

KALKSANDSTEIN Bauseminar Nord 2024

TAGUNGSHANDBUCH

Bauen mit Kalksandstein – Neuerungen in Normen und Regelungen.

Kostengünstiger und zukunftsfähiger Wohnungsbau unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit.

Holz als Ressource: Unendlich verfügbar?

 Downloads
und Arbeitshilfen

www.ks-nord.de

Kalksandstein Bauseminar Nord 2024

Stand: Januar 2024

Herausgeber:

Kalksandsteinindustrie Nord e.V.

Alle Angaben erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen
jedoch ohne Gewähr.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung.

Inhaltsverzeichnis

Bauen mit Kalksandstein – Neuerungen in Normen und Regelungen.	05
Dr. Matthias Ziegler Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V., Hannover	
Kostengünstiger und zukunftsfähiger Wohnungsbau unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit.	39
Prof. Dr.-Ing. Michael Eisfeld Eisfeld Ingenieure, Kassel	
Holz als Ressource: Unendlich verfügbar?	57
Dipl.-Ing. Werner Eicke-Hennig Energieinstitut Hessen, Frankfurt	

Bauen mit Kalksandstein – Neuerungen in Normen und Regelungen.

Dr. Matthias Ziegler
Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

KALKSANDSTEIN Bauseminar 2024



Bauen mit Kalksandstein – Neuerungen in Normen und Regelungen

Dr.-Ing. Matthias Ziegler

KALKSANDSTEIN Bauseminar 2024
Dr.-Ing. Matthias Ziegler

Bundesverband
KALKSANDSTEIN
Industrie eV

Gliederung

1. **Entwicklung des energiesparenden Bauens**
2. Novellierung Gebäudeenergiegesetz und EPBD
3. Aktuelle Fördersystematik für Gebäude
4. Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
5. KS-Arbeitshilfen zum GEG

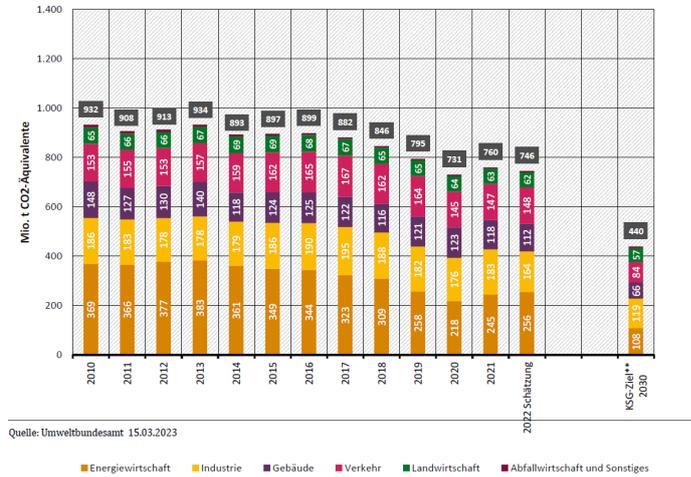
KALKSANDSTEIN Bauseminar 2024
Dr.-Ing. Matthias Ziegler

- 2 -

Bundesverband
KALKSANDSTEIN
Industrie eV

Gebäudesektor und Klimaschutz

Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland

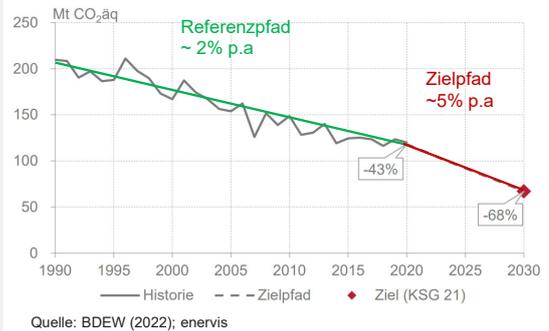


Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor

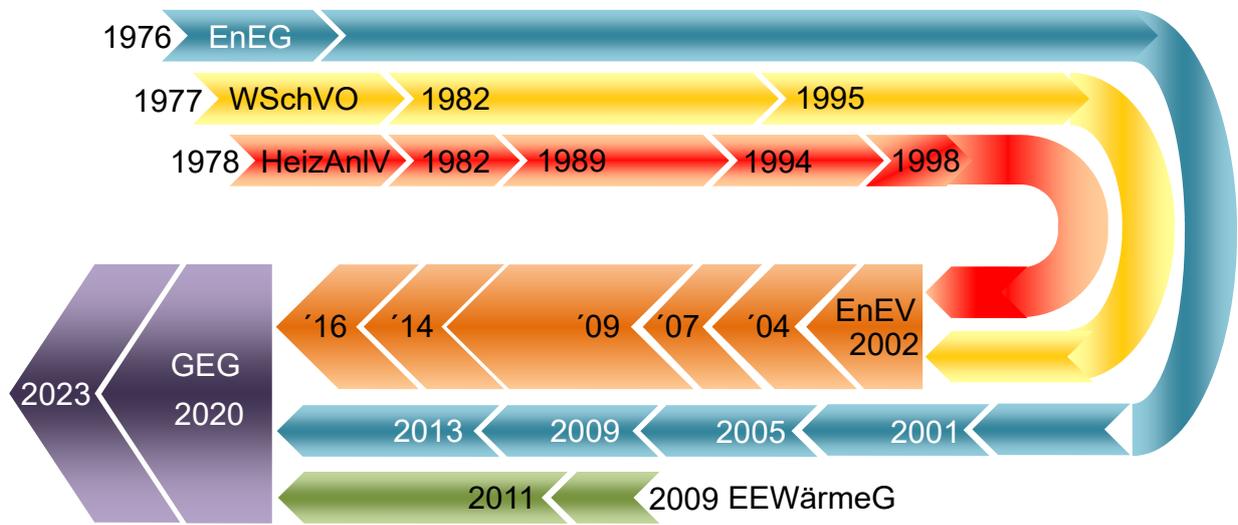
CO₂-Emissionen im Gebäudesektor

Gebäude: Doppelte absolute THG-Reduktion gegenüber Vorjahren nötig

ABBILDUNG 66 | THG-Quellenemissionen im Gebäudesektor 1990 – 2045



Entwicklung nationales Energiesparrecht

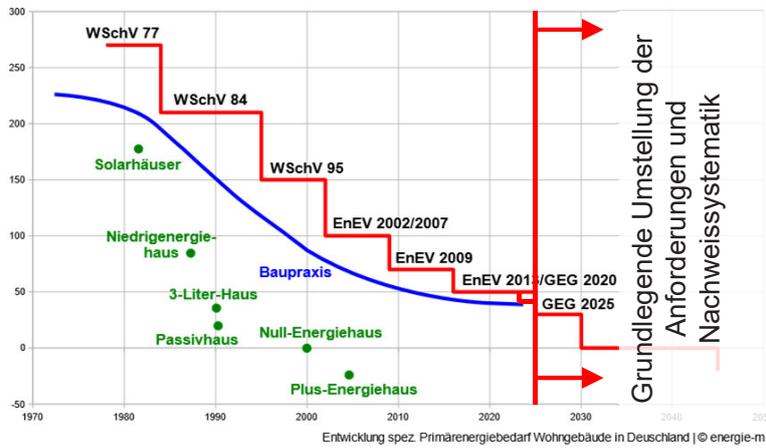


Gliederung

1. Entwicklung des energiesparenden Bauens
2. **Novellierung Gebäudeenergiegesetz und EPBD**
3. Aktuelle Fördersystematik für Gebäude
4. Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
5. KS-Arbeitshilfen zum GEG

Entwicklung des energiesparenden Bauens

Fortschreibung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)



1. Novelle GEG 2023:

- EH 55 als Anforderung

2. Novelle GEG 2024:

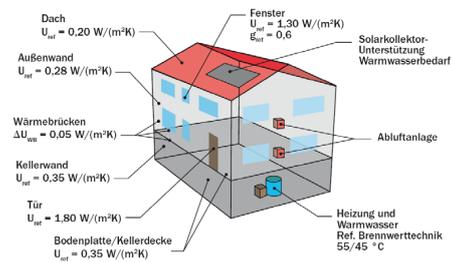
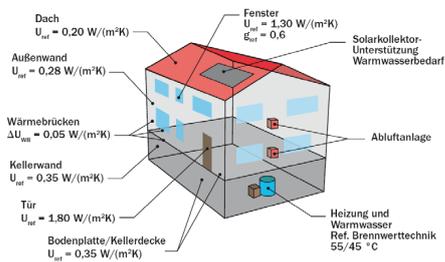
- 65% EE im Neubau

Novelle ab 2025:

- Umstellung der Anforderung auf THG
- Betrachtung des gesamten Lebenszyklus
- Weitere Verschärfung der Anforderungen (EH 40) wird ausgesetzt

Novellierung des Gebäudeenergiegesetz

Referenzgebäude EnEV 2009 = Referenzgebäude GEG 2023



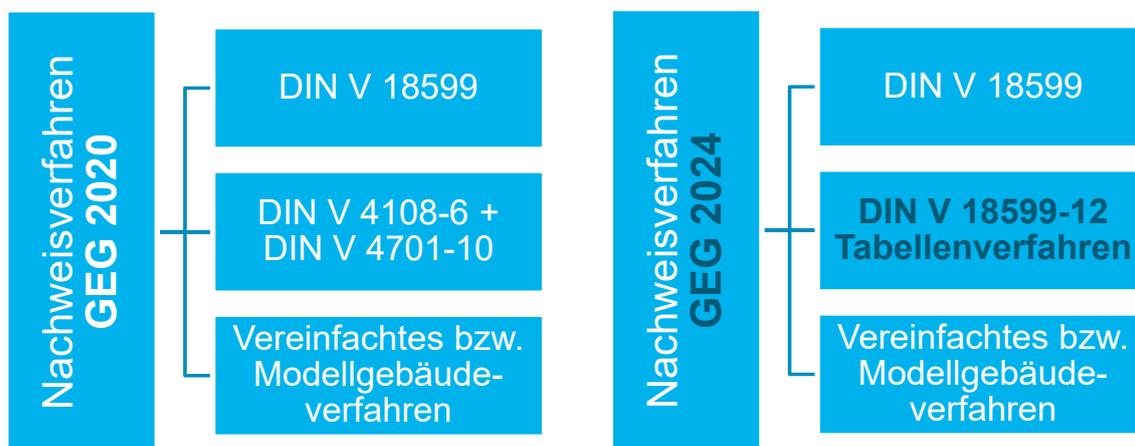
Anforderungsniveau aus
2016 bleibt bestehen!

Primärenergie: $Q_{p,max} = Q_{p,Ref} \cdot 0,55$

Transmission: $H_{T,max} \leq 1,0 \cdot H_{T,Ref}$

Novellierung des Gebäudeenergiegesetz

GEG – Nachweisverfahren für Wohngebäude



Novellierung des Gebäudeenergiegesetz

Gebäudeenergiegesetz 2024 - Änderungen



- Neue Regelungen betrifft insbesondere den Einsatz von erneuerbaren Energien und die Anlagentechnik im Neubau
- Ab 01.01.2024 muss jede neu installierte Heizungsanlage in Neubauten mind. 65% erneuerbare Energie nutzen
- Im Gebäudebestand gibt es Übergangsfristen in Abhängigkeit der Gemeindegröße und ob ein Wärmeplan vorliegt
- Ausnahmen bei Eigentümern, die eine Wohnung ab dem 01.02.2002 selbst bewohnt haben

Klimapolitik der Europäischen Union



European Green Deal - Dez. 2019

- Netto-Emissionen von Treibhausgasen auf Null reduzieren
- Zentraler Bestandteil der Klimapolitik der EU

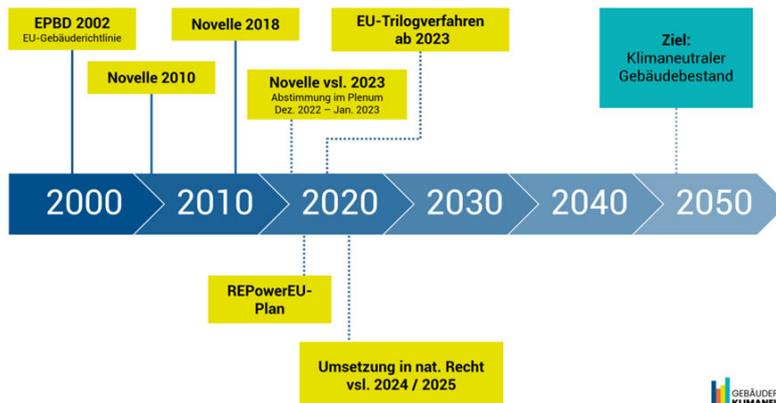


Programm „Fit für 55“ - Juli 2021

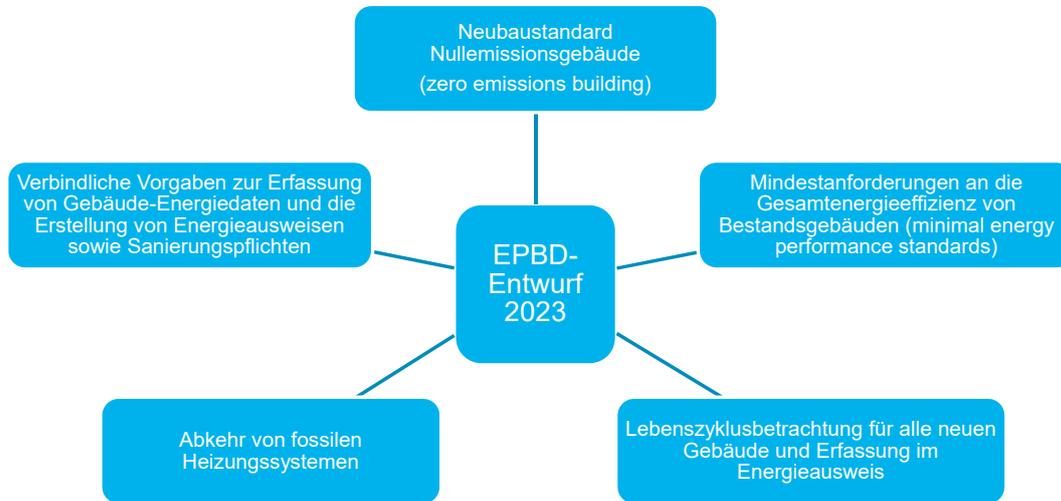
- THG-Reduktion um 55% bis 2030 gegenüber 1990
- Neue und überarbeitete Richtlinien zu den Themen: Energieeffizienz, Emissionshandel, Erneuerbare Energien

EU-Gebäuderichtlinie EPBD

Weiterentwicklung der geltenden EU-Gebäuderichtlinie (EPBD)



Diskutierte Punkte im EPBD-Entwurf



Neubaustandard Nullemissionsgebäude ab 2026/2028

Neubaustandard Nullemissionsgebäude ab 2026 für öffentliche Gebäude, ab 2028 für alle neuen Gebäude

- Definition ZEB (zero emissions buildings):

Ein Nullemissionsgebäude ist ein Gebäude mit einer sehr hohen Gesamtenergieeffizienz, wobei die sehr geringe Energiemenge vollständig durch Energie aus erneuerbaren Quellen und ohne standortinterne Kohlenstoffemissionen aus fossilen Brennstoffen gedeckt wird.

Neubaustandard Nullemissionsgebäude

Realisierung mit KS-Außenwandkonstruktionen

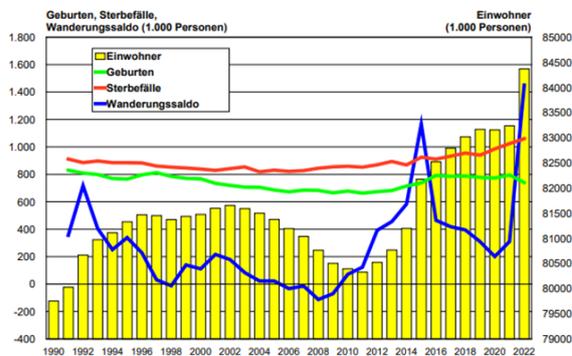
	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{·K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m·K)}$ 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m·K)}$ Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz $\lambda = 0,70 \text{ W/(m·K)}$ $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{·K)/W}$
	33,5	14	0,15	0,16	0,21	0,23	
	35,5	16	0,13	0,14	0,19	0,20	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	43,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	49,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	

„passivhaustauglich“

Wohnungsmangel entgegenwirken

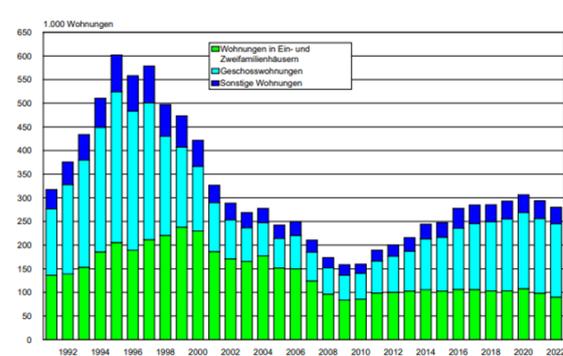
- Energetische Sanierung sehr wichtig für die Erreichung der Klimaschutzziele
- Wohnungsneubau muss ebenso priorisiert werden

Bevölkerungsentwicklung in Deutschland von 1995 bis 2022



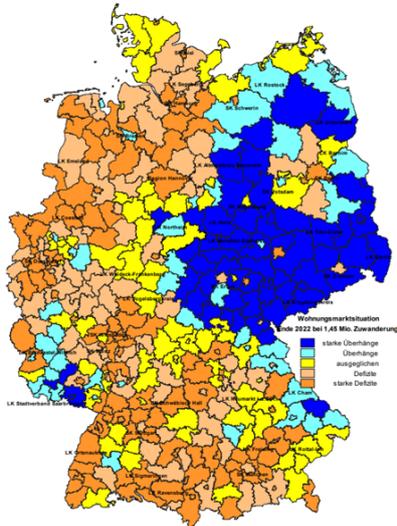
Quelle: Pestel Institut, ARGE/ev, Januar 2023

Wohnungsfertigstellungen im Wohnungsbau in Deutschland von 1991 bis 2022



Quelle: Pestel Institut, März 2023

Wohnungsüberhänge und -defizite in Deutschland 2022



Wohnungsmarktsituation bei einer Nettozuwanderung 2022 von 1.5 Millionen Personen. Quelle: Pestel Institut, März 2023

- Wohnungsüberhänge und Wohnungsdefizite regional sehr verschieden
- Wohnungsdefizit für Jahresende 2022 liegt etwa bei 700.000 Wohnungen → dies entspricht der doppelten Jahresproduktion an Wohnungen!
- Vorteile des Wohnungsneubaus im Vergleich zur Altbauanierung
 - vielfach kostengünstiger
 - zeitgemäße Grundrisse
 - Barrierefreiheit leichter umsetzbar
 - Hohe Energieeffizienz
 - höherer Schallschutz möglich

Gliederung

1. Entwicklung des energiesparenden Bauens
2. Novellierung Gebäudeenergiegesetz und EPBD
3. Aktuelle Fördersystematik für Gebäude
4. Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
5. KS-Arbeitshilfen zum GEG

Aktuelle Fördersystematik für Gebäude



Aktuelle Fördersystematik für Gebäude

Neue Förderprogramme (seit 01.03.2023 bzw. 01.06.2023)



Quelle: Kalksandstein-Industrie
PRÄSIDENTIENLAGE | 21.01.2023
Bundesbauministerium startet Förderprogramm "Klimafreundlicher Neubau"



Quelle: Kalksandstein-Industrie
WELTUNION | WIRTSCHAFT | 21.01.2023
Wohneigentum für Familien (WEF)
Das Neubau-Förderprogramm für Familien mit geringem und mittlerem Einkommen

- Fördervoraussetzungen:
 - Effizienzhaus-Stufe 40 muss erreicht werden
 - die spezifischen Grenzwerte für die Treibhausgas-Emissionen im Lebenszyklus müssen unterschritten werden ($\leq 24 \text{ kgCO}_2\text{-Äqu.}/(\text{m}^2\text{a})$)
 - höhere Förderung gibt es für Gebäude mit Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG-PLUS oder QNG-PREMIUM)

Förderprogramm Wohneigentum für Familien (WEF)

Sehr schwache Abrufzahlen der Wohneigentumsförderung für Familien

AssCompact 25 Jahre
Fachzeitschrift für Risiko- und Kapitalmanagement

IMMOBILIEN 14. JULI 2023

Eigentumsförderung für Familien: Bislang 31 Anträge bewilligt



Anfang Juni ist das neue Förderprogramm „Wohneigentum für Familien“ für den Bau oder Kauf eines klimafreundlichen Eigenheims gestartet. Bislang hat KfW 31 Anträge bewilligt. Dies geht aus einer Antwort des Bundesbauministeriums auf eine Schriftliche Frage eines CDU-Abgeordneten hervor.

VERBAND WOHNHEIGENTUM

Widerspruch bei Förderung von Wohneigentum auflösen

Das war abzusehen. Die im Juni 2023 gestartete Förderung für Familien mit mittleren und geringen Einkommen läuft ins Leere. Das Programm ist strukturell widersprüchlich konzipiert, hatte der Verband Wohneigentum (VWE) von Anfang an kritisiert und begründet die Anündigung aus dem Bundesbauministerium, dass nachgebessert werden soll. Die VWE-Vorschläge dazu: Einkommensgrenze anheben und Erwerb aus dem Bestand fördern.



Förderung von Wohneigentum? Für viele Familien plätzen gerade die Träume vom eigenen Haus.



Exklusiv / Union spricht von „Rohrkrepierer“ Nur 212 Familien bekommen neue Bau-Fördergelder der Ampel
Ein neues staatliches Programm sollte Familien den Traum von Eigenheim ermöglichen, doch bislang wurden kaum Gelder verteilt. Die Union drängt auf Änderungen.

Bewilligte Anträge:
31 im ersten Monat

99 nach zwei Monaten

212 nach drei Monaten

Förderprogramm Wohneigentum für Familien (WEF)

Anpassungen der Förderkonditionen bei Wohneigentumsförderung (WEF)

- **Seit Mitte Oktober 2023:**
 - Erhöhung der Grenze des zu versteuernden Jahreseinkommen um 50%
 - Erhöhung der Kredithöchstbeträge
 - Fördervoraussetzungen bleiben bestehen

i Verbesserungen in der Förderung „Wohneigentum für Familien“

Die KfW hat die Förderbedingungen des Kredits „Wohneigentum für Familien“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen verbessert. Die Verbesserung ist Teil des Maßnahmenpakets der Bundesregierung zur Unterstützung des Wohnungsbaus in Deutschland.

Folgende Änderungen haben sich ergeben:

- Die Grenze des zu versteuernden Jahreseinkommens wurde für eine Familie mit einem Kind von 60.000 Euro auf 90.000 Euro angehoben. Die Einkommensgrenze hat sich mit jedem weiteren Kind um jeweils 10.000 Euro erhöht.
- Die Kredithöchstbeträge wurden um bis zu 35.000 Euro angehoben.

— Details ausblenden

Maximale Kreditbeträge für die Förderstufe „Klimafreundliches Wohngebäude“:

- 1 oder 2 Kinder: 170.000 Euro
- 3 oder 4 Kinder: 200.000 Euro
- ab 5 Kinder: 220.000 Euro

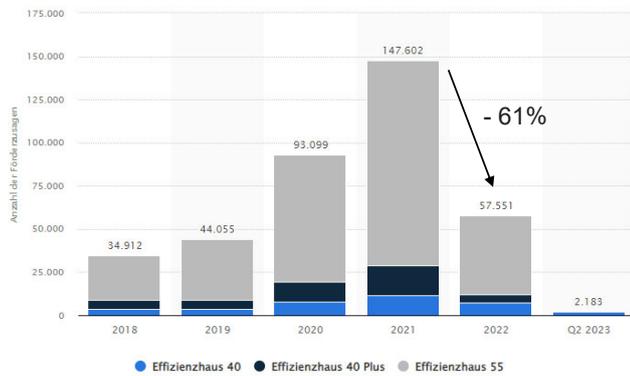
Maximale Kreditbeträge für die Förderstufe „Klimafreundliches Wohngebäude – mit QNG“:

- 1 oder 2 Kinder: 220.000 Euro
- 3 oder 4 Kinder: 250.000 Euro
- ab 5 Kinder: 270.000 Euro

Quelle: <https://www.kfw.de>

Bundeshförderung Effiziente Gebäude BEG

Anzahl der KfW-Förderzusagen für Effizienzhäuser im Neubau



Quelle: Statista 2023

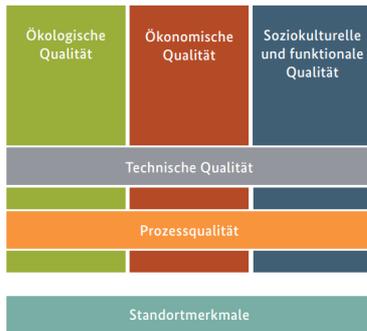
Gliederung

1. Entwicklung des energiesparenden Bauens
2. Novellierung Gebäudeenergiegesetz und EPBD
3. Aktuelle Fördersystematik für Gebäude
4. **Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude**
5. KS-Arbeitshilfen zum GEG

Nachhaltiges Bauen

Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude:

- Berücksichtigung des 3-Säulen Modells der nachhaltigen Entwicklung



Quelle: BBSR



Quelle: BMWSB <https://www.nachhaltigesbauen.de>

Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude - Anforderungen



<https://www.qng.info/>

Handbuch Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude

- Definition der Siegelvarianten *QNG-Plus* und *QNG-Premium*
- Anforderungen an Zertifizierungsstellen sowie Regelungen zur Akkreditierung
- Regelungen zum Verfahren der Zertifizierung
- Definition von allgemeinen Nachhaltigkeitsanforderungen
- Definition von *besonderen Anforderungen* im Öffentlichen Interesse an den Beitrag zur Nachhaltigkeit

Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude - Anforderungen

QNG-Kriterienkatalog

- Anforderungen an ökologische, soziokulturelle und ökonomische Qualität von Gebäuden sowie an die Qualität der Planungs- und Bauprozesse und ggf. Betriebsprozesse
- Kriterien Wohngebäude:
 - Flächeninanspruchnahme
 - Ressourceninanspruchnahme und Wirkungen auf die globale Umwelt
 - Flexibilität und Anpassungsfähigkeit
 - Trinkwasserbedarf in der Nutzungsphase
 - Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit
 - Risiken für Gesundheit und die lokale Umwelt
 - Barrierefreiheit
 - Schaffung von Voraussetzungen für Bewirtschaftung
 - Flächeneffizienz
 - Erfüllung von Nutzeranforderungen
 - Thermischer Komfort
 - Visueller Komfort
 - Schallschutz
 - Nachhaltige Beschaffung
 - Lebenszykluskosten
 - Qualität der Projektvorbereitung
 - Qualitätskontrolle der Bauausführung
 - Bestandsanalyse
 - Rückbaumaßnahmen

Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude - Anforderungen

Qualitätssiegel „Nachhaltiges Gebäude“



- QNG-Plus: Erfüllung überdurchschnittlicher Anforderungen
- QNG-Premium: Erfüllung *deutlich* überdurchschnittlicher Anforderungen
- Besondere Anforderungen im öffentlichen Interesse
 - Treibhausgas und Primärenergie
 - Nachhaltige Materialgewinnung
 - Schadstoffvermeidung in Baumaterialien
 - Barrierefreiheit

Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude – Besondere Anforderungen

QNG – besondere Anforderungen: Treibhausgas und Primärenergie

ANF1-WG2 Treibhausgas und Primärenergie (gültig ab 01.01.2023)

QNG-PLUS	
Anforderungen für: WG23	
Dem Gebäude darf nur QNG-PLUS zuerkannt werden, wenn die gemäß der Methodik der Anlage „LCA-Bilanzregeln Wohngebäude“ ermittelten	
1	• Treibhausgasemissionen im Gebäudelebenszyklus maximal 24 kg CO₂ Äqu./m² a betragen und
2	• der ermittelte Primärenergiebedarf nicht erneuerbar im Gebäudelebenszyklus maximal 96 kWh/m² a beträgt.
QNG-PREMIUM	
Anforderungen für: WG23	
Dem Gebäude darf nur QNG-PREMIUM zuerkannt werden, wenn die gemäß der Methodik der Anlage „LCA-Bilanzregeln Wohngebäude“ ermittelten	
1	• Treibhausgasemissionen im Gebäudelebenszyklus maximal 20 kg CO₂ Äqu./m² a betragen und
2	• der ermittelte Primärenergiebedarf nicht erneuerbar im Gebäudelebenszyklus maximal 64 kWh/m² a beträgt.

Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude – Besondere Anforderungen

QNG – besondere Anforderungen: Nachhaltige Materialgewinnung

ANF2-WG1 Nachhaltige Materialgewinnung

QNG-PLUS			
Anforderungen für: KN21 WN21 WG23			
Dem Gebäude darf nur QNG-PLUS zuerkannt werden, wenn			
1	•	mindestens 50% der neu eingebauten Hölzer, Holzprodukte und / oder Holzwerkstoffe nachweislich aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammen.	
QNG-PREMIUM			
Anforderungen für: KN21 WN21 WG23			
Dem Gebäude darf nur QNG-PREMIUM zuerkannt werden, wenn			
1	•	mindestens 80% der neu eingebauten Hölzer, Holzprodukte und / oder Holzwerkstoffe nachweislich aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammen.	

zu 1: Nachweis durch Vorlage von Zertifikaten (FSC oder PEFC)

Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude – Besondere Anforderungen

QNG – besondere Anforderungen: Schadstoffvermeidung in Baumaterialien

ANF3-1 Schadstoffvermeidung in Baumaterialien

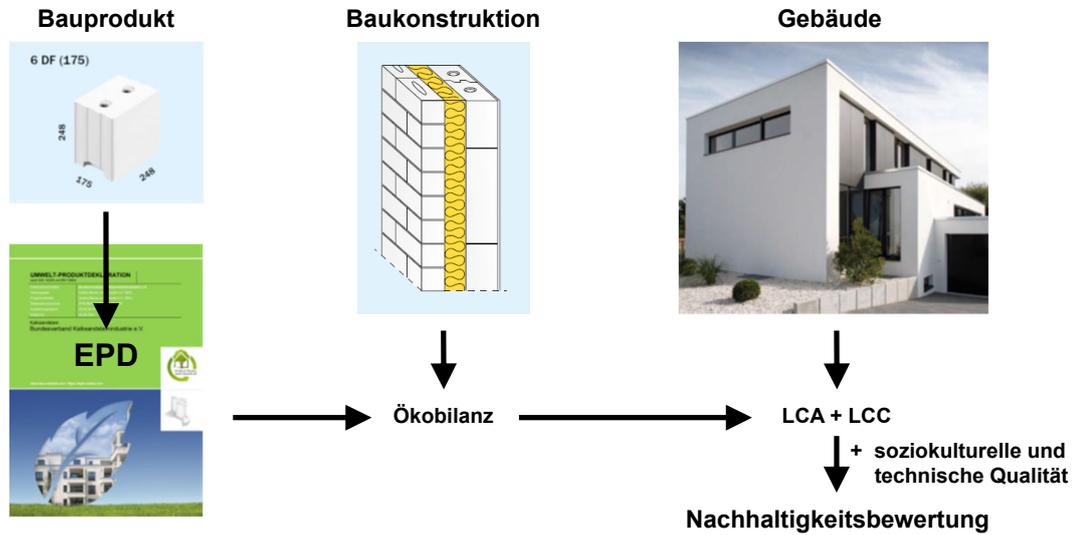
Anforderungsniveau PLUS						
Anforderungen für:	KN21	WN21	WG23	BN/K22	UN/K22	NW23
Dem Gebäude darf nur QNG-PLUS zuerkannt werden, wenn						
1	<ul style="list-style-type: none"> der Bauherr alle bauausführenden Firmen vertraglich zur Einhaltung der QNG-Qualitätsanforderungen an die Schadstoffvermeidung verpflichtet hat und die Firmen nach Fertigstellung ihrer Leistungen deren Erfüllung erklären. 					
Anforderungsniveau PREMIUM						
Anforderungen für:	KN21	WN21	WG23	BN/K22	UN/K22	NW23
Dem Gebäude darf nur QNG-PREMIUM zuerkannt werden, wenn						
2	<ul style="list-style-type: none"> die Erfüllung der QNG-Qualitätsanforderungen an die Schadstoffvermeidung für alle neu eingebauten Materialien und Produkte nachgewiesen wurde. 					

Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude – Besondere Anforderungen

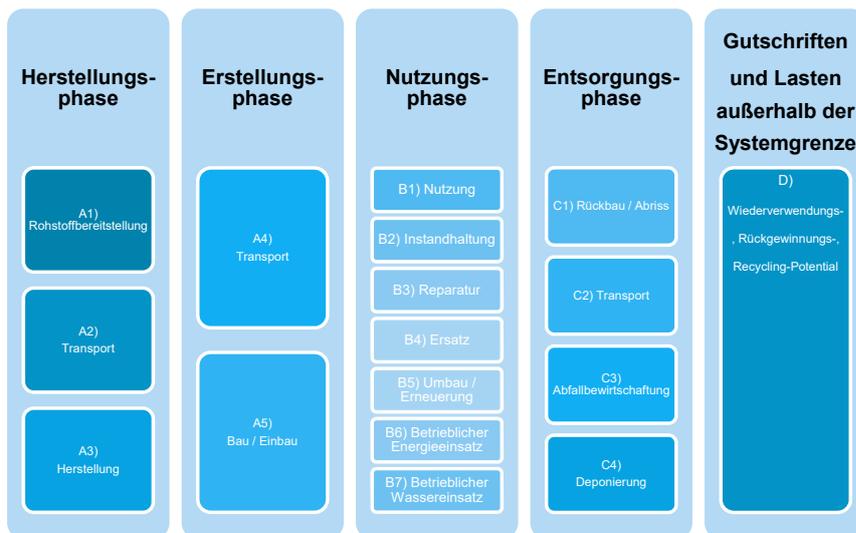
QNG – besondere Anforderungen: Barrierefreiheit

Anforderungsniveau PLUS					Anforderungsniveau PREMIUM				
Anforderungen für:	KN21	WN21	WG23	NW23	Anforderungen für:	KN21	WN21	WG23	NW23
Neuerrichteten Gebäuden (Neubau) mit mehr als 5 Wohneinheiten darf QNG-PLUS nur zuerkannt werden, wenn für mindestens 90% der Wohneinheiten und der Gemeinschaftsflächen des Gebäudes die Erfüllung von 7 der nachfolgenden 8 Anforderungen des Standards „ ready besuchsgesiegt “ nachgewiesen wird.					Neuerrichteten Gebäuden (Neubau) mit mehr als 5 Wohneinheiten darf QNG-PREMIUM nur zuerkannt werden, wenn für alle Wohneinheiten und der Gemeinschaftsflächen des Gebäudes die Erfüllung von 7 der nachfolgenden 8 Anforderungen des Standards „ ready plus “ nachgewiesen wird:				
<u>Anforderungen aus ready-Leitkriterium A1 „Absatzfreie Zugänge“</u>					<u>Anforderungen aus ready-Leitkriterium A1 „Absatzfreie Zugänge“</u>				
1	A1.1	Der Aufzugseinbau zur Erschließung aller nutzbaren Geschosse muss nachweislich vorbereitet sein, insbesondere bezüglich Raum- und Flächenbedarf, Statik und Gründung.			1	A1.1	Ein Aufzug zur Erschließung aller nutzbaren Geschosse muss vorhanden sein.		
2	A1.2	Die Erschließung bis zu den Wohnungseingangstüren muss stufen- und schwellenlos sein.			2	A1.2	Die Erschließung bis zu den Wohnungseingangstüren muss stufen- und schwellenlos sein.		
<u>Anforderungen aus ready-Leitkriterium A2 „Ausreichende Größen“</u>					<u>Anforderungen aus ready-Leitkriterium A2 „Ausreichende Größen“</u>				
3	A2.2	Wege, Flure – nutzbare Breite			3	A2.2	Wege, Flure – nutzbare Breite		
4	A2.4	Haus-, Wohnungseingangs-, Fahrschachttüren			4	A2.4	Haus-, Wohnungseingangs-, Fahrschachttüren		
5	A2.5	Türen – nutzbare Durchgangsbreite			5	A2.5	Türen – nutzbare Durchgangsbreite		
6	A2.6	Wendeflächen außerhalb der Wohnung			6	A2.6	Wendeflächen außerhalb der Wohnung		
7	A2.7	Bewegungsflächen innerhalb der Wohnung			7	A2.7	Bewegungsflächen innerhalb der Wohnung		
<u>Anforderungen aus ready-Leitkriterium A4 „Attraktivität und Sicherheit“</u>					<u>Anforderungen aus ready-Leitkriterium A4 „Attraktivität und Sicherheit“</u>				
8	A4.4	Treppensteigung (max. Stufenhöhe/min. Stufenaufritt)			8	A4.4	Treppensteigung (max. Stufenhöhe/min. Stufenaufritt)		

Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude



Lebenszyklusanalyse von Gebäuden



Umwelt-Produktdeklaration EPD

Produktionsstadium	Stadium der Errichtung des Bauwerks					Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze	
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D1
Rohstoffversorgung	X	X	X	X	X													
Transport	X	X	X	X	X													
Herstellung																		
Transport vom Hersteller zum Verwendungsort																		
Montage																		
Nutzung/Anwendung																		
Instandhaltung																		
Reparatur																		
Ersatz																		
Erneuerung																		
Energiesatz für das Befüllen des Wasserreservoirs für das Betreiben des Gebäudes																		
Wassersatz für das Betreiben des Gebäudes																		
Rückbau/Abriss																		
Transport																		
Abfallbehandlung																		
Beseitigung																		
Wiederverwendungs-Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial																		

ERGEBNISSE DER ÖKOBIANZ – UMWELTAUSWIRKUNGEN nach EN 15804+A2: 1 Tonne Kalksandstein

Kennindikator	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1	C1	C2	C3/1	C3/2	C4/2	D	D1
GWP-total	[kg CO ₂ -Äq.]	1,28E+2	3,93E+0	3,04E+0	-4,75E+1	6,12E-1	1,64E+0	2,51E+0	0,00E+0	1,40E+1	-9,32E-1	-2,71E+0
GWP-fossil	[kg CO ₂ -Äq.]	1,28E+2	3,92E+0	3,04E+0	0,00E+0	6,36E-1	1,63E+0	2,50E+0	0,00E+0	1,52E+1	-9,28E-1	-2,72E+0
GWP-biogenic	[kg CO ₂ -Äq.]	6,69E-3	1,57E-3	-7,81E-3	0,00E+0	-2,70E-2	6,56E-4	4,77E-3	0,00E+0	-1,20E+0	-3,32E-3	-1,69E-2
GWP-mluc	[kg CO ₂ -Äq.]	8,63E-2	1,64E-2	4,51E-3	0,00E+0	2,55E-3	6,83E-3	9,20E-3	0,00E+0	4,37E-2	-1,18E-3	-8,98E-3
ODP	[kg CFC11-Äq.]	4,09E-13	9,61E-16	1,24E-15	0,00E+0	1,50E-16	4,00E-16	1,09E-14	0,00E+0	5,69E-14	-1,32E-14	-3,85E-14
AP	[mol H ⁺ -Äq.]	1,04E+1	3,63E-3	1,06E-2	0,00E+0	3,01E-3	1,51E-3	2,33E-2	0,00E+0	1,09E+1	-1,94E-3	-8,54E-3
EP-freshwater	[kg PO ₄ -Äq.]	1,24E+4	8,52E+6	2,49E+6	0,00E+0	1,33E+6	3,55E+6	5,97E+6	0,00E+0	2,61E+15	-1,89E+6	-8,17E+6
EP-marine	[kg N-Äq.]	4,32E-2	1,13E-3	1,52E-3	0,00E+0	1,42E-3	4,71E-4	1,16E-2	0,00E+0	2,80E-2	-3,94E-4	-3,24E-3
EP-terrestrial	[mol N-Äq.]	4,32E-2	1,37E-2	1,71E-2	0,00E+0	1,57E-2	5,71E-3	1,27E-1	0,00E+0	3,08E-1	-4,24E-3	-3,56E-2
POCP	[kg NMVOC-Äq.]	1,09E+1	2,99E-3	4,61E-3	0,00E+0	3,97E-3	1,25E-3	3,35E-2	0,00E+0	8,48E-2	-1,10E-3	-7,67E-3
ADPE	[kg Sb-Äq.]	1,05E+5	3,25E-7	2,49E-6	0,00E+0	5,07E-8	1,36E-7	2,75E-6	0,00E+0	1,37E-5	-7,07E-6	-5,52E-7
ADPF	[MJ]	9,35E+2	5,20E+1	2,09E+1	0,00E+0	8,11E+0	2,17E+1	4,71E+1	0,00E+0	1,99E+2	-1,30E+1	-3,54E+1
WDP	[m ² Welt-Äq. entzogen]	8,22E+0	1,89E-2	8,12E-1	0,00E+0	2,63E-3	7,03E-3	4,22E-1	0,00E+0	1,58E+0	-3,81E-2	-5,99E-2

Quelle: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.

Verfügbar unter:
www.kalksandstein.de

Lebenszyklusanalyse von Gebäuden

Bilanzierungsregeln für Wohngebäude gemäß QNG Handbuch Anlage 3:

- Betrachtungszeitraum 50 Jahre
- Nur Module gemäß DIN EN 15643 werden berücksichtigt

Die Grundlage für die Ermittlung der Anforderungswerte und die Erstellung einer Ökobilanz im Rahmen der Nachweisführung stellt die DIN EN 15643:2021 in Verbindung mit DIN EN 15978-1 dar. Aus den Normen gehen die Systematik der den Lebenszyklus des Gebäudes unterteilenden Phasen inkl. der zugeordneten Modulgruppen mit Einzelmodulen sowie die Systemgrenzen hervor. Mit Tabelle 2 werden die Lebenszyklusphasen und Module angegeben. Hervorgehoben werden die Module, die in die Bilanz eingehen.

Lebenszyklusphasen	Herstellung	Errichtung	Betrieb und Nutzung	Rückbau, Abfallbehandlung und Entsorgung	Vorteile & Belastungen außerhalb Systemgrenze
Modulgruppen	A 1-3	A 4-5	B 1-7	C 1-4	D
	Rohstoffbeschaffung	Produktion	Energieverbrauch im Betrieb	Abfallbehandlung	Recyclingpotenzial
Module	A1 A2 A3	A4 A5	B1 B2 B3 B4 B5 B6	C1 C2 C3 C4	D1 D2

Tabelle 2: Darstellung der Lebenszyklusphasen gemäß DIN EN 15643:2021-12

Neben den für die Berechnungen **ausgewählten** Modulen der DIN EN 15643:2021-12 sind folgende außerhalb des betrachteten Systems liegende Module der Bilanzgrößen zusätzlich zu ermitteln und auf die Bezugsfläche Jahr bezogen anzugeben:

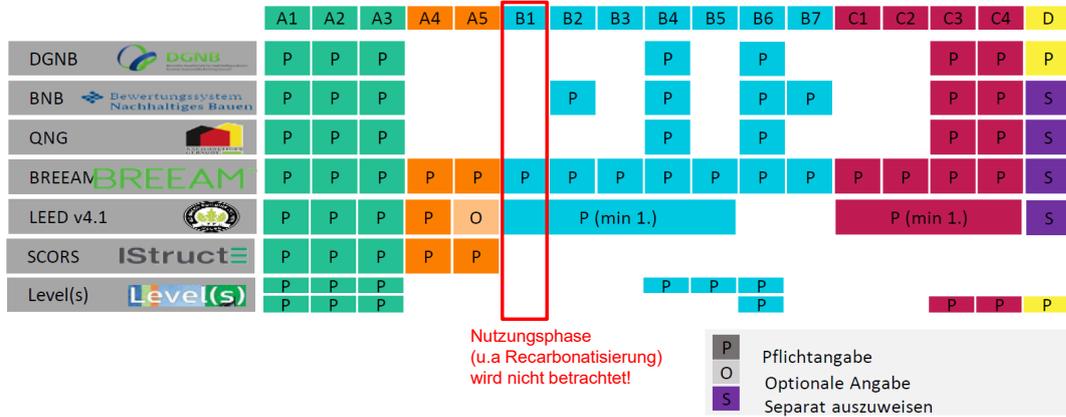
- Recyclingpotenzial (Modul D1) in [kWh PE_{rec} / a] und [kg CO₂ Äqui. / a]
- bei Dritten potenziell vermiedene Treibhausgasemissionen infolge gelieferter³ Energie (Modul D2) in [kg CO₂ Äqui. / a]

Sie fließen nicht in die unmittelbare Beurteilung der Erfüllung von Anforderungen ein.

Quelle: <https://www.qng.info>

Lebenszyklusanalyse von Gebäuden

Systemgrenzen unterschiedlicher Bewertungsansätze



Quelle: Attitude Building Collective ABC

Nachhaltiges Bauen

Qualitätssiegel „Nachhaltiges Gebäude“



Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude

Bewertungssysteme für Wohngebäude

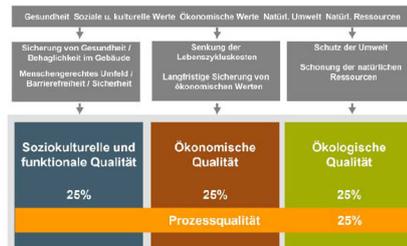


Bewertungssysteme für Nichtwohngebäude



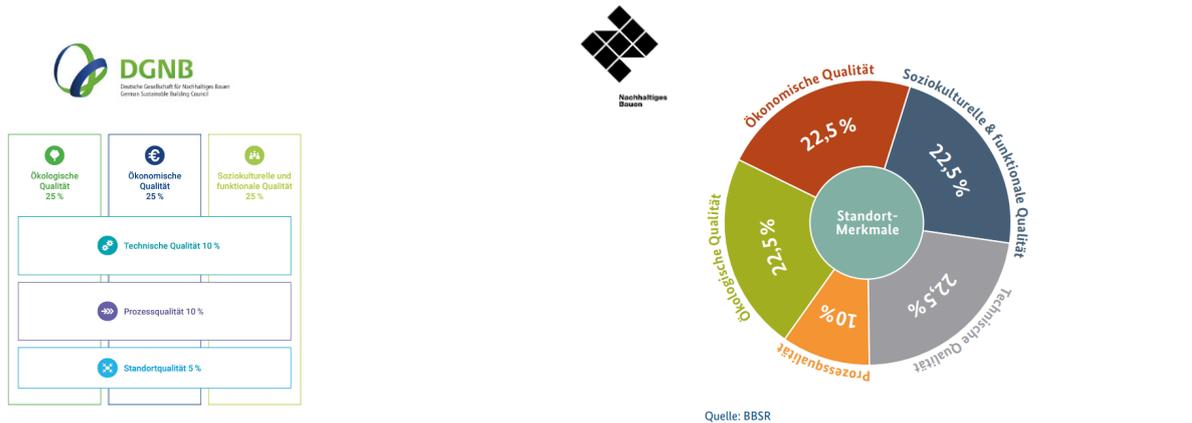
Nachhaltigkeitszertifizierung gemäß QNG

Vergleich der Bewertungssysteme für Wohngebäude



Nachhaltigkeitszertifizierung gemäß QNG

Vergleich der Bewertungssysteme für Nichtwohngebäude



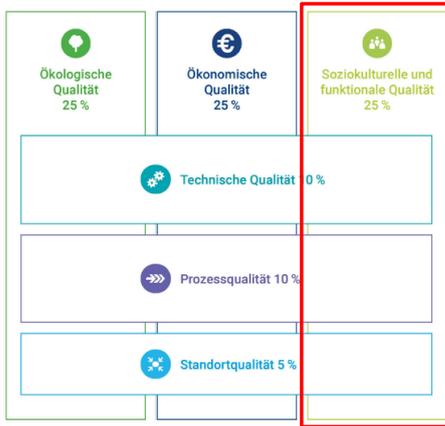
Nachhaltigkeitszertifizierung gemäß QNG

Vergleich der Bewertungssysteme am Beispiel des Schallschutzes



Nachhaltigkeitszertifizierung gemäß QNG

Grundstruktur des DGNB Systems



SOZIO-KULTURELLE UND FUNKTIONALE QUALITÄT (SOC)	GESUNDHEIT, BEHAGLICHKEIT UND NUTZERZUFRIEDENHEIT (SOC1)	SOC1.1 Thermischer Komfort
		SOC1.2 Innenraumluftqualität
		SOC1.3 Schallschutz und akustischer Komfort
		SOC1.4 Visueller Komfort
		SOC1.6 Aufenthaltsqualitäten innen und außen
	FUNKTIONALITÄT (SOC2)	SOC2.1 Barrierefreiheit

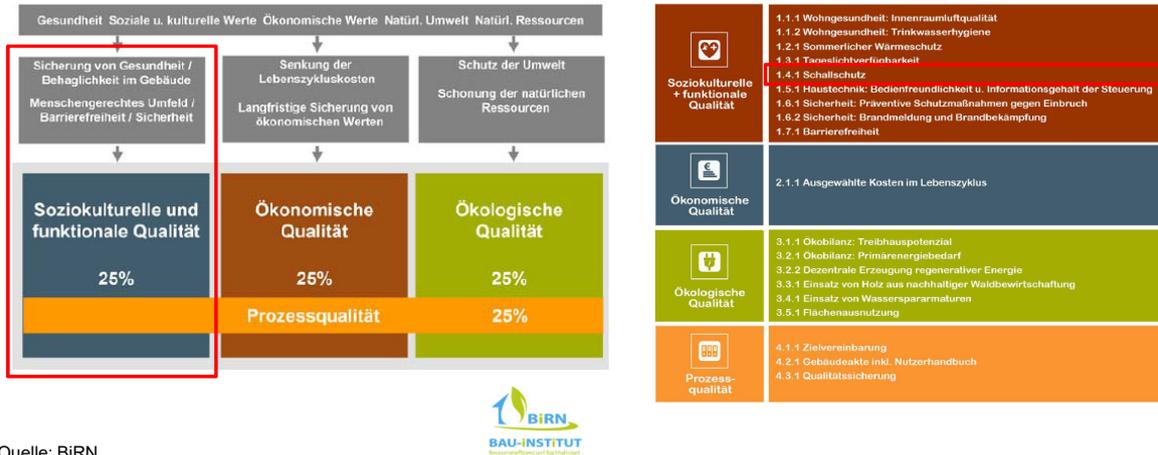
Quelle: DGNB

Nachhaltigkeitszertifizierung gemäß QNG

NR	INDIKATOR	PUNKTE
1	Bauakustik – Einhaltung der Anforderungen nach DIN 4109 und VDI 2569	
	Einhaltung der DIN 4109-1 und sonstiger baurechtlicher Anforderungen an den Schallschutz	0
1.1	Einhaltung der Anforderungen an den erhöhten Schallschutz	
	Gesundheitsbauten Hotel Versammlungsstätten	max. 10
	■ Erhöhter Schallschutz nach DIN 4109-5	10
	Büro	max. 10
	■ Einhaltung der Anforderungen nach VDI 2569, Klasse B oder A	10
	Wohnen	max. 40
	■ Einhaltung der Anforderungen nach DIN 4109-5	30
	■ Nachweis durch einen Schallschutzausweis Klasse C oder besser, nach der DEGA-Empfehlung 103	+10
	entfällt bei Bildung	
1.2	Bauakustikmessungen	
	Büro Bildung Hotel Versammlungsstätten Gesundheitsbauten	
	■ Bestätigung durch bauakustische Messungen	30
	Wohnen	
	■ Bestätigung durch bauakustische Messungen	50

Quelle: DGNB

Nachhaltigkeitszertifizierung gemäß QNG



Nachhaltigkeitszertifizierung gemäß QNG

- Der nach Bauordnungsrecht geschuldete Mindestschallschutz ist zu garantieren
- Eine Unterschreitung ist unzulässig
- Eine Übererfüllung der normativen Anforderungen wird in der Bewertung belohnt

Methode
Die Anforderungen an den Schallschutz gegen Außenlärm, den Luft- und Trittschallschutz innerhalb des Gebäudes bzw. zur Nachbareinheit sowie an den Schallschutz gegen Körperschall / Installationen ergeben sich aus den Normen, dem öffentlichen Baurecht und der Rechtsprechung. Die Erfüllung der Anforderungen wird durch rechnerischen Nachweis oder durch Messungen erbracht.

Dokumente, Normen und Richtlinien

- DIN 4109: 1989 Schallschutz im Hochbau
- DIN 4109 Beiblatt 2: 1989 Hinweise für Planung und Ausführung, Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz
- VDI 4100: 2007 Schallschutz von Wohnungen
- DIN EN ISO 10052: 2005 Akustik-Messung der Luftschalldämmung und Trittschalldämmung und des Schalls von haustechnischen Anlagen in Gebäuden
- DIN EN ISO 3822-1: 2009 Armaturengeräusche

Quelle: BiRN

**Achtung, die in Bezug genommenen Normen sind zum Teil veraltet!!
Neuer Kriterienkatalog wird aktuell erarbeitet.**

Nachhaltigkeitszertifizierung gemäß QNG

Bewertungsmaßstab (freistehende Gebäude mit einer Einheit)

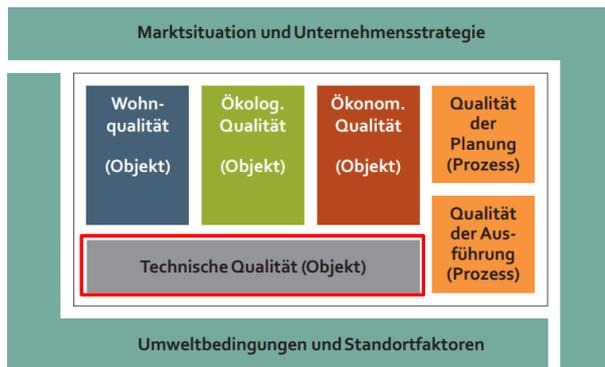
Erfüllt das Gebäude folgende Eigenschaften, können die angegebenen Checklistenpunkte erreicht werden:	Checklistenpunkte
1. Schallschutz gegen Außenlärm	
Übererfüllung der Mindestanforderungen der DIN 4109 um mind. 5 dB	30
ODER	
Einhaltung der Mindestanforderungen der DIN 4109	10
2. Luft- und Trittschallschutz gegen Schallübertragung aus dem eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich	
Überschreitung der DIN 4109 Beiblatt 2, Tabelle 3 um 3 dB: Empfehlungen für normalen und erhöhten Schallschutz; Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen zum Schutz gegen Schallübertragung aus dem eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. "Empfehlungen für erhöhten Schallschutz"	40
ODER	
Einhaltung der DIN 4109 Beiblatt 2, Tabelle 3: Empfehlungen für normalen und erhöhten Schallschutz; Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen zum Schutz gegen Schallübertragung aus dem eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. "Empfehlungen für erhöhten Schallschutz"	20
ODER	
Einhaltung der DIN 4109 Beiblatt 2, Tabelle 3: Empfehlungen für normalen und erhöhten Schallschutz; Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen zum Schutz gegen Schallübertragung aus dem eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. "Empfehlungen für normalen Schallschutz"	10
3. Schallschutz gegen Körperschall / Installationen	
Übererfüllung der DIN 4109 entsprechend der VDI 4100 Schallschutzstufe III	30
ODER	
Übererfüllung der DIN 4109 entsprechend der VDI 4100 Schallschutzstufe II	20
ODER	
Einhaltung der Mindestanforderungen der DIN 4109	10

Bewertungsmaßstab (Gebäude mit mehreren Einheiten bzw. angrenzenden Einheiten)

Erfüllt das Gebäude folgende Eigenschaften, können die angegebenen Checklistenpunkte erreicht werden:	Checklistenpunkte
1. Schallschutz gegen Außenlärm	
Übererfüllung der Mindestanforderungen der DIN 4109 um mind. 5 dB	30
ODER	
Einhaltung der Mindestanforderungen der DIN 4109	10
2. Luft- und Trittschallschutz gegen Schallübertragung aus dem eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich	
Überschreitung der DIN 4109 Beiblatt 2, Tabelle 3 um 3dB: Empfehlungen für normalen und erhöhten Schallschutz; Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen zum Schutz gegen Schallübertragung aus dem eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. "Empfehlungen für erhöhten Schallschutz"	20
ODER	
Einhaltung der DIN 4109 Beiblatt 2, Tabelle 3: Empfehlungen für normalen und erhöhten Schallschutz; Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen zum Schutz gegen Schallübertragung aus dem eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. "Empfehlungen für erhöhten Schallschutz"	10
ODER	
Einhaltung der DIN 4109 Beiblatt 2, Tabelle 3: Empfehlungen für normalen und erhöhten Schallschutz; Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen zum Schutz gegen Schallübertragung aus dem eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich. "Empfehlungen für normalen Schallschutz"	5
3. Luft- und Trittschallschutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich	
Überschreitung der DIN 4109 Beiblatt 2, Tabelle 2 um 3dB: Vorschläge für erhöhten Schallschutz; Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen zum Schutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich. "Vorschläge für erhöhten Schallschutz"	30
ODER	
Einhaltung der DIN 4109 Beiblatt 2, Tabelle 2: Vorschläge für erhöhten Schallschutz; Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen zum Schutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich. "Vorschläge für erhöhten Schallschutz"	20
ODER	
Einhaltung der Mindestanforderungen der DIN 4109	10

Achtung, die in Bezug genommenen Normen sind zum Teil veraltet!! Neuer Kriterienkatalog wird aktuell erarbeitet.

Nachhaltigkeitszertifizierung gemäß QNG



2. TECHNISCHE QUALITÄT

Nummer	Steckbrief mit Teilindikatoren	Seite
2.1.1	Schallschutz	61
2.1.1.1	Schallschutz gegen Außenlärm	
2.1.1.2	Luft- und Trittschallschutz	
2.1.1.3	Schallschutz gegen Körperschall / Installationen	
2.1.2	Emergenzenergie-Quadrat	77
2.1.3	Effizienz der Haustechnik	73
2.1.4	Lüftung	78



Nachhaltigkeitszertifizierung gemäß QNG

Bewertungsmaßstab

Teilindikator
2.1.1-1 Schallschutz gegen Außenlärm
2.1.1-2 Luft- und Trittschallschutz
2.1.1-3 Schallschutz gegen Körperschall / Installationen



Bewertungsstufen

deutlich übererfüllt	Übererfüllung der Anforderungen entsprechend Niveau B der Anlage 1
übererfüllt	Einhaltung der Anforderungen entsprechend Niveau B der Anlage 1
erfüllt	Einhaltung der Anforderungen entsprechend Niveau A der Anlage 1

ANLAGE 1

Tabell: Luft- und Trittschallschutz nach DIN 4109:1989

Luft- und Trittschallschutz	Klassifizierung	Niveau A ¹⁾	Niveau B ²⁾
horizontaler Luftschallschutz (Wände) zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen	R _w in dB	≥ 55	56
vertikaler Luftschallschutz (Decken) zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen	R _w in dB	≥ 55	57
Luftschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Treppenhäusern bzw. Fluren	R _w in dB	≥ 55	56
Trittschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Räumen	L _{n,w} in dB		46
Trittschallschutz zwischen Aufenthaltsräumen und fremden Treppenhäusern	L _{n,w} in dB		46
Wohnungseingangstüren	R _w in dB		37

Erläuterungen zur Tabelle:

R_w = bewertetes Schalldämmmaß mit Schallübertragung über flankierende Bauteile
L_{n,w} = bewerteter Norm-Trittschallpegel

¹⁾ Niveau A entspricht Beiblatt 2 zu DIN 4109:1989

²⁾ Niveau B gilt für die Übererfüllung (orientiert sich an der VDI 4100:2007-08)

Hinweis:
Mit einer Überarbeitung der DIN 4109:1989 ist zu rechnen.

Regelwerke mit Vorschlägen für erhöhten Schallschutz

VDI 4100:2007
3 Stufen
(inkl. DIN 4109)

VDI 4100:2012
3 Stufen (oberhalb
von DIN 4109)

**DEGA Schallschutz-
ausweis**
7 Klassen

**DIN 4109
Beiblatt 2**
1 Stufe

DIN 4109-5
1 Stufe

**DIN SPEC PAS
91314**
1 Stufe

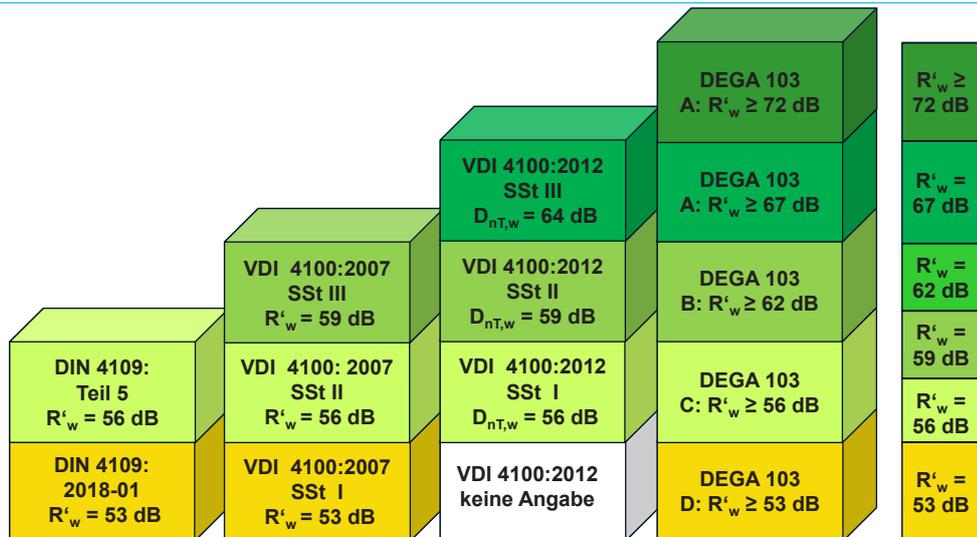


Mindestanforderungen und Empfehlungen zum erhöhten Schallschutz

Anforderungsbereich	Anwendungsgebiet	DIN 4109:1.2018	DIN 4109:1989 Beiblatt 2	DIN 4109:5.2020	Empfehlung Kalksandstein Industrie ¹⁾	VDI 4100:2007			VDI 4100:2012		
		Mindestanforderungen				SSr	SSr	SSr	SSr	SSr	SSr
Baureihengängen	Mindestanforderungen	Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz (Vorschläge für vertragliche Vereinbarungen)									
	Räume mit Grundflächen $\geq 8 \text{ m}^2$										
Anforderungen (Empfehlungen)	Luftschallübertragung horizontal	53	55	56	56	53	56	59	56	59	64
	Luftschallübertragung vertikal	54	55	57	57	54	57	60			
	Trittschallübertragung Decken	50	46	45	45	53	46	39	51	44	37
	Luftschallübertragung Treppen	53	46	45	45	58	53	46			
	Luftschallübertragung Tür: Treppenhaus – Flur	27 ²⁾	37 ²⁾	37 ²⁾	37 ²⁾	-	-	-	-	-	-
	Luftschallübertragung Tür: Treppenhaus – Aufenthaltsraum	37 ²⁾	-	42 ²⁾	- ³⁾	-	-	-	-	-	-
	Gebäudetechnische Anlagen	30	-	27	27	30	30	25	30	27	24
	Luftschallübertragung horizontal im eigenen Wohnbereich (Wände ohne Türen)	-	40/47	-	47	-	-	-	48 ⁴⁾	52 ⁴⁾	-
	Luftschallübertragung (unterstes Geschoss)	59	67	62	67	57	63	68	65	69	73
	Luftschallübertragung (alle anderen Geschosse)	62	-	67 ⁵⁾	-	-	-	-	-	-	-
Reihen-/Doppelhaus	Trittschallübertragung Decken	41	38	36	36	48	41	34	46	39	32
	Trittschallübertragung Bodenplatte	46	-	41	41	-	-	-	-	-	-
	Trittschallübertragung Treppen	46	46	41	41	53	46	39			
	Gebäudetechnische Anlagen	30	-	27	25	30	25	20	30	25	22
	Luftschallübertragung horizontal im eigenen Wohnbereich (Wände ohne Türen)	-	40/47	-	47	-	-	-	48 ⁴⁾	52 ⁴⁾	-

rechtssicher und praktisch realisierbar!

Schallschutzstandards



Quelle: Prof. Schäfers

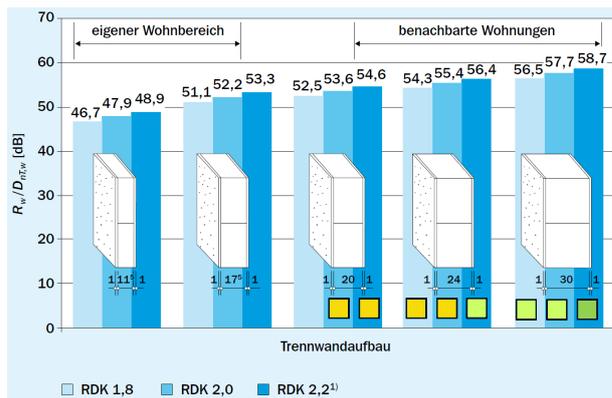
Beispiele für die Realisierung verschiedener Schallschutzniveaus

1. Dimensionierung und Nachweis immer im Einzelfall führen (nach DIN 4109-2 / KS-Schallschutzrechner)
2. Stoßstellen und Anbindung der Flanken planerisch festlegen
3. je schwerer Trennbauteil **und** Flanken, desto besser der Schallschutz
4. schwere Flankenbauteile und schalltechnisch starre Anschlüsse führen zu sicheren und wirtschaftlichen Lösungen

→ **Nachfolgend einige Beispiele von Trennwandaufbauten für verschiedene Anforderungsniveaus!**

$R'_w \geq 72 \text{ dB}$
$R'_w = 67 \text{ dB}$
$R'_w = 62 \text{ dB}$
$R'_w = 59 \text{ dB}$
$R'_w = 56 \text{ dB}$
$R'_w = 53 \text{ dB}$

Mehrfamilienhäuser – Schalldämmung horizontal



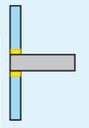
Randbedingungen: Flankierende Decken 24 cm Stahlbeton, Außenwände 17,5 cm Kalksandstein RDK 2,0 mit WDVS, Innenwände 11,5 cm Kalksandstein RDK 2,0, alle Wände und Decken sind starr angeschlossen (z.B. Stumpfstoß). Es sind T-Stöße vorausgesetzt, mit der Ausnahme, dass an der flankierenden Innenwand und an der unteren Geschossdecke ein Kreuzstoß vorliegt. Beispiel mit 12,5 m² Trennwandfläche.

$R'_w \geq 72 \text{ dB}$
$R'_w = 67 \text{ dB}$
$R'_w = 62 \text{ dB}$
$R'_w = 59 \text{ dB}$
$R'_w = 56 \text{ dB}$
$R'_w = 53 \text{ dB}$

Mehrfamilienhäuser – Schalldämmung horizontal

Horizontale Übertragung über Wohnungstrennwand 2,5 m · 5 m = 12,5 m ² Werte mit Sicherheitsabschlag von 2 dB									
Wohnungstrennwand ¹⁾		Boden ²⁾ Decke	Außenwand ¹⁾			Innenwand ¹⁾			R' _w [dB]
d [cm]	RDK	d [cm]	d [cm]	RDK	Kopplung	d [cm]	RDK	Kopplung	
24	1,8	18	17,5	1,8	starr	11,5	1,8	starr	54,0
24	2,0								55,1
24	2,2								56,1
30	2,0	24	20	2,0	starr	20	2,0	starr	57,3
24	2,0								56,0
30	2,0								58,3
24	2,0		17,5	1,8	entk. ³⁾	11,5	1,8	starr	56,1
24	2,2								57,1
30	2,0								59,0

¹⁾ Inkl. 10 mm Putz
²⁾ Boden mit 45 mm schwimmendem Estrich
³⁾ Wohnungstrennwand läuft bis Außenkante durch und die Außenwand ist planmäßig entkoppelt.



R' _w ≥ 72 dB
R' _w = 67 dB
R' _w = 62 dB
R' _w = 59 dB
R' _w = 56 dB
R' _w = 53 dB

Mehrfamilienhäuser – Schalldämmung vertikal

Vertikale Übertragung in einem Eckraum 4 m · 5 m = 20 m ² Werte mit Sicherheitsabschlag von 2 dB							
Geschoss- decke ¹⁾	Außenwand ²⁾		Innenwand ²⁾		Wohnungstrennwand ²⁾		R' _w [dB]
d [cm]	d [cm]	RDK	d [cm]	RDK	d [cm]	RDK	
18	17,5	1,8	11,5	1,8	24,0	1,8	56,8
18	17,5	2,0	11,5	2,0	24,0	2,0	57,3
24	17,5	2,0	11,5	2,0	24,0	2,0	59,4
24	20,0	2,0	20,0	2,0	24,0	2,0	60,2

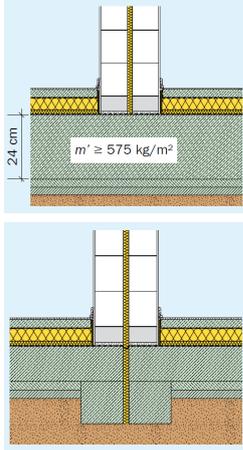
¹⁾ Boden mit 45 mm schwimmendem Estrich
²⁾ Inkl. 10 mm Putz

bei aktuellen Geschossdeckenaufbauten i.d.R. nur bei sehr leichten Flankenbauteilen

R' _w ≥ 72 dB
R' _w = 67 dB
R' _w = 62 dB
R' _w = 59 dB
R' _w = 56 dB
R' _w = 53 dB

Zweischalige Haustrennwände

Ausführungsvarianten: $R'_w = 62 \text{ dB}$



2 x 15 cm, RDK 2,0¹⁾

2 x 11,5 cm, RDK 1,8¹⁾

¹⁾ schwere flankierende Bauteile, $m'_{L,M} \geq 300 \text{ kg/m}^2$

$R'_w \geq 72 \text{ dB}$

$R'_w = 67 \text{ dB}$

$R'_w = 62 \text{ dB}$

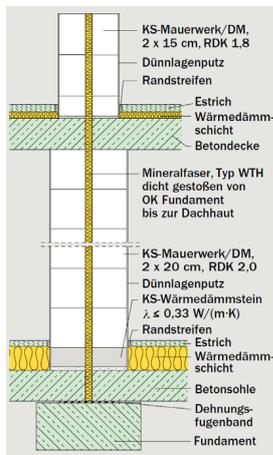
$R'_w = 59 \text{ dB}$

$R'_w = 56 \text{ dB}$

$R'_w = 53 \text{ dB}$

Zweischalige Haustrennwände

Ausführungsvarianten: $R'_w = 67 \text{ dB}$



Ab 1. Obergeschoss:
2 x 15 cm, RDK 1,8¹⁾

Im Erdgeschoss:
2 x 20 cm, RDK 2,0¹⁾

¹⁾ schwere flankierende Bauteile, $m'_{L,M} \geq 300 \text{ kg/m}^2$

$R'_w \geq 72 \text{ dB}$

$R'_w = 67 \text{ dB}$

$R'_w = 62 \text{ dB}$

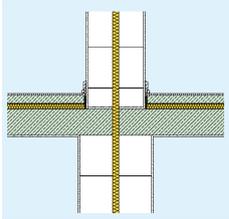
$R'_w = 59 \text{ dB}$

$R'_w = 56 \text{ dB}$

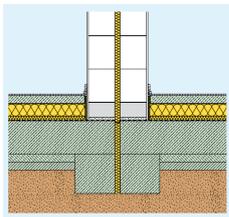
$R'_w = 53 \text{ dB}$

Zweischalige Haustrennwände

Ausführungsvarianten: $R'_w \geq 72$ dB



2 x 20 cm, RDK 2,0¹⁾



2 x 24 cm, RDK 1,8¹⁾
und Schalenabstand
 $t \geq 50$ mm

¹⁾ schwere flankierende Bauteile, $m'_{L,M} \geq 300$ kg/m²

$R'_w \geq 72$ dB

$R'_w = 67$ dB

$R'_w = 62$ dB

$R'_w = 59$ dB

$R'_w = 56$ dB

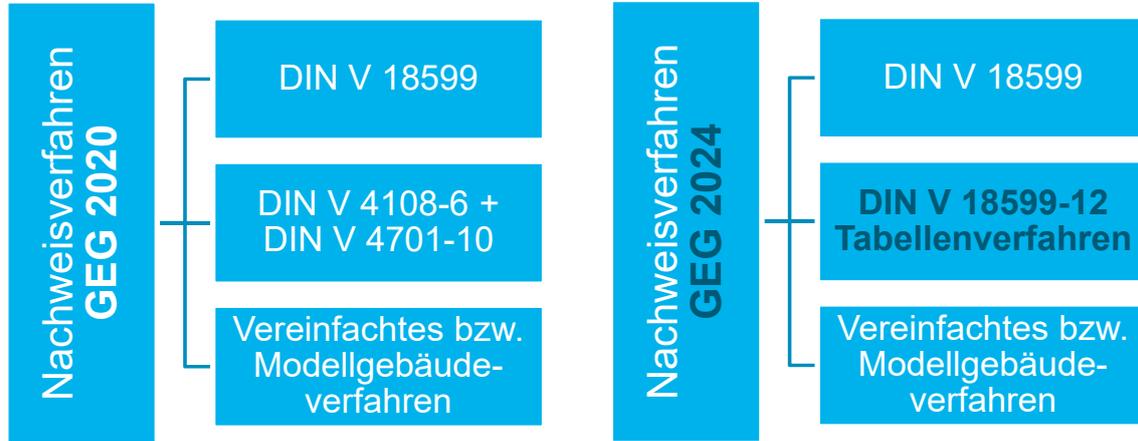
$R'_w = 53$ dB

Gliederung

1. Entwicklung des energiesparenden Bauens
2. Novellierung Gebäudeenergiegesetz und EPBD
3. Aktuelle Fördersystematik für Gebäude
4. Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude
5. **KS-Arbeitshilfen zum GEG**

Novellierung des Gebäudeenergiegesetz

GEG – Nachweisverfahren für Wohngebäude



Novellierung des Gebäudeenergiegesetz

Weiterentwicklung des KS-Nachweisprogramm zum GEG (DIN/TS 18599-12)

- Berechnungstool auf Basis von MS Excel
- Umsetzung Tabellenverfahren DIN TS 18599-12
- Ab 2024: Ersatz von DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10
- Eingabe der Bauteile bleibt weitgehend unverändert
- Neues Verfahren für Anlagentechnik - Entwicklung und Integration von mind. 10 Musteranlagen

→ Bereitstellung des neuen Tools für Frühjahr 2024 geplant

Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung gem. DIN V 18599-12:2020

Vorgabenliste (in Anlehnung an GEG) zu ermitteltem Gebäude [aus GEG] [aus GEG]

Objekt (Bezeichnung) **07 Normbaueinfamilienhaus mit TR-Sole und ABL**

4 Wärmesenken

4.1 Transmission Wärmesenkenkoeffizient H_T [W/K] - Fenster

Kürzel	Oberfläche	Zustand	Hängung	Fläche A _T [m ²]	Wärmehinübergangskoeffizient U _T [W/(m ² K)]	Temperaturkorrekturfaktor F _T [-]	Transmission wärmeverlust H _T [W/K]
4.1.1 Außenwände							
AW 1	West	90°		22,27	0,20	1,0	6,45
AW 2	Süd	90°		40,97	0,20	1,0	8,19
AW 3	Ost	90°		37,00	0,20	1,0	7,40
AW 4	Nord	90°		44,62	0,20	1,0	8,90
AW 5	90°					1,0	
AW 6	90°					1,0	
AW 7	90°					1,0	
AW 8	90°					1,0	
AW 9	90°					1,0	
AW 10	90°					1,0	
AW 11	90°					1,0	
AW 12	90°					1,0	
4.1.2 Fenster, Fenestertüren							
W 1	West	AW 1	90°	18,89	0,85	1,0	17,36
W 2	Süd	AW 2	90°	19,65	0,85	1,0	16,84
W 3	Ost	AW 3	90°	2,87	0,85	1,0	2,42
W 4	Nord	AW 4	90°	2,30	0,85	1,0	4,09
W 5	90°					1,0	
W 6	90°					1,0	
4.1.3 Hausdiele(n)							
T 1	West	AW 3	90°	2,30	1,30	1,0	3,06
T 2	90°					1,0	

4.2 Transmission Wärmesenkenkoeffizient H_T [W/K] - Dach und Innendiele(n)

Kürzel	Oberfläche	Zustand	Hängung	Fläche A _T [m ²]	Wärmehinübergangskoeffizient U _T [W/(m ² K)]	Temperaturkorrekturfaktor F _T [-]	Transmission wärmeverlust H _T [W/K]
--------	------------	---------	---------	---	--	--	--

Neue KS-Arbeitshilfen

Arbeitshilfen zum Gebäudeenergiegesetz



KS-GEG-Broschüre 2023



**KS-Nachweisprogramm
GEG 2023**



**KS-Nachweisprogramm
DIN/TS 18599-12**

Neue KS-Arbeitshilfen

Infobroschüren zu den Themen Klimaschutz und Nachhaltigkeit



Vielen Dank!



Dr.-Ing. Matthias Ziegler
Abteilungsleiter Bauanwendung
Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.
Tel.: 0511-279 54-40
matthias.ziegler@kalksandstein.de

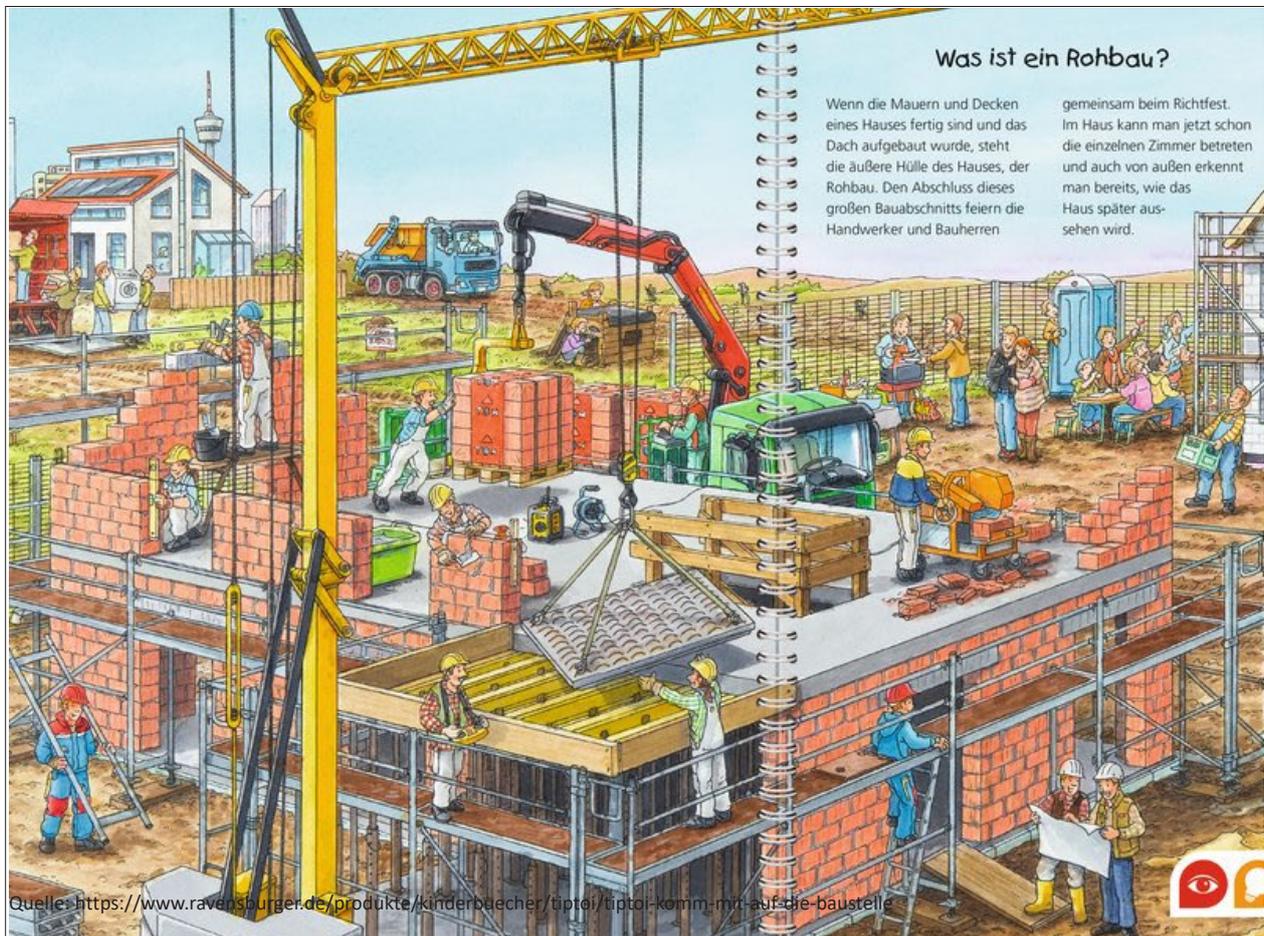
Kostengünstiger und zukunftsfähiger Wohnungsbau unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit.

Prof. Dr.-Ing. Michael Eisfeld
Eisfeld Ingenieure, Kassel

Kostengünstiger & zukunftsfähiger Wohnungsbau unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit

Prof. Dr.-Ing. Michael Eisfeld MSc

1. Aktuelle Marktsituation
2. Forschungsprojekt Variowohnen Kassel mit serieller BIM-Fertigung
3. systemPLAU für den kostengünstigen & nachhaltigen Wohnungsbau
4. Zusammenfassung mit Fazit

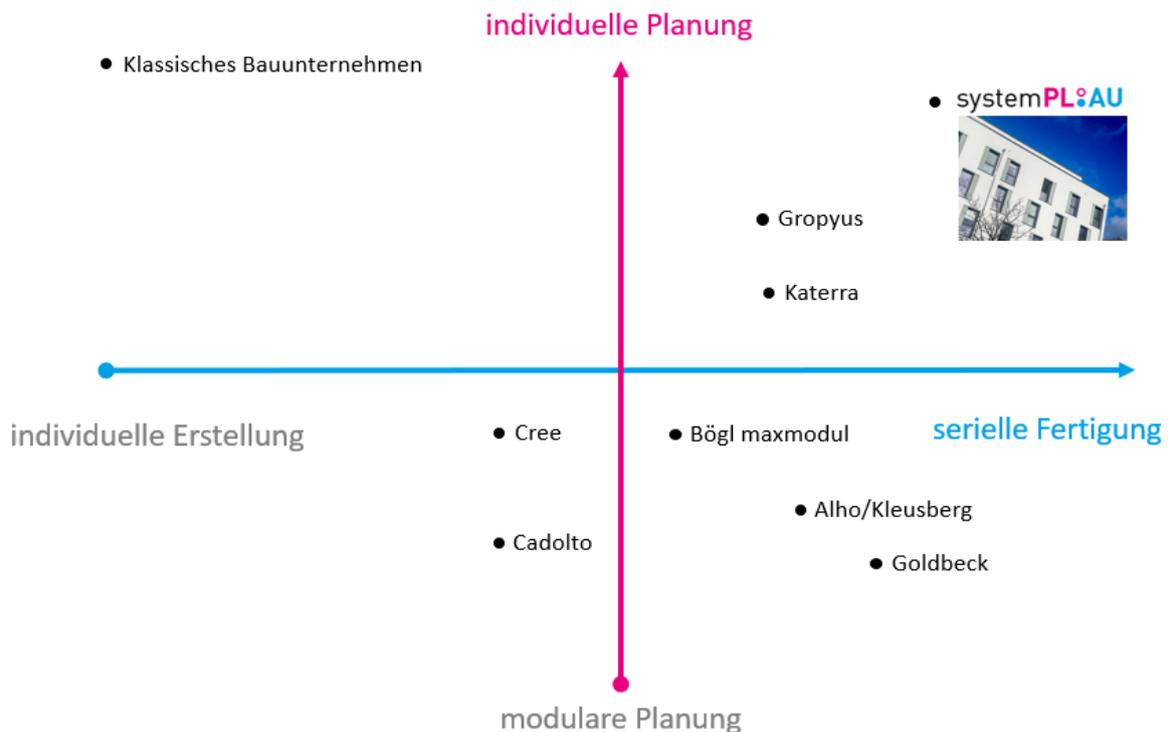


- Fachkräftemangel bei Baufirmen
- Preisanstieg bei Bauleistungen und Materialien
- Bauaufgabe wird durch Regelwerke immer komplexer
- Erhöhter Planungs-/Koordinierungsaufwand
- Große Teile der Wertschöpfung auf der Baustelle durch Handarbeit

→ **Wohnungsbau stagniert stark ab 2022**



- Wohnungsbau schwankt stark mit Baupreientwicklung und Zinsen
- Es werden Unikate geplant & gebaut allerdings ähnlich im Rohbau
- Planung & Bau sind getrennt in Deutschland
- keine Digitalisierung der Wertschöpfungskette → niedriger Informationsdichte
- Vorfertigung/Serienfertigung wird kaum eingesetzt → keine Taktung





Bundesamt
für Bauwesen und
Raumordnung

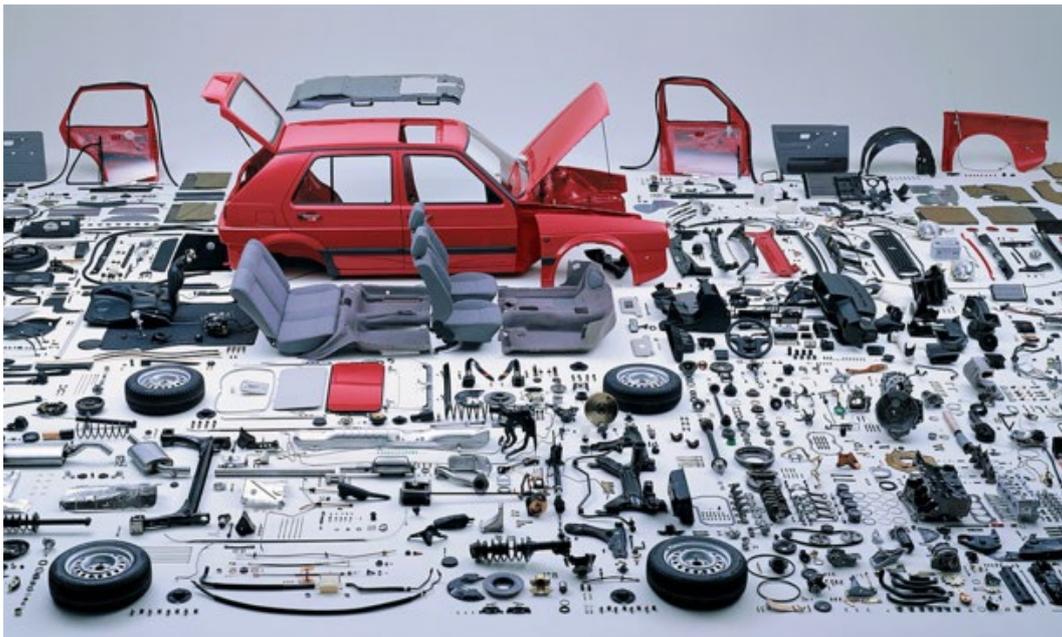
FORSCHUNGSINITIATIVE
Zukunft BAU

WIE WOLLEN WIR IN ZUKUNFT WOHNUNGEN PLANEN & BAUEN?



EISFELDINGENIEURE 75 JAHRE
VISIONÄR DENKEN
LEBENSCHAFTLICH PLANEN

AUTOMOBILINDUSTRIE



Quelle: <https://www.autozeitung.de>



- Verknüpfung von Massenproduktion mit individuellen Produkten
- wesentliches Ziel von Industrie 4.0
 - umfassende Digitalisierung der industriellen Produktion
- Variation durch wenige aus Kundensicht entscheidenden Merkmalen
 - Aussehen, Leistung, Größe und Preis
- Engineer-to-Order (ETO)
 - Teile für jede Kundenbestellung eigens konstruiert und gefertigt

Mehrgeschossige Wohnungsbauten als Bausätze digital konfigurieren

→ Stichwort „YTONG-Bausatzhaus“ bzw. „Systemhaus“

Wertschöpfung von der Baustelle in die Fertigung verschieben

→ Geringer Personalbedarf

Weniger Bauen mehr Montieren

→ Taktung auf der Baustelle möglich

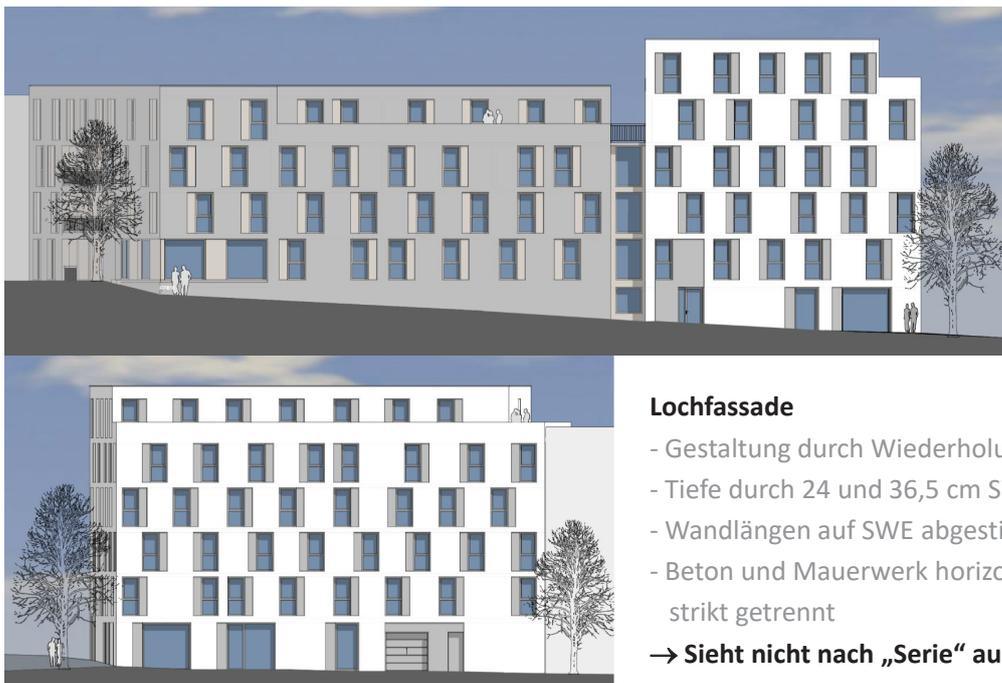
Transparenz/Wertschöpfung zwischen Projektbeteiligten schaffen!

→ **Nachhaltige Qualität bei weniger Kosten und schneller Bauzeit**



Eckdaten

- neues innerstädtisches Quartier
- B-Plan gibt unregelmäßige Kubatur vor
- Gestaltbeirat der Stadt Kassel
- beengte Baustellensituation
- **Für serielles Bauen „mäßig“ geeignet**



Lochfassade

- Gestaltung durch Wiederholung
- Tiefe durch 24 und 36,5 cm SWE
- Wandlängen auf SWE abgestimmt
- Beton und Mauerwerk horizontal strikt getrennt
- **Sieht nicht nach „Serie“ aus**

EISFELDINGENIEURE 75 JAHRE
VISIONÄR DENKEN
LEIDENSCHAFTLICH PLANEN

GRUNDRISSVARIANTEN

Studenten

Familie sozial

Senioren

© Eisfeld Ingenieure AG

KS Bauseminar 2024 | Wohnungsbau

13

EISFELDINGENIEURE 75 JAHRE
VISIONÄR DENKEN
LEIDENSCHAFTLICH PLANEN

BIM & LEAN CONSTRUCTION

- BIM-Modell stellt Projekterfolg dar
- transparente Verfolgung von Zielkonflikten über Modell
- Zwilling ist projektspezifische Konfiguration von BIM-Bauteilen

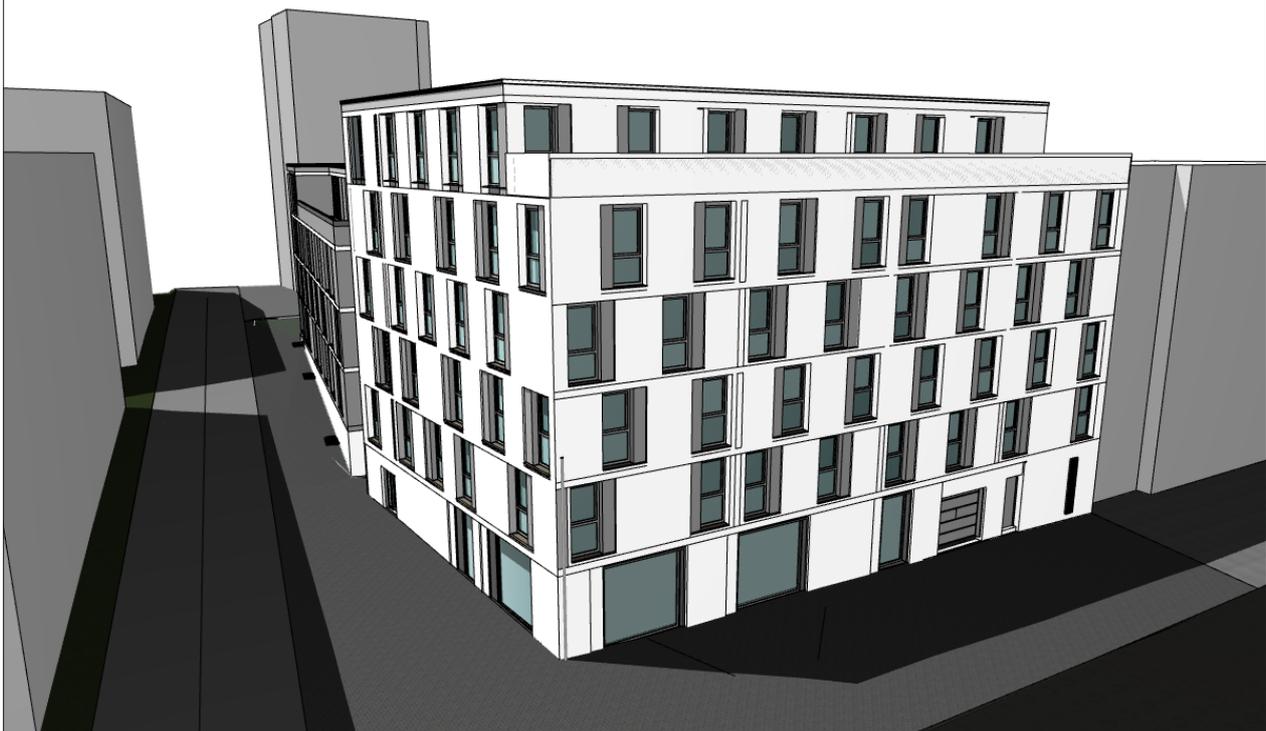
© Eisfeld Ingenieure AG

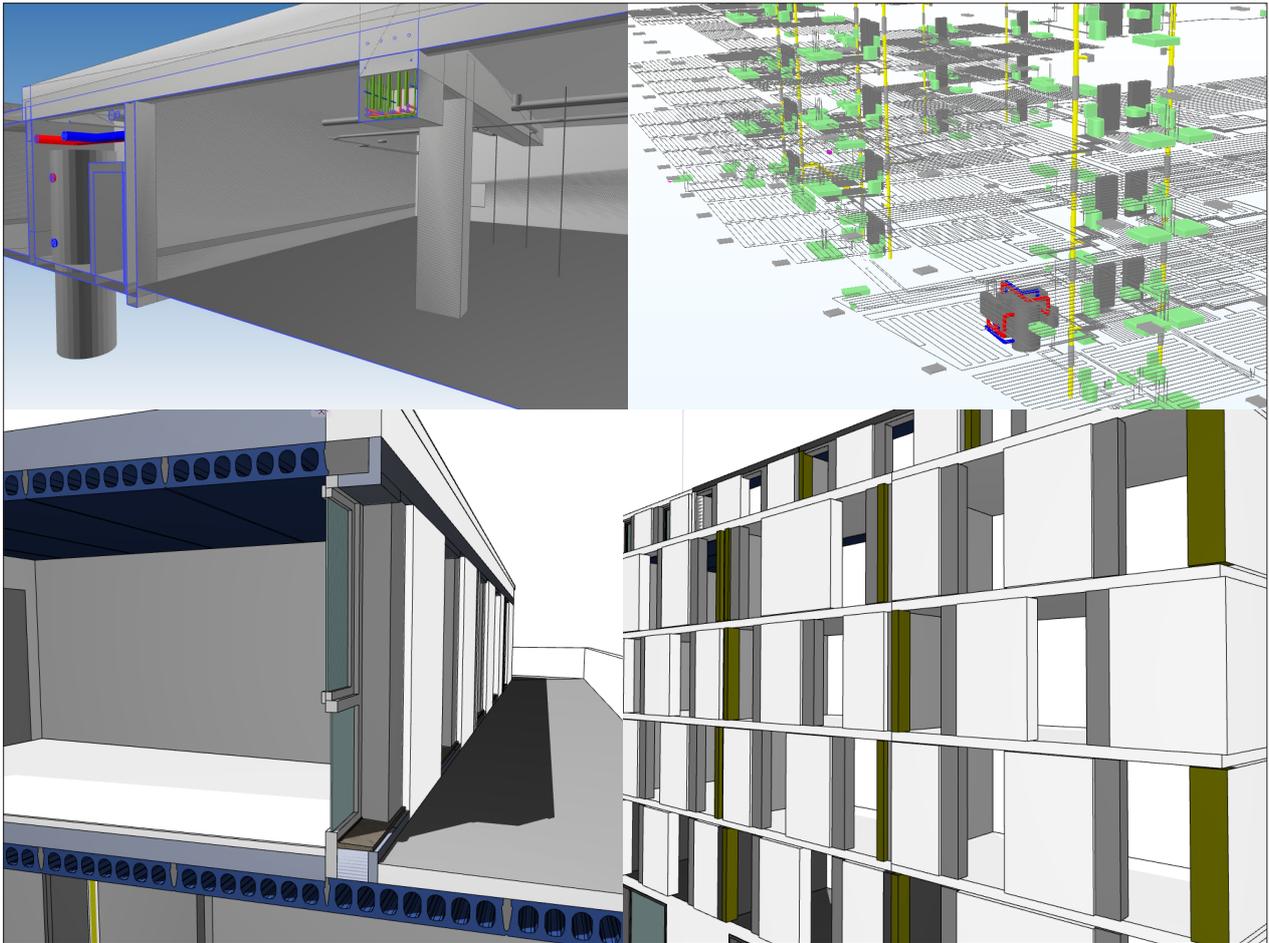
KS Bauseminar 2024 | Wohnungsbau

14

BIM steht für die digitale Abbildung aller architektonischen, technischen, physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks in einem zentralen Datenmodell.

[VDI Koordinierungskreis BIM]





↓ Kosten

- Bauprodukte unterliegen nicht so stark den Marktschwankungen
- produktbasierte Planung reduziert Aufwand bei Baufirma
- Werkfertigung ist günstiger als Herstellung auf Baustelle wenn gut transportierbar

↓ Zeit

- BIM-Bauteile aus serieller Fertigung erlauben Baustellentaktung
- Serielles Bauen erhöht Baugeschwindigkeit
- Wenig Abstimmungs-/Freigabebedarf

↑ Qualität

- Höhere Qualität durch Fertigung im Werk
- Planung fließt direkt in Fertigung ein
- Optimierte Bauweise im System mit weniger Materialverbrauch



systemPL:AU

variabel Planen und Bauen

ist eine Lösung für
schnellen, kostengünstigen und nachhaltigen Wohnungsbau

ist digitales serielles Planen und Bauen
mit Elementen im System

ist technische und architektonische Qualität
mit flexiblen Grundrissen und Fassaden

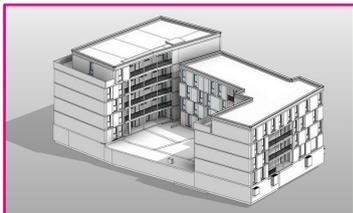
© Eisfeld Ingenieure AG

KS Bauseminar 2024 | Wohnungsbau

19

EISFELDINGENIEURE 75 JAHRE
VISIONÄR DENKEN
LEIDENSCHAFTLICH PLANEN

KEYFACTS



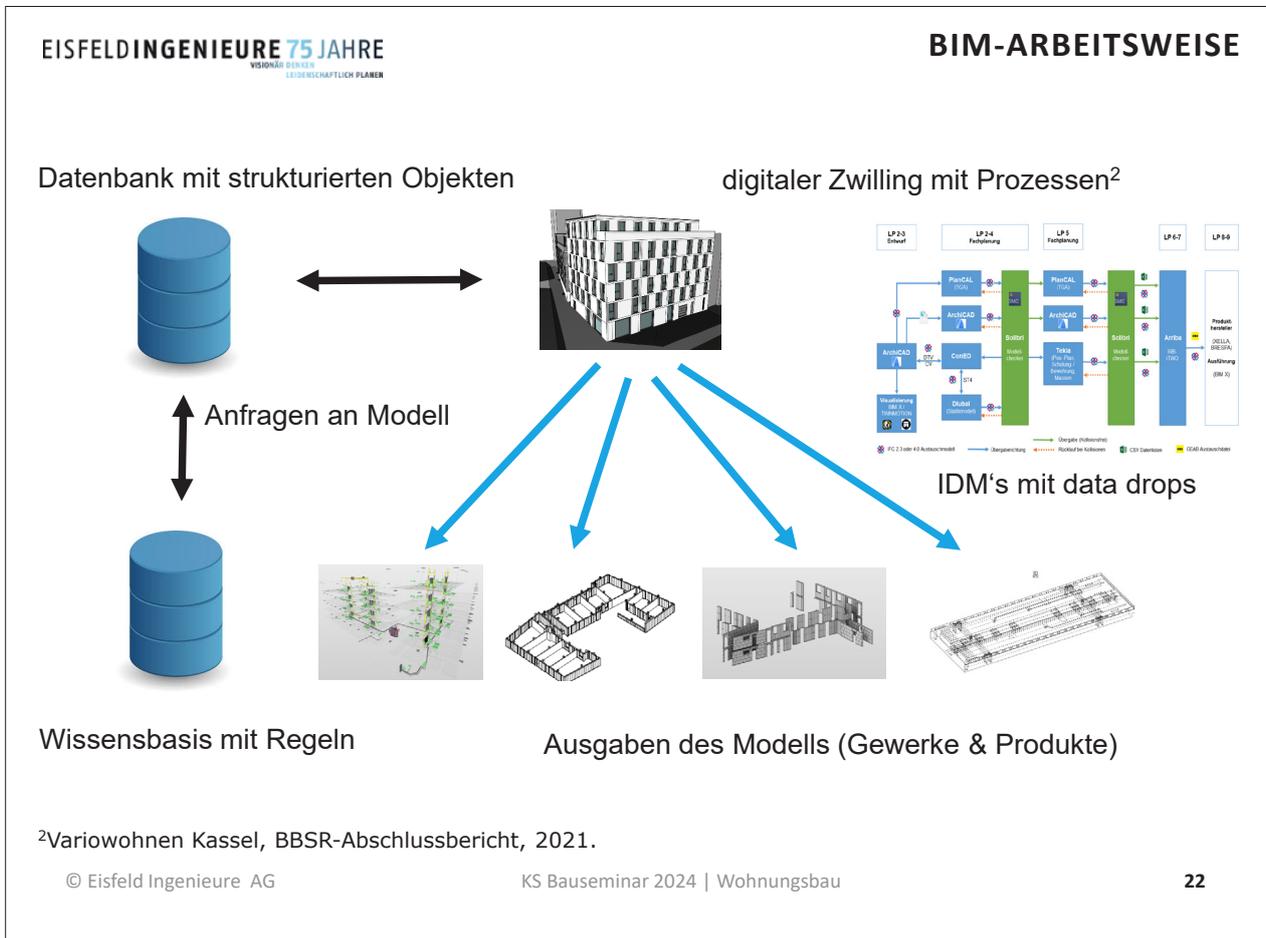
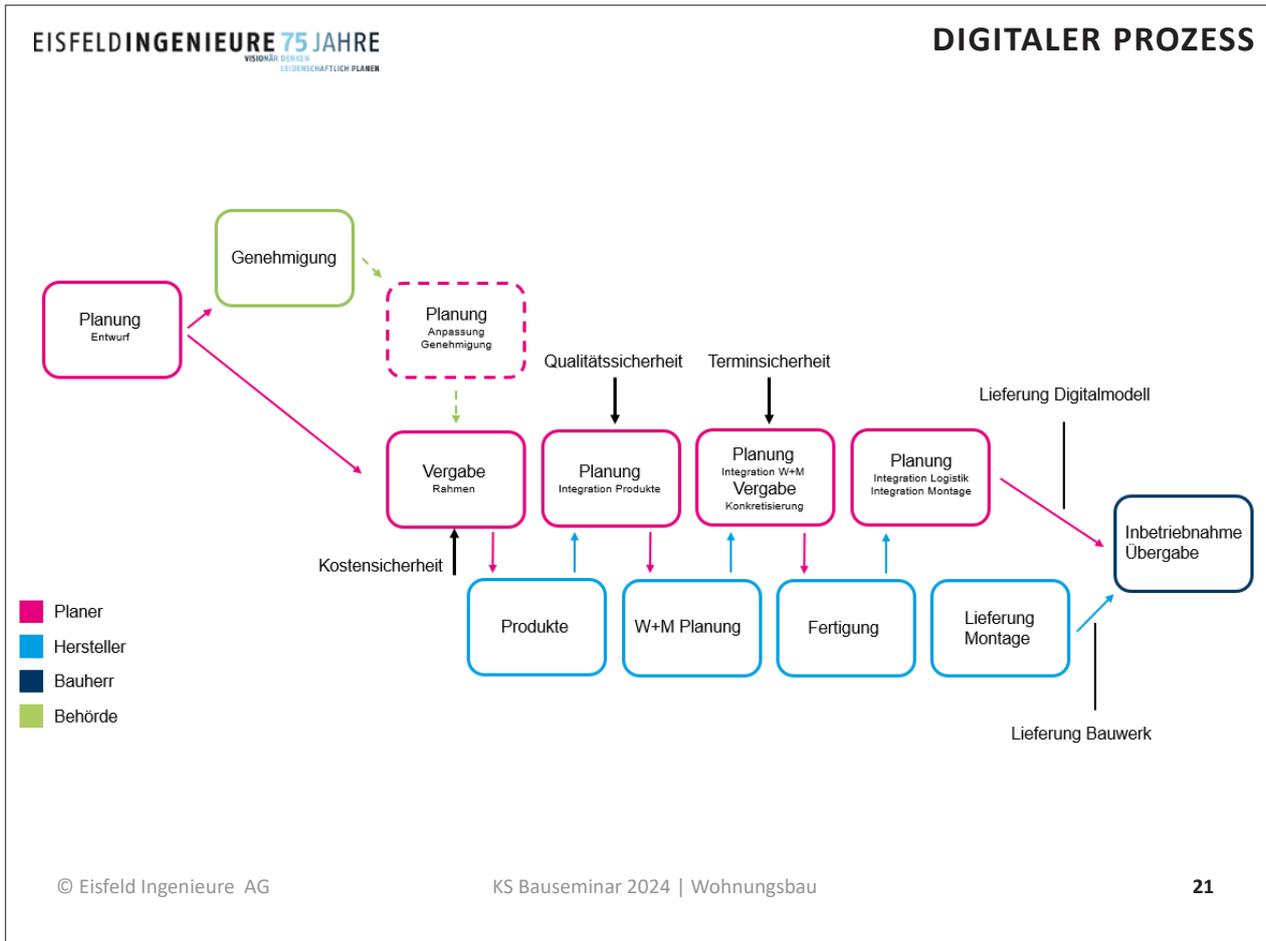
1. Integration digitale, serielle Planung & Montage von vorgefertigten Wohnungsbauten aus Standardelementen
2. Transparente Projektabwicklung für den Bauherrn mit festgelegten Preisen und Qualitäten
3. Digitaler Wohnungsbau als BIM-Zwilling für Betrieb, Erhaltung und Portfolio-Management
4. Nachhaltige Bauweise mit Ytong-Elementen und Holzhybriddecken/Hohldielen unter Berücksichtigung von CO₂-Äquivalenten¹

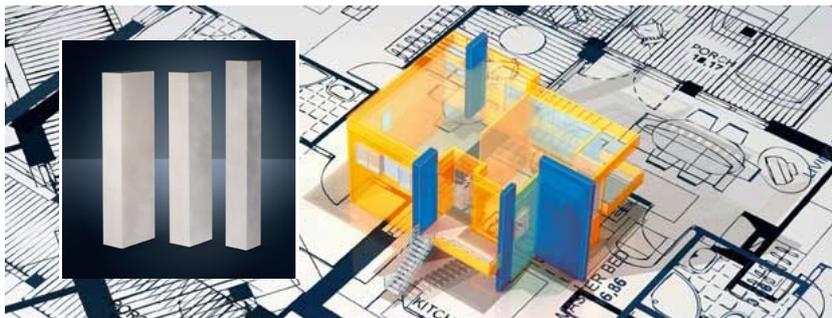
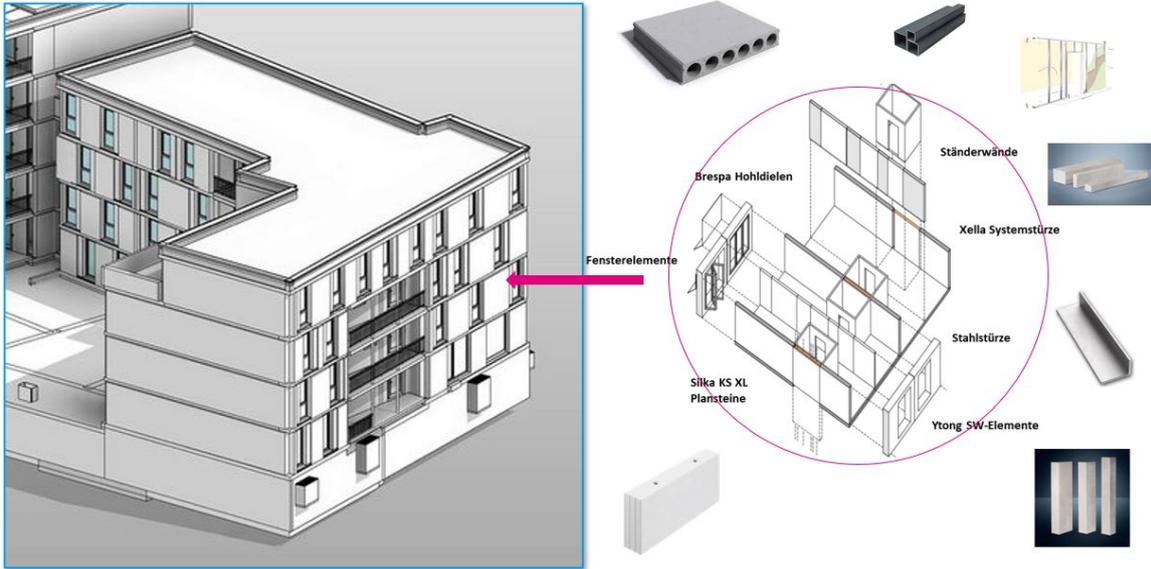
¹LCEE Kurzstudie, Recarbonatisierung von Mauerwerk, 2022.

© Eisfeld Ingenieure AG

KS Bauseminar 2024 | Wohnungsbau

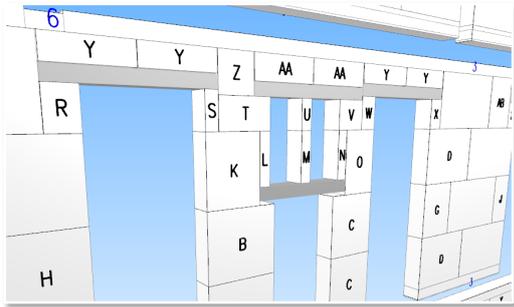
20





- diese sind vordefiniert mit ihren Eigenschaften
 - werden nur projektbezogen angepasst
- **Alle Informationen zu Kosten, Zeit und Qualität im Gebäudemodell = digitalen Zwilling**

VORTEILE BIM-BAUTEILE BEIM ROHBAU



Modellübergabe und Produktion

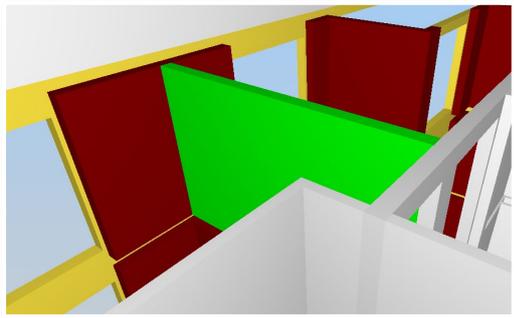
Bereitstellung des Mauerwerksmodells in LOD 400 und Produktion auf Modellbasis

Bauablauf

Bauteilbasierte Planung des Bauablaufs nach Gebäude, Stockwerk, Wand

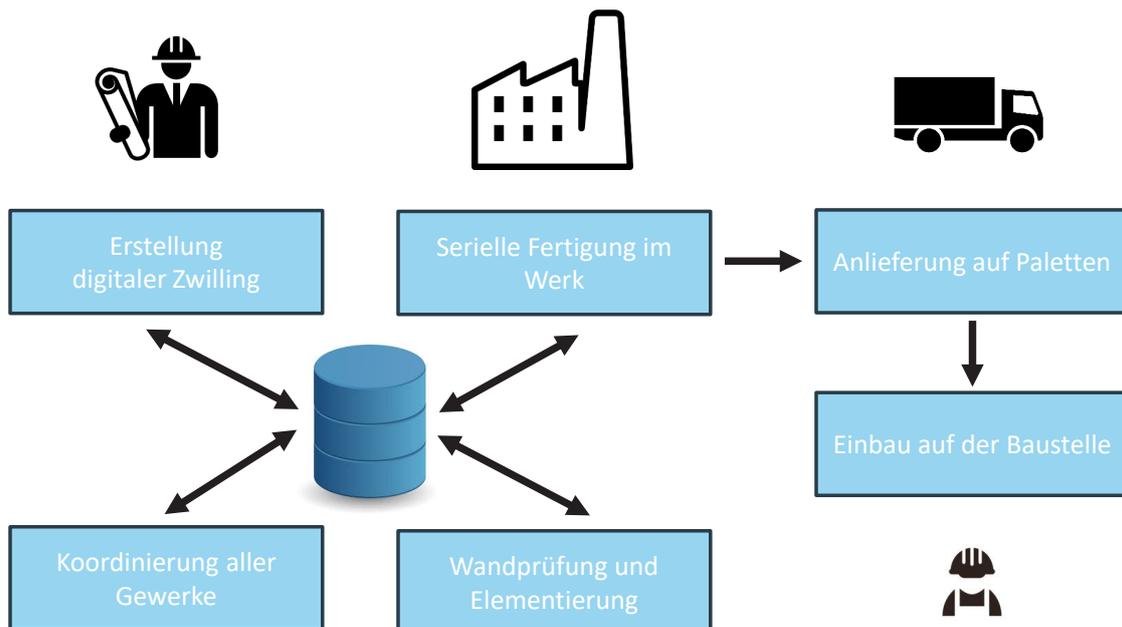
Logistik

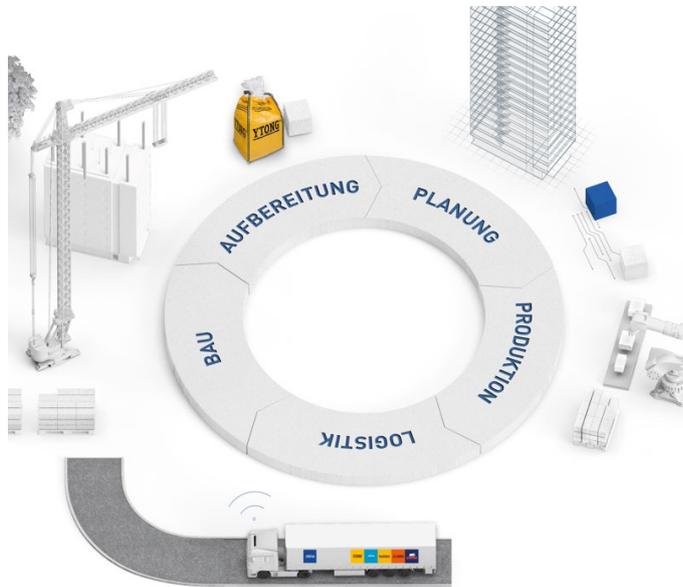
Bereitstellung der Daten und Mengen



INFORMATIONEN						
Wand.8.817						
Allgemein		Analytische Eigenschaften				
Identifikation	Position	Mengen	Material	Profil	Beziehungen	Kla
Layer						
Materialien und Oberflächen						
Eigenschaft						Wert
IMP_Bauteil						WS
IMP_Bauwerk						H7
IMP_Disziplin						RB
IMP_Geschoss						03_OG
IMP_Lage						I
IMP_Subgruppe						MW
IMP_Zone						2.BA

PLANEN-PRODUZIEREN-BAUEN am Beispiel eines Systemwandelementes





Umwelt-Produktdeklaration

EPD - Enviromental Product Declaration

Datenanalyse

Eigenschaften und Kennzahlen können im BIM Modell hinterlegt und zur Analyse verwendet werden.

Materialdatenbank über Lebenszyklus

Bauelemente nachverfolgbar und rückbaubar zur Wiederverwendung

UMWELT-PRODUKTDEKLARATION	
nach ISO 14025 und EN 15804	
Deklarationshaber	Xella Baustoffe GmbH
Herausgeber	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU)
Programmhalter	Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU)
Deklarationsnummer	EPD-XEL-20180168-IBU-DE
Ausstellungsdatum	11.03.2019
Gültig bis	10.03.2024
Multipor Mineraldämmplatte Xella Baustoffe GmbH	



1. ca. 20% weniger CO₂ (abhängig vom Deckensystem und Betonanteil)
2. bis 30% günstiger im Rohbau + Einsparpotential im Ausbau
3. bis 40% Zeitersparnis im Rohbau
4. individuelle Grundrisse und freie Fassadengestaltung
5. hohe Maßhaltigkeit durch industrielle Vorfertigung
6. weniger Emmission auf der Baustelle
7. digitale Dokumentation (Taxonomie Anforderungen)

- + kostengünstigere Rohbaukonstruktion als in Holzbauweise
- + Nachhaltigkeit durch Aufnahme von bis zu 60% verbrauchtes CO₂
- + Erheblich schnellere Rohbauerstellung (gesamte Durchlaufzeit)
- + Keine Trockenzeiten nur durch Kleben
- + Einhaltung von Brandschutzvorschriften unproblematisch
- + Günstige Montage durch den Entfall von speziellen Facharbeitern
- + hohe Vielfalt in der Architektur noch möglich (nicht wie Module)
- + hohe Schallschutz- und Wärmeschutzanforderungen möglich
- + Fehlerquellen/ Wärmebrücken durch Zwilling gut auszuschließen



- + keinerlei Anfälligkeit gegen schlechte Witterung, da keine hygroskopischen Dämmstoffe verwendet werden
- + keine Wärmebrücken/Leckagen durch die nachfolgenden Ausbauarbeiten in Dampfsperren durch monolithische Bauweise
- + einfacher Rückbau durch wenig verbaute Materialien
- + herkömmlich verwendbare mineralische Putze veralgeln weit weniger als WDVS-Putzsysteme
- + auf Innenputz kann verzichtet werden (nur Spachtelung)
- + Höhere Qualität des Rohbaus durch serielle Vorfertigung





Wohnungsplanung für verschiedene Zielgruppen

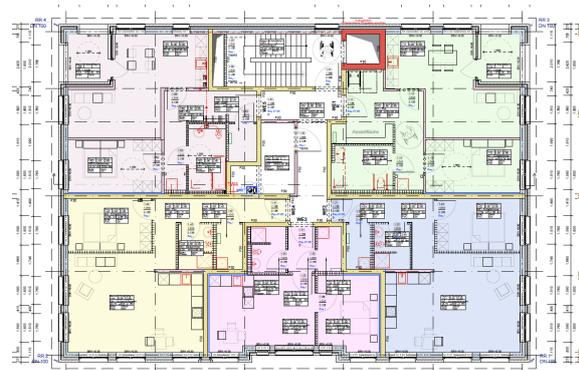
Optimierung der Bauteile in Hinblick auf Materialverbrauch (Decken und Wände)

Strikte horizontale Trennung der Bauteile

Sinnvolle Stützweiten und Minimierung tragende Wände

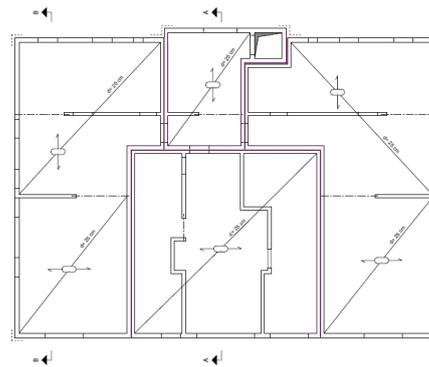
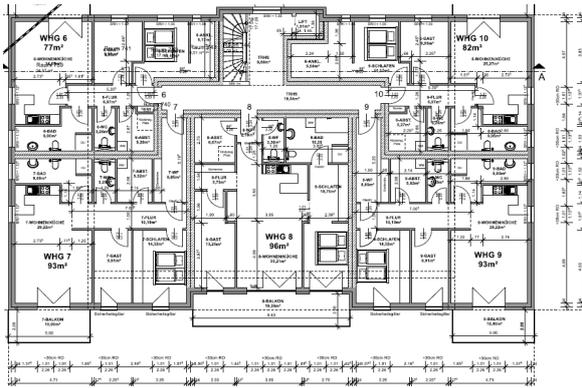
Elemente mit wenigen betonierten Verbindungen

Wirtschaftliche Nutzung von Holz-/Holzbetonhybrid (z.B. Decken)



Beachte:

- gerade direkter Lastfluss
- sinnvolle Stützweiten der Decken
- geeignetes Deckensystem für Grundriss
- Nutzung von Vorspannung oder Überhöhung
- Reduzierung Eigengewicht durch genaue Schall- und Verformungsbetrachtung



Beachte:

- Einschalig wo möglich und Reduzierung der Fugen
- Mauerwerk nutzen wo es geht statt Beton (z.B. Treppenhaus und Aufzug)
- Wandstärken genau auf Anforderungen aus Bauphysik abstimmen
- Minimierung und detaillierte Berechnung der Wärmebrückenverluste
- Wandlängen frühzeitig auf Steinmaße abstimmen wegen Verschnitt



Serienfertigung und individueller Wohnungsbau sind kein Widerspruch
→ **Durch System entsteht Mannigfaltigkeit im Großen**

BIM-basierter Lean Construction Ansatz schließt jetzige Marktlücke beim Rohbau
→ **Veränderung der Ausschreibungen/Vergaben**

Digitaler Zwilling ist Basis für gemeinsamen Projekterfolg bei systemPLAU
→ **Enge Kooperation zwischen Planer/Produkthersteller/Montage**

Holz als Ressource: Unendlich verfügbar?

Dipl.-Ing. Werner Eicke-Hennig
Energieinstitut Hessen, Frankfurt



ÖKOLOGIE DER WALDNUTZUNG (1) Die aktuelle Debatte um den Holzbau fragt nicht nach der Verfügbarkeit von Holz. Nachwachsend wird als unbegrenzt vorhanden und die ökologische Funktion der Wälder nur als nutzbarer Kohlenstoffspeicher verstanden. Das Holz-Hochkonsumland Deutschland setzt Holz zunehmend im Namen der Ökologie für neue Anwendungen ein, obwohl schon heute die Nachfrage das Angebot übersteigt. *Werner Eicke-Hennig*

Zwischen 1998 und 2021 stieg der Holzeinschlag in Deutschland um das 2,1-fache. In den letzten fünf Jahren betrug der Anstieg bereits 12 % pro Jahr. Die Einschlagsmenge stieg in den 23 Jahren von 39 Mio. m³ auf rund 83 Mio. m³ Rundholz und reichte doch nicht aus – längst wurde das an Wald fünf-reichste Land Europas zum Netto-Holzimportland.

Der als Holzfußabdruck bezeichnete deutsche Inlandsholzverbrauch (Abb. 1) überstieg 2021 mit 104 Millionen m³ (ohne Rinde) den mittleren jährlichen Holzeinschlag der WEHAM-Szenarien von 76 Mio. m³ pro Jahr. Der Einschlag sprengt immer häufiger die Nachhaltigkeitsgrenze von 80 % des Zuwachses, da in Folge der Klimakrise viel mehr Kalamitätenholz ungeplant anfällt. Deutschland gehört als Holz-hochkonsumland mit 1,2 m³ Holz pro Kopf zur internationalen Spitze: Unser Holzverbrauch liegt um das Zweifache über dem Weltdurchschnitt und übertrifft beispielsweise Asien um das Sechsfache. Erreichten alle Länder der Welt dieses Verbrauchsniveau, stiege der globale Holzverbrauch von 4 Mrd. m³ auf 12,4 Mrd. m³ pro Jahr [1].

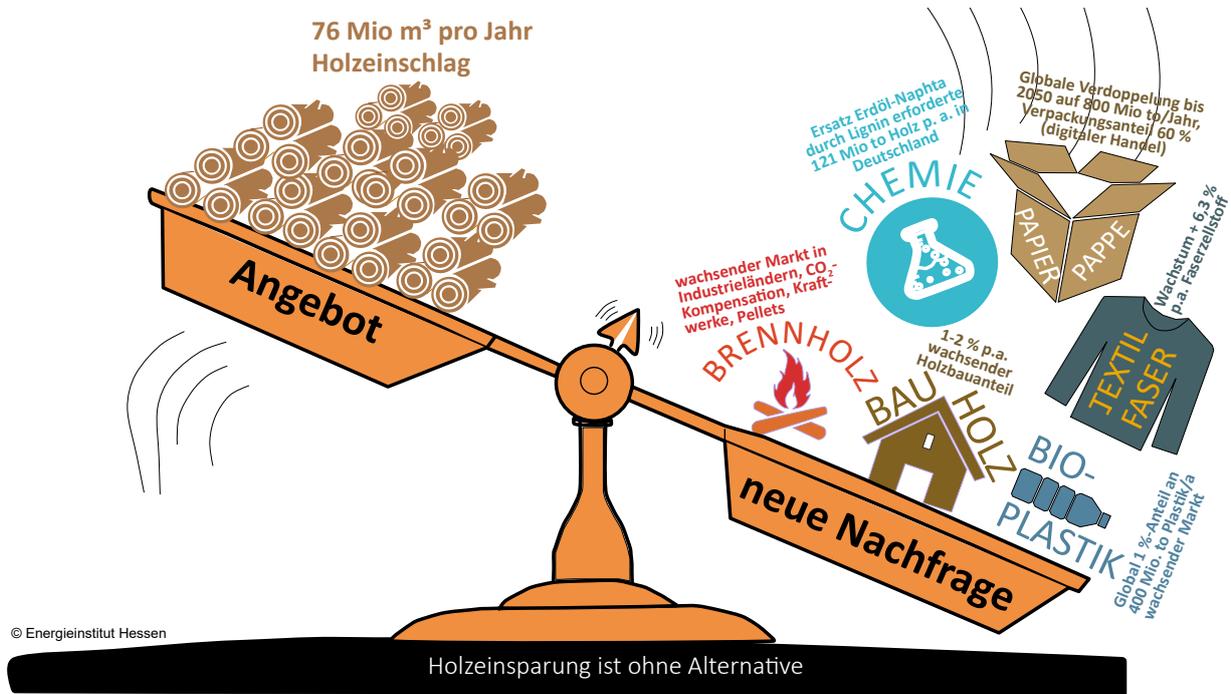
Baustoff Holz – der überforderte Öko-Rettungsanker

Dem nicht genug – trotz der bereits heute viel zu intensiven Holznutzung forschen neben dem Bauwesen auch andere Branchen an neuen Materialanwendungen im Sinne der „Bioökonomie“ (Abb. 2). In den Sektoren Chemie, Bekleidung, Verpackung für Internethandel, Bioplastik und Energieholz gilt Holz als der Rettungsanker und soll Öl und Gas sowie die mineralischen Baustoffe ganz oder teilweise ersetzen [2].

Wachstumssteigernd wirkt auch der internationale Holzhandel. Längst keine Einbahnstraße mehr, bescherte er uns im Jahr 2021 Preissteigerungen für manche Holzprodukte um bis zu 700 %. Die Versorgungslage und die Preise werden immer unkalkulierbarer. Seit drei Jahren steigt der ungeplante Anfall von Kalamitätenholz in Deutschland stetig an und erreichte 2021 rund 75 % des Einschlags.



1 Der deutsche Holzfußabdruck 2021 zeigt: Hierzulande wird mehr Holz verbraucht als in unseren Wäldern eingeschlagen.



2 Bioökonomie - neue Wachstumfelder mit neuem Druck auf die Wälder

Klimastress steigt, Anbauflächen sinken

Die Wälder sind im Stress. Sogar die tiefwurzelnden Buchen weisen bereits Kronenschäden auf – inzwischen bei rund der Hälfte des Baumbestandes. Waldschädigende Ereignisse treten in immer kürzeren Abständen auf: Waldbrände, Sturmschäden, Austrocknung, Schädlingsbefall. Ohne gezielte beschränkende Maßnahmen beim Holzeinschlag bewirkt nicht die Politik, sondern der Klimawandel einen Rückgang der Holzproduktion: Es werden weltweite Kapazitätsreduktionen bis zu 35 % oder fast 1,5 Mrd. Kubikmeter Holz (m. R. = mit Rinde) pro Jahr prognostiziert. Notverkäufe von Kalamitätsholz minimieren die Erlöse und erschweren somit die Wiederaufforstung von privaten Wäldern, die immerhin 43 % der deutschen Waldfläche ausmachen. Zudem verebbt mehr und mehr die einst hohe Holzangebotswelle aus den umfangreichen Neuanpflanzungen nach 1945 [3]. Die Anbauflächen der nun kommenden Holzjahrgänge sind um 30 % bis 50 % kleiner, und der zugleich gestiegene Anteil an Buchen ist um ein Drittel ertragsärmer als Nadelholz.



Bild: Pixabay Ojkmuna

Gleichzeitig wird der EU-Biodiversitätsschutz (EUBDS) voraussichtlich das Nutzholzangebot bis zum Jahr 2050 zwischen 10 und 58 Prozent reduzieren [4]. Die neuen Montrealer UN-Beschlüsse zur Biodiversität stellen 30 % aller Land- und Meeresflächen unter Schutz, Europas geschützte Landflächen machen bisher nur 10 % aus.

Holz reicht nicht für Alles

Angesichts dieser Lage stellt die Studie „Alles aus Holz“ [5] die richtige Gretchenfrage: „Kann Holz verwendet werden, um unsere Häuser zu bauen, unsere Wärme- und Stromnetze mit Strom zu versorgen, uns zu kleiden, unsere Lieferungen zu verpacken und unsere Kunststoffe gleichzeitig zu ersetzen?“ Die darauf gegebene Antwort legt die Axt an die Annahme, Holz stünde als nachwachsende Ressource stets ausreichend zur Verfügung: „Nein, Holz kann nicht für alles verwendet werden.“ Alarmierend setzen die Autoren der

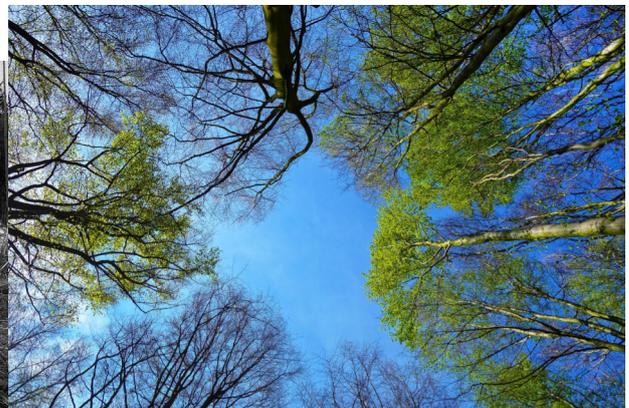


Bild: Pixabay Mabel Amber

Abb. 3 und 4: Nicht nur der hohe Verbrauch reduziert langfristig den Waldbestand, auch die Klimafolgen machen dem Wald zu schaffen: Waldbrände, Sturm, Borkenkäfer- und Kronenschäden durch Trockenheit. Der resultierende Noteinschlag drückt die Verkaufspreise, reduziert die Erlöse und erschwert die Finanzierung neuer Pflanzungen.

Studie [6] hinzu: „Würden wir in Deutschland alle mit Holz bauen, würde kaum mehr inländisches Holz für die anderen Sektoren zur Verfügung stehen.“ Eine Studie im Auftrag des UBA stellt zudem fest [7]: „eine Erhöhung der Holzbauquote ohne Importe, sondern nur mit Zunahme der heimischen Waldfläche (wird) als unrealistisch eingeschätzt.“

Bauwende ohne Konzept

Von all dem unberührt, arbeiten gesellschaftliche Kräfte an der neuen Bioökonomie „Holzbau“. Das nachrangige und lösbare Problem der Grauen Energie in Deutschland wurde zur dringlichen „Bauwende“ zugespitzt. Architektenverbände und Klimaschützer fordern die Senkung der CO₂-Emissionen bei der Baustoffherstellung und übersehen nicht nur, dass die Baustoffindustrie dieser zunehmend Rechnung trägt, sondern dass sie dem verstaubten Gedanken der „bewussten Baustoffwahl“ aus den 70er Jahren aufsitzen [8].

Dieser soll nun vom hohen Katheder aus den Holzbau favorisieren. Man knüpft an dessen Wachstumsraten der letzten fünf Jahre an, die zwischen 4 bis 14 % per anno lagen. In der mittleren Rückschau zeigen sich indes Volatilität, Schrumpfungphasen und starke Abhängigkeit von der Wirtschaftsentwicklung. Getragen wird der Holzbau zu 85 % vom kostengünstigen EFH als Fertighaus, keineswegs vom neuen Willen zur CO₂-Einsparung. Mit Schlagworten wie natürlich, nachhaltig und wohngesund, CO₂-speichernd und nachwachsend trifft man politikergerecht ins Schwarze und schon strebt die EU-Präsidentin das „Bauhaus Europas“ an und will 3 Mrd. Bäume pflanzen, nur noch vom deutschen „Bauhaus der Erde“ und dessen Ziel von 500 Mrd. Baumpflanzungen weltweit übertrumpft. Fast 80.000 kleine Firmen des Bauhauptgewerbes, ihre Zulieferer, die Baustoffhersteller und die Grundstofflieferanten lebten fortan vom Wald – oder verschwänden vom Markt.

Der Aktion fehlt neben einer Stimmigkeit vor allem das Konzept. Schon die Legende, auf die man sich beruft, ist falsch: Das „Bauhaus“ der Weimarer Zeit stand für bezahlbaren industriellen Massenwohnungsbau in Massivbauweise und war keineswegs der Träger des „Neuen Bauens“, es gab eher hässliche Geschichten zwischen den beiden Antipoden [9]. Auch wurde das schon damals knappe und teure Bauholz in der Industrialisierung nicht „vergessen“, sondern endlich gegen ausreichend verfügbare und billigere Massivbaustoffe ausgetauscht. Das sagt viel über die vermeintlich kluge Rückkehr zum Holzbau aus.

Ein Problem wird erzeugt

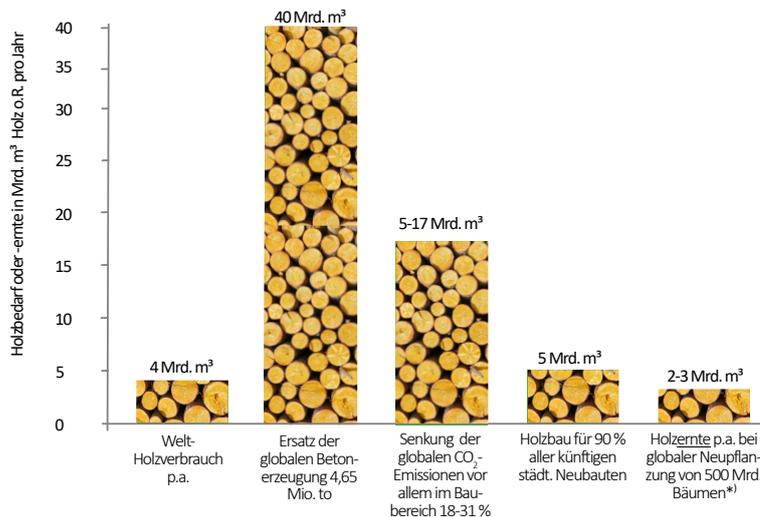
Als 2020 eine internationale Wissenschaftlergruppe den ersten Satz ihres Artikels formulierte: „Der Bausektor ist weltweit für 39 % der prozessbedingten Treibhausgasemissionen verantwortlich...“ [10], konnten sie von seiner unglücklichen Rezeption in Deutschland noch nichts ahnen. Deutsche Umweltgruppen kommunizierten fortan, die Graue Energie habe einen Anteil von 39 % am CO₂-Ausstoß. Zum großen Problem erkoren, hatte man mit dem Holzbau auch gleich dessen Lösung parat. Nur fleißige Leser erfuhren auf den hinteren Seiten des Textes, wie sich diese Zahl um 70 % reduzierte: „Nach

Angaben der IEA entfielen 2017 auf die Herstellung und Verwendung von Materialien für den Bau und die Renovierung von Gebäuden 11 % der weltweiten energie- und prozessbedingten CO₂-Emissionen.“ Auch [11] kommt mit der Berechnung von 9,5 Mt CO₂/Jahr oder 8 % der Emissionen des verarbeitenden Gewerbes in puncto CO₂-Emissionen, bezogen auf die Graue Energie im Wohnungsbau, zu ähnlichen Resultaten.

Was aber kann und welche Holzmengen braucht diese Bauwende ohne Konzept? Es mehren sich die kritischen Studien, die verhindern wollen, dass sich der Weg zum Holz als Holzweg entpuppt. Ihre Zusammenfassung in [12] zeigt: Die erforderlichen Holzmengen und die Auswirkungen eines wachsenden Holzverbrauches auf den Wald bleiben in vielen Veröffentlichungen unberücksichtigt.

Holz kann Beton nicht ersetzen

Wollte man nur 0,1 Masse-% des global verbauten Betons durch Holz ersetzen, bedingte eine solche Strategie nach [13] rund 40 Mio. m³ Holz pro Jahr. Die Substitution der globalen Betonmenge von jährlich 4,65 Mrd. Tonnen Zement nebst 30 Mrd. Tonnen Zuschlagstoffen benötigte mehr als 40 Milliar-

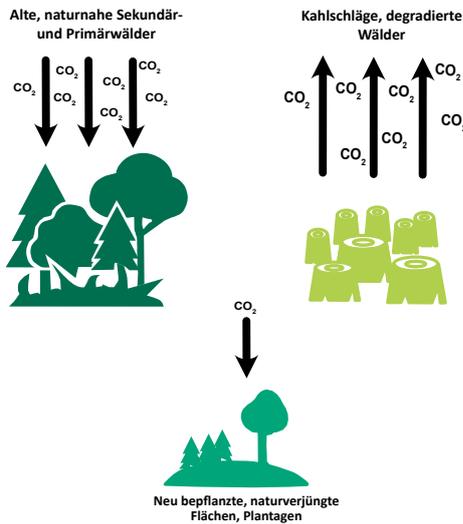


5 Globaler Holzverbrauch und wachsender Bedarf durch Holzbau. Das Sternchen ganz rechts verweist auf einen Vorschlag für Neupflanzungen des „Bauhaus der Erde“. Bild: Energieinstitut Hessen

den Kubikmeter Holz, also das 10-fache der weltweiten Holzentnahme von vier Milliarden Kubikmetern pro Jahr (ohne Rinde).

Die Autoren Oliver et.al. [14] zeigten 2014, „durch die Verwendung von Holzersatzstoffen (könnten) 14 bis 31 % der globalen CO₂-Emissionen und 19 % des Verbrauchs fossiler Brennstoffe“ eingespart werden. Das größte Einsparpotenzial sehen sie durch vermehrten Holzbau, global wären jährlich bis zu 17 Mrd. m³ Rundholz (ohne Rinde) vonnöten, immerhin das 4,25-fache der bisherigen globalen Holzermenge. Darstellbarkeit und Folgen für die Wälder wurden nicht untersucht, ebensowenig wie die Auswirkungen auf andere holznutzende Industriezweige.

Churkina et. al. [15] untersuchten die Einführung der Holzbauweise bei 90 Prozent aller künftig weltweit errichteten städtischen Neubauten mit dem Ergebnis von 5 Mrd. m³ Rohholzbedarf pro Jahr (ohne Rinde), mehr als die heutige Welt-Holzernte. Dies senkte die CO₂-Emissionen bei der Grauen Energie um 50 Prozent. Die Studie hält ihre Szenarien für darstellbar und fordert gesetzliche Maßnahmen ein.



Zustimmung: Energiewirtschaftswissen aus: WWU Münster/ Institut, Holz, Holz, 2022

6 Neu gepflanzte Bäume binden auf Jahrzehnte weniger CO2 als alte Primärwälder

Decarbonisierung greift auf Holz zurück

Der den Holzbedarf auf einen einzigen Wachstumsfaktor reduzierende Blick bedarf der Erweiterung auf die konkurrierenden Holzsektoren. Die deutsche Chemieindustrie legte 2021 ihre Roadmap zur Decarbonisierung ihrer Branche vor. Die Umstellung der Olefin- und Aromatenproduktion von Öl auf Lignin erforderte jährlich 121 Mio. Tonnen oder 178 Mio. m³ Rohholz – also das 2,3-fache des jährlichen deutschen Holzeinschlags von rund 76 Mio. m³ [16]. Biochemie oder Holzbau? Man wird sich entscheiden müssen.

Beim Ersatz mineralischer Baustoffe gibt es technische Beschränkungen für den Holzeinsatz. Der Verein Deutscher Zementwerke e.V. gibt den Anteil des Betons für Tief- und Verkehrsbauten mit 33 % an [17]. Beträchtliche Teile der Gebäude und Betonanwendungen sind durch Holz nicht zu ersetzen (Tiefbau, Verkehrswegebau, Keller, Fluchttreppenhäuser). Eine Zusammenfassung Schweizer Untersuchungen der Grauen Energie in Wohngebäuden zeigt: Rund 30 % der Herstellungenergie von Wohngebäuden entfallen auf Massivkeller und Fundamente. Nichtwohngebäude aus Holz sind in der Regel Hybridgebäude mit einem hohen Massivbauanteil [18].

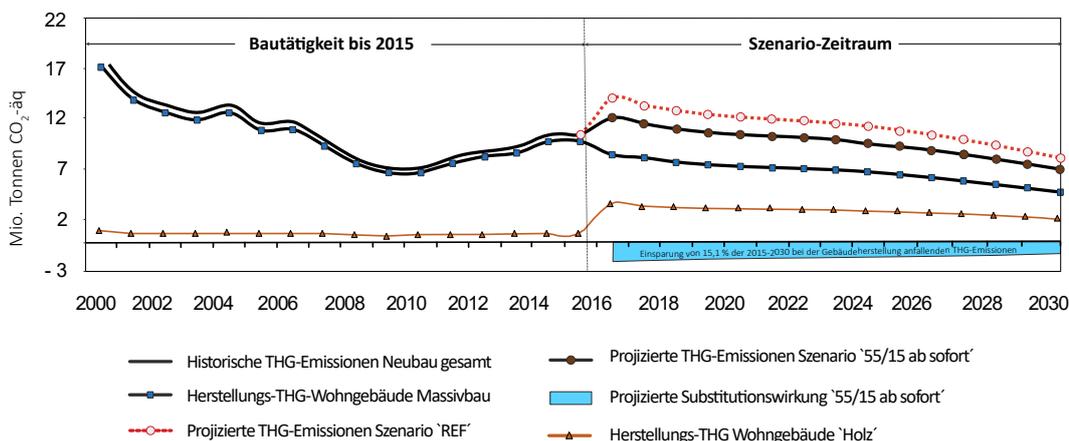
Fazit: Der Holzbau wird der bioökonomischen Zielvorstellung

einer ökologischen „Holz-Bauwende“ nicht gerecht. Die Verfolgung dieses Zieles überschreite beim Holz global die „Grenzen des Wachstums“. Es drohte weltweit eine weitere Entwaldung mit allen negativen Folgen. Schon das Teilziel, Beton durch Holz zu ersetzen, kann weder in Bezug auf die Bedarfe noch aufgrund technischer Anwendungszwänge gelingen. Eine Problemverlagerung drohte beim CO₂, schneide der Holzbau die bisherigen holzbasierten Industrien von ihrem Rohstoff ab und die Ersatzrohstoffe erhöhten den CO₂-Ausstoß – und die Preise.

Berechnung der CO₂-Einsparung durch Holzbau

Mit [19] liegt das bisher einzige Szenario über die Treibhausgasbilanz eines verstärkten Holzeinsatzes im Wohnungsbau Deutschlands vor. Die Szenarien des Thünen-Instituts nutzen die jährlichen Neubauraten der Wohnungsprognose des BBSR von 2016 bis 2030. Die CO₂-Einsparung durch Holzbau errechnet sich durch Differenzbildung (Substitutionsmethode) zwischen gleichartigen Holz- und Massivbautypen sowie den unterschiedlichen Holzbauquoten in Referenz- und Zielszenarien. Die Berechnung der Gebäude ohne Keller beeinflusst das Ergebnis relativ um etwa 20 % zugunsten des Holzbaus. Durch gleiche wärmetechnische Ausstattung der Holz- und Massivbauten konnten die CO₂-Emissionen der Gebäudeheizung unberücksichtigt bleiben. Dargestellt sind die CO₂-Emissionen für die Errichtung, Instandhaltung sowie den Rückbau und hier die Minderung durch den Holzbau. Berücksichtigt wird nur das Holz für die Konstruktion und Dämmung, nicht der Anteil des Innenausbaus. Die Kohlenstoff-Speicherung des Holzes wird in Modul A der Ökobilanz erfasst, aber in Modul C normgerecht wieder ausgebucht (DIN EN 15804:2014). Inhärenter Kohlenstoff darf nicht mehr mit Materialaufwendungen verrechnet werden und ist in der Verbrennung als THG-Wirkung zu zählen. Das weitestgehende Szenario der Studie überträgt die schwedische Holzbauquote auf Deutschland. „55/15 sofort“ steht für die Simulation einer Quote von 55 % aller EFH und 15 % aller MFH, die sofort ab dem ersten Jahr der 15-jährigen Betrachtungszeit wirksam ist. Alle anderen in der Studie enthaltenen Szenarien liefern mit Abstand um 50 % schwächere Ergebnisse, da sie realitätsnäher eine schrittweise Erhöhung der Quote vornehmen. Die Ergebnisse zeigt Abb. 7. Bei dem hohen Holzbauanteil des Szenarios „55/15 sofort“ beträgt die CO₂-Einsparung über die 15-jährige Betrachtungszeit nur 15,1 % der in diesem Zeitraum beim Neubau von Wohngebäuden entstehen

7 Treibhausgasemissionen und Substitutionspotenzial bei schwedischer Holzbauquote für Deutschland (Grafikadaption vom THÜNEN-Institut durch Energieinstitut Hessen)



den CO₂-Emissionen. Die jahresdurchschnittliche Emissionsminderung liegt nur bei 1,59 Mio. to CO₂.

Auch eine schnelle Einführung einer hohen Holzbauquote leistete weder in zeitlicher noch in absoluter Hinsicht einen entscheidenden Beitrag zur CO₂-Minderung im Bereich der Grauen Energie. Beim Rohholzbedarf beträgt die jährliche Steigerungsrate 3,5 % [19]. Es „wäre allein

im Durchschnitt der ersten fünf Jahre des Projektionszeitraumes mit einem jährlichen Mehrbedarf in Höhe von knapp 4,5 Mm³ zu rechnen. Dies entspricht etwa 10 % der Stamm- und Industrielholzproduktion des Durchschnitts der Jahre 2011 bis 2015.“ Bei einer Einführung einer 100-prozentigen Holzbauquote, auch im Bereich der MFH, wäre ein Anteil von 25 % am Holzeinschlag zu erwarten.

Die Lösung liegt in der Symbiose

Den Fokus auf den Holzbau zu legen, bewirkt keine schnelle und umfassende Lösung für die Graue Energie, sondern durch den erforderlichen Umbau der deutschen Bauwirtschaft und die Verengung des Baustoffmarktes auf einen einzigen knappen Baustoff eher starke soziale und preisliche Verwerfungen. Die trotz Holzbau verbleibenden Treibhausgasemissionen für den Massivbau (Abb. 4) erfordern zwingend eine umfassendere Lösung: Die Halbierung der auf dem Massivbau beruhenden Emissionen durch Decarbonisierung und Modernisierung der Herstellungsprozesse mineralischer, chemischer und metallbasierter Bauprodukte. Die erzielbare Emissionsminderung kann auf Basis von [19] mit etwa 3,5 bis 5,25 Mt CO₂ pro Jahr abgeschätzt werden und liegt um den Faktor 5 über den dort berechneten CO₂-Einsparungen durch Holzbau.

Zudem senken die beiden Aspekte Decarbonisierung und Prozessmodernisierung innerhalb der Bauwirtschaft auch den Grauen Energieaufwand bei der Altbaumodernisierung. Mit diesem Wandel wurde bereits begonnen, wichtige Sparten legten Roadmaps vor [20] bis [24]; die Zementindustrie arbeitet an einer revolutionären Produktrezeptur. Für Hart-schaumdämmstoffe besteht bereits ein geschlossener Recyclingkreislauf. Für den nachhaltigen Holzbau fehlt indes immer noch ein Konzept, nicht nur für das Recycling oder die Kaskadennutzung, wo man nach wie vor auf Verbrennung setzt und damit den Kohlenstoffspeicher Holz am Ende der Nutzungsphase annulliert. Es zeigt sich dringender Handlungsbedarf für den Holzbau also schon vor dem Start.

In Teil II des Artikels beschäftigen wir uns mit der erforderlichen Holzeinsparung, klopfen den Plan der 500 Mrd. weltweiten Baumpflanzungen ab und zeigen, wie ein verstärkter Holzeinsatz schon heute zur chemischen Veredelung des Holzes mit steigendem Herstellungsenergieaufwand führt. ■

Endnoten

[1] WWF (Hrsg.), Universität Kassel, Center for Environmental Systems Research, Alles aus Holz – Rohstoff der Zukunft oder kommende Krise? Ansätze zu einer ausgewogenen Bioökonomie, Kassel 2022. Langfassung: Universität Kassel, Center for Environmental Systems Research, Everything from Wood – The Resource of the Future or the next Crisis? Kassel 2022

[2] ebenda

[3] Dr. Markus Ziegeler, Vorratsentwicklung in unseren Wäldern – ein Perpetuum mobile? proWALD 11/2013

[4] Thünen-Institut, Schier, F. u.a., Assessment of Possible Produktion Leakage from Implementing the EU Biodiversity Strategy on Forest Product Markets. Studie Forest 2022, 13,1225

[5] WWF (Hrsg.), Universität Kassel, Center for Environmental Systems Research, Alles aus Holz – Rohstoff der Zukunft oder kommende Krise? Ansätze zu einer ausgewogenen Bioökonomie, Kassel 2022

[6] ebenda

[7] UBA Texte 192-2020, Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (IaFB) e.V., Potenziale von Bauen mit Holz, Berlin/Dessau 2020

[8] P. und M. Krusche, Ökologisches Bauen, Wiesbaden 1982

[9] Bienert Michael, Moderne Baukunst in Haselhorst, Berlin 2015, Seite 33 ff.

[10] Annual Review of Environment and Resources, Advances Toward a Net-Zero Global Building Sector, Diana Urge-Vorsatz, Radhika Khosla, Rob Bernhardt, Yi Chieh Chan, David Verez, Shan Hu, and Luisa F. Cabeza, 2020

[11] Hafner A. et al. (2017): Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau); Forschungsprojekt: 28W-B-3-054-01 Waldklimafonds

[12] WWF (Hrsg.), Universität Kassel, Center for Environmental Systems Research, Everything from Wood – The Resource of the Future or the next Crisis? Kassel 2022

[13] J. Verkerk, et al., “Forest products in the global bioeconomy – Enabling substitution by wood-based products and contributing to the Sustainable Development Goals”, Rome, FAO, 2021. doi: 10.4060/cb7274en

[14] C. D. Oliver et al., “Carbon, Fossil Fuel, and Biodiversity Mitigation with Wood and Forests”, Journal of Sustainable Forestry, vol. 33, no. 3, pp. 248–275, Apr. 2014, doi: 10.1080/10549811.2013.839386

[15] G. Churkina et al., “Buildings as a global carbon sink”, Nature Sustainability, vol. 3, no. 4, pp. 269–276, Apr. 2020, doi: 10.1038/s41893-019-0462-4 (Mitautor ist Prof. Schellnhuber)

[16] VCI (Hrsg.) FutureCamp GmbH/DECHEMA, Roadmap Chemie 2050, München 2022

[17] Mail vom 06.01.2022 an den Verfasser

[18] Bundesamt für Energie BFE, Graue Energie von Neubauten, Bern 2016 (man beachte das Erscheinungsjahr – damals fasste das BFE die gesammelten Forschungsergebnisse aus 20 Jahren zusammen, 5 Jahre später entdeckten die Deutschen Architektenverbände das Thema ganz neu)

[19] Hafner A. et al., (2017): Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau). 148 S. Forschungsprojekt: 28W-B-3-054-01 Waldklimafonds.

[20] Dr. Norbert Müller VDZ, Klimaneutrale Betonbauweise, Wege in die Praxis, in SUBSTANZ 7-2021; VDZ, Eine CO₂-Roadmap für die deutsche Zementindustrie, Düsseldorf 2020

[21] Prof. Amory B. Lovins, RMI, Profitably Decarbonizing Heavy Transport and Industrial Heat- Transforming These “Harder-to-Abate” Sectors Is Not Uniquely Hard and Can Be Lucrative, in: RMI emeritus inside series, Basalt, 2021 <https://www.rmi.org/profitable-decarb/>

[22] United Nations Environment Programme (Hrsg.), Karen L. Scrivener et. al., Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry, UN Environment Economy Division Energy and Climate Branch 1 rue Miollis, Building VII, 75015 Paris 2017 www.unep.org

[23] Bundesverband der Kalksandsteinindustrie, Roadmap für eine treibhausgasneutrale Kalksandsteinindustrie in Deutschland, Hannover 2021; Bundesverband der Ziegelindustrie, Roadmap für eine treibhausgasneutrale Ziegelindustrie in Deutschland, Hannover 2021

[24] Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V., Roadmap Klimaneutralität für Dämmsysteme, Putz und Mörtel, Berlin 2023

Werner Eicke-Hennig

studierte nach Bauzeichnerlehre Stadtplanung in Kassel, wo er 1984 eine unabhängige Energieberatungsstelle aufbaute. Er war seit 1989 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut Wohnen und Umwelt (IWU) und Leiter der Hessischen Energiespar-Aktion des Hessischen Wirtschaftsministeriums. Seit 2017 führt er im Ruhestand das Energieinstitut Hessen in Frankfurt am Main. www.energieinstitut-hessen.de





Der Wald - nicht nur ein Holzlieferant

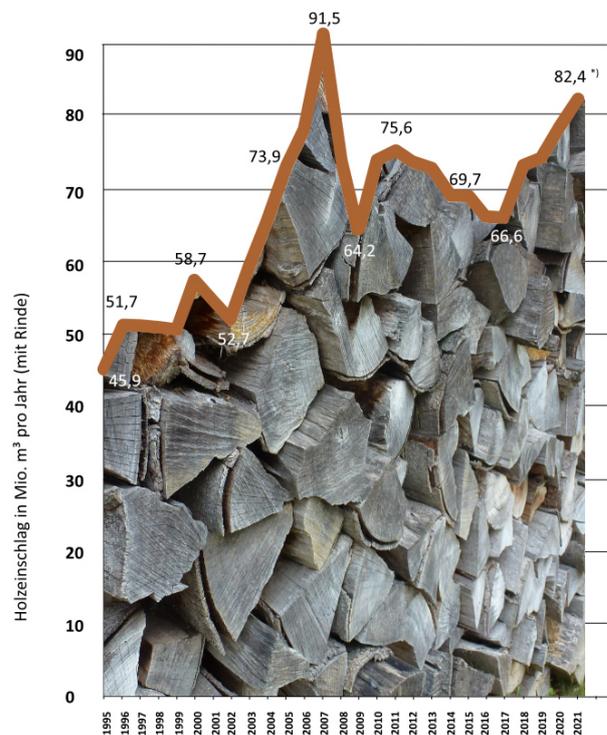
Ökologie der Waldnutzung (Teil 2) Nach der Ölkrise 1973 fand sich mit der Erkenntnis, man müsse Energie einsparen, zügig die Lösung für das Problem des hohen Energieverbrauchs, wenngleich in der Debatte noch lange ein wachsender Energieverbrauch als Naturgesetz galt. Im Konflikt um den hohen Holzverbrauch Deutschlands ist es nicht anders. Es bedarf ebenfalls und dringlich des Abbiegens auf den Königsweg der Holzeinsparung, während in der Debatte Holz als „nachwachsend“ als immer verfügbar betrachtet wird.

Werner Eicke-Hennig

Ein Dejà-vu? Der Harvard-Energie-Report schrieb 1979: „[...] die Einsparung von Energie ist (...) Die billigste, sicherste und produktivste Energiealternative [...]“. In der Debatte um die Zukunft unserer Wälder [1] hört sich das 2022 ganz ähnlich an: „[...] eine Reduzierung des Verbrauchs in verbrauchsstarken Ländern wie Deutschland (ist) notwendig, um das Angebot an nachhaltigem Rundholz nicht weiter zu überschreiten und damit einer Übernutzung vorzubeugen.“

Während beim Energieverbrauch heute Absenkpfade existieren, gehen die Holzwirtschaft und Akteure bioökonomischer Holzanwendungen von einem wachsenden Holzeinsatz aus. Selbst der Beirat für Waldpolitik des BMEL ist zuvorderst einer „gesicherte(n) Versorgung von Holzindustrie und Energiewirtschaft mit dem nachwachsenden Rohstoff Holz“ verpflichtet [2]. Für den Holzeinschlag in deutschen Wäldern existiert keine politische Steuerung, er folgt der Holznachfrage und nähert sich immer mehr dem Holzpräferenzszenario an, das den Interessen der Waldbesitzer entspricht. Die Hoffnung, der Einschlag bliebe unter den Szenariowerten der WEHAM-Szenarien, ganz so, wie die Prognosen der Energieberichte des BMWi in den 1980ziger Jahren von der Realität stets überholt wurden, droht jedoch angesichts des Kurvenverlaufes in Tab.1 enttäuscht zu werden. [3] Schon 2021 liegt der Einschlag mit 82,4 Mio m³ mit Rinde fast auf der Höhe des Naturschutzpräferenzszenarios und es entscheiden bisher allein die wirtschaftliche Entwicklung und die Auswirkungen der Klimakrise über den weiteren Verlauf.

Tab 1: Holzeinschlag in Deutschland 1995 bis 2021 in Mio m³ (mit Rinde)



Quelle: destatis, Lange Reihen; Grafik: Energieinstitut Hessen

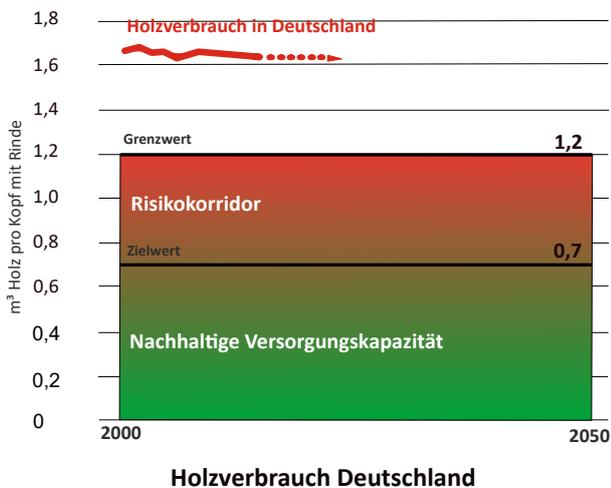
*) vorläufig; Daten: THÜNEN-Institut 2022, mit den in der amtli. Statistik nicht erfassten Mengen.

Risikokorridor für den Holzverbrauch

Es ist Zeit für einen Wandel, der deutsche Holzverbrauch übersteigt den Holzeinschlag, die erforderlichen Importe stammen vielfach aus Ländern mit übernutzten Holzressourcen, die Gefahren für das Ökosystem der Wälder wachsen [4]. Eine nachhaltige Forstpolitik muss die Sicherung aller „Ökosystemleistungen“ einschließen (Abb. 1) und sich schneller als bisher wandeln. Sogar überschaubare Vorhaben wurden nicht erfüllt [5]: „Ende 2020 lag der Flächenanteil von Wäldern, für die die natürliche Entwicklung dauerhaft gesichert ist, bei 3,1 %, womit das Ziel (5,0 %, der Verfasser) nicht erreicht werden konnte.“

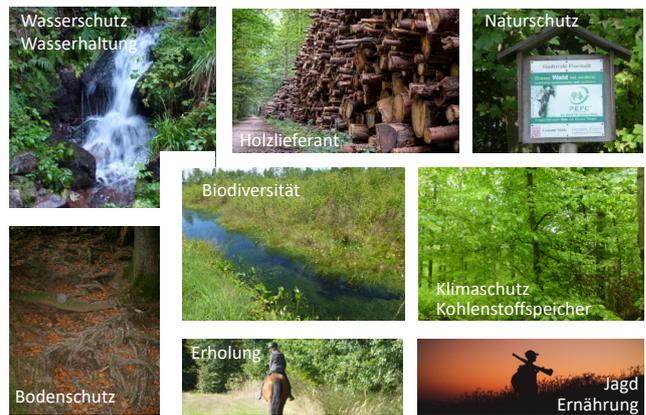
Deutschland ist Holzhochkonsumland mit ansteigendem Verbrauch. Eine Umkehr erfordert Änderungen auf der Holzangebots- und der Verbrauchsseite. Ein nationaler Risikokorridor für den Holzverbrauch, der nationale und regionale Benchmarks enthält, anhand dessen sich der jährliche Holzfußabdruck kontrollieren lässt, wäre das geeignete Instrument, um ein Umdenken zu bewirken [6] (Abb. 2). Die Fixierung seiner Anforderungen bedarf einer Debatte. Der Korridor förderte auch die Umsetzung der UN- und EU-Beschlüsse zur Biodiversität.

2 Risikokorridor für den deutschen Holzverbrauch zwischen 1,2 und 0,7 m³ Holz (m. R.) pro Kopf



Grafik: Energieinstitut Hessen, adaptiert aus: Universität Kassel und WWF, Alles aus Holz, Kassel/Berlin 2022

Ein an ökologischen Kriterien orientiertes Vorgehen findet man bereits in kleineren Gemeinde- und Privatwäldern [7]. Die Größenordnung der Benchmarks muss sich am jährlichen Waldzuwachs orientieren. Das Kriterium „hohes Nachhaltigkeitsrisiko“ stünde für die Sicherung des Baumbestandes mit einem Holzeinschlag von 80 % des Zuwachses. Der derzeitige deutsche pro-Kopf-Holzverbrauch übersteigt mit 1,6 kg pro Kopf und Jahr (mit Rinde) den oberen Grenzwert. „Der Holz-Fußabdruck (133 Millionen Kubikmeter mit Rinde im Jahr 2021) ist höher als der gesamte durchschnittliche jährliche Zuwachs des Waldes in Deutschland in Höhe von rund 122 Millionen Kubikmetern mit Rinde, wie er für den Zeitraum 2002 bis 2012 mithilfe der Bundeswaldinventur ermittelt wurde.[21] Die Nachfrage in Deutschland ließe sich mit der hiesigen Waldfläche nicht einmal bei nur



1 Ökosystemleistungen des Waldes

reiner Mengenbetrachtung – also ohne die Einhaltung von ökologischen Nachhaltigkeitskriterien– decken“ Ein „geringes Nachhaltigkeitsrisiko“ bestünde bei nur 50 % Holzeinschlag vom Jahreszuwachs und sicherte alle Ökosystemleistungen der Wälder. Das Wertepaar zwischen 50 bis 80 % ergibt den Risikokorridor des Holzverbrauches zwischen 0,7 und 1,2 m³ Holz (mit Rinde) pro Kopf und Jahr, oder für das Jahr 2020 rund 60 bis 97 Mio. m³ (mit Rinde) Holzeinschlag. Erforderlich wäre, mehr Holz einzusparen, es in Kaskaden zu nutzen und das Holzrecycling voranzubringen, da sonst der Pro-Kopf-Verbrauch „womöglich im Jahr 2030 um rund 230 Prozent bis 350 Prozent höher als die untere bzw. obere Grenze des globalen Pro-Kopf-Risikokorridors“ läge [8]. Für jeden Holzverbrauchssektor blieben nur dann Spielräume nach oben, wenn andere Verbrauchssektoren einsparten.

Als Ordnungswerkzeug für den Holzverbrauch führte ein Risikokorridor zur Auseinandersetzung mit sinnvollen Holzanwendungen, auch zu schärferer Konkurrenz zwischen den Holzverbrauchssektoren. Die zukünftige Waldpolitik muss den Holzkonsum regulieren, um auf den Klimawandel mit steigender Menge an Kalamitätenholz und immer mehr Ernteauffällen zu reagieren. Auch der Waldumbau zu resilienteren Holz- und Anbauarten reduziert die Erträge, ertragsschwächere Holzaltersklassen wachsen heran, die Biodiversitätspolitik dehnt die Wald-Schutzflächen aus. Fakt ist: Holz reicht künftig nicht für alle Sektoren, keineswegs für ihre Ausweitung. Alle Holzanwendungen gehören demzufolge – wie die alten energieverschwendenden Bauweisen nach 1974 – auf den Prüfstand.

Bauwende durch mehr Holzbau – ein Irrweg

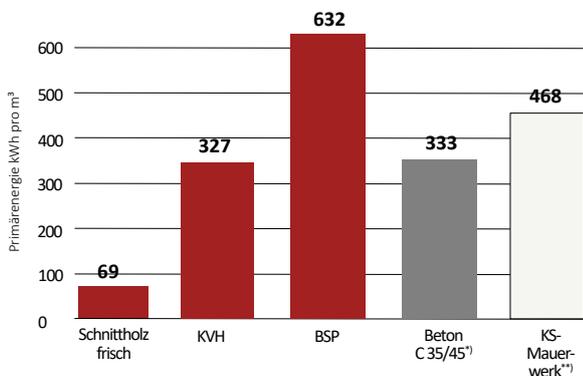
Eine der neuen bioökonomischen Holzanwendungen ist die „Bauwende“ mit einer politisch geförderten Erhöhung der Holzbauquote. Klare Ziele gibt es nicht, die Diskussion erweckt jedoch den Eindruck, zukünftige Neubauten wären zur CO₂-Einsparung ausnahmslos in Holz zu errichten. Dem widerspricht das im Teil 1 des Artikels vorgestellte Studienergebnis [9], nachdem eine hohe Holzbauquote von über 50 % über 15 Jahre nur 15,1 % der durch die Herstellung von Neubauten in diesem Zeitraum entstehenden CO₂-Emissionen einsparte. Auch die Schweizer EMPA [10] stellt fest: „Der Optimierungsspielraum ist bei der grauen Energie deutlich geringer als beispielsweise bei der Heizenergie und liegt im Bereich von maximal 35 % gegenüber dem heutigen Durchschnitt.“ Der Anteil des Bauholzes in Altbaumodernisierung, Neubau und Innenausbau beträgt etwa 20 % am Holzfußabdruck, Tendenz steigend [11]. Dieses Holz stammte noch 2012 zu rund 90 % aus dem Inland, eine Quote, die durch

weitere bioökonomische Holzanwendungen mit Wachstumspotenzial und die Restriktionen für das Holzangebot zukünftig zu sinken droht.

Damit die „Holzbauwende“ sich nicht als für den Klimaschutz kontraproduktiver Irrweg herausstellt, ist ein Konzept mit Technikfolgenabschätzung unabdingbar. Auf dem Hintergrund eines geringeren Holzangebotes ist abzuwägen, ob die im Holzbau eingeschlagene Richtung neu zu justieren ist. Drei Beispiele zeigen den Diskussionsbedarf.

Brettsperrholz mit hohem Energieaufwand

Nichtwohnbauten werden zunehmend mit Brettsperrholz (BSP) errichtet, dessen Markt rasant wächst. Allerdings erlaubt dieser Gebäudetyp wegen der Massivbauabschnitte für Keller, Tiefgaragen, Fluchttreppenhäuser und anderen brandschutzrechtlichen Aspekten bestenfalls eine Hybridbauweise wie zum Beispiel Holz-Betondecken, weshalb die Unterschiede zur Massivbauweise bei der grauen Energie und beim CO₂ wenige Prozente betragen [12]. Die Herstellung von BSP ist mit über 600 kWh/m³ zudem sehr energiein-



Quelle: EPD's Schnittholz Hersteller, KVH/BSP, Beton, KS generisch; KVH = Konstruktionsvollholz, BSP = Brettsperrholz; ¹ Beton ohne Bewehrung, die in weniger statisch belasteten Konstruktionen durch Polymerstücke ersetzt werden kann. ² KS-Rohdichteklasse 1,8 ohne Putze

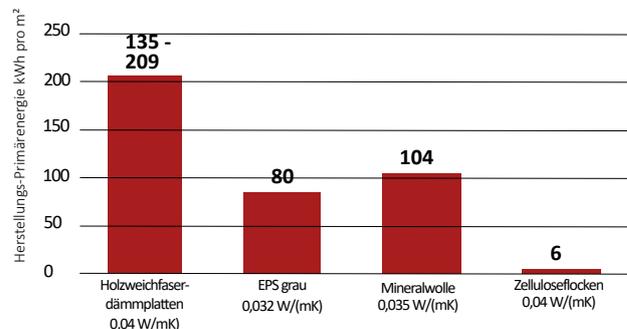
3 Herstellungsenergie (PENRT) für chemisch veredeltes Bauholz im Vergleich pro m³

tensiv, was sich ebenfalls in der Bilanz niederschlägt und den Unterschied weiter verringert (Abb. 3). Zum Vergleich: Ein m³ Beton mittlerer Qualitätsstufe ohne Bewehrung benötigt einen Herstellungs-Primärenergieaufwand von rund 333 kWh/(m³) Ursächlich beim BSP sind die Bindemittel (Polyisocyanat u.a.), die Holz Trocknung sowie das Hobeln und Zuschneiden. Der Informationsdienst Holz [13] schreibt zur Umweltrelevanz von BSP: „Dass Holz eine nachhaltige Ressource ist und der Holzbau CO₂ speichert, reicht allerdings auch beim BSP nicht aus, um die Verwendung großvolumiger und materialintensiver Bauteile als nachhaltig zu rechtfertigen. Die Holzbau-Branche hat im Bereich Nachhaltigkeit, Zertifizierung und CO₂-Bilanzierung Nachholbedarf.“ BSP und andere chemisch veredelte Hölzer gewinnen Marktanteile, neue Werke werden gebaut. So entsteht die Gefahr, dass die „Bauwende“ in Holz den Energieaufwand bei der Herstellung von Bauholz vervielfacht. Abb.3 zeigt die Unterschiede in der grauen Energie verschiedener Holzprodukte im Vergleich mit unbehrtem Beton. Am Ende der Nutzungsdauer steht bisher die Verbrennung, Kaskadennutzung existiert noch nicht.

Holzweichfaserdämmstoffe

Dämmstoffe aus Holzweichfaserplatten vermehren die Bauholzmenge. Auf sie entfielen 2013 schon 1,4 Mio. m³ Rohholz (mit Rinde), die sich im Bauboom 2021 auf rund 2 bis 2,5 Mio. m³ Rohholz abschätzen lassen und bereits 10 % des Anteils beim Bauholz einnehmen [14]. Neue Herstellungsverfahren laufen ihrer Intention zuwider, als Naturdämmstoffe andere Dämmstoffarten zu ersetzen. Die immer dickeren Dämmplatten erfordern eine „chemische Veredelung“ mit 4-5 % Polyisocyanat als Bindemittel im Trockenverfahren. Holzweichfaserplatten enthalten bei gleichem Dämmwert, durch höheres Gewicht und mehr Dicke, bis zu 77 % der Polyisocyanatmenge einer gleich dämmenden, dünneren und gänzlich aus Polyisocyanat bestehenden PU-Dämmplatte. Bei einem U-Wert von 0,15 W/(m²K) beinhaltet die 12 cm dicke PU-Platte pro Quadratmeter 2,7 kg und die 30 cm dicke hybride Holzplatte rund 2,1 kg Polyisocyanat.

Durch die für den Herstellungsprozess unabdingbare Polymerisation ist das Bindemittel für die Umwelt zwar unproblematisch, erzwingt jedoch für die Entsorgung von Holzweich-



Quelle: Ökobaudat, EPD's generisch

4 Herstellungsenergie für ausgewählte Dämmstoffe im Vergleich pro m²

faserplatten deren Verbrennung. Auch beim Herstellungsenergieaufwand gibt es Probleme. Wäre es das erklärte Ziel, dass Holzweichfaserdämmstoffe im Rahmen der „Bauwende“ beispielsweise die Hartschaum- und Mineralfaserdämmstoffe verdrängen, erhöhte sich der Bauholzbedarf Deutschlands um ungefähr 8 %, und der nationale Herstellungsenergieaufwand für Dämmstoffe würde sich um rund 50 % erhöhen [15]. Die Herstellungsenergie (A1-A3) als nichterneuerbare Primärenergie ist bei gleichem U-Wert bei der Holzweichfaserplatte um den Faktor 1,3 bis 36 höher als bei anderen Dämmstoffen, deren Ressourcenbasis z.B. bei Polystyrol oder Mineralwolle durch Recyclingverfahren wie zum Beispiel CreaSolv für Polystyrolämmung gestützt wird und langfristig gesichert ist. Unter den über 30 Dämmstoffarten gibt es Alternativen mit geringerem Energie- und CO₂-Aufwand, ohne ressourcenseitige Begrenzung und ohne Nöte beim Recycling. Verglichen wurden in der Tabelle in Abb. 4 und 5 Dämmstoffqualitäten für die Außenwanddämmung [16].

Die graue Energie der Dämmstoffe ist für die gesamte Ökobilanz eines Gebäudes zwar von geringer Bedeutung, ihre

5 Energieinsatz zur Herstellung von Holzweichfaserdämmung im Vergleich mit anderen gebräuchlichen Dämmstoffen

	Holzweichfaser-Dämmplatten	Expandierte, Polystyrol-Dämmplatten (grau)	Mineralwoll-Dämmplatten Fassade	Zelluloseflocken-Einblasdämmung
Wärmeleitfähigkeit W/(mK)	0,04	0,032	0,035	0,04
Rohdichte kg/m ³	140	15-17	100	40
Ressourcenbasis	Holzvorräte begrenzt und rückläufig. Konkurrenz zu ökologisch nachhaltiger Waldwirtschaft und anderen bioökonomischen Holzanwendungen. Bindemittel ölbasiert.	Erdöleinsatz für langlebige Bauprodukte. Bedarf: 1-2 % der deutschen Naphta-Importe p.a., Ressourcenkreislauf durch CreaSolv-Recyclingverfahren im Aufbau.	Basalt u.a. Gesteine sowie Glasabfälle langfristig verfügbar. Ölbasierte Bindemittel	Konkurrenz um knappe Altpapiermengen mit Papier- und expandierender Pappe-industrie. Zusätzliche Holz-tragkonstruktion erforderlich.
End of Life	Verbrennung. Kaskadennutzung noch nicht vorhanden. Kein Konzept.	Recyclingbetriebe mit dem CreaSolv-Verfahren vorhanden. Konzept in Realisierung.	Endlagerung nur auf Deponien Klasse II + III. Nutzung von Produktionsabfall. Kein Konzept.	Recyclingprodukt. Erneutes Recycling der Flocken möglich (Absaugung). Kein Konzept
Dämmdicke bei U = 0,15 W/(m ² K)	26,8	21,4	23,5	26,1
PENRT (A1- A3) in kWh/m ² für Dämmdicke U = 0,15 W/(m ² K)	135-209	80	104	5,7
GWP in kg CO ₂ -Äqu./m ² für Dämmdicke U = 0,15 W/(m ² K)	- 41,2	12,5	27,5	0,4
CO ₂ -Einsparung über 50 Jahre bei 316 g/kWh (Heizenergiemix 2020)*	1481	1481	1481	1481

Quelle: ÖKOBAUDAT, generische EPD's; Die negativen CO₂-Emissionswerte entstehen durch die hier vorliegende alleinige Betrachtung der Module A1- A3, sie werden in Modul C wieder ausgebucht. Die für die Baustoffproduktion aufzubauende Anzahl von Windrädern wird nicht durch die Kohlenstoffbindung des Holzes, sondern durch die Graue Energie beeinflusst. Alle Dämmstoffhersteller bieten Rückführung von Verschnitt in die Produktion auf Kosten des ausführenden Betriebes an. *) Im Bestand bei 1,4 W/m²K Ausgangs-U-Wert Außenwand und 0,15 W/(m²K) Zielwert.

Hinweis: Die Tabelle enthält die unterschiedlichen Dämmdicken bei gleichem Ausgangs- und Ziel-U-Wert: IST und Ziel (siehe Zeile Dämm-dicken: U = 0,15 W/(m²K)). Von den Dämmdicken hängt der unterschiedliche Materialeinsatz ab, derselbe U-Wert aber entscheidet über die Heizenergieeinsparung. Da die Differenz aus 1,4 bis 0,15 W/(m²K) immer dasselbe Ergebnis ergibt, ist auch das Endergebnis der Energieeinsparung immer dasselbe. Merke: Die Dämmstoffe sparen alle dasselbe ein, benötigen hierzu aber unterschiedliche Materialmengen. Bei der Holzweichfaserplatte wird deshalb die Naturgunst des Holzes bei der PRENT zum grossen Teil wieder aufgezehrt. Und beim CO₂ ist er egal, weil Dämmstofffe nicht die entscheidende Frage sind, für das GWP-Profil eines Hauses. Das ist nach wie vor die Heizenergie und ihre Deckung über 50 Jahre (siehe letzte Zeile – 50 Jahre sind in der Norm der festgelegte Zeitraum für Umweltbilanzen).

Herstellungenergie ist jedoch ein nicht zu unterschätzender Teil des regenerativen Energiebedarfes, der von noch zu bauenden Wind-, Solarkraftwerken und E-Speichern zu decken ist. Zur Herstellung von Holzweichfaserplatten werden Rohholzstämmen geschlagen, die würden sie im Wald verbleiben, eine höhere Kohlenstoffbindung als Neuanpflanzungen böten [17]. Die Kohlenstoffaufnahme von Bäumen entfällt zu 39 bis 50 % auf das letzte Drittel ihrer Lebensdauer. Angesichts der Dringlichkeit des Klimaschutzes ist das von Bedeutung, aber in EPDs nicht bewertbar [18].

Verdrängungseffekte bilanzieren

Die dem Recycling entstammende „Zellulosedämmung“ konkurriert mit der Papier-/Pappen- und Druckindustrie um den Rohstoff Altpapier. Die Produktionsmenge von Papier/Pappen soll sich bis 2050 verdoppeln. Die Entnahme von Altpapier für Zellulosedämmstoffe erhöht den Primärenergiebedarf und CO₂-Ausstoß bei der Papierherstellung, da der um das für Dämmstoffe abgezweigte Altpapier steigende Frischholzbedarf die Herstellungenergie erhöht [19]. Die Lehre ist: Bei den neuen bioökonomischen Holzanwendungen müssen auch die CO₂-Mengen und die Herstellungsprimärenergie einbezogen werden, die durch Verdrängung von bisher holznutzenden Wirtschaftsbereichen auf andere Rohstoffe entstehen.

Wüsten und Steppen bewalden?

Das Waldwachstum in Deutschland war in den letzten Jahrzehnten äußerst gering, stets begrenzt durch die Konkurrenz von Landwirtschafts- und Siedlungsflächen [20]. Den Aufwand für Siedlungsbau im Blick, will das „Bauhaus der Erde“ mit der weltweiten Anpflanzung von 500 Mrd. Bäumen vor allem den Betonbau und seine CO₂-Emissionen beseitigen und die Neubauten weltweit auf Holz umstellen [21]. Der angebotsorientierte Vorschlag erinnert an die Energiepolitik nach 1974, als neue Energien wie die Atomenergie ein „ehernes“ Verbrauchswachstum decken sollten. Auch fehlt ein Konzept mit fundierenden Studien, das visionär anmutende Vorhaben steckt zudem voller Probleme.

Die für das „Bauhaus-Projekt“ geplanten neuen Wälder wandeln bislang waldlose Landschaftstypen wie Wüsten und Steppen um, die seit der letzten großen Eiszeit die klimatischen Verhältnisse der Erde prägten. Wissenschaftlich sind die klimatischen Vorteile solcher Umwandlungen umstritten. Die reduzierte Albedo (Rückstrahlvermögen einer Oberfläche) der neuen Wälder lässt statt der Abkühlung eher Erwärmungseffekte erwarten. Forscher der Universität Haifa identifizierten nur 448 Millionen Hektar geeigneter Flächen, Platz



Bild: Pixabay, Katja

für rund 70 statt 500 Mrd. Bäume [22]. Deren Kohlenstoffbindung durch Waldanpflanzungen bis zum Jahr 2100 beziffern sie auf 32,3 Milliarden Tonnen (1 Mrd. t = 1 Gt), „aber 22,6 Gt C davon sind erforderlich, um den Albedo-Effekte auszugleichen.“ Ein risikoreiches Projekt, mit einem Wirkungsgrad von nur 30 Prozent, das jährlich weniger als ein Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen kompensierte.

Als Mischwald benötigten 500 Mrd. Bäume statt 448 Mio. ha etwa 3,3 Mrd. ha Anbaufläche zuzüglich der Erschließungswege. Das globale Waldflächenwachstum um rund 70 % verteilte sich auf alle Erdteile, erforderte politische Abstimmungsprozesse über Jahrzehnte und lieferte erst 60 Jahre später, also ab 2100, erntereifes Holz. Überträgt man das Verhältnis von heutiger Weltwaldfläche und jährlicher Erntemenge auf die neuen Wälder, sind im Endzustand 2 bis 3 Mrd. m³ Rohholz (ohne Rinde) pro Jahr zu erwarten, weit entfernt von den 40 Mrd. m³ Holz für den Ersatz des weltweit verbauten Betons [23]. Zu wenig, zu spät und zu risikoreich.

Holzplantagen lieferten zwar schon nach etwa fünf bis zehn Jahren die erste Ernte, führten aber durch ihre prägende Flächenmächtigkeit zur Abwertung von ökologischen Waldfunktionen in der öffentlichen Wertschätzung und böten weder Erholungsfunktion noch Biodiversität. Sie belasteten durch Düngung und Erntemaschinen das Wasser und die Waldböden. Der Kurzumtrieb brächte nur einen geringen Klimaschutzbeitrag. Bauholz liefern schnell wachsende Baumarten nur bedingt.

Die Flächen für Neuanpflanzungen liegen in Russland, Südamerika, Afrika und Asien. Sowohl die dortigen Bodeneigenverhältnisse als auch die Konkurrenz der Aufforstungsflächen zu landwirtschaftlicher Nutzung und die Wirtschaftsinteressen der globalen Holz-, Nahrungsmittel-, Energieholzindustrie sowie staatliche Einflussnahme verursachen bereits den bisherigen globalen Waldverlust und verzögerten das Projekt auf Jahrzehnte.

Hinzu kommen die in Teil 1 dieses Artikels beschriebenen Aspekte der nicht substituierbaren Betonanteile im Industrie- und Verkehrswege- sowie im Tiefbau und der Massivbauanteile bei Kellern und Nichtwohngebäuden. Nicht zu vergessen

die Probleme der Umstrukturierung in der bisherigen Bauwirtschaft bei Permutation auf Holzbau. Zu bedenken sind weiterhin der geringe Beitrag zur Senkung der grauen Energie und CO₂-Einsparung aufgrund der erforderlichen Hybridbauweise. Selbst bei hohen verpflichtend eingeführten Holzbauquoten funktioniert das Bauen nicht ohne Symbiose mit dem Massivbau [24].

Effizienz und Decarbonisierung ist die Lösung bei der grauen Energie.

Eine einfache Lösung im Bereich der grauen Energie unserer Gebäude, mit totaler Substitution der Bauweisen durch den Holzbau, ist technisch und durch die knappen Holzressourcen nicht möglich und aufgrund des geringen CO₂-Einsparpotenzials gegenüber dem Massivbau auch nicht geboten. Gute Lösungen entwickeln sich stattdessen aus den vorhandenen Strukturen.

Dem Holzbau wäre am besten gedient, wenn er sich in die Grenzen des Holz-Risikokorridors in Konkurrenz mit den anderen Holzverbrauchssektoren einbindet und zusammen mit den Anstrengungen der mineralischen Baustoffindustrie zu einer Gesamtlösung „Decarbonisierung der grauen Energie“ beiträgt, unterstützt durch die nationale Decarbonisierung der Energieversorgung, die bis zu 20 % der grauen Energie einspart [25]. Eine solche Kooperation entlastete maßgeblich die Wälder.

Angesichts der Rodung unserer letzten Urwälder im 12. Jahrhundert für den Ackerbau und der ungerechten weltweiten Verteilung des Holzverbrauchs, mit Deutschland als Holz-Hochverbraucher in der Spitzengruppe der Nationen, dienen wir den Wäldern der Welt fortan vorbildlich, wenn der Holzeinschlag nicht mehr an einem steigenden Holzverbrauch, sondern sich der Verbrauch mit Zielwerten am möglichen Holzeinschlag orientierte. ■

Endnoten

- [1] Stobaugh/Yergin, Harvard Energy Report, München 1980, sowie: Vincent Egenolf et.al., The timber footprint of German bioeconomy scenarios compared to the planetary boundaries for sustainable roundwood supply, in: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.07.029>
- [2] <https://www.bmel.de/DE/ministerium/organisation/beiraete/waldpolitik-organisation.html>
- [3] Oehmichen, Katrin, et.al., Ergebnisse und Bewertung der alternativen WEHAM-Szenarien, in: AFZ-Der Wald 2017; BMEL, Waldbericht 2021; Zusammenschau des Berichtsdesasters in: Klaus Traube, Billiger Atomstrom, Hamburg 1982, Seite 20
- [4] Universität Kassel, Center for Environmental Systems Research, Alles aus Holz – Rohstoff der Zukunft oder kommende Krise? Ansätze zu einer ausgewogenen Bioökonomie, Kassel 2022, Engl. Langfassung: Universität Kassel, Center for Environmental Systems Research, Everything from wood- The Resource of the Future or the next Crisis? Kassel 2022
- [5] UBA (Hrsg.) Ökoinstitut Darmstadt, Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engel (Teil 1), Dessau 2019
- [6] Universität Kassel, Center for Environmental Systems Research, Alles aus Holz – Rohstoff der Zukunft oder kommende Krise? Ansätze zu einer ausgewogenen Bioökonomie, Kassel 2022
- [7] Z.B. der Stadtwald Florstadt, Bürgerwald Steinfeld/Spessart, Stadtwald Göttingen u.a. Städte: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=naturlan-d+w%C3%A4ldebetriebe>
- [8] Universität Kassel, a.a.O.
- [9] Hafner A.; Rüter S.; Ebert S.; Schäfer S.; König, H.; Cristofaro L.; Diederichs; S.; Kleinhenz, M.; Krechel, M. (2017): Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau), Forschungsprojekt: Waldklimafonds 2015
- [10] Markus Koschenz/Andreas Pfeiffer EMPA, Potenzial Wohngebäude, Energie- und Gebäudetechnik für die 2000-Watt-Gesellschaft, Zürich 2005. Die Studie basiert auf einer umfangreichen Analyse des Grauen Energieaufwandes bei Bauten, die in Deutschland fehlt.
- [11] Angaben auf Basis: Prof. Udo Mantau u.a., Entwicklung von Holzverwendungsszenarien, Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Mai 2017
- [12] <https://www.espazium.ch/de/aktuelles/graue-energie-holz-versus-massivbau>
- [13] <https://www.holzkurier.com/holzprodukte/2022/11/ungebrochen-hohes-wachstum-bei-bsp.html>; Informationsdienst Holz, 01-2023 <https://informationsdienst-holz.de/details/marktuebersicht-brettsperholz>
- [14] Prof. Mantau et. al., Holzeinsatz im Bauwesen – Verwendungsstrukturen nach Gebäuden und Gewerken, Hamburg 2013; eigene Berechnung
- [15] Eigene Berechnung auf Basis der EPD's der einschlägigen Dämmstoffe in ÖKO-BAUDAT
- [16] siehe Tabellenwerte auf Basis der EPD's der genannten Dämm- und Baustoffe in ÖKOBAUDAT
- [17] https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=steico+holzweichfaserd%C3%A4mmung+nassverfahren+herstellung#fpstate=ive&vld=cid:81de9d26,via:QTA_4fQsrs Der Film zeigt eingeleitet mit dem Satz: „Frisches unbehandeltes Nadelholz ist der Rohstoff für alle steico-Produkte“, wie sich Baumstämme zu Hack-schnitzeln und von dort zu den einzelnen Produkten wandeln.
- [18] Köhl M, Neupane PR, Lotfiomran N (2017) The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity: A retrospective analysis using tree ring data of three tropical tree species grown in natural forests of Suriname. PLoS ONE 12(8): e0181187.
- [19] UBA Texte, ÖKO-Institut Darmstadt, ifeu-Institut Heidelberg, Stoffstrommanagement von Biomasseabfällen mit dem Ziel der Optimierung der Verwertung organischer Abfälle, Darmstadt/Dessau 2007
- [20] UBA Texte 192-2020, Institut für angewandte Forschung im Bauwesen (IaFB) e.V., Potenziale von Bauen mit Holz, Berlin/Dessau 2020
- [21] Prof. Schellnhuber, Bauhaus der Erde, diverse Vorträge mit großer medialer und politischer Aufmerksamkeit, u.a. Digitales Forum der Fachzeitschrift Gebäudeenergieberater „Gebäudehülle im Focus“ am 08.11.2022
- [22] S. Rohatyn, D. Yakir et. al., Limited climate change mitigation potential through forestation of the vast dryland regions in: Science 377, 1436- 1439 (2022); B. Waring, M. Neumann, I. C. Prentice, M. Adams, P. Smith, and M. Siegert, “Forests and Decarbonisation – Roles of Natural and Planted Forests”, Frontiers in Forests and Global Change, vol. 3, May 2020, doi: 10.3389/ffgc.2020.00058. Die Baumanzahl wurde mit 150 Stck./ha angenommen, um naturnahe Waldformen, Wirtschaftswegflächen usw. abzubilden.

[23] J. Verkerk, M. Hasegawa, J. van Brusselen, M. Cramm, X. Chen, et al., “Forest products in the global bioeconomy – Enabling substitution by wood-based products and contributing to the Sustainable Development Goals”, Rome, FAO, 2021. doi: 10.4060/cb7274en.

[24] siehe Fußnoten 19 bis 23 im Teil 1 des Artikels

[25] berechnet nach: Markus Koschenz/Andreas Pfeiffer a.a.O.

Werner Eicke-Hennig

studierte nach Bauzeichnerlehre Stadtplanung in Kassel, wo er 1984 eine unabhängige Energieberatungsstelle aufbaute. Er war seit 1989 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut Wohnen und Umwelt (IWU) und Leiter der Hessischen Energiespar-Aktion des Hessischen Wirtschaftsministeriums. Seit 2017 führt er im Ruhestand das Energieinstitut Hessen in Frankfurt am Main.

www.energieinstitut-hessen.de



Kalksandsteinindustrie Nord e.V.

Lüneburger Schanze 35
21614 Buxtehude

Tel.: +49 4161 7433-60
Fax: +49 4161 7433-66
info@ks-nord.de
www.ks-nord.de

