

ULF SKIRKE

## Klimawandel und Stadt. Komplex-dynamische Planung für Nachhaltigkeit

Unter dem Motto: „Better City, Better Life“ fand in Shanghai die Weltausstellung EXPO 2010 statt. Erstmals waren neben nationalen Ausstellungen auch Städte weltweit aufgefordert, eigene Ausstellungsprojekte zur nachhaltigen Stadtentwicklung vorzustellen. Hamburg präsentierte sich dort mit dem ersten gebauten und zertifizierten Passivhaus in China als Beitrag zum globalen Klimaschutz.<sup>1</sup> Mittlerweile nehmen Städte eine Schlüsselrolle bei einer klimagerechten, zukunftsfähigen Entwicklung ein: wohnten um 1800 etwa 2% der Erdbevölkerung in Städten, waren es 2010 ca. 50%, und der Anteil wird Mitte dieses Jahrhunderts auf 2/3 geschätzt.<sup>2</sup> Globalisierung und Verstädterung gehen also Hand in Hand, die damit verbundenen Probleme – allen voran das Klimaproblem – ebenso. Dabei spielen die „hochentwickelten“ Industrieländer mit ihren Stadtlandschaften eine Doppelrolle: als Auslöser des Klimawandels und als möglicher Vorreiter für eine Lösungsstrategie. Wenn Europa derzeit ehrgeizige Klimaschutz-Ziele vorgibt, ist dies umso nötiger, *„als die europäisierte Modernisierung maßgeblich für die gegenwärtigen Klimaveränderungen verantwortlich ist. (...) Mit den nicht beabsichtigten Folgen des eigenen Tuns konfrontiert, stoßen die erfolgreichen, in sich geschlossenen Handlungsprogramme von Politik, Wirtschaft oder Recht an ihre Grenzen.“*<sup>3</sup>

Dies zeigt sich insbesondere in der völlig ungenügenden Integration von Maßnahmen gegen die Finanzkrise und Maßnahmen gegen den Klimawandel. Denn die Krise von vermeintlich grenzenlos wachsenden Kapitalrenditen sowie von scheinbar grenzenlos verfügbaren irdischen Ressourcen zeigt nur zwei Seiten derselben Medaille.

Gegenüber dem 20. Jahrhundert sind die modernen Gesellschaften im 21. Jahrhundert *„unvergleichbar komplexer und undurchsichtiger“* geworden – als ökonomische, ökologische, soziale, technologische und kulturelle Prozesse,

---

<sup>1</sup> Siehe Ausstellungsbroschüre „Home of Hidden Energies. Das Hamburg House auf der Expo Shanghai 2010“, Hamburg 2010 .

<sup>2</sup> EBD., S. 4

<sup>3</sup> Siehe Michael SCHILLMEIER: Politische Ökologie<sup>106-107</sup>, 25. Jahrgang, September 2007, Klimawandel. Gerechtigkeit im Treibhaus, , S. 30 - 33, hier S. 31.

die sich lokal und global durchdringen und vernetzen.<sup>4</sup> Kurz: der globalisierte ‚Aggregatzustand‘ von wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Problemen erreicht eine neue Qualität dynamischer Komplexität, die mit traditionellen Lösungsmustern als nicht mehr angemessen zu meistern erscheint.

Die Dramatik des Problems wird deutlich, wenn die Vorgabe des ‚Intergovernmental Panel on Climate Change‘ (IPCC), die Temperaturerhöhung des Weltklimas auf zwei Grad Celsius zu begrenzen, eingehalten werden soll: d. h. eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 40-50% bis 2020 und mindestens 80% bis 2050 gegenüber dem Niveau von 1990. Dies gilt natürlich insbesondere für die Industriestädte – was Klimaschutzkonzepte mit einem nachhaltigen Stadtumbau neuer Qualität in den Bereichen Siedlungsentwicklung, Energiewirtschaft, Infrastruktur oder Mobilitätsentwicklung bedeuten würde!

Demgegenüber werden Nachhaltigkeit oder Klima-Gerechtigkeit im konkreten Planungsalltag häufig als ‚*Abwägungsbelange unter anderen*‘ und nicht als grundlegende Querschnittsaufgabe mit fachübergreifenden Planungsinstrumenten betrachtet. Eingefahrene Planungsabläufe scheinen von der Vergangenheit mit nur kleinen Korrekturen in die Zukunft verlängerbar.

Doch die herkömmliche Tradition linear-mechanistischer oder einfach-kausaler Denk-, Planungs- und Handlungsweisen in der Stadtentwicklung führt angesichts tiefgreifender global-lokaler Umbrüche ökologischer, ökonomischer und sozialer Prozesse nicht mehr weiter.

Schon längst sind strukturelle Änderungen von ‚klassischer‘ Stadtplanung und herkömmlichen Planungsinstrumenten hin zu einer zukunftsfähigen Stadtentwicklung auf Basis eines breit gefächerten Diskurses über nichtlineare Rückkoppelungen und komplexen Verschränkungen von Planungsprozessen global wie lokal überfällig. Dies betrifft gleichermaßen wesentlich auch Entscheidungs-Prozesse der Politik.

Gleichzeitig bedarf es einer breit angelegten Partizipation und Motivation der Zivilgesellschaft: ein klimagerechtes, nachhaltiges Stadtumbauprogramm (s.o.) zur drastischen Verringerung des Austosses von Treibhausga-

---

<sup>4</sup> Mohssen MASSARRAT: Demokratisierung der Demokratie, Erschienen in: Mohssen Massarat/Uwe Rolf/Hans-Joachim Wenzel (Hrsg.) Bilanz nach den Weltgipfeln Rio de Janeiro 1992 und Johannesburg 2002 und Perspektiven für Umwelt und Entwicklung, München 2003, S.3

sen muss transparent und nachvollziehbar sein. Dazu gehört vor allem eine wirklich aufklärende Berichterstattung der Medien. Anstelle zu vieler Meldungen über Krisen, Kriege, Katastrophen wären gut recherchierte Hintergrund-Berichte über erfolgreiche, vorbildhafte Nachhaltigkeitsprojekte oder über deren Irrtümer und Misserfolge vorrangig – beides zur Selbstverstärkung von positiven Lernprozessen in Richtung Nachhaltigkeit.

Man stelle sich vor, parallel oder anstelle der Börsennachrichten würden Berichte über eine „C02-Börse“ zur Verringerung der Treibhausgase gegeben, oder Zeitungen, Rundfunk und Fernsehen würden 20% ihrer Nachrichten auf Nachhaltigkeits- bzw. Klimaprojekte ausrichten....

### Lässt sich Zukunft planen?

Bevor wir uns jedoch weiter mit Zukunftsperspektiven der (Stadtentwicklungs)- Planung näher befassen, ist zu analysieren, welche Planungsvorstellungen der Vergangenheit zur kritischen Situation der Gegenwart geführt haben. Dazu ist zunächst ein Rückgriff auf den 1989 erstmals erschienen „Klassiker“ über Planungs- und Entscheidungstheorie von Dietrich Dörner<sup>5</sup> hilfreich. Er zeigt auf, welche Denk- und Handlungsfehler Menschen in komplexen Situationen unterlaufen. In komplexen Realitäten ist es nicht möglich, nur ein Problem zu betrachten oder lösen zu wollen. Dörner weist nach, dass die meisten realen Prozesse komplex-dynamische, gegenseitig vernetzte Abhängigkeiten enthalten, die darüber hinaus nicht-lineare Rückkopplungseffekte aufweisen.<sup>6</sup> Nicht nur die Planungspraxis der Vergangenheit, sondern nach wie vor auch die der Gegenwart tendiert dazu, momentane Zustände linear zu extrapolieren. Dabei auftretende Störungen werden häufig als vernachlässigbare Abweichungen oder „Ausrutscher“ angesehen, nicht aber als Frühwarnsignale einer sich abzeichnenden Krise.

*„Wir müssen es lernen, dass man in komplexen Systemen nicht nur eine Sache machen kann, sondern, ob man will oder nicht, immer mehrere macht. Wir müssen lernen einzusehen, dass die Effekte unserer Entscheidungen und Entschlüsse an Orten zum*

---

<sup>5</sup> Dietrich DÖRNER: Die Logik des Mislingens – Strategisches Denken in komplexen Situationen, Reinbek bei Hamburg 2003.

<sup>6</sup> Bei einem linearen Prozess folgt ursächlich aus Zustand A der Zustand B als lineare Kette. Bei einem nichtlinearen Prozesse ist dies anders: aus A folgt zwar zunächst B, B wirkt auf A als Rückkopplung zurück und bildet eine Art Schleife, die Prozesse sich aufschaukeln lassen oder zu abrupten Sprüngen, z.B. Katastrophen führen.

*Vorschein kommen können, an denen wir überhaupt nicht mit ihnen rechneten.*<sup>7</sup> Dörners Erkenntnisse und Lern-Ergebnisse sind wesentlich mit systemischen Modellen erfolgt, die mit Hilfe von Computersimulationen die komplex-dynamische Realität abbilden. Leider sind die Fehlverhalten und Fehlentwicklungen der von Dörner gewählten Simulations-Beispiele eines fiktiven Entwicklungslandes oder einer fiktiven Kleinstadt von der realen Entwicklung noch übertroffen worden: seit den 1980er Jahren wurde erstmals in der Geschichte der Menschheit die ökologische Tragfähigkeit der Erde überschritten und erreichte bereits in 2005 eine Übernutzung der regenerativen Kapazität um 30% .<sup>8</sup> Klimawandel, „Peak Oil“ und Einbrüche in den Finanzmärkten markieren die Etappen von aufeinander folgenden Krisensymptomen, die bei genauer Betrachtung Ausdruck einer in sich verschränkten globalen, komplexen Krisendynamik darstellen: eindrucksvoll weist v. Weizsäcker die Zusammenhänge nach von überdimensioniertem Energie- und Ressourcenverbrauch, der schockartigen Erhöhung der Rohölpreise 2007 und der Hypothekenbankkrise 2008 in den USA – mit weltweiten Auswirkungen.<sup>9</sup>

Möglicherweise wären die systemischen Modelle Dörners und die damit verbundenen Lernprozesse über komplexes Verhalten zumindest teilweise auch ohne computergestützte Simulationsverfahren ausgekommen, bei den aktuellen Erdsystem-Modellen bzw. Klimamodellen zur Durchführung einer globalen Klimapolitik geht dies nicht mehr: ohne Computersimulationen keine effektive Klimapolitik....! Aufgrund der komplexen und nichtlinearen Verschränkung der physikalischen, biologisch-chemischen sowie der anthropogenen Anteile des Klimasystems können solche Modelle nur mit Hilfe leistungsfähiger Computer erfolgversprechende „Projektionen“ über das Klimageschehen machen. Darüber hinaus sind derartige Computermodelle unverzichtbar, um die Folgen des Klimawandels auf Natur und Gesellschaft zu ermitteln sowie als Instrumente in der politischen Entscheidungsfindung zu dienen. In den letzten Jahren sind entscheidende Schritte zum „dynamischen Downscaling“ der globalen Klimamodelle gelungen: mit Hilfe von statistisch-dynamischen „Verfeinerungen“ wurden

---

<sup>7</sup> DÖRNER: Logik des Misslingens (wie Anm. 5), S. 326.

<sup>8</sup> Siehe Ernst Ulrich von WEIZSÄCKER, Karlson HARGROVES, Michael SMITH Faktor Fünf. Die Formel für nachhaltiges Wachstum. München 2009, S. 21.

<sup>9</sup> EBD., S. 235 ff.

schrittweise die Erdsystem-Modelle vom globalen, über das regionale bis hin zum Stadt-Klima weiterentwickelt.<sup>10</sup> Von daher ist die Strategie einer klimagerechten Stadtentwicklung – sowohl auf Ebene des Klimaschutzes („Mitigation“) als auch für Anpassungskonzepte an den Klimawandel („Adaption“) – nur mit Hilfe entsprechender kleinräumiger Klimamodelle bzw. Simulationen möglich. Klimagerechte Planung macht also qualitativ neue Planungsinstrumente unverzichtbar.

30 Jahre nach dem ersten Bericht „Grenzen des Wachstums“ haben Meadows u. a.<sup>11</sup> globale Simulationsszenarien mit Hilfe eines selbstentwickelten Computer-Modells dargestellt, das Zusammenhänge ökonomischer, ökologischer und sozialer Global-Prozesse, d.h. die Dynamik des Wachstums in einer begrenzten Welt erfassen soll. Dabei werden in diesem sogenannten „World3“-Modell vor allem die Wirkungsbeziehungen zwischen den Größen „Zustand der Welt“, „mittlerer Lebensstandard“ und „Wohlstand und ökologischer Fußabdruck“ betrachtet, insbesondere deren nichtlineare Rückkopplungsschleifen: *„Wir haben World3 entwickelt, um in groben Zügen Erkenntnisse über die Zukunft zu gewinnen: die möglichen Verhaltensmuster, mit denen die menschliche Wirtschaft im Laufe dieses Jahrhunderts mit der ökologischen Tragfähigkeit der Erde interagieren wird.“*<sup>12</sup> World3 veranschaulicht eindrucksvoll, dass ein „Weiter-So“ der Überschreitung der ökologischen Tragfähigkeit zum Kollaps der ökonomischen, ökologischen und sozialen Global-Prozesse führen würde. Ähnlich wie bei den Klimamodellen wäre auch hier m. E. ein „downscaling“ des World3-Modells auf die Stadtebene ein vielversprechender Ansatz.

Umgekehrt ist bei einer sofortigen Umsteuerung eben dieser Global-Prozesse unter Vorgaben der Stabilisierung der Weltbevölkerung und der Industrieproduktion pro Kopf sowie Techniken zur Emissionskontrolle, zur effizienten Ressourcennutzung und zur Verbesserung der Landwirtschaft eine nachhaltige Entwicklung der Welt möglich! Im Unterschied zur Vergangenheit wäre die zukünftige Leitidee einer nachhaltigen Gesellschaft: qualitative Weiterentwicklung statt materieller Expansion! Dies gilt in gleicher Weise für eine nachhaltige Stadtentwicklung. Postmodernes Denken

---

<sup>10</sup> Vgl. die Modelle im Umfeld des Max-Planck-Institutes für Meteorologie in Hamburg: REMO, METRAS und MITRAS.

<sup>11</sup> Donella MEADOWS, Jørgen RANDERS, Dennis MEADOWS : Grenzen des Wachstums. Das 30-Jahre-Update. Signal zum Kurswechsel, Stuttgart 2007.

<sup>12</sup> EBD, S. 140f.

eines orientierungslosen „Anything goes“ in Tateinheit mit einem neoliberalen Ökonomismus hat diese Einsicht verstellt und damit globale und lokale Fehlentwicklungen befördert. *„Paradoxerweise brachte uns die Unterstellung, die gesellschaftliche Zukunft sei prinzipiell offen, in die Turbulenzen des gegenwärtigen Klimadiskurses, durch den gesellschaftliche Zukunft als gefährdet erfahren wird.“*<sup>13</sup>

Umgekehrt ist eine nachhaltige Zukunft nicht einfach deterministisch planbar, sondern vollzieht sich als ein komplexer Gestaltungsprozess bei Einhaltung bestimmter Rahmenbedingungen.

Damit einher geht eine neuartige Integration von Mensch, Natur und Technik, die einen konstruktiven Selbstverstärkungsprozess hin zur Nachhaltigkeit bedeuten kann: erstens bedarf es dazu neuer gesellschaftlicher Leitbilder, zweitens eines sensiblen Umgangs mit der Natur bei deutlicher Verringerung des „ökologischen Fußabdrucks“ sowie drittens eines neuen regenerativen und ‚lernfähigen‘ Technik- Typus.

### Nachhaltigkeit als Chaosrand-Modell

Längst sind die globalen Grenzen der Tragfähigkeit unserer Erde auch wichtige Rahmenbedingung für die lokale Ebene von Stadtentwicklung geworden: *„Unsere Zivilisation der Städte, Verkehrsmittel, technischen Produktionsweisen und Verbrauchsgewohnheiten stößt an ihre Grenzen. Es sind die Grenzen des Ökosystems Erde.“*<sup>14</sup> Dies erfordert nicht nur eine deutliche Reduzierung des Ressourcenverbrauchs, sondern auch einen langfristigen Umbauprozess der Stadt: *„Die Aufgabe ist, die Stadt so umzubauen, dass der Verbrauch natürlicher Ressourcen verringert wird.“*<sup>15</sup> Dies setzt ohne Zweifel neue Anforderungen für nachhaltige Stadtentwicklung und eine entsprechende Abkehr von herkömmlichen Planungsprozessen (s.o. S.2/3)

Dennoch zeichnen sich vor diesem Hintergrund derzeit im Grundsatz mindestens zwei entgegengerichtete ‚Planungskulturen‘ ab: zum Einen halten interessegeleitete Planungsabläufe in Wirtschaft und Politik weiter fest an Planverfahren, die zeitlich und räumlich von ‚oben nach unten‘ („top down“) abgewickelt werden – mit weitgehendem Gültigkeitsanspruch sowohl für die Gesamtplanung als auch die Detailplanung eines Projektes. Als weithin bekannt gewordenes Beispiel einer solchen Projektplanung kann das Großprojekt „Stuttgart 21“ betrachtet werden: mangelnde soziale Ak-

---

<sup>13</sup> SCHILLMEIER: Politische Ökologie (wie Anm. 3). S. 32.

<sup>14</sup> Dieter HOFFMANN-AXTHELM: Die dritte Stadt, Ffm 1993, S. 69

<sup>15</sup> EBD., S. 95

zeptanz, ökologische Risiken und hohe ökonomische Kosten lassen die klassische Planung eines derartigen Verkehrs- und Städtebauprojektes mittlerweile zweifelhaft bzw. undurchführbar erscheinen: im Sinne Dörners (s.o. S.3) wird dieses Projekt weder städtischer Komplexität noch der Zielsetzung nach global-lokalen, nachhaltigen Lösungsansätzen gerecht. Dazu entwickelt sich zum Anderen seit den 90er Jahren eine neue Planungskultur offener Prozesse mit größtmöglicher Beteiligung aller Akteure der Stadt – mit dem Ziel, nachhaltige Lösungen zu identifizieren. Im Rahmen der Diskussionen um die „Lokale Agenda 21“ unter dem Motto: ‚Global denken – lokal handeln‘ ist Nachhaltigkeit insbesondere für Städte zur öffentlichen Leitlinie geworden.<sup>16</sup> Seit dem sind eine Fülle von Vereinbarungen zwischen europäischen Städten in den Bereichen Klimaschutz und Nachhaltigkeit getroffen worden, die nicht nur Anforderungen an eine größtmögliche Bürgerbeteiligung stellen, sondern auch konkretere Leitbilder für nachhaltige Lösungsfindung vorschlagen. Ein zentrales Leitbild ist dabei, Nachhaltigkeit und Zukunftsfähigkeit als „*Gleichgewicht suchenden Prozess*“ (Aalborg Charta)<sup>17</sup> zu identifizieren, d.h. nachhaltige Lösungen erfordern eine ständige Balance zwischen gegensätzlichen bzw. komplementären sozialen, ökologischen und ökonomischen Anforderungen – mit dem Ziel ein Optimum zu erreichen, nicht jedoch einen bloßen Kompromiss. Im Stadtentwicklungskonzept Hamburg heißt es dazu: „*Angesichts der internationalen Umbrüche mit ihren weitreichenden regionalen Folgewirkungen wird Stadtentwicklungspolitik in den kommenden Jahren mehr denn je davon handeln, mit höchst widersprüchlichen Entwicklungschancen und Risiken umzugehen und sich im Wege sorgfälti-*

---

<sup>16</sup> Die Agenda 21 ist ein entwicklungs- und umweltpolitisches Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert, ein Leitpapier zur nachhaltigen Entwicklung, beschlossen von 172 Staaten auf der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen (UNCED) in Rio de Janeiro (1992). In Kapitel 28 heißt es: „Da viele der in der Agenda 21 angesprochenen Probleme und Lösungen auf Aktivitäten auf der örtlichen Ebene zurückzuführen sind, ist die Beteiligung und Mitwirkung der Kommunen ein entscheidender Faktor bei der Verwirklichung der in der Agenda enthaltenen Ziele. [...]“

<sup>17</sup> Die Aalborg-Charta (vollständiger Titel: Charta der Europäischen Städte und Gemeinden auf dem Weg zur Zukunftsbeständigkeit - wurde am 27. Mai 1994 auf der Europäischen Konferenz über zukunftsbeständige Städte und Gemeinden in der dänischen Stadt Aalborg verabschiedet und seitdem von rund 2.500 lokalen und regionalen Verwaltungen in 39 Ländern unterzeichnet.

*ger Abwägungen immer neu um ein verträgliches Gleichgewicht zu bemühen, ein Gleichgewicht, das nicht statisch sein kann, sondern dynamisch sein muss.“<sup>18</sup>*

Wie könnte, wie sollte also zukunftsfähige Stadtentwicklung(splanung) eine methodisch fundierte und gesellschaftlich akzeptierte Balance zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Belangen der Stadt herstellen – mit einem größtmöglichen Maß an Kommunikation?

Um den Ansatz einer Balance bzw. eines Optimums von gegensätzlichen Anforderungen in komplexen Prozessen der Stadtentwicklung näher zu konkretisieren, ist ein kurz gefasster, tieferer Einblick in die Eigenschaften komplex-dynamischer Prozesse erforderlich: wir betrachten die Phänomene Selbstorganisation, Chaos/Fraktale, Selbstorganisierte Kritizität und Chaosrand.

Selbstorganisation ist das spontane Auftreten neuer Strukturen und Verhaltensweisen in offenen Systemen fern vom thermodynamischen Gleichgewicht<sup>19</sup>, die durch innere Rückkoppelungsschleifen und nichtlineare Prozesse charakterisiert sind. Die entstehenden Strukturen sind mehr als die Summe ihrer Teile. Dieses „Mehr“, die neue Qualität entsteht durch die jeweilige Art der Vernetzung und erzeugt eine höhere Komplexität aus vielen einfachen Komponenten. So wächst das Einzelne über sich selbst hinaus: Beispiele sind die biologische Evolution, soziale Gruppen, das menschliche Gehirn oder „lernfähige“ Technologien wie z.B. Neuronale Netze oder zelluläre Automaten. Mittlerweile hat sich ein weitverzweigtes Forschungsprogramm zur interdisziplinären Thematik von Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft entfaltet.<sup>20</sup>

Aus dieser Selbstorganisation komplex-dynamischer Systeme entstehen so „von unten nach oben“ („bottom up“) globale Charakteristika in Form von stabilen Mustern oder Ordnungszuständen, die sich aus dem Gesamtverhalten von Individuen/Elementen oder relativ einfachen Teilprozessen ergeben. Die globale Oberflächen-Komplexität erwächst also aus einer rela-

---

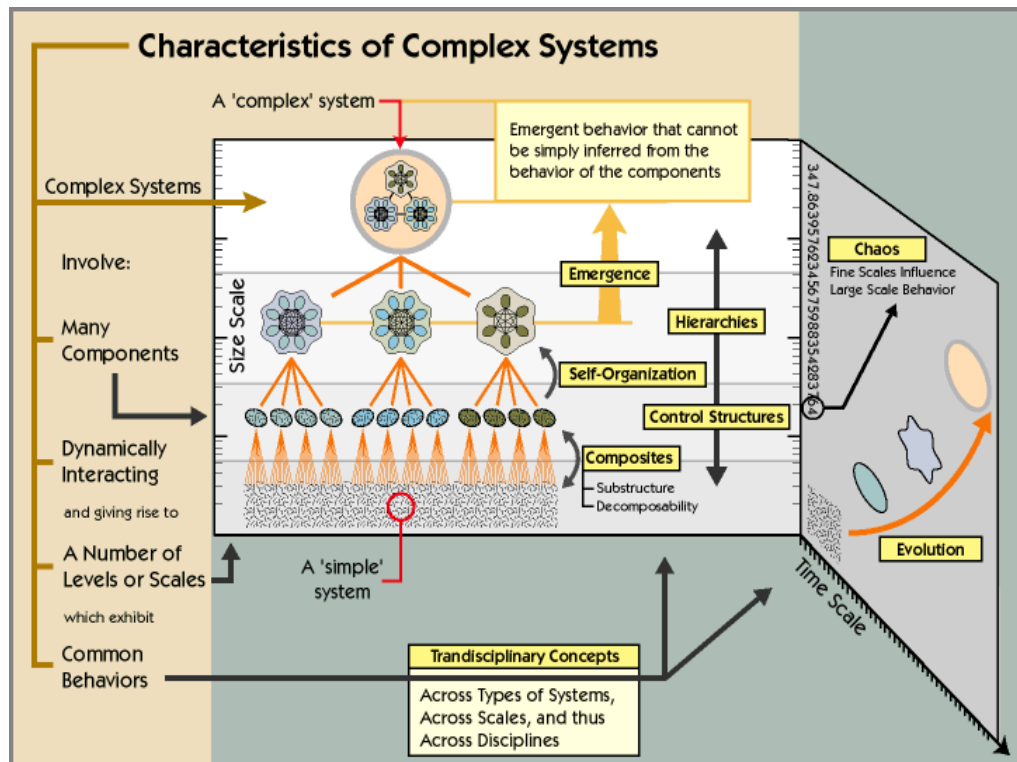
<sup>18</sup> Freie und Hansestadt Hamburg, Stadtentwicklungskonzept. Leitbild, Orientierungsrahmen und räumliche Schwerpunkte. Hamburg 1996, S. 23

<sup>19</sup> D. h. es muss ständig Energie und/oder Materie in das System hineingegeben werden. Z. B. die Erde, die als Ökosystem durch ständige Sonneneinstrahlung selbstorganisationsfähig wird und immer neue Formen und Muster hervorbringt.

<sup>20</sup> Vgl. Günter KÜPPERS (Hrsg.): Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft, Stuttgart 1996



tiven Tiefen-Einfachheit. Selbstorganisierende Systeme erhalten ihre Stabilität durch Erreichen eines Fließgleichgewichtes bzw. einer dynamischen Balance. (siehe Abbildung 1: Characteristics of Complex Systems)



Quelle: Daniel Montano

Bei zunehmendem Störeinfluss gehen selbstorganisierende Prozesse in chaotische über: sie verändern sich stetig – jedoch nicht beliebig, sondern innerhalb bestimmter Rahmenbedingungen –, so dass ihr Verhalten zufällig und ungeordnet erscheint. Richtig ist, dass zwar eine Vorhersage über das längerfristige Verhalten eines chaotischen Systems nicht möglich ist, aber sein Prozessablauf vollzieht sich in geordneten Bahnen und Mustern („Attraktoren“). Dennoch sind abrupte Sprünge und unerwartete Ereignisse möglich: kleine Ursachen können große Wirkungen erzeugen („Schmetterlingseffekt“).

Dies schränkt beispielsweise eine klassische „Top down“- Planung auch in der Stadtentwicklung prinzipiell ein, denn gerade in diesem Kontext spielen Instabilitäten, kritische „Phasenübergänge“ und chaotische Vorgänge eine große, nicht vernachlässigbare Rolle. Bei Überschreitung gewisser

kritischer Schwellenwerte können neue qualitativ andersartige Eigenschaften des ganzen urbanen Systems erfolgen: „Als Beispiel eines urbanen Phasenüberganges sei der Übergang von einer homogenen Durchmischung der städtischen Bevölkerung zu einer Gettobildung genannt“.<sup>21</sup>

Betrachten wir die urbane Strukturbildung bzw. Siedlungsstruktur genauer, stößt man auf ein weiteres Phänomen städtischer Komplexität, nämlich dass sich räumliche Strukturen im Großen wie im Kleinen in ähnlicher Anordnung wiederholen: „So haben Substrukturen von z.B. Stadtstraßennetzen und Gebäudeblocks eine Anordnung, die in Makrostrukturen, z.B. Autobahnnetzen und ganzen Stadtvierteln, in vergrößertem Maßstab ‚selbstähnlich‘ wiederkehrt“.<sup>22</sup>

Das Phänomen der Selbstähnlichkeit kennzeichnet nicht nur Strukturen städtischer Komplexität, sondern generell komplex-dynamische Systeme sowie chaotische Prozesse, und führt auf den grundlegenden Mechanismus der Rekursion: ein beliebiger Input wird mit Hilfe einer feststehenden Regel in einen Output überführt („kopiert“), der Output („Kopie“) wird als neuer Input rückgekoppelt und erzeugt die „Kopie der Kopie“ und so weiter...: „Auch das Chaos hat eine Art von Ordnung. Ihr Prinzip ist die Selbstähnlichkeit und ihr Mechanismus die Rekursion. Selbstähnlichkeit bedeutet ein Muster im Muster, das sich in unterschiedlichen Maßstäben unendlich oft wiederholt, weil die Rekursion als Erzeugungsmechanismus in allen Maßstäben musterbildend wirkt.“<sup>23</sup> Die Rekursion erzeugt also den selbstorganisierenden „bottom-up“-Prozess. Damit wird aber ebenso die Bildung fraktaler Muster beschrieben!<sup>24</sup> Warum entstehen Fraktale in komplexen Systemen? Weil dies zu einer optimalen Lösungs-Struktur gegensätzlicher bzw. komplementärer Anforderungen führt: z.B. die Anforderung, mit minimalem Ressourceneinsatz einen maximalen Gasaustausch mit der Umgebung zu erreichen, führt auf ein Optimum, nämlich zum Fraktal eines Baumes oder einer Lunge! Bei genauerer Betrachtung wird das beste, optimale Resultat im Zwischenbereich bzw.

---

<sup>21</sup> Vgl. Wolfgang WEIDLICH: Komplexität in Gesellschaft und Stadt, in: Deutsches Architektenblatt (1996) 28. Jahrgang, S. 576-578, hier S. 576.

<sup>22</sup> EBD., S. 577

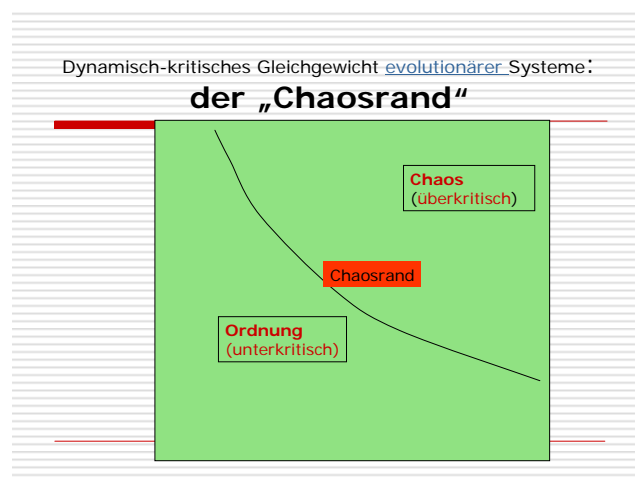
<sup>23</sup> Wolfgang KROHN, Günter KÜPPERS: Das Chaos, in: Kursbuch 98, 1989, S. 69-81, hier S. 79.

<sup>24</sup> Fraktale haben im Unterschied zur euklidischen Geometrie – mit den Dimensionen 1 (Linie), 2 (Fläche) und 3 (Volumen) – gebrochene Dimensionen zwischen 1,2 oder 3. So ist ein Baum ein Fraktal mit einer Dimension zwischen 2 und 3, da es mehr als die Fläche, aber weniger als das Gesamtvolumen ausfüllt.

Phasenübergang zwischen Ordnung und Chaos erreicht, am sogenannten „Chaosrand“! In der natürlichen Evolution, aber auch bei lernfähigen, gesellschaftlichen oder künstlichen Systemen ist dies der Ort maximaler und qualitätssteigernder Informationsverarbeitung. Dieser Chaosrand stellt in natürlichen oder künstlichen evolutionären Systemen insofern das Optimum dar, als hier die mittlere Fitness am höchsten und die Aussterberate am niedrigsten ist – wobei die Aussterberate einem Potenzgesetz gehorcht.<sup>25</sup>

Derartige Systemzustände am Rande des Chaos werden auch als selbstorganisierte Kritizität bezeichnet, wo durch kleine ‚Störgrößen‘ nicht vorhersehbar kleine oder große wellen- bzw. lawinenartige Veränderungen ausgelöst werden können. Die Stärke dieser Ereignisse ist einer Potenz ihrer reziproken Wahrscheinlichkeit proportional, d.h. große Veränderungen sind selten, kleine häufig (Potenzgesetz).

Abb. 2: Dynamisch-kritisches Gleichgewicht evolutionärer Systeme: der „Chaosrand“



Quelle: Ulf Sirke

Selbstorganisierte Kritizität befindet sich in einem schwach chaotischen Attraktorzustand, der sich dort einstellt, wo gegensätzliche bzw. komplementäre ‚Konstruktions-Anforderungen‘ an die Teilsysteme gerichtet sind,

<sup>25</sup> Stuart KAUFFMAN: Der Öltropfen im Wasser. Chaos, Komplexität, Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft, München 1996, Kapitel 10.

so dass mit Hilfe eines selbstorganisierenden Balanceaktes die beste Kombination von Teillösungen zu einer tragfähigen, aber stets neu veränderlichen Gesamtlösung evolviert. Im Gegensatz zur Annahme eines historischen Determinismus zeigt (stadt)gesellschaftliche Selbstorganisation, „*dass sich gerade gesellschaftliche Systeme von selbst aus einem Zustand relativer Stabilität ...in einen Zustand selbstorganisierter Kritikalität hineinmanövrieren, von dem aus Übergänge in neue Phasen stattfinden...*“<sup>26</sup> Komplex-adaptive, selbstorganisierende Entwicklungsprozesse haben also die Tendenz, sich durch Lernen an den Rand des Chaos zu einem kritischen Gleichgewichtszustand, zu einer ‚dynamischen Stabilität kreativer Veränderung‘ zu begeben. Ein derartiger Zustand hat offenbar eine universelle Bedeutung für komplex-dynamische Selbstorganisationsprozesse, insbesondere für das Verhalten von lebendigen Systemen!<sup>27</sup>

Ein Zustand des Chaosrand bzw. der der Selbstorganisierten Kritizität verdeutlicht daher in vertiefter Weise die Leitidee der Balance in der Nachhaltigkeitsdiskussion („*Gleichgewicht suchender Prozess*“). Von daher habe ich auf dieser Basis ein Chaosrand-Modell für die Charakterisierung der Nachhaltigkeit entworfen. Dies scheint mir als Modell für nachhaltige Lösungen deshalb gut geeignet, da hier die meist gegensätzlich bzw. komplementär auftretenden Anforderungen sozialer, ökologischer und ökonomischer Belange grundlegend „*ausbalanciert werden müssen, wobei sich Stabilität mit Kreativität und dynamischer Selbstkorrektur verbindet.*“<sup>28</sup>

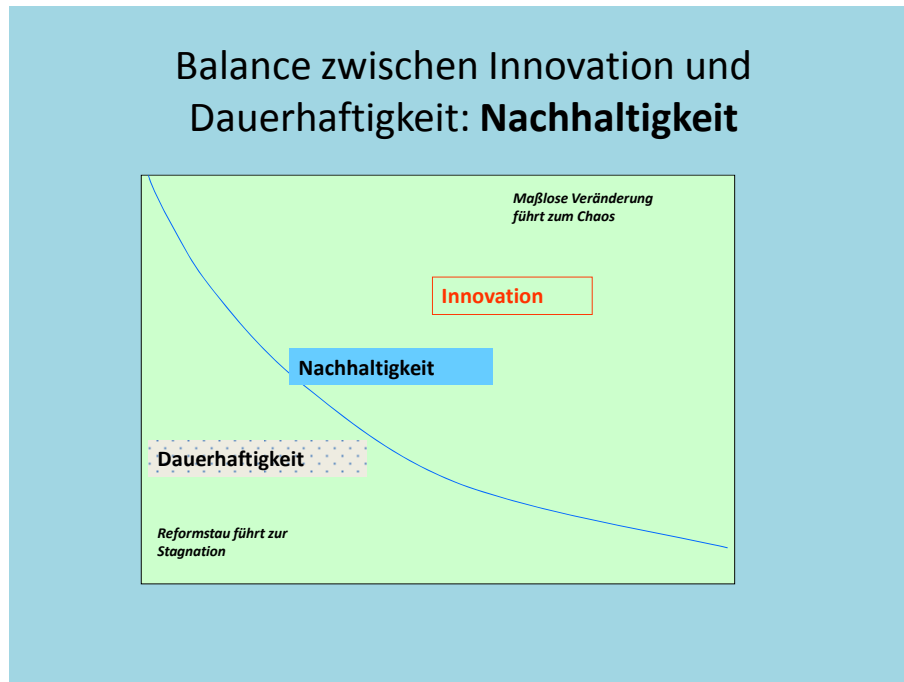
Abb. 3: Balance zwischen Innovation und Dauerhaftigkeit: Nachhaltigkeit

---

<sup>26</sup> WEIDLICH, (wie Anm. 21), S. 577

<sup>27</sup> Werner EBELING, Rainer FEISTEL: Chaos und Kosmos, Berlin 1994, S. 50.

<sup>28</sup> Elzbieta GONCZ, Ulf SKIRKE, Hermanes KLEIZEN, Marcus BARBER: Increasing the rate of sustainable change: a call for a redefinition of the concept and the model for its implementation, in: Journal for Cleaner Production 15 (2007) 525-537, hier: S. 529



Quelle: Ulf Sirke

Die Modellierung bzw. Charakterisierung von Nachhaltigkeit als Systemzustand selbstorganisierter Komplexität am Rande des Chaos hat zur Konsequenz, dass wir nachhaltige Lösungen als ‚Balance‘ von gegensätzlichen Anforderungen sozialer, ökologischer und ökonomischer Belange systemisch in vertiefter Weise betrachten können. Da am Chaosrand die komplex-dynamischen Prozesse fraktal und selbstähnlich ablaufen - und wie Weidlich (s.o.)<sup>29</sup> nachgewiesen hat, letzteres auch für urbane Strukturbildung gilt<sup>30</sup> - ist zu untersuchen, ob auch eine komplex-dynamische Stadtentwicklungsplanung für Nachhaltigkeit entsprechend zu modellieren ist.

### Für ein komplex-dynamisches Stadtmodell

Seit geraumer Zeit weisen Forschungsarbeiten nach, dass städtische Ballungsräume weniger das Ergebnis deterministischer Planung als das Produkt von Selbstorganisationsprozessen mit fraktaler Geometrie und selbstähnlichen Strukturen darstellen. *“Die räumliche Form von Ballungsräumen scheint*

<sup>29</sup> WEIDLICH: Komplexität (wie Anm. 21), S. 577.

<sup>30</sup> EBD.

*demnach eher das Produkt eines Selbstorganisationsprozesses zu sein, bei dem die Wechselwirkung unterschiedlicher gesellschaftlicher Prozesse eine wichtige Rolle zu spielen scheint.*<sup>31</sup> Desweiteren kann man Städten und ihren Stadträndern eine fraktale Dimension zuordnen, welche ein Maß für den Kompaktheitsgrad bzw. die ‚Zerfrantheitsgrad‘ der Stadt und ihres Randes darstellt: *„Je größer der Ballungsraum, umso zerfranster die Struktur....Städte wachsen offensichtlich nach fraktalen Mustern.“*<sup>32</sup> Und dies gilt für den weltweiten Verstädterungsprozess: in der Entstehungsphase Kompaktheit, mit zunehmendem Flächenwachstum Zerfransung und ein Anwachsen der Siedlungspartikelzahl. *„Es handelt sich um Wachstumsphänomene, die aus einem Selbstbildungsprozess erklärt werden können. Dabei ist die Selbstähnlichkeit in unterschiedlichen Maßstäben ein wichtiges Merkmal für fraktale Formen“.*<sup>33</sup>

Ich möchte daraus schlussfolgern, dass komplex-dynamische, fraktale, selbstähnliche Strukturbildungsprozesse insbesondere Selbstorganisierte Kritizität und Chaosrand einerseits realistische Erklärungshintergründe und andererseits realitätsbezogene Modellierungsansätze für die Stadtentwicklung liefern. Vermutlich handelt es sich dabei um ein anthropologisches Grundmuster, das die fraktale Selbstbildung urbaner „Stadtlandschaften“ beeinflusst: *„In der historischen Betrachtung menschlichen Siedlungsverhaltens können wir zwei Extreme beobachten, die als gegensätzliche Pole in jeder Epoche wiederzufinden sind: das eine ist das Verdichten, das Zusammenkommen, wir nennen es auch Klumpung der einzelnen Siedlungspartikel; der andere Pol ist der Abstand, die Flucht in einen eigenen, klar abgegrenzten Bereich, die Präferenzierung des Randes, die Aussicht.“*<sup>34</sup>

Kurz: der Grund liegt in der Struktur gegensätzlicher bzw. komplementärer Bedarfe in der Stadtentwicklung: urbane Dichte vs. Freiräume und Grünflächen, Abstand vs. Nähe oder minimale Kosten vs. maximale Dienstleistung: *„Ja das möchtest: eine Villa im Grünen mit großer Terrasse, vorn die Ostsee, hinten die Friedrichstraße: mit schöner Aussicht, ländlich, mondän, vom Badezimmer ist die Zugspitze zu sehen.“* (Tucholsky, Schnipsel). Wie oben beschrieben werden bei derartigen Komplementär-Anforderungen Lösungsoptima und Ba-

---

<sup>31</sup> Pierre FRANKHAUSER: Fraktales Stadtwachstum, in: Arch Plus 109/110, 1991, S. 84-89, hier S. 84.

<sup>32</sup> EBD., S. 86

<sup>33</sup> Klaus HUMPERT, Klaus BRENNER, Sibylle BECKER: Das Phänomen der Ballung, in: Deutsches Architektenblatt (1996) 28. Jahrgang, S. 584-587, hier S. 585.

<sup>34</sup> EBD., S. 586

lancen durch fraktale Stadt-Strukturen erreicht. Dies tritt insbesondere beim Spannungsfeld intensive Flächennutzung und Freiraumplanung zutage – bei der Idee der Durchdringung von Freiraum und Stadt. *„Tatsächlich führt die Tendenz, Licht, Luft und Sonne für jede Wohnung zu garantieren, zu ‚fraktalen‘ Stadtgrundrissen.“*<sup>35</sup> Insbesondere bei heutigen und zukünftigen Anpassungsstrategien in der Stadt an einen unvermeidlichen Klimawandel bleiben die *„räumliche Verzahnung von Siedlung und Landschaft“* mit der *„Freihaltung von Klimazonen“*<sup>36</sup> von besonderer Bedeutung.

Ergeben sich also aus der Analyse von Stadtentwicklung wesentliche komplexdynamische Charakteristika, ermöglichen umgekehrt entsprechende Stadtmodelle, komplexe, urbane Prozesse zunehmend realistischer zu beschreiben. Betrachtet man z. B. schwerpunktmäßig die Stadtfunktionen von komplexer, sozialer und informationeller Kommunikation, dann ist die Modellierung der Stadt als „skalenfrees Netz“<sup>37</sup> besonders interessant und sollte unbedingt weiter entwickelt werden.

Des weiteren hat der englische Raumanalytiker Michael Batty<sup>38</sup> einen grundlegenden und einschlägigen Beitrag zu einem selbstorganisierenden Stadtmodell geliefert: mit Hilfe von Zellularautomaten und agentenbasierten Modellstrukturen entwirft er komplex-dynamische Stadtentwicklung und weist die Evidenz von selbstorganisierter Kritizität (Potenzgesetz) nach, und zwar nicht nur modelltheoretisch, sondern auch mit Hilfe realgeschichtlicher Beispiele urbaner Entwicklung.

Schon unter „Normalbedingungen“ der Planung ‚entbirgt‘ Stadtentwicklung also ihren komplex-dynamischen Charakter, umso mehr gilt dies aufgrund der Erhöhung sozialer, ökologischer und ökonomischer Problemverdichtungen der letzten Zeit global wie lokal. Gerade jetzt bewährt sich eine zellulare, selbstähnliche Struktur der Stadt mit möglichst flexiblen und

---

<sup>35</sup> FRANKHAUSER: *Fraktales Stadtwachstum* (wie Anm. 31), S. 88,

<sup>36</sup> EBD., S. 89

<sup>37</sup> Komplexe, skalenfrie Netze von sozialen, ökologischen oder technologischen Beziehungen der verschiedensten Art gehorchen gemeinsamen Organisationsprinzipien: es gibt wenige Knoten mit vielen Netz-Verbindungen und viele Knoten mit wenigen Verbindungen (Potenzgesetz). Es zeigt sich eine enge thematische Verknüpfung zum Phänomen der selbstorganisierten Kritizität. (Vgl. Albert-László BARABASI, Eric BONABEAU: *Skalenfreie Netze*, in: *Spektrum der Wissenschaft*, Juli 2004, S.62 - 69, hier S. 62f.

<sup>38</sup> Michael BATTY: *Cities and Complexity*, London 2005.

anpassungsfähigen Planungs- und Entwicklungsprozessen von unten nach oben („Bottom up“) für einen klimagerechten, nachhaltigen Stadtumbau in den nächsten Jahrzehnten. *„...je mehr Autonomie den kleinsten operierenden Einheiten zugestanden wird, desto geringer ist die Verletzlichkeit des Gesamtzusammenhangs. Je differenzierter der Aufbau dieser kleinsten Einheiten ist, desto mehr Kapazität stellen sie dem Ganzen zur Verfügung“*.<sup>39</sup> In diesem Sinne fordert Herbert Klima<sup>40</sup> die ‚Stadt als vernetztes, fraktales, offenes System‘, in dem alles, was mit den Grundfunktionen der Stadt wie Wohnen, Arbeiten, Versorgen, Freizeit etc. zu tun hat, im Großen wie im Kleinen, in der Gesamtstadt wie im Quartier nachhaltig gestaltet wird. Dieses selbstähnliche System-Modell setzt er folgerichtig fort: Stadt, Region, Europa, Welt, in dem jedes Subsystem als Teil des Ganzen fungiert. Dennoch geht es nicht um einheitliche, sondern um gleichartige, aber individuelle, vielfältige Lösungsstrategien: *„In einem richtig vernetzten offenen System wir nicht alles über einen Kamm geschoren, da wir nicht alles normiert! Sondern es werden sich selbstähnliche Ganzheiten bilden, eben Fraktale, mit all den Variationsmöglichkeiten, die jeweiligen Regionen bieten“*.<sup>41</sup> Damit könnte das Motto der Agenda 21-Bewegung: ‚Global denken, lokal handeln‘ eine tiefere Begründung erfahren....

Ein ‚Weiter-So‘ traditioneller Planung würde auf eine weitere Zuspitzung von Instabilitäten, Krisen und Unsicherheiten durch z.B. die Vergrößerung des ökologischen Fußabdrucks, den Klimawandel oder die Finanzkrise führen und uns global wie lokal zunehmend vor die dramatische Alternative stellen: Balance oder Kollaps!<sup>42</sup>

Die Simulationsmodelle sprechen eine eindeutige Sprache: ohne komplexe Klimamodelle gäbe es keine gesteuerte Klimapolitik und ohne das World3-Modell kein plausibles Gesamtwissen über eine mögliche nachhaltige Entwicklung des Erdsystems. Ich behaupte daher, dass vor diesem Hintergrund global-lokaler Zuspitzungen ohne einen komplex-dynamischen Modellansatz mit entsprechenden neuen Planungsinstrumenten auch eine nachhaltige Stadtentwicklung nicht mehr angemessen möglich ist!

---

<sup>39</sup> HOFFMANN-AXTHELM: (wie Anm. 14), S. 192 f.

<sup>40</sup> Herbert KLIMA: Wir brauchen die fraktale City, in: Perspektiven 9/10/1993, S. 31-32

<sup>41</sup> EBD., S. 32

<sup>42</sup> MEADOWS, RANDERS: Grenzen des Wachstums (wie Anm. 11), S. 152 ff.



Bisherige Planungsinstrumente, herkömmliche Abwägungsprozesse oder ‚Räumliche Leitbilder‘, aber auch einfache, politische Mehrheitsentscheidungen sind definitiv nicht mehr ausreichend, wenn krisenhafte Folgewirkungen abgeschätzt und möglichst abgewendet oder optimale, zukunftsfähige Lösungen komplexer Stadtentwicklung erreicht werden sollen. Wir brauchen ein neues Leitbild von komplex-dynamischer Planung für Nachhaltigkeit.

Von daher plädiere ich für einen Bottom-Up-Prozess auf zwei Säulen bei der Lösungsfindung nachhaltiger Stadtentwicklung:

einerseits eine breite Einbeziehung von Zivilgesellschaft und Nichtregierungsorganisationen über Parteien und Parlamente hinaus durch eine ‚Demokratisierung der Demokratie‘<sup>43</sup>, um einen wesentlich größeren Teil realer gesellschaftlicher Komplexität und Kompetenz einzubeziehen z.B. durch direkte Demokratie, Themenspezifische Räte, Agenda 21-Netzwerke u.ä. *„Ob es sich um technische, ökonomische, ökologische, sozial oder Verwaltungsprobleme handelt, immer werden die Bewohner, sobald man sie ernst nimmt, die wichtigste Ressource des Überlebens sein.“*<sup>44</sup> ; und andererseits wird der Aufbau eines computergestützten komplexdynamischen Stadtmodells zur virtuellen Erfassung von Folgeabschätzungen, Vulnerabilitäten und nichtlinear-kritischem Systemverhalten sowie von ‚Wenn-dann-Bedingungen‘ für Nachhaltigkeits-Szenarien notwendig sein, um damit Zeithorizont, Plausibilitäts- und Qualitätskontrollen für die reale Stadtentwicklung verbessert handhabbar zu machen.

Fruchtbarer Ansatz dafür könnte beispielhaft die sofortige Inangriffnahme eines integrierten Forschungsprogramms unter Einbezug von regionalen bzw. Stadtklima-Modellen, einem ‚downscaling‘ des World3-Modells sowie von selbstorganisierenden Stadtmodellen (z. B. M. Batty) sein.

Die Zeit drängt.

Wie sagt doch Erich Kästner: *„Es geht auf keinen Fall so weiter, wenn es so weiter geht!“*

---

<sup>43</sup> Vgl. Mohssen MASSARAT: Demokratisierung der Demokratie, (wie Anm.4)

<sup>44</sup> HOFFMANN-AXTHELM: (wie Anm. 14), S. 248

## Literatur

- BARABASI, Albert-László, BONABEAU, Eric: Skalenfreie Netze, in: Spektrum der Wissenschaft, Juli 2004, S. 62 – 69.
- BATTY, Michael: Cities and Complexity, London 2005.
- DÖRNER, Dietrich: Die Logik des Misslingens – Strategisches Denken in komplexen Situationen, Reinbek bei Hamburg 2003.
- EBELING, Werner, FEISTEL, Rainer : Chaos und Kosmos, Berlin 1994.
- FRANKHAUSER, Pierre: Fraktales Stadtwachstum, in: Arch Plus 109/110, 1991, S. 84 - 89.
- FREIE UND HANSESTADT HAMBURG: „Home of Hidden Energies. Das Hamburg House auf der Expo Shanghai 2010“, Hamburg 2010.
- FREIE UND HANSESTADT HAMBURG, Stadtentwicklungskonzept. Leitbild, Orientierungsrahmen und räumliche Schwerpunkte. Hamburg 1996, S. 23
- GONCZ, Elzbieta, SKIRKE, Ulf, KLEIZEN, Hermanes BARBER, Marcus: Increasing the rate of sustainable change: a call for a redefinition of the concept and the model for its implementation, in: Journal for Cleaner Production 15 (2007) 525-537.
- HOFFMANN-AXTHELM, Dieter, Die dritte Stadt, Ffm 1993
- HUMPERT, Klaus, BRENNER, Klaus, BECKER, Sibylle : Das Phänomen der Ballung, in: Deutsches Architektenblatt (1996) 28. Jahrgang, S. 584-587.
- KAUFFMAN, Stuart: Der Öltropfen im Wasser. Chaos, Komplexität Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft, München 1996, Kapitel 10.
- KLIMA, HERBERT, WIR BRAUCHEN DIE FRAKTALE CITY, IN: PERSPEKTIVEN 9/10/1993, S. 31-32
- KROHN, Wolfgang, KÜPPERS, Günter: Das Chaos, in: Kursbuch 98, 1989, S. 69-81.
- KÜPPERS, Günter (Hrsg.): Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft, Stuttgart 1996
- MASSARRAT, Mohssen: Demokratisierung der Demokratie, Erschienen in: Mohssen Massarat/Uwe Rolf/Hans-Joachim Wenzel (Hrsg.) Bilanz nach den Weltgipfeln Rio de Janeiro 1992 und Johannesburg 2002 und Perspektiven für Umwelt und Entwicklung, München 2003.
- MEADOWS, Donella, RANDERS, Jørgen, MEADOWS, Dennis : Grenzen des Wachstums. Das 30-Jahre-Update. Signal zum Kurswechsel, Stuttgart 2007.
- SCHILLMEIER, Michael: Politische Ökologie<sup>106-107</sup>, 25. Jahrgang September 2007, Klimawandel. Gerechtigkeit im Treibhaus, S. 30 - 33.

WEIDLICH, Wolfgang: Komplexität in Gesellschaft und Stadt, in: Deutsches Architektenblatt (1996) 28. Jahrgang, , S. 576-578.

Dr. Ulf Skirke ist Diplom-Physiker und Dr. phil. Er arbeitet im Bereich Klimaschutz und nachhaltige Stadtentwicklung in Hamburg. Ehrenamtlich ist er im Zukunftsrat Hamburg tätig.