



# Urban Cool Down

Integrative Maßnahmen zur Förderung von kühlen Orten für  
wachsende Stadtquartiere

## Cool-Demo-Konzeption und Roadmap

Bericht zum Arbeitspaket 5 „Cool-Demo: Konzeption und Roadmap“ des  
Sondierungsprojektes „Urban Cool Down“ im Rahmen der 7. Ausschreibung von Smart Cities Demo.

Eine Förderaktion des Klima- und Energiefonds.

Wien, Dezember 2017

Erstellt von:

Dipl.-Ing. Ralf Dopheide sowie

Dipl.-Ing.<sup>in</sup> Katharina Oder und Elisabeth Karaca, BA

**Dipl.-Ing. Ralf Dopheide e.U.**

Schönbrunner Straße 59–61/10

A-1050 Wien

[office@dopheide.at](mailto:office@dopheide.at)

[www.dopheide.at](http://www.dopheide.at)

## Cool-Demo-Konzept und Roadmap

### Inhalt

<b>Cool-Demo-Konzeption und Roadmap .....</b>	<b>1</b>
Einleitung.....	5
Grundlagen und Anforderungen .....	6
Rechtliche Anforderungen .....	6
Städtebauliche Verträge.....	6
Betreibermodell/e .....	6
Interventionen im Eigentum vom Unternehmen.....	6
Contracting-Modelle .....	6
Outsourcing .....	6
Public-Private-Partnership .....	7
Sozialräumliche Anforderungen/Funktion .....	7
Maßnahmenbündel 1: Kühlung durch Hochdruck-Wasservernebelungsanlagen .....	7
Varianten .....	7
Stand-alone Lösung .....	7
Kombination mit Sitzmöbel .....	9
Kombination mit Begrünung .....	9
Umsetzung.....	10
Standortvoraussetzungen, baulich-räumliche Bedingungen .....	10
Technische Voraussetzungen .....	10
Rechtliche Rahmenbedingungen und administrative Vorgaben .....	12
Kosten und Finanzierung – Errichtung .....	12
Kosten und Finanzierung – Betrieb .....	12
Soziale Aspekte.....	12
Maßnahmenbündel 2: Kühlung durch Pflanzen.....	12
Saisonale Beschattung und kleinklimatische Wirkung von Pflanzen .....	13
Wasseraufnahme .....	13
Schutz vor UV-Strahlung.....	13
Verbesserung der Luftqualität.....	14
CO <sub>2</sub> -Speicherung und Luftschadstoffe.....	14
Varianten .....	14
Entsiegelung .....	14
Gefäße .....	14
Dachbegrünung .....	15

Fassadenbegrünung .....	16
Selbsttragende Systeme .....	19
Grünflächen, Wiese, Park .....	23
Umsetzung.....	23
Standortvoraussetzungen, baulich-räumliche Bedingungen .....	23
Technische Voraussetzungen .....	23
Rechtliche Rahmenbedingungen und administrative Vorgaben .....	24
Kosten und Finanzierung – Errichtung .....	25
Kosten und Finanzierung – Betrieb .....	26
Soziale Aspekte.....	27
Maßnahmenbündel 3: Kühlung durch (bauliche) Beschattung von Freiräumen.....	27
Varianten .....	28
Parasoleil .....	28
Sonnenschutzsysteme .....	28
Jalousien .....	28
Umsetzung.....	29
Standortvoraussetzungen, baulich-räumliche Bedingungen .....	29
Technische Voraussetzungen .....	29
Rechtliche Rahmenbedingungen und administrative Vorgaben .....	30
Kosten und Finanzierung – Errichtung .....	30
Soziale Aspekte.....	30
Maßnahmenbündel 4: Kühlung mit Wasserflächen.....	30
Varianten .....	30
Wassergefäße .....	30
Brunnen .....	30
Teich .....	30
Fluss .....	31
See .....	31
Umsetzung.....	31
Standortvoraussetzungen, baulich-räumliche Bedingungen .....	31
Technische Voraussetzungen .....	31
Rechtliche Rahmenbedingungen und administrative Vorgaben .....	31
Kosten und Finanzierung – Errichtung .....	32
Soziale Aspekte.....	32
Maßnahmenbündel 5: Kühlung durch erneuerbare Energie .....	33
Varianten .....	33

Kühlung mit selbsterzeugter Energie/Muskelkraft .....	33
Solare Energie.....	33
PV-Anlage .....	34
Solarstrombetriebene Kühlungsgeräte .....	35
Umsetzung.....	36
Standortvoraussetzungen, baulich-räumliche Bedingungen .....	36
Rechtliche Rahmenbedingungen und administrative Vorgaben .....	37
Kosten und Finanzierung – Errichtung .....	37
Kosten und Finanzierung – Betrieb .....	37
Soziale Aspekte.....	37
Maßnahmenbündel 6: Kühlung durch Wärmeabtransport .....	38
Varianten .....	38
Asphaltkollektoren zur Kühlung des Außenraumes .....	38
Röhrensystem.....	38
Maßnahmenbündel 7: Kühlung durch optimierten Wohn- und Städtebau.....	39
Varianten .....	39
Städtebauliche Planung.....	39
Verminderung des Wärmeeintrags bei Gebäuden .....	42
Empfehlungen für Stadt- und Landschaftsplaner.....	44
Roadmap – Strategie- und Umsetzungsplan .....	46
Verwendete Quellen und Literatur .....	49
Bildquellen.....	53
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	54

## Einleitung

Die Stadt unterliegt nicht nur dem sozialen Wandel, auch die klimatischen Veränderungen zählen zu den Herausforderungen, mit welchen sich Städte auseinandersetzen müssen. Sie erfordern neue Erkenntnisse und Lösungsansätze. Die steigende Bevölkerungsdichte ruft mehr Emissionen hervor. Auch die Flächenversiegelung führt zur Erwärmung von dicht verbauten Stadtteilen, den sogenannten Wärmeinseln. Durch die globale Klimaerwärmung werden diese Stadtklimaeffekte noch zusätzlich verstärkt. Das wirkt sich auf die Lebensqualität und Funktionalität von Städten aus. Umso mehr gewinnen mit der wachsenden Urbanisierung Kühlungstechnologien, Kühlungsmaßnahmen und das urbane Grün an Bedeutung. Es reduziert diese Effekte deutlich und gilt für Menschen im überwärmten Stadtklima durch die verdunstende Fläche als wichtiges Rückzuggebiet mit erträglichem Bioklima. Diese Effekte können mit technischen Einrichtungen unterstützt werden. Besonders im Bereich der Dach- und Fassadenbegrünungen, dem Regenwassermanagement und den erneuerbaren Energien sind innovative Lösungen für anstehende klimatische Herausforderungen gefragt.

In der vorliegenden Cool-Demo-Konzeption wurden auf Basis der Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Projektverlauf organisatorische, funktionale, soziale, technologische und naturräumliche Anforderungen in Verbindung mit technologischen Anforderungen für die Maßnahmenbündel „Kühlung durch Hochdruckwasservernebelungsanlagen“, „Kühlung durch Pflanzen“, „Kühlung durch (bauliche) Beschattung von Freiräumen“, „Kühlung mit Wasserflächen“, „Kühlung durch erneuerbare Energie“, „Kühlung durch Wärmeabtransport“ und „Kühlung durch optimierten Wohn- und Städtebau“ aufbereitet und in einer Roadmap verdichtet.

Im Rahmen der Cool-Demo-Konzeption wurden sowohl Umsetzungschancen wie auch -hindernisse identifiziert und Kriterien und Indikatoren mit Raumbezug für die Klimamitigation - sowohl im Hinblick auf die Projektevaluierung und das Monitoring als auch zur Vorbereitung für ein nachfolgendes, darauf aufbauendes Forschungsprojekt - entwickelt.

## Grundlagen und Anforderungen

### Rechtliche Anforderungen

Um Anlagen und Vorrichtungen zur Kühlung und Schattierung im öffentlichen Raum umsetzen zu können, müssen die rechtlichen Bedingungen erfüllt sein, sowie Genehmigungen der zuständigen Stellen eingeholt werden.

In **Niederösterreich** beurteilen der Bürgermeister sowie jeweilige Gemeindeverantwortliche das Vorhaben und stellen die nötigen Genehmigungen aus. In **Wien** sind die unterschiedlichen Magistratsabteilungen für das Ausstellen von Genehmigungen zuständig.

### Städtebauliche Verträge

Bei diesem Instrument wird die Gemeinde dazu berechtigt privatrechtliche Vereinbarungen mit Grundstückseigentümern abzuschließen. Die Urban-Cool-Down-Interventionen sind im Interesse der Gemeinde, welche die Stadtplanung mitsteuert. Städtebauliche Verträge würden hier nur dann in Frage kommen, wenn Interventionen nicht auf Grundstücken der Stadt Wien bzw. der Stadtgemeinde Wolkersdorf sondern von Privateigentümern zum Einsatz kommen würden (vgl. FELLNER WRATZFELD & PARTNER RECHTSANWÄLTE GMBH O.J.).

### Betreibermodell/e

„Ein Betreibermodell stellt die Übertragung der Gesamtverantwortung von einem öffentlichen oder privaten Auftraggeber für die Planung, den Bau, die Finanzierung und den Betrieb einer baulichen oder maschinentechnischen Anlage über einen begrenzten Zeitraum auf einen oder mehrere Projektträger dar“ (vgl. HAHN et al. 1997, WILDEMANN 2002 in KALUZA & BLECKER S.140). Es gibt eine Fülle an Betreibermodellen, die geläufigsten werden nachfolgend näher erläutert.

### Interventionen im Eigentum vom Unternehmen

Die kompletten Aufgaben werden vom Unternehmen (zuständige Stelle für Intervention) selbst durchgeführt, organisiert und finanziert.

### Contracting-Modelle

Bei Contracting werden öffentliche Aufgaben, die aufgrund der gesetzlichen Vorgabe nicht privatisierbar sind an ein Dienstleistungsunternehmen übertragen. Dieses fungiert als Erfüllungsgehilfe. Beispielsweise werden private Sicherheitsdienste zur Überwachung des ruhenden Verkehrs beauftragt (vgl. PUWEIN & WEINGÄRTLER 2008). Dabei gibt es folgende Formen:

- Energiespar-Contracting
- Energieliefer-Contracting
- Finanzierungs-Contracting
- Betriebsführungs-Contracting

### Outsourcing

Die bislang von einer öffentlichen Verwaltung selbst erbrachten Leistungen werden an ein privates Unternehmen abgegeben. Beispielsweise gibt die Straßenverwaltung den Winterdienst oder die Betreuung von Böschungen und Hecken an private Unternehmen ab (vgl. PUWEIN & WEINGÄRTLER 2008).

## Public-Private-Partnership

Public-Private-Partnership ist eine partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen privaten Unternehmen und/oder Nonprofit-Organisationen und der öffentlichen Hand. Eine öffentliche Einrichtung (Public Partner) überträgt eigene Aufgaben an ein privatwirtschaftliches Unternehmen (Private Partner). Dies kann ein Hersteller, Händler, Vermieter, Bauunternehmen, eine Projektgesellschaft oder eine Leasinggesellschaft sein, welcher dann zum Dienstleister wird. Die Planung, Erstellung, Finanzierung, das Betreiben und die Verwertung werden ganz dem Partner aus der privaten Wirtschaft, einem sogenannten Konzessionsnehmer, übergeben. Es handelt sich um eine Partnerschaft in der die vereinbarten Leistungen längerfristig (25-30 Jahre) bereitgestellt werden. Dabei gibt der öffentliche Auftraggeber einen festgesetzten Rahmen vor und zahlt für die Straße oder das Gebäude nur eine Miete für die Nutzung. Die Interventionen zu Urban Cool Down werden von diesen Dienstleistern betreut und die Leistung kommt den BürgerInnen als auch dem Staat zugute (vgl. PROELLER o.J.)

## Sozialräumliche Anforderungen/Funktion

Der Bedarf an kühlen Orten in urbanen Räumen steigt, einerseits durch vermehrt anhaltende Hitzeperioden im Sommer und andererseits durch die dichte Verbauung mit versiegelten Flächen. Die zahlreichen asphaltierten Flächen wärmen sich an Hitzetagen stark auf und speichern diese Wärme, was dazu führt, dass es selbst in der Nacht nicht wesentlich zu einer Abkühlung kommt. Urbane Hitzeinseln stellen für den Menschen eine gesundheitliche Gefährdung dar.

Im **privaten** Bereich lassen sich häufiger kühle Orte wie z.B. Hausgärten und Innenhöfe (Bäume, Vegetation, Pools), kühle Erdgeschosse sowie klimatisierte Innenräume finden. Auch **halböffentliche** Orte, wie ein beschatteter Gastgarten oder Innenhof, Freibäder und Parkanlagen weisen vermehrt kühle oder beschattete Bereiche auf. **Öffentliche** Bereiche, die zu einer Kühlung an Hitzetagen beitragen sind im städtischen Bereich meist begrenzt. Dazu zählen Parkanlagen mit Bäumen und Wasser, Ufer von Gewässern oder Wald. In dicht bebauten Gebieten fehlen meist beschattete und kühle Plätze.

Der Bedarf an kühlenden Interventionen im öffentlichen Freiraum bedingt durch vermehrt auftretende Hitzeinseln, sowie die steigende Anzahl an Hitzetagen im urbanen Raum, ergeben ein erhöhtes Interesse für neue nachhaltige Technologien.

## Maßnahmenbündel 1: Kühlung durch Hochdruck-Wasservernebelungsanlagen

Durch den Einsatz von Hochdruck-Wasservernebelungssystemen kann auf technischem Wege Verdunstungskühle hergestellt werden. Wasser wird durch ein Hochdruckdüsenystem so fein zerstäubt, dass keine Nässe entsteht aber eine Steigerung der Luftfeuchte sowie eine deutliche Abkühlung der Umgebungstemperatur festgestellt werden kann.

### Varianten

#### Stand-alone Lösung

Es besteht die Möglichkeit Hochdruck-Wasservernebelungsanlagen in verschiedenen Formen im öffentlichen oder halböffentlichen Raum zu installieren. Die häufigsten Formen sind folgende:

#### Hochdruckdüsenysteme

Wasser wird mittels einer Hochdruckpumpe durch beliebig viele Düsen entlang eines beliebig langen Schlauchzuleitung gepumpt. Aufgrund des hohen Drucks wird das Wasser fein zerstäubt, sodass ein

feiner Nebel entsteht. Hierbei handelt es sich zumeist um fixe Installationen, welche einen Träger benötigen wie beispielsweise eine Hausfassade oder ein Sonnensegel. Ein Wasseranschluss (Trinkwasserqualität) ist hier unbedingt erforderlich.



Abbildung 1: Hochdruck-Wasservernebelungsanlage im Gastgarten des Café Mozart, Wien (Quelle: EIGENE AUFNAHME 2017)

#### Nebelsäule

Diese Art von Vernebelungsanlage funktioniert ebenfalls mittels Pumpe und Wasseranschluss, allerdings konzentriert sich die Installation auf eine Säule, welche beliebig aufgestellt werden kann und meist ästhetischer ist als beispielsweise ein Nebelventilator. Ein Wasseranschluss mit Trinkwasserqualität ist hier unbedingt erforderlich.

#### Nebelventilator

Nebelventilatoren sind in der Regel mobile Anlagen und können wie die Nebelsäulen beliebig platziert werden. Bei dieser Form unterscheidet man einerseits die Variante mit Wasseranschluss und ohne Pumpe, denn der Ventilator fungiert hier allein als Wasserzerstäuber. Andererseits besteht die Möglichkeit eines Anschlusses an eine Hochdruckpumpe, wodurch das Wasser noch feiner zerstäubt wird. Des Weiteren kann ein Wassertank die Wasserverfügbarkeit gewährleisten, wodurch kein Wasseranschluss benötigt und die Mobilität der Anlage erhöht wird.



Abbildung 2: Fix installierter Nebelventilator am Rathausplatz, Wien. (Quelle: EIGENE AUFNAHME 2017)



Abbildung 3: Mobiler Nebelventilator am Tel Aviv Beach, Wien und Abbildung 4: Hochdrucknebelsäule am Hauptplatz von Wolkersdorf (Quelle: EIGENE AUFNAHME 2017)

### Kombination mit Sitzmöbel

Eine Hochdruckvernebelungsanlage lässt sich gut mit einem Sitzmöbel verbinden. Diese kann auch eine begrünte Wand sein, wodurch nicht nur ein ästhetisch ansprechender Aufenthaltsraum entsteht, sondern mit der Wirkung der Pflanzen in Kombination mit der Hochdruckvernebelungsanlage ein noch höherer ökologischer Mehrwert erzeugt wird.

### Kombination mit Begrünung

Auch in Kombination mit Begrünungen stellen Wasservernebelungsanlagen eine effektive, zusätzliche Kühlung der Umgebung dar.



Abbildung 5: Begrünte Boxen mit Vernebelungsanlage (Quelle: EIGENE DARSTELLUNG 2017)

## Umsetzung

### Standortvoraussetzungen, baulich-räumliche Bedingungen

Folgende Voraussetzungen für die Installation einer Hochdruck-Wasservernebelungsanlage müssen gegeben sein:

- Ausreichender Platzbedarf, angepasst an die Größe der Anlage
- Wasseranschluss mit Trinkwasserqualität
- Stromanschluss (230V)

Folgendes muss im Vorfeld geklärt werden:

- Genehmigung
- Finanzierung der Aufstellung, Instandhaltung, Wartung, Schäden
- Teilhabe
- Zuständigkeiten der Instandhaltung und Wartung

Um eine Wasservernebelung im öffentlichen sowie halböffentlichen/privaten Raum großflächiger umzusetzen bietet sich eine Zusammenarbeit aus Gemeindeverantwortlichen bzw. Bezirksvorstehung mit Wirten, sowie Lokalbetreibenden an. Denn letztendlich profitieren alle Beteiligten längerfristig von zufriedenen BewohnerInnen, höheren Umsätzen sowie einer gesamten Aufwertung des Gebiets. Eine Zusammenarbeit hinsichtlich Finanzierung und Wartung zwischen mehreren Partnern würde sich als zielführend erweisen.

### Technische Voraussetzungen

Um Vernebelungssäulen, -ventilatoren oder einzelne Hochdruckdüsen dauerhaft anbringen zu können, müssen gewisse technische Voraussetzungen gegeben sein:

- Elektrischer Motor, der mit einem Frequenzumrichter Drehzahl gesteuert wird
- eine Pumpe (Kolbenpumpe, die ca. 100 bar erzeugen kann) mit einem
- mechanischen Sicherheits- Überdruckventil
- Schaltschrank mit einem Display
- sowie eine entsprechende Anzahl von Düsen und den entsprechenden Zuleitungen

Die Maschine erzeugt feinsten Nebel aus aufbereitetem Trinkwasser das durch feine Düsen (der kleinste Durchmesser beträgt 60  $\mu\text{m}$ ) mittels Hochdruck bis 100 bar zerstäubt wird. Die Hochdruckpumpen können in der Drehzahl, und damit bezüglich Druck und Fördermenge, gesteuert werden. Durch diese Technik wird der Wasserverbrauch stark reduziert und ein Feuchtigkeitsgefühl wird vermieden. Bei 70 bar entstehen dabei Wasserpartikel in der Größe von 5  $\mu\text{m}$ , wodurch es zu einer Verdampfung und damit zur Senkung der Umgebungstemperatur kommt.



Abbildung 6: Düse einer Wasservernebelungsanlage (Quelle: EIGENE AUFNAHME 2017)

### Gewährleistung der Wasserhygiene:

Hochdruck-Wasservernebelungsanlagen können Quellen für luftgetragene Keime sein. Der Betreiber steht in der Verantwortung, das Risiko aus dem Betrieb solcher Anlagen zu minimieren. Laut der MA 39 sind bei der Vernebelung von Wasser im öffentlichen Raum die Anforderungen in Anlehnung an die VDI 6022 Blatt 6 (Raumlufttechnik, Raumluftqualität - Luftbefeuchtung über dezentrale Geräte) einzuhalten (DRAABE INDUSTRIE-TECHNIK GMBH 2014).

Bezüglich der Wasserqualität ist folgendes zu beachten:

- es wird Wasser in Trinkwasserqualität benötigt
- das Wasser muss gefiltert werden (Filter 1 – 5 my)
- das Wasser muss zwischen 4 – 6 Grad deutscher Härte haben
- anzustreben ist eine Wassertemperatur von etwa 16 °C

Hinsichtlich der Wasserqualität sollte das zugespeiste Wasser mindestens die Trinkwasserqualität gemäß Trinkwasserverordnung (mikrobiologische Anforderungen) einhalten. Für das Befeuchterwasser am Düsenausgang gilt daher folgendes:

- Gesamtkoloniezahl < 150 Wert KBE/ml
- Legionellen < 100 KBE/100 ml
- Pseudomonas aeruginosa < 100 KBE/100 ml

### Risikobeurteilung

- Zur bestimmungsgemäßen Verwendung gehört auch die Einhaltung der vom Hersteller vorgeschriebenen Betriebs-, Wartungs- und Instandhaltungsbedingungen. Das Gerät darf nur von Personen genutzt, gewartet und instandgesetzt werden, die hiermit vertraut und über die Gefahren unterrichtet sind.
- Die Sicherheitsanweisungen sind auch an andere Benutzer weiterzugeben. Die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften sowie die sonstigen allgemein anerkannten sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen und straßenverkehrsrechtlichen Regeln sind einzuhalten.
- Eigenmächtige Veränderungen an dem Gerät schließen eine Haftung des Herstellers für daraus resultierende Schäden aus.
- Die Maschine ist durch den Betreiber regelmäßig bezüglich Brüche und Risse, Leckagen, Scheuerstellen, lose Schrauben und Verschraubungen, Vibrationen, hohe Temperaturen und korrekte Funktion zu überprüfen.
- Die Maschine ist regelmäßig mit Druckluft und Putzlappen zu reinigen. Wartungs- und Reinigungsarbeiten sind bei stillgelegter und gegen Wiederanlauf gesicherter Maschine durchzuführen.
- Die zu schmierenden Stellen sind regelmäßig nach Betriebsanleitung zu schmieren und das Schmieröl der Hochdruckpumpe ist ggf. nach Herstellerangaben zu wechseln und zu entsorgen.
- Die Maschine ist auf horizontaler ebener harter Fläche aufzustellen. Die Verbindung und Befestigung mit bzw. am Aufstellungsort sowie auf dem Transport-LKW ist mittels den entsprechenden Befestigungsmittel gemäß der Betriebs- und Montageanleitung auszuführen.
- Die Maschine ist nicht zur Verwendung in gefährlicher oder explosionsfähiger Atmosphäre vorgesehen.
- Um die Hochdruck-Nebelanlage bzw. deren Bauteile zu bewegen, reichen zwei Personen aus. Es sind ggf. Hebeeinrichtungen sowie die entsprechenden Anschlagmittel zu verwenden, z.B. LKW mit der entsprechenden Hebe und Fixier-Einrichtungen.

- Bei Reparatur- oder Wartungs-Arbeiten ist eine zusätzliche Beleuchtung (z.B. Handlampe), wenn notwendig, zu verwenden.
- Bei Aufstellung im Freien unter einem Flugdach ist für einen entsprechenden Blitzschutz zu sorgen.
- Montage nur durch Personal des Herstellers oder durch geschultes Personal.
- Bei der Montage ist Erdung mittels Steckdosenkabel nach Montageanleitung vorzusehen.
- Wartungs- und Reparaturarbeiten dürfen nur bei abgeschalteter und gegen Wiederanlauf gesicherter Maschine durch geschultes Personal ausgeführt werden (Hauptschalter mit Vorhängeschloss gesichert).
- Die Veränderung der Drehzahlen durch den Betreiber über die bestimmungsgemäßen Bereiche hinaus, ist nicht gestattet.

### Rechtliche Rahmenbedingungen und administrative Vorgaben

Die zuständige Stelle für die Genehmigung der Aufstellung von Vernebelungssäulen im öffentlichen Raum in Wien ist die MA 36 (Gewerbe- Elektro-, Gasangelegenheiten, Feuerpolizei, Veranstaltungswesen). Die zuständige Stelle für die Einhaltung der Wasserhygiene in Wien ist die MA 39 (Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien). Abhängig von der technischen Ausführung müssen alle relevanten Aspekte in einem geeigneten Hygienekonzept berücksichtigt werden.

### Kosten und Finanzierung – Errichtung

Die Kosten der Errichtung hängt vom verwendeten System, so wie seiner Größe ab. Ein Hochdruckdüsensystem für eine Wirkungsfläche von 2-15 qm<sup>2</sup> hat mind. 6 Düsen und kostet inkl. Zusatzausstattung wie Filter- und Entkeimungsanlage ca. € 1.300. Eine mobile, d.h. nicht fest fixierte Nebelsäule mit 8 Düsen mit einem Wirkungsbereich von 3 m<sup>2</sup> (Radius) kommt inkl. Zusatzausstattung (in diesem Fall ist die Pumpe nicht inkludiert) kommt auf rund € 1.800. Ein Nebelventilator mit einem Durchmesser von 50 cm in einer verstellbaren Höhe von 1,2 bis 1,9 m kostet inkl. erforderlicher Zusatzausstattung ca. € 1.300 (vgl. RAUCH GMBH 2017).

### Kosten und Finanzierung – Betrieb

#### Soziale Aspekte

Vernebelungsanlagen könnten einen wesentlichen Beitrag zur Lebensqualität und Gesundheit leisten, da sie nachweislich für Abkühlung sorgen. An heißen Tagen würden öffentliche Plätze deutlich häufiger aufgesucht werden, wenn diese eine Möglichkeit der Kühlung aufweisen. Ebenso eignen sich halböffentliche Orte, wie Gastgärten für die Installation einer Wasservernebelungsanlage da es zu einer zusätzlichen Steigerung der Aufenthaltsqualität kommt und dies zu einer Erhöhung des Besucherstroms führt.

## Maßnahmenbündel 2: Kühlung durch Pflanzen

Die Folgen der Klimaerwärmung bringen steigende Anforderungen an das urbane Grün mit sich. Die neuen Lösungen finden ihre Antwort in Dach- und Fassadenbegrünungen, Schutz und Sicherung von Grünflächen, Regenwassermanagement sowie auch im Bereich der erneuerbaren Energien. Zu diesen Anforderungen gehören auch die Erwartungen an die urbanen grünen Infrastrukturen, die sie als Serviceleistungen zu erfüllen haben. Sie verbessern das Mikroklima in der Stadt, verdunsten Wasser, binden Stäube und reduzieren durch Schattenwirkung die Temperatur, nehmen Kohlendioxid auf und produzieren täglich zusätzlichen Sauerstoff (BRUSIC, 2017).

Der Kühleffekt wird hauptsächlich durch die Evapotranspiration hervorgerufen. Dabei nimmt die Pflanze Wasser über den Boden auf und gibt es in Form von Wasserdampf über die Blätter wieder an

die Atmosphäre ab. Dadurch kommt es zu einem kühlenden Effekt in unmittelbarer Umgebung (vgl. BOWLER et al., 2010, S. 148).

Die Evapotranspiration ist die Summe aus Transpiration und Evaporation, also Verdunstung von Wasser aus Pflanzen und Boden- oder Wasseroberflächen. Der Wasserzustand verändert sich vom flüssigen in den gasförmigen Zustand. Dabei wird Energie (latente Wärme) verbraucht und steht nicht mehr zur Erwärmung der Luft (fühlbare Wärme) zur Verfügung. Somit bleibt die Luft kühler (BRUSIC, 2017).

Durch die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit steigt in weiterer Folge das Wohlbefinden der Menschen. Pflanzen kühlen am stärksten in Hitzeperioden, beispielsweise erbringt eine Grünfassade in Wien mit rund 850 m<sup>2</sup> etwa die Kühlleistung von 75 Klimageräten mit 3000 W Leistung bei 8h Betriebsdauer (vgl. UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN o.J., S. 10).

### Saisonale Beschattung und kleinklimatische Wirkung von Pflanzen

Der Habitus der einzelnen Pflanzen als auch die Zusammensetzung einzelner Elemente ist besonders wichtig hinsichtlich der Durchlässigkeit von Luftmassen und der Speicherung von Wärme. Ein einzelner Baum hat, je nach Standort und Größe, einen unterschiedlich hohen Wirkungsgrad. Hinsichtlich der urbanen Hitze spendet er ab einer gewissen Größe Schatten mit einem merklichen Temperaturunterschied unter der Krone. Die Blätter führen bei Wind zu einer Luftzirkulation, was sich ebenfalls positiv für das Mikroklima auswirkt.

Besonders im Stadtraum ist die kleinklimatische Funktion eines Baumes von großer Bedeutung. In der Stadt sorgen Bäume durch Schattenwurf und Wasserverdunstung für Temperatenausgleich. An heißen Sommertagen haben Bäume kühlende Wirkung. Das führt zur Minderung der Klimaextreme. Die gemessenen Temperaturen zwischen Parkanlagen und bebauten oder versiegelten Plätzen unterscheiden sich um bis zu 5 °C. Dabei kann die gefühlte Temperaturdifferenz durch die höhere Luftfeuchte unter Bäumen sogar bis zu 10 °C erreichen. Noch signifikanter sind die Differenzen zwischen dem Asphalt und baumbestandenen Grünflächen, hier können die Temperaturdifferenzen bis zu 15 °C betragen. Dabei ist zu beachten, dass die Bestands- und Bepflanzungsdichte eine entscheidende Rolle spielt (ROLOFF, 2013 a). Eine weitere Funktion ist der Windschutz, der die Vermeidung von Düseneffekten zwischen Gebäuden unterstützt. Auch die Verminderung der Reflexion von Sonnenstrahlen und Schallwellen wird als wertvoller Beitrag von Straßenbäumen im städtischen Bereich gesehen. Mit der Bindung von Staubkernen und Schadstoffen erfüllen Bäume in der Stadt auch eine lufthygienische Funktion (FLORINETH, 2012).

### Wasseraufnahme

Pflanzen reduzieren die Überflutungsgefahr bei Starkregenereignissen durch das Auffangen des Regenwassers einerseits über die Blätter, andererseits durch die Aufnahme des Sickerwassers über die Wurzeln. Im diesem Sinne spielt die Größe der Baumscheibe entscheidende Rolle. Besonders signifikant ist die Wasserspeicherung bei begrünten Dächern. Bei starken Niederschlagsereignissen wird das Regenwasser im Dränageschicht gespeichert und kann entweder langsam verdunsten oder verzögert, in den Abwasserkanal wieder abgeleitet werden, was insgesamt zur Entlastung des Kanalnetzes führt.

### Schutz vor UV-Strahlung

Die Aufnahme der Globalstrahlung durch Pflanzen - beispielsweise bei Bauwerksbegrünungen bzw. Fassadenbegrünungen - trägt wesentlich zur Verbesserung der Lebensqualität in Städten bei, da es insgesamt zu einer geringeren Strahlenbelastung kommt als über künstliche Oberflächen. Pflanzen, vor allem Gehölze, bewirken durch Beschattung eine direkte Kühlung der Lufttemperatur sowie der

schattierten Oberflächen, insbesondere bei strahlungsabsorbierenden Oberflächen. Vor allem die Kronendachoberfläche, aber auch Stamm, Äste und Zweige absorbieren bis zu 99 % der einfallenden Globalstrahlung (vgl. LESER 2008 zit. nach PAULEIT).

### Verbesserung der Luftqualität

Pflanzen haben einerseits eine thermische Wirkung, andererseits beeinflussen sie auch die Luftqualität (vgl. DIMOUDI et al., 2003, S. 69). Die Wirksamkeit von vegetationsbestandenen Flächen wird jedoch von der Pflanzenart, ihrer Größe, dem Aufbau und Zusammensetzung (Struktur, Höhe, Dichte) beeinflusst (vgl. KUTTLER 1998, SPERBER 2007; zit. n. MATHEY 2011, S. 34).

### CO<sub>2</sub>-Speicherung und Luftschadstoffe

Eine Belastung für die Pflanzen stellt die Luftverunreinigung durch Industrie und Verkehr dar. Dabei werden Schwefeldioxid und Stickoxide aus diversen Verbrennungsprozessen an die Umwelt abgegeben. In erste Linie sind die Blätter betroffen. Durch die Ablagerung der Schadstoffe auf der Blattoberfläche ist die Assimilationsleistung der Blätter vermindert. Die Spaltöffnungen werden dabei in ihrer Funktion gestört, was zur Überhitzung des Blattgewebes führen kann (BALDER, 1997). Der Gasaustausch zwischen Blatt und Umwelt kann nur bedingt stattfinden. Die Sonnenstrahlen werden verstärkt reflektiert und der Photosyntheseprozess damit gestört. Die erhöhte CO<sub>2</sub> Konzentration führt zu kurz- oder langfristigen Reaktionen, die hauptsächlich in einer Verminderung der Photosyntheseleistung deutlich werden (BALDER, 2007).

Trotz diesen Belastungen erfüllen Pflanzen auch eine Filterwirkungsfunktion. Über die Stomata der Blätter und ihrer Oberfläche werden gasförmige Luftverunreinigungen aufgenommen. Sie verwandeln durch Speicherung und Stoffwechsel das klimarelevante Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in Sauerstoff. Auch andere Gase wie Kohlenstoffmonoxid (CO), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>) werden durch die Pflanzen reduziert. Besonders die Stadtbäume haben große Auswirkungen auf die Ozonkonzentration. Dabei haben die Stadtwälder eine höhere Wirkung als die Einzelbäume. Geschlossene Bestände können Ozonkonzentrationen um bis zu 16 % kurzfristig reduzieren, Einzelbäume dagegen nur um 0,45%. Geschlossene Kronendächer verbessern die Luftqualität um bis zu 40% und verhindern das Absinken von Luftschadstoffen in Bodennähe (MATZARAKIS, 2001).

### Varianten

#### Entsiegelung

Die Entsiegelung von Flächen zur Schaffung von Grünflächen stellt eine weitere Option dar. Um einen klimatischen Effekt zu erzeugen sollten Grünflächen eine Mindestbreite von 2 m aufweisen. Die klimatischen Auswirkungen entstehen hier insbesondere durch die Evapotranspiration. Weiters erwärmen sich begrünte Flächen nicht so stark auf wie versiegelte und strahlen somit weniger Wärme ab. Durch die Entsiegelung der Flächen wird die Überflutungsgefahr bei Starkregenereignissen vermindert (siehe Punkt Wasseraufnahme).

#### Gefäße

Jegliches Grün hat einen positiven Einfluss auf die Umgebung, denn es ist ästhetisch ansprechend, bietet Lebensraum für Tiere und wirkt sich positiv auf das umgebende Klima aus. Bei geringem Platzbedarf oder versiegelten Flächen, ohne Möglichkeit des direkten Bodenkontaktes, bieten sich bepflanzte Tröge an, welche auch durch Schattenwurf ihre kühlenden Wirkungen haben. Dazu kommen bewusst oder unbewusst wahrgenommene Wirkungen von Pflanzen, die positive, psychologische Einflüsse auf den Menschen nehmen.

## Dachbegrünung

Dachbegrünungen bieten dieselben Vorteile wie Fassadenbegrünungen und können gleichzeitig auch eine Aufenthaltsfläche ästhetisch als auch funktionell aufwerten (z. B. in Form von Dachgärten). Zusätzlich verzögern sie bei Starkregenereignissen den Wasserabfluss und entlasten damit das Kanalisationssystem. Auch hier ist es notwendig zu prüfen, ob die Parameter, wie statische Lastreserve, Entwässerung, Wurzelfestigkeit etc. eine Dachbegrünung zulassen. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen zwei verschiedenen Begrünungsarten (vgl. PENDL et al. 2009, S. 8, 17; KÖHLER 2012, S. 40ff.):

### Extensivbegrünung

Diese Möglichkeit ist sehr einfach, kostengünstig und pflegeleicht, da die Dachfläche naturnah bepflanzt wird und ohne zusätzlicher Wasser- und Nährstoffzufuhr auskommt. Hier kommen nur niedrige Bepflanzungen mit Gräsern, Kräutern, Sukkulenten und Moose zum Einsatz, weswegen es sich hier jedoch um keine nutzbare Grünfläche handelt. Der Pflegeaufwand ist ebenfalls sehr gering, da die Pflanzen an extreme Standortbedingungen angepasst sind und sich daher auch ohne viel Pflege gut weiterentwickeln.



Abbildung 7: Extensivbegrünung (Quelle: PIXABAY 2016)

### Intensivbegrünung

Die Intensivbegrünung kann wie ein ebenerdiger Garten bzw. eine genutzte Grünfläche gesehen werden. Hier kann es je nach Ausbildungsform zum Einsatz von mehrjährigen Stauden, Gehölzen, Bäumen und Rasenflächen kommen. Dabei ist besonders auf die Statik zu achten, da ein entsprechender Substrataufbau erforderlich ist. Die Dachfläche wird in Form von Dachterrassen und Dachgärten genutzt, allerdings sind hier dementsprechend die Herstellungs- und Pflegekosten deutlich höher, ebenso auch der Pflegeaufwand.



Abbildung 8: Intensivbegrünung (Quelle: PIXABAY 2016)

### Pflege

Der Pflegeaufwand und die Pflegekosten richten sich nach der Art der Begrünung (extensiv oder intensiv) und variieren daher stark. Man unterscheidet zwischen Fertigstellungspflege, welche zur Herstellung einer Dachbegrünung zählt und der Entwicklungs- und Unterhaltungspflege. Die Entwicklungspflege schließt an die Fertigstellungspflege an und geht mit den Jahren in die Unterhaltungspflege über. Bei der Extensivbegrünung sind zumindest zwei Kontrollgänge pro Jahr erforderlich, bei der Intensivbegrünung verfährt man wie bei einem normalen Garten (vgl. PENDL et al. 2009, S. 26; KÖHLER 2012, S. 87).

### Fassadenbegrünung

Die Begrünung von Gebäuden bringt viele ökologische Vorteile wie eine bessere Gebäudedämmung, Erhöhung der Biodiversität, Schallminderung, Luftreinigung, Steigerung des Wohlbefindens, Schutz und Aufwertung der Bausubstanz (vgl. KÖHLER 2012).

### Bodengebundene Fassadenbegrünungen

Hierbei handelt es sich um ein System, demnach die Pflanzen entlang der Fassade mit dem natürlich gewachsenen Boden verwurzelt sind. Die Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen ist vom Grund her eine sehr alte Technik, die sich lediglich weiterentwickelt hat, allerdings bis heute recht einfach umsetzen lässt (vgl. PREISS et al. 2013, S. 38; KÖHLER 2012; S. 103f.).



Abbildung 9: Bodengebundene Fassadenbegrünung (Quelle: SCHMIDT 2014)

#### Mit Kletterhilfe

Die Begrünung kann mit Kletterpflanzen (Blauregen, Waldreben, echter Wein etc.), welche eine Kletterhilfe benötigen erfolgen und starr, d.h. mittels einer starren Konstruktion aus Holz, Metall oder Kunststoff flächig über netzartige Konstruktionen oder linear mittels einzelnen Kletterhilfen, wie Stahlseilen, Stahl- oder Carbonfaserstäben ausgeführt werden. Eine weitere Möglichkeit stellt das flexible System dar, wobei die Konstruktion über Netze bzw. netzartige Gebilde erfolgt und ebenfalls flächig oder nur linear umgesetzt werden kann. Die verschiedenen Kletterpflanzen werden nach ihrem Klettermodus unterteilt, da sich daraus unterschiedliche Anforderungen an die Kletterhilfe ergeben (vgl. PREISS et al. 2013, KÖHLER 2012).

#### Ohne Kletterhilfe

Neben der Begrünung mit Kletterhilfen gibt es auch die Möglichkeit ohne Klettersysteme mit selbstkletternden Pflanzen zu arbeiten. Hierbei ist jedoch ein guter, baulich intakter Fassadenzustand erforderlich, da es andernfalls zu Beschädigungen der Fassade durch die Haftwurzeln (z.B. bei Efeu) oder aufgrund des Gewichtes der Pflanzenmasse kommen kann.

#### Fassadengebundene Begrünungssysteme (vertikale Gärten, Living Walls)

Bei der fassadengebundenen Variante befinden sich die Pflanzen ebenfalls an der Fassade, benötigen allerdings keinen Bodenanschluss. Es besteht die Möglichkeit einer Vielzahl an Trägerstrukturen, in die eine Bepflanzung erfolgt. Diese reichen von typischen Substraten bis hin zu nährstoff- und wasserspeichernden, erdelosen Schäumen. Auch die Auswahl an möglichen Pflanzenarten für Fassadenbegrünungen ist sehr groß (vgl. PREISS et al. 2013; S. 38; KÖHLER 2012; S. 104f.). Es gibt eine Vielzahl von Firmen, die fassadengebundene Systeme im Innen- als auch Außenraum in unterschiedlichster Ausführung anbieten, wie beispielsweise Techmetall, Optigrün und Florawall.



Abbildung 10: Fassadengebundene Begrünungssysteme im GRG7 Kandlgasse Wien (Quelle: EIGENE AUFNAHME 2017)

**Vollflächiger Vegetationskörper**

Man unterscheidet Begrünungen mit vollflächigen Vegetationsträgern, womit gemeint ist, dass sich an jedem Punkt der Begrünung ein durchgehender Substratkörper befindet. Die Vegetationsebenen können zwischen senkrechten und waagerechten Ebenen variieren, d.h. die Pflanzballen können entweder unter oder auch in 90 ° zur Fassade eingesetzt werden. Es besteht die Möglichkeit eines Baukastensystems, bei dem einzelne Pflanzmodule, an ein Gerüst angebracht werden oder im Rahmen eines Gesamtsystems angeordnet werden (vgl. PREISS et al. 2013, S. 39).

**Teilflächiger Vegetationskörper**

Bei der teilflächigen Begrünung ist kein durchgehender Substratkörper vorhanden und es kann linear oder punktuell begrünt werden. Bei der ersten Variante erfolgt die Begrünung über Tröge/Kaskaden, welche linear an die Fassade angebracht werden. Der Abstand zur Gebäudewand beeinflusst die Pflanzenwahl. Alternativ kann auch nur punktuell begrünt werden (vgl. PREISS et al. 2013, S. 39).

Bodengebunden		Fassadengebunden				
Mit Kletterhilfe		Ohne Kletterhilfe	Vollflächiger Vegetationsträger		Teilflächiger Vegetationsträger	
Starr	Flexibel		Lage der Pflanze		Linear	Punktuell
			90 °	< 90 °	≤50 cm Abstand	
Flächig			Baukastensystem			
Linear			Gesamtsystem		> 50 cm Abstand	

Tabelle 1: Übersicht der Fassadenbegrünungsmöglichkeiten (vgl. PREISS et al. 2013, S. S. 38f.).

Neben Begrünungen, die an ein bestimmtes Bauwerk gebunden sind, bei dem es sich gleichzeitig um das Tragwerk handelt, gibt es auch selbsttragende Systeme. Hierbei fungieren die Pflanzgefäße als Tragwerk und stellen einen selbstständigen Baukörper dar, welcher beispielsweise als Trennwand verwendet werden kann. Die Dimensionierung variiert, ebenso wie die Gestaltung und die Materialauswahl.

## Selbsttragende Systeme

### Modulsystem Fraunhofer-System

Bei dem unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts durchgeführten Forschungsprojekt steht die Entwicklung eines Modulsystems auf Basis mineralischer Bauelemente im Vordergrund. Das Material ist ein homogener, saugfähiger und flüssigkeitsspeichernder Werkstoff (Kalksandstein). Die einzelnen Module können in Serie angefertigt werden und ermöglichen individuelle Gestaltung. Auch gegebenenfalls erforderliche Additive, wie Wasserbindungs- und Düngungskomponenten, können passend dosiert in die Kalksandstein-Grundmischung eingebracht werden. Die einzelnen Kalksandsteine können anschließend mit etablierten Methoden zu Wänden und großflächigen Elementen verbaut werden, die dann innerhalb kurzer Zeit vertikal begrünt werden können. Die im Grundmodul eingebrachten Strukturen werden dazu mit Substrat gefüllt und anschließend direkt bepflanzt oder mit Pflanzensamen eingesät. Das Substrat und die verwendeten Pflanzen können in vielfältiger Weise variiert und auf den gewünschten Begrünungstyp angepasst werden. Insbesondere bei der Begrünung mit Gräsern wird ein schneller Begrünungserfolg (2 bis 3 Wochen) erzielt und ein durch das Gras bereitgestelltes Mikroklima ermöglicht es weiteren Pflanzen, sich anzusiedeln. Kleinteilige Module können auch im Bereich von Balkonen oder Terrassen zur Anzucht von Pflanzen genutzt werden oder als vertikaler Kräutergarten dienen (vgl. WACK 2015).



Abbildung 11: Bauelement zur vertikalen Begrünung (Quelle: FRAUNHOFER UMSICHT o.J.)

### Selbsttragendes System Herbios

Wenn wenig Platz vorhanden ist, eignet sich ein kleineres selbsttragendes System aus Holz oder Metallelementen der Fa. Herbios. Einzelne Module lassen sich auf beinahe jeden Balkon oder Terrasse anbringen. Je nach Platzverfügbarkeit, können sie in Größe und Ausführung variieren. Der vertikal durchgehende Erdkörper ermöglicht maximale Wurzelwachstum der Pflanzen. Somit lassen sich Gemüsepflanzen, sowie auch Kräuter für eigenen Bedarf selbst herstellen.



Abbildung 12: Vertikale Anbausysteme (Quelle: WWW.VERTIKALBEET.AT, 2018)

### Auftragbare Begrünung „Moosgraffiti“

Eine weitere Variante um Wände zu begrünen wäre das Anbringen von Moosgraffiti. Hierbei werden weder der angewachsene Boden, noch Pflanztröge als Substratträger benötigt. Moos wächst auf feuchtem Untergrund in schattiger Umgebung, d.h. es sollten eher Wände in Innenhöfen oder sonstigen schattigen Standorten in der Stadt dafür Verwendung finden.

Um ein wachsendes Graffiti aus Moos selbst zu machen, kann folgendes Rezept verwendet werden: Eine Handvoll Moos in den Mixer geben, zwei Tassen Buttermilch oder Joghurt, ein halber Teelöffel Zucker und Wasser nach Bedarf dazugeben und auf niedriger Stufe mixen. Die Konsistenz sollte einem Trinkjoghurt ähneln. Die Mischung auf feuchte Wände mit einem Pinsel auftragen und von Zeit zu Zeit kontrollieren, dass das Graffiti feucht bleibt. Gegebenenfalls mit Wasser besprühen. Schon bald sollte das Graffiti anfangen zu wachsen und wurzeln. Diese Moosmischung kann auch auf z.B. Holzplatten angebracht werden und diese dann an der Wand befestigt werden. Somit kann das Graffiti jederzeit entfernt werden (vgl. LANDSCAPING.AT 2017).



Abbildung 13: Mooswand in Stuttgart (Quelle: DEUTSCHLANDRADIO 2017)

### Selbststehende Grünwände zum selber machen

Grüne Wände müssen nicht unbedingt mit einem hohen technischen Aufwand errichtet werden. Jeder der an der Begrünung einer Wand Interesse hat, obgleich zu gärtnerischen oder gestalterischen Zwecken, kann mit relativ niedrigem Aufwand und überschaubaren Kosten eine Grünwand selbst bauen. Je nach Einsatzbereich und Gestaltungsabsicht bieten die grünen Wände vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten. Besonders bewegungseingeschränkte Menschen können davon profitieren, indem sie gärtnerische Tätigkeiten auf verschiedenen Höhenniveaus ausüben können und einfachere Zugänglichkeiten zu den Pflanzen finden können.

Im Rahmen mehrerer Workshop-Tage im 18. Wiener Gemeindebezirk, wurden im Juni 2017 mit Einbeziehung der Bevölkerung die Mitmach-Aktion „Grüne Wände selbst bauen“ veranstaltet. Die Anrainer hatten dabei die Gelegenheit grüne Wände unter Anleitung selbst zu bauen. Mit einfachen Trägerelementen aus Lärchenholz, Pflanzvlies und Kokosfasernetz wurden vertikale Grünflächen gebaut und in z. T. mobilen Pflanztrögen angebracht.



Abbildung 14: Workshop „Grüne Wände selbst bauen“ im 18. Wiener Gemeindebezirk, Juni 2017 (Quelle: EIGENE AUFNAHMEN, 2017)

### Kombination mit Sitzmöbeln

Bei dieser Variante wird eine begrünte Wand im kleinen Maßstab mit einem Sitzmöbel kombiniert. Die Wand kann aus Holz oder Metall bestehen und wird mit einer Teichfolie zur Vermeidung von Feuchtschäden umschlossen. Anschließend werden Vliestaschen, welche mit Substrat und Pflanzen befüllt werden, an dem Wandelement befestigt. Wichtig ist, die Statik zu überprüfen, sodass auch dann die Standfestigkeit gegeben ist, wenn keine Personen das Sitzmöbel benutzen. Hier kann ein Bewässerungssystem installiert oder per Hand bewässert werden. Die Grünwand mit kombiniertem Sitzmöbel kann auch um eine Vernebelungsanlage ergänzt werden.



Abbildung 15: Begrünte Wände in Kombination mit Sitzmöbeln (Quelle: EIGENE DARSTELLUNG, 2017)

#### Pergola mit Begrünung (Pflanzsegel)

Neben Fassaden- und Dachbegrünung gibt es eine weitere Möglichkeit, um mit Pflanzen eine schattenspendende und in weiterer Folge kühlende Wirkung zu erzielen. Pergolen aus Metall oder Holz, die mit Kletterpflanzen bestückt werden eignen sich besonders in Gast- oder Privatgärten. Nach Ausbildung des Blätterwerks bieten die Pflanzen im Sommer Schutz vor der Sonneneinstrahlung, spenden somit Schatten und fangen zusätzlich Regenwasser ab. Pergolen mit Begrünung stellen eine gute Alternative zu künstlichen Beschattungsmöglichkeiten wie Markisen oder Sonnensegeln dar.



Abbildung 16: Pergola mit rankenden Pflanzen (Quelle: PIXABAY 2017)

Eine schattenspendende Variante, bei dem die Holzkonstruktion in den Hintergrund rückt stellen Pergolen aus Edelstahlseilen dar, bei denen die rankenden Pflanzen nach dem Anwuchs ein schützendes Pflanzen-Segel bilden (vgl. THOMAS BRANDMAIER BEGRÜNUNGSSYSTEME GMBH 2017).

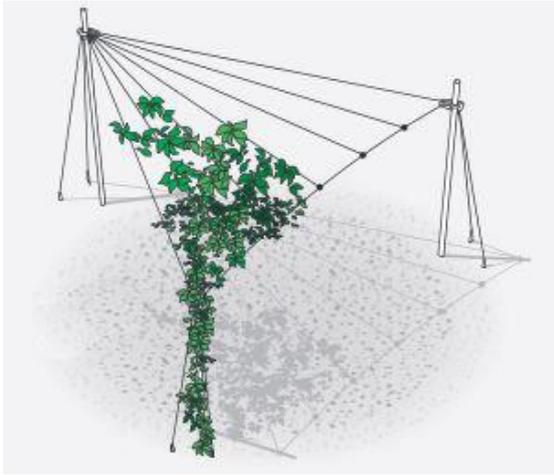


Abbildung 17: Design-Pergola mit Ranksegel (Quelle: THOMAS BRANDMAIER BEGRÜNUNGSSYSTEME GMBH 2017)

## Grünflächen, Wiese, Park

Wälder und Parks tragen vor allem durch Evapotranspiration und Aufnahme von Strahlung zu einer Kühlung der Umgebung bei. Grünflächen mit niedriger Begrünung und Wiesen mit hauptsächlich Grasbewuchs haben weniger Pflanzteile, wodurch es zu deutlich weniger Evapotranspiration kommt, ebenso ist kein merklicher Schatten vorhanden, der für einen geringeren Temperatur- bzw. Oberflächentemperaturanstieg sorgen könnte. Allerdings tragen offene Flächen in großer Dimension viel zur Luftzirkulation bei, da der Wind ungehindert hinüberziehen und somit die Temperatur senken kann. Offene, größere Freiflächen, welche vor allem am Stadtrand vorkommen produzieren Kaltluft, welche für die Umgebung von Bedeutung ist. Dafür ist allerdings eine Größe von mind. 10 ha notwendig, um nennenswerte Wirkungen verzeichnen zu können. Kaltluft ist Luft, die an der Erdoberfläche kälter ist als ihre Umgebungsluft. Das hängt damit zusammen, dass sich die Luftschicht in Bodennähe aufgrund der langwelligen Ausstrahlung der Erdoberfläche stärker abkühlt als die darüberliegenden Luftschichten. (vgl. SCHIRMER et al. 1993 zit. nach MATHEY, 2011, S. 36). Offene Freiflächen am Rande von Städten können bei einer Verbindung mit innerstädtischen Freiflächen als sogenannte Frischluftschneisen fungieren und warme Luft aus dem urbanen Raum wegtransportieren.

## Umsetzung

### Standortvoraussetzungen, baulich-räumliche Bedingungen

In diesem Projekt wurde der Bezug auf begrünte Wände im kleineren Maßstab genommen. Diese wurden für kleinere Begrünungen vor Geschäftslokalen, bei Gastgärten, öffentlichen Gebäuden und Strukturen wie Haltestellen sowie auf öffentlichen Plätzen und Parkanlagen angedacht und umgesetzt. Grünwände können temporär sowie dauerhaft angebracht werden. Sie dienen einerseits der Kühlung und könnten andererseits an bestimmten Stellen auch die Funktion eines Sichtschutzes übernehmen. Die passende, standortgerechte Pflanzenauswahl entscheidet über das Gelingen einer vertikalen Begrünung. Es sollten Arten ausgewählt werden die Phasen von Trockenheit durchaus aushalten, nicht zu stark wuchern und insgesamt eine breite Standortamplitude aufweisen.

### Technische Voraussetzungen

#### Fassadengebundene Grünwände

Hier muss zuvor der Fassadentyp (Außenwand-Wärmedamm-Verbundsysteme; Massivwände; vorgehängte, hinterlüftete Fassaden), der Standort, sowie die Lasteinwirkung bzw. Lastaufnahme bestimmt

werden, um in weiterer Folge das passende System, sowie geeignete Pflanzen auswählen zu können (vgl. KÖHLER 2012). Des Weiteren muss ein Wasseranschluss gegeben sein. Die Möglichkeit der Installation eines Bewässerungssystems ist vorteilhaft.

#### Bodengebundene Grünwände mit und ohne Rankgerüst

Auch hier ist eine intakte Gebäudehülle eine wesentliche Voraussetzung um eine Fassadenbegrünung umsetzen zu können. Wenn eine Begrünung ohne Rankgerüst angestrebt wird müssen selbstklimmende Pflanzen zum Einsatz kommen. Das können Wurzelkletterer wie z.B. Efeu sein oder Haftscheibenranker wie der Wilde Wein. An einem Rankgerüst können Kletterpflanzen wie Schlinger, Winder (z.B. Akebie, Geißblatt), Spreizklimmer (Kletterrosen) oder Ranker wie (Clematis, Weinrebe) angepflanzt werden.

#### Rechtliche Rahmenbedingungen und administrative Vorgaben

Die zuständige Stelle für das Aufstellen temporärer Grünwände im öffentlichen Raum in Wien ist die MA 46 (Verkehrsorganisation und technische Verkehrsangelegenheiten). Falls keine Baubewilligung erforderlich ist, muss um eine Bewilligung nach § 82 StVO (Benützung von Straßen zu verkehrsfremden Zwecken) bei der MA 46 angesucht werden. Dem Ansuchen sind eine Skizze bzw. ein Plan und Fotos der Örtlichkeit beizulegen. Dabei wird das Vorhaben entsprechend der gesetzlichen Vorgaben (v. a. hinsichtlich Sicherheit, Flüssigkeit des Verkehrs, etc.) geprüft. Unter anderem wird die Restgehsteigbreite geprüft, welche bei Gehsteigen mindestens 2,0 m betragen soll (bei höher frequentierten Abschnitten auch mehr).

Die zuständigen Stellen für Genehmigung und Beratung dauerhafter Fassadenbegrünungen in Wien sind folgende (WIENER UMWELTSCHUTZABTEILUNG o.J.):

- MA 19 – Architektur und Stadtgestaltung
- Bundesdenkmalamt
- MA 37 – Baupolizei
- MA 46 – Verkehrsorganisation und Verkehrsangelegenheiten
- MA 28 – Straßenverwaltung und Straßenbau
- MA 42 – Wiener Stadtgärten

#### Baubewilligung für Fassadenbegrünung - MA 37:

Sollte an der Fassade ein Rankgerüst bzw. eine Konstruktion, die eine Fixierung in der Fassade oder im Boden erfordert, montiert werden, dann sollte Kontakt mit der zuständigen Bezirksstelle in der MA 37 aufgenommen werden um zu klären, ob eine Baubewilligung erforderlich ist. Bei Feststellung einer Bewilligungspflicht durch die MA 37 (z.B.: wenn die Statik des Gebäudes bzw. die Wärmedämmung beeinträchtigt werden kann oder das Gebäude sich in einer Schutzzone befindet) muss ein Bauansuchen mit Einreichplänen in der zuständigen Bezirksstelle der MA 37 eingereicht werden (WIENER UMWELTSCHUTZABTEILUNG o.J.).

Folgende Unterlagen sind dem Bauansuchen beizulegen:

1. Grundbuchsauszug (Bezirksgericht)
2. Zustimmung aller GrundeigentümerInnen des zu begrünenden Gebäudes
3. Zustimmung der MA 28 (falls sich die Bauführung über oder auf öffentlichem Gut befindet)
4. Lageplan (Maßstab 1:200 oder 500)

5. Einreichplan im Maßstab 1:100, in 3-facher Ausführung mit Detailansichten, die die geplanten Pflanz- und Rankeinrichtungen technisch nachvollziehbar darstellen. Der Einreichplan muss von befugten PlanverfasserInnen und BauführerInnen (z.B. ZiviltechnikerIn, SchlosserIn, Zimmermann/Zimmerin, BaumeisterIn) unterfertigt sein.
6. Vorstatik bzw. Bestätigung über die statische Geringfügigkeit
7. Brandschutz: Falls eine Baubewilligung erforderlich ist, erteilt die MA 37 auch die notwendige Bewilligung nach § 82 der StVO.

#### Bewilligung für die Straßenbenützung – MA 46:

Falls keine Baubewilligung erforderlich ist, muss um eine Bewilligung nach § 82 StVO (Benützung von Straßen zu verkehrsfremden Zwecken) bei der MA 46 angesucht werden. Dem Ansuchen sind eine Skizze bzw. ein Plan und Fotos der Örtlichkeit beizulegen. Dabei wird das Vorhaben entsprechend der gesetzlichen Vorgaben (v. a. hinsichtlich Sicherheit, Leichtigkeit und Flüssigkeit des Verkehrs) geprüft. Unter anderem wird die Restgehsteigbreite geprüft, welche bei Gehsteigen mindestens 2,0 m betragen soll (bei höher frequentierten Abschnitten auch mehr) (WIENER UMWELTSCHUTZABTEILUNG o.J.).

#### Vereinbarkeit mit unterirdischen Leitungen - MA 28:

Die MA 28 prüft das Vorhaben in Bezug auf Vereinbarkeit mit (unterirdischen) Leitungen (Wasser, Kanal, Strom, Gas, etc.). Wenn erforderlich lädt die MA 28 alle für Einbauten oder unterirdische Leitungen zu ständigen Betriebe und Dienststellen zu einer Besprechung ein, um zu klären, ob das Vorhaben mit den unterirdischen Einbauten verträglich ist. Eingereicht werden sollte ein Plan einer befugten Planverfasserin / eines befugten Planverfassers. Als Besprechungsgrundlage wird auch ein selbstgezeichneter Plan akzeptiert, sofern aus ihm alle erforderlichen technischen Daten ersichtlich sind (WIENER UMWELTSCHUTZABTEILUNG o.J.).

#### Kosten und Finanzierung – Errichtung

##### Fassadenbegrünung

Bodengebundene Begrünungen sind deutlich günstiger als fassadengebundene, da die Herstellung als auch die Pflege bei zweitem aufwendiger ist. Die Kosten variieren sehr stark, je nachdem welches System und vor allem welche Pflanzen verwendet werden. Bei bodengebundenen Begrünungen kann beispielsweise auf selbstklimmende Pflanzen zurückgegriffen werden, bei denen lediglich einmal pro Jahr Laub entfernt werden muss. Die kostenintensivere Variante sind Pflanzen, die einen regelmäßigen Rückschnitt und Bewässerung benötigen und jene, die in Trögen gepflanzt werden. Diese müssen zusätzlich nach ca. 15-20 Jahren erneuert werden, wobei mit Kosten von 100-300 € pro Quadratmeter gerechnet werden kann. Weitere Kosten können durch den Austausch von Teilen des Bewässerungssystems oder anderen bautechnischen Elementen entstehen (vgl. PREISS et al. 2013, S. 13).

Gebäudebegrünungssystem	Herstellungskosten in €/m <sup>2</sup>
<b>Bodengebunden Direktbewuchs mit Selbstklimmern</b>	0,40
<b>Bodengebunden – Leitbarer Bewuchs mit Gerüstkletterpflanzen</b>	36-95
<b>Fassadengebunden – Regalsystem</b>	230-1.000

<b>Fassadengebunden – Modulare Systeme</b>	370-1.100
<b>Fassadengebunden – Flächige Systeme</b>	400-1.200

Tabelle 2: Errichtungskosten für verschiedene Gebäudebegrünungssysteme (QUELLE: PFOSER et al. 2013)

### Dachbegrünung

Aufgrund des benötigten Substrataufbaus für eine Begrünung kommt es hier zu zusätzlichen Kosten im Vergleich zu der Herstellung eines konventionellen Flachdaches. Positiv wirken sich die Wertsteigerung des Hauses, die Erhöhung der Lebensdauer des Daches und Energieeinsparungen in den Folgejahren aus (vgl. PENDL et al. 2009, S. 16)

<b>Dachbegrünungsart</b>	<b>Herstellungskosten in €/m<sup>2</sup></b>
<b>Extensivbegrünungen</b>	20-30 (bei mittlerer Größe, ab 1.000 m <sup>2</sup> kostengünstiger)
<b>Intensivbegrünungen</b>	ab 60 (je nach Aufbau, Ausstattung und Pflanzenauswahl)

Tabelle 3: Herstellungskosten von Extensiv- und Intensivbegrünungen im Vergleich (vgl. KÖHLER 2012, S. 55)

### Kosten und Finanzierung – Betrieb

Wie beim Herstellungsaufwand und den Herstellungskosten gibt es hinsichtlich des Pflegeaufwandes ebenfalls Unterschiede bei bodengebundenen und fassadengebundenen Systemen:

#### Bodengebunden

Bei der Verwendung von nicht selbstklimmenden Arten beschränken sich die Pflegemaßnahmen hier vorwiegend auf das Lenken, Rückschneiden (insbesondere um die Fenster herum) und Anbinden von Jungtrieben. Hier muss ev. auf Hubarbeitsbühnen zurückgegriffen werden, wenn Leitern nicht mehr ausreichen, wodurch die Kosten steigen können. Aufgrund des langsameren Zuwachses bei Gehölzen sind die Abstände der Pflegeeingriffe zeitlich recht weit auseinander, empfohlen wird jedoch mindestens einmal pro Jahr eine Sichtkontrolle zu machen. Die Pflanzen beziehen Nährstoffe und Wasser direkt aus dem Boden allerdings kann eine zusätzliche Beigabe notwendig sein. Die bessere Zugänglichkeit des Wurzelraums erleichtert die Zugabe jedoch wesentlich im Vergleich zu fassadengebunden Systemen (vgl. PREISS et al. 2013, S. 37; KÖHLER 2012, S. 147).

#### Fassadengebunden

Bei fassadengebunden Begrünungen sind bei den Pflanzen als auch bei den Tragesystemen häufiger Eingriffe notwendig. Diese werden zeitlich meist miteinander verbunden und sollten zumindest zwei bis vier Mal pro Jahr stattfinden. Unter Pflegemaßnahmen fallen Feststoffdüngergaben, Rückschnitte, Form- und Erziehungschnitte, Entfernen von Fremdvegetation, Entfernen und Ersetzen von ausfallender Vegetation, ggf. Ergänzung bzw. Austausch von Substrat, sowie Wartungsvorgänge des Bewässerungssystems. Deswegen ist es hier besonders wichtig, bereits zu Beginn die Einplanung geeigneter Aufstiegshilfen erforderlich um nachhergehend Kosten und Zeit einzusparen (vgl. PREISS et al. 2013, S. 37; KÖHLER 2012, S. 147).

Gebäudebegrünungssystem	Pflege- und Wartungskosten in €/m <sup>2</sup>
<b>Bodengebunder Direktbewuchs mit Selbstklimmern</b>	15
<b>Bodengebunden – Leitbarer Bewuchs mit Gerüstkletterpflanzen</b>	10-20
<b>Fassadengebunden – Regalsystem</b>	10
<b>Fassadengebunden – Modulare Systeme</b>	ca. 10% der Herstellungskosten
<b>Fassadengebunden – Flächige Systeme</b>	40

Tabelle 4: Pflege- und Wartungskosten für verschiedene Gebäudebegrünungssysteme (QUELLE: PFOSER et al. 2013)

### Dachbegrünung

Die Pflege- und Instandhaltungskosten von extensiv begrünten Dächern belaufen sich auf 1,5 – 3 €/m<sup>2</sup>. Hier entfallen insbesondere Energiekosten aufgrund ihrer wärmedämmenden Wirkung im Winter als auch der Strahlen aufnehmenden Funktion im Sommer (vgl. PFOSER et al. 2013).

### Soziale Aspekte

Pflanzen haben nicht nur sehr viele positive Auswirkungen auf das Klima, sondern gleichzeitig viele positive Auswirkungen auf den Menschen. Neben den vielen gesundheitsfördernden Effekten, nicht zuletzt, weil Pflanzen lebensnotwendigen Sauerstoff produzieren, wirken sie beruhigend und ästhetisch ansprechend. Grüne Orte werden zur Erholung gerne aufgesucht, aber auch um Zeit mit anderen Menschen zu verbringen. Sitzgelegenheiten mit Grün wirken attraktiv und einladend, weswegen man sich hier gerne niederlässt und wodurch in weiterer Folge soziale Interaktionen gefördert werden. Fassadenbegrünung wirken ebenfalls freundlich und versetzen Menschen in eine wesentlich bessere Stimmung als triste, kalt wirkende Wände.

## Maßnahmenbündel 3: Kühlung durch (bauliche) Beschattung von Freiräumen

Die künstliche Beschattung von Flächen und Gehwegen im öffentlichen Raum kann wesentlich zur Aufenthaltsqualität sowie zur Kühlung bestimmter Orte beitragen. Die Oberflächen heizen sich somit nicht so stark auf was zu einer geringfügigen Verbesserung der Mikroklimas führt - z.B. beschattete Sitzgelegenheiten auf heißen Plätzen. Durch die Beschattung von Markisen an Gebäuden wird ebenfalls eine starke Aufheizung des Untergrunds vermindert ebenso wie beim Gebäude selbst. Die direkte Sonneneinstrahlung wird verhindert, dennoch gelangt Licht in die Räume. Wesentlich dabei ist auch, dass die Markisen möglichst hell sind, da dunkle Flächen im Gegensatz zu hellen viel mehr Wärme absorbieren. Nicht nur Gebäude, sondern auch größere Freiflächen wie Plätze können durch Flugdächer oder Photovoltaikanlagen beschattet werden (vgl. GIGUERE 2009, S 24f.)

## Varianten

### Parasoleil

Das Parasoleil ist ein von Dipl.-Ing. Mira Kirchner entwickelter, mobiler Aufenthaltsraum, der aus Segelstoff besteht und im Inneren für Abkühlung sorgt.



Abbildung 18: Parasoleil (Quelle: KIRCHNER 2017)

## Sonnenschutzsysteme

### Markise und Sonnensegel

Sonnensegel sind in der Regel großflächige Schattierungssysteme mit großer Schattenwirkung, die sehr vielseitig eingesetzt werden können, jedoch in der Planung recht aufwendig sind. Markisen eignen sich sehr gut als künstlicher Sonnen- und Regenschutz von Orten unterschiedlicher Größe. Hauptsächlich dienen sie als Sonnenschutz für Terrassen, Fenster und Wintergärten im privaten als auch halböffentlichen bzw. öffentlichen Raum. Befestigt werden Markisen in der Regel durch stabile Konstruktionen direkt am Mauerwerk oder an Dachsparren. Markisen werden hinsichtlich ihrer Funktion, ihres Materials und Bauweise unterschieden. Freistehende Doppelgelenkmarkisen eignen sich besonders für Gastgärten mit einer Fläche bis zu 120 m<sup>2</sup> (vgl. ARIBA MARKISEN PROFIS o.J.).



Abbildung 19: Markise (Quelle: PIXABAY 2017)

## Jalousien

Außenjalousien sind eine Möglichkeit um Innenräume vor starker Sonneneinstrahlung zu schützen. Mit ihnen lassen sich auch die Lichtverhältnisse im Raum regulieren und gleichzeitig können sie wesentlich

zum Erscheinungsbild von Eigenheimen und Geschäftsgebäuden (beispielsweise durch ihre Farbe) beitragen. Zudem schützen sie vor unerwünschten Blicken und bieten neben Sonnenschutz auch Schutz vor Unwetter.



Abbildung 20: Jalousien (Quelle: PIXABAY 2013)

## Umsetzung

### Standortvoraussetzungen, baulich-räumliche Bedingungen

Voraussetzung für die Anbringung von Markisen an Gebäuden ist einerseits die Bausubstanz und die Beschaffenheit des Gebäudes, welches solch eine Installation ermöglichen muss. Hinzu kommt der Platzbedarf, denn die Markisen sollten keine befindlichen Leitungen, Masten oder dergleichen behindern. Ebenso ist der Platzbedarf bei freistehenden Beschattungsmaßnahmen wesentlich, sowie der Untergrund, welcher eine gute Fixierung zulassen muss. Im Gegensatz zu Baumpflanzungen benötigen bauliche Beschattungsmaßnahmen allerdings unterirdisch keinen Platz weswegen sie eine gute Alternative bei Platzmangel darstellen.

### Technische Voraussetzungen

Die technischen Voraussetzungen sind je nach Beschattungsart unterschiedlich. Die Anlage muss stabil, wind- sowie wetterfest sein um keine Gefährdung für Personen und umliegende Gebäude sowie Fahrzeuge darzustellen. So wären beispielsweise Sonnensegelsysteme zu bevorzugen die sich bei starken Wind automatisch einrollen. Sofern die Markise bzw. Jalousien mit Motor ausgestattet ist, ist ein Stromanschluss erforderlich. Ausreichend Platz und die Fixierung an Hauswand bzw. Untergrund muss möglich sein, daher ist auch die Platzgröße entscheidend.

Bei dem Modell von der Fa. Markisenprofis sind die technischen Angaben wie folgt (vgl. ARIBA MARKISEN PROFIS o.J.):

- Maximal Ausmaß von 55 m<sup>2</sup>
- Struktur aus Edelstahl AISI 316
- Hoch widerstandsfähiger Dacron-Stoff
- Straffung durch Stahlseile
- Automatisches Einwickeln bei Windgeschwindigkeiten höher als 40km/h durch Windwächter
- Motor 230V 500W
- Schalttafel und Funksteuerung
- Halogenscheinwerfer 150W aus eloxiertem Aluminium Zinn

## Rechtliche Rahmenbedingungen und administrative Vorgaben

Die zuständige Stelle für das Anbringen temporärer Beschattungen im öffentlichen Raum in Wien ist die MA 46 (siehe Baubewilligung für Fassadenbegrünung). Für eine Baubewilligung für fix angebrachte Beschattungen ist die MA 37 (siehe Baubewilligung für Fassadenbegrünung) zuständig.

## Kosten und Finanzierung – Errichtung

Die Kosten von baulichen Beschattungsmaßnahmen variieren sehr stark, abhängig von Größe, Material und Anbringungsort. Eine einzelne 140 x 250 cm große Fenstermarkise aus Polyester zum Schutz vor Sonneneinstrahlung in Innenräumen kostet beispielsweise € 85. Im Vergleich dazu steht eine 250 x 200 cm große Kassettenmarkise aus Polyacryl bzw. das Gestell aus Aluminium mit Motor zur Anbringung an der Außenwand und Beschattung des Außenraums um € 1.860 (vgl. HORNBACH 2017). Weiters gibt es die Möglichkeit eines selbststehenden Markisengestells, welches sich ebenfalls in der Preiskategorie von € 1.000 bis € 2.000 bewegt (vgl. AMAZON 2017).

## Soziale Aspekte

Bei hohen Sommertemperaturen laden beschattete Flächen eher zur Verweilen ein und werden als Aufenthalts- und Kommunikationsorte bevorzugt als offene, nicht beschattete Flächen.

Bauliche Beschattungsmöglichkeiten besonders in Gastgärten können viel zum Image des Lokals beitragen und weitere Gäste anziehen. Bauliche Beschattungsmöglichkeiten erfüllen somit nicht nur eine Beschattungsfunktion, sondern können auch durch entsprechendes Aussehen Emotionen hervorrufen und den Standort aufwerten bzw. auch als besonderes Merkmal (beispielsweise durch eine Farbe oder ein Muster) fungieren.

## Maßnahmenbündel 4: Kühlung mit Wasserflächen

Wasser im öffentlichen Raum hat einen Einfluss auf das menschliche Wohlbefinden, denn je nach Größe haben sie einen kühlenden Effekt auf die Umgebung. Die Umgebungskühlung bei größeren Wasserflächen entsteht dadurch, dass der Wasseroberfläche sowie der Luft die zur Verdunstung erforderliche Energie entzogen wird. Auch kleine Wasserflächen wie Springbrunnen können im kleinklimatischen Bereich schon Effekte erzielen. Zusätzlich wird damit die Aufenthaltsqualität gesteigert.

### Varianten

#### Wassergefäße

Wassergefäße vor Geschäftslokalen im Rahmen der Urban Cool Down-Aktionstage in Wien Währing, stellen eine Möglichkeit dar, das Thema Wasser als Kühlungsmöglichkeit bewusst zu machen und auf alte Kühlungstechniken (beispielsweise befeuchtete Tontöpfe/Verdunstungskälte) zu verweisen.

#### Brunnen

Trinkwasserbrunnen sind im Sommer, besonders im urbanen Raum, von großer Bedeutung. In Kombination mit einer Nebeldusche wie in Wien sorgen sie auch für eine Abkühlung des Körpers bzw. der Umgebungstemperatur. Ebenso können kleine Brunnen, mit Wasser ohne Trinkwasserqualität durch Verdunstung einen Beitrag gegen die sommerliche Hitze leisten.

#### Teich

Ein Teich dient als künstlich angelegte Wasserfläche als Lebensraum für Pflanzen und Tiere und wirkt ästhetisch ansprechend für den Menschen. Gleichzeitig wirkt ein Teich je nach Größe auch kühlend auf

seine Umgebung, was ein weiterer Grund für eine Errichtung sein kann. Ab 30 bis 40m<sup>2</sup> Wasserfläche besteht außerdem die Möglichkeit einen „Swimming-Teich“ anzulegen, bei dem ein Teil des Teiches als Schwimmbereich für den Menschen fungiert und der andere mit Pflanzen angereichert wird, welche gleichzeitig das Wasser reinigen. So entsteht ein natürlicher Kreislauf zu Gunsten von Mensch und Natur (vgl. BIOTOP LANDSCHAFTSGESTALTUNG GESELLSCHAFT M.B.H. o. J.)

## Fluss

Flüsse sind ebenso wie Teiche und Seen größere Wassergebiete und tragen somit aufgrund ihrer Dimension wesentlich zum Umgebungsklima bei, da hier große Wasserflächen Verdunstungskälte erzeugen.

## See

Seen sind meist großflächiger und haben somit eine größere klimatische Wirkung als kleine Teiche oder Brunnen in Städten. In großer Ausdehnung in einem bestimmten Gebiet können sie auch merklichen Einfluss auf mesoklimatischer Ebene bewirken. Seen in der Nähe von heißen (meist urbanen Räumen) sind besonders wichtig, da sie im Sommer eine Möglichkeit zum Abkühlen für Mensch und Tier darstellen. Zudem stellen sie einen wichtigen Lebensraum für Pflanzen und Tiere dar.

## Umsetzung

### Standortvoraussetzungen, baulich-räumliche Bedingungen

Bei künstlich angelegten Gewässern bzw. Wasseranlagen ist die Größe entscheidend, da die räumlichen Dimensionen gegeben sein müssen. Außerdem ist es wichtig zu beachten, ob und in welcher Form Wasser zugeführt wird und was dafür benötigt wird (Wasseranschluss). Ein Teich benötigt beispielsweise mehr Fläche als ein kleiner Brunnen, dafür ist bei ersterem keine ständige Wasserzufuhr notwendig, dafür ein Stromanschluss für die Pumpe. Bei einem künstlichen Brunnen ist auf beides zu achten.

### Technische Voraussetzungen

#### **Wasseranschluss**

Die Wasserleitungen sollten so verlegt werden, dass sie kein Sicherheitsrisiko darstellen. Einerseits dürfen diese nicht im Gehbereich von Passanten liegen, auch um die Barrierefreiheit zu gewährleisten. Andererseits dürfen diese auch nicht im Luftraum installiert werden. Sofern die Leitungen Gehwege oder ähnliches blockieren oder ein einwandfreies passieren behindern würden, sollten diese unter der Erde verlegt werden. Weiters ist die Anspeisung und der Betrieb nur mit unbedenklichen kühlen und kalkfreien Frischwasser (kein Behälterwasser) möglich. Wasseraufbereitung, UVC Entkeimung und Druckregler müssen gegeben sein.

#### **Stromanschluss (230 V, 50 HZ)**

Sofern eine Pumpe benötigt wird, ist der Aufstellungsort wesentlich, d. h. er muss in einem trockenen, frostsicheren Bereich sein.

### Rechtliche Rahmenbedingungen und administrative Vorgaben

In Wien ist die MA 42 (Wiener Stadtgärten) für die Verwaltung und Erhaltung der als Parkanlagen und Grüner Prater genutzten Flächen einschließlich der darin befindlichen Gewässer zuständig. Zu den Gewässern werden künstliche und natürliche Teiche gezählt, ebenso wie Biotop und die im Grünen Pra-

ter vorhandenen Altarme der Donau. Insgesamt kümmert sich die MA 42 um 50 Gewässer mit Wasserflächen bis zu 43.000 m<sup>2</sup> und prüft diese hinsichtlich baulichen Zustandes, Wasserqualität, optisches Erscheinungsbild und sicherheitstechnische Aspekte (vgl. HECHTNER 2008)

Auf übliche Gartenteiche, die aus einer öffentlichen Wasserleitung befüllt werden, ist das Wasserrechtsgesetz in der Regel nicht anwendbar. Wird Grundwasser oder Oberflächenwasser "benutzt" oder kommt es zur Einleitung von Abwässern ist allerdings eine wasserrechtliche Bewilligung erforderlich. Wasserrechtlich bewilligungspflichtig sind

- Grundwasserteiche (Teichanlagen, zu deren Errichtung das Grundwasser freigelegt wird, z.B. Badeteiche, die in Folge einer Schottergewinnung entstehen)
- Sonstige (gegen den Untergrund abgedichtete) Teiche, die aus einem Gewässer gespeist werden, unabhängig vom Verwendungszweck (Fischteich, Landschaftsteich, Biotop), und/oder bei denen eine Einbringung der Abwässer in ein Gewässer erfolgt (z.B. Ableitung des verbrauchten Wassers aus einem Fischteich in einen Bach)

Keine Bewilligung ist in der Regel für gedichtete (also nicht mit dem Grundwasser in Verbindung stehende) Teiche/Biotope notwendig, die aus der öffentlichen Wasserversorgung gespeist werden. Im Falle einer größeren Entnahmemenge (z.B. beim erstmaligen Befüllen) sollte jedenfalls eine Kontaktaufnahme mit dem Betreiber der Wasserversorgungsanlage erfolgen (Leistungsfähigkeit der Wasserversorgungsanlage, keine Befüllung bei Wasserknappheit etc.). Bei einer Versorgung eines kleinen Gartenteiches aus einem bewilligungsfreien Hausbrunnen kann ebenfalls von einer Bewilligungsfreiheit ausgegangen werden, sofern die Grenzen des Haus- und Wirtschaftsbedarfes nicht überschritten werden. Die zuständige Behörde ist in diesem Fall die Bezirksverwaltungsbehörde.

Im Falle einer Bewilligungspflicht hängen die zu erwartenden Auflagen von Art, Ausmaß und Intensität der vorgesehenen Wasserbenutzung ab. Grundwasserteiche müssen im Interesse des ökologischen Gleichgewichtes eine Mindestgröße von ca. 3 ha aufweisen; für den Schotterabbau gilt eine Reihe von Auflagen, die eine Verunreinigung des Grundwassers verhindern sollen. Die Behörde bestellt in solchen Fällen in der Regel ein Aufsichtsorgan und verlangt eine Bankgarantie zur Abdeckung der Kosten für die Aufsicht und für allfällige Sanierungsmaßnahmen.

Bei Badeteichen ist überdies besonders auf eine entsprechende Wasserqualität zu achten; es sind regelmäßige Untersuchungen durchzuführen (gilt generell bei Grundwasserteichen). Für Fischteiche sind überdies die besonderen Vorkehrungen der Abwasseremissionsverordnung „Aquakulturen“ zu beachten (vgl. AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG 2017).

#### Kosten und Finanzierung – Errichtung

Die Materialkosten für eine 100 m<sup>2</sup> großen Schwimmteich (Nutzbereich 45 m<sup>2</sup>) im Selbstbau betragen je nach Ausstattung zwischen 17.000 und 23.000 Euro. Ein Naturpool mit 70 m<sup>2</sup> Nutzfläche kostet ab ca. 20.000 Euro (vgl. GARTENGESTALTUNG ZANGL 2017).

#### Soziale Aspekte

Eine Wasserfläche zieht Menschen an, da sie im Sommer eine gute Abkühlungsmöglichkeit darstellen. Allerdings wirken Wasserflächen auch attraktiv, wenn sie lediglich als optisches Merkmal eingesetzt werden, wie beispielsweise am Karlsplatz in Wien. In Kombination mit Sitzgelegenheiten können sie zu einem wichtigen Kommunikationsort werden.

## Maßnahmenbündel 5: Kühlung durch erneuerbare Energie

### Varianten

#### Kühlung mit selbsterzeugter Energie/Muskelkraft

Research & Data Competence betreute im Rahmen dieses Projektes Interventionen, wo physikalische Kühlexperimente mit neuen und althergebrachten Technologien vorgestellt und ausprobiert werden konnten. Unter anderem konnten an verschiedenen Tagen der Aktion TeilnehmerInnen auf einem „Photovoltaik-Rad“, das von der Polytechnischen Schule Hemberg zur Verfügung gestellt wurde mit der Sonne um die Wette radeln“. Ein an das Rad angeschlossenes Photovoltaikpaneel lieferte dabei Strom. Auf einem Anzeigemodul am Fahrrad, konnte mitverfolgt werden, wie viel Energie durch Muskelkraft durch das Treten und wie viel Energie durch die Einstrahlung der Sonne auf das Photovoltaikelement gewonnen wird. Beide Energieformen betrieben eine angeschlossene Kühlbox mit erfrischenden Getränken und einen Ventilator, der für kühlende Erfrischung an dem heißen Sommertag diente (vgl. RDC 2017).



Abbildung 21: "Photovoltaik-Rad" (Quelle: RDC 2017)

#### Solare Energie

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um mit Energie, die solar gewonnen wird, zu kühlen. Einerseits werden mit Strom aus solarer Energie herkömmliche **Kompressionskältemaschinen** (konventionelle Klimageräte) versorgt, bei dem ein strombetriebener Kompressor Gas komprimiert (Kühlungsprinzip).

Die solare Kühlung hingegen basiert auf einem Sorptionsprozess, was bedeutet, dass ein Zweiphasen-Gemisch aus einem Kältemittel und dem Sorptionsstoff (welcher das Kältemittel sorbiert) in einem geschlossenen System in Umlauf gebracht wird. Der Prozess kann in Form einer Absorption (**Absorptionskältemaschinen**), welche häufiger zum Einsatz kommt oder einer Adsorption (**Adsorptionskältemaschinen**) ablaufen: Bei ersterem wird ein Stoff durch einen anderen aufgenommen („aufgesaugt“) und bei der zweiten Variante wird ein fester Stoff durch Gase oder Flüssigkeiten nur an der Oberfläche angereichert („angesaugt“). Um das Gesamtsystem aufrechtzuerhalten, muss die Sorption immer wieder rückgängig gemacht werden, d.h. dass das Kältemittel und das Sorptionsmittel wieder getrennt werden müssen. Dazu ist eine Wärmezufuhr erforderlich, die das Kältemittel wieder austreibt und welche u.a. aus solarthermischen Anlagen stammen kann. Da das Kältemittel einen niedrigen Siedepunkt hat, ist deutlich weniger Energie notwendig als bei Kompressionskältemaschinen (vgl. ZWIAUER et al. o. J.). Dieses Verfahren wird auch geschlossenes Verfahren bzw. Kaltwasserverfahren genannt.

Das Gegenstück dazu ist das offene Verfahren bzw. Kaltluftverfahren. Dabei wird warme Außenluft angesaugt und über ein Sorptionsrad getrocknet, welches mit Solarwärme erhitzt wird. Die getrocknete Luft wird anschließend mit Wasser besprüht, kühlt sich ab und wird im Gebäude verteilt. Dieses System wird auch als **sorptionsgestützte Klimatisierung (SGK)** oder **Desiccant Evaporative Cooling (DEC)** bezeichnet (vgl. ZWIAUER et al. o. J.; INSTALLATIONSPROFI GmbH o. J.).



Abbildung 22: Solare Raumkühlung mittels dem Kaltluftverfahren (Quelle: INSTALLATIONSPROFI GMBH o. J.)

Der generelle Vorteil von Kühlung durch solare Energie ist, dass nur dann klimatisiert wird, wenn der Bedarf vorhanden ist, d.h. wenn die Sonne scheint und somit viel Strahlung abgibt (vgl. ZWIAUER et al. o. J.)

### PV-Anlage

Eine Photovoltaikanlage stellt eine Möglichkeit dar, umweltfreundlich Strom zu produzieren, welcher für diverse Kühlgeräte (siehe Kapitel davor) verwendet werden kann. Dazu werden Solarzellen benötigt, welche im Falle einer Stromerzeugung für ein Haus, am Dach angebracht werden, wo am meisten Sonnenstrahlung einfällt. Sobald Sonnenlicht auf die Solarzelle fällt, entsteht elektrische Spannung zwischen den Schichten und erzeugt einen gerichteten Elektronenstrom. Wenn nun ein Verbraucher angeschlossen wird, dann fließt Gleichstrom, welcher mit Hilfe eines Wechselrichters in Wechselstrom umgewandelt wird. Photovoltaik-Module arbeiten jedoch nicht nur bei direktem Sonnenlicht und klarem Himmel, sondern nutzen auch die diffuse Lichteinstrahlung bei Bewölkung. Das heißt je heller es draußen ist, desto höher ist die Leistung der Module.

Photovoltaikanlagen sind grundsätzlich sehr störungsarm und durch regelmäßige Wartung kann eine Anlagenlebensdauer von bis zu 30 Jahren erreicht werden.

7 m<sup>2</sup> Modulfläche liefern im Jahr etwa 1.000 kWh Strom. Um den Jahresbedarf eines durchschnittlichen Haushalts (3.500 kWh) zu 30 % ohne Speicher abdecken zu können, sind je nach Ausrichtung und Sonneneinstrahlung ca. 28 bis 40 m<sup>2</sup> Modulfläche bei ca. 4 Kilowattpeak (kWp) installierter Leistung nötig. In Verbindung mit Speichern und/oder intelligenten Energiemanagement-Lösungen lässt sich der Eigenverbrauchsanteil deutlich erhöhen (vgl. EVN AG 2017).

## Solarstrombetriebene Kühlungsgeräte

### Einzelgerät

Der durch Sonnenlicht erzeugte Solarstrom treibt auch **Peltierelemente** kleinerer Volumen, wie beispielsweise Kühlboxen, an. Peltierelemente bestehen aus einem Halbleiterbauelement zwischen zwei Platten, jeweils einer Kaltseite und einer Heißseite. Durch Stromfluss im Halbleiterelement kommt es zu einer Anregung, sodass Wärme von der Kaltseite zur Warmseite abtransportiert wird.

### Gebäudekühlung

Eine Möglichkeit solare Energie zur Kühlung zu nutzen bietet sich besonders bei Wohnwägen an. Dabei wird mittels einer Solarzelle Strom für einen Ventilator erzeugt, der sich am Boden des Wohnwagens befindet. Dieser erzeugt kühle Luft und drängt die warme Luft durch eine Öffnung im Dach aus dem Wohnwagen heraus. Reguliert wird der Ventilator über ein schaltbares Thermostat (vgl. ALHTRO UG + CO.KG 2017). Diese Prinzipien der Kühlung könnten auch auf Baulichkeiten wie beispielsweise Marktstände adaptiert werden.

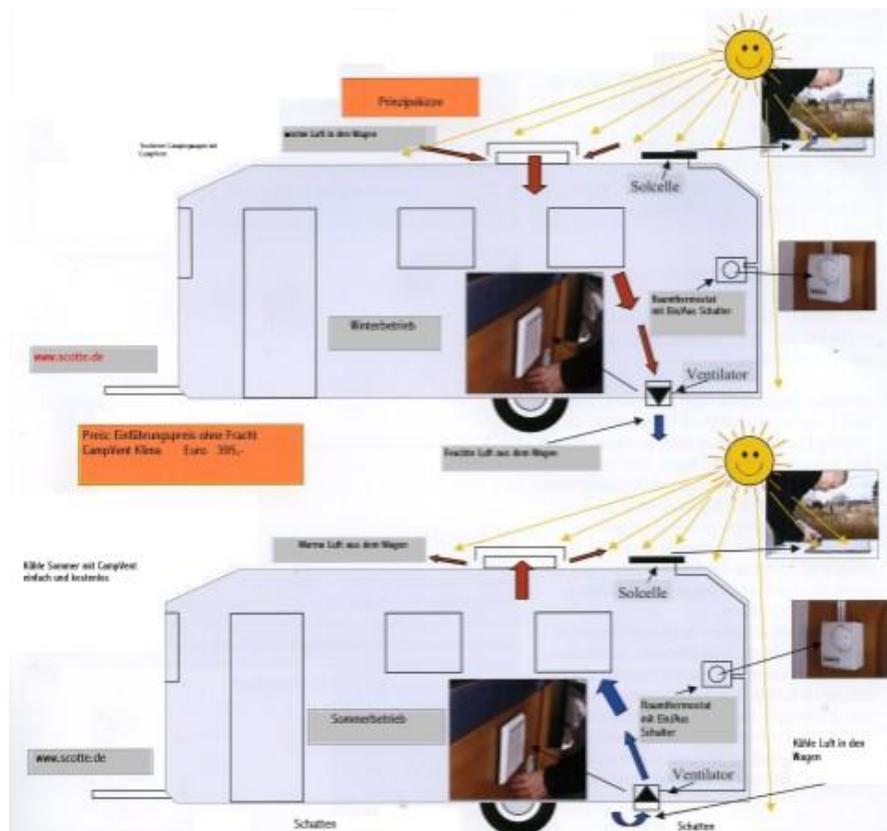


Abbildung 23: Solare Wärme im Winter (o.) und solare Kühlung im Sommer (u.) eines Wohnwagens (Quelle: ALHTRO UG + CO.KG 2017)

Die in Kapitel „Solare Energie“ beschriebenen Kühlungsanlagen können in allen Arten von Gebäuden eingesetzt werden, die eine Kühlung benötigen und die baulichen bzw. technischen Voraussetzungen erfüllen. Eine weitere Möglichkeit zur Gebäudekühlung insbesondere von jenen, wo neben dem Kühlbedarf auch eine Be- oder Entfeuchtung notwendig ist, wie Hörsäle, Büros, Museen, Bibliotheken, Kinos, Theater, Produktionshallen, Schwimmhallen, Hotels und Gaststätten, stellt die sorptionsgestützte Klimatisierung (SGK).

Eine Möglichkeit stellt die Kombination von einem Solarmodul mit einer Belüftungsanlage dar. Der Luftkollektor hängt an der Sonnenseite des Gebäudes und bläst trockene, warme und frische Luft in Innere. Ist die eingestellte Temperatur erreicht, beispielsweise 22 Grad, kann durch das Lüftungs-Set kühle, frische Luft von der Schattenseite des Gebäudes eingeblasen werden. Dabei kann die Temperatur frei gewählt werden z.B. im Sommer auf 15 Grad dann springt ab dieser Temperatur der Lüfter mit der kühlen Luft an, was mittels Raumthermostat, Drehzahlregler für Lüfter und Ein/Aus-Schalter geregelt wird (vgl. SoLuKo o.J.).

In Österreich wurden bisher 21 solarthermische Kühlanlagen errichtet, wobei der überwiegende Teil Demonstrationsanlagen sind. Die meisten solarthermischen Anlagen finden sich in Bürogebäuden (vgl.

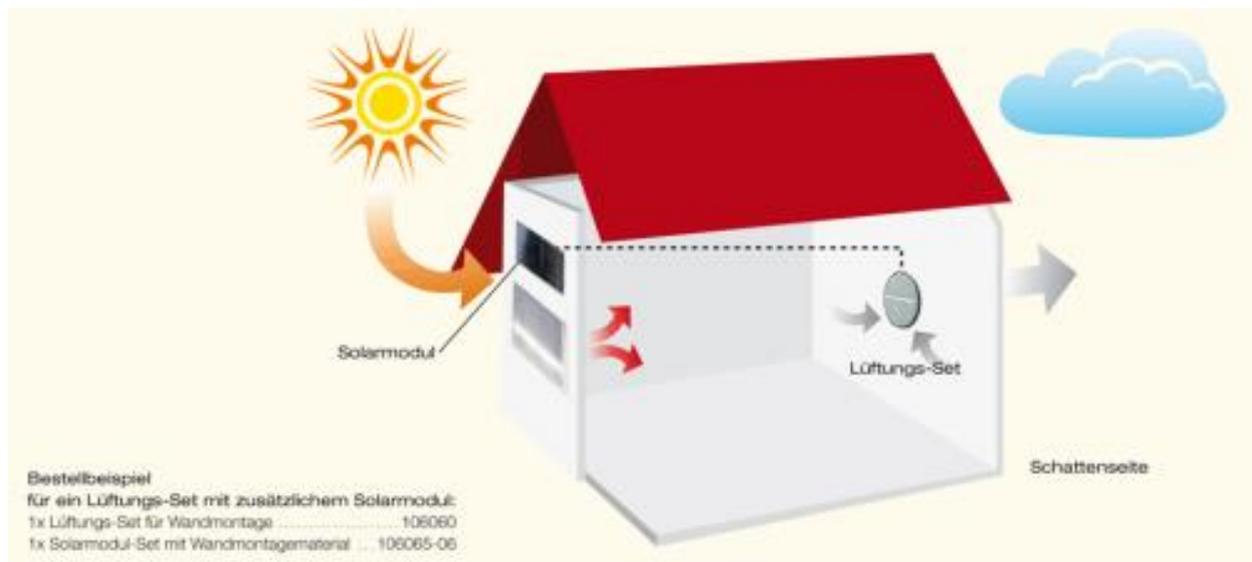


Abbildung 24: Solarklimaanlage SV20 (Quelle: STEFFEN o.J.)

## Umsetzung

### Standortvoraussetzungen, baulich-räumliche Bedingungen

Für die Gewinnung von Strom für Kühlzwecke aus Sonnenlicht sind Solarzellen notwendig, die je nach Größe des zu kühlenden Volumens unterschiedlich groß sind und daher unterschiedlich viel Platz benötigen. Für die Kühlung eines Hauses werden in den meisten Fällen die Dachflächen für die Anbringung der Solarzellen verwendet. Die Voraussetzungen sind ein geeigneter, den Einwirkungen entsprechender (Windkraft, Statik etc.) Platz zur Anbringung. Mobile Räumen im urbanen Umfeld, wie Marktstände oder Beschattungszelte könnten ebenfalls mit Solarkühlung gekühlt werden, benötigen allerdings ebenfalls entsprechend Platz für die Solarzellen.

Des Weiteren arbeiten Solarzellen am effizientesten, wenn sie nach Süden ausgerichtet sind und ihr Neigungswinkel zur Horizontalen etwa 30 ° beträgt. Der Winkel kann allerdings von 8 ° bis 53 ° variieren, ohne dass es zu starken Ertragseinbußen kommt. Kommt es zu Verschattungen, z.B. durch Giebeln, können diese durch Leistungsoptimierer ausgeglichen werden (vgl. EVN AG 2017).

## Rechtliche Rahmenbedingungen und administrative Vorgaben

Obwohl Österreich mit 8 % der erbauten solarthermischen Kühlanlagen weltweit zu den Top 3 Staaten (lediglich Deutschland und Spanien haben noch mehr solarthermische Kühlanlagen) ist das Thema dennoch nicht stark verbreitet und es Bedarf an weiterer Forschung, Errichtung und Förderung.

Des Weiteren gibt es nationale Förderprogramme wofür die Verordnung Nr. 70/2001 der Kommission vom 12. Jänner 2001 über die Anwendung der Artikel 87 und 88 EG-Vertrag auf staatliche Beihilfen an kleine und mittlere Unternehmen, veröffentlicht im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften („ABL“) L 10/33 vom 13.1.2001, geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 1976/2006 der Kommission vom 20.12.2006, ABL L 368 vom 23.12.2006, die Basis darstellt.

## Kosten und Finanzierung – Errichtung

In einer Studie von wurden 2008 die zu erwartenden Anlagekosten für solarthermische Kühlanlagen ermittelt. Daraus ergaben sich folgende spezifischen Kostenkennwerte für solarthermischen Absorptionskälteanlagen (vgl. PREISLER et al. 2012).

- 1.724 €/m<sup>2</sup> Kollektorfläche
- 113 €/m<sup>2</sup> gekühlte Nutzfläche
- 5.173 €/kW Kälteleistung

Je nach Art des gewählten Systems (aufgeständert oder integriert) und der verwandten Zelltechnologie differieren die Kosten für PV-Systeme. Am günstigsten sind aufgeständerte bzw. aufgesetzte Systeme. Die Preise werden pro kWp (Nennleistung) angegeben und beziehen sich demnach auf die Leistung des Moduls. Derzeit liegen die Preise bei ca. 1.000 € bis 1.500 €/kWp (solarserver.de, 12.2012). Erfahrungen zeigen, dass die reinen Investitionskosten für integrierte, vorgehängte, hinterlüftete Photovoltaikfassaden zwischen 500 – 800 €/m<sup>2</sup> liegen (vgl. PFOSE et al. 2013).

Eine Anlage mit Solarmodul und Belüftungsanlage für ein Privathaus mit einer Raumgröße bis zu 100 m<sup>2</sup> bietet der Hersteller „SolarVenti“ an. Die Kosten für eine Anlage belaufen sich auf € 1.600 € (vgl. STEFFEN o.J.).

Die Firma „ALHTRO UG + Co.KG“ bietet CampVent Klima an, welches eine alternative Klimaanlage für Campingwagen und Wohnmobile, wo mit Hilfe eines patentierten Systems die Sonnenenergie für die Entfeuchtung, Erwärmung und Kühlung des Wagens effektiv und kostenlos ausgenutzt wird. Die Kosten belaufen sich auf € 395, 00 pro Anlage (vgl. ALHTRO UG + CO.KG 2017).

## Kosten und Finanzierung – Betrieb

Solare Energiequellen sind im Betrieb nahezu kostenfrei, da die Sonne die nötige Energie liefert. Kosten fallen im Falle einer Störung an, da ebenfalls kaum Wartungsbedarf besteht.

Wenn man die Energie-/Betriebs- und Instandhaltungskosten berücksichtigt, so liegen unter günstigen Rahmenbedingungen die jährlichen Kosten der solarthermischen Absorptionskälteanlage auf 20 Jahre gerechnet lediglich um ca. 25% höher als bei konventioneller Kühlung. Das ist auf die zu erwartende Primärenergieeinsparung der solarthermischen Absorptionskälteanlage von bis zu 40%, bezogen auf eine Betriebszeit von 20 Jahre, zurückzuführen (vgl. PREISLER et al. 2012).

## Soziale Aspekte

Energie aus erneuerbaren Energiequellen sind umweltfreundlicher als der Bezug von Energie aus Atomkraft, Erdgas oder Erdöl. Das Bewusstsein von Umweltschutz bzw. Umweltfreundlichkeit ist seit den 1980-er Jahren weitgehend vorhanden und vielen Menschen ist zunehmend wichtig, woher sie Strom für elektrische Geräte als auch Heizung beziehen. Durch die zunehmende sommerliche Hitze

werden Kühlmöglichkeiten immer wichtiger, weswegen eine solare Kühlung das Potential hat, ebenfalls an Bedeutung zu gewinnen.

## Maßnahmenbündel 6: Kühlung durch Wärmeabtransport

### Varianten

Im Untergrund gespeicherte Wärme nennt man Geothermie und sie stellt eine Möglichkeit der erneuerbaren Energiequellen dar. „Die Geothermie kann im Gegensatz zu anderen erneuerbaren Energien sowohl zur anteiligen Deckung des Heizbedarfs als auch zur Deckung des Kühlbedarfs eingesetzt werden und steht über das ganze Jahr (kontinuierlich) zur Verfügung.“ (vgl. KÜRTEEN o.J., S. 1).

### Asphaltkollektoren zur Kühlung des Außenraumes

Straßen können sich im Sommer auf bis zu 70 Grad Celsius aufheizen, was einerseits negative Folgen für die Bausubstanz, andererseits auf die Umgebungstemperatur hat, welche davon ebenfalls beeinflusst wird. Um die Oberfläche der Straßen oder Straßenabschnitte zu kühlen wird die Technik der Straßenkühlsysteme, der Asphaltkollektoren angewendet. Dabei wird die Wärmeenergie, welche bei der Kühlung entzogen wurde gespeichert und im Winter zur Erwärmung der Straße wiederverwendet. Um diese Wärmeenergie zu nutzen und damit die Kühlung der Straße zu erreichen werden in einigen Zentimeter Tiefe in den Asphalt die Kunststoffröhre eingebettet. Das kalte Wasser wird durch die Röhren gepumpt und damit die Wärmeenergie von Asphalt entziehen. Weiters wird mithilfe der Erdsonden die Wärme an das Erdreich abgeleitet. Dazu sind Bohrungen bis zu 250 m Tiefe nötig.

### Röhrensystem

Eine weitere Möglichkeit ist anstelle des Einsatzes von Erdsonden auf ein Röhrensystem zurückzugreifen, was mit Aquiferen (wasserführende Sandschichten) in rund 100 m Tiefe verbunden sind. Diese fungieren als Grundwasser-Wärme bzw. Kältespeicher: Im Sommer wird das vom heißen Asphalt aufgewärmte Wasser nach unten geschickt, wo es bis zum Winter gespeichert wird, um dann während der kalten Jahreszeit nach oben zu einer Wärmepumpe geführt zu werden, wo es auf eine Temperatur gebracht wird, die letztendlich dazu führt, dass die Straße eisfrei bleibt. Das nun abgekühlte Wasser wird anschließend durch ein anders Röhrensystem in einen zweiten Aquifer in die Tiefe abgeführt, wo ein weiterer Satz Wärmetauscher das Grundwasser abkühlt. Dieses Kaltwasser wird dann im Sommer genutzt, um die Verkehrsflächen zu kühlen und in weiterer Folge die Bildung von Spurrinnen einzudämmen und die Langlebigkeit des Belages zu erhöhen (vgl. KHAMMAS o. J.).

Dieses System kann nicht nur für Straßen bzw. Verkehrsflächen genutzt werden, sondern bietet sich auch für stark versiegelte, öffentliche Plätze, sowie Schanigärten im urbanen Raum an, wo sich im Sommer viele Menschen aufhalten. Damit könnten diesen Orten Wärme entzogen werden, so dass sich die Umgebung nicht so stark aufheizt und die sommerliche Hitze insgesamt reduziert werden kann.

Die im Sommer gewonnenen Energie kann weiters im Boden gespeichert werden und als Basis für eine energiesparende und umweltfreundliche Heiz- und Kühlmethode dienen. 2003 wurden bei der Verlängerung der U-Bahn-Linie U2 in Wien die Stationen „Schottenring“, „Taborstraße“, „Praterstern“ und „Messe“ mit einer geothermischen Anlage ausgestattet. Dabei sind in Summe 11.200 m<sup>2</sup> Schlitzwände, 6.912 m<sup>2</sup> Bodenplatten und 20 Pfähle thermisch aktiviert worden (BRANDL 2006 in KÜRTEEN o. J. S. 30) Die installierte Heizleistung der vier Stationen beträgt 827 kW, während die installierte Kühlleistung

der vier Stationen 509 kW beträgt. Die gewonnene Heiz- und Kühlenergie wird für die einzelnen Stationen jeweils zur Versorgung der Betriebsräume verwendet (Brandl et al. 2010 in KÜR TEN o.J. S. 30).

## Maßnahmenbündel 7: Kühlung durch optimierten Wohn- und Städtebau

Seit jeher hat sich der Mensch den unterschiedlichsten klimatischen Bedingungen hinsichtlich der Bauweise von Gebäuden angepasst und versucht optimale Wohnverhältnisse zu schaffen. Der Mensch ist als einziges Lebewesen fähig sowohl unter extremen Hitzebedingungen als auch extremen Kälteregeionen dauerhaft zu leben bzw. sich in solchen Regionen anzusiedeln, da er mitunter die Fähigkeit besitzt sich je nach Bedürfnis die geeigneten Wohnräumlichkeiten zu errichten. Die Entwicklung der Gebäude orientiert sich entweder an rationeller Erwärmung (Iglu) oder aber am Schutz vor Überhitzung bzw. einer Kombination von beidem (vgl. BECK & PROBST 2006).

### Varianten

#### Städtebauliche Planung

Belichtung als auch thermischen Bedingungen von Gebäuden hängen maßgeblich von der städtebaulichen Situation ab, weswegen die beeinflussenden Faktoren im Planungsprozess mitberücksichtigt werden sollten. Ziele sollten die Berücksichtigung und Verbesserung des Stadtklimas, die Gestaltung eines förderlichen Mikroklimas im gebäudenahen Bereich und die Bezugnahme auf die umgebende räumliche Situation wie Topografie, Bebauung, Bepflanzung etc. sein. Besonders Innenstadträume heizen sich im Sommer stark auf, weswegen die Erhaltung von Frischluftkorridoren, sowie großzügige Freiflächen mit Begrünungen von zentraler klimatischer Bedeutung sind (vgl. BECK & PROBST 2006). Hinsichtlich der Gebäudeplanung tragen folgende Maßnahmen viel zur Kühlung bzw. Nichtaufheizen des Innen- als auch Außenraums bei:

Maßnahmenbereich	Planungsentscheidungen und Einflussparameter
<b>Standort und Klima</b>	Standort mit Fremdverschattung
	Standortgestaltung zur Vermeidung bzw. Verringerung des Hitzeinseleffektes
	Standort in größerer Höhenlage
<b>Baukörperorientierung</b>	Orientierung aufgrund von solaren Strahlungseinträgen
	Orientierung aufgrund von lokalen Windrichtungen
<b>Gebäudegeometrie</b>	Gegliedertes Gebäudegrundriss (Anordnung von Lichthöfen etc. für kühle Zuluft)
	Eigenverschattung (durch Fassadengliederung, Dachvorsprünge, Balkone, Loggien, Laibungstiefe, usw.)
<b>Größe und Orientierung von Verglasungen</b>	Geringer Fensterflächenanteil in der Fassade
	Vermeidung großer ost- und westorientierter Glasflächen
	Vermeidung von Schräg- und Horizontalverglasungen
<b>Oberflächengestaltung der opaken Teile der Gebäudehülle</b>	Verwendung heller Fassaden- und Dachfarben und Materialien

Maßnahmenbereich	Planungsentscheidungen und Einflussparameter
<b>Sonnenschutz</b>	Verwendung von feststehendem Sonnenschutz (außen)
	Verwendung von beweglichem Sonnenschutz (außen)
	Verwendung von innenliegendem, beweglichem Sonnenschutz
	Verwendung von Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum
	Verwendung von beweglichem Sonnenschutz im Kasten- bzw. Verbundglasfenster
	Verwendung von Sonnenschutzgläsern
<b>Wärmespeicherung</b>	Einsatz von Speichermasse im Gebäude
	Verwendung von Phase-Change-Materials (PCM)
<b>Pflanzen</b>	Verwendung von Bäumen, Sträuchern, Gräsern zur Verschattung
	Einsatz von Fassaden- und Dachbegrünung
<b>Passive Kühlsysteme</b>	Gezielte Anordnung und Dimensionierung von Lüftungsöffnungen (z.B. für Querlüftung)
	Einsatz von Nachtlüftung
	Einsatz von Lüftung durch thermischen Auftrieb
	Einsatz von windunterstützter Lüftung
	Einsatz von Verdunstungsabkühlung
<b>Subjektive Temperaturwahrnehmung</b>	Senkung der Anforderung an das Raumklima (Zulassen höherer Temperaturbereiche)

Abbildung 4: Maßnahmenbereiche und Einflussparameter bzw. Planungsentscheidungen zur Reduktion des Kühlbedarfs durch Gebäudedesign und passive Maßnahmen (Quelle: IPSEr et al. 2015, S. 39)

### Standort und Klima

Der Standort von Gebäuden bedarf einer gründlichen Analyse, um sich über die Auswirkungen der Außenbedingungen letztendlich bewusst zu werden. Zu den wesentlichen standortbezogenen Einflussfaktoren auf den Kühlenergiebedarf von Gebäuden zählen etwa der Sky View Factor (SVF, Grad der Sichtbarkeit des Himmels von einem bestimmten Punkt am Boden aus) bzw. Höhe und Abstand von benachbarten Objekten, Materialien und Oberflächenbeschaffenheiten, Grün- und Wasserflächen“ (vgl. FREY, 2014, S. 17 in IPSEr et al. 2015, S. 39f.).

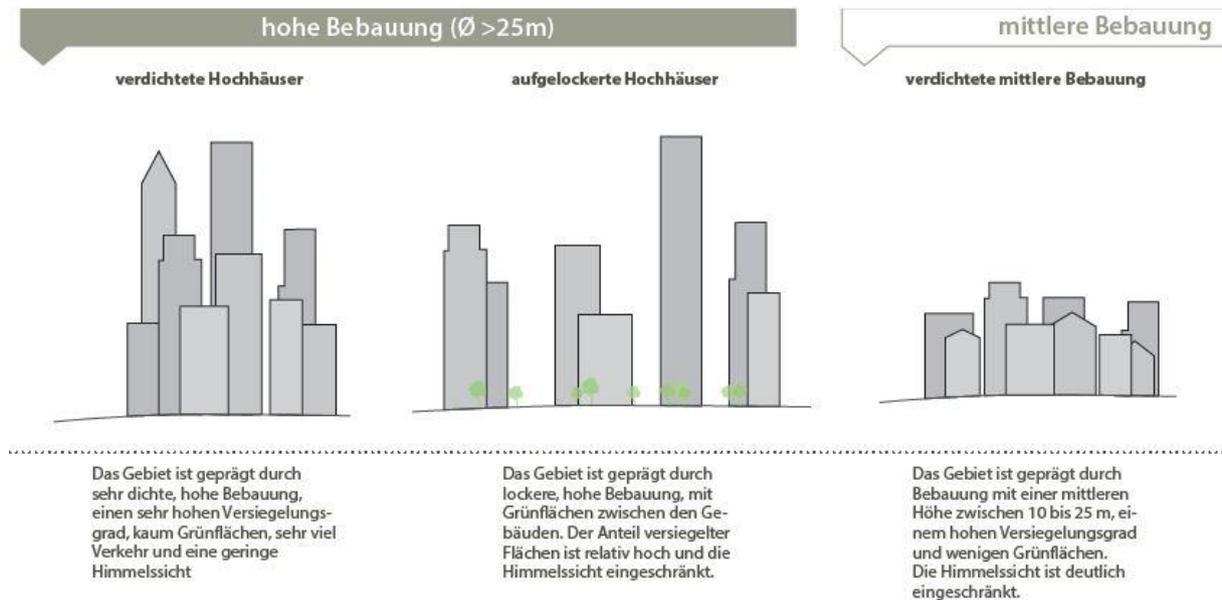
### Baukörperorientierung und Gebäudegeometrie

Die geeignete Wahl der Baukörperorientierung trägt wesentlich zur Vermeidung der Raum-Überwärmung durch Sonneinstrahlung bei. Weiters spielen Gebäudegeometrie, Oberflächengestaltung und Bauweise wichtige Rollen. Vor allem das Oberflächen-Volumen-Verhältnis (A/V Verhältnis, ein Maß der Kompaktheit) und der Kompromiss zwischen Transmissionswärmeverlusten, Tageslichtversorgung und natürliche Lüftung sind von besonderer Bedeutung (vgl. HAUSLADEN u. a., 2011, S. 68 in IPSEr et al. 2015, S. 40).

### Baukörperzusammensetzung in Kombination mit Stadtgrün

Die Baukörperzusammensetzung eines Gebietes spielt eine wesentliche Rolle bzgl. des Wärmeinseleffektes. Neben Bausubstanz spielen auch die Höhe und Zuordnung zu einander eine wesentliche Rolle.

Es zeigt sich weiters, dass eine Kombination aus einer aufgelockerten Wohnbebauung mit einem höheren Grünflächenanteil das geringste Überwärmungsrisiko birgt, im Gegensatz zu der Bebauungsstruktur mit dicht aneinander gebauten Hochhäusern und kaum städtischem Grün (vgl. PFOSER et al. 2013).



**Wärmeinsel Risiko**



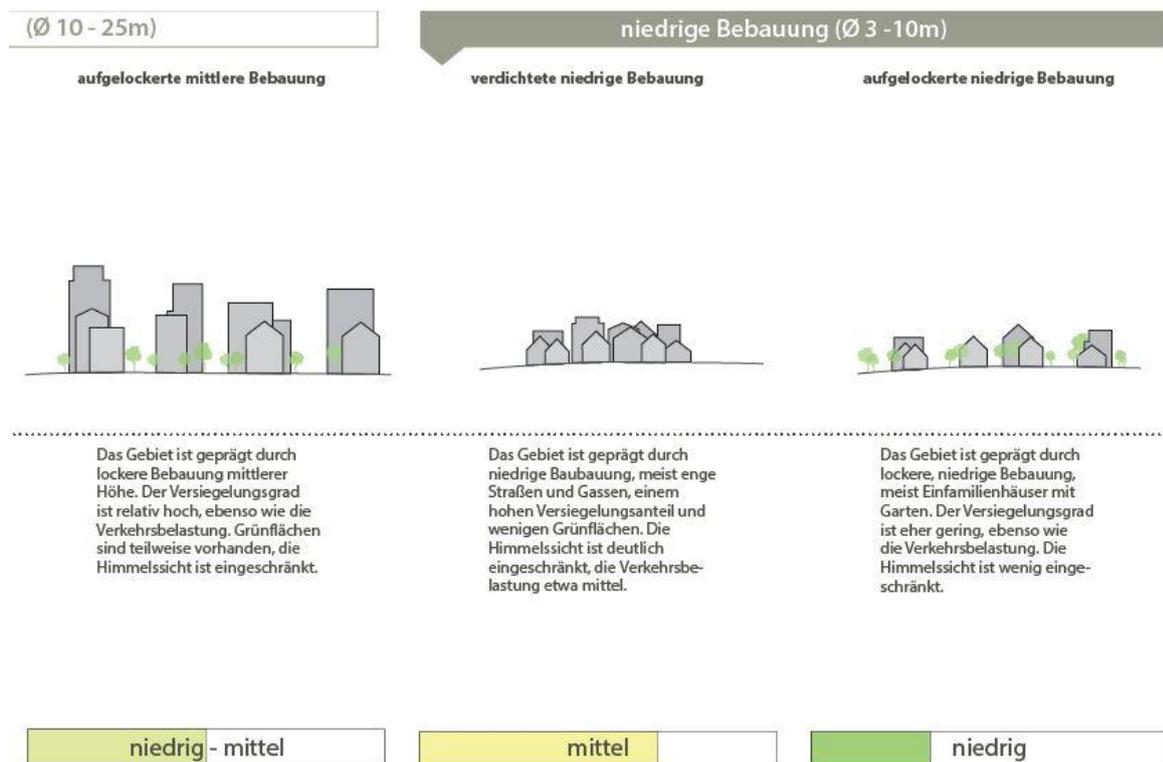


Abbildung 25: Stadtraumtypen und ihr Wärmeinselrisiko (Quelle: PFOSER et al. 2013)

### Verminderung des Wärmeeintrags bei Gebäuden

Der Wärmeeintrag wird von der Dauer des solaren Eintrags, dem Einstrahlungswinkel, dem Verhältnis von transparenten (verglasten) Flächen zu nichttransparenten, Möglichkeiten der Verschattung durch Sonnenschutz (Bauteilen, Bepflanzung etc.), internen Wärmequellen (Personen, Beleuchtung, Geräte) und Außenlufteintrag (Lüftung, Luftwechsel) bestimmt (vgl. BECK & PROBST 2006).

#### Wahl der Fassadenfarbe

Bei direkter Sonneneinstrahlung kann sich eine Fassade enorm aufheizen, weswegen Farbpigmente bzw. ihre reflektierenden Eigenschaften von maßgeblicher Bedeutung sind (vgl. IPSEK et al. 2015). Demnach hat besonders die Fassadenfarbe Auswirkungen auf die Wärmespeicherung. Dunkle Farben bewirken höhere Oberflächentemperaturen bzw. Speicherung und in weiterer Folge Abstrahlung von Wärme an die Umgebung. Der Einsatz von helleren und reflektierenden Oberflächen mit geringer Wärmespeicherfähigkeit würde einen wesentlichen Kühleffekt an lokalen Hitzestandorten haben.

#### Wahl des Verglasungsanteils und Auswahl der Glasqualitäten

Der Verglasungsanteil eines Gebäudes beeinflusst maßgeblich den Wärmeeintrag und sollte unter Berücksichtigung verschiedener Aspekte wie Nutzung, Energieeffizienz, Belichtung etc. nicht mehr als 50 Prozent der Fassadenfläche betragen. Von zentraler Bedeutung ist auch die Qualität der Verglasung hinsichtlich Wärme- und Energiefluss aber auch Lichtdurchlässigkeit im Sommer als auch im Winter. Drei wesentliche Glaseigenschaften sind hier von Bedeutung: Der Wärmedurchgang (U-Wert), der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) und die Lichtdurchlässigkeit (t-Wert). Beeinflusst wird der Wärme- und Energiedurchgang von Anzahl und Dicke der Scheiben, Größe und Anzahl der Scheibenzwischenräume, Füllungen der Scheibenzwischenräume sowie Beschichtungen der Gläser. Um im Sommer den Wärmeeintrag zu vermindern sollten Verglasungen einen geringen Wärmedurchgang (= niedriger U-Wert) und einen niedrigen Energiedurchlass (= hoher g-Wert) aufweisen (vgl. BECK & PROBST 2006).

## Sonnenschutz

Für Gebäude ohne technische Klimatisierungsmöglichkeit und jene, die sich aufgrund von verwendeten Materialien, wie durch einen hohen Verglasungsanteil oder einer dunklen Fassadenfarbe generell stärker erhitzen ist ein Sonnenschutz unverzichtbar um der Aufheizung innerhalb des Gebäudes entgegenzuwirken. Beschichtungen von Gläsern gewährleisten keinen ausreichenden Schutz vor Überhitzung weswegen andere Maßnahmen notwendig sind. Ein wirksamer Sonnenschutz in Kombination mit natürlicher Lüftung stellt hierbei eine gute Lösung dar. Man unterscheidet zwischen passivem, feststehendem Sonnenschutz und aktivem, beweglichen Sonnenschutz. Passiver Sonnenschutz sind feststehende Überstände, Auskragungen oder Schilde über verglasten Öffnungen, welche jedoch aufgrund des Einstrahlungswinkels nur auf der Südfassade Sonneneinstrahlung vermindern, auf allen anderen Seiten lediglich den Tageslichtertrag. Aktive Sonnenschutzsysteme können vor der Fassade, im Scheibenzwischenraum oder innen angeordnet werden (vgl. BECK & PROBST 2006).

## Zuordnung der Maßnahmen hinsichtlich Klimaebene

In der nachfolgenden Tabelle werden die einzelnen Maßnahmenbündel hinsichtlich ihrer Einflüsse und Auswirkungen auf die verschiedenen Klima-Maßstabsebenen dargestellt.

1. Kühlung durch Hochdruck-Wasservernebelungsanlagen
2. Kühlung durch Pflanzen
3. Kühlung durch (bauliche) Beschattung von Freiräumen
4. Kühlung mit Wasserflächen
5. Kühlung durch erneuerbare Energie
6. Kühlung durch Wärmeabtransport
7. Kühlung durch optimierten Wohn- und Städtebau“

<b>MB</b>	Mikro-Ebene „Bau-Block“ 2 m Höhe, bis 100 m Radius	Meso 1 „Stadtteil“ > 100 m (– 100 km)	Meso 2 „Stadt/Umland“ 100 m – 100km	Makro „Österreich-Europa- weltweit“ >100 km / Flächen ab 500 km Aus- dehnung
<b>1</b>	X ab 28 C	Wirkungen, wenn Mikromaßnahmen flächig umgesetzt werden		
<b>2</b>	X	Dach- u. Fassade Grünzüge	Grünflächenverhältnis	Großflächige Naturräume
		Wirkungen, wenn Mikromaßnahmen flächig umgesetzt werden		
<b>3</b>	X	Wirkungen, wenn Mikromaßnahmen flächig umgesetzt werden		
<b>4</b>	X	Wasserzüge	Flüsse/ Seen	
<b>5</b>	X			
<b>6</b>	X	Kollektor		
<b>7</b>	X	Kühlungsoptimierter Städte-/Wohnbau		

Tabelle 5: Maßstabsgrößen der Maßnahmen hinsichtlich Klimaebenen

## Empfehlungen für Stadt- und Landschaftsplaner

Nach LENZHOLZER (2015) wurden folgende Empfehlungen für die Planung von Grünkonzepten, besonders der Baumbepflanzung, ausgearbeitet. Es handelt sich um unterschiedliche Planungs- und Gestaltungsinterventionen für Stadtplaner und Landschaftsarchitekten. Bevor die Maßnahmen umgesetzt werden, sind aus den städtebaulichen Analysen Informationen abzuleiten. Die Interventionen zur Senkung der Temperaturen und Belüftung für die Stadt reichen von der Pflanzung von ganzen Parkanlagen bis zu kleinen Interventionen. Die Lüftungsmaßnahmen sind in der Regel in großem Maßstab durchzuführen.

1. Der Effekt der Tunnelwirkung kann mit richtiger Planung von Straßenbäumen reduziert werden. Dabei ist es wichtig, die Bäume nicht zu eng aneinander zu pflanzen, um einen geschlossenen Bestand zu vermeiden. Hingegen bilden dichter gepflanzte Bäume einen „Grünen Tunnel“, der die Funktion als Feinpartikelfilter erfüllt.

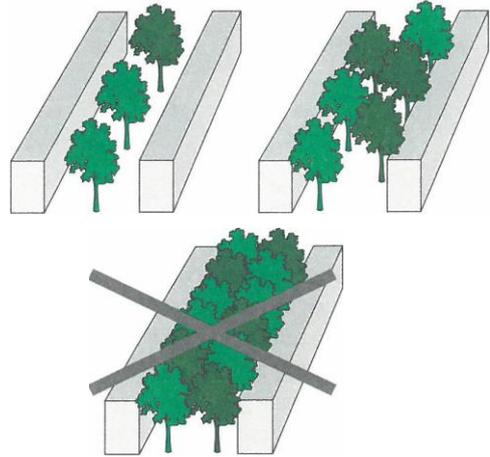


Abbildung 26: Straßenbäume, die den Tunnel-Effekt reduzieren, aber noch keinen "grünen Tunnel" bilden (Quelle: LENZHOLZER, 2015)

2. Auch wenn der Schatten von Gebäuden oder Objekten Wirkung zeigt, bringen Bäume durch Evaporation höhere Verminderung von Lufttemperatur. Wichtig dabei ist die richtige Wahl der Baumarten. Zusätzlich ist durch die Geländetopographie der Platz windgeschützt.

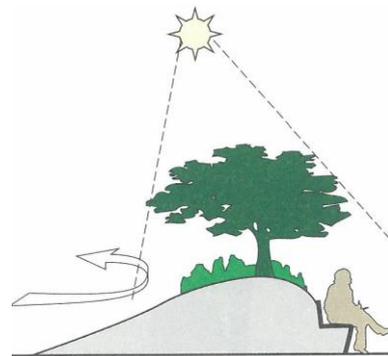
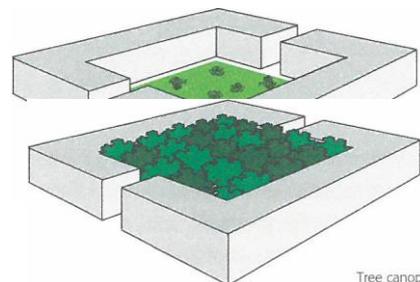


Abbildung 27: Platz mit Sonne- und Windschutz (Quelle: LENZHOLZER, 2015)

3. Damit im Winter genügend Sonnenlicht zu Verfügung steht, sind Laubbäume zu bevorzugen. Der Kühleffekt mit Rasen ist gegenüber den Flächen mit Baumbestand viel geringer. Da der Boden bei Rasen sonnenexponierter ist, steht bei einer Hitzewelle weniger Wasser zur Verfügung. Die Evaporation der Pflanzen ist daher begrenzt.



Tree canopy

Abbildung 28: Parks mit offenem Rasen kühlen nachts ab und Parks mit Bäumen kühlen auch während des Tages (Quelle: LENZHOLZER, 2015)

4. Um die Überhitzung in der Stadt zu reduzieren ist die Schaffung von neuen Parkanlagen oder Erweiterungen zu planen. Studien zeigten, dass die kühlende Wirkung von großformatigen grünen Strukturen auf die Umgebung mehr Wirkung zeigen als kleinere.

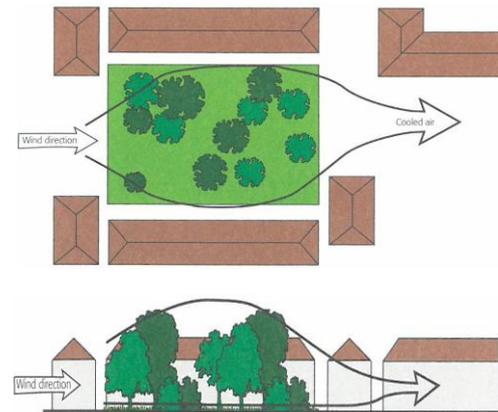


Abbildung 29: Die Nähe eines Nachbarschaftsparks mit einem Belüftungskorridor (Quelle: LENZHOLZER, 2015)

5. Wenn der grüne Bereich in einem niederen Niveau als seine Umgebung liegt, kann die schwere, kühle Parkluft nicht ausweichen. Liegt der Park höher als seine Umgebung, kann die kühle Luftströmung drüber hinweg fließen.

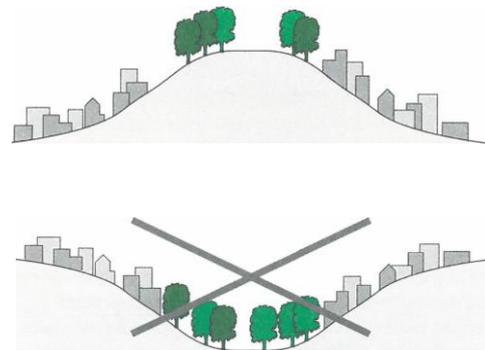


Abbildung 30: Optimale Verteilung der Grünfläche in einem Gelände (Quelle: LENZHOLZER, 2015)

Es bestehen vielfältige Möglichkeiten der Klimaerwärmung im städtischen Raum entgegen zu wirken. Die Bandbreite reicht von der richtigen Planung der Bauungsstrukturen, Bauungselemente für die Beschattung, Materialenauswahl, Wasserelemente, Gebäudedämmung, Fassaden- und Gebäudebegrünung bis zur Minimierung der Schadstoffbelastung durch Nutzung von erneuerbaren Energien (BRUSIC, 2017).

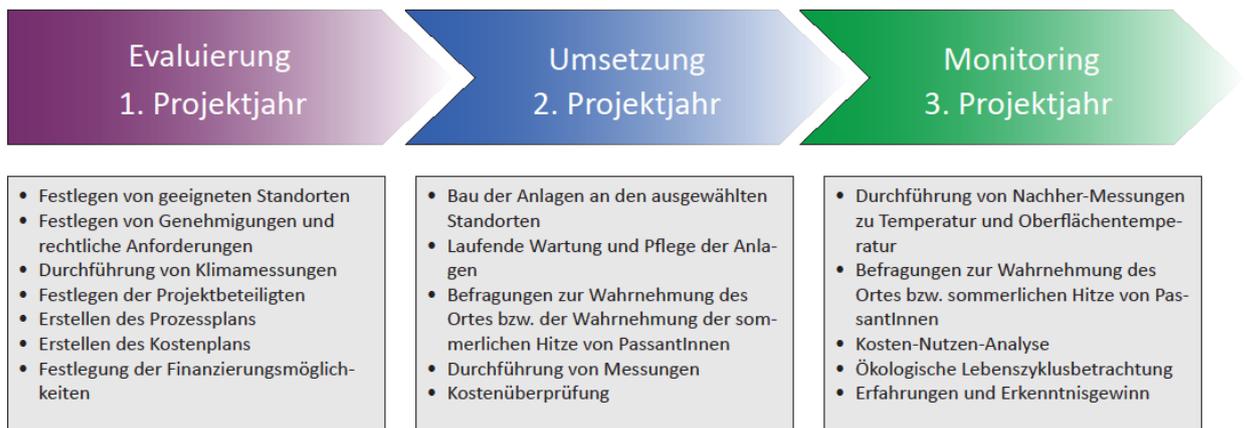
## Roadmap – Strategie- und Umsetzungsplan

Die Roadmap skizziert die strategische Umsetzung eines nachfolgenden 3-jährigen Forschungsprojektes mit dem Fokus auf Stadtgrün u.a. auch in Kombination mit Kühlungstechniken wie der Hochdruckwasservernebelung. Im Rahmen der Roadmap werden die angedachten bzw. auszuführenden Projektschritte visualisiert, darüber hinaus auch Umsetzungspotenziale und mögliche Szenarien veranschaulicht.

Urban Cool Down - AP 5

### ROADMAP

zur Implementierung von städtischem Grün in Kombination mit Wasservernebelungsanlagen in öffentlichen/halböffentlichen urbanen Räumen in einem Projektzeitraum von drei Jahren



Urban Cool Down - AP 5

## Evaluierung

### • Festlegen von geeigneten Standorten

- **Hitzespots** analysieren - besonders heiße Orte ohne Beschattung, wenig Grünflächen und mit hoher Bevölkerungsdichte
- **Zustand** der Standorte erheben - ist ein Wasser- und Stromanschluss vorhanden? Können Leitungen verlegt werden?

### • Festlegen von Genehmigungen und rechtlichen Anforderungen

- Zuständige Stelle für **Genehmigung** der Aufstellung von Vernebelungsanlagen im öffentlichen Raum - MA 36
- Zuständige Stelle für die **Einhaltung der Wasserhygiene** in Wien - MA 39
- Zuständige Stelle für das **Aufstellen temporärer Grünwände** im öffentlichen Raum, Bewilligung für die Straßenbenützung- MA 46
- Baubewilligung für **dauerhafte Fassadenbegrünung** - MA 37

### • Durchführung von Klimamessungen

- Aktuelle Klimaeinschätzung, Beurteilung der Verbesserung durch geplante Intervention
- **Vorher-Messungen** zu Lufttemperatur, Oberflächentemperatur etc. durchführen
- **Befragungen** zur Wahrnehmung des Ortes bzw. sommerlichen Hitze von PassantInnen durchführen

### • Projektbeteiligte festlegen

- Public-Private-Partnership
- **Öffentliche Beteiligte** (Bezirk, Gemeinde)
- **Halböffentliche/private Beteiligte** (Wirte, Geschäftstreibende..)

### • Prozessplan erstellen

- „Wer macht was, wann und unter Zuhilfenahme welcher Ressourcen?“
- **Projektabläufe** genau planen

### • Kostenplan erstellen

- Welche Kosten fallen **einmalig** an (Aufbau, Gebühren..)?
- welche Kosten fallen **laufend** an (Wasser, Strom, Wartung)?
- **Deckung der Mehrkosten** durch höhere Umsätze (Einschätzung)
- Social Impact

### • Finanzierungsmöglichkeiten festlegen

- Wer?
- Was?
- Zeitliche Planung der Finanzierung
- Wann wird was von wem bezahlt?

Urban Cool Down - AP 5

## Umsetzung

### • Bau der Anlagen an ausgewählten Standorten

- Standorte zuvor nach Eignung prüfen
- Zeitplan der Bauarbeiten schrittweise festlegen und umsetzen

### • Durchführung von Messungen

- Messdaten erheben
- Messungen auswerten
- Ergebnisse für weitere Umsetzungen aufbereiten

### • Laufende Pflege der Anlagen

- Pflegemanagement im Vorfeld festlegen
- Wartung der Vernebelungsanlagen

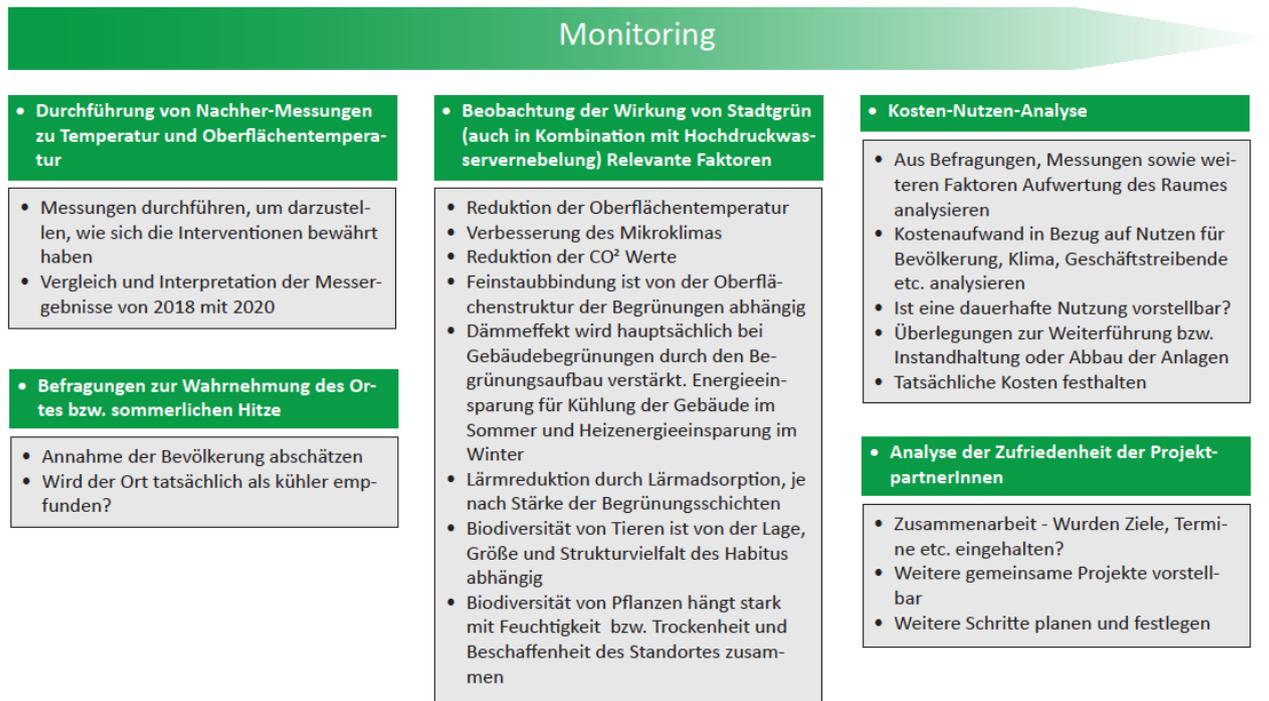
### • Kostenüberprüfung

- Durchführung eine Kostenanalyse in einem ausgewählten Zeitraum
- Kostenrahmen einhalten

### • Befragungen zur Wahrnehmung des Ortes bzw. sommerlichen Hitze

- Um herauszufinden inwieweit die Intervention und Umgestaltung bei der Bevölkerung Akzeptanz finden

Urban Cool Down - AP 5



Urban Cool Down - AP 5

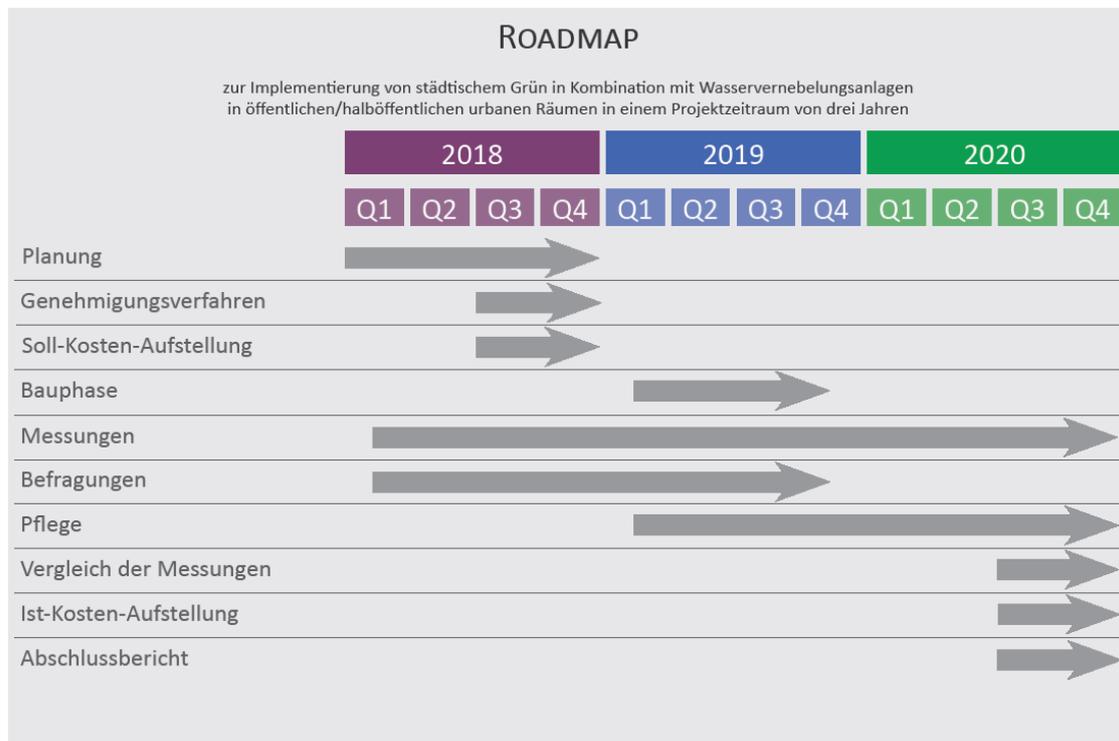


Abbildung 31: ROADMAP

## Verwendete Quellen und Literatur

- ALHTRO UG + CO. KG (2017): CampVent Klima, Online: <http://www.scotte.de/fuer-wohnwagen.html>, Stand: 10.11.2017
- AMAZON (2017): Terrassenüberdachung, Online: <https://www.amazon.de/dp/B01N5LHY6M/?&tag=markise-test-21>, Stand: 30.10.17
- AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG (2017): Rechtliche Informationen zu Teichen und Biotopen, Online: [http://www.noe.gv.at/noe/Wasser/teiche\\_recht.html](http://www.noe.gv.at/noe/Wasser/teiche_recht.html), Stand: 30.10.17
- ARIBA MARKISEN PROFIS (o.J.): Markisen, online: <http://www.markisen-profis.at/markisen>, Stand: 13.10.2017
- ARIBA MARKISEN PROFIS (o.J.): Sonnensegel, online: <http://www.markisen-profis.at/sonnenschutzsysteme/sonnensegel>, Stand: 13.10.2017
- BALDER, H. (2007): Biotische und abiotische Schäden an Bäumen in der Stadt bei Klimaerwärmung. In: Urbane Gehölzverwendung im Klimawandel und aktuellen Fragen der Baumpflege. Tagungsband zu den Dresdner StadtBaumtagen, Beiheft 6. Tharandt: Selbstverlag der Fachrichtung Forstwissenschaften der TU Dresden.
- BDH – BUNDESINDUSTRIEVERBAND DEUTSCHLAND HAUS-, ENERGIE- UND UMWELTECHNIK E.V. (2011): Auslegung von oberflächennahen Erdwärmekollektoren, Online: [http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Infoblaetter/Infoblatt\\_Nr\\_43\\_Maerz\\_2011\\_Auslegung\\_von\\_oberflaechennahen\\_Erdwaermekollektoren.pdf](http://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_43_Maerz_2011_Auslegung_von_oberflaechennahen_Erdwaermekollektoren.pdf), Stand: 10.11.2017
- BIOTOP LANDSCHAFTSGESTALTUNG GESELLSCHAFT M.B.H. (o. J.): So funktioniert ein Swimming-Teich, Online: <https://de.bio.top/planung-swimming-teich>, Stand: 23.10.2017
- BOWLER, D.; BUYUNG-ALI, L.; KNIGHT, T.; PULLIN, A. (2010): Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. In: Landscape and Urban Planning. Bd. 97. S. 147-154
- BRUSIC, M. (2017): Masterarbeit „Celtis australis – die Antwort der Stadt auf dem Klimawandel?“ Universität für Bodenkultur Wien.
- DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. (2003): Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. In: Energy and Buildings. Bd: 35. S. 69-76.
- DRAABE INDUSTRIE TECHNIK GMBH (2014): Sichere Luftbefeuchtung – Der neue Stand der Technik VDI 6022 Blatt 6 – für dezentrale Luftbefeuchtung, online: [http://www.sichere-luftbefeuchtung.de/images/sonstiges/Infolyer\\_Luftbefeuchtung\\_VDI\\_6022\\_Blatt\\_6.pdf](http://www.sichere-luftbefeuchtung.de/images/sonstiges/Infolyer_Luftbefeuchtung_VDI_6022_Blatt_6.pdf), Stand: 13.10.2017
- ENERGIEHELD GMBH (2017): Erdwärmekollektoren – Oberflächennahe Geothermie, Online: <https://www.energieheld.de/heizung/waermepumpe/erdwaermepumpe/erdkollektoren>, Stand: 30.10.17
- EVN AG (2017): So funktioniert eine Photovoltaikanlage, Online: <https://www.evn.at/Privatkunden/Energie-optimieren/Photovoltaik/Funktionsweise.aspx>, Stand: 10.11.2017
- FELLNER WRATZFELD & PARTNER RECHTSANWÄLTE GMBH (o.J.): Städtebauliche Verträge in Wien, online: <http://www.fwp.at/staedtebauliche-vertraege-in-wien/>, Stand: 13.10.2017

- FLORINETH, F. (2012): Pflanzen statt Beton. Sichern und Gestalten mit Pflanzen. Berlin Hannover: Patzer Verlag.
- GARTENGESTALTUNG ZANGL (2017): Schwimmteich im Selbstbau, Online: <https://www.zangl-gartengestaltung.at/schwimmteiche/schwimmteich-im-selbstbau>, Stand: 30.10.17
- GIGUERE, M. (2009): Literature Review of Urban Heat Island Mitigation Strategies, Online: [https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1513\\_UrbanHeatIslandMitigationStrategies.pdf](https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1513_UrbanHeatIslandMitigationStrategies.pdf), Quebec. Stand: 30.10.2017
- KHAMMAS, A. (o.J.): Asphaltkollektoren, Online: <http://www.buch-der-synergie.de/impressum.html>, Stand: 13.11.2017
- HECHTER, E. (2008): MA 42, Prüfung der Verwaltung von Gewässern in städtischen Grünanlagen – Tätigkeitsbericht 2007, Online: <http://www.stadtrechnungshof.wien.at/berichte/2007/lang/5-09-KA-V-42-2-8.pdf>, Stand: 30.10.17
- HENNINGSSEN ERDWÄRMESONDEN & BRUNNENBAU E.K.: Was kostet das Heizen mit der Wärmepumpe?, Online: <https://www.brunnenbau-henningsen.de/was-kostet-das-heizen-mit-der-waermepumpe/>, Stand: 30.10.17
- HERBIOS EU (o. J.): Vertikales Anbausystem, Online: <https://www.herbios.at/produkte-1/holzsysteme/>, Stand: 23.10.2017
- HORNBACH (2017): Kassettenmarkise, Online: <https://www.hornbach.at/shop/Kassettenmarkise-250x200-cm-mit-Motor-Soluna-Exquisit-Dessin-320930/5671407/artikel.html>, Stand: 30.10.17
- HORNBACH (2017): Senkrechtmarkise, Online: <https://www.hornbach.at/shop/Senkrechtmarkise-1-40x2-5-m-Anthrazit/6145053/artikel.html>, Stand: 30.10.2017
- INSTALLATIONSPROFI GMBH (o. J.): Solare Kühlung, Online: <http://www.installationsprofi.at/solar/solare-kuehlung/>, Stand: 10.11.2017
- IPSER, C.; GEISLER, S.; RADINGER, G.; WINKLER, M.; FLOEGL, H. (2015): Reduktion des Kühlenergiebedarfs durch optimierte Bebauungsstrukturen und Prozess- und Entwurfsoptimierung in der Gebäudeplanung. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Wien. Online: [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz\\_pdf/berichte/endbericht\\_1515\\_smart\\_kb.pdf?m=1469660010](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/berichte/endbericht_1515_smart_kb.pdf?m=1469660010), Stand: 03.11.17
- KÖHLER, M.; ANSEL, W.; APPL, W.; BETZLER, F.; MANN, G.; OTTELÉ, M.; WÜNSCHMANN, S. (2012): Handbuch Bauwerksbegrünung. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG. Köln.
- KÜRTEEN, S. (o.J.): Dissertation – Entwurfsfassung - Zur thermischen Nutzung des Untergrunds mit flächigen thermoaktiven Bauteilen am Beispiel thermoaktiver Abdichtungselemente, Aachen. Online: [https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat\\_235204.pdf](https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_235204.pdf), Stand: 30.10.17
- LAND STMK (o. J.): Die Gewinnung von Erdwärme in Form von Vertikalkollektoren (Tiefsonden), Online: [http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/10178489\\_4578743/a37c7be5/Strategiepapier%20Erdw%C3%A4rme.pdf](http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/10178489_4578743/a37c7be5/Strategiepapier%20Erdw%C3%A4rme.pdf), Stand: 30.10.17
- LANDSCAPING.AT (2017): Moosgraffiti, Online: <http://www.landscaping.at/blog/2011/05/05/moosgraffiti/>, Stand: 23.10.2017
- LENZHOLZER. S., (2015): Weather in the City. Rotterdam: Naio10 publisher.

- LESER, H. (2008) "Stadtökologie in Stichworten". 2. Aufl., Borntreger, Stuttgart, zitiert nach PAULEIT et al. 2014
- MATHEY, J.; RÖSSLER, S.; LEHMANN, I.; BRÄUER, A.; GOLDBERG, V.; KURBJUHN, C.; WESTBALD, A. (2011): Noch wärmer, noch trockener? Stadtnatur und Freiraumstrukturen im Klimawandel. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.). Bonn – Bad Godesberg.
- MATZARAKIS, A. (2001): Klimawandel und Städte - Stadtklimatischer Einfluss von Bäumen. [http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/klimawandel\\_stadtklima\\_baueme.pdf](http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/klimawandel_stadtklima_baueme.pdf) Stand: 13.3.2017
- MCPHERSON, E. G. (1994): Cooling Urban Heat Islands with Sustainable Landscapes in: PLATT, R. H.; ROWNTREE, R. A.; MUICK, P. C.: The Ecological City: Preserving and Restoring Urban Biodiversity. University of Massachusetts Press. Massachusetts. S. 151-171.
- NIEDERBRUCKER, R.; HASLINGER, E. (2016): Erdwärme! Voraus – Technologieleitfaden Erdwärme. Online: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/leitfaden-erdwaerme.pdf>, Stand: 10.11.2017
- PFOSE, N.; JENNER, N.; HENRICH, J.; HEUSINGER, J.; WEBER, S. (2013): Gebäude Begrünung Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht.
- PREISLER, A.; SELKE, T.; FOCKE, H.; HARTL, N.; GEISSEGG, G.; PODESSER, E.; THÜR, A. (2012): Technologie-Roadmap für solarthermische Kühlung in Österreich. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.). Wien. Online: [https://www.ait.ac.at/fileadmin/mc/energy/downloads/Endbericht-Publizierbar-Roadmap\\_SK-neu.pdf](https://www.ait.ac.at/fileadmin/mc/energy/downloads/Endbericht-Publizierbar-Roadmap_SK-neu.pdf), Stand: 10.11.2017
- PREISS, J.; PITHA, U.; SCHARF, B.; ENZI, V.; OBERARZBACHER, S.; HANCVENCL, G.; WENK, D.; STEINBAUER, G.; OBERBICHLER, C.; LICHTBLAU, A.; ERKER, G.; FRICKE, J.; HAAS, S. (2013): Leitfaden Fassadenbegrünung. Magistrat der Stadt Wien (Hrsg.). Wien.
- PROELLER, I. (o.J.): Public Private Partnership, online: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/public-private-partnership.html>, Stand: 13.10.2017
- PUWEIN, W. & WEINGÄRTLER, M. (2008): Public Private Partnership in Österreich – Aktuelle Bestandsanalyse und Trends. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung. Wien. Online: [http://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person\\_dokument/person\\_dokument.jart?publikationsid=40720&mime\\_type=application/pdf](http://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=40720&mime_type=application/pdf)
- ROLOFF, A. (2013a): Bäume in der Stadt. Besonderheiten - Funktion - Nutzen - Arten - Risiken. Stuttgart: Ulmer Verlag.
- UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN (o.J.): Leitfaden – Grüne Bauweisen für Städte der Zukunft, online: <http://www.fqp.at/sites/default/files/fqpupload/Gr%C3%BCne%20Bauweisen-Gr%C3%BCnstadtklima-LEITFADEN-web.pdf>, Stand: 13.10.2017
- WIENER UMWELTSCHUTZABTEILUNG – MA 22 (o.J.): Checkliste für die erforderlichen Genehmigungen von Fassadenbegrünungen, online: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/behoerdencheck.pdf>, Stand: 13.10.2017
- WILDEMANN, H. (2005): Betreibermodelle – Ein Beitrag zur Steigerung der Flexibilität von Unternehmen? In KALUZA, B. & BLECKER, T. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Flexibilität – Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen. Berlin. Online:

[https://books.google.at/books?id=LZIFL1tXtdEC&pg=PA137&lpg=PA137&dq=wildemann+betreibermodel-  
le&source=bl&ots=S9G3Zyjoms&sig=rrK8vjVeibZTx\\_VqXwR6zphO0Qg&hl=de&sa=X&ved=0a-  
hUKEwj07sS7w7rVAhUNEVAKHUDzCu0Q6AEIOTAE#v=onepage&q=betreibermodelle&f=false](https://books.google.at/books?id=LZIFL1tXtdEC&pg=PA137&lpg=PA137&dq=wildemann+betreibermodel-<br/>le&source=bl&ots=S9G3Zyjoms&sig=rrK8vjVeibZTx_VqXwR6zphO0Qg&hl=de&sa=X&ved=0a-<br/>hUKEwj07sS7w7rVAhUNEVAKHUDzCu0Q6AEIOTAE#v=onepage&q=betreibermodelle&f=false)

RAUCH GMBH (2017): Hochdruckdüsenystem, Online: [https://www.luftkuehlung.at/nebeldu-  
sche/spruehnebelsysteme.htm](https://www.luftkuehlung.at/nebeldu-<br/>sche/spruehnebelsysteme.htm), Stand: 30.10.17

RAUCH GMBH (2017): Nebelventilator, Online: [http://www.luftkuehlung.at/nebel-ventilator/stativ-  
teleskopausfuehrung-fuer-ventilator-home-50.htm](http://www.luftkuehlung.at/nebel-ventilator/stativ-<br/>teleskopausfuehrung-fuer-ventilator-home-50.htm), Stand: 30.10.17

RAUCH GMBH (2017): Nebelsäule, Online: [https://www.luftkuehlung.at/rohre/nachruestsatz-fuer-  
ventilator-2-2-3-2.htm](https://www.luftkuehlung.at/rohre/nachruestsatz-fuer-<br/>ventilator-2-2-3-2.htm), Stand: 30.10.17

REHAU VERKAUFSBÜROS/AGENCES REHAU (2012): Geothermische Freiflächentemperierung, Online: [https://www.rehau.com/download/683878/geothermische-freiflaechen-temperierung-pros-  
pekt.pdf](https://www.rehau.com/download/683878/geothermische-freiflaechen-temperierung-pros-<br/>pekt.pdf), Stand: 13.11.2017

RDC – Research Data Competence (2017): Bericht zum Nachbarschaftsfest am 2. Juni 2017 (Marie-  
Ebner-Eschenbachpark). Wien.

SCUDO, G., DESSI, V., ROGORA, A. (2004): Auswertung der Strahlungsflüsse in Städtischen Räumen: In:  
NIKOLOPOULOU, M. (Hrsg.): Freiraumplanung unter Berücksichtigung des Bioklimas. Bericht des  
Projekts RUROS - Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces - co-ordinated by CRES, De-  
partment of Buildings, S. 13-18.

STEFFEN, H. (o.J.): Solarklimaanlage SV20, Online: [http://www.luftkollektor-portal.de/solarVenti\\_luft-  
kollektor/Solarklima-SV20.html#prettyPhoto](http://www.luftkollektor-portal.de/solarVenti_luft-<br/>kollektor/Solarklima-SV20.html#prettyPhoto), Stand: 10.11.2017

THOMAS BRANDMAIER BEGRÜNUNGSSYSTEME GMBH (2017): Design-Pergola mit Ranksegel, Online:  
<http://www.brandmeier.de/garage-pergola-fassade-begrueuen/pergolen>, Stand: 30.10.17

UNIS (2017): Der Treibhauseffekt, Online: [http://www.unis.unvienna.org/unis/de/thematic\\_info\\_cli-  
mate\\_change\\_treibhaus.html](http://www.unis.unvienna.org/unis/de/thematic_info_cli-<br/>mate_change_treibhaus.html), Stand: 30.10.17

WACK, H. (2015): Konzept und Realisierung einer vertikalen Begrünungsmethode mit dem Ziel der  
Feinstaubabsorption im urbanen Raum – Concept and implementation of vertical greening to re-  
duce urban fine particles, Online: [http://www.anl.bayern.de/publikationen/anlie-  
gen/doc/an37202wack\\_2015\\_vertikale\\_begrueuen.pdf](http://www.anl.bayern.de/publikationen/anlie-<br/>gen/doc/an37202wack_2015_vertikale_begrueuen.pdf), Stand: 03.11.17

ZWIAUER, K.; STERRER, R. (o.J.): Welches Funktionsprinzip liegt der solaren Kühlung zugrunde? Hrsg.:  
Verein e-genius, Online: [https://www.e-genius.at/fileadmin/user\\_upload/solarthermie/solar-  
thermie.pdf](https://www.e-genius.at/fileadmin/user_upload/solarthermie/solar-<br/>thermie.pdf), Stand: 10.11.2017

## Bildquellen

DEUTSCHLANDRADIO (2017): Mit einer Mooswand gegen den Feinstaub, Online:

[http://www.deutschlandfunkkultur.de/weltweit-erster-versuch-in-stuttgart-mit-einer-mooswand.1001.de.html?dram:article\\_id=383603](http://www.deutschlandfunkkultur.de/weltweit-erster-versuch-in-stuttgart-mit-einer-mooswand.1001.de.html?dram:article_id=383603), Stand: 03.11.17

ENERGIEPLUS (o.J.): Die Nutzung von Erdwärme, Online: <https://www.erdwaermeplus.de/info/erdwaerme.html>, Stand: 30.10.17

KIRCHNER, M. (2017): Parasoleil, Online: <http://www.urbancooldown.at/portfolio-items/test/?portfolioCats=16>, Stand: 03.11.17

RDC – Research Data Competence (2017): Photovoltaik-Rad. Bericht zum Nachbarschaftsfest am 2. Juni 2017 (Marie-Ebner-Eschenbachpark)

SCHMIDT, M. (2014): Bodengebundene Fassadenbegrünung, Online: <https://www.adlershof.de/termin/event/detail/fbb-fassadenbegruenungssymposium/>, Stand: 03.11.17

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 5: Hochdruckdüsennebelungsanlage im Gastgarten des Café Mozart, Wien	
Abbildung 6: Fix installierter Nebelventilator am Rathausplatz, Wien	
Abbildung 7: Mobiler Nebelventilator am Tel Aviv Beach, Wien und Abbildung 4: Hochdrucknebelsäule am Hauptplatz von Wolkersdorf	
Abbildung 5: Begrünte Boxen mit Vernebelungsanlage	
Abbildung 6: Düse einer Wasservernebelungsanlage	
Abbildung 7: Extensivbegrünung	
Abbildung 8: Intensivbegrünung	
Abbildung 9: Bodengebundene Fassadenbegrünung	
Abbildung 10: Fassadengebundene Begrünungssysteme im GRG7 Kandlgasse Wien	
Abbildung 11: Bauelement zur vertikalen Begrünung	
Abbildung 12: Vertikale Anbausysteme	
Abbildung 13: Mooswand in Stuttgart	
Abbildung 14: Workshop „Grüne Wände selbst bauen“ im 18. Wiener Gemeindebezirk, Juni 2017	
Abbildung 15: Begrünte Wände in Kombination mit Sitzmöbeln	
Abbildung 16: Pergola mit rankenden Pflanzen	
Abbildung 17: Design-Pergola mit Ranksegel	
Abbildung 18: Parasoleil	
Abbildung 19: Markise	
Abbildung 20: Jalousien	
Abbildung 21: "Photovoltaik-Rad"	
Abbildung 22: Solare Raumkühlung mittels dem Kaltluftverfahren	
Abbildung 23: Solare Wärme im Winter (o.) und solare Kühlung im Sommer (u.) eines Wohnwagens	
Abbildung 24: Solarklimaanlage SV20	
Abbildung 25: Stadtraumtypen und ihr Wärmeinselrisiko	
Abbildung 26: Straßenbäume, die den Tunnel-Effekt reduzieren, aber noch keinen "grünen Tunnel" bilden	
Abbildung 27: Platz mit Sonne- und Windschutz	
Abbildung 28: Parks mit offenem Rasen kühlen nachts ab und Parks mit Bäumen kühlen auch während des Tages	
Abbildung 29: Die Nähe eines Nachbarschaftsparks mit einem Belüftungskorridor	
Abbildung 30: Optimale Verteilung der Grünfläche in einem Gelände	
Abbildung 31: ROADMAP	
Tabelle 1: Übersicht der Fassadenbegrünungsmöglichkeiten. ....	18
Tabelle 2: Herstellungskosten von bodengebundener und fassadengebundener Bauwerksbegrünungen im Vergleich .....	26
Tabelle 3: Herstellungskosten von Extensiv- und Intensivbegrünungen im Vergleich .....	26
Tabelle 4: Pflegeaufwand & -kosten nach Fassadenbegrünungssystem .....	27
Tabelle 6: Maßstabsgrößen der Maßnahmen hinsichtlich Klimaebenen .....	43