



Hochschule Trier – Umwelt-Campus Birkenfeld

Institut für angewandtes Stoffstrommanagement

Glossar

NACHHALTIGKEIT & ZIRKULARITÄT IM BAUWESEN

Kontakte:

Prof. Dr. Peter Heck (Institutsleitung/Geschäftsführung) *Tel.: 06782 / 12-1221*
E-Mail: p.heck@umwelt-campus.de

Dipl.-BW (FH), Thomas Anton, M.Sc. (Projektleitung) *Tel.: 06782 / 17-1571*
E-Mail: t.anton@umwelt-campus.de

Dipl.-BW (FH), Manuel Schaubt, M.Sc. (Projektmanagement) *Tel.: 06782 / 17-1488*
E-Mail: m.schaubt@umwelt-campus.de

Samuel Albarado Zurita (Projektassistenz)
E-Mail: smhf3897@umwelt-campus.de

Redaktion: Albarado Zurita, Samuel; Schaubt, Manuel

Birkenfeld, Oktober 2022

Institut für angewandtes Stoffstrommanagement

Institute for applied Material Flow Management

Postbox 1380

55761 Birkenfeld



I Inhaltsverzeichnis

II	Abbildungsverzeichnis	VIII
1	Zirkuläre Wertschöpfung / Circular Economy (CE):.....	1
2	Cradle to Cradle (C2C)	2
2.1	Die drei Cradle to Cradle Certified® Prinzipien	2
2.1.1	Kreislauf: Abfall = Nahrung (waste = food).....	2
2.1.2	Energie: Nutzung erneuerbarer Energien	2
2.1.3	Diversität: Unterstützung von Diversität	2
2.2	Biologischer Kreislauf C2C	3
2.3	Technischer Kreislauf C2C	4
3	Nachhaltigkeit	5
3.1	Tragfähigkeit.....	5
3.2	Strategien zur Verringerung des Naturverbrauchs	7
3.2.1	Konsistenz:	7
3.2.2	Effizienz:	7
3.2.3	Suffizienz:	7
3.2.4	Effektivität.....	8
3.3	Triple Top Line.....	8
4	SDG's – Sustainable Development Goals.....	9
5	Green Economy: Gesellschaftlicher Wandel	11
6	Blue Economy	12
7	Stoffstrom / Stoffströme	14
7.1	Stoffstrommanagement	14
7.2	Inwertsetzung	15
7.3	Recycling.....	16
7.3.1	Recyclingfähigkeit.....	17
7.3.2	Recyclingrate.....	17
7.4	Upcycling.....	17



8	Lebenszyklusbetrachtung – Life Cycle Assessment (LCA)	18
8.1	Produktlebenszyklus	18
8.2	Ökobilanz	20
8.3	Ökobilanzierung	20
8.4	Environmental Product Declaration (EPD)	22
8.5	Graue Energie	22
8.6	Indikatoren für die Umweltwirkung (Ökologische Qualität nach BNB)	23
8.6.1	Global Warming Potential (GWP)	23
8.6.2	Ozone Depletion Potential (ODP)	24
8.6.3	Photospheric Ozone Concentration Potential (POCP)	25
8.6.4	Acidification Potential (AP)	25
8.6.5	Eutrophication Potential (EP)	26
9	9-R-Framework	27
9.1	R0 Refuse:	27
9.2	R1 und R2 – Produkte intelligenter herstellen und nutzen:	27
9.3	R1 Rethink:	27
9.4	R2 Reduce:	27
9.5	R3 bis R7 – Nutzungszeitraum von Produkten oder Produktteilen erhöhen:	
	28
9.6	R3 Reuse:	28
9.7	R4 Repair:	28
9.8	R5 Refurbish:	28
9.9	R6 Remanufacture:	28
9.10	R7 Repurpose:	28
9.11	R8 bis R9 – Materialien sinnvoll weiterverwerten:	29
9.12	R8 Recycle:	29
9.13	R9 Recover:	29



10	Kenngößen und Begriffe der Ökologie	31
10.1	Biokapazität	31
10.2	Earth Overshoot Day / Ecological Debt Day	31
10.3	Ökoeffektivität	32
10.4	Ökoeffizienz	32
10.5	Ökologischer Fußabdruck / ecological footprint	32
10.6	Ökologischer Rucksack	33
10.7	Virtuelles Wasser	34
10.8	Water Footprint	35
10.9	Abwasserarten	36
10.9.1	Grauwasser	36
10.9.2	Gelbwasser	36
10.9.3	Braunwasser	36
10.9.4	Schwarzwasser	36
11	Energetische Kenngößen und Begriffe	37
11.1	Der Energiebegriff in der Thermodynamik	37
11.1.1	Anergie	37
11.1.2	Exergie	37
11.2	Energiearten nach energetischer Konversion	37
11.2.1	Primärenergie	37
11.2.2	Endenergie	38
11.2.3	Nutzenergie	39
11.3	Anlagen-Aufwandszahl	39
11.4	Absorption (Wärme)	39
11.5	Adsorption	40
11.6	Adiabat	40
11.7	Adiabate Kühlung	40
11.8	Energieeffizienz	40



11.9	Energiekennzahl	41
11.10	Energiebilanz.....	41
11.11	Energiebezugsfläche A_E	41
11.12	Transmissionswärme	41
12	Energiebereitstellung in Gebäuden	42
12.1	Biomasse (energetisch).....	42
12.2	Blockheizkraftwerk	42
12.3	Erdwärmetauscher	42
12.4	Fernkälte	43
12.5	Fernwärme	43
12.6	Holz hackschnitzel (HHS).....	44
12.7	Holzpellets	44
12.8	Photovoltaik	45
12.9	Solarthermie.....	45
13	Kenngößen, Begriffe und Verfahren aus dem Bauwesen	46
13.1	A/V-Verhältnis	46
13.2	Abfallschlüssel	46
13.3	Amortisationszeit.....	46
13.4	Baustoff/Bauprodukt/Baumaterial	47
13.5	Baustoffklassen.....	47
13.6	Bauteil.....	47
13.7	Bauteilaktivierung.....	48
13.8	Beheiztes Gebäudevolumen V_e	48
13.9	Beheiztes Luftvolumen	50
13.10	Bivalent (Heizung)	50
13.11	Blower-Door (Differenzdruck-Verfahren).....	50
13.12	Dampfbremse	51
13.13	Diffusion	51



13.14	Dreifachverglasung	51
13.15	Emission	52
13.16	Gebäudehülle.....	52
13.17	Grundfläche (Architektur)	52
13.17.1	Brutto-Grundfläche (BGF)	52
13.17.2	Nettogrundfläche (NGF) / Nettoraumfläche (NRF)	53
13.17.3	Konstruktions-Grundfläche (KGF)	53
13.17.4	Gebäudenutzfläche A_N	55
13.18	Obsoleszenz	55
13.19	Rezyklat.....	56
13.20	Urban Mining Index.....	56
13.21	Zirkuläres Produkt.....	57
14	Gesetze und Verordnungen	58
14.1	EEWärmeG	58
14.2	EnEG.....	58
14.3	EnWG.....	58
14.4	EnEV	59
14.5	Gebäudeenergiegesetz (GEG)	59
14.6	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI.....	60
15	Literaturverzeichnis	61
15.1	Monografien und Sammelwerke	61
15.2	Internetquellen.....	61
15.3	Abbildungen	81



II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Biologischer Kreislauf	3
Abbildung 2: Technischer Kreislauf	4
Abbildung 3: Triple Top Line	8
Abbildung 4: Recyclingprozess von Aluminiumdosen	16
Abbildung 5: Upcyclingmöglichkeit	17
Abbildung 6: Endenergienutzung	38
Abbildung 7: Fernwärmekreislauf	44
Abbildung 8: Beheiztes Gebäudevolumen V_e	49
Abbildung 9: Brutto-Grundfläche eines Gebäudes	54
Abbildung 10: Urban Mining Index	57



Das folgende Glossar widmet sich vor allem dem Thema Zirkularität im Bauwesen, wobei sich der Begriff Zirkularität hierbei auf den möglichst effizienten Einsatz von Ressourcen in Form eines Kreislaufes im Sinne einer optimierten Kreislaufwirtschaft bezieht. Daneben werden auch Begriffe aus den Gebieten Nachhaltigkeit, Gebäudeenergienutzung, Lebenszyklusbetrachtung und Architektur erläutert.

1 Zirkuläre Wertschöpfung / Circular Economy (CE):

Basierend auf dem „Cradle to Cradle“ Prinzip strebt die „Zirkuläre Wertschöpfung“ (Circular Economy) eine naturverträgliche Gestaltung von Wirtschaftssystemen an. So wenig Auswirkungen auf die Umwelt wie möglich und so viel Wiederverwertung der „Abfallstoffe“ wie erreichbar, genau dies ist Ziel der „Zirkulären Wertschöpfung“, indem auf eine qualitative Transformation und die Schließung und Verlangsamung von Materialkreisläufen hingesteuert wird. Gezielte Materialauswahl und ein durchdachtes Design sollen Langlebigkeit, Wiederverwertung und Möglichkeiten zur Reparatur oder andererseits eine biologische Abbaubarkeit gewährleisten.

Grundvoraussetzung hierbei ist die stoffliche, sortenreine Trennung der Wertstoffe nach Ende der Lebensdauer für die Aufbereitung zur weiteren Nutzung im Kreislauf der Ressourcen.

Der Grundgedanke dabei ist die Etablierung und fundierte Umsetzung der „Cradle to Cradle“-Prinzipien als sich selbst erhaltenden Prozess in den verschiedensten Wirtschaftsbereichen und Industriebranchen (Automobil, Textil, Verbrauchs- und Gebrauchsgüter, Bauwesen) um Rohstoffe zum Recyclingpreis aus wiedergewonnenen Rohstoffen zu generieren.¹

Um die zirkuläre Wertschöpfungskette zusätzlich auch noch nachhaltig, risikoarm, emissions- und schadstofffrei zu gestalten, werden zusätzlich zum 9-R-Framework² Strategien wie die Nutzung Erneuerbarer Energien und nachwachsender Rohstoffe („Renewable“) sowie die Verwendung ungefährlicher, unschädlicher Materialien („Respect“ – vor Natur und Umwelt) benötigt.³

¹ Vgl. Braungart (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

² Siehe 9-R-Framework, S. 55 ff.

³ Vgl. ITES (2018), letzter Zugriff in 2022-10-28.



2 Cradle to Cradle (C2C)

Cradle to Cradle, übersetzt „Von der Wiege zur Wiege“ ist ein Konzept, welches Abfälle (im heutigen Sinne) als nutzbare Rohstoffe definiert und anstrebt innovative, sichere und potenziell unendliche Material- und Rohstoffkreisläufe zu entwerfen.

Mit dem Ziel nicht nur negative Auswirkungen auf Natur und Umwelt zu minimieren, sondern gleichzeitig auch einen positiven Fußabdruck zu hinterlassen, entstehen Prozesse, Produkte, Gebäude, Städte und ganze Infrastrukturen, die im Einklang mit den Interessen der Wirtschaft, dem Umweltschutz und der Obhut des Menschen stehen.⁴

2.1 Die drei Cradle to Cradle Certified® Prinzipien

2.1.1 Kreislauf: Abfall = Nahrung (waste = food)

Nährstoffe bleiben Nährstoffe, in der Natur gibt es keine „Mülldeponie“!

Am Bsp.: Wenn die Blätter eines Baumes herunterfallen, werden diese zersetzt und abgebaut, oder zum Beispiel von Blattschneideameisen abtransportiert und in einer Symbiose mit einem Pilz verwertet, da die Ameisen selbst nicht in der Lage sind die Blätter zu zersetzen und die Nährstoffe zu nutzen.

2.1.2 Energie: Nutzung erneuerbarer Energien

Sonnenenergie, Windenergie, Wasserkraft, Biomasse sowie weitere Energiequellen können durch die Konstruktion von Produkten und Systemen effektiv genutzt werden.

2.1.3 Diversität: Unterstützung von Diversität

Vom Zentralen, Einheitlichen hin zur dezentralen, heterogenen und komplexen Lösung. Die Natur als unser Vorbild zeigt uns wie ein System durch eine hohe Diversität widerstandsfähig und gleichzeitig flexibel wird. Gerade dies können wir auf unsere Wirtschafts- und Wertesysteme übertragen und wirksam profitieren.⁵⁶

⁴ Vgl. Braungart (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁵ Vgl. EPEA Switzerland (o. J.a), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁶ Vgl. Braungart (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



2.2 Biologischer Kreislauf C2C

(Natürliche) Verbrauchsgüter wie z.B. Reinigungsmittel, Lebens- und Genussmittel, Naturfasern oder biologisch abbaubare Verpackungen wandeln sich im Laufe ihres Lebenszyklus in Kompost oder andere Nährstoffe um. Somit dient der Abfall eines alten Produktes als Ressource/Rohstoff/Werkstoff eines neuen Produktes.

Folglich entsteht eine geschlossene Zirkulation, der „Biologische Kreislauf“, in welcher Verbrauchsgüter nach ihrer Nutzung sicher zurückgeführt werden.⁷

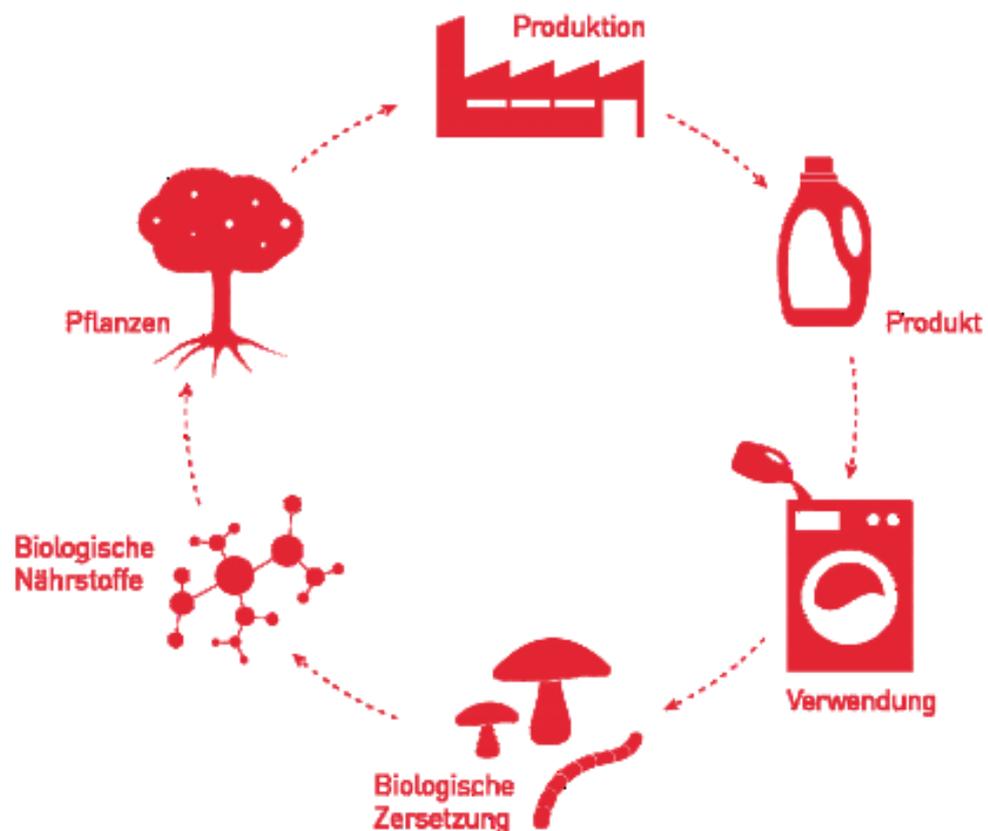


Abbildung 1: Biologischer Kreislauf⁸

⁷ Vgl. Braungart (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁸ Darstellung nach EPEA Switzerland GmbH (2022), letzter Zugriff in 2022-10-28.



2.3 Technischer Kreislauf C2C

Gebrauchsgüter wie etwa Möbel, Kfz oder Elektronikartikel werden bereits in der Planung und ihrem Herstellungsprozess als Ressourcen für die anschließende zukünftige Nutzungsphase optimiert. Ziel ist es Downcycling, also den Qualitätsverlust bei erneuter Nutzung zu vermeiden und die stoffliche Güte zu erhalten, indem die Materialien nach ihrer Nutzung sortenrein getrennt und in ihre Ausgangsstoffe zerlegt werden können. Diese Rohstoffe können ohne Probleme im technischen Kreislauf zirkulieren und wiederverwendet werden.⁹

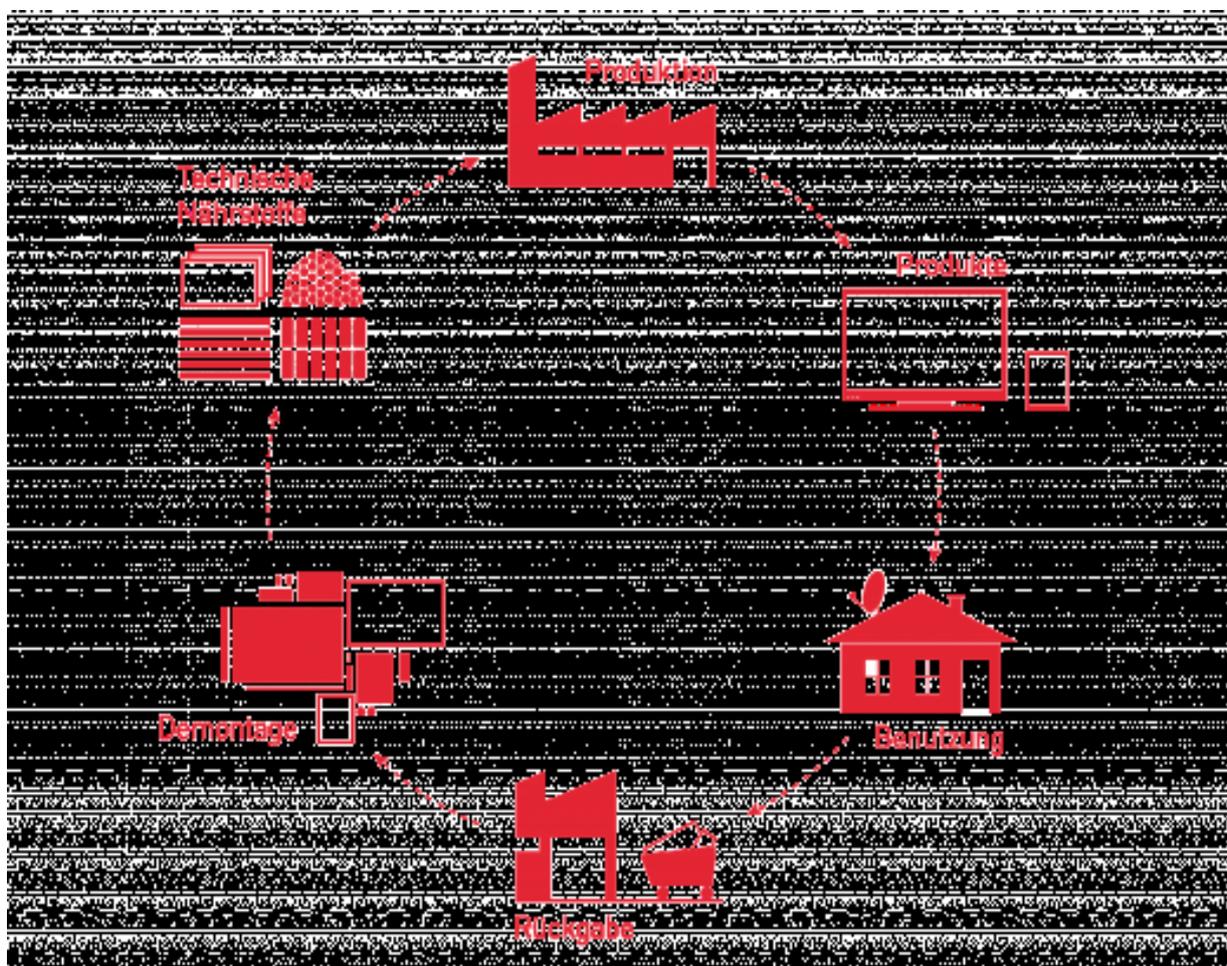


Abbildung 2: Technischer Kreislauf¹⁰

⁹ Vgl. Braungart (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁰ Darstellung nach EPEA Switzerland GmbH (2022), letzter Zugriff in 2022-10-28.



3 Nachhaltigkeit

Es gibt viele verschiedene Ansätze die Nachhaltigkeit zu definieren.

Herman Daly erklärte Nachhaltigkeit im Sinne der Ökologie wie folgt:

- „Das Niveau der Abbaurate erneuerbarer Ressourcen, darf ihre Regenerationsrate nicht übersteigen.
- Das Niveau der Emissionen darf nicht höher liegen als die Assimilationskapazität (Regenerationsfähigkeit).
- Der Verbrauch nicht regenerierbarer Ressourcen muss durch eine entsprechende Erhöhung des Bestandes an regenerierbaren Ressourcen kompensiert werden.“¹¹

Zusammenfassend können in der Menge der vielen Definitionsversuche doch einige Übereinstimmungen gefunden werden:

- „Nachhaltigkeit ist stets auf die Gegenwart und Zukunft ausgerichtet und somit ist ein zeitlicher Bezug gegeben.
- Ressourcen, materielle/immaterielle Güter, ökonomische/ökologische Einheiten etc., sollen geschützt werden, insbesondere wenn diese nicht erneuerbar sind.
- der Fortbestand eines Bezugsobjektes kurz- und langfristig sichergestellt werden soll.“¹²

3.1 Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit kann sich auf verschiedene Bereiche, wie die Bevölkerungsgeographie, die Landschaftsökologie oder die Geographie des Tourismus beziehen.

Die Tragfähigkeit im Sinne der Bevölkerungsgeographie verknüpft unter Einbeziehung des Entwicklungsstandes der jeweiligen Gesellschaft die Einwohnerzahl einer Region mit den potentiell zur Verfügung stehenden Ressourcen, also der Biokapazität. Eine zentrale Rolle spielt die Nahrungsmittelproduktion, welche eine konstante Versorgung gewährleisten und an zukünftiges Wachstum angepasst sein sollte (Ernährungskapazität).

¹¹ Hardtke, Arnd; Prehn, Marco (2001), S. 58.

¹² Büttgen, Laura (2015), letzter Zugriff in 2022-10-28.



Unter Berücksichtigung, dass für jedes zusätzlich erzeugte Produkt Mehrkosten anfallen, lässt sich eine kapazitive Obergrenze der Nahrungsmittelproduktion ableiten, die Tragfähigkeit. Wobei sehr viele Faktoren wie zum Beispiel die klimatischen Gegebenheiten oder auch der Lebensstil der Bevölkerung die Tragfähigkeit beeinflussen. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Tragfähigkeit einer Region die Menschenmenge angibt, welche in jener Region unter Berücksichtigung des aktuellen Entwicklungsstandes von Kultur und Zivilisation auf natürlicher (naturbedingter Tragfähigkeit), agrarischer (agrarische Tragfähigkeit) und gesamtwirtschaftlicher (gesamte Tragfähigkeit) Grundlage/Basis ohne Handel (innenbedingte Tragfähigkeit) oder mit Handel (außenbedingt Tragfähigkeit) unter Wahrung eines gewissen Lebensstandards (optimale Tragfähigkeit) oder am Existenzminimum (maximale Tragfähigkeit) langfristig ohne Probleme leben kann. Ebenso wie von der Nahrungsmittelproduktion abhängig, begrenzen natürliche Rohstoffe und Umweltbelastungen weiter die Tragfähigkeit. Die Tragfähigkeit im Sinne der Landschaftsökologie gibt die maximal weidewirtschaftlich nachhaltig nutzbare Fläche (eines Vegetationstyps) unter Berücksichtigung der natürlichen Regenerationsfähigkeit an. Dabei wird der Weideflächenbedarf, die Bestockungs- und Besatzdichte in Form des natürlichen Weidepotentials in Großvieheinheiten (GVE) pro ha angegeben. Ein Lebendgewicht von 500 kg entspricht einer Großvieheinheit, wobei dagegen eine Tropische Großvieheinheit (TGVE) nur 250 kg Lebendgewicht umfasst. So kann je nach regionspezifischem Klima, Flora und Fauna eine weideökologische Tragfähigkeit berechnet werden. Die Touristische Tragfähigkeit bezeichnet die maximal touristische Nutzbarkeit eines Raumes ohne negative Auswirkungen und Einflüsse auf die Kultur, die Gesellschaft, die natürlichen Ressourcen, die Natur und die regionale Wirtschaft sowie den Erholungswert des Ortes selbst zu haben. Unterschieden wird zudem in verschiedene touristische Tragfähigkeits-Kategorien: physische (z.B. Verschmutzung durch unverantwortlichen Umgang mit Müll; Bodenerosion und -verdichtung durch Trittbelastung), soziale (z.B. Kriminalitätsrate steigt, „reiche“ Touristen als Opfer), ökonomische (z.B. Bauboom touristischer Infrastruktur lässt Bodenpreise explodieren), psychologische (z.B. Stresssituationen durch lange Warteschlangen an Ausflugszielen, und erhöhter Dynamik). Zur finalen Bewertung des spezifischen Belastungspotenzials wird jeweils das schwächste Glied der touristischen Tragfähigkeits-Kategorien als Grenzwert festgelegt.¹³

¹³ Vgl. Dipl.-Geogr. Martin, Christiane et al. (2001), letzter Zugriff in 2022-10-28.



3.2 Strategien zur Verringerung des Naturverbrauchs

Hierbei handelt es sich um Strategien welche auf Konsistenz, Effizienz, Suffizienz und Effektivität beruhen.

3.2.1 Konsistenz:

Die Konsistenzstrategie hat die Natur als Vorbild. Angestrebt wird Abfall zu vermeiden und die Rohstoffkreisläufe zu schließen. Auf diesem zirkulären Grundgedanken basiert auch das C2C-Prinzip.¹⁴

Essenziell ist, die Natur und Umwelt durch Reformation und Erneuerung sowie Innovation von Produktionsprozessen zur Herstellung von Energie und Produkten zu schützen und weniger zu belasten. Dazu gehört beispielsweise die Nutzung und der Ausbau erneuerbarer Energien, nachwachsender Rohstoffe oder die biologische Landwirtschaft.¹⁵

3.2.2 Effizienz:

Das Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand wird durch die Effizienz beschrieben. Eine Steigerung der Effizienz bedeutet eine wirksamere, produktivere und verlustfreie Nutzung von Rohstoffen und Energie infolge der technischen Entwicklung und dauerhaften Optimierung.¹⁶

$$\text{Effizienz} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$$

3.2.3 Suffizienz:

Vom lateinischen „*sufficere*“ = *ausreichend, genügen* her bezieht sich die Suffizienz auf das „richtige Maß“ oder auch auf das „genügende Vorhandensein“. Es wird auf autonomes Handeln und Selbstreflexion der Menschen gebaut, die infolgedessen ihr Konsummuster ändern und sich selbst Grenzen setzen, das ganze System entschleunigen und entkommerzialisieren. Beabsichtigt ist die höchstmögliche Senkung des Rohstoffverbrauchs unter Berücksichtigung der natürlichen Grenzen.¹⁷

¹⁴ Vgl. Bauer, Joa (2008), S. 64, letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁵ Vgl. Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008), S. 4, letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁶ Vgl. Dr. Thomas, Stefan s et al (2008), S. 1, letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁷ Vgl. Bauer, Joa (2008), S. 61 f., letzter Zugriff in 2022-10-28.



- Entrümpelung → Vereinfachungsstrategien „Weniger ist mehr“ (Sharing-Modelle, ...)
- Entschleunigung → Langsamer und zuverlässiger (Langsame und zuverlässige Logistik, ...)
- Entkommerzialisierung → Effektivität jenseits des Marktes (Open-Source, ...)
- Globale Entflechtung → Regionale Wertschöpfung (Regionale Produkte und Wertschöpfung, ...)¹⁸

3.2.4 Effektivität

Die Effektivität beschreibt durch das Verhältnis des erreichten Ziels zum definierten Ziel ein Maß der Wirksamkeit.¹⁹

$$\text{Effektivität} = \frac{\text{erreichtes Ziel (Ergebnis)}}{\text{definiertes Ziel}}$$

3.3 Triple Top Line

Um im Designprozess (von Produkten, Abläufen oder Systemen) Mehrwerte zu schaffen und die Bereiche Ökonomie, Soziales und Ökologie zu optimieren wird ein zusammengesetztes Dreieck auch „Triple Top Line“ (TTL) genannt entworfen und visualisiert.²⁰

Kerngedanke ist eine nachhaltige Entwicklung bei optimaler Balance zu erreichen.

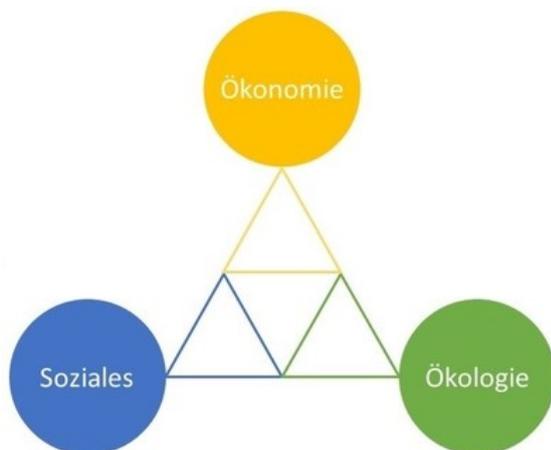


Abbildung 3: Triple Top Line²¹

¹⁸ Vgl. Palzkil, Alexandra; Schneidewind, Uwe (2013), S. 23 ff., letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁹ Vgl. Prof. Dr. Mühlbacher, Axel (2018), letzter Zugriff in 2022-10-28.

²⁰ Vgl. ITES (2018), letzter Zugriff in 2022-10-28.

²¹ Darstellung nach ITES (2018), letzter Zugriff 2022-10-28.



4 SDG's – Sustainable Development Goals

Insgesamt wurden 17 Ziele zur Sicherung der weltweiten nachhaltigen Entwicklung auf sozialer, wirtschaftlicher und ökologischer Ebene mit 169 Zielvorgaben im Rahmen der Agenda 2030 in Anlehnung an die Millennium-Entwicklungsziele (MDG) formuliert. Diese Ziele mit einer geplanten Laufzeit von 15 Jahren (bis 2030) gelten allerdings im Unterschied zu den MDG's für alle Länder (UN-Mitgliedsstaaten) unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Entwicklungsstufen und Kapazitäten der einzelnen Länder.²²

1. **„Keine Armut** – Armut in all ihren Formen und überall beenden“²³
2. **„Keine Hungersnot** – den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern“²³
3. **„Gute Gesundheitsversorgung** – ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern“²³
4. **„Hochwertige Bildung** – inklusive, gerechte und hochwertige Bildung gewährleisten und Möglichkeiten des lebenslangen Lernens für alle fördern“²³
5. **„Gleichberechtigung der Geschlechter** – Geschlechtergleichstellung erreichen und alle Frauen und Mädchen zur Selbstbestimmung befähigen“²³
6. **„Sauberes Wasser und sanitäre Einrichtungen** – Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten“²³
7. **„Erneuerbare Energie** – Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern“²³

²² Vgl. DGVN (o. J.a), letzter Zugriff in 2022-10-28.

²³ DGVN (o. J.b), letzter Zugriff in 2022-10-28.



8. **„Gute Arbeitsplätze und wirtschaftliches Wachstum** – Dauerhaftes, breitenwirksames und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern“²³
9. **„Innovation und Infrastruktur** – Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, breitenwirksame und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovation unterstützen“²³
10. **„Weniger Ungleichheiten** – Ungleichheit in und zwischen Ländern verringern“²³
11. **„Nachhaltige Städte und Gemeinden** – Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten“²³
12. **„Nachhaltige/r Konsum und Produktion** – Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen“²³
13. **„Maßnahmen zum Klimaschutz** – Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen“²³
14. **„Leben unter dem Wasser** – Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen“²³
15. **„Leben am Land** – Landökosysteme schützen wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen“²³
16. **„Frieden und Gerechtigkeit** – Friedliche und inklusive Gesellschaften für eine nachhaltige Entwicklung fördern, allen Menschen Zugang zur Justiz ermöglichen und leistungsfähige, rechenschaftspflichtige und inklusive Institutionen auf allen Ebenen aufbauen“²³
17. **„Partnerschaften zur Erreichung der Ziele** – Umsetzungsmittel stärken und die Globale Partnerschaft für nachhaltige Entwicklung stärken“²³



5 Green Economy: Gesellschaftlicher Wandel

Um die natürlichen Ressourcen zu schonen und die Umwelt weniger zu belasten wurde das Konzept der Green Economy entwickelt, welches Ökonomie mit Ökologie verbindet. Damit die Möglichkeit der internationalen Wirtschaft besteht Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten, gleichzeitig im Einklang mit Umwelt- und Sozialverträglichkeit, steigert die Green Economy das gesellschaftliche Wohlergehen, bekämpft Armut und strebt soziale Gerechtigkeit an. Ein nachhaltiges umweltverträgliches Wachstum basierend auf den natürlichen ökologischen Grenzen und fundiert durch das Verständnis der Zusammenhänge von Wirtschaft, Politik und Finanzwesen soll veränderte, nachhaltige Produktions- und Konsumweisen begünstigen und fördern, um weltweit und insbesondere für kommende Generationen eine hohe Lebensqualität und Wohlstand zu sichern. Bis hin zur Green Economy ist es aber ein langer Weg, ein Veränderungsprozess, der die ganze Gesellschaft betrifft und tiefgreifende Veränderungen in Form einer ökologischen Modernisierung sämtlicher wirtschaftlicher Sektoren mit sich bringt. Für eine umweltverträgliche Wirtschaft sind Elemente wie der nachhaltige Ressourcenverbrauch, Emissionsreduktion, Effizienzsteigerung, Energie- und Rohstoffproduktivitätssteigerung, sowie eine nachhaltige Versorgungs- und Infrastruktur besonders wichtig und stehen mit den Lebens- und Arbeitsbedingungen, Produktlebenszyklen, Finanzierungsmodellen und Konsummustern in direktem Zusammenhang.²⁴

²⁴ Vgl. BMBF (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



6 Blue Economy

Es ist ein verantwortungsvoller Umgang mit den Ressourcen unserer Erde notwendig, um die Erde für zukünftige Generationen bestmöglich zu erhalten.

Die „Green Economy“ aufgegriffen und auf das Ökosystem Meer bezogen zeigt das ganze Potenzial, welches von dem rund 71 Prozent der Erdoberfläche bedeckendem Wasser entfaltet werden kann. Ozeane stellen nicht nur 97 Prozent der globalen Wasserressourcen zur Verfügung²⁵, sie regulieren auch durch ihre Wärmespeicherkapazität aktiv das Klima und speichern CO₂, welches in lebenswichtigen Sauerstoff umgewandelt wird. Der Ozean produziert mindestens 50 Prozent des Sauerstoffs auf der Erde.²⁶

Kurz gesagt, es hängt eine Menge vom Zustand der Ozeane ab, sie sind mehr als nur Nahrungs- und Erwerbsgrundlage, Handelsweg und Touristenmagnet. Die wirtschaftliche Existenz von schätzungsweise drei Milliarden Menschen steht auf dem Spiel.²⁷

Mittels des Blue Economy Konzepts sollen Ökosysteme der Erde geschützt und Arbeitsplätze geschaffen werden.

Eine nachhaltige Nutzung der Meeresressourcen für wirtschaftliches Wachstum, steigenden Wohlstand und die Erhaltung eines gesunden Meeresökosystems ist sehr wichtig. Die Blue Economy bezieht sich überwiegend auf Unternehmen, die zur Wiederherstellung, dem Erhalt oder Schutz produktiver, resilienter und vielfältiger Meeresökosysteme beitragen und die Bereitstellung sauberen Wassers und sanitärer Einrichtungen fördern. Dazu gehören auch Unternehmen, deren Ziele indirekt mit dem Schutz und der Gesundheit der Meere in Verbindung stehen. Alles in Allem ist die Blue Economy ein sehr komplexes Wirtschaftssystem, welches großes (Innovations-) Potenzial im Bereich des Klima- und Umweltschutzes hat.²⁸

²⁵ Vgl. USGS (2019), letzter Zugriff in 2022-10-28.

²⁶ Vgl. NOAA (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.

²⁷ Vgl. Our Ocean (2016), letzter Zugriff in 2022-10-28.

²⁸ Vgl. Deutsche Bank AG (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.



Das Blue Economy-Konzept basiert auf den Funktionsgrundsätzen der Natur und nähert sich so weit wie möglich der Zirkularität an. Wie beim Cradle to Cradle Prinzip werden Emissionen und Abfälle als fehlgeleitete Ressourcen verstanden und es wird angestrebt lokal verfügbare und regenerierbare Ressourcen mithilfe von Innovationen und technischem Fortschritt so gut und effektiv wie möglich zu nutzen. Abfallmaterialien werden als Rohstoffe zur weiteren Verarbeitung für neue Produkte aufgefasst, ein Wirtschaftssystem im Einklang mit der Natur.²⁹

²⁹ Vgl. Pauli, Gunter A. (2010) S. 7 - 8, S. 201.



7 Stoffstrom / Stoffströme

Den Weg, welchen ein Stoff von seiner Gewinnung als Rohstoff über seine Verarbeitung und die verschiedenen Stufen der Veredelung bis zum Endprodukt, dem Gebrauch und Verbrauch bis schließlich zu seiner Entsorgung oder Verwertung zurücklegt, bezeichnet man als Stoffstrom. Dabei kann mit dem Stoffstrom aber auch individuell der Weg eines speziellen Stoffes innerhalb eines Produktionsprozesses beschrieben werden. Somit bilden die Beschreibung und Analyse aller Produktionsstoffströme eine wichtige Grundlage zur Potenzialanalyse im Unternehmen und auch in der Wirtschaft.³⁰

7.1 Stoffstrommanagement

Um ökonomische und ökologische Ziele unter der Berücksichtigung sozialer Aspekte zu erreichen, kann mit dem Management von Stoffströmen ein Stoffsystem zielorientiert, ganzheitlich, verantwortlich und effizient beeinflusst werden. Dabei werden die Ziele auf betrieblicher oder staatlicher Ebene oder direkt in der Kette der an einem Stoffstrom beteiligten Akteure festgelegt.³¹

„Stoffstrommanagement bezeichnet eine tiefgreifende Analyse und gezielte Optimierung von Material- und Energieströmen, die bei der Herstellung von Produkten und Dienstleistungen anfallen. Angewandtes Stoffstrommanagement kombiniert die Zielsetzung des ökonomischen Profits mit den Zielen der regionalen Wertschöpfung und des Umweltschutzes. In diesem Zusammenhang bietet das angewandte Stoffstrommanagement unterschiedliche Handlungsansätze, die ausgehend von einer Stoffstromanalyse die Optimierung der einzelnen Stoffströme forciert. Auch die betriebliche Planung von Finanzierung und Fundraising bis hin zur Vernetzung von Akteuren sind Teil des Stoffstrommanagement-Ansatzes. Daraus entstehende Vorteile liegen in der Erhöhung der regionalen Wertschöpfung, der optimierten Nutzung eigener Potenziale, der Senkung der betrieblichen Kosten und einer Reduktion der Umweltbelastungen durch neue Technologien und intelligente Konzepte. Ein aktives Netzwerkmanagement strebt eine verbesserte Kooperation und Partizipation regionaler Akteure und damit eine Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit an.

³⁰ Vgl. PIUS Info-Portal c/o Umwelttechnik BW GmbH (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

³¹ Vgl. Ernst Schwanhold, MdB (1994), S. 46, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Das Alleinstellungsmerkmal des angewandten Stoffstrommanagements ist die Verknüpfung einer rein technisch-ökonomischen Sichtweise (v.a. betriebliche Input-Output-Optimierung) mit einer normativen Wertvorstellung im Bereich Nachhaltigkeit und Zukunftsfähigkeit. Ökologisches Stoffstrommanagement bezeichnet die Beherrschung von in der Umwelt unerwünschten Stoffströmen.³²

Regionales Stoffstrommanagement

„Regionales Stoffstrommanagement wird als ganzheitliches, alle Potenziale einer Region optimierendes Konzept verstanden. Regionales Stoffstrommanagement aktiviert die eigenen, in der Region vorkommenden Potenziale für die langfristige, Nachhaltige Entwicklung der Region. Ziel von regionalem Stoffstrommanagement ist eine optimale, nachhaltige Nutzung der endogenen Entwicklungspotenziale. Hierbei besitzt jede Region qualitativ und quantitativ unterschiedliche Optionen, die jeweils zu anderen Umsetzungsstrategien führen.“³³

7.2 Inwertsetzung

Die Natur hält für uns viele natürlichen Ressourcen bereit. Die Inwertsetzung zielt auf eine neue ökonomische Sichtweise und Wertschätzung dieser profitablen natürlichen Quellen ab. Die Wasserfilterung und Bindung von CO₂ durch Moore sind nur einige der vielen indirekten Ökosystemdienstleistungen der Natur für uns Menschen, welche unter dem Gesichtspunkt der Inwertsetzung besonders geschätzt werden. Die Natur soll stärker geschützt werden, da bisher das was die Natur für uns leistet und bereithält noch nicht ökonomisch in wert gesetzt wurde, was auch Grund für die Übernutzung, Ausbeutung und Zerstörung der Natur ist.³⁴

Kurz gesagt geht es bei der Inwertsetzung darum, der Gesellschaft zu zeigen, was die Natur alles in Form von Ökosystem- und Biodiversitätsdienstleistungen für uns leistet und bereitstellt, und dass es wichtig ist sie umso mehr zu schützen. Dies kann mithilfe von ökonomischen Bewertungen und der Integration in Marktentscheidungen sowie in private und gesellschaftliche Entscheidungen, durch zum Beispiel naturorientierte Angebote, Schaffung von Märkten für Biodiversität oder Anreize geschaffen werden.³⁵

³² Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

³³ Ebenda.

³⁴ Vgl. Unmüßig, Barbara (2014), S. 6 - 8, letzter Zugriff in 2022-10-28.

³⁵ Vgl. Marzelli, Stefan et al. (2012), S. 79, letzter Zugriff in 2022-10-28.

7.3 Recycling

Beim Recycling geht es um die Wiederverwendung der Rohstoffe aus dem Abfall, die wiederum als Grundwerkstoffe neuer Produkte oder als sekundäre Rohstoffe dienen und somit im Wirtschaftskreislauf zirkulieren. Infolgedessen wird die Abfallmenge reduziert und die natürlichen (primären) Ressourcen werden geschont. Um diese stoffliche Verwertung zu ermöglichen, ist eine Sammlung und sortenreine Trennung sowie das Abscheiden von anderen Abfallprodukten sehr wichtig.

Glas, Papier, Pappe, Kunststoffe, Eisen und Nichteisenmetalle eignen sich gut zum Rezyklieren.

Dieser Wiederverwertungsprozess kommt aber auch an seine technischen Grenzen und je nach Verfahrensart und Material kommt es beim Recycling zu einer Abwertung, einem Qualitätsverlust des Ausgangsmaterials, auch Downcycling genannt. Demnach kann auch die Anzahl von Recyclingzyklen die ein und dasselbe Material durchläuft begrenzt sein.³⁶



Abbildung 4: Recyclingprozess von Aluminiumdosen³⁷

³⁶ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit (2015a), letzter Zugriff in 2022-10-28.

³⁷ Darstellung nach Imagine Lab Pte. Ltd. (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



7.3.1 Recyclingfähigkeit

Die Beschaffenheit eines Produktes oder Materials und der Verwertungsweg nach dem Gebrauch bestimmen die Bewertung der Recyclingfähigkeit. Demzufolge wird die Eignung eines Produktes in geschlossenen Stoffkreisläufen wiederverwertet zu werden beschrieben.³⁸

7.3.2 Recyclingrate

Der Anteil der Wertstoffe, die aus dem Abfall recycelt werden können, wird als Recyclingrate bezeichnet. Unterschieden wird grundsätzlich nach Beschaffenheit der recyclebaren Wertstoffe in Sekundärbauteile, also komplett wiederverwertbare Bauteile (Dachpfannen, Türen, Möbel) und Sekundärrohstoffe, stofflich wiederverwertbare Materialien wie Metalle, Dämmstoffe oder gebrochenes Glas.³⁹

7.4 Upcycling

Upcycling ist eine Wiederverwertung von Stoffen und Materialien im Sinne einer Aufwertung, wobei scheinbar unbrauchbare Abfallprodukte wieder in Rohstoffe und/oder Produkte transformiert werden.

Dieser neu entstandene Mehrwert des „Abfallmaterials“ reduziert den Bedarf an neuen Rohstoffen und wirkt sich somit schonend auf die Ressourcen aus.⁴⁰



Abbildung 5: Upcyclingmöglichkeit⁴¹

³⁸ Vgl. Pomberger, Roland (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.

³⁹ Vgl. ebenda.

⁴⁰ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit (2015b), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁴¹ Darstellung nach Adobe Systems Software Ireland Limited. (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



8 Lebenszyklusbetrachtung – Life Cycle Assessment (LCA)

Im Bauwesen kann der Lebenszyklus eines Gebäudes in sieben Lebenszyklusphasen eingeteilt werden:

- Planungsphase
- Errichtungsphase
- Nutzungs- und Betriebsphase
- Instandhaltung- und Modernisierungsphase
- Umnutzungs-/Weiternutzungsphase
- Rückbau und Wiederverwendung
- Recycling

Die Lebenszyklusbetrachtung bietet eine Möglichkeit alle ökologischen und ökonomischen Aufwendungen während der gesamten Lebensdauer eines Gebäudes auf Grundlage einer fundierten Planung zu erfassen und bildet die Grundlage für deren Minimierung bei weiterer Sicherung der Nutzungsqualität.⁴²

8.1 Produktlebenszyklus

Der Zeitraum von der Schaffung bis zum Ende der Existenz einer Sache oder einem Gut wird grundlegend als Lebenszyklus beschrieben.

Der Produktlebenszyklus kann daher auch unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit aufgegriffen werden und reicht vom Produktdesign bis zur Entsorgung und Verwertung. Um den Produktlebenszyklus nachhaltig zu gestalten, wird im Produktdesign ein möglichst geringer Ressourcenverbrauch über den gesamten Lebenszyklus mit einer hohen Recyclingfähigkeit des Produktes angestrebt. Bei der Beschaffung von Rohstoffen ist es dabei wichtig verantwortungsbewusst zu handeln und regional zu denken um die Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Einher geht die Optimierung der Fertigung und Nutzung neuer, effizienter Technologien um den Ressourceneinsatz zu minimieren und die Abfälle zu vermeiden. Im Hinblick auf den Transport ist es wichtig die Auswirkungen der Produktdistribution mithilfe effektiver Verfahren für Verpackungen und Auslieferung so niedrig wie möglich zu halten.

⁴² Vgl. Initiative kostengünstig qualitätsbewusst Bauen, umweltgerecht innovativ bezahlbar (o. J.), S. 2. ff., letzter Zugriff in 2022-10-28.



Bei der Nutzung ist es wichtig, dass die leistungsfähigen Produkte darauf ausgelegt sind so lange wie möglich zu halten und den Verbrauch beim Kunden zu senken. Die Verwertung und Entsorgung der nicht mehr funktionsfähigen Produkte am Ende ihres Lebenszyklus stellt je nach Wiederverwendbarkeit neue Rohstoffe für die Produktion eines neuen Erzeugnisses zur Verfügung.⁴³

In der Betriebswirtschaftslehre wird der Produktlebenszyklus typischerweise in fünf Phasen von der Markteinführung eines Produktes bis zur hin Eliminierung aus dem Markt beschrieben. Der Lebenszyklus beginnt mit der Einführung des Produktes, wobei darauf abgezielt wird einen möglichst hohen Bekanntheitsgrad des neuen Erzeugnisses zu erreichen, meist mithilfe von Werbung, Marketing und Public Relations Maßnahmen. In dieser ersten Phase ist der Bekanntheitsgrad noch sehr gering. Sobald aber der „Break Even Point“ erreicht wurde, wird Gewinn generiert und in der Regel auch die Bekanntheitsschwelle überschritten. In der folgenden zweiten Phase kann nun das Wachstum voranschreiten. Nach dieser dann erfolgreichen Einführungsphase steigen die Verkaufszahlen und folgende Gewinne an. Mit zunehmender Bekanntheit verstärkt sich aber auch die Wettbewerbssituation, wenn Konkurrenten mit gleichwertigen Produkten ins Rennen einsteigen. In der dritten und meistens längsten Phase, der Reifephase, erzielt das Unternehmen seinen höchsten Umsatz und Gewinn. Später jedoch sinkt aufgrund größerer Konkurrenz der Marktanteil wieder ab, der Gewinn geht zurück und es wird versucht mithilfe von Produktvariationen und verstärktem Marketing dem sinkenden Absatz entgegenzuwirken.

Je länger ein Produkt auf dem Markt ist, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, dass der Markt seinen Sättigungsgrad erreicht und das Marktwachstum stagniert und die Gewinne sinken. Die Sättigungsphase ist zu Ende, wenn gar keine Gewinne mehr erzielbar sind und sich der Markt in einem Schrumpfungsprozess befindet. In dieser Phase des Rückgangs haben Unternehmen zwei Möglichkeiten, entweder sie nehmen ihr Produkt vom Markt (Produktelimination) wodurch der Produktlebenszyklus praktisch zu Ende ist, oder das Unternehmen kann einen „Relaunch“ starten, wodurch das Produkt stark modifiziert oder neu ausgerichtet auf den Markt kommt, und im besten Fall den Produktlebenszyklus noch einmal durchlaufen kann.⁴⁴⁴⁵

⁴³ Vgl. Herbst-Münz, Cornelia (2012), S. 4 ff., letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁴⁴ Vgl. Prof. Dr. Markgraf, Daniel (2018), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁴⁵ Vgl. Dzjubin, Alexej (2017), letzter Zugriff in 2022-10-28.



8.2 Ökobilanz

Eine Ökobilanz fasst als Umweltprotokoll eines Prozesses, eines Produktes, einer Dienstleistung oder eines ganzen Unternehmens die jeweiligen entstehenden Auswirkungen auf die Umwelt zusammen und bewertet diese. Ökobilanzen können in allen Branchen erstellt werden, wie zum Beispiel für einzelne Produkte, wobei der gesamte Lebensweg eines Produktes betrachtet wird. Es werden die Umweltauswirkungen von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung des Produktes betrachtet und in jeder Lebensphase werden die Energie- und Stoffströme analysiert. Dazu zählen auch die Rohstoffgewinnung, die Herstellung der Vorprodukte, teilweise sogar Hilfs- und Betriebsmittel und die Energieerzeugung sowie alle Transporte werden in der Berechnung berücksichtigt.

Ökobilanzen haben verschiedene Funktionen und können so zum Beispiel Potenziale für einen effizienteren Einsatz von Energie und Rohstoffen sowie eine Verringerung der Umweltbelastungen durch Schadstoffe und Abfälle aufzeigen. Darüber hinaus können Ökobilanzen als Grundlage für umweltbezogene Vergleiche, Entscheidungen und Zielsetzungen dienen und zudem zur Entwicklung von umweltverträglichen Produkten und Prozessoptimierungen genutzt werden.

Die Ökobilanz wird ausschließlich unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes erstellt, weshalb sie bei wichtigen Entscheidungsprozessen immer noch durch weitere Bewertungskriterien wie ökonomische oder ökologische Faktoren ergänzt werden sollten.⁴⁶

8.3 Ökobilanzierung

Umwelteinwirkungen von Produkten, Dienstleistungen oder Fertigungsverfahren können mithilfe der Ökobilanz systematisch analysiert werden. Hierbei werden alle möglichen Einwirkungen auf die Umwelt über den gesamten Zeitraum von der Produktion über die Nutzung bis hin zu der Entsorgung betrachtet. Dazu gehören auch vor- und nachgeschaltete Prozesse wie die Beschaffung der Rohstoffe und deren Transport. Die Ökobilanz kann dabei verwendet werden um Produkte umweltorientiert zu bewerten, deren Entwicklung nachhaltiger zu gestalten und diese zu verbessern. Als Teilelement der ganzheitlichen Bilanzierung ist sie in der DIN EN ISO 14040/44 standardisiert.

⁴⁶ Vgl. STMUV (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



Zum Erstellen einer Ökobilanz werden alle Stoff- und Energieströme eines Produktsystems, zuzüglich aller beteiligten Prozesse über den gesamten Lebensweg eines Produktes analysiert. Dabei werden systematisch erfasste Emissionen in Luft, Boden und Wasser wie auch die Entnahme der Ressourcen aus der Natur in einer Sachbilanz zusammengefasst. Anschließend werden die potenziell resultierenden Auswirkungen auf die Umwelt in einer sogenannten „Wirkungsabschätzung“ (Treibhauseffekt, Sommersmog, Versauerung, Überdüngung.) festgehalten. Insgesamt kann die Ökobilanz somit in vier Schritte unterteilt werden:

1. Festlegung des Untersuchungsrahmens und des Ziels (englisch: „Goal and Scope“):
Im ersten Schritt der Ökobilanz wird das Ziel festgelegt, es wird also der Untersuchungsrahmen abgesteckt und somit die Systemgrenze definiert, sowie die Funktion des Systems und die Anforderungen an die Datenqualität festgelegt.
2. Erstellung der Sachbilanz (englisch: „LCI – Life Cycle Inventory“):
Alle wichtigen eingehenden (Ressourcen, Materialien) und ausgehenden (Abfälle, Emissionen) Energie- und Stoffströme werden in der Sachbilanz festgehalten.
3. Wirkungsabschätzung (englisch: „LCIA – Life Cycle Impact Assessment“) auf Basis der Sachbilanz:
Mit den Daten der Sachbilanz als Grundlage können mithilfe eines entsprechenden Charakterisierungsmodells softwaregestützt die potenziellen Umwelteinwirkungen, Auswirkungen auf Menschen, deren Gesundheit und die Ressourcenverfügbarkeit errechnet werden.
4. Auswertung und Interpretation (englisch: „Results and Interpretation“):
Die Ergebnisse aus den Daten der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung werden danach in Bezug zum Ziel der Ökobilanz interpretiert.⁴⁷

⁴⁷ Vgl. Fraunhofer IBP (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



8.4 Environmental Product Declaration (EPD)

Um den Vergleich zwischen Produkten oder Dienstleistungen gleicher Funktionalität zu ermöglichen, werden in der Umweltproduktdeklaration („Environmental Product Declaration“ kurz EPD) quantifizierte umweltbezogene Informationen der jeweiligen Lebenswege zur Verfügung gestellt. Eine EPD basiert auf unabhängig geprüften Daten aus Sachbilanzen, Ökobilanzen sowie Informationsmodulen konform der Normreihe ISO 14040 und gegebenenfalls weiteren Angaben. In einem EPD wird transparent dargestellt, aus welchen Materialien ein Produkt gefertigt wurde und welche Umwelteinflüsse daraus entstehen. Somit muss in der EPD die Sachbilanz (LCI = Life Cycle Inventory Assessment) und die Wirkungsabschätzung (LCIA = Life Cycle Impact Assessment) enthalten sein, wobei weitere Indikatoren hinzugefügt werden können. In der Sachbilanz werden zum Beispiel Angaben zum Ressourcenverbrauch, der aufgewendeten Energie, dem verbrauchten Wasser, erneuerbarer Ressourcen wie auch Emissionen in Wasser Luft und Boden gelistet. Resultierend kann die Wirkungsabschätzung aus der Sachbilanz konkludiert werden und gibt konkret ableitbare Umweltauswirkungen an. Zu den Umweltauswirkungen gehören beispielsweise der Treibhauseffekt, die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht, die Versauerung von Boden und Wasser, die Eutrophierung, die Bildung photochemischer Oxidantien und die Erschöpfung fossiler Energieträger sowie mineralischer Ressourcen.^{48 49}

8.5 Graue Energie

Als graue Energie wird die gesamte anfallende Energie, welche für ein Produkt in seinem Lebenszyklus aufgewendet wird, bezeichnet. Dazu gehört die Energie für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Verwertung. Wichtig dabei ist, dass alle Vorprodukte von der Rohstoffgewinnung bis zur Wiederverwertung über den Energieeinsatz aller Produktionsprozesse mitberücksichtigt werden. Sollten zur Herstellung Maschinen, Infrastruktur oder Gebäude benötigt werden, wird der anteilmäßige Energiebedarf für deren Herstellung und Instandhaltung mit in der „grauen Energie“ aufgeführt. Folglich ist die graue Energie der indirekte Energiebedarf eines Konsumguts bestehend aus dem bei der Herstellung anfallenden kumulierten Energieaufwand.⁵⁰

⁴⁸ Vgl. SCS Global Services (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁴⁹ Vgl. IBU (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁵⁰ Vgl. Dr. Paschotta, Rüdiger (2021a), letzter Zugriff in 2022-10-28.



- Tafel Schokolade: 0,25 kWh⁵¹
- 0,5 Liter Mineralwasser inklusive Flasche: 0,7 kWh⁵¹
- Laptop: 1.000 kWh⁵¹
- Einfamilienhaus (120 m²): 150.000 kWh⁵¹
- Smartphone: 220 kWh⁵¹
- Paar Schuhe: 8 kWh⁵¹
- Auto: 30.000 kWh⁵¹
- Rolle chlorfrei gebleichtes Toilettenpapier: 20 kWh⁵¹

Die graue Energie im Bauwesen umfasst jegliche Energie, welche zum Bau eines Gebäudes von der Beschaffung der Materialien über den Transport von Menschen, Maschinen und Bauteilen bis zur Entsorgung notwendig ist. Durch die Nutzung heimischer, regionaler Materialien und ressourcenschonendes Bauen lässt sich dieser Energieaufwand minimieren.⁵²

8.6 Indikatoren für die Umweltwirkung (Ökologische Qualität nach BNB)

Die Indikatoren für die Umweltwirkung sind nachfolgend nach dem Schema (Ökologische Qualität 1.1.1 bis 1.1.5 – Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt) des BNB geordnet.

8.6.1 Global Warming Potential (GWP)

Als „Global Warming Potential“ wird das Erderwärmungs- oder anders ausgedrückt, das Treibhauspotenzial chemischer Verbindungen dargestellt. Das Treibhauspotenzial ist damit der potenzielle Beitrag eines Stoffes zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten.⁵³ Definitionsgemäß wird das relative Treibhauspotenzial in Bezug zu der Treibhauswirkung von CO₂ gesetzt. So wird die Erderwärmungswirkung bei Kältemitteln über einen bestimmten Zeitraum (z. B. 20, 100, 500 Jahre) in CO₂-Äquivalenten beschrieben. Es wird also angegeben, wie viel eine bestimmte Masse eines Treibhausgases verglichen mit äquivalent wirkender Masse CO₂ zur globalen Erwärmung beiträgt.⁵⁴

⁵¹ Vgl. Grundmann, Melina (2018), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁵² Vgl. Baunetz Wissen (o. J.b), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁵³ Vgl. BMVBS (2011a), S. A1.

⁵⁴ Vgl. Destatis (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



Je höher somit der GWP-Wert ist, desto höher ist das Treibhauspotenzial und desto klimaschädlicher ist eine Substanz. Beispielsweise ist das CO₂-Äquivalent von Methan (CH₄) auf 100 Jahre betrachtet. Somit bedeutet dies, dass die Freisetzung von einem Kilogramm Methan in den ersten hundert Jahren 28-mal so stark zum Treibhauseffekt beiträgt wie die Freisetzung eines Kilogramms CO₂.⁵⁵

8.6.2 Ozone Depletion Potential (ODP)

„Ozon, das nur in geringer Konzentration in der Atmosphäre vorhanden ist, hat für das Leben auf der Erde eine große Bedeutung. Es ist in der Lage die kurzweilige UV-Strahlung zu absorbieren und diese richtungsunabhängig mit größerer Wellenlänge wieder abzugeben. Die Ozonschicht schirmt dazu einen großen Teil der UV-Strahlung von der Erde ab und verhindert so eine zu starke Erwärmung der Erdoberfläche und trägt dazu bei Menschen, Flora gegenüber UV-A und UV-B Strahlung zu schützen.

Für die Beurteilung des Ozonschichtabbaupotenzials (ODP) wird das flächen- und jahresbezogene Trichlorfluormethan-Äquivalent (R11-Äqu.) über den Lebenszyklus für Konstruktion und Betrieb des Gebäudes herangezogen. Die Anreicherung des R11- Äquivalents in der Atmosphäre trägt dazu bei, die Ozonschicht zu zerstören. Zu den Folgen gehören u. a. Tumorbildungen bei Menschen und Tier sowie Störungen der Photosynthese.“⁵⁶

⁵⁵ Vgl. Stocker, Thomas F. et al (2013), S. 714, letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁵⁶ BMVBS (2011b), S. A1.



8.6.3 Photospheric Ozone Concentration Potential (POCP)

„Ozonbildungspotenzial (POCP) ist das massebezogene Äquivalent schädlicher Spurengase, wie z. B. Stickoxide und Kohlenwasserstoffe, die in Verbindung mit UV-Strahlung zur Bildung von bodennahem (troposphärischem) Ozon beitragen. Die dadurch entstehende human- und ökotoxische Verunreinigung der bodennahen Luftschichten wird als Sommersmog bezeichnet. Dieser greift die Atmungsorgane an und schädigt Pflanzen und Tiere. Die Konzentration von bodennahem Ozon wird regelmäßig durch Luftmessstationen ermittelt, in Belastungskarten dargestellt und veröffentlicht. Für die Beurteilung des Ozonbildungspotenzials (OPCP) wird das flächen- und jahresbezogene C_2H_4 -Äquivalent über den Lebenszyklus für Konstruktion und Betrieb des Gebäudes herangezogen. Je niedriger der Wert des C_2H_4 -Äquivalentes ist, umso geringer ist das Potenzial für negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt.“⁵⁷

8.6.4 Acidification Potential (AP)

„Unter Versauerung wird die Erhöhung der Konzentration von H^+ -Ionen in Luft, Wasser und Boden verstanden. Schwefel- und Stickstoffverbindungen aus anthropogen verursachten Emissionen reagieren in der Luft zu Schwefel- bzw. Salpetersäure, die als "Saurer Regen" zur Erde fallen und Boden, Gewässer, Lebewesen und Gebäude schädigen. In versauerten Böden werden Nährstoffe rasch aufgeschlossen und können damit ausgewaschen werden. Ebenso kann es zu einer Freisetzung toxischer Kationen kommen. Diese greifen Wurzelsysteme an und führen zu einer Nährstofffehlversorgung von Organismen. Effekt ist zudem eine Störung des Wasserhaushaltes. In Summe der einzelnen Wirkungen trägt Versauerung zum Waldsterben bei.“⁵⁸

⁵⁷ BMVBS (2011c), S. A1.

⁵⁸ BMVBS (2011d), S. A1.



In Oberflächengewässern mit geringer chemischer Pufferkapazität kommt es zum Fischsterben. Saure Niederschläge greifen auch historische Bauwerke (Sandstein) an. Maß für diese Umweltwirkung ist das Versauerungspotenzial (Acidification Potential), das in SO_2 -Äquivalenten angegeben wird. Zu den versauernd wirkenden Emissionen gehören z. B. SO_2 , NO_x , H_2S . Für die Beurteilung des Versauerungspotenzials (AP) wird das flächen- und jahresbezogene SO_2 -Äquivalent über den Lebenszyklus für Konstruktion und Betrieb des Gebäudes herangezogen. Je niedriger der AP-Wert, umso geringer die Gefahr von saurem Regen und den damit verbundenen Umweltschädigungen.⁵⁹

8.6.5 Eutrophication Potential (EP)

„Überdüngung (Eutrophierung) bezeichnet den Übergang von Gewässern und Böden von einem nährstoffarmen (oligotrophen) in einen nährstoffreichen (eutrophen) Zustand. Sie wird verursacht durch die Zufuhr von Nährstoffen, insbesondere durch Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Diese können z. B. bei der Herstellung von Bauprodukten vor allem aber Auswaschungen von Verbrennungsemissionen in die Umwelt gelangen. Die resultierende Änderung der Verfügbarkeit von Nährstoffen wirkt sich z. B. in Gewässern durch eine vermehrte Algenbildung aus, die unter anderem das Sterben von Fischen zur Folge haben kann. Für die Beurteilung des Überdüngungspotenzials (EP) wird das flächen- und jahresbezogene PO_4 -Äquivalent über den Lebenszyklus für Konstruktion und Betrieb des Gebäudes herangezogen. Je niedriger der Wert des PO_4 -Äquivalentes, umso geringer das Potenzial für negative Auswirkungen auf Menschen und Umwelt.“⁶⁰

⁵⁹ BMVBS (2011d), S. A1.

⁶⁰ BMVBS (2011e), S. A1.



9 9-R-Framework

Das 9-R-Framework stellt Strategien zur Minimierung des natürlichen Ressourcenverbrauchs hin zur Schließung der Kreisläufe, also der zirkulären Wertschöpfung, nach Level der Zirkularität absteigend dar. Je höher demnach eine R-Strategie priorisiert ist, desto geringer sind die Auswirkungen auf Natur und Umwelt aufgrund eines geringeren Neumaterialaufwandes, da die zirkuläre Wertschöpfung höher ist.

9.1 R0 Refuse:

Produkte oder Rohstoffe können nachhaltig ersetzt werden oder sind nicht unbedingt notwendig. Es kann auf sie verzichtet werden, da der durch Gebrauch entstehende Nutzen auch „nachhaltiger“ und anderweitig erfüllt werden kann

Bsp.: Plastik gegen Holz ersetzen. / Kurze Wege zu Fuß anstatt mit dem Auto.

9.2 R1 und R2 – Produkte intelligenter herstellen und nutzen:

R1 bis R2 beschreibt wie Produkte neu und intelligent gedacht und genutzt oder effizienter hergestellt werden können.

9.3 R1 Rethink:

Steigerung der Nutzungsintensität eines Produktes bezüglich der funktionalen Verwendung durch mehrere Anwender indem man zum Beispiel Produkte nutzt ohne dieses zu erwerben.

Bsp.: Car-sharing.

9.4 R2 Reduce:

Den Materialeinsatz durch eine Steigerung der Effizienz senken. Die Optimierung des Designs und des Herstellungsprozesses senken den Rohstoffbedarf. Natur und Umwelt werden geschont.



9.5 R3 bis R7 – Nutzungszeitraum von Produkten oder Produkteilen erhöhen:

Ziel der Strategien R3 bis R7 ist es die Rohstoffe in möglichst geschlossenen Kreisläufen zu führen und dementsprechend innerhalb des Wirtschaftssystems zu halten. Wieder- und Weiterverwendung stehen im Vordergrund.

9.6 R3 Reuse:

Produkte werden so wie sie sind (unverändert) verkauft und von Dritten weiterverwendet.

Bsp.: Flohmärkte oder digitale Marktplätze/Handelsplattformen (eBay)

9.7 R4 Repair:

Wenn die Funktionalität eines Produktes nicht mehr gegeben, es folglich kaputt/defekt ist, kann dieses durch Reparatur in seinen ursprünglichen Funktionszustand versetzt werden.

Bsp.: Reparieren eines Fahrradschlauchs mit Loch

9.8 R5 Refurbish:

Produkte an den aktuellen Stand der Technik mithilfe von Verbesserung über eine Reparatur hinaus anzupassen wird als Refurbishment beschrieben.

Bsp.: Eine kaputte Glühbirne gegen eine LED-Glühbirne austauschen.

9.9 R6 Remanufacture:

Im Gegenteil zu Refurbishment werden noch problemlos funktionierende Produktkomponenten in neue Gesamtprodukte integriert.

Bsp.: Nutzung der alten Pedale am neuen Fahrrad

9.10 R7 Repurpose:

Alten Produktkomponenten einen neuen Sinn geben. Repurpose erzeugt mithilfe des Einbaus alter Produktkomponenten in neue andere Produkte einen komplett neuen Nutzen.



Bsp.: Motor aus alter Waschmaschine als Generator einer Windkraftanlage nutzen.

9.11 R8 bis R9 – Materialien sinnvoll weiterverwerten:

Strategien R8 und R9 ermöglichen Rohstoffe von unbrauchbaren Produkten und Produktteilen bei denen R0 bis R7 nicht anwendbar ist zu sichern. Durch Auseinandernehmen der Komponenten werden Sekundärrohstoffe gewonnen, welche den Bedarf an Primärrohstoffen vermindern. Die Umwelt wird geschont.

9.12 R8 Recycle:

Recyclingmöglichkeiten eines nicht weiter nutzbaren Produktes, werden durch den Aufbau und das Produktdesign vorgegeben. Mithilfe von Recyclingvorgängen können Rohstoffe zurückgewonnen werden. Oft jedoch gibt es auch beim Recycling Grenzen, da die gewonnenen Rezyklate je nach Material und Beschaffenheit mit jedem weiteren durchlaufen eines Recyclingzyklus an Wertigkeit verlieren, man spricht in diesem Zusammenhang von „Downcycling“. Für eine maximale Kreislaufführung bedeutender als eine hohe Recyclingfähigkeit eines Produktes am Ende seines Lebenszyklus ist gegebenenfalls eine möglichst hohe Zirkularität.

Hinweis: Wertstoffgewinnung aus bereits deponierten Produkten oder Produktionsreststoffen wird „Remining“ genannt.

Bsp.: Recycling von Fahrradschläuchen zur Herstellung neuer. Aus recycelten Aluminium-Getränkedosen werden neue hergestellt.

9.13 R9 Recover:

Ist bei Werkstoffen ein Recycling wirtschaftlich oder technisch (noch) nicht möglich stellt die Erzeugung von Nutzenergie oftmals die letzte Möglichkeit Reststoffe zu verwerten dar. Somit gehört die Recover-Strategie nicht zum angestrebten Grundgedanken der Zirkulären Wertschöpfung die Rohstoffe möglichst zu erhalten. Vermieden werden kann diese nicht-zirkuläre Strategie weitgehend durch optimiertes Produktdesign, verbesserte Recyclingtechniken und passende staatliche Rahmenbedingungen.

Bsp.: In Müllverbrennungsanlagen werden Abfallreste verbrannt und biologische Abfälle landen in Biogasanlagen.



Weitergehend ist es sehr wichtig, die Wertschöpfungsketten nicht nur zirkulär, sondern auch so risikoarm wie möglich zu gestalten. Dazu kann in Betracht gezogen werden, wie auch beim „Cradle to Cradle“-Prinzip, schadstofffrei und nachhaltig zu agieren. Dabei denkbar ist es die R-Strategien dementsprechend durch „Renewable“ und „Respect“ (vor Mensch und Natur) zu erweitern. Zukünftige Veränderungen mit großem Potenzial können vor allem in der Planung beziehungsweise dem Produktdesign und der Reorganisation von Wertschöpfungsketten angestoßen werden.⁶¹

⁶¹ Vgl. Friederike von Unruh et al. (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



10 Kenngrößen und Begriffe der Ökologie

10.1 Biokapazität

Die Kapazität eines Ökosystems, die durch den Menschen produzierten Abfälle zu binden, zu verwerten und nutzbringende biologische Rohstoffe zu erzeugen, wird Biokapazität (auch biologische Kapazität) genannt.⁶²⁶³

Diese errechnet sich aus der Grundfläche (in Hektar) multipliziert mit einem Äquivalenzfaktor und einem Ertragsfaktor. Der Äquivalenzfaktor stellt das Verhältnis der Produktion verwertbarer Biomasse zu ihrer Nutzung dar. Dagegen wird der Ertragsfaktor zur Normierung verwendet und um die Biokapazität global vergleichbar zu machen. Er gibt das Produktivitätspotential (pro Fläche) im Verhältnis zum weltweiten Durchschnitt an.⁶⁴

Wie der ökologische Fußabdruck, wird auch die Biokapazität in globalen Hektar (gha) gemessen (Hektar mit weltdurchschnittlicher biologischer Produktivität).

Wichtig sind die Berücksichtigung und Anpassung der „verwertbaren Biomasse“ an den jeweiligen technischen und Wissenschaftlichen Fortschritt.⁶⁵

$$\text{Biokapazität} = \text{Fläche (ha)} * \text{Äquivalenzfaktor} * \text{Ertragsfaktor}$$

10.2 Earth Overshoot Day / Ecological Debt Day

Der „Earth Overshoot Day“ oder auch „Ecological Debt Day“ auf Deutsch „Weltüberlastung“- oder „Welterschöpfungstag“ bezeichnet den Tag des Jahres, ab dem wir mehr Ressourcen verbrauchen, als die Erde produzieren kann, also aus ökologischer Sicht über unsere Verhältnisse leben. Nach Erreichen dieses Tages, leben wir auf Kosten der kommenden Generationen, da wir die Erde über ihre Grenzen hinaus ausnutzen und ihr damit schädigen.

Zur Berechnung des „Earth Overshoot Day’s“ wird zunächst die Biokapazität der Erde berechnet, dementsprechend werden alle potenziellen bioproduktiven Landflächen

⁶² Vgl. Monfreda, Chad; Wackernagel, Mathis; Deumling, Diana (2004), S. 232 ff.

⁶³ Vgl. Moran, Daniel D. et al (2008), S. 470 - 474, letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁶⁴ Vgl. Wackernagel, Mathis et al (2005), S. 6 f., letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁶⁵ Vgl. Global Footprint Network (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



wie Wälder, Wiesen, Felder aber auch genutzte Meeresflächen und die Fähigkeit und Kapazität der Ökosysteme Kohlenstoff zu binden analysiert.

Der ökologische Fußabdruck, welcher sich aus unserem Konsum und dem von uns freigesetzten Kohlenstoffdioxid errechnet, wird dann ins Verhältnis zur kalkulierten Biokapazität der Erde gesetzt um den „Earth Overshoot Day“ zu erhalten.⁶⁶

10.3 Ökoeffektivität

Das C2C-Konzept basiert auf dem Grundgedanken der Ökoeffektivität, es gibt keine Abfälle, sondern nur wiederverwendbare Ressourcen. Demnach wird der Wert nicht nur auf quantitative, sondern darüber hinaus auch auf qualitative Parameter gelegt (z.B. CO₂ als Nährstoff). Darüber hinaus lässt sich diese Idee der Ökoeffektivität nicht nur auf ein einzelnes Produkt beziehen, sondern kann in ganze Systeme implementiert werden.^{67,68}

10.4 Ökoeffizienz

Die Ökoeffizienz eines Produktes lässt sich als Quotient dessen wirtschaftlichen Warenwerts und den für die Gesellschaft infolge der Produktion entstandenen Kosten berechnen.

Die Kosten, definiert als Auswirkungen und Einflüsse auf die Umwelt, lassen sich z.B. mithilfe des „ökologischen Fußabdruckes“ beschreiben.⁶⁹

$$\text{Ökoeffizienz} = \frac{\text{Produktwert (wirtschaftlich)}}{\text{Auswirkungen und Einflüsse auf Umwelt}}$$

Somit werden bei der Ökoeffizienz eher quantifizierbare Parameter, welche es zu verringern gilt, betrachtet (z.B. Treibhausgasemissionen).⁷⁰

10.5 Ökologischer Fußabdruck / ecological footprint

Der ökologische Fußabdruck ist ein Indikator für Nachhaltigkeit. Er stellt die biologisch produktive Fläche auf der Erde da, die benötigt wird um den Lebensstandard und

⁶⁶ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit (2015 d), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁶⁷ Vgl. Gebhardt, Klaus (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁶⁸ Vgl. EPEA Switzerland (o. J.b), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁶⁹ Vgl. Scholz, Ulrich et al. (2018), S. 31 - 32.

⁷⁰ Vgl. EPEA Switzerland (o. J.b), letzter Zugriff in 2022-10-28.



Lebensstil eines Menschen unter heutigen Produktionsbedingungen und -möglichkeiten langfristig zu sichern.

Damit der ökologische Fußabdruck von verschiedenen Ländern und Regionen miteinander verglichen werden kann, wird der „Globale Hektar“ (gha) pro Person und pro Jahr als Maßeinheit entsprechend der weltweit durchschnittlichen biologischen Produktivität definiert.⁷¹

Mit enthalten im ökologischen Fußabdruck sind dabei die Flächen, die zur Gewinnung von Energie, Herstellung von Konsumgütern und Nahrung, aber auch zur Entsorgung von Müll und dem Binden des durch individuelle Aktivitäten freigesetzten CO₂ (Äquivalent) benötigt werden. Dementsprechend können die verfügbaren biologisch produktiven Flächen, also die Biokapazität der Erde, mit dem ökologischen Fußabdruck verglichen werden.⁷²⁷³

10.6 Ökologischer Rucksack

Der ökologische Rucksack visualisiert die Menge der Ressourcen, welche für die Herstellung, den Gebrauch und die Entsorgung eines bestimmten Produktes oder der Bereitstellung einer Dienstleistung verbraucht werden. Die im gesamten Lebenszyklus des Produktes anfallenden Ressourcen (Gewicht) werden durch die Menge der im Endprodukt enthaltenen Ressourcen dividiert, und man erhält einen dimensionslosen Faktor zur Bewertung. Dabei stellt der ökologische Rucksack als grobe Zahl nur einen Anhaltspunkt dar, wie die Ökobilanz verschiedener Konsumgüter einzuschätzen ist.⁷⁴⁷⁵

Typische Beispiele sind:

[Materialintensität in $\frac{kg \text{ Material}}{kg \text{ ökolog. Fußabdruck}}$ (Wasser + ggf. Luft + abiotische Rohstoffe + biotische Rohstoffe)]

- Kunststoffe (PET-Flaschen) – Faktor 239,8⁷⁶
- Papier (Frischfaser, gebleicht) – Faktor 316⁷⁶
- Aluminium (primär) – Faktor 1.094,8⁷⁶
- Kupfer (primär) – Faktor 717,13⁷⁶

⁷¹ Vgl. Global Footprint Network (2010), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁷² Vgl. Wackernagel, Mathis; Beyers, Bert, (2010).

⁷³ Vgl. Wackernagel, Mathis; Rees, William (1997), S. 21 ff, letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁷⁴ Vgl. Smidt-Bleek, Friedrich; Bierter, Willy (2000).

⁷⁵ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit (2015 c), letzter Zugriff in 2022-10-28.



- Gold (abgeschätzt) – Faktor 540.000⁷⁶
- Smartphone – Faktor 940⁷⁷

10.7 Virtuelles Wasser

Das Wasser, welches zur Herstellung eines Produktes benötigt wurde, auch wenn es nur zu sehr geringen Mengen oder gar nicht im Produkt selbst enthalten ist, wird latentes oder virtuelles Wasser genannt.⁷⁸

Dieser meist versteckte Wasserfluss kann in verschiedene Gruppen unterteilt werden. Wasser aus Niederschlag welches auf natürliche Art und Weise im Boden gespeichert wird, nennt man grünes virtuelles Wasser.

Als blaues virtuelles Wasser bezeichnet man wiederum Wasser, welches aus dem Grundwasser oder Oberflächengewässern für die künstliche Bewässerung entnommen wird. Während der Nutzung verunreinigtes und belastetes Wasser, zum Beispiel durch Düngung, den Einsatz von Pestiziden oder durch Industrieabfälle, wird als graues virtuelles Wasser mit nur bedingter Wiederverwendbarkeit eingeordnet. Graues virtuelles Wasser ist dabei dreckiges Prozesswasser oder Wasser, welches benötigt wird, um dreckiges Wasser zu reinigen.⁷⁹

Typische Werte des Wasserbedarfs sind hier:

1 Rose	7-13 l ⁸⁰
1 Tasse Tee	35 l ⁸⁰
1 l Bier	300 l ⁸¹
1 Tasse Kaffee	140 l ⁸¹
1 Hühnerei	200 l ⁸¹
1 l Milch	1.000 l ⁸¹
1 Pizza Margerita (750g)	1.260 l ⁸¹
100 g Schokolade	1.700 l ⁸¹
1 kg Papier	2.000 l ⁸¹

⁷⁶ Vgl. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (2014), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁷⁷ Vgl. Dr. Welfens, M. J. et al. (2013), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁷⁸ Vgl. Hoekstra, Arjen Y. (2003), S. 13, letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁷⁹ Vgl. Mekonnen, Mesfin Mergia; Hoekstra Arjen Y. (2010), S. 11, letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁸⁰ Vgl. Mekonnen, Mesfin Mergia et al (2012), S. 3725, letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁸¹ Vgl. Berliner Wasserbetriebe (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



1 kg Mais	909 l ⁸⁰
1 kg Weizen	1.334 l ⁸⁰
1 kg Sojabohnen	1.789 l ⁸²
1 Baumwoll-T-Shirt (250g)	2.750 l ⁸¹
1 kg Kokosnüsse	2.545 l ⁸⁰
1 kg Reis	3.419 l ⁸⁰
1 Jeans	11.000 l ⁸¹
1 kg Rindfleisch	15.500 l ⁸¹
1 kg Mandeln	16.000 l ⁸³
1 durchschnittlicher PKW (Verbrenner)	400.000 l ⁸¹

10.8 Water Footprint

Der gesamte „Water Footprint“, auf Deutsch „Wasser-Fußabdruck“ setzt sich aus „grünen, blauen und grauen“ Komponenten zusammen und beschreibt den gesamten Wasserverbrauch, der für die Produktion von (Konsum-)Gütern und der Bereitstellung von Dienstleistungen benötigt wird.

Der grüne „Wasser-Fußabdruck“ bezieht sich auf das im Boden gespeicherte und von der Vegetation selbst verdunstete Regenwasser. Demgegenüber steht der blaue „Wasser-Fußabdruck“, der die Menge des Wassers aus den „blauen“ Wasserressourcen, also dem Grundwasser und Oberflächengewässern, welche zur Produktion von Gütern oder Dienstleistungen verdunsten, beschreibt. Die Menge des bei der Produktion verschmutzten Wassers wird als graues Wasser bezeichnet.⁸⁴

⁸² Vgl. Hoekstra, A. Y; Chapagain, A. K (2006), S. 6 ff., letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁸³ Vgl. Vegane Gesellschaft Österreich (2016), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁸⁴ Vgl. Hoekstra, Arjen Y (1964), S. ff. (2008), letzter Zugriff in 2022-10-28.



10.9 Abwasserarten

Die Arten sind im Folgenden nach steigendem Verschmutzungsgrad geordnet.

10.9.1 Grauwasser

Fäkalienfreies, wenig verschmutztes Abwasser aus Bädern, Duschen oder Waschmaschinen, welches mechanisch-biologisch aufbereitet und gereinigt als Brauch- oder Betriebswasser genutzt werden kann, wird Grauwasser genannt⁸⁵ und ist in der Europäischen Norm 12056-1 definiert. Küchenabwasser gehört aufgrund seiner hohen Fett- und Speiseabfallbelastung nicht zum Grauwasser.⁸⁶

10.9.2 Gelbwasser

Urin im Toilettenabwasser (teilweise auch mit Spülwasser) wird als Gelbwasser bezeichnet. Mithilfe von Urinalen oder Trenntoiletten kann Gelbwasser mit den hohen nutzbaren Nährstoffanteilen von Stickstoff (rund 90%) und Phosphor gut getrennt, gesammelt und als Rohstoffquelle oder in Form von Dünger oft verdünnt eingesetzt werden.⁸⁷

10.9.3 Braunwasser

Der Teil des Abwassers, der Fäzes, Toilettenpapier und Spülwasser enthält wird als Braunwasser bezeichnet, welches aufgrund starker Belastung mit Viren, Parasiten und Bakterien nicht ohne weitere Behandlung für die Wasseraufbereitung genutzt werden kann.⁸⁸

10.9.4 Schwarzwasser

Toilettenabwasser, welches normalerweise aus Gelbwasser und Braunwasser besteht⁸⁹ oder auch häusliches Abwasser mit Fäkalien ohne Grauwasser wird (nach ISO 6107:2021) als Schwarzwasser definiert.⁹⁰

⁸⁵ Vgl. Otto Graf GmbH (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁸⁶ Vgl. f:data GmbH (o. J.a), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁸⁷ Vgl. Herbst, Heinrich (2008), S.42 ff., letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁸⁸ Vgl. ebenda.

⁸⁹ Vgl. ebenda.

⁹⁰ Vgl. ISO.org (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.



11 Energetische Kenngrößen und Begriffe

Energie ist eine fundamentale physikalische Größe und setzt sich im Bauwesen aus dem Arbeitsvermögen summiert mit der Abwärme zusammen. Dabei kann sie weiterhin in Exergie und Anergie unterteilt werden und wird typischerweise in Megajoule (MJ) oder Kilowattstunden (kWh) gemessen.⁹¹

11.1 Der Energiebegriff in der Thermodynamik

11.1.1 Anergie

Der Teil der thermischen Energie, welche keine mechanische Arbeit leisten kann wird als Anergie oder auch Abwärme bezeichnet. Demgegenüber steht die Exergie, welche vollständig in mechanische Arbeit umgewandelt werden kann.⁹²

$$\text{Energie} = \text{Anergie} + \text{Exergie}$$

11.1.2 Exergie

Der Teil der Energie, welcher zur Verfügung steht um mechanische Arbeit zu leisten, wird Exergie genannt.⁹³

$$\text{Anergie} + \text{Exergie} = \text{Energie}$$

11.2 Energiearten nach energetischer Konversion

Die Energiearten sind im Folgenden nach der kohärenten Konversionskette geordnet.

11.2.1 Primärenergie

Die Energie von Energieträgern, welche noch nicht weiterverarbeitet wurden, wird als Primärenergie bezeichnet. Somit gehören zu den Primärenergieträgern beispielsweise Wasser, Wind, Kernbrennstoffe, Solarstrahlung, sowie fossile Brennstoffe wie Braunkohle, Steinkohle, Erdöl, Erdgas und weitere. Durch Aufbereitung zum Beispiel in Kraftwerken oder Raffinerien wird Primärenergie verlustbehaftet in Endenergie oder auch Sekundärenergie umgewandelt.⁹⁴

⁹¹ Vgl. Spektrum der Wissenschaft (1998), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁹² Vgl. Baehr, Hans Dieter; Kabelac, Stephan (2016).

⁹³ Vgl. Dr. Paschotta, Rüdiger (2022a), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁹⁴ Vgl. bpb (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.



Die am Ende der Umwandlungs- und Transportkette vom Verbraucher verwendete Energie wird als Nutzenergie beschrieben. Um verschiedene Energieträger vergleichen zu können, wird der jeweilige Energiegehalt mithilfe von Umrechnungsfaktoren auf Erdöl bezogen (Heizöl-Äquivalent). Demnach entspricht eine Tonne Heizöl-Äquivalent beispielsweise etwa 1.163 Kubikmeter Erdgas, 1,5 Tonnen Steinkohle oder auch 12 MWh (Primärenergie).⁹⁵

11.2.2 Endenergie

Primärenergie abzüglich Transport- und Umwandlungsverluste wird Endenergie genannt. Diese steht dem Verbraucher zu Verfügung.⁹⁶

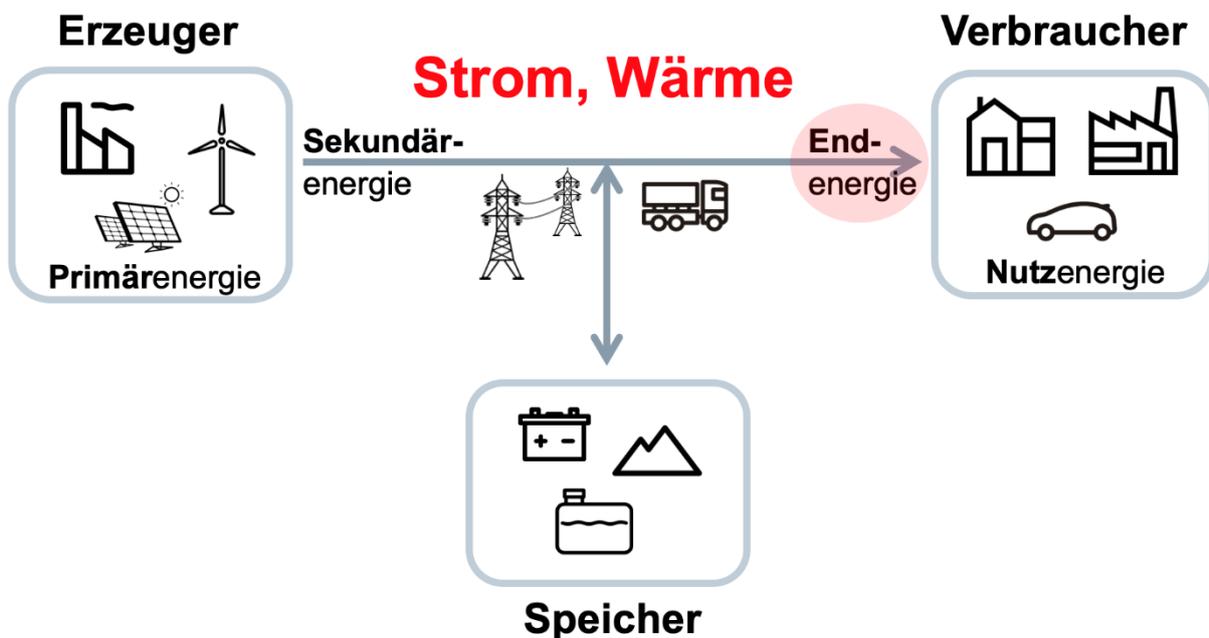


Abbildung 6: Endenergienutzung⁹⁷

⁹⁵ Vgl. bpb (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁹⁶ Vgl. co2online (2022), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁹⁷ Darstellung nach Norbert Stralka (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.



11.2.3 Nutzenergie

Die Energie, welche vom Anwender direkt genutzt wird, ist als Nutzenergie definiert. Dabei kann diese Nutzenergie in Form von Wärme zum Heizen, Kälte zum Kühlen eines Gebäudes, aber auch in mechanischer Form als Antriebsenergie oder elektrischer Energie zur Beleuchtung vorliegen. Als Nutzleistung wird schließlich die Menge der Nutzenergie pro Zeiteinheit bezeichnet.⁹⁸

11.3 Anlagen-Aufwandszahl

Die Effizienz einer gesamten Energieversorgungskette, von der Ressourcenentnahme aus der Natur über den Transport bis zur Wärmeübergabe durch Wärmeüberträger wie einem Heizkörper wird mit der Anlagen-Aufwandszahl e_p beschrieben.

Berechnet wird sie als Kehrwert der Wirkungsgrade der einzelnen anlagentechnischen Komponenten und beschreibt so das Verhältnis der eingesetzten Primärenergie zur Nutzenergie. Demnach ist ein System umso effizienter je niedriger die Anlagenaufwandszahl ist. In der DIN 4701-10 ist die Ermittlung festgelegt.⁹⁹

11.4 Absorption (Wärme)

Die Umwandlung von Strahlung beim Auftreffen auf Oberflächen und dem Durchgang durch transparente, lichtdurchlässige Körper in Wärme wird als Absorption bezeichnet. Die Sonnenstrahlung wird so zum Beispiel auf Kollektoren, Möbeln und Fassaden absorbiert.

Die Absorption kann mithilfe des Absorptionsgrades bewertet werden. Dunkle Flächen können besonders gut Strahlung absorbieren, demnach ist der Absorptionsgrad höher je dunkler eine Fläche ist. Dabei wird immer auch ein Teil der Strahlung reflektiert und bei transparenten, lichtdurchlässigen Körpern tritt auch Transmission auf.¹⁰⁰

⁹⁸ Vgl. Dr. Paschotta, Rüdiger (2021b), letzter Zugriff in 2022-10-28.

⁹⁹ Vgl. Rosenkranz, Alexander (2021a), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁰⁰ Vgl. FIS (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



11.5 Adsorption

Der Begriff Adsorption kommt vom lateinischen „adsorptio“ oder „adsorbere“ was „(an)saugen“ bedeutet und bezeichnet die Anlagerung von Atomen oder Molekülen aus Flüssigkeiten wie auch Gasen an der Oberfläche eines Festkörpers. Dementsprechend unterscheidet sich die Adsorption von der Absorption, bei der Stoffe in das Innere eines anderen Stoffes oder Festkörpers eindringen.¹⁰¹

11.6 Adiabats

In der Thermodynamik wird von einer adiabatischen Zustandsänderung gesprochen, wenn bei einem thermodynamischen Vorgang ein System von einem Zustand in einen anderen übergeführt wird, ohne dabei thermische Energie mit der Umgebung auszutauschen. Im architektonischen Sinne bedeutet adiabats wärmedicht.¹⁰²

11.7 Adiabate Kühlung

Bei der adiabaten Kühlung wird die Verdunstungskälte von Wasser zur Kälteerzeugung genutzt um Räume zu klimatisieren. Im Kühlungsprozess wird Wasser in der Luftzirkulation fein vernebelt und geht dabei von einer Flüssigkeit in ein Gas über, was Energie erfordert, die der Luft in Form von Wärme entzogen wird. Demzufolge wird die Luft abgekühlt.¹⁰³

11.8 Energieeffizienz

Wie wirksam eine Energiewandlungskette oder ein Gerät die aufgewendete Energie umsetzt, wird durch die Energieeffizienz beschrieben. Je verlustärmer die aufgewendete Energie genutzt wird, desto höher ist die Effizienz. Dabei wird der Wirkungsgrad, welcher das Verhältnis aus aufgewendeter und nutzbarer Energie angibt (Wert zwischen 0 und 100%) als Maßeinheit der Energieeffizienz angegeben.¹⁰⁴

Eine Glühbirne zum Beispiel hat zur Lichterzeugung einen sehr geringen Wirkungsgrad von nur 5%, wobei die restliche Energie in Abwärme umgewandelt wird.¹⁰⁵

¹⁰¹ Vgl. LUMITOS AG (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁰² Vgl. Bošnjaković, Fran; Knoche K.F. (1998).

¹⁰³ Vgl. Oxycom (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁰⁴ Vgl. UBA (2013), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁰⁵ Vgl. NCC-Design GmbH (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



11.9 Energiekennzahl

Um Gebäude zu beurteilen, wird der Jahresheizwärmebedarf als Energiekennwert angegeben. Diese Energiekennzahl ($\text{kWh/m}^2\text{a}$) beschreibt die in einem Jahr fürs heizen verbrauchte Endenergie (in kWh oder Megajoule) dividiert durch die Energiebezugsfläche (EBF) eines Gebäudes in m^2 . Mithilfe der flächenbezogenen Verbrauchswerte ist ein Vergleich verschiedener Gebäude möglich.¹⁰⁶

11.10 Energiebilanz

Die Energiebilanz ist eine abschließende Gegenüberstellung aller energiebezogenen Daten in Form einer Aufsummierung aller Energiegewinne und -verluste eines Gebäudes und stellt somit das Verhältnis von Energieaufnahme zu Energieverbrauch dar.¹⁰⁷

Die entstehende Einwirkung, eine Immission in die Umwelt, ist Folge einer jeden Emission.¹⁰⁸

11.11 Energiebezugsfläche A_E

Die Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die zur Nutzung beheizt oder klimatisiert werden, wird Energiebezugsfläche (EBF) genannt. Dabei kann die EBF netto aus den Innenmaßen oder brutto aus den Außenabmessungen einschließlich begrenzender Brüstungen und Wände berechnet werden.¹⁰⁹

11.12 Transmissionswärme

Die Wärmemenge, die durch einen Körper aufgrund eines Temperaturunterschiedes zwischen zwei unterschiedlichen Außenflächen transportiert wird, bezeichnet man als Transmissionswärme. In der Bauphysik beschreibt somit der Transmissionswärmeverlust die Wärmemenge die bei einem Temperaturunterschied zwischen Bauteilen der thermischen Gebäudehülle, vor allem Innen und Außen über die Außenoberfläche also die Außenwände in die Umgebung abgegeben wird.¹¹⁰

¹⁰⁶ Vgl. BauundEnergie.info (2018), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁰⁷ Vgl. Dr. Paschotta, Rüdiger (2020), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁰⁸ Vgl. Umweltdatenbank (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁰⁹ Vgl. EnergieSchweiz (2017), S. 1 ff., letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹¹⁰ Vgl. Academic (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



12 Energiebereitstellung in Gebäuden

12.1 Biomasse (energetisch)

Alle pflanzlich oder tierisch entstandenen/erzeugten Stoffe, welche energetisch genutzt werden können, werden dem Energieträger Biomasse zugeordnet. Die Biomasse umfasst somit ein breites Spektrum, von abgestorbener aber noch nicht fossiler Pflanzenmasse über organischen Hausmüll und tierische Exkremente hin zum Biogas und Vielem mehr.¹¹¹

Unterteilen lässt sie sich weiterhin in Primär- (unverarbeitet) und Sekundärprodukte (weiterverarbeitet). Hölzer, Gräser und Stroh zählen beispielsweise zu den unverarbeiteten Primärstoffen wohingegen Energieträger wie Hackschnitzel, Holzpellets oder Pflanzenöl zu den weiterverarbeiteten, veredelten Sekundärprodukten gezählt werden.¹¹²

12.2 Blockheizkraftwerk

Blockheizkraftwerke (BHKW) sind kompakte Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, die aufgrund der kombinierten Strom-Wärme-Erzeugung einen sehr hohen Wirkungsgrad von je nach Auslastung mehr als 85% erreichen können. Grundlegend ist dabei die bei normalen Verbrennungsreaktionen zur Stromerzeugung entstehende (Ab-)Wärme zur Warmwasserbereitung und Gebäudeheizung zu nutzen und somit die Verluste zu minimieren. Je nach Betriebsart, mit fossilen Brennstoffen (Gas oder Öl) oder mit erneuerbaren Treibstoffen wie Biogas oder Biodiesel, sind BHKWs ökologisch sowie ökonomisch gesehen relativ fortschrittlich.¹¹³

12.3 Erdwärmetauscher

Mithilfe eines Erdwärmetauschers können tiefe Bodenschichten geothermisch genutzt, und zentrale Lüftungsanlagen gut ergänzt werden. So kann die Außenluft im Winter vorerwärmt und im Sommer auf eine angenehme Temperatur gekühlt werden, womit folglich Heiz- bzw. Kühlkosten gespart werden.¹¹⁴

¹¹¹ Vgl. BMJ; BfJ (2016), S. 2 f., letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹¹² Vgl. Baunetz Wissen (o. J.a), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹¹³ Vgl. Suttor, Wolfgang (2014).

¹¹⁴ Vgl. Dunst, Marcus (2022), S. 33 - 36.



12.4 Fernkälte

Fernkälte basiert auf dem Prinzip zentral erzeugter Kälte und wird über ein Leitungsnetz verteilt um Endnutzer transportiert, wo sie über einen Wärmetauscher in die Klimaanlage eingespeist werden kann. Ein oft verwendetes Kälteübermittlungsmedium ist Wasser, welches mithilfe von Kompressionskältemaschinen, Absorptionskältemaschinen oder durch natürliche Kältequellen wie Schmelzwasser oder das Grundwasser auf eine Temperatur von 5 bis 10 °C runtergekühlt wird. Durch eine optimierte Nutzung der Kältequellen oder der Prozesswärme, und je nach Anlagengröße, können sehr hohe Wirkungsgrade erzielt werden und energieeffizientere Systeme im Vergleich mit herkömmlichen dezentralen Klimatisierungskonzepten aufgebaut werden.¹¹⁵

12.5 Fernwärme

Bei Fernwärmesystemen wird der Heizwärme- und Warmwasserbedarf der an das Fernwärmenetz angeschlossenen Gebäude zentral in einem Fernheizkraftwerk oder oft auch in Blockheizkraftwerken erzeugt. Als Wärmeträger dient Wasser als Warm-, Heißwasser oder Dampf mit einer Temperatur von bis zu 180°C und einem Druck von bis zu 40 bar. Diese thermische Energie wird dann über einen Wärmetauscher ausgekoppelt und in isolierten, wärmegeprägten Rohrsystemen, dem Fernwärmenetz zum Endverbraucher transportiert. Meist wird die Wärme letztendlich mithilfe einer Übergabestation bestehend aus einem Wärmetauscher aus dem Fernwärmenetz ausgekoppelt und zur Nahwärmeversorgung mit direktem Hausanschluss verwendet. Somit gibt es mindestens zwei separate durch einen Wärmetauscher entkoppelte Wasserkreisläufe. Das kühlere „genutzte“ Wasser wird dann wieder in einem geschlossenen Kreislauf über den Wärmetauscher zurückgeleitet.¹¹⁶

¹¹⁵ Vgl. Krystallas, Patrick-Anastasios (2017), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹¹⁶ Vgl. Heinze GmbH (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

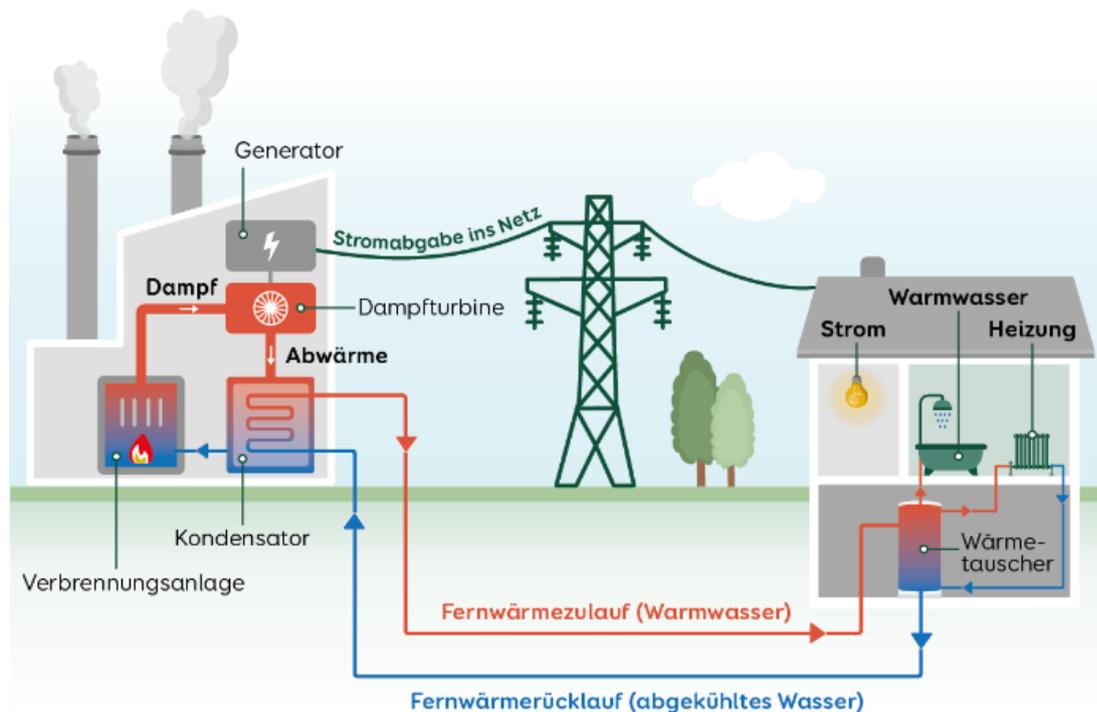


Abbildung 7: Fernwärmekreislauf¹¹⁷

12.6 Holzhackschnitzel (HHS)

Holz aus der Ver- und Bearbeitung, Waldholz, Sägeresthölzer und jegliche weitere Holzformen können zu Hackgut zerkleinert werden und aufgrund der Schüttfähigkeit in vollautomatischen Heizungsanlagen verfeuert werden.¹¹⁸

12.7 Holzpellets

Aus jeder Holzform wie üblicherweise naturbelassenem Restholz wie Hobelspänen, Sägemehl oder Waldrestholz können unter hohem Druck Holzpellets mit einem Durchmesser von ca. 5-10 mm und einer Länge von 10-30 mm gepresst werden. Sie haben einen Heizwert von ungefähr 5 kWh/kg oder umgerechnet 18 MJ/kg und werden ohne Zugabe chemischer Bindemittel produziert.¹¹⁹

¹¹⁷ Darstellung nach be Around GmbH (2022), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹¹⁸ Vgl. Dr. Paschotta, Rüdiger (2021c), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹¹⁹ Vgl. Dr. Paschotta, Rüdiger (2022b), letzter Zugriff in 2022-10-28.



12.8 Photovoltaik

Die Umwandlung von elektromagnetischer Energie (Lichtenergie), meist aus Sonnenlicht über den photoelektrischen Effekt im Inneren einer Solarzelle in elektrische Energie wird als Photovoltaik beschrieben. Einzelne Solarzellen mit sehr geringer Leistung werden zu großen leistungsfähigen Modulen zusammengebaut, welche effizient eingesetzt und auf die jeweiligen lokalen Gegebenheiten angepasst verschaltet werden können.¹²⁰

12.9 Solarthermie

Sonnenenergie kann mithilfe der Solarthermie in nutzbare Wärme umgewandelt und zum Beispiel zur Warmwasseraufbereitung sowie zur Heizung genutzt werden. Grundlegend werden bei kleinen Solarthermieanlagen mithilfe von Solarkollektoren wärmeübertragende Flüssigkeiten wie Wasser oder Glycolgemische in einem Primärkreislauf durch die Sonne erhitzt und die Wärme wird in einem Warmwasserspeicher welcher gleichzeitig als Wärmetauscher dient zwischengespeichert. Diese Wärme kann dann dafür genutzt werden um in einem Sekundärkreislauf Trinkwasser zu erwärmen und/oder Wasser für den Heizkreislauf zu erhitzen.¹²¹ Groß angelegt können sogenannte Solarthermiekraftwerke durch das Bündeln von Sonnenlicht Flüssigkeiten oder Dampf erhitzen womit Turbinen angetrieben werden und über Generatoren Strom erzeugt wird.¹²²

¹²⁰ Vgl. ub.de Fachwissen GmbH, (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹²¹ Vgl. ARD Alpha, (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹²² Vgl. Andreas Madel, (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.



13 Kenngrößen, Begriffe und Verfahren aus dem Bauwesen

13.1 A/V-Verhältnis

Das Oberflächen- (A) zu Volumen- (V) Verhältnis ist in der Bauphysik eine Kenngröße der Kompaktheit.

Ein energiesparendes, A/V-optimiertes Gebäude sollte möglichst wenig Oberfläche im Verhältnis zum Volumen (V) haben, um Transmissionswärmeverluste zu minimieren. Dementsprechend ist der Wärmeverlust umso geringer je kompakter ein Bauwerk (kleines A/V-Verhältnis) konstruiert ist.¹²³

13.2 Abfallschlüssel

Das Europäische Abfallverzeichnis (AVV) bezeichnet einheitlich mehr als 800 Abfallarten, die zur Entsorgung oder Verwertung bestimmt sind und von denen über 400 als gefährlich eingestuft werden. Der Abfallschlüssel, bestehend aus einem sechsstelligen Zahlencode beschreibt und kategorisiert alle Arten von Abfall. Die ersten zwei Ziffern geben die Kapitelnummer an, die mittleren beiden bezeichnen die Gruppen und die letzten die Abfallart.¹²⁴

13.3 Amortisationszeit

Investitionsgüter wie Wärmedämmungen oder Heizungen haben neben ihrer technischen Lebensdauer auch eine wirtschaftliche Lebensdauer, die Amortisation. Diese Amortisation gibt im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit an, wann Anlagen abgeschrieben sind und ertragssteuerliche Entlastungen für entsprechende Investitionsgüter entfallen. Die technische Lebensdauer ist gewöhnlich größer als die Amortisationszeit.¹²⁵

¹²³ Vgl. Grimm, Roland (2016), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹²⁴ Vgl. UBA (2016), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹²⁵ Vgl. Schroer, Kevin (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



13.4 Baustoff/Bauprodukt/Baumaterial

Als Baustoffe werden meist veredelte und weiterverarbeitete Baumaterialien und Werkstoffe (in Form von Rohstoffen) bezeichnet, welche zum Errichten von Bauwerken und Gebäuden nötig sind. Wobei es keine klare Abgrenzung zwischen dem Begriff Baustoff und Baumaterial gibt.¹²⁶ Im gesetzlichen Kontext werden Baustoffe als Bauprodukte aufgeführt.¹²⁷

13.5 Baustoffklassen

Nach DIN 4102 werden feste Baustoffe in Baustoffklassen mit Kennzeichnung durch Buchstaben A für nicht brennbar und B als brennbar mit zusätzlich Zahlen von 1 bis 3 eingeteilt.

- **A1** = nicht brennbare Baustoffe. Enthält keinerlei brennbare Bestandteile, können nicht entzündet werden und verkohlen oder veraschen nicht.
- **A2** = nicht brennbare Baustoffe mit jedoch geringem Anteil brennbarer Bestandteile.
- **B1** = brennbare, schwer entflammbare Baustoffe, die nur mit zusätzlicher Wärmezufuhr abgebrannt werden können.
- **B2** = brennbare, normal entflammbare Baustoffe, die nach Entzünden eigenständig abbrennen.
- **B3** = brennbare, leicht entflammbare Baustoffe, die schnell, selbstständig abbrennen und sich mit einem Streichholz entzünden lassen.¹²⁸

13.6 Bauteil

Eine funktionelle Komponente eines Bauwerkes, welches nicht weiter zerlegt werden kann, ohne seine grundlegenden Eigenschaften zu verlieren wird als Bauteil im Bauwesen nach EN ISO 10209 definiert. Als Einzelteil hingegen wird nach gleicher Norm ein Gegenstand bezeichnet, welcher nicht weiter zerlegbar ist.¹²⁹

Meist sind Bauteile funktionell oder geometrisch zusammenhängende Flächen und Körper, welche wie Wände, Decken oder Treppen einheitlich konstruiert und aufgebaut sind.

¹²⁶ Vgl. LUMITOS AG (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹²⁷ Vgl. Dipl.-Ing. Horstkotte, Jo (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹²⁸ Vgl. DIN (1998), S. 3 ff.

¹²⁹ Vgl. DIN (2012), S. 8., letzter Zugriff in 2022-10-28.



Bauteile werden aus Baustoffen (Materialien) hergestellt und in Gebäuden verbaut. Ein Bauteil kann aus mehreren Einzelteilen bestehen, die Bauteile können wiederum zu Gebäudeteilen und dann einem ganzen Gebäude zusammengesetzt werden können.¹³⁰

Eine Aufzählung von Bauteilen im Bauwesen kann in Anlage 3 der Energieeinsparverordnung (EnEV) gefunden werden.¹³¹

13.7 Bauteilaktivierung

Systeme, die Gebäudemassen zur Temperaturregulierung, also zur Raumheizung oder -kühlung nutzen, werden als thermische Bauteilaktivierung oder Betonkernaktivierung bezeichnet. Hierbei werden Rohrleitungen in Decken, Wänden und Böden mit Wasser als Heiz- oder Kühlmittel verwendet um die Gebäudemasse thermisch zu aktivieren. Die dabei nutzbare, im Vergleich zu konventionellen Heizkörpern deutlich größere Übertragungsfläche, ermöglicht es die Heiz- und Kühlwassertemperatur nahe an der Raumtemperatur zu halten und somit energie- und exergie-effizientere Niedrigtemperaturheiz- und Kühlsysteme wie z.B. Wärmepumpen einzusetzen.¹³²

13.8 Beheiztes Gebäudevolumen V_e

Das von der wärmeübertragenden Gebäudehüllfläche umschlossene beheizte Gebäudevolumen (V_e) wird mithilfe der Außenmaße ermittelt. Eingeschlossen werden mindestens alle indirekt oder direkt bestimmungsmäßig beheizten Räume. Somit kann das gesamte Gebäude oder aber auch nur die direkt beheizten Bereiche einkalkuliert werden.¹³³

¹³⁰ Vgl. Academic (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹³¹ Vgl. BMUV (o. J.), S. 63 ff., letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹³² Vgl. Prof. Dr.-Ing. habil. Glück, Bernd (1999).

¹³³ Vgl. EnEV (2014), letzter Zugriff in 2022-10-28.

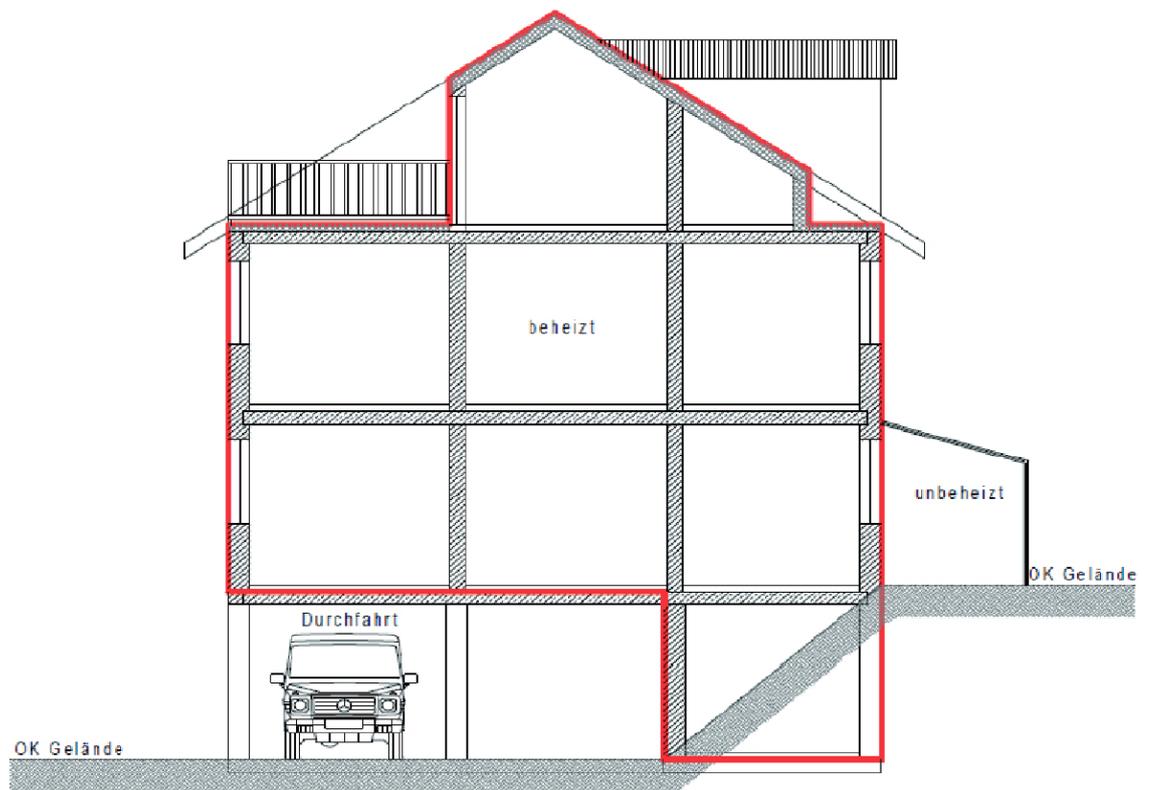


Abbildung 8: Beheiztes Gebäudevolumen V_e ¹³⁴

¹³⁴ Darstellung nach Forschungsinitiative Zukunft Bau (2014), letzter Zugriff 2022-10-28.



13.9 Beheiztes Luftvolumen

Das beheizte Gebäudevolumen kann nach DIN EN 832 wie folgt in das beheizte Luftvolumen umgerechnet werden:

- Wohngebäude mit bis zu drei Vollgeschossen: $V = 0,76 \times V_e$ (in m^3)
- Übrige Gebäude: $V = 0,8 \times V_e$ (in m^3)¹³⁵

13.10 Bivalent (Heizung)

Wenn zur Raumheizung und/oder Warmwasserbereitung zwei Wärmeerzeuger die benötigte Wärmeenergie produzieren, spricht man von einem bivalentem Heizsystem. Oft genutzt werden hierfür die Kombination einer Wärmepumpe für die Grundlast mit einem herkömmlichen Heizkessel für die Spitzenlast oder ein Gas-Brennwertkessel kombiniert mit einer Solarthermie-Anlage. Als Wärmetauscher wird hierbei für die Warmwasseraufbereitung ein bivalenter Warmwasserspeicher mit jeweils zwei Rohrschlangen, eine für die Solarthermie und eine für den Heizkessel, eingesetzt.¹³⁶

13.11 Blower-Door (Differenzdruck-Verfahren)

Um beim nachhaltigen Bauen im Hinblick auf die Energieeffizienz eine dichte Gebäudehülle zu gewährleisten, wird mit dem Blower-Door-Verfahren oder auch Differenzdruck-Verfahren genannt, ein Gebäude auf Dichtigkeit überprüft. Wichtig ist es den unkontrollierten Luftaustausch, welcher gleichzeitig auch zum Wärmeaustausch führen, aber zusätzlich auch die Konstruktion durchfeuchten kann, möglichst zu unterbinden.

Verfahren:

Um einen Überdruck erzeugen und undichte Stellen in der Konstruktion aufspüren zu können, wird die Haustür durch einen gedichteten Rahmen mit Ventilator ersetzt. Mithilfe des Ventilators in der Haustür kann ein Überdruck von 50 Pa erzeugt werden, unterdessen mit Rauch undichte Stellen sichtbar gemacht werden können. Die nachgeführte Luftmenge pro Stunde im Vergleich zum Raumvolumen ist ein Maß für die Luftdichtigkeit. Beispielsweise wird mit dem Gebäudevolumen als Bezugsgröße der n_{50} -Wert, welcher angibt wie oft das gesamte Gebäudeinnenvolumen unter einer Druckdifferenz von 50 Pa in einer Stunde ausgetauscht wird, ermittelt.¹³⁷

¹³⁵ Vgl. EneV (2014), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹³⁶ Vgl. Rosenkranz, Alexander (2021b), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹³⁷ Vgl. ISOCELL GmbH & Co KG (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



Niedrigenergie-Häuser sollten demnach ihr gesamtes im Gebäude befindliches Luftvolumen bei einem Überdruck von 50 Pa innerhalb von einer Stunde nur einmal komplett austauschen, es wird beim Bauen eine Luftwechselrate von 1 angestrebt. Verfahren zur Messung findet man in der DIN EN 13829, zulässige Grenzwerte werden in der DIN 4108-7 und dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) in §26 aufgeführt.¹³⁸¹³⁹¹⁴⁰

13.12 Dampfbremse

Um das Diffundieren von Wasserdampf in die Wärmedämmung eines Gebäudes einzuschränken, wird eine Dampfbremse, meist eine Folie oder Pappe, verwendet. Im Gegensatz zur dampfdiffusionsdichten Dampfsperre, ist die Dampfbremse nur diffusionshemmend. Beide werden in Gebäuden raumseitig angebracht und stellen die konstruktionsabhängige Luftdichtigkeit her.¹⁴¹ In Deutschland wird nach DIN 4108-3 in diffusionsoffen, -hemmend, -bremsend, und -sperrend unterschieden.¹⁴²

13.13 Diffusion

Die Diffusion beschreibt den ohne äußere Einwirkungen ablaufenden Ausgleichvorgang von Konzentrationsunterschieden in Stoffgemischen als Folge natürlich ablaufender physikalischer Prozesse, beruhend auf der Eigenbewegung der beteiligten Teilchen. Demzufolge führt dies zu einer im Gleichgewicht befindlichen vollständigen Durchmischung zweier oder mehrerer Stoffe (meist Gase oder Flüssigkeiten).

Im Bauwesen spielt die Wasserdampfdiffusion eine wichtige Rolle.¹⁴³¹⁴⁴

13.14 Dreifachverglasung

Dreifach verglaste Fenster, zusammen mit einem gut gedämmten Fensterrahmen isolieren besonders gut und reduzieren Transmissionswärmeverluste. Die Kälte bleibt draußen und die Sonne kann durchscheinen und das Gebäude aufheizen, ein Vorteil, der sich u. a. auch bei Passivhäusern zu Nutze gemacht wird.¹⁴⁵

¹³⁸ Vgl. BlowerDoor Service Köln (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹³⁹ Vgl. EneV (2014), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁴⁰ Vgl. DIN, S. 8 ff. (2001), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁴¹ Vgl. Prof. Dr. Partsch, Gerhard (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁴² Vgl. DIN (2010), S. 8 ff., letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁴³ Vgl. Dr. Ühlein, Erhard (1969).

¹⁴⁴ Vgl. Arnold, Arni (1998), S. 224.

¹⁴⁵ Vgl. Tackmann, Undine (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.



13.15 Emission

Im Allgemeinen bedeutet Emission den Austritt oder Ausstoß von Teilchen, Stoffen, Strahlungen oder (Schall-)Wellen, wie beispielsweise von Abgasen, elektromagnetischen Wellen oder auch Lärm, in die Umwelt. Die Emissionsquelle wird auch als Emittent bezeichnet.

13.16 Gebäudehülle

Als Gebäudehülle wird die Fläche bezeichnet, welche alle Bauteile eines Gebäudes, die dieses nach außen abschließen umfasst. Dazu gehören beispielsweise Türen, Fenster, Wände, Dachflächen und Böden.

Die thermische Gebäudehülle umfasst alle Bauteile, welche beheizte Räume von der Außenluft, vom Erdreich und unbeheizten Räumen abtrennen. Somit sind ihre Eigenschaften ausschlaggebend für den Transmissionswärmebedarf eines Gebäudes und in Anbetracht einer nachhaltigen Bauweise sehr wichtig.^{146 147}

13.17 Grundfläche (Architektur)

13.17.1 Brutto-Grundfläche (BGF)

Die Bruttogrundfläche (BGF) berechnet sich aus der Grundfläche aller Geschosse oder Teilbereiche eines Gebäudes in m². Bestandteile der BGF sind demnach die Netto-Raumfläche (NRF) untergliedert in Nutzungsfläche (NUF), Technikfläche (TF) und Verkehrsfläche (VF) sowie die Konstruktions-Grundfläche (KGF) bestehend aus der Außenwand-Konstruktions-Grundfläche (AKF), der Innenwand-Konstruktions-Grundfläche und der Trennwand-Grundfläche.

Berechnet wird nach Planmaßen (Soll-Maße) oder nach den tatsächlichen Abmessungen (Ist-Maßen), wobei nach DIN 277 die äußeren Maße (Außenseite einschließlich Bekleidung) des Bauwerkes gewählt werden.

Im Sonderfall wird bei durch Geländer oder Brüstungen begrenzten Grundflächen, die nicht von Wänden, Decken oder Böden umschlossen sind (z.B.: Balkone, Loggien, ...) bis zur Außenkante des am weitesten außenliegenden Bestandteiles dieser Konstruktion in Höhe der Oberkante des Boden- oder Deckenbelags gemessen.

¹⁴⁶ Vgl. Verbraucherzentrale NRW e.V. (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁴⁷ Vgl. Bundesamt für Justiz (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



Im Regelfall werden in die BGF-Grundflächen von Installations- und Aufzugsschächten in jedem Stockwerk, durch das sie führen sowie Grundflächen noch ohne Zweckbestimmung miteingeschlossen. Die Grundflächen sind nach Geschossebene, sowie Flächen über schräg verlaufenden und unter schräg verlaufenden Flächen als auch nach Ausbaustand getrennt. Zusätzlich ist erforderlich das Messverfahren und die zugrundeliegenden Unterlagen der Bauplanung anzugeben.

Die BGF dient zudem als Bezugseinheit zur Bestimmung der Baukosten nach DIN 276, wobei die „DIN 227 – Grundflächen und Rauminhalte im Hochbau“ die Ermittlung der BGF beschreibt.¹⁴⁸

13.17.2 Nettogrundfläche (NGF) / Nettoraumfläche (NRF)

Die Nettogrundfläche (NGF) setzt sich aus der Nutzungsfläche (NUF), der Technikfläche (TF) sowie der Verkehrsfläche (VF) zusammen, wird in der DIN 277 definiert und in m² angegeben. Somit ist sie die Grundfläche aller Grundriss Ebenen exklusive der Konstruktionsgrundfläche. Die Nettogrundfläche beschreibt die gesamte nutzbare Fläche eines Gebäudes wobei folgende Grundflächen eingeschlossen werden:

- Freiliegende Installationen
- Fest eingebaute Gegenstände und technischen Anlagen wie z.B. Ofen, Heiz- und Klimatisierungsgeräte, Dusch- oder Badewannen
- Einbaumöbeln
- Bewegliche, versetzbare Raumteiler
- Installationskanäle und –schächte, wie auch Kriechkeller über 1 m² lichtem Querschnitt
- Aufzugsschächte¹⁴⁹

13.17.3 Konstruktions-Grundfläche (KGF)

Die Konstruktions-Grundfläche (KGF) eines Gebäudes in m² bildet nach DIN 227 die Summe aller Grundflächen der aufgehenden Bauteile aller Grundrissebenen und kann in Außenwand-Konstruktions-Grundfläche (AKF), Innenwand-Konstruktions-Grundfläche (IKF) und Trennwand-Grundfläche (TGF) unterteilt werden. Eingeschlossen werden die Grundflächen von aufgehenden Bauteilen wie:

- Wänden, Stützen, Pfeilern, Schornsteinen

¹⁴⁸ Vgl. Butlerium GmbH (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁴⁹ Vgl. ista Deutschland GmbH (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



- Raumhohen Vermauerungen, Vorwandinstallationen und Bekleidungen
- Installationshohlräumen
- Wandöffnungen z.B. Türen, Fenster, Durchgänge und Wandnischen
- Installationskanälen und Aufzugsschächten sowie Kriechkellern bis 1 m² lichte-m Querschnitt

Zur Berechnung der KGF werden nach DIN 227 die Fertigmaße des Bauwerkes einschließlich der Bekleidung in Höhe der Oberkanten der Boden- und Deckenbeläge angesetzt. Als Differenz von Brutto-Grundfläche (BGF) und Netto-Raumfläche (NRF) lässt sich die KGF vereinfacht ermitteln.

Wenn ein Bauprojekt aus mehreren funktional, wirtschaftlich oder räumlich abgrenzbaren Bauwerken oder Bauabschnitten besteht, müssen die Flächen sowie bei unterschiedlichem Ausbaustand getrennt bestimmt werden.

Da die Flächenermittlung sich nach dem Stand der Bauplanung und der jeweils erarbeiteten Planungsunterlagen richtet, sind die verwendeten Planungsunterlagen anzugeben.

Nach DIN 276 kann die Konstruktions-Grundfläche zur Ermittlung der Baukosten als Mengen- und Bezugseinheit verwendet werden.¹⁵⁰

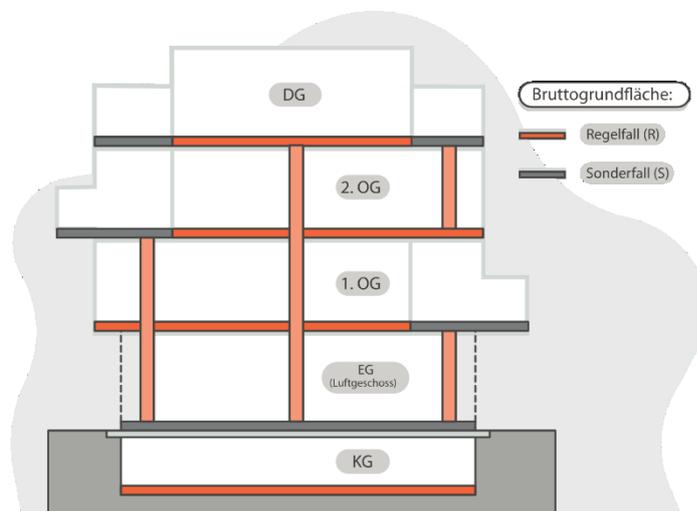


Abbildung 9: Brutto-Grundfläche eines Gebäudes¹⁵¹

¹⁵⁰ Vgl. f:data GmbH (2021b), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁵¹ Darstellung nach Butlerium GmbH (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



13.17.4 Gebäudenutzfläche A_N

Die im beheizten Gebäudevolumen (V_e) nutzbare Fläche wird als Gebäudenutzfläche (A_N) bezeichnet.

Diese wird unter Berücksichtigung der üblichen Raumhöhe aus dem beheizten Gebäudevolumen berechnet, wobei die durch Innen- und Außenbauteile beanspruchte Fläche abgezogen wird. Typischerweise ist die Gebäudenutzfläche größer als die Wohnfläche, da zum Beispiel auch indirekt beheizte Flächen wie Flure und Treppenhäuser einbezogen werden. Die Gebäudenutzfläche A_N (in m^2) kann mithilfe des beheizten Gebäudevolumens V_e (in m^3) nach der EnEV bei Wohngebäuden mit der Formel $A_N = 0,32m^{-1} \cdot V_e$ näherungsweise berechnet werden.¹⁵²

13.18 Obsoleszenz

Aus dem Lateinischen übersetzt bedeutet „obsolescere“, „alt werden, sich abnutzen, an Wert verlieren“.¹⁵³

Das Veralten von Produkten und die Weiterentwicklung Wissen, vor allem in Industrie und Wirtschaft aufgrund der begrenzten Nutzungsdauer, z. B. durch subjektive Einschätzung von Individuen bezüglich Überalterung, technischer Produkte, der Veränderung der Mode oder dem technischen Fortschritt nennt man Obsoleszenz.¹⁵⁴

Demnach haben Gebrauchsgegenstände eine zeitlich begrenzte Lebensdauer, die wiederholter Benutzung mit einhergehender Abnutzung bzw. Verschleiß und Materialermüdung bis hin zum Verlust der Funktionsfähigkeit geschuldet ist.

Aus wirtschaftlichen und marktstrategischen Gründen absichtlich durch die Hersteller verkürzte oder begrenzte Produktlebenszyklen (maximale Nutzung und Lebensdauer) wird als geplante Obsoleszenz bezeichnet.¹⁵⁵

¹⁵² Vgl. Viessmann Climate Solutions SE (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁵³ Vgl. Hermann, Ursula (1983), S. 340.

¹⁵⁴ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon (1988), Sp. 581.

¹⁵⁵ Vgl. Hess, Christian (2018), S. 57 f.



13.19 Rezyklat

Ein Rezyklat ist ein Produkt, Gegenstand oder Stoff eines Recyclingprozesses und umfasst dabei alle Gegenstände und Stoffe, welche komplett oder auch nur teilweise aus wiederverwerteten Materialien des Recyclings stammen. Der Grundgedanke dabei ist, dass Post Consumer Abfälle, also alte Produkte nach ihrem Lebenszyklus so wiederverwertet werden, dass das recycelte Material wieder als Rohstoff eines neuen Produktes dienen kann. Der Wertstoffkreislauf schließt sich und Müll wird nach der Wiederverwertung zum Ausgangsmaterial weiterer Stoffe.¹⁵⁶

13.20 Urban Mining Index

Mithilfe des Urban Mining Indexes lassen sich unter Berücksichtigung der Konstruktion Zirkularitätsraten über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes berechnen.

Wenn im Bauwesen über die Rückbau- und Recyclingfähigkeit gesprochen wird, sind die Recyclingfähigkeit der Materialien und deren Fügung zwei sehr wichtige Merkmale. Die Recyclingfähigkeit leidet darunter, wenn wir Materialien fest zusammenfügen, so dass sie nicht mehr, oder nur noch schwer voneinander lösbar und sortenrein trennbar sind. Aufgrund ständig steigender Anforderungen an Wärme-, Schall-, und Brandschutz wurden jedoch von der Baustoffindustrie zum Beispiel bei späterem Rückbau nur sehr schwer oder gar nicht trennbare Kompositbaustoffe entwickelt. Der Aufwand, der durch den Rückbau und die Trennung von Materialien entsteht, wird im Sinne des Urban Mining Indexes mithilfe der berechneten Zirkularitätsraten ausgedrückt und mit der Recyclingfähigkeit eines Materials verrechnet.

Folglich können Kreislaufpotenziale von Bauvorhaben quantitativ über den gesamten Lebenszyklus in Bezug auf die entstehenden Wert- und Abfallstoffe berechnet und nach ihrem Nachnutzen (in Form von Qualitätsstufen) bewertet werden.¹⁵⁷

¹⁵⁶ Vgl. Rossmann (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁵⁷ Vgl. Dr. Rosen, Anja (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



13.21 Zirkuläres Produkt

Alle Materialien eines zirkulären Produktes müssen biologisch abbaubar oder recycelbar sein um diese am Ende des Produktlebenszyklus als Ressource wieder in den Kreislauf zurückführen zu können. Wichtige Bausteine hin zur Zirkularität sind demnach das ganzheitliche, lebenszyklusorientierte Produktdesign und die Materialauswahl.¹⁵⁸

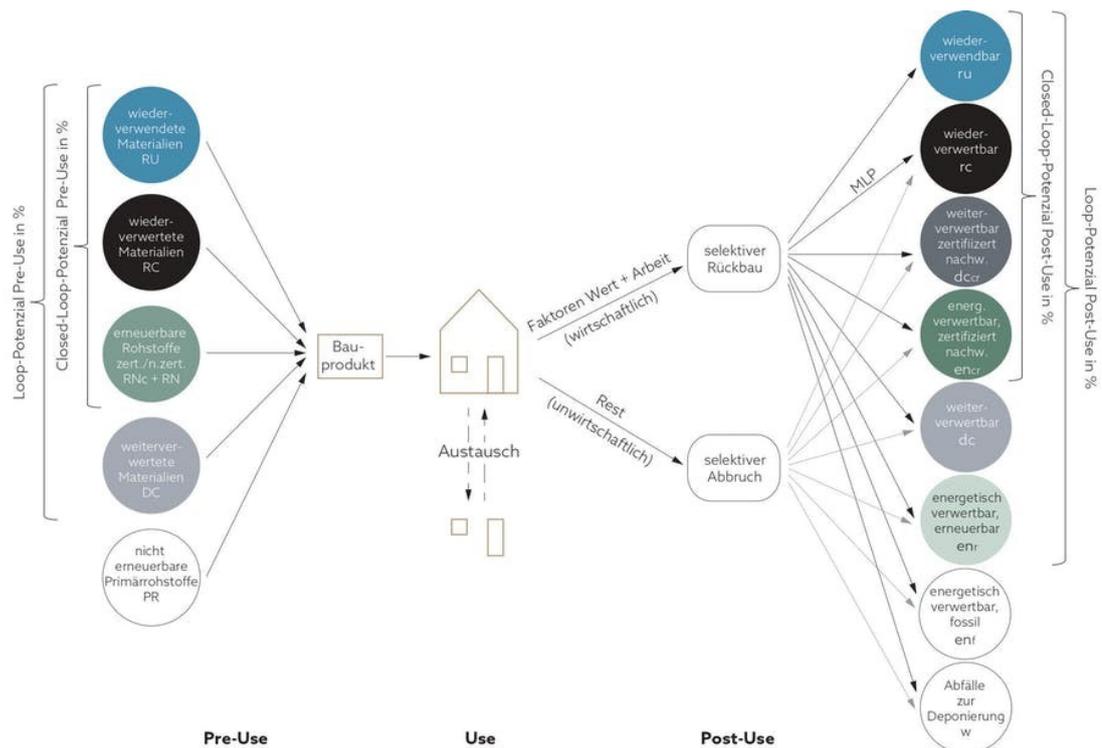


Abbildung 10: Urban Mining Index¹⁵⁹

¹⁵⁸ Vgl. Kaegi, Christian (2020), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁵⁹ Darstellung nach competitionline (2021), letzter Zugriff 2022-10-28.



14 Gesetze und Verordnungen

14.1 EEWärmeG

Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) dient neben dem die Stromerzeugung betreffenden Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) und dem die Verwendung von erneuerbaren Energien im Bereich der Kraftstoffe regelnden Biokraftstoffquotengesetz (BiokraftQuG) zur Schonung fossiler Ressourcen und der Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten im Interesse des Klimaschutzes um eine nachhaltige Entwicklung der Wärme- und Kälteversorgung zu ermöglichen sowie die Weiterentwicklung der Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien zu fördern. Ziel ist es den Ausbau erneuerbarer Energien im Wärme- und Kältesektor bei der energetischen Gebäudeversorgung voranzutreiben um dazu beizutragen den Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis 2020 auf 14 Prozent zu steigern.¹⁶⁰

14.2 EnEG

Ziel des Energieeinsparungsgesetz (EnEG) ist es in Gebäuden nur so viel Energie wie notwendig zu verbrauchen um eine Energieverschwendung zu vermeiden. Das EnEG enthält Ermächtigungen um Verordnungen wie die Energieeinsparverordnung (EnEV) zu erlassen. Im Mittelpunkt des Gesetzes stehen die Wärmedämmung der Außenhülle sowie eine effiziente Heiztechnik. Werden Vorschriften, die den Energieverbrauch senken sollen, nicht in verpflichtenden Sanierungsmaßnahmen umgesetzt, drohen ebenfalls im EnEG geregelte Bußgelder. Auf Basis der Vorgaben der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2010/31/EU) wird angestrebt die Gebäude im Hinblick auf die energetischen Anforderungen an den Stand der Technik anzupassen und Neubauten so effizient wie möglich zu gestalten.¹⁶¹

14.3 EnWG

Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) enthält grundlegende Regelungen zum Recht der leitungsgebundenen Energieversorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität, Gas und Wasserstoff sowie einem zunehmenden Anteil an erneuerbaren Energieträgern.

¹⁶⁰ Vgl. BMWK (o. J.b), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁶¹ Vgl. Hartl, Robert (2020), letzter Zugriff in 2022-10-28.



Prioritär wird eine möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente, umweltverträgliche und treibhausneutrale Energieversorgung im Sinne des unverfälschten Wettbewerbes mit der Gewährleistung langfristig leistungsfähiger und zuverlässiger Energieversorgungsnetze angestrebt.¹⁶²

14.4 EnEV

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) war eine Verordnung über energiesparende Anlagentechnik und energiesparenden Wärmeschutz im Bauwesen, die am 01.11.2020 durch das Gebäudeenergiegesetz (GEG) abgelöst wurde.¹⁶³ Die EnEV legt Grenzwerte für den maximalen Energiebedarf eines Gebäudes fest und regelt die Bedarfsberechnung, welche auch die Wärmebedarfsberechnung beinhaltet.¹⁶⁴

14.5 Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) führt das Energieeinspargesetz (EnEG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) zusammen und dient einer möglichst sparsamen Energienutzung in Gebäuden bei zunehmender Nutzung erneuerbarer Energien zur Erzeugung von Kälte, Strom und Wärme. Im Hinblick auf den Aspekt der Wirtschaftlichkeit, soll das Gesetz dem Klimaschutz, der Schonung fossiler Ressourcen und der Beseitigung von Energieimportabhängigkeiten dienen und eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung ermöglichen.¹⁶⁵

¹⁶² Vgl. BMWK (o. J.a), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁶³ Vgl. immowelt GmbH (2020), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁶⁴ Vgl. Hegner, Hans-Dieter; Vogler Ingrid (2006).

¹⁶⁵ Vgl. Heinze GmbH (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.



14.6 Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI

Die von der Bundesregierung ausgearbeitete Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) ist eine Rechtsverordnung zur Regelung der Honorare für Architekten- und Ingenieursleistungen in Deutschland. Dabei umfasst die geltende Fassung vom 01.01.2021 die Vergütung der (Planungs-)Leistungen von Ingenieuren und Architekten in den Bereichen des Bauwesens und der Stadtplanung, wobei Ingenieure der Bereiche Umweltverträglichkeit, Vermessungswesen, Bauphysik und Bodenmechanik, sowie aus den Bereichen Verfahrens-, Elektro- und Prozesstechnik, Maschinen- und Anlagenbau, welche keinen direkten Bezug zur Technik eines Bauwerkes haben ausgenommen sind. Wichtig hierbei ist, dass die HOAI für alle Personen, die im inländischen Ingenieurbauwesen tätig sind, unabhängig von ihrer tatsächlichen Ausbildung gilt.¹⁶⁶

Die HOAI ist in fünf Teile mit 58 Paragraphen unterteilt:

- Teil 1 Allgemeine Vorschriften
- Teil 2 Flächenplanung
 - Abschnitt 1 Bauleitplanung
 - Abschnitt 2 Landschaftsplanung
- Teil 3 Objektplanung
 - Abschnitt 1 Gebäude und Innenräume
 - Abschnitt 2 Freianlagen
 - Abschnitt 3 Ingenieurbauwerke
 - Abschnitt 4 Verkehrsanlagen
- Teil 4 Fachplanung
 - Abschnitt 1 Tragwerksplanung
 - Abschnitt 2 Technische Ausrüstung
- Teil 5 Übergangs- und Schlussvorschriften¹⁶⁷

¹⁶⁶ Vgl. Einbock GmbH (o. J.), letzter Zugriff in 2022-10-28.

¹⁶⁷ Vgl. HHH GbR (2021), letzter Zugriff in 2022-10-28.



15 Literaturverzeichnis

15.1 Monografien und Sammelwerke

Arni, Arnold (1998):

Verständliche Chemie, 3. Auflage, Wiley-VCH Verlag,
ISBN 978-3-527-29542-5.

Baehr, Hans Dieter; Kabelac, Stephan (2016):

Thermodynamik, 16. Auflage, 3.3 Die Anwendung des 2. Hauptsatzes auf
Energieumwandlungen: Exergie und Anergie, Springer-Verlag GmbH,
ISBN 978-3-662-49567-4.

Bošnjaković, Fran; Knoche, K. F. (1998):

Technische Thermodynamik, Teil 1, 8. Auflage, Steinkopff-Verlag, Darm-
stadt, ISBN 9783798511149.

DIN (1998):

DIN 4102-1:1998-05 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1:
Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen“, S. 3 ff., Deutsches Insti-
tut für Normung e.V., Berlin.

Dr. Erhard Ühlein (1969):

Römpps chemisches Wörterbuch, Franckhsche Verlagsbuchhandlung, Stutt-
gart.

Dunst, Marcus (2022):

Lüftungsanlagen in öffentlichen Gebäuden, Entscheidungshilfen für Bauher-
ren, Springer Vieweg Wiesbaden, ISBN 978-3-658-35752-8.

EnEV (2014):

EneV 2014 Anlagen, Gabler Wirtschaftslexikon, Sp. 581 (1988): Band 4 L-P,
Gabler Verlag, ISBN-13 9783409303545.

Gabler Wirtschaftslexikon, Sp. 581 (1988):

Band 4 L-P, Gabler Verlag, ISBN-13: 9783409303545.

GEO (2006): Themenlexikon Bd. 1 Unsere Erde. ISBN 3-7653-9421-1

F. A. Brockhaus, Mannheim.



Hardtke, Arnd; Prehn, Marko (2001):

Perspektiven der Nachhaltigkeit, Vom Leitbild zur Erfolgsstrategie, 1. Auflage, Gabler Verlag Wiesbaden, ISBN 978-3-322-90834-6.

Hegner, Hans-Dieter Hegner; Vogler, Ingrid (2006):

Energieeinsparverordnung EnEV - für die Praxis kommentiert, Ernst & Sohn, ISBN 978-3-433-01730-2.

Hegner, Hans-Dieter Hegner; Vogler, Ingrid (2006):

Energieeinsparverordnung EnEV - für die Praxis kommentiert, Ernst & Sohn, ISBN 978-3-433-01730-2.

Hermann, Ursula (1983):

Knaurs etymologisches Lexikon, Herkunft und Geschichte unserer Neu- und Fremdwörter, Droemer Knaur Verlag, München, ISBN 9783426260746.

Hess, Christian (2018):

Geplante Obsoleszenz: Rechtliche Zulässigkeit in der Lebensdauerplanung von technischen Gebrauchsgütern, 1. Auflage, Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, ISBN-13 9783845289199.

Monfreda, Chad, Wackernagel; Mathis, Deumling, Diana (2004):

Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts, Land Use Policy 21, S. 231 - 246, Elsevier.

Moran, Daniel; Wackernagel, Mathis; Kitzes, Justin A.; Goldfinger, Steven H.; Bou-
taud, Aurélien (2008):

Ecological Economics, Measuring sustainable development – Nation by nation. Ecological Economics Volume 64, Issue 3, Elsevier.

Pauli, Gunter A. (2010):

The Blue Economy, 10 Years, 100 Innovations, 100 Million Jobs, Report to the Club of Rome, S.7 - 8, 201, Paradigm Publications, ISBN 9780912111902.

Pomberger, Roland (2021):

Über theoretische und reale Recyclingfähigkeit, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 73, S. 24 - 35.



Prof. Dr.-Ing. habil. Glück, Bernd (1999):

Thermische Bauteilaktivierung - Nutzen von Umweltenergie und Kapillarrohren, Heidelberg: C. F. Müller Verlag, Hüthig GmbH, ISBN 3-7880-7674-7.

Schmidt-Bleek, Friedrich; Bierter, Willy (2000):

Das MIPS-Konzept, weniger Naturverbrauch – mehr Lebensqualität durch Faktor 10. Knaur-Taschenbuch 77475, München, ISBN 3-426-77475-5.

Scholz Ulrich et al. (2018):

Praxishandbuch Nachhaltige Produktentwicklung, 2018
Springer-Verlag GmbH Deutschland, Berlin, ISBN 978-3-662-57320-4.

Suttor Wolfgang (2014):

Blockheizkraftwerke – Ein Leitfaden für den Anwender, 8. überarbeitete Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, ISBN 978-3-8167-9303-8.

Wackernagel, Mathis; Beyers, Bert (2010):

Der Ecological Footprint. Die Welt neu vermessen. Europäische Verlagsanstalt, Hamburg, ISBN 978-3-931705-32-9.

Wackernagel, Mathis; Monfreda, Chad; Moran, Daniel; Wermer, Paul; Goldfinger, Steve; Deumling, Diana; Murray, Michael (2005):

National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method, Global Footprint Network.

Wackernagel, Mathis; Rees, William (1997):

Unser ökologischer Fußabdruck, Wie der Mensch Einfluß auf die Umwelt nimmt, Der ökologische Fußabdruck für Anfänger, S. 21. ff., ISBN: 978-3-7643-5660-6.



15.2 Internetquellen

Academic (o. J.):

Bauteil (Bauwesen). de-academic.com, <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/147080>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Academic (o. J.):

Transmissionswärme. <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/1408396>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

ARD Alpha (2021):

Solarthermiekraftwerke, Strom aus gebündelten Sonnenstrahlen.
<https://www.ardalpha.de/wissen/umwelt/nachhaltigkeit/solarthermie-sonnenkraft-erneuerbare-energie-100.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Bauer, Joa (2008):

Industrielle Ökologie: theoretische Annäherung an ein Konzept nachhaltiger Produktionsweisen, Institut für Volkswirtschaftslehre und Recht der Universität Stuttgart,
https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/5515/1/Dissertation_Bauer_.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Baunetz Wissen (o. J.a):

Biomasse.
<https://www.baunetzwissen.de/glossar/b/biomasse-675839>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Baunetz Wissen (o. J.b):

Graue Energie. <https://www.baunetzwissen.de/glossar/g/graue-energie-664290>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BauundEnergie.info (2018):

Energiekennzahl.
<https://www.bauundenergie.info/Lexikon/Energiekennzahl-51948.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008):

Der Ökologische Fußabdruck.
https://bsj.org/BSJ/newsletter/pdf/oekologischer_fussabdruck_by.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Berliner Wasserbetriebe (o. J.):

VIRTUELLES WASSER, Wasser versteckt in unserem Einkaufskorb,
https://klassewasser.de/content/language1/downloads/klassewasser_Info%20virtuelles%20wasser_produkthalerie.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BlowerDoor Service Köln (o. J.):

Der BlowerDoor Test zur Überprüfung der Luftdichtheit von Gebäuden.
<https://www.blowerdoorservice-koeln.de/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BMBF (o. J.):

Green Economy: Gesellschaftlicher Wandel, Bundesministerium für Bildung und Forschung, https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/green-economy/green-economy_node.html, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BMJ, BfJ (2016):

Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung - BiomasseV)
<http://www.gesetze-im-internet.de/biomassev/BiomasseV.pdf>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BMUV (o. J.):

Energieeinsparverordnung Nichtamtliche Lesefassung zur Zweiten Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013, [bmuv.de](http://www.bmuv.de).

https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Energieeffizient_Bauen/energiesparverordnung_lesefassung_bf.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BMWK (o. J.a):

Energiewirtschaftsgesetz (EnWG). <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Standardartikel/energiewirtschaftsgesetz.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BMWK, (o. J.b):

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG), https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/Das_EE-WaermeG/das_eewaermeg.html, letzter Zugriff in 2022-10-28.



BNB (2011a):

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Büro- und Verwaltungsgebäude. Hauptkriteriengruppe: Ökologische Qualität, Kriteriengruppe: Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt, Kriterium: Treibhauspotenzial (GWP), BMVBS Version 2011_1, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BNB (2011b):

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Büro- und Verwaltungsgebäude. Hauptkriteriengruppe: Ökologische Qualität, Kriteriengruppe: Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt, Kriterium: Ozonschichtabbaupotenzial (ODP), BMVBS Version 2011_1, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BNB (2011c):

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Büro- und Verwaltungsgebäude. Hauptkriteriengruppe: Ökologische Qualität, Kriteriengruppe: Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt, Kriterium: Ozonbildungspotenzial (POCP), BMVBS Version 2011_1, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BNB (2011d):

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Büro- und Verwaltungsgebäude. Hauptkriteriengruppe: Ökologische Qualität, Kriteriengruppe: Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt, Kriterium: Versauerungspotenzial (AP), BMVBS Version 2011_1, letzter Zugriff in 2022-10-28.

BNB (2011e):

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Büro- und Verwaltungsgebäude. Hauptkriteriengruppe: Ökologische Qualität, Kriteriengruppe: Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt, Kriterium: Überdüngungspotenzial (EP), BMVBS Version 2011_1, letzter Zugriff in 2022-10-28.

bpb (2021):

Primärenergie-Versorgung. Bundeszentrale für politische Bildung, <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/globalisierung/52741/primaeenergie-versorgung/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Braungart, Michael (o.J.):

Cradle to Cradle, <https://epea.com/ueber-uns/cradle-to-cradle>, EPEA, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Bundesamt für Justiz (o. J.):

Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden* (Gebäudeenergiegesetz - GEG) § 1 Zweck und Ziel. https://www.gesetze-im-internet.de/geg/___1.html, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Butlerium GmbH (o. J.):

Bruttogrundfläche (BGF). <https://www.grundriss-butler.de/bruttogrundflaeche>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Büttgen, Laura (2015):

Nachhaltigkeit Definition. Lexikon der Nachhaltigkeit, https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/definitionen_1382.htm, letzter Zugriff in 2022-10-28.

co2online (o. J.):

Endenergie.
<https://www.co2online.de/glossar/de/default/definition/endenergie/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Destatis (o. J.):

Umwelt, Global Warming Potential (GWP), <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Glossar/gwp.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Deutsche Bank AG (2021):

Blue Economy: die nachhaltige Revolution. <https://www.deutsche-bank.de/pk/sparen-und-anlegen/finanzmarktexpertise/markt-und-meinung/blue-economy--die-nachhaltige-revolution.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

DGVN (o. J.a):

Die Ziele für nachhaltige Entwicklung. Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen e.V.,
https://nachhaltig-entwickeln.dgvn.de/agenda-2030/ziele-fuer-nachhaltige-entwicklung/?pk_campaign=cpc&pk_kwd=17%20sdg, letzter Zugriff in 2022-10-28.



DGVN (o. J.b):

SDGs. Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen e.V. <https://nachhaltig-entwickeln.dgvn.de/agenda-2030/ziele-fuer-nachhaltige-entwicklung/sdgs#c21161>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

DIN (2001):

Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden. Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert), Deutsche Fassung EN 13829:2000, DIN 13829:2000, https://ibburkhardt.de/dokumente/EN_13829_zur_Verbreitung_BD.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

DIN (2010):

DIN 4108-3:2010-07, DIN Deutsches Institut für Normung e.V, Normenausschuss Bauwesen (NABau), https://www.ift-rosenheim.de/documents/10180/114265/E-DIN_4108-3_2010-07-06.pdf/d5d80fee-6fde-459c-97ec-a5a06ce624a9?version=1.0, letzter Zugriff in 2022-10-28.

DIN (2012):

EN ISO 10209 – Technische Produktdokumentation; Vokabular; Begriffe für technische Zeichnungen, Produktdefinition und verwandte Dokumentation, Allgemeine Begriffe, Beuth, Berlin, November 2012. https://elearning.hs-ruhrwest.de/pluginfile.php/294487/mod_folder/content/0/DIN%20EN%20ISO%2010209_2012%20-%20Technische%20Produktdokumentation%20%E2%80%93%20Vokabular%20%E2%80%93%20Begriffe%20f%C3%BCr%20technische%20Zeichnungen%20-%20Produktdefinition%20und%20verwandte%20Dokumentation.pdf?forcedownload=1, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Dr. Paschotta, Rüdiger (2020):

Energiebilanz eines Gebäudes. RP-Energie-Lexikon, https://www.energie-lexikon.info/energiebilanz_eines_gebaeudes.html, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Dr. Paschotta, Rüdiger (2021a):

Graue Energie. https://www.energie-lexikon.info/graue_energie.html, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Dr. Paschotta, Rüdiger (2021b):

Nutzenergie. RP-Energie-Lexikon, <https://www.energie-lexikon.info/nutzenergie.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Dr. Paschotta, Rüdiger (2021c):

Holzhackschnitzel. <https://www.energie-lexikon.info/holzhackschnitzel.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Dr. Paschotta, Rüdiger (2022a):

Exergie, RP-Energie-Lexikon, <https://www.energie-lexikon.info/exergie.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Dr. Paschotta, Rüdiger (2022b):

Holzpellets. RP-Energie-Lexikon, <https://www.energie-lexikon.info/holzpellets.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Dr. Rosen, Anja (o. J.):

Das ist der Urban Mining Index. <https://urban-mining-index.de/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Dr. Thomas, Stefan et al. (2008):

Definition Energieeffizienz, Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, https://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/energieeffizienz_definition.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Dr. Welfens, M. J. et al. (2013):

Factsheets / Überblick, Mobiltelefone: Ökologischer Rucksack, Nachhaltigkeit in der Wertschöpfungskette, Recycling, Factsheet 4, Ökologischer Rucksack – Daten, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, https://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/Mobiltelefone_Factsheets.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Dzjubin, Alexej (2017):

Produktlebenszyklen und Nachhaltigkeit. Untersuchung von Produktcharakteristika und Interdependenzen, <https://www.grin.com/document/446804>, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Einbock GmbH (o. J.):

HOAI - Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen. JuraForum.de, <https://www.juraforum.de/gesetze/hoai/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

EnergieSchweiz (2017):

Ermittlung der Energiebezugsfläche (EBF). Energiebezugsfläche AE (EBF), EnergieSchweiz, https://www.local-energy.swiss/dam/jcr:0efe9b8c-1833-4863-b85c-80b2f9da52ac/Ermittlung_der_Energiebezugsflaeche_EBF.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

EPEA Switzerland (o. J.a):

Von der Wiege zur Wiege — Produktionsprozesse neu denken. Die 2 Systeme: biologischer und technischer Kreislauf, <https://www.epeaswitzerland.com/cradle-to-cradle/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

EPEA Switzerland (o. J.b):

Von der Wiege zur Wiege —Produktionsprozesse neu denken. Ökoeffizienz und Ökoeffektivität. <https://www.epeaswitzerland.com/cradle-to-cradle/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

f:data GmbH (o. J.a):

DIN EN 12056-1 | 2001-01, Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen. <https://www.baunormenlexikon.de/norm/din-en-12056-1/64a695ff-dd4c-4fc3-8aa2-e85bbf1c17e4>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

f:data GmbH (2021b):

Konstruktions-Grundfläche (KGF). Bauprofessor.de, f:data GmbH, 02.10.2021, <https://www.bauprofessor.de/konstruktions-grundflaeche/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

FIS (o. J.):

Reflexion und Absorption. Fernerkundung in Schulen (FIS), Geographisches Institut der Universität Bonn, <https://www.fis.uni-bonn.de/recherchetools/infobox/profis/was-ist-fernerkundung/reflexion-und-absorption>, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Fraunhofer IBP (o. J.):

Ökobilanzierung. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP,
<https://www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/methoden-ganzheitliche-bilanzierung/oekobilanzierung.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Gebhardt, Klaus (o. J.):

Das Umwelt-Lexikon. Ökoeffektivität.
<https://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/41-lexikon-o/2178-oekoeffektivitaet.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Global Footprint Network (2010):

Der Footprint - eine Einführung, https://web.archive.org/web/20130929041020/http://www.footprintnetwork.org/de/index.php/GFN/page/basics_introduction/
(Internet Archive, Momento vom 29.09.2013), letzter Zugriff in 2022-10-28.

Global Footprint Network (o. J.):

Glossary - biological capacity or biocapacity,
<https://www.footprintnetwork.org/resources/glossary/#biocapacity>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Grimm, Roland (2016):

Wärmeverluste: Was sagt das A/V-Verhältnis von Gebäuden aus?
<https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/bauphysik/waermeverluste-was-sagt-das-av-verhaeltnis-von-gebaeuden-aus/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Grundmann, Melina (2018):

Graue Energie im Alltag. Deutsche Welle:
<https://p.dw.com/p/2vUC9>, 05.04.2018, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Hartl, Robert (2020):

Energieeinsparungsgesetz (EnEG). <https://www.energie-wissen.info/energie-gesetze/energieeinsparungsgesetz.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Heinze GmbH (o. J.a):

Baunetz_Wissen_Nachhaltig Bauen, Fernwärme, <https://www.baunetzwissen.de/glossar/f/fernwaerme-1442855>, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Heinze GmbH (o. J.b):

Baunetz_Wissen_Holz. Gebäudehülle, <https://www.baunetzwissen.de/glossar/g/gebaeudehuelle-6682889>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Herbst, Heinrich (2008):

Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme. Paderborn 2008. https://publications.rwth-aachen.de/record/50177/files/Herbst_Heinrich.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Herbst, Heinrich (2008):

Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme. Paderborn 2008. https://publications.rwth-aachen.de/record/50177/files/Herbst_Heinrich.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Herbst-Münz, Cornelia (2012):

Ressourcenverbrauch. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, https://www.nachhaltigkeitsstrategie.de/fileadmin/Downloads/Publikationen/Unterrichtsmaterial/Themenhefte/Themenheft_Ressourcen.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

HHH GbR (2021):

HOAI 2021 Volltext, Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – HOAI) – in der Fassung von 2021, <https://www.hoai.de/hoai/volltext/hoai-2021/#P1>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Hoekstra A. Y.; Chapagain A. K. (2006):

Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resour Manage, Springer Science + Business Media B.V. https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra_and_Chapagain_2006.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Hoekstra, Arjen Y. S. (2003):

Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, <https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Report12.pdf#page=13>, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Hoekstra, Arjen Y. S. (2008):

Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis, S. 1964 ff.,

<https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra2008-Ecological-versus-WaterFootprint.pdf>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Horstkotte, Jo (o. J.):

Bauproduktenverordnung 305/2011, ce-zeichen.de, <https://www.ce-zeichen.de/klassifizierung/bauprodukte.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

IBU (o. J.):

EPD Programm, Was ist eine EPD?, Sinn und Nutzen von Umwelt-Produktdeklarationen, Institut Bauen und Umwelt e.V., <https://ibu-epd.com/epd-programm/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

immowelt GmbH (2020):

Die Energieeinsparverordnung (EnEV): Das müssen Bauherren und Hauseigentümer beachten.

<https://www.bauen.de/enev.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Initiative kostengünstig qualitätsbewusst Bauen, umweltgerecht innovativ bezahlbar (o. J.):

Bauen im Lebenszyklus. https://www.offensive-gutes-bauen.de/fileadmin/user_upload/komko/bedarf/3_2_0106.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) (o. J.):

Stoffstrommanagement. <https://www.stoffstrom.org/portfolio-beratung/portfolio/stoffstrommanagement/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

ISO.org (2021):

ISO 6107:2021(en) Water quality — Vocabulary, 3.78 black water, ISO, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6107:ed-1:v1:en>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

ISOCELL GmbH & Co KG (o. J.):

Luftdichtheitsprüfung. <https://www.isocell.com/de-at/luftdichtheitssysteme/themen/luftdichtheitspruefung>, letzter Zugriff in 2022-10-28.



ista Deutschland GmbH (o. J.):

Bruttogrundfläche und Nettogrundfläche. <https://www.ista.com/de/kontakt-service/fachwissen/bruttogrundflaeche-und-nettogrundflaeche/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

ITES – Institut für Technische Energie-Systeme (2018):

Was ist Zirkuläre Wertschöpfung? <https://www.fh-bielefeld.de/iium/ites/hmi2021/zirkulaere-wertschoepfung>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

ITES - Institut für Technische Energie-Systeme (2018):

Was ist Zirkuläre Wertschöpfung?
<https://www.fh-bielefeld.de/iium/ites/hmi2021/zirkulaere-wertschoepfung>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Kaegi, Christian (2020):

«Ein zirkuläres Produkt kennt kein Ende». Christian Kaegi, Qwstion, Circular Hub, April 2020, <https://circularhub.ch/magazin/details/ein-zirkulaeres-produkt-kennt-kein-ende>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Krystallas, Patrick-Anastasios (2017):

Technische, organisatorische und ökonomische Analyse der Fernkälte am Projekt „Fernkälte München“. TUM, <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1363296/1363296.pdf>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Lexikon der Nachhaltigkeit (2015a):

Recycling und Wiederverwertung. https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/recycling_und_wiederverwertung_1656.htm, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Lexikon der Nachhaltigkeit (2015b):

Upcycling. https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/upcycling_2004.htm, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Lexikon der Nachhaltigkeit (2015c):

Ökologischer Rucksack (MIPS-Konzept). https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/ziele_und_wege_3/indikatoren_54/schmidt_bleek_mips_konzept_971.htm, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Lexikon der Nachhaltigkeit (2015 d): Earth Overshoot Day.

https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/earth_overshoot_day_1762.htm, letzter Zugriff in 2022-10-28.



LUMITOS AG (o. J.):

Adsorption. <https://www.chemie.de/lexikon/Adsorption.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

LUMITOS AG (o. J.):

Baumaterial. [chemie.de, https://www.chemie.de/lexikon/Baumaterial.html](https://www.chemie.de/lexikon/Baumaterial.html), letzter Zugriff in 2022-10-28.

Madel, Andreas (2021): Solarthermie – Grundsätzliches. <https://www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-funktionen/solarthermie>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Martin, Christiane et al. (2001):

Lexikon der Geographie, Tragfähigkeit, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/tragfaehigkeit/8211>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Marzelli, Stefan et al., S.79 (2012):

Naturkapital Deutschland – TEEB DE, Der Wert der Natur für Wirtschaft und Gesellschaft – Eine Einführung.
München, ifuplan; Leipzig, Helmholtz-Zentrum für Umwelt-forschung – UFZ; Bonn, Bundesamt für Naturschutz, https://www.ufz.de/export/data/global/190499_TEEB_DE_Einfuehrungsbericht_dt.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Mekonnen, M. M.; Hoekstra, Arjen Y. (2010):

The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products: Volume1: Main Report, UNESCO-IHE, 2. Method and data.
von <https://waterfootprint.org/media/downloads/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Vol1.pdf>, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Mekonnen, Mesfin Mergia et al. (2012):

Water Resources Management, Mitigating the Water Footprint of Export Cut Flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya, Springerlink.com, https://www.researchgate.net/profile/Mesfin-Mekonnen/publication/234137287_Mitigating_the_Water_Footprint_of_Export_Cut_Flowers_from_the_Lake_Naivasha_Basin_Kenya/links/0046351e4422272222000000/Mitigating-the-Water-Footprint-of-Export-Cut-Flowers-from-the-Lake-Naivasha-Basin-Kenya.pdf?origin=publication_detail, letzter Zugriff in 2022-10-28.

NCC-Design GmbH (o. J.):

Wie hoch ist der Wirkungsgrad und Effizienz bei LED Lampen? <https://www.gluehbirne.de/led-ratgeber-wirkungsgrad-effizienz-led-lampen>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

NOAA (2021):

How much oxygen comes from the ocean? At least half of Earth's oxygen comes from the ocean, <https://oceanservice.noaa.gov/facts/ocean-oxygen.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Otto Graf GmbH (o. J.):

Grauwasser. <https://www.graf-online.de/regenwassernutzung-unterirdisch/so-funktioniert-regenwassernutzung/lexikon/grauwasser.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Our Ocean (2016):

Sustainable Fisheries. <http://ourocean2016.org/sustainable-fisheries>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Oxycom (o. J.):

Was ist adiabate Kühlung? Wie funktioniert die adiabatische Kühlung? OXYCOM, <https://www.oxy-com.com/de/was-ist-adiabate-k%C3%BChlung>, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Palzkill, Alexandra; Schneidewind, Uwe (2013):

Schwerpunkt: Wachstumsneutrale Unternehmen, Entrümpelung, Entschleunigung, Entflechtung und Entkommerzialisierung, Suffizienz als Business Case, IÖW und oekom Verlag,

<https://www.oekologisches-wirtschaften.de/index.php/oew/article/download/1263/1250/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

PIUS Info-Portal c/o Umwelttechnik BW GmbH (o. J.):

Glossar. Stoffstrom,

<https://www.pius-info.de/service/glossar/stoffstrom/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Prof. Dr. Axel Mühlbacher (2018):

Effektivität, Definition: Was ist "Effektivität"? Gabler Wirtschaftslexikon.

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/effektivitaet-33138>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Prof. Dr. Markgraf, Daniel (2018):

Lebenszyklus. Definition: Was ist "Lebenszyklus"?

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/lebenszyklus-39913>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Prof. Dr. Partsch, Gerhard (o J.):

Die Dampfsperre schützt die Baukonstruktion und hilft Heizkosten sparen. von <https://bau.net/text/bdampf.php>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Rosenkranz, Alexander (2021a):

Die Anlagenaufwandszahl einer Heizungsanlage. Heizung.de, <https://heizung.de/heizung/wissen/die-anlagenaufwandszahl-einer-heizungsanlage/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Rosenkranz, Alexander (2021b):

Bivalente Heizung nutzt zwei Energiequellen, Heizung.de, 2021.

<https://heizung.de/heizung/wissen/bivalente-heizung-nutzt-zwei-energiequellen/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Rossmann (o J.):

Rezyklat: Was ist das – und warum brauchen wir mehr davon?

<https://www.rossmann.de/de/haushalt/ratgeber/alltagstipps/rezyklat>, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Schroer, Kevin (o. J.):

Amortisationsdauer. <https://www.bwl-lexikon.de/wiki/amortisationsdauer/>,
letzter Zugriff in 2022-10-28.

Schwanhold, Ernst MdB (1994):

Bericht der Enquete-Kommission: „Schutz des Menschen und der Umwelt -
Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe
in der Industriegesellschaft“, [https://dserver.bundes-
tag.de/btd/12/082/1208260.pdf](https://dserver.bundestag.de/btd/12/082/1208260.pdf), letzter Zugriff in 2022-10-28.

SCS Global Services (o. J.):

Environmental Product Declarations, Turnkey Lifecycle Assessment and
EPD Program Operation, [https://www.scsglobalservices.com/services/envi-
ronmental-product-declarations](https://www.scsglobalservices.com/services/environmental-product-declarations), letzter Zugriff in 2022-10-28.

Spektrum der Wissenschaft (1998):

Lexikon der Physik: Energie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg,
<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/energie/4311>, letzter Zugriff in 2022-
10-28.

STMUV (o. J.):

Ökobilanzen, Was ist eine Ökobilanz? Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz, [https://www.umweltpakt.bayern.de/manage-
ment/fachwissen/244/oekobilanzen](https://www.umweltpakt.bayern.de/management/fachwissen/244/oekobilanzen), letzter Zugriff in 2022-10-28.

Stocker, F. Thomas et al. (2013):

Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Working Group I Contri-
bution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Cli-
mate Change, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, United States of Amer-
ica. ISBN 978-1-107-66182-0, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uplo-
ads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf), letzter Zugriff in 2022-10-28.

Tackmann, Undine (2021):

Dreifachverglasung bringt Ihren Wärmeschutz auf das nächste Level.
Aroundhome, <https://www.aroundhome.de/fenster/dreifachverglasung/>, letz-
ter Zugriff in 2022-10-28.



ub.de Fachwissen GmbH, (o. J.): Photovoltaik. <https://www.photovoltaik.org/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

UBA (2013):

Was bedeutet „Energieeffizienz“? Umwelt Bundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-bedeutet-energieeffizienz>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

UBA (2016):

Einstufung von Abfällen. Umwelt Bundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/abfallarten/einstufung-von-abfaellen>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Umweltdatenbank (o. J.):

Das Umwelt-Lexikon. Emission, Umweltdatenbank, <https://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/31-lexikon-e/1525-emission.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Unmüßig, Barbara (2014):

Vom Wert der Natur, Sinn und Unsinn einer Neuen Ökonomie der Natur, Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin, https://www.boell.de/sites/default/files/140220_e-paper_vom_wert_der_natur.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.

USGS (2019):

How Much Water is There on Earth?, Water Science School, https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/how-much-water-there-earth?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Vegane Gesellschaft Österreich (2016):

Mandeln statt Kühe.
<https://www.vegan.at/inhalt/mandeln-statt-kuhe>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Verbraucherzentrale NRW e.V. (o. J.):

GEG: Was steht im neuen Gebäudeenergiegesetz? <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/energetische-sanierung/geg-was-steht-im-neuen-gebäudeenergiegesetz-13886>, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Viessmann Climate Solutions SE (o. J.):

Gebäudenutzfläche. heizung.de, <https://heizung.de/lexikon/gebaeudenutzflaeche/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Von Unruh, Friederike et al. (o. J.):

Produkte und Materialien mit der Hilfe der R-Strategien im Kreislauf führen.
Friederike von Unruh, Julian Mast, Wolfgang Irrek, prosperkolleg,
<https://prosperkolleg.de/r-strategien/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Wackernagel, M.; Rees, W. E. (1997):

Der ökologische Fußabdruck für Anfänger. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-0348-6107-6_3, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (2014):

Materialintensität von Materialien, Energieträgern, Transportleistungen, Lebensmitteln. https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/misc/MIT_2014.pdf, letzter Zugriff in 2022-10-28.



15.3 Abbildungen

Abbildung 1: EPEA Switzerland GmbH (2022):

Von der Wiege zur Wiege —Produktionsprozesse neu denken. Die 2 Systeme: biologischer und technischer Kreislauf.

URL: <https://www.epeaswitzerland.com/cradle-to-cradle/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Abbildung 2: EPEA Switzerland GmbH (2022):

Von der Wiege zur Wiege —Produktionsprozesse neu denken. Die 2 Systeme: biologischer und technischer Kreislauf. URL:

<https://www.epeaswitzerland.com/cradle-to-cradle/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Abbildung 3: ITES (2018):

Was ist Zirkuläre Wertschöpfung?, Triple Top Line.

URL: <https://www.fh-bielefeld.de/iium/ites/hmi2021/zirkulaere-wertschoepfung>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Abbildung 4: Inmagine Lab Pte. Ltd. (o. J.):

Illustrative diagram of aluminium cans recycling process.

URL: https://www.123rf.com/photo_140936663_illustrative-diagram-of-aluminium-cans-recycling-process.html?vti=nanc7ow6ywcagbfq2h-1-24, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Abbildung 5: Adobe Systems Software Ireland Limited (o. J.):

The concept of updates. Secondary use of a milk box as a bird feeder. Vector isolated on a white background.

URL: https://stock.adobe.com/de/search/images?k=+Fashion+Illustration+upcycling&asset_id=353878443, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Abbildung 6: NorbertStralka (2021):

Energiearten und Energiefluss

URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Endenergie#/media/Datei:Energiearten_als_Energieflussgraphik.png, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Abbildung 7: be Around GmbH (2022):

Wie funktioniert Fernwärme und was kostet Sie?.

URL: <https://www.aroundhome.de/heizung/fernwaerme/>, letzter Zugriff in 2022-10-28.



Abbildung 8: Forschungsinitiative Zukunft Bau (2014):

Beheiztes Gebäudevolumen V_e . Forschungsinitiative Zukunft Bau, Fachbericht, Erarbeitung einer Software-Lösung für die Anwendung der DIN V 18599 für den Wohnungsbau für Zwecke der Vergleichsrechnung für Förderfälle, Dipl.-Ing. Torsten Schoch, Jörg Trapp. URL: <https://www.din.de/resource/blob/66078/37ad3d4f7c4180d4085ae16d808a0f0b/fachbericht-softwareloesung-zur-anwendung-von-din-v-18599-data.pdf>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Abbildung 9: Butlerium GmbH (o. J.):

Bruttogrundfläche (BGF). URL: <https://www.grundriss-butler.de/img/bemasster-grundriss/bgf-regelfall-und-sonderfall.svg>, letzter Zugriff in 2022-10-28.

Abbildung 10: competitionline (2021):

URBAN MINING INDEX, Ein Planungstool für zirkuläres Bauen, Wie funktioniert der Urban Mining Index? URL: <https://www.competitionline.com/de/news/schwerpunkt/print/einplanungstool-fuer-zirkulaeres-bauen-3401.html>, letzter Zugriff in 2022-10-28.