

# ÖKOLOGISCHES BAUEN

## OPTIMIERTE NACHHALTIGKEIT DER GEBÄUDEHÜLLE

H. Bangerter, berat. Ing. usic/sia; WEDER + BANGERTER AG,  
Bauingenieure und Bauphysiker, Zürich – Kloten – Wädenswil

### 1. ALLGEMEINE VERSTÄNDIGUNG

Der Titel dieses Aufsatzes provoziert beim Leser zunächst gewisse Verständnisfragen: Wenn schon der Begriff „Nachhaltigkeit“ in verschiedenster Weise definiert werden kann – was mag dann erst unter „optimierter Nachhaltigkeit“ zu verstehen sein? Und worin soll die Besonderheit bestehen, wenn diese Nachhaltigkeit explizit auf die Gebäudehülle bezogen wird?

Den folgenden Ausführungen und Erwägungen liegt hinsichtlich Nachhaltigkeit die Auffassung zu Grunde, dass ein Bauwerk – und hier im Speziellen dessen raumumschliessende Aussenhülle – als umso nachhaltiger gilt, je weniger schädliche Einflüsse ihm während seiner gesamten Lebensdauer (mithin während seiner „Präsenzzeit“) zum Nachteil der Umwelt angelastet werden müssen.

Damit die wünschbaren Nachweise angestellt werden können, braucht es zunächst entsprechende ökologische Bewertungsgrössen. Als solche gelten derzeit der Bedarf an Primärenergie (Graue Energie) der vorgesehenen Materialien, der CO<sub>2</sub> – Ausstoss bei deren Herstellung, das Mass an „Versäuerung“ (saurer Regen) als Folge von produktionsbedingter Luftverschmutzung, etc. Die Differenzierung geht heute – unter Federführung von Baustoff – Chemikern und spezialisierten Lufthygienikern – sehr weit und liefert Handbücher voller Stoffkennwerte.

Mit der Forderung nach optimierter Nachhaltigkeit soll gesagt sein, dass nicht nur ökologisch günstige Bauteile (im Vergleich zu Alternativ – Lösungen) bevorzugt werden sollen, sondern dass auch unter den einmal feststehenden Bauteilen durch optimale Dimensionierung das Minimum an summiertem Schadstoffgehalt angestrebt werden soll.

Im Grunde ist hierbei methodisch in zwei Schritten vorzugehen: Aus einer Gegenüberstellung von nutzungsmässig oder gestalterisch gleichwertigen Konstruktionsvarianten je Bauteil ist die Gebäudehülle als Ganzes zu konzipieren. Steht diese einmal fest, geht es darum, deren bestmögliches Zusammenwirken hinsichtlich „Nachhaltigkeit“ sicherzustellen. Hier handelt es sich um eine komplexe Optimierungsaufgabe, welche – analog einer ganzheitlichen Kostenminimierung – die Minimierung einer (ausgewählten) ökologischen Kenngrösse zum Ziel hat.

Sowohl für den Systemvergleich unter konkurrierenden Konstruktionsweisen, als auch bei der Optimierung einer einmal feststehenden Gebäudehülle kommt der Gebrauchsdauer der vorgesehenen Bauteile eine dominierende Rolle zu.

## 2. KRITIK AN HEUTIGER (STOFF -) BEWERTUNG

Die eingangs erwähnten „ökologischen“ Stoff – Kennwerte sind sehr wertvoll und nicht zu missen. Sie beziffern für die verwendeten Stoffmengen den im Bauteil eingeschlossenen „Schädigungswert“ für die Umwelt (im Sinne der eingangs definierten Nachhaltigkeit).

Was für den Umgang mit diesen Kenngrössen (PE – Inhalt, CO<sub>2</sub> – Ausstoss, etc.) fehlt – in einer Stofftabelle allerdings auch fehlen muss ! – ist deren baupraktischer Bezug. Erst dann, wenn eine Aussage darüber gemacht werden kann, auf welche Zeitspanne solche Belastungskennwerte „verteilt“ werden können, sind sie für eine (vergleichende) Beurteilung oder gar für die optimierte Abstimmung brauchbar.

Nun liegt es auf der Hand, dass seitens der für „Bauschadstoffe“ zuständigen Chemiker und Lufthygieniker in den Stofftabellen keine Aussagen über die Nutzungsdauer der Baustoffe gemacht werden. Zum Einen wäre es durch nichts zu belegen, wenn unter konkurrierenden Materialien für ein und denselben Verwendungszweck (z.B. bei Wärmedämmstoffen) unterschiedliche Aussagen über deren Gebrauchsdauer (als Material) gemacht würden. Da die Baustoffe zudem nur einen praktischen Wert als Bestandteil einer (mehrschichtigen) Baukonstruktion haben, fallen entsprechende Beurteilungen auch „kompetenzmässig“ nicht mehr in die Zuständigkeit der Chemiker.

Hier wäre ganz eindeutig die kundige Baufachwelt (Architekten, Ingenieure, Systemhalter) gefordert, einen Konsens über die mutmassliche Gebrauchsdauer – besser noch: über die mutmassliche, zeitliche Bandbreite – je nach Konstruktionsart zu finden. Mit Ausnahme von ein paar sehr pauschalen Vorgaben in vereinzelt (behördlichen) Veröffentlichungen, denen aber eine nachvollziehbare Methodik abgeht, findet sich dazu nur wenig Brauchbares.

Im Prinzip stellt sich bei der ökologischen Beurteilung genau dieselbe Aufgabe wie bei einem Wirtschaftlichkeitsvergleich unter konkurrierenden Varianten. Auch wenn unter den Planungsverantwortlichen gewisse Abneigungen und Widerstände gegen diese „Fachdisziplin“ erkennbar sind, so ist doch heute jedem Baufachmann klar, dass nicht allein der Erstellungspreis eines Bauteils (Dach, Fassade, Bodenkonstruktion, etc.), sondern ebenso dessen zeitliche Verfügbarkeit von Bedeutung ist. Wenn die voraussichtliche Lebensdauer des Bauwerks als Planungshorizont definiert ist, wird über diese Zeitspanne notwendigerweise auch „ein Dach“, „eine Fassade“, usw. benötigt. Dabei spielt es für die „Nachhaltigkeit“ der Gebäudehülle – und nicht nur für deren Wirtschaftlichkeit – eine grosse Rolle, wie oft die einzelnen Elemente der Hülle innerhalb dieses Planungshorizontes ersetzt werden müssen.

Angesichts der Tatsache, dass die „öffentliche Philosophie“ (richtigerweise wieder vermehrt) danach strebt, die Gebäudehülle für mindestens 70 Jahre und mehr zu konzipieren – den Innenausbau und die Installationen dagegen bestmöglich auf allfällige, auch kurzfristige Umnutzungen hin auszulegen – gewinnt die „Langlebigkeit“ der Gebäudehülle bei der ökologischen Beurteilung ein hohes Gewicht.

### 3. GEBRAUCHSDAUER UND RISIKOPOTENTIAL VON KONSTRUKTIONEN

Die Angabe einer Gebrauchsdauer für die betriebswirtschaftliche oder ökologische Berechnung stellt eine Prognose dar. Das Wesen der gesamten Wirtschaftlichkeitsrechnung (übertragen: der ökologischen Berechnung) entspricht im Ergebnis einer „Entscheidungsfindung unter Risiko“. Wird dieser Tatsache nicht Rechnung getragen und lediglich ein Ergebnis – aufgrund je einer Annahme pro Einflussfaktor – berechnet, ist dieses mit sehr grosser Unsicherheit behaftet. Es mag dies ein Grund dafür sein, dass sich bei der Festlegung „einer Gebrauchsdauer“ – z.B. für ein Flachdachsystem, Fassadensystem, usw. – häufig Unsicherheit über die eigene Annahme einstellt und Zweifel am Ergebnis unter den Beteiligten weckt. Dies ist – neben der oft fehlenden Vertrautheit mit der entsprechenden „Rechentechnik“ und zusammen den Einwänden von Vertretern einer nach dieser Kalkulation unterlegenen Systemlösung – eine Erklärung dafür, wieso der fundierten Wirtschaftlichkeitsrechnung oft das Motto: „lieber der Spatz in der Hand ....“ (billige Erstellungskosten) vorgezogen wird. Dieser „Denkbarriere“ muss mit einem plausiblen Ansatz entgegengetreten werden.

Wie schon erwähnt, bildet nicht „irgend eine Lebensdauer“ der einzelnen Baustoffe resp. Materialien das massgebende Kriterium für die betriebswirtschaftliche oder ökologische Beurteilung einer geplanten Gebäudehülle. Vielmehr ist es die Konstruktion des fertig erstellten Bauteils unter Verwendung aller hier benötigten Materialien, die auf ihre (mutmassliche) Gebrauchsdauer hin beurteilt werden muss. Betrachtet man sich beispielsweise eine sogenannte hinterlüftete Fassade bestehend aus Unterkonstruktion, Dämmschicht, Hinterlüftungshohlraum und primärem Wetterschutz (Bekleidung), so liegt es für jeden Fachkundigen auf der Hand, dass dieser Konstruktion statistisch eine längere Nutzungsdauer zugemutet werden kann, als einer direkt auf Dämmstoff verputzten „Kompaktfassade“. Diese „instinktive“ Vermutung verdichtet sich dann zur Überzeugung, wenn man sich die folgende Modellbetrachtung zu eigen macht:

Ausgehend von (beispielsweise) 100 identischen, hinterlüfteten Fassaden ist eine auf dem Zufallsprinzip basierende Verteilung der Gebrauchsdauer („ausgezählt“ am Gebrauchsende der letzten Fassade) – jedenfalls nicht eine hundertfach identische Gebrauchsdauer – zu erwarten. Für die Beurteilung einer bestimmten Konstruktionsweise ist es daher hilfreich, gedanklich nicht von einem (aktuellen) Bauteil auszugehen, sondern von einer (beliebig) grossen Anzahl identischer Konstruktionen. Dabei ist für die betreffende Konstruktion deren „Risikopotential“ abzuschätzen. Dieses ergibt sich einerseits aus der allgemeinen Robustheit resp. Schadensanfälligkeit der Konstruktion, schliesst aber auch die aus zufälliger Überbeanspruchung (mechanisch, chemisch/klimatisch, bauphysikalisch), resultierende Schadensausbreitung mit ein. Fachkundige Beurteilung und Erfahrung ist dazu unabdingbar! Ausgedrückt wird diese subjektive (!) Einschätzung durch einen optimistischen und einen pessimistischen Erwartungswert für die Gebrauchsdauer. Basierend auf diesen zwei Vorgaben ist nach definiertem statistischem Modell die mutmassliche Häufigkeitsverteilung für die Gebrauchsdauer des betreffenden Systems bestimmt.

Der Vorteil einer Häufigkeitsverteilung für die Gebrauchsdauer liegt gegenüber der Festlegung eines „sicheren“ Einzelwertes einerseits darin, dass aus statistischer Betrachtung eher ein Konsens unter den Beteiligten (über die Vorgabe und dem darauf basierenden Ergebnis) gefunden wird, und dass andererseits der Sensitivität der Konstruktion hinsichtlich „Einfluss Gebrauchsdauer“ auf diese Weise viel besser Rechnung getragen wird.

#### **4. GESICHERTE SCHADSTOFFREDUKTION DURCH OPTIMIERTE UMSCHICHTUNG**

Bei ökologischen (oder ökonomischen) Untersuchungen von Bauteilen oder der gesamten Gebäudehülle liegt – unter Einbezug der Gebrauchsdauer – eine „Entscheidungsfindung unter Risiko“ vor. Stehen jedoch die Bauteile / Konstruktionen prinzipiell fest, geht es darum, die vorgesehenen Materialien (z.B. die Wärmedämmstoffe) in der Weise (stärkenmässig) aufeinander abzustimmen, dass eine generelle Vorgabe (bspw. maximal erlaubter Transmissionswärme – Verlust, bzw. max. zul. mittlerer  $U'_{\text{soll}}$  – Wert der opaken Gebäudehülle) mit einem Minimum an Primärenergie – Bedarf (alternativ:  $\text{CO}_2$  – Ausstoss, allg: Schadstoffanfall) eingehalten wird. Bisherige Auswertungen an bestehenden Neubauten (mit entsprechendem Rechenprogramm unter [www.baudaten.com](http://www.baudaten.com)) haben gezeigt, dass – allein durch Umschichtung (Mehr -/ Minderstärken) der vorgesehenen Dämmstoffe unter den einzelnen Bauteilen – etwa 10% – 15 % „Schadstoffe“ hätten eingespart werden können. Bei einer derartigen Optimierung müssen zwar eine Vielzahl von Einflüssen berücksichtigt werden. Einer der wichtigsten ist dabei aber auch hier die mutmassliche Gebrauchsdauer je nach Bauteil, denn entsprechend deren Einschätzung werden die ökologischen Kennwerte der Materialien (bspw. der Wärmedämmstoffe) relativ zueinander gewichtet.

#### **5. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT**

Ökologische Bewertungen von Bauteilen oder der gesamten Gebäudehülle stützen sich auf die heute in grosser Zahl vorhandenen Stoffdaten. Der baupraktische Bezug für ein konstruiertes Bauteil erfordert jedoch auch die Festlegung einer mutmasslichen Gebrauchsdauer je nach Konstruktionsweise. Damit bei dieser Festlegung ein Konsens unter den Interessevertretern der konkurrierenden Materialien erwartet werden kann, empfiehlt es sich, nicht von „sicheren“ Einzelwerten, sondern von einer Häufigkeitsverteilung für die Gebrauchsdauer je nach Bauteil und Konstruktionsweise auszugehen. Dies kann aus einer Modellbetrachtung erfolgen, indem für eine (gedanklich) grosse Zahl identischer Konstruktionen nach fachkundiger Risikoeinschätzung je eine optimistische und pessimistische Prognose abgegeben wird. Es leitet sich daraus nach statistisch gesichertem Modell die gesuchte Häufigkeitsverteilung der Gebrauchsdauer ( $m$ ) ab. In der Folge kann die interessierende „Schadstoff“menge analog einer Wirtschaftlichkeitsberechnung über den Planungshorizont des Gebäudes ( $n$ ) „kapitalisiert“ werden ( $n \geq m$ ). Unter „Schadstoff“menge ist dabei fallweise der Primärenergiebedarf für die benötigten Materialien, deren  $\text{CO}_2$  – Ausstoss bei der Produktion, usw. zu verstehen.

Neben der so erfolgten „Entscheidungsfindung unter Risiko“ ist es möglich, bei einmal feststehenden Bauteilen durch optimierte Umschichtung der Materialien (z.B. Wärmedämmstoffe) zu weiteren, „rechnerisch sicheren“ Reduktionen der Schadstoffmengen zu gelangen.

Für alle fachlich begründbaren Beurteilungen der „ökologischen Qualität“ ist die Berücksichtigung der mutmasslichen Gebrauchsdauer der verwendeten Stoffe im eingebauten Zustand somit von ausschlaggebender Bedeutung.

Adresse:

WEDER + BANGERTER AG  
Schaffhauserstrasse 126  
CH – 8302 Kloten

25. 03. 03 / Ba.