

Green Density Factor (GDF) & Green Cooling Factor (GCF)

Die Neue Berechnung zur
Wandlung der Stadt in ein grünes
Paradies mit kühlendem Klima
und sauberer Luft.

Dr.-Ing. Florian Betzler,
Hamburg



Einführung & Übersicht

*Ziel: Entwicklung der Faktoren „GDF“ & „GCF“ –
ein quantitatives Maß des Grünvolumens (Gebäude & Städte)*

- Quantifizierung des Grünvolumens (Dächer & Fassaden)
- Vorhersage der Kühlungsleistung durch Verdunstung der Pflanzen
- Werkzeug der urbanen Stadt- und Gebäudeplanung

Vereinheitlichte Anwendung in
der Stadtentwicklung
(vergleichbar mit GFZ & GRZ)



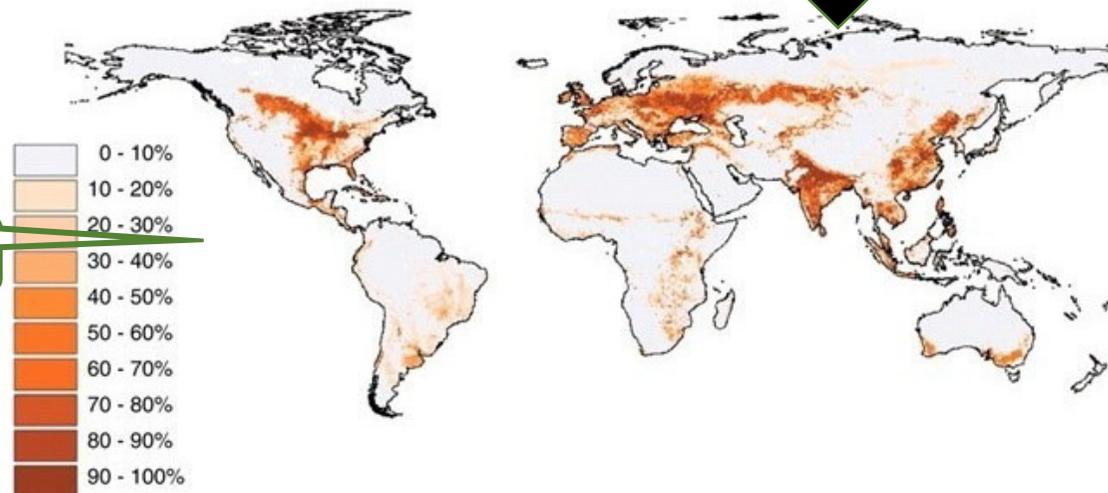
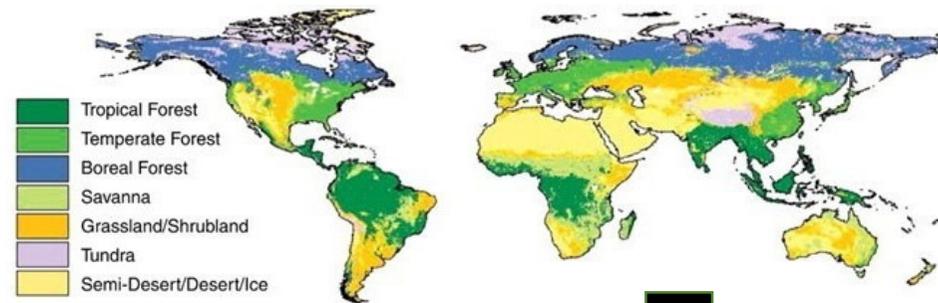
Wie die Menschheit den Planeten verändert

50% der natürlichen Vegetationszonen durch Menschen verändert

- Abholzung von Wäldern
- Landwirtschaft
- Dörfer, Städte & Infrastruktur

Natürliche Vegetation
(vor Einfluss des Menschen)

Landwirtschaft: Beispiel Ackerland



Foley et al. (2005)

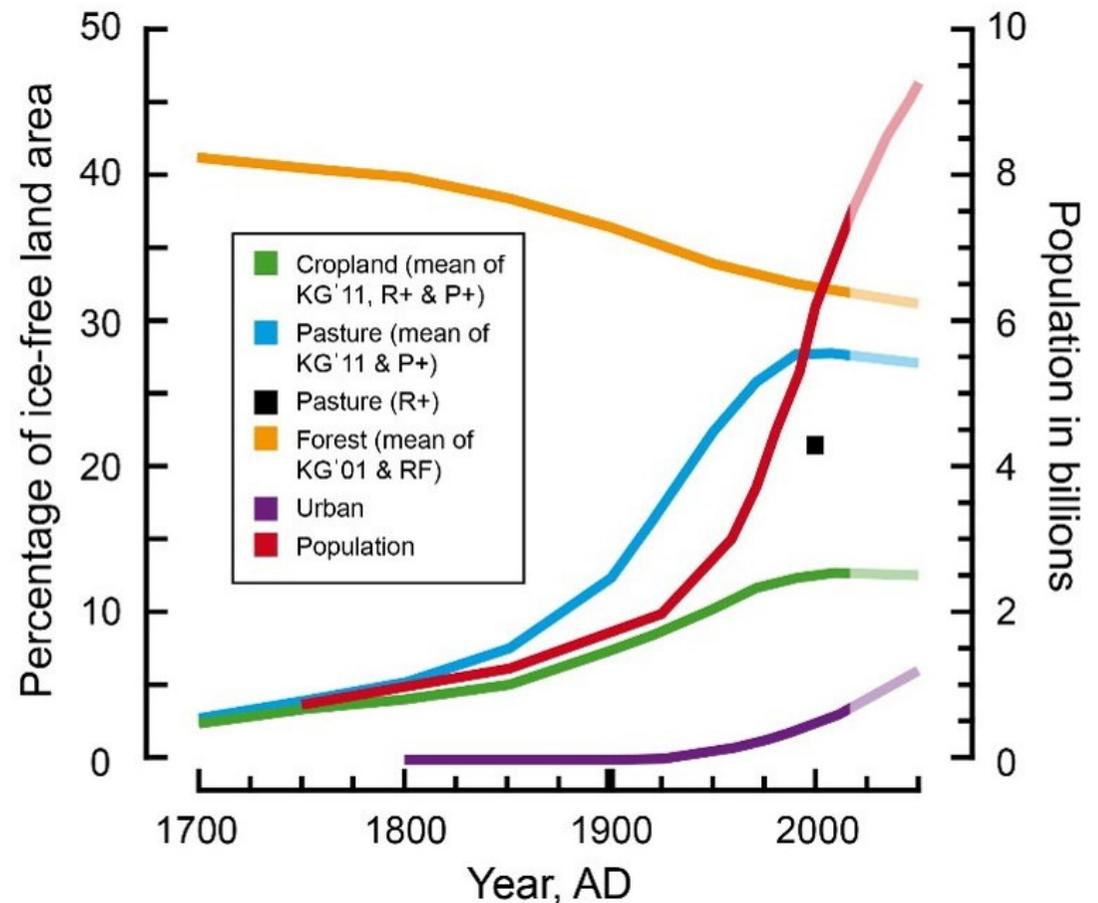
Wie die Menschheit den Planeten verändert

50% der natürlichen Vegetationszonen durch Menschen verändert

- Abholzung von Wäldern
- Landwirtschaft (Weideland, Getreide, Futtermittel)
- Dörfer, Städte & Infrastruktur

Zeitliche Veränderung der Landnutzung durch Menschen (Projektion bis 2050)

Pedraza et al. (2012)

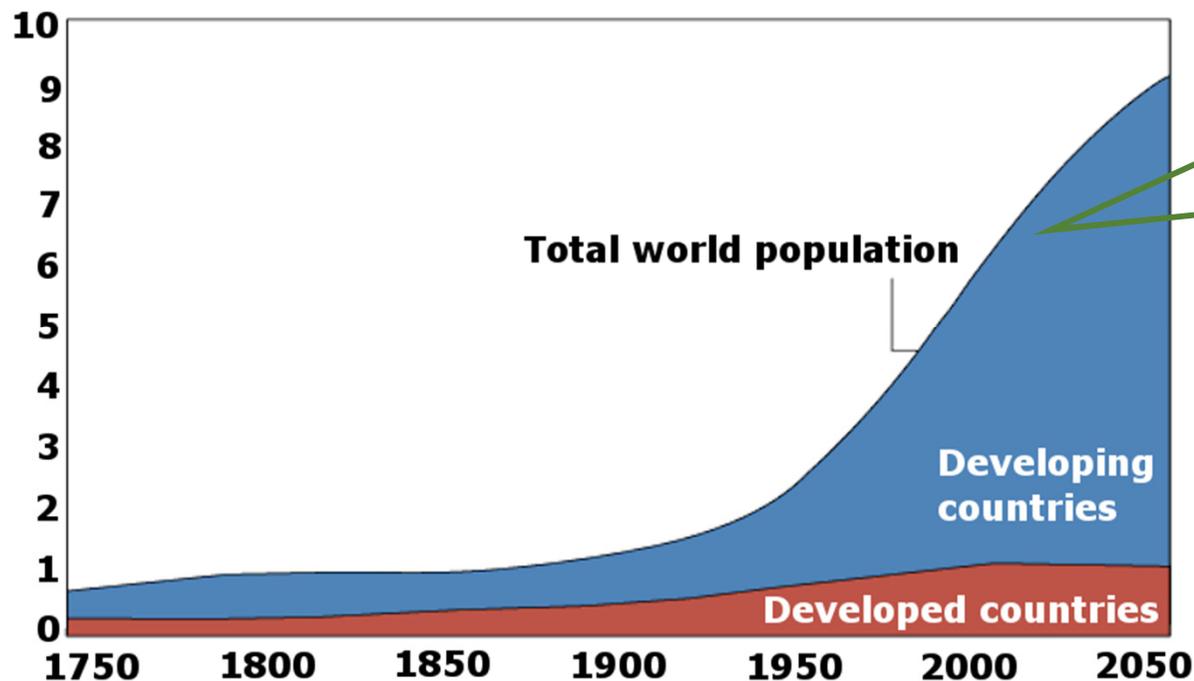


Bevölkerungswachstum und Migration in Städte

Erwartete Trends:

Anstieg Welt-bevölkerung & erhöhte Stadtmigration

- Weltbevölkerung: 10 Milliarden in 2050
billions



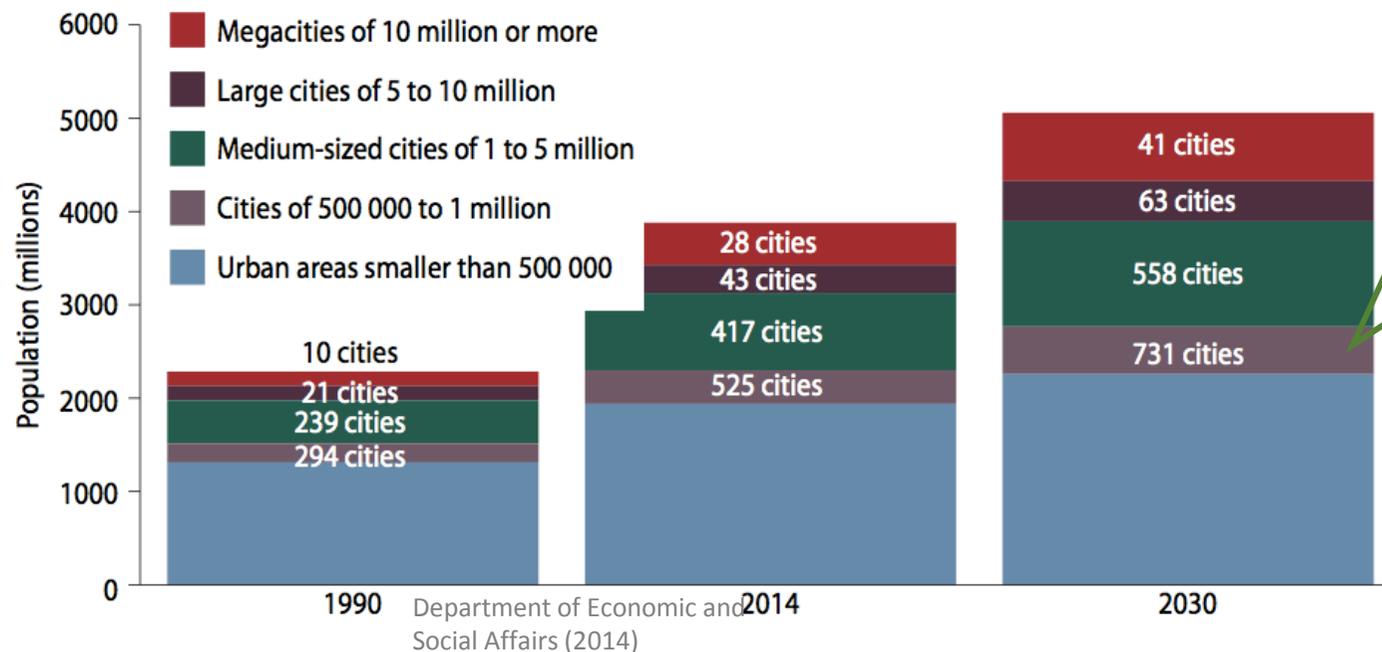
Weltbevölkerung von 1970-2050 in Entwicklungsländern (blau) und 1.-Welt-Ländern (rot). Nach 2004: Projektion

Bevölkerungswachstum und Migration in Städte

Erwartete Trends:

Anstieg Welt-bevölkerung & erhöhte Stadtmigration

- Weltbevölkerung: 10 Milliarden in 2050
- Bald: Mehr als 50% davon in Städten



Bevölkerung in verschiedenen Stadttypen (1990, 2014 und voraussichtlich in 2030)

Bevölkerungswachstum und Migration in Städte

Erwartete Trends:

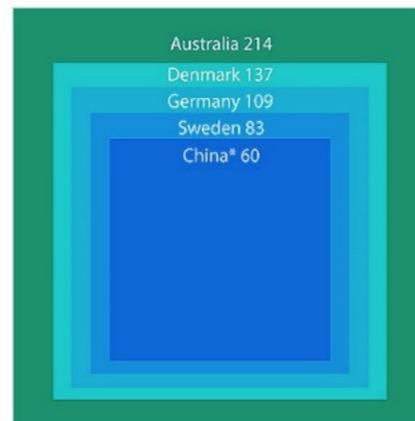
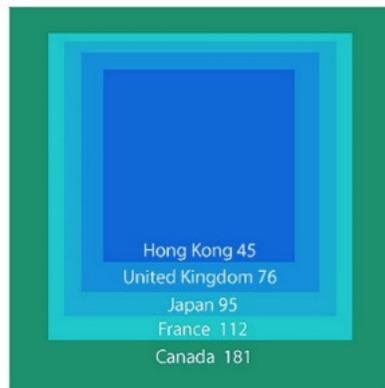
Anstieg Welt-bevölkerung & erhöhte Stadtmigration

- Weltbevölkerung: 10 Milliarden in 2050
- Bald: Mehr als 50% davon in Städten
- Durchschnittliche Hausgröße

Durchschnittliche Hausgröße in verschiedenen Ländern

How big is a house?

Average new home size around the globe in m²



Note: data for 2009 builds, * China figures urban only

Wilson 2009

Sources: CommSec, RBA, UN, US Census
shrinkthatfootprint.com

Bevölkerungswachstum und Migration in Städte

Erwartete Trends:

Anstieg Welt-bevölkerung & erhöhte Stadtmigration

- Weltbevölkerung: 10 Milliarden in 2050
- Bald: Mehr als 50% davon in Städten
- Durchschnittliche Hausgröße

Konsequenzen:

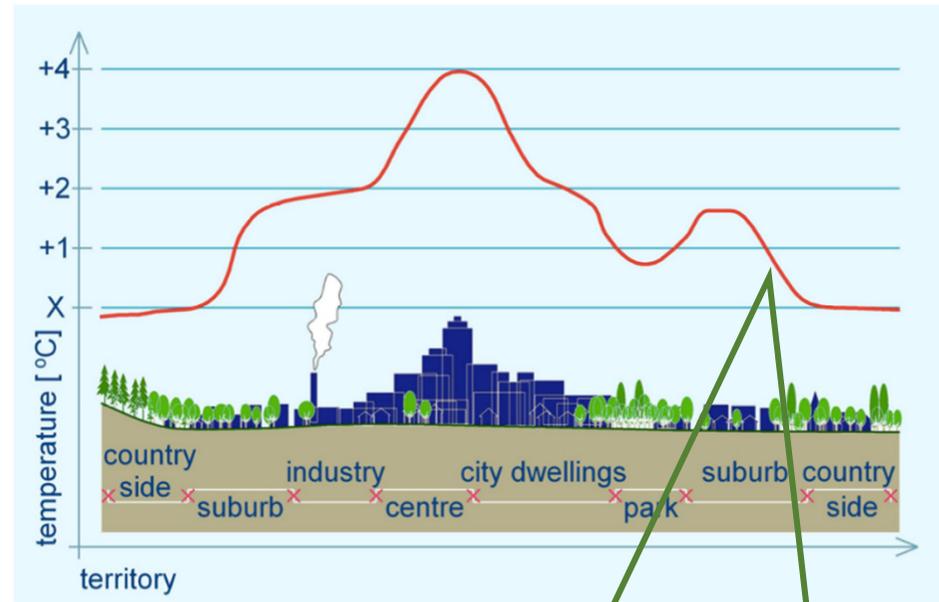
- (1) Erhöhte Landveränderung durch Menschen: Landwirtschaft & Leben in der Stadt
- (2) Erhöhter Energiebedarf

=> Umdenken im Ansatz der Stadtplanung & Architektur

Der „urban heat island“ (UHI) Effekt [1/2]

„Urban heat island“ Effekt: Erhöhte Temperatur im Stadtgebiet

- Erhöhte Flächenversiegelung:
=> erhöhter Wasserabfluss
- Dieses Wasser trägt **nicht** zur Verdunstungskühlung bei
=> erhöhte Stadttemperatur
- Konsequenzen:
unangenehmes Stadtklima, Hitze,
höhere Kosten zur Gebäude-Kühlung



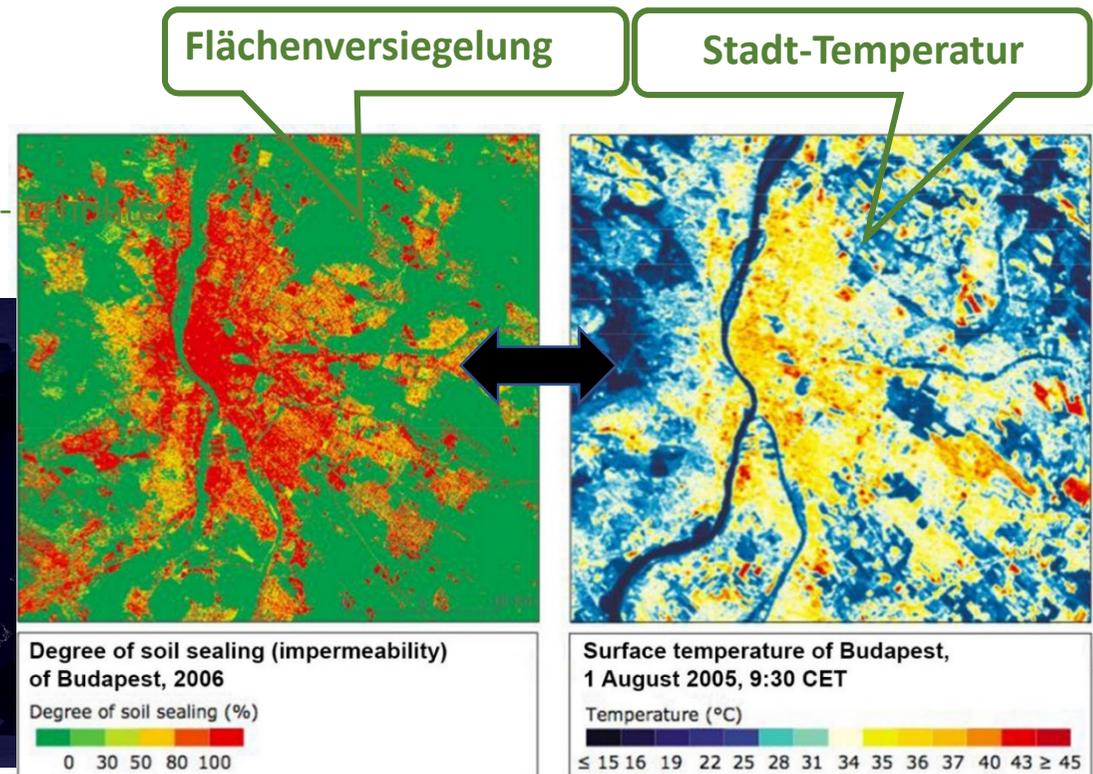
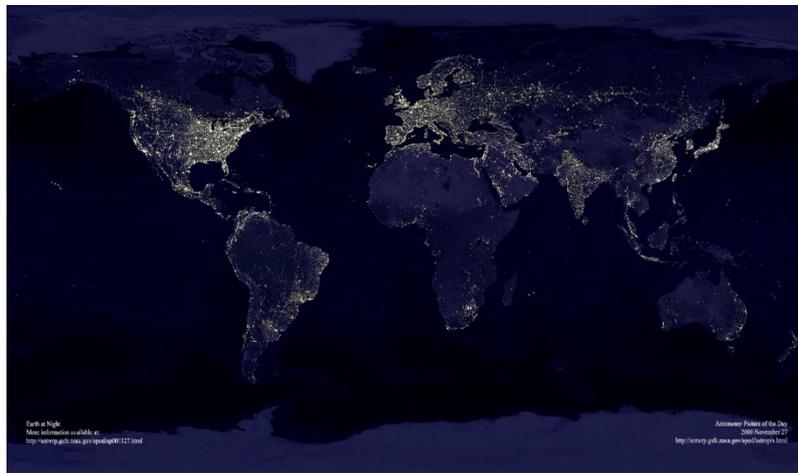
Stadtraum & Versiegelung:
reduzierter kleiner Wasser-
Zyklus

Temperaturkurve: Umland versus Stadtgebiet

Der „urban heat island“ (UHI) Effekt [2/2]

Die durchschnittliche Temperatur im Stadtgebiet erhöht sich

- Beobachtung einer Korrelation:
Flächenversiegelung \Leftrightarrow Temperatur
- Beiträge zum UHI Effekt:
 - Reduzierte Verdunstungskühlung
 - Erhöhte Sonnenabsorption (Albedo) - Wärmeeintrag durch HVAC



FEA (2010)

Umdenken der Stadtplaner und politischer Verwaltung

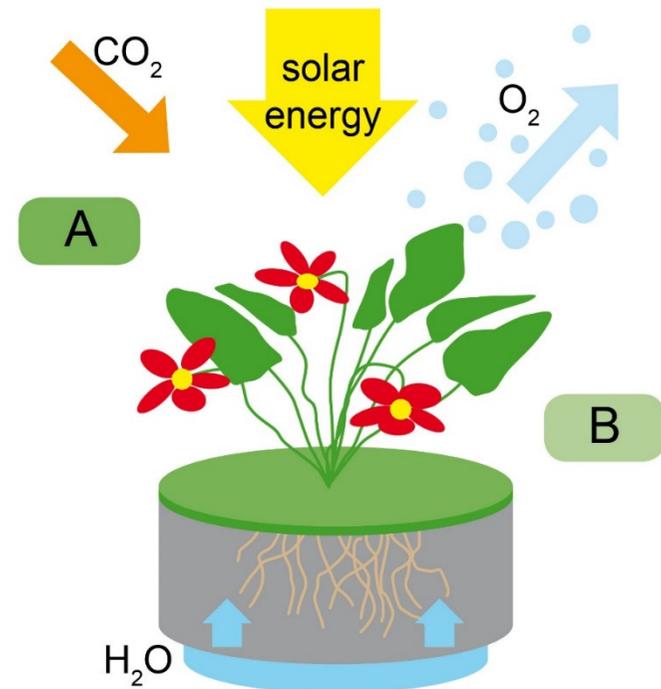
Begrünte Gebäude

Pflanzen & Wasser-Verdunstung

Pflanzen sind biologische "Kraftwerke"

- Pflanzen absorbieren:
Sonnen-Energie, CO_2 , Nährstoffe & Wasser
- Pflanzen setzen frei:
Sauerstoff, Biomasse & Wasserdampf
(Verdunstung)
- Pflanzen kühlen Umgebung (Verdunstung):
Verdunstung von 1 Liter Wasser: 0.68 kWh

Pflanzen: Moderatoren der Wasser-
Verdunstung => Kühlung der Umgebung



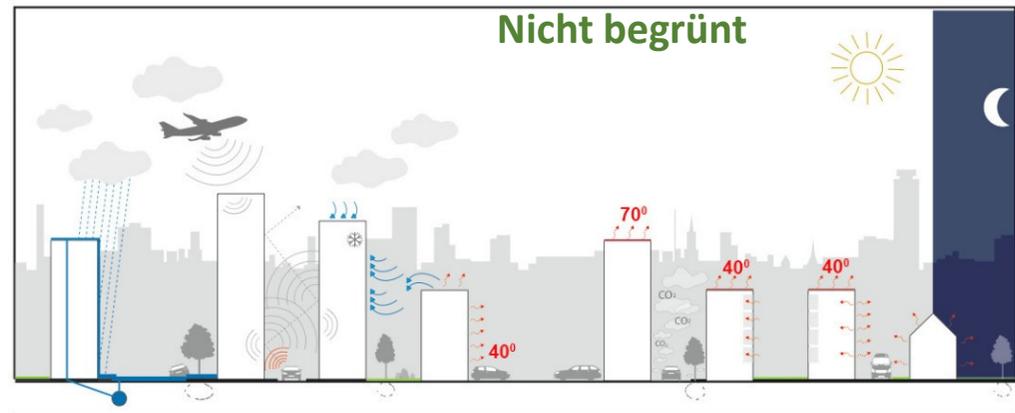
Vorteile von begrünten Städten

Vorteile begrünter

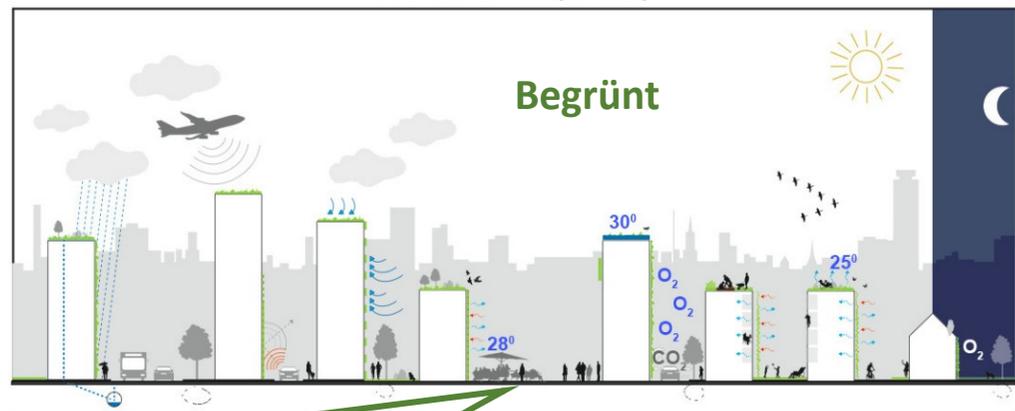
Städte:

- Erhöhte Kühlung durch (gespeicherte) Regenverdunstung
- Bessere thermische Isolation
- Reduzierte Lärmbelastung
- Höhere Biodiversität
- Erholungsraum im Stadtgebiet

Verbesserung der Lebensqualität durch begrünte Städte



Pfoser et al. (2013)



Positive Effekte der Stadtbegrünung (siehe Liste)

Begrünte Gebäude: Konzepte & Design

Architektonische Konzepte begrünter Gebäude nach Betzler



DESY, Hamburg



Simon-Von-Utrecht, Hamburg

Betzler (2012)

Begrünte Gebäude: Vereinigung von Nutzen und Architektur

Die GDF & GCF Faktoren

Definition des „Green Density Factor“ (GDF)

GDF: Verhältnis aus begrünter Fläche und Gebäudegrundriss

1. „Green roof area“ (GRA):
Summe begrünter Dachflächen
2. „Green façade area“ (GFA):
Summe begrünter Fassadefläche
3. Footprint area (FP):
Berechnung des Gebäudegrundriss
4. $GDF = (GRA + GFA) / FP$

GDF: Überkompensation von verlorener Grünfläche (Gebäude)



Definition des “Green Cooling Factor” (GCF)

GCF: Verhältnis der begrünten Kühlungsleistung zum Gebäude-HVAC

1. Bestimmung der Grünfläche:
 $GRA + GFA$
2. Verdunstung durch Pflanzen:
 $r = 3 \text{ Liter/m}^2$
3. Berechnung der Wassermenge:
 $W = (GRA + GFA) * r$
4. Berechnung der Kühlungsleistung
 $GCF = (W[I] * 0.68 \text{ kWh/I}) / (HVAC * FP)$

GCF > 1: Gebäude-HVAC wird überkompensiert durch Begrünung



Begrünte Fassadenfläche

Begrünte Dachfläche

Konzept: Simon-Von-Utrecht-Straße

Gebäude-Grundfläche

Beispiel-Berechnung: GDF & GCF

*Grundriss 13*26 = 338m² (2 Geschosse: 2*3m Höhe, 468m²)*

1. Gebäudebegrünung: **504 m²**

- Dachfläche (GRA, 80%): $0,8 * 338 \text{ m}^2 = \mathbf{270 \text{ m}^2}$

- Fassaden (GFA, 25%): $0,25 * 468 \text{ m}^2 = \mathbf{234 \text{ m}^2}$

2. **Green Density Factor: GDF** = $504\text{m}^2/338\text{m}^2 = \mathbf{1,5}$

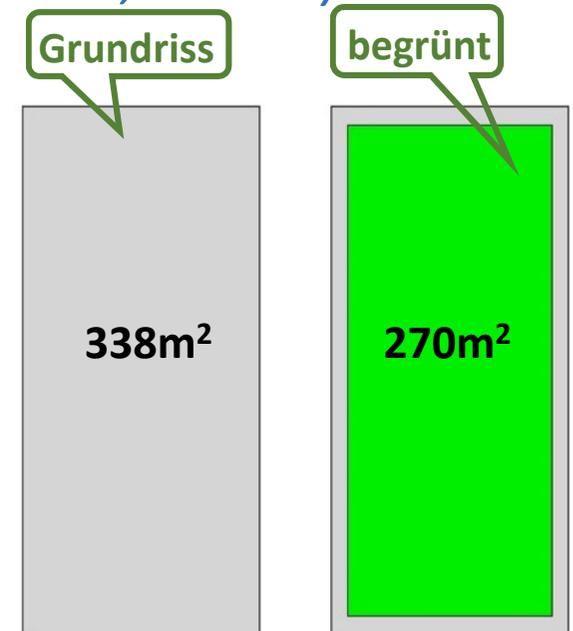
3. Wasser-Verdunstung durch Pflanzen (3l/Tag/m²):
 $504 \text{ m}^2 * 3 \text{ l/Tag/m}^2 * 365 \text{ Tage} = 551880 \text{ l/Jahr}$

4. Kühlungsleistung (0,68 kWh/Liter):

$\text{CC} = 0,68 \text{ kWh/l} * 551880 \text{ l} = \mathbf{375278 \text{ kWh}}$

5. HVAC = $2 * 270\text{m}^2 * 100 \text{ kWh/m}^2/\text{Jahr} = \mathbf{54000 \text{ kWh}}$

6. **Green Cooling factor: GCF** = $\text{CC}/\text{HVAC} = 375278/54000 = \mathbf{6,9}$



Beispiel-Berechnung: gesamte Regenmenge

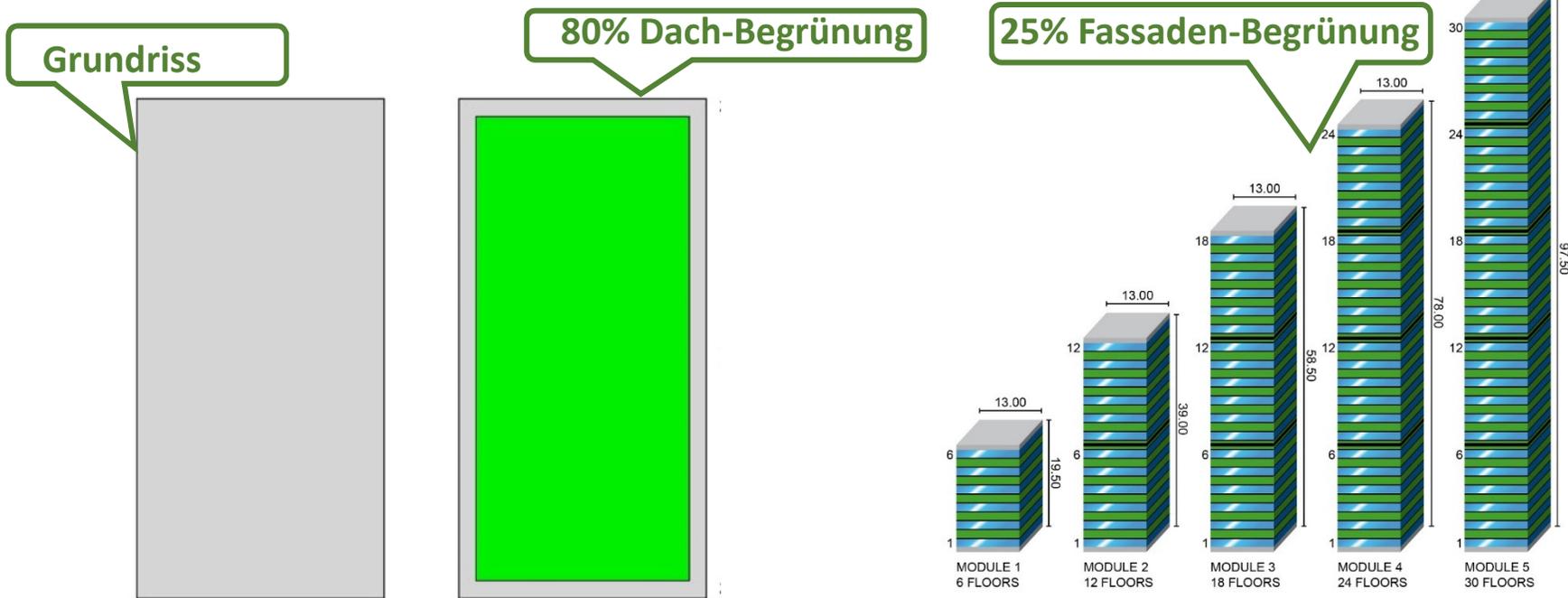
Annahme: Gesamte Regenmenge (Grundstück) zur Verdunstung

1. **Basis-Daten:** 1000 m² Grundstück, 400 m² Grundriss-Fläche
2. Regenwasser (pro Jahr): 780 l/m²/Jahr => Grundstück: 780*1000 = 780000 l/Jahr
 1. Regenwasser (pro Tag, Mittelwert): 780000/365 = 2140 l/Tag auf Grundstück
3. **Wieviel Begrünung um allen Regen zu verdunsten (3 Liter/m²):**
2140 l / (3 l/m²) = 713 m² an Grünfläche benötigt => **GDF = 713/400 = 1,78**
4. Dach (80%): 0,8*400m² = 320 m² => Fassade (Rest): 713-320 = 393 m²
5. Welche Kühlungsleistung wird erreicht (Kühlungsfaktor: 0,68 kWh/l)?
in einem Jahr: 780000 l * 0.68 kWh/l = 530 400 kWh
6. **Annahme: 4 Geschosse (4*0,8*400 = 1280 m² an Wohnfläche).**
HVAC: 120 kWh/m²/Jahr => GCF = 530400/(1280*120) = 3,4

Gebäude: HVAC Wärmeeintrag wird mit GCF=3,4 überkompensiert

Testfälle: allgemeine Modell-Gebäude

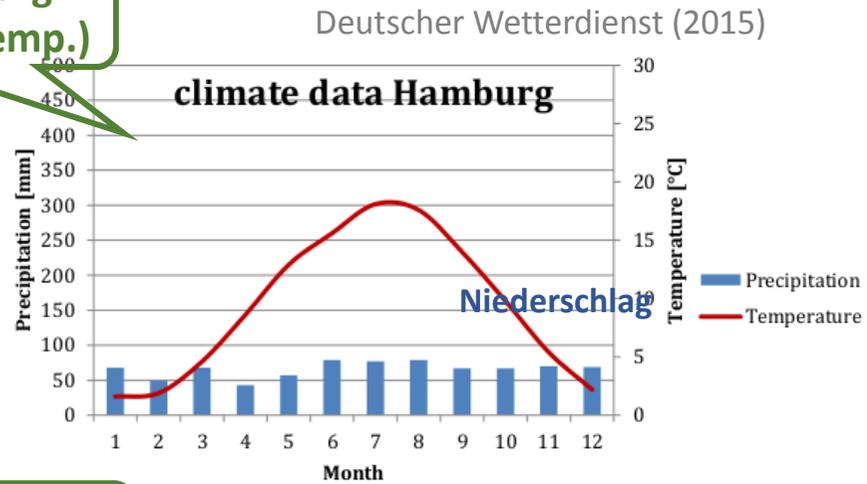
Gebäude mit modularer Struktur (flexible Geschossanzahl)



GDF & GCF problemlos für verschiedene Gebäude berechenbar

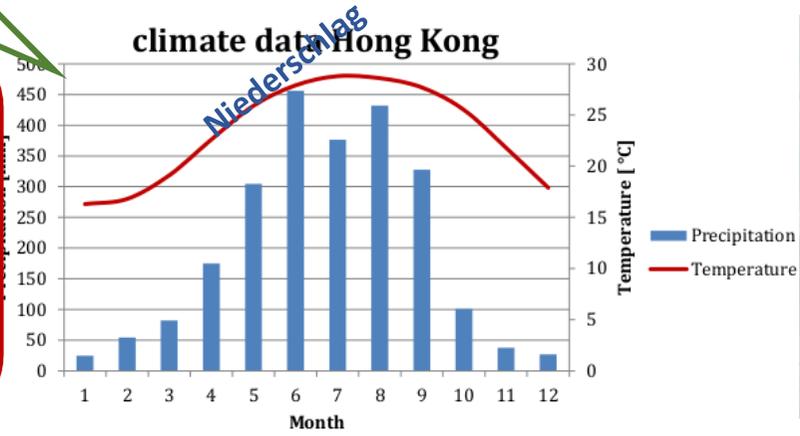
Zwei Klima-Zonen: Hamburg & Hong Kong

Klimadaten Hamburg
(Niederschlag & Temp.)



Google Earth (2015)

Klimadaten Hong Kong
(Niederschlag & Temp.)



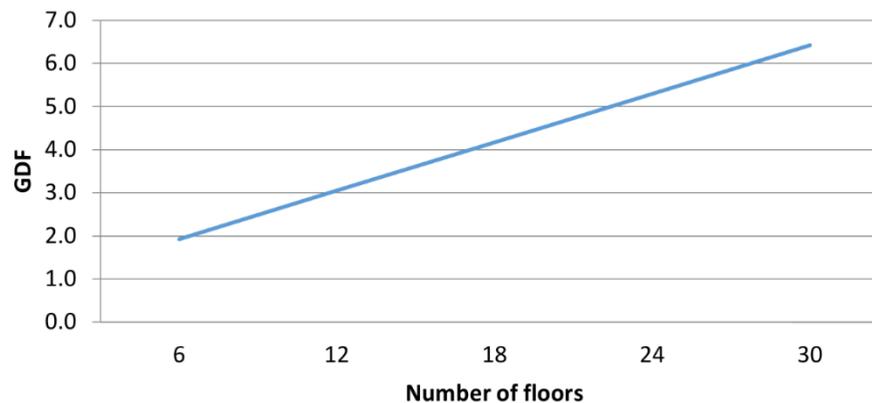
Je mehr Niederschlag & Sonneneinstrahlung, desto mehr Verdunstung

Resultate der GDF & GCF Berechnung

GDF & GCF: Berechnung für verschiedene Gebäude in HH & HK

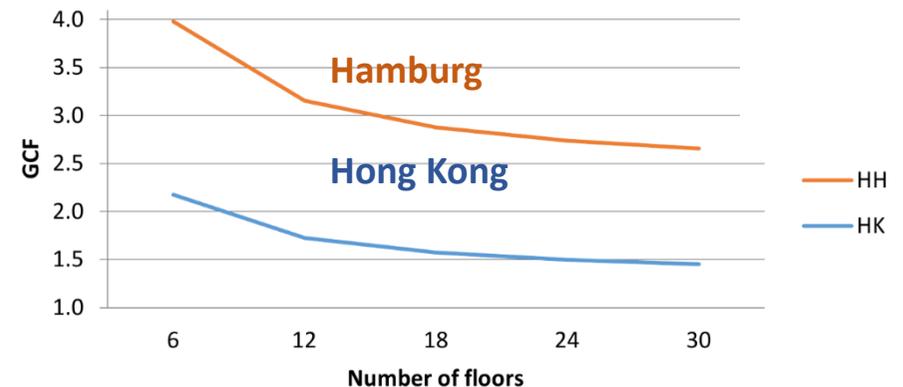
„Green Density Factor“ (GDF)
für verschiedene Stockwerke

Green Density Factor



„Green Cooling Factor“ (GCF)
für verschiedene Stockwerke (HH & HK)

Green Cooling Factor HH & HK



Green Density Factor (GDF): Überkompensation durch Vegetationsfläche
Green Cooling Factor (GCF): Mehr Kühlung als HVAC-Wärmeeintrag

Zusammenfassung & Ausblick

Begrünte Gebäude: Aktuell im Bau

Vereinsstraße 80 & 82 in Hamburg



Begrünte Gebäude: Problemlose Implementierung während Planung



Vereinsstraße: GDF&GCF-Berechnung



Fassaden-Flächen:
14qm Nordfassade
200qm Ostfassade
128qm Südfassade
31qm Westfassade
373qm Gesamte
Fassadenfläche

Dachflächen:
75qm Dachfläche Neubau
80qm Moosdachfläche
60qm Dachfläche Bestand
30qm Dachgarten EG Bestand
245qm Gesamte Dachfläche

496qm Grundstücksfläche
342qm bebaute Fläche
154qm unbebaute Fläche

61 kWh/(m²a) Neubau
200 kWh/(m²a) Bestand

Lageplan mit Dachaufsicht

BETZLER DEVELOPMENT
GMBH & CO. KG
NIENSTEDTENER MARKTPLATZ 29, 22069 HAMBURG
TELEFON 040 - 228689-900, TELEFAX 040 - 228689-909

BAUVORHABEN
Vereinsstraße 80+82
20357 HAMBURG

Vereinsstraße: GDF&GCF- Berechnung

Vereinstrasse 80 und 82 (Hamburg): Berechnungen GDF und GCF

Stand 28.1.2016

Berechnung GDF (Green Density Factor) = (Fassadengrün+Dachgrün) / bebaute Fläche

GDF = (373qm+245qm) / 342 qm = 1,81 (es werden 1,81-fach die Flächen naturiert, die durch das Gebäude versiegelt werden)

Berechnung GCF (Green Cooling Factor):

Kühllast= 618 qm Grünfläche * 3l/qm/Tag * 0,68 kW/l * 240 Tage Vegetationsperiode=
302572 kW per anno werden als Kühlenergie in das Mikroklima abgegeben.

HVAC Last = Altbau: 445 qm Nfl * 200 KW/a = 89.000 kW/a

Neubau: 490 qm Nfl * 61 KW/a = 29.890 kW/a

Summe Hitzelast werden per anno in das Mikroklima abgegeben 118.890 kW/a

GCF = 302/118 = 2,54 fach mehr Kühllasten werden in das Mikroklima abgegeben als Wärme

Frage: Notwendige Menge an Bepflanzung, um Wärme/Kühlung annähernd auszugleichen:

$118.980 \text{ kW/a} / (3\text{l/qm} * 0,68\text{kW/l} * 243\text{Tage}) = 240 \text{ qm}$

Antwort: Wäre das Gebäude mit 240 qm begrünnt, wären Hitzeeintrag aus HVAC gegenüber Pflanzenkühlung ausgeglichen.

Vereinsstraße: GDF&GCF-Berechnung

Regenwassermanagement auf dem Grundstück:

Frage: Wieviel Regen steht per anno durch dieses Grundstück zur Verfügung?

Grundstücksfläche: 496 qm * Regenspende 750 l/qm/a = 496*750 = 372.000 l Regenwasser stehen per anno zur Verfügung

Verteilung Regenwasser:

- 1.) Die horizontalen Dachflächen werden mit einer Wildwiese bepflanzt die bei zu wenig Wasser trocken fällt und bei zu viel Wasser regelmäßig aus dem Tank mit einer Kreislaufpumpe gespeist wird.
- 2.) Die Bepflanzung im Süden wird wegen der geschlossenen Bebauung durch den Nachbarn versorgt.
- 3.) Die Moosfl. / Dach sind eine experimentelle Bepflanzung und werden nicht zusätzlich außer der natürlichen Regenspende versorgt.
- 4.) Vernachlässigung natürlicher Versickerung in den Untergrund (komplett wasserdichte, bindige Böden führen eher zu Stauwasser).

Grün qm Summe	618 qm
./ . Fassade Süden	-128 qm
./ . Moos	-80 qm
Summe	410 qm

Jahresbedarf Gebäudegrün:	410 qm Grün * 3 l/qm/Tag * 240 Tage =	295.200 Liter per anno werden für die Pflanzen benötigt.
Jahresbedarf Unbebaute Fläche:	154 qm	
Davon befestigte Flächen:	47 qm	
Summe Grünflächen Garten:	107 qm * 3l/qm/Tag * 240 Tage	77.040 Liter per anno werden für den Garten benötigt
Summe :		372.200 Liter

Fazit:

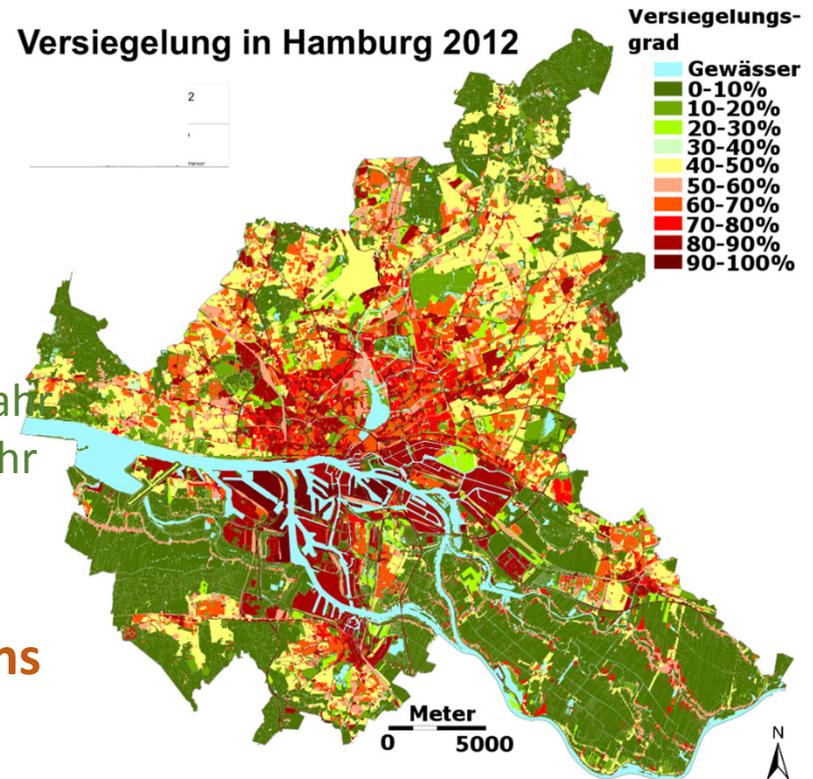
- 1) Das gesamte Regenwasser des Grundstücks wird durch Verdunstung in Das Mikroklima-System eingespreist.
- 2) Die durch die Bebauung versiegelte Fläche wird 1,81 fach als naturierte Fläche für Pflanzen überkompensiert.
- 3) Die Wärmeabstrahlung des Gebäudes wird über die Pflanzenkühlung 2,54-fach überkompensiert.

GDF & GCF: Anwendung auf gesamte Städte

GDF & GCF: Anwendung „Stadt“

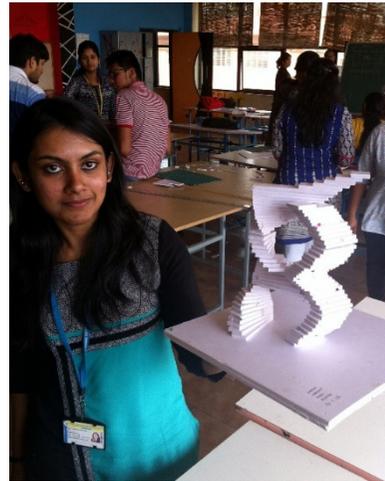
- Zusammenstellung: Daten Hamburg:
 - Niederschlag: 780 Liter/m²/Jahr
 - Flächenversiegelung: 225 km²
 - > Verlorener Regen: $1.7 \cdot 10^{11}$ Liter/Jahr
 - > Verlorene Kühlungsleistung: $1.2 \cdot 10^{11}$ kWh/Jahr
 - Gesamtenergieverbrauch HH: $6.7 \cdot 10^{10}$ kWh/Jahr
- **Begrünung der ges. versiegelten Fläche (Regenverdunstung) => Überkompensation des Energieverbrauchs mit GCF = 1.8**

Versiegelung in Hamburg 2012



GDF & GCF: Flexibles Werkzeug für Gebäude, Blocks und ganze Städte

Workshop 2016 in Indien



Dayananda Sagar
College of Engineering

DEPARTMENT OF ARCHITECTURE
DSSA

ENVIRONMENTAL BUILDING DESIGN WORKSHOP

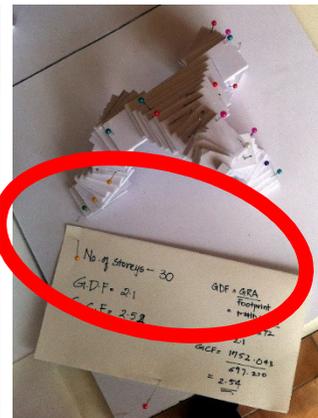
Resource person:
Architect Florian Betzler
Wismar University, Germany

Date:
12th, 13th, 14th Jan 2016

Venue:
Department of Architecture

Highlights

- Current scenario of green planning.
- Description of the need for reduction of the climate impact of cities.
- Description of the factors gdf and gcf.
- Model building of a new design scheme in paper and foam boards.
- Calculation of the factors gdf and gcf.
- Presentation and awards.



Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!

Ergänzende Folien

Begrünungsfaktoren – Stand des Wissens

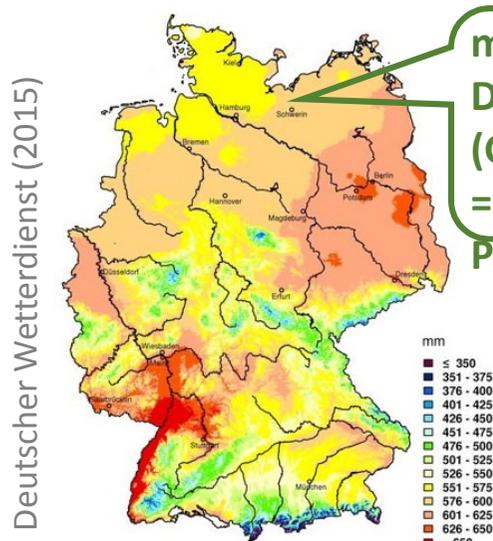
Verschiedene Systeme zur Grünberechnung auf lokaler Ebene

- „Green Plot Ratio“ (nicht bindend, Singapur):
Definiert Ziele basierend auf dem „Leaf Area index (LAI)“ (Pflanzen-spezifisch).
- „Biotope Area Factor“ (nur bindend, wenn im Landschaftsplan, Berlin):
Summe aller ökologisch wertvollen Flächen im Verhältnis zur Gesamtfläche
- „Seattle Green Factor“ (bindend für bestimmte Vorhaben, Seattle):
Summe der Punkte („Scoring“) einzelner Landschaftselemente in Relation zur Fläche
- „Urban Neighborhood Green Index“ (Testphase, Indien, lokal) :
Prozentuale Grünfläche (großräumig) im Stadtgebiet
- „Green Roof Bylaw“ (bindend für bestimmte Neuprojekte, Toronto)
Geforderter Gründach-Anteil (je nach Dachfläche)

Bislang kein einheitlicher Ansatz – oftmals nicht bindend

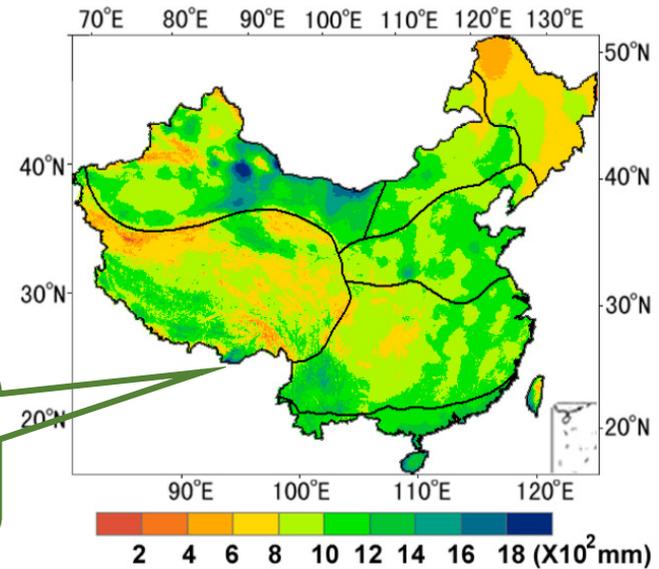
Wasser-Verdunstung: Hamburg & Hong Kong

Ziel: Verdunstungssystem nur durch Regenwasser gespeist



mm-Referenzverdunstung
Deutschland 2014
(Grasland)
=> Abweichungen je nach
Pflanzenart (HH > 600 mm)

Mittlere (gemessene)
Verdunstung in China
1982-2010 (> 1000
mm)



Yao et al. (2014)

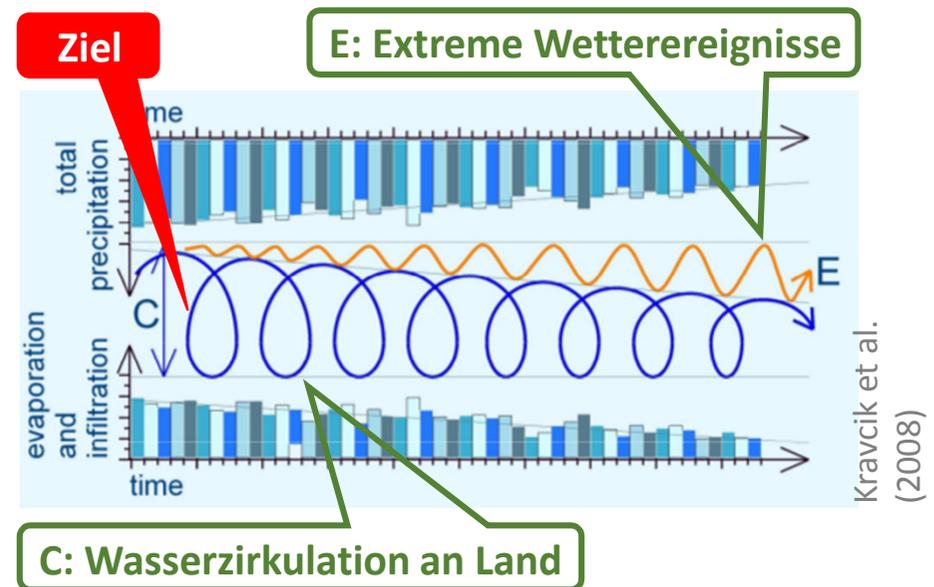
Genügend Regen/Verdunstung in Hamburg & Hong Kong verfügbar

Restauration des kleinen Wasser-Zyklus

Menschen beeinflussen den kleinen Wasser-Zyklus. Reparierbar?

- Entwaldung & Flächenversiegelung: Reduktion des kleinen Wasserzyklus
- Geringe Vegetation = geringe Kühlung
- Gegenmaßnahmen:
 - Aufforstung
 - Begrünte Gebäude & Städte

=> erhöhte Verdunstungsleistung
=> erhöhter lokaler Niederschlag
=> Reduzierung des „urban heat island“



Kleiner Wasser-Zyklus: Ausgleich im lokalen Klima, weniger Wetterextreme