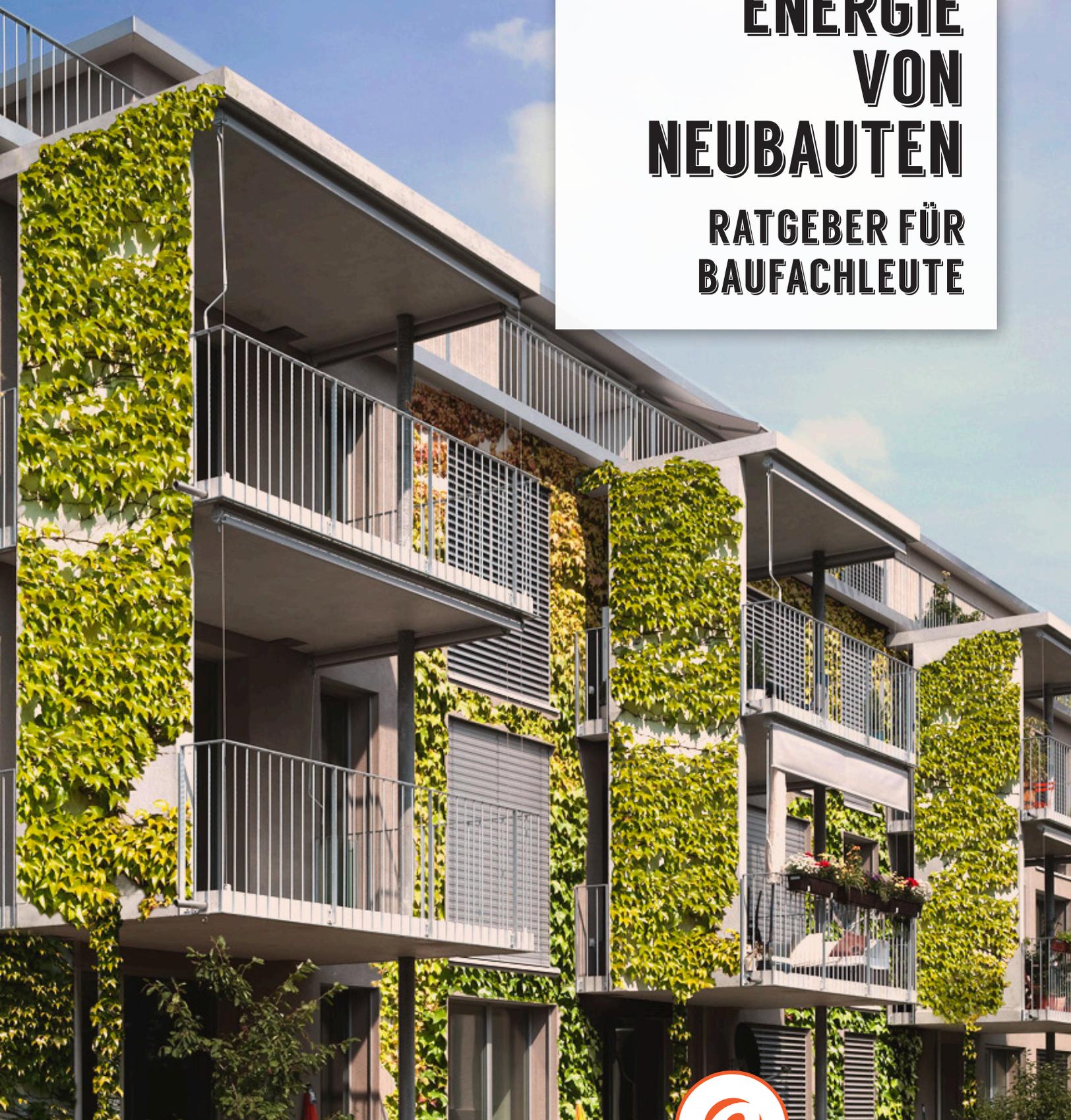


# GRAUE ENERGIE VON NEUBAUTEN

## RATGEBER FÜR BAUFACHLEUTE



**energie schweiz**

Unser Engagement: unsere Zukunft.

**EnFK**

Konferenz Kantonaler Energiefachstellen  
Conférence des services cantonaux de l'énergie  
Conferenza dei servizi cantonali dell'energia  
Conferenza dals posts spezialisads chantunals d'energia

eco-  
bau  
Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau  
Durabilité et constructions publiques



# INHALTSVERZEICHNIS

---

## EINLEITUNG

- Ziel ..... 4

## GRUNDLAGEN

- Was ist graue Energie? ..... 5
- Anteil der grauen Energie ..... 5
- Weitere Bewertungssysteme ..... 5
- Berechnungsverfahren und Datengrundlage ..... 6
- Berechnung graue Energie Bauteil ..... 7
- Anwendungsbereiche ..... 7

## VORGEHEN

- Optimierung ..... 8

## GEBÄUDEKONZEPT UND UMGEBUNG

- Grundstück/Untergeschosse ..... 10
- Kompaktheit/Flächeneffizienz ..... 10
- Gebäudestruktur ..... 10
- Fassade ..... 11

## GEBÄUDEKONSTRUKTION

- Elementgruppen und der Anteil an grauer Energie ..... 12
- Gebäudekonstruktion ..... 12
- Bestimmung der Konstruktion ..... 14
- Ausbau ..... 15
- Gebäudetechnik ..... 15

## BAUMATERIALIEN

- Einflussgrößen ..... 17
- Mauerwerk ..... 17
- Dämmstoffe ..... 17
- Unterkonstruktionen für Aussenwandbekleidungen ..... 19
- Aussenwandbekleidungen ..... 19
- Bedachungen Steildach ..... 19
- Unterlagsböden ..... 20
- Bodenbeläge ..... 20

## EMPFEHLUNGEN

- Quellen ..... 21
- Literatur/Links ..... 21

# EINLEITUNG

---

Bisher lag der Fokus im Energiebereich hauptsächlich auf dem Gebiet der Betriebsenergie. Der Heizwärmebedarf beschäftigte Architekten und Planer. Dämmstärken und Dämmkonzepte waren gefragt, um diesen Forderungen nachzukommen. Als Folge davon benötigen heutige Gebäude deutlich weniger Heizenergie als noch vor einigen Jahren. Mit abnehmendem Heizwärmebedarf treten andere Bereiche des Energiebedarfs in den Vordergrund. Der Fokus verlagert sich von der Wärmeenergie in Richtung Gesamtenergie. Ein grosser Teil des Gesamtenergiebedarfs ist die graue Energie, die für die Erstellung und den Rückbau der Gebäude benötigt wird.

## ZIEL

Die zunehmende Bedeutung der grauen Energie verlangt nach einer einfachen Hilfestellung. Entsprechend werden im vorliegenden Ratgeber die wichtigsten Kenngrössen und Mechanismen verständlich dargestellt und einfach erklärt. Den Fachleuten soll der Einstieg in die Thematik erleichtert werden. Graue Energie reduzieren bedeutet, zu einem grossen Teil auch die Kosten zu optimieren – eine Situation also, die für alle Beteiligten, vom Bauherrn über den Planer bis zum Käufer oder Mieter, nützlich ist.

Der vorliegende Ratgeber richtet sich an Baufachleute und weitere am Verständnis der grauen Energie interessierte Kreise. Daher dient dieser als Entscheidungshilfe zur Reduzierung der grauen Energie und nicht als Grundlage zur Berechnung nach dem SIA-Merkblatt 2032, Graue Energie von Gebäuden, 2010.

## MERKBLATTAUFBAU

Das Merkblatt ist in folgende Bereiche aufgeteilt:

- Grundlagen
- Vorgehen
- Gebäudekonzept und Umgebung
- Gebäudekonstruktion
- Baumaterialien
- Empfehlungen

Damit sind die drei Hauptebenen (Gebäude, Konstruktion, Material) in Bezug auf das Thema abgebildet. Die enthaltenen Erläuterungen erlauben ein vertieftes Verständnis für die Mechanismen und Vorgehensweisen im Zusammenhang mit der grauen Energie. Das Abschlusskapitel schliesslich enthält zehn Kernaussagen zum Thema. Anhand dieser Empfehlungen ist einfach und schnell eine Grobeinschätzung der grauen Energie möglich.



Der vorliegende Ratgeber ist Teil einer Serie zum Thema. Ausserdem erhältlich sind

- Graue Energie von Neubauten Ratgeber für Baufachleute
- Graue Energie von Neubauten Merkblatt für Bauherrschaften
- Graue Energie von Umbauten Ratgeber für Baufachleute
- Graue Energie von Umbauten Merkblatt für Bauherrschaften

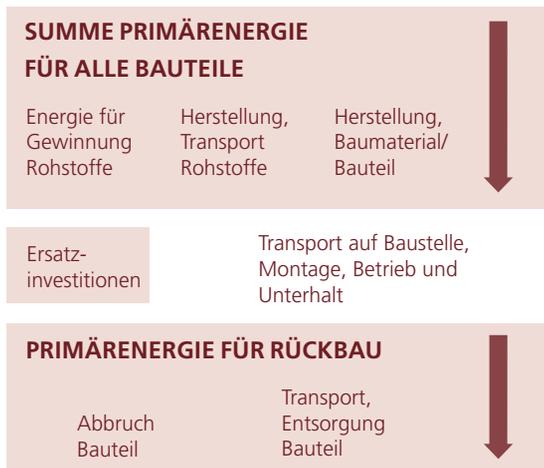
DIE THEORETISCHEN GRUNDLAGEN IM ZUSAMMENHANG MIT DER GRAUEN ENERGIE SIND IN DIESEM KAPITEL ERLÄUTERT. SIE SIND FÜR DAS VERSTÄNDNIS DER SPIELRÄUME NOTWENDIG UND BILDEN EINE WICHTIGE VORAUSSETZUNG ZUM VERSTÄNDNIS DER GESETZMÄSSIGKEITEN FÜR DIE GRAUE ENERGIE.

## WAS IST GRAUE ENERGIE?

Die graue Energie steht für die gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Die graue Energie wird auch als kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet. Die Masseinheit der grauen Energie ist Kilowattstunde pro Quadratmeter und Jahr ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ a}$ ). Die enthaltene Energie wird damit auf eine Fläche und eine Zeitspanne bezogen, um sie mit der Betriebsenergie vergleichbar zu machen. Als Bezugsgrösse werden in diesem Ratgeber die Energiebezugsfläche ( $A_E$ , SIA 380) und die Amortisationszeit (SIA 2032, Anhang C) verwendet.

## ANTEIL DER GRAUEN ENERGIE

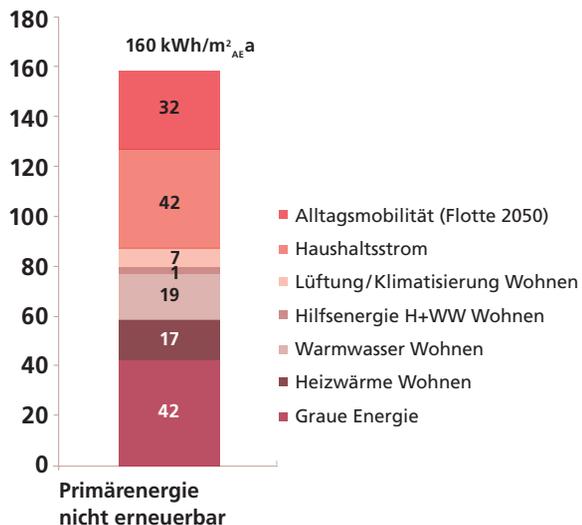
In heutigen Neubauten macht die graue Energie bis zu einem Viertel der gesamten Primärenergie für Erstellung, Betrieb und Mobilität aus. Mit 40 bis 50  $\text{kWh}/\text{m}^2$  ist dies, verglichen mit dem Bedarf an Energie für Raumwärme und Warmwasser, ein grosser Anteil in der Energiebilanz. In der nachstehenden Grafik ist ein Mehrfamilienhaus nach dem im SIA-Effizienzpfad Energie geforderten Zielwert für die 2000-Watt-Gesellschaft abgebildet. Die Grafik zeigt auf, dass neben der vom Gebäude induzierten Mobilität und dem Energieverbrauch für den Betrieb die graue Energie selbst nach erfolgten Optimierungsmassnahmen einen gewichtigen Anteil aufweist. In grauerenergetisch nicht optimierten Gebäuden kann der Bedarf an grauer Energie deutlich höher liegen.



*Systemgrenze graue Energie  
Summe Primärenergie nicht erneuerbar für alle Bauteile –  
das Gleiche gilt für den Rückbau.*

## WEITERE BEWERTUNGSSYSTEME

Die graue Energie ist nur ein Teilbereich der möglichen Analyse in der Ökobilanzierung. Im SIA-Merkblatt 2040, SIA-Effizienzpfad Energie, 2011, sind neben der Primärenergie auch die Treibhausgasemissionen und deren Berechnung dargelegt. Oft kommt in Publikationen auch der Begriff Umweltbelastungspunkte (UBP) vor. Nicht nur verschiedene Berechnungsnachweise sind vorhanden, sondern auch verschiedene Datengrundlagen. So gibt es länderspezifische Datenbanken, die ihre Daten nach eigenen Kriterien und Regeln erhoben haben. In der Schweiz gelten folgende Datengrundlagen: Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2014 KBOB, eco-bau, IPB (KBOB: Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes, ecobau: Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau, IPB: Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren). Betrachtet man von einem Produkt sowohl die graue Energie, die Treibhausgase und die Umweltbelastungspunkte, so kann man feststellen, dass die daraus resultierenden Ergebnisse nicht zwingend deckungsgleich sein müssen. Da diesen drei Indikatoren unterschiedliche Betrachtungsweisen zugrunde liegen, können Produkte, die wenig graue Energie enthalten, trotzdem einen hohen Umweltbelastungswert ausweisen oder eine grosse Treibhausgasemission verursachen.



Bilanz der gesamten Primärenergie nicht erneuerbar eines Niedrigenergie Mehrfamilienhauses.

### NICHT ERNEUERBARE PRIMÄRENERGIE [MJ]

Primärenergie, die aus einer Quelle gewonnen wird, die durch Nutzung erschöpft wird, z.B. Uran, Rohöl, Erdgas, Kohle.

### TREIBHAUSGASEMISSIONEN [KG CO<sub>2</sub>-EQ]

Der Begriff Treibhausgasemissionen bezeichnet die kumulierten Wirkungen verschiedener Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, Methan, Lachgas und weitere klimawirksame Gase), welche in die Atmosphäre ausgestossen werden. Sie werden bezogen auf die Leitsubstanz CO<sub>2</sub> und werden als äquivalente CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge ausgedrückt, die denselben Treibhauseffekt wie die Gesamtheit der Treibhausgasemissionen hat.

### UMWELTBELASTUNGSPUNKTE [UBP]

Die UBP quantifizieren die Umweltbelastungen durch die Nutzung von Energieressourcen, von Land und Süsswasser, durch Emissionen in der Luft, in Gewässern und im Boden, sowie durch die Beseitigung von Abfällen. Die Umweltbelastungspunkte sind auch unter dem Begriff «Methode der ökologischen Knappheit» bekannt und zeigen ein vollständiges Bild der Umweltauswirkungen, basierend auf der Schweizerischen Umweltpolitik. Sie sind nicht vergleichbar mit den verschiedenen in Europa vorkommenden Umweltbelastungspunkten.

## BERECHNUNGSVERFAHREN UND DATENGRUNDLAGE

Um den Umgang mit der grauen Energie zu erleichtern und eine allgemein gültige Basis zu schaffen, wurden neue Regelwerke und Hilfsmittel erstellt. Diese vereinheitlichen die Berechnungen und bieten Planerinnen und Planern eine gute Arbeitsgrundlage.

### SIA-MERKBLATT 2032

Das SIA-Merkblatt 2032, Graue Energie von Gebäuden, 2010, hat zum Ziel, dass die Berechnungen der grauen Energie auf einheitlichen Verfahren und Datenquellen beruhen. Nur so sind die Berechnungen nachvollzieh-, vergleich- und reproduzierbar. Es richtet sich in erster Linie an Planer und Architekten und soll dazu beitragen, dass die Thematik in der Bauplanung mehr Rückhalt findet und dank der einfachen Handhabung vermehrt zum Einsatz kommt.

Anhand des SIA-Merkblatts 2032 können Neubauten und Umbauten von gesamten Gebäuden wie auch einzelne Bauteile berechnet werden. In der grauen Energie sind sämtliche Prozesse eines Gebäudes oder Bauteils enthalten: Erstellung, Ersatzinvestition und Entsorgung unter Einbezug der Amortisationszeiten der einzelnen Bauteile werden eingerechnet.

Bezüglich Nutzungsdauer und Amortisationszeit wird bei der Betrachtung der grauen Energie wie folgt unterschieden:

#### Nutzungsdauer:

Effektiv zu erwartende Periode zwischen der Inbetriebnahme und dem Ersatz eines Bau- oder Anlageteils.

#### Amortisationszeit:

Zeitdauer, über welche die graue Energie für Herstellung und Entsorgung abgeschrieben wird.

### DATENGRUNDLAGE

Mit dem Planungswerkzeug «Ökobilanzdaten im Baubereich» gibt die Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB) die für die Schweiz gültigen Grunddaten zur Berechnung der grauen Energie heraus. Es handelt sich dabei um aufbereitete Daten, die der Internetplattform ecoinvent (Empa, ETH) entstammen. Mit diesen Werten können die graue Energie, die gesamte Primärenergie, die Treibhausgase und die Umweltbelastungspunkte der gängigen Baustoffe und Gebäudetechniksysteme und -komponenten ermittelt werden.

## BERECHNUNG GRAUE ENERGIE BAUTEIL

Beispiel Berechnung der grauen Energie einer Steinwoll-Dämmplatte von 26 cm Dicke (pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche und Jahr):

- Rohdichte 32 kg/m<sup>3</sup>
- Graue Energie: 4,28 kWh/kg = 15,4 MJ/kg
- Volumen: 1,0 m · 1,0 m · 0,26 m = 0,26 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub>
- Amortisationszeit: 40 Jahre (SIA 2032)

### SCHRITT 1

Berechnung Masse pro Bauteilfläche (BTF):

$$32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,26 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2_{\text{BTF}}} = 8,32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2_{\text{BTF}}}$$

### SCHRITT 2

Berechnung graue Energie pro Bauteilfläche:

$$4,28 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \cdot 8,32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2_{\text{BTF}}} = 35,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{\text{BTF}}}$$

### SCHRITT 3

Berechnung graue Energie pro Bauteilfläche und Jahr:

$$\frac{35,6 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{\text{BTF}}}}{40 \text{ a}} = 0,89 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2_{\text{BTF a}}}$$

Die Dämmplatte enthält demnach 0,9 kWh/m<sup>2</sup><sub>BTF a</sub> graue Energie.

Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage des SIA-Merkblatts 2032. Darin sind Vereinfachungen (z.B. Weglassen von Bauteilen) und die Amortisationszeit von Bauteilen definiert, um Gebäude miteinander vergleichen zu können.

Um die graue Energie eines Gebäudes nachzuweisen wird die graue Energie eines Bauteils (kWh/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub>) mit der Fläche dieses Bauteils im ganzen Gebäude (m<sup>2</sup><sub>BTF</sub>) multipliziert und dieses Produkt dann durch die Energiebezugsfläche (m<sup>2</sup><sub>AE</sub>) geteilt.

Die damit erhaltene Energiekennzahl verschiedener Gebäude kann dadurch über die Energiebezugsfläche verglichen werden.

## ANWENDUNGSBEREICHE

Bereits ist die graue Energie unter Verwendung verschiedener Grenzwerte in Standards und Labels eingeflossen. Für Minergie®-ECO und Minergie®-A ist der Nachweis der grauen Energie erforderlich.

Ebenso ist im SIA-Merkblatt 2040, SIA-Effizienzpfad Energie, 2011, die graue Energie eines der tragenden Themen. Auch im neu lancierten Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz (SNBS) wird die graue Energie in die Beurteilung einbezogen.

# VORGEHEN

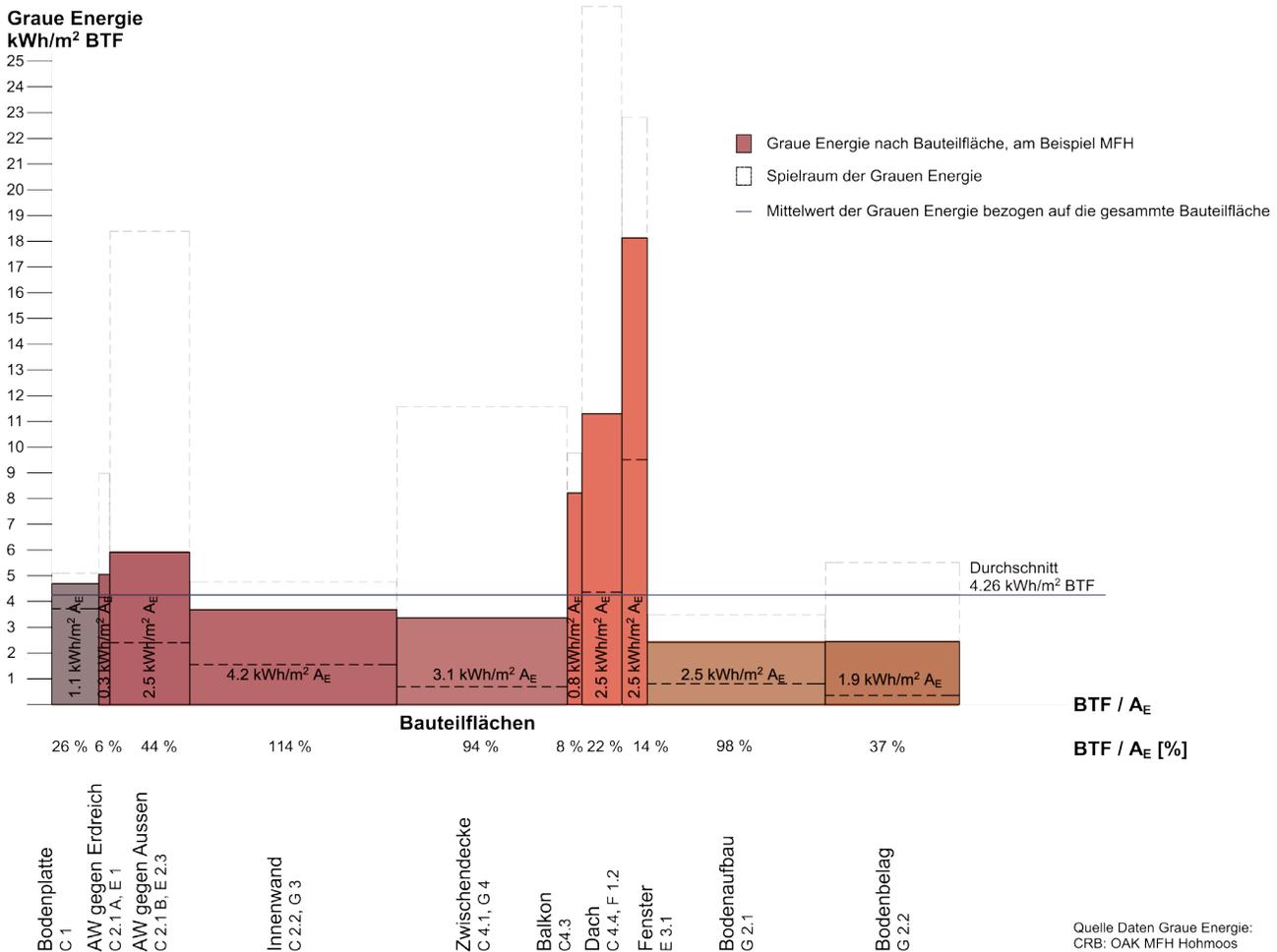
EINE FRÜHE PROJEKTPHASE BEINHALTET DEN GEBÄUDEENTWURF UND DIE SITUIERUNG DES GEBÄUDES AUF DER PARZELLE. IN DIESER PHASE WIRD DER BEDARF AN GRAUER ENERGIE MARKANT BEEINFLUSST. HIER WERDEN DIE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR ALLE WEITEREN MASSNAHMEN GELEGT.

Nachfolgend sind zwei verschiedene Strategien dargestellt, die in Kombination in der Optimierung eine Orientierungshilfe sind:

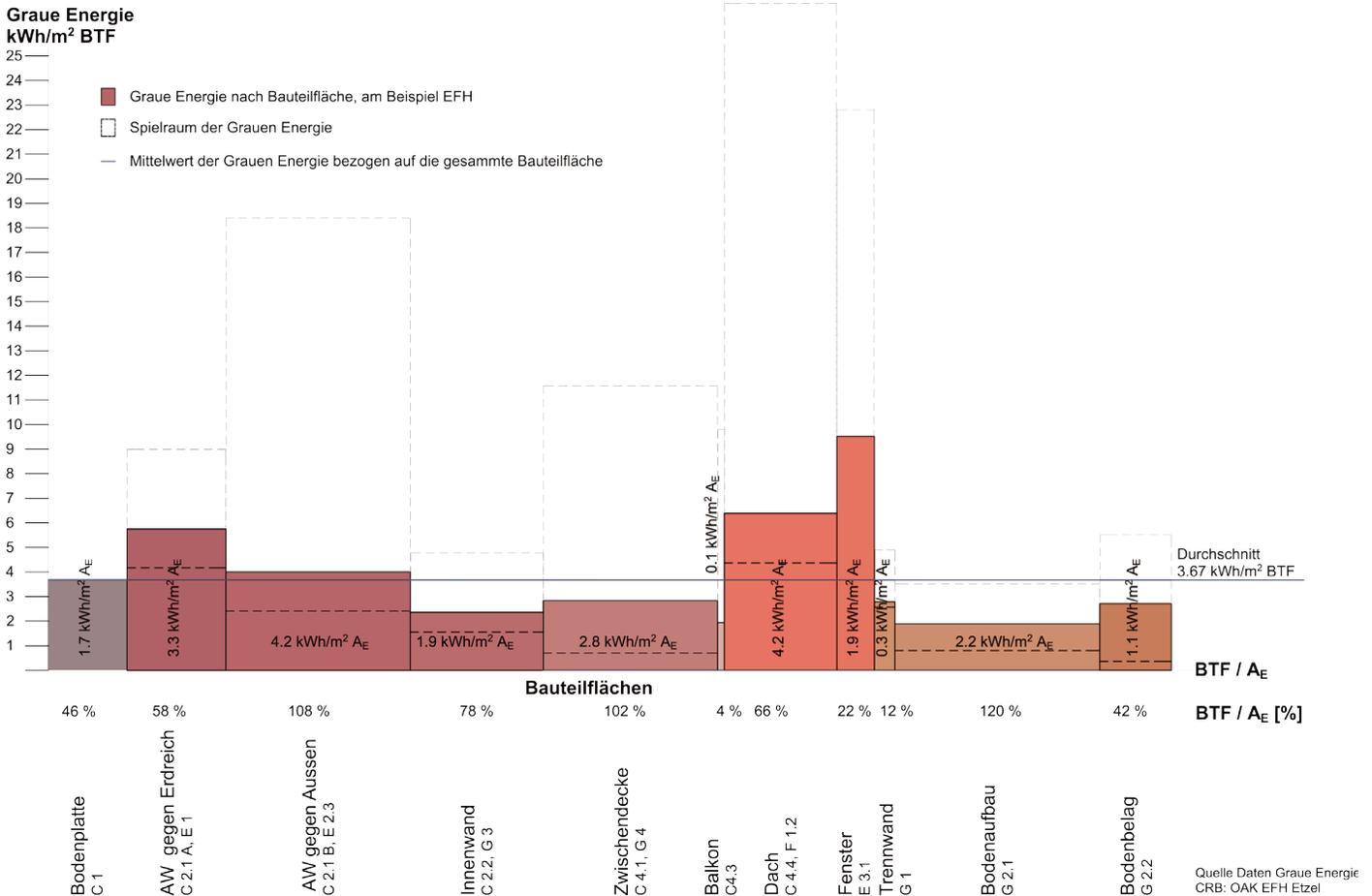
## 1. OPTIMIERUNG BAUTEILFLÄCHE ZU ENERGIEBEZUGSFLÄCHE (BTF/A<sub>E</sub>)

## 2. OPTIMIERUNG GRAUE ENERGIE DER BAUTEILE (GE/BTF)

### GRAUE ENERGIE NACH BAUTEILFLÄCHE (MEHRFAMILIENHAUS)



## GRAUE ENERGIE NACH BAUTEILFLÄCHE (EINFAMILIENHAUS)



## SUFFIZIENZ

Reduktion ist eine der wichtigsten Grundsätze bei der Optimierung von grauer Energie. Daher sind bezüglich der Suffizienz bei jedem Projekt beispielsweise folgende Themen zu betrachten:

- Wohnfläche pro Person
- Anzahl Nasszellen
- Bauteilflächen
- Notwendige Bauteilflächen  
z.B. der Gebäudehülle

Durch die Beschränkung auf den effektiv notwendigen Bedarf wird graue Energie in hohem Mass optimiert und gleichzeitig werden die Erstellungskosten gesenkt.

Dies sollte bereits beim Erarbeiten des Raumprogramms und der Anforderung an die Gebäudetechnik berücksichtigt werden.

# GEBÄUDEKONZEPT UND UMGEBUNG

Die Optimierung auf der Ebene Gebäude und Umgebung kann in vier Bereiche aufgeteilt werden:

- Grundstück
- Kompaktheit
- Strukturen
- Fassade

Nachfolgend wird auf diese vier Bereiche näher eingegangen.

## GRUNDSTÜCK / UNTERGESCHOSSE

Die graue Energie wird durch die Gebäudesituierung und andererseits den Aushub mit den damit verbundenen Terrainveränderungen mitbestimmt. Erdbewegungen sollten auf ein Mindestmass beschränkt werden. Dies kann erreicht werden durch:

- Untergeschosse möglichst klein dimensionieren (Geschosszahl und Volumen) mit möglichst geringer Eingrabungstiefe.
- Der entstehende Aushub ist bestmöglich auf der Parzelle wieder zu verwenden.
- Umgebungsveränderungen sollen einen möglichst kleinen Teil des Grundstücks betreffen und sich am gewachsenen Terrain orientieren.
- Auf einen zurückhaltenden Einsatz von Stützmauern (Material und Fundamente) sollte geachtet werden.

## KOMPAKTHEIT / FLÄCHENEFFIZIENZ

Bei der Beurteilung der grauen Energie muss die Kompaktheit von Gebäuden weiter gefasst werden als bei einer Betrachtung des Heizwärmebedarfs. Beim Heizwärmebedarf wird nur die thermische Gebäudehülle in Bezug zur Energiebezugsfläche gesetzt:  $A_{th}/A_E$  (Gebäudehüllzahl). Hingegen ist die Kompaktheit (Kompaktheitszahl) das Verhältnis aller Aussenbauteile in Bezug zur Geschossfläche  $A_{GF}$ . Daher werden sämtliche Bauteile innerhalb wie ausserhalb der thermischen Gebäudehülle im Bezug auf die graue Energie gleichermaßen bilanziert. Dementsprechend ist die Beurteilung aufgrund der Kompaktheit eine interessante und relevante Grösse.

Daher ist auch das Verhältnis der Hauptnutzfläche  $A_{HNF}$  zur Geschossfläche  $A_{GF}$  ( $A_{HNF}/A_{GF}$ ) eine bedeutende Grösse für die Flächeneffizienz. Die Reduzierung des Flächenbedarfs von Nebenflächen kann die Bilanz der grauen Energie merklich beeinflussen.

## GEBÄUDESTRUKTUR

Die Gestaltung der Gebäudestruktur mit der Tragstruktur oder der Raumanordnung wirkt sich auf den Bedarf an grauer Energie aus. Dies einerseits bezüglich der möglichen Nutzungsdauer und andererseits bezogen auf die Anpassbarkeit des Gebäudes an neue Nutzungsanforderungen. Dazu gilt:

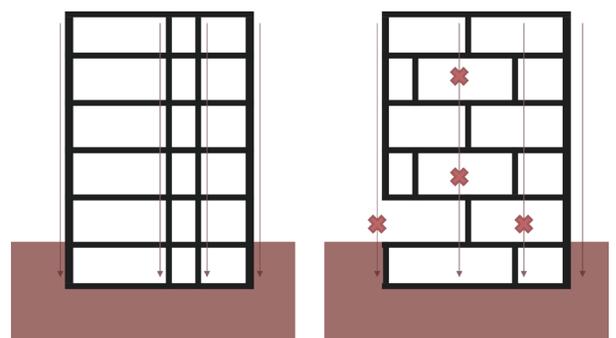
Je länger die effektive Nutzungsdauer eines Gebäudes ist, desto geringer wird der Bedarf an zusätzlicher grauer Energie während der Nutzungsdauer.

## SYSTEMTRENNUNG VON BAUTEILEN

Die einzelnen Bauteile eines Gebäudes weisen unterschiedliche Funktionen auf. Diese können in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Tragende Bauteile
- Gebäudetechnik
- Ausbau

Bei tragenden Bauteilen ist ein klares, logisches Tragsystem zu wählen. Beispielsweise kann eine einfache vertikale Lastabtragung sinnvoll sein. Herausforderungen stellen dabei oft Eingangs- und Untergeschosse dar. Bei Decken sind möglichst kurze Spannweiten zu konzipieren.



Beispiel: Schnitt mit Lastabtragung

Zwischen tragenden Bauteilen und dem Innenausbau (inkl. der nichttragenden Wände) besteht ein Unterschied in der Nutzungsdauer. Dabei sind die Bauteile für den Ausbau und für tragende Bauteile möglichst voneinander trennbar auszuführen.

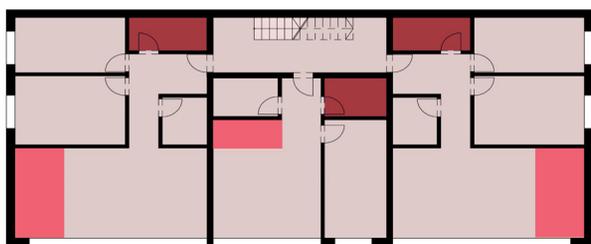
Eine kürzere Amortisationszeit als die Tragkonstruktion weisen gebäudetechnische Installationen auf. Daher ist auf eine Erneuerung ohne Zerstörung der tragenden Bauteile zu achten. Dies kann mittels separat geführten, zugänglichen Installationen optimal gelöst werden. Wo immer möglich ist auf nicht auswechselbare Einlagen in Betondecken zu verzichten.

### RAUMANORDNUNG / KURZE LEITUNGEN

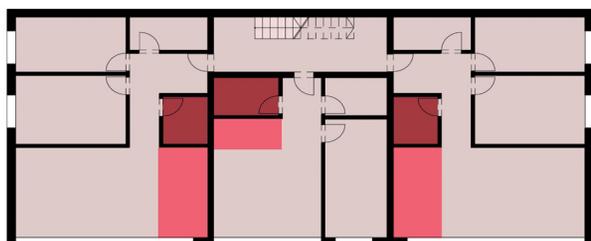
Jedes Wohngebäude weist unterschiedliche Nutzungen innerhalb der einzelnen Wohneinheiten auf. Dies sind beispielsweise Wohnräume, Schlafräume, Bäder und Küchen. Diese einzelnen Nutzungen werden optimalerweise innerhalb des Grundrisses räumlich nahe zusammengefasst. Dadurch wird eine einfachere und kürzere Führung der Versorgungsleitungen ermöglicht.

Dies gilt sowohl im Grundriss als auch im Gebäudeschnitt.

### BESTEHEND



### OPTIMIERT



Beispiel: Die hellroten Bereiche stellen Küchen und die dunkelroten Bereiche Nasszellen dar. Durch die zusammengefasste Anordnung in der optimierten Variante können Steig- und Verteilleitungen einfacher und damit kürzer geführt werden.

### VOLUMETRIE / KOMPAKTHEIT

Die Flächen gegen Aussenklima und gegen Erdreich weisen einen hohen Anteil an grauer Energie auf. Im Entwurfsprozess sind daher diese Flächen zu optimieren.

Dies betrifft zum Beispiel:

- Anordnung und Flächenbedarf von Kellerräumen und Einstellhallen
- Gebäudeeinschnitte

## FASSADE

Die Fassade und deren Ausdruck ist eines der prägendsten Elemente eines Gebäudes und stellt gleichzeitig die räumliche und thermische Trennung von Innenraum zum Aussenraum dar. Neben der wichtigen Funktion der Reduktion der Transmissionswärmeverluste hat die Fassade ebenfalls eine Auswirkung bezüglich der grauen Energie.

### FASSADEN VOR- UND RÜCKSPRÜNGE

Vor- und Rücksprünge sind wesentliche architektonische Ausdrucksmittel einer Fassade. Je höher die durch diese Vor- und Rücksprünge erreichte Plastizität wird, desto grösser wird auch die Oberfläche der Fassade bezogen auf die Energiebezugsfläche. Darum ist das Kriterium der grauen Energie bei der Gestaltung von stark plastischen Fassaden im Entwurfsprozess zu beachten.

### VORGEHÄNGTE FASSADEN

Die äusserste Gebäudehaut kann auch mit vorgehängten Platten aus unterschiedlichsten Materialien erstellt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass bei zunehmendem Eigengewicht der vorgehängten Platten die Befestigungen und die dahinterliegende Konstruktion ebenfalls massiver dimensioniert werden müssen. Dies erhöht wiederum den Bedarf an grauer Energie.

### FENSTERFLÄCHE

Neben den Vor- und Rücksprüngen weist der Öffnungsgrad einer Fassade ebenfalls einen Einfluss auf die graue Energie auf. Ein Extremfall bezüglich des Öffnungsgrades stellt die Ganzglasfassade dar. Im Entwurfsprozess sollte beim Festlegen des Öffnungsgrades und der damit zusammenhängenden Fensterflächen der hohe Anteil der grauen Energie des Bauteils Fenster bedacht werden.

Selbstverständlich hat der Öffnungsgrad einer Fassade auch Auswirkungen auf die solaren Gewinne durch die Sonneneinstrahlung, den damit zusammenhängenden sommerlichen Wärmeschutz und die Tageslichtnutzung. Diese Faktoren sind neben der grauen Energie auch zu berücksichtigen.



### EMPFEHLUNG:

Ein Öffnungsgrad in der Grössenordnung von 20 – 30 % bezogen auf die Energiebezugsfläche stellt oftmals eine gute Richtgrösse dar.

### BALKONE

Im Erscheinungsbild von Gebäuden spielen Balkone oft eine wichtige Rolle. Gerade bei gebäudeumlaufenden Balkonen ist dies der Fall. Es ist jedoch sinnvoll zu beachten, dass umlaufende Balkone einerseits eine zusätzliche Bauteilfläche darstellen und andererseits die Menge an notwendigen Absturzsicherungen erhöhen. Dies schlägt sich natürlich auch in der grauen Energie nieder.

# GEBÄUDEKONSTRUKTION

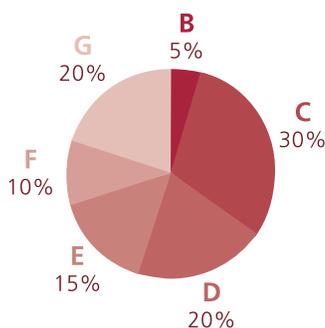
DIESES KAPITEL STELLT DIE KONSTRUKTIONSPRINZIPIEN UND DIE IN DEN GEBÄUDEN VERWENDETEN BAUELEMENTE DAR. DEMENTSPRECHEND IST DIESES KAPITEL ALS UNTERSTÜTZUNG BEI DER KONSTRUKTIVEN UMSETZUNG EINES GEBÄUDEENTWURFS AUFGEBAUT.

## HAUPTGRUPPEN UND DER ANTEIL AN GRAUER ENERGIE

Im Rahmen der grauen Energie wird ein Gebäude in die Hauptgruppen nach dem Baukostenplan Hochbau (2012) eingeteilt. Dies sind folgende Hauptgruppen:

- B: Vorbereitung
- C: Konstruktion Gebäude
- D: Technik Gebäude
- E: Äussere Wandbekleidung Gebäude
- F: Bedachung Gebäude
- G: Ausbau Gebäude

Bezogen auf die Thematik der grauen Energie weisen die Hauptgruppen unterschiedliche Relevanz auf. Anhand von Untersuchungen kann eine Aufteilung der grauen Energie auf die einzelnen Hauptgruppen für Neubauten folgendermassen dargestellt werden.



Auf der obigen Aufteilung ist zu erkennen, dass ca. ein Drittel der grauen Energie auf die Hauptgruppe C Konstruktion entfällt. Der Ausbau G und die Technik D sind mit je einem Fünftel des Bedarfs die zweitgrössten Hauptgruppen.

## GEBÄUDEKONSTRUKTION

Anhand der aufgezeigten Daten lässt sich ableiten, dass eine Reduktion des Bedarfs an grauer Energie bei Neubauten innerhalb der Hauptgruppen C, D, G das grösste Potenzial bieten. Dennoch ist es nicht möglich, mit einer Massnahme in einer einzelnen Hauptgruppe alleine eine deutliche Bedarfsminimierung an grauer Energie zu erreichen. Vielmehr bedarf es einer Kombination von Massnahmen.

Auch auf dieser Ebene gilt die Regel:

- Reduktion von notwendigen Bauteilen und deren Schichtenzahl sowie deren Materialstärke, Dichte und Volumen.

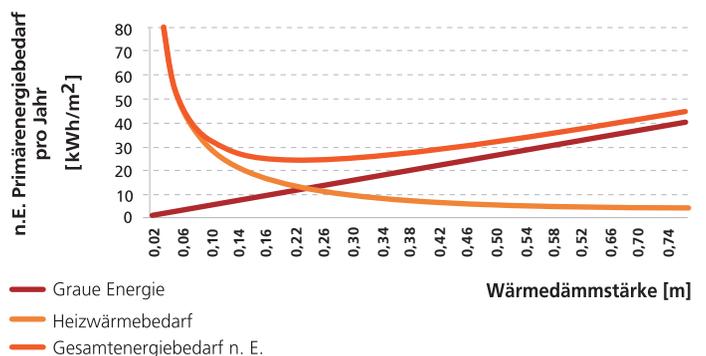
Durch die Berücksichtigung dieses Grundprinzips werden gleichzeitig Kosten und Bedarf an grauer Energie reduziert.

## RAUMWÄRME VERSUS GRAUE ENERGIE

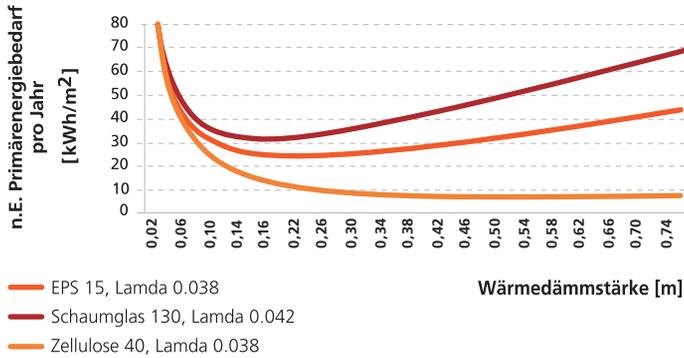
Die graue Energie eines Bauteils nimmt mit steigender Materialstärke/Volumen linear zu. Entsprechend ist der Schluss naheliegend, dass die Materialstärke möglichst minimal sein sollten. Bei folgenden Materialgruppen ist allerdings eine Verbindung zum Heizwärmebedarf zu erwähnen. Dies sind:

- Wärmedämmstoffe
- Verglasungen

Bei diesen Materialien steigt mit zunehmender Stärke der Bedarf an grauer Energie. Gleichzeitig sinken die Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes über die Gebäudehülle. Dadurch wird das Gebäude einen tieferen Heizwärmebedarf aufweisen. Am Beispiel einer Aussenwand kann dieses Prinzip veranschaulicht werden. Die graue Energie nimmt mit zunehmender Stärke zu, während der Heizwärmebedarf abnimmt. Für eine Gesamtbetrachtung muss von der Einsparung beim Heizwärmebedarf die für die Reduktion erforderliche graue Energie abgezogen werden. Die folgenden Beispiele wurden mit einer Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 3.2 und dem schweizerischen Verbraucherstrommix gerechnet.



Die Grafik zeigt, dass die Gesamtenergie ab einer gewissen Wärmedämmstärke wieder steigt. Je nach Gebäude, Standort, solaren Gewinnen, Gebäudetechnik und Energieträger können die Ergebnisse unterschiedlich sein. Ebenso ist das Dämmmaterial sehr entscheidend. Dies zeigt die folgende Grafik.



- ① Zusätzliche Wärmedämmung einfügen  
→ Die graue Energie steigt aufgrund der zusätzlichen Wärmedämmung  
→ Der Heizwärmebedarf sinkt dank der besseren Wärmedämmung  
→ **ENERGIEEBENE: NUTZENERGIE**
- ② Wirkungsgrad der Gebäudetechnik  
→ Endenergiebedarf sinkt oder steigt je nach Wärmeerzeugung  
→ **ENERGIEEBENE: ENDENERGIE**
- ③ Primärgewichtung des Energieträgers  
→ Der Endenergiebedarf wird mit dem Primärenergiefaktor multipliziert  
→ **ENERGIEEBENE: PRIMÄRENERGIE**
- ④ Vergleich Aufwand/Ertrag  
→ Ist die Einsparung **a** grösser als der Aufwand für graue Energie **b**?

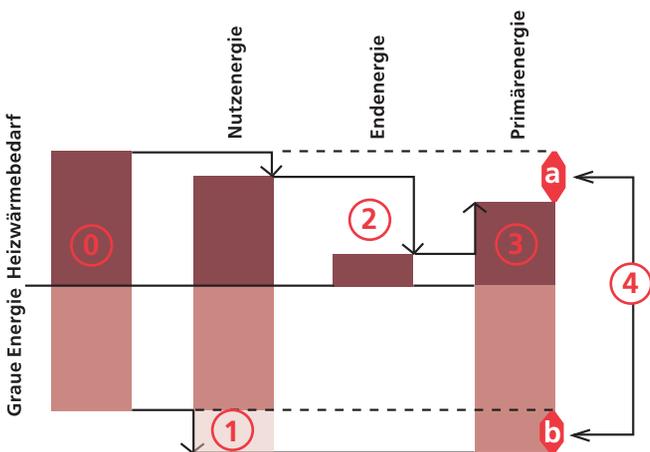


#### HILFESTELLUNGEN:

Dämmmaterialien mit tiefer Grauenergiebilanz können in höheren Stärken ausgeführt werden als Dämmprodukte mit hoher grauer Energie. Die optimale Dämmstärke ist jedoch von Gebäude zu Gebäude unterschiedlich.

#### OPTIMIERUNGSPROZESS

Da graue Energie nicht auf der Ebene Nutzenergie, sondern auf der Ebene nicht erneuerbare Primärenergie bilanziert wird, muss der Heizwärmebedarf umgerechnet werden. Dies wird einerseits mit dem Wirkungsgrad der gesamten Wärmeerzeugung/Verteilung und dem Primärenergiefaktor des gewählten Energieträgers vorgenommen. Erst danach kann eine gesamtheitliche Optimierung der Dämmstärke vorgenommen werden. Der Rückschluss, dass grössere Wärmedämmstärken immer eine Reduktion des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs mit sich bringen, ist dementsprechend trügerisch. Die nachfolgende Grafik zeigt den Zusammenhang.



- ① Heizwärmebedarf & graue Energie  
→ Ausgangslage für die Optimierung



#### ERKENNTNIS:

Damit die gewünschte Reduktion des Primärenergiebedarfs effektiv eintritt, muss die Reduktion des Heizwärmebedarfs geteilt durch den Wirkungsgrad der Gebäudetechnik und multipliziert mit dem Primärenergiefaktor des Energieträgers grösser sein, als die graue Energie der zusätzlich eingesetzten Wärmedämmung.

#### LEBENSZYKLUS

Während der Nutzungsdauer eines Gebäudes werden Bauteile mehrmals erneuert oder ganz entfernt. Denn nicht alle verwendeten Materialien weisen dieselbe Amortisationszeit auf. Da durch diese Massnahmen der Bedarf an grauer Energie in der Gebäudebilanz ebenfalls beeinflusst wird, sind folgende Betrachtungspunkte wichtig:

- Aufbau des Bauteils
- Trennbarkeit der Bauteilschichten
- Amortisationszeit der Materialien

Langlebige Materialien sind optimalerweise im Bauteilkern anzuordnen. Dies kann beispielsweise die Tragkonstruktion sein. Bauteilschichten mit eher kurzen Nutzungsdauern sollen aussenliegend angeordnet werden.

Die Trennbarkeit der Hauptgruppen, insbesondere Konstruktion C zu Technik D, ermöglicht eine einfache Erneuerung und Anpassung an den sich verändernden Stand der Technik. Es ist sinnvoll, folgende Punkte vorzusehen:

- Zerstörungsfrei lösbare Verbindungen
- Platzreserven in Steig- und Verteilzonen vorsehen
- Einfache Zugänglichkeit zu den einzelnen Komponenten sicherstellen

Bei der Amortisationszeit von Materialien ist zu berücksichtigen, dass diese der Nutzung bestmöglich entsprechen.

## BESTIMMUNG DER KONSTRUKTION

Bei der Bestimmung von geeigneten Bau- oder Konstruktionsweisen spielen viele Faktoren in unterschiedlichen Ebenen eine Rolle.

Alle diese Ebenen müssen beim Entscheid zu einer Konstruktions- oder Bauweise berücksichtigt werden. Da alle Themenfelder Einfluss auf die graue Energie haben, sollte diese nicht als eigene Ebene, sondern auf allen aufgeführten Ebenen im Entscheidungsprozess Beachtung finden.

### BAUWEISEN

Der Entscheid zu einer Bauweise (Massivbauweise, Holzbauweise, Hybridbauweise) beeinflusst vor allem die Hauptgruppe Konstruktion C. Innerhalb der Hauptgruppe C sind vom Entscheid der Bauweise die Elementgruppen Fundamente C 1 nur indirekt und C 2 Aussenwandkonstruktion (unter Terrain) betroffen. Diese beiden Elementgruppen stellen ca. einen Fünftel des Bedarfs an grauer Energie der Hauptgruppe Konstruktion dar. Daraus kann abgeleitet werden, dass der Entscheid zu einer Bauweise lediglich den restlichen Viertel am Gesamtbedarf grauer Energie beeinflusst.

Berechnungen zeigen, dass bei der Berücksichtigung aller Hauptgruppen die Holzbauweise im Vergleich zur Massivbauweise einen lediglich um ca. 5 % tieferen Bedarf an grauer Energie aufweist. Wird zusätzlich auch der Heizwärmebedarf der Bauweisen respektive die Wärmespeicherkapazität der einzelnen Bauweisen mit berücksichtigt, gleicht sich der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie bei einer gesamtheitlichen Betrachtung annähernd aus. Die Optimierung der grauen Energie kann nicht alleine über die Bauweise an sich, sondern über eine Optimierung innerhalb der einzelnen Bauweisen erfolgen.



#### ERKENNTNIS:

Durch eine ganzheitliche Optimierung können bezüglich grauer Energie sowohl in Massiv- und Holzbauweise ähnlich gute Ergebnisse erzielt werden.

Bei der Optimierung der Bauweisen respektive der Tragstruktur soll ein logisches, einfach nachvollziehbares Tragkonzept angestrebt werden.

Daher steht auch bei der Optimierung der Holzbauweise die materialgerechte Konstruktion im Zentrum. Es sollen:

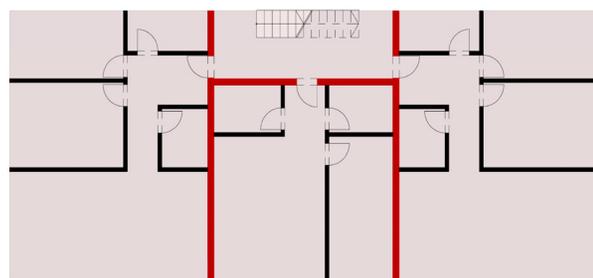
- die Holzanteile in Holzkonstruktionen möglichst minimiert,
- die Anzahl Schichten von Bauteilen reduziert,
- besser Massivholz bei Konstruktionen anstelle von Brettschichtholzträgern verwendet werden.

Im Massivbau ist die Optimierungsmöglichkeit hauptsächlich innerhalb der Materialisierung zu suchen. Beispielsweise durch die Verwendung von Zementsteinen anstelle von Backsteinen. Die Materialisierung wird im Kapitel «Baumaterialien» genauer dargestellt.

### FUNKTIONSSYNERGIEN

Gerade in der Ebene der Schutzkonzepte lässt sich durch eine Verbindung der einzelnen Anforderungen der Bedarf an grauer Energie reduzieren. So verlangen beispielsweise Brandschutz, der Schallschutz und die Anforderung an die Erdbebensicherheit Kriterien, die in einem Bauteil zusammengefasst werden können. Im Mehrfamilienhaus können oft Wohnungstrennwände und die Trennwände zum Treppenhaus kombiniert so konstruiert werden, dass diese das notwendige Schalldämmmass aufweisen, die bei einem Erdbeben anfallenden Schubkräfte aufnehmen und auch der Brandschutz eingehalten wird. Dies beispielsweise durch die Verwendung einer Betonwand anstelle von zweischaligem Backsteinmauerwerk.

Das Prinzip zeigt das nachfolgende Beispiel exemplarisch. In den Wohnungstrennwänden (rot) können die Funktionen Erdbebensicherheit, Schallschutz und Brandschutz kombiniert werden.



Beispiel: Die rot dargestellten Wände sind in Beton ausgeführt. Die schwarzen Wände sind in Backstein ein- oder zweischalig konstruiert. Dank der Funktionszusammenlegung kann der Bedarf an grauer Energie optimiert werden.

## AUSBAU

Der Gebäudeausbau spielt hinsichtlich der grauen Energie eine wichtige Rolle. Dies insbesondere wegen der kürzeren Nutzungsdauer. Jede weitere eingebrachte Schicht bringt zusätzliche graue Energie in ein Bauteil ein. Zudem bestimmt die Auswahl der Materialien den Bedarf an grauer Energie.

### DER EDELROHBAU

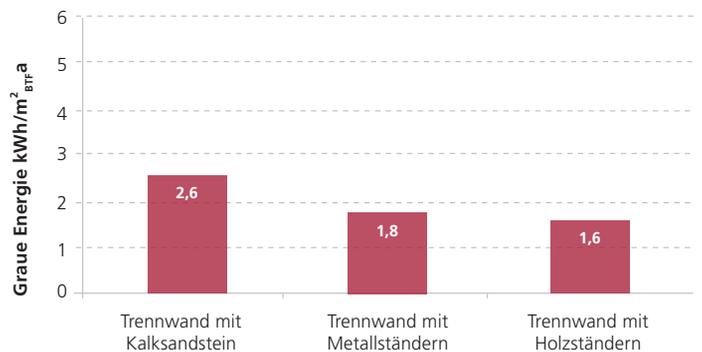
Ein Rohbau, der ohne Bekleidungen auskommt, kann als Edelrohbau bezeichnet werden. Dabei entspricht die optische Erscheinung der Rohbauteile bereits den geforderten Qualitätsmerkmalen einer Oberfläche. Als Edelrohbau kann unter anderem Sichtbeton, eine unverändert gezeigte Konstruktionsholzplatte oder ein unversiegelter Fliessestrich ohne Bodenbelag genannt werden. Der Edelrohbau kommt daher bewusst ohne Bekleidungen und Abdeckungsschichten aus. Dies wirkt sich positiv auf die graue Energie und auf die Erstellungskosten aus.

### UNTERKONSTRUKTIONEN

Als nichttragende Trennwände innerhalb von Wohneinheiten kommen oftmals Leichtbaukonstruktionen wie Gips-Ständer-Wände zum Einsatz. Die Beplankung erfolgt in dieser Konstruktionsweise mit Gipsfaser- oder Gipskartonplatten und ist für die Berechnungen ohne Abrieb betrachtet worden.

In der folgenden Grafik ist die graue Energie von einfachen Ständerwänden mit 80 mm Steinwollgedämmung und beidseitig einfacher Gipskartonbeplankung abgebildet. Wesentlich ist in diesen Konstruktionen die Wahl der Ständer. Werden anstelle von Metallständern Holzständer eingesetzt, resultiert eine Einsparung von gut  $0.2 \text{ kWh/m}^2_{\text{BTF,a}}$ . Wird mit Holz konstruiert, so kann die graue Energie für eine Innenwand ohne Qualitätseinbuße alleine durch den Verzicht von Metallständern optimiert werden. Dasselbe gilt bei Vorsatzschalen und Deckenkonstruktionen sowie bei Fassadenunterkonstruktionen. Die massive Trennwand aus Kalksandstein schneidet fast ebenso gut ab wie die Trennwand in Leichtbauweise mit Holzständern.

## TRENNWÄNDE



## GEBÄUDETECHNIK

Die graue Energie der Gebäudetechnik wird in der Hauptgruppe D Technik Gebäude erfasst.

Wesentliche Kriterien beim Einbau von Gebäudetechnik bezüglich der grauen Energie sind:

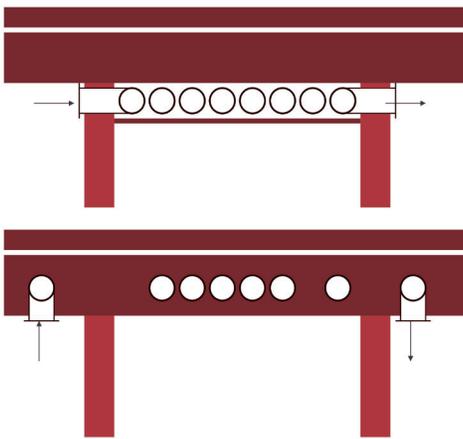
- Trennbarkeit/Nutzungsdauer
- Installationsgrad
- Material/Produktwahl

Diese Aspekte werden nachfolgend beleuchtet.

### TRENNBARKEIT

Die Nutzungsdauer von gebäudetechnischen Anlagen ist deutlich tiefer als jene der Gebäudekonstruktion. Damit der notwendige Ersatz möglich ist, sollte bei der Erstplanung die Ersetzbarkeit der einzelnen Komponenten berücksichtigt werden. Sei dies im Technikraum oder in der Führung und dem Platzbedarf der vertikalen Steig- und horizontalen Verteilzonen.

Zu beachten sind dabei genügend breite Zugangsmöglichkeiten zu Technikräumen und ein einfacher Zugang zu den Steigzonen. Zudem empfiehlt es sich, keine gebäudetechnischen Komponenten in Betondecken einzulegen.



*Beispiel: Komfortlüftungsleitungen können in abgehängten Decken oder noch einfacher, sichtbar geführt statt in den Betondecken eingelegt werden.*

### INSTALLATIONSGRAD

Bezogen auf die graue Energie weist die Elementgruppe D, Technik Gebäude, im Mittel bei Neubauten einen Anteil von etwa einem Fünftel der grauen Energie auf. Allerdings kann dieser Wert sehr stark in Abhängigkeit vom Installationsgrad eines Gebäudes variieren. Um die graue Energie bestmöglich zu reduzieren, können folgende Punkte beachtet werden:

- Möglichst kurze Leitungslängen wählen
- Möglichst tiefen Installationsgrad wählen

### MATERIAL/PRODUKTWAHL

Im Bereich der Gebäudetechnik ist neben dem Installationsgrad die Materialwahl ein wichtiges Kriterium bezüglich des Bedarfs an grauer Energie. Dies wird beispielsweise bei Verteilleitungen deutlich.

### PHOTOVOLTAIK [PV]

Photovoltaikmodule sind in der Produktion sehr energieintensiv. Eine PV-Anlage, welche den Energiebedarf für den Betrieb eines energieeffizienten Einfamilienhauses decken kann, erhöht den Bedarf an grauer Energie für dieses Einfamilienhaus um ca. 20%. Durch die Stromproduktion der PV-Anlage kann dieser Aufwand an grauer Energie deutlich übertroffen werden und ist daher trotz der notwendigen grauen Energie eine sinnvolle Investition. Die genaue Pay-Back-Zeit hängt dabei vom gewählten PV-Modul, der Unterkonstruktion und dem Standort (Sonneneinstrahlung) ab. In der Regel ist die zur Produktion der Anlage aufgewendete Energie bereits nach 2–3 Jahren wieder ausgeglichen.



#### BEISPIEL:

Lüftungsanlagen mit glattwandigen PE-Kanälen weisen im Vergleich zu Anlagen mit Blechkanälen ca. 40% weniger graue Energie auf.

## DIESES KAPITEL BELEUCHTET DIE PHASE DER KONKRETEN MATERIALWAHL.

### EINFLUSSGRÖSSEN

Mit den nachfolgenden Grundkriterien ist eine erste Einschätzung der grauen Energie möglich. Dies hilft, sich für die passende Materialgruppe zu entscheiden.

### PRODUKTIONSPROZESS

Da die graue Energie neben der Energie für die Entsorgung vor allem die Energie für die Produktion umfasst, ist deren Anteil massgebend. Je energieintensiver die Herstellung eines Materials ist, desto mehr graue Energie steckt in ihm.

Drei Faktoren bestimmen den Gehalt von grauer Energie:

- Materialgewinnung
- Recyclinganteil
- Anzahl und Art der Bearbeitungsschritte

So sind Baumaterialien aus Rohstoffen, die einfach zu gewinnen sind, tendenziell besser als solche, deren Rohstoffgewinnung sehr energieintensiv ist. Hochveredelte Produkte, die viele Produktionsschritte benötigen, welche zudem noch energieintensiv sind, enthalten mehr graue Energie als einfachere Produkte. Schmelz-, Brenn- und Trocknungsprozesse und damit die thermische Energie sind vielfach für erhöhte Werte an grauer Energie verantwortlich.

Ein Anteil an Recyclingmaterial als Ersatz von Rohstoffen kann die graue Energie ebenfalls reduzieren, sofern die Aufbereitung dieses Materials nicht selbst schon als energieintensiv einzustufen ist. Altpapier, das beispielsweise zu Zellstoffdämmmaterial verarbeitet wird, kann vom bereits vorgängig produzierten Papier profitieren, indem es einfach weiterverarbeitet werden kann (erneute Zerfaserung). Recyclingbeton hingegen enthält in etwa gleich viel graue Energie wie konventioneller Beton, da er einen höheren Bedarf an Zement aufweist. Das Verwenden von Recyclingbeton jedoch ist aus Sicht der Ressourcenschonung sinnvoll.

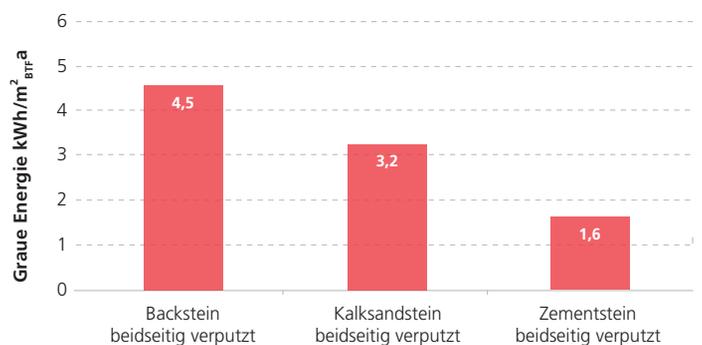
### MAUERWERK

Mauerwerke für Aussen- und Innenwände dienen als Tragschicht oder Trennwand. Bei Trennwänden gewährleisten Mauerwerke durch ihre Masse den nötigen Schallschutz und bieten oft eine bessere Ausgangslage bezüglich grauer Energie als Gipsständerkonstruktionen.

In der folgenden Grafik sind drei Beispielkonstruktionen von massiven Innenwänden aufgeführt. Alle Wände haben eine Stärke von 15 cm und sind beidseitig verputzt.

Der Backstein enthält mehr graue Energie als der Kalksand- und der Zementstein. Hier wirkt sich also der Herstellungsprozess, das Backen, bemerkbar aus. Die beiden anderen Materialien, die im Gegensatz zum Backstein nur abbinden müssen, enthalten weniger graue Energie.

### MAUERWERKE NICHT TRAGEND D = 15 CM



### DÄMMSTOFFE

Ein Baumaterial, das die Energie in zweifacher Weise beeinflusst, ist der Dämmstoff. Einerseits hilft er, den Heizwärmebedarf gering zu halten, auf der anderen Seite trägt er aber mit zunehmender Dämmstärke zum Anstieg der grauen Energie bei. Mit der Reduktion des Heizwärmebedarfs kann daher eine Erhöhung der grauen Energie einhergehen.

## MATERIALGERECHTE VERWENDUNG

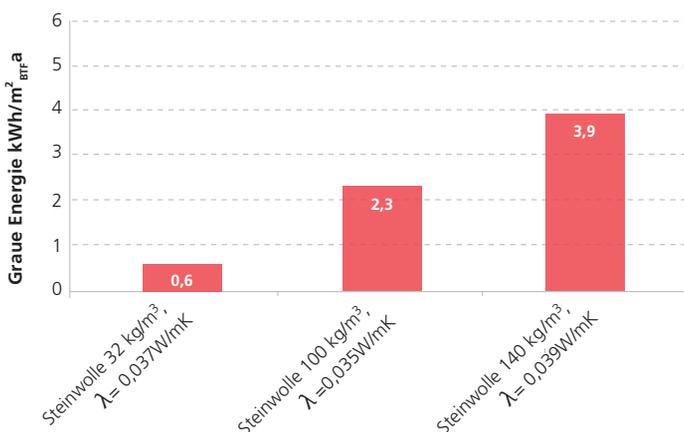
Dämmstoffe können vereinfacht in drei Kategorien unterteilt werden:

- Zwischenkonstruktionsdämmung
- Dämmung mit Trägerfunktion (z.B. Putzträgerdämmung)
- Druckfeste Dämmung (z.B. Dach).

Diese drei Anforderungsklassen bestimmen die Beschaffenheit des jeweiligen Dämmstoffes. Die Dichte und damit die Materialmasse ist massgeblich vom Einsatzort und der Funktion der Dämmung abhängig. So kann zum Beispiel Steinwolle mit einer Dichte von ca. 32 kg/m<sup>3</sup> in Ständerkonstruktionen ausreichen. Wird die Dämmung als Putzträger an Fassaden verbaut, ist eine Dichte von 100 kg/m<sup>3</sup> erforderlich und bei begehbaren Flachdächern kann eine Dichte von bis zu 140 kg/m<sup>3</sup> nötig sein. Die Differenz in der Dichte beträgt je nach Einsatzort gut das Vierfache.

Zusätzlich dämmen dichtere Produkte oftmals schlechter (der  $\lambda$ -Wert steigt) als leichtere Dämmstoffe. Um denselben  $U$ -Wert zu erreichen, muss die Dämmstärke bei dichteren Materialien erhöht werden. Damit ergibt sich wie in untenstehender Grafik dargestellt eine drastische Erhöhung der grauen Energie. Auch eine massgebende Rolle für die Auswahl des Dämmmaterials spielen Brandschutz, Schallschutz, sommerlicher Wärmeschutz, Materialkosten und natürlich die maximal mögliche Aufbaudicke. Es ist nicht nur der  $U$ -Wert massgebend, sondern auch das Einsatzgebiet des Dämmstoffes.

## EINSATZORT DÄMMSTOFFE (U-WERT 0,2 W/m<sup>2</sup>K)

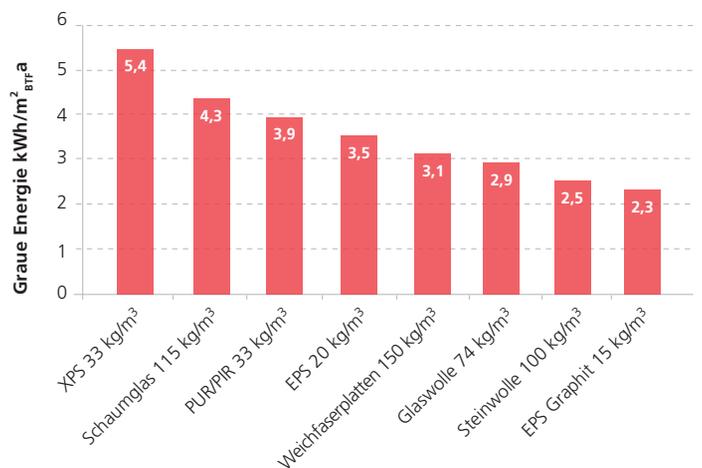


## VERGLEICH DÄMMSTOFFE

Auf dem Baustoffmarkt sind viele verschiedene Dämmstoffprodukte erhältlich. Mineralwolle, erdölbasierte Dämmstoffe wie PUR, PIR, EPS und XPS sowie Zelluloseprodukte sind nur einige Beispiele. Innerhalb der jeweiligen Dämmstoffgruppe existieren zudem verschiedene Unterprodukte, was eine Analyse der grauen Energie erschwert.

In den nachfolgenden Abbildungen ist eine Auswahl von möglichen Aussenwanddämmstoffen abgebildet. Sie sind jeweils mit der Materialart und der Dichte gekennzeichnet.

## AUSSENWANDDÄMMSTOFFE (KOMPAKTFASADE MIT U-WERT VON 0,2 W/m<sup>2</sup>K)



Als Vergleichsbasis dient ein  $U$ -Wert von 0,2 W/m<sup>2</sup>K. Die Amortisationszeit ist, je nach Anwendungsgebiet, gemäss SIA-Merkblatt 2032 auf 30 (Kompaktfassaden) beziehungsweise 40 Jahre (Zwischenkonstruktionsdämmung) festgelegt. Hier zeigt sich, dass der Gehalt an grauer Energie bei Dämmstoffen massgebend von der Rohdichte der Produkte abhängig ist, da die graue Energie pro Kilogramm Baustoff berechnet wird. Die für Kompaktfassaden geeigneten schwereren Produkte enthalten dadurch deutlich mehr graue Energie als die vergleichsweise leichten Zwischenkonstruktionsdämmungen. Doch auch die Wahl des Materials hat einen Einfluss auf die graue Energie, was die nächste Abbildung verdeutlicht.

## ZWISCHENKONSTRUKTIONSDÄMMUNGEN (AUSSENWAND MIT U-WERT VON 0,2 W/m<sup>2</sup>K)



Die Zelluloseflocken profitieren vom hohen Recyclinganteil und von der einfachen und energiearmen Weiterverarbeitung des Altpapiers. Absolut betrachtet mögen alle Materialien wenig graue Energie aufweisen, alleine mit einer optimierten Materialwahl lässt sich die graue Energie innerhalb dieser Auswahl wiederum halbieren.

## UNTERKONSTRUKTIONEN FÜR AUSSENWANDBEKLEIDUNGEN

Unterkonstruktionen für hinterlüftete Aussenwandbekleidungen werden hauptsächlich in Holz oder Metall ausgeführt. Bezüglich der grauen Energie enthält eine Unterkonstruktion aus Metall (Aluminium) ein Vielfaches an grauer Energie gegenüber einer Holzkonstruktion. Unterkonstruktionen aus Holz bieten deshalb ein grosses Einsparpotenzial. Die Materialisierung der Unterkonstruktion ist oft abhängig vom System der Aussenwandbekleidung und ist daher in die Betrachtung einzubeziehen.

## AUSSENWANDBEKLEIDUNGEN

Bei Aussenwandbekleidungen gibt es grosse Unterschiede über den Gehalt an grauer Energie. So enthalten zum Beispiel vorgehängte Glasfassaden bedeutend mehr graue Energie als eine Faserzementbekleidung. Holzfassaden hingegen bestehen mit einem sehr tiefen Wert – ein Einsparpotenzial, das nicht zu unterschätzen ist.

## AUSSENWANDBEKLEIDUNGEN HINTERLÜFTET MIT UNTERKONSTRUKTION (OHNE DÄMMUNG)



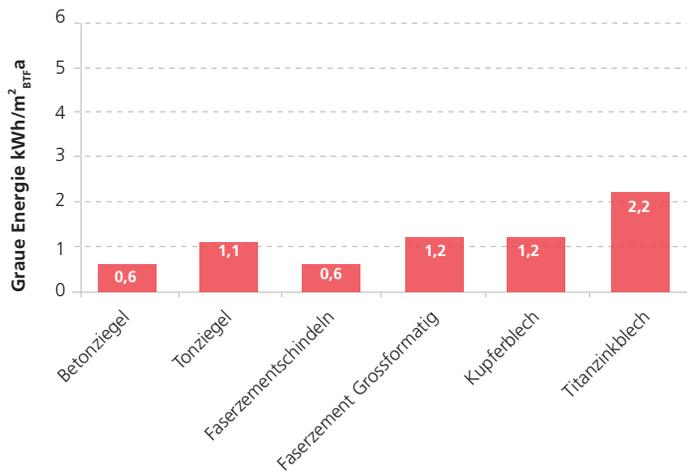
## BEDACHUNGEN STEILDACH

Die wasserführende Schicht von Steildächern kann unter Verwendung verschiedener Materialien, die einen Wetterschutz garantieren, erstellt werden. In der folgenden Grafik sind sechs Eindeckungsarten abgebildet. Es handelt sich dabei nur um die wasserführende Schicht ohne Unterkonstruktionen. Da diese meist in Holz erstellt werden, sind sie energiearm und fallen kaum ins Gewicht beziehungsweise sind über alle Eindeckungsvarianten sehr ähnlich.

Verglichen mit der Flachdacheindeckung, die bei rund 2,5 kWh/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub> liegt, sind die klassischen Steildachprodukte wie Ziegel und Faserzementplatten mit 0,6 bis 2,2 kWh/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub> bezüglich grauer Energie klar energieärmer. Besonders Betonziegel und Faserzementschindeln weisen die geringsten Werte grauer Energie auf. Der Tonziegel, der vor allem durch das Brennen in Brennöfen einen Energieverbrauch auslöst, enthält bereits doppelt so viel graue Energie wie sein Pendant in Beton. Ein anderes Bild bieten die Metalleindeckungen, die sich zwischen 1,2 und 2,2 kWh/m<sup>2</sup><sub>BTF</sub> bewegen.

Die Metallverarbeitung ist aufgrund der nötigen Schmelzprozesse äusserst energieintensiv und wirkt sich auf den resultierenden Baustoffkennwert aus. Weichere Metalle wie Kupfer sind wegen der tiefen Schmelztemperatur etwas besser, jedoch wegen der Belastung der Gewässer ökologisch nicht empfehlenswert.

### DACHEINDECKUNGEN (OHNE UNTERKONSTRUKTION)



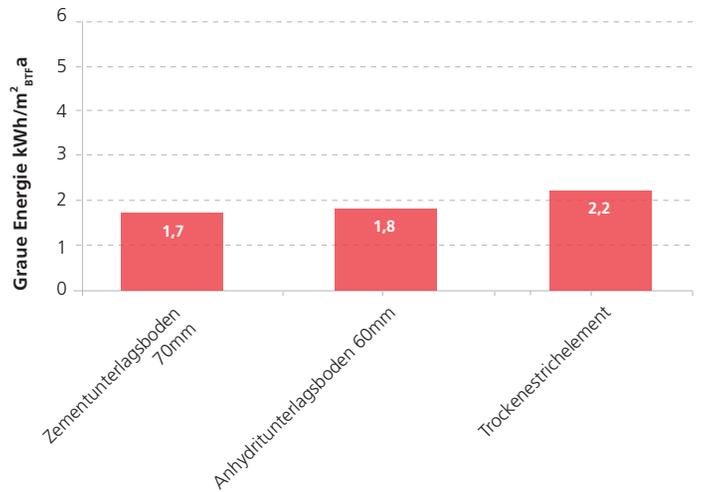
### UNTERLAGSBÖDEN

Nicht nur die Bodenbeläge, sondern auch die Unterkonstruktionen in Form von Unterlagsböden sind bezüglich der grauen Energie zu beachten. Am Gebäude haben die Böden mit ihrem relativ grossen Flächenanteil einen relevanten Einfluss. In der nachstehenden Grafik werden drei Standardunterlagsböden verglichen:

- gängiges Trockensystem
- 6 cm Anhydrit
- 7 cm Zementestrich

Es fällt auf, dass Trockensysteme eher mehr graue Energie enthalten als die nass eingebrachten Systeme. Dies ist vor allem mit den energieintensiveren Materialien im Trockensystem und den Verbindungen von mehreren Materialien zu erklären.

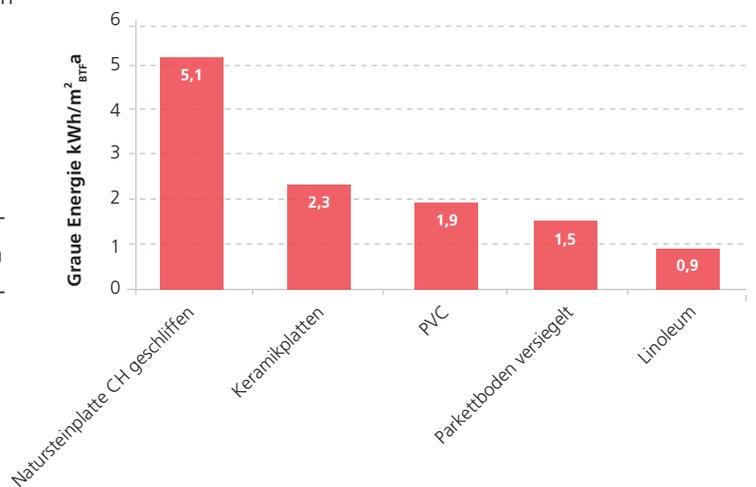
### UNTERLAGSBÖDEN MIT TRITTSCHALLDÄMMUNG



### BODENBELÄGE

Über den gesamten Gebäudekontext gesehen spielen auch die Bodenbeläge eine wichtige Rolle. Hier sind wiederum die Herstellungsprozesse und Veredelungsschritte für den Gehalt von grauer Energie der verschiedenen Baustoffe zuständig. Sei es das energieintensive Schneiden und Polieren von Natursteinplatten, das Brennen von Keramik oder das thermisch intensive Herstellen von PVC.

### BODENBELÄGE



# EMPFEHLUNGEN

---

DIE WESENTLICHEN POTENZIALE ZUR REDUZIERUNG DER GRAUEN ENERGIE SIND NACHFOLGEND IN ZEHN KONKRETEN PUNKTEN ZUSAMMENGEFASST.

## 1. ERHÖHUNG DER NUTZUNGSDAUER

Die gute städtebauliche Situierung, ansprechende Gestaltung, hohe Nutzungsflexibilität, die Trennbarkeit von Tragstruktur, Gebäudetechnik und Ausbau sind optimale Voraussetzungen für eine lange Nutzungsdauer.

## 2. REDUKTION BAUTEILFLÄCHEN

Mit der Optimierung der Kompaktheit können Bauteilflächen reduziert werden.

## 3. REDUKTION UNTERTERRAINBAUTEN

Aushubvolumen und Bauteile unter Terrain minimieren und diesbezügliche Raumprogramme überdenken.

## 4. KLARE UND LOGISCHE TRAGSTRUKTUREN PLANEN

Tragstrukturen so planen, dass Lasten möglichst einfach und auf direktem Weg abgetragen werden können.

## 5. FUNKTIONSSYNERGIEN NUTZEN

Schutzanforderungen an Bauteile wie Schallschutz, Brandschutz und Erdbebensicherheit in einem Bauteil (z.B. Wohnungstrennwand) zusammenfassen.

## 6. OPTIMIERUNG DECKEN UND DÄCHER

Tragstruktur mit wirtschaftlichen Spannweiten bei Zwischendecken wählen. In Dachkonstruktionen ist die Verwendung von Konstruktionen mit leichter Dämmung eine wirkungsvolle Massnahme.

## 7. BEWUSST GEWÄHLTER FENSTERANTEIL

Fensteranteile in Fassaden bewusst wählen und Rahmenanteile minimieren. Die erste Wahl dabei sind Holz-, danach Holz-Metallfenster und schlussendlich Kunststofffenster. Metallfenster sind am energieintensivsten.

## 8. VERWENDUNG VON LEICHTEN DÄMMSTOFFEN

Bei geringen Anforderungen an die Druckfestigkeit ist die Verwendung von möglichst leichten Dämmstoffen optimal. Zudem soll die Dämmstärke abgestimmt sein bezüglich Heizwärmebedarf und grauer Energie.

## 9. MATERIALWAHL BEI INNENWÄNDEN

Verwenden von Zement- oder Kalksandsteinen statt Backsteinen und Holz- statt Metallständern für Leichtbauwände.

## 10. OPTIMIERTE GEBÄUDETECHNIK

Den Installationsgrad der Gebäudetechnik auf das Notwendige reduzieren und kurze Leitungsführungen planen. Bei Lüftungsanlagen wenn möglich Kunststoffrohre verwenden anstelle von Metallkanälen.

**MINERGIE-P-ECO MEHRFAMILIENHAUS  
AN DER BURGUNDERSTRASSE 93  
IN BERN MIT ENTSPRECHEND  
EINHALTUNG DER ANFORDERUNGEN  
HINSICHTLICH GRAUE ENERGIE.**



## BETEILIGTE

- aardeplan ag, Architekten ETH SIA, Baar
- Energieagentur St.Gallen GmbH, St.Gallen
- Visiobau Architekturbüro SIA, Muolen

## QUELLEN

- SIA 380, Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden, 2015
- SIA-Merkblatt 2032, Graue Energie von Gebäuden, 2010, 1. Auflage und Korrigenda 2013
- SIA-Merkblatt 2040, SIA-Effizienzpfad Energie, 2011
- SIA-Merkblatt 2047, Energetische Gebäudeerneuerung, 2015
- KBOB-Empfehlung 2009/1: Ökobilanzdaten im Baubereich, 2014
- CR B, Baukostenplan Hochbau, 2012

## FOTOS

- Architektur: Bürgi Schärer Architektur und Planung AG, Bern  
Foto: Alexander Gempeler

## LITERATUR

- EnergieSchweiz, Ratgeber Mehrfamilienhäuser energetisch richtig erneuern, 2014
- EnergieSchweiz, Ratgeber Raum und Luft – Angemessene Lüftungskonzepte bei der Erneuerung von Wohnbauten
- Faktor Verlag, Gesund und ökologisch bauen mit Minergie@-ECO , 2015
- interact, Hochschule Luzern, Technik und Architektur
- Die Typologie der Flexibilität im Hochbau, 2008

# ICH WILL MEHR WISSEN

---

## LINKS ZUM THEMA

<a href="http://www.eco-bau.ch">www.eco-bau.ch</a>	Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau
<a href="http://www.ecospeed.ch">www.ecospeed.ch</a>	Ihre persönliche Energiebilanz
<a href="http://www.kbob.admin.ch">www.kbob.admin.ch</a> -> Publikationen -> nachhaltiges Bauen	KBOB -Empfehlung 2009/1: Ökobilanzdaten im Baubereich

---

## WEITERE LINKS

<a href="http://www.energieantworten.ch">www.energieantworten.ch</a>	Antworten auf Fragen zum Thema Energie
<a href="http://www.energieetikette.ch">www.energieetikette.ch</a>	Energieetikette für Haushaltgeräte, Beleuchtung, Personenwagen, Reifen usw.
<a href="http://www.energiefranken.ch">www.energiefranken.ch</a>	Alle Förderprogramme in Ihrer Gemeinde
<a href="http://www.energieschweiz.ch">www.energieschweiz.ch</a>	Bundesamt für Energie BFE
<a href="http://www.energieschweiz.ch/heizsystemcheck">www.energieschweiz.ch/heizsystemcheck</a>	Vergleich von Heizungssystemen
<a href="http://www.energie-umwelt.ch">www.energie-umwelt.ch</a>	Internetseite der kantonalen Energie- und Umweltdienststellen über Energiesparen und Umweltschutz
<a href="http://www.energybox.ch">www.energybox.ch</a>	Beurteilen Sie Ihren Stromverbrauch
<a href="http://www.fernwaerme-schweiz.ch">www.fernwaerme-schweiz.ch</a>	Verband Fernwärme Schweiz
<a href="http://www.fws.ch">www.fws.ch</a>	Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS
<a href="http://www.geak.ch">www.geak.ch</a>	Gebäudeenergieausweis der Kantone
<a href="http://www.geothermie.ch">www.geothermie.ch</a>	Schweizerische Vereinigung für Geothermie SVG
<a href="http://www.gh-schweiz.ch">www.gh-schweiz.ch</a>	Gebäudehülle Schweiz
<a href="http://www.hausverein.ch">www.hausverein.ch</a>	Hausverein Schweiz
<a href="http://www.hev-schweiz.ch">www.hev-schweiz.ch</a>	Hauseigentümergeverband Schweiz
<a href="http://www.holzenergie.ch">www.holzenergie.ch</a>	Alles über die Holzheizung
<a href="http://www.leistungsgarantie.ch">www.leistungsgarantie.ch</a>	Leistungsgarantie Haustechnik
<a href="http://www.minergie.ch">www.minergie.ch</a>	Der Schweizer Standard für Komfort, Effizienz und Werterhalt
<a href="http://www.nnbs.ch">www.nnbs.ch</a>	Netzwerk Nachhaltiges Bauen Schweiz
<a href="http://www.snbs.ch">www.snbs.ch</a>	Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz
<a href="http://www.swissolar.ch">www.swissolar.ch</a>	Informationsstelle Solarenergie
<a href="http://www.topten.ch">www.topten.ch</a>	Vergleich der sparsamsten Haushaltgeräte

---