

# Die CO<sub>2</sub> neutrale Stadt der Zukunft

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

BBS INSTITUT / Hefei University Anhui-China / HAWK Hildesheim  
38302 Wolfenbüttel, h-p.leimer@bbs-institut.de

## Kurzfassung

Die zunehmende Urbanisierung und der Klimawandel sind eine der größten Herausforderungen im 21. Jahrhundert. Viele Städte stehen bereits vor deren negativen Auswirkungen wie stetig anwachsende Luftverschmutzung aus Verkehr und Industrie. Die festen und flüssigen Abfälle belasten die Böden und Gewässer und auch der fortschreitende Lärm in unseren Städten führt zu erheblichen Belastungen jedes Einzelnen.

Ein wesentlicher Bereich ist hierbei der wachsende Verbrauch an fossilen Brennstoffen in den Städten. Dieser führt zu steigenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, die den Klimawandel beschleunigen. So versuchen auf der ganzen Welt, besonders auch in China, die Städte ihre CO<sub>2</sub>-Bilanz zu reduzieren. In diesem Zusammenhang wird das Konzept der sogenannten „Low Carbon Cities“ gefördert. Derzeit werden fast 100 Städte in China auf diesen Überlegungen geplant. Aber es gibt hierfür eigentlich keine Basis. Auch der reine Begriff „Low Carbon City“ sagt nichts über ein Planungsziel oder prozentuale Einsparungspotentiale aus!

Erste Grundlagen zur Bewertung wurden mit dem Forschungsvorhaben LOW CARBON ECONOMY IN CITIES OF CHINA - POSSIBILITIES TO ESTIMATE THE POTENTIAL OF CO<sub>2</sub>-EMISSIONS gelegt. Hierbei wurde im Auftrag des Bundesministerium für Bildung und Forschung eine Bewertung (siehe Chapter 1602 Title 896 05, 2009) der CO<sub>2</sub> Emissionen für Städte/Gebäude in China durchgeführt.

Diese Ergebnisse wurden in eigene Forschungen übernommen. Hierbei wurde versucht die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu einer ganzen Stadt nun ganzheitlich zu bewerten. Dazu wurden beispielhaft die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Stadt der Zukunft mit zwei Millionen Einwohnern ermittelt. Um die gewonnenen Werte einordnen zu können, wurde ein Vergleich zu einer fiktiven Stadt gezogen, deren CO<sub>2</sub>-Emissionen auf tatsächlichen Werten beruht. Grundlegende Betrachtungen fanden in diesem Zuge die Bereiche Verkehr, Energie, Gebäude und Städtebau, aber auch die Möglichkeiten einer CO<sub>2</sub> Senke durch Anpflanzungen untersucht.

Hierbei wurde aber auch die Abgabe von CO<sub>2</sub> aus dem biogenen Zerfall betrachtet. Pflanzenreste geben bei Verbrennung oder Verrottung das in sich gebundene CO<sub>2</sub> wieder frei. Werden jedoch Pflanzenreste im Rahmen eines Pyrolyseprozesses in Pflanzenkohle umgewandelt, wird das CO<sub>2</sub> zu einem großen Anteil in der Kohle gebunden, dabei stellt Pflanzenkohle selbst einen wichtigen Roh-/Werkstoff dar, der unterschiedlichste Eigenschaften aufweist, die in unterschiedlichen Anwendungen genutzt werden können.

Mit diesem Verfahren wird somit nicht, wie bei Vorgaben zur Reduzierung des Verbrauchs von Energie z. B. bei Verkehr, Heizung und/oder Kühlung etc. der CO<sub>2</sub>-Ausstoß nur vermindert, sondern das CO<sub>2</sub> wird aus dem Kreislauf der Atmosphäre heraus genommen und kann langfristig eingelagert werden.

Durch die geführten, ganzheitlichen Betrachtungen in diesem Forschungsprojekt wurde es nunmehr möglich erste allgemein gültige Angaben zur Planung der *Stadt der Zukunft* zu liefern.

Grundlagen hierzu bildeten die Untersuchungen der Einflüsse auf den Energiebedarf von s.g. Low Carbon Cities in den 2010er Jahren [1].

## Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Gebäuden am Beispiel Xiamen-China

Um den Energiebedarf, somit die CO<sub>2</sub> Emissionen, von Städten zu kennen gilt es vorab die Städte mit Ihren Gebäuden zu klassifizieren. Basis der Klassifikation sind 7 Gebäudetypen nach der Typologie des MoHURD - Ministry of Housing and Urban-Rural Development, eingeteilt in

- Wohngebäude
- Nichtwohngebäude.

Bei Wohngebäuden wurde eine Klassifizierung der Gebäude anhand der Gebäudegeometrie vorgenommen. Dabei wird das Verhältnis von Außenwand und Dach zum Volumen (A/V-Verhältnis) genommen.

Wohngebäude wurden differenziert in

- a) Einfamilienhäuser bis 3 Stockwerke;
- b) mehrstöckige Häuser für mehrere Familien.

Nichtwohngebäude wurden weiter differenziert in

- c) Bürogebäude;
- d) Einkaufszentren;
- e) Hotels;
- f) Bauten für Handel und Messe;
- g) Schulen und andere Gebäude.

Die Simulation des Energiebedarfs wurde mittels des Programmsystems TRNSYS berechnet. Sie basiert auf einem Einzonenmodell eines Standardraumes mit unterschiedlichen Bauteilen, unterschiedlichem Fenster-Wand-Verhältnis und unterschiedlicher Nutzung. Außerdem wurde die Ausrichtung und Lage des Raumes variiert.

Die Eigenschaften der Gebäudeteile erfüllen die Mindestanforderung der chinesischen Normen GB 50189 und JGJ 75 (Baseleine). Energetische Optimierungen wurden auf der Basis des Bewertungssystems LEC [1] - Low Energy Certificate (3\* - 5\* - entsprechend eines erhöhten europäischen Dämmstandards) durchgeführt.

Dabei entspricht das Fenster-Wand-Verhältnis der Klassifizierung der aktuellen chinesischen Anforderungen. Für die Nutzung gemäß des geltenden Standards in China sind unterschiedliche Benutzerprofile vorgesehen. Weiterhin wurden zusätzliche Abzüge für das Nutzerverhalten, die Planung und die Bauqualität berücksichtigt.

Der berechnete Energiebedarf unterschiedlicher Gebäudetypen zeigt sich zu:

**Tabelle 1:** Energiebedarf unterschiedlicher Gebäudetypen

No.	Building type	Standard energy demand (max. value) for cooling, heating, dehumidification current Energy Standard China	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
a	Single family houses	43.10	35.59
b	5500-storage-family houses	54.28	46.04
c	Office buildings	101.28	87.03
d	Shopping centres	114.02	97.97
e	Hotels	164.93	141.71
f	Congress/Fair buildings	112.50	96.74
g	Schools	76.37	65.01

**Tabelle 2:** CO<sub>2</sub> Emissionen der Stadt Xiamen bei unterschiedlichen Energiestandards

Building type	Floor area (m <sup>2</sup> )	0 CO <sub>2</sub> standard	1* standard	4* standard	5* standard
Single family houses	125099	4624	3081	2077	2064
Multi storage houses	1142439	47404	29545	27139	27180
Office buildings	940074	89134	61890	54332	48194
Multi storage houses					
Office buildings (max)	1247020	64200	43768	39112	36204
Shopping Centres	647986	72156	43418	40041	37048
Hotels	142010	16831	9503	7954	7083
Congress / Fair	11192	1073	804	772	731
Schools	48900	3483	1478	1240	1187
Other buildings	53324	40473	19371	31718	28202
<b>TOTAL</b>	<b>4867864</b>	<b>298994</b>	<b>227866</b>	<b>206590</b>	<b>191837</b>
Total (in % of baseline)		100%	76%	68%	64%

CO<sub>2</sub>-emissions for heating, cooling and dehumidification MDN values.  
 Standards according to: Baseline = applicable Chinese standard  
 1\* acc. Chinese Green Building Standard, 4\* German ENEV 2001, 5\* German ENEV 2009

Basierend auf der Ermittlung des Endenergiebedarfs wurden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Primärenergiebedarfs unter Berücksichtigung der Primärenergiestruktur, der Energieeffizienz der Energieumwandlung und der Verluste bei der Stromübertragung berechnet.

Es zeigte sich, dass ein solches Verfahren eine Möglichkeit ist, die wirtschaftlichen Einsparpotenziale und die eingesparte Energiemenge den Investitionskosten gegenüberzustellen.

Auch unter Berücksichtigung regionaler Besonderheiten wird gezeigt, dass es eine Möglichkeit gibt, das CO<sub>2</sub>-Potenzial für neue „Low Carbon Cities“ Chinas zu ermitteln. Die Ergebnisse liefern Entscheidungsgrundlagen für die Implementierung neuer Gebäudestandards zur Begrenzung des Energiebedarfs in einem speziellen „Low Carbon Standard“, einem Standard, der weit über dem aktuellen Energiestandard Chinas liegt.

## Die CO<sub>2</sub>- neutrale Stadt

Im Rahmen eines eigenen Forschungsprojektes [3] von 2017 wurden die Möglichkeit der Planung einer CO<sub>2</sub>-neutralen Stadt untersucht. Hierbei wurde berechnet, in welchen Bereichen CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Stadt entstehen und welche Möglichkeiten zur Verfügung stehen, um diese zu verringern und einzusparen. Dazu wurden die CO<sub>2</sub>-Emissionen für eine Stadt mit zwei Millionen Einwohnern zugrunde gelegt.

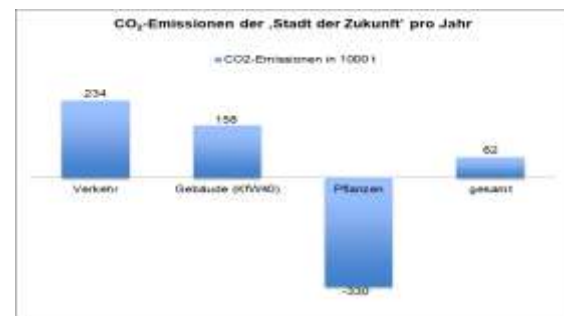
Die grundsätzliche Frage in diesem Projekt war: „Ist es möglich die Emissionen von CO<sub>2</sub> einer neuen Stadt so zu optimieren, das mit Hilfe von Parks und Grünflächen eine CO<sub>2</sub>- neutrale Stadt entstehen kann“.

So wurden die CO<sub>2</sub>-Emmissionen für eine ‚fiktive‘ Stadt berechnet. Diese setzen sich zusammen aus

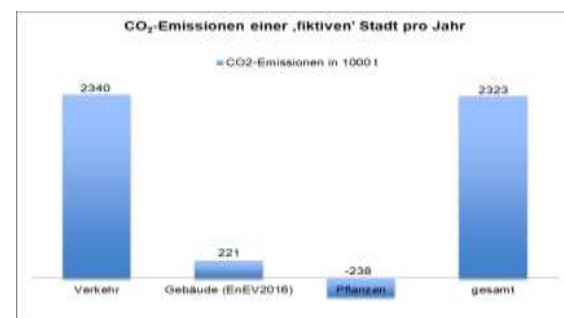
- Verkehr
- Energie
- Energieverteilung
- Gebäude
- Städtebau
- Begrünung

Betrachtet man die CO<sub>2</sub>-Emissionen eine heutige ‚fiktive‘ Stadt (Abbildung 1), dann wird deutlich, dass der Verkehr maßgeblich die CO<sub>2</sub>-Emissionen beeinflusst. Der gesamte Ausstoß der CO<sub>2</sub>-Emissionen beläuft sich auf rund 2.323 Mt. Die Einspeicherung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Pflanzen deckt mit rund 238 Mt in etwa den Ausstoß an CO<sub>2</sub>-Emissionen, der durch die Gebäude nach dem EnEV(2016) - Standard verursacht wird.

Im Gegensatz die ermittelten CO<sub>2</sub>-Emissionen einer ‚Stadt der Zukunft‘ (Abbildung 2). Hier wird deutlich, dass die Emissionen im Vergleich zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen der fiktiven Stadt deutlich gesenkt werden können. Ursächlich hierbei sind die Einsparungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Vermeidung fossiler Energieträger und die Veränderungen der Verkehrskonzepte.



**Abbildung 1:** CO<sub>2</sub>-Emissionen einer ‚fiktiven Stadt‘



**Abbildung 2:** CO<sub>2</sub>-Emissionen einer ‚Stadt der Zukunft‘

Besonders hervorzuheben ist nun aber die die Wirkung der Pflanzen auf die Einspeicherung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das Forschungsvorhaben zeigt hierbei deutlich, dass es möglich ist die Planungen/Energie-Effizienten so zu

optimieren, dass die Pflanzen der Stadt das CO<sub>2</sub> nahezu vollständig absorbieren können.

Ganz richtig ist das nicht ... da Pflanzen bei Verbrennung oder bei der Umwandlung zu Kompost dieses CO<sub>2</sub> wieder an die Atmosphäre wieder abgeben. So bedarf es eines Verfahrens der dauerhaften Speicherung von CO<sub>2</sub> der Pflanzen. Hierfür stehen uns jedoch Pyrolyseanlagen zur Verfügung.

### Realen Ansätze von Pyrolyseanlagen

Pyrolyseanlagen können das in Biomasse des Zuwachses der Pflanzen enthaltene CO<sub>2</sub> dauerhaft in Pflanzenkohle umwandeln. Das Verhältnis Biomasse/Pflanzenkohle beträgt hierbei ca. 1/3. So lassen sich mittels der Pyrolyseanlage aus je 2 Tonnen Grünschnitt rund 1 Tonne CO<sub>2</sub> dauerhaft der Atmosphäre entziehen. Weiterhin werden in diesem Prozess aus je 1000t Biomasse ca. 1000 MWh Wärme freigesetzt. Alle Energieaufwendungen, wie der Transport des Grüngutes, dessen Zerkleinerung, der Betrieb der Anlage sowie das Einbringen der Pflanzenkohle in den Boden, sind dabei in der Gesamtbilanz berücksichtigt.

Die Pyrolyse-Anlage ist energieautark und wird im kontinuierlichen Prozess betrieben. Die Energie, die zur Aufheizung der Biomasse benötigt wird, muss zugeführt werden. Die Energie für den weiteren Prozess stammt aus der Biomasse selbst und wird durch die Verbrennung des bei der Pyrolyse entstehenden Gases erzeugt.

Auf der Grundlage einer Stadt mit 2 Mio. Einwohner ergeben sich ca. 300.000 t/a Grünschnitt, daraus resultiert ein Jahrespotential von ca.

- 100.000 t Pflanzenkohle als Wertstoff, z.B. als Additive in Werkstoffen.
- 300.000 MWh Wärme aus dem Pyrolyseprozess und
- die dauerhafte Bindung von ca. 300.000 t CO<sub>2</sub>, die gesamte CO<sub>2</sub> Bindung des Pflanzenzuwachses der Stadt!

### Pflanzenkohle als Ersatz für Zuschlagstoffe in mineralischen Werkstoffen

Mehr und mehr rückt so das Thema des Einsatzes von Pflanzenkohle in den Einsatzbereich des Bauwesens. Die Anwendungsbereiche gründen sich auf die spezifischen Eigenschaften der Kohle. Die extrem große Oberfläche der Pflanzenkohle bewirkt eine starke Kationenaustauschkapazität sowie eine starke Neigung viel Feuchtigkeit aufzunehmen und wieder abgeben zu können. Im Rahmen eines eigenen Forschungsvorhabens 2018 „Einsatz von Pflanzenkohle im Bauwesen“, wurde die erfolgreiche Zugabe/Einlagerung von Pflanzenkohle in mineralischen Werkstoffen untersucht.

### Literaturverzeichnis

[1] PROPOSED NEW BASELINE AND MONITORING METHODOLOGIES - (CDM-NM) CDM project activity categories – III.AE. Energy efficiency and renewable energy measures in new residential buildings

[2] LEC - Low Energy Certificate - <http://www.lowenergycertificate.com>

[3] Forschungsbereich Energie und Umwelt der HAWK Hildesheim; Deryck, Henrike; Die CO<sub>2</sub> neutrale Stadt, 2017

### Curriculum Vitae

Prof. Dr.-Ing.  
Hans-Peter Leimer



#### Vita:

- |             |                                                                                                                                     |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| seit 1990   | selbstständige Tätigkeit / Geschäftsführer im BBS INGENIEURBUERO - Wolfenbüttel                                                     |
| seit 2001   | Leiter des BBS Institut - Forschungs- und Materialprüfinstitut für angewandte Bauphysik und Werkstoffe des Bauwesens - Wolfenbüttel |
| seit 2007   | Professor für Bauphysik an der Hefei University – China                                                                             |
| seit 2009   | CEO BBS INTERNATIONAL Ltd. – Shanghai China                                                                                         |
| seit 2017   | CTO und Partner der Firma BERLIND (Shanghai) Engineering Ltd sowie BERLIND (Kunshan) Factory Ltd.                                   |
| seit 2020   | CSO und Partner der Firma CARBON-plus GmbH, Westoverledingen.                                                                       |
| 2000 - 2022 | Professur für Baukonstruktion und Bauphysik an der HAWK Hildesheim - Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst               |
| 2001 - 2013 | Präsident der WTA- Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege                          |
| 2007 - 2019 | Leitung des Institutes für angewandte Bauphysik und Qualitätssicherung an der Hefei University - China                              |
| 2014 - 2022 | Leiter des neuen HAWK Labors für Bauphysik, Hildesheim                                                                              |