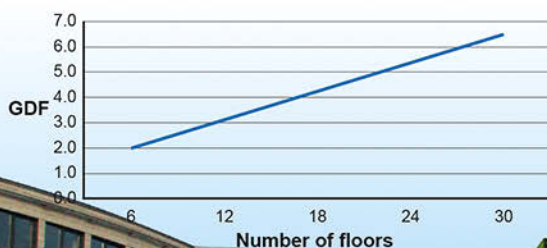


Florian Betzler

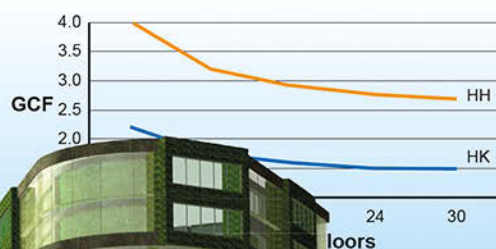
GDF – green density factor and GCF – green cooling factor

A specific calculation method to integrate green roofs, green facades and their evapotranspiration cooling rate into the general planning procedure of architects and planners

Green Density Factor



Green Cooling Factor HH & HK



Florian Betzler

**GDF - Green Density
Factor and GCF - Green
Cooling Factor**

Florian Betzler

GDF - Green Density Factor and GCF - Green Cooling Factor

**A specific calculation method to integrate
green roofs, green facades and their
evapotranspiration cooling rate into the
general planning procedure of architects
and planners**

Tectum Verlag

Florian Betzler

GDF - Green Density Factor and GCF - Green Cooling Factor.
A specific calculation method to integrate green roofs, green
facades and their evapotranspiration cooling rate into the
general planning procedure of architects and planners

© Tectum Verlag Marburg, 2016

Zugl. Diss. Univ. Technische Universität Darmstadt 2015 (D 17)

ISBN: 978-3-8288-6400-9

(Dieser Titel ist zugleich als gedrucktes Buch unter
der ISBN 978-3-8288-3750-8 im Tectum Verlag erschienen.)

Umschlagabbildung: Grafik des Autors

Alle Rechte vorbehalten

Besuchen Sie uns im Internet

www.tectum-verlag.de

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind
im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zusammenfassung

In dieser Dissertation wird ein System zur Berechnung von Einflüssen von Gebäudebegrünung in Relation zur versiegelten Gebäudefläche eingeführt. In einem zweiten Schritt wird der Kühlungseffekt der Gebäudebegrünung auf das umgebende Mikro-Klima des Stadtraums untersucht und abgeschätzt. Die hierfür eingeführten Faktoren können im Rahmen der Stadtplanung zur Anwendung kommen, um Umweltparameter eines Gebäudes zu standardisieren.

Die Bezeichnungen der eingeführten Faktoren sind: Green Density Factor (GDF) und Green Cooling Factor (GCF).

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Faktoren „GDF“ und „GCF“ als qualitatives und quantitatives Maß des Grünvolumens zu entwickeln. Die Faktoren erlauben ein in der Anwendung einfaches Werkzeug der urbanen Stadt- und Gebäudeplanung. Das Prinzip der Anwendung ist vergleichbar mit den Faktoren „GFZ“ („Geschossflächenzahl“, ein Maß für die Anzahl der Geschosse eines Gebäudes) und „GRZ“ („Grundflächenzahl“, ein Maß für die versiegelte Fläche im Verhältnis zur Grundstücksfläche), die im gegenwärtigen Deutschen Planungsrecht zur Anwendung kommen.

Die in dieser Arbeit eingeführten Faktoren „GDF“ und „GCF“ richten sich an Architekten (da Dach- und Fassadenarchitektur beeinflusst sind), Stadtplaner und –Entwickler (Anpassung der Planung anhand der berechneten Vorhersagen) und Entscheidungsträger (Politiker) – sowie sonstige Spezialisten aus den Bereichen des Wassermanagements, der Stadtklima-Forschung und der Nachhaltigkeits-Forschung. Die Faktoren ermöglichen es dem Anwender, das gesamte Gebäude

hinsichtlich der Form, der Energieversorgungssysteme und der Außenbegrünung zu optimieren, um der Zielsetzung umweltfreundlicher Gebäude und Städte zu entsprechen. Zudem ermöglichen es die Faktoren einer Stadtverwaltung, Vorgaben für zukünftige Bauprojekte zu definieren.

Der „GDF“-Faktor setzt die Fläche der Gebäudebegrünung (Fassaden und Dach) ins Verhältnis zur versiegelten Grundfläche des Gebäudes. Je mehr Außenbegrünung ein Gebäude aufweist, desto höher ist der GDF-Faktor. In diesem Ansatz ist es möglich, durch Außenbegrünung den negativen Einfluss auf das Stadtklima zu kompensieren, den versiegelte Flächen verursacht haben – mit anderen positiven Nebeneffekten, die eine Begrünung mit sich bringt. Natürlich können nicht alle negativen Effekte der Flächenversiegelung in Städten (z.B. auf den Boden und das Grundwasser) durch Gebäudebegrünung alleine korrigiert werden.

Aufbauend auf den GDF-Faktor erlaubt der „Green Cooling Factor“ (GCF), die Kühlkapazität der Gebäudebegrünung zu berechnen. Die Kühlung entsteht hierbei durch die Wasser-Verdunstung der Pflanzen. Die Kühlkapazität wird hierbei in Kilo-Watt-Stunden kWh pro Jahr gemessen und wird ins Verhältnis gesetzt mit dem Energieverbrauch des Gebäudes durch Beheizung, Belüftung und Klimatisierung (HVAC). Die HVAC-Systeme produzieren hauptsächlich Abwärme (direkt oder indirekt), die auf kurz oder lang in die Stadtumgebung eingebracht wird. Diese Abwärme-Leistung wird mit der Kühlkapazität ins Verhältnis gesetzt. Auch hier kann eine Überkompensation als Folge der Gebäudebegrünung erreicht werden. Eine Überkompensation kann hierbei direkt an dem ermittelten GCF-Faktor abgelesen werden: Zum Beispiel bedeutet ein Wert von $GCF = 1.5$, dass für jede 100 kW an

HVAC-Energieverbrauch des Gebäudes (in das Mikroklima des Stadtraumes eingebracht) eine Kühlleistung der Gebäudebegrünung von 150 kW (150%) in das Mikroklima des Stadtraumes eingebracht wird.

Um die generellen Anwendungsmöglichkeiten der Faktoren zu demonstrieren, werden diese im Rahmen dieser Arbeit auf verschiedene Beispielgebäude angewandt, die sich in verschiedenen Klimazonen befinden (Hamburg, Deutschland und Hong Kong, China), sowie aufgrund der unterschiedlichen Umgebungen und Stadtdichten unterschiedliche Anforderungen an die nachhaltige Stadtentwicklung stellen. In den betrachteten Fällen wird eine Fassadenbegrünung von 25% Flächenanteil und eine Dachbegrünung von 80% Flächenanteil angenommen. Es wird gezeigt, dass in beiden Fällen der lokale Regen-Niederschlag ausreichend ist, um das Verdunstungssystem der Gebäudebegrünung zu versorgen, welches zu einer Kompensation des Wärmeeintrags des Gebäudes in das Mikroklima des Stadtraumes führt. Des Weiteren können die Faktoren verwendet werden, um das Potenzial zur Kompensation des Wärmeeintrags durch den Energieverbrauch ganzer Städte abzuschätzen, wie im Falle Hamburgs und Hong Kongs dargelegt wird. Daher erlauben diese Faktoren eine sehr generelle Abschätzung der Kühlleistung durch Vegetation für verschiedene Regionen und für Areale verschiedener Größe.

Beide Faktoren (GDF und GCF) stellen Architekten ein klares System zur Verfügung, das schon zu Beginn des Planungsprozesses zur Anwendung kommt. Stadtplaner können mit Hilfe dieser Faktoren die Menge an Gebäudebegrünung zusammen mit der erwarteten Kühlleistung ermitteln. Daher können die entsprechenden

Vorteile für einzelne Stadt-Quartiere individuell geplant und vorhergesagt werden. Mit diesem Ansatz haben Stadt-Entwickler in einer sehr frühen Phase des Planungsprozesses ein Werkzeug zur Verfügung, welches die Einbeziehung der Dach- und Fassadenbegrünung und deren Langzeit-Vorteile (Wertsteigerung des Gebäudes) in eine Lebenszeit-Berechnung eines Gebäudes erlaubt. Am Ende der Arbeit wird ein Ausblick auf eine potenzielle Einbindung der Faktoren in den Prozess der Stadtplanung am Beispiel der „Hafen City“ dargelegt.

Abstract

This Ph.D. thesis will develop a calculation framework that relates the vegetation cover of a building to the area of the paved footprint of the building. In a second step, the cooling effect of the building vegetation on the surrounding microclimate is estimated. The introduced factors can be used in terms of town planning regulations in order to standardize environmental parameters for buildings.

The introduced factors are called the Green Density Factor (GDF) and the Green Cooling Factor (GCF).

The aim of this work is to develop the above factors (GDF and GCF) as a quantitative and a qualitative measure of the green volume. These new factors will enable an easy to use tool in urban planning questions. Adequate, for example, to the factors GFZ or GRZ, used in nowadays German city planning. GRZ is the “Grundflächenzahl”, a measure for the sealed footprint in relation to the property size (for example:

GRZ = 0.4 means that 40% of the property size can be covered/paved with buildings). GFZ is the “Geschossflächenzahl” which informs about the allowance of total number of floors (for example, VII means the building can be constructed with 7 floors maximum).

The factors GDF and GCF, introduced in this work, will address architects (since roofs and façade surfaces will be affected), developers/planners (detailed decisions based on the predictions) and decision makers (politicians) – as well as a variety of specialists working in the fields of water management, city climate and sustainability. The factors allow to adjust/optimize the entire building regarding its shape, the energy systems and the exterior greenery towards environmental buildings and cities. Furthermore, the factors will allow cities to set guidelines for upcoming construction projects.

The GDF relates the amount of exterior greenery on façades and roofs to the paved footprint of the building. The more exterior areas are vegetated the higher the GDF. Following this approach, the negative effects on the city climate as a result of paved areas can be (over)compensated by exterior vegetation, including other positive consequences that follow. It should be noted, however, that there are other negative effects resulting from paved city surfaces (e.g. on the soil and ground water) that cannot be recovered by vegetated buildings alone.

Based on the GDF, the Green Cooling Factor (GCF) will allow to calculate the cooling impact of the building vegetation. The cooling effect is a result of evapotranspiration of the plants. The cooling capacity measured in kilo-Watt-hour (kWh)

per year will be compared to the building energy used in heating, ventilation and air condition (HVAC), as well as the electrical components of the building installation. The HVAC systems produce mainly heat that so far is released into the city spaces. This released heat will be compared with the cooling capacity. Again, overcompensation can be achieved as consequences of the vegetation. An overcompensation can directly be read from the calculated GCF value: For example, $GCF = 1.5$ means, that for each 100kW from HVAC heat load injected into the micro-climate, an amount of 150kW of cooling capacity (150%) are added to the micro-climate by the building vegetation.

The factors are applied to different example buildings located in the climate zones of Hamburg (Germany) and Hong Kong (China) in order to illustrate their general capabilities – since both city require a different focus in terms of sustainable city planning. In these cases, a 25% vegetation cover of facades and an 80% vegetation cover of roofs is assumed. It is shown, that in both cases the amount of local rain precipitation is sufficient to feed the evapotranspiration of the vegetated facades and vegetated roofs to achieve a cooling that overcompensates the heat load injected by the building into the micro-climate. Furthermore, the factors are used to estimate the potential to compensate the heat load caused by the energy consumption of the whole cities of Hamburg and Hong Kong. Therefore, the factors allow to easily predict cooling energy capacities for different regions and different sized areas.

Both, the GDF and the GCF will be factors that provide specialists with a clear framework at the very beginning of the planning procedure. Architects and city planners (e.g. governmental city planning agencies) can determine the

degree of exterior greening and the expected cooling using these factors. Therefore, all the benefits for each city quarter can be included/predicted individually. Using this approach, architects and city planners are able at a very early stage to include it into a life-cycle-assessment of the building and increase its value through the benefits of the exterior greenery. An outlook for a potential implementation of the factors into the city planning process is discussed based on the example of the “Hafen City” Hamburg at the end of the thesis.

Content

Zusammenfassung	5
Abstract	8
Content	12
Abbreviations	14
List of tables	15
List of figures	16
1. Introduction	21
a. Human impact on land cover and climate	21
i. Human land cover change	21
ii. Altered water cycle and climate impact	25
iii. Trends of population growth	30
iv. Trend of urbanization	31
v. Urban Heat Island effect for cities	36
vi. Energy map	41
vii. Preliminary conclusion	43
b. Cooling effects of roofs and façades of green building	45
i. Water evapotranspiration of plants	45
ii. Cooling effects of vegetated buildings	47
iii. Types of vegetated facades and roofs	51
c. Vegetated buildings- Current state of research	56
i. Green Plot Ratio, Asia	59
ii. Biotope Area Factor, Berlin, Germany	60
iii. Seattle Green Factor, Seattle, United States	61
iv. Urban Neighbourhood Green Index, Delhi, India	63
v. Green Roof Bylaw, Toronto, Canada	64
vi. Green volume number, Hamburg	65
vii. Preliminary conclusion	65
2. Green buildings, previous projects & motivation	69
a. Green buildings world-wide	69
b. Previous projects (Betzler) & motivation	73
i. DESY research centre, Hamburg, Germany	73

ii. Simon-von-Utrecht-Straße, Hamburg, Germany	77
c. Preliminary conclusion	81
d. Research gaps and aim of this thesis	81
3. Introduction and application of GDF and GCF	84
a. Definition of the GDF and GCF factors	84
i. The Green Density Factor (GDF)	84
ii. The green cooling factor (GCF)	86
iii. Evapotranspiration energy (EVE)	89
iv. Amount of water evapotranspiration	90
b. Calculation examples for the GCF formula	96
i. Using all the available rain	96
ii. An old building with HVAC of 180 kWh/m ²	97
c. Description case studies	98
i. Introduction Hamburg and Hong Kong	99
ii. Modell buildings	105
iii. Heating, Cooling and Ventilation energy of buildings	109
4. Results of case studies and discussion	112
a. Green Density Factor (GDF) of the model buildings	112
b. Green Cooling Factor (GCF) of the model buildings	113
c. Water tanks	117
d. Excursion for discussion: Considering the whole city space	121
i. Hamburg	121
ii. Hong Kong	124
e. Example implementation of GDF/GCF into the “Hafen City Hamburg” plan	126
f. Legal Implementation of GDF/GCF into the public building codes and laws based on the example of Germany	128
5. Summary and Conclusion	132
6. Literature	139

Abbreviations

°C	Degree Celsius
°E	East
a	Year
ASLA	American Society of Landscape Architects
BAF	Biotope Area Factor
BCA	Building and Construction Authority of Singapore, Building and Construction Authority of Singapore
BGL	Bundesverband Garten-, Landschafts-, Sportplatzbau
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BPR	Building Plot Ratio, Building Plot Ratio
CO ₂	Carbon dioxide
DESY	Deutsches Elektronen-Synchrotron
DWD	Deutscher Wetterdienst
EEA	European Environment Agency
FBB	Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.
Fig.	Figure
FLF	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
g	Gram
GCF	Green Cooling Factor, Green Cooling Factor
GDF	Green Density Factor, Green Density Factor
GFA	Gross Floor Area, Gross Floor Area
GIS	Geographical Information System
GnPR	Green Plot Ratio
ha	Hectare
IASS	Institute for Advanced Sustainability Studies
KJ	Kilojoule
km	Kilometre
kWh	Kilowatt-hour
LAI	Leaf Area Index
m	Metre
max.	Maximum
min	Minimum
mm	Millimetre
Mtoe	Million tons oil equivalents
N	North
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
SenStadt	Sentasverwaltung für Stadtentwicklung
SGF	Seattle Green factor
TC	Total cooling
UN	United Nations
UNCCD	United Nation Convention to Combat Desertification, United Nation Convention to Combat Desertification
UNECE	United Nations Economic Comission for Europe
UNEP-DTIE	United Nations Environmental Programme - Division of Technology, Industry and Economics
UNGI	Urban Neighbourhood Green Index
US	United States
Wh	Watt-hour