



archimaera  
architektur.kultur.kontext.online

Markus Helbach (Oslo)

## Der Einfluss einer nachhaltigen Architektur auf die Lebensdauer von Gebäuden

Die Qualität von Baustoffen und der Umgang mit ihnen haben direkte Auswirkungen auf die Lebensdauer von Gebäuden. Die Lebensdauer von Bauwerken wiederum ist ein wichtiger Faktor der Beurteilung ihrer Nachhaltigkeit. Seit den Energiekrisen der siebziger Jahre ist die Notwendigkeit eines sparsamen Umgangs mit Ressourcen im Bewusstsein von Politik und Öffentlichkeit zu einer nicht mehr ignorierbaren Tatsache geworden. Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit sind dabei die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt von besonderem Interesse.

Das Cradle to Cradle®-Design-Konzept fordert ein, dass alle Baustoffe in abfallfreien Materialkreisläufen zirkulieren, Unternehmen als "Rohmaterialbanken" fungieren und Gebäude als Produkte mit genau definierter Lebensdauer für die unterschiedlichen Komponenten mit Rücknahmegarantie für die verwendeten Materialien konzipiert werden.

<http://www.archimaera.de>  
ISSN: 1865-7001  
urn:nbn:de:0009-21-32342  
Dezember 2011  
#4 "Lebensdauer"  
S. 87-102



## Ökologische Nachhaltigkeit

Der ursprünglich aus der Forstwirtschaft stammende Begriff der "Nachhaltigkeit"<sup>1</sup> wurde als "nachhaltige Entwicklung" 1987 erstmals im *Brundtland-Report* definiert.<sup>2</sup> Heute wird der Begriff "Nachhaltigkeit" im Allgemeinen im Sinne eines Drei-Säulenmodells<sup>3</sup> ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeit verstanden. Im Umgang mit Baustoffen ist vor allem die ökologische Dimension von Nachhaltigkeit von Bedeutung. Sie besteht nach Ansicht der US-Wissenschaftler Robert Goodland und Herman Daly darin,

*"Abfallemissionen auf einem Niveau zu halten, das von der Umwelt ohne Schädigung assimiliert werden kann. In Bezug auf die Quellen ist die Entnahme erneuerbarer Ressourcen innerhalb der Regenerationsraten zu halten. [...]* Diese Tatsache ist, M.H.] *biophysikalisch unabdingbar [...]. Die universalen Quellen- und Senken-Kapazitäten der Umwelt sind nicht verhandelbar [...]. Wenn wir uns der ökologischen Nachhaltigkeit annähern wollen, muss qualitative Entwicklung klar von quantitativem Durchsatzwachstum unterschieden werden.*"<sup>4</sup>

Wenn es um die Reduzierung oder völlige Vermeidung von Umwelt belastenden Abfällen und den Verbrauch der begrenzten Rohstoffvorräte geht, werden heute vielfältige Strategien diskutiert. Dabei ist in Bezug auf Gebäude und ihre Lebensdauer zwischen Bestand und Neubau zu unterscheiden. Andererseits wird jeder Neubau mit seiner Fertigstellung zu einem Teil des Bestandes. Aus dieser trivialen Feststellung ergeben sich zwei Handlungsfelder: Erstens der Umgang mit der bestehenden Bausubstanz, zweitens das ökologisch nachhaltige Vorgehen bei einem neuen Bauvorhaben, einem Anbau oder einer Erweiterung. Die technischen Möglichkeiten neuer Materialien (*Smart Materials*) oder einer dezentralen Energieversorgung (*Smart Technologies*) stellen schließlich einen dritten Aspekt dar, der bei der Planung und für die nachhaltige Nutzung von Gebäuden berücksichtigt werden muss. Die Diskrepanz zwischen der von Goodland und Daly beschriebenen (ökologisch-) qualitativen Ent-

wicklung und dem in der Regel allein quantitativ gemessenen Wirtschaftswachstum wird bei der Betrachtung des Gebäudebestandes seit 1945 in besonderer Weise deutlich.<sup>5</sup>

Der rechtliche Rahmen für einen ökologischen Umbau ist schließlich mit der zur Harmonisierung der Vermarktung von Bauprodukten 2011 auf EU-Ebene in Kraft getretenen überarbeiteten Bauproduktenverordnung 2010 geschaffen. Mit dem neuen Grundlagendokument Nr.7 dieser Verordnung wird eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen für Bauwerke verpflichtend. Das Recyceln *aller* Baustoffe nach dem Abriss, die Verwendung umweltfreundlicher Rohstoffe und Sekundärstoffe sowie die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes werden damit in naher Zukunft Pflicht.<sup>6</sup> Es gilt allerdings abzuwarten, inwiefern die Anwendung sowie notwendige Prüfinstrumentarien in die tägliche Praxis implementiert werden.

## Der Bestand

Als Folge des Wiederaufbaues der im Zweiten Weltkrieg zerstörten Städte, des Bevölkerungswachstums durch den Zuzug von etwa zehn Millionen Heimatvertriebenen aus dem Osten, der fortlaufenden Urbanisierung zu Lasten des ländlichen Raumes sowie als Folge von Wirtschaftswunder, Tertiärisierung der Innenstädte und Suburbanisierung<sup>7</sup> entstand in Deutschland zwischen 1950 und 1980 *etwa die Hälfte des heute existierenden Gebäudebestandes*.<sup>8</sup> Im Vergleich zu den ebenfalls großen Bauvolumen aus den Jahren 1870 bis 1910 waren die Bauten der Nachkriegszeit auf eine kürzere Haltbarkeit hin ausgelegt, bestanden aus weniger gutmütigen Konstruktionen und aus mehr künstlichen Materialien oder Fertigprodukten. Für diese Entwicklung gab es eine Reihe von Gründen. Einerseits war die Idee der "Dauerhaftigkeit" durch den Ewigkeitsanspruch der Propagandabauten der Nazi-Diktatur in Misskredit geraten. Zweitens führte der ungebrochene Technikoptimismus der Zeit zu einer Idee von Bauen, das sich in der Rationalisierung, Elementierung und Herstellung flexibler, günstiger und effizienter Produkte die Industrieproduktion zum Vorbild nahm.

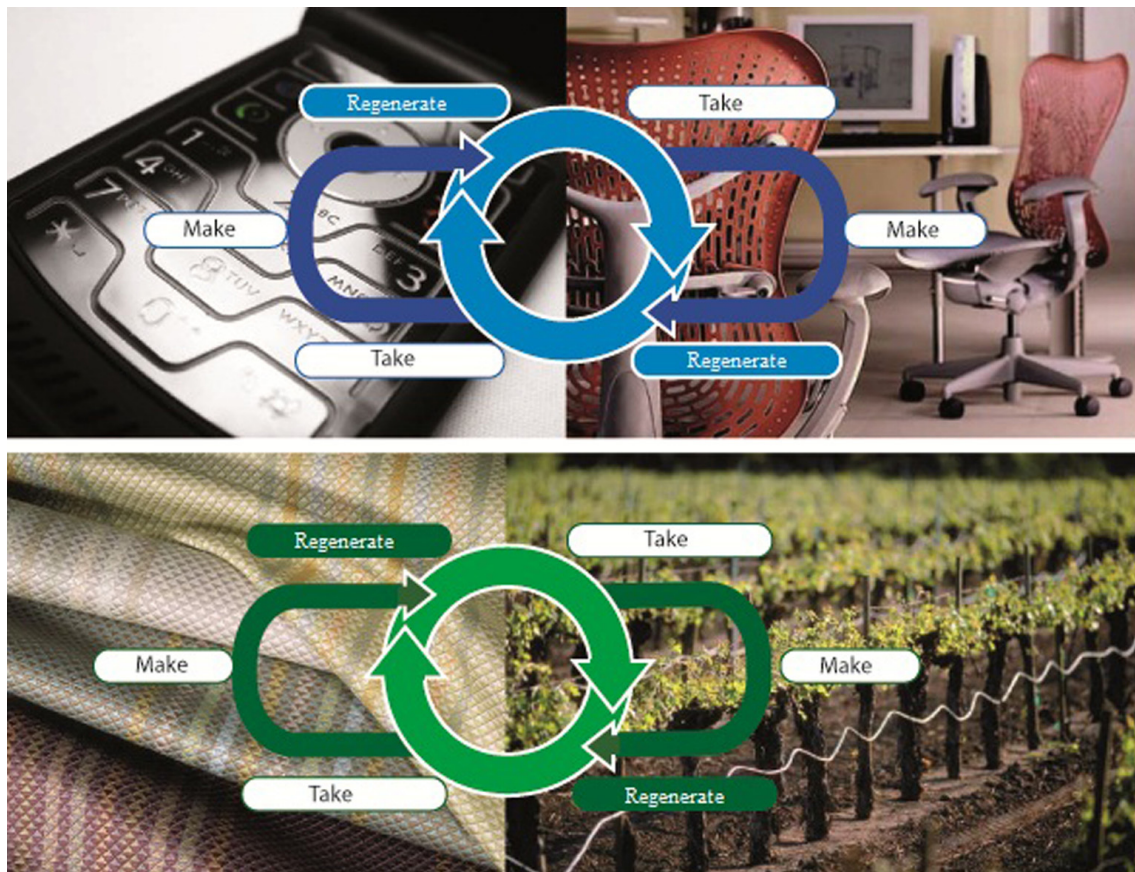


Abb. 1. Cradle to Cradle®. Biologischer und Technischer Kreislauf. Über definierte Stoffströme werden Produkte nach ihrer Nutzung zu Nährstoffen für biologische und technische Kreisläufe. Abbildung mit freundlicher Genehmigung der Epea GmbH.

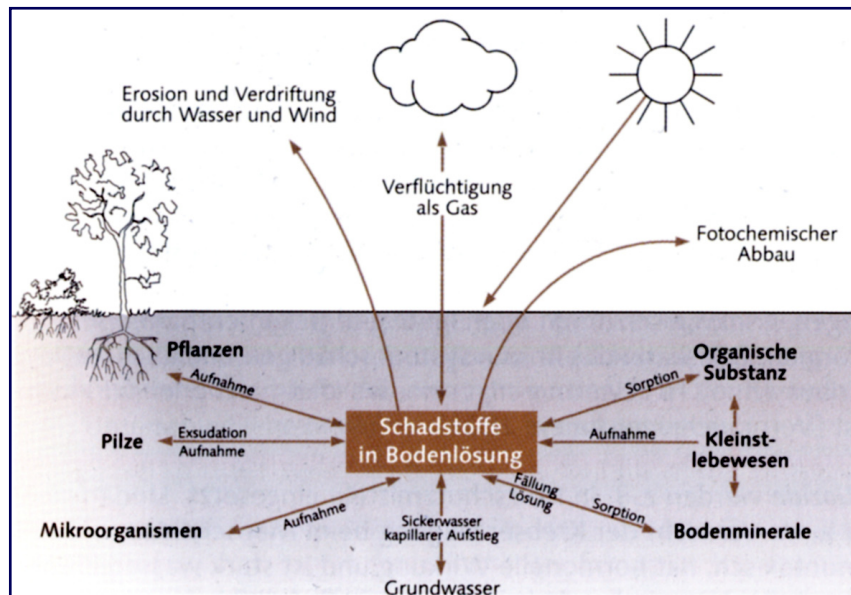
Seit den 1970er Jahren ist zudem ein exponentieller Anstieg neuer Baustoffe und Baumaterialien zu verzeichnen, insbesondere gab es immer mehr zum Teil unerprobte Kunst- und Verbundstoffe sowie Zuschlagstoffe, von denen sich beträchtliche Anteile als öko- und humantoxikologisch herausgestellt haben. In Bauhilfs- und Bauzusatzstoffen, die etwa fünf Masseprozent des heutigen Bestandes ausmachen,<sup>9</sup> befinden sich nahezu alle Problemstoffe.<sup>10</sup> Zur Erzielung bestimmter technischer Eigenschaften kommen sie als Bestandteile von Löse-, Binde- oder Konservierungsmitteln, Stabilisatoren oder Weichmachern, Mitteln mit isolierenden oder abdichtenden Eigenschaften oder von Produkten zum Insekten- oder Flammenschutz in fast allen Baustoffen dieser Zeit vor. Für eine Langzeitbetrachtung sind besonders die biopersistenten Schadstoffe hochproblematisch, neben - dem wohl bekanntesten - Asbest sind dies beispielsweise die Verbindungen PCB (polychlorierte Biphenyle) oder PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe). Durch die Verteilung über Boden, Wasser und Luft liegen diese heute ubiquitär<sup>11</sup> in der Umwelt vor.

Der internationale Wettbewerb, Spezialisierung sowie ständig neue technische Entwicklungen führen trotz der strengeren Umweltschutzaufgaben der vergangenen Jahre auch heute ständig zu immer aufwendigeren, komplizierteren und auf immer kürzere Lebensdauer angelegten (Verbund-) Stoffen, deren Materialien systembedingt häufig extrem lange Verweildauer besitzen. Betrachtet man nun die Tatsache, dass das jährliche Neubauvolumen mit etwa ein bis zwei Prozent des vorhandenen Bestandes höher ist als die Abrissrate (0,5 bis ein Prozent) und gleichzeitig die in Gebäude eingebrachten Stoffmassen um ein Vielfaches höher sind als die anfallenden Abfallmengen, bedeutet dies *ein kontinuierliches Anwachsen eines riesigen stofflichen Zwischenlagers*.<sup>12</sup>

### Die intelligente Fortschreibung des Bestandes

*"Das Erbe der Moderne ist janusköpfig, vom Verlust der Langfristperspektive über Beschleunigung von Verbrauch und Ökonomisierung von Kultur [...]",* verdeutlicht vor dem dargestellten Hintergrund die Münchener Denkmalpflegerin Uta Hassler im Jahr 2002.<sup>13</sup>

Abb. 2. Vorkommen von Schadstoffen. Veränderte Grafik nach: Detlef Glücklich/ Nicola Fries/ Stephanie Luge u.a.: *Ökologisches Bauen. Von Grundlagen zu Gesamtkonzepten*. München. 2005. S.121.



Da jede Neu-, Umbau- oder Erweiterungsmaßnahme unter den vorher beschriebenen Bedingungen zwangsläufig zu einer Zuspitzung der Situation führt, schlagen Hassler und der Karlsruher Experte für Bauproduktion Niklaus Kohler vor, den Gebäudebestand grundsätzlich neu zu begreifen: *"Es zeigt sich, dass gesamtgesellschaftlich nur die intensive Erhaltung und die optimale Nutzung des Gebäudebestandes mittelfristig zu einer Entlastung der Umwelt führen können. Dadurch wird der Gebäudebestand prinzipiell zur wichtigsten und schlussendlich einzigen möglichen Ressource"*.<sup>14</sup> Diese Idee muss sich, so Hassler und Kohler, in ein *"gesamtgesellschaftliches sozio-kulturelles Wertesystem"* einfügen.<sup>15</sup>

Abb. 3. Verhalten von Schadstoffen. Veränderte Grafik nach: Detlef Glücklich/ Nicola Fries/ Stephanie Luge u.a.: *Ökologisches Bauen. Von Grundlagen zu Gesamtkonzepten*. München. 2005. S.121.

Das gegenwärtige Wirtschaftssystem bietet für einen solchen Paradigmenwechsel allerdings wenig Anreize. Die auf ständiges Wachstum und Ressourcenverbrauch ausgelegte industrielle Produktion sowie die immer kurzfristigeren Gewinnerwartungen von Unternehmen implizieren eine ten-

denziell ständig kürzere Lebenserwartung von Materialien und Gebäuden. Demgegenüber sieht eine traditionell weit verbreitete Sichtweise Gebäude als grundsätzlich generationsübergreifende Langfristprodukte. Und tatsächlich erreichen - wohl dem unbewussten Festhalten an traditionellen Denkweisen geschuldet - unsere Bauten noch immer eine durchschnittliche Lebensdauer von 80 bis 100 Jahren.<sup>16</sup>

Ein beträchtlicher Teil der Baumaterialien, die Problemstoffe enthalten, ist bis heute noch nicht wieder in Abrissmaterialien aufgetreten. Er befindet sich gegenwärtig noch im Bestand und stellt langfristig ein Entsorgungsproblem dar.<sup>17</sup> Vor der (Weiter-) Nutzung dieser Materialien ist im Rahmen einer langfristig nachhaltig angelegten ökologischen Säuberung der Bausubstanz ein Rückbau oder eine Fixierung<sup>18</sup> sämtlicher human- und ökotoxikologischer Schadstoffe erforderlich. Bei den dieser Schadstoffsanierung folgenden Umbau- oder Ergänzungsmaßnahmen sind dann Kriterien wie

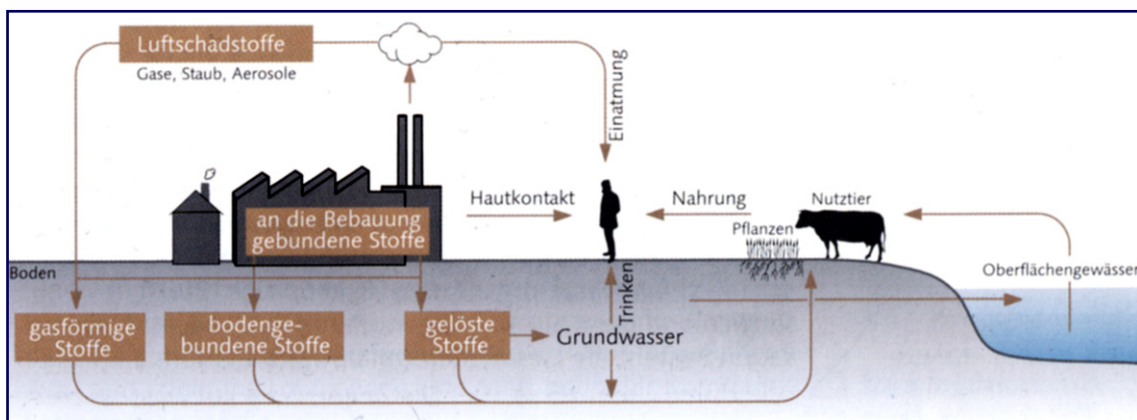
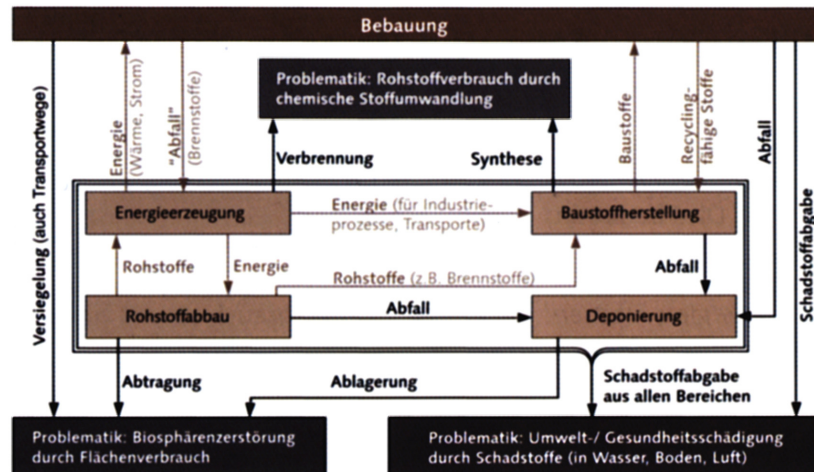


Abb. 4. Ursachenschema der Schadstoff-Problematik. Veränderte Grafik nach: Glücklich/Fries/Luge 2005 (Vgl. Abb. 3). S.123.



eine nachweisliche Schadstofffreiheit, Reparaturfähigkeit, Demontierbarkeit und sortenreine Trennbarkeit, Recycle-Fähigkeit beziehungsweise die Verwendung natürlicher Baustoffe sowie die Wiederverwendbarkeit von *Bauteilen* unerlässlich.

Wenn man den Aufwand für Umbauarbeiten einmal unberücksichtigt lässt, bringt ein bestehendes Gebäude den Primärenergieinhalt seiner Baustoffe sowie die Energie, die für die Herstellung des Gebäudes notwendig war (Graue Energie), bereits mit. Aus der Perspektive einer Ökobilanz stellen diese im Gebäude gespeicherten Materialien und Energien Ergebnisse früherer Eingriffe in den Naturhaushalt dar. Je länger ein Bauwerk genutzt wird, über einen desto längeren Zeitraum verteilt sich dieses Kapital von Umweltbelastungen und desto weniger Ressourcen werden für sie relativ verbraucht.

Die Lebensdauer ist allerdings nicht der einzige Gesichtspunkt, der in die Betrachtung von Stoffströmen im Bauwesen einzufließen hat. Um Fehlerquellen in Stoffstrombilanzen auszuschließen, sind weitere Punkte zu berücksichtigen:

### Schadstoffe

Beim Einsatz wiederverwendeter Baustoffe oder der Weiterverwendung von Bauteilen muss eine Verbreitung von Schadstoffen<sup>19</sup> ausgeschlossen werden. Neben dem Vorhandensein als primäre Einsatzstoffe und deren Weiterverbreitung aufgrund von unzureichendem Wissen über die Zusammensetzung

des Produktes können Gefahrstoffe über Emission und Kontamination bereits im Bestand oder über den Recyclingprozess auf ursprünglich nicht kontaminierte Materialien übertragen werden. Auf diese Weise entstehen sekundäre Problemstoffe oder Sekundärquellen. Hierbei kann es auch zu Wechselwirkungen und Entstehung von neuen Stoffgemischen mit bisher nicht ausreichend erforschten Auswirkungen kommen. Ebenso wie bei der Sanierung sind Fachkenntnisse und sorgfältige Untersuchungen notwendig.

### Recycling oder Downcycling?

Bei der Verwendung des Begriffes Recycling wird häufig nicht unterschieden, ob es sich um tatsächliches Recycling handelt, oder nicht vielmehr - wie in den immer noch meisten Fällen - um ein *Downcycling*: die "übliche Praxis, Materialien so zu recyceln, dass viel wertvolles Material nicht mehr als Rohmaterial für zukünftige Prozesse genutzt werden kann, sondern statt dessen verloren geht".<sup>20</sup> Bei einem echten Recycling unter Vermeidung negativer Umweltauswirkungen in den einzelnen Prozessverläufen kann die lange Verweildauer von Materialien auch eine positive Materialeigenschaft darstellen, sofern man sie als Ressourcen für eine künftige Neunutzung begreift.

### Sanierungsfolgeschäden

Die Erfahrung der vergangenen Jahre zeigt, dass aufgrund von undifferenzierten Standardsanierungen auch bei hochwertigen Objekten immer häufiger Sanierungsfolgeschäden auftreten.

ten. Die mit den kontinuierlich aktualisierten Energieeinsparverordnungen immer höheren Anforderungen an die Dämm-Fähigkeit und Dichtigkeit der Außenhülle machen deshalb eine sorgfältige und fachliche Voruntersuchung der vorhandenen Substanz um so wichtiger, da zur Erfüllung der bauphysikalischen Anforderungen aufeinander und auf die (Einbau-) Situation abgestimmte Bauteile und Materialien zwingend erforderlich sind. Durch die Abwicklung über pauschale Sanierungspakete wird "zuviel ersetzt, zu wenig repariert",<sup>21</sup> falsche Anschlüsse können schnell zu Bauschäden - beispielsweise durch Kondensation innerhalb der Bauteile zur Entstehung von Feuchtigkeit und Schimmel - führen. Neben bauphysikalischen Folgen sind gesundheitliche Auswirkungen die Folge. Diesen gilt insofern eine größere Aufmerksamkeit, als dass die in der Regel dichtere Außenhülle zu einer erhöhten Konzentration an die Innenraumluft abgegebener (Schad-) Stoffe führt.

### Probleme der Bestandsentwicklung am Beispiel Wärmedämmung

Die Relevanz der vorgestellten ergänzenden Kategorien wird eindringlich an einem heute sehr weit verbreiteten Sanierungsverfahren deutlich. Bei der Sanierung bestehender Gebäude ist normalerweise eine energetische Verbesserung der Außenhülle erforderlich. Ein vergleichsweise kostengünstiges und technisch anerkanntes System sind Wärmedämmverbundsysteme, kurz WDVS. Als billige Variante bestehen sie in der Regel aus einer Dämmschicht, die flächig auf die bestehende Fassade aufgeklebt wird, einem Armierungsgewebe, das in der Regel ebenfalls aus Kunststoff besteht, und aus häufig kunststoffmodifizierten Zementklebputzen sowie Fassadenfarbe. Die einzelnen Schichten und Kleber enthalten zur Verbesserung ihrer Eigenschaften ebenfalls zahlreiche, zum Teil giftige

Zusatzstoffe. Durch den luftdichten Aufbau kommt es durch Sonneneinstrahlung, Nachtauskühlung und Kondensatbildung an der Oberfläche zu verstärktem Algenwachstum. Um dieser (rein optischen) Beeinträchtigung entgegen zu wirken, sind den Fassadenfarben dieser Systeme zusätzlich Fungizide und Pestizide zugesetzt, die sich ausgewaschen durch Niederschlag in der Umwelt verteilen und nachweislich bei Mensch und Tier gesundheitsschädigend wirken.

Bei der Auswahl dieser Dämmsysteme wird die Betrachtung viel zu oft einseitig auf die Isolierung der Gebäudehülle und der daraus resultierenden Heizenergieeinsparung gelegt. Nachhaltigkeit im Bauwesen geht aber weit darüber hinaus. Die Verwendung problematischer Stoffe im dargestellten "Sanierungs"-Verfahren führt im Gegenteil bereits in der Herstellung zu kostenintensiveren Maßnahmen und gesundheitlichen Belastungen. Je nach Aufbau des Wärmedämmverbundsystems und der Einbausituation werden bauphysikalische Auswirkungen ignoriert, bestimmte Additive sind sogar als "cmr" (kanzerogen, mutagen und/ oder reproduktionstoxisch) eingestuft. Die nach heutigem Stand der Technik erreichbare schadensfreie Le-

Abb.5. Kindertagesstätte Plappersnut, Wismar. Ökologisch und energetisch nachhaltiger Umbau und Sanierung eines etwa 350 Mal auf dem Gebiet der ehemaligen DDR identisch gebauten Plattenbau-Grundschultyps zu einer Kindertagesstätte. Abbildungen mit freundlicher Genehmigung des Igel Instituts Wismar.



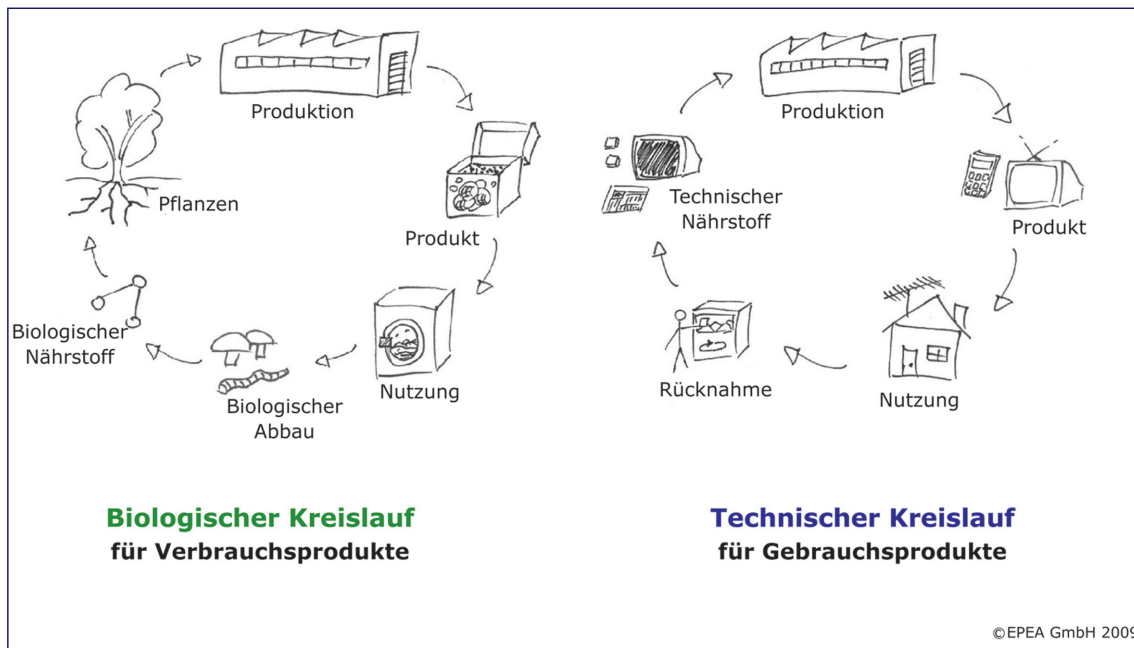


Abb.6. Das Cradle to Cradle - Konzept. Der biologische und der technische Nährstoffkreislauf. Abbildung mit freundlicher Genehmigung der EPEA GmbH.

bensdauer der beschriebenen Wärmedämmverbundsysteme liegt bei ca. 22 Jahren.<sup>22</sup> Die verklebte und nicht mehr sortenrein zu trennende, hochproblematische Stoffmischung ist schließlich als Sondermüll zu entsorgen. Seit Einführung des Wärmedämmverbundsystems im deutschsprachigen Raum wurden geschätzte 600 Millionen Quadratmeter dieser Oberflächen eingebaut.<sup>23</sup>

Eine wirklich nachhaltige Ertüchtigung der Fassade sollte demgegenüber vornehmlich aus natürlichen, sortenrein trennbaren, gegebenenfalls mineralischen Baustoffen bestehen. Die Wahl ist unter Berücksichtigung der bestehenden Außenwand zu treffen (Material, Rohdichte, Taupunkt usw.). Eine mögliche Alternative zu den beschriebenen Wärmedämmverbundsystemen sind gedübelte Dämmplatten, beispielsweise aus Hanf,<sup>24</sup> mit einer vorgesetzten und mechanisch befestigten Schalung oder Putzträgerplatte. Nicht selten möchte man die vorhandene Fassade und Einbausituation der Fenster aus ästhetischen oder gar denkmalpflegerischen Gesichtspunkten erhalten. In diesem Fall eignen sich von innen aufzubringende Dämmsysteme, beispielsweise Mineralschaumdämmung mit einer mineralischen Trägerplatte und abschließendem Kalkputz. Je nach der vorhandenen Grundsubstanz stellen Holzweichfaserdämmplatten, Lehm- bauplatten und Lehmputz eine Alternative dar. Bei beiden Aufbauten wir-

ken sich in den Putz eingelegte Heizschlangen positiv aus. Bauphysikalisch wichtig ist hierbei, dass der Taupunkt nicht innerhalb des Aufbaues liegt. Nicht zuletzt kann diese Art der Ertüchtigung zu einer Verbesserung der Innenraumluft beitragen.

#### Das Cradle to Cradle® Designkonzept

Sehr viel weiter als die zu Beginn genannte Bauproduktenverordnung, welche in Zukunft die vollständige Wiederverwendung aller in Gebäuden verbauter Stoffe zur Pflicht machen wird, reicht ein Ansatz, der unter dem Begriff *Cradle to Cradle*® bekannt geworden ist. Das *Cradle to Cradle*® - Konzept beschränkt sich nicht auf das Bauwesen, sondern betrachtet ganz allgemein die Herstellung und den Verbrauch menschlicher Güter und deren Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Die Begründer des Modells, Michael Braungart und William McDonough,<sup>25</sup> fordern einen positiven Paradigmenwechsel: ein von Anfang an neu gedachtes Verständnis von Produktdesign. Auf diese Weise ist *Cradle to Cradle*® (deutsch etwa: "von der Wiege zur Wiege") oder kurz "C2C" eine der konsequentesten Theorien für die Entwicklung zu einer nachhaltigen Gesellschaft. Stoffströme werden durch Stoffkreisläufe ersetzt: alle Ver- und Gebrauchsgüter werden in einem System hergestellt, das geschlossene Materialkreisläufe ermöglicht und in dieser Konsequenz frei von Abfällen

bleibt. Da in dieser Betrachtungsweise Abfall gleich Nahrung ist und Produkte als Nährstoffe (=Ressourcen) begriffen werden, geht es nicht mehr um "weniger schädlich", sondern um "nützlich". Braungart und McDonough sprechen von einem "Konsumieren ohne schlechtes Gewissen". Ein "Schuld"-Management eines lediglichen Vermeidens oder Minimierens von Abfall wird grundsätzlich abgelehnt.

### **Der biologische und der technische Kreislauf**

"Nährstoffe" im Sinne der C2C®-Konzeption zirkulieren in zwei Kreisläufen. Verbrauchsgüter sind Bestandteil in einem *biologischen* Metabolismus: als biologisch abbaubare Produkte stellen sie Nährboden für neue natürliche Rohstoffe dar. Gebrauchsgüter sind Teil in einem *technischen* Kreislauf: Die technischen "Nährstoffe" zirkulieren in geschlossenen Systemen auf einem beständigem Qualitätsniveau. Der geschlossene Kreislauf ist als Voraussetzung für die Verwendung toxischer Stoffe notwendig. Sorgfältige Materialauswahl und Demontierbarkeit sind wesentlich. Als Gebrauchsgüter werden die Produkte der Kreislaufwirtschaft nach dem Leasing-Prinzip wie eine Dienstleistung beispielsweise gegen eine Gebühr beziehungsweise mit Rücknahmegarantie genutzt. Nach einer definierten Nutzungsdauer gehen die Materialien zurück an den Hersteller. Dieser wie-

derum ist als der "Besitzer" einer Material-"Bank" eher geneigt, von vornherein höherwertige Materialien zu verwenden, da er sie später zur Wiederverwendung zurück erhält.<sup>26</sup>

Die drei Grundprinzipien des Cradle-to-Cradle®-Konzeptes sind: Abfall ist gleich Nahrung, also ein vollständiges Vermeiden von Abfall, die Förderung und Nutzung erneuerbarer Energien sowie die Förderung kultureller und biologischer Vielfalt (Biodiversität, konzeptionelle und kulturelle Diversität). Das Modell entwirft ein "Produktionssystem, das alle Ansprüche an ökonomische und ökologische Verfügbarkeit und soziale Gleichheit sowohl kurz- als auch langfristig erfüllt [...]".<sup>27</sup> Braungart und McDonough sprechen selbst von der "nächsten industriellen Revolution".<sup>28</sup>

Ein weiterer Begriff, den Braungart und McDonough einführen, ist der Terminus *Öko-Effektivität*. Braungart und McDonough grenzen *Öko-Effektivität* bewusst von *Öko-Effizienz* ab, unter der die Autoren die gängige Praxis der Schadensbegrenzung verstehen. *Öko-Effektivität* ist als integrale Betrachtungsweise die Voraussetzung für die angestrebte ökologisch-industrielle Revolution. In ihrem Buch *Einfach intelligent produzieren* formulieren die Autoren ein Programm von "Fünf Schritten zur *Öko-Effektivität*".<sup>29</sup> Die ersten Schritte betreffen die Grundlagen für die Vermeidung von

Abb.7. Bionorica-Zentrale in Neumarkt. Michael Braungart erläutert: "Wir brauchen keine Passivhäuser, sondern Energieplushäuser, welche die Luft reinigen. Die Innenraumluft herkömmlicher Bauten ist drei bis acht Mal schlechter als die schlechteste Berliner Außenluft. Ein konkretes Beispiel für ein Gebäude mit C2C® Elementen ist die neue Firmenzentrale der Bionorica in Neumarkt. Die Fenster von Schüco hat der Bauherr nicht gekauft, sondern nur für 25 Jahre geliehen, also eine Durchguckversicherung abgeschlossen. Die Teppichböden sind ebenfalls nur geliehen, die verwendeten Farben reinigen aktiv die Luft, der verarbeitete Beton von Heidelberg Cement ist frei von Stickoxiden und organischen Kohlenwasserstoffen. Der Stahl kommt ohne seltene Buntmetalle aus und auch die Büromöbel entsprechen C2C®. Die Zielsetzung sollte sein, die Innenraumluft unserer Häuser besser zu machen als die Außenluft."<sup>31</sup> Abbildung verändert nach: *Bionorica Forschungsmagazin*. 01/2006 mit freundlicher Genehmigung der EPEA GmbH.





Schadstoffen: sortenreine Trennbarkeit, Demontierbarkeit, den Einsatz zertifizierter Produkte, Regenerierbarkeit und "ökologische Intelligenz" beispielsweise in der Nutzung von Synergieeffekten. Die folgenden Schritte betreffen die Kategorisierung aller beteiligten Inhaltsstoffe, die Erstellung von Präferenzlisten und die Suche nach Ersatzstoffen. Mit der Herstellung eines neuen Produktes unter Vermeidung der mit dem alten Produkt verbundenen Probleme beginnt schließlich ein Denken in stofflichen Kreisläufen. Auf diese Weise konnten bereits zahlreiche Produkte entwickelt werden: ein essbarer Sitzbezug für Airbus, "wiederverwendbare" Turnschuhe oder ein Bürostuhl, dessen Einzelteile kompostierbar sind.<sup>30</sup>

Cradle to Cradle® zielt allerdings nicht nur auf ein vollständiges Recycling, sondern auch auf die Erhöhung des Nutzwertes von Produkten - auf ein "Upcycling". Unter dieser Vorgabe kann man damit beginnen, *alles* neu zu erfinden. Gebäude werden nicht nur als Wohn- und Arbeitsstätten begriffen, sondern fungieren gleichzeitig als Luftreiniger, Energieproduzenten und Lebensraum für Pflanzen und Tiere.

### **Gebäude mit einer definierten Lebensdauer**

Wenn Baustoffe als Bestandteile natürlicher Kreisläufe biologisch abgebaut werden oder als technischer "Nährstoff" mit Rückgabesystem im Besitz des Herstellers bleiben, und wenn außerdem die für Bau-, Betriebs- und Abbruchprozesse eingesetzte Energie regenerierbar ist, wird die Frage nach der Lebensdauer von Gebäuden aus ökologischer Sicht obsolet. McDonough und Braungart schlagen *geleaste* Bauwerke mit einer definierten Lebensdauer vor. Für Gewerbe- und Industriebauten könnte die Lebensdauer von Produktionsstätten auf eine bestimmte Anzahl von Jahren festgelegt werden, die in Abhängigkeit von Produktionszeiträumen oder von der geplanten Einsatzzeit der Maschinen steht. Konstruktion und haustechnische Anlagen können optimal für diese Zeit dimensioniert werden. Wohngebäude können entsprechend für bestimmte Lebensphasen erstellt werden: Zum Beispiel für die Zeit, in der

die Kinder aufwachsen. Nach 15 bis 20 Jahren wandelt sich, nachdem die Kinder aus dem Elternhaus ausgezogen sind, nicht nur der Raumbedarf, in der Regel werden auch Instandsetzungen und haustechnische Erneuerungen notwendig. Um bei einem Rückbau die Systemrückführung der Materialien sicher zu stellen, wird vorgeschlagen, "*den Materialien selbst Informationscodes zu allen Inhaltsstoffen auf[zum]prägen, in einer Art Upcycling-Pass, der von Scannern gelesen von zukünftigen Generationen produktiv genutzt werden kann*".<sup>32</sup>

### **Dauerhafte Gebäude**

Neben den unter Anderen von den Vertretern der C2C®-Konzeption vorgeschlagenen Gebäuden mit einer definierten Lebenszeit werden aber auch nach wie vor Gebäude entstehen, deren Lebensende offen ist. Für die Konstruktion und die Bauteile dieser Gebäude müssen unter dem Leitgedanken der ökologischen Nachhaltigkeit Konzeptionen entwickelt werden, die eine dauerhafte Nutzung und eine ästhetische Alterung ermöglichen. Wenn bei Gebäuden mit einer definierten Lebensdauer die Nutzung die Lebenszeit bestimmt, müssen im Umkehrschluss die für einen langfristigen Gebrauch geplanten Gebäude idealer Weise *nutzungsvariabel* sein. Gebäude und Räume müssen im Laufe der Zeit an verschiedene Nutzungen angepasst werden können.

Um diese Anpassungsfähigkeit zu ermöglichen, ist im Inneren dieser Gebäude eine klare und einfache Struktur förderlich. Die äußere Hülle des Bauwerks muss sich an die spezifischen Begebenheiten des Ortes anpassen und sich in seine Umgebung integrieren. Zu einem ökologisch fortschrittlichen Alterungsprozess gehört eine positive Beeinflussung des Mikroklimas, die Berücksichtigung lokaler Wasser- und Nährstoffkreisläufe sowie die Nutzung erneuerbarer Energien (standortabhängig unterschiedlich vielfältig).

### **Smart Materials**

In Zukunft werden auch sogenannte Smart Materials eine wesentliche Rolle spielen. Mit ihrer Oberfläche, Textur oder Transluzenz ermöglichen sie - gemeinsam mit einer digital ver-

netzten Gebäude- und Medientechnik (Smart Technologies)<sup>33</sup> - eine Anpassung an äußere Einflüsse, Witterungs- und Lichtverhältnisse oder Jahreszeiten. Entsprechend den äußeren Rahmenbedingungen verändert sich die Gebäudeoberfläche und macht Zeit zur vierten (Planungs-) Dimension. Nach Ansicht der US-amerikanischen Architekten und Designtheoretiker Sheila Kennedy und Veit Kugel stellt in *"Ihrem Einbeziehen von Zeit [...] die Polyfunktionalität performativer Oberflächen in der Architektur das moderne Credo Form follows Function in Frage"*.<sup>34</sup> Sie sprechen von einer Akzentverschiebung vom offenen zum rekonfigurierbaren Grundriss, der entweder *neutral* oder über die Zeit *anpassungsfähig* sein muss. Energietechnisch ermöglicht die Kombination aus dynamischem Materialverhalten und innovativen Technologien eine dezentrale Versorgung aus erneuerbaren Quellen, die im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung auch die soziale und ökonomische Unabhängigkeit von zentralisierten Systemen fördert.

### Schlussfolgerungen

Aus rein ökologischer Sicht sind die Ziele bautechnischer Nachhaltigkeit klar zu formulieren: Die Basis jeder Diskussion über den Fortbestand oder die Entstehung eines Gebäudes ist die Human- und Umweltverträglichkeit seiner Materialien. Ökologische Verträglichkeit impliziert die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen.

Ein erster Schritt zur Umsetzung dieser Ziele ist die Befreiung des Bestandes von sämtlichen schadstoffbelasteten Materialien. Die hierzu notwendigen Maßnahmen können nicht pauschal formuliert werden. Da es sich in der Regel um komplexe Zusammenhänge handelt, müssen geeignete Sanierungsstrategien mit fachlicher oder wissenschaftlicher Unterstützung individuell festgelegt werden. Hier kommt dem Gebäudebestand eine zentrale Rolle zu. Da aber jeder Neubau mit seiner Fertigstellung zu einem Teil des Bestandes wird, muss Neubauten genau die gleiche Aufmerksamkeit zugewandt werden.

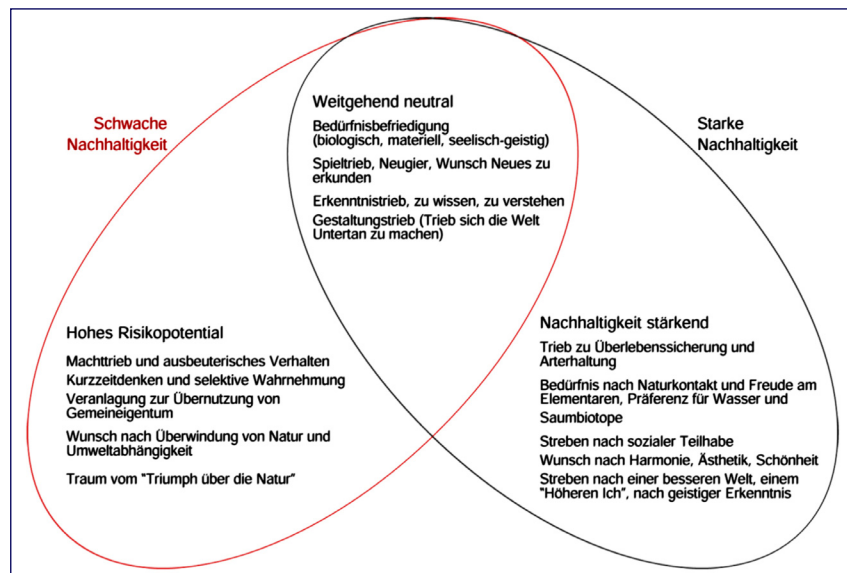
Wenn in Zukunft ausschließlich human- und umweltverträgliche Bau-

stoffe zum Einsatz kommen sollen, sind mehrere Maßnahmen erforderlich. An erster Stelle muss eine offene und für die breite Öffentlichkeit sowohl verständliche wie zugängliche Aufklärung über bautechnische Fehler der Vergangenheit stehen. Dies schließt auch jüngste Sanierungsfehler ein, wie beispielsweise die erwähnten hochproblematischen 600 Millionen Quadratmeter belasteter Wärmedämmverbundsysteme. Ein zweiter Schritt ist die konsequente gesetzliche Unterbindung nicht qualifizierter Baustoffe. Der Gesetzgeber ist hier auf die Expertise unabhängiger Institute angewiesen (vgl. Bauproduktenverordnung 2010). Parallel dazu ist eine tiefgreifende Integration der Regeln nachhaltigen, kreislaufbasierten Entwerfens und Konstruierens in die Ausbildung aller am Bauprozess Beteiligten erforderlich. Erst eine nachhaltige ökologische Entwicklung ermöglicht den dauerhaften Fortbestand und die Ergänzung bestehender Bauwerke.

Grundregeln der Human- und Umweltverträglichkeit sind eine optimierte Nutzung von Ressourcen und Stoffströmen, Schadstofffreiheit, Abfallvermeidung, die Trennbarkeit und die Wiederverwendbarkeit von Bauteilen. Werden diese Grundregeln beachtet, können Sanierungen, Ergänzungen, Um- oder Neubauten mit einer fest definierten Lebensdauer oder mit einer dauerhaften Nutzungsperspektive ohne ökologische Nachteile verwirklicht werden. Dies gilt auch für den Rückbau bestehender Strukturen, wenn dieser aus städtebaulichen oder ästhetischen Gründen oder wegen unwirtschaftlicher Sanierungskosten erforderlich ist.

In dem Maße, in dem bei Verwirklichung einer nachhaltigen Architektur die Frage nach der Lebensdauer von Bauten an Wichtigkeit verliert, *gewinnen* die Lebens-Qualität und die Lebens-Aufgaben von Gebäuden an Bedeutung. Als Teil ihres städtischen Umfeldes können nachhaltige Gebäude in Zukunft neue, energetisch-funktionale Aufgaben übernehmen, indem sie zu dezentralen Infrastruktursystemen, Kraftwerken, Energiespeichern oder Funktionspunkten innerhalb eines städtischen Netzwerkes werden. Angesichts des Flächenverbrauchs und der damit einhergehenden Flächen-

Abb.8. Humanethologisches Dreieck. Die Humanethologie (Wissenschaft vom menschlichen Verhalten) geht davon aus, dass der Mensch im Prozess der Evolution Verhaltenskonstanten erworben hat. Nach Eckart Hahn, Honorarprofessor für ökologischen Städtebau an der Universität Dortmund, sind diese auch für die Freiraumgestaltung sowie die Mensch-Umwelt-Beziehung relevant. Abbildung bearbeitet nach: Präsentation Eckart Hahn. Berlin. 2004. Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Eckhart Hahn.



versiegelung ist auch in Zukunft eine angemessene räumliche Verdichtung bei gleichzeitiger Verbesserung des lokalen Mikroklimas und der Boden-, Nährstoff- und Wasserqualität erforderlich.<sup>35</sup> Unter dem Begriff der *qualitativen Dichte* lassen sich ökologische, mikroklimatische, räumliche oder soziale Aufgaben zusammenfassen. Ästhetische Anforderungen sowie Belange des Denkmalschutzes sind in diesem Rahmen grundlegende Bestandteile einer nachhaltigen Architektur.

Mit einem neuen Verständnis von Architektur als Teil einer Kreislaufwirtschaft und nicht mehr als Ausdruck einer individuellen Entwerfer-Bauherren-Beziehung werden Architekten und Planer, Nutzer und Auftraggeber auf eine völlig neue Weise in die Verantwortung genommen. Die zum Teil völlig neuen Aufgaben stellen eine große Herausforderung dar. In einem Design- und Herstellungsprozess, der ausschließlich auf Materialien zurückgreift, die vollständig wiederverwertet werden können, muss sich der Architekt in Zukunft sehr viel mehr als heute mit Materialforschung beschäftigen. Zwischen den einzelnen Fachdisziplinen werden in Zukunft eine sehr viel engere integrative Zusammenarbeit und übergreifendere Kenntnisse erforderlich sein.

### Fazit

Die Forderung nach der Humanverträglichkeit von Baustoffen rückt das Wohlbefinden der Gebäudenutzer wieder in den Vordergrund. Da es bei

Architektur primär um die Schaffung von Raum geht und Räume von Menschen genutzt werden, ist der öko- und humanverträgliche Umgang mit Gebäuden und ihren Baustoffen eine zwingend logische Folge.

Das *Cradle to Cradle*<sup>®</sup> Konzept wird aktuell in verschiedenen europäischen Städten als Modellversuch erprobt und soll ganze Stadtstrukturen erfassen.<sup>36</sup> Die Verwirklichung von lokaler Energie- und Rohstoffunabhängigkeit durch den Übergang zu einer ökologischen Kreislaufwirtschaft hätte langfristig enorme Auswirkungen auf Politik und Wirtschaft. Sie ermöglicht Gebäude, die ohne von außen zugeführte Energie auskommen, keine Emissionen verursachen und beim Abbruch abfallfrei wieder in den Materialkreislauf zurückkehren.<sup>37</sup> Auf diese Weise würde die in der Nachhaltigkeitsdebatte viel diskutierte Quellen-Senken-Problematik ohne Einschränkung lokaler Lebensbedingungen oder Verbräuche obsolet, da in der ökologischen Kreislaufwirtschaft, wie im *Cradle to Cradle*<sup>®</sup>-Modell vorgestellt, Altes die Grundlage von Neuem ist.

Für den Einsatz von Technik könnte in diesem Zusammenhang eine allgemeine Strategie lauten: "So einfach und wenig wie möglich, so viel wie nötig." Um für die skizzierten komplexen Zusammenhänge öko-intelligente Lösungen zu entwickeln, sind ein ganzheitlicher Ansatz, die Nutzung von Synergien sowie der Einsatz von alten und von neuen Technologien erforderlich.<sup>38</sup> Der historisch-bewährte

Baustoff Lehm hat sich beispielsweise von einem zwischenzeitlich gering geschätzten Material, mittlerweile zu einem wiederentdeckten und technisch verbesserten Baustoff entwickelt, der in hochwertigen und sensiblen Bereichen eingesetzt wird und dort positiv auf das Innenraumklima wirkt.<sup>39</sup>

In Politik und Gesellschaft ist der Wille für ein Umsteuern in Fragen der Nachhaltigkeit offenbar vorhanden; erfolgversprechende Strategien und technische Konzepte für eine nachhaltige Bau- und Lebensweise liegen ebenfalls vor. Die Voraussetzungen sind also sehr vielversprechend. Zwei Zitate erklären, warum der Übergang in eine nachhaltige Wirtschaftsweise mehr als je erforderlich ist:

*"Wissen wird, anders als Warendurchsatz, nicht verringert, wenn man es teilt, sondern vervielfältigt [...] Existierendes Wissen ist der wichtigste Input für die Produktion neuen Wissens, und dieses künstlich knapp und teuer zu halten, ist pervers."<sup>40</sup>*

*"Wir müssen die falschen Ideen sterben lassen, bevor die Menschen wegen falscher Ideen sterben."<sup>41</sup>*

Die gesundheitlichen Wirkungen unserer Gebäude betreffen mittelbar oder unmittelbar jeden, Information über Inhaltsstoffe, Auswirkungen und deren Zusammenhänge sind dagegen in der Regel nur schwer zugänglich. Informationen unterliegen häufig wirtschaftlichen Eigeninteressen; sie werden aus ihrem Kontext herausgelöst, instrumentalisiert, manipuliert und für politische und ökonomische Zwecke benutzt (so etwa in der Propagierung von Wärmedämmverbundsystemen). Eine gebaute Umwelt ohne gesundheitliche Beeinträchtigung sowie der freie Zugang zu Informationen sollten als ein allgemeines menschliches Grundbedürfnis begriffen werden. Deshalb ist die Forderung nach *Transparenz* über die Wirkungen gegenwärtiger Baustoffe und Verfahren ein wichtiger Schritt. Eine transparente Informationspolitik würde Zusammenhänge offen legen und die *richtigen* Produkte würden im Idealfall automatisch den *falschen* vorgezogen. Jedermann sollte einen derartigen Zugang zu relevanten Informationen erhalten können. Erst diese Konstellation eröffnet die Perspektive auf eine nachhaltige Um-(baute)Welt als ein *allgemeines Gut*.

#### Anmerkungen:

**1** "Der Begriff der Nachhaltigkeit gilt seit einigen Jahren als Leitbild für eine zukunftsfähige Entwicklung der Menschheit [...] Erstmals wurde das Prinzip der Nachhaltigkeit vor etwa 300 Jahren formuliert. Hans Carl von Carlowitz, Oberberghauptmann am kursächsischen Hof in Freiberg (Sachsen), forderte 1713 in seinem Werk *Sylvicultura oeconomica*, dass immer nur so viel Holz geschlagen werden sollte, wie durch planmäßige Aufforstung durch Säen und Pflanzen wieder nachwachsen konnte und gilt deshalb als Schöpfer des forstwirtschaftlichen Nachhaltigkeitsbegriffes." Internetseite der Aachener Stiftung Kathi Beys: Hans von Carlowitz, 1713. URL: [http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/hans\\_carl\\_von\\_carlowitz\\_1713\\_1393.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/hans_carl_von_carlowitz_1713_1393.htm).

**2** "Nachhaltige Entwicklung definierte der Brundtland-Bericht als eine Entwicklung, die im Einklang mit gegenwärtigen wie mit zukünftigen Bedürfnissen steht [...] Er betont, dass das natürliche System der Erde nur endliche Kapazitäten für die menschliche Produktion und den menschlichen Konsum habe und dass die Fortsetzung der existierenden Ökonomie das Risiko einer irreversiblen Zerstörung des natürlichen Systems, von dem alles Leben abhängt, in sich trage." Pamela S. Chasek/ David L. Downie/ Janet Welsh Brown: *Handbuch Globale Umweltpolitik*. Berlin. 2006. (12000: Global Environmental Politics). S.49.

**3** Das Drei-Säulen-Modell der nachhaltigen Entwicklung ist u.a. von der Enquête-Kommission des 12. Deutschen Bundestages Schutz des Menschen und der

Umwelt formuliert worden. Es geht von der integrativen und gleichberechtigten Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Belange aus. Die Umsetzung dieser Vorstellung macht es notwendig, das Modell einer ökologischen und sozialen Marktwirtschaft überall auf der Welt zur Grundlage nachhaltiger Entwicklung werden zu lassen. URL: [http://www.bundesfinanzministerium.de/nn\\_3414/DE/BMF\\_\\_Startseite/Service/Glossar/N/001\\_\\_Nachhaltigkeit.html](http://www.bundesfinanzministerium.de/nn_3414/DE/BMF__Startseite/Service/Glossar/N/001__Nachhaltigkeit.html)

**4** Robert Goodland/ Herman Daly: "Die Notwendigkeit und Dringlichkeit ökologischer Nachhaltigkeit." In: *Natur und Kultur* 5/2 (2004). S.31-32. Vgl. auch: Gesellschaft für ökologisch-nachhaltige Entwicklung. URL: <http://www.umweltethik.at>.

- 5 Als Grundlage der folgenden Betrachtungen dienen vor allem die Recherchen von Uta Hassler und Niklaus Kohler, die sich neben der Studie für die Enquête-Kommission in zahlreichen Veröffentlichungen mit dem Thema des Umganges mit dem Bestand - und dabei insbesondere mit den Nachkriegsbauten - auseinandergesetzt haben. Prof. Dr. Uta Hassler und Niklaus Kohler, Dipl.Arch.EPFL-SIA, Dr.ès.sc.techn.Professor (i.R.) lehren und forschen beide (U.H. seit 2005, N.K. seit 2007) am Institut für Denkmalpflege und Bauforschung der ETH Zürich.
- 6 Die *Bauproduktenverordnung* ist eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten. Die Fachanwälte für Umweltrecht Jens Nusser, Michael Halstenberg und Christine Rester kommentieren: "Ein wichtiger Entwicklungsschritt [...] ist die Einführung der neuen Bauproduktenverordnung, in der zusätzlich die neue Basisanforderung Nr. 7 Nachhaltige Nutzung Natürlicher Ressourcen aufgenommen wurde." Jens Nusser/ Michael Halstenberg/ Christine Rester: Green Building / Nachhaltiges Bauen. Berlin: HFK Rechtsanwälte, April 2010. S. 67. URL: [http://www.hfk-rechtsanwaelte.de/client/media/321/green\\_building\\_web.pdf](http://www.hfk-rechtsanwaelte.de/client/media/321/green_building_web.pdf). Die Basisanforderung Nr.7 lautet: "Nachhaltige Nutzung Natürlicher Ressourcen. Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und Folgendes gewährleistet ist: a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss recycelt werden können. b) Das Bauwerk muss dauerhaft sein. c) Für das Bauwerk müssen umweltfreundliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden." Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten. Brüssel. 23.05.2008.
- 7 Vgl.: Tilman Harlander: "Wohnen und Stadtentwicklung in der Bundesrepublik". In: Ingeborg Flagge (Hg.): *Von 1945 bis heute, Aufbau - Umbau - Neubau*. 1999. S.233-417, hier S.237-239. *Geschichte des Wohnens* Bd.5.
- 8 Vgl.: "Über Risiken des Verschwindens und Chancen intelligenter Schrumpfung - ein Gespräch mit Uta Hassler". In: *Detail* 2002. S.1212-1217, hier S.1212.
- 9 Vgl. Uta Hassler/ Niklaus Kohler: "Umbau - Die Zukunft des Bestandes". In: *Baumeister* 4. 1998. S.34-41.
- 10 Zur Definition der Begriffe "Problem-", "Schad-" und "Gefahrstoff" vgl. Uta Hassler/ Niklaus Kohler/ Herbert Paschen: *Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen*. Bonn. 1999. 138-139.
- 11 In der Ökologie dient das Wort "ubiquität" zur Kennzeichnung von Substanzen, die in großer Menge verwendet werden und relativ reaktionsträge sind. Diese Stoffe können sich in der gesamten Umwelt stark ausbreiten bevor sie abgebaut werden: Vgl. Heinrich Bruckner/ Ulrich Schneider: *Naturbaustoffe*. Düsseldorf. 1998. S. A14.
- 12 Hassler/ Kohler 1998 (Vgl. Anm. 9).
- 13 "Über Risiken des Verschwindens und Chancen intelligenter Schrumpfung - ein Gespräch mit Uta Hassler". In: *Detail* 2002. S.1212-1217; hier S.1214.
- 14 Niklaus Kohler: *Stand der Ökobilanzierung von Gebäuden und Gebäudebeständen*. Karlsruhe. 1998. S. 9. Kohler war Professor am Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) der Universität Karlsruhe bevor er 2007 zum Institut für Denkmalpflege und Bauforschung der ETH Zürich wechselte.
- 15 Hassler/ Kohler 1998 (Vgl. Anm. 9).
- 16 Hassler/ Kohler 1998 (Vgl. Anm. 9).
- 17 Hassler/ Kohler 1998 (Vgl. Anm. 9).
- 18 Wenn in Bauteilen fest gebundene Schadstoffe in eingebaute Zustand nachweislich keine Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben, also fixiert sind, besteht kein zwingender Grund, sie auszubauen.
- 19 Problem-, Schad-, Gefahrstoff. Vgl. Uta Hassler/ Niklaus Kohler/ Herbert Paschen: *Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen*. Bonn. 1999, hier S.138-139: " [...] je nach Betrachtungsstandpunkt unterschiedliche Verwendung der Begriffe Schadstoff und Gefahrstoff in der wissenschaftlichen und politischen Diskussion [...] So formuliert der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): 'Gefahrstoffe sind Stoffe, die das Potential haben, auf den Menschen, andere Lebewesen, auf die einzelnen Ökosysteme oder auf Sachgüter eine schädigende Wirkung auszuüben' (SRU, 1987) [...] Die Zuweisung der möglichen Gefahreigenschaft erfolgt dann ohne Angabe eines Ortes und ohne bekannte Schädwirkung. Für die Praxis ist dies von Bedeutung, weil hiermit vorsorgende und auf Schadstoffvermeidung zielende Haltung in Unkenntnis der Wirkungen zum Ausdruck gebracht werden."
- 20 Zit. aus dem "Cradle to Cradle® Glossar" unter Downcycling. URL: <http://www.epea.com>
- 21 "Über Risiken des Verschwindens und Chancen intelligenter Schrumpfung - ein Gespräch mit Uta Hassler". In: *Detail* 2002. S.1212-1217. Hier S.1213.
- 22 Matthias Brake: "Werden Häuser immer mehr zu Sondermüll?" In: *telepolis*, 1.2. 2011. URL: <http://www.heise.de/tp/artikel/34/34113/1.html>.

- 23** Daniel Seemann: "Energieeffizienz im Gebäudebau schafft Umweltbelastung." Fraunhofer Institut für Raum und Bau (IRB) 16.3.2011. URL: <http://www.cleanenergy-project.de/15378/>.
- 24** Wärmeleitfähigkeit  $\lambda = 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Mit Hanffasern, Maisstärke als Stützfaser und Soda als Brandschutz zu 100% aus natürlichen Komponenten. Zum Beispiel Hock GmbH: "Technisches Datenblatt Thermo-Hanf Premium." URL: [http://www.thermo-hanf.de/cms/upload/pdf/datenblaetter/DB\\_Thermo-Hanf\\_Premium.pdf](http://www.thermo-hanf.de/cms/upload/pdf/datenblaetter/DB_Thermo-Hanf_Premium.pdf).
- 25** Michael Braungart (geb. 1958), Chemiker, Verfahrenstechniker und Autor, gründete 1987 die EPEA Internationale Umweltforschung GmbH in Hamburg. Sein Schwerpunkt liegt in der Entwicklung und Vermarktung intelligenter öko-effektiven Designs. Von 1994 bis 2008 war Braungart Professor für Verfahrenstechnik an der Universität Lüneburg, seit Herbst 2008 ist er Professor für Cradle to Cradle an der Erasmus Universität Rotterdam. Er ist Mitbegründer der Design- und Entwicklungsfirma McDonough Braungart Chemistry in Charlottesville, Virginia. William McDonough (geb. 1951), US-amerikanischer Architekt und Autor, ist unter anderem als Consulting Professor für Civil and Environmental Engineering an der Stanford University tätig, gehört dem Leadership Council der Yale University an und ist Preisträger mehrerer Presidential Awards. Er gründete das Architekturbüro William McDonough + Partners und ist Leiter der Entwicklungsfirma McDonough Braungart Chemistry. 1999 wählte das Time Magazine ihn zum "Hero for the Planet", 2007 zusammen mit Michael Braungart zu den "Heroes of the Environment". Aus: Michael Braungart/William McDonough: *Die nächste Industrielle Revolution*. Hamburg, 2008.
- 26** EPEA GmbH: "Nährstoffkreisläufe." o.D. URL: <http://epea-hamburg.org/index.php?id=199&L=4>.
- 27** Zit. Aus dem "Cradle to Cradle-Glossar". Unter: *Die nächste Industrielle Revolution*. URL: <http://epea-hamburg.org/index.php?id=159&L=4>
- 28** Michael Braungart/William McDonough: *Die nächste Industrielle Revolution*. Hamburg 2008.
- 29** Vgl.: Michael Braungart/William McDonough: *Einfach intelligent produzieren*. Berlin 2003. Hier S.205-222 (Originalausgabe: *Cradle to Cradle. Remaking the Way We Make Things*. New York 2002).
- 30** Die Hersteller sind: Sitzbezug: Gessner AG (ehemals Rohner Textil) und DesignTex (Schweiz). Schuhe: Nike (USA). Stuhl: Herman Miller (USA). Informationen mit freundlicher Genehmigung der EPEA GmbH
- 31** "Neue Firmenzentrale spiegelt Philosophie des Unternehmens wider." In: *Bionorica Forschungsmagazin*. 01/2006. URL: [http://www.bionorica.de/cda/unser\\_engagement/mit\\_nachhaltigkeit\\_agieren/content-111763.html](http://www.bionorica.de/cda/unser_engagement/mit_nachhaltigkeit_agieren/content-111763.html)
- 32** Braungart/ McDonough 2003 (Vgl. Anm. 29). S.219.
- 33** "Smart Materials sind aktive Materialien mit transformativem Charakter. Sie reagieren auf sich verändernde Umwelteinflüsse." Man unterscheidet "hier vier Kategorien der Verhaltensänderung: 1) Änderung einer Materialeigenschaft durch Änderung eines Materialzustandes. 2) Änderung einer Materialeigenschaft durch Zufuhr von Energie. 3) Umwandlung zugeführter Energie in eine andere Energieform 4) Änderung des Materialzustandes führt zu einer weiteren Änderung des Materialzustandes (interne Energie) und modifiziert so Materialeigenschaften und Energie-Output. Im Zusammenspiel mit Smart Technologies, d.h. intelligenter, vernetzter Gebäudetechnik, können sie die Energie- und Materialströme eines Gebäudes überwachen und optimieren." Zitat nach Michelle Addington (Yale School of Architecture). In: Nikolaus Kuhnert/Anh-Linh Ngo/Christian Berkes u.a.: "Smart Material Houses. Die materielle Grundlage einer neuen nachhaltigen Architektur." *Arch+* 198/199 2010. S. 72-77. Hier S.74.
- 34** Sheila Kennedy/ Veit Kugel: "Neue Materialien, neue Praxismodelle". In: *Arch+* 198/199. 2010. S. 78-79. Hier S.79.
- 35** Eine Verbesserung des Mikroklimas kann durch Bepflanzung oder die Gestaltung neuer (vertikaler) Biotope geschaffen werden. Eine gesunde obere humusreiche Bodenschicht dient als Sauerstofflieferant und CO2 Speicher. Sie bewirkt zum Beispiel durch lokale Regenwasserversickerung bzw. -nutzung eine Verbesserung der Boden-, Nährstoff- oder Wasserqualität. Weitere bewährte Verfahren sind die Trennung von Trink-, Grau-, Schwarz- oder Gelbwasser sowie lokales Wasserrecycling. Weitere Informationen unter URL: <http://www.ecobine.de/index.php?SESSION=&id=G.2&kurs=9&l=de>. Eine Reihe von Vorträgen des Landschaftsökologen Wilhelm Rippl zu diesem Thema ist auf youtube abrufbar.
- 36** Thomas Prlic: "Cradle to Cradle statt ab auf den Müll. Cradle to Cradle Pilotprojekt Graz." *Architektur und Bauforum*. 28.10.2010. URL: <http://www.architektur-bauforum.at/ireds-108055.html>
- 37** Ein Beispiel für ein derartiges Projekt ist das Einfamilienhaus des Projekts R 128 in Stuttgart von Werner Sobek. Sobek propagiert ein "Triple-Zero-Konzept": Null Emissionen, Null Energieverbrauch, Null Abfall.

Noch 2011 wird vom Büro Sobek in Berlin der Prototyp eines Energie-Plus-Hauses gebaut, der überschüssige Strom dient zum betanken des dazugehörigen Elektroautos. URL: <http://www.tagesspiegel.de/berlin/einwohnzimmer-mit-strom-tankstelle/3793766.html>

**38** Vgl. Klaus Daniels: *Low Tech Light Tech High Tech*. Zürich. 1998. Daniels arbeitet an der Entwicklung ökologisch verträglicher Gebäude. Das Bauen der Zukunft, so Daniels, kann nur ein ganzheitliches sein. Es gelte, die Synergien zwischen den drei Ansätzen Low-Tech, Light-Tech, High-Tech in jedem einzelnen Gebäude zu suchen und zu entdecken, zu prüfen und zu nutzen.

**39** Vgl. zum Beispiel die Nutzung von Lehm als hochwertiger Wandputz im Kolumba-Museum, in Köln; Architekt Peter Zumthor, Fertigstellung 2007. URL: [http://www.lehmjournal.de/cms/front\\_content.php?idart=122](http://www.lehmjournal.de/cms/front_content.php?idart=122).

de/cms/front\_content.php?idart=122.

**40** Das Zitat im Zusammenhang: *"Wissen wird, anders als Warendurchsatz, nicht verringert, wenn man es teilt, sondern vielfältigt. Sobald Wissen existiert, betragen die Opportunitätskosten des Teilens Null und somit sollte auch der Preis, es zu verteilen, Null sein. Internationale Entwicklungshilfe sollte mehr und mehr die Form von frei und aktiv geteiltem Wissen annehmen, begleitet von kleinen Kapitalhilfen, und weniger die Form gewaltiger zinsbelasteter Kredite. Wissen zu teilen kostet wenig, erzeugt keine Schulden, die eh niemals zurück bezahlt werden können, und es erhöht die Produktivität der wirklich konkurrierenden und knappen Produktionsfaktoren. Existierendes Wissen ist der wichtigste Input für die Produktion neuen Wissens, und dieses künstlich knapp und teuer zu halten, ist pervers. Patentmonopole (wie 'Rechte an geistigem Eigentum')*

*sollten eine kürzere Laufzeit haben und nicht für so viele 'Erfindungen' erteilt werden wie derzeit."*

Übersetzung der Adbusters-Laudatio sowie Dalys Artikel "A Steady-State Economy" aus: Adbusters 01/2009. In: Konsumpf - Forum für kreative Konsumpolitik. URL: <http://konsumpf.de/?tag=herman-daly>

**41** Michael Schmidt-Salomon bei der Gesprächsrunde "Eine bessere Welt ist möglich!" während des "Cradle to Cradle®-Festival" im Aedes-Architektur-Forum-Berlin, März 2011. Michael Schmidt-Salomon, geb. 1967, ist Sozialwissenschaftler, freischaffender Philosoph und Schriftsteller sowie Mitbegründer und Vorstandssprecher der Giordano-Bruno-Stiftung, einer Denkfabrik für Humanismus und Aufklärung.

