

## **Ökobilanzierung im Rahmen einer klimaneutralen Quartiersentwicklung - Chancen für ein verbindliches und ressourcenschonendes Bauen**

Politiker reden viel von klimagerechtem Bauen – doch Ingenieure sind gefordert, dabei nicht nur das Wünschenswerte zu thematisieren, sondern das Machbare davon umzusetzen. Dazu braucht es fundiertes technisches Wissen – nicht zuletzt auch über die ökologischen Eigenschaften von Baustoffen. Deshalb waren rund 100 angehende Gebäude- und Energieingenieure mit großer Aufmerksamkeit dabei, als am 26. Oktober 2022 beim Kolloquium der Fakultät Angewandte Wissenschaften, Energie- und Gebäudetechnik (NG) der Hochschule Esslingen das Thema „klimagerechtes Bauen“ thematisiert wurde: **M.Sc. Simon Marx**, seines Zeichens Projektmanager beim Steinbeis-Innovationszentrum siz energieplus – einem mit der Ingenieurgesellschaft EGS-plan für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH verbundenen Unternehmen - informierte über die **„Ökobilanzierung im Rahmen einer klimaneutralen Quartiersentwicklung - Chancen für ein verbindliches und ressourcenschonendes Bauen“**. NG-Professor Dr.-Ing. Werner Braun moderierte diesen Vortrag.

Der Referent betonte eingangs, dass das Klimaschutzgesetz (KSG) auf eine Treibhausgasneutralität Deutschlands bis 2045 abziele. Um sich diesem hochambitionierten Ziel anzunähern, erfordere es einen konsequenten Umgang mit Ressourcen über alle Phasen der Gebäudeentwicklung hinweg. Dabei seien bereits in frühen Projektphasen Verbindlichkeiten zum nachhaltigen Bauen zu den richtigen Zeitpunkten in die Prozessentwicklung einzubringen und Bewertungen unterschiedlicher Konstruktionskonzepte vorzunehmen. Darüber hinaus sei entscheidend, welcher Mehrwert sich durch eine ökologische Bilanzierung im Rahmen von Nachhaltigkeitszertifizierungen ergebe.

So würden durch die Errichtung und den Betrieb der Gebäude etwa 35 bis 40 % aller klimaschädlichen Emissionen ausgelöst. Es komme hinzu, dass das Bauwesen für rund 60 % des weltweiten Ressourcenverbrauchs verantwortlich sei. In Deutschland werde deshalb im Gebäudesektor von 2020 bis 2030 bei der Gebäudenutzung eine Verminderung der durch Öl und Gas verursachten äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen von 120 auf rund 70 Millionen Tonnen je Jahr (Mio t CO<sub>2</sub>/a) angestrebt.

Für eine umfassende Betrachtung von Gebäuden sei eine Lebenszyklusbetrachtung hilfreich, die sich von der Herstellung über die Nutzung sowie die Erneuerung auch auf den Rückbau und die Wiederverwertung erstrecken solle. Beim Teilbereich der Nutzung seien an Energieträgern Öl, Gas, Strom, Fernwärme, eigenerzeugter Nutzerstrom sowie Strom für eine E-Mobilität zu bilanzieren. Ziehe man den Bilanzrahmen umfassend, kämen gegenüber den lediglich öl- und gasbedingten Emissionen von 120 Mio t CO<sub>2</sub>/a auch die Emissionen insbesondere bei der Errichtung (graue Emissionen: 54 Mio t CO<sub>2</sub>/a) sowie die strom- und fernwärmebedingten Emissionen von 122 Mio t CO<sub>2</sub>/a hinzu; insgesamt seien also dem Gebäudesektor Gesamtemissionen von 296 Mio t CO<sub>2</sub>/a zuzuordnen.

Um zu weiterführenden Aussagen zu kommen, sei präzise zu fragen: Was wird bilanziert? Wo liegt die Bilanzgrenze? Was ist das Ziel? Welcher Bilanzzeitraum ist zu wählen? Was ist der Bilanzumfang?

Vor allem sei die Frage der grauen Energie bei der Herstellung, Instandsetzung, Modernisierung, und Entsorgung von Gebäuden näher zu betrachten und eben nicht allein der Gesichtspunkt der Emissionen während des Betriebs. Dabei zeigten sich klare Reduktionsmöglichkeiten bei der grauen Energie in der Bauphase. Ein Beispiel sei die verstärkte Verwendung von Holz.

Eine Treibhausgas-Bilanzierung über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes oder eines Quartiers habe somit das Ziel, z. B. bis zum Jahr 2045 neben den Emissionen hinsichtlich Strom, Wärme Kälte, Brennstoffen und Treibstoffen auch die grauen Emissionen zu berücksichtigen; demgegenüber enthalte das Gebäudeenergiegesetz

(GEG) keine Vorschriften zu CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern bewerte ausschließlich den Primärenergieeinsatz und die Heizungstechnik.

Eine erweiterte Ökobilanzierung erfordere Sachbilanzen für die Bauteile: Z. B. gelange man mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Kenndaten für Beton und Bewehrungsstahl sowie Flächen- und Massenangaben zu folgender Aussage: Die Herstellung einer 20 cm dicken Stahlbetondecke führe zu etwa 53 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> und bei einer Lebensdauer von 50 Jahren zum Wert von rund 1 kg CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup> a).

Neben einer Bilanzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen hinsichtlich des Treibhauseffekts (Global Warming Potential GWP) gehe es mit Blick auf den Ozon-Schutzschild auch um das Ozonschichtabbaupotential (Ozone Depletion Potential ODP) in kg CFC-11-Äquivalenten, um das photochemische Ozonbildungspotential (Sommersmog) POCP in kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-Äquivalenten, um das Versauerungspotential AP in kg SO<sub>2</sub>-Äquivalenten, um das Eutrophierungspotential (Überdüngung/Eutrophierung) EP in kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-Äquivalenten, um den nicht erneuerbaren Primärenergieverbrauch Pe<sub>ne</sub> in MJ oder kWh, um den Gesamtenergieverbrauch Pe<sub>ges</sub> in MJ oder kWh sowie um den Anteil erneuerbarer Primärenergie Pe<sub>e</sub>/Pe<sub>ges</sub> in MJ oder kWh. Weiter seien der abiotische Ressourcenverbrauch hinsichtlich des abiotischen elementaren Ressourcenabbaupotenzials ADP<sub>e</sub> in kg SB-Äquivalenten und der Frischwasserverbrauch FW in m<sup>3</sup> von Belang.

M.Sc. Marx ging im Folgenden auf wichtige Baustoffe ein: An mineralischen Baustoffen seien Sand und Kies, Schotter, Lehm, Natursteine, Ziegelstein, Backstein/Klinker, Beton und Recyclingbeton zu berücksichtigen, an metallischen Baustoffen Stahl und Baustahl, Aluminium sowie Kupfer, an organischen Baustoffen Schnittholz (Vollholz), Brettschichtholz, Plattenwerkstoffe und Bambuswerkstoffe.

Der Blick sei häufig auf Beton gerichtet; daneben gewinne die Verwendung von Holz größere Bedeutung. Bei der Bewertung sei zu beachten, dass Bauholz ein begrenzter Rohstoff sei; der tatsächliche Baustoffbedarf betrage ein Mehrfaches der begrenzten globalen Bauholzkapazität von jährlich 12 bis 15 Mrd. Tonnen; auch habe Holz für die Chemieindustrie sowie die Möbel-, Verpackungs- und Papierindustrie Bedeutung; daneben sei es nach wie vor in Entwicklungsländern zum Heizen und Kochen in Gebrauch. Weiter sei der Holzverarbeitungsprozess mit Verlusten verbunden: Nur rund 30 % der ursprünglichen Masse eines Baums würden in einem Gebäude verbaut werden. Es komme eine „Übernormung“ von Wärme-, Brand- und Schallschutzvorschriften hinzu. Zudem gebe es für Altholz aktuell nur den thermischen Verwertungsweg aufgrund von Schadstoffen aus Holzschutzmitteln.

Andererseits habe die nachhaltige Forstwirtschaft in Deutschland einen hohen Stellenwert: Z. B. gehe der Trend zu biodiversen Anpflanzungen. In natürlich gewachsenen Wäldern sei mehr Kohlenstoff als in monokulturellen Plantagenwäldern speicherbar.

Nehme man die Wiederverwendbarkeit von Holzbauteilen in den Blick, gehe es um einen selektiven Rückbau und eine „Holzkaskade“: Spanbasierte und faserbasierte Produkte könnten stofflich verwertet werden; chemische Produkte seien eher thermisch verwertbar.

Beim Baustoff Stahl sei festzustellen, dass bei der Herstellung von Bewehrungsstahl etwa 30 bis 40 % der Emissionen eines Stahlbetongebäudes entstünden. Bei der Produktion von Baustahl würden deutschlandweit durchschnittlich rund 74 % Sekundärstahl eingesetzt. Inzwischen gebe es hinsichtlich einer Verringerung von Emissionen Initiativen zum Ersatz der klassischen Hochofenroute ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$ ) durch das Direktreduktionsverfahren (mit Erdgas:  $2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CH}_4 \rightarrow 4 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2$ ; mit Wasserstoff:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{H}_2\text{O}$ ).

Als geeignetes Planungswerkzeug sei ein „Quick-Check“ zur Erstellung einer detaillierten Ökobilanz verfügbar. Auch sei in Baden-Württemberg mit „N!BBW“ ein digitales Planungswerkzeug geschaffen worden, das Nachhaltigkeitsaspekte als Bestandteil bei der Planung und Realisierung von Neubauten und Modernisierungsmaßnahmen berücksichtige (<https://www.nbbw.de/>).

Weiter machte M.Sc. Simon Marx auf Fragen des recyclinggerechten Bauens aufmerksam: Bisher könne nur bei Metallen von einer echten stofflichen Wiederverwertung gesprochen werden. Um im Neubaubereich Verwertungspotentiale zu erschließen, seien Materialverbünde lösbar zu gestalten, Dämmstoffe lose einzubauen oder mechanisch zu befestigen, Tragwerke umnutzungsfähig zu konstruieren oder demontierbar zu errichten; generell gehe es um die Verwendung von recyclingfähigen oder wiederverwendbaren Materialien.

Potentiale für recyclinggerechtes Bauen seien z. B. in der Studie „Recyclinggerechtes Konstruieren im Bauwesen“ ausgelotet worden. Dabei gelte: Die Gebäudeplanung solle auch die Nutzungsphase und den Rückbau mitbetrachten. Die einzusetzenden Materialien seien kreislauffähig zu sein. Es sollten vorzugsweise Sekundärrohstoffe eingesetzt werden. Es solle eine Identifikation eingesetzter Bauprodukte am Ende der Gebäudelebensdauer möglich sein. Bauprodukthersteller sollten mit innovativen Geschäftsmodellen in die Gebäudeplanung integriert sein.

Auf Bundesebene sei ein digitaler Gebäuderessourcenpass vorgesehen.

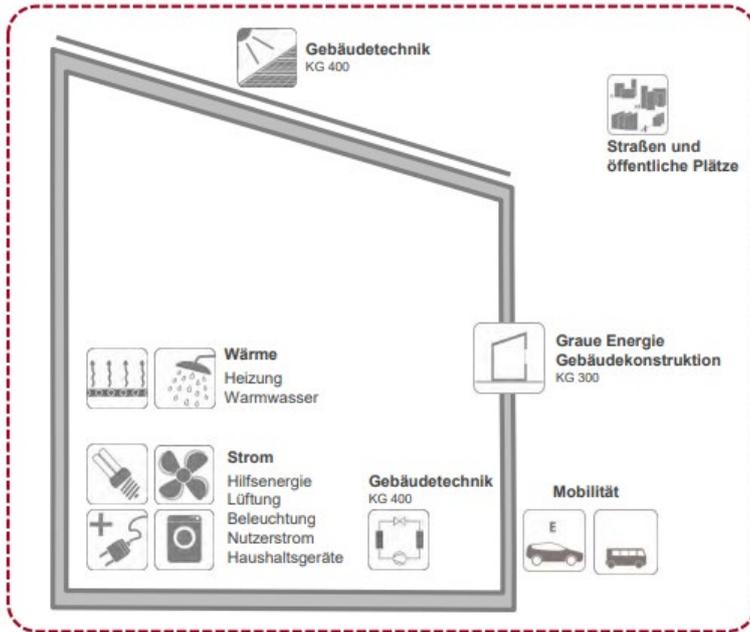
Abschließend stellte der Vortragende eine Reihe von innovativen Bauvorhaben unter Mitwirkung des siz energieplus vor: So sei in Bregenz ab 2010 mit dem achtgeschossigen „LifeCycle Tower“ das erste große Holzgebäude in Österreich in Holz-Systembauweise entstanden. Mustergültig hinsichtlich seiner Energiebilanz sei das von 2012 bis 2015 errichtete „Aktiv Stadthaus Effizienzhaus Plus“ in der Frankfurter Speicherstraße; dies sei mit 6.644 m<sup>2</sup> Wohnfläche das größte Mehrfamilienhaus im Effizienzhaus-Plus-Standard. Weiter ging M.Sc. Simon Marx auf das 2018 bis 2022 entstandene Holzhochhaus „CARL“ in Pforzheim ein, das 14 Stockwerke umfasse und komplexen Anforderungen an Brandschutz, Sicherheitstechnik und Schallschutz genüge; es weise den KfW-55-Standard auf.

Als ein Beispiel für große Quartierslösungen ging der Vortragende auf den Freiburger Stadtteil Dietenbach mit einer Gesamtfläche von 100 Hektar, einer Bruttogeschosfläche von 1.100.810 m<sup>2</sup> und 6.900 Wohneinheiten ein, die 75 % des Gesamtumfangs darstellten. Daneben konzentriere sich das biz energieplus zurzeit auch auf das ökologisch ausgerichtete Bebauungsgebiet „Hafner“ in Konstanz: Hier seien 45 Hektar für den Wohnbau, 15 Hektar für das Gewerbe, 13 Hektar für öffentliche Wiesen- und Parkflächen sowie etwa 4 Hektar für Sport- und Spielflächen vorgesehen, wobei rund 3.300 neue Wohnungen entstünden.

Als Fazit benannte M.Sc. Simon Marx: Die Ökobilanzierung sei ein nützliches Werkzeug, um Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden sichtbar zu machen und Planungsempfehlungen abzuleiten. Je früher entsprechende Verbindlichkeiten in den städtebaulichen Prozess eingebracht würden, umso wirksamer sei dies. Die „graue Energie“ sei im Neubaubereich neben einer Mindestenergieeffizienz und dem Einsatz erneuerbarer Energien ein wichtiges zusätzliches Kriterium. Ressourcenschonendes Bauen solle verstärkt auf nachwachsende Materialien zurückgreifen. Alle Baustoffe sollten später wiederverwendet werden können. Auch gehe es darum, mehr als bisher existierende Gebäude sorgsam umzubauen bzw. umzunutzen und dabei letztlich weniger neu zu bauen.

Prof. Dr.-Ing. Martin Dehli

## Systemgrenze



Systemgrenze für eine umfassende Ökobilanzierung (Bild: siz energieplus)

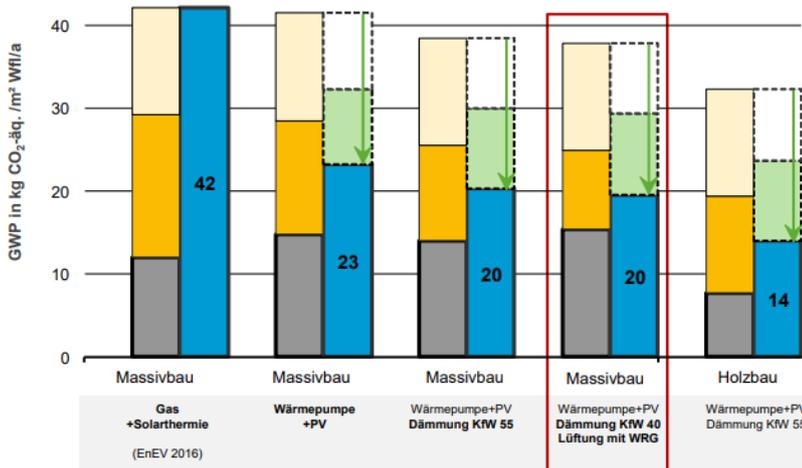
## Ergebnisse

Beispiel GWP im Mehrfamilienhaus-Neubau

siz energieplus



### Verhältnis Konstruktion / Energieaufwand Betrieb



#### Hauptaussagen:

- Keine Variante ist auf 0!
- Ausschließlicher Fokus auf die Energieeffizienz während der Betriebsphase ist falsch
- Ausschließlicher Fokus auf graue Energie ist auch falsch
- „Graue Energie“ ist im Neubau ein wichtiges zusätzliches Kriterium  
→ Paradigmenwechsel im Material- und Energieeinsatz (sowie ein suffizientes Verhalten) erforderlich!

#### Legende

- Energieaufwand Nutzerstrom
- Energieaufwand Gebäudebetrieb
- Energieaufwand Konstruktion
- Abzug Stromeigennutzung (PV)
- Gutschrift Stromeinspeisung (PV)
- CO2-Emissionen netto

#### Anteil Konstruktion

Mindestens 30%

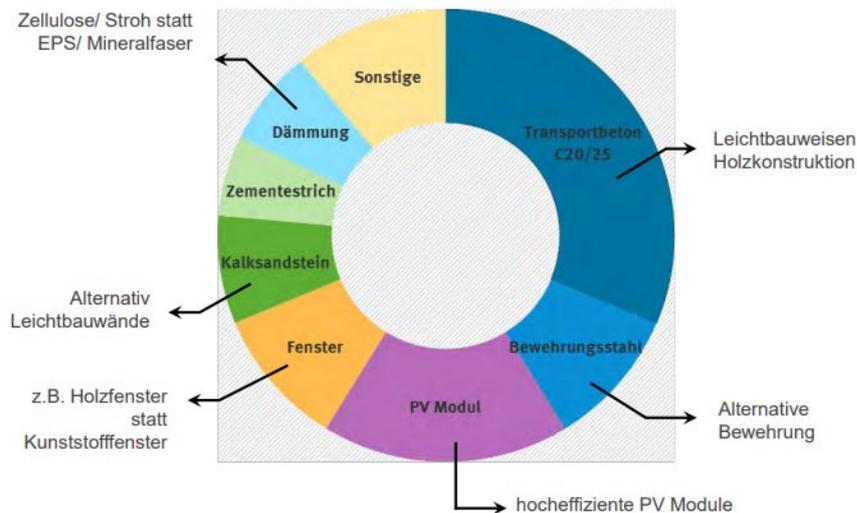
12 – 16 kg<sub>CO2-Äq.</sub>/(m<sup>2</sup> Wfl. \* a)  
(Massivbau)

Quelle: Umweltbundesamt (2019): Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus, FKZ 3715 41 111 0, Oktober 2019

Beispiel für die Ökobilanzierung eines Gebäudes in verschiedenen Bauweisen (Bild: siz energieplus)

## Ergebnisse

Beispiel GWP im Mehrfamilienhaus-Neubau



Reduktion Konstruktion durch Holzbauweise:  $16 \rightarrow 10 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-Ä.}}/(\text{m}^2_{\text{Wfl.}} \cdot \text{a})$

### Auswertung:

- Tragende Bauteile dominieren
- PV nicht zu vernachlässigen

Quelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2019): Mögliche Optionen für eine Berücksichtigung von grauer Energie im Ordnungsrecht oder im Bereich der Förderung, Februar 2019

Ansatzpunkte für die Verringerung von Treibhausgas-Emissionen bei einem Mehrfamilienhaus-Neubau (Bild: siz energieplus)