

# IV. NACHHALTIGKEIT VERSCHIEDENER MATERIALIEN, ENERGIETRÄGER, HEIZSYSTEME UND ENERGIESPEICHER IM VERGLEICH

1. Die vier Hauptbaustoffe im Hochbau: Stahl, Beton, Holz, Ziegel .....	44	4. Dämmstoffe .....	64
1.1 Baustahl .....	44	4.1 Arten der Dämmung .....	66
1.2 Beton .....	44	4.2 Lage der Dämmung .....	66
1.3 Holz .....	46	4.3 Künstliche Dämmstoffe .....	67
1.4 Ziegel .....	54	4.4 Natürliche Dämmstoffe .....	68
1.5 Die vier Hauptbaustoffe im Hochbau: Zusammenfassung .....	54	5. Putz- und Mörtelsysteme .....	71
2. Hanfkalk .....	55	5.1 Mörtelbestandteile .....	71
2.1 Der Hanf .....	55	5.2 Einteilung nach Herstellungsart .....	71
2.2 Der Kalkkreislauf .....	56	5.3 Einteilung nach Auftragsort .....	72
2.2.1 Sumpfkalk .....	56	5.4 Eigenschaften und Verwendungszweck .....	72
2.2.2 Kalkhydrat .....	56	6. Abdichtungen .....	73
2.3 Praxisbeispiele Anwendung Hanfkalk .....	57	7. Vergleich von Wärmedämmwerten verschiedener Wandaufbauten .....	74
2.3.1 Dach .....	57	8. Nachhaltige Energieträger .....	78
2.3.2 Decken .....	58	9. Schematische Darstellung verschiedener Heizsysteme .....	81
2.3.3 Wand .....	59	10. Energiespeicherung .....	91
2.3.4 Boden .....	62		
3. Lehmbau .....	64		

## In diesem Kapitel erwerben Sie die Fähigkeit, ...

	+	-
... die im Bauwesen angewandten Materialien im Sinne einer nachhaltigen Baukultur einzusetzen. (W, V, AW, AY)		
... die im Bauwesen angewandten Stoffe im Sinne einer nachhaltigen Baukultur einzusetzen. (W, V, AW, AY)		
... die Bauteile eines Gebäudes im Sinne einer nachhaltigen Baukultur zu planen und zu erklären. (W, V, AW, AY, E)		
... die technische Gebäudeausstattung im Sinne einer nachhaltigen Baukultur zu planen und zu erklären. (W, V, AW, AY)		

# 1. Die vier Hauptbaustoffe im Hochbau: Stahl, Beton, Holz, Ziegel

Veränderungen im Aufbau von Baukonstruktionen bedürfen der Prüfung unterschiedlicher Baustoffe, um im besten Fall Substitutionen durchführen zu können.

In diesem Kapitel werden die wichtigsten im Hochbau verwendeten Produkte – Stahl, Beton, Holz, Ziegel – hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit verglichen.

## 1.1 Baustahl *[structural steel, construction steel]*

Baustahl ist eine Legierung aus Eisen und Kohlenstoff, die durch Zugabe von anderen Stoffen, je Eigenschaftswunsch z. B. Chrom, Mangan oder Nickel, erweitert werden kann. Auch die Erhöhung oder Verringerung von Kohlenstoff führt zu unterschied-

lichen Stahlausprägungen. So wird durch Erhöhung von Kohlenstoff nicht nur die Zugfestigkeit erhöht, sondern auch die Sprödigkeit des Materials – eine Eigenschaft, die bei Baustoffen zu vermeiden ist.

Vorteile	Nachteile
Hohes Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht – daher können Konstruktionen sehr schlank gehalten werden	Stahl ist sehr energieintensiv in der Herstellung und daher sehr teuer.
Stahl kann sich vor dem Versagen stark plastisch verformen (Duktilität) – dadurch entsteht Reservepotential.	Brandschutz: Die Festigkeit von Stahlkonstruktionen nimmt sehr stark nach ca. 500 °C ab. Weiters leitet Stahl Wärme sehr gut und schnell. Brandschutztechnisch ist daher konstruktiv entgegenzuwirken.
Die Eigenschaften von Stahl sind sehr gut erforscht und daher vorhersehbar.	Die Instandhaltung ist sehr aufwendig und teuer (Rostproblematik). Ein regelmäßiges (oft jährliches) Malen mittels spezieller Farben ist notwendig (siehe Golden Gate Bridge oder Eiffelturm).
Stahl ist einfach zu reparieren.	Stahl ist anfällig für Knicke. Das ist dem Vorteil des Verhältnisses von Gewicht zu Festigkeit geschuldet, da die Elemente sehr schlank ausgeführt werden.
Ein hoher Vorfertigungsgrad ist möglich.	
Wiederholte Verwendbarkeit – nach dem Zerlegen kann Stahl wiederverwendet werden.	
Stahlkonstruktionen können sehr einfach erweitert werden. So können Stahlbrücken z. B. sehr leicht verbreitert werden.	
Stahlkonstruktionen sind bei normgemäßer Anwendung dauerfest.	

## 1.2 Beton *[concrete]*

BETON			
Bewehrungsart	Herstellungsart	Klasse	Anwendung
unbewehrt bewehrt Stahlbeton Spannbeton	örtlich Teilmontage Fertigteil	Leichtbeton Normalbeton Schwerbeton	Konstruktionsbeton Wohnbeton Umweltbeton

Bei Beton handelt es sich um einen jahrhundertalten Baustoff, dessen Eigenschaften durch die unterschiedlichen Komponenten an verschiedene Anwendungen angepasst werden kann. Da Beton zwar

gute Druckeigenschaften, aber sehr schlechte Zugeigenschaften aufweist, wird mittels Zugabe von Stahl (o. dgl.) diese deutlich verbessert.

## Die vier Hauptbaustoffe im Hochbau: Stahl, Beton, Holz, Ziegel

Vorteile	Nachteile
Hohe Druckfestigkeit gegenüber anderen Baustoffen	Eine Lagerung nach dem Mischen ist nur bedingt möglich. Die Hauptzutaten müssen separat gelagert werden.
Gute Zerreißfestigkeit aufgrund der Armierungen	Aufgrund der Aushärtezeit (Achtung stark abhängig von Umgebungsparametern) ist bei der Bauzeitplanung genau darauf zu achten.
Feuerbeständigkeit: Beton kann die Bewehrung sehr gut gegen Feuer schtzen, bis dieses gelöscht worden ist.	Es sind bei mehrstöckigen Gebäuden größere Querschnitte der Stahlbetonsulenabschnitte (RSS) als bei Stahlprofilen, da die Druckfestigkeit bei Reduced Carbon Concrete (RCC) geringer ist.
Materialien stammen meist von vor Ort – daher sind sie hinsichtlich des Transportes und der Kosten günstiger als andere Baustoffe.	Das Schrumpfen (Schwinden) von Beton führt zur Rissentwicklung und zu Festigkeitsverlust.
Stahlbetonbausysteme sind sehr haltbar.	
Aufgrund der „Flüssigkeit“ des Baustoffes ist damit fast jede Form gestaltbar.	
Bei richtiger Anwendung und Verarbeitung (korrekte Überdeckung der Bewehrung) weist Beton einen sehr geringen Wartungsaufwand auf.	
Für Bauteile wie Fundament, Pfeiler u. dgl. ist Beton das wirtschaftlichste Baumaterial.	
Beton hat eine gute Steifigkeit und dadurch eine geringe Durchbiegung, was wiederum sehr gut für die Gebrauchstauglichkeit von Gebäuden ist.	
Beton ist sehr benutzerfreundlich, weshalb auch weniger qualifizierte Arbeitskräfte eingesetzt werden können.	

**Wichtig: Der grüne Beton:** Durch die Produktion von Zement wird eine große Menge an CO<sub>2</sub> produziert. Um diesen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu verringern, wurde der sogenannte „grüne Beton“ vorgestellt, der seit etwa 2020 im Einsatz ist.

Der Zement mit der Bezeichnung CEM II/C soll die Antwort auf diese Problematik sein. Basis seiner Entwicklung ist die Roadmap, mit der die Zementindustrie bis 2050 CO<sub>2</sub>-neutral sein möchte. Hierbei sollen Zementgute CEM II/C und CEM VI eine wesentliche Rolle spielen.

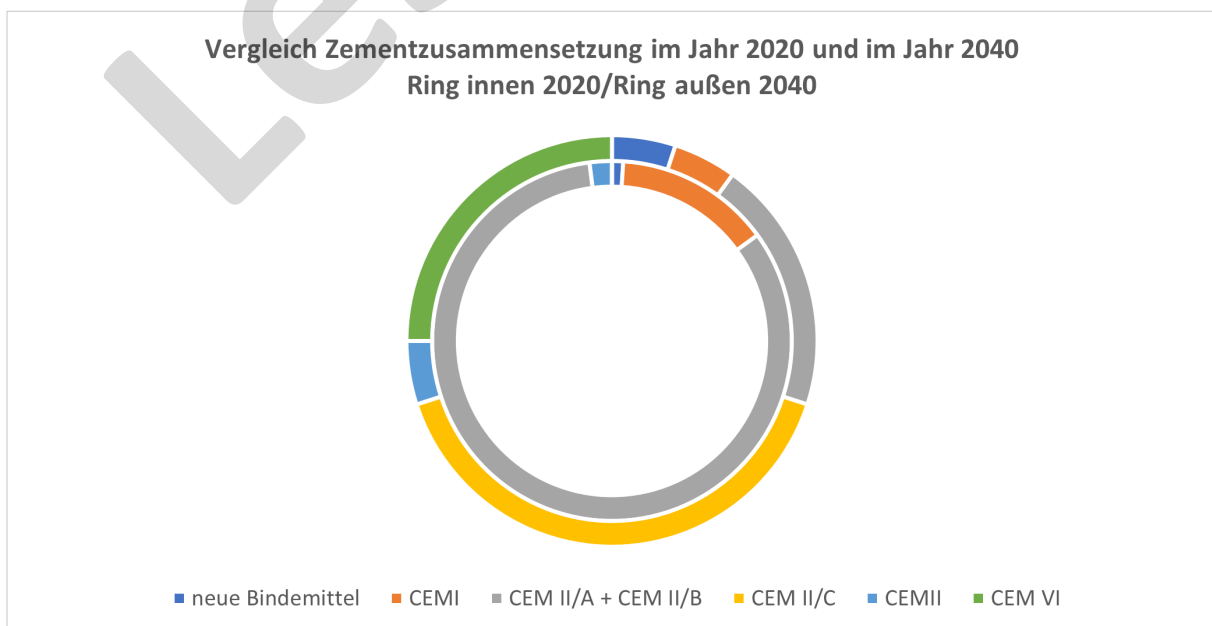


Abb. 36: Vergleich Zementzusammensetzung 2020 und 2040

## IV. Kapitel

Die neuen Zemente sollen mit deutlich verringertem Klinkeranteil überzeugen. Zementklinker ist der gebrannte Bestandteil von Zement. Seine Funktion ist die Aushärtung unter Beimengung von Wasser. Problematisch für das Thema Nachhaltigkeit und Ökologie ist, dass bei der Herstellung eine große Menge von CO<sub>2</sub> erzeugt wird (z. B. im Jahr 2020 in Deutschland 20 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente). Der Klinkeranteil soll dabei kontinuierlich von 70 Prozent (2020) auf 52 Prozent gesenkt werden, indem andere Zusatzstoffe [additive] zugesetzt werden.

Durch die europäische Betonnorm EN 197-5 ist der CEMII/C-Zement berücksichtigt, jedoch aufgrund der nicht durchgeführten Harmonisierung der genannten Betonnorm musste vor der Einführung eine bautechnische Zulassung durch die OIB erteilt werden. Einsatzgebiet des neuen Zements ist hauptsächlich der Hochbau im Transportsegment. Er ist zugelassen für alle Betone von X0 bis B1, B2 sowie B3.


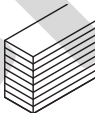
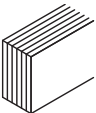
Eine weitere Möglichkeit, den CO<sub>2</sub>-Abdruck zu reduzieren, ist die Beimengung von „Sortenreinem Betonbruch“ (sogenannte Kreislaufwirtschaft). Dies –

kombiniert mit einem speziellen Verfahren – kann zu einer weiteren Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes führen.

Der Einsatz auf Baustellen wird derzeit noch zweigespalten aufgefasst, obwohl die ersten Versuche positiv ausgefallen sind. Aufgrund der Reduktion des Zementanteils im Beton ist von einer verringerten Festigkeitsentwicklung/Aushärtung auszugehen, was eine Veränderung des Einsatzes von Systemen, der Arbeitsmethodik und des Arbeitsablaufs bedeuten würde. Verstärkt würde dieser Effekt durch Kaltwetterereignisse.

Im Bereich der Fertigteilhersteller wird zusätzlich zur Überlegung der Klinkerreduktion auch das Thema des „Reduce“ angesprochen. Hierbei sollen durch Einsparung von Zement, Beton und Stahl bei gleichbleibender oder sogar verbesserter Qualität der Betonfertigteile eine Reduktion von CO<sub>2</sub> erreicht werden. In der Fertigteilindustrie werden bereits CO<sub>2</sub>-optimierte Zemente eingesetzt. Ausnahme hierbei bildet der Spezialtiefbau im Bereich Sulfatangriff.

### 1.3 Holz [timber]

Materialverbrauch: Holz Träger – Balken				
Werkstoffe				
		Fichte		Buche
Maßgebende Eigenschaften gemäß ÖN/Eurocode	Vollholz	BSH	FSH	FSH
				

Holz gilt nicht umsonst als der älteste Verbundwerkstoff der Welt. Neben seinem Vorteil als sehr einfach bearbeitbarer Werkstoff kann er aufgrund seiner Struktur sehr hohe Lasten bei gleichzeitig günstigem Querschnitt ableiten.

Wie bei allen natürlichen Werkstoffen sind Schädlinge (Holzschädlinge [wood pests]), Feuchtigkeit sowie Brandschutz ein wichtiges Thema.

Vorteile	Nachteile
Umweltfreundlich: Holz kann, wenn es unbehandelt ist, sehr schnell wiederverwertet werden.	Quellen und Schwinden
Gute Zerreißfestigkeit: Holz übertrifft sogar Stahl, wenn es um die Bruchlänge geht. Es kann sein eigenes Gewicht besser tragen, daher sind größere Räume mit weniger Stützen möglich.	Schallübertragung
Elektrische Beständigkeit und Wärmebeständigkeit: natürlicher Widerstand gegen elektrische Leitungen. Auch werden die Abmessungen durch Hitze nicht wesentlich beeinflusst, was sich im Brandfall positiv auswirken kann.	Brandbeständigkeit ohne chemischen oder konstruktiven Schutz ist nicht gegeben.
Schallabsorption: Holz ist optimal zur Minimierung von Echos in Wohn- oder Büroräumen.	Bei nicht sachgerechter Verarbeitung kommt es sehr schnell zu markanten Bauteilschäden.
Holz kann sehr oft lokal bezogen werden.	Biotische und abiotische Verschlechterungen, d. h. durch Bakterien und Insekten oder durch Sonne, Wind und Wasser.



**Wichtig:** In der medialen Diskussion wird oft von der CO<sub>2</sub>-Speicherfähigkeit von Bäumen gesprochen. Es handelt sich allerdings nicht um eine CO<sub>2</sub>-Speicherung, sondern um den chemischen Prozess einer Umwandlung von CO<sub>2</sub> in organische Stoffe. Hierbei sind Parameter wie Holzmasse, Dichte sowie geographische Lage für die Speichermenge wichtig. Je höher die Dichte und je älter der Baum ist, umso besser. In den Tropen ist die Speichermasse höher, da die Bäume schneller wachsen.

Eine Verallgemeinerung, wie viel ein Baum speichert, ist nur sehr schwer festzulegen. Die CO<sub>2</sub>-Absorptionsrate hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, z. B.

- vom Standort des Baumes,
- von der Bodenqualität sowie der Wasserversorgung,
- vom Klima,
- von der Art des Waldes,
- vom Alter, Durchmesser, von der Höhe und der Holzdichte u. v. m.

Der Vergleich von Nadelbaum und Laubbaum zeigt: Nadelbäume (ausgenommen die Lärche) haben zwar ganzjährig ein Nadelkleid, trotzdem kann eine vergleichbare Buche (gleicher Durchmesser, gleiche Höhe etc.) um bis zu 40 Prozent mehr CO<sub>2</sub> aufnehmen. Mischwälder können im Vergleich zu Monokulturen einen doppelt so hohen CO<sub>2</sub>-Speicherwert erreichen und sind zudem resistenter gegenüber Elementarereignissen oder Schädlingsbefall. Ein Solitärbaum (Einzelstandplatz) wird aufgrund des Platzüberhangs mehr Blattwerk, Wurzelwerk sowie Astwerk bilden und dadurch auch mehr CO<sub>2</sub> speichern.

Die Umwandlung des CO<sub>2</sub> findet durch die Photosynthese statt.

**6 CO<sub>2</sub> + 12 H<sub>2</sub>O + Sonnenenergie > Chlorophyll (Blatt) > C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> (Traubenzucker) + 6 O<sub>2</sub> + 6 H<sub>2</sub>O**

C wird im Holzkörper gespeichert, der Traubenzucker wird verwertet.

Was bedeutet das nun, bezogen auf die Speichermenge CO<sub>2</sub>?



	Fichte	Buche
Höhe	35	35
Alter	100	100
Holzvolumen m <sup>3</sup> (inkl. Äste, exkl. Wurzel)	3,4	3,4
BHD*	1,3	1,3
Trockengewicht	1,4	1,9
Kohlenstoffanteil	50 %	50 %
Kohlenstoffspeicher	0,7	0,95
Umrechnungsfaktor**	3,67	3,67
CO <sub>2</sub> -Menge (t)	2,6	3,5

\* Brusthöhendurchmesser – 1,3 m

\*\* Umrechnungsfaktor: Um von C (wird nur von einer Pflanze verarbeitet, der Rest wird als O<sub>2</sub> an die Umwelt abgegeben) auf CO<sub>2</sub> zu schließen, muss ein Faktor 3,67 hinzuge-rechnet werden.

Generell kann man davon ausgehen, dass Laubholz (ausgenommen Pappel, Weide etc.) einen höheren Speicheranteil hat als Nadelholz (Hainbuche > Buche > Eiche > Birke > Ahorn > Lärche > Kiefer > Douglasie > Fichte > Tanne > Schwarzpappel).

**Achtung:** Aufgrund der Berechnungsart kann man nicht auf seriöse Weise die CO<sub>2</sub>-Speicherung eines Baumes/Jahr bestimmen. Jedoch besagt eine Faustformel, dass ein Hektar Wald/Jahr ca. 6 Tonnen CO<sub>2</sub> bindet – dies gilt über alle Altersstufen hinweg (am Anfang sehr wenig, zunehmend mit dem Alter des Baumes mehr).

Ein wichtiger Begriff in diesem Zusammenhang ist die Kohlenstoffumschlagzeit von Bäumen. Darunter versteht man die Zeit, in der der Baum als Speicher dient.

Würde man den Baum sofort, d. h. ohne Transport aus dem Wald und ohne Sägewerk, im Hausbau einsetzen, könnte man davon ausgehen, dass in einem Einfamilienhaus bis zu 80 t CO<sub>2</sub> gespeichert bleiben. Verbrennt oder verrottet der Baum, so kommt es zu einer Freisetzung des gebundenen CO<sub>2</sub>.



Abb. 37: Darstellung CO<sub>2</sub>-Speicherung und Freisetzung bei Holz

## IV. Kapitel

Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft hat die Kohlenstoff-Speicherleistung von Buche, Eiche, Fichte und Kiefer anhand von Baumhöhe und -durchmesser errechnet und die Wertebereiche grafisch dargestellt. Hierbei wurden für die

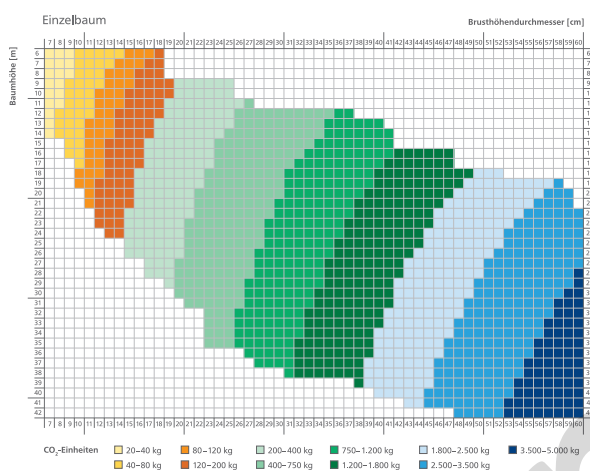
Baumarten Fichte, Kiefer und Buche sowie Eiche jeweils zwei Tabellen erstellt: eine für Einzelbäume, eine weitere für Bestände. Diese beiden Tabellen sind wesentlich, weil – wie oben bereits erwähnt – die Lage des Baumes eine Rolle spielt.

**Wichtig:** Es werden hier keine genauen WERTE angegeben, sondern WERTEBEREICHE bzw. UMRECHNUNGSFAKTOREN – aufgrund der Unterschiedlichkeit jedes einzelnen Baumes und auch der Unterschiede in der Speicherung.

**Tabelle Einzelbäume:** Hierfür benötigt man die Baumart, die Baumhöhe sowie den Brusthöhendurchmesser (BHD) in einer Höhe von 1,3 m.

**Beispiel:**

### Fichte



Baumart: Fichte  
 Baumhöhe: 30 m  
 BHD: 40 cm  
 Ergebnis: 1200 kg – 1800 kg Speicherung von CO<sub>2</sub>

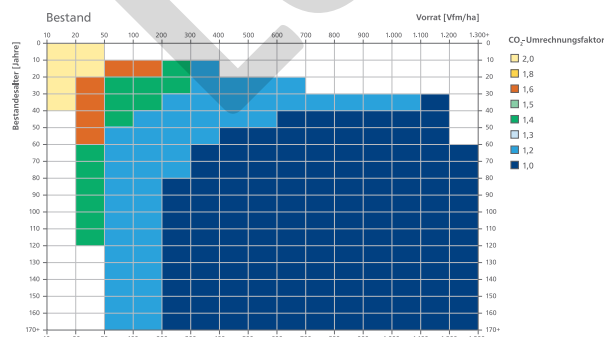
Abb. 38: CO<sub>2</sub>-Speicherung Tabelle Einzelbaum

Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

**Tabelle Bestand:** Es sind ebenfalls Baumart, Alter und im Unterschied zum Einzelbestand der Holzvorrat des Bestandes notwendig.

**Wichtig:** Hier wird nicht der Wertebereich, sondern ein Umrechnungsfaktor angegeben. Dieser Umrechnungsfaktor wird mit den Vorratsfestmetern multipliziert. Daraus ergibt sich in Folge die CO<sub>2</sub>-Einheit in Tonnen. (Vorratsmeter x Umrechnungsfaktor = Tonnen CO<sub>2</sub>)

**Beispiel:**



Baumart: Fichte  
 Alter: 70 Jahre  
 Vorratsmeter: 900 (Vfm/ha)  
 Umrechnungsfaktor: 1,0  
 Ergebnis: 900 x 1,0 = 900 t CO<sub>2</sub>

Abb. 39: CO<sub>2</sub>-Speicherung Tabelle Bestand

Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Diese sehr guten Tabellen können aber nur bedingt für Park- oder Gartenbäume verwendet werden. Der Grund dafür ist, dass diese Bäume oft eine Solitär-

stellung haben und daher besser ausgeprägte Kronen und Wurzeln aufweisen, weshalb deren Speicherleistung höher anzunehmen ist.

# Die vier Hauptbaustoffe im Hochbau: Stahl, Beton, Holz, Ziegel

Um andere Baumarten bestimmen zu können, müssen die wesentlichen Merkmale (Wuchsform, Holzdicke etc.) der dargestellten Baumarten herangezogen werden.

**Wichtig:** Die Tafeln sind Schätzgrößen zur praxisnahen Orientierung.

## Fichte

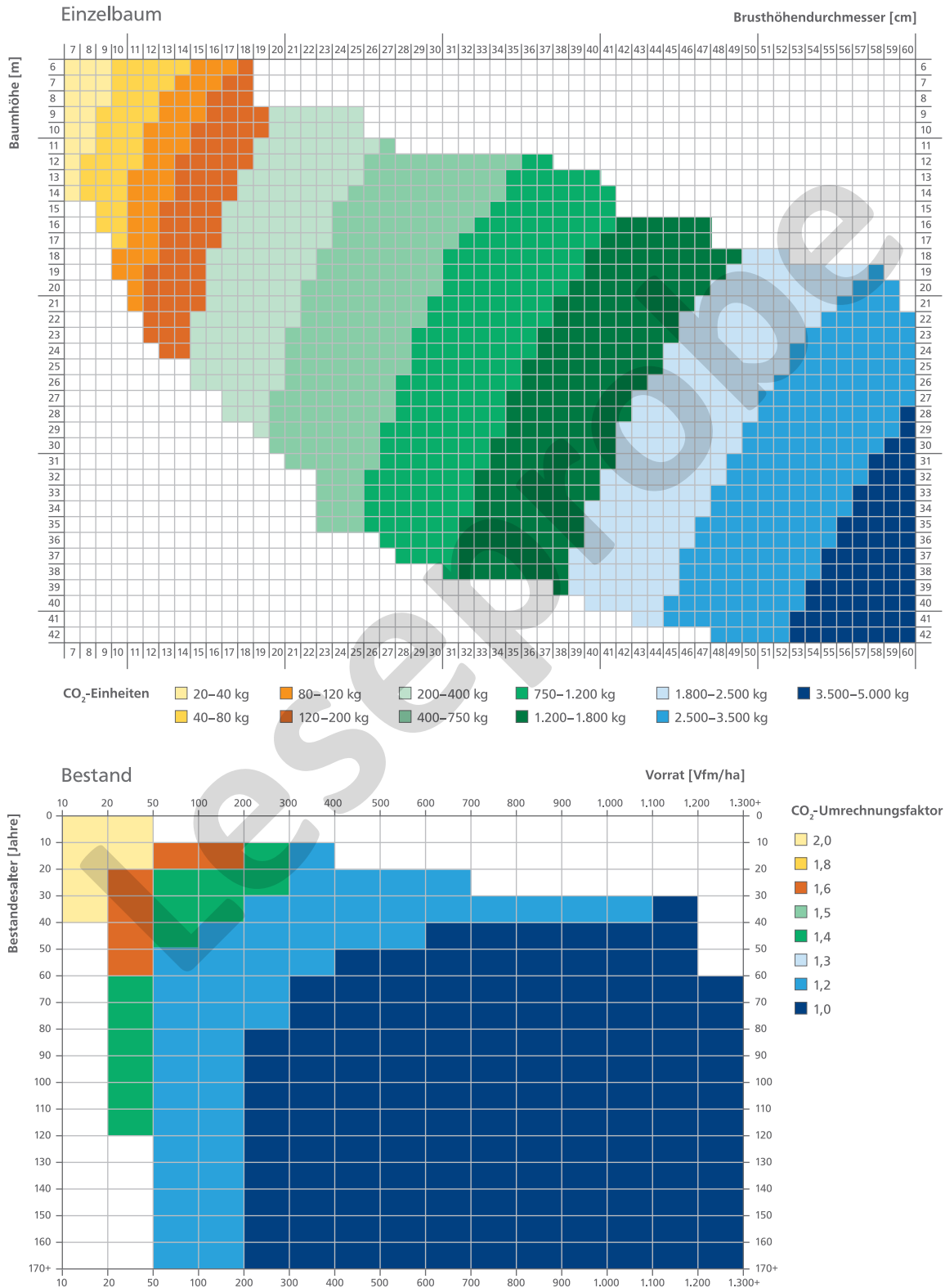


Abb. 40: CO<sub>2</sub>-Speicherung Fichte

Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Kiefer

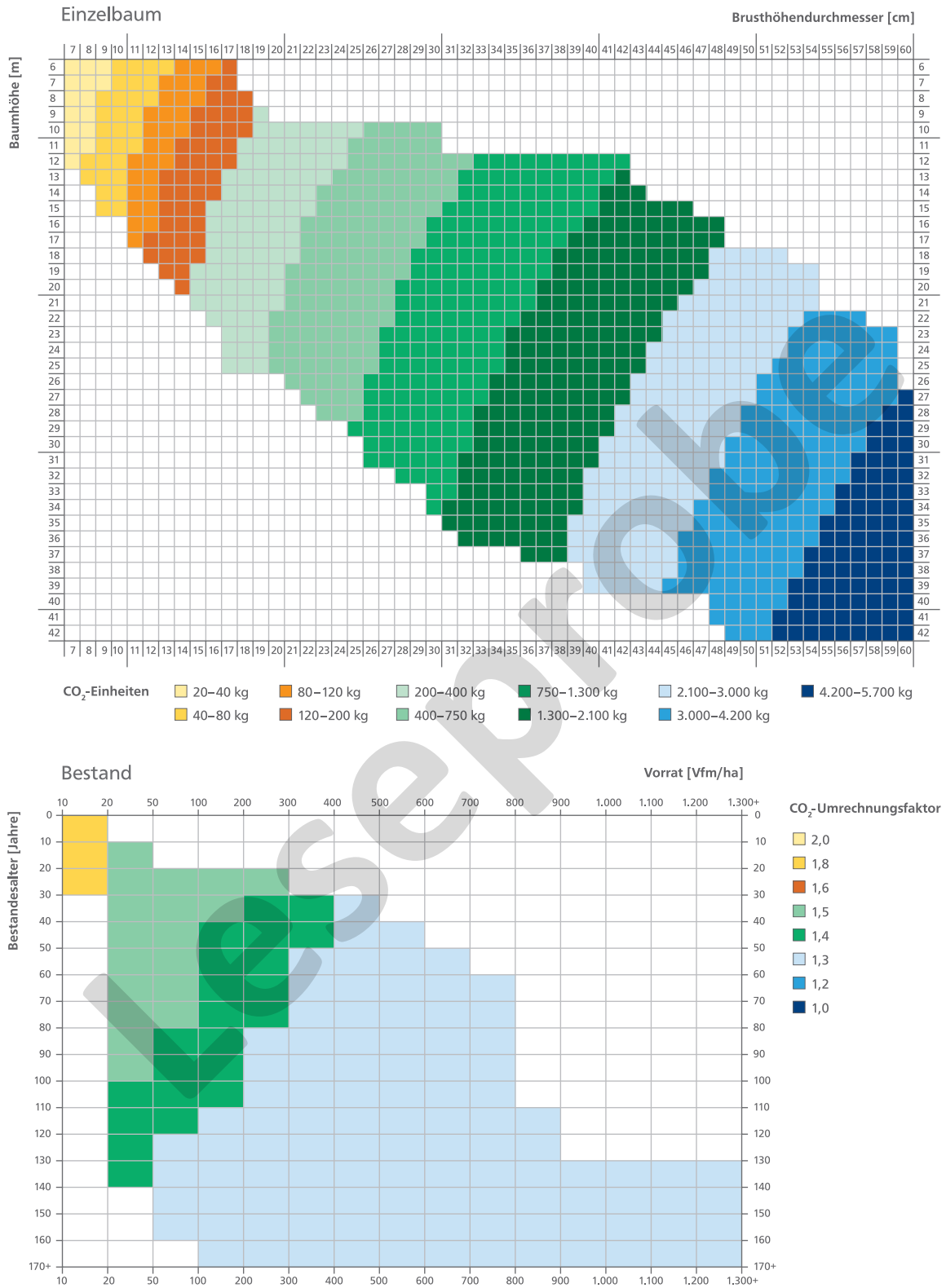


Abb. 41: CO<sub>2</sub>-Speicherung Kiefer

Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Buche

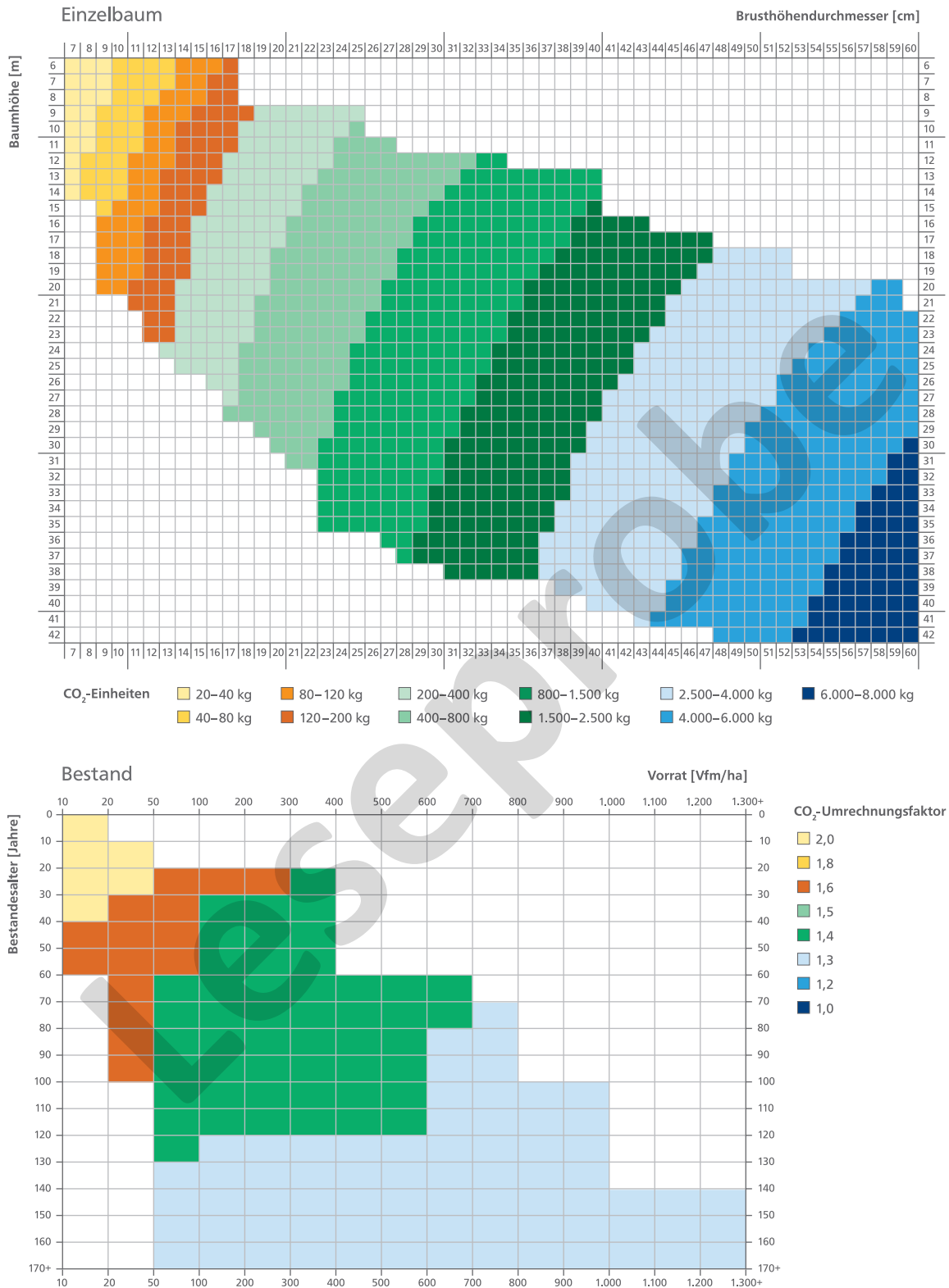


Abb. 42: CO<sub>2</sub>-Speicherung Buche

Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Eiche

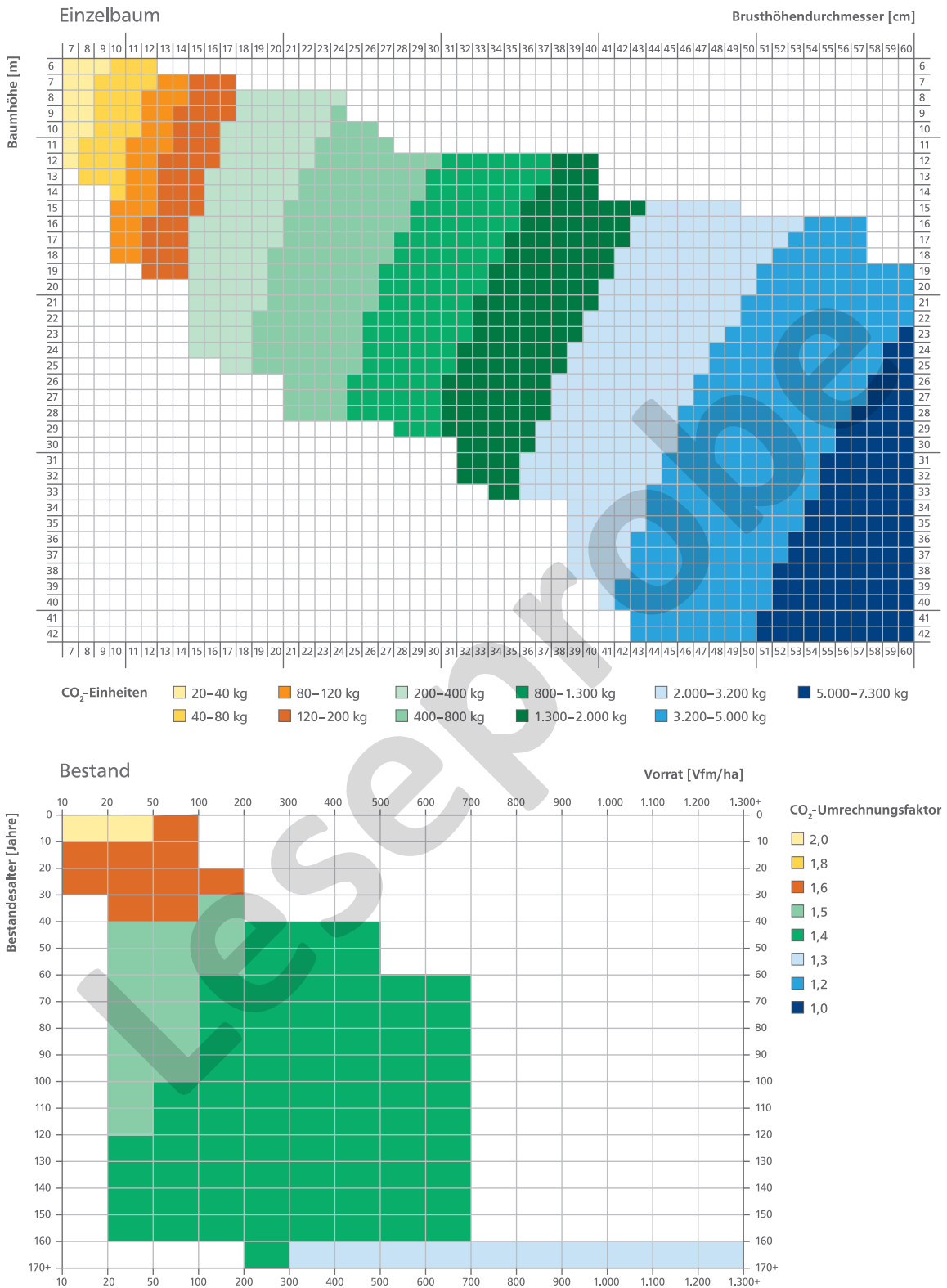


Abb. 43: CO<sub>2</sub>-Speicherung Eiche

Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft



## Die vier Hauptbaustoffe im Hochbau: Stahl, Beton, Holz, Ziegel

Bei einer Baumhöhe (h) von 25 m und einem Brusthöhendurchmesser (BHD) von 45 cm reihen sich die

untenstehenden Baumarten hinsichtlich ihrer CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität wie folgt:

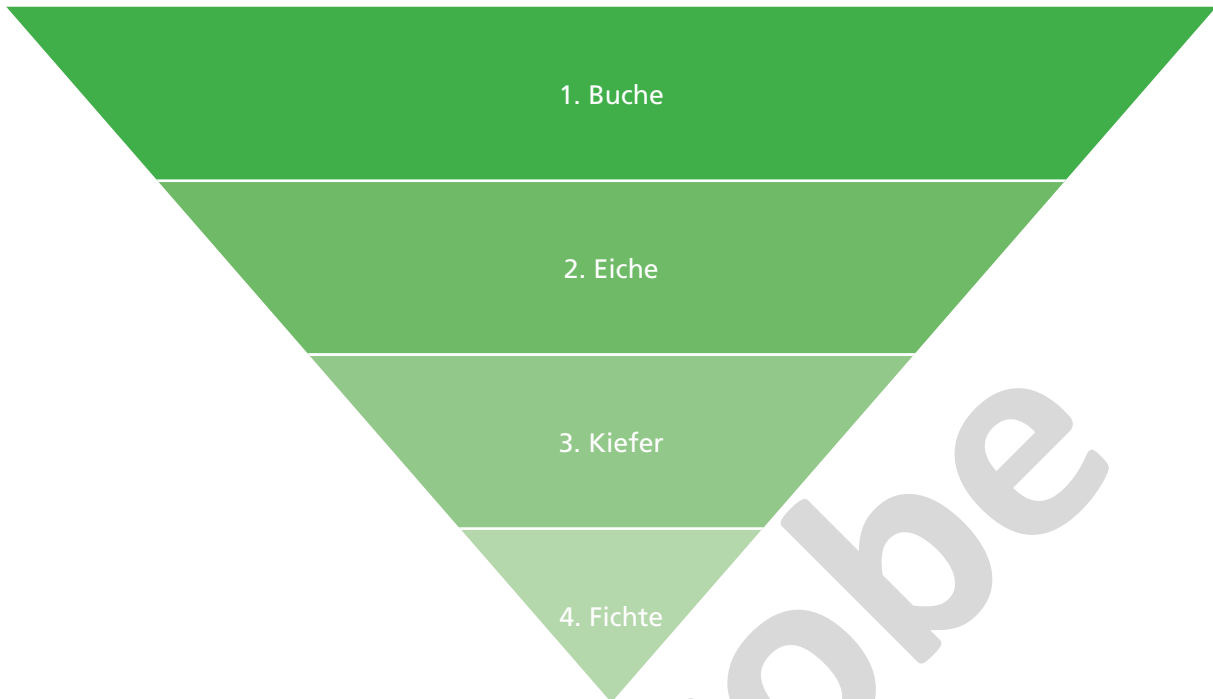


Abb. 44: CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität

Diese Baumarten stehen stellvertretend für alle Bäume mit gleichen Wuchsformen und Bedingungen, d. h., anstelle der Fichte könnten die Tanne oder Douglasie stehen, anstelle der Eiche auch die

Esche, Ulme oder Robinie. Anstelle der „Siegerin“ Buche könnten die Linde oder Kastanie genannt werden.



Abb. 45: Mischwald

## 1.4 Ziegel [brick]

ZIEGEL		
<b>Mauersteine</b>	<b>Dachsteine</b>	<b>Sondersteine</b>
<b>Normalziegel</b>	<b>Biber</b>	<b>Überleger</b>
Vollziegel Lochziegel	<b>Wiener Tasche</b>	<b>Decken</b>
<b>Großblocksteine</b>	<b>Falzziegel</b>	<b>Fassadenplatten</b>
<b>Hochlochziegel</b>	<b>Strangfalzziegel</b>	<b>Bodenplatten</b>
Mörtelfugen Planziegel	<b>Mönch + Nonne</b>	
<b>Dünnwandsteine</b>		
<b>Klinker</b>		

In den letzten Jahren wurden verstärkt Ziegel mit Dämmfüllung auf den Markt gebracht. Diese sind technisch vor allem im Bereich Schallschutz und Wärmeschutz von Vorteil und entsprechen den EnEV (Energiesparverordnungen). Der Vorteil dieser Ziegel ist, dass man ohne Zusatzdämmung auf der Fassade auskommt. Hier werden noch Perlite und Mineralwolle bevorzugt sowie in letzter Zeit auch Füllungen mit Holzfasern. Kunststoffperlen wurden und werden in Leichtbetonen [*lightweight concrete*] verwendet. 2012 wurden erstmals von einem bayrischen Ziegelhersteller EPS-Granulate in Ziegel eingebracht. Diese waren bereits frei von HBCD-Stoffen, es wurde das Flammenschutzmittel Polymer-FR verwendet. Vorteil dieses Produktes ist, hier vor allem in Bezug auf die Recyclingfähigkeit, dass die

Styropor-Einzelkugeln durch Wasserdampf zu Keilen verzahnt werden (sonst könnte man sie nicht in den Hohllochziegel einbauen). Beim Ziegelrecycling können die Styropor-Keile leicht wieder getrennt werden, da diese sich nicht mit dem Ziegel verbinden (sortenreines Recycling). Weiters hat der Ziegel den Vorteil, dass er leicht abtrocknet, wasserabweisend und diffusionsoffen ist. Dadurch ist die Voraussetzung für schimmelfreie Außenwände sehr gut gegeben.

**Beispiel:** Eigenschaften „ZMK X6,5“:

Stärke 36,5 cm

Schallschutzwert von 49,5 dB

U-Wert von 0,17 W/m<sup>2</sup>K

## 1.5 Die vier Hauptbaustoffe im Hochbau: Zusammenfassung

Der **Baustoff Stahl** hat sowohl im Bereich Zug- als auch Druckfestigkeiten sehr gute Eigenschaften, dessen Endfestigkeit liegt bei ca. 400 bis 500 MPa. Weiters weist er durch sein duktilen Verhalten hinsichtlich des Versagens eine gute Reserveeigenschaft auf, d. h., er kann noch etwaige Spontanereignisse kompensieren. Durch das Verhältnis von Gewicht und Festigkeit sowie der hohen Effizienz im Bauwesen (bis zu 10 % weniger Belegschaft) ist ein weiterer Vorteil gegeben.

Der **Baustoff Beton** weist vor allem eine hohe Druckfestigkeit von ca. 17 MPa bis 28 MPa auf. Dadurch ist die Erstellung von langlebigen Bauwerken möglich. Aufgrund der Masse ist eine kühlende und heizende Wirkung (Speicherwirkung) möglich. Durch die „flüssige“ Konsistenz des Betons kann er für

eine Vielzahl von Bauteilen (auch komplexe) eingesetzt werden.

Der **Baustoff Holz** ist beständig gegen elektrische Ströme und volumenmäßig viel leichter als Beton und Stahl. Holz ist einfach zu handhaben und vor Ort sehr anpassungsfähig. Holz wird häufiger für Wohn- und Flachbauten verwendet, selten als Hauptmaterial für Hochhäuser.

Der **Baustoff Ziegel** ist ein jahrhundertalter, erprobter Werkstoff, der aufgrund seiner Verarbeitbarkeit hohe Flexibilität zulässt. Der Ziegel bietet brauchbare Eigenschaften in Bezug auf Statik, Wärmedämmung, Schallschutz und Brandschutz. Zudem kann er im Downcycling-Prozess weiterverwendet werden.



## 2.2 Der Kalkkreislauf

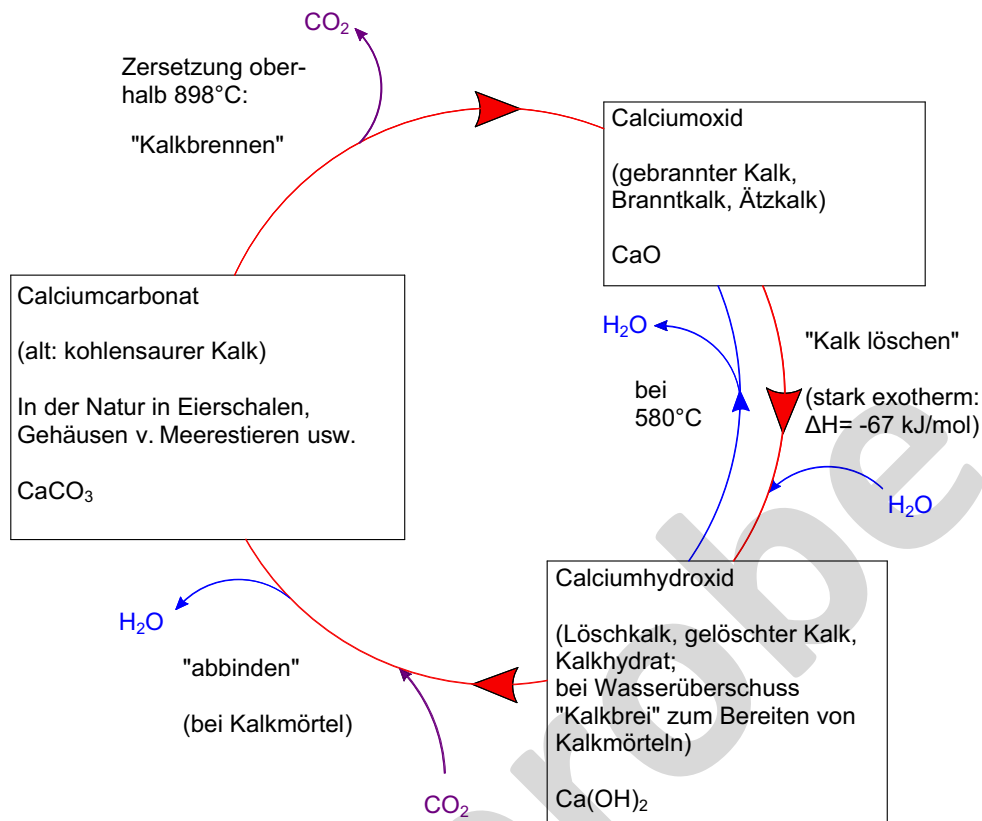


Abb. 47: Kalkkreislauf

Calciumhydroxid wird im Bauwesen vor allem bei der Herstellung von Mörteln unter der Bezeichnung Weißkalk (DIN 1060) verwendet. Kalkputz besteht aus Calciumhydroxid sowie Sand, wobei anstelle des Sandes auch gemahlener ungebrannter Kalkstein beigemischt werden kann. Hier spricht man auch von der sogenannten Kalkglätte.

Durch die alkalische Wirkung verhindert es die Korrosion bei Bewehrungsstahl im Stahlbeton. In Nassräumen kann man Muschelkalk in Kombination mit Natronseifen als hydrophoben (wasserabweisenden) Kalkputz verwenden. Dieses Putzsystem wird Tadelakt genannt. Auch Kalkglätte kann man verseifen.

Ebenso verwendet man Branntkalk zur Verbesserung der Tragfähigkeiten von Baugründen, wenn im Boden ein zu hoher Wassergehalt vorhanden ist. Durch den Kalk kommt es zur Bindung des Wassers, wodurch der Boden stabilisiert und seine Tragfähigkeit signifikant erhöht wird.

## 2.2.1 Sumpfkalk

Sumpfkalk ist ein rein mineralisches Bindemittel, das an der Luft durch Kohlendioxid und Wasser erhärtet. Bei der Herstellung wird Kalkstein zu  $\text{CaO}$  Calciumoxid gebrannt und anschließend mit Wasser gelöscht und eingesumpft (Zugabe von Wasser bis eine „pastenartige“ Substanz entsteht). Es erfolgt eine deutliche exotherme Reaktion. Ein weiterer vorteilhafter Faktor ist, dass bei richtiger Lagerung, d. h.

unter Ausschluss von Luft, dieser Sumpfkalk immer besser wird (durch Zerfall der Kalkpartikel in immer feinere Bestandteile). Dadurch wird die Reaktionsfähigkeit im Laufe der Zeit immer besser. Aus Sumpfkalk lassen sich auch Anstriche für Decken und Wände herstellen.

**Wichtig:** Früher wurde Sumpfkalk direkt auf den Baustellen hergestellt und frühestens nach einer Woche Reaktionszeit zu Mörtel verarbeitet. Putze wurden frühestens nach 3 Wochen Reaktionszeit gemischt. Sumpfkalk mit mind. 18 Monaten Reaktionszeit reduziert deutlich die Gefahr von Ausblühungen.

## 2.2.2 Kalkhydrat

Bei Kalkhydrat handelt es sich ebenfalls um gebrannten Kalkstein. Im Gegensatz zu Sumpfkalk wird Kalkhydrat genau mit so viel Wasser beaufschlagt, dass das Pulver staubförmig bleibt.

Aus Kalkhydrat lassen sich auch Anstriche für Decken und Wände herstellen, zum Beispiel als Leimfarben. Diese waren bis in die 60er Jahre des 20. Jahrhunderts das gängige Anstrichsystem und wurden von den Malern vor Ort hergestellt.

Kalkhydrat wird auch für die Herstellung von Hanfkalk verwendet. Dazu werden 20 kg entstaubter Hanfschäben mit 25 kg Kalkhydrat und Wasser



gemischt. Zur Steigerung der Anfangsfestigkeit werden 3 kg natürlicher Mineralien beigefügt. Auf Zement wird gänzlich verzichtet. Der so entstandene Baustoff ist zu 100 % biologisch abbaubar und hat eine CO<sub>2</sub>-Minus-Bilanz.

**Wichtig:** Zugesezte Mineralien sollten nicht den Karbonatisierungsprozess unterbinden und den Kalk somit hydraulisch machen, denn es ist ein Kalkhydrat gewünscht, der mit Hilfe des atmosphärischen CO<sub>2</sub> karbonatisiert.



Abb. 48: Kalkhydrat

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

## 2.3 Praxisbeispiele Anwendung Hanfkalk

Da dieses Buch von Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung handelt, werden in Folge Best-Practice-Beispiele gezeigt, die nicht nur im Neubau, sondern auch in der Sanierung von Bauwerken Einzug gefunden haben. Die folgenden Informationen und Bilder wurden mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org zur Verfügung gestellt.

Die Hanfkalkbauweise ist eine Variante des Holzskelettbau (Frame-Building), wobei die Holzkonstruktion für die statische Struktur verantwortlich ist, der Hanfkalk für die bauphysikalischen Eigenschaften.

Die Hanfkalkwandelemente und Hanfkalkdeckenelemente können auch als Fertigteile hergestellt werden. Es sind auch geneigte Dachelemente möglich. Der Einbau von Fenstern und Türen erfolgt wie beim klassischen Holzbau. Für Installationen werden entweder Leerverrohrungen in den Wand- und Deckenelementen eingebaut oder es werden Vorwandinstallationen ausgeführt. Installationen in Außenwänden müssen bezüglich der bauphysikalischen Vorgaben in der Planung besonders berücksichtigt werden.

### 2.3.1 Dach



Abb. 49: Dachstuhl

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org



Abb. 50: Einbau des Hanfkalks

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

#### Vorbereitung für eine Hanfkalk-Dachdämmung

Im Idealfall spannt man lediglich ein sogenanntes Putzarmierungsgitter auf der Unterseite der Dachsparren.

#### Einbau des Hanfkalks

Das zuvor eingebaute Gitter dient als Auflage für den Hanfkalk, der beim Einbau nur leicht verdichtet wird (Zieldichte: 160 kg/m<sup>3</sup>). Anders als hier dargestellt kann die Oberseite mit Holz verschalt und um eine diffusionsoffene Membran ergänzt werden, ehe man mit der Dacheindeckung beginnt. Alternativ ist hier auch eine dünne Kalkputzschicht denkbar. (Stichwort: Luftdichtigkeit)



Abb. 51: Nachbehandlung Hanfkalk

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

### Weitere Behandlung von innen

Später lässt sich die Unterseite idealerweise auch mit einem Kalkputz verputzen. Das zuvor eingebaute Putzarmierungsgitter dient des Weiteren zur Verzahnung mit dem Innenputz.

### Bauphysikalische Werte:

$\lambda = 0,042 \text{ W/(mk)}$	Wärmeleitfähigkeit
$\varepsilon = 0,9$	Emissionsgrad für langwellige Strahlung
$\mu = 3,6 / 4,8$	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl
$\rho = 160 \text{ kg/m}^3$	Rohdichte
$c = 1560 \text{ J/(kg-K)}$	Wärmekapazität

## 2.3.2 Decken



Abb. 52: Holzbalkendecke

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

### Holzbalkendecke

Das Bild links zeigt die Sanierung einer alten Holzbalkendecke. Die Gefache wurden zuvor ausgeräumt.

Im Neubau wäre das die Ausgangssituation. Die Unterseite könnte hier mit einem Putzarmierungsgitter bespannt werden oder mit einer Holzverschalung, die gleichzeitig als sichtbare Holzdecke dient.



Abb. 53: Holzbalkendecke Zwischenisolation

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

### Zwischenisolation Holzbalkendecke

Das Bild zeigt die bereits befüllten Gefache (Schüttdichte  $240 \text{ kg/m}^3$ ). Es ließe sich im Anschluss eine weitere Schicht mit Hanfkalk auftragen, um eventuelle Unebenheiten zu nivellieren.

Ein möglicher Zuschlag von Sand würde hier die Druckfestigkeit erhöhen und die Schalldämmung verbessern.





Abb. 54: Weiterer Bodenaufbau Holzbalkendecke

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

Hanfkalk lässt sich für die unterschiedlichsten Wandbauteile verwenden. Im Bestand lassen sich existierende Wandbauteile zusätzlich dämmen. Darüber hinaus hilft Hanfkalk, feuchte Bauteile dank seiner hydrophilen Eigenschaften auszugleichen. Im Neubau empfiehlt sich ein preisgünstiges Holzständerwerk, das lediglich den statischen Erfordernissen gerecht wird. Dabei übernimmt der Hanfkalk auch die Feuerfestigkeit, sodass tragende Holzbauteile nicht größer dimensioniert werden müssen, um einer höheren Feuerwiderstandsanforderung gerecht zu werden. Das ist ein wichtiger Aspekt für Hochbauten in Holzbauweise (Stichwort: Eigenlasten). Die

### 2.3.3 Wand

Die folgenden Abbildungen und Erläuterungen geben einen Überblick über das Thema Wandaufbau mit Hanfkalkanwendung.



#### Weiterer Aufbau

Die Installation einer Bodenheizung wäre möglich. Der folgende Estrich lässt sich ebenfalls mit Kalk und Estrichsand herstellen. Auf den Kalkestrich empfiehlt es sich, einen diffusionsoffenen Kalkkleber mit Armierungsgewebe aufzuziehen.

#### Bauphysikalische Werte:

$\lambda = 0,048 \text{ W/(mk)}$	Wärmeleitfähigkeit
$\epsilon = 0,9$	Emissionsgrad für langwellige Strahlung
$\mu = 5,5$	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl
$\rho = 240 \text{ kg/m}^3$	Rohdichte
$c = 1560 \text{ J/(kg-K)}$	Wärmekapazität

so mit Hanfkalk ausgefüllten Gefache übernehmen auch dank der hohen Duktilität die Aufnahme von Lasten aus Erdbebenereignissen, da sie wie ein Elastomer die Bewegungskräfte absorbieren und dem Bauwerksversagen entgegenwirken. Risschäden lassen sich ohne großen Aufwand zu jeder Zeit örtlich reparieren.

**Wichtig:** Hanfkalk kommt ohne chemische Zusatzmittel, wie z. B. Biocide oder Konservierungsstoffe, aus.







Abb. 55 – 58: Wandaufbau Hanfkalkbauweise

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

### Holzständerwerk mit Hanfkalkisolierung

Holzständerwerke wurden in der Vergangenheit eher schlank ausgeführt. Wegen der erhöhten Anforderungen an die Wärmedämmung mussten die Holzbauteile immer größer dimensioniert werden, um die erforderliche Dämmung [insulation] in den

Gefachen aufnehmen zu können. Mit Hanfkalk wird das gesamte Ständerwerk eingepackt, wodurch man zur schlanken und kostensparenden Bauweise zurückkehren kann.



Abb. 59 – 62: Herstellung Hanfkalkwand

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org



### Fachwerkwand mit Hanfkalk-Innenisolierung

Eine bestehende historische Fachwerkwand wurde über die Jahrzehnte innen mit Glaswolle und Styropor gedämmt und mit Gipsbauplatten verschalt. Mit der Zeit gab es hier und da Feuchteschäden und einen Befall von Nagetieren. Nach dem Rückbau

dieses Innenausbaues wurde die Fachwerkwand mit einer Hanfkalk-Innendämmung versehen und anschließend mit Kalksandputz verputzt. Sämtliche Undichtigkeiten wurden so beseitigt, ein Befall durch Nagetiere in Zukunft ist auszuschließen.



Abb. 63 – 65: Bestandssanierung mit Hanfkalk

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

### Ziegelwand mit Hanfkalk-Isolierung

Bei alten Ziegelsteinwänden tritt oft das Problem der aufsteigenden Feuchtigkeit auf. Hanfkalk in ausreichender Dicke reguliert die Feuchtigkeit ohne zusätzliche Isolierungsmaßnahmen, gesetzt den Fall es

ist von außen kein drückendes Wasser vorhanden. Der abgebildete Raum, der hier entstehen soll, wird ein Bad im Rahmen eines EU-Projektes.



Abb. 66 – 67: Innenwand aus Hanfkalk

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org



## IV. Kapitel

### Innenwand aus Hanfkalk

Wird Hanfkalk im Innenausbau verwendet, ist eine deutliche Verbesserung des Raumklimas zu erwarten. Dank seiner geringen Dichte können Hanfkalkwände oft wie im Trockenbau auf der gesamten Fläche angewendet werden. Im Anschluss empfiehlt

sich das Auftragen eines Kalkputzes, aber auch eine Beschichtung zum Erhalt der Optik aus Leinöl oder eine Kalkcasein-Lösung ist machbar. Hanfkalk kann auch mit Lebensmittelfarben eingefärbt werden.



Abb. 68 – 69: Innenwand Verputzarbeiten

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

### Hanfkalk-Putze

Neben den klassischen Kalksandputzen gibt es auch die Anwendung von Hanfkalkputzen, die neben feiner Hanfschäben Gesteinsmehl als Zuschlag enthalten. Besonders in Feuchträumen ist die hohe Wasseraufnahmefähigkeit von Bedeutung. Hanfkalkputz kann auch in Kombination mit Kalkglätte verseift werden, wodurch er sich auch für Nassbereiche eignet.

**Wichtig:** Als Putz kommen Lehm- oder Kalkputze in Frage, aber auch eine Beschichtung aus Leinöl oder Kalkcasein lässt die besondere Sichtoberfläche des gestampften Hanfkalks gelten.

### 2.3.4 Boden







Abb. 70 – 72: Hanfkalk als Bodenaufbau

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

### Hanfalkboden auf Betonplatte

Für ein kleines Nebengebäude mit bereits existierender Betonplatte wurde eine 10 cm Hanfkalkdämmung aufgebracht. Da der Hanfkalk von unten kaum CO<sub>2</sub> aufnehmen kann, fiel in diesem Fall die Wahl auf hydraulischen Kalk, der mit Wasser abbindet und keine Karbonatisierung durchlaufen muss.

Nach der Trocknung wurde ein Kreuzrahmen montiert und darauf ein Massivholzboden verlegt.

**Wichtig:** Wegen der langen Trocknungszeit ist Bautrockner zu verwenden!



Abb. 73 – 76: Hanfkalk als Bodenaufbau

Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Kai Rosit – Kugelblick.org

### Hanfalkboden auf gewachsenem Boden

Alte Gebäude verfügen oft nicht über eine Betonplatte. Zunächst wird der Boden ausgeschachtet und anschließend mit einer Schicht von zirka 20 bis 30 cm Schotter als kapillarbrechende Schicht installiert. Darauf kommen 10 bis 20 cm Hanfalk. Im Anschluss kann ein Kalkestrich hergestellt werden, der

auch die Bodenheizung aufnimmt. Die Verwendung von zusätzlichen Geotextilien ist möglich.

**Wichtig:** Bei dieser Bauweise ist auf eventuell vorkommende Gase wie Radon zu achten, um gegebenenfalls entsprechende Maßnahmen zu ergreifen!

## 3. Lehmbau

Der Lehmbau zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus: Lehm ist

- ein nachwachsender Rohstoff,
- raumklimatisch günstig,
- nicht brennbar,
- bei richtiger Verwendung gut recyclebar,
- gut geeignet für maximal dreigeschoßige Gebäude,
- es kann eine Wandheizung integriert werden,
- er kann wie Tonziegel verarbeitet werden, d. h., bei Verwendung eines Lehmziegels sind keine wesentlichen Umstellungen in der Baumethodik nötig,
- er kann auch als Stampflehm verwendet werden (mit Schalung).



Abb. 77: Lehmhausbau

Mehr Informationen über den Lehmbau finden Sie im Schulbuch *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION 3*, S. 186 bis 189.

## 4. Dämmstoffe

Es gibt eine Vielzahl von Dämmstoffen (siehe dazu *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION, Band 1*). Der Ansatz, komplett auf Dämmung [*building insulation*] zu verzichten, ist auch im Bereich des Möglichen. Ziel des neuen Aufbaues sollte eine fast 100%ige Ver-

wertung sowie eine fast gegen null gehende Entsorgung sein.

Die folgende Übersicht ist als Wiederholung bzw. Einstieg in die nachfolgende umfassende Behandlung des Themas Dämmung gedacht.

DÄMMSTOFFE	EPS	XPS	PU	SCHAUM-GLAS	GLAS-WOLLE	STEIN-WOLLE	KORK	HANF	SCHAF-WOLLE	BAUM-WOLLE	HOLZ PAPIER/ZELLULOSE
ANORGANISCH				X	X	X					
ORGANISCH	X	X	X				X	X	X	X	X
NACHWACHSEND							X	X	X	X	X
NICHT NACHWACHSEND	X	X	X	X	X	X					
BRENNBAR	X	X	X				X	X	X	X	X
UNBRENNBAR				X	X	X					
FEUCHTERESISTENT		X	X	X							
FEUCHTE-EMPFINDLICH	X				X	X	X	X	X	X	X
STARK BELASTBAR		X		X							
MITTEL BELASTBAR	X						X				



GERING BELASTBAR			X		X	X		X	X	X	X
λ-WERT DÄMMWERT	0,033 – 0,040	0,030 – 0,040	0,020 – 0,025	0,050	0,040	0,040	0,050	0,045	0,041	0,041	0,040 – 0,100
μ-WERT	60	150	60	∞	1	1	50–10	1–2	1–2	1–2	5–50
IMPRÄGNIERUNG INSEKTENSCHUTZ NOTWENDIG								X	X	X	T
TRITTSCHALL- DÄMMUNG	X EPS-T				X	X	T	X	X	X	
AWDVS	X	X	X	X		X	X	X	X	X	T
AW-DÄMMUNG MIT VORSATZSCHALE BELÜFTET	X				X	X	X	X	X	X	
AW-DÄMMUNG MIT VORSATZSCHALE NICHT BELÜFTET	X EPS-T	X	X	X		X	T				
LIEFERFORM	P(L)	P	P	PL	RPL	RPL	RP	RPL	RL	RL	L
FORMATE	50/100 50/200 60/100 60/200 62,5/120 50/125	50/100 50/200 60/100 60/200 62,5/120 50/125	50/100 50/200 60/100 60/200 62,5/120 50/125	50/100 50/200 60/100 60/200 62,5/120 50/125	PLATTEN 50/100, 50/200 60/100, 62,5/120 ROLLEN 60/200 62,5/120 50-100 BREITE AB 400 LÄNGE	50/100 50/200 60/100 60/200 62,5/120 50/125	58/120 62,5/120 ROLLEN 50-100 AB 400	50-100 BREITE AB 400 LÄNGE			
T ... TEILWEISE ANGEWENDET	R ... ROLLEN			P ... PLATTEN				L ... LOSE			

Die blau unterlegten Dämmstoffe sollten in Zukunft substituiert werden. Hingegen sollten die grün unterlegten Dämmstoffe forciert werden. In diesem Bereich müssen aber noch Themen wie Umweltschutz (Behandlung gegen Insekten, Brandschutz etc.) sowie Preise und Montageerleichterungen hinterfragt und dementsprechend modifiziert werden.

Dämmstoffe dienen den bauphysikalischen Aufgaben Wärme/Schallschutz und der Berücksichtigung des Brandschutzes. Die Dämmstoffe werden üblicherweise nicht allein, sondern in Kombination mit Massivbau und/oder Holz-Stahlkonstruktionen verwendet. Sie sind ideal geeignet zur Wärmedämmung, hingegen ungeeignet zur Wärmespeicherung. Je nach Materialqualität und Herstellungsart

können sie für den Schallschutz eingesetzt werden. In der folgenden Übersicht werden alle aktuell verwendbaren Dämmstoffe mit ihren Möglichkeiten und Grenzen dargestellt.

Bei den Dämmstoffen wird zwischen künstlichen und natürlichen Dämmstoffen unterschieden (siehe dazu auch die Abschnitte 4.4.3 und 4.4.4):

## DÄMMSTOFFE

### Künstliche Dämmstoffe

#### a) Künstliche Dämmstoffe

Diese Materialien müssen in einem industriellen Fertigungsprozess aus nachwachsenden und nicht nachwachsenden Rohstoffen mit teils erheblichem Energieaufwand hergestellt werden. Der Vorteil liegt in der einfachen, standardisierten und verlässlichen Anwendung, die somit exakt definierte Wärme- und Schalldämmwerte ermöglichen. Der Nachteil liegt in der energieaufwendigen Produktion sowie der überwiegenden Nutzung nicht nachwachsender Rohstoffe.

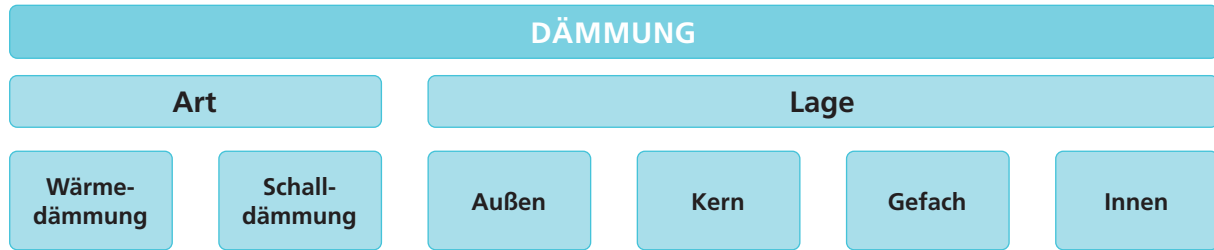
### Natürliche Dämmstoffe

#### b) Naturdämmstoffe

Darunter werden Dämmstoffe aus Materialien organischer und anorganischer Herkunft zusammengefasst. Die Basis bilden Nutzpflanzen wie Hanf, Flachs, Holz, Kork und dgl. In letzter Zeit werden auch verstärkt Schafwolle und mineralische Stoffe verwendet. Weiters werden Recyclate wie Cellulosefasern aus Altpapier oder Schaumglasschotter eingesetzt.

Die geforderte Brandbeständigkeit wird durch Zugaben von z. B. Soda, Zement und Borsalzen (nicht mehr so oft) erreicht. Diese Systeme sind auch gegen Schädlings- und Schimmelbefall wirksam.

Wir unterscheiden primär zwischen Art und Lage:



### 4.1 Arten der Dämmung

#### a) Wärmedämmung

Unter Wärmedämmung [*thermal insulation*] versteht man die Reduktion des Durchganges von Wärmeenergie durch eine Hülle, um einen Raum oder einen Körper vor Abkühlung oder Erwärmung zu schützen. Man verwendet Wärmedämmung im Bauwesen, um die Auskühlung beheizter Gebäude zu minimieren (OIB-Richtlinie 6). Unzureichender Wärmeschutz kann zu Ausfall von Tauwasser führen. Dies führt mittel- bis langfristig zu Mängeln in der Baukonstruktion, wie z. B. Schimmel, Pilzwachstum u. dgl., und in weiterer Folge auch zur Verringerung der statischen Tragfähigkeit. Ein weiterer sehr wichtiger Punkt ist, dass Schimmelpilzbefall nachweislich gesundheitliche Probleme hervorruft. Besonders aggressiv ist der gemeine Hausschwamm, der meldepflichtig ist.

Detaillierte Informationen über die bauphysikalischen Kennwerte wie Wärmeleitfähigkeit, Wärmedurchgangskoeffizient und Wärmedurchlasskoeffizient finden Sie in *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION, Band 2*.

Als Wärmedämmstoffe werden in der Technik Stoffe bezeichnet, deren spezifische Wärmeleitfähigkeit besonders gering ist (kleiner  $0,1 \text{ W/(mK)}$ ).

Beispiele für Wärmedämmungen sind etwa die Wanddämmung, Deckendämmung, Dachdämmung, Fassadendämmung sowie die Perimeterdämmung.

#### b) Schalldämmung

Diese Dämmstoffe unterstützen den Schutz vor Luftschall, Körperschall und Trittschall (siehe auch *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION, Band 2, Kapitel Bauphysik*). Von besonderer Bedeutung sind die Materialien für die Trittschalldämmung im Fußbodenaufbau. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass hohe Wärmedämmwerte [*thermal insulation value*] bei Außenwänden die Schalldämmwerte vermindern können. Dies betrifft insbesondere Außenwände mit Ziegeln und einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS).

### 4.2 Lage der Dämmung

#### a) Innendämmung

Unter Innendämmung [*internal insulation*] werden Maßnahmen verstanden, bei denen der Dämmstoff

von innen auf die Außenwände und Decken angebracht wird. Zur Innendämmung wird gegriffen, wenn es spezielle Anforderungen an das Gebäude gibt, z. B. beim Denkmalschutz.

Durch die Innendämmung bleibt die Fassade erhalten, einzelne Räume können damit gedämmt werden und etwaige bautechnische Mängel (z. B. Schimmelbefall) können dadurch saniert werden.

Bei der Innendämmung handelt es sich um eine Spezialanwendung, die mit äußerster planerischer, ausführender und wirtschaftlicher Sorgfalt betrieben werden sollte (siehe dazu auch *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION, Band 3*).

Die Wärmedämmung kann nicht losgelöst werden vom Lüftungsverhalten (siehe Luftdichtheit).

So vergrößert die Wärmedämmung die Wärmeunterschiede zwischen den Bauteilen. Sollte es zu Leckagen und dadurch zu Innenluft und Wasserdampf kommen, kann das zur Bildung von Kondenswasser führen. Daher ist mittels Dampfsperre (luftdichte Abdichtung [*seal, sealing*]) das Eindringen von Luft und Wasser größtmöglich zu verhindern. 100 % Dichtheit ist generell nicht machbar.

Feuchtigkeit kann zum Beispiel über kapillare Baustoffe abtransportiert werden. Diese Baustoffe sind Lehm, Calciumsilikat-Platten, Porenbeton [*aerated concrete, cellular concrete*] oder Holzfaserwerkstoffe. Porenbeton kann zwar Feuchtigkeit aufnehmen, jedoch nicht schnell abgeben. Bei der Planung ist darüber hinaus darauf zu achten, dass durch Anstriche keine Sperrwirkung erzielt wird.

Hohe Feuchtigkeit in Räumen kann man durch richtiges Lüften in den Griff bekommen. Kommt es jedoch durch Leckagen im System zu undichten Stellen, muss dies durch konstruktive Maßnahmen kompensiert werden.

Beispielsweise können Fehler der Rahmendämmung zu massiven Einlagerungen in der Konstruktion führen. Dadurch kommt es zur Schimmelbildung, die tieferliegend eingebettet ist.

Die Luftdichtheit eines Gebäudes wird daher nicht durch die Dämmung verändert, sondern vielmehr durch die luftdichten Anschlüsse von fugenfreien Fenstern an den Innenputz.

#### b) Außendämmung

Die Wärmedämmung an der Außenseite des Gebäudes sorgt nicht nur für optimalen Schutz vor Kälteeinwirkung in das Gebäude, sondern ermöglicht die Wärmespeicherung bei Massivbauteilen und unter-

stützt den Schutz vor sommerlicher Überwärmung. Idealerweise ist der gesamte Wandaufbau von außen nach innen wasser- und winddicht und von innen und außen diffusionsoffen. Dieser Idealzustand kann bei einer Außenwand mit hinterlüfteter Vorsatzschale erreicht werden. Bei einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) ist eine Diffusionsfähigkeit von innen nach außen nicht gegeben. Dieser Umstand muss schon bei der Gebäudekonzeption berücksichtigt werden. Bei Außendämmungen ist auf die richtige Montage (Stoßfugen, Befestigung etc.) zu achten, insbesondere bei Anschlüssen von Fenstern und Türen sowie im Bereich Sonnenschutz, Sturz, Terrassen und Balkonen.

Unter WDVS (Wärmedämmverbundsystem) versteht man ein Dämmsystem für die Außenwand.

### 4.3 Künstliche Dämmstoffe

Künstliche Dämmstoffe (siehe auch S. 67) werden als Dämmplatten für das WDVS verwendet, z. B.:

- gebundene Mineralwolle (MW-PT)
- expandiertes Polystyrol (EPS – F)
- extrudiertes Polystyrol (XPS)
- Polyurethan-Hartschaum-Platten (PUR-PT)
- Holzwolle-Dreischicht-Dämmplatten (WW-C/3)
- Hanfplatten

Edelputze auf Kalk-Zementbasis, mineralische Silikonputze u. dgl. werden als Beschichtung aufgetragen.

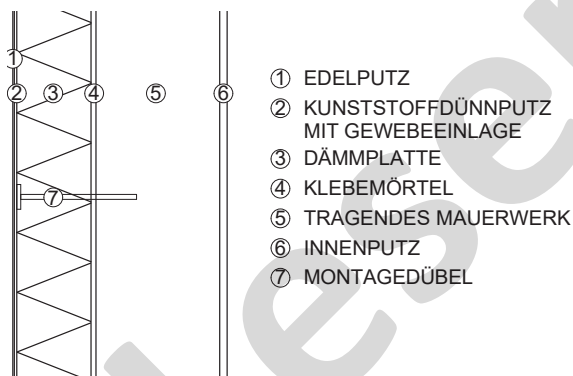


Abb. 78: Außendämmung

#### Hinweise:

- Ohne Verdübelung darf eine Wärmedämmung nur bis 8cm geklebt werden.
- Die Zahl und Lage der Dübel ist den entsprechenden ÖN/EN zu entnehmen bzw. den Herstelleranweisungen gemäß vorzunehmen.
- Innerhalb des Systems dürfen keine Herstellerwechsel erfolgen.
- Bei Gebäuden ab GK3 ist zwischen den Geschossen ein mindestens 50cm breiter Streifen nicht brennbarer Dämmung anzubringen (z.B.: Steinwolle) – siehe OIB RL2. *Achtung:* A2-Dämmungen haben meist einen schlechteren  $\lambda$ -Wert als übliche AWDVS-Dämmungen (EPS, XPS).
- Ab GK4 wird empfohlen, das gesamte AWDVS (Außenwand-Wärmedämmverbundsystem) aus A2-Dämmung herzustellen.

- AWDVS ist üblicherweise diffusionsdicht von innen nach außen, daher muss innen für ausreichendes Ablüften der Raumfeuchtigkeit gesorgt werden.
- Ziegelmauerwerk kann langfristig mehr Luftfeuchtigkeit aufnehmen als Beton.
- Holzwände müssen sicher vor eindringender Raumluftfeuchte geschützt werden.

#### Wichtig:

- Bei massiven Dämmfehlern sollte man auch den Aufbau unter den Fensterbrettern und bei den Öffnungen im Bereich der Außenwände betrachten (zum richtigen Aufbau im Bereich der Fenster siehe Details in Kapitel 5 und *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION, Band 1, Kapitel 14, S. 308 ff.*)
- Eine kontrollierte Wohnraumlüftung hilft ebenfalls bei zu viel Feuchtigkeit im Innenraum. Die Luftdichtheitsebene ist der Innenputz.
- Bei der Sanierung von Gebäuden ist immer die Summe der Maßnahmen wichtig – neue Fenster ohne Fassadensanierung sind nicht sinnvoll und umgekehrt.
- Derzeit am gebräuchlichsten sind EPS- und XPS-Systeme sowie Glas- und Steinwolle. Aufgrund der Umweltdiskussionen werden in der letzten Zeit umweltverträgliche Systeme gesucht und eingesetzt.
- Neben der technischen Anforderung sind auch die Montageunterschiede sowie die wirtschaftlichen Betrachtungen wichtig.
- Aufgrund der Zusätze sind die „natürlichen“ Dämmstoffe besonders bei der Entsorgung zu betrachten. Achtung Eluatklassen: Kontaminationen oder Verunreinigungen des Bodens sind sowohl beim Ausbau als auch in der Entsorgung durch Vorsichtsmaßnahmen und erhöhte Kosten zu beachten (siehe **ÖNORM S2072**).
- Es ist auf den CO<sub>2</sub>-Äquivalenzwert (siehe *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION, Band 2, Kapitel 11, S. 394 ff. – Energieausweis*), die graue Energie und die sortenreine Trennung bei Abbruch und Entsorgung zu achten.



Abb. 79: Gebäudeabbruch

## IV. Kapitel

Kunststoffe können an sich sehr gut wiederverwertet werden. Es können daraus wieder reine Kunststoffe, Kunststoffsubstitute oder am Ende des

Lebenszyklus Energie in Form von Verbrennungen hergestellt werden.

### EPS-VERWERTUNG

#### Recycling

Die Wiederverwertung von Kunststoffen stellt für die Bauwirtschaft eine Herausforderung dar:

Erstens ist Kunststoff aufgrund der derzeit üblichen Baumethodik sehr vielfältig und daher auch nicht sortenrein auf der Baustelle anzutreffen. Das heißt, wenn man diese Kunststoffe vernünftig wiederverwenden möchte, ist ein extremer Mehraufwand aufgrund der Demontierarbeiten und der Sortierarbeiten einzurechnen.

Zweitens müssen Kunststoffe im Bereich der Dämmung in verschiedenen Punkten ertüchtigt werden. Beispielsweise muss ein Dämmstoff mit Flammschutzmittel beaufschlagt werden, damit er an der Fassade angebracht werden kann. Dieser Vorgang ist auch bei allen weiteren, sogenannten natürlichen, Dämmstoffen zu bewerkstelligen (siehe dazu 4.4 Natürliche Dämmstoffe).

Das früher stark verwendete Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) wird als Umweltgift eingestuft und darf seit 21. Aug. 2015 nicht mehr hergestellt werden. Diese Substanz wurde durch Polymer-FR ersetzt, das als unbedenklich eingestuft wird.

Grundsätzlich stellt sich die Frage, wie mit all den XPS- und EPS-Dämmstoffen, die vor 2015 auf den Fassaden verbaut wurden, vorzugehen ist. Viele EPS-Fassaden, die zu wenig Dämmstärke aufwiesen, wurden einfach aufgedoppelt, d. h., die „alte“ Platte wurde nicht entfernt.

Bis dato wurden Platten, die mit dem HBCD-Mittel angereichert wurden, einfach verbrannt. Das Flammmittel zersetzt sich bei ca. 190 °C und ist damit sowohl für die Umwelt als auch den Menschen unbedenklich.

Recycling von HBCD-EPS-Produkten wäre heute problemlos möglich. Das Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) hat vor ca. 15 Jahren zur besseren Recyclingfähigkeit die Methode CreaSolv entwickelt. Bei dem Verfahren werden die

#### Thermische Verwertung

EPS-Systeme mittels Lösungsmittel verflüssigt und danach wird der Dämmstoff vom Flammschutzmittel getrennt.

Beim Recycling ist darauf zu achten, dass die praktische Umsetzung auch wirtschaftlich machbar ist. Ein weiteres Problem ist auch, dass das verbotene Flammschutzsystem HBCD nicht in den recycelten Produkten auftauchen darf, d. h., das Verbot der HBCD-Verbindungen hat gleichzeitig zu einem Recycling-Verbot für EPS-Fassadensysteme geführt. Daher ist aus dem derzeitigen technischen Stand die thermische Verwertung [thermal utilization] besser.

Von 1960 bis 2012 wurden allein in Deutschland 900 Mio. m<sup>2</sup> Wärmedämmverbundsystem verbaut und hiervon 720 Mio. m<sup>2</sup> EPS-Systeme. Seitdem kam es zu einer weiteren Steigerung. Um diese moderat zu halten, empfehlen Wissenschaftler/Wissenschaftlerinnen die Ertüchtigung von alten EPS-Systemen durch weiteres Aufdoppeln. Dadurch wird die Lebensdauer noch einmal gesteigert und sollte, bei korrekter Anwendung, bis zu 120 Jahre andauern.

In Deutschland wäre es möglich, die prognostizierten jährlichen Rückbaumengen (bis zu 50 000 t) jederzeit in den kommunalen Müllverbrennungsanlagen thermisch zu verwerten, gemeinsam mit dem anderen Restmüll. Hieraus wird elektrischer Strom oder Heizwärme gewonnen. Bei einem Versuch im Müllkraftwerk Würzburg wurde festgestellt, dass die dabei entstehenden Schadstoffemissionen unter den gesetzlich zulässigen Grenzwerten liegen, wenn der Anteil des EPS am gesamten Brenngutgewicht maximal zwei Prozent beträgt.

In Zukunft könnte (aus derzeitiger Sicht) mit dem Polymer-FR-System ein Flammschutzmittel verwendet werden, das weder für die Umwelt noch für den Menschen gefährlich ist. Mit dem CreaSolv-Verfahren (entwickelt vom Fraunhofer Institut – siehe oben) könnten die alten Systeme getrennt und wiederverwendet werden.

#### Zuschlag neue Produkte

## 4.4 Natürliche Dämmstoffe

Unbehandelte biogene Rohstoffe können zusammen mit anderen brennbaren Baumaterialien in Abfallverbrennungsanlagen thermisch verwertet wer-

den. Laut Deponieverordnung sind alle biogenen Dämmstoffe von der direkten Deponierung ausgeschlossen.

### NATÜRLICHE DÄMMSTOFFE

Zellulose

Hanf

Schilf

Seegras

Schafwolle

Holzfasern

Stroh



## a) Zellulose

Das Grundmaterial dieses Dämmstoffes ist mechanisch zerkleinertes, getrocknetes und entstaubtes Zeitungspapier. Die bauaufsichtliche Zulassung wird unter anderem durch die DIN EN 15101-1 *Wärmedämmstoffe für Gebäude – An der Verwendungsstelle hergestellter Wärmedämmstoff aus Zellulosefüllstoff* geregelt. Die häufigste Einbringform ist das sogenannte Einblasen. Durch diese Technik ist es möglich, auch sehr verwinkelte und komplexe Bauteile ausreichend zu dämmen. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Zelluloseplatten.

Um die Brandschutzklasse B2 bis B1 zu erreichen, müssen Borsalze oder Ammoniumphosphat zugegeben werden. Neben dem Brandschutz wird damit auch das Schädlingsproblem reduziert.

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = W/(mK)$	0,04
Wärmespeicherkapazität $c = J/kg/K$	2150
Rohdichte $\rho = kg/m^3$	60
Wasserdampfdiffusionszahl $\mu$	1 – 2
Baustoffklasse nach DIN 4102	B2 normal entflammbar

## b) Hanf – siehe auch Hanfkalk Seite 55 ff.

Wie künstlicher Dämmstoff muss auch der natürliche Dämmstoff Hanfkalk mit Flammschutzmittel beaufschlagt werden, da Hanfdämmung unbehandelt nicht den Brandschutzbestimmungen entspricht. Hanf muss mit Borsalzen oder Soda imprägniert werden.

## c) Schilf (noch keine baurechtliche Zulassung)

Das Schilfrohr wird nach dem ersten Frost geerntet. In diesem Zustand sind die Halme abgestorben und ausgetrocknet. Nichtsdestotrotz müssen die Halme sortiert und gut getrocknet werden, da sie sonst faulen würden. Schilf kann als Zwischensparrendämmung oder als Aufdachdämmung verwendet werden. Es kann in Wänden als Wärmedämmverbundsystem eingesetzt werden, jedoch nicht im Sockelbereich, sondern als Gefachdämmung in Holzrahmenbauweise. Weiters kann man Schilf als Kerndämmung, Innendämmung oder Trittschalldämmung unter dem Estrich verwenden.

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = W/(mK)$	0,038 – 0,065
Wärmespeicherkapazität $c = J/kg/K$	1200
Rohdichte $\rho = kg/m^3$	190 – 225
Wasserdampfdiffusionszahl $\mu$	2
Baustoffklasse nach DIN 4102	B2 normal entflammbar

## d) Seegrass (keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung!)

Der erste Schritt, aus dieser historischen Pflanze Dämmmaterial zu machen, ist das Trocknen und Reinigen der Fasern. Die Anwendung findet entweder über Einblssysteme, Schüttung oder Stopfwohle statt. Die Verwendung ist vielfältig. So kann Seegrass als Wärme- und Trittschalldämmung und als Füllmaterial bei einem Gefache eingesetzt werden.

Der Brandschutz wird aufgrund der natürlichen Salzhaltigkeit (Meeressalz) erreicht. Zugelassen ist es lt. DIN 4102-B2 *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*, es zählt zur Klasse der normal entflammbaren Baustoffe. Aufgrund des oben beschriebenen natürlichen Salzgehaltes ist eine zusätzliche Behandlung mittels Flammschutz nicht notwendig.

Seegrass ist diffusionsoffen, schädlings- und schimmelresistent (lt. Klasse 1). Aufgrund der Dichte weist es zudem gute Schalldämmwerte auf.

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = W/(mK)$	0,039 – 0,046
Wärmespeicherkapazität $c = J/kg/K$	2 502
Rohdichte $\rho = kg/m^3$	65 – 75
Wasserdampfdiffusionszahl $\mu$	1 – 2
Baustoffklasse nach DIN 4102 und EN 13501-1: B2 (DIN) und E (EN)	B2 normal entflammbar

## e) Schafwolle

Bevor Schafwolle als Dämmstoff verwendet werden kann, muss diese gewaschen und entfettet werden. Danach wird ein Mottenschutz aufgetragen, um Motten- und Käferlarvenfraß zu verhindern. Im Anschluss daran wird die Wolle aufgefasernd und zu einem dünnen Vlies verarbeitet. Durch Vernadeln oder thermisches Verfestigen in einem Ofen mit Kunstfasern werden einzelne Vliese aufgeschichtet, bis das richtige Gewicht pro Quadratmeter erreicht ist. Bei Schafwolle handelt es sich um ein diffusionsoffenes, geruchsneutrales, antistatisches und schmutzabweisendes Material. Weiters ist es gegen Schimmelpilze resistent. Sollte die obere Schicht der Fasern durch Wasser penetriert werden, ist Schafwolle stark wassersaugend (hygroskopisch bis zu 33 % ihres Eigengewichtes). Weiters hat Schafwolle die positive Eigenschaft, Schadstoffe und Gerüche zu binden.

Aufgrund des hohen Luftenschlusses in den Faserzwischenräumen hat Schafwolle auch in feuchtem Zustand eine gute Dämmwirkung. Schafwolle kann in Wänden, Decken, Außenfassaden, als Trittschalldämmung und in Dächern verwendet werden, weiters als Stopfwohle oder Hohlräumdämmung sowie als technische Dämmung (Kühlanlagen sowie bei Klima- und Lüftungsanlagen).

## IV. Kapitel

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = W/(mK)$	0,035 – 0,046
Wärmespeicherkapazität $c = J/kg/K$	1 300
Rohdichte $\rho = kg/m^3$	19 – 30
Wasserdampfdiffusionszahl $\mu$	1 – 2
Baustoffklasse nach DIN 4102	B2 normal entflammbar

### f) Holzweichfaser

Holzfasernplatten werden aus Restholz hergestellt. Sie werden durch Zerfaserung, Wasser und Hitze mittels holzeigener Klebefähigkeit produziert. Abhängig von der Verwendung können noch andere Bindemittel wie z. B. Bitumen, Paraffin oder dgl. zugegeben werden. Holzfaserdämmstoffe können zur Wärmedämmung oder Schallisolierung von Fußböden bis zu Dächern verwendet werden. Bei Dächern wird Holzweichfaser als Aufdachdämmung, Unterdachdämmung oder Putzträger eingesetzt.

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = W/(mK)$	0,04
Wärmespeicherkapazität $c = J/kg/K$	2 100
Rohdichte $\rho = kg/m^3$	160 – 250
Wasserdampfdiffusionszahl $\mu$	1 – 2
Baustoffklasse nach DIN 4102	B2 normal entflammbar

### g) Strohdämmung

Bei der Verwendung von Stroh als Dämmstoff muss beachtet werden, dass loses Stroh ein starkes Brandverhalten hat. Durch einen hohen Presszustand kann diese Eigenschaft kompensiert und Stroh als normal entflammbar (E) eingestuft werden. Ab einer Mindest-Rohdichte von  $85 kg/m^3$  gilt Stroh als normal entflammbar (lt. EN 13501-1:2007 + A1:2009:E) und darf verbaut werden. Eine Erhöhung der Brandschutzwiderstände kann durch Kalkputzsysteme erzeugt werden.

**Wichtig:** Stroh übernimmt keine tragenden Funktionen, diese werden durch die Holzständerkonstruktion o. dgl. übernommen.

Das Grundmaterial der Strohdämmung ist Roggen-, Weizen-, Gersten- oder Haferstroh. Zum Dämmen muss es vorher in Strohballen oder Strohbauplatten gepresst werden. Strohbauplatten werden derzeit

noch sehr selten eingesetzt. Aufgrund seiner Wärmeleitfähigkeit (0,051 – 0,055 W/mK) ist die Dämmwirkung gegenüber anderen Dämmsystemen eher gering. Dies wird durch die Dämmstärke kompensiert. Der Schall- und Hitzeschutz ist hingegen sehr gut. So wird der gesetzliche Rw-Wert (50 dB) meist übertroffen. Durch seinen Wasserdiffusionswiderstand von 1 bis 2 (Achtung: keine Einheit) ist Stroh ein diffusionsoffener und kapillaraktiver Werkstoff. Dadurch kommt es zu einer sehr guten Feuchte-regulierung.

### Vergleich von Stroh mit anderen Wärmedämmstoffen

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)	Mindestdämmdicke laut EnEV (cm)
Stroh	0,051 – 0,055	41
Hanf	0,04 – 0,045	16
Schilf	0,040 – 0,055	18
Steinwolle	0,035 – 0,045	14
EPS	0,035 – 0,045	14

Aufgrund seiner Eigenschaften eignet sich Stroh sehr gut für folgende Anforderungen:

#### Fassadendämmung

sowohl für die Außendämmung als auch für die Innendämmung von Außenwänden. Der Putz kann direkt aufgetragen werden oder als Teil einer hinterlüfteten Vorsatzschale.

#### Dachdämmung

für geneigte Dächer mit guter Hinterlüftung, vor allem um die Dämmschicht gut gegen Feuchtigkeit zu schützen

Zusammengefasst hat Strohdämmung folgende Vorteile und Nachteile:

Vorteile	Nachteile
Schall – Hitzeschutz	individuelle Bauzulassung
Diffusionsoffenheit und Kapillaraktivität	Feuchteresistenz – daher als Kerndämmung für zweischaliges Mauerwerk
einfache Entsorgung	begrenzter Schädlingschutz
	Brennbarkeit



## 5. Putz- und Mörtelsysteme [plastering]

Putze können aufgrund ihres Aufbaues und ihrer Stärke nur als Abfall deklariert werden.

Laut **ÖNORM B2210** ist Putz ein „ein- oder mehrlagig an Wänden und Decken aufgetragener Putzmörtel, der seine endgültigen Eigenschaften erst nach ausreichender Erhärtung (durch physikalische oder chemische Prozesse) am Untergrund erreicht.“

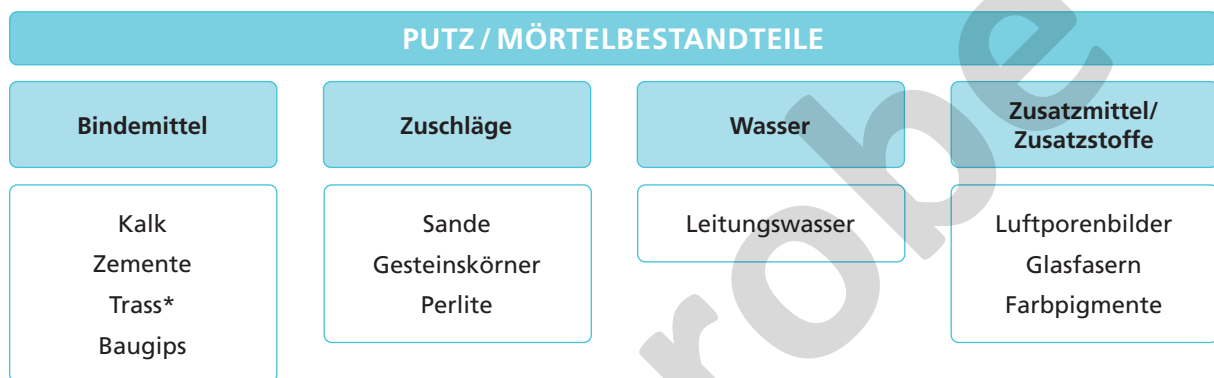
Die obere Putzschicht wird als Oberputz, die darunterliegende Schicht als Unterputz bezeichnet. Durch die Bindemittel und den Zuschlagstoff wird

das Putzsystem auf den Untergrund abgestimmt.

Die Funktionen des Putzsystems sind:

- Hygiene: Schutz der Wand vor Feuchtigkeit u. dgl.
- Schutz der Wand vor Beschädigungen
- bauphysikalische Funktion (Wasserdampfdurchlässigkeit, Wärmedämmung, Brandschutz und Schallschutz)
- Untergrund für Beschichtungen (Farbe u. dgl.)

### 5.1 Mörtelbestandteile



\*Unter Trass versteht man einen feingemahlene, puzolanischen Tuffstein, der unter Zugabe von Kalk oder Zement ein Bindemittel ergibt.

Man unterscheidet Putze nach der **Lage**:

- **Innenputz:** Regulierung der Feuchtigkeit, Untergrund, bauphysikalische Funktion, „Aussehen“  
**Innenputz-Mindestputzdicke (MPD) (It. ÖNORM B3346) sowie Nennputzdicke (NPD):**  
Sie beträgt bei Mauer/Hohlziegel oder Hohlblocksteinen für die Wand 10 mm (Nennputzdicke – 15 mm) und für die Decke ebenso 10 mm (Nennputzdicke – 15 mm).  
Bei Holzwolle-Dämmplatten liegt die Mindestputzdicke bei Wänden ohne Armierung bei 15 mm (Nennputzdicke – 20 mm) und mit Armierung bei 13 mm (Nennputzdicke – 18 mm). Bei der Decke sind die gleichen Werte anzunehmen.
- **Außenputz:** Schutz vor Witterung, Schutz vor mechanischer Belastung, bauphysikalische Funktion, Untergrund  
**Außenputz-Mindestputzdicke (MPD) (It. ÖNORM B3346) sowie Nennputzdicke (NPD):**  
Die Mindestputzdicke kann wie bei den Innenputzen zwischen MPD 10 – 20 mm und einer NPD von 15 – 20 mm angegeben werden.  
Ausnahme ist der Wärmedämmputz, der 30 – 35 mm auf der Wand und 15 – 20 mm bei der Decke beträgt. Die NPD liegt hier von 35 – 60 mm auf der Wand und bis 40 – 65 mm bei der Decke.

### 5.2 Einteilung nach Herstellungsart

#### a) Nassputz

Dieser wird in nassem Zustand verarbeitet (Bindemittel, Gesteinskörnungen und Wasser).

- Mineralische Nassputze erhärten durch Hydratation (Wasserzugabe). Aufgrund der kristallinen Struktur ist der Putzmörtel feuchtigkeitsbeständig und schimmelresistent (durch Calciumhydroxid).
- Lehmputze sind Systeme, die nicht abbinden und die durch Trocknen ihre Festigkeit erlangen. Problematisch ist, dass das System durch erneute Feuchtezugabe wieder aufweicht. Durch die begrenzte Feuchtigkeit ist heute ein Lehmssystem im Inneren noch sehr begehrt (Raumklima).
- Andere Mörtel und Beschichtungsstoffe beinhalten Stoffe, die durch chemische Reaktionen erhärten. Silikatputze erhärten hingegen durch Verkieselung.

#### b) Trockenputz

Darunter wird die Verkleidung von Wänden mit Gipskartonplatten verstanden. Der Vorteil ist, dass der Trockenbau wenig Wasser benötigt und Unebenheiten sehr gut begradigt werden können. Bei Feuchträumen werden spezielle Platten verwendet („grüne Platte“).

## 5.3 Einteilung nach Auftragungsort

### a) Innenputz

- **Einlagenputze**
  - Gipsputz
  - Gips-Leichtputze
  - Gips-Wärmedämmputze
  - Kalkputz
  - Trockenputze
- **Mehrlagenputze**
  - Kalk-Zement-Putze
  - Kalk-Zement-Leichtgrundputze
  - Kalk-Zement-Wärmedämmputze
  - Oberputze

### b) Außenputz

- **Mehrlagenputze**
  - Kalk-Zement-Putze
  - Kalk-Zement-Leichtgrundputze
  - Kalk-Zement-Wärmedämmputze
  - Oberputze
- **WDVS (Wärmedämmverbundsystem)** siehe Kapitel 4 Dämmstoffe

## 5.4 Eigenschaften und Verwendungszweck

Bezeichnung	Bez.	Eigenschaften
Normalputzmörtel	GP	keine besonderen Eigenschaften, Herstellung nach Rezept
Leichtputzmörtel	LW	Trockenrohdichte unter 1300 kg/m <sup>3</sup>
Edelputzmörtel	CR	Putzmörtel farbig
Einlagenputzmörtel für außen	OC	für eine einlagige Verarbeitung
Sanierputzmörtel	R	dient zum Verputzen von feuchtem Mauerwerk hohe Porosität und Wasserdampfdiffusion verminderte kapillare Leitfähigkeit
Wärmedämmputzmörtel	T	wärmedämmende Eigenschaften

Um einen Putz richtig auf einen Untergrund aufzubringen, muss dieser vorbereitet werden. So muss lt. **ÖNORM B2210** der Untergrund frei sein von Staub, Fett u. dgl. Des Weiteren muss der Ziegel (mit Malerpinsel) vorgesenst werden, um das Saugverhalten zu homogenisieren.

Zur Vorbehandlung des Untergrundes werden folgende Materialien verwendet:

- **Haftvermittler:** Vorspritzer (Zementmörtel u. dgl.), Haftbrücken, Haftschlämme und Haftmörtel sollen die Saugfähigkeit ausgleichen. Eine Besonderheit ist der armierte Vorspritzer (mit verzinktem Drahtgitter – mindestens 8 mm Dicke).
- **Putzarmierungen** sind Einlagen im Putz, die zur Rissbegrenzung (Textilgitter) dienen. Sie können entweder eingelegt oder aufgespachtelt werden.
- **Putzträger** werden verwendet, wenn der Untergrund nicht genügend tragfähig ist. Der Putz wird dabei auf den Träger aufgebracht. Klassische Putzträger waren Schilfrohmatten und Holzwoleplatten (Heraklitplatten). Heutige Putzträger sind Drahtziegelgewebe, Stucanet® oder Rippenstreckmetall.
- **Putzprofile** werden für Dehnfugen, Trennfugen, Abschlussfugen, Putztrennfugen, Fenster- und Türanschlüsse sowie Kanten und Sockelabschlüsse verwendet. Putzprofile bestehen aus Kunststoff, verzinktem Stahl, Edelstahl oder Aluminium.

### a) Kalkputze

Bis in die 1980er Jahre waren **Kalkputze** sehr gebräuchlich. Aufgrund ihrer sehr langsamen Abbindezeit sowie dem zweiteiligen Auftrag (mit Standzeit) wurden diese durch Maschinenputze langsam abgelöst. Bei modernen Kalkinnenputzen (MG P Ic) sind diese beiden Problematiken gelöst worden.

Der große Vorteil bei Kalkputzsystemen ist, dass sehr wenig Feuchtigkeit eingebracht wird. So werden nur 180 Liter/Tonne Trockenmörtel verwendet. Des Weiteren ist aufgrund der Feuchtregulierung eine weitgehende Schimmelvermeidung möglich.

### b) Kunstharzputze

Diese sind Bestandteil der Wärmedämmverbundsysteme (WDVS). Als Bindemittel wird eine Polymerdispersion verwendet. Diese Zuschläge können auf Basis mineralischer sowie organischer Stoffe sein. Der Unterputz ist auf mineralischer Basis.

### c) Wärmedämmputz

Aufgrund seines Aufbaues verfügt dieses System über eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,2 W/mK. Um diesen Wert zu erreichen, werden EPS, Vermiculite (seltenes Mineral aus der Klasse der Silikate) sowie Perlite (alteriertes vulkanisches Glas) zugemengt. Bezüglich der Brandbeständigkeit muss der Baustoff mindestens B/C (früher B1 – schwer entflammbar) entsprechen. Wenn nur Perlite zugemengt wird, entspricht das System A1/A2 (früher A1 = nicht entflammbar).

Wärmedämmputze können bis zu einer Dicke von 5 cm mit Putzmaschine und Spritze aufgetragen werden.

d) Sanierputz

Sanierputz dient zum Sanieren von feuchten Mauerwerken.

## 6. Abdichtungen

ABDICHTUNGEN			
Mineralische Abdichtungen	Bituminöse Abdichtungen	Kunststoffe	Metalle
Dichtbeton	Flüssigbitumen	Flüssigkunststoffe	Stahl
Sperrputz	Spachtelmassen	Spachtelmassen	Stahl verzinkt
Dichtschlämme	Bahnen	Bahnen	Titanzink
Sika-Riegel	Kalte Verklebung Heiße Verklebung (Immer auf Voranstrich bzw. vorbereitetem, passendem Untergrund)		Kupfer
Bentonit			Alu

Abdichtungen können aufgrund ihres Aufbaues und ihrer Stärke nur als Abfall deklariert werden.

Als Alternative wird Lignin, hier vor allem für Bitumen, gesehen. Es entsteht industriell in der Papierindustrie als Abfallprodukt. Um Lignin auch großtechnisch zu verwenden, sind jedoch noch einige Fragen bezüglich des Mischverhältnisses sowie der Reduktion des Schwefelgehaltes zu klären. Versuche, diese Probleme durch Trockenprozesse mit Heißdampf zu lösen, sind vielversprechend und können schlussendlich zur Verwendung von Lignin als Abdichtung (z. B. Dachhäute) oder im Straßenbau führen. Ebenso kann Lignin in Zukunft als biobasierter Klebstoff eingesetzt werden, der formaldehydhaltige Bindemittel im Holzbau ersetzt. Laut der Aalto Universität in Finnland kann dadurch eine realistische Alternative zur verstärkten Verwendung von Holz im Bauwesen gesehen werden.



Abb. 80: Industrielle Papiererzeugung

## 7. Vergleich von Wärmedämmwerten verschiedener Wandaufbauten

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die wesentlichen Baustoffe, deren mögliche Verwendung im Bereich nachhaltiger Nutzung sowie deren Recyclingfähigkeit beschrieben. In der folgenden Grafik wird die Dämmwirkung unterschiedlicher Baustoffe dargestellt. Es sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, Materialien anders einzusetzen und hinsichtlich ihrer Recyclingfähigkeit auszuwählen.

Es wird hier ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich um eine plakative Darstellung handelt, die keine wesentliche Aussage über andere technische und bauphysikalische Punkte trifft. Die unten angeführten Baustoffe sind als Beispiele zu sehen.

Als Basisbaustoff dient der Standard-50-cm-Hochlochziegel.

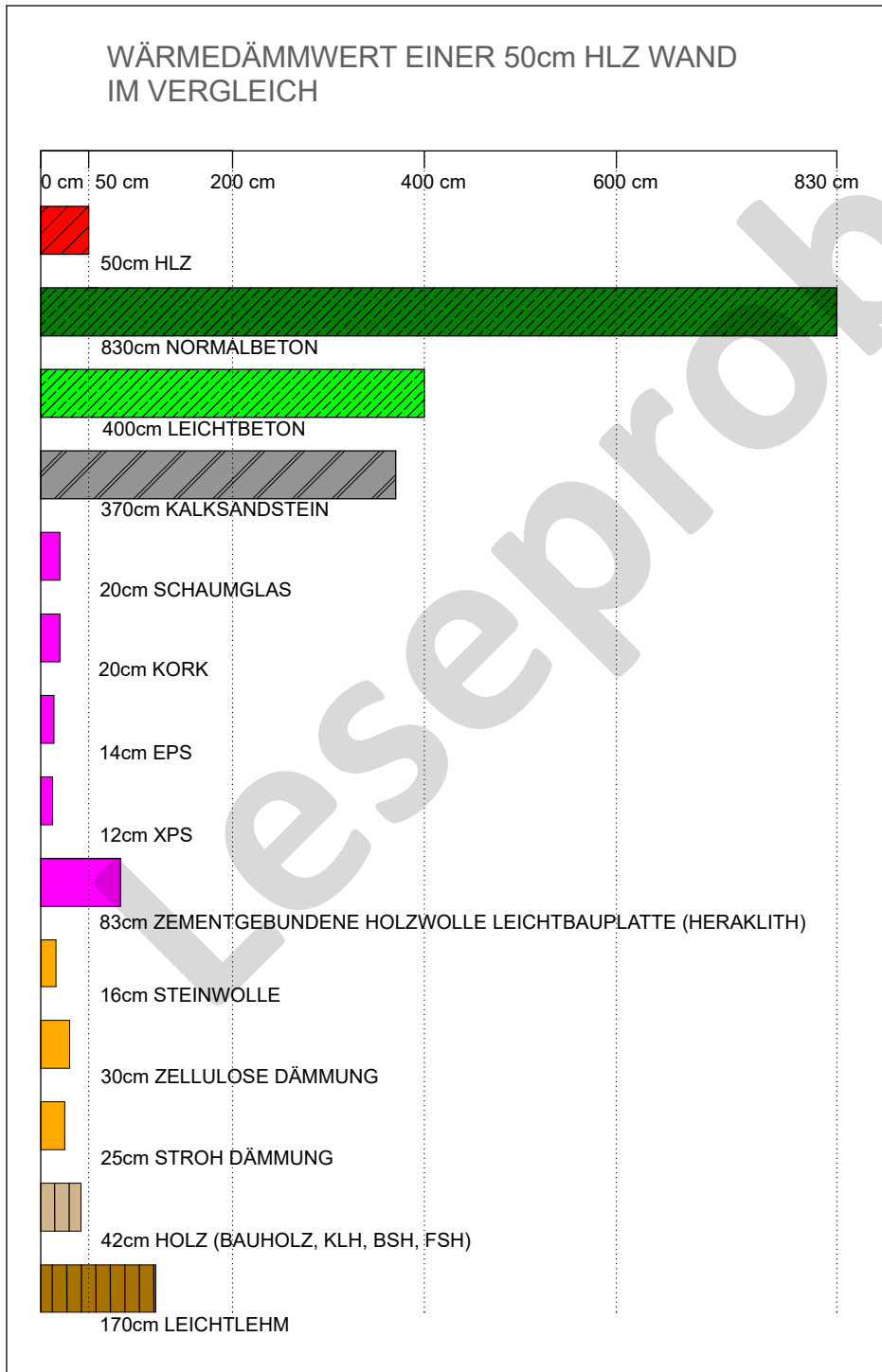


Abb. 81: Wärmedämmwert einer 50 cm dicken Holzwand im Vergleich (1)



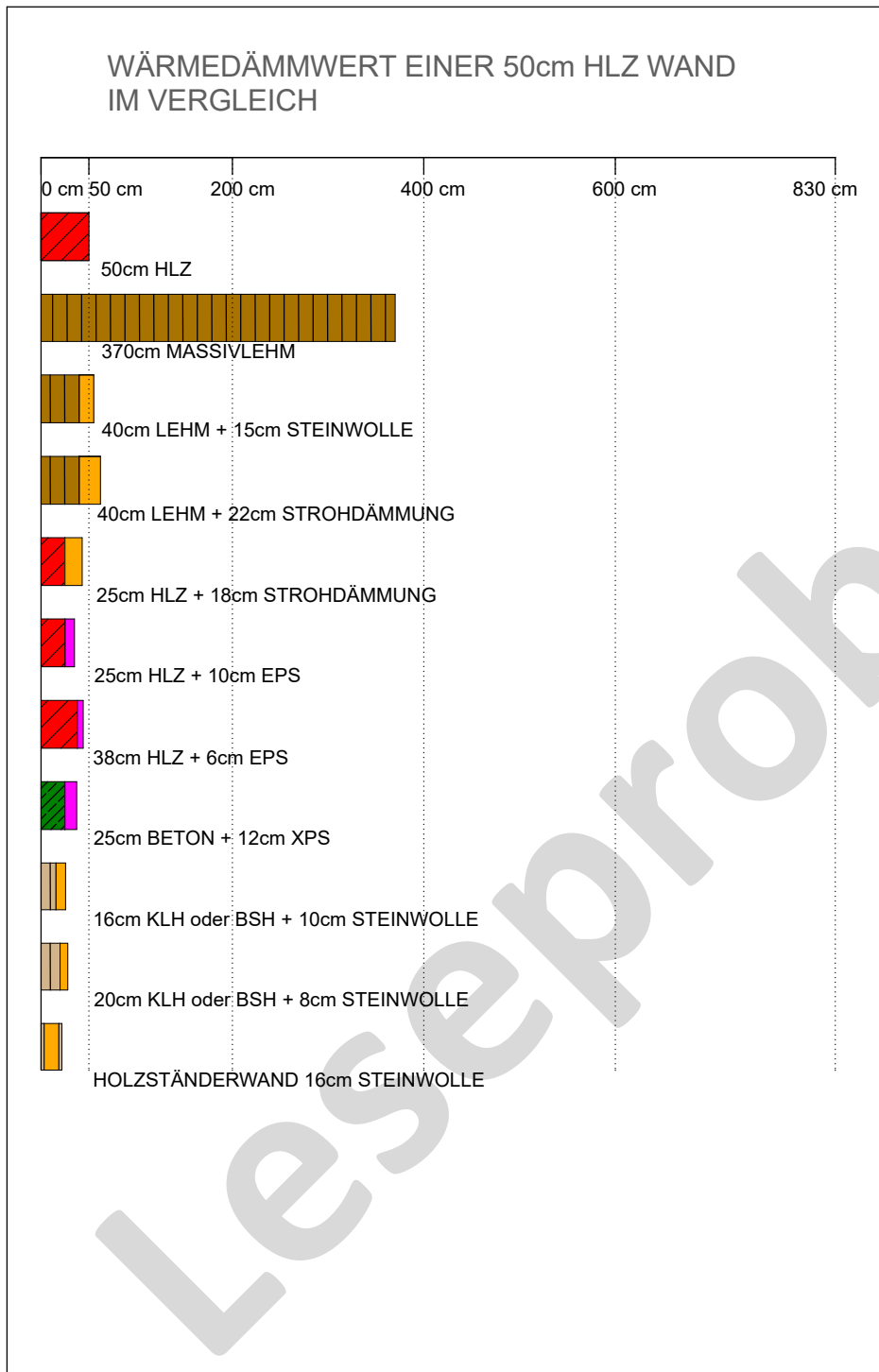


Abb. 82: Wärmedämmwert einer 50 cm dicken Holzwand im Vergleich (2)

Nachdem die wichtigen Materialien noch einmal kurz beschrieben wurden, sollen die folgenden Tabellen dazu anregen, Bauteile neu zu denken, d. h. von der Vereinfachung der konstruktiven Teile hinsichtlich des Lebenszyklus bis hin zur Wiederver-

wendung/zum Recycling und zur Verhinderung von Schadstoffen und Abfallprodukten.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick darüber, was aus recycelten Baustoffen hergestellt werden kann.

## IV. Kapitel

### ZIEGELBRUCH

Herkunft: Ziegelproduktion, Abbruch



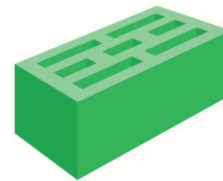
### RZ

Recyclierter Ziegelsand,  
Recyclierter Ziegelsplitt (vorwiegend Ziegel)



### Qualitätsbaustoff für

Zuschlagstoff für die Produktion von Mauerwerksteinen, Beton u. Leichtbeton; Stabilisierungen, Drainageschichten, Füllungen, Schüttungen



weitere für:  
- Dachbegrünungen  
- Landschaftsbau

### HOCHBAU/ZIEGELBRUCH

Herkunft: Wohnbau- und Hochbauabbruch



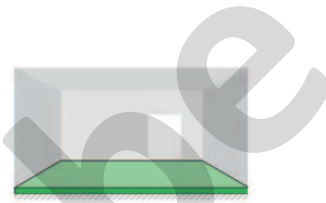
### RHZ

Recyclierter Hochbauziegelsand  
Recyclierter Hochbauziegelsplitt  
(Ziegel [über 30 %] mit z.B. Betonanteil)



### Qualitätsbaustoff für

Zuschlagstoff für die Produktion von Mauerwerksteinen, Beton u. Leichtbeton; Stabilisierungen, Füllungen, Schüttungen, Estriche



### HOCHBAUABBRUCH

Herkunft: Industriebau- und Allgemeiner Hochbauabbruch



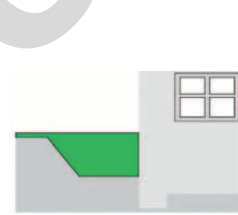
### RH

Recyclierter Hochbausand  
Recyclierter Hochbausplitt  
(Ziegel [unter 30 %] mit z.B. Betonanteil)



### Qualitätsbaustoff für

stabilisierte Schüttungen, stabilisierte Künettenverfüllungen, Bauwerkshinterfüllungen, Sportplatzbau



weitere für:  
- Sportstättenbau  
- Landschaftsbau  
- Land- und forstwirtschaftlichen Wegebau

### MINERALISCHE HOCHBAU-RESTMASSEN

Herkunft: Industriebau- und Allgemeiner Hochbauabbruch



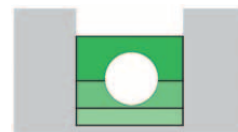
### RMH

Recyclierte mineralische Hochbau-Restmassen  
(Beton, Ziegel, natürliches Gestein)



### Qualitätsbaustoff für

Künettenverfüllungen, Hinterfüllungen, Schüttungen, Sportplatzbau-Drainage



### RECYCLING-SAND

Herkunft: Industriebau- und Allgemeiner Hochbauabbruch



### RS

Recycling-Sand



### Qualitätsbaustoff für

die Bettung von Energie- und Fernmeldekabeln (Kabelsand), von Leitungsrohren, z.B. von Kanal-, Gas- und Wasserleitungsrohren; sowie für weitere Infrastruktureinrichtungen

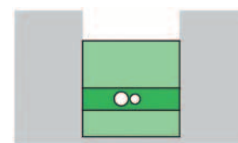


Abb. 83: Mögliche Produkte aus recycelten Baustoffen (1)

Quelle: BRV Österreichischer Baustoff-Recycling Verband, <https://brv.at/recycling-baustoffe/> (27. Dez. 2022)

## Vergleich von Wärmedämmwerten verschiedener Wandaufbauten

### ASPHALTAUFBRUCH

Herkunft: Straßenbau



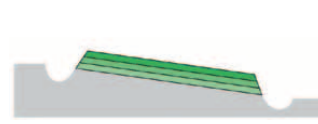
### RA

Recycliertes gebrochenes Asphaltgranulat (vorwiegend Asphalt)



### Qualitätsbaustoff für

ungebundene obere Tragschichten, ungebundene untere Tragschichten, gebundene Tragschichten, landwirtschaftlichen Wegebau, Zuschlagstoff für Asphaltproduktion



### BETONABBRUCH

Herkunft: Straßenbau, Brückenbau, Industriebau



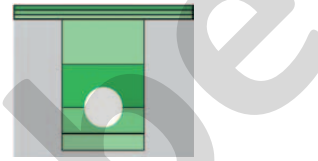
### RB

Recycliertes gebrochenes Betongranulat (vorwiegend Beton)



### Qualitätsbaustoff für

ungebundene obere und untere Tragschichten, zementgebundene Tragschichten, landwirtschaftlichen Wegebau, Zuschlagstoff für Betonproduktion, hochwertiges Künettenfüllmaterial, Drainageschichten



### ASPHALT/BETONABBRUCH

Herkunft: Straßenbau, Parkplätze, Brückenbau



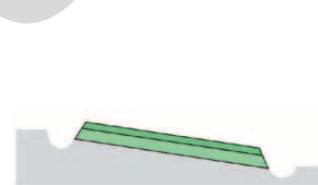
### RAB

Recycliertes gebrochenes Asphalt/Beton-Mischgranulat (Asphalt und Beton)



### Qualitätsbaustoff für

ungebundene obere Tragschichten, ungebundene untere Tragschichten, gebundene Tragschichten, landwirtschaftlichen Wegebau



### MINERALISCHE RESTMASSEN

Herkunft: Straßenbau



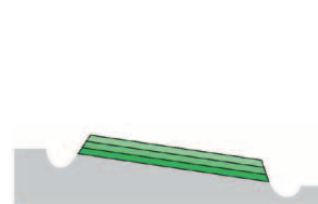
### RM

Recycliertes gebrochenes Mischgranulat aus Beton, Asphalt und natürlichem Gestein



### Qualitätsbaustoff für

ungebundene obere Tragschichten, ungebundene untere Tragschichten, gebundene Tragschichten



### RECYCLIERTES GESTEIN

Herkunft: Eisenbahnbau, Straßenbau



### RG

Recycliertes Granulat aus Gestein, Beton und/oder Asphalt



### Qualitätsbaustoff für

ungebundene obere Tragschichten, ungebundene untere Tragschichten, gebundene Tragschichten

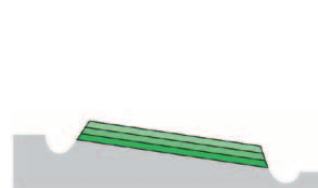


Abb. 84: Mögliche Produkte aus recycelten Baustoffen (2)

Quelle: BRV Österreichischer Baustoff-Recycling Verband, <https://brv.at/recycling-baustoffe/> (27. Dez. 2022)



## 8. Nachhaltige Energieträger

Die unten dargestellte Grafik stellt die umfangreichen Möglichkeiten nachhaltiger Energieträger dar.

**Wichtig:** Eine sehr ausführliche Beschreibung der Energieträger finden Sie in *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION. Band 2*.

**Erneuerbare Energie:** Darunter versteht man erneuerbare, nicht fossile Energieträger (aufgrund der Definition auch: unerschöpfliche).

Die unten dargestellten Energieträger, samt Technologie und typischer Anwendung stellen die derzeit wichtigsten verfügbaren Säulen dar.

<b>Solarenergie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Quelle: Sonne</li> <li>◦ Technologie: Photovoltaik und Solarthermie</li> <li>◦ Anwendung: Strom, Wärme und Kälte</li> </ul>
<b>Windenergie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Quelle: Wind</li> <li>◦ Technologie: Windkraftanlagen</li> <li>◦ Anwendung: Strom</li> </ul>
<b>Meeresenergie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Quelle: Wellen, Gezeiten</li> <li>◦ Technologie: Staudämme, Gezeitenkraftwerke</li> <li>◦ Anwendung: Strom</li> </ul>
<b>Wasserkraft</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Quelle: Wasser</li> <li>◦ Technologie: Wasserkraftanlagen</li> <li>◦ Anwendung: Strom</li> </ul>
<b>Geothermie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Quelle: Erde</li> <li>◦ Technologie: Geothermie – Wärmepumpe</li> <li>◦ Anwendung: Strom, Wärme und Kälte</li> </ul>
<b>Bioenergie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Quelle: Biomasse, Abfall</li> <li>◦ Technologie: Verbrennung, Biogasanlage, Biokraftstoffe</li> <li>◦ Anwendung: Strom, Wärme und Kälte, Verkehr</li> </ul>

Abb. 85: Nachhaltige Energieträger

Quelle: Europäischer Rechnungshof

Die Europäische Union hat sich zur Aufgabe gesetzt, den Energiemarkt nachhaltig zu gestalten. Der Ausbau der erneuerbaren Energie ist außerordentlich wichtig, um die Ziele des Pariser Klimaabkommens aus dem Jahr 2015 zu erfüllen. Ebenso wird durch erneuerbare Energie die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und der Energieeinfuhr aus anderen Staaten reduziert, wodurch die Energieversorgung gesichert wird.

Weitere Informationen und Festlegungen der EU-Staaten finden Sie unter <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/renewable-energy-5-2018/de/> (25. Juli 2024).

Um ein besseres Verständnis von der Primärenergieerzeugung in Österreich und im Vergleich aller 27 Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU-27) zu haben, sollen nachfolgende Grafiken des Bundesministeriums Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie dienen.

Inländische Primärenergieerzeugung nach Energieträgern in Petajoule 2005 – 2020

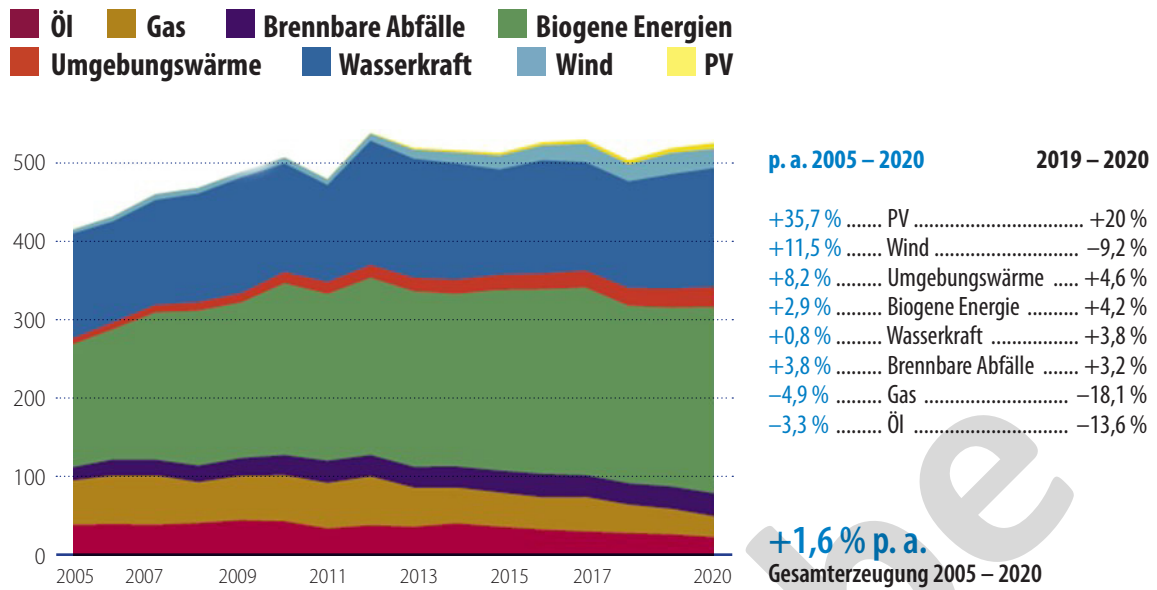


Abb. 86: Inländische Primärenergieerzeugung nach Energieträgern in Petajoule 2005 – 2020

Datenquelle: Energie in Österreich 2021 – Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (6. Mai 2022)

Zum Vergleich die Primärenergieerzeugung der EU-27 (Angaben in %)

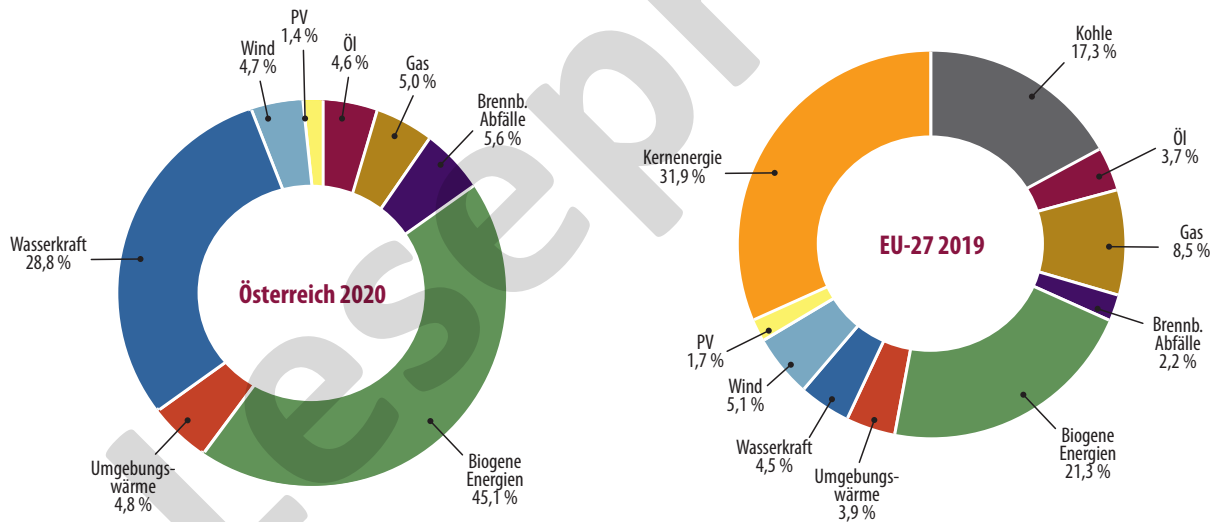


Abb. 87: Zum Vergleich die Primärenergieerzeugung der EU-27 (Angaben in %)

Datenquelle: Energie in Österreich 2021 – Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (6. Mai 2022)

In den EU-27 wurden 26,7 % aus erneuerbaren Quellen gewonnen. Weiters ist erkennbar, dass Biomasse (inkl. biologisch abbaubare Teile von Abfällen) mit knapp 63 % die weitaus wichtigste erneuerbare Energiequelle der EU ist.

**Wichtig:** In Österreich beinhaltet der Anteil biogener Energiequellen auch die Abwärme von Kraftwerken (z. B. Donaukraftwerk). Weiters ist darauf hinzuweisen, dass nicht alle Energieträger durchgängig verfügbar sind. So ist z. B. der kritische Parameter bei Windkraft der Wind. Wenn kein Wind (oder ausreichend davon) weht oder zu viel, wird kein Strom erzeugt. Genauso verhält es sich bei Laufkraftwerken – so wurde im Jahr 2022 aufgrund der Hitzewellen um ca. 1/3 weniger Strom produziert.

## IV. Kapitel

Die folgende Grafik erläutert die Umwandlung von Primärenergieformen zu Sekundärenergie.

Zu den Primärenergiequellen zählen

- Sonne,
- Mond,
- Erde.

Primärenergie tritt in unterschiedlichen Formen gebunden auf und wird durch natürliche und technische Energieumwandlung zu Sekundärenergie transformiert.

Das heißt: Aus der Sonne, deren Energie in Biomasse gespeichert wird, können z. B. durch Verbrennung Wärme, Strom oder zur Lagerung Brennstoff erzeugt werden.

Umwandlung Primär- zu Sekundärenergie				
Primärenergiequelle	Erscheinungsform	Natürliche Energieumwandlung	Technische Energieumwandlung	Sekundärenergie
Sonne	Biomasse	Biomasse	Heizkraftwerk/ Konversionsanlagen	Wärme, Strom, Brennstoff
Sonne	Wasserkraft	Verdunstung, Niederschlag, Schmelzen	Wasserkraftwerk	Strom
	Windkraft	Atmosphärenbewegung	Windenergieanlagen	Strom
		Wellenbewegung	Wellenkraftwerk	Strom
	Solarstrahlung	Meeresströmung	Meeresströmungskraftwerk	Wärme
		Erwärmung der Erdoberfläche und Atmosphäre	Wärmepumpen [heat pump]	Strom
		Solarstrahlung	Meereswärmekraftwerk	Strom
			Photolyse	Brennstoff
			Solarzelle, Photovoltaik-Kraftwerk	Strom
		Kollektor, Solarthermische Kraftwerke	Wärme, Strom	
Mond	Gravitation	Gezeiten	Gezeitenkraftwerk	Strom
Erde	Isotopenzerfall und Restwärme	Geothermie	Heizwerk, Heizkraftwerk	Wärme, Strom

Abb. 88: Umwandlung von Primärenergie zu Sekundärenergie

Datenquelle: <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien> (23. Aug. 2022)



## 9. Schematische Darstellung verschiedener Heizsysteme

Die nächsten Seiten stellen die unterschiedlichen nachhaltigen Energieformen detailliert dar (siehe dazu auch *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION, Band 2*). Die Fähigkeiten, die richtige Anlage zu planen und umzusetzen, ist maßgeblich für junge Techniker/

Technikerinnen. Es sei aber erwähnt, dass im folgenden Abschnitt Basiswissen vermittelt wird und bei Planungen im Alltag auf Fachplaner/Fachplanerinnen und Fachfirmen zurückzugreifen sein wird.

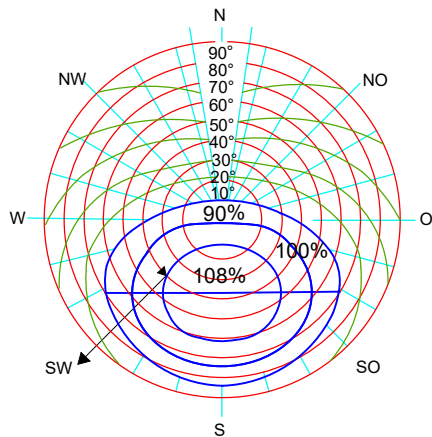
Anlagen	Darstellungen
<b>PV-Anlage</b>	Ausrichtung, Aufbau, Montage, Problematik Fassadenmontage
<b>Abgas/Wärmekopplung</b>	Schematischer Aufbau
<b>Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)</b>	Schematischer Aufbau
<b>Blockheizkraftwerk [cogeneration unit]</b>	Schematischer Aufbau
<b>Brennstoffzelle [fuel cell]</b>	Schematischer Aufbau
<b>Übersicht Brennstoffzellen</b>	Tabelle
<b>Heizwert Holzarten</b>	Tabelle
<b>Verschiedene Holzheizungstypen</b>	Schematischer Aufbau
<b>Biogasnutzung [biogas utilization]</b>	Schematischer Aufbau
<b>Wärmequellen zur Nutzung von Wärmepumpen</b>	Tabelle
<b>Speichersysteme</b>	Eisspeicher u. dgl. schematischer Aufbau



Abb. 89: Photovoltaik-Anlage

## IV. Kapitel

Photovoltaik-Anlagen können grundsätzlich nicht nur für Heizsysteme, sondern auch für die gesamte Stromversorgung eines Hauses herangezogen werden.



LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON PHOTOVOLTAIKELEMENTEN IN ABHÄNGIGKEIT VON ANORDNUNG UND AUSRICHTUNG

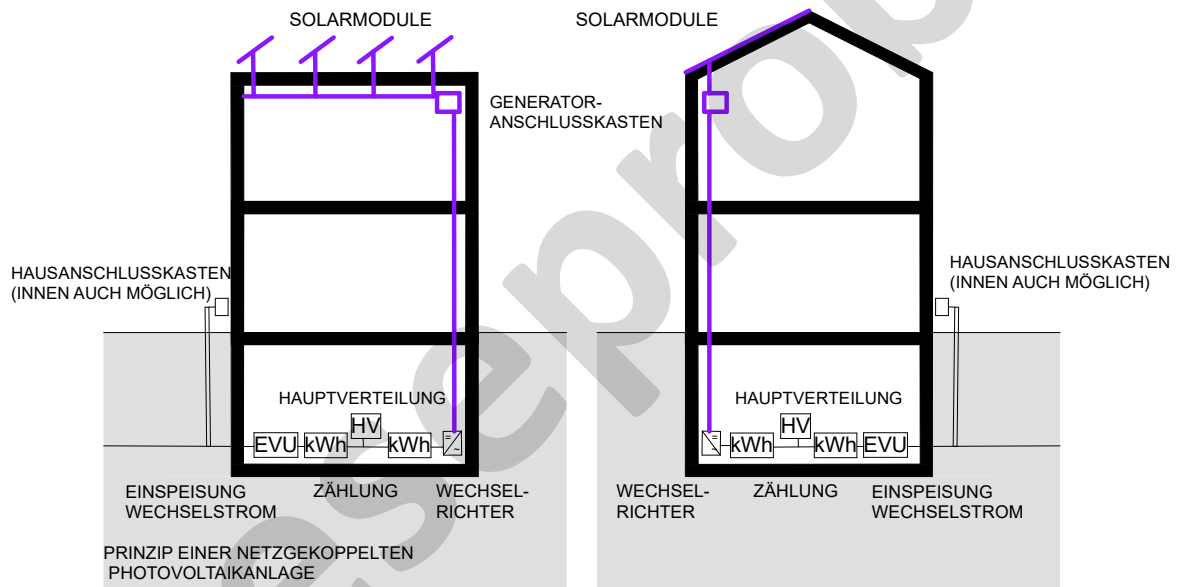


Abb. 90: Elemente einer PV-Anlage

Obige Darstellung zeigt die Wichtigkeit der richtigen Ausrichtung und Montage der Anlage sowie der einzelnen Elemente einer PV-Anlage.

## PV-Anlagen – unterschiedliche Montage- und Anwendungsbeispiele

Anwendung	Beschreibung	Bild
Vertikal	PV-Anlage als Balkonbrüstung	
Horizontal	PV-Anlage in Dachdeckung integriert	
Horizontal	PV-Anlage als zweite Dachhaut	
Horizontal	PV-Anlage schräg aufgeständert	
Horizontal	PV-Anlage: Kombination, Integration sowie aufgeständert auf Dach	
Freigelände	PV-Anlage über Weidefläche	

Abb. 91:

Abb. 92:

Abb. 93:

Abb. 94:

Abb. 95:

Abb. 96:



### PV-Anlagen – unterschiedliche Montage- und Anwendungsbeispiele

Anwendung	Beschreibung	Bild
Freigelände	PV-Anlage auf Freigelände aufgeständert: Die Anlage dreht sich automatisch der Sonne nach.	
Horizontal	PV-Anlage: unterschiedliche Module auf Dach montiert	
Vertikal	PV-Anlage an Wand montiert	
Vertikal	PV-Anlage: freistehend im Garten	
Vertikal	PV-Anlage als Grundstücksabgrenzung	
Vertikal	Punktuelle autarke Energieversorgung mit Pufferspeicher	

Abb. 97:

Abb. 98:

Abb. 99:

Abb. 100:

Abb. 101:

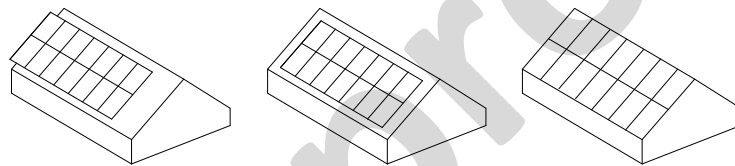
Abb. 102:

## PV-Anlagen – unterschiedliche Montage- und Anwendungsbeispiele

Anwendung	Beschreibung	Bild
Vertikal	Kombination Wand, Stützmauer und Abzäunung	
Horizontal	Autobahn Kanton Graubünden Auf einer Schallschutzwand (Lärmschutzwand) wurden PV-Paneele montiert. Der Strom wird von den umliegenden Gebäuden genutzt.	

Abb. 103:

Abb. 104:



Auf dem Dach

Im Dach

Als Dach

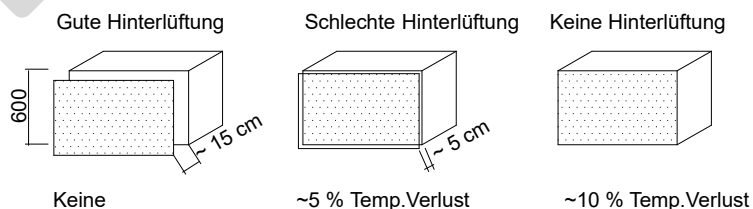
Mögliche Anordnungen von Photovoltaik-elementen auf dem Dach

aufgeständerte Konstruktion

unmittelbar auf der Dachdeckung aufgesetzt

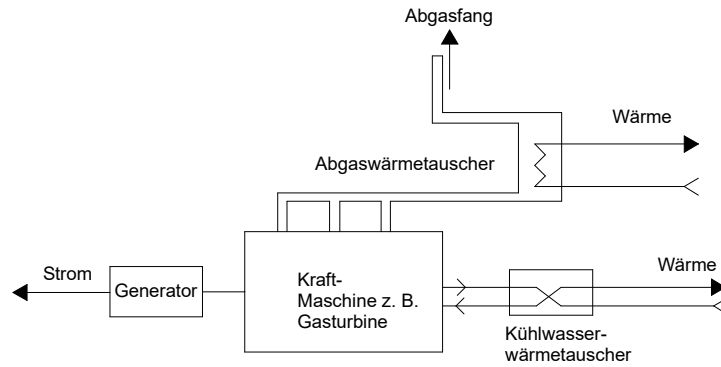
als Dachdeckung mit jeweils normgemäßem Unterdach bzw. Notdach

Abb. 105: Mögliche Anordnungen von PV-Elementen auf dem Dach



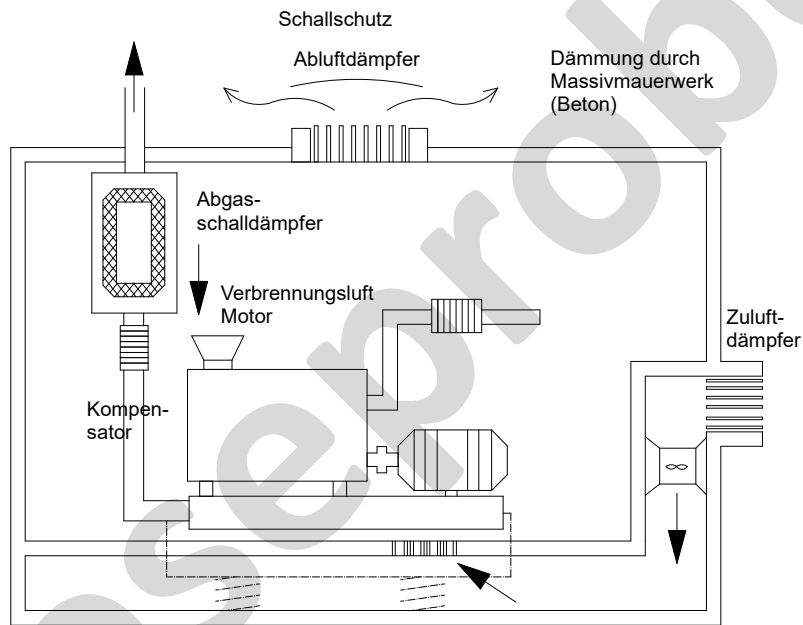
Leistungsminderungen bei Fassaden PV-Anlagen abhängig von der Hinterlüftung

Abb. 106: Leistungsminderungen bei Fassaden-PV-Anlagen



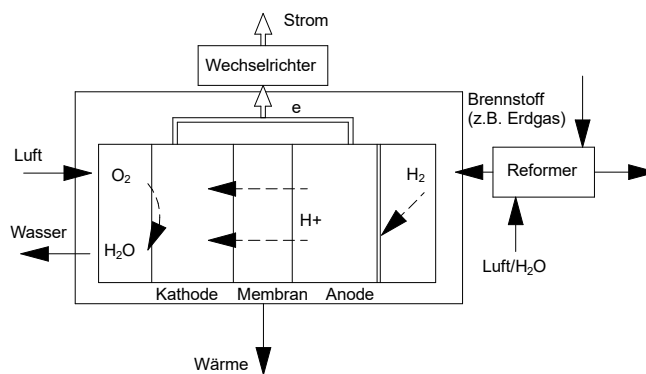
Funktionsprinzip der Kraft-Wärme-Kopplung

Abb. 107: Funktionsprinzip Kraft-Wärme-Kopplung



Blockheizkraftwerk und bauliche Maßnahmen

Abb. 108: Blockheizkraftwerk und bauliche Maßnahmen



Prinzipieller Aufbau einer Brennstoffzelle

Abb. 109: Prinzipieller Aufbau einer Brennstoffzelle



## Schematische Darstellung verschiedener Heizsysteme

Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Typen von Brennstoffzellen. Brennstoffzellen ermöglichen die Gewinnung von elektrischem Strom mittels Um-

wandlung von energetischen Fluiden. Der Wirkungsgrad ist abhängig von der Brennzelle und vom zugeführten Fluid.

### Übersicht der Brennstoffzellentypen

Bezeichnung	Kurzform	Betriebs-temperatur	Elektrolyt	Brennstoff	Oxidant	Einsatzgebiet
Alkalische BZ	AFC	80 °C	Kalilauge	Wasserstoff	Sauerstoff	Raumfahrt
Polymer-Elektrolyt-Membran-BZ	PEMFC	80 °C	Festpolymer	Wasserstoff, Methanol	Sauerstoff/Luft	Verkehr, KleinKW
Phosphorsaure BZ	PAFC	200 °C	Phosphorsäure	Erdgas	Luft	Heizkraftwerke
Schmelzkarbonat-BZ	MCFC	650 °C	Lithium- und Kaliumkarbonat	Erdgas, Kohle- und Biogas	Luft	Kraftwerke Heizkraftwerke
Oxidkeramische BZ	SOFC	1000 °C	Zirkonoxid	Erdgas, Kohle- und Biogas	Luft	Kraftwerke Heizkraftwerke

Aufgrund der Holzart, der Holzfeuchte, des Harzgehaltes und der Wuchsbedingungen sind unterschiedliche Heizwerte [*calorific value*] gegeben. Grund-

sätzlich weisen Harthölzer einen besseren Heizwert auf als sogenannte Weichhölzer.

### Heizwerte einzelner Holzarten

Holzart	kWh/m <sup>3</sup>	kWh/kg	Holzart	kWh/m <sup>3</sup>	kWh/kg
Ahorn	1 900	4,1	Fichte	1 700	4,4
Birke	2 100	4,3	Lärche	1 200	4,1
Buche	1 500	4,0	Pappel	1 400	4,5
Eiche	1 900	4,2	Robinie	1 400	4,4
Erle	2 100	4,1	Tanne	2 100	4,1
Esche	2 100	4,2	Weide	1 700	4,1

### Systemdarstellung von Biomasseheizanlagen

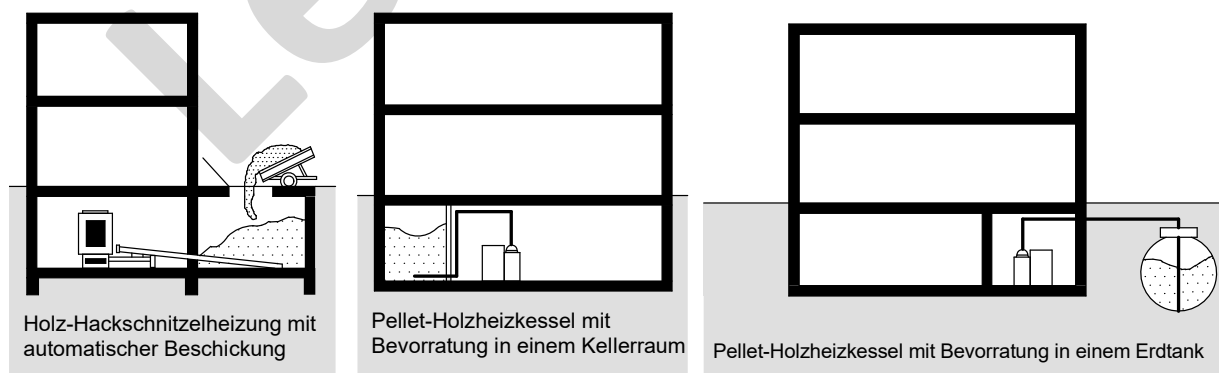


Abb. 110: Systemdarstellung von Biomasseheizanlagen, hier angeführt eine Holz-Hackschnitzelheizung und zwei Typen von Holz-Pelletsheizungen (siehe dazu auch BAUTECHNIK: KONSTRUKTION, Band 2)

## IV. Kapitel

### Systemdarstellung einer Solaranlage

Mittels Sonnenenergie wird Warmwasser erzeugt. Die Darstellung zeigt die Integration eines Holzheizkessels. Dieser Holzheizkessel dient dazu, sonnen-

freie Zeiten zu überbrücken. Der Pufferspeicher unterstützt dieses System.

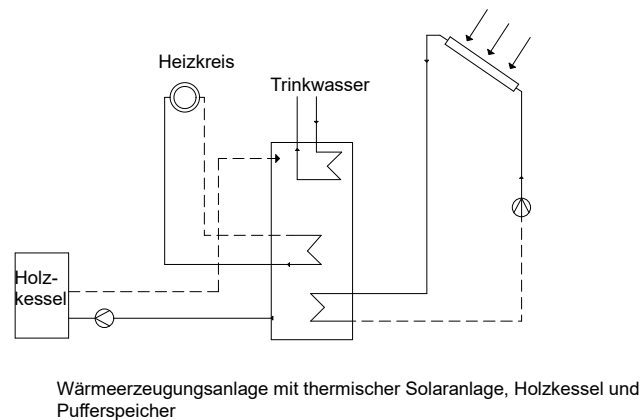


Abb. 111: Systemdarstellung einer Solaranlage

Aufgrund des geplanten Ausstiegs aus der Versorgung mit fossilen Brennstoffen (Gas) müssen bis 2030 10 % des Erdgasvolumens durch Biogas ersetzt werden. Das Prinzip beruht auf Vergärung von vor-

handenen organischen Abfällen (Dung, Gülle, Speiseresten usw.) zur Erzeugung von Biogas, welches in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zu Strom und Wärme umgewandelt wird.

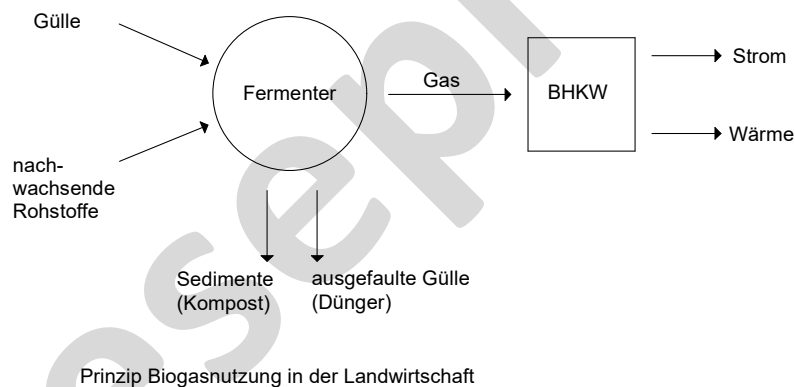


Abb. 112: Prinzip der Biogasnutzung in der Landwirtschaft

Für Wärmepumpen stehen mehrere Primärquellen zur Verfügung. In der folgenden Liste sind diese angeführt, mit den dazu ergänzenden Medien.

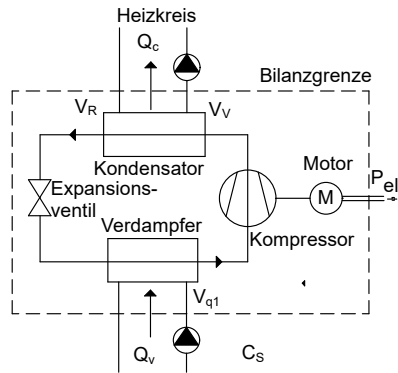
### Wärmequellen für die Nutzung durch Wärmepumpen

Wasser	Oberflächenwasser	Flusswasser, Seewasser, Meerwasser
	Unterirdisches Wasser	Grundwasser, Quellwasser, Brunnenwasser, Tiefen-/Thermalwasser
	Abwärme	Kühlwasser, Kommunales Abwasser, Haushaltabwasser, Industrie-Bauchwasser, Beleuchtungswärme
	Kreislaufwasser	Fernheiznetz, Wasserleitungsnetz, Prozesswasser
Luft	Außenluft, Fortluft, Industrielle Abluft, Beleuchtungswärme, Personenwärme, Prozesswärme	
Erdreich		
Sonnenenergie		

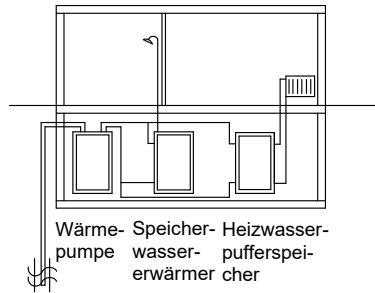
## Schematische Darstellung verschiedener Heizsysteme

Die dargestellten Systemzeichnungen erklären die prinzipielle Wirkungs- und Funktionsweise von

Wärmepumpen (siehe dazu auch *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION, Band 2*).



Funktionsprinzip einer Wärmepumpe



Gesamtanlage einer Wärmepumpe

Abb. 113: Wirkungs- und Funktionsweise von Wärmepumpen

Die nachfolgenden Abbildungen (siehe auch *BAUTECHNIK: KONSTRUKTION, Band 2*) zeigen die heute üblichen Möglichkeiten für den Einsatz von Wärmepumpen in Bezug auf die Nutzung von Grund-

wasser und/oder Erdwärme. Diese Systeme eignen sich nicht nur zum Heizen und zur Produktion von Warmwasser, sondern auch zum Kühlen der Räume im Sommer.

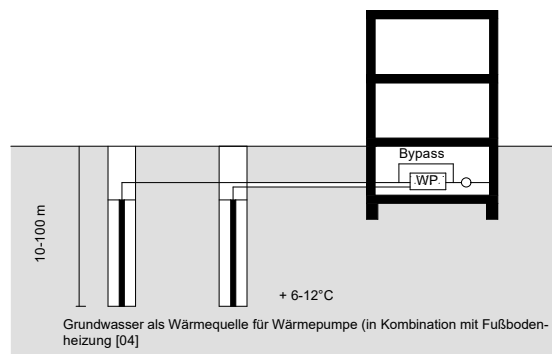
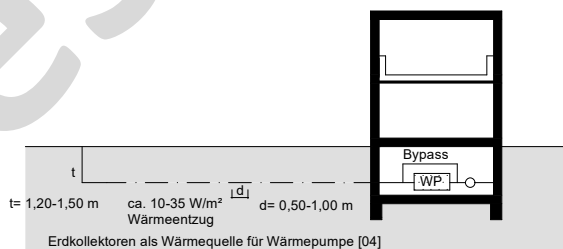
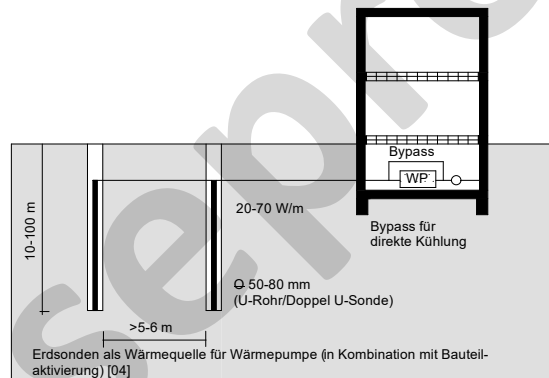
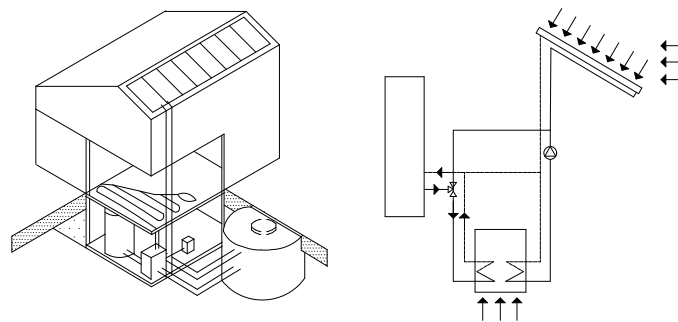


Abb. 114: Wärmepumpen – Nutzung von Erdwärme oder Grundwasser



## IV. Kapitel

Eine weitere Möglichkeit der Energiegewinnung sind sogenannte Eisspeicher, bei denen die Wärmepumpe mit geringen Temperaturdifferenzen wirksam wird.

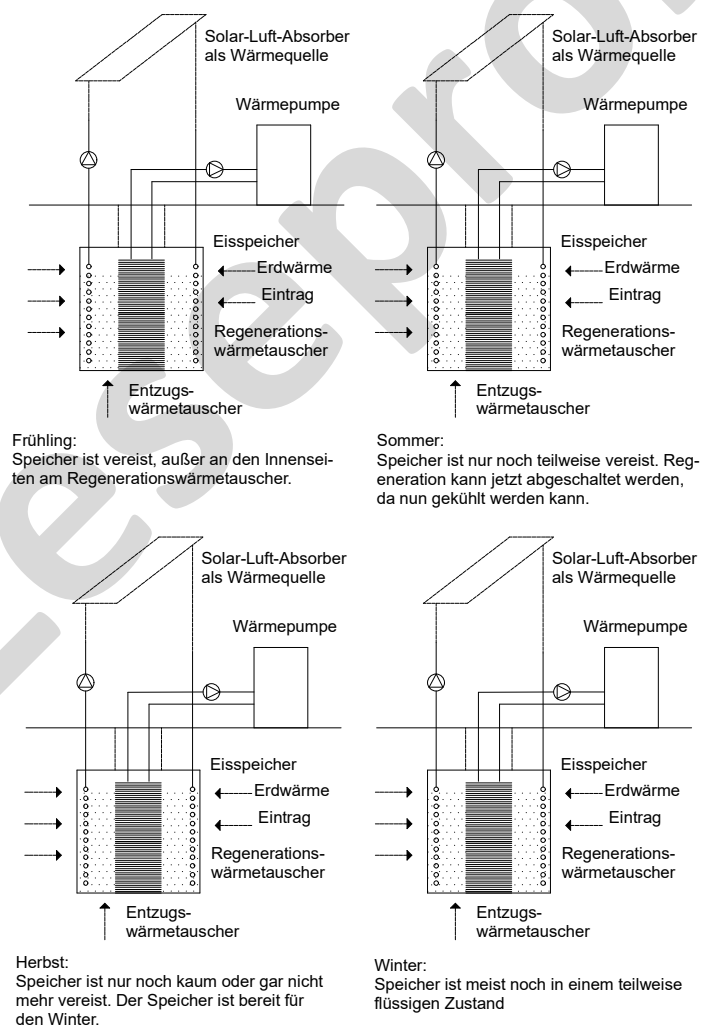


Funktion eines solaren Eisspeicher-Systems. Sonnenkollektoren speisen Wärme in den im Garten vergrabenen Eisspeicher ein, der zusätzlich auch Wärme aus dem Erdreich aufnehmen kann. Eine Wärmepumpe entnimmt dem relativ kalten Speicher Wärme für Heizung und Warmwasser.

Solare Einstrahlung  
Wärme aus Umgebungsluft  
Wärme aus Erdreich  
Solar-Luftabsorber  
Sole/Wasser-Wärmepumpe  
Eisspeicher  
Regenerationswärmetauscher  
Entzugswärmetauscher

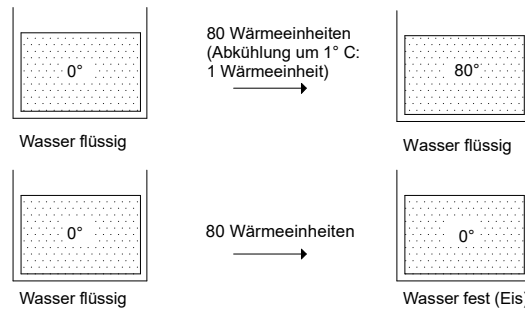
Abb. 115: Eisspeicher

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die jahreszeitlich abhängige Wirkungsweise dieser Form der Energiegewinnung.



Jahreszyklus eines Eisspeichers. Neben den Absorbern eignen sich alle Wärmequellen für die Regeneration des Speichers wie Lüftung, Solarthermie, BHKW, Gebäudekühlung usw.

Abb. 116: Jahreszyklus eines Eisspeichers



Prinzip der Kristallisationsenergie: Bei der Abkühlung des Wassers von 80 Grad auf Null Grad Celcius werden 80 nutzbare Wärmeeinheiten freigesetzt (oben). Die gleiche Energiemenge wird nochmals frei, wenn das Wasser in den festen Aggregatzustand Eis übergeht (unten).

Abb. 117: Prinzip der Kristallisationsenergie

Passive Maßnahmen	Aktive Maßnahmen	Hybridmaßnahmen
Stadtbauökologie Gebäudeform und -ausrichtung Thermische Trägheit Wärmedämmsysteme Spezielle Glasarten Doppelfassaden, Pufferzonen Atrien	Kraft-Wärme-Kopplung Total-Energie-Anlagen Solarthermie Photovoltaik Bauteiltemperierung Wärmepumpentechnik Geothermie Brennstoffzellen Brennwertechnik Kühlsysteme (z. B. Kältespeicher)	Wärme- und Kältespeicherung in Verbindung mit aktiven Systemen Luftvorkonditionierung über Bauteile/Erdrreich

## 10. Energiespeicherung

Neben der Energieerzeugung ist vor allem die Verfügbarkeit der Energie zum richtigen Zeitpunkt wesentlich. Dazu werden Energiespeicher benötigt. Der folgende Überblick über verschiedene Speichertechnologien wurde von der Agentur für Erneuerbare Energie (AEE – Dr. Robert Brandt, GF) 2019 vorgestellt.

Der folgende Überblick über verschiedene Speichertechnologien wurde von der Agentur für Erneuerbare Energie (AEE – Dr. Robert Brandt, GF) 2019 vorgestellt.

### Darstellung Speicher

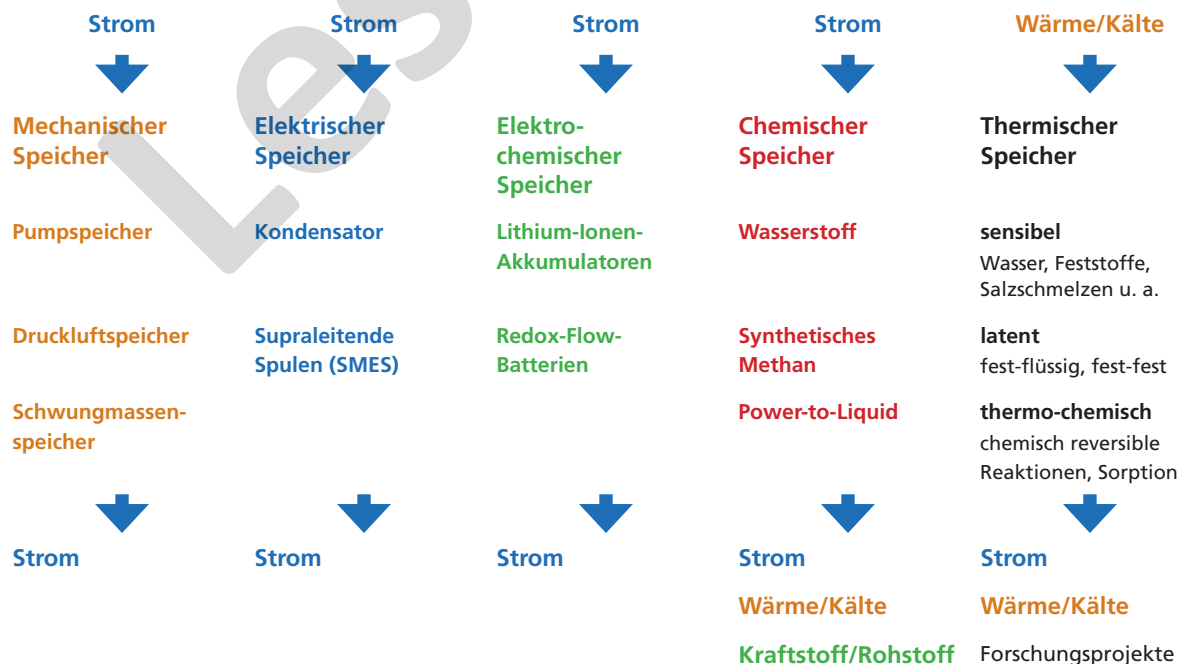


Abb. 118: Energiespeichermöglichkeiten

Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien, eigene Darstellung nach BVES, Stand 6/2019

## IV. Kapitel

**Wichtig:** In Österreich gibt es viele Pumpspeicherkraftwerke – als Ausgleich für die schwankenden Wasserstände der Laufkraftwerke an den Fließgewässern und zur Nutzung der gewonnenen Energie bei den Donaukraftwerken in der Nacht (wenn weniger Strom benötigt wird). Diese Technik kann inzwischen einen erheblichen Anteil des Strombedarfs abdecken, vor allem Spitzenstrom. Aktuelle Projekte beachten auch die Vorgaben für Natur- und Landschaftsschutz.

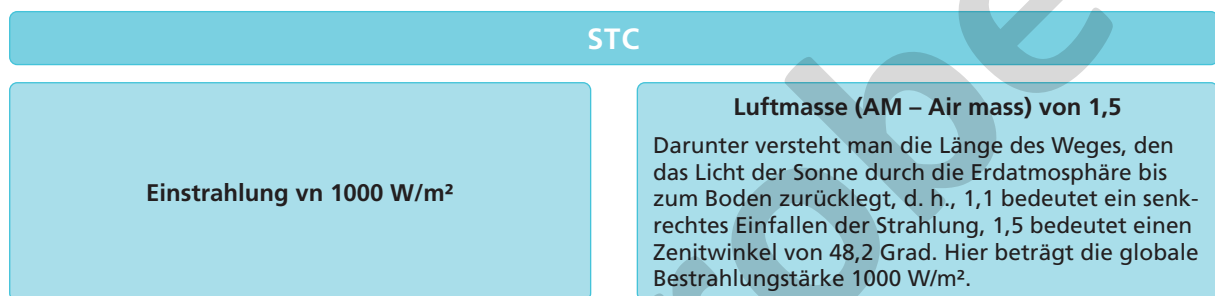
### Der Unterschied zwischen kWp und kWh

In den Medien wird verstärkt ab 2021 über PV-Anlagen gesprochen. Hierbei sind zur Beurteilung und Berechnung zwei wesentliche Begriffe wichtig – der

kWp-Wert und der kWh-Wert, die in diesem Abschnitt erklärt werden. Weiters wird in einfachen Schritten eine überschlägige Berechnung der Dachfläche und damit der PV-Module dargestellt. Schlussendlich wird der Stromverbrauch kWh/a an Beispielen gezeigt. Faktoren wie Temperatur, Nacht/Tag, Zeit oder der Umstand, ob es sich um ein altes oder modernes Gerät handelt, werden aus Gründen der Einfachheit ausgeschlossen.

**kWp oder Kilowatt-Peak** ist ein Maß für die Leistung einer PV-Anlage. Dieser Wert wurde zur Vergleichbarkeit von unterschiedlichen PV-Modulen eingeführt. Die PV-Module werden unter standardisierten und festgelegten Bedingungen getestet und dann im Datenblatt ausgewiesen.

Die Standardtestbedingungen (STC – Standard Test Conditions) umfassen:



Luftmasse AM

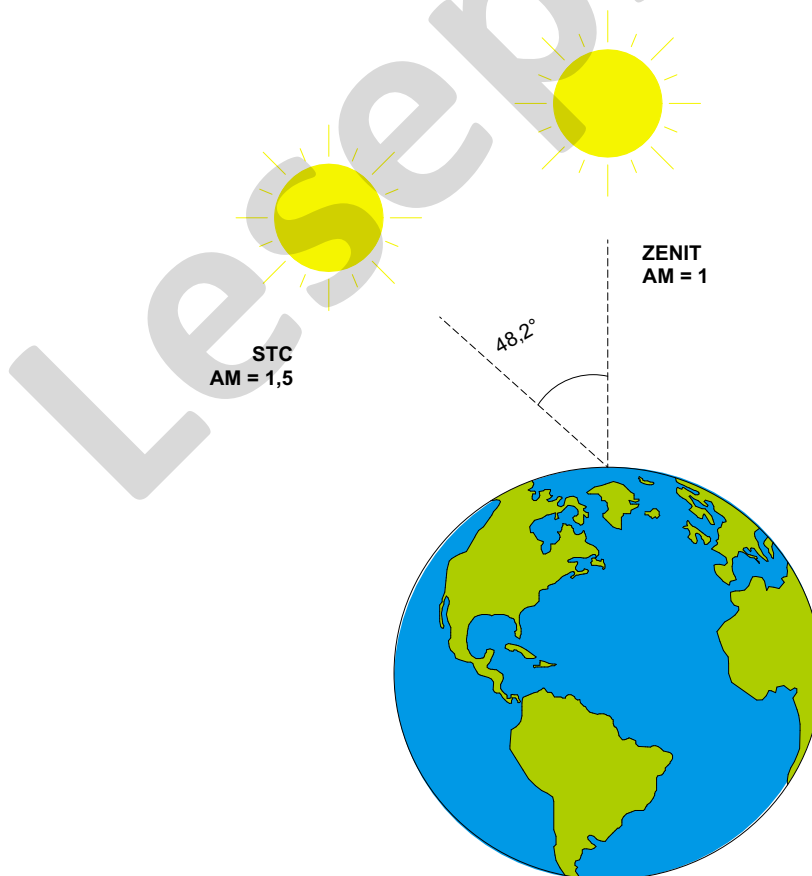


Abb. 119: Standardtestbedingungen

Die STC werden im Allgemeinen wegen der Realitätsferne kritisiert. Deshalb wurde die Testung mit NOCT (Normal Operating Cell Temperatur) entwickelt. Diese misst die Leistung eines Moduls unter realistischen Bedingungen und berücksichtigt dabei die Temperatursteigerung um weit über 25 °C der Module bei einer Einstrahlung von 1000 W/m<sup>2</sup>. Aufgrund dieser Temperatursteigerung kommt es zu einer Bestrahlungsstärke von 800 W/m<sup>2</sup> (Modultemperatur von 45 °C).

**Wichtig:** PV-Module erzeugen unterschiedlich viel Strom unter unterschiedlichen Bedingungen. Diese können sein: Sonnenstunden (bewölkt, sonnig etc.), Temperatur etc.

**Ermittlung der Gesamtleistung einer Photovoltaik-Anlage in Kilowatt-Peak**

Kurz gesagt: Leistung eines Moduls multipliziert mit der Anzahl der verbauten Module.

Beispiel:  
24 x 460 Watt Paneele ergeben ca. 11,04 kWp



Abb. 120: PV-Modul

**kWh oder Kilowattstunde** gibt die Strommenge an, die von der Anlage (muss nicht zwingend eine PV-Anlage sein) innerhalb einer Stunde produziert wird.

Mit einer Kilowattstunde Strom können Verbraucher/Verbraucherinnen folgende Tätigkeiten ausführen:

1 KILOWATT STROM

einen Waschgang in der Waschmaschine durchführen

7 Stunden fernsehen

einen Kuchen backen

Essen für 4 Personen kochen

Zusammenfassend heißt das, wenn pro Jahr 1000 kWh Strom erzeugt werden soll, werden mehr als 1 kWp an PV-Anlagen benötigt. Dies liegt vor allem daran, dass der Strom, der produziert wird, nicht immer gleich abgenommen wird (Speicher etc.).

Heruntergebrochen auf einen durchschnittlichen Verbrauch eines Einfamilienhauses werden durchschnittlich 7 bis 15 kWp benötigt. Das bedeutet, dass zwischen 17 und 50 PV-Module verlegt werden müssen, mit einem durchschnittlichen Anlagenertrag von 7 000 bis 15 000 kWh pro Jahr.

Um die benötigten PV-Module festzusetzen, sollte man den durchschnittlichen Verbrauch eines Haushaltes wissen.

Haushaltsgröße	Durchschnittlicher Verbrauch pro Tag	Durchschnittlicher Verbrauch pro Jahr
1 Person	6,3 kWh/Tag	2.300 kWh/a
2 Personen	8,2 kWh/Tag	3.000 kWh/a
2 Personen u. 1 Kind	9,6 kWh/Tag	3.500 kWh/a
2 Personen u. 2 Kinder	7 – 14 kWh/Tag	Ca. 7.000 kWh/a oder mehr



Abb. 121: Berechnung des durchschnittlichen Stromverbrauchs eines Haushalts



## IV. Kapitel

Der Verbrauch im Haushalt schlüsselt sich auf folgende Haushaltsbereiche auf:

Durchschnittlicher Stromverbrauch nach Haushaltsbereichen	Prozent
Kühl- und Gefrierschränke	19 %
Weitere Stromgeräte im Haushalt (Wäsche)	45 %
Licht	18 %
Medien und Entertainment	13 %
stand by	5 %

**Wichtig:** Im Homeoffice ist vor allem auf die sparsame Verwendung von Druckern, Scannern, Computern (empfehlenswerter sind Kombigeräte) sowie die Laufzeit des Routers zu achten.

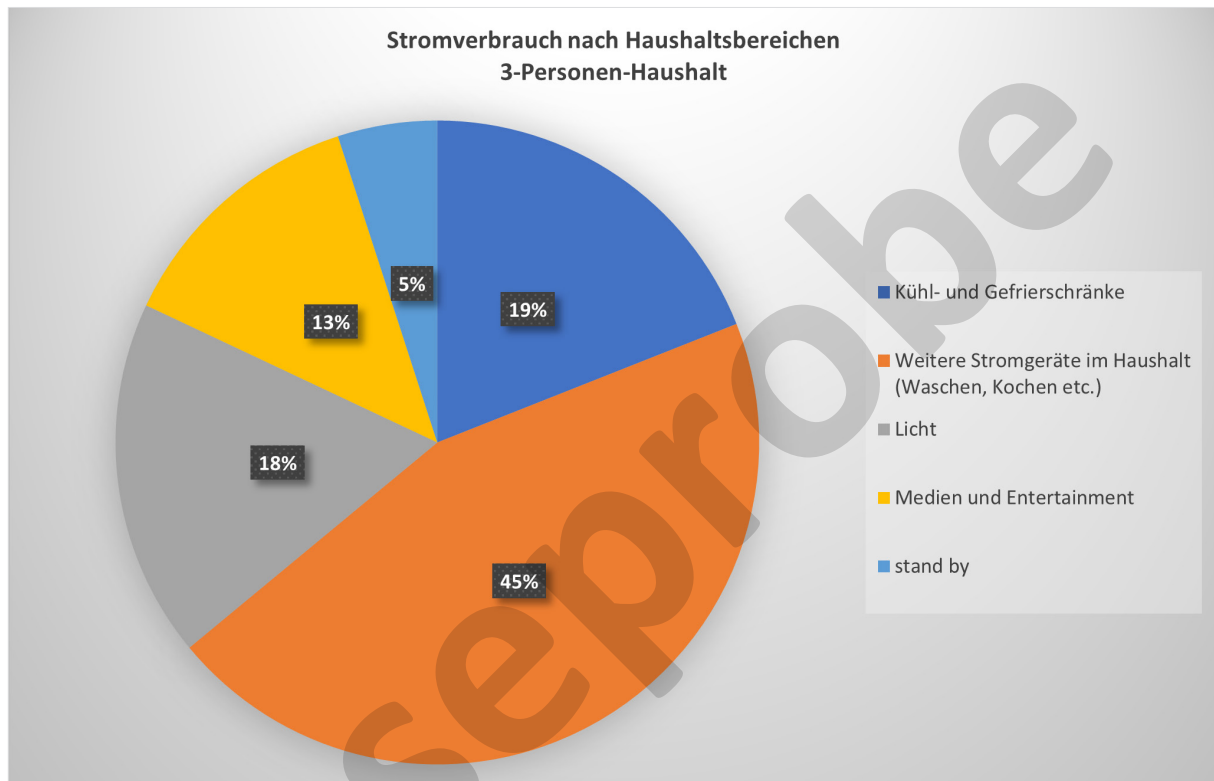


Abb. 122: Stromverbrauch nach Haushaltsbereichen in einem 3-Personen-Haushalt

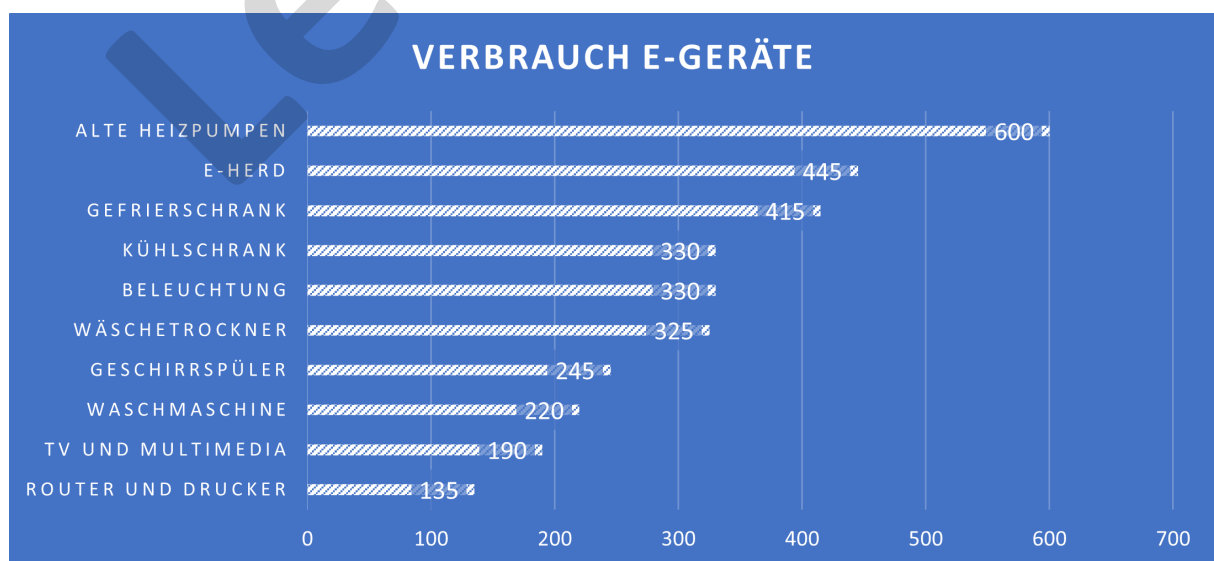


Abb. 123: Stromverbrauch unterschiedlicher Elektrogeräte

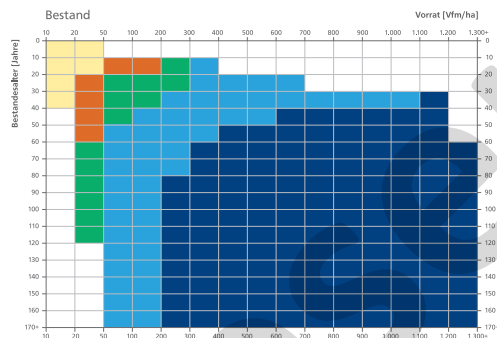
Datenquelle: <https://durchblicker.at/artikel/blog/2022/stromfresser-finden-im-haushalt-3> (8. Sept. 2022)

# Wissens- und Kompetenzcheck

## Nachhaltigkeit verschiedener Materialien, Energieträger, Heizsysteme und Energiespeicher im Vergleich

1. Skizzieren Sie die Ziele sowie die Parameter hinsichtlich nachhaltiger Veränderungen. (V, W, AY)
2. Warum wurde die Recycling-Baustoffverordnung initiiert und welche Punkte umfasst diese? (V, W, AY)
3. Sie kennen die Zahlen bezüglich Verwertung und Beseitigung von Abfällen. Erklären Sie schlüssig, in welchen Bereichen Sie zur Verbesserung der Nachhaltigkeit agieren müssen. (V, W, AY, AW)
4. Welche Baumaterialien kennen Sie und welche Vor- und Nachteile haben diese in Bezug auf die Nachhaltigkeit? (V, W, AY)
5. Thema Holz: Welche Kriterien sind für einen Waldbestand wichtig und welche Auswirkungen haben diese hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Diskussion? (V, W, AY)
6. Interpretieren Sie folgende Grafik. (V, W, AY, AW)

Beispiel:



Baumart: Fichte

Alter: 70 Jahre

Vorratsmeter: 900 (Vfm/ha)

Umrechnungsfaktor: 1,0

Ergebnis:  $900 \times 1,0 = 900 \text{ t CO}_2$

Abb. 124:

7. Betrachten Sie die klassische Baumethode anhand eines Wandaufbaues. Welche Kriterien/Aufbauten können Sie verändern – ohne hierbei die Bauphysik zu verändern –, damit diese Materialien (Beton, Ziegel, Holz, Metalle etc.) auch in Zukunft (weiter-)verwendet werden können? (V, W, AY, AW, E)
8. Was verstehen Sie unter Hanfkalk und welche Vorteile/Nachteile hat dieser Baustoff? (V, W, AY)
9. Skizzieren Sie den Kalkkreislauf. (V, W, AY)
10. Welche Dämmungen und Dämmstoffe kennen Sie und welche würden Sie als zukunftsfähig bzw. nachhaltig ansehen? Belegen Sie Ihre Antwort mit überprüfbaren Fakten. (V, W, AY, AW)