

Reduktion des Kühl- energiebedarfs durch optimierte Bebauungs- strukturen und Prozess- und Entwurfsoptimierung in der Gebäudeplanung

Anhang 1

Checkliste für Gemeinden:
Örtliche Entwicklungsplanung
für kühle Gebäude ohne
Technik

S. Geissler,
C. Ipser,
G. Radinger,
M. Winkler,
H. Floegl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

15a/2015

Impressum:

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

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

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

Reduktion des Kühlenergiebedarfs durch optimierte Bebauungsstrukturen und Prozess- und Entwurfsoptimierung in der Gebäudeplanung

Checkliste für Gemeinden: Örtliche Entwicklungs-
planung für kühle Gebäude ohne Technik

Susanne Geissler
SERA energy & resources e.U.

DI Christina Ipser, DI Arch. Gregor Radinger, MSc,
DI Markus Winkler, DI Dr. Helmut Floegl
Donau-Universität Krems
Department für Bauen und Umwelt

Krems/Wien, Oktober 2014

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse www.HAUSderZukunft.at Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Planungsziel: Vermeidung/Verminderung von Hitzeinseln | 3 |
| 3 | Planungsebenen und Maßnahmen | 4 |
| 4 | Anpassung von Planungsabläufen | 9 |
| 5 | Verfügbare Informationen, Tools und Hilfsmittel | 10 |
| 5.1 | Leitfäden zum Thema Vermeidung von Hitzeinseln..... | 11 |
| 5.2 | Karten als Informationsquelle zur Optimierung des Mikroklimas..... | 13 |
| 5.3 | Softwareprogramme zur Simulation des Mikroklimas..... | 15 |
| 5.4 | Klimasimulationsmodell MUKLIMO_3 | 15 |
| 6 | Anhang: Mikroklimatische Maßnahmen und Kühlwirkung | 17 |
| 6.1 | Sky View Factor (SVF)..... | 17 |
| 6.2 | Albedo und Emissionsfaktor | 17 |
| 6.3 | Photovoltaik-Module und Mikroklima | 18 |
| 6.4 | Einfluss von Grünflächen auf das Mikroklima..... | 20 |
| 6.5 | Einfluss von Wasserflächen auf das Mikroklima | 25 |
| 6.6 | Maßnahmen im Vergleich und in Wechselwirkung | 25 |
| 7 | Anhang: Aus der Vergangenheit lernen | 28 |
| 8 | Anhang: Good Practice Beispiele | 30 |
| 8.1.1 | Masdar City | 30 |
| 8.1.2 | Beispiele Aachen und Stuttgart | 31 |
| 8.1.3 | Solar City Linz in Österreich | 33 |
| 8.1.4 | London Green Grid | 33 |
| 8.1.5 | Wiener Stadtentwicklungsplan STEP 2025 | 34 |
| 8.1.6 | Seestadt Aspern Wien | 35 |
| 8.1.7 | Begrünung von Gebäuden - MA 48 Wien – Grünfassade „Grüner Pelz“..... | 35 |
| 8.1.8 | Begrünung von Gebäuden - MFO-Park in der Schweiz | 36 |
| 9 | Literatur | 38 |

1 Einleitung

Gebäude müssen bestimmte Energiestandards einhalten. In unserer Klimazone ist der Energiebedarf für die Raumheizung besonders wichtig, weil der Anteil am Gesamtenergieverbrauch hoch ist. In den vergangenen Jahren ist es gelungen, große Fortschritte zu erzielen: Der Energiebedarf für die Raumheizung konnte durch hohe Wärmedämmstandards stark verringert werden. (OIB 2011)

In den letzten Jahren ist eine Zunahme von Sommer- und Hitzetagen zu beobachten. (ZAMG s.a. a,b) In den Städten kommt es zusätzlich zu sogenannten Hitzeinseln, das sind Bereiche mit zum Teil deutlich höheren Temperaturen als im Umland, vor allem in der Nacht. Damit wird auch der Kühlenergiebedarf von Gebäuden zu einem wichtigen Thema. Energieeffizienzstrategien sehen vor, Wohngebäude so zu planen, dass sie möglichst ohne aktive Kühlung, also ohne strombetriebene Klimageräte, auskommen. Es gibt unterschiedliche gebäudebezogene Strategien zur Senkung des Kühlenergiebedarfs durch passive Maßnahmen wie Nachtauskühlung. Kommt es zur verstärkten Ausbildung von städtischen Hitzeinseln, so werden manche gebäudebezogene Strategien zur Kühlenergiebedarfsreduktion nicht mehr wirksam sein. Die nächstliegende Lösung in bestehenden Wohngebäuden mit einem sommerlichen Überwärmungsproblem ist die Anschaffung eines strombetriebenen Klimageräts. Die Anschaffungskosten sind relativ gering, die Gebäude-Energiebilanz verschlechtert sich mit dieser Art der Kühlung jedoch dramatisch. Der Stromverbrauch könnte aufgrund des steigenden Bedarfs an Klimaanlage zur Sicherung von Komfortansprüchen im Innenraum zukünftig ansteigen. Das Ziel der Null-Energiegebäude oder Plus-Energiegebäude rückt damit in weite Ferne.

Hitzeinseln beeinflussen nicht nur den Stromverbrauch für die Gebäudekühlung sondern beeinträchtigen auch die Aufenthaltsqualität im Außenraum massiv. Daher sollten alle Möglichkeiten genutzt werden, die Entstehung städtischer Hitzeinseln zu vermeiden oder den Effekt zumindest zu verringern.

Die Rahmenbedingungen dafür schaffen im Wesentlichen das örtliche Entwicklungskonzept und der daraus abgeleitete Flächenwidmungs- und Bebauungsplan. Die Flächenwidmungs- und Bebauungsplanung hat großen Einfluss darauf, ob ein komfortables Innenraumklima ohne strombetriebene Geräte hergestellt werden kann.

2 Planungsziel: Vermeidung/Verminderung von Hitzeinseln

Das Planungsziel Vermeidung/Verminderung von Hitzeinseln kann in folgende Teilziele untergliedert werden:

- Vermeiden und Reduzieren der Sonneneinstrahlung im Sommerhalbjahr
- Abführen der tagsüber eingestrahltener Sonnenenergie
- Maximierung von lokalen Kühleffekten
- Vermeidung der Wärmespeicherung bei gebauten Strukturen

Die folgende Tabelle ordnet diesen Teilzielen entsprechende Maßnahmen für die Zielerreichung zu.

Tabelle 1: Teilziele und Maßnahmen für die Zielerreichung

| Teilziele | Maßnahmen für die Zielerreichung |
|---|--|
| Vermeiden und Reduzieren der Sonneneinstrahlung im Sommerhalbjahr | Beschattung durch Laubbäume mit geschlossenen Baumkronen und/oder durch gebaute Strukturen |
| Abführen der tagsüber eingestrahnten Sonnenenergie | Durchlüftung mit nächtlichen kühlen Luftströmungen |
| Maximierung von lokalen Kühleffekten | Verdunstungskühlung mittels Grünflächen und Wasser |
| Vermeidung der Wärmespeicherung bei gebauten Strukturen | Verwendung von Materialien mit wenig Speicherkapazität und hoher Albedo |

Das folgende Kapitel zeigt, in welchen Planungsebenen die einzelnen Teilziele berücksichtigt werden müssen, um die Umsetzung der entsprechenden Maßnahmen zu ermöglichen.

3 Planungsebenen und Maßnahmen

Die folgenden Tabellen beschreiben die Stufen des Planungsablaufs in einer Gemeinde mit beispielhaften Themen, die in den einzelnen Planungsebenen behandelt werden. Auf die wichtigsten Ansätze zur Vermeidung bzw. Verringerung des Hitzeinseleffekts wird bei den relevanten Punkten hingewiesen.

Stadtplanung muss zahlreiche Ziele vereinbar machen. Die den Tabellen folgenden Erläuterungen zu den Maßnahmen nehmen daher auch Bezug auf Wechselwirkungen bzw. Synergieeffekte und Zielkonflikte mit anderen Planungszielen. Fachbegriffe, die in den Tabellen verwendet werden, sind ebenfalls in den Erläuterungen erklärt.

Wichtig ist es, die Auswirkungen von Planungsvorhaben auf das Mikroklima von Anfang an, also schon bei der Bearbeitung bzw. Überarbeitung des örtlichen Entwicklungskonzepts, zu berücksichtigen.

Tabelle 2: Planungsebene: Örtliches Entwicklungskonzept

| Themen | Zusammenhänge mit dem Hitzeinsel-Effekt |
|----------------------------------|--|
| Mikroklimatische Entwicklung | Die Klimafunktionskarte zeigt Luftströmungen, Frischluft- und Kaltluftschneisen, Hitzeinseln, etc. und die entsprechenden mikroklimatischen Planungsanforderungen. Das Mikroklima wird von den Planungsentscheidungen in den anderen Themenbereichen beeinflusst. |
| Funktionale Gliederung Freiräume | Zusammenhängende Grünräume können günstige Luftströmungen unterstützen und zur Kühlung des Außenraums im Sommer beitragen. |
| Künftiger Baulandbedarf | Zusätzliche Bebauung kann die Zunahme von Sommertagen und Sommerabenden verursachen, wenn keine ausgleichenden Maßnahmen gesetzt werden. |
| Angestrebte Entwicklungsbereiche | Flächenversiegelung trägt zum Hitzeinsel-Effekt bei. |
| Geplante Maßnahmen Infrastruktur | Flächenversiegelung trägt zum Hitzeinsel-Effekt bei. |

| | |
|-----------------------------|---|
| Sicherung Grundwasser | Flächenversiegelung wirkt sich negativ aus. |
| Sicherung Rohstoffvorkommen | Nicht relevant |

Tabelle 3: Planungsebene: Sachkonzepte des Örtlichen Entwicklungskonzepts

| Themen | Faktoren zur Vermeidung des Hitzeinsel-Effekts |
|--------------------|---|
| Energie-wirtschaft | Energieeffizienz wird in allen Sektoren (Wohnen, Dienstleistungen, Industrie, Verkehr, etc.) als Kernelement des jeweiligen Sachkonzepts definiert; mögliche Auswirkungen von geplanten Maßnahmen auf den Kühlenergiebedarf von Gebäuden werden berücksichtigt. |
| Verkehr | Der motorisierte Individualverkehr (MIV) wird reduziert, da Emissionen (fossile Kohlenwasserstoffe) den Hitzeinselleffekt verstärken. |
| Umweltschutz | Zusammenhängende Grünräume schaffen Frischluftleitbahnen, und gute Durchlüftung sorgt für den Abtransport von Luftschadstoffen und von belastender Wärme. |
| Freiraum | Bei der Festlegung von Ausmaß, Anordnung und Gestaltung von Grünräumen werden der Kühleffekt durch Verdunstungskühlung und die Funktionsweise von Frischluftleitbahnen für die horizontale Durchlüftung berücksichtigt. |
| Tourismus | Eine angenehme Aufenthaltsqualität (Vermeidung von Hitzeinseln) im städtischen Außenraum ist für den Städtetourismus vorteilhaft. |
| Wirtschaft | Abwärme aus produzierenden Betrieben wird nutzbar gemacht und mögliche negative Auswirkungen auf das Mikroklima werden so vermieden. |
| Ortsbildschutz | Nicht relevant |
| Abwasser | Nicht relevant |
| Abfall | Nicht relevant |

Tabelle 4: Planungsebene: Flächenwidmung

| Themen | Faktoren zur Vermeidung des Hitzeinsel-Effekts | | | | | | | |
|---------------------------|--|--|---|------------|------------|---------------------------|------------------------|--|
| Bauland | <table border="1"> <tr> <td>Dorfgebiet</td> <td rowspan="6"> Flächenversiegelung reduzieren: Grünflächen und Bodenbeläge mit reduziertem Versiegelungsgrad werden vorgesehen. Grünflächen beschatten den darunter liegenden Boden; er nimmt weniger Wärme auf und speichert weniger Wärme. Das im Erdreich vorhandene Wasser verdunstet (Evaporation), und Pflanzen geben aktiv Wasser ab (Transpiration). Diese Verdunstung von Wasser hat einen kühlenden Effekt. </td> </tr> <tr> <td>Wohngebiet</td> </tr> <tr> <td>Kerngebiet</td> </tr> <tr> <td>Gemischtes Baugebiet</td> </tr> <tr> <td>Betriebsbaugebiet</td> </tr> <tr> <td>Industriegebiet</td> </tr> </table> | Dorfgebiet | Flächenversiegelung reduzieren: Grünflächen und Bodenbeläge mit reduziertem Versiegelungsgrad werden vorgesehen. Grünflächen beschatten den darunter liegenden Boden; er nimmt weniger Wärme auf und speichert weniger Wärme. Das im Erdreich vorhandene Wasser verdunstet (Evaporation), und Pflanzen geben aktiv Wasser ab (Transpiration). Diese Verdunstung von Wasser hat einen kühlenden Effekt. | Wohngebiet | Kerngebiet | Gemischtes Baugebiet | Betriebsbaugebiet | Industriegebiet |
| Dorfgebiet | Flächenversiegelung reduzieren: Grünflächen und Bodenbeläge mit reduziertem Versiegelungsgrad werden vorgesehen. Grünflächen beschatten den darunter liegenden Boden; er nimmt weniger Wärme auf und speichert weniger Wärme. Das im Erdreich vorhandene Wasser verdunstet (Evaporation), und Pflanzen geben aktiv Wasser ab (Transpiration). Diese Verdunstung von Wasser hat einen kühlenden Effekt. | | | | | | | |
| Wohngebiet | | | | | | | | |
| Kerngebiet | | | | | | | | |
| Gemischtes Baugebiet | | | | | | | | |
| Betriebsbaugebiet | | | | | | | | |
| Industriegebiet | | | | | | | | |
| Grünland | <table border="1"> <tr> <td>Wald</td> <td rowspan="5"> Der Luftaustausch durch zusammenhängende Grünräume (Frischluftleitbahnen) wird ermöglicht: Horizontale Luftströmungen können zusätzlich zur vertikalen Luftdurchmischung Schadstoffe und Wärme abführen. Frischluftleitbahnen tragen daher zur Verbesserung der Luftqualität bei und haben gleichzeitig einen kühlenden Effekt. </td> </tr> <tr> <td>Parkanlage</td> </tr> <tr> <td>Grünzug</td> </tr> <tr> <td>Land- und Forstwirtschaft</td> </tr> <tr> <td>Sport- und Spielfläche</td> <td>Es werden Bodenbeläge mit reduziertem Versiegelungsgrad geplant und die Beschattung durch Laubbäume.</td> </tr> </table> | Wald | Der Luftaustausch durch zusammenhängende Grünräume (Frischluftleitbahnen) wird ermöglicht: Horizontale Luftströmungen können zusätzlich zur vertikalen Luftdurchmischung Schadstoffe und Wärme abführen. Frischluftleitbahnen tragen daher zur Verbesserung der Luftqualität bei und haben gleichzeitig einen kühlenden Effekt. | Parkanlage | Grünzug | Land- und Forstwirtschaft | Sport- und Spielfläche | Es werden Bodenbeläge mit reduziertem Versiegelungsgrad geplant und die Beschattung durch Laubbäume. |
| Wald | Der Luftaustausch durch zusammenhängende Grünräume (Frischluftleitbahnen) wird ermöglicht: Horizontale Luftströmungen können zusätzlich zur vertikalen Luftdurchmischung Schadstoffe und Wärme abführen. Frischluftleitbahnen tragen daher zur Verbesserung der Luftqualität bei und haben gleichzeitig einen kühlenden Effekt. | | | | | | | |
| Parkanlage | | | | | | | | |
| Grünzug | | | | | | | | |
| Land- und Forstwirtschaft | | | | | | | | |
| Sport- und Spielfläche | | Es werden Bodenbeläge mit reduziertem Versiegelungsgrad geplant und die Beschattung durch Laubbäume. | | | | | | |
| Verkehrsfläche | Ruhender Verkehr Für Parkplätze werden Bodenbeläge mit reduziertem Versiegelungsgrad oder Cool Materials (mit hoher Albedo) und die Beschattung durch Laubbäume geplant. | | | | | | | |

| | | |
|--|---------------------------|---|
| | Fließender Verkehr | Für Fußwege und Straßen werden Bodenbeläge mit reduziertem Versiegelungsgrad oder Cool Materials (mit hoher Albedo) und die Beschattung durch Laubbäume geplant. |
| | Haupt- und Nebenbahnen | Nicht relevant |
| | Flächen für die Luftfahrt | Nicht relevant |

Tabelle 5: Planungsebene: Bebauungsplanung

| Themen | Zusammenhänge mit dem Hitzeinsel-Effekt |
|---|---|
| Orientierung der Gebäude Bebauungsdichte Bauweise Verschattung durch Gebäude Verschattung durch Bepflanzung | Möglichkeiten der Beschattung und Verdunstungskühlung: Orientierung, Abstände zwischen den Gebäuden, das Ausmaß der bebauten Fläche des Grundstücks und die Gebäudehöhe beeinflussen die gegenseitige Verschattung von Gebäuden und die Möglichkeiten für Bepflanzungen. Die Planung soll maximale passive solare Gewinne im Winter (Sonneneinstrahlung durch Fenster und Wintergärten), maximale aktive Gewinne ganzjährig (thermische Solarkollektoren für Warmwasser und Photovoltaik-Anlagen für Strom) und ein günstiges (kühles) Mikroklima im Sommer ermöglichen. Höfe ermöglichen Tageslichtnutzung und wirken sich bei entsprechender Gestaltung günstig auf das Mikroklima aus. |
| Kompaktheit der Baukörper | Kompakte Gebäudeformen reduzieren den Heizenergiebedarf und den Kühlenergiebedarf von Gebäuden. |
| Dachform | Die Dachform von Gebäuden beeinflusst die Möglichkeiten der Begrünung und Solarenergienutzung. |
| Dach- und Fassadenbegrünung von Gebäuden | Dachbegrünung kann in Kombination mit aufgeständerten Photovoltaikanlagen genutzt werden. Die Fassadenbegrünung ist nur anstelle von Fassadenkollektoren möglich (solarthermische Kollektoren oder Photovoltaik-Module). Dach- und Fassadenbegrünungen vermindern den Kühlenergiebedarf von Gebäuden. |

Erläuterungen

Die wirksamste Maßnahme zur Vermeidung von Hitzeinseln ist die **Beschattung des Straßenraums und der Außenwände** also die Vermeidung des Auftreffens der Sonneneinstrahlung im Sommer. (Saneinejad et al. 2014)

Damit besteht jedoch ein Zielkonflikt mit der Maximierung der passiven Solargewinne im Winter. Dieser Zielkonflikt lässt sich durch die Bepflanzung mit Laubbäumen auflösen. Laubbäume mit geschlossenen Baumkronen stellen eine wirksame Form der temporären Beschattung dar, die dann verfügbar ist, wenn sie notwendig ist.

Laubbäume beschatten Straßenzüge (wichtig vor allem bei West-Ost verlaufenden Straßen) im Sommer und ermöglichen solare Gewinne im Winter.

Damit wird der solare Eintrag im Sommer reduziert und die solaren Gewinne im Winter zur Reduktion des Energiebedarfs für Raumheizung werden ermöglicht.

Durch die Bepflanzung mit Laubbäumen können jedoch andere Zielkonflikte mit folgenden Planungszielen entstehen:

1. Planungsziel hohe Verkehrssicherheit: Stürme und Starkregen können herabfallende Äste und umgestürzte Bäume verursachen und die Verkehrssicherheit beeinträchtigen.
2. Planungsziel geringe Betriebskosten: Es kann ein Mehraufwand für die Straßenreinigung durch Blattfall im Herbst und ein Mehraufwand für die Bewässerung entstehen.
3. Planungsziel statische Gebäudesicherheit: Zu nahe an Gebäuden gepflanzte Bäume können mit ihren Wurzeln die Statik von Gebäuden beeinträchtigen.
4. Planungsziel gute Durchlüftung: Geschlossene Baumkronen können den Luftaustausch behindern.

Die Punkte 1 – 3 sind durch gute Planung und Bewirtschaftung zu bewältigen.

Hinsichtlich Punkt 4 sind folgende Aspekte bei der Planung abzuwägen:

Gute Durchlüftung des Außenraums versus Beschattung durch dichte Baumkronen: Eine funktionierende Belüftung ist wichtig, um die Entfernung der in der Luft enthaltenen Schadstoffe aus dem Straßenraum sicherzustellen. Das wird am besten durch die vertikale Durchmischung der belasteten mit frischer Luft aus oberen Luftschichten erreicht. Straßenbäume mit dichten Kronen sind zwar für die Beschattung vorteilhaft, können aber möglicherweise diese Durchlüftung behindern. Neben der vertikalen Durchmischung kommt es durch zusammenhängende Grünräume (Frischluftleitbahnen) zur horizontalen Durchmischung und damit zur Verbesserung der Luftqualität. (Fuchs und Kern 2011)

Die Beschattung mit dichten Baumkronen und Durchlüftung mittels horizontaler Durchmischung wäre somit eine geeignete Kombination zur Sicherstellung der jahreszeitlich bedingt erforderlichen Beschattung und der notwendigen Durchlüftung.

Grün- und Freiflächen sind multifunktional

Sie erfüllen wichtige Funktionen für die Stadtgestaltung, die psychische und physische Gesundheit der Bewohnerinnen und Bewohner, den Arten- und Biotopschutz und den Naturhaushalt. Darüber hinaus sind sie wichtig für das Mikroklima aufgrund von folgenden Effekten:

- **Verdunstungskälte:** Die Verdunstung von Wasser benötigt Energie. Die Energie wird der Luft entzogen. Das macht sich als Temperaturabsenkung bemerkbar.
- **Evaporation** bezeichnet die Verdunstung von Wasser von freien Flächen (Wasserflächen, Boden, andere Oberflächen). Die verdunstete Wassermenge hängt vor allem von der verfügbaren Wassermenge, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit ab.
- **Transpiration** bezeichnet die Verdunstung von Wasser durch Pflanzen. Die verdunstete Wassermenge wird nicht nur von der verfügbaren Wassermenge, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit beeinflusst, sondern vor allem von der Pflanzenart. Manche Pflanzenarten gedeihen bei heißen Temperaturen und wenig Wasser, während andere diese Bedingungen nicht überleben. Die Beschaffenheit der Blätter hat einen großen Einfluss auf die verdunstete Wassermenge. Somit beeinflusst die Auswahl der Pflanzenarten für die Begrünung das Ausmaß des Kühleffekts.
- **Evapotranspiration** bezeichnet die Verdunstung von begrünten Flächen, es handelt sich um eine Mischung aus Evaporation und Transpiration.¹

¹ Pflanzenforschung.de, s.a., Evapotranspiration. Bundesministerium für Wirtschaft und Forschung, Online, <http://www.pflanzenforschung.de/de/themen/lexikon/evapotranspiration-10021>, letzter Zugriff am 08.10.2014

- **Beschattung** verhindert das Auftreffen der direkten Sonnenstrahlung, wodurch sich die betroffenen Oberflächen weniger stark erwärmen.
- **Frischlufteleitbahnen** werden durch zusammenhängende Grünräume begünstigt und tragen dazu bei, Schadstoffe und Wärme abzuführen.

Grünflächen am Gebäude sind multifunktional

Dach- und Fassadenbegrünungen verursachen Kosten in der Errichtung (Fassadenkonstruktion für die Bepflanzung, Substrat für das Gründach) und im Betrieb (Bewässerung, Pflege der Grünflächen). In der Kostenbilanz sind jedoch auch die Einsparungen bei der Kühlenergie der begrünten Gebäude und weitere positive, nicht quantifizierbare Effekte zu berücksichtigen, nämlich Beiträge zur Wasserrückhaltung, Transpiration und Staubbindung.

Reduktion des Versiegelungsgrads durch neue Materialien und Begrünung für ein besseres Mikroklima

Bei einem reduzierten Versiegelungsgrad ist die die Wasser- und Luftdurchlässigkeit des Bodenbelags erhöht. Das ist für das Bodenleben wichtig, aber auch für das Regenwassermanagement, da so mehr Wasser versickern kann. Mehr Bodenfeuchtigkeit trägt zur Verdunstungskühlung bei: Wasser verdunstet und entzieht dabei dem Umgebungsmedium Wärme. Materialien für die Bodenbefestigung wie Rasengittersteine und Rasenpflastersteine vermindern den Versiegelungsgrad und gewährleisten gleichzeitig die Begehrbarkeit und Befahrbarkeit von Flächen. Neue hochfeste und gleichzeitig hohlraumreiche und luft- und wasserdurchlässigen Beläge für Leichtverkehrswege, Baumscheiben, etc. sind am Markt verfügbar.

Unversiegelte Flächen sind solche mit 100%iger Wasser- und Luftdurchlässigkeit, also natürliche Bodenbedeckungen wie Gras. Unbepflanzter Boden ist zwar auch unversiegelt, aber weniger vorteilhaft als bepflanzter Boden: der Boden erwärmt sich durch die auftreffende Sonnenstrahlung, was negative mikroklimatische Auswirkungen nach sich ziehen kann. Bei Wind kommt es zu erhöhter Staubbelastung.

Materialien mit hoher Albedo für Gebäude und den städtischen Raum reflektieren die solare Einstrahlung

Der solare Reflexionsgrad wird als Albedo bezeichnet. Ein hoher solarer Reflexionsgrad führt zu einer geringeren Absorption von Solarstrahlung und folglich zu geringeren Oberflächentemperaturen. Reflexion bewirkt, dass die auftreffende Sonnenstrahlung zurückgeworfen wird und nicht dazu beiträgt, das Material zu erwärmen. Die Oberflächentemperaturen sind geringer als jene von Materialien mit niedriger Albedo. Materialien mit einem hohen Reflexionsgrad (Materialien mit hoher Albedo) können so das Aufheizen des Außenraums vermindern. (Santamouris et al. 2011)

Folgende Faktoren sind jedoch zu berücksichtigen:

- **Langlebigkeit, Wartungs- und Instandhaltungskosten:** Es ist nicht gesichert, wie lange der gewünschte Effekt tatsächlich anhält und wann eine Erneuerung erfolgen muss.
- **Umwelt- und Gesundheit:** Materialien sind dem Wetter ausgesetzt und es kann Abrieb entstehen. Das ist bei der Materialwahl zu berücksichtigen (Abriebfestigkeit).
- **Unerwünschte Erwärmung:** Bei dichter Bebauung kann sich der Außenraum erwärmen, wenn der SV Faktor gering ist und die Strahlung in der Nacht nicht abgegeben werden kann.

- **Energieverbrauch für Raumheizung:** Material mit hoher Albedo kann sich negativ auf den Energieverbrauch im Winter auswirken.

Der **Sky View Factor** (SVF) gibt den Grad der Sichtbarkeit des Himmels von einem bestimmten Punkt am Boden aus an und wird in einem Wertebereich von 0 bis 1 als einheitslose Zahl angegeben. Auf Freigeländen ist dieser Faktor höher als in dicht bebauten Stadtgebieten und erlaubt dadurch einen höheren Reflexionsgrad von Strahlung in Richtung Firmament. Ist der SVF gering, so verbleibt ein hoher Anteil der Wärme im Stadtgebiet und wird nicht abtransportiert. (EPA 2008)

In Übereinstimmung mit der *Kurzstudie Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in Bebauungspläne* (Fuchs und Kern 2011) werden folgende Maßnahmen zur vorrangigen Umsetzung empfohlen:

Begrünung und Baumbestand: Das Kronendach verschattet tagsüber die darunter befindlichen Bereiche. Zusätzlich nutzen Bäume einen Teil der absorbierten Strahlung zur Verdunstung und kühlen damit die Umgebung. Wichtig sind das Erhalten des Baumbestandes und die Neupflanzung von Bäumen sowie das Schaffen zusammenhängender Grünräume als Frischluftleitbahnen.

Dach- und Fassadenbegrünung: Durch die Begrünung von Dach- und Fassadenflächen entstehen unter anderem Beiträge zur Wasserrückhaltung, Transpiration und Staubbindung. Es ist zu ermitteln, wo Gebäudeflächen begrünt werden können bzw. wo die Kombination von Erholungsnutzung und Energiegewinnung vorgesehen werden soll.

Reduktion der Flächenversiegelung: Wichtig ist es, bei der Planung von begrünten Flächen und Flächen mit reduziertem Versiegelungsgrad frühzeitig die Erreichbarkeit aller Gebäude nach den Anforderungen des vorbeugenden Brandschutzes und die Anfahrbarkeit für Krankentransporte, Müllabfuhr und Liefer- bzw. Umzugsverkehr bei der Konzeption des Gebäudeumfeldes zu analysieren, um Qualitätseinbußen zu vermeiden.

- Minimierung der Versiegelung durch flächensparende Bauweise, angemessene Baudichte und Mehrfachnutzung
- Minimierung der versiegelten Verkehrsflächen durch reduzierte Straßenbreiten und Konzentration von Stellplätzen

4 Anpassung von Planungsabläufen

Die örtliche Entwicklungsplanung, Flächenwidmungs- und Bebauungsplanung muss zahlreiche Ziele vereinbaren und wird auf Basis vielfältiger Informationsmaterialien erarbeitet.

Die „Mikroklimatische Entwicklung“ muss als Thema in der örtlichen Entwicklungsplanung verankert werden. Sämtliche Überarbeitungsschritte bzw. Änderungen der örtlichen Entwicklungsplanung sind auf mögliche negative mikroklimatische Auswirkungen zu untersuchen und gegebenenfalls zu adaptieren. Die örtliche Entwicklungsplanung ist die Grundlage für alle weiteren Planungsschritte. Damit ist gewährleistet, dass aus den örtlichen topographischen und mikroklimatischen Gegebenheiten Anforderungen für die nachfolgenden Planungsstufen abgeleitet werden können.

Die Erstellung von Energiekonzepten und Szenarien für die energetische Analyse als Grundlage für die Flächenwidmungs- und Bebauungsplanung sind derzeit noch nicht Stand der Technik.

Die Wechselwirkungen zwischen Bebauungsstrukturen, topographischen und meteorologischen Gegebenheiten sowie die unterschiedlichen mikroklimatischen Anforderungen hinsichtlich der energetischen Optimierung von Gebäuden in der heißen und in der kalten Jahreszeit machen deutlich, dass energetische Untersuchungen als Informationsgrundlage für die Bebauungsplanung notwendig sind. Aus den Ergebnissen der Analyse werden dann verbindliche Anforderungen vor allem für die Bebauungsplanung abgeleitet. Meteorologische Informationen und insbesondere Klimafunktionskarten unterstützen im Planungsprozess.

Die ganzheitliche energetische Bilanzierung von Siedlungen einschließlich der Wechselwirkungen hinsichtlich der mikroklimatischen Auswirkungen in der heißen und in der kalten Jahreszeit sollte zum Standardrepertoire bei der Erstellung von Bebauungsplänen gehören.

Als Vorbild kann die in Bayern durchgeführte SOLENOP (Solarenergetische Optimierung von größeren Neubaugebieten) dienen. (Referat für Stadtplanung und Bauordnung 2009)

Begonnen wird mit dem Vorentwurf, den man solarenergetisch bewertet und optimiert. Das Ergebnis wird im Hinblick auf die städtebaulichen Anforderungen diskutiert. Auf diese Weise kann entsprechend dem Stand des Verfahrens die bauliche Dichte, die Besonnungssituation und der Heizenergieverbrauch etc. für das jeweilige Planungsgebiet abgestimmt werden, so dass u.a. auch optimierte Voraussetzungen für eine spätere passive und aktive Solarenergienutzung entstehen. Bei der „Feinjustierung“ werden die solarenergetischen Belange abschließend mit den städtebaulichen und landschaftsplanerischen Erfordernissen abgewogen. Das Ergebnis fließt dann in konkrete Festsetzungen des Bebauungsplanes ein. Das Solarbüro, das die SOLENOP durchführt, unterstellt bei seiner Arbeit eine Ausschöpfung der Festsetzungen des Bebauungsplanentwurfs und die Einhaltung der Regeln der Bayerischen Bauordnung. Eine durch die SOLENOP optimierte Siedlung kann das solarenergetische Potential optimal nutzen. Sie verträgt sich sehr gut mit alternativen Energieversorgungskonzepten wie Nahwärmenetzen auf der Basis von Kraft-Wärme-Kopplung oder Geothermie, da durch die SOLENOP die passive Solarenergienutzung verbessert wird und daher im Winterhalbjahr bei besonders kalten aber sonnigen Ostwindwetterlagen geringere Spitzenwerte beim Heizwärmebedarf entstehen, was die ökologische und wirtschaftliche Situation der Energieversorgungsanlage verbessert.

Bei größeren Planungsgebieten bestehen in der Regel Möglichkeiten für eine SOLENOP, da hier im Vergleich zu kleineren Gebieten in der Regel eine erweiterte städtebauliche Gestaltungsmöglichkeit vorliegt. Je größer aber das Planungsgebiet ist, umso mehr Möglichkeiten bestehen, die Festsetzungen hinsichtlich der SOLENOP auszurichten. Daher schlägt das Referat für Stadtplanung und Bauordnung vor, eine SOLENOP ab 500 Wohneinheiten in der Regel durchzuführen.

Eine ähnliche Vorgangsweise ist hinsichtlich der mikroklimatischen Optimierung denkbar.

5 Verfügbare Informationen, Tools und Hilfsmittel

Es liegen zahlreiche Studien vor, die den Kühleffekt von bestimmten Maßnahmen im Zusammenhang mit dem Hitzeinsel-Effekt untersuchen. Die grundlegenden Wirkungsweisen von Maßnahmen auf den Hitzeinsel-Effekt werden von allen diesen Untersuchungen bestätigt. Mehr Informationen zu den Größenordnungen der Kühleffekte einzelner Maßnahmen sind im Anhang enthalten, wo zusammengefasste Ergebnisse von Studien beschrieben werden.

Es wird jedoch betont, dass das Ausmaß der Wirkung stark von den jeweiligen lokalen Gegebenheiten abhängt, da zwischen topographischen und meteorologischen Bedingungen, Bebauungsstruktur, verwendeten Materialien sowie Art und Umfang von Grünräumen starke Wechselwirkungen bestehen.

Genaue Angaben sind nur mittels Simulationen mit den geeigneten Programmen wie beispielsweise ENVI-met² oder dessen Weiterentwicklung im Rahmen des Projekts Green4Cities³ möglich.

5.1 Leitfäden zum Thema Vermeidung von Hitzeinseln

Leitfäden zum Thema Nachhaltigkeit in der Bebauungsplanung behandeln Ressourcenaspekte wie effiziente Flächen- und Wassernutzung und legen Wert auf die Nutzung von Solargewinnen. (Referat für Stadtplanung und Bauordnung, 2009). Jüngere Leitfäden gehen auch auf das Thema Klimawandelanpassung im Sinne der Vermeidung von Hitzeinseln ein. (Schüle et al. 2011, Prutsch et al. 2014)

2014 wurde ein Projekt der Stadt Wien⁴ zum Thema *Urban Heat Islands* abgeschlossen, in dem Maßnahmenempfehlungen zur Vermeidung des Hitzeinsel-Effekts erarbeitet wurden.

Mit dem Planungsleitfaden des Projekts *Urban Fabric* liegt eine hilfreiche Unterlage vor, die zwar in erster Linie auf eine Verbesserung der Aufenthaltsqualität im Außenraum abzielt, indirekt aber auch für die gegenständliche Fragestellung „Örtliche Entwicklungsplanung für kühle Gebäude ohne Technik“ wertvolle Informationen liefert. (Stiles et al. 2014)

Das vom Klima- und Energiefonds geförderte Projekt UFT-ADI (Urban Fabric Types and Microclimate Response - Assessment and Design Improvement) zielt darauf ab stadtgestalterische Maßnahmen speziell für Freiräume zu entwickeln, die zur Verbesserung der mikroklimatischen Bedingungen beitragen.

Auf Basis von klimatischen, topologischen, vegetationsbezogenen und stadt-morphologischen Kriterien wurden 15 Stadtraumtypen ermittelt. Die 15 Typen wurden detailliert beschrieben. Die Beschreibung beinhaltet Angaben zu Art und Weise der Bebauung, Höhe der Bebauung, zur Grünausstattung, dem Anteil der versiegelten Flächen etc..

Einzelne repräsentative Ausschnitte von charakteristischen Stadtraumtypen wurden vertieft untersucht. Neben der Auswertung verfügbarer Geodaten wurde das Mikroklima für aktuelles und künftiges Klima simuliert. Darauf aufbauend wurden gestalterische Maßnahmen entwickelt, deren Auswirkungen mittels weiterer Simulationen getestet wurden. (Stiles et al. 2014)

Im Projekt Urban Fabric wurden 15 Stadtraumtypen ermittelt:⁵

Stadtraumtyp 1 Industrie und Gewerbe

Stadtraumtyp 2 Dichtes Stadtgebiet

Stadtraumtyp 2a Gründerzeitliche, zentrumsnahe Blockrandbebauung – Hanglage

Stadtraumtyp 2b Gründerzeitliche, zentrumsnahe Blockrandbebauung

Stadtraumtyp 2c Erweiterter Stadtkern

Stadtraumtyp 3 Stadterweiterung in der Ebene

Stadtraumtyp 3a Stadterweiterung – Nachkriegszeit

Stadtraumtyp 3b Verdichtete Bebauung der Stadterweiterung und alte Dorfkerne

Stadtraumtyp 3c Einfamilienhausstruktur (Westen Wiens)

² <http://envi-met.com/> (08.10.2014)

³ https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.projekt_uebersicht?sprache_in=de&menue_id_in=300&id_in=9456 (08.10.2014)

⁴ <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/uhi.html> (08.10.2014)

⁵ Siehe auch <http://urbanfabric.tuwien.ac.at/index.php/de/ergebnisse-endbericht> (06.10.2014)

- Stadtraumtyp 4 Freistehende und durchgrünte Bebauung in Hanglage
- Stadtraumtyp 5 Siedlungsrand in der Ebene
- Stadtraumtyp 6 Flussraum (Donau)
- Stadtraumtyp 6a Natürliche Auenlandschaft (Lobau)
- Stadtraumtyp 6b Gewässerernahe Grünbereiche
- Stadtraumtyp 6c Fluss und wassernahe landschaftspark (Donau, Prater und Donauinsel)
- Stadtraumtyp 7 Landwirtschaftliche Flächen
- Stadtraumtyp 8 Siedlungsrand in Hanglage zu Waldfläche
- Stadtraumtyp 9 Bewaldetes Hügelland (Wienerwald)

Die folgenden Abbildungen zeigen die Art der Charakterisierung der Stadtraumtypen und die Art der Empfehlung von Maßnahmen am Beispiel des Stadtraumtyps 1 „Industrie und Gewerbe“.

Im Kapitel Planungsempfehlungen des Endberichts wurden Maßnahmen für ein verbessertes Mikroklima zusammengefasst. Es sind dies vor allem Baumpflanzungen, Dachbegrünungen und Maßnahmen zur Entsiegelung, die je nach den spezifischen Gegebenheiten mit unterschiedlicher Ausprägung ausgeführt werden sollten. (Stiles et al. 2014)

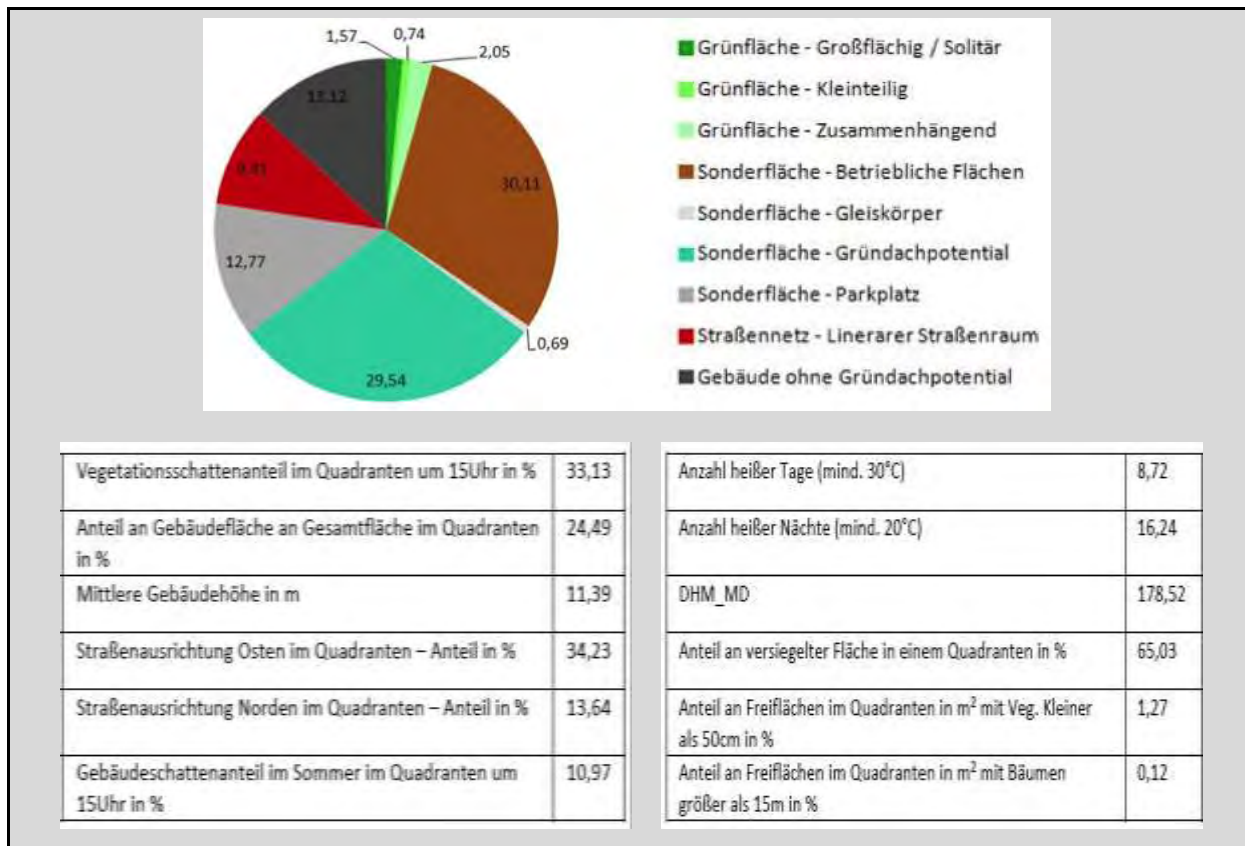


Abbildung 1: Urban Fabric + Microclimate: Charakterisierung Stadtraumtyp 1 "Industrie und Gewerbe" (Stiles et al. 2014)

| Priorität | Freiraumstruktur | Maßnahmen | Flächenanteil (FA) | Priorität* (unter Berücks. FA) |
|-----------|----------------------|--|--------------------|--------------------------------|
| 1 | Parkplätze | Entsiegelung und Baumpflanzungen (flächendeckend) | 13% | 2 |
| 2 | Gründachpotential | Dachbegrünung (flächendeckend) Wo statisch machbar möglichst intensive Dachbegrünung, da höherer mikroklimatischer Effekt und zusätzliche Grünflächen für Arbeiter und Anwohner | 30% | 1 |
| 2 | Straßennetz | Baumpflanzungen Fokus auf breite Straßen und auf Ost-West orientierte Straßen | 9% | 3 |
| 3 | Betriebliche Flächen | Entsiegelung und Baumpflanzungen (soweit möglich) Entsiegelung überall dort, wo keine Lagerfläche, Schwertransport oder Gefahrenstoffe Baumpflanzungen vor allem entlang der Betriebsgrenzen und vor den Betriebsgebäuden | 30% | 4 |

Abbildung 2: Urban Fabric + Microclimate; Charakterisierung der Stadtraumtypen; Planungsempfehlungen (Stiles et al. 2014)

5.2 Karten als Informationsquelle zur Optimierung des Mikroklimas

Bestehende Siedlungstypologien sind hinsichtlich Einschätzung des Kühlenergiebedarfs von Bebauungsstrukturen nicht geeignet, da kleinräumige Gegebenheiten und wechselseitige Einflüsse von Topographie, Bebauung, Vegetation und Mikroklima für die Ausbildung von Hitzeinseln ausschlaggebend sind.

Sogenannte Klimafunktionskarten, die Auskunft über die kleinräumigen Bedingungen und die Hitzeinseln im bebauten Gebiet geben, bieten zielführende Informationen, müssen aber spezifisch für ein bestimmtes Gebiet erstellt werden. Auf der Basis von Grundlagenkarten werden Klimadaten und Simulationsergebnisse zur Klimafunktionskarte verarbeitet, die dann als Informationsmaterial für die Stadtplanung dient. (Tschannett 2014)

Die folgende Abbildung zeigt Ausschnitte der Klimatopkarte von Graz.

Weiteres Kartenmaterial kann in Form von Solarpotenzialkatastern (informieren über die Eignung bestehender Dachflächen für die Solarenergienutzung⁶) und Gründachpotential-katastern erstellt werden (informieren über die Eignung von bestehenden Dachflächen für die Nutzung als Gründach⁷).

⁶ <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/solar/> (08.10.2014)

⁷ <http://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/gruendachpotenzial.html> (08.10.2014)

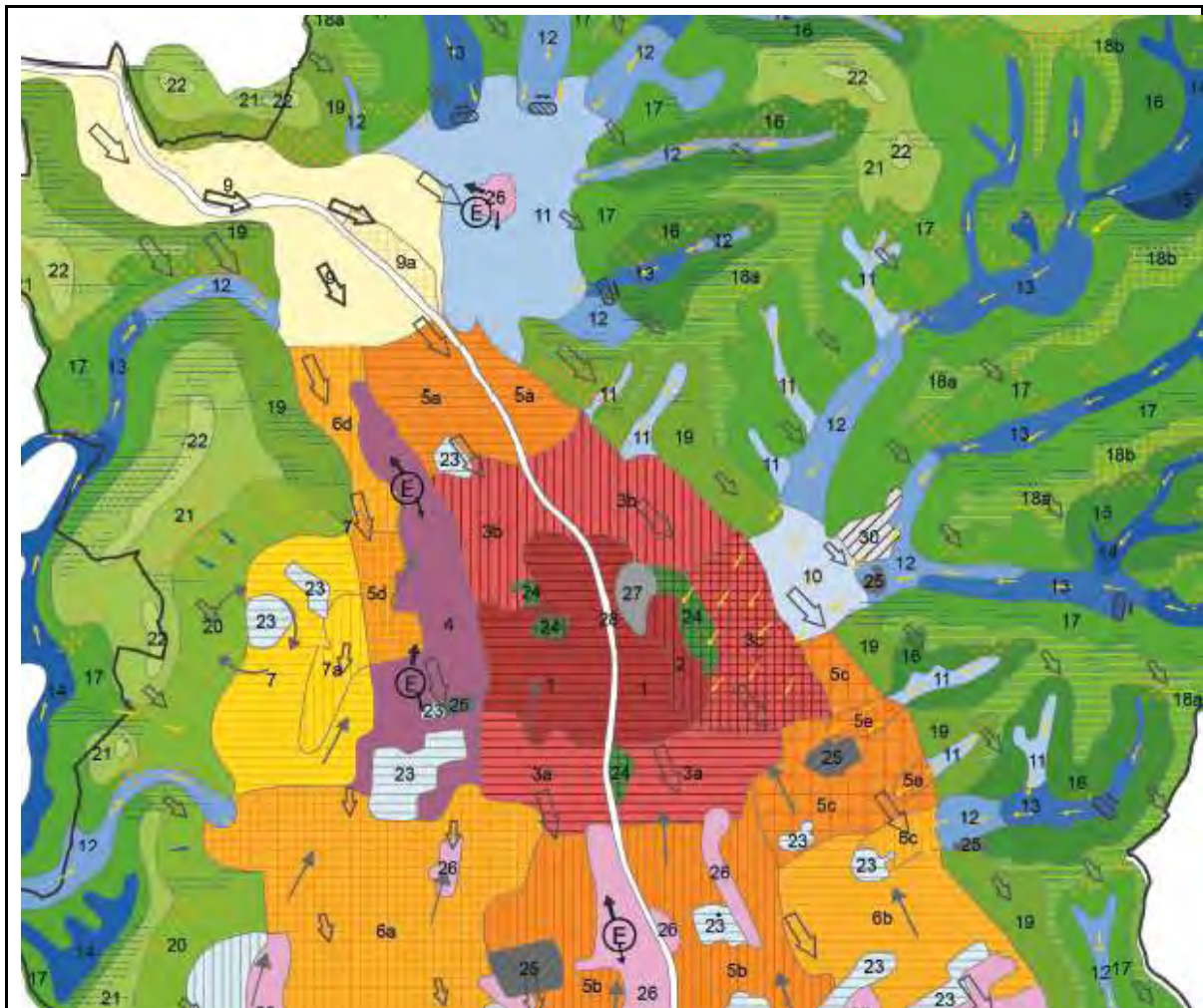


Abbildung 3: Auszug Klimatopkarte Graz (www.geoportal.graz.at, 08.10.2014)

5.3 Softwareprogramme zur Simulation des Mikroklimas

Folgende Softwareprogramme können zur Analyse mikroklimatischer Effekte eingesetzt werden:

ENVI-met ist ein 3D-Mikroklimamodell zur Simulation von Wechselwirkungen zwischen Oberflächen, Pflanzen und Luft und zur Simulation von Auswirkungen von Begrünungen auf den Komfort im Außenbereich. (Perini und Magliocco 2014)

Urban Microclimate uwg v.2.0 ist ein Optimierungstool zur Energiereduktion und zur Anhebung des thermischen Komforts in der Stadt hinsichtlich der Steuerung des Hitzeinseleffekts. Es dient der Simulation von Maßnahmen (Variation von Gebäudehöhen, Begrünungsdichte, Verkehrsaufkommen und verwendeter Materialien) unter Berücksichtigung der individuellen städtischen Morphologie, Geometrie, Oberflächenmaterialien, der Temperatur und des Energieverbrauchs. Das Tool befindet sich noch in Entwicklung. (MIT 2014)

Ansys-Fluent 12 nutzt numerische Strömungsdynamik (CFD – Computational Fluid Dynamics) zur Berechnung von Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und Windrichtungen. (Saneinejad et al. 2014)

EnergyPlus building energy simulation software kann zur Berechnung von Oberflächentemperaturen und des sensiblen Wärmestroms wie auch zur Berechnung des Energieverbrauchs in Gebäuden eingesetzt werden. (Scherba et al. 2011)

Im *Building Energy Software Tools Directory* des *US Department of Energy* sind zahlreiche Tools aus dem Bereich „Solar/Climate Analysis“ aufgelistet:

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/subjects.cfm/pagename=subjects/pagename_menu=other_applications/pagename_submenu=solar_climate_analysis (08.10.2014)

5.4 Klimasimulationsmodell MUKLIMO_3

MUKLIMO_3 dient der Untersuchung von Luftbeimengen-Ausbreitungen und der Analyse von Strömungsverhältnissen für lokale Bereiche; das Programm wurde z. B. im Rahmen des FOCUS-I Projektes der ZAMG zur Darstellung zukünftiger Wärmebelastungen in der Stadt Wien herangezogen. (ZAMG s.a. c), (DWD 2013)

Das Stadtklimamodell MUKLIMO_3 (3-dimensionales mikroskaliges urbanes Klimamodell) des Deutschen Wetterdienstes wurde speziell zur Untersuchung stadtklimatologischer und geländeklimatologischer Fragestellungen entwickelt (Sievers und Zdunkowski 1986; Sievers 1990 und 1995).

Basierend auf den Prinzipien der Massenerhaltung, Energieerhaltung und Impulserhaltung berechnet MUKLIMO_3 auf einem 3-dimensionalen Rechengitter den Tagesgang des Windes, der Temperatur und Feuchtigkeit in der Atmosphäre und im Erdboden, der solaren und thermischen Strahlung sowie vieler weiterer relevanter Parameter. Die räumliche Auflösung des Modells liegt typischerweise zwischen wenigen Metern und mehreren hundert Metern. (Sievers 2012)

Anhand regionaler Klimamodelle wurden die Auswirkungen des Klimawandels für detaillierte Stadtstrukturen gezeigt. Mit Hilfe der am Beispiel Frankfurt/Main entwickelten sogenannten "Quadermethode" konnte erstmals sowohl die vergangene als auch die zukünftige Wärmebelastung für Frankfurt am Main unter Berücksichtigung der vielfältigen Bebauungsstrukturen und sonstiger Flächennutzungen simuliert werden. Auch die klimatischen Auswirkungen der größeren Planungsvorhaben der Stadt wurden in diesem Zusammenhang untersucht. (Früh et al. 2011)

Die folgende Tabelle zeigt eine Einteilung in Stadtstrukturtypen und statistische Parameter zur Beschreibung der städtischen Bebauung für die MUKLIMO_3 Landnutzungsklassen (von links nach rechts): mittlerer Gebäudegrundflächenanteil in %, mittlere Gebäudehöhe in m, mittlerer Wandflächenindex, mittlerer Versiegelungsanteil der nicht bebauten Fläche zwischen den Gebäuden.

Tabelle 6: MUKLIMO_3 Landnutzungsklassen (Früh et al. 2011)

| Klasse | Beschreibung | γ_b | h_b | w_b | v |
|--------|--|--------------|-----------|---------------|------|
| 1 | Siedlung (dicht) | 0,30 | 15 | 2,70 | 0,80 |
| 2 | Siedlung (locker) | 0,12 | 8 | 2,80 | 0,25 |
| 5 | Gewerbegebiet (dicht) | 0,55 | 20 | 0,90 | 0,55 |
| 6 | Gewerbegebiet (locker) | 0,30 | 12 | 1,50 | 0,80 |
| 10 | Bankenviertel (primär) mit Hochhäusern (sekundär) | 0,45 0,05 | 23 150 | 4,49 29,25 | 0,95 |
| 11 | Ein- und Mehrfamilienhäuser (locker) | 0,20 | 9 | 2,88 | 0,30 |
| 12 | Dorfkern und Einfamilienhäuser (dicht) | 0,50 | 9 | 2,23 | 0,80 |
| 13 | Reihenhaussiedlung | 0,35 | 9 | 1,73 | 0,30 |
| 14 | Zeilenbebauung (mittel) | 0,16 | 16 | 3,68 | 0,80 |
| 15 | Zeilenbebauung (dicht) (primär) und Hochhäuser (sekundär) | 0,12 0,02 | 23 54 | 4,49 10,53 | 0,90 |
| 16 | Blockbebauung | 0,32 | 16 | 3,08 | 0,80 |
| 17 | City (ab Mitte 19. Jh.) | 0,55 | 19 | 2,14 | 0,90 |
| 18 | Historischer Stadtkern | 0,68 | 16 | 1,62 | 0,95 |

Die Quadermethode wurde auf das Stadtgebiet von Frankfurt am Main zur Analyse sommerlicher Hitzeperioden angewendet.

Es wurde die Überschreitung folgender Schwellenwerte untersucht:

- Sommertage mit einer Tageshöchsttemperatur von $\geq 25^\circ\text{C}$
- Heiße Tage mit einer Tageshöchsttemperatur von $\geq 30^\circ\text{C}$
- Biergartenabende mit einer 20 MESZ Lufttemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$
- Sommerabende mit einer 22 MESZ Lufttemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$
- Warme Nächte mit einer Minimumtemperatur $\geq 17^\circ\text{C}$
- Tropennächte mit einer Minimumtemperatur $\geq 20^\circ\text{C}$

Die Simulationen zeigten, dass zusätzliche Bebauung zu einer Zunahme von Sommertagen und Sommerabenden führt.

6 Anhang: Mikroklimatische Maßnahmen und Kühlwirkung

Es gibt zahlreiche Leitfäden für die Berücksichtigung von mikroklimatischen Maßnahmen bei der Planung von Quartieren und bei der Standortwahl für Gebäude.

Folgende Materialeigenschaften beeinflussen das Mikroklima (Hagen 2013): spezifische Dichte, Speicherkapazität von Wärme, Wasser und Luft, Wärmeleitfähigkeit, Oberflächenrauheit, Porosität und Reflexionsgrade (Albedo). In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse aktueller Forschungsarbeiten zu folgenden Themen zusammengefasst:

- Einfluss des Sky View Factors (SVF) auf das Mikroklima
- Einfluss veränderter Albedo-Werte auf das Mikroklima
- Rolle von gebäudeintegrierten Solartechnologien für das Mikroklima
- Einfluss von Grünflächen auf das Mikroklima
- Einfluss von Wasserflächen auf das Mikroklima

Das Zusammenspiel und die Wirkung von Einzelmaßnahmen ist von den Rahmenbedingungen der einzelnen Städte wie Klima, Lage und Baustandard abhängig.

6.1 Sky View Factor (SVF)

Der Sky View Factor (SVF) gibt den Grad der Sichtbarkeit des Himmels von einem bestimmten Punkt am Boden aus an und wird in einem Wertebereich von 0 bis 1 als einheitslose Zahl angegeben. Auf Freigeländen ist dieser Faktor höher als in dicht verbauten Stadtgebieten und erlaubt dadurch einen höheren Reflexionsgrad von Strahlung in Richtung Firmament. Ist der SVF gering, so verbleibt ein hoher Anteil der Wärme im Stadtgebiet und wird nicht abtransportiert. (EPA 2008)

Folgende Studien beschäftigen sich mit den Zusammenhängen von SVF und Temperaturdifferenzen in Bodennähe: Unger (2009) und Svensson (2004).

6.2 Albedo und Emissionsfaktor

Bei der Beschaffenheit von Oberflächenmaterialien sind folgende Eigenschaften relevant: der solare Reflexionsgrad (Albedo) und die IR-Emission (Infrarot-Emissionsfaktor).

Ein hoher solarer Reflexionsgrad führt zu einer geringeren Absorption von Solarstrahlung und folglich zu geringeren Oberflächentemperaturen. Ein hoher IR-Emissionsfaktor ermöglicht die schnellere Abgabe von IR-Strahlung und senkt dadurch ebenfalls die Oberflächentemperaturen. In Summe resultiert eine geringere Wärmeeinbringung in das Gebäude, wodurch der Kühlenergiebedarf gesenkt wird, und in einer geringeren Wärmebelastung der direkten Umgebung. (Santamouris et al. 2011)

Santamouris et al. (2011) kommen zu dem Schluss, dass helle Materialien tagsüber geringfügig höhere Temperaturen im Vergleich zur Umgebungstemperatur aufweisen, nachts liegen diese unter jenen der Umgebungstemperatur. Spezialmaterialien, welche einen hohen Reflexionsgrad im IR-Bereich aufweisen, haben vergleichsweise eine noch bessere Performance im Temperaturverlauf der Oberflächen.

Hochreflektierende Materialien zeigen den besten Kühleffekt im Sommer, führen aber während der Wintermonate zu einem erhöhten Heizwärmebedarf. Die Studie verweist auf die notwendige weiterführende Erforschung und Entwicklung von Materialien mit z. B. dynamischen optischen Eigenschaften, welche ihre Reflexionsgrade als Funktion der Umgebungstemperatur und Solarstrahlung ändern können. (Santamouris et al. 2011)

In diesem Zusammenhang sind die Arbeiten von Rossi et al. (2014) zu sehen: In einer Studie aus dem Jahr 2013 wurden sogenannte retro-reflektive (RR) Materialien (Materialien, welche einfallende Lichtstrahlen an die Lichtquelle reflektieren) auf ihre Rückstrahlungsintensität hin untersucht. Die Studie lässt erkennen, dass RR-Materialien den gegenseitigen Rückstrahlungseffekt von Gebäuden in engen Straßenschluchten durch direkte Rückstrahlung ins Firmament minimieren. Der Einsatz von RR-Materialien in der städtebaulichen Gestaltung von Fassaden und Straßen stellt somit einen innovativen Lösungsansatz zur Minimierung des außeninduzierten Kühlenergiebedarfs dar. Eine quantitative Performance-Messung wurde in der Studie nicht durchgeführt. (Rossi et al. 2014)

6.3 Photovoltaik-Module und Mikroklima

Durch die Zunahme von Photovoltaikanlagen (PV) auf Dächern und Fassaden verändert sich die Oberflächenbeschaffenheit einer Vielzahl von Gebäuden. Im Folgenden werden Studien beschrieben, die sich mit dem Einfluss von PV-Modulen auf das Mikroklima befassen.

Tian et al. (2007): Schwerpunkt ist die Darstellung der Auswirkungen von hinterlüfteten Photovoltaik-Paneelen auf das Mikroklima die Stadt Tianjin in China. Der Fokus der Tianjin-Studie lag dabei ausschließlich im Betrachtungsbereich des Urban Canopy Layers (UCL). Unter UCL⁸ ist jene mikroklimatische Schicht im urbanen Bereich zu verstehen, die sich zwischen Boden und knapp unter der Dachkante befindet.

Die Studie zeigt folgendes:

- Es sind geringere maximale Oberflächentemperaturen von PV-Dächern um bis zu 9,4 K (Temperatur der PV-Module) im Vergleich zu Dächern ohne PV-Module und geringere maximale Oberflächentemperaturen von PV-Fassaden um bis zu 4,6 °K (Temperatur der PV-Module) im Vergleich zu Fassaden ohne PV zu beobachten. Über den Tagesverlauf sind die Oberflächentemperaturen der PV-Module wesentlich geringer als jene der üblichen Fassaden und Dächer. Die Abstrahlung von PV-Flächen muss daher im Tagesverlauf vergleichsweise höher sein und der Wärmestrom ins Gebäude somit geringer. In der Nacht ist der Unterschied (Sommer wie Winter) vernachlässigbar.
Der positive Effekt durch Reflexion und Abstrahlung ist in seinem Umfang von den Referenz-Albedo-Werten einer Fassade und von Dächern abhängig. Je höher die Albedo des Referenzmaterials, desto weniger sind die positiven Effekte der PV-Module erkennbar.
- Es sind kaum Temperaturunterschiede in den Häuserschluchten erkennbar (abhängig vom Verhältnis von Oberflächen und Luftvolumen in den Häuserschluchten).
- Durch den Verschattungseffekt von PV-Modulen verringert sich der Kühlbedarf im Innenraum, wodurch Wärmeemissionen von Kühlaggregaten an die Umgebung um bis zu 15 % reduziert werden können.
- Eine Wirkungsgradsteigerung von PV-Modulen um 0,1 kann zu einer Reduktion der maximalen Oberflächentemperatur von bis zu 3,8 K an Dächern und bis zu 4,7 K an Fassaden führen. Im Bereich der maximalen Lufttemperaturen in den Häuserschluchten ist bei solch einer Wirkungsgradsteigerung eine Reduktion von bis zu 1,1 K möglich. Der Wärmestrom in die urbane Umgebung wird durch Wirkungsgradanhebungen reduziert. (Tian et al. 2007, zitiert in Frey 2014)

Die Studie aus China zeigt, dass durch die Implementierung von PV-Paneelen positive urbane Effekte hervorgerufen werden können. Diese Effekte bestätigt eine Studie aus dem Jahr 2012/2013 jedoch nur teilweise.

⁸ Über UCL befindet sich UBL (Urban Boundary Layer), wo mikroklimatische Einflüsse wenig bis keine Relevanz haben.

Basierend auf den mikroklimatischen Daten von Los Angeles wurde gezeigt, dass eine hohe PV-Durchdringung mit verbesserten Wirkungsgraden einen verbesserten Beitrag zur Temperaturabsenkung leisten können, allerdings nicht in jenem Ausmaß, wie es in China nachgewiesen wurde. (Taha 2013)

Taha (2013) untersuchte in einem Zukunftsszenario eine insgesamt höhere Durchschnitts-Albedo der Stadt von ca. 0,28 unter Berücksichtigung einer großen PV-Durchdringung. Die höheren Reflexionsgrade können einen Temperaturanstieg von bis zu 0,1 K in der Stadt bedingen, wobei dieser Effekt durch eine Wirkungsgradsteigerung der PV-Module kompensiert werden kann. Ab einem Wirkungsgrad von 30% konnte wieder ein Kühleffekt von 0,2 K festgestellt werden. Das Szenario wurde in der Studie aus heutiger Sicht als eher unwahrscheinlich eingeschätzt und das Ergebnis als vernachlässigbar eingestuft. Die Simulation für Los Angeles ergab weiters, dass ein Anstieg der städtischen Albedos um insgesamt 0,05 denselben Effekt hätte wie eine Wirkungsgradsteigerung bei großer PV-Durchdringung um 10-20 %. Zusammenfassend wurde die Beeinflussung der urbanen Temperaturen durch Photovoltaik-Module als unwesentlich beurteilt. Aus der Studie geht hervor, dass der Effekt von Photovoltaik-Modulen von den Anlagen-Wirkungsgraden (höhere Wirkungsgrade führen zu geringeren Oberflächentemperaturen der Anlagen und dadurch zu geringerer Wärmeabgabe in die Stadt) und von den städtischen Rahmenbedingungen abhängig ist. Der positive Effekt von PV-Modulen ist deutlicher bei geringen Stadt-Albedo-Werten als bei hohen Stadt-Albedo-Werten.

Scherba (2011) führte eine Parameterstudie für sechs ausgewählte amerikanische Städte in fünf unterschiedlichen Klimaregionen durch, um die Auswirkungen unterschiedlicher Dachbeläge auf das Mikroklima zu untersuchen (siehe folgende Tabelle). Die Ausgangssituation „schwarzes Dach“ wird mit einem hochreflektiven Cool Roof und einem Gründach verglichen. Dann wird die Ausgangssituation noch einmal mit unterschiedlichen Dachtypen verglichen, nun aber zusätzlich mit Photovoltaik-Modulen auf dem Dach.

Tabelle 7: Zusammenfassung Ergebnisse der Studie (Frey 2014 nach Scherba et al. 2011)

| | Täglicher Spitzenwert Wärmeabstrahlung an die Umgebung [W/m²] | Gesamt-Wärmestrahlung tagsüber an die Umgebung [Wh/m²] |
|---|---|--|
| Dachbeläge mit unterschiedlicher Albedo: | | |
| Schwarzes Dach (Ausgangssituation) | 331-405 | 2.200 – 2.700 |
| Weißes Dach (Cool Roof) | Reduktion: ~70 % | Reduktion : ~80-82 % |
| Gründach | Reduktion : ~72 % | Reduktion : ~50-55 % |
| PV-Installation auf folgenden Dächern: | | |
| Schwarzes Dach | Reduktion: ~2-3 % | Reduktion: ~11 % |
| Weißes Dach (Cool Roof) | Reduktion : ~40 % | Reduktion : ~55-60 % |
| Gründach | Reduktion : ~45-50 % | Reduktion : ~40-45 % |

Die maximale täglich ermittelte sensible Wärmeabstrahlung an schwarzen Dächern wird durch Aufdach-PV-Anlagen nicht bzw. nur sehr gering verbessert, allerdings ist die Gesamtstrahlung um 11 % geringer.

Durch eine Abänderung der Dachoberfläche auf hellere Farben (Änderung der Albedo) sinkt die gesamte sensible Wärmeabstrahlung signifikant zwischen 50 % (Gründach) und 80 % (weiße Dächer). Die maximale tägliche Wärmestrahlung sinkt vergleichsweise um 70 % bis 72 %.

Werden PV-Anlagen installiert, so wird die tägliche maximal gemessene sensible Wärmeabstrahlung bei hellen Dächern von 70 % auf ca. 40 - 50 % reduziert. Auch die Reduktion der Gesamtabstrahlung über den Tag reduziert sich von zirka 80 % bei weißen Dächern auf rund 60 % und bei Gründächern von zirka 50 % auf 40 % bis 45 %.

Gründächer haben in der Studie immer eine positive Wärmeabstrahlung, während weiße und schwarze Dächer während der Nachtstunden negative Wärmeabstrahlungen verzeichnen. Die Studie belegt, dass weiße Dächer hinsichtlich der Vermeidung von Hitzeinseln effektiver arbeiten als Gründächer, wobei zu berücksichtigen ist, dass in der Studie nur eine Art von Gründach simuliert wurde. Es wird gezeigt, dass veränderte Oberflächen-Albedos eine wesentliche Auswirkung verursachen, da diese zur Reduktion von Oberflächentemperaturen führen, welche den sensiblen Wärmestrom in die Atmosphäre vermindern. Bei Gründächern führt der Effekt der Evapotranspiration zusätzlich noch zur Reduktion der Spitzenwerte der Wärmestrahlung an die Umgebung. PV-Module haben einen wesentlichen Einfluss auf die Wärmestromabgabe an die Umgebung. Der Effekt ist aber nicht so deutlich wie jener durch die Veränderung von Albedo-Werten. (Scherba et al. 2011)

Bei Materialien mit hohen Albedo-Werten, welche aufgrund der baulichen Strukturen und geringem Sky View Factor nicht emittieren können, kann eine zusätzliche Aufheizung der Stadt jedoch nicht ausgeschlossen werden.

6.4 Einfluss von Grünflächen auf das Mikroklima

Pflanzen beeinflussen das Stadtklima in mehrerlei Hinsicht (Hagen 2013 und Wanga et al. 2014):

- Sie regulieren den Wasserhaushalt im oberflächennahen Erdreich und kühlen durch Evapotranspiration.
- Sie regulieren Starkwinde und unterstützen die Durchlüftung.
- Sie filtern Staubpartikeln aus der Luft und verbessert die Luftqualität.
- Sie beschatten darunter liegenden Flächen.
- Sie sind akustisch und optisch vorteilhaft.

Grünflächen bestehen zum einen in Form von öffentlichen Park- und Grünanlagen, zum anderen in Form von begrünten Fassaden und Dächern. Mehrere Studien befassen sich mit der Quantifizierung der Effekte durch Begrünungen auf das Mikroklima und werden im Folgenden kurz dargestellt.

Feyisa et al. (2014): Untersucht wurden Parkanlagen in Addis Ababa. In den Parkanlagen selbst sind Kühleffekte festzustellen. Einflussfaktoren sind die Baumart und der Baumkronenanteil. Spezielle Arten wie Eukalyptus zeigen in der Studie einen höheren Kühleffekt als zum Beispiel Oleander. Der Einfluss des Parks auf das Mikroklima in der nahen Umgebung hängt von der Parkgröße und von der Entfernung zur Parkanlage ab. Es wurden Kühleffekte auf die Umgebung zwischen 0,11 bis 6,72 K (3,93 K im Durchschnitt aller Ergebnisse) gemessen, wobei die Effekte mit der Entfernung zu den Grünanlagen und mit der Verringerung der Parkgrößen abnehmen.

Zang et al. (2013): Die Studie wurde in Peking durchgeführt und untersuchte den Kühleffekt verschiedener Grünflächentypen (hier bezeichnet als Strukturtypen: Bäume, Gras, Baum-Strauch-Kombination, Strauch-Graskombination, Baum-Gras-Strauchkombination) und ihre Anordnung in der Stadt (an der Straße, Grünbereiche im Wohnbereich, öffentliche Parkanlagen und Grünstreifen):

- Grünflächen kühlen bis zu durchschnittlich $8,35 \cdot 10^8$ J/ha und Tag über Evapotranspiration (ca. 232 kWh/ha und Tag);
- Der Strukturtyp Baum-Strauch-Gras weist in der Studie den größten Effekt auf, $11,16 \cdot 10^8$ J/ha und Tag (ca. 310 kWh/ha und Tag), gefolgt vom Strukturtyp Baum-Gras mit $7,04 \cdot 10^8$ J/ha und Tag (ca. 196 kWh/ha und Tag).

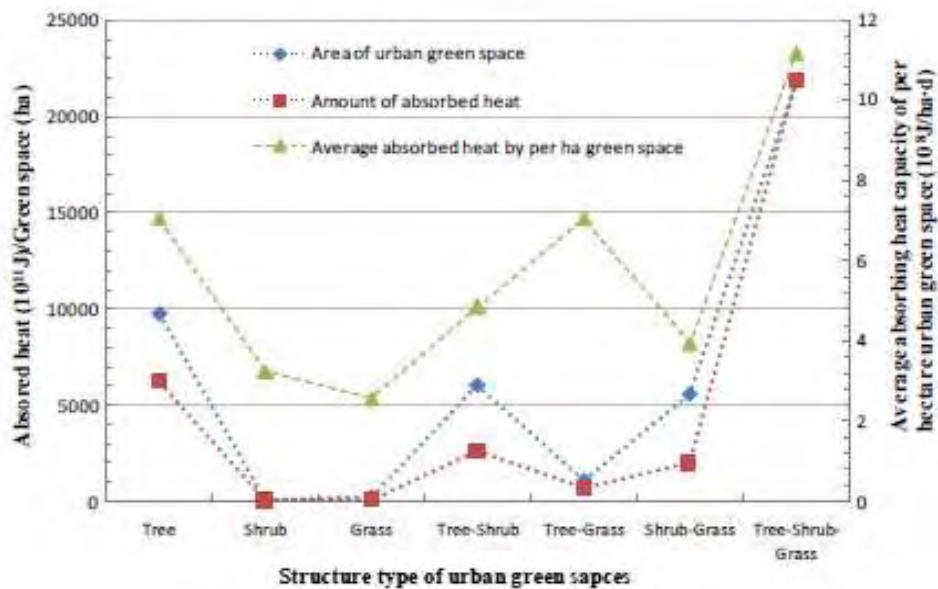


Abbildung 4: Absorbierte Wärmemenge pro Hektar Grünfläche in Peking (Zang et al. 2013)

Die Studie wurde 2013 basierend auf Daten aus acht Messpunkten in der Stadt erarbeitet. Begrünte Flächen wurden dabei mit Referenzflächen ohne Grünanteil verglichen. Die Evaporationsenergie wurde über durchschnittliche COP-Werte⁹ von ortsüblich eingesetzten Kühlgeräten auf die eingesparten Stromverbräuche rückgerechnet.

⁹ Die Leistungszahl ϵ einer Kompressionswärmepumpe (englisch COP = coefficient of performance) ist definiert als das Verhältnis der Mengen von erzeugter Nutzwärme und eingesetzter Antriebsenergie. Sie ist ein Maß für die Energieeffizienz unter bestimmten Betriebsbedingungen, charakterisiert durch die Temperatur des genutzten Wärmereservoirs und die Temperatur der erzeugten Nutzwärme. Die Leistungszahl wird in der Regel umso geringer, je größer der Temperaturunterschied zwischen Nutzwärme und kaltem Reservoir ist. Auch für Kältemaschinen kann eine Leistungszahl angegeben werden; hier bezeichnet sie das Verhältnis von Kälteleistung und Antriebsleistung. Sie wird auch als Wärmeverhältnis bezeichnet. Dieses ist immer geringer, da die Kälteleistung etwa um die Antriebsleistung geringer ist als die Wärmeeleistung.“ (Paschotta 2010)

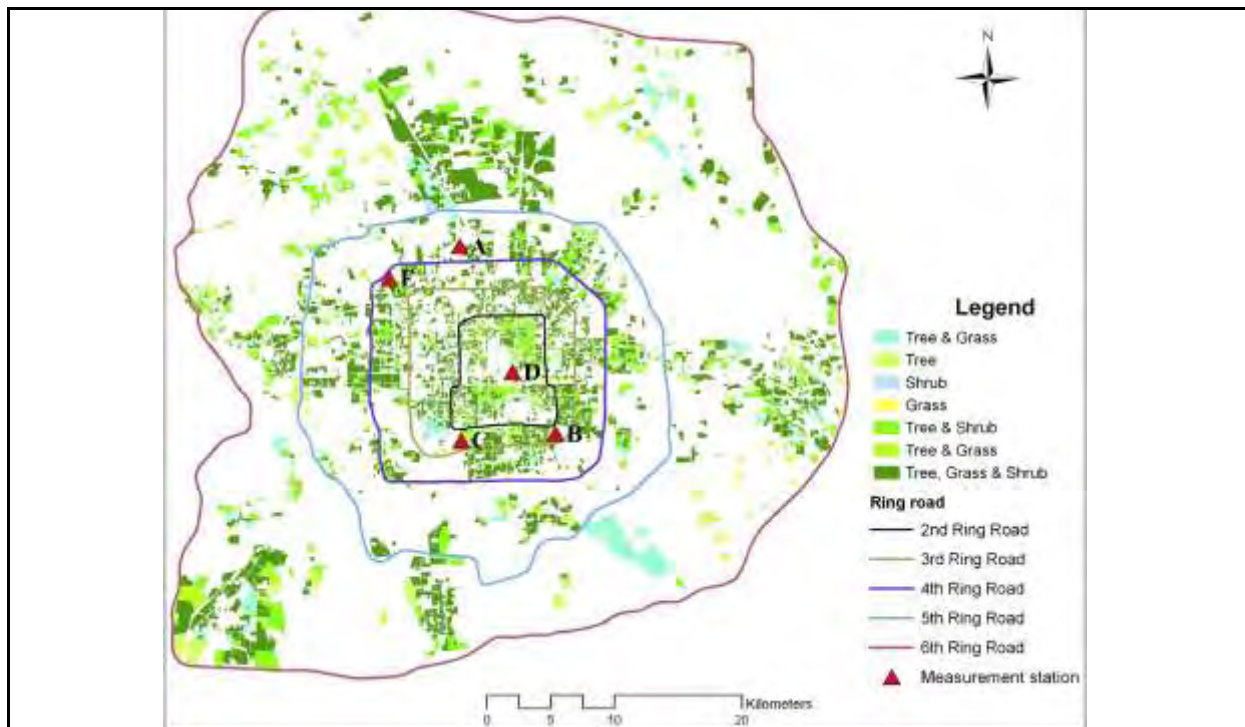


Table 1
Urban green space statistics for seven structural types in Beijing.

| Structure type | Definition/description | Area (ha) | Percentage (%) |
|------------------|--|-----------|----------------|
| Tree | Tree canopy density ≥ 0.2 ; total cover of shrubs and herbs $< 20\%$. | 9708 | 21.89 |
| Shrub | Total cover of shrubs $\geq 20\%$; tree canopy density < 0.2 ; total cover of herbs $< 20\%$. | 40 | 0.09 |
| Grass | Total cover of herbs $\geq 20\%$; tree canopy density < 0.2 ; total cover of shrubs $< 20\%$. | 188 | 0.42 |
| Tree-Shrub | Total cover of herbs $< 20\%$; tree canopy density < 0.2 ; total cover of shrubs $\geq 20\%$. | 6012 | 13.55 |
| Shrub-Grass | Tree canopy density < 0.2 ; total cover of shrubs and herbs $\geq 20\%$. | 5553 | 12.52 |
| Tree-Grass | Total cover of shrubs $< 20\%$; tree canopy density is < 0.2 ; total cover of herbs $\geq 20\%$. | 1055 | 2.38 |
| Tree-Grass-Shrub | Tree canopy density ≥ 0.2 ; total cover of shrubs and herbs $\geq 20\%$. | 21,800 | 49.15 |

Abbildung 5: Begrünungskonzept inklusive Flächen-/Strukturtypzuordnung (Zang et al. 2013)

Für die Simulation wurde ausschließlich der Effekt der Evapotranspiration berücksichtigt. Ergebnis war, dass in Peking über die quantitativ belegte Evapotranspiration der Grünflächen eine Absenkung der maximalen Umgebungstemperaturen zwischen 0,9-2,6 K möglich ist (vgl. Abbildung 6).

| Structural type | Green space type | Measurement station | Max air temperature reduction (°C) |
|------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Tree | Avenue | A | 2.34 [40] |
| Grass | Residential green space | B | 0.9 [26] |
| | Park green space | C | 0.8 [58] |
| Tree-Shrub | Greenway | D | 1.3 [5] |
| | Square green area | C | 1.9 [58] |
| Shrub-Grass | Residential green space | B | 1.3 [26] |
| Tree-Grass-Shrub | Residential green space | B | 4.8 [26] |
| | Roadside green space | E | 2.6 [70] |

Abbildung 6: Konzept Strukturtypen und deren Effekte zur Temperaturabsenkung im Außenbereich (Zang et al. 2013)

Der temperatursenkende Effekt der Begrünung im Außenbereich ist wichtig angesichts der Tatsache, dass der elektrische Bedarf für Kühlenergie bei mehr als 26°C Außentemperatur in Peking um $3,97 \times 10^8$ W steigt. Ausgehend von vor Ort gängigen Klimageräten mit COP-Werten von 2,6-3,2 ist eine Senkung des Kühlenergiebedarfs in Peking während der Sommermonate um $3,09 \times 10^8$ kWh möglich. Diese Senkung bedeutet eine Einsparung von zirka 60 % des Nutzenergiebedarfs für Kühlung. (Zang et al. 2013)

Wanga et al. (2014): Diese 2012/2013 in den Niederlanden durchgeführte Studie trägt festgestellte Effekte auf das Mikroklima aus 148 Studien zusammen und zeigt, dass Grünanlagen in sämtlichen Studien die Umgebungstemperaturen senken, die Innenraumtemperaturen senken und folglich positive Auswirkungen auf den Kühlenergiebedarf und die Energiekosten haben.

Tabelle 8: Effekte von Grünanlagen auf das Klima und den Energiebedarf (Frey 2014 nach Wanga et al. 2014)

| N | Relevante Funktion | Positive Auswirkungen | Negative Auswirkungen | Bemerkung |
|---|---------------------|---|--|---|
| 1 | Beschattung (Bäume) | Geringere thermische Lasten, Oberflächen-/Lufttemperaturen --> 80% geringere Dämmungsanforderungen an Dach und Wänden | | |
| 2 | Beschattung (Bäume) | Reduktion von Wand-/ Dachoberflächentemperaturen: -11 - 25 K | | USA (Kalifornien) |
| 3 | Beschattung (Bäume) | Reduktion von Wand-/ Dachoberflächentemperaturen: -9 K | | Australien (Melbourne) |
| 4 | Beschattung (Bäume) | Reduktion von Wand-/ Dachoberflächentemperaturen: -5 - 7 K Reduktion Innenraumtemperatur: -3K | | Nigeria |
| 5 | Beschattung (Bäume) | Einsparung von 30 % Kühlenergie in der heißen Zeit | | |
| 6 | Beschattung (Bäume) | 13 % Stromeinsparungspotential durch Beschattung bei konstanter Innenraumtemperaturen durch Kühlung | | |
| 7 | Beschattung (Bäume) | Reduktion der Außentemperatur: 0,9-2 K; Reduktion des Kühlenergiebedarfs: 20 - 30 % | | Ein Objekt (Beschattung durch mehrere Bäume) |
| 8 | Schutz | Reduktion der Windgeschwindigkeit in den Baumkronen um ca. 51 % durch die Aufstellung von Bäumen entlang von Gehbereichen | Aufstellung von Baumreihen in Mittelstreifen beeinflusst Temperatur/ Windgeschwindigkeit nicht signifikant | Betrachtung von 512 Betonwürfeln mit 8 Vegetationstypen |

| N | Relevante Funktion | Positive Auswirkungen | Negative Auswirkungen | Bemerkung |
|----|--|---|---|---|
| 9 | Beschattung (Bäume) Schutz | Monetäre Einsparung durch Beschattung von 53 - 61 % der Kühlkosten durch Beschattung in der warmen Jahreszeit | Verringerung Windgeschwindigkeit um 50% und Verringerung Heizkosten; mehr Kühlenergiebedarf bei weniger Luftgeschwindigkeit | Minimierung der Einstrahlungsleistung in 4 US-Städten |
| 10 | Beschattung (Bäume) Schutz; Evapotranspiration | Energieeinsparung zwischen 10 - 40 % in urbanen Gebäuden Energieeinsparung zwischen 20 - 30 % in Gebäuden des Umlandes | | Anhebung des Begrünungsanteils um 30 % in 4 Städten in Kanada |
| 11 | Beschattung (Bäume) | Kühleffekt zwischen 2,8 - 4,5 K (80% des Kühleffekts wurde auf die Beschattung zurück geführt) | | |
| 12 | Beschattung (Bäume) Schutz; Evapotranspiration | Maximale Reduktion des Kühlenergiebedarfs in nördlichen Gebieten durch Aufstellung von Bäumen an der Süd- und Westseite von Gebäuden möglich | | |
| 13 | Beschattung (Bäume); Evapotranspiration | Die Beeinflussung des urbanen Klimas ist von der Baumart, der Blattflächendichte und Evapotranspiration abhängig | | Ägypten (Kairo) |
| 14 | Beschattung (Bäume) Schutz; Evapotranspiration | Durch hohen Blattanteil / hohe Baumkronendichte kann Kühlenergiebedarf im Gebäude reduziert werden. Mittlere Außentemperatur wurde durch Verdopplung des Baumbestandes zwischen 0,9 (geringer Blattflächenindex) - 1,2 K (hoher Blattflächenindex) reduziert | | Malaysia |
| 15 | Beschattung (Bäume) Schutz; Evapotranspiration | Durch 20 % Begrünungsanteile (Baumpflanzung) Kühlenergieeinsparung von bis zu 77.000 kWh/Jahr (167 kWh / Baum --> abhängig von Baumart, der Baumkrone, Entfernung der Begrünung und Gebäudeorientierung) | | Toronto |
| 16 | Beschattung (Green wall/roof) Evapotranspiration | Reduktion der Raumtemperatur um 1 - 4,3 K; Reduktion der Oberflächentemperaturen um 1,9 - 60 K. | | Studien in unterschiedlichen Ländern |
| 17 | Beschattung (Green wall/roof) Evapotranspiration | Reduktion der Wärmestromdichte (Minimierung der Wärmegewinne im Sommer, Reduktion der Wärmeverluste im Winter) --> Reduktion der Innenraumtemperatur um 0,5 - 5 K. | | |
| 18 | Beschattung (Green wall/roof) Evapotranspiration | Durch ein dicht bewachsene Gründach können bis zu 60 % Wärmegewinne im Innenraum minimiert und Blendeffekte durch Oberflächen minimiert werden | Durch spärlich bewachsenes Gründach wird Untergrundsubstrat aufgeheizt | |
| 19 | Beschattung (Green wall/roof) Evapotranspiration | Energieeinsparpotential durch Green roofs and walls zwischen 2 - 48 % möglich (abhängig von Fassade, klimatischen Bedingungen und Bepflanzungsart). Einsparpotential ist bei schlecht gedämmter Bauweise am größten. | | |
| 20 | Beschattung (Green wall/roof) Evapotranspiration | Reduktion Umgebungstemperatur um 0,4 - 1,7 K; Reduktion Oberflächentemperatur um 0,7 - 30 K; Reduktion Innenraumtemperatur bis zu 2 K, was einer Kühllastreduktion von 5 - 90 % entsprechen kann. Weniger Wärmebedarf durch verringerten Wärmeverlust in den Wintermonaten. | | |
| 21 | Beschattung (Green wall/roof) Evapotranspiration | Minimierter Wärmeverlust im Winter um 5,5 kWh/Tag | Erhöhter Wärmeverlust im Sommer um 4,0 kWh/Tag | Einfamilienhaus im Winter |
| 22 | Beschattung (Green wall/roof) Evapotranspiration | Dichte Bepflanzung: gleichmäßigere Umgebungstemperatur im Dachbereich und Verminderung Wärmefluß um ca. 4 W/m². Je mehr desto geringere Innentemperaturen | | Dachgarten |
| 23 | Begrünung | Reduktion von CO ₂ -Emissionen durch Kraftwerke aufgrund geringerer Energieverbräuche durch Begrünungen: 1,9x10 ¹⁰ g C - 6x10 ¹⁰ g C → Minimierung anthropogener Effekte | | Sacramento, Baton Rouge und Salt Lake City 2000/2002 |

| N | Relevante Funktion | Positive Auswirkungen | Negative Auswirkungen | Bemerkung |
|----|---|--|-----------------------|--|
| 24 | Begrünung | CO ₂ -Reduktion von 1,7 - 2,8 % durch Anpflanzungen von Gras und 15 m hohen Bäumen | | |
| 25 | Beschattung (Bäume) | Reduktion der Kühlkosten von 53 - 61 % (155 - 249 Dollar/Baum und Jahr) | | Madison, Salt Lake City, Tucson, Miami |
| 26 | Evapotranspiration (Gras, Büsche) | Reduktion der Kühlkosten um 33 Dollar/Baum und Jahr während des Sommersmöglich | | Tucson (Arizona) |
| 27 | Beschattung, Evapotranspiration (Bäume) | Reduktion der Heiz- und Kühlkosten um 10 – 60 Dollar/Baum und Jahr | | 4 Städte in Kanada |
| 28 | Evapotranspiration (Green roof) | Reduktion der Energiekosten um 0,1 – 0,35 Dollar / m ² Gründach pro Jahr in Wohn- und Nichtwohngebäuden | | 10 US-Städte |
| 29 | Beschattung (Bäume) | Reduktion der Kühlenergiekosten um 0,1 – 0,23 Dollar / m ² Dachfläche | | Sacramento, Baton Rouge und Salt Lake City 2000/2002 |
| 30 | Evapotranspiration (Green roof) | Reduktion der Heiz- und Kühlkosten um 0,2 Dollar / m ² Gründach | | 2008 in Belgien |
| 31 | Windregulierung (Bäume) | Reduktion der Windgeschwindigkeiten um 50 % führen zu einer Reduktion der Heizkosten um 63 Dollar/Baum und Jahr | | USA |

Grünanlagen im urbanen Gebiet haben einen wesentlichen positiven Einfluss auf das städtische Klima. Sie erfüllen Funktionen der Verdunstungskühlung, der Beschattung, der Verbesserung der Luftqualität, der Windregulierung und der Verschönerung des urbanen Erscheinungsbildes. Nach Zang (2013) reduzieren sie den außeninduzierten Kühlenergiebedarf (Nutzenergie) um bis zu 60 %. Einzelne Studien zeigen negative Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf im Winter aufgrund veränderter Windstrukturen und Abschattungseffekte.

Zu beachten ist der Faktor der eventuell erforderlichen zusätzlichen Bewässerung. In Gegenden mit geringen Niederschlagsmengen kommen vorrangig standortgerechte Pflanzen mit geringem Wasserbedarf bzw. Alternativbewässerungen durch Nutzwasser zum Einsatz.

6.5 Einfluss von Wasserflächen auf das Mikroklima

Wasser ist in der Lage, Wärme zu speichern (hohe Wärmekapazität) und den Temperaturhaushalt der Umgebung damit zu regulieren. Durch Verdunstungskühlung wird die Temperatur der Umgebungsluft gesenkt. (Hagen 2013)

Steenefeld et al. (2014) zeigten jedoch mit einer in den Niederlanden durchgeführten Studie dass große Wassermassen unter bestimmten Bedingungen wenig zur Reduktion des Urban Heat Island Effekts beitragen. Es kann zwar über den Tag gesehen ein Kühleffekt durch Evaporation erzielt werden, während der Nachtstunden kann es jedoch zu einer Wärmeabgabe an die Umgebung aufgrund der Wärmespeicherkapazität des Wassers kommen. In vielen anderen Studien wurden die positiven Effekte von Wasserflächen an heißen Tagen zu heißen Tageszeiten gezeigt, nicht aber der Effekt über den gesamten Tag verfolgt.

6.6 Maßnahmen im Vergleich und in Wechselwirkung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde einzelnen Maßnahmen und ihrer Wirkungsweise nachgegangen. Dieses Kapitel ergänzt bereits vorliegende Informationen um den Vergleich von Maßnahmen miteinander und hinsichtlich der Stadtentwicklungsplanung insgesamt.

Saneinejad et al. (2014): In einer Studie aus 2013/2014 wurde eine Evaluierung des menschlichen Komforts – abhängig von Temperatur, Wind und relativer Feuchte – in einem 10x10m großen Straßenstück in Zürich (Schweiz) unter Berücksichtigung von Evapotranspiration, Beschattungen und Albedo-Veränderungen vorgenommen. Die Simulation wurde sowohl unter durchschnittlichen Sommerbedingungen als auch für Hitzeperioden durchgeführt. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass durch Evaporation aller Flächen durch Beregnung eine Reduktion der Umgebungstemperatur von ca. 3,5 K (vgl. Abbildung 7) als auch der mittleren Strahlungstemperatur¹⁰ herbeigeführt werden kann. Verglichen damit sind die ermittelten Kühleffekte durch Albedo-Veränderungen mit 4 bis 6 K Differenz und durch Verschattung mit 7,5 bis 8 K höher.

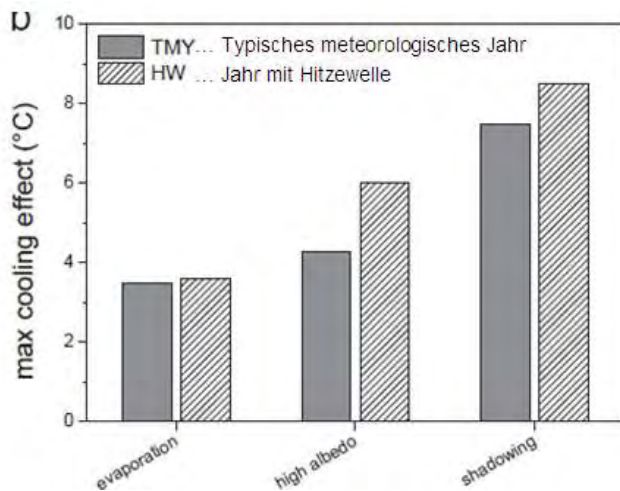


Abbildung 7: Vergleich der Kühleffekte von einzelnen Maßnahmen (Saneinejad et al. 2014)

Evaporation führt zu einem Anstieg des Dampfdruckes in den Straßen; die erhöhte Luftfeuchtigkeit wirkt sich negativ auf das menschliche Komfortempfinden aus. Die Studie sieht das größte Potential zur Komfortsteigerung im städtischen Raum im Bereich der Verschattungselemente.

Taleghani et al. (2014): Die Studie wurde 2013 in den Niederlanden durchgeführt und befasste sich mit dem Vergleich der mikroklimatischen Auswirkungen der Veränderung von Gebäudeorientierungen und Albedos sowie Planung von Grünanlagen und Wasserflächen in 18 Innenhöfen. Es wurde die Orientierung von Innenhöfen simuliert und in weiteren Schritten der Albedo-Wert der Fassaden von 0,1 auf 0,55 bzw. 0,93 verändert. Die Auswirkungen der Maßnahmen auf die mittlere Strahlungswärme im Innenhof wurden untersucht. Mittels Simulation von Wasserflächen im Innenhof (65 % Wasserfläche, 35 % Asphalt), sowie mittels Simulation von Wasserflächen und Grasflächen (65 % Wasserfläche, 35 % Gräser und Dachbegrünungen) wurden zusätzliche Untersuchungen hinsichtlich möglicher Kühleffekte durchgeführt. Simuliert wurde der heißeste Sommertag am 19. Juni 2000 in den Niederlanden sowie der heißeste Tag für das Jahr 2050 (durch Hochrechnung ermittelt).

Es wurde untersucht, inwieweit die Veränderung von Fassaden-Albedos Einfluss auf das direkte Mikroklima in den Innenhöfen ausübt. Es wurde gezeigt, dass die Veränderung der Albedos von dunklen Ziegeln auf weißen Marmor und hochreflektierende Flächen im Innenhofbereich einen Anstieg der mittleren Strahlungstemperatur um bis zu 30 K ergibt. Vorangegangene Studien, welche in diesem Zusammenhang in Straßenschluchten vorgenommen worden wurden, gaben keinen Hinweis auf diesen Effekt.

¹⁰ „Mittlere Strahlungstemperatur: gleichförmige Oberflächentemperatur eines umbauten Raumes, in dem eine Person dieselbe Menge an Strahlungswärme austauschen würde wie im tatsächlichen ungleichförmigen umbauten Raum“ (ON 2012b; S. 11)

In Innenhöfen wird diese signifikante Erhöhung mit den Reflexionen durch umliegende versiegelte Vertikal- und Horizontalflächen begründet. Trotz dieses Effektes ist eine Absenkung der Innenraumtemperaturen – bei geschlossenen Fenstern – zu verzeichnen.

Die Studie zeigt, dass in heißen Regionen Nord-Süd-orientierte Innenhöfe vorzuziehen sind, da sie die vergleichsweise geringsten Sonnenstunden aufweisen. Für kühlere Regionen empfiehlt sich eine Süd-West-Orientierung. In der Innenhofgestaltung ist auf eine Albedo-Verbesserung im Bereich der Horizontalflächen das Hauptaugenmerk zu legen, da dadurch einfallende solare Strahlung direkt zurück reflektiert werden kann. Grün- und Wasserflächen in Innenhöfen haben den gewünschten Effekt der Temperaturabsenkung der Außenluft. Durch den Beschattungseffekt in Bodennähe durch Gräser sinken die Oberflächentemperaturen am Boden. Evapotranspiration kühlt die darüber liegende Luftschicht. Daraus resultiert ein Absinken der mittleren Strahlungstemperatur.

Perini und Magliocco (2014): Die in den italienischen Städten Mailand, Genua und Rom durchgeführte Studie befasst sich mit den Wechselwirkungen von Bebauungsdichte, Gebäudehöhe, unterschiedlichen Grünflächen sowie deren Auswirkungen auf die potentielle Temperatur, die mittlere Strahlungstemperatur, deren Auswirkungen auf den PMV¹¹ und den thermischen Komfort sowie deren Auswirkungen auf den inneren Kühlenergiebedarf (an „Normsommertagen“ und an den „heißesten“ Sommertagen). Dem Modell wurden die klimatischen Daten der letzten drei Jahre aus den Monaten Juni, Juli und August um 10:00 vormittags zugrunde gelegt. Die in der folgenden Tabelle dargestellten Konfigurationen wurden miteinander kombiniert und simuliert.

Tabelle 9: Simulationskonfigurationen Bebauungsdichte, Gebäudehöhen, Begrünung (modifiziert nach Perini und Magliocco 2014)

| 1 | A | B | C | | D | |
|---|---|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 2 | | Grünflächen | Bebauungsdichte 1 | | Bebauungsdichte 2 | |
| 3 | Gründach Grünanlage | | Grün A 12.000 m ² | Grün B 24.000 m ² | Grün A 42.000 m ² | Grün B 72.000 m ² |
| | | | 30.000 m ² | 8.000 m ² | 37.900 m ² | 8.000 m ² |
| 4 | Bebauungsdichte 1 (30 % der Oberfläche, 32 Gebäude 30x20m, 32 Gebäude 30x30m) | | | | | |
| 5 | Gebäudehöhe A (14m) | x | x | x | | |
| 6 | Gebäudehöhe B (24m) | x | x | x | | |
| 7 | Bebauungsdichte 2 (50 % der Oberfläche, 55 Gebäude 30x20m, 53 Gebäude 30x30m) | | | | | |
| 8 | Gebäudehöhe A (14m) | x | | | x | x |
| 9 | Gebäudehöhe B (24m) | x | | | x | x |

Die Untersuchungen zeigen, dass die maximalen Kühleffekte unter folgenden Bedingungen erzielt werden können:

- Am heißesten Sommertag;
- Bei geringer Gebäudedichte (vergleichsweise relativ hoher Anteil an Parkanlagen: besser Kühleffekt durch Sträucher, Bäume und Gräser);
- Bei hohen Gebäudehöhen (gegenseitige Beschattung, Dachflächen als Gründächer).

¹¹ „Predicted Mean Vote PMV, Bewertungsgröße für den thermischen Wirkungskomplex. Ursprünglich wurde der PMV-Wert zur Beurteilung von Innenraumklimaten entwickelt und überdeckte einen Wertebereich von -2 bis +2. Mit Hilfe dieser Bewertungsgröße kann angegeben werden, ob sich im Mittel ein Personenkollektiv unter den jeweiligen thermischen Bedingungen subjektiv unbehaglich fühlt. In die Bestimmung des PMV-Wertes gehen meteorologische Größen (Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Feuchte und Windgeschwindigkeit) und andere Größen (Aktivität, Wärmeisolation der Bekleidung) ein. Die ursprüngliche Skala wurde erweitert und umfasst heute eine Spanne von -3,5 (extreme Kältebelastung) bis +3,5 (extremer Hitzestress).“ (GeoDZ 2010)

Im Bereich hoher Bebauungsdichten und hoher Gebäude unter Einsatz von großflächigen Grünanlagen und Gründächern können unter Berücksichtigung der in der Messung erhobenen Senkung der potentiellen Umgebungstemperatur Reduktionen des Kühlenergiebedarfs zwischen 20 und 37 % erzielt werden, wobei für Beginn der Kühlanforderung 26°C spezifiziert wurden.

7 Anhang: Aus der Vergangenheit lernen

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts verbreitete sich die Idee, ein angenehmes Innenraumklima mithilfe von Technik und unabhängig von den äußeren Standortbedingungen bereitzustellen. Während ArchitektInnen über Jahrhunderte die Gegebenheiten des Standortes in einer Art und Weise genützt hatten, dass negative Effekte hintangehalten und positive Effekte verstärkt wurden, wurde nun überall ähnlich gebaut ("International Style of Architecture"), und die Standortnachteile wurden mit Gebäudetechnik und Energieeinsatz ausgeglichen. Die erste Energiekrise in den 1970er Jahre bewirkte ein Umdenken. (NTNU 2013) Vor dem Hintergrund der ressourceneffizienten und nachhaltigen Gebäudeerrichtung und Nutzung wurde das Potential der *Vernacular Architecture* (einheimische/volkstümliche Architektur) wiederentdeckt: ohne Gebäudetechnik war es über Jahrhunderte überlebensnotwendig, standortangepasste Strategien zu optimieren.

In den vergangenen Jahrzehnten wurden diese Designprinzipien vor allem in Entwicklungsländern wiederentdeckt, da sie nicht nur die energetischen, sondern auch die finanziellen Ressourcen schonen. (Zhai and Previtali 2010)

Erkenntnisse aus der *Vernacular Architecture* sind in der sogenannten Bioklimatischen Architektur wiederzufinden. Darunter versteht man die Nutzung der Gegebenheiten des Standorts um ein gutes Innenraumklima mit möglichst wenig Gebäudetechnik und Energieeinsatz zu erreichen. Die wichtigsten Grundprinzipien sind die Art des Umgangs mit der solaren Einstrahlung und mit Luftströmungen (siehe folgende Abbildung). (NTNU 2013)

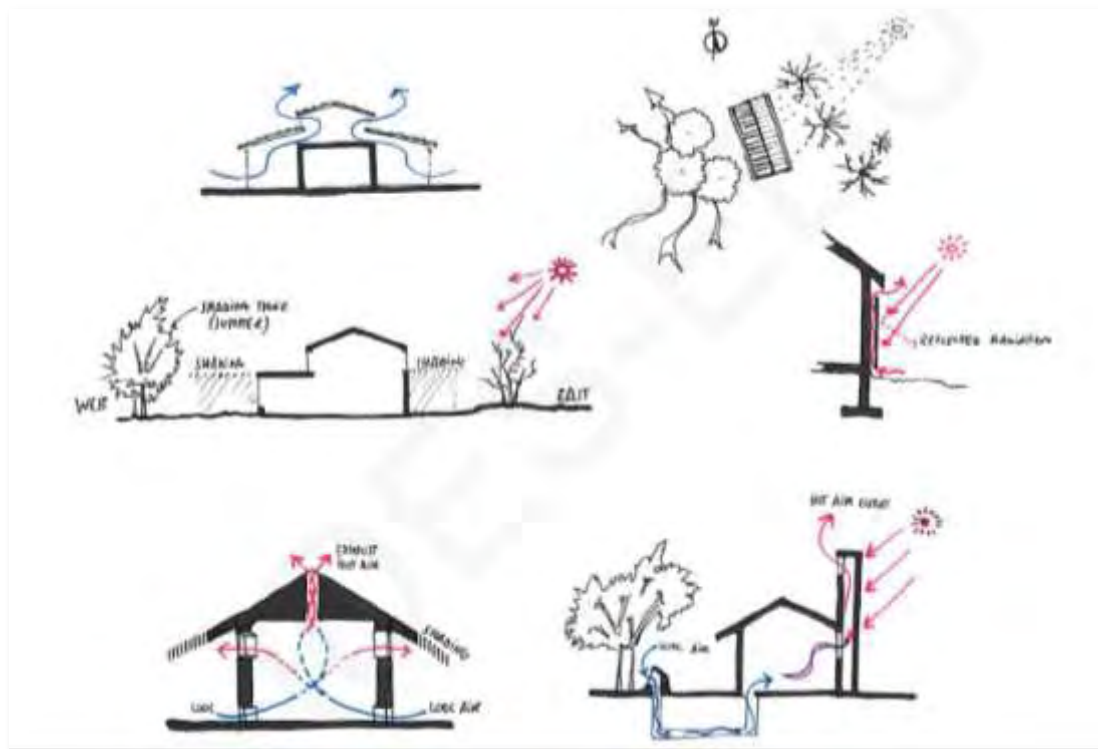


Abbildung 8: Überblick bioklimatische Prinzipien (NTNU 2013)

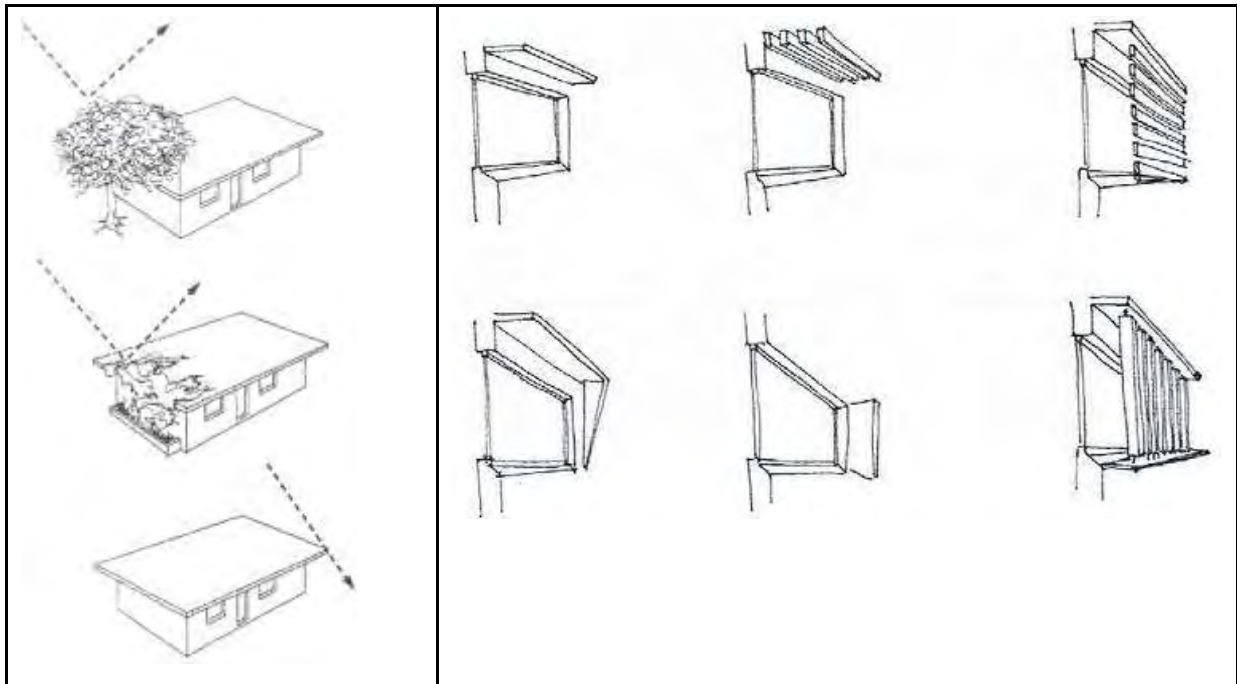


Abbildung 9: Bäume, Grünpflanzen und Dachüberhänge als Schutz vor solarer Einstrahlung (links); Beispiele für externe Beschattung (rechts) (Lopes and Guedes 2011)

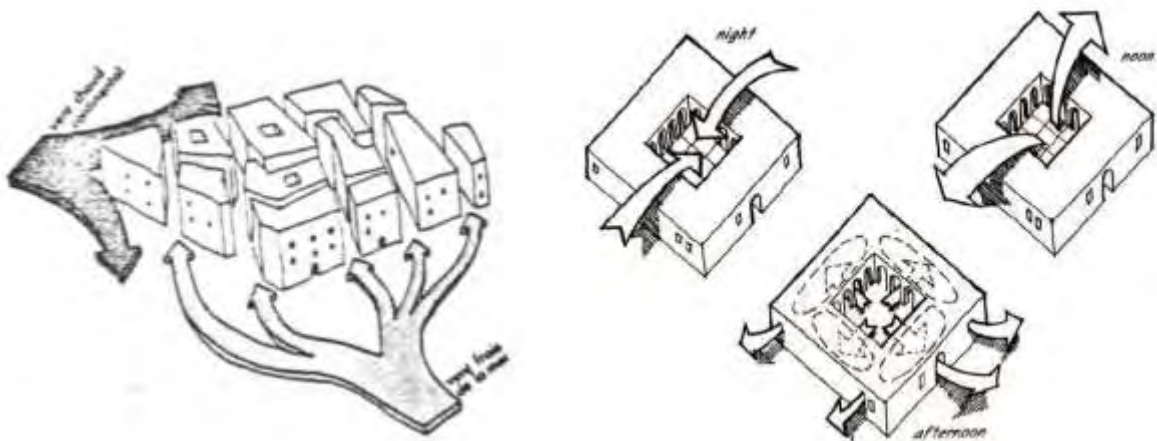


Abbildung 10: Nützen günstiger Winde und Vermeiden von ungünstigen Winden durch entsprechende Gebäude und Quartiersplanung (UF 2013)

Über Jahrhunderte bewährte Baustile verschwanden aufgrund von neuen technischen Möglichkeiten, aber auch aufgrund von sich ändernden Anforderungen an den Lebensraum – z. B. Verdichtung von Flächen im urbanen Bereich – von der Bildfläche und werden nun vor der Zielsetzung einer ressourcensparenden Bauweise wiederentdeckt.

8 Anhang: Good Practice Beispiele

8.1.1 Masdar City

Masdar City wird in Abu Dhabi gebaut und ist Stadtprojekt der Firma Masdar, welche 2006 als 100%-Tochter der lokalen Regierung gegründet wurde. Das Projekt „Masdar City“ basiert auf folgenden Nachhaltigkeitsbereichen: Energiemanagement und -erzeugung, Wassermanagement und -bereitstellung, Abfallmanagement, Transportmanagement und Logistik, Verwendung nachhaltiger Rohstoffe und Materialien im Gebäudesektor sowie Planung, Engineering und Architektur. (Abu Dhabi Future Energy Company PJSC 2011)

Der Stadtentwicklung liegt ein Energiekonzept zugrunde, das unter Beteiligung des deutschen Instituts Transsolar entwickelt wurde. Bei der Konzeption fanden lokale Gegebenheiten und vernaculare Grundsätze Berücksichtigung:

- Die Stadtorientierung wurde an der optimierten Windbelüftung ausgerichtet. Während des Tages kommt ein warmer Wind vom Meer, der sich über den flachen Gewässern mit einer Temperatur um 35°C bis 45 - 47°C aufheizt und sehr viel Feuchtigkeit beinhaltet. Dieser Wind wird durch die Art der Anordnung der Gebäude und die Art des Straßenverlaufs blockiert und so am Eintritt in die Stadt gehindert. Der Eintritt kühlender Nachtwinde wird ermöglicht.
- Wegen der hohen Außentemperaturen wurde der solare Wärmeeintrag mittels baulicher Strukturen minimiert. Die Bebauung ist dicht und die hohen Gebäude beschatten einander und die Straßen, wobei die maximale Gebäudehöhe auf fünf Stockwerke beschränkt ist.

Der Anspruch auf CO₂-Neutralität für Masdar City erforderte die Entscheidung, Autos mit Verbrennungsmotoren aus der Stadt zu verbannen. Es wurde ein gesamtheitliches Transportkonzept entwickelt, welches den Fokus auf den Fußgängerverkehr und den öffentlichen elektrifizierten Verkehr legt. Daher werden die Gehbereiche im Außenbereich mittels Beschattungen attraktiv gestaltet. Oberflächentemperaturen werden dadurch reduziert. Diese Maßnahmen reduzieren den Bedarf an Belüftung der Stadt, der u. a. vom Hitzeinsel-Effekt abhängt. Mit Hilfe eines isothermischen Strömungsmodells wurde untersucht, wie breit und lang Straßen bevorzugt ausgelegt werden sollten. Um den Einfluss der Photovoltaik-Dächer auf das Mikroklima der Stadt zu untersuchen, wurde ein vereinfachtes Modell einer ganzen Straße erstellt. Die Ergebnisse erlaubten Rückschlüsse auf die Gestaltung der Straßen und Plätze. Durch detaillierte Modelle konnten Regeln für das Entstehen eines „cold island effect“ abgeleitet werden, das Absenken der Umgebungstemperatur. Außerdem entstand eine Neuinterpretation des historischen Windturmes der Emirate, der die Straße vor Sonneneinstrahlung und Wind schützt und gleichzeitig als Belüftungselement eingesetzt werden kann. Mit der vorgeschlagenen Ausrichtung und Dimensionierung des Stadtrasters konnten die Anforderungen an die Luftqualität gesichert und das lokale Klima optimiert werden.¹²

Auf Gebäudeebene gibt es strikte Vorgaben zur Energiebedarfsreduktion und Gebäudeeffizienz wie Gebäudedämmung, Verwendung energiesparender Beleuchtung, Vorgaben hinsichtlich der Verglasungsanteile zur Minimierung solarer Wärmeeinträge, Berücksichtigung von natürlicher Beleuchtung zur Minimierung des Strombedarfs, sowie die Installation von Smart Meters und Management Systemen für ein Last- und Energiemanagement des lokalen Netzes. Der Restenergiebedarf wird vollständig mit erneuerbaren Energien gedeckt.

¹² TRANSSOLAR Energietechnik GmbH – www.transsolar.com
http://www.transsolar.com/htmldocs/04_projekte/04_projekte_masdar_e.htm (15.09.2014)

Für die Warmwasserbereitstellung werden Vakuum-Röhrenkollektoren vorgesehen, der Betrieb von Absorptions-Kältemaschinen zur Deckung des erforderlichen Kühlenergiebedarfs erfolgt über eine Teststellung von Solar-Konzentratoren (Bündelung von Sonnenstrahlung zur Stromerzeugung) und Geothermie zur Realisierung von Fernkälte. Zusätzlich verfügt die Stadt derzeit über eine 10 MW PV-Großanlage sowie eine 1 MW PV-Anlage in Form von Aufdach-Anlagen. Auf einen großflächigen Einsatz von Grünanlagen und Pflanzen wurde aufgrund der Wasserknappheit verzichtet. (Abu Dhabi Future Energy Company PJSC 2011)



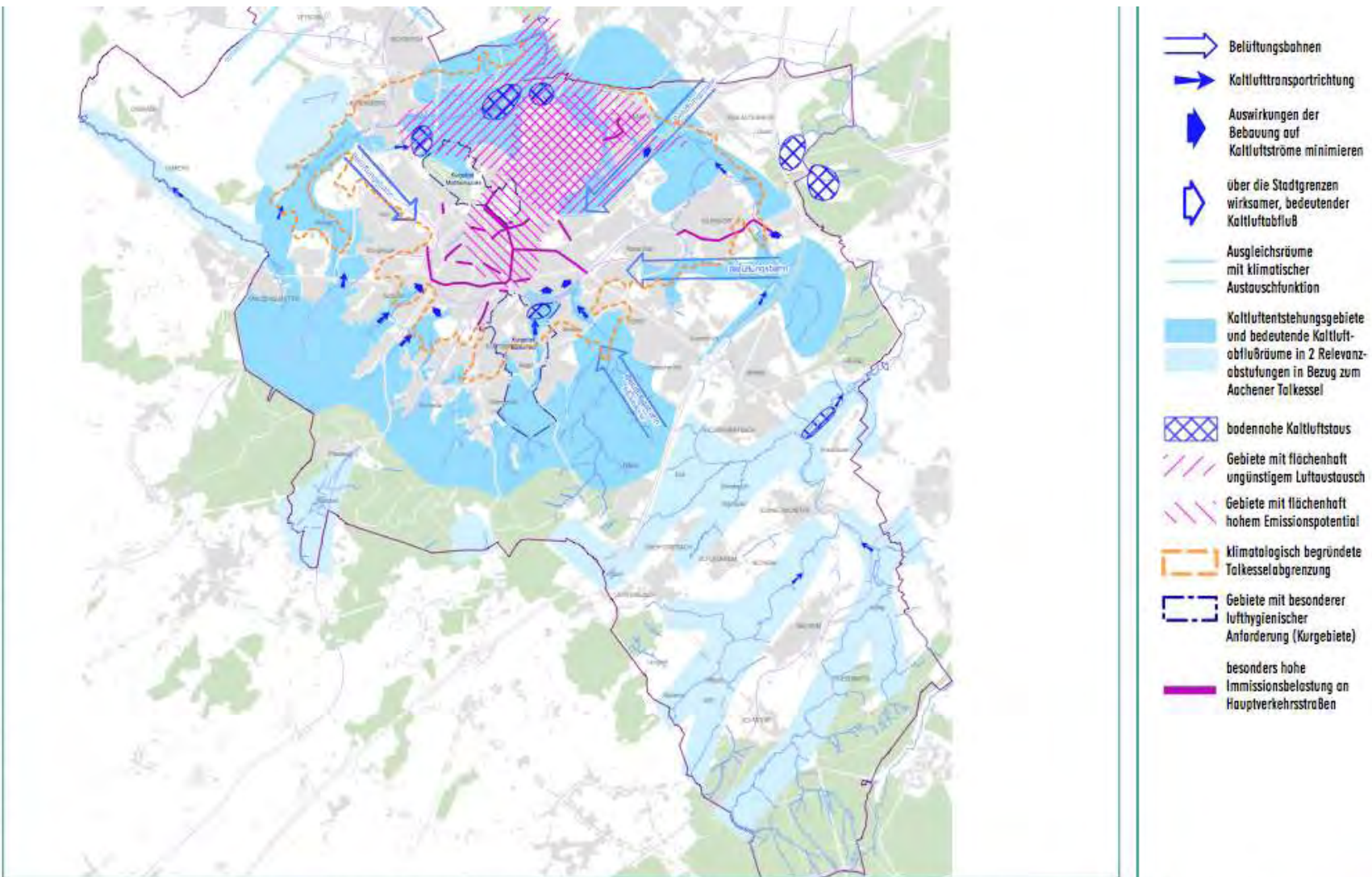
Abbildung 11: Google Earth – location of Masdar City in UAE



Abbildung 12: Masdar City in UAE (Post-Oil City 2010)

8.1.2 Beispiele Aachen und Stuttgart

In den 1970er und 1980er Jahren kam es aufgrund der Luftverschmutzung durch zunehmenden Individualverkehr und industrielle Produktion zur einer vermehrten Aufmerksamkeit für stadtklimatologische Themen. Es wurden Stadtklimakarten erstellt und die Bebauungsplanung danach ausgerichtet, die für das Stadtklima wichtigen Frischluftzuflüsse nicht durch Bebauung zu behindern (vergl. folgende Abbildung).



STADT AACHEN ■ STADTÖKOLOGISCHER BEITRAG ■ FLÄCHEN MIT BESONDERER BEDEUTUNG KLIMA - 1



Abbildung 13: Flächen mit besonderer Bedeutung für die Stadtökologie (Stadt Aachen, zitiert in Beckmann 2011)

1976 wurden die Materien Klima und Luftqualität als wichtige öffentliche Interessen in das deutsche Baugesetz aufgenommen. Stuttgart nimmt jedoch eine besondere Vorbildrolle ein, weil meteorologische Expertise seit 1938 Teil des Stadtplanungsteams ist. Die Aufgabe war es, die klimatischen Bedingungen auf der Basis von Messdaten zu analysieren und diese in Zusammenhang mit den Stadtplanungsvorhaben zu setzen. Während des Zweiten Weltkriegs wurden die Aufzeichnungen zerstört. Die nach dem Weltkrieg beginnenden Planungen bildeten gleichsam einen Neubeginn und die Fortführung der bewährten Arbeitsweise. Schwerpunkt war und ist die Sicherstellung der natürlichen Durchlüftung der Stadt. Wegen dieser langen Tradition und den damit verbundenen Erfahrungen gilt Stuttgart als Best Practice Beispiel für diesen Bereich. (International Association for Urban Climate 2011)

Diese Frischluftschneisen aus den 70er und 80er Jahren sind häufig auch Kaltluftschneisen, die vor dem Hintergrund des Hitzeinsel-Phänomens und der Notwendigkeit der Abfuhr warmer Luft aus dem Stadtgebiet zusätzlich an Bedeutung gewinnen. Für Aachen wurde im Jahr 2000 das gesamtstädtische Klimagutachten Aachen veröffentlicht, das auf zahlreichen Messungen beruht und umfangreiches Kartenmaterial enthält. (Stadt Aachen 2000)

8.1.3 Solar City Linz in Österreich

Das Projekt Solar City Linz wurde zwischen 2004 und 2006 umgesetzt, bietet rund 25.000 Menschen ein Zuhause und einen Parkbereich von gesamt rund 20 Hektar. Der Schwerpunkt des Projektes lag in der Gestaltung der Außenanlagen mit Schwimmteichen, einem Wasserspielplatz sowie Grünanlagen. Dafür wurden rund 1.500 neue Bäume gepflanzt. Über ein Drainagensystem, Teiche und Bäche wurde eine Ableitung des Regenwassers zum Schutz des Grundwasserspiegels in die nahe gelegenen Wälder realisiert. (Urban Green-Blue Grids 2014b)



Abbildung 14: Solar City Linz (Urban Green-Blue Grids 2014b)

8.1.4 London Green Grid

In London wurden als Reaktion auf die Entstehung von Hitzeinseln Maßnahmen erarbeitet, die dem Temperaturanstieg in der Stadt entgegen wirken sollten. Gegenstand des Vorhabens waren drei Betrachtungsebenen: die Stadtplanung an sich (1-50 km Radius), das städtische Design (10 – 1000 m Radius) und das Gebäude / die Straße (1-10m). Das Ziel war es, London mit einem grün-blauen Adernsystem aus Park- und Wasserflächen zu durchziehen und so einen erhöhten Lebensstandard zu bieten, sowie das Mikroklima durch Wasserspeicherung, Verbesserung der Luftqualität und Absenkung der Umgebungstemperaturen in der Stadt positiv zu beeinflussen (siehe folgende Abbildung). Im East London Green Master Plan wurden rund 300 Einzelprojekte für die Umsetzung definiert. Der Lee Valley Regional Park im Westen von London zählt zu einem dieser Projekte. (Urban Green-Blue Grids 2014a)

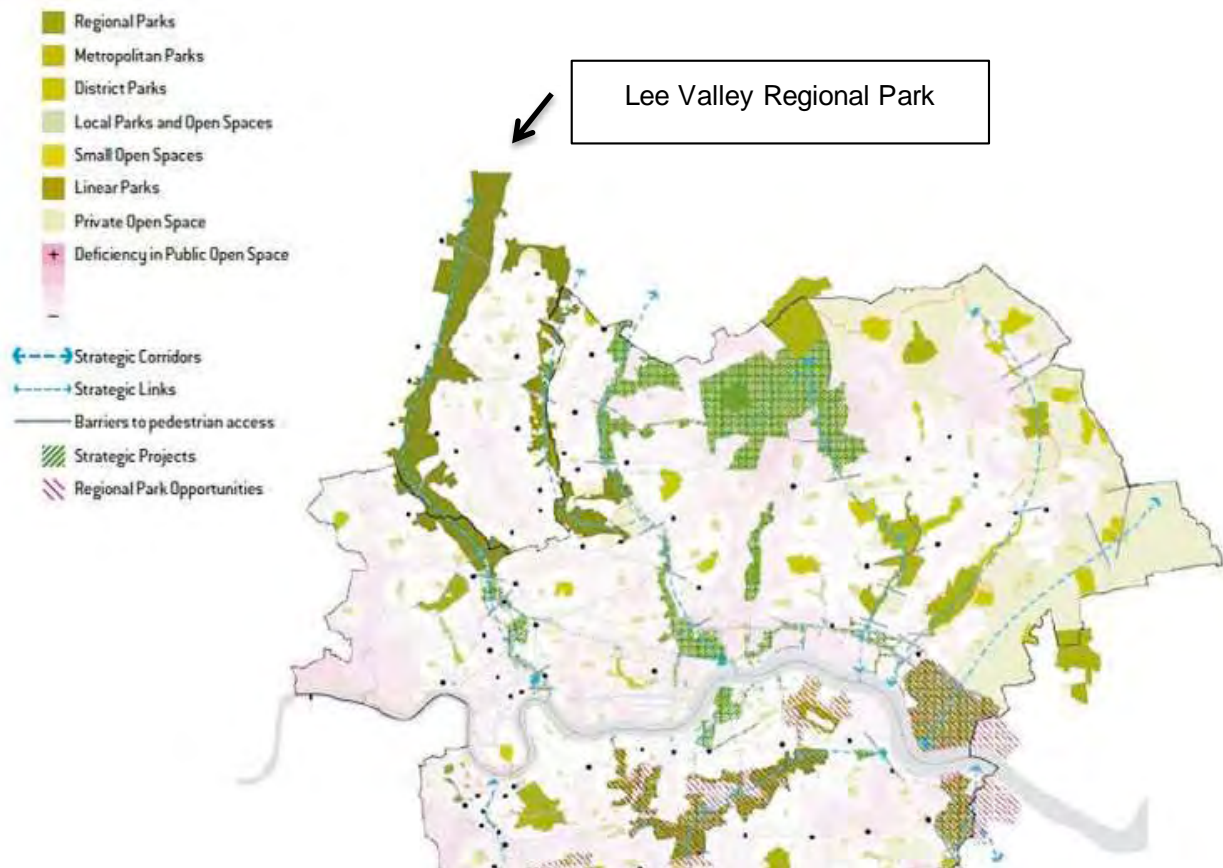


Abbildung 15: Grün-blaues Adernsystem in London - London Green Grid Concept (Urban Green-Blue Grids 2014a)

8.1.5 Wiener Stadtentwicklungsplan STEP 2025

Für Wien liegt seit Juni 2014 der aktuelle Stadtentwicklungsplan bis 2025 (STEP 2025) vor. Dieser beinhaltet in Kapitel 4.2 „Freiräume – Grün und Urban“ bereits strategische Ansätze zur positiven Beeinflussung des Mikroklimas in der Stadt. Basierend auf einem Grünflächenanteil von derzeit rund 50 % sollen Freiräume mit stadtklimatischer Funktion und Schutz vor sommerlicher Überwärmung beibehalten bzw. neu geschaffen werden. Folgende Ansätze sollen dabei verfolgt werden: (Rosenberger et al. 2014):

- Beibehaltung und Berücksichtigung von Frischluftschneisen und Kaltluftentstehungsgebieten;
- Geringerer Versiegelungsgrad in der Stadt;
- Anpflanzung von Bäumen;
- Berücksichtigung von Beschattungselementen;
- Regenwassermanagement (Nutzung von Regenwasser, Schaffung von Voraussetzungen für die Möglichkeit der Verdunstung und Versickerung);
- Hoher Grünflächenanteil – durch z. B. Dach- und Grünfassaden oder „grüne Schneisen“;
- Fokus auf Materialienwahl;
- Nutzung der Ergebnisse aus einem Vorprojekt zum Thema „Urban Heat Islands“ und Identifikation von Hitzeinseln in der Stadt mittels Hitzeinselkataster.

Ein konkreter Umsetzungsleitfaden mit definierten KPIs ist im STEP2025 nicht zu finden.

8.1.6 Seestadt Aspern Wien

Im Rahmen des HdZ-Leitprojektes „Aspern Die Seestadt Wiens – nachhaltige Stadtentwicklung“, erstellt im Subprojekt 1 „Freiraum und Mikroklima: Grundlagen für Klima sensitive Planung in Aspern“ wurden die Wirkungszusammenhänge zwischen Freiraum und Mikroklima als Grundlage für die Bebauung des Geländes der Seestadt Aspern untersucht. Dafür wurden auch zahlreiche Literaturquellen analysiert. (Stiles et al. 2010)

8.1.7 Begrünung von Gebäuden - MA 48 Wien – Grünfassade „Grüner Pelz“

Das Projekt „Grüner Pelz“ der Wiener Magistratsabteilung 48 verfolgte das Ziel, die Fassade des Gebäudes im 5. Wiener Gemeindebezirk thermisch zu sanieren und zusätzliche Grünflächen im dicht verbauten Stadtgebiet zu schaffen. Das Projekt wurde in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur, der Firma TECHMETALL GmbH, der Firma Dachgrün GmbH und der Stadt Wien im Jahr 2010 durchgeführt erneuert. Folgende Vorteile wurden erwartet:

- Reduktion des Wärmeverlustes im Winter;
- Kühlwirkung im Sommer durch die Verdunstungsleistung der Grünpflanzen;
- Beitrag zur Verbesserung der Luftgüte hinsichtlich Reduktion der Staubbelastung;
- Dämpfender Effekt hinsichtlich Lärmentwicklung aufgrund der angrenzenden Verkehrsflächen;
- Regen- und Windschutz für die Fassade;
- Ästhetische Bereicherung für die Belegschaft der Magistratsabteilung 48 wie auch für die Wohnbevölkerung in der Nachbarschaft.

Die Grünfassade wurde als vorgehängte, hinterlüftete Fassade an der Süd- und Westseite ausgeführt.

Merkmale des Projekts im Überblick (Enzi und Scharf 2014):

- Anhebung des Grünflächenanteils des Bezirks um 0,85 %;
- Fläche der Grünfassade: 850 m²;
- Rund 2.850 Laufmeter Grünbepflanzung; ca. 17.000 mehrjährige Pflanzen mit einer Pflanzhöhe von 15 bis 60 cm;
- Bewässerungssystem:
 - Gesamtlänge der Bewässerungsschläuche: ca. 3.500 Laufmeter (UV-beständig);
 - Steuerung in Form von 12 Regelkreisen;
 - Bewässerungsaufwand: vier bis sechs Gießvorgänge pro Woche.

Die Bewässerung erfolgt von oben nach unten. Die Bepflanzungen befinden sich in Trögen, die kaskadenförmig untereinander montiert sind. Durch Entwässerungsschlitze in den Trögen tropft überschüssiges Wasser in die Tröge darunter. Der unterste Trog ist ohne Schlitze ausgestattet und in die Dachentwässerung eingebunden. Die Bewässerung erfolgt feuchtigkeitsgeführt über sechs Sensoren in den Trögen (Feuchtigkeitsvorgabe: 8 % in der kalten Jahreszeit). Da Gießvorgänge auch im Winter – je nach Wetterlage – erforderlich sind, ist eine Begleitheizung im Dachgeschoß bis zu den Ventilen vorgesehen. Die Wasserversorgung für die Bewässerung erfolgt über das Wiener Wassernetz. Die Versorgung mittels Regenwasser wurde aufgrund erforderlicher Speichersysteme und der damit verbundenen Statik-Anforderung verworfen.

Nach Abschluss von Planung, Bau und der Inbetriebnahme der Fassade erfolgte ein kontinuierliches Monitoring zur Ermittlung von Daten und Informationen in Bezug auf die Lufttemperatur der Umgebung sowie vor und hinter der Grünfassade, die Substratfeuchte, die Strahlungsbilanz, den Wasserhaushalt und bauphysikalische Effekte. Auf Basis derzeit vorliegender Daten und Auswertungen werden folgende Auswirkungen beschrieben (Enzi und Scharf 2014):

- Minimierung der winterlichen Wärmeverlustleistung [W/m²] um bis zu 50 %;

- Resultierende sommerliche Verdunstungsleistung von zirka 45 Kühlaggregaten mit einer individuellen Leistung von 3 kW und 8 Betriebsstunden (ca. 1.080 kWh/Saison);
- Reduktion der Oberflächentemperatur an heißen Tagen im Vergleich zu konventionellen Fassaden der MA 48 um bis zu 15 K.



Abbildung 16: „Grüner Pelz“ am 28. Juni 2011 (Enzi und Scharf 2014)

Die hier genannten Effekte finden ihre Bestätigung in verbesserten Innenraumbedingungen. Ein erhöhtes Schädlingsproblem ist nicht bekannt. Es ist eine jährliche Wartung durch professionelle GärtnerInnen im Umfang von ca. vier Tagen inklusive geeigneter SteigerInnen erforderlich. Zu berücksichtigen ist der zusätzliche Wasserbedarf für die Fassadenbewirtschaftung und der regelmäßige Betreuungsaufwand für die Sicherstellung der Funktionalität für den Betrieb. (Frey 2014)

8.1.8 Begrünung von Gebäuden - MFO-Park in der Schweiz

Der MFO Park (Maschinenfabrik Oerliker) in Oerliker (Schweiz) steht als frei zugänglicher Ort für Veranstaltungen, Sport und Spiel zur Verfügung. Die Park- und Veranstaltungsanlage wurde in einer Halle mit einer Größe von rund 0,85 ha realisiert. (Stadt Zürich 2014a) Die Grünfassadenkonstruktion besteht aus einer doppelwandigen verzinkten Stahlkonstruktion die mit Rankhilfen ausgestattet ist, welche von Kletterpflanzen bedeckt und überwachsen sind. (Stadt Zürich 2014b)



Abbildung 17: MFO-Park Parkhaus ohne (links), mit (rechts) Kletterpflanzen (Stadt Zürich 2014a)

Das Begrünungskonzept ist entsprechend der unten angeführter Abbildung 18 für das gesamte Areal (z. B. Wände oder das Dach) umgesetzt.



Abbildung 18: MFO-Park Bepflanzungskonzept Kletterpflanzen (Stadt Zürich 2014b)

Die Pflanzen werden mit Regenwasser bewässert. Überschüssiges Wasser fließt über Sickerleitungen in einen unterirdischen Kanal ab, wird dort gesammelt und den Pflanzen in Trockenzeiten mittels Bewässerungsanlage wieder zugeführt. Das Projekt erhielt 2010 den Europäischen Gartenpreis, die Auszeichnung für gute Bauten 2002-2005, 2004 den Leisure Award und 2003 den public design Preis. (Stadt Zürich 2014a), (Stadt Zürich 2014b)

9 Literatur

Abu Dhabi Future Energy Company PJSC, 2011, Masdar City. Abu Dhabi Future Energy Company PJSC, Abu Dhabi, Online, <http://www.masdarcity.ae/en/>, letzter Zugriff am 08.10.2014

DWD, 2013, Das Klimasimulationsmodell MUKLIMO_3 Die Basisversion. Deutscher Wetterdienst – Klima- und Umweltberatung, Offenbach, Online, [http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU1/KU12/Klimagutachten/Lokalklima-](http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU1/KU12/Klimagutachten/Lokalklima-Modelle/MUKLIMO_3_Basis,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/MUKLIMO_3_Basis.pdf)

Modelle/MUKLIMO_3_Basis,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/MUKLIMO_3_Basis.pdf, letzter Zugriff am 08.10.2014

Enzi, V., Scharf, B., 2014, Das Haus im „Grünen Pelz“ Bürogebäude der MA 48, Einsiedlergasse 2, Wien 5. Architekturjournal Wettbewerbe, Auflage 303, Bohmann Druck & Verlag GmbH & Co. KG, Online, Seite 14-19, http://www.wettbewerbe.cc/fileadmin/user_upload/303/f_umweltundplanung.pdf, letzter Zugriff am 08.10.2014

EPA, 2008, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Urban Heat Island Basics. EPA United States Environmental Protection Agency, Washington, Online, <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/BasicsCompendium.pdf>, letzter Zugriff am 08.10.2014

Fachforum Nachhaltige Stadtentwicklung der Lokalen Agenda 21 Augsburg, 2007, Kriterien für nachhaltige Bauleitplanung, Arbeitshilfe zur Erarbeitung von Stellungnahmen zu Flächennutzungs- und Bebauungsplänen

Feyisa, G., Dons, K., Meilby, 2014, Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. Landscape and Urban Planning, Volume 123. Elsevier, Online, Seite 87-95

Früh, B., Koßmann, M., Roos, M., 2011, Frankfurt am Main im Klimawandel - Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 237, Offenbach am Main, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Frey, S., 2014, Parameterstudie Kühlenergiebedarf von mehrgeschossigen Wohngebäuden: Wechselwirkungen zwischen Bebauungsstrukturen und Kühlenergiebedarf von Gebäuden, Master Thesis des Studiengangs Erneuerbare Urbane Energiesysteme der FH Technikum Wien

Fuchs, M. Kern, T., 2011, Kurzstudie – Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in Bebauungspläne. Referat für Stadtplanung und Bauordnung/HA II, München, Seite 31ff

Gesamtstädtisches Klimagutachten Aachen, in Auftrag gegeben von der Stadt Aachen, Fachbereich Umwelt. Bearbeiter: Prof. Dr. D. Havlik, Dr. G. Ketzler M.A. Mitarbeit: Büro Steinicke & Streifender, Freiburg (Umweltuntersuchungen), Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn (Bodenmessprogramm), T. Werner, A. Ehrig, H. Klimczak, C. Fehn, A. Flömer, R. Löhner (GIS, Kartographie, Layout und Grafik). Aachen, Oktober 2000

Hagen, K., 2013, Freiraum im Freiraum – Mikroklimatische Ansätze für die städtische Landschaftsarchitektur, Technische Universität Wien, Wien, Online, http://info.tuwien.ac.at/urbanistik/files/Website%20Downloads/Publikationen/Hagen_Freiraum%20im%20Freiraum.pdf, letzter Zugriff am 08.10.2014

Lopes, L., Guedes, M. C., 2011, Sustainable architecture in Cape Verde – Good practice guide, Community of Portuguese Language Speaking Countries (CPLP)

Mingozzi, A., Bottiglioni, S., Bioclimatic architecture: the case study of the sustainable residential settlement in Pieve di Cento. 669 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, September 2007, Crete island, Greece

MIT, 2014, Urban Microclimate uwg v.2.0: urban design software development. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, <http://urbanmicroclimate.scripts.mit.edu/umc.php>, letzter Zugriff am 08.10.2014

NTNU Norwegian University of Science and Technology 2013. Architectural Quality 4 Bioclimatic Strategies. Lecture material, funded by Intelligent Energy Europe, IDES-EDU Master and Post Graduate Education and Training in Multidisciplinary Teams, <http://www.ides-edu.eu/wp-content/uploads/2013/04/4-Bioclimatic-strategies-in-architecture2.pdf>, letzter Zugriff am 08.10.2014

OIB Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz, Oktober 2011, Österreichisches Institut für Bautechnik

ON, 2012, ÖNORM B 8110-3 - Wärmeschutz im Hochbau Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung. Österreichisches Normungsinstitut Austrian Standards Institute, Wien

ON, 2012, ÖNORM EN ISO 13791 - Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik — Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren. Österreichisches Normungsinstitut Austrian Standards Institute, Wien;

Paschotta, R., 2010, Das RP-Energie-Lexikon – Leistungszahl. <http://www.energielexikon.info/leistungszahl.html>, letzter Zugriff am 08.10.2014

Perini, K., Magliocco, A., 2014, Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. Urban Forestry & Urban Greening, Volume 1, Elsevier, Online

Post-Oil City (engl.) The History of the City's Future 2010, ISBN 978-3-931435-18-9 <http://www.archplus.net/home/post-oil-city>, English version of the catalog accompanying the exhibition "Post-Oil City"

Prutsch, A., Felderer, A., Balas, M., König, M., Clar, C., Steurer, R. (2014): Methoden und Werkzeuge zur Anpassung an den Klimawandel. Ein Handbuch für Bundesländer, Regionen und Städte, Umweltbundesamt, Wien.

Referat für Stadtplanung und Bauordnung, 2009, SOLENOP Solarenergetische Optimierung von größeren Neubaugebieten, Sitzungsvorlagen Nr. 08-14/V 01992, Beschluss des Ausschusses für Stadtplanung und Bauordnung vom 29.04.2009 (SB) Öffentliche Sitzung

Rosenberger, M., Akagündüz-Binder, B., Conrad, K., Falter, M., Hauswirth, R., Hetzmanseder, B., Hutter, J., Liebhart, M., Mittringer, K., Müllner, K., Rauscher, B., Söpper, K., 2014, STEP25 – Stadtentwicklungsplan Wien. Magistratsabteilung 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung, Wien, <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008379.pdf>, letzter Zugriff am 08.10.2014

Rossi, F., Pisello A., Nicolini, A., Filippini, M., Palombo, M., 2014, Analysis of retro-reflective surfaces for urban heat island mitigation: A new analytical model. Applied Energy, Volume 114, Elsevier, Online, Seite 621-631

Saneinejad, S., Moonen, P., Carmeliet, J., 2014, Comparative assessment of various heat island mitigation measures, Building and Environment, Volume 73, Elsevier, Online, Seite 162-170

Santamouris, M., Synnefa, A., Karlessi, T., 2011, Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. Solar Energy, Volume 85, Issue 12, Elsevier, Online, Seite 3085-3102

Scherba, A., Sailor, D., Rosenstiel, T., Wamser, C., 2011, Modeling impacts of roof reflectivity, integrated photovoltaic panels and green roof systems on sensible heat flux into the urban environment. Building and Environment, Volume 46, Issue 12, Elsevier, Online, Seite 2542-2551

Schüle, R., Jansen, U., Madry, T., Fox-Kämper, R., Kelberlau, B., Freund, T., Hilgert, S., Zellin, M., 2011, Klimaschutz und Anpassung in der integrierten Stadtentwicklung - Arbeitshilfe für schleswig-holsteinische Städte und Gemeinden. Innenministerium des Landes Schleswig-Holstein,

http://www.schleswig-holstein.de/Klimapakt/DE/DownloadLinks/arbeitshilfeStadtentwicklung_blob=publicationFile.pdf,

letzter Zugriff am 08.10.2014

Sievers U., 1990, Dreidimensionale Simulationen in Stadtgebieten. Umweltmeteorologie, Schriftenreihe Band 15: Sitzung des Hauptausschusses II am 7. und 8. Juni in Lahnstein. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf. S. 92-105

Sievers U., 1995, Verallgemeinerung der Stromfunktionsmethode auf drei Dimensionen. Meteorol. Zeitschrift 4: 3-15

Sievers U., Zdankowski W., 1986, A microscale urban climate model. Beitr. Phys. At-mosph. 59: 13-40

Sievers, U., 2012, Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3 Teil 1: Theoretische Grundlagen, PC-Basisversion und Validierung. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 240, Offenbach am Main, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Stadt Zürich, 2014, MFO-Park / Projekt. Stadt Zürich, Zürich, Online, <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/ged/Deutsch/gsz/Planung%20und%20Bau/Publikationen%20und%20Broschueren/Bauprojekte/MFO-Park/Projekt%20MFO-Park.pdf>, letzter Zugriff am 08.10.2014

Stadt Zürich, 2014, MFO-Park. Stadt Zürich, Zürich, Online, https://www.stadt-zuerich.ch/ged/de/index/gsz/planung_u_bau/bauprojekte/mfo-park.html#projekt, letzter Zugriff am 08.10.2014

Steeneveld, G., Koopmans, S., Heusinkveld, B., Theeuwes, N., 2014, Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect. Landscape and Urban Planning, Volume 121, Elsevier, Online, Seite 92-96

Stiles et al. 2014, Urban fabric types and microclimate response - assessment and design improvement, ACRP3 Projekt des Klima- und Energiefonds, TU Wien / AIT/ TU München, Projektbericht im Internet <http://urbanfabric.tuwien.ac.at/index.php>, letzter Zugriff am 08.10.2014

Stiles, R., Hagen, K., Trimmel, H., TU Wien, Fachbereich Landschaftsplanung und Gartenkunst, Institut für Städtebau, Landschaftsarchitektur und Entwerfen, Wien, November 2010, Eine Publikation im Rahmen des HdZ-Leitprojektes „Aspern Die Seestadt Wiens – nachhaltige Stadtentwicklung“, erstellt im Subprojekt 1 „Freiraum und Mikroklima: Grundlagen für Klima sensitive Planung in Aspern“

Svensson, M., 2004, Sky view factor analysis – implications for urban air temperature differences. Meteorol. Appl. 11, Physical Geography, Department of Earth Sciences, Göteborg University, Online, Seite 201-211

Taha, H., 2013, The potential for air-temperature impact from large-scale deployment of solar photovoltaic arrays in urban areas. Solar Energy, Volume 91, Elsevier, Online, Seite 358-367

Taleghani, M., Tenpierik, M., Dobbelsteen, A., Sailor, D., 2014, Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. Solar Energy, Volume 3, Elsevier, Online, Seite 108-124

Tian, W., Wang, Y., Xie, Y., Wu, D., Zhu, L., Ren, J., 2007. Effect of building integrated photovoltaics on microclimate of urban canopy layer. Building and Environment, Volume 42, Elsevier, Online, Seite 1891-1901

Tschannett, S., 2014, Klimafunktionskarten, Vortrag bei Forum Building Science, 7. Mai 2014, Donau-Universität Krems

UF University of Florida College of Design, Construction, and Planning, 2013, Passive Architecture – Vernacular Architecture
http://www.academia.edu/1994921/SUSTAINABLE_DESIGN_METHODOLOGIES_PART_2#2, letzter Zugriff am 08.10.2014

Unger, J., 2009, Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. Int. J. Environment and Pollution, Volume 36, Inderscience Enterprises Ltd., Online, <http://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/ungercikk/2009-IJEP-36-Unger.pdf>, letzter Zugriff am 08.10.2014

Urban Green-Blue Grids, 2014, London Green Grid.
<http://www.urbangreenbluegrids.com/projects/london-green-grid/>, letzter Zugriff am 08.10.2014

Urban Green-Blue Grids, 2014, Solar City, Linz, Austria.
<http://www.urbangreenbluegrids.com/projects/solar-city-linz-austria/>, letzter Zugriff am 08.10.2014

Wanga, Y., Bakker, F., Groot, R., Wörtche, H., 2014, Effect of ecosystem services provided by urban green infrastructure on indoor environment: A literature review, Building and Environment, Volume 77, Elsevier, Online, Seite 88-100

Weatherpark GmbH, 2014, Homepage Weatherpark.com. Weatherpark GmbH Meteorologische Forschung und Dienstleistungen, Wien, <http://www.weatherpark.com/leistungen/>, letzter Zugriff am 08.10.2014

ZAMG a, s.a., Alpenraum – Lufttemperatur. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-limawandel/klimazukunft/alpenraum/lufttemperatur>, letzter Zugriff am 08.10.2014

ZAMG b, s.a., Neoklima – Lufttemperatur. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-limawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur>, letzter Zugriff am 08.10.2014

ZAMG c, s.a., FOCUS-I. <http://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/klima/stadtklima/focus-i>, letzter Zugriff am 08.10.2014

Zang, B., Xie, G., Gao, J., Yang, Y., 2013, The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: A case study in Beijing, China. Building and Environment, Volume 76, Elsevier, Online, Seite 37-43

Zhai, Z., Previtali, J., M., Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Colorado, USA, Energy and Buildings 42 (2010) 357–365, journal homepage: www.elsevier.com/locate/enbuild