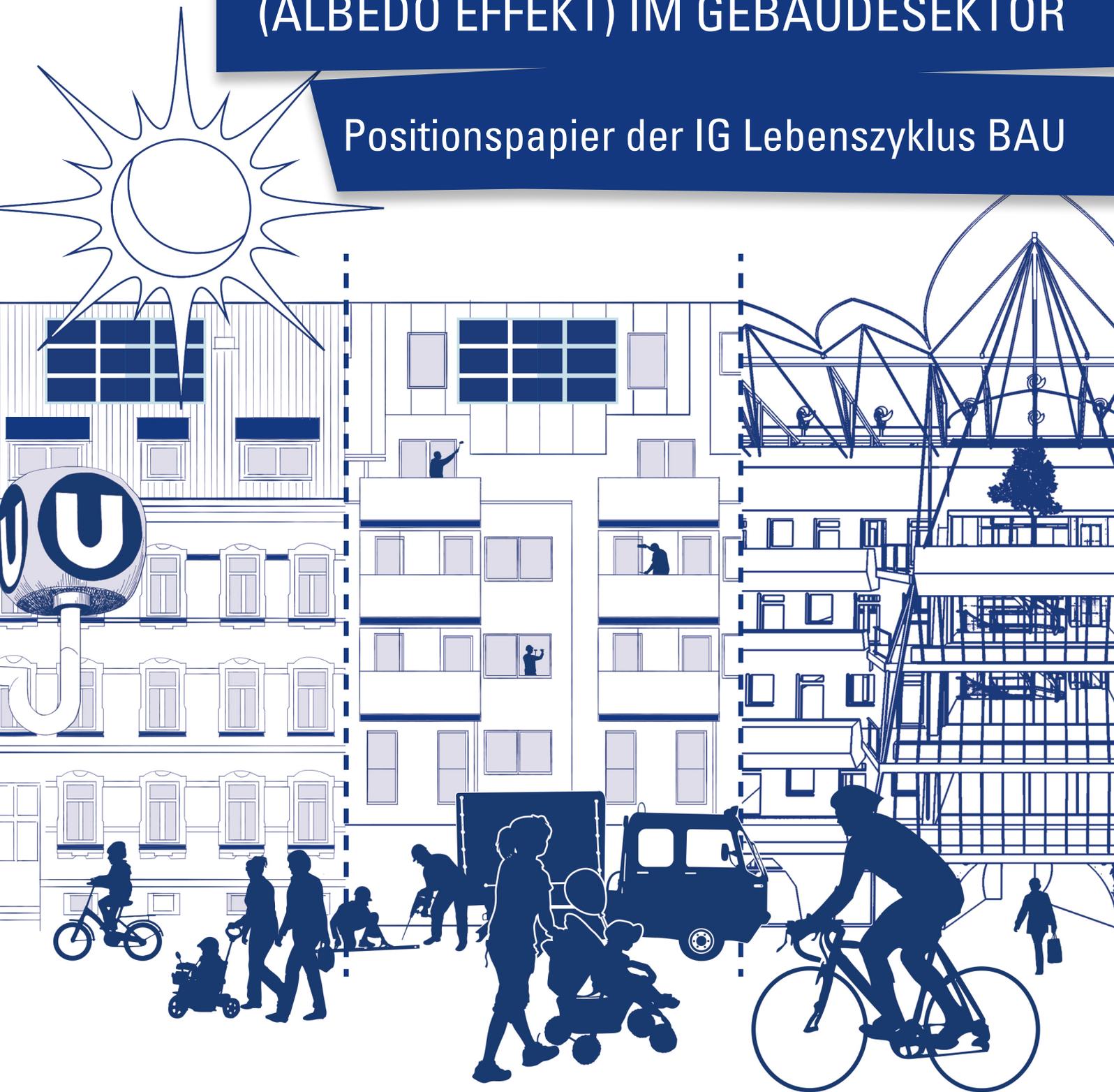


LEBENSZYKLUS BAU

Planen | Bauen | Betreiben | Finanzieren

REFLEXIONSSTRAHLUNG (ALBEDO EFFEKT) IM GEBÄUDESEKTOR

Positionspapier der IG Lebenszyklus BAU



IMPRESSUM

Herausgeber und für den Inhalt verantwortlich:

IG LEBENSZYKLUS BAU,
Paniglgasse 17a/11, 1040 Wien
office@ig-lebenszyklus.at, www.ig-lebenszyklus.at

AutorInnen:**Arbeitsgruppenleitung:**

DI Susanne Formanek, GRÜNSTATTGRAU, susanne.formanek@gruenstattgrau.at

Arbeitsgruppenmitglieder:

Ing. Gernot Becker, ATB-Becker e.U. green technologies, gernot.becker@atb-becker.eu
Ing. Andreas Dreisiebner, Solarspar Schweiz, a777@solarspar.ch
Assoz.Prof.in PD.in DDr.in Daniela Haluza, Medizinische Universität Wien, Zentrum für Public Health, Abteilung für Umwelthygiene und Umweltmedizin, Daniela.Haluza@meduniwien.ac.at
Arch. Dipl.-Ing. Dr. Renate Hammer, MAS, Institute of Building Research and Innovation, renaate.hammer@building-research.at
DI Helga Heinzl-Barth, Delta-Pods Architekten, h.heinzl-barth@delta-pods.at
DI Sabine Huemer, Delta-Pods Architekten, s.huemer@delta-pods.at
DI Dr. Klaus Reisinger, iC consulenten Ziviltechniker GesmbH, k.reisinger@ic-group.org
DI Daniel Rüdissler, AEE - Institute for Sustainable Technologies, smacise@aee-data.at
Dipl.-Ing. Dr. Bernhard Scharf, IBLB BOKU, bernhard.scharf@boku.ac.at
DI.Dr. Heidelinde Trimmel, Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Heidelinde.Trimmel@boku.ac.at
Ing. Stefan Weissenböck, Sachverständiger und Vorstandsvorsitzender Forum Qualitätspflaster, sv.sw@icloud.com
DI Dr. Zamini Shokufeh, Digital Resilient Cities, Center for Energy AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Shokufeh.Zamini@ait.ac.at
DI Dr.Irene Zluwa, GRÜNSTATTGRAU irene.zluwa@gruenstattgrau.at

Schlussredaktion & grafische Gestaltung:

FINK | Kommunikations- und Projektagentur
Hilde Renner DESIGN

Druck: dze - Druckzentrum Eisenstadt

Stand: Oktober 2022

Alle Rechte am Werk liegen bei der IG LEBENSZYKLUS BAU

Haftungshinweis

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Vereins und der Autoren unzulässig. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

1. MOTIVATION UND HINTERGRUND

Es ist damit zu rechnen, dass sowohl die Anzahl der Tage und die Zeiträume mit sommerlicher städtischer Überwärmung als auch deren Intensität zunehmen werden. Der aktuelle Bericht des **Weltklimarats IPCC** stellt den neusten Erkenntnisstand zur Entwicklung der Erderwärmung und der Klimakrise dar. Der Bericht konzentriert sich auf den Klimaschutz und zeigt jedem Sektor umsetzbare und wirtschaftliche Optionen auf, die das 1,5-Grad-Ziel ermöglichen. Die Energiewende, Investitionen in erneuerbare Energien und Wälder- und Ökosystemschutz sind wesentliche Säulen des Klimaschutzes. Andernfalls droht eine globale Erwärmung von 3,2°C, wodurch sich Extremwittersituationen wie Dürre, Überschwemmungen oder hitzebedingte Krankheits- und Todesfälle massiv erhöhen würden. Die Größe der Schäden ist bereits seit der Veröffentlichung der COINSTUDIE des „Wegener Centers“¹ zu den Kosten des Nicht-Handelns im Bereich des Klimaschutzes (COIN – Cost of Inaction) im Jahr 2020 bekannt: Bis Mitte des Jahrhunderts werden Schäden (zum Beispiel durch Dürre, Borkenkäfer, Hochwasser und Hitzewellen, Verlust an Artenvielfalt) im Ausmaß von bis zu 12 Mrd. Euro erwartet. Bis 2030 müssen die CO₂-Emissionen um 45 %, die Methanemissionen um 34 % sinken. Netto-Null CO₂ muss laut Bericht 2050 erreicht werden, wenn wir die Schäden im Zaun halten wollen.

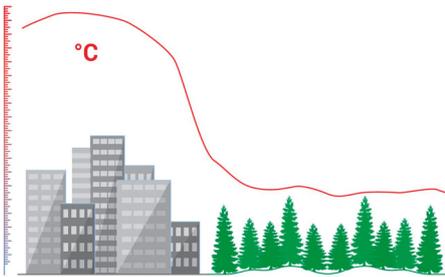


Abbildung 1: Urban Heat Island Effekt (GRÜNSTATTGRAU)

Stetig wachsende Siedlungsräume, innerstädtische Verdichtung und die zunehmende Versiegelung von Freiflächen führen zur weiteren Verstärkung des Temperaturunterschiedes zwischen Stadt und Umland. Dieser Effekt wird **Urban Heat Island Effekt (UHI)**² oder **urbaner Wärmeinsellekt** genannt. Der Begriff bezieht sich auf höhere städtische Temperaturen in den Stadtteilen im Vergleich zu den umliegenden vorstädtischen oder ländlichen. Diese Entwicklung wird durch die **Klimaerwärmung** noch weiter verschärft.

Der urbane Wärmeinsellekt ist aus wirtschaftlichen, ökologischen und gesundheitlichen Gründen problematisch. Aufgrund der Überwärmung erhöht sich der Energiebedarf für Raumkühlung. Europa wird bereits in zwanzig Jahren laut ExpertInnen so viel Kühlenergie wie Heizenergie brauchen. In Österreich steigt der Stromverbrauch an Hitzetagen durchschnittlich um 3 % an (gegenüber dem an normalen Tagen mit einem Maximum der Lufttemperatur unter 25°C).³ Darüber hinaus stellt die urbane Überwärmung eine Gesundheitsbelastung dar.

Bebaute Oberflächen wirken meist wärmeabsorbierend (siehe Kapitel *Wirkung von wärmeabsorbierenden Materialien*) und sind oft wasserundurchlässig (siehe Kapitel *Wirkung von wasserrückhaltenden, wasser- und luftdurchlässigen Materialien*). Das Niederschlagswasser läuft schnell ab, es kommt zu keiner Verdunstung in der Stadt und der eintretende Kühleffekt bleibt aus. Dabei können die vertikale Gebäudeoberflächen neben der direkten Sonneneinstrahlung auch noch die von anderen Gebäudeoberflächen reflektierte Strahlung aufnehmen. Zusätzlich behindert die verbaute Umgebung die Luftzirkulation, warme Luft kann nicht abgeleitet werden. Einen zusätzlichen Effekt kann schließlich auch die Abwärme von Klimaanlagen, Kraftfahrzeugen oder auch industriellen Prozessen haben.

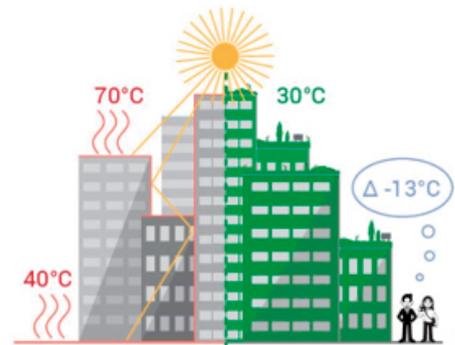


Abbildung 2: Effekte von bebauter Fläche (GRÜNSTATTGRAU)

Die **Albedo**⁴ ist definiert als das **Verhältnis zwischen der von einer Oberfläche reflektierten Strahlung und der auf sie einfallenden**⁵ **Strahlung**. Die geringe Albedo von städtischen Oberflächen ist charakteristisch für den Wärmeinsellekt bzw. Urban Heat Island Effekt (UHI) in Metropolen. **Durch erhöhte Rückstrahlung von (Sonnen)Strahlen (genannt Albedo) können die Temperatur und der Urban Heat Island Effekt gesenkt werden.**

¹ COIN - COst of INaction - Climate Change Centre Austria (ccca.ac.at)

² <https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/boden/rp-projekte/urban-climate-change-adaptation>

³ Österreich - Inlandstromverbrauch 2020 | Statista

⁴ <https://utopia.de/ratgeber/albedo-effekt-diese-bedeutung-hat-er-fuer-den-klimawandel/>

⁵ IPCC Report - wir müssen aktiv werden! - GRÜNSTATTGRAU (gruenstattgrau.at)

2. REFLEXIONSSTRAHLUNG (DIE ALBEDO)

Die Sonnenstrahlung besteht aus elektromagnetischen Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit von der Sonne zur Erde bewegen. Die solare Globalstrahlung als einfallende Sonnenstrahlung wird auf ihrem Weg durch die Atmosphäre und beim Auftreffen auf die Erdoberfläche verändert. Daher sind die drei Hauptkomponenten der Sonnenstrahlung die direkte, die diffuse und die reflektierte Sonnenstrahlung.

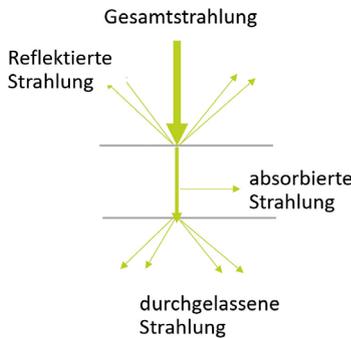


Abbildung 3: Grafik adaptiert nach Thomas Duzia (GRÜNSTATTGRAU)

Die reflektierte Strahlung (Albedo) reduziert den Strahlungseintrag, der zum sensiblen und latenten Wärmefluss in das Gebäude beiträgt.

Die Albedo gibt als Zahl das Reflexionsvermögen eines Materials an, das den prozentualen Anteil an **diffus reflektierter Strahlung beim Auftreffen auf eine nicht selbst leuchtende und nicht spiegelnde Fläche beschreibt**. Sie wird durch das Verhältnis aus einfallender zu reflektierter Lichtmenge beschrieben und liegt zwischen 0 (= vollständige Absorption) und 1 (vollständige Reflexion). Die Albedo ist abhängig von der Art und Beschaffenheit der bestrahlten Fläche sowie vom Spektralbereich der eintreffenden Strahlung. Verschiedene Oberflächen haben eine unterschiedliche Rückstrahlung. Je heller die Oberfläche, desto größer der Anteil der reflektierten Strahlung, und umso höher ist die Albedo.

Helle Oberflächen (z. B. weiße Wände) weisen eine höhere Albedo auf als dunklere Flächen (z. B. schwarzer Asphalt). Je höher die Albedo, desto geringer die von der Oberfläche aufgenommene Strahlungsenergie und damit die Erwärmung angrenzender Luftschichten. Eine Erhöhung der Albedo senkt also lokale Temperaturen.

Der urbane Wärmeinseleffekt (UHI) ist mit einer hohen Gebäudedichte und städtischen Strukturen mit **niedrigem Albedo-Koeffizienten** verbunden, was dazu führt, **dass die Gebäude mehr Sonnenstrahlung absorbieren** (Giuseppe und D'Orazio, 2015). Zudem wirken einige Baumaterialien als Wärmespeicher und strahlen nach Sonnenuntergang Wärme in die Umgebung ab, wodurch sie im Sommer wie eine Heizung wirken. Die Stadtschluchten und die anthropogene Wärmezeugung⁶ erhöhen die Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland; diese sind daher oft in der Nacht noch deutlicher als am Tag.

Insbesondere unterscheidet sich die Albedo einer Oberfläche für kurz- und langwellige Strahlung. Gemessen wird die Albedo mit einem Albedometer.⁷ Ein schwarzer Körper absorbiert unabhängig vom Spektralbereich die eingehende Strahlung zu 100 % und hat folglich eine Albedo von 0 %. Generell ergänzen sich Absorptions- und Reflexionsvermögen zu 100 %. Im Falle kurzwelliger Strahlung steigt die Albedo mit zunehmender Helligkeit der Fläche an. Bei Neuschnee werden bis zu 95 % der eingehenden kurzwelligen Strahlung reflektiert, bei Nadelwald sind es maximal 12 %. Wolken weisen im kurzwelligen Bereich eine Albedo von 60-90 %, im langwelligen Bereich von nur 10 % auf. Modifizierend wirken sich der Einfallswinkel der eingehenden Strahlung, die atmosphärische Trübung und der atmosphärische Wasserdampfgehalt auf die Albedo aus.

Das effektivste Maß für die Fähigkeit eines Materials, Sonnenwärme abzuweisen, ist der Solarreflexionsindex (SRI). Dieser ist ein Maß für die Fähigkeit der konstruierten Oberfläche, in der Sonne kühl zu bleiben, indem sie Sonnenstrahlung reflektiert und Wärmestrahlung abgibt. Der Solarreflexionsgrad (SR) ist jedoch eine bessere Methode zur Messung von Materialien, die eine größere thermische Masse haben, einschließlich Materialien, die kein Dach sind. Der SR ist der Anteil der Sonnenenergie, der von einer Oberfläche auf einer Skala von 0 bis 1 reflektiert wird. Er berücksichtigt nicht die Emission von Wärmestrahlung wie der SRI.

⁶ Santamouris et al., 2011; Santamouris, 2014; Sun & Augenbroe, 2014

⁷ Vgl.: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimasystem/umsetzungen/energiebilanz-der-erde>

3. EINFLUSS AUF DIE ALBEDO UND WIRKUNGEN

Um die schädlichen Auswirkungen von UHI (Urban Heat Islands) zu bekämpfen, müssten wirksame Strategien zur Abschwächung eingeführt werden, die die ökologische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Nachhaltigkeit von städtischen Strukturen und Landschaften verbessern können.

Generell wird die **Einführung innovativer Designs für städtische Oberflächen**, u.a. Straßenbeläge, Gebäudeoberflächen oder die Verwendung von vegetativen Abdeckungen, reflektierenden Oberflächen, wasserrückhaltenden Materialien und Wärmeeauffangvorrichtungen, als wirksam erachtet. Auf Gebäudeebene kommt es dabei zu einer Verringerung des durch ein Gebäude absorbierten Anteils der eingestrahlt Energie. Diverse bauliche Maßnahmen können eine aktive Erhöhung des zurückgestrahlten Energieanteils durch Verwendung hochreflektierender Materialien an der Außenhülle der Gebäude gewährleisten. Die Verbesserung dieser Abstrahleigenschaften bzw. Reflexionsstrahlung von Gebäuden und Stadtquartieren können den Weg zur Steigerung der Energieeffizienz im Wohnbereich verbessern, wirken auch dem UHI entgegen und leisten einen aktiven Beitrag zur Bewältigung des Klimawandels und der Klimawandelfolgen.

1. Wirkung von vegetativer Oberfläche

Begrünte Dächer und Fassaden besitzen das Potential, die Überwärmung städtischer Gebiete zu reduzieren.⁸

Die **Verschattungswirkung der Vegetation** verhindert das Aufheizen des unterliegenden Baumaterials des Daches bzw. der Fassade. Zusätzlich kann die Umgebungstemperatur des begrünten Daches oder der begrünten Fassade durch **Verdunstungskühlung von Vegetation** und Substrat gesenkt werden. Begrünte Dächer und Fassaden können die Albedo stark variieren, von 13 bis 21 %. Die Albedos variieren je nach Farbe und Feuchtigkeit des Substrats, Vitalität und Höhe der Pflanzen.⁹ Die Albedo-Werte liegen bei Standardbedachungen bei 7 % für Polymerbitumenmembranen, 24 % für Metallblechdächer und 38 % für Kiesdächer. Obwohl unbegrünte Dachflächen wie Kies eine deutlich höhere Albedo aufweisen können, führen sie aufgrund ihrer Unfähigkeit zur Evapotranspiration zu höheren Oberflächen- und oberflächennahen Temperaturen als begrünte Dächer. Die Reflexion der Globalstrahlung (Albedo) und die Umwandlung in sensible, latente Wärmeströme beeinflusst natürlich den Wärmestrom aus dem Boden und den Wärmestrom in das Gebäude.¹⁰



Abbildung 4: Wien, Dachgarten (©GRÜNSTATTTGRAU / Gruchmann)

Der Kühleffekt steht in Korrelation zur Evapotranspiration der Pflanzen in Abhängigkeit der Wasserverfügbarkeit (blaue Infrastruktur¹¹) und dem Bedeckungsgrad. Nicht fachgemäße Bepflanzung und Lücken im Bestand müssen durch sorgfältige Planung, Umsetzung und Pflege der Begrünung vermieden werden. Normen gibt es seit 2021 für die Planung und Pflege von Bauwerkse Begrünung in Österreich (siehe NORM L1131 und L1136, sowie Zertifizierungen und Verband für Bauwerksbegrünung Gütesiegel¹²) siehe Ausschreibungstext GRÜNSTATTTGRAU) Gütesiegel.

Die verwendeten Pflanzenarten und die Artenzusammensetzung beeinflussen die Kühlwirkung ebenfalls. In Abhängigkeit der pflanzenspezifischen Eigenschaften wie beispielsweise Transpirationsrate, Blattgröße und Albedo unterscheidet sich die erzielte Wirkung¹³. Durch die vegetationsspezifische saisonale Variabilität zeigen sich außerdem Unterschiede im Jahresgang¹⁴. Der tatsächliche Temperatureffekt ist auf Stadtebene auch vom prozentualen Anteil begrünter Dächer (grüne Infrastruktur¹⁵), dem Verhältnis von Dachfläche zu anderer (vor allem versiegelter) Fläche und der Stadtstruktur (Gebäudehöhe und -geometrie, Bebauungsdichte etc.) abhängig¹⁶. Die positive Wirkung auf die Straßenqualität nimmt vor allem mit zunehmender Gebäudehöhe stark ab und ist bei Hochhäusern nur noch wenig vorhanden¹⁷. Vor allem bei extensiver Begrünung von Schräg- oder Steildächern mit höherem Neigungswinkel gewinnt zudem die Ausrichtung des Gebäudes durch den unterschiedlichen Strahlungseinfall im Tagesverlauf an Einfluss¹⁸. Der Kühlungseffekt der Fassadenbegrünung ist in schmalen Straßen größer als bei breiteren Straßen, in denen die Lufttemperatur zunehmend von der horizontalen, versiegelten Straßenfläche beeinflusst wird.

⁸ (PDF) Gebäudebegrünung und Klimawandel - Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung (researchgate.net)

⁹ Dr. Bernhard Scharf, World Green Roof Congress, 19-20 September 2012, Copenhagen

¹⁰ MEDIENKIT GRÜNSTATTTGRAU: <https://workdrive.zoho.eu/folder/3kpiy5a5919c6331d49edb210c1c0ec8e2179>

¹¹ FAQ - GRÜNSTATTTGRAU (gruenstattgrau.at)

¹² Qualitätssicherung & Zertifizierung - GRÜNSTATTTGRAU (gruenstattgrau.at)

¹³ Blanusa et al. 2013, Cameron et al. 2014, Kolokotsa et al. 2013

¹⁴ Bevilacqua et al. 2015

¹⁵ FAQ - GRÜNSTATTTGRAU (gruenstattgrau.at)

¹⁶ Alexandri & Jones 2008, Chen et al. 2009, Ng et al. 2012

¹⁷ Ng et al. 2012 und Chen et al. 2009

¹⁸ Alexandri & Jones 2008



Abbildung 5: Regenwassermanagement (GRÜNSTATTTGRAU)

Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Lufttemperatur stärker durch horizontale Flächen beeinflusst wird, als durch vertikale Flächen, welche im Tagesverlauf einer geringeren solaren Einstrahlung ausgesetzt sind. Modellergebnisse von Alexandri & Jones (2008) zeigen darüber hinaus, dass in allen Klimazonen eine **Kombination aus begrünten Dächern und Fassaden den größten Kühlungseffekt** erzielt. Um diesen Effekt auch auf Straßenebene und über größere Stadtgebiete hinweg zu erreichen, wird eine Kombination aus verschiedenen Begrünungsmaßnahmen (Dachbegrünung, Fassadenbegrünung, Parks, Grünflächen, Straßenbäume etc.) als am effektivsten angesehen¹⁹.

Zudem erfüllen Bauwerksbegrünungen noch zahlreiche andere Funktionen²⁰, wie **lokalen Regenwasserrückhalt (Retentionsleistung = Verdunstungskapazität = Kühlkapazität) oder die Reduktion der Niederschlagsflussspitzen**.

Außerdem kann der wirtschaftliche Anstieg von GREEN Jobs in der Branche als "Beitrag der Bauwerksbegrünung zur Konjunkturbelebung und ökologischen Transformation der österreichischen Wirtschaft in der Post-Corona Zeit" gesehen werden. Dies ist in dem Positionspapier von GRÜNSTATTTGRAU dargelegt.²¹

2. Wirkung von wärmeabsorbierenden Materialien

Je nach Materialbeschaffenheit des Körpers absorbieren Oberflächen bzw. Baustoffe einen Teil der Energie und wandeln diese in Wärme um, die als innere Energie gespeichert und weiter in das Bauteil geleitet wird. Mit der Auswahl des Materials, der Oberflächenbeschaffenheit oder der Farbe kann man diesen Prozess beeinflussen. Oft wirken daher Baumaterialien als Wärmespeicher und strahlen nach Sonnenuntergang Wärme in die Umgebung ab, wirken im Sommer wie eine Heizung nach außen und in Städten kühlt es in weiterer Folge nachts nicht ab, wodurch auch eine passive Nachtauskühlung nicht mehr möglich ist.

Mit den bauphysikalischen Berechnungen werden solche Nachweisverfahren nicht berechnet. Windgeschwindigkeit oder Konvektion ist in Form der Wärmeübergangswiderstände vereinfacht in den Berechnungen eingegliedert. Der Einfluss der Erwärmung der Oberflächen eines Bauteils aus solarer Bestrahlung bleibt unberücksichtigt. Aus bautechnischer Sicht ist dies allerdings wichtig, da es auch die Langlebigkeit eines Materials beeinflusst.²²

Die Nutzung von Klimaanlage könnten reduziert werden, wenn der Außenraumes durch die achtsame Anwendung von wärmeabsorbierenden Materialien gekühlt wird. Die International Energy Agency schätzt, dass weltweit etwa ein Zehntel der gesamten Energie für die Klimatisierung verwendet wird.²³

3. Wirkung von reflektierenden Oberflächen

Helle Oberfläche reflektieren mehr Energie in die Atmosphäre als dunkle Oberflächen: Bei einer hellen Betonoberfläche (hohe Albedo: 0,20 bis 0,40) wird daher auch mehr Energie in die Atmosphäre reflektiert als bei einer schwarzen Oberfläche (niedrige Albedo: 0,05 bis 0,15), die die Wärme absorbiert. Sie haben daher eine geringere Wärmeabsorption. Wird 1 m² schwarzer Asphaltfläche in eine helle Betonfläche umgewandelt, wirkt dies dem Klimawandel entgegen – und zwar so, als ob 22,5 kg CO₂ nicht emittiert werden würden. Diese Menge kompensiert 30 bis 60 % des CO₂, das bei der Herstellung des Zements für diesen Betonbelag ausgestoßen wird.²⁴ Helle Straßenbeläge haben ein höheres Reflexionsvermögen, so können zudem Straßenlampen mit geringerer Leuchtkraft verwendet werden. Die Kosten könnten um bis zu 35 % gesenkt werden, denn sowohl eine geringere Anzahl von Lichtmasten als auch eine reduzierte Beleuchtungsleistung führen zu einem geringeren Stromverbrauch.

¹⁹ Alexandri & Jones 2008, Rosenzweig et al. 2006

²⁰ Erste Marktstudie über Österreichs Bauwerksbegrünung - GRÜNSTATTTGRAU (gruenstattgrau.at)

²¹ Neuer Download: Positionspapier "Beitrag der Bauwerksbegrünung zur Konjunkturbelebung" - GRÜNSTATTTGRAU (gruenstattgrau.at)

²² Vergleich der Absorptionsgrade unterschiedlicher üblicher Baustoffe nach Baehr und Stephan (Baehr, H.D.; Stephan, K.; Wärme- und Stoffübertragung; Auszug Kap. 5.5 Strahlungsaustausch, aus Tab. 5.8, S.633)

²³ Wärmeabsorbierende Baumaterialien statt Klimaanlage (bauenimbestand24.de)

²⁴ VÖZ, Projekt EUROPAVE: Betonstraßen tragen maßgeblich dazu bei, die CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs zu reduzieren

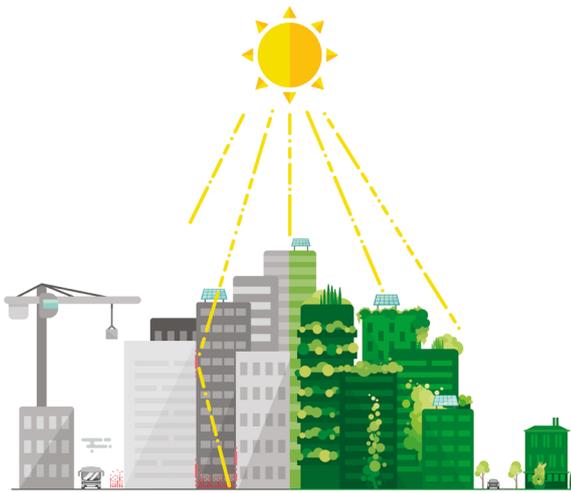


Abbildung 5: Reflektierende Flächen (GRÜNSTATTGRAU)

Verschiedene Untersuchungen akkreditierter Prüfanstalten zeigen, dass sich **helle Oberflächen in der Praxis gegenüber dunklen Oberflächen je nach Dicken um ca. 10 bis 13°C weniger aufheizen**.

Heizen sich die Bodenbeläge auf, so sind in Folge auch die bodennahen Luftschichten davon betroffen. „Hitze-Luftstrom-Zirkulations-Beobachtungen“ melden eine geringere Verweildauer vor den Geschäftsauslagen sowie potenziell in Folge Umsatzverluste. Beim Einsatz von Beschattungen (auch in Form von Begrünung) oder Vordächern ist eine Verweildauer länger.

Durch eine Beschichtung mit speziell stark reflektierenden Anstrichen, die als "cool coatings" bezeichnet werden, können Dachräume, die sich unter statisch ausgereizten Dachkonstruktion befinden, deren zulässiger Gebäudeumriss ausgeschöpft ist oder an der keine architektonische Gestaltveränderung vorgenommen werden darf, kühl gehalten werden. Sie bestehen aus weißen oder speziellen reflektierenden Pigmenten, die das Sonnenlicht zurückwerfen.

Beim Einsatz heller Oberflächen sollten gewisse Sicherheitsmaßnahmen beachtet werden. Die Oberflächen sollten nicht zu hell sein, da ältere Menschen von Augen-Adaptions-Schwierigkeiten betroffen sind. Ältere Menschen fühlen sich gelegentlich durch zu helle Bodenbeläge unangenehm geblendet, was in einer alternden Gesellschaft künftig nur an Relevanz gewinnen wird. Auch Effekte wie Schneeblindheit können von hellen Flächen in der Stadt ausgelöst werden.²⁵

Die Albedo von Photovoltaik²⁶ tragen nicht zu einer Verschlechterung des Mikroklimas im Verhältnis zum Bestand bei. Im Gegenteil, denn sie wandeln einen Teil der Solarstrahlung in Strom um und entziehen sie so der Strahlungsmenge im Straßencanyon. Eine realistische Erhöhung der Albedo von Straßenbelägen durch hellere Betonsteine kann dazu beitragen, den Solarertrag von PV-Fassaden markant zu erhöhen. Der UTCI (universal thermal comfort index) bleibt dabei rund 4 °C unter dem der stark Albedo-erhöhten Variante. Diese Kombination schneidet daher stadtklimatisch am besten ab. Die zwei wichtigsten Faktoren neben der Oberflächen-Albedo im Straßencanyon sind jedoch Verschattung und Begrünung. Bei einem Baumbestand von 25 % im Straßencanyon sinkt der UTCI durch die Beschattung noch einmal gegenüber der Variante mit heller Straße und PV-Fassaden um 3 °C ab. In diesem Fall ist eine Nutzung der Photovoltaik jedoch nur in den obersten Geschossen möglich.

4. Wirkung von wasserrückhaltenden, wasser- und luftdurchlässigen Oberflächen

Hydroaktive Oberflächen halten durch die Fugennetz-bedingte Verwirbelung das Regenwasser wie eine Wasserbremse ("Wasserkralen"-Effekt) zurück. **Der Abfluss des Regenwassers wird zeitlich gestreckt und eine schädigende Stoßbelastung der Regenwasserkanäle reduziert.** Dadurch wird der Bau teurer Retentionsbecken verringert oder alternativ die Anzahl der Notentlastungen von Kläranlagen reduziert. Dies wiederum verbessert die Qualität von Vorflutern sehr wesentlich. Aufwendige Gewässersanierungen können in Folge eingespart werden.²⁷ Darüber hinaus kann das in den Tiefpunkten der z. B.: Pflasterfläche stehende Wasser im Anschluss langsam verdunsten, die bodennahen Luftschichten werden adiabat gekühlt und die Luftqualität (Staubbindung) verbessert.

Weil Pflanzen durch stärkere Transpiration auch vermehrt Aerosole freisetzen, kommt es durch wasserrückhaltende, wasser- und luftdurchlässige Materialien zu einer Kondensation des Wasserdampfes. Langfristig nimmt dadurch die Wolkenbildung und somit auch die regionale oder sogar globale Albedo zu und es kommt zu einer Abkühlung.²⁸

So leitet z. B.: haufwerksporige Steinstruktur durch kapillarpassiv gefüllte, umlaufend aufgeweitete Fugen oder durch kapillar passiv gefüllte Hohlkammern das Regenwasser in den Untergrund. Dadurch erfolgt sehr wirksam eine Grundwasserdotierung. Dies ist wiederum wichtig, um den Trend der sinkenden Grundwasserspiegel umzukehren oder zu bremsen. Außerdem werden solche Systeme auch zur Unterstützung der Bewässerung von Bäumen eingesetzt, bspw. beim Schwammstadtkonzept. Zudem werden die oberflächennahen Bodenschichten belüftet und belebt, wovon die lokalen Mikroorganismen und langfristig die Biodiversität profitieren.

²⁵ Berechnung für schneebedecktes Berggelände (mit einer Albedo von 0,6) ergibt eine Erhöhung der UV-Exposition um 10 % pro 100 m Höhe (Schrempf et al. 2016).

²⁶ Im Rahmen des Projektes PVOPTI-Ray wurde der Einfluss der Reflexion und der Strahlungsbilanz in städtischem, komplexem Gelände auf die Performance von fassadenintegrierter Photovoltaik (PV) untersucht. https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe_2018-18_pvoptiray.pdf

²⁷ <https://www.fqp.at/richtlinie-hydroaktive-pflaster-und-plattenflächen>

²⁸ Rückkopplungsprozesse zwischen Vegetation und Atmosphäre - Hamburger Bildungsserver

4. ABLEITUNGEN FÜR DEN URBANEN RAUM

1. Gesundheitliche Auswirkungen

Städtische Hitzeinseln und regionaler Klimawandel belasten die Gesundheit und erhöhen die **hitzebedingte Sterblichkeit**. Höhere Albedo-Werte senken die Umgebungstemperatur und reduzieren die Auswirkungen übermäßiger städtischer Hitze auf die Gesundheit. Es gibt einen Zusammenhang zwischen dem durch den Albedostieg verursachten Temperaturabfall und dem städtischen Grün- und Straßenanteil. Die hitzebedingte Sterblichkeit steigt in Abhängigkeit von der Bevölkerungsgröße der Städte und dem lokalen Armutsniveau. Eine erhöhte städtische Albedo reduziert die hitzebedingte Sterblichkeit um 0,1 bis 4 Todesfälle pro Tag, was einem durchschnittlichen Rückgang der Todesfälle um fast 19,8 % pro Grad Temperaturabfall oder 1,8 % pro 0,1 Anstieg die Albedo entspricht (Santamouris & Fiorito 2021).

Die menschliche Gesundheit leidet unter vielen Aspekten der städtischen Hitzeinsel, so dass es vermehrt in der Bevölkerung zu kardiovaskulärer und respiratorischer Morbidität und Mortalität kommen kann. Insbesondere die sozioökonomisch schwächere Bevölkerungsschicht ist den negativen gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzeinseln ausgesetzt. Es wird erwartet, dass der Anteil der Weltbevölkerung, der in Städten lebt, bis zur zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts auf 60 % steigen wird. Erhöhte Temperaturen steigern sowohl Morbiditäts- und Sterblichkeitsrisiken als auch die **Nachfrage nach Kühlenergie enorm**, daher sind **klimaneutrale Kühlmittel essenziell in städtischer Nachhaltigkeitsplanung und –politik**.²⁹

2. Maßnahmen an Gebäudehüllen

Die Forschung der letzten Jahre hat Möglichkeiten gezeigt, den Wärmeinseleffekt in Städten durch Änderungen in der Stadtplanung und an der Gebäudehülle abzumildern.

Durch erhöhte **Rückstrahlung (Albedo)** und das **Abdecken von Dächern und Wänden mit Materialien mit einer höheren Albedo und verdunstungsdurchlässigen Oberflächen** können die städtischen Temperaturen erheblich sinken. Letzteres kann aufgrund der höheren Albedo und Evapotranspiration bei Pflanzen zu stärkeren Temperaturabfällen führen und als sehr effektiver Kühler im heißen Sommer wirken.

Auf Gebäudeebene kommt es dabei zu einer Verringerung des durch ein Gebäude absorbierten Anteils der eingestrahnten Energie. Diverse bauliche Maßnahmen können eine Erhöhung des zurückgestrahlten Energieanteils durch Verwendung hochreflektierender Materialien an der Außenhülle der Gebäude gewährleisten.

Bei Betrachtung einer mikroklimatischen Studie ist die **Menge an Vegetation**, die auf einem Gebäude platziert ist, und ihre Position (Dächer, Wände oder beides) ein dominanterer Faktor als die Ausrichtung der Straßenschlucht. Die Canyon-Geometrie spielt eine wichtigere Rolle als die Orientierung, da grüne Dächer und Wände einen geringeren thermischen Einfluss auf breitere Canyons haben. Aus thermischer Sicht werden viel gesündere und komfortablere Außenbedingungen erreicht.

Die thermischen Empfindungszonen „heiß“ und „warm“ werden nicht erreicht, wenn städtische Dächer und Wände mit Vegetation bedeckt sind, was zu angenehmeren Temperaturen führt. Die **gefühlte Temperatur sinkt im Sommer** (darunter versteht man die *wahrgenommene* Umgebungstemperatur, die sich aufgrund verschiedener Faktoren von der gemessenen mit einem Thermometer gemessenen und meteorologisch "korrekten" Temperatur der Umgebungsluft unterscheiden kann). Die gefühlte Temperatur ergibt sich aus einer Kombination verschiedener meteorologischer Parameter, nämlich Lufttemperatur, Strahlungsbedingungen, Windgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit. Die gefühlte Temperatur erfasst somit alle meteorologischen Komponenten, die den Wärmeaustausch eines Organismus mit seiner Umgebung beeinflussen, und stellt daher einen sehr greifbaren Parameter zur Bestimmung der thermischen Belastung für den Menschen dar.³⁰

3. Steigerung der Energieeffizienz

Die Verbesserung dieser Abstrahleigenschaften bzw. Reflexionsstrahlung von Gebäuden und Stadtquartieren können die **Energieeffizienz im Wohnbereich verbessern, wirken auch dem UHI entgegen und leisten einen aktiven Beitrag zur Bewältigung der Klimawandelfolgen**.

²⁹ Schrempf M, Haluza D, Simic S, Riechelmann S, Graw K, Seckmeyer G. Is Multidirectional UV Exposure Responsible for Increasing Melanoma Prevalence with Altitude? A Hypothesis Based on Calculations with a 3D-Human Exposure Model. *Int J Environ Res Public Health*. 2016 Sep 28;13(10):961. doi: 10.3390/ijerph13100961. PMID: 27690069; PMCID: PMC5086700.

Santamouris, M., and F. Fiorito. "On the impact of modified urban albedo on ambient temperature and heat related mortality." *Solar Energy* 216 (2021): 493-507.

³⁰ Vgl.: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterwerte-analysen/gefühlte-temperatur>

Maßnahmen hierfür werden als passive Strategien definiert, im Gegenzug zu aktiven Strategien:

PASSIVE STRATEGIEN - ENERGIEVERBRAUCH MINIMIEREN	AKTIVE STRATEGIEN – OPTIMIERUNG DER ENERGIEVERSORGUNG
Vermeidung des UHI Effektes	Wärme effizient gewinnen und ableiten
Natürlich lüften	Kontrollierte Raumlüftung
Tageslicht verwenden	Künstliches Licht optimieren
	Dezentralen Strom aus erneuerbaren Energien erzeugen

Dem steigenden Energiebedarf für Raumkühlung muss auch in Österreich vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden. Europa wird bereits in zwanzig Jahren laut ExpertInnen so viel Kühlenergie wie Heizenergie brauchen. In Österreich steigt der Stromverbrauch an Hitzetagen durchschnittlich um 3 % an (gegenüber dem an normalen Tagen mit einem Maximum der Lufttemperatur unter 25°C).

Durch die Gestaltung von Oberflächen können wir die Albedo und damit die stadtklimatologische Komponente der Strahlung stark beeinflussen. Dies wiederum ist ausschlaggebend für die im Stadtraum empfundene Temperatur.

Grundsätzlich wird versucht, die niedrige Albedo von Siedlungen zu erhöhen, um den Übergang und die Einspeicherung der Strahlung in Wärme zu reduzieren, und so eine Überwärmung der Stadträume zu verhindern.

Jedoch ist speziell bei Flächen, die während des Sommerhalbjahrs direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, dann eine differenzierte Abwägung zu treffen, wenn sich Menschen im Rückstrahlbereich vor diesen Flächen aufhalten, also in Sockelzonen oder auf Dächern. Hier erhöht die reflektierte Strahlung die empfundene Temperatur erheblich. Entsprechend sind solche Flächen **wirkungsvoll zu verschatten, etwa durch Bäume oder geeignete Sonnensegel**. Sollte dies nicht ausreichend möglich sein, ist eine moderate Albedo, etwa vergleichbar der einer Wiese, zu wählen.

Die höchste Albedo, etwa durch eine Beschichtung mit speziell **stark reflektierenden Anstrichen** (cool coatings), ist sinnvoll, um Dachräume kühl zu halten, die sich unter statisch ausgereizten Dachkonstruktionen befinden, deren zulässiger Gebäudeumriss ausgeschöpft ist oder an denen keine architektonische Gestaltveränderung vorgenommen werden darf.

5. EMPFEHLUNGEN

Ein geeigneter Maßnahmenmix kann unter anderem auch mittels **Stadtklimaanalyse bzw. Mikroklimasimulationen oder Satellitendaten** abgeleitet werden.

Zu den empfohlenen Maßnahmen zählen sogenannte passive Strategien, wie u.a. passive Kühlung von Gebäuden und Gebäudekomplexen anstelle von ineffizienten Klimaanlage durch außenliegenden Sonnenschutz oder Pflanzen, Verschattung der Dachfläche (z. B. durch Solargründächer), Ermöglichung von Quer- und Nachtlüften, Erhöhung der Reflexion von Sonnenlicht (Albedo) mit Hilfe geeigneter Oberflächenmaterialien, Kühlung durch Bauteilaktivierung und Fußbodenkühlung mit Nutzung der abgeführten sommerlichen Wärme in Saisonspeichern. Durch die Gestaltung von Oberflächen mithilfe passiver Strategien können wir die Albedo und damit die stadtklimatologische Komponente der Strahlung stark beeinflussen, welche entscheidend für die im Stadtraum empfundene Temperatur ist.

Die Reflexion der Globalstrahlung (Albedo) und die Umwandlung in sensible, latente Wärmeströme beeinflusst natürlich den Wärmestrom aus dem Boden und den Wärmestrom in das Gebäude. Die reflektierte Strahlung (Albedo) reduziert den Strahlungseintrag, der zum sensiblen und latenten Wärmefluss in das Gebäude beiträgt.

Sobald Dach-, Fassaden- oder Bodenflächen unterschiedlich genutzt werden können, gilt es zwischen einer **sinnvollen Ernte der solaren Strahlung zur: Belichtung von Innenräumen, Gewinnung von erneuerbarer Wärmeenergie im Innenraum, zum Pflanzenwachstum oder Erzeugung von thermischer oder elektrischer Solarenergie in Kollektoren und einer Verhinderung der Einspeicherung durch Erhöhung der Albedo zu differenzieren**.

Wenn Dachbegrünungen intensiv ausgeführt werden, können sie zur Gebäudedämmung beitragen und ermöglichen eine Retention und natürliche Verdunstung von Regenwasser. Dachflächen können und müssen multifunktionell genutzt werden (Haustechnik, Begrünung, Aufenthaltsbereich, Energieproduktion durch Solarmodule).

Ein wichtiger Hebel zur Kühlung des Siedlungsgebiets und **Reduzierung des sogenannten Urban Heat Island Effekts** ist die Wasserverdunstung. Natürliche Lösungen der Versickerung, Verdunstung und Wasserspeicherung sind zu bevorzugen und entlasten gleichzeitig das Kanalsystem. Gleichzeitig können Maßnahmen wie die Nutzung von Grauwasser zum Bewässern der Pflanzen zur Ressourceneffizienz beitragen, und können zur Wärmerückgewinnung in Gebäuden dienen. Eine effektive (Um-)Gestaltung klimaresilienter Gebäude und öffentlicher Räume erfordert eine holistische und wirkungsorientierte Herangehensweise, welche auch die teils hohen Kosten für einzelne Sanierungsmaßnahmen und unterschiedliche städtische Gebietsräume (z. B. dicht bebaute Innenstädte oder Stadtrandlagen) berücksichtigt. Dabei kann auch auf die Empfehlungen aus dem Projekt PVOPTI-Ray für die Stadtplanung zurückgegriffen werden:

1. Betrachtung komplexer Strahlungsbilanzen und Indices als Instrumente der solaren Stadtplanung bezogen auf Mikroklima und menschliches Wohlbefinden (MRT, mittleren Strahlungstemperatur und UTCI). Die alleinige Konzentration auf Oberflächentemperaturen und Lufttemperatur greift zu kurz, um das Mikroklima im Stadtraum und die Auswirkungen der Strahlungs- und Klimabilanz auf den Menschen zu beschreiben.
2. Solare Dächer und Fassaden gelten ebenfalls wie Bauwerksbegrünungen als Beiträge zum Klimaschutz sowie zu einem angenehmen Mikroklima und einer ausgewogenen Strahlungsbilanz im Straßencanyon.
3. Eine Erhöhung der Albedo von Straßenbelägen auf rund 0.56 durch z.B. hellere Betonsteine zur Solarertragserhöhung wirkt unterstützend, allerdings von einer ‚weißen Stadt‘ mit stark albedoerhöhten Straßen und Fassaden wird bei mitteleuropäisch gestalteten Stadträumen mit Besonnung von Straßen und Fassaden strikt abgeraten. Der thermische und optische Stress für den Menschen wird durch die erhöhte solare Strahlungsbelastung verstärkt. Im Gegensatz zur arabischen verschatteten Altstadt mit engen Gassen ‚Medina‘ trägt die ‚weiße Stadt‘ bei weiträumigen europäischen Stadträumen nicht zur Verminderung des thermischen Stresses oder zur Verbesserung der Lichtverhältnisse bei.
4. Ratsam sind PV-Fassaden in den unverschatteten Lagen der höheren Stockwerke in Kombination mit der Nutzung von Begrünung an Dächern und Fassaden und von Bäumen auf Straßen bis zur Höhe der unteren Stockwerke zur Verdunstungskühlung und Beschattung der Gehwege im Sommer. Das Solargründach und Konzepte der Begrünung und des PV-Einsatzes ermöglichen eine mehrfache Nutzung der Gebäudehüllen zur gegenseitigen Optimierung.
5. Ein bewusstes Schaffen von sommerlich verschatteten Gehwegen bzw. Schattenbereichen für Fußgänger in Straßen, optimaler Windverhältnisse und der „Durchlüftung der Straßen“ verbessert die Lebensqualität in erhitzten Städten.³¹

BewohnerInnen von Städten leiden unter den Folgen des Klimawandels. Dies wird auch in Zukunft angesichts des Vorschreitens der globalen Erwärmung und des wachsenden Anteils der Bevölkerung, welcher in Städten lebt, zunehmend an Bedeutung gewinnen. Aufgrund der Baumaterialien und Baudichte staut sich im Sommer tagsüber die Hitze in den Städten und kann nachts nicht entweichen. Die Folgen sind massiv gesundheitsschädlich. Die Erhöhung der Albedo durch sogenannte passive Strategien (z. B. Begrünung) ist in diesem Kontext eine geeignete Strategie gegen die städtische Hitzebelastung.

6. KOMPETENZEN DER ARBEITSGRUPPE, INTERDISZIPLINÄRE VERNETZUNG UND PLANUNGSHINWEISE

Interessierte meldeten sich bei der Arbeitsgruppenleitung zur Teilnahme an bzw. wurden von der Leiterin der Arbeitsgruppe gezielt um ihre Teilnahme gebeten, um zusätzliche Expertise in das Projekt einzubringen. So konnten die interdisziplinären Fragestellungen vollständig abgedeckt werden. Experten und Expertinnen aus dem Bereich Photovoltaik, Vegetationstechnik, Umweltmedizin, Public Health, Bauökologie, Oberflächenthematik - Freiraumgestaltung, Mikroklima, Gebäudetechnik, Materialwissenschaft, Immobilienentwicklung, Strahlung, Energie und Städte waren tätig.

Als Beilage zu den Empfehlungen wurde eine Planungsunterlage angefertigt, die dynamisch wachsen kann, und daher online abrufbar ist: <https://gruenstattgrau.at/checkout/?doc=22944>

³¹ https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe_2018-18_pvoptiray.pdf

Die IG LEBENSZYKLUS Bau umfasst mehr als 90 Unternehmen und Institutionen der Bau- und Immobilienwirtschaft Österreichs.

Der 2012 als IG LEBENSZYKLUS Hochbau gegründete Verein unterstützt Bauherren bei der Planung, Errichtung, Bewirtschaftung und Finanzierung von ganzheitlich optimierten, auf den Lebenszyklus ausgerichteten, Bauwerken. Interdisziplinäre, bereichsübergreifende Arbeitsgruppen bieten eine gemeinsame Plattform für Projektbeteiligte aus

allen Bereichen des Gebäudelebenszyklus. Sämtliche Publikationen des Vereins – Leitfäden, Modelle und Leistungsbilder – können kostenlos angefordert werden.

Kontakt:
IG LEBENSZYKLUS BAU, Wien
office@ig-lebenszyklus.at
www.ig-lebenszyklus.at

Folgende Unternehmen haben bei der Erstellung des Leitfadens mitgewirkt:



www.aee-data.at



www.ait.ac.at



www.atb-becker.eu



www.building-research.at



www.delta-pods.at



www.fqp.at



gruenstattgrau.at



boku.ac.at/baunat/iblb



ic-group.org



www.meduniwien.ac.at



www.solarspar.ch



boku.ac.at