

Handbuch Ökobilanz

Fachschule für Technik und Gestaltung | Eckener Schule Flensburg | Fachrichtung Gebäudesystemtechnik GST 13 | Mai 2014

Treibhauspotenzial

Frischwasserverbrauch

Versauerungspotenzial

Verbrauch erneuerbare Primärenergie

Verbrauch nicht erneuerbare Primärenergie

Fortbildung zum Staatlich geprüften Gebäudesystemtechniker
Fachschule für Technik und Gestaltung, Eckener Schule Flensburg, Klasse GST 13

Der Projektbericht wurde erstellt von:

Markus Deppe, Marco Elbert, Jörg Haßelbusch, Kilian Hofmann, Marten Krüger, Birger Krühl,
Felix Lembcke, Anna-Katharina Lorenz, Hanno Meiswinkel, Chris Schönhorst, Karsten Schulz,
Stefan Seeland, Sören Söth, Thorge Tiedemann

Ansprechpartnerin: Dr. Susanne Krosse, susanne.krosse@esfl.de

Flensburg, Mai 2014



Förderkennzeichen 01WBNE058
Förderzeitraum Sept. 2012 - Aug. 2013

Die Fachschule für Technik und Gestaltung
ist Fördermitglied im Klimapakt Flensburg

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1. Systematik der Ökobilanzierung	1
2. Benutzung des Handbuchs.....	2
3. Bauphysikalischer Vergleich verschiedener Dämmvarianten	6
4. Ökobilanzierung von Baukonstruktionen.....	7
4.1. Bauphysikalische Betrachtung - Außendämmung	7
4.1.1. Ökobilanzierung monolithisches Mauerwerk – Außendämmung.....	8
4.2. Bauphysikalische Betrachtung - Innendämmung.....	9
4.2.1. Ökobilanzierung monolithisches Mauerwerk - Innendämmung.....	11
4.3. Bauphysikalische Betrachtung - Kerndämmung	12
4.3.1. Ökobilanzierung zweischaliges Mauerwerk – Kerndämmung	13
4.4. Bauphysikalische Betrachtung – Dach-Zwischensparrendämmung.....	14
4.4.1. Ökobilanzierung Dach-Zwischensparrendämmung	15
4.5. Bauphysikalische Betrachtung – Keller-Deckendämmung.....	16
4.5.1. Ökobilanzierung Keller-Deckendämmung.....	17
4.6. Fazit.....	18
5.0 Ökobilanzierung von Fensterkonstruktionen.....	19
6.1. Ökobilanzierung Anlagentechnik	22
6.2. Analyse Anlagentechnik.....	23
6.2.1. Erneuerbare und nicht erneuerbare Energie	23
6.2.2. Globales Erwärmungspotenzial.....	25
6.2.3. Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	26
6.3. Fazit.....	26
7.0 Gebäudeautomation	27
7.1. Maßnahmen zur Energieoptimierung.....	28
7.1.1. Lüftungsregelung in Wohngebäuden.....	28
7.1.2. Heizungsregelung in Wohngebäuden	28
7.1.3. Beleuchtungsregelung in Wohngebäuden	28
7.1.4. Regelung der Sonnenschutzeinrichtungen	29
7.1.5. Intelligente Nutzung von Solarstrom	29
7.1.6. Virtuelles Kraftwerk	29

8. Innovative Energiekonzepte	30
8.1. Biomeiler	30
8.2. Solar-Eis-Heizung	32
8.3. Abwasserwärmerückgewinnung.....	33
8.4. Grauwasser	36
8.5. Power to Gas.....	37
8.6. Photobioreaktor	39
8.7. Fazit innovative Energiekonzepte	41
9. Abbildungsverzeichnis.....	42
10. Quellen- und Literaturverzeichnis.....	44

1. Systematik der Ökobilanzierung

Das wachsende Umweltbewusstsein zahlreicher Menschen führt zu steigendem Interesse an Untersuchungen über Umweltauswirkungen, die von Dienstleistungen, Produkten oder aber auch Prozessen ausgelöst werden. Diese nachhaltige Entwicklung bekräftigt den effektiven Umgang mit nicht regenerierbaren Ressourcen, die Aufrechterhaltung der Regenerationszyklen von regenerierbaren Ressourcen, sowie die Erhaltung der Lebensgrundlage für nachkommende Generationen. Ökobilanzen stellen ein probates Mittel zur Umsetzung und Überwachung dieser Ziele dar.

Als Basis dient die In- und Output-Erfassung von Energie- und Stoffumsätzen für das zu betrachtende Produkt. Hierbei wird der gesamte Lebenszyklus von der Wiege bis zur Bahre („from cradle to grave“) betrachtet, das heißt von der Rohstoffgewinnung über Produktion und Nutzung bis hin zum Lebensende mit Entsorgung, Wiederverwendung bzw. Recycling.



Abbildung 1: Ganzheitliche Lebenszyklusanalyse

Mittels der gewonnenen Daten können die durch das Produkt hervorgerufenen Umweltbelastungen und Ressourcenverbräuche bestimmt und analysiert werden. Zu den betrachteten Kriterien zählen Rohstoff- und Energieverbrauch sowie die entstandenen Emissionen in Boden und Luft, ebenso Wasserverbrauch bei der Produktion und beim Recycling.

Die Ökobilanz stellt dadurch ein einzigartiges Konzept zur Beurteilung von Umweltauswirkungen dar und macht Produkte, Prozesse oder auch Dienstleistungen aus ökologischer Sicht besser vergleichbar.

Im nachfolgenden Bericht wird die Ökobilanzierung in drei Stadien bzw. Lebenszyklusphasen dargestellt:

1. **Produktionsstadium:** Betrachtung der zur Produktherstellung „von der Wiege bis zum Werktor“ notwendigen Faktoren bzw. Rohstoffabbau, Aufbereitung, Herstellung der Vorprodukte und Produktionsprozesse. Die Systemgrenze liegt dabei am Werktor. Aufwendungen und Belastungen, die durch Transport zur Baustelle und für die nötigen Einbauarbeiten anfallen, sind nicht berücksichtigt, da sie von Baustelle zu Baustelle variieren.
2. **Nutzungsstadium:** Da es sich bei der Betrachtung von Baustoffen schwerpunktmäßig um die Bilanzierung von Dämmstoffen handelt, welche praktisch keinerlei Emissionen und Energieaufwendungen in dieser Phase hervorrufen bzw. benötigen, ist dieses Stadium nicht betrachtet worden, sondern der Verständlichkeit halber lediglich optisch angedeutet. Die Energieeinsparung, die durch den Einsatz der Dämmstoffe am Gebäude erreicht wird, wurde hier nicht in die Bilanz einbezogen. Da die gewählten Konstruktionen auf den gleichen U-Werten basieren, würde hier bei allen Ökobilanzen einer Konstruktion, die gleiche Gutschrift erfolgen. Die Ökobilanz der eingesparten Energie wäre zudem eher abhängig vom gewählten Brennstoff als von der Wahl des Dämmmaterials. In der Ökobilanz von Anlagentechnik spielt dieses Stadium allerdings eine Rolle, da hier relevante Daten anfallen.
3. **Entsorgungsstadium:** Auch als „End of Life“-Phase (EOL) bezeichnet, in welcher nach Ablauf des Nutzungsstadiums die ökologischen Folgen der Entsorgung bzw. Verwertung der verwendeten Produkte betrachtet werden. Durch Verbrennung, beispielsweise in Müllverbrennungsanlagen, kann es hierbei auch zu Gutschriften vor allem bei der Primärenergiebilanz kommen. Eventuell anfallende Rückbaukosten sind nicht in die Analyse eingeflossen.

2. Benutzung des Handbuchs

Dieses Handbuch soll potenziellen Interessenten als eine Art Nachschlagewerk dienen, um gezielt Baukonstruktionen anhand ihrer Ökobilanz auszuwählen. Natürlich kann, aufgrund der nahezu unüberschaubaren Materialvielfalt, kein allumfassender Leitfaden erstellt werden, jedoch sind eindeutige ökologische Tendenzen erkennbar. Die hier erörterten Sanierungsvorschläge stellen somit lediglich eine kleine, aber praxisnahe Auswahl dar.

Als Datengrundlage wird nach Möglichkeit die Bibliothek der Ökobau.dat¹ verwendet. Ökobau.dat ist die vereinheitlichte, unabhängige Datenbasis für ökologische Bewertungen von Bauteilen und Bauwerken und wird vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung als Grundlage für Ökobilanzen kostenlos veröffentlicht.

¹ <http://www.nachhaltigesbauen.de>

Aufgrund der Tatsache, dass diese Datenbank noch sehr unvollständig und lückenhaft ist, wurden auch die Umwelt-Produktdeklarationen (Environmental Product Declaration = EPD) der Hersteller zu Rate gezogen. Diese werden vom Institut Bauen und Umwelt e.V.² bereitgestellt. Eine EPD beruht ebenfalls auf unabhängig überprüften Daten aus Ökobilanzen, aus Sachbilanzen oder Informationsmodulen.

Generell besteht zurzeit noch ein großer Nachholbedarf bei der Vervollständigung der Ökobilanz-Datenbank. Viele Hersteller, insbesondere kleinere, scheuen den finanziellen Aufwand, ihr Produkt erfassen zu lassen. Somit mussten leider teilweise Kompromisse bei der Materialwahl eingegangen werden, welche aber die Tendenz der Ökobilanz nur marginal beeinträchtigen.

Für hier nicht enthaltene Konstruktionen bzw. Materialien kann die angefügte Excel-Tabelle benutzt werden. Hierbei ist zu beachten, dass dazu die frei verfügbaren Datensätze der gewünschten Baustoffe aus der Ökobau.dat oder den EPDs in die Tabelle eingefügt werden müssen. Bei korrekter Recherche, lässt sich dadurch praktisch jede Konstruktion hinsichtlich ihrer ökologischen Qualität beurteilen.

Anfangs sollte die zu modernisierende Konstruktion ausgewählt werden, die die größte Übereinstimmung mit den eigenen örtlichen Gegebenheiten hat. Die vergleichende Gegenüberstellung der unterschiedlichen Baustoffe zeigt potentielle ökologische Risiken und Schwachstellen systematisch auf und gibt somit die Möglichkeit, umweltorientierte Entscheidungen zu treffen.

Sämtliche für den Wandaufbau relevanten Baustoffe werden bezüglich ihrer stoffspezifischen Kennwerte, den reinen Materialkosten und ihrer Ökobilanzfaktoren tabellarisch erfasst. Beachtet werden sollte die Tatsache, dass es sich um reine Materialkosten handelt, die keinen Arbeitslohn enthalten. Trotzdem liefert diese Angabe Tendenzen, inwieweit ein Baustoff vor- oder aber auch nachteilig ist. Bei der Außendämmung beispielsweise, erfordern sämtliche Baustoffe in etwa die gleiche Arbeitsleistung, da nur der Baustoff aber nicht die Art der Ausführung variiert. Die Bilanzierung bezieht sich jeweils auf 1m² des entsprechenden Baustoffes bei gegebener Schichtdicke. Die Summierung der jeweiligen Faktoren des Produktions- und Entsorgungsstadiums ergibt schließlich die Bilanz eines jeden Baustoffes.

Befestigungsmaterialien (Dübel, Schrauben oder Kleber) wurden in dieser Bilanz nicht berücksichtigt.

Prinzipiell bedeuten größere Werte in einer Ökobilanzierung eine stärkere Umweltbelastung. Somit sind kleinere Werte ökologisch besser einzuordnen und erneuerbare Energien sind entgegen nicht erneuerbaren zu bevorzugen.

² <http://bau-umwelt.de>

Als Datenquelle zur Ökobilanzierung dient wie oben angeführt die Datenbank Ökobau.dat, in welcher für jedes aufgeführte Produkt Umweltindikatoren aufgelistet sind. Diese werden unterteilt in Indikatoren der Sachbilanz (wie viel Ressourcen werden in Anspruch genommen) und Indikatoren der Wirkbilanz (welche Umwelteinwirkungspotenziale besitzt das Produkt).

Für unsere Betrachtung sind aufseiten der **Sachbilanz** folgende markante input-orientierte Indikatoren zur Anwendung gekommen³:

- **Nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT):** Beschreibt die aus natürlichen, endlichen Energiequellen, wie Erdgas, Erdöl, Braunkohle, Steinkohle und Uran, gewonnene Energie. Dieser Wert drückt aus, wieviel Energie in MJ zur Erstellung bzw. Entsorgung eines Quadratmeters dieses Baustoffes mit der jeweiligen Schichtdicke nötig ist. Niedrige Werte weisen auf Materialien hin, für welche in Produktion und Entsorgung weniger nicht erneuerbare Energie aufgewendet werden muss. Wie eingangs schon erwähnt, kann es zu Gutschriften bzw. negativen Werten durch thermische Verbrennung kommen.
- **Erneuerbare Primärenergie (PERT):** Beschreibt die aus erneuerbaren (regenerativen) Energiequellen, wie beispielsweise Biomasse, Geothermie, Wind- und Wasserkraft bzw. Sonnenstrahlung, gewonnene Energie. Dieser Wert drückt aus, wie viel Energie in MJ zur Erstellung bzw. Entsorgung eines Quadratmeters dieses Baustoffes mit der jeweiligen Schichtdicke nötig ist. Niedrige Werte weisen auf Materialien hin, für welche in Produktion und Entsorgung weniger erneuerbare Energie aufgewendet werden muss. Auch hier kann es zu Gutschriften bzw. negativen Werten durch thermische Verbrennung kommen. Ein hoher Anteil dieser Energie mindert den Einsatz nicht erneuerbarer Energie und leistet gleichzeitig einen Beitrag zur Schonung der Umwelt.
- **Einsatz von Süßwasserressourcen (FW):** Beschreibt, wie viel Wasser in Kubikmeter für die Herstellung und Entsorgung eines Quadratmeters dieses Baustoffes mit der jeweiligen Schichtdicke nötig ist. Auch hier gilt, je niedriger der Wert, desto besser für die Ökobilanzierung. Da bei Holz und Holzwerkstoffen auch der Wasserbedarf während der Wachstumsphase berücksichtigt wird, ergibt sich hier ein teilweise sehr hoher Wasserverbrauch. Allerdings wird dieses Wasser nur durch den natürlichen Kreislaufprozess des Baumes aufgenommen und unbelastet an die Umwelt zurückgeführt. Insofern ist hier eine Differenzierung des Wasserbedarfs im Vergleich zu anderen Baustoffen nötig.

³ <http://www.nachhaltigesbauen.de>

Im Sachbilanzdatensatz existieren noch weitere, für unsere Betrachtung weniger relevanten Indikatoren, wie beispielsweise der „Einsatz von Sekundärstoffen (SM)“ oder „Erneuerbare Sekundärbrennstoffe (RSF)“. Output-orientierte Faktoren der Sachbilanz wie z.B. „Entsorgter radioaktiver Abfall (RWD)“ wurden in vorliegender Bilanz ebenfalls nicht betrachtet.

Aufseiten der **Wirkbilanz**, die Umwelteinwirkungspotenziale enthält, sind nachfolgende Indikatoren betrachtet worden⁴:

- **Globales Erwärmungspotenzial (GWP):** Beschreibt den Beitrag eines Produktes oder Materials zur Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes. Kohlendioxid ist eine Grundvoraussetzung für das Leben auf der Erde, allerdings führt eine erhöhte Konzentration zur Verschärfung der Erderwärmung, da dadurch in der Troposphäre mehr Infrarotstrahlung absorbiert wird. Um die Emission aller Treibhausgase mit einem Wert quantifizieren zu können, wird die Klimawirksamkeit von Gasen wie Methan oder Lachgas in die von Kohlendioxid umgerechnet. Dieser Wert wird als CO₂-Äquivalentwert bezeichnet.
- **Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP):** Beschreibt den Beitrag eines Baustoffes zur Entstehung von saurem Regen. Die bei der Verbrennung von schwefelhaltigen Brennstoffen, wie Kohle oder Öl, freiwerdenden Emissionen sind hierfür verantwortlich. Auch dieser Wert wird nicht absolut angegeben, sondern bezieht sich auf das Versauerungspotenzial von Schwefeldioxid. Somit werden alle Emissionen hinsichtlich ihres potenziellen Versauerungspotenzials zu Schwefeldioxid ins Verhältnis gesetzt. Da die Werte für das Versauerungspotenzial relativ klein ausfallen, wurde in diesem Fall die Exponential Schreibweise gewählt.

Auch bei der Wirkbilanz sind laut Ökobau.dat weitere Indikatoren wie „Eutrophierungspotenzial (EP)“ oder „Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)“ vorhanden. Unsere Auswahl bezog sich, ähnlich der Sachbilanz, auf die markantesten.

⁴ <http://www.nachhaltigesbauen.de>

3. Bauphysikalischer Vergleich verschiedener Dämmvarianten

Energie, die wir mittels Heizenergie einem Bauwerk zuführen, wird durch Temperaturunterschiede sukzessive an die kältere Außenluft abgegeben. Diesen Verlust nennt man Transmissionswärmeverlust. Hierfür ist beispielsweise die Wärmeleitung über das Dach, die Außenwände, die Decke oder aber auch durch Türen und Fenster verantwortlich. Schlecht ausgeführte Fugen, sowie Ritzen in den an die Außenluft angrenzenden Bauteilen begünstigen die unerwünschten Wärmeverluste zusätzlich. Eine Abdichtung dieser Schadstellen birgt große Energieeinsparpotenziale und hilft energetische Verluste zu minimieren. Ein weitaus größeres Einsparpotenzial liegt im meist flächenmäßig größten Bauteil, der Außenwand.

Hierbei stellt sich nun die Frage, welche Art von Dämmung am zweckmäßigsten ist, um eine Senkung der Wärmeverluste über die Außenwand zu erreichen. Zur Auswahl stehen drei mögliche Dämmsysteme:

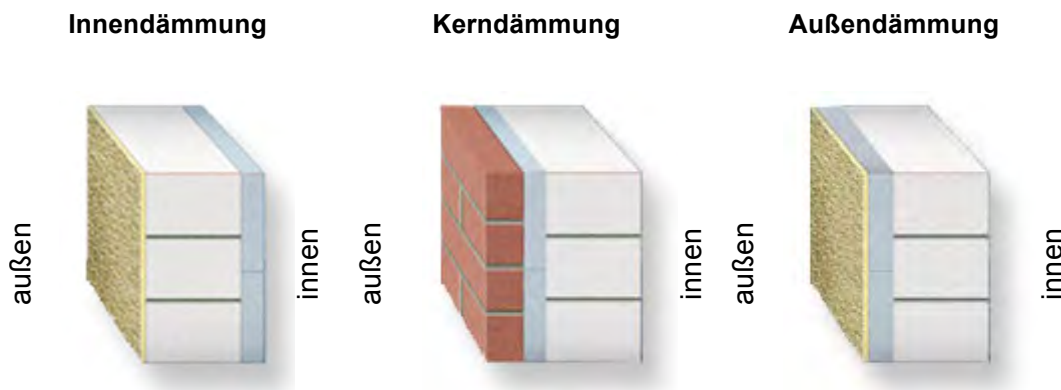


Abbildung 2: Schematische Wandaufbauten

Zusätzlich zur energetischen Aufwertung der Außenwand können auch die Kellerdecke und das Dach saniert werden:

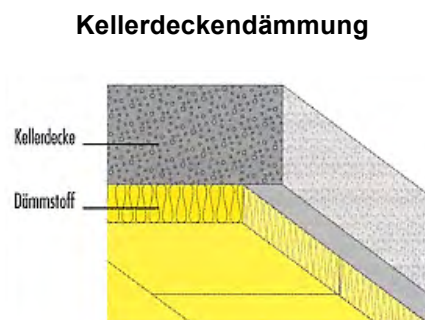


Abbildung 3: Kellerdeckendämmung

Zwischensparrendämmung



Abbildung 4: Zwischensparrendämmung

Jedes System hat je nach Anwendungsbereich seine ganz spezifischen Vor- und Nachteile, die im Folgenden erörtert und gegenübergestellt werden.

4. Ökobilanzierung von Baukonstruktionen

4.1. Bauphysikalische Betrachtung - Außendämmung

Bei der Außendämmung befindet sich der massive tragende Teil der Wandkonstruktion auf Innenraumtemperaturniveau, was nach dem Absenken der Heizung zu einem Kachelofeneffekt führt, welcher die Wärme an die Räume zurückführt. Dieser Effekt führt zu einem ausgeglichenen Raumklima und zur Heizkostenersparnis. Auch beim sommerlichen Hitzeschutz kann diese Art der Dämmung die Raumtemperaturen auf einem angenehmen Niveau halten, da die äußere Dämmschicht ein Aufheizen der Wand verhindert. Ist die Wand aber aufgewärmt, dann dauert es sehr lange bis die Wandoberfläche abkühlt. Eine von außen angebrachte Dämmung reduziert die Wirkung eventuell vorhandener Wärmebrücken.

Von Nachteil ist die Tatsache, dass die außenliegende Dämmung vor Witterungseinflüssen geschützt werden muss. Diesem Umstand kann mittels Vorhangfassade bzw. eines geeigneten, oftmals wasserabweisenden, Putzes Rechnung getragen werden. Hohe erforderliche Dämmstoffdicken, speziell an nördlich ausgerichteten Fassaden, koppeln die warme Innenwand in kalten Nächten wärmetechnisch so stark ab, dass sich auf ihnen Tauwasser durch nächtliche Unterkühlung bildet. Infolgedessen kommt es zu großflächigem Algen- bzw. Pilzbewuchs auf der Fassade.

Um Dämmmaßnahmen EnEV 2014 konform auszuführen, müssen alle Außendämmaufbauten von Wohngebäuden einen U-Wert von $\leq 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ erfüllen.

Pro +	Contra -
Hohe thermische Speicherfähigkeit der Wand	Dämmung muss vor Witterungseinflüssen geschützt werden
Guter sommerlicher Hitzeschutz	Algenbildung möglich
Reduzierende Wirkung auf Wärmebrücken	Kostenaufwendig
Nutzbare Raumfläche bleibt erhalten	Kurzzeitig genutzte Räume können nur langsam aufgeheizt werden
Statische Belastbarkeit bleibt unverändert	Fassadendetails gehen verloren
Baumaßnahmen verursachen keine Beeinträchtigungen im Raum	Reduzierter Lichteinfall durch gedämmte Laibungen
Bauphysikalisch unproblematisch	

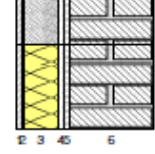
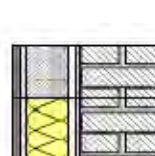
4.2. Bauphysikalische Betrachtung - Innendämmung

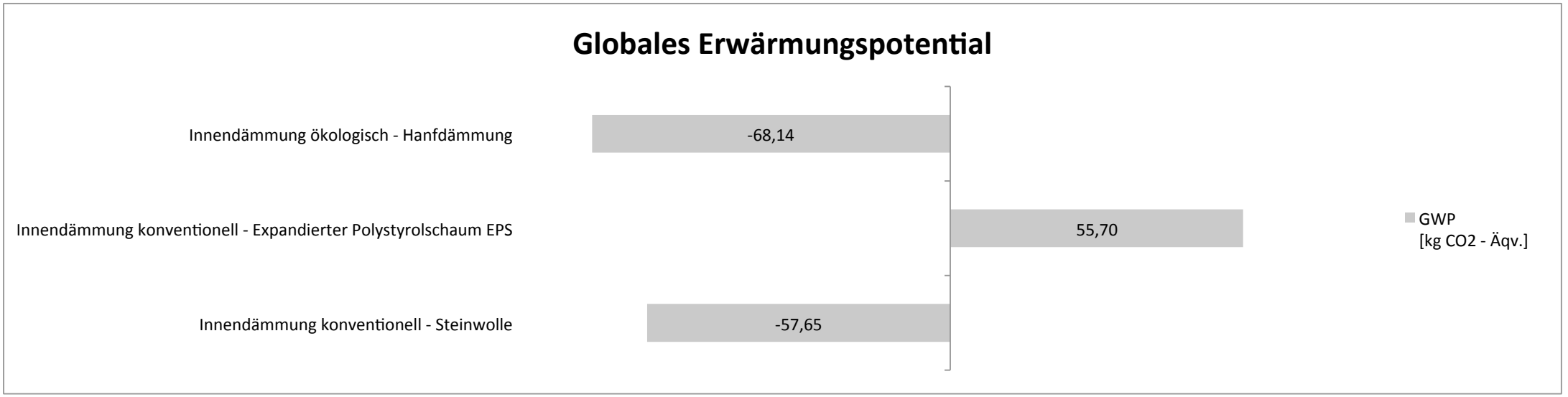
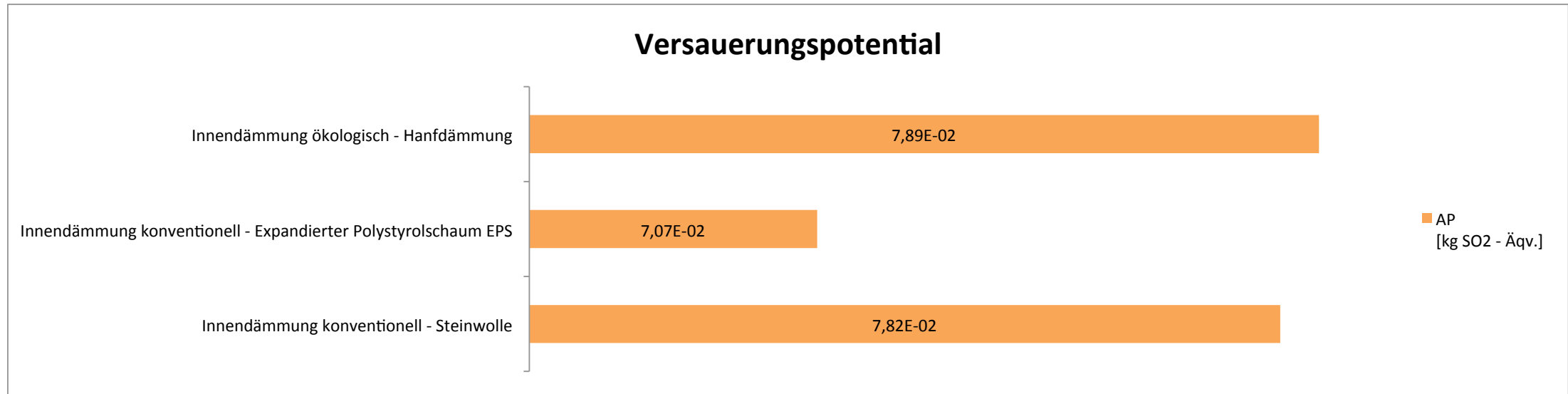
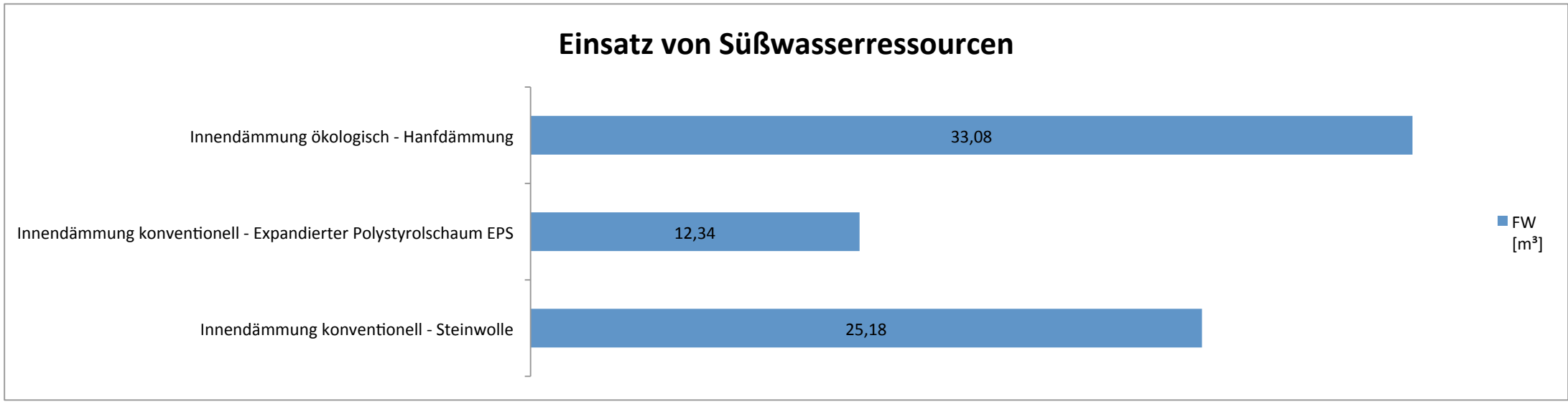
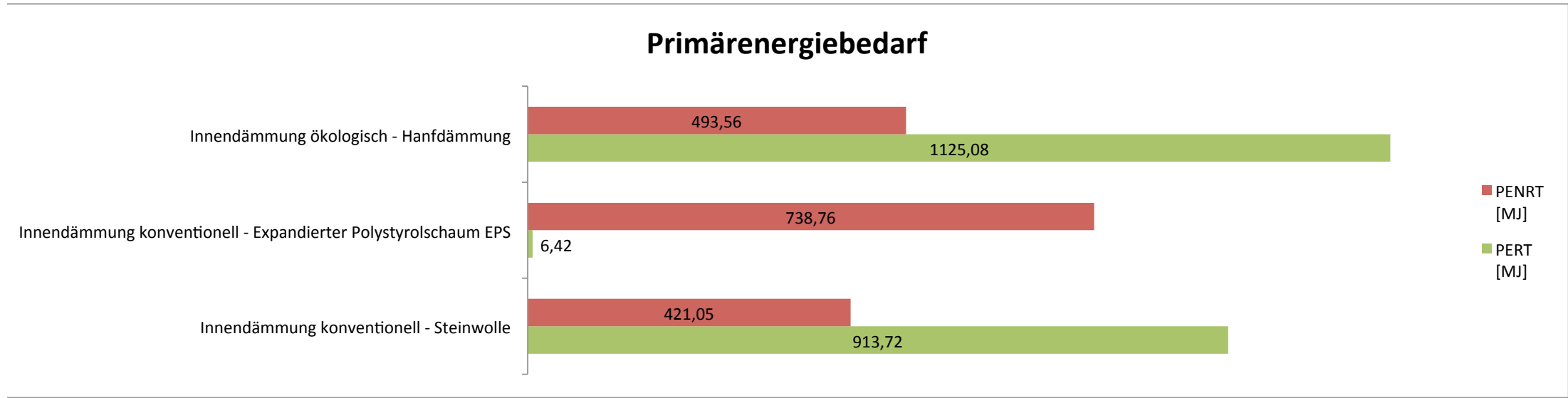
Die Vorteile einer Innendämmung liegen in der einfachen und somit oftmals kostengünstigen Anbringung der Dämmmaterialien. Speziell Räume und Gebäude (Säle, Versammlungsstätten), welche nur einer sporadischen Nutzung unterliegen, sind prädestiniert für ein Innendämmsystem. Eine schnelle Aufheizzeit wird gewährleistet, da massive Außenwände nicht mit erwärmt werden müssen. Durch die im Inneren angebrachte Dämmung wird gleichzeitig auch die Behaglichkeit gesteigert, da der Unterschied zwischen Oberflächen- und Raumtemperatur wesentlich geringer ausfällt. Eventuell vorhandene Undichtigkeiten im Mauerwerk werden durch dieses System ebenfalls abgedichtet und tragen zur Verbesserung des Wohnklimas bei. Allerdings müssen Steckdosen, Lichtschalter und auch Befestigungen von Möbeln gut abgedichtet werden. Der wohl entscheidendste Vorteil einer innenliegenden Dämmung ist die Unversehrtheit der Außenfassade. Gerade bei Fachwerk- und erhaltenen Außenfassaden ist diese Art der Dämmung die erste Wahl.

Nachteilig bei Leichtbaukonstruktionen ist der schlechte sommerliche Wärmeschutz, da die leichten Wandaufbauten kaum thermische Speicherfähigkeiten besitzen. Brandschutztechnische Bedenken kann die Verwendung von brennbaren Dämmstoffen wie beispielsweise Polyurethan hervorrufen. Im Brandfall würden innerhalb kürzester Zeit extrem giftige Brandgase entstehen. Durch die nach innen angebrachte Dämmung verringert sich die zur Verfügung stehende Wohnfläche, was speziell in gefragten Wohngegenden Bedenken auslöst. Das Aufhängen von Bildern, Regalen, Heizkörpern etc. ist an Innendämmungen oftmals nicht problemlos möglich. Wesentlich gravierender sind die Folgen einer nicht fachgerecht durchgeführten Innendämmmaßnahme. Speziell in den Wintermonaten kann es zur Tauwasserbildung innerhalb der Wand kommen, wenn kein ausreichend luftdichter Aufbau gewährleistet ist. Durch die angebrachte Innendämmung kann eventuell in der Außenwand anfallende Feuchtigkeit, beispielsweise durch Schlagregen, schlechter austrocknen und es kommt zu Trocknungsverzögerungen. Wasserführende Leitungen zwischen Innen- und Außenwand können speziell bei undichten Außenfassaden schnell einfrieren und bersten.

Laut EnEV 2009 waren für eine Innendämmung im Bestandsbau U-Werte von mindestens $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vorgeschrieben. Dieser Wert führte in der Praxis oft zu bauphysikalischen Problemen, sodass dieser Wert in der EnEV 2014 gestrichen wurde. Stattdessen sollen Bauexperten den maximal möglichen Dämmaufwand vor Beginn der Maßnahmen ausloten. In unseren Beispielwandaufbauten haben wir dennoch diesen Grenzwert als Grundlage für die weiteren Berechnungen gewählt.

Pro +	Contra -
Bequeme und kostengünstige Montage	Sommerlicher Wärmeschutz
Unveränderte Außenfassade	Brandschutz
Abdichtung von Undichtigkeiten	Verkleinerung der Wohnfläche
Schnelle Aufheizzeiten	Beeinträchtigung der Mieter
Steigerung der Behaglichkeit	Tauwasserbildung
	Trocknungsverzögerung
	Statisch minimale Belastbarkeit
	Frostgefahr bei wasserführenden Leitungen innerhalb der Wandkonstruktion

Bauteil										Datensatz Ökobilanz - (bezogen auf 1m² Wandaufbau)																		
Wandaufbau				Kennwerte					Materialkosten		1. Produktionsstadium						2. Nutzungsstadium entfällt	3. Entsorgungsstadium						Bilanz				
Schnitt	Position	Aufbau	Anteil [in %]	Lambda [W/mK]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Schicht- dicke [m]	U-Wert [W/m²K]	Kosten [€/m²]	Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]	Quelle		PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]	Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]
warm . . . kalt	warm . . . kalt								ca. Kosten		Erneuerbare Primärenergie	Nicht- erneuerbare Primärenergie	Einsatz von Subwasser- ressourcen	Globales Erwärmungs- potenzial	Verseuerungs- potenzial v. Boden u. Wasser	(Ökobaub.dat, EPD,...)								Erneuerbare Primärenergie	Nicht- erneuerbare Primärenergie	Einsatz von Subwasser- ressourcen	Globales Erwärmungs- potenzial	Verseuerungs- potenzial v. Boden u. Wasser
		Ist-Zustand (Bestand)										Ist-Zustand (Bestand)																
		Bestand										Bestand																
		Bestand										Bestand																
	Innendämmung konventionell - Steinwolle										Innendämmung konventionell - Steinwolle																	
	1. Gipskartonplatten		100,0	0,250	840	10,5	0,0125	0,35	2,56	www-1	0,68	48,75	0,02	3,08	3,00E-03	ÖB.dat-1		0,15	2,05	0,10	0,64	8,95E-04	ÖB.dat-7	0,83	50,80	0,12	3,71	3,89E-03
	2. PE Folie		100,0	0,330	960	0,1	0,00015		0,95	www-2	0,33	10,61	0,21	0,34	1,16E-03	ÖB.dat-2		-0,32	-4,04	-0,33	-0,26	-3,27E-04	ÖB.dat-8	0,00	6,57	-0,11	0,07	8,38E-04
	3. B Steinwolle		90,0	0,032	41	3,1	min 0,085		2,70	www-3	8,49	47,94	0,01	2,92	2,35E-02	EPD-1		-0,22	-7,13	-1,70E-04	-0,19	-1,04E-04	EPD-1	8,27	40,81	0,01	2,73	2,34E-02
	3. A Konstruktionsvollholz		10,0	0,130	529	4,5			5,50	www-4	907,89	365,50	28,48	-61,37	5,36E-02	ÖB.dat-3	-3,27	-42,63	-3,31	-2,79	-3,40E-03	ÖB.dat-9	904,62	322,87	25,16	-64,16	5,02E-02	
	4. ruhende Luftschicht		100,0	0,114			0,020																					
	5. Putzmörtel Kalk		100,0	1,000	1800	27,0	0,015	Bestand		Bestand						Bestand												
	6. Vollziegel Mauerwerk		100,0	0,810	1800	432,0	0,240											Bestand										
Gesamt:					477,3	0,373	11,71		917,38 472,80 28,72 -55,04 8,12E-02										-3,65 -51,76 -3,54 -2,61 -2,94E-03 913,72 421,05 25,18 -57,65 7,82E-02									
	Innendämmung konventionell - Expandierter Polystyrolschaum EPS										Innendämmung konventionell - Expandierter Polystyrolschaum EPS																	
	1. Putzmörtel Kalk		100,0	0,730	1300	19,5	0,015	0,35	9,98	www-5	4,39	51,64	0,01	3,41	1,15E-02	EPD-2	0,22	4,17	12,26	0,47	2,07E-03	EPD-2	4,60	55,81	12,27	3,88	1,36E-02	
	2. Expandierter Polystyrolschaum (EPS)		100	0,035	15,500	1,2 min 0,080	6,00		www-6	6,67	1057,02	0,04	37,07	8,00E-02	EPD-3	-4,86	-374,06	2,40E-02	14,74	-2,29E-02	EPD-3	1,82	682,95	0,07	51,82	5,71E-02		
	3. Kalk-Zementputzmörtel		100,0	1,000	1800	27,0	0,015		Bestand		Bestand						Bestand											
	4. Vollziegel Mauerwerk		100,0	0,810	1800	432,0	0,240												Bestand									
Gesamt:					479,7	0,350	15,98		11,06 1108,65 0,06 40,48 9,15E-02										-4,64 -369,89 12,28 15,21 -2,08E-02 6,42 738,76 12,34 55,70 7,07E-02									
	Innendämmung ökologisch - Hanfdämmung										Innendämmung ökologisch - Hanfdämmung																	
	1. Lehmputz		100,0	0,730	1600	32,0	0,020	0,35	16,00	www-7	3,62	44,48	0,27	4,93	7,65E-03	ÖB.dat-4	0,000, da zu 100% wiederverwertbar 3,62 44,48 0,27 4,93 7,65E-03											
	2. Holzvolle-Leichtbauplatte		100,0	0,065	360	7,2	0,020		12,50	www-8	58,56	44,00	1,90	1,69	6,60E-03	ÖB.dat-5	-5,23	-68,26	-5,31	-4,47	-5,44E-03	ÖB.dat-9	53,33	-24,26	-3,41	-2,79	1,16E-03	
	3. B Hanfdämmung		90,0	0,047	38,0	3,2	min 0,095		9,40	www-9	59,46	143,28	10,49	3,44	1,65E-02	ÖB.dat-6	-2,36	-30,80	-2,39	-2,02	-2,46E-03	ÖB.dat-9	57,09	112,48	8,10	1,43	1,40E-02	
	3. A Konstruktionsvollholz		10,0	0,130	529,0	5,0			5,50	www-4	1014,70	408,50	31,83	-68,59	5,99E-02	ÖB.dat-3	-3,65	-47,64	-3,70	-3,12	-3,80E-03	ÖB.dat-9	1011,04	360,86	28,12	-71,71	5,61E-02	
	4. ruhende Luftschicht			0,114			0,020																					
	5. Kalk-Zementputzmörtel		100,0	1,000	1800	27,0	0,015		Bestand		Bestand						Bestand											
	6. Vollziegel Mauerwerk		100,0	0,810	1800	432,0	0,240											Bestand										
	Gesamt:					506,5	0,410	43,40		1136,33 640,26 44,48 -58,53 0,09										-11,25 -146,70 -11,40 -9,61 -1,17E-02 1125,08 493,56 33,08 -68,14 7,89E-02								



Fazit: Monolithisches Mauerwerk – Innendämmung

Die Ökobilanz der monolithischen Außenwand basiert auf einem Standard-Bestandsmauerwerk aus den 1960er Jahren in Norddeutschland. Für eine solche Außenwand wurden drei Modernisierungsvarianten untersucht:

Variante a: *Konventionelle Innendämmung mit Steinwolle*

Variante b: *Konventionelle Innendämmung mit expadiertem Polystyrolschaum*

Variante c: *Ökologische Innendämmung mit Hanfdämmung*

Sämtliche Varianten basieren auf dem von der EnEV 2014 geforderten U-Wert von mindestens 0,35 W/m²K, was zu variierenden Dämmstoffdicken führt. In den Ökobilanz-Diagrammen ist immer das gesamte Bauteil mit allen sich ändernden Schichten bilanziert. Das Nutzungsstadium entfällt in der Ökobilanz zu den Baustoffen, weil die Dämmstoffe in der Nutzungsphase, d.h. solange sie im Mauerwerk angebracht sind, keine Energie verbrauchen und keine Emissionen verursachen.

Auffällig beim Primärenergiebedarf ist der hohe Anteil von erneuerbarer Energie (PERT) bei den Bauweisen mit Konstruktionsvollholz (Steinwolle und Hanfdämmung). Dieser resultiert aus dem im Material enthaltenen Heizwert der nachwachsenden Rohstoffe. Beim reinen Vergleich der Primärenergie der verwendeten Dämmstoffe schneidet allerdings EPS, gefolgt von Hanfdämmung, am schlechtesten ab.

Der Einsatz von Süßwasser Ressourcen (FW) ist bei Verwendung von EPS als Dämmmaterial im Vergleich zu den Varianten a und c geringer, da das in diesen beiden Varianten enthaltene Konstruktionsvollholz ein pflanzlicher Stoff ist und das Holz in seiner Wachstumsphase viel Wasser benötigt. EPS-Dämmung hingegen weist in der Bilanz nur marginale Süßwasserverbräuche auf, da es fast ausschließlich chemisch, ohne Einsatz von Wasser hergestellt wird. Lediglich der Putzmörtel im Wandaufbau b führt zu einem nennenswerten Wasserverbrauch.

Die CO₂-Gutschriften beim globalen Erwärmungspotential der Varianten a und c (Konstruktionsvollholzanteil) entstehen dadurch, dass das Holz bzw. der Hanf während der Nutzungsphase ein natürlicher Kohlenstoffspeicher ist. Während des Wachstums entzieht Holz bzw. Hanf der Atmosphäre CO₂ und entlastet so das Klima. Erst bei der Verbrennung wird ein Teil des CO₂ wieder an die Atmosphäre abgegeben.

Das Versauerungspotential aller drei Wandaufbauten liegt in Anbetracht der marginalen Bilanzsummen recht eng beieinander, sodass eine Wertung schwer fällt.

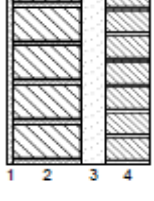
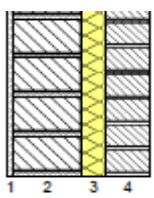
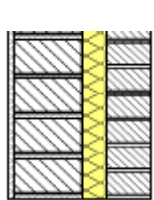
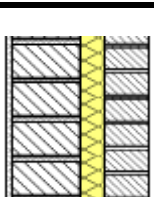
Abschließend betrachtet, ist überraschend der Wandaufbau b, mit expandiertem Polystyrolschaum (EPS), unter Ökobilanzaspekten die erste Wahl. Lediglich beim globalen Erwärmungspotential ist diese Variante , denen mit Konstruktionsvollholzanteil (a und c) unterlegen. Die reinen Materialkosten sind bei der Ständerwerkkonstruktion mit Steinwolle am preiswertesten.

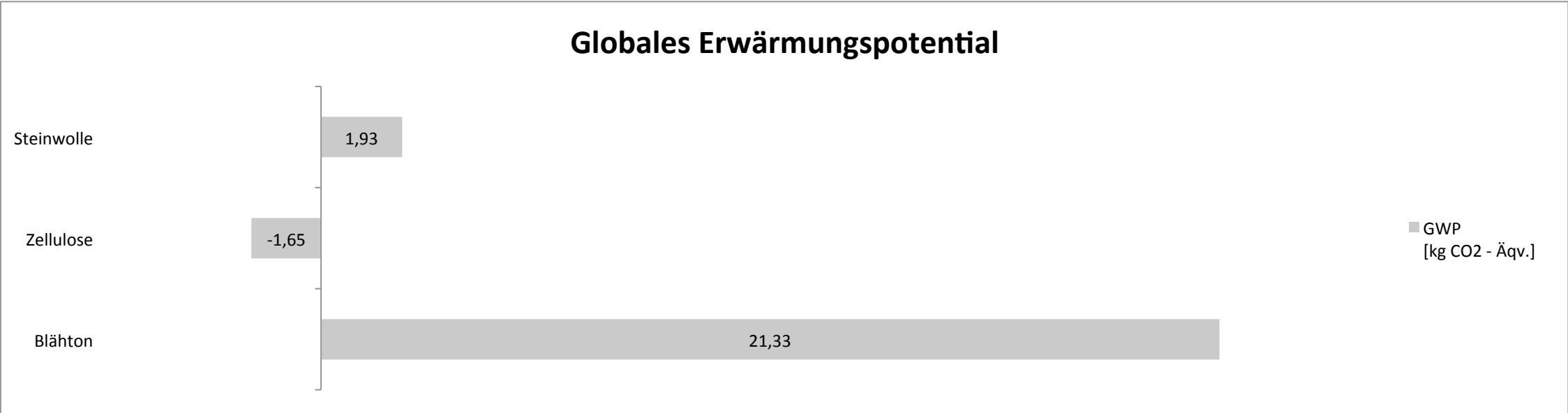
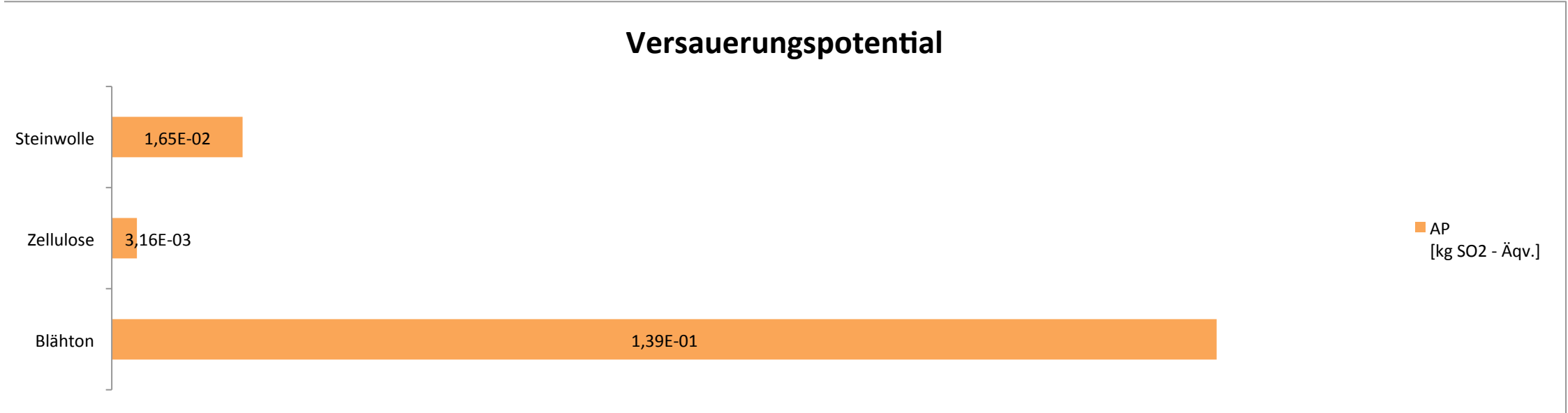
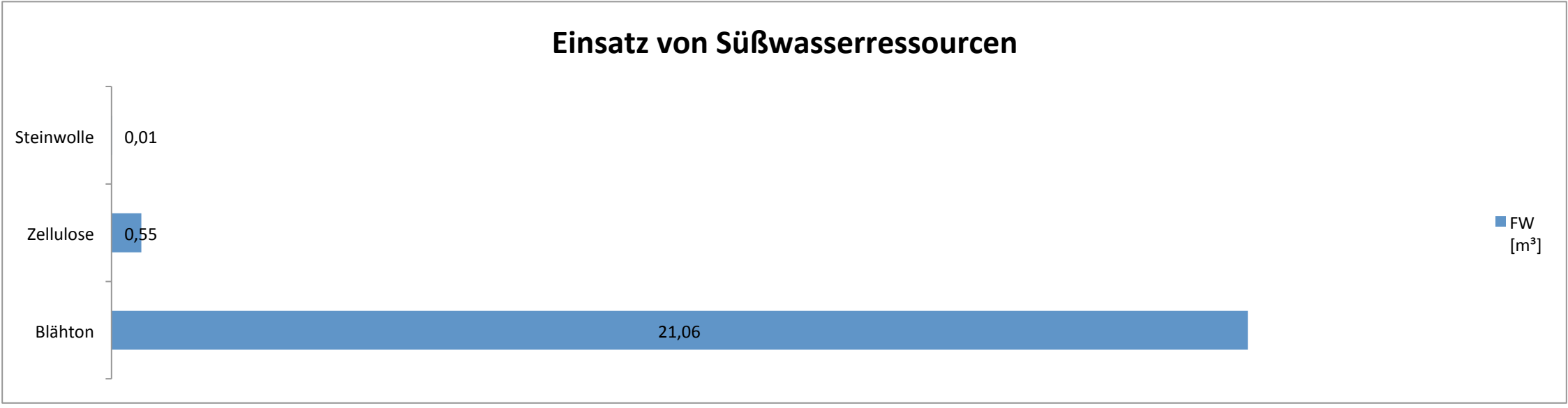
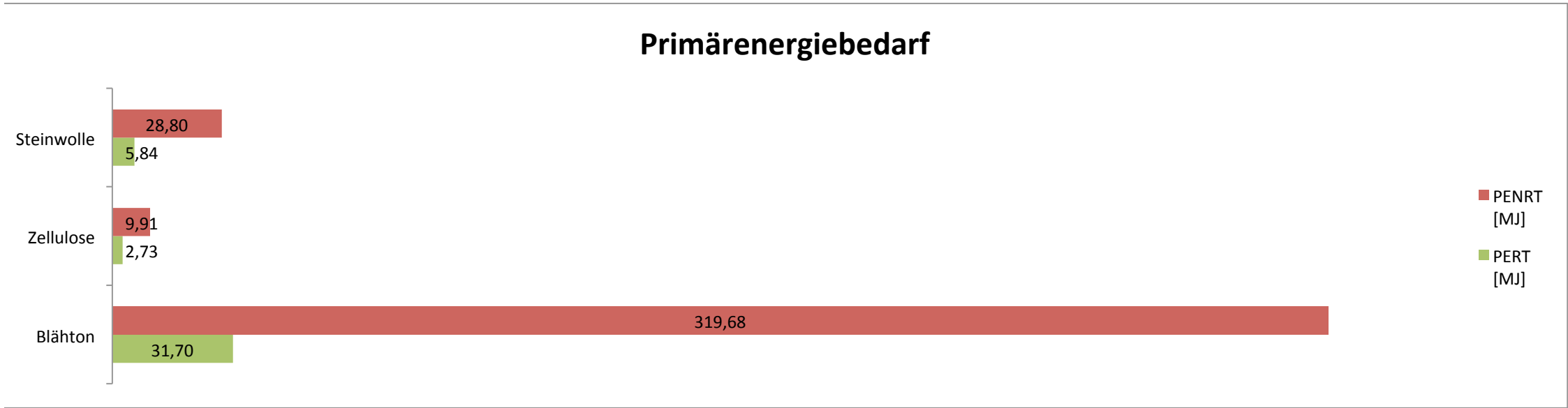
4.3. Bauphysikalische Betrachtung - Kerndämmung

Als Kerndämmung bezeichnet man eine Dämmvariante, bei der die Dämmung zwischen tragender Wand und einer Vormauerschale erfolgt. Gerade hier im Norden Deutschlands eine weitverbreitete Konstruktionsweise. Die Dämmung kann bei der Errichtung des Bauwerks vorgenommen werden oder aber auch nachträglich bewerkstelligt werden. Hierfür existieren verschiedenste Systeme, welche allesamt auf dem Prinzip beruhen, unter hohem Druck unterschiedlichste Varianten von Dämmmaterial in den Hohlraum einzublasen. Diese Art der Dämmung ist aus bauphysikalischer Sicht optimal, da sie die Vorteile des sommerlichen Wärmeschutzes einer Außen-dämmung mit einer deutlichen Reduzierung der thermischen Belastung des Dämmstoffes vereint. Grundvoraussetzung für eine funktionierende Kern-dämmung ist die fachgerechte, regendichte Ausführung der Vormauerschale, da anderenfalls die Gefahr der Durchfeuchtung des Dämmstoffes droht. Nachteilig ist die nur begrenzt zur Verfügung stehende Dämmschichtdicke, mit welcher sich kaum neuste EnEV Anforderungen mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,045 \text{ W/(mK)}$ erreichen lassen. Ein nachträglicher Einbau von Fenstern und Türen ist bei einer nachträglich erfolgten Dämmung etwa mit Polystyrol-Dämmkügelchen problematisch, da sie unter Umständen in größeren Mengen aus den Öffnungen austreten könnten.

EnEV 2014 konform sind bei Kerndämmung Dämmstoffe, welche einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von mindestens $\lambda = 0,045 \text{ W/(mK)}$ einhalten, soweit Dämmmaterialien in Hohlräume eingeblasen oder Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden. Ein minimaler U-Wert existiert hier nicht, da die Dämmschichtdicke ja durch bauliche Gegebenheiten begrenzt ist.

Pro +	Contra -
Unkompliziert und kostengünstig	Beschränkte Dämmschichtdicke
Keine optischen und räumlichen Einschränkungen	Nachträgliche Öffnungen in der Fassade nur schwer möglich
kaum thermische Belastung des Dämmmaterials	

Bauteil										Datensatz Ökobilanz - (bezogen auf 1m² Wandaufbau)																										
Wandaufbau				Kennwerte					Materialkosten		1. Produktionsstadium						2. Nutzungsstadium entfällt	3. Entsorgungsstadium						Bilanz												
Schnitt	Position	Aufbau	Anteil [in %]	Lambda [W/mK]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Schicht- dicke [m]	U-Wert [W/m²K]	Kosten [€/m²]	Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]	Quelle		PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]	Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]								
	warm . . . kalt	Ist-Zustand (Bestand)																																		
		1.	Kalk-Zementputzmörtel	100,0	1,000	1800	27,0	0,015	1,48	Bestand																										
		2.	Vollziegel Mauerwerk	100,0	0,680	1600	280,0	0,175																												
		3.	Luftschicht schwach belüftet	100,0	0,667	0	0,0	0,060																												
		4.	Vollklinker	100,0	0,810	1800	207,0	0,115																												
Gesamt:						514,0	0,365																													
		Einblasdämmung ökologisch - Blähton																																		
		1.	Kalk-Zementputzmörtel	100,0	1,000	1800	27,0	0,015	0,52	Bestand		Bestand																								
		2.	Vollziegel Mauerwerk	100,0	0,680	1600	280,0	0,175		35,00	www-1	31,70	319,68	21,06	21,33	1,39E-01	ÖB.dat-1																			
		3.	Blähton	100,0	0,045	900	54,0	0,060		Bestand		Bestand																								
		4.	Vollklinker	100,0	0,810	1800	207,0	0,115		35,00		31,70	319,68	21,06	21,33	1,39E-01																				
Gesamt:						568,0	0,365																													
		Einblasdämmung ökologisch - Zellulose																																		
		1.	Kalk-Zementputzmörtel	100,0	1,000	1800	27,0	0,015	0,48	Bestand		Bestand																								
		2.	Vollziegel Mauerwerk	100,0	0,680	1600	280,0	0,175		12,00	www-2	2,73	9,91	0,55	-1,65	3,16E-03	ÖB.dat-2																			
		3.	Zellulose	100,0	0,040	45	2,7	0,060		Bestand		Bestand																								
		4.	Vollklinker	100,0	0,810	1800	207,0	0,115		12,00		2,73	9,91	0,55	-1,65	3,16E-03																				
Gesamt:						516,7	0,365																													
		Einblasdämmung konventionell - Steinwolle																																		
		1.	Kalk-Zementputzmörtel	100,0	1,000	1800	27,0	0,015	0,48	Bestand		Bestand																								
		2.	Vollziegel Mauerwerk	100,0	0,680	1600	280,0	0,175		15,00	www-3	5,99	33,84	0,01	2,06	1,66E-02	EPD-1																			
		3.	Steinwolle	100,0	0,040	41	2,5	0,060		Bestand		Bestand																								
		4.	Vollklinker	100,0	0,810	1800	207,0	0,115		15,00		5,99	33,84	0,01	2,06	1,66E-02																				
Gesamt:						516,5	0,365																													



Fazit: zweischaliges Mauerwerk – Kerndämmung

Die Ökobilanz der zweischaligen Außenwand basiert auf einem Standard-Bestandsmauerwerk aus den 1960er Jahren in Norddeutschland. Für eine solche Außenwand wurden drei Modernisierungsvarianten untersucht:

Variante a: *Ökologische Einblasdämmung mit Blähton*

Variante b: *Ökologische Einblasdämmung mit Zellulose*

Variante c: *Konventionelle Einblasdämmung mit Steinwolle*

Sämtliche Varianten basieren auf dem von der EnEV 2014 geforderten U-Wert für Einblasdämmstoffe von mindestens 0,45 W/m²K bei baulich gegebener Dämmstoffdicke von 6 cm.

Da in allen drei Varianten lediglich der Dämmstoff variiert, ist diese Ökobilanz prinzipiell ein Vergleich von Dämmstoffen und nicht von Wandaufbauten.

Das Nutzungsstadium entfällt in der Ökobilanz zu den Baustoffen, weil die Dämmstoffe in der Nutzungsphase, d.h. solange sie im Mauerwerk angebracht sind, keine Energie verbrauchen und keine Emissionen verursachen.

Da Blähton in Variante a herstellungsbedingt auf ca. 1500°C erwärmt werden muss, fällt der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf (PENRT) entsprechend hoch aus. Auch Steinwolle ist energieintensiver als Zellulose, profitiert allerdings von einer Gutschrift, da Verpackungsmaterial wie Paletten und Folie der Verbrennung zugeführt werden.

Der Einsatz von Süßwasser-Ressourcen (FW) ist beim Blähton in Variante a am höchsten, da hier im Herstellungsprozess 0,39 m³ Wasser zur Herstellung eine Kilogramms benötigt werden.

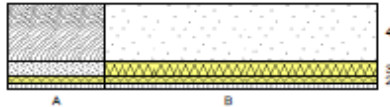
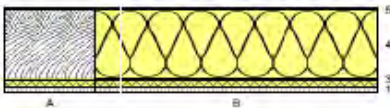
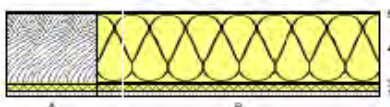
Das globale Erwärmungspotential (GWP) von Blähton ist, bedingt durch den sehr hohen Primärenergiebedarf dieses Baustoffes, ebenfalls sehr hoch. Für Zellulose ergibt sich eine Gutschrift, da der nachwachsende Rohstoff Holz ein Hauptbestandteil ist.

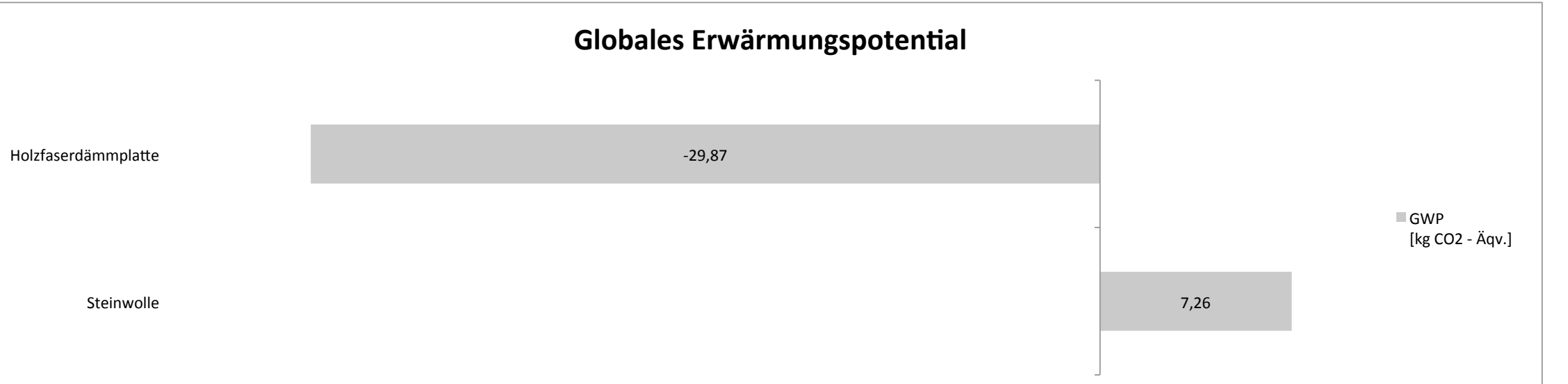
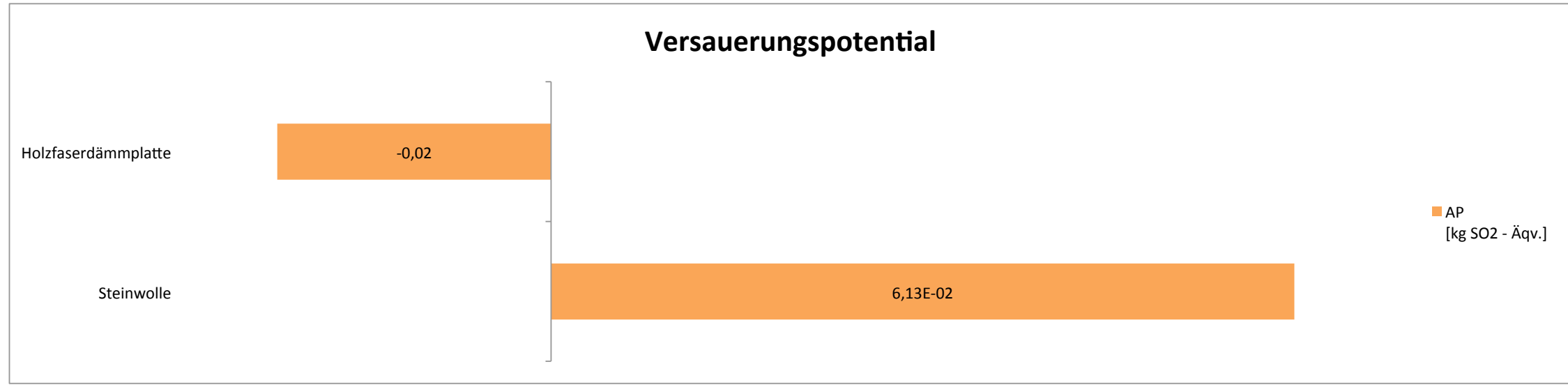
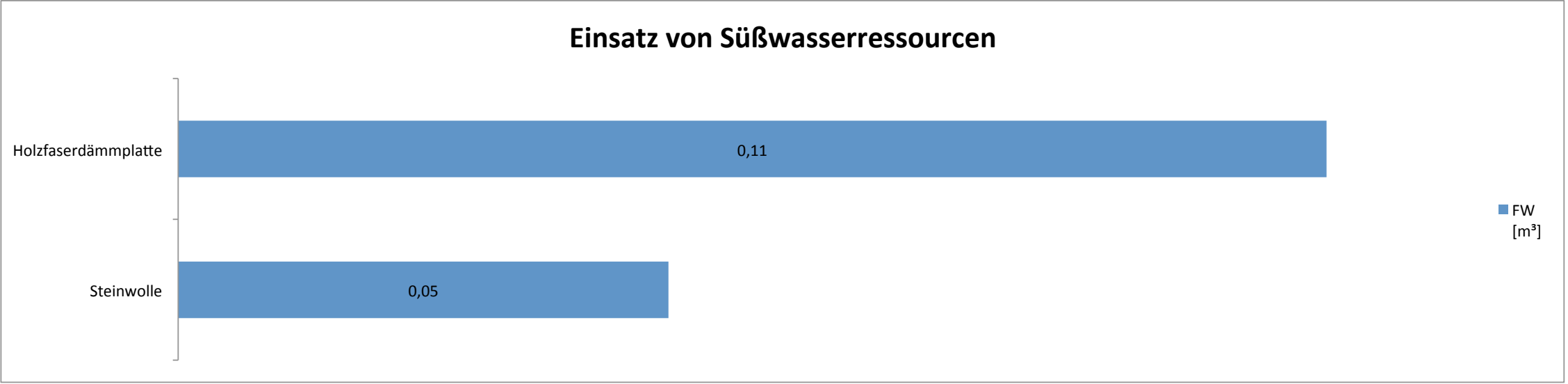
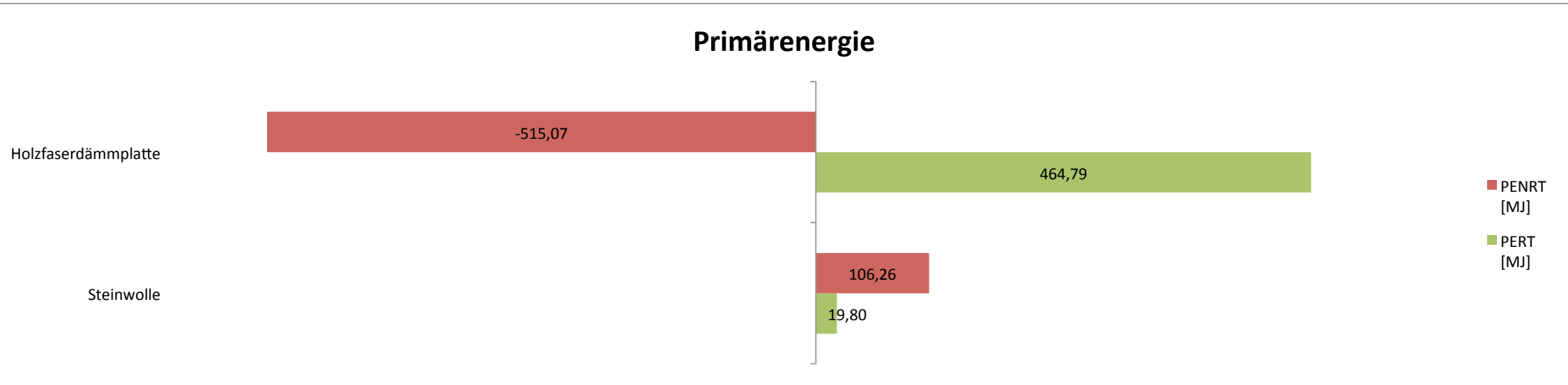
Auch beim Versauerungspotential (AP) zeigt sich der ökologische Vorteil der Zellulosedämmung aus Variante b, sodass es bei einer Kerndämmung unter den gegebenen Umständen eine eindeutige Empfehlung für dieses Dämmmaterial gibt. Blähton ist zwar ebenfalls ökologisch, aus einheimischen mineralischen Rohstoffen hergestellt und direkt wiederverwertbar, allerdings wirkt sich die äußerst energieintensive Herstellungsphase negativ auf die Ökobilanz aus. Auch bei den reinen Materialkosten ist Variante b mit Zellulose am preisgünstigsten, gefolgt von Steinwolle und Blähton. Auch diese Preise sollten von der Tendenz her stimmen, da auch hier die Kosten für den Aufwand aller 3 Varianten in etwa der gleiche ist.

4.4. Bauphysikalische Betrachtung – Dach-Zwischensparren-dämmung

Bei dieser Konstruktion wird der Dämmstoff zwischen die Dachsparren montiert. Durch diesen Umstand wird kein zusätzlicher Wohnraum in Anspruch genommen. Hohe Anforderungen an den laut EnEV 2014 geforderten U-Wert von mindestens $0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ können eine Aufdopplung der Dachsparren zur Folge haben. Auch die Unterbrechung der Dämmschicht durch die Sparren ist nachteilig, da Wärmebrücken und somit Heizkosten entstehen. Um spätere Feuchteschäden zu minimieren, ist eine Dampfsperre meist obligatorisch und eine exakte Bauausführung nötig. Etabliert haben sich einfach zu verarbeitende Klemmfilze aus Mineralwolle bzw. Naturdämmstoffen.

Pro +	Contra -
Preiswertes Dämmverfahren	Wärmebrücken, da kein homogenes Bauteil
Nachträgliche Durchführbarkeit	Anspruchsvolle Bauausführung
Keine Wohnraumeinbuße	Eventuell anfallende Erhöhung des Sparrens
Hohes Einsparpotenzial	

Bauteil										Datensatz Ökobilanz - (bezogen auf 1m² Wandaufbau)																			
Wandaufbau				Kennwerte				Materialkosten		1. Produktionsstadium						2. Nutzungsstadium entfällt	3. Entsorgungsstadium						Bilanz						
Schnitt	Position	Aufbau	Anteil [in %]	Lambda [W/mK]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Schicht- dicke [m]	U-Wert [W/m²K]	Kosten [€/m²]	Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]		Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]	Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]	
kalt . . warm	warm . . kalt								ca. Kosten		Erneuerbare Primärenergie	Nicht-erneuerbare Primärenergie	Einsatz von Süßwasser- ressourcen	Globales Erwärmungs- potential	Versauerungs- potential v. Boden u. Wasser		(Ökobaudat, EPD,...)	Erneuerbare Primärenergie	Nicht-erneuerbare Primärenergie	Einsatz von Süßwasser- ressourcen	Globales Erwärmungs- potential	Versauerungs- potential v. Boden u. Wasser	(Ökobaudat, EPD,...)	Erneuerbare Primärenergie	Nicht-erneuerbare Primärenergie	Einsatz von Süßwasser- ressourcen	Globales Erwärmungs- potential	Versauerungs- potential v. Boden u. Wasser	
	Ist-Zustand (Bestand)																Ist-Zustand (Bestand)												
	1.	Kalk-Zementputzmörtel	100,0	1,000	1800	27,0	0,015	0,83	Bestand	Bestand							Bestand												
	2.	Holzwohle Leichtbauplatte	100,0	0,065	360	7,2	0,020																						
	3. A	Sparren 20x10 Teil1 (4cm)	12,5	0,130	529	2,6	0,040																						
	3. B	Glaswolle	87,5	0,050	41	1,4																							
	4. A	Sparren 20x10 Teil2 (16cm)	12,5	0,130	529	10,6	0,160																						
	4. B	Stark belüftete Luftschicht (horiz.)	87,5	0,000	0	0,0																							
Gesamt:							48,9	0,235																					
	Zwischensparrendämmung konventionell - Steinwolle																Zwischensparrendämmung konventionell - Steinwolle												
	1.	Kalk-Zementputzmörtel	100,0	1,000	1800	27,0	0,015	0,19	Bestand		Bestand						Bestand						Bestand						
	2.	Holzwohle Leichtbauplatte	100,0	0,065	360	7,2	0,020		0,95	www-3	0,43	14,15	0,28	0,45	1,55E-03	ÖB.dat-1													
	3.	PE Folie	100,0	0,330	960	0,2	0,0002																						
	4. A	Sparren 20x10 komplett (20cm)	12,5	0,130	529	13,2			12,60	www-1	19,97	112,80	0,03	6,87	5,52E-02	EPD-1													
	4. B	Steinwolle	87,5	0,032	41	8,2	0,200		1,33	www-4	0,17	13,77	0,02	0,72	6,52E-03	EPD-3													
	Gesamt:								56,0	0,235	13,55	20,57	140,72	0,33	8,04	0,06													
	Zwischensparrendämmung ökologisch - Holzfaserdämmplatte																Zwischensparrendämmung ökologisch - Holzfaserdämmplatte												
	1.	Kalk-Zementputzmörtel	100,0	1,000	1800	27,0	0,015	0,21	Bestand		Bestand						Bestand						Bestand						
	2.	Holzwohle Leichtbauplatte	100,0	0,065	360	7,2	0,020		0,95	www-3	0,43	14,15	0,28	0,45	1,55E-03	ÖB.dat-1													
	3.	PE Folie	100,0	0,330	960	0,2	0,0002																						
	4. A	Sparren 20x10 komplett (20cm)	12,5	0,130	529	13,2			17,95	www-2	502,28	299,10	0,08	-26,00	2,20E-02	EPD-2													
	4. B	Holzfaserdämmplatte	87,5	0,037	160	32,0	0,200		1,33	www-4	0,17	13,77	0,02	0,72	6,52E-03	EPD-3													
	Gesamt:								79,8	0,235	18,90	502,88	327,02	0,38	-24,83	0,03													



Fazit: Dach - Zwischensparrendämmung

Die Ökobilanz des im Bestand angenommenen Daches basiert auf einem Standard-Dachaufbau aus den 1960er Jahren in Norddeutschland. Für eine solches Dach wurden zwei Modernisierungsvarianten untersucht:

Variante a: Konventionelle Dämmung mit Steinwolle

Variante b: Ökologische mit Holzfaserdämmplatte

Beide Varianten basieren auf dem von der EnEV 2014 geforderten U-Wert von mindestens 0,24 W/m²K bei der Sanierung von Dächern in Wohngebäuden.

Das Nutzungsstadium entfällt in der Ökobilanz zu den Baustoffen, weil die Dämmstoffe in der Nutzungsphase, d.h. solange sie im Dach angebracht sind, keine Energie verbrauchen und keine Emissionen verursachen.

Es zeigt sich bei dem ökologischen Dämmstoff Holzfaserdämmplatte im Vergleich erneuerbarer Energien (PERT) und nicht erneuerbarer Energien (PENRT) auf Seiten des PENRT im Laufe des Lebenszyklusses ein Energiegewinn von 515,07 MJ und auf Seiten des PERT ein Energieverlust von 464,79 MJ. Der Energiegewinn resultiert aus dem Entsorgungsstadium. Die Energie wird bei der Verwertung des Materials durch Verbrennung wieder zurückgewonnen.

Der Einsatz von Süßwasser Ressourcen (FW) ist im Vergleich zu der in Variante a zum Einsatz gekommenen Steinwolle höher, weil der Holzfaserdämmstoff ein pflanzlicher Stoff ist und Holz in seiner Wachstumsphase sehr viel Wasser benötigt.

Die CO₂-Gutschriften der Holzfaserdämmplatten entstehen dadurch, dass das Holz während der Nutzungsphase ein natürlicher Kohlenstoffspeicher ist. Während des Wachstums entzieht Holz der Atmosphäre CO₂ und entlastet so das Klima. Erst bei der Verbrennung wird ein Teil des CO₂ wieder an die Atmosphäre abgegeben.

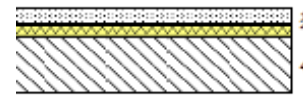
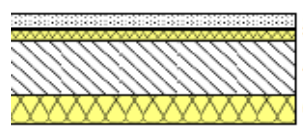
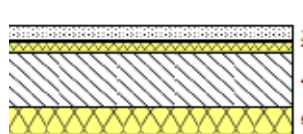
Auch beim Versauerungspotential (AP) zeigt sich der ökologische Vorteil der Holzfaserdämmplatte aus Variante b, sodass es bei einer Deckendämmung unter den gegebenen Umständen eine eindeutige Empfehlung für dieses Dämmmaterial gibt. Lediglich die Bilanz der Süßwasserressourcen fällt zu Gunsten der konventionellen Steinwolle aus. Beim Vergleich der reinen Materialkosten ergibt sich für Variante a (Steinwolle) ein Vorteil, da diese Variante günstiger ist, als die ökologischere Holzfaserdämmplatte.

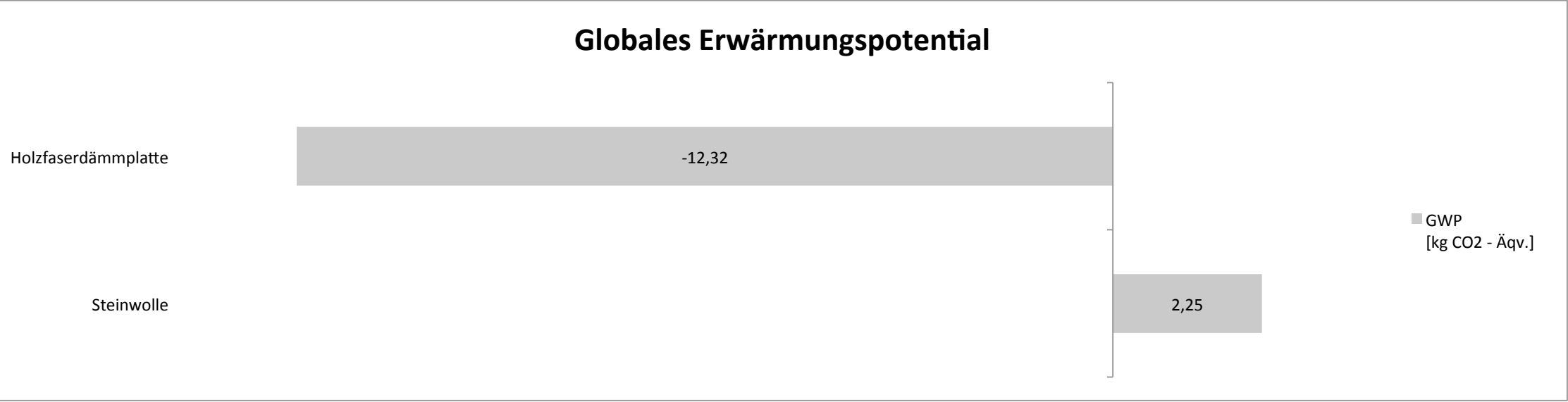
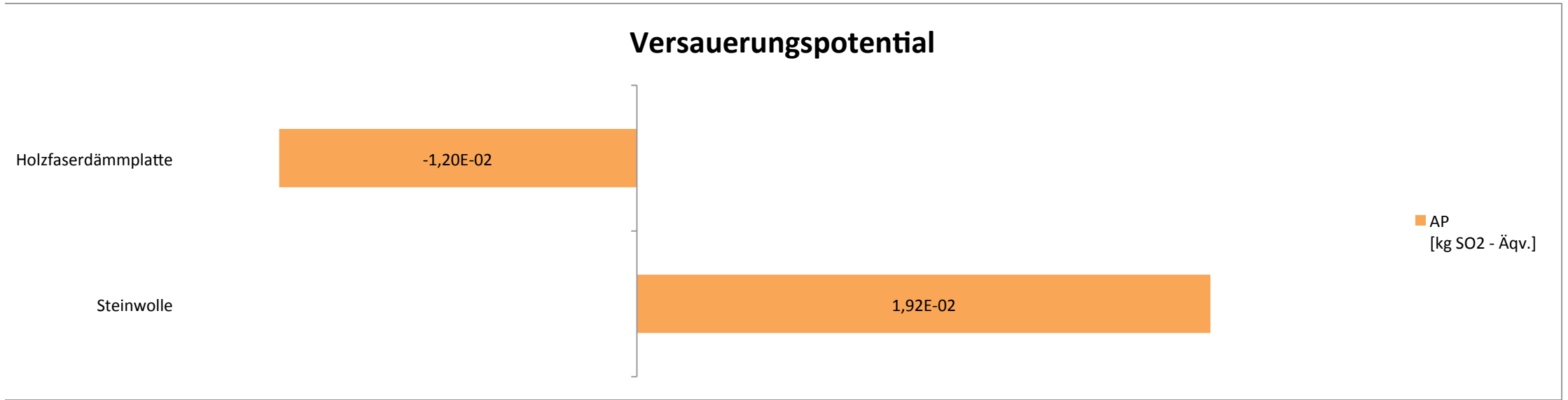
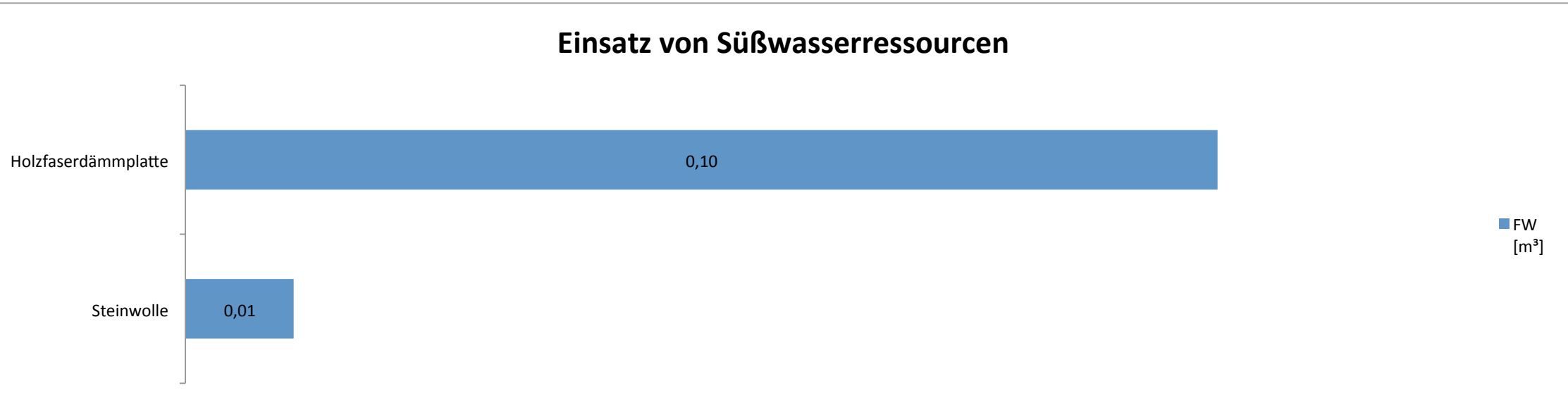
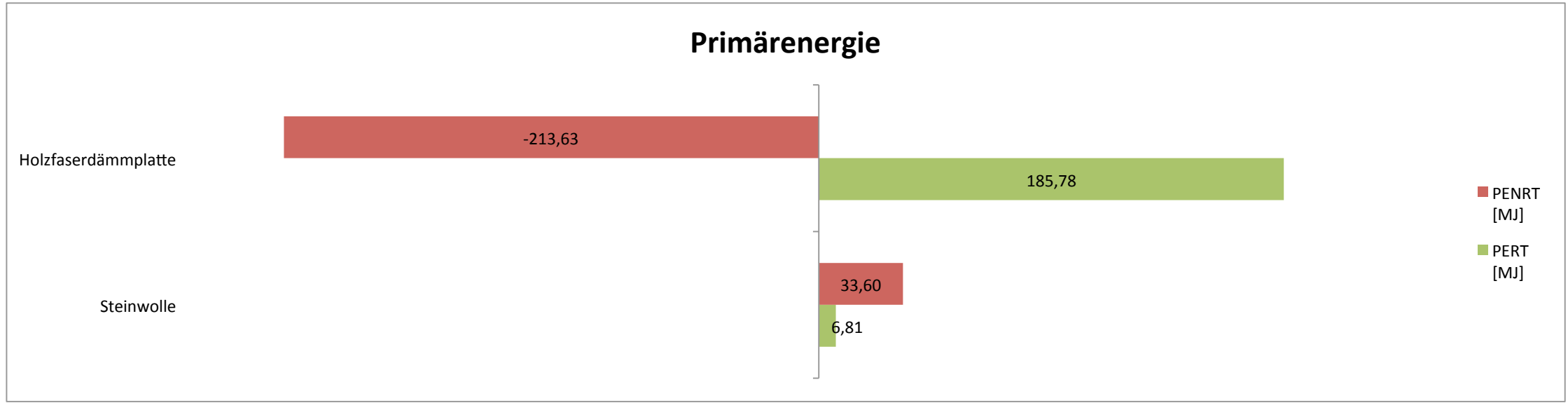
4.5. Bauphysikalische Betrachtung – Keller-Deckendämmung

Die Dämmung der Decke zwischen unbeheiztem Keller und beheizten darüber liegenden Räumen ist eine Maßnahme, die sich schnell amortisiert, da durchschnittlich 5-10 % der Heizenergie ungenutzt im Kellerbereich verloren geht. Gleichzeitig steigt die Behaglichkeit oberhalb der Decke, da die Bodentemperatur „fußfreundlicher“ wird. Diese Art der Dämmung kann von Laien in Eigenleistung durchgeführt werden und ist preiswert. Am Markt existieren maßgeschneiderte Lösungen aus speziellen Dämmplatten, die oftmals auch schon eine widerstandsfähige Oberflächenbeschichtung besitzen. Durch die Anbringung der Dämmschicht lassen sich häufig störende Leitungen kaschieren, aber durch die tiefere Deckenhöhe kann die Kopfhöhe beeinträchtigt werden.

Laut EnEV 2014 müssen Dämmmaßnahmen der bestehenden Kellerdecke einen U-Wert von mindestens $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfüllen.

Pro +	Contra -
Preiswertes Dämmverfahren	Reduzierte Raumhöhe
Schnelle und einfache Realisierung	Glatter Unterbau nötig
Reduzierung der „Fußkälte“ in darüber liegenden Räumen	Relativ stoßempfindlicher Deckenaufbau wenn keine weitere Verkleidung erfolgt
Kaschierung von Installationsleitungen	
Schnelle Amortisationszeit	

Bauteil									Datensatz Ökobilanz - (bezogen auf 1m² Wandaufbau)																			
Wandaufbau				Kennwerte					Materialkosten		1. Produktionsstadium						2. Nutzungsstadium entfällt	3. Entsorgungsstadium						Bilanz				
Schnitt	Position	Aufbau	Anteil [in %]	Lambda [W/mK]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Schicht- dicke [m]	U-Wert [W/m²K]	Kosten [€/m²]	Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]	Quelle		PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]	Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO₂ - Äqv.]	AP [kg SO₂ - Äqv.]
Warm . . Kalt	Warm . . Kalt								ca. Kosten		Erneuerbare Primärenergie	Nicht erneuerbare Primärenergie	Einsatz von Süßwasser- ressourcen	Globales Erwärmungs- potenzial	Versauerungs- potenzial v. Boden u. Wasser	(Ökobaudat, EPD.....)		Erneuerbare Primärenergie	Nicht erneuerbare Primärenergie	Einsatz von Süßwasser- ressourcen	Globales Erwärmungs- potenzial	Versauerungs- potenzial v. Boden u. Wasser	(Ökobaudat, EPD.....)	Erneuerbare Primärenergie	Nicht erneuerbare Primärenergie	Einsatz von Süßwasser- ressourcen	Globales Erwärmungs- potenzial	Versauerungs- potenzial v. Boden u. Wasser
	Ist-Zustand (Bestand)																											
	1.	Zement Estrich	100,0	1,400	2000	80,0	0,040	0,89	Bestand		Bestand																	
	2.	PE Folie	100,0	0,330	960	0,3	0,00030																					
	3.	Glaswolle	100,0	0,045	260	7,8	0,030																					
	4.	Betondecke	100,0	1,650	2200	330,0	0,150																					
Gesamt:						418,1	0,220																					
	Kellerdecke konventionell - Steinwolle																											
	1.	Zement Estrich	100,0	1,400	2000	80,0	0,040	0,30	Bestand		Bestand																	
	2.	PE Folie	100,0	0,330	960	0,3	0,00030																					
	3.	Glaswolle	100,0	0,045	260	7,8	0,030																					
	4.	Betondecke	100,0	1,650	2200	330,0	0,150																					
	5.	Steinwolle	90,0	0,032	41	2,9	0,070	32,00	www-1	6,99	39,48	0,01	2,40	1,93E-02	EPD-1	-0,18	-5,88	-1,40E-04	-0,15	-8,55E-05	EPD-1	6,81	33,60	0,01	2,25	1,92E-02		
Gesamt:						421,0	0,290	32,00		6,99	39,48	0,01	2,40	1,93E-02		-0,18	-5,88	-1,40E-04	-0,15	-8,55E-05		6,81	33,60	0,01	2,25	1,92E-02		
	Kellerdecke ökologisch - Holzfaserdämmplatte																											
	1.	Zement Estrich	100,0	1,400	2000	80,0	0,040	0,30	Bestand		Bestand																	
	2.	PE Foilie	100,0	0,330	960	0,3	0,00030																					
	3.	Glaswolle	100,0	0,045	260	7,8	0,030																					
	4.	Betondecke	100,0	1,650	2200	330,0	0,150																					
	5.	Holzfaserdämmplatte	100,0	0,037	160	12,8	0,080	29,04	www-2	200,91	119,64	0,03	-10,40	8,80E-03	EPD-2	-15,14	-333,27	6,61E-02	-1,92	-2,08E-02	EPD-2	185,78	-213,63	0,10	-12,32	-1,20E-02		
Gesamt:						430,9	0,300	29,04		200,91	119,64	0,03	-10,40	8,80E-03		-15,14	-333,27	6,61E-02	-1,92	-2,08E-02		185,78	-213,63	0,10	-12,32	-1,20E-02		



Fazit: Keller - Deckendämmung

Die Ökobilanz der im Bestand angenommenen Kellerdecke basiert auf einem Standard-Bestandsmauerwerk aus den 1960er Jahren in Norddeutschland. Für eine solche Decke wurden zwei Modernisierungsvarianten untersucht:

Variante a: Konventionell mit Steinwolle

Variante b: Ökologische mit Holzfaserdämmplatte

Beide Varianten basieren auf dem von der EnEV 2014 geforderten U-Wert von mindestens 0,30 W/m²K, bei der Sanierung von Kellerdecken in Wohngebäuden.

Das Nutzungsstadium entfällt in der Ökobilanz zu den Baustoffen, weil die Dämmstoffe in der Nutzungsphase, d.h. solange sie am Mauerwerk angebracht sind, keine Energie verbrauchen und keine Emissionen verursachen.

Es zeigt sich bei dem ökologischen Dämmstoff Holzfaserdämmplatte im Vergleich erneuerbarer Energien (PERT) und nicht erneuerbarer Energien (PENRT) auf Seiten des PENRT im Laufe des Lebenszyklus ein Energiegewinn von 213,63 MJ und auf Seiten des PERT ein Energieverlust von 185,78 MJ. Der Energiegewinn resultiert aus dem Entsorgungsstadium. Die Energie wird bei der Verwertung des Materials durch Verbrennung wieder zurückgewonnen.

Der Einsatz von Süßwasser-Ressourcen (FW) ist im Vergleich zu der in Variante a zum Einsatz gekommenen Steinwolle höher, weil der Holzfaserdämmstoff ein pflanzlicher Stoff ist und Holz in seiner Wachstumsphase sehr viel Wasser benötigt.

Die CO₂-Gutschriften bei den Holzfaserdämmplatten entstehen dadurch, dass das Holz während der Nutzungsphase ein natürlicher Kohlenstoffspeicher ist. Während des Wachstums entzieht Holz der Atmosphäre CO₂ und entlastet so das Klima. Erst bei der Verbrennung wird ein Teil des CO₂ wieder an die Atmosphäre abgegeben.

Auch beim Versauerungspotential (AP) zeigt sich der ökologische Vorteil der Holzfaserdämmplatte aus Variante b, sodass es bei einer Deckendämmung unter den gegebenen Umständen eine eindeutige Empfehlung für dieses Dämmmaterial gibt. Lediglich die Bilanz der Süßwasser-Ressourcen fällt zu gunsten der konventionellen Steinwolle aus. Bei der Gegenüberstellung der reinen Materialkosten liegt die ökologische Variante b mit Holzfaserdämmplatte knapp vorne. Auch hier sind bei beiden Varianten die zusätzlich erforderlichen Arbeitskosten in etwa dieselben, was den von uns angegebenen Preis tendenziell realistisch macht.

4.6. Fazit

Das Gesamtfazit zu der Ökobilanzierung von Baukonstruktionen ist, dass insbesondere die Baustoffe Holzfaserdämmplatte oder Hanfdämmung besonders ökologische Qualitäten aufweisen. Ein Nachteil, welcher die Diagramme der Ökobilanz aufweist, ist der hohe Süßwasserverbrauch. Dieser ist auf das Wachstum der Pflanze zurück zu führen. Der Wasserverbrauch wird jedoch in den Wasserkreislauf der Erde zurück geführt und ist somit schließlich nicht als Nachteil anzusehen. Ein eindeutiger Sieger bei den konventionellen Baustoffen ist nicht festzustellen. Die Materialien haben nur in den einzelnen Bewertungskriterien gute Werte im Sinne der Umweltschonung. Die Ökobilanzierung ist als Entscheidungshilfe anzusehen. Aus Sicht der Finanzierung eines Neubaus oder einer Sanierung sind die konventionellen Baustoffe im Vorteil, weil diese deutlich preisgünstiger als die ökologischen Baustoffe sind. Wer Wert auf die Schonung der Umwelt und seinen eigenen ökologischen Fußabdruck legt, ist mit den ökologischen Baustoffen auf dem richtigen Weg.

5. Ökobilanzierung von Fensterkonstruktionen

Energetisch bedeutende Bauteile wie Fenster haben ein großes Energieeinsparpotenzial, wiederum sind sie in ihrer Herstellung sehr energieintensiv. Außerdem müssen sie am Ende ihrer Lebensdauer einmal entsorgt bzw. recycelt werden. Um all diese Aspekte zu analysieren, ist eine Ökobilanzierung unterschiedlicher Fensteraufbauten unabdingbar.

Leider ist es aufgrund fehlender, respektive lückenhafter Datensätze, sowohl in der Ökobau.dat als auch in den EPDs, nicht möglich eine detaillierte und somit aussagekräftige Bilanz anzufertigen. Auch der Versuch, nur die jeweiligen Basismaterialien wie Holz, Aluminium oder Kunststoff zu vergleichen scheiterte, da sich ein Fenster aus sehr vielen unterschiedlichen Materialien zusammensetzt. So besteht ein Kunststofffenster nicht nur aus PVC, sondern enthält einen bestimmten Anteil Stahl und Dämmkerne im Profilinneren. Bei Holzfenstern gilt es, den Anstrich und die turnusmäßigen Lackierarbeiten mit in die Bilanzierung aufzunehmen, was aufgrund der Fülle der Daten und ihrer Komplexität den Rahmen dieser Ausarbeitung sprengen würde. Ein Holzfenster muss z.B. aus ökologischer Sicht nicht zwangsläufig besser abschneiden als ein Aluminiumfenster, denn das Holzfenster benötigt ca. alle 5 Jahre einen neuen Anstrich, hingegen verbucht das Alu-Fenster am Ende seines Lebens eine hohe Recycling Gutschrift.

Um aber dennoch eine Aussage treffen zu können, wird eine Studie der schweizerischen Empa (Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology) herangezogen⁵.

Die Studie entstand 1996, aktuellere Daten liegen laut Autorin nicht vor. Davon unabhängig können die ermittelten Ergebnisse auch auf die heutigen Bauteile übertragen werden, allerdings nicht in absoluten Zahlen, sondern lediglich als Tendenz.

Hinsichtlich ihrer Ökobilanz wurden sieben unterschiedliche Konstruktionen bestehend aus folgenden Materialien: Aluminium, Stahl, Edelstahl, Buntmetall, Holz-Aluminium, Holz und PVC untersucht. Hierzu wurde als funktionale Einheit ein 2-flügliges Musterfenster festgelegt und unter gegebenen Systemgrenzen betrachtet. Der gesamte Lebensweg der Fenster, die Umwelteinwirkungen der Hauptmaterialflüsse, alle eingesetzten Energieträger von der Ressourcenentnahme bis zum Rückbau, wurden ebenso wie die bei Herstellungs- und Instandhaltungsarbeiten verwendeten Hilfs- und Kleinmaterialien untersucht.

⁵ Empa (Hrsg.): Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen, CH-Dübendorf, 1996 (<http://www.window.de/86.html>)

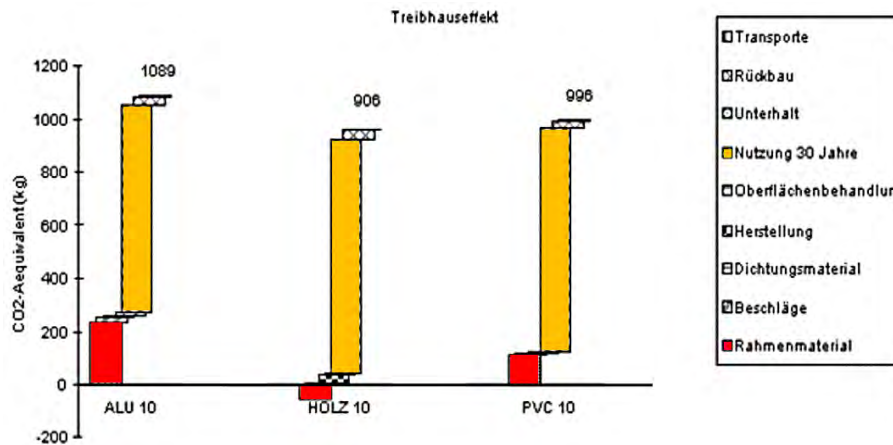


Abbildung 5: Treibhauspotenziale von Alu, Holz und PVC

Anhand o.a. Abbildung wird ersichtlich, dass Holz, im Gegensatz zu Aluminium und PVC, einen negativen Wert für das Treibhauspotenzial (rote Balken) des Rahmenmaterials aufweist. Die Ursache liegt darin, dass Holz in seiner Wachstumsphase CO_2 aufnimmt.

Außerdem wird deutlich, dass ein Großteil des Treibhauspotenzials während der 30-jährigen Nutzungsphase (gelbe Balken) anfällt. Dieser entsteht durch den schlechteren U-Wert des Fensters gegenüber einem Wandaufbau und dem damit verbundenen Wärmeverlust. Eine ökologisch sinnvolle Maßnahme ist daher der Einbau eines Fensters mit besonders gutem U-Wert, unabhängig vom gewählten Rahmenmaterial.

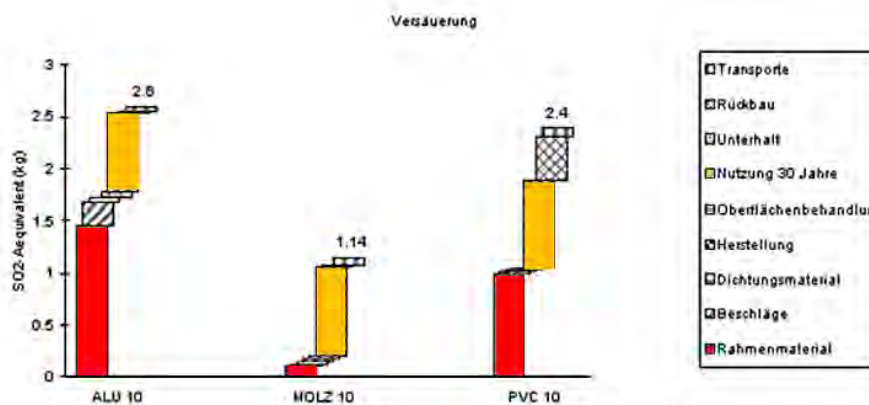


Abbildung 6: Versauerungspotenziale von Alu, Holz und PVC

Auch beim Versauerungspotenzial zeigt sich die gute Ökobilanz von Holz. Bei PVC und Alu werden rund zwei Drittel des Versauerungspotenzials durch Rahmen- und Beschlagsmaterialien ausgelöst, während beim Holzfenster die Beiträge der konstruktiven Materialien gering sind.

Keine der untersuchten Konstruktionen und Werkstoffe konnte in *allen* der untersuchten Kategorien deutliche Vorteile erlangen, aber auch keine eindeutigen Defizite aufweisen. Unter diesen Umständen kann es zumindest aus ökobilanzieller Sicht keine Einschränkungen bzw. Boykotte bei der Wahl der Fensterkonstruktion geben.

6. Ökobilanzierung Anlagentechnik

Innerhalb dieser Ausarbeitung wurden die fünf häufigsten Wärmeerzeuger ausgewählt und bilanziert. Weiterhin wurde eine Solaranlage untersucht, die der weiteren Warmegewinnung dient. (Siehe Anlage: Wärmeerzeuger)

Als Ausgangsobjekt wurde ein Einfamilienhaus aus dem Jahre 1963 gewählt mit einer Nutzfläche von 121 m². Das Gebäude befindet sich im ursprünglichen Zustand.

Folgende U-Werte wurden angenommen:

- Außenwände: 0,80 W/m²K
- Dach: 0,34 W/m²K
- Fenster/Türen: 2,90 W/m²K

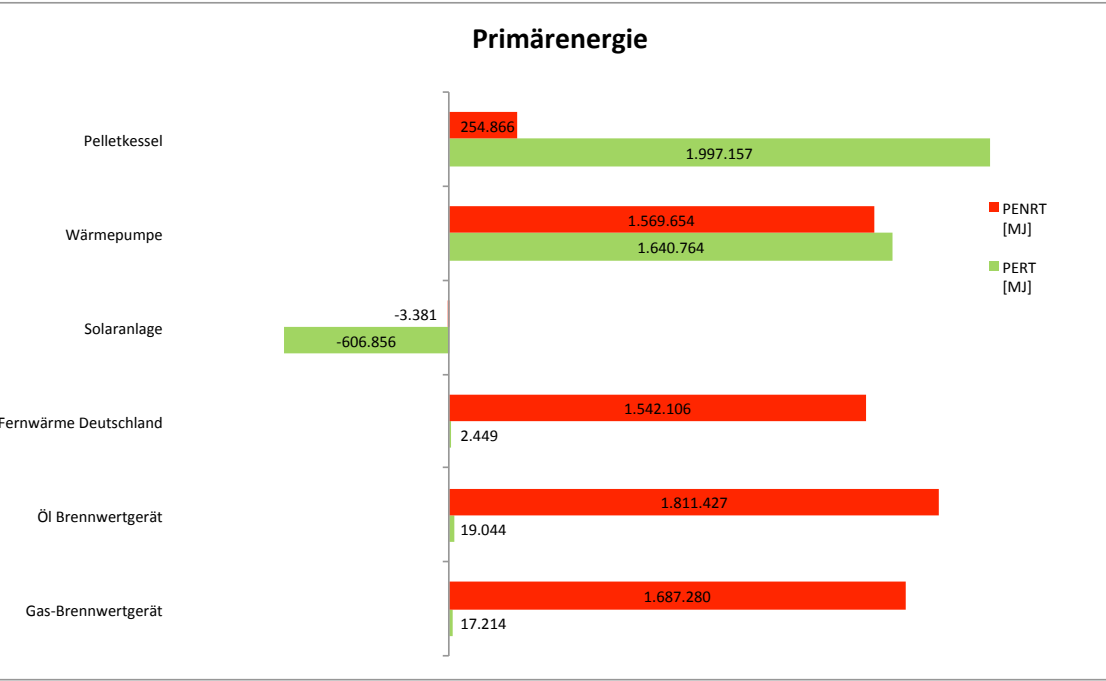
Mit dem Energieberaterprogramm der Fa. Hottgenroth wurde ein jährlicher Wärmeenergiebedarf von ca. 20.000 kWh/a errechnet. Das Standard Heizungssystem wurde ausgestattet mit:

- 200 l Edelstahl-Pufferspeicher
- 10 Heizkörper Typ 22
- 10 m² Fußbodenheizung
- Umwälzpumpe < 50 Watt
- 100 m Kupferrohr
- 100 m Rohrisolierung

Alle ausgewählten Wärmeerzeuger wurden mit einer Leistungszahl von 20 kW berechnet. Die Lebensdauer der Wärmeerzeuger wurden der Ökobau.dat entnommen. Da die Lebensdauer der Fernwärmanlage, Wärmepumpe, Heizkörper, Umwälzpumpe, Kupferrohr, Rohrisolierung, und der Fußbodenheizung eine andere Lebensdauer haben als der Großteil der Komponenten, wurde in der Bilanz alles auf 20 Jahre berechnet.

5.1 Ökobilanzierung Anlagentechnik

Anlage								Datensatz Ökobilanz																								
Anlage								1. Produktionsstadium						2. Nutzungsstadium						3. Entsorgungsstadium						Bilanz						
Bild	Position	Anlagenkomponenten	Verbrauch/ Ertrag [kWh/a]	Leistung [kW]	Fläche [m²]	Masse [kg]	Kosten [€]	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO ₂ - Äqv.]	AP [kg SO ₂ - Äqv.]	Quelle	Lebens- dauer [a]	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO ₂ - Äqv.]	AP [kg SO ₂ - Äqv.]	Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO ₂ - Äqv.]	AP [kg SO ₂ - Äqv.]	Quelle	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	FW [m³]	GWP [kg CO ₂ - Äqv.]	AP [kg SO ₂ - Äqv.]	
		Heizungsanlage Einfamilienhaus																														
		Jährlicher Verbrauch	19.901,70																													
		1. Pufferspeicher Edelstahl 200 l				56	1270,00	235,76	3.769	296,8	260,4	9,184E-07	ÖB.dat-1	20	1	0	0	0	0	0	ÖB.dat-21	235,80	3.770	296,84	260,93	9,19E-07						
		2. 10 Heizkörper				375	56,60	450	24.188	250,125	1635	4,95	ÖB.dat-2	25	0,8	0	0	0	0	0	ÖB.dat-22	450,27	24.191	250,30	1636,14	4,95E+00						
		3. Fußbodenheizung			10	29,5	206,66	220	2.740	226	162	0,708	ÖB.dat-3	40	0,5	0	0	0	0	0	ÖB.dat-23	220,79	2.752	227,14	240,18	7,14E-01						
		4. Umwälzpumpe <50 W		0,05		2,5	121,00	60,25	687,5	62,75	49,75	0,23125	ÖB.dat-4	12	1,67	7.849	46.078	7.954	3.276	5,4312	ÖB.dat-14	6,175E-02	1,53	6,18E-02	1,01	7,78E-04	ÖB.dat-24	7.909	46,767	8.017	3,327	5,66E+00
		5. Kupferrohr				59	818,00	1.672	132,75	1333,4	130,39	0,708	D-WIE-201111	40	0,5	0	0	0	0	0	ÖB.dat-25	1.672	133,90	1.333	130,75	7,09E-01						
		6. Rohrisolierung				15	485,00	61,035	1.650	1,1265	72,3	0,14385	ÖB.dat-5	40	0,5	0	0	0	0	0	ÖB.dat-26	62,04	1669,50	2,29	106,20	1,53E-01						
		Gesamt:					2957,26	2.699	33.167	2.170	2.310	6,741				7.849	46.078	7.954	3.276	5,43		10.550	79.283	10.127	5.701	12,190						
		Gas-Brennwertgerät																														
	1.	Gas-Brennwertgerät < 20 kW		20		133	1500,00	1.635	14.977	1.698	1.095	6,35	ÖB.dat-6	20	1	15563,13	1671742,80	19902,50	102294,74	58,51	ÖB.dat-15	17.199	1.686.738	21.601	103.409	64,86						
	2.	Schornstein Polypropylen				5,82	159,00	14,43	534,28	14,78	16,01	2,90E-02	ÖB.dat-7	20	1	0	0	0	0	0	ÖB.dat-28	14,82	541,84	15,24	29,16	3,25E-02						
		Gesamt:						1659,00	1.649	15.511	1.713	1.111	6,38				15.563	1.671.743	19.903	102.295	58,51		17.214	1.687.280	21.616	103.438	64,89					
		Öl-Brennwertgerät																														
	1.	Öl-Brennwertgerät < 20 kW		20		162	3660,00	1.974	17.866	2.044	1.307	7,55	ÖB.dat-8	20	1	16.797	1.783.192	17.912	125.779	246,78	ÖB.dat-16	18.772	1.801.081	19.956	127.109	254,34						
	2.	Schornstein Polypropylen				5,82	159,00	14,43	534,28	14,78	16,01	2,90E-02	ÖB.dat-7	20	1	0	0	0	0	0	ÖB.dat-28	14,82	541,84	15,24	29,16	3,25E-02						
	3.	Öltank Nylon 1000 l				43,8	675,00	255	9.753	265	541	8,37E-01	ÖB.dat-9	20	1	0	0	0	0	0	ÖB.dat-30	256,80	9804,30	267,45	686,00	9,59E-01						
		Gesamt:					4494,00	2.243	28.153	2.324	1.864	8,42				16.797	1.783.192	17.912	125.779	246,78		19.044	1.811.427	20.239	127.824	255,33						
		Fernwärme Deutschland																														
	1.	Fernwärme 20 kW		20		20	k.a.	92	1.710	105,8	121,6	0,676	ÖB.dat-10	60	0,33	2.356	1.540.392	27.703	101.101	86,77	ÖB.dat-17	2.449	1.542.106	27.809	101.226	87,45						
		Gesamt:						92,00	1.710	105,80	121,60	0,68				2.356	1.540.392	27.703	101.101	86,77		2.449	1.542.106	27.809	101.226	87,45						
		Solaranlage																														
		Jährlicher Ertrag	2.821,00																													
	1.	Vakuum-Röhrenkollektoren			7	106	2818,00	1.890	11.963	1.988	903	9,45	ÖB.dat-11	20	1	-609.336	-24.768	-4.265	-1.760	-2,92	ÖB.dat-18	7,81E-02	1,12	5,67E-02	6,74E-01	4,94E-04	ÖB.dat-32	-607.446	-12.804	-2.277	-857	6,53
	2.	Pufferspeicher 750l				140	1335,00	589,4	9.422	742	651	2,30E-06	ÖB.dat-1	20	1	0	0	0	0	0	ÖB.dat-21	589,44	9.423	742,04	651,53	2,30E-06						
		Gesamt:					4153,00	2.479	21.385	2.730	1.554	9,45				-609.336	-24.768	-4.265	-1.760	-2,92		1,18E-01	1,99	9,71E-02	1,21	4,94E-04		-606.856	-3.381	-1.535	-205	6,53
		Wärmepumpe																														
	1.	Wärmepumpe Erdkollektor 20 kW 0/50		20		4692	12125,00	9.220	403.364	71,5	11.538	26,6	ÖB.dat-12	12	1,67	1.631.541	1.166.240	201.405	82.791	137,72	ÖB.dat-19	2,87	50,20	2,75	66,16	2,27E-02	ÖB.dat-33	1.640.764	1.569.654	201.479	94.395	164,34
	2.																															
	3.																															
		Gesamt:					12125,00	9.220	403.364	71,5	11.538	26,6				1.631.541	1.166.240	201.405	82.791	137,72		2,87	50,20	2,75	66,16	2,27E-02		1.640.764	1.569.654	201.479	94.395	164,34
		Pelletkessel																														
	1.	Pelletkessel 20 kW		20		335	8410,00	580	16.722	646	1.227	6,24	ÖB.dat-13	20	1	1.996.539	242.403	19.225	-150.457	171,95	ÖB.dat-20	38,30	-4.259	82,70	-374,00	-1,41	ÖB.dat-34	1.997.157	254.866	19.954	-149.604	176,78
	2.																															
	3.																															
		Gesamt:					8410,00	580	16.722	646	1.227	6,24				1.996.539	242.403	19.225	-150.457	171,95		38,30	-4259,00	82,70	-374,00	-1,41		1.997.157	254.866	19.954	-149.604	176,78



6.2. Analyse Anlagentechnik

6.2.1. Erneuerbare und nicht erneuerbare Energie

Im u.a. Diagramm über die erneuerbare (PERT) und nicht erneuerbare Energie (PENRT), ist der Unterschied zwischen den ökologischen und den fossilen Technologien eindeutig zu erkennen.

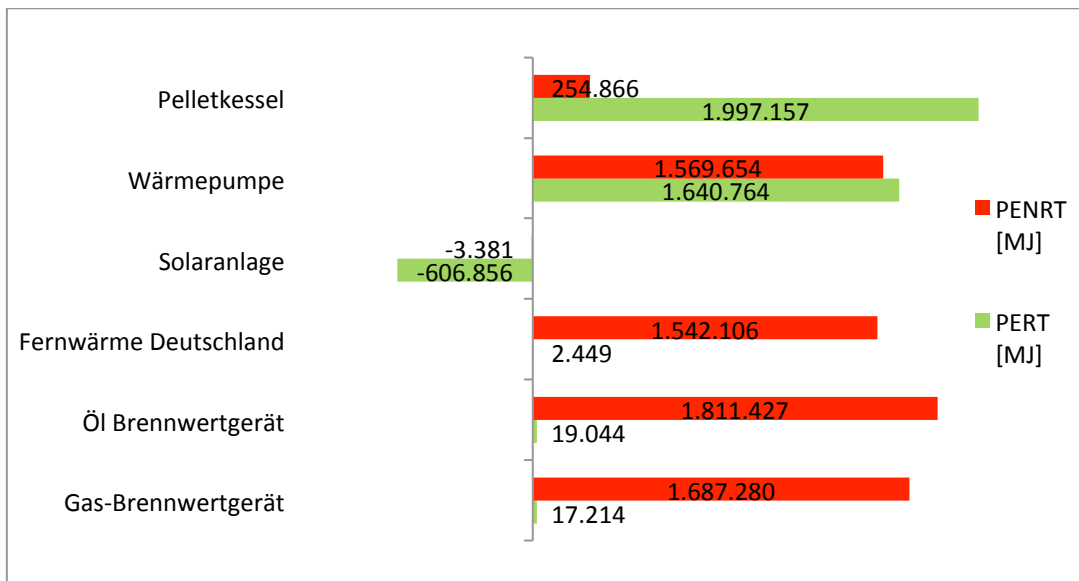


Abbildung 7: Diagramm erneuerbare und nicht erneuerbare Energie

Der Pelletkessel und die Wärmepumpe weisen einen hohen Anteil von erneuerbaren Energien auf. Bei dem Pelletkessel errechnet sich der hohe Wert durch den Einsatz der Holzpellets. Diese werden zum größten Teil aus geschredderten Holzabfällen hergestellt und sind somit ein erneuerbarer und ökologisch angebauter Brennstoff. Bei der Wärmepumpe wird laut Ökobau.dat⁶ darauf hingewiesen, dass der erneuerbare Energiegewinn auf die Einsparung der fossilen Brennstoffe bezogen ist. Die Wärme wird durch Erdkollektoren gewonnen und somit der Einsatz von fossilen Brennstoffen reduziert. Trotzdem ist ein hoher Anteil von nicht erneuerbarer Energie vorhanden, weil die Wärmepumpe während ihrer Nutzung viel Strom verbraucht. Die Differenz zwischen erneuerbaren und nicht erneuerbarer Energien ist auf die Lebensdauer von 20 Jahren bezogen, aber sehr gering und ausgewogen.

Bei der Solaranlage zeigt der grüne Balken eine Gutschrift. Der thermische Energiegewinn der Solaranlage für die Warmwasserbereitung kann mit einer

⁶ Ökobau.dat: Datensatz: 8.6.01 Nutzung - Strom-Wärmepumpe Sole-Wasser (0/50) (B6); (de)

anderen Heizungsanlage (z.B. Gas-Brennwertgerät) verrechnet werden. Somit weist die gesamte Anlage einen geringeren Verbrauch an nicht erneuerbarer Energie auf. Zum anderen schafft es die Solaranlage den Energieverbrauch, der zur Produktion und Entsorgung benötigt wird, mit dem thermischen Energiegewinn während ihrer Lebensdauer auszugleichen.

Die Fernwärmeanlage weist einen hohen Anteil von nicht erneuerbaren Energien auf. Da uns die Emissionsdaten der Flensburger Fernwärme nicht vorliegen, basieren die Werte auf den Ökobau.dat-Daten⁷ der Deutschen Durchschnittsfernwärme. Im Vergleich wurde in der folgenden Tabelle der Energieträger-Mix der Stadtwerke Flensburg dargelegt. Aktuell ist die Fernwärme in Flensburg mit der Durchschnittsfernwärme vergleichbar. Wenn sich der Energiemix der Flensburger Fernwärme in den nächsten Jahren ändert, wird die Ökobilanz deutlich besser ausfallen (vergleiche Abbildung 9). In der deutschen Durchschnitts-Fernwärmeanlage wird die erneuerbare Energie nur für andere Hilfsenergien⁸ benutzt und nicht für die Wärmegewinnung.

Erneuerbare Energie wird bei Öl- und Gas-Brennwertgeräten ebenfalls nur als Hilfsenergie genutzt. Die Wärmeenergie wird zu 100% aus Öl und Gas erzeugt und lediglich die Hilfsenergie durch erneuerbare Energien gedeckt.

	Durchschnitts-Fernwärmeanlage Deutschland (Ökobau.dat)	Fernwärme Stadtwerke Flensburg (Stadtwerke Mai 2014)
Brennstoff	Menge in %	Menge in %
Steinkohle	25,3	91,2
Braunkohle	10,6	0,0
Heizöl	4,5	1,0
Erdgas	59,6	0,0
Ersatzbrennstoff	0,0	7,2
Holzhackschnitzel	0,0	0,6
Altholz	0,0	0,1

Abbildung 8: Vergleich der Energieträger zur Fernwärmeerzeugung

⁷ Ökobau.dat: Datensatz: 8.6.01 Nutzung - Fernwärme (20-120 kW, entspr. EnEV) (B6); 20-120 kW (de)

⁸ Hilfsenergie: Strom oder andere Energie die für Anlagenkomponenten benötigt werden

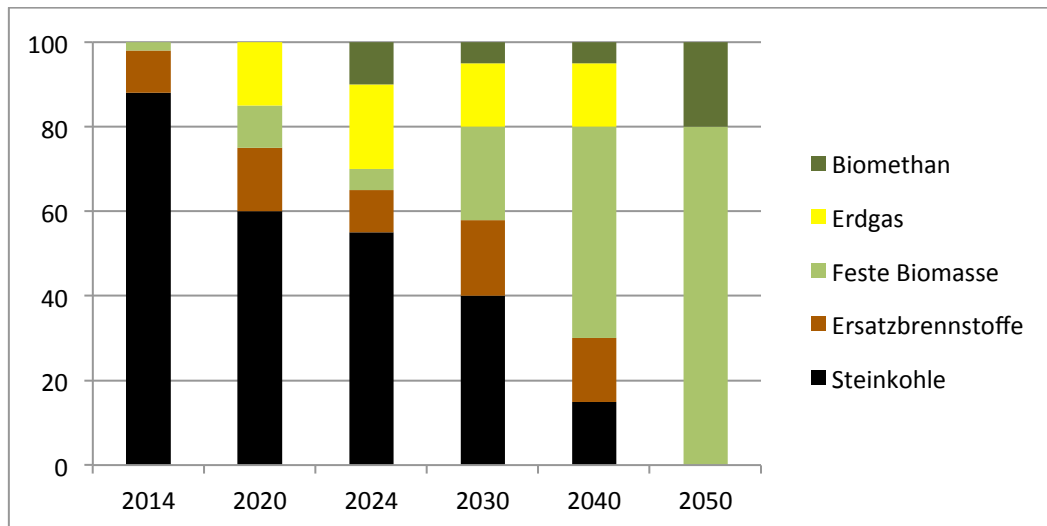


Abbildung 9: Künftiger Brennstoffmix bei den Stadtwerken Flensburg

6.2.2. Globales Erwärmungspotenzial

Auffällig im Diagramm des globalen Erwärmungspotenzials (GWP) ist die hohe CO₂ Gutschrift des Pelletkessels. Verantwortlich hierfür ist wieder der Brennstoff des Kessels. Die Pellets werden aus Holz hergestellt. Bäume nehmen CO₂ auf und binden es, somit kommt es während der Nutzungsdauer zu einer CO₂ Gutschrift. Diese ist wesentlich größer als die verursachten CO₂ Ausstöße, die bei der Produktion und der Entsorgung der Heizungsanlage entstehen.

Die zweite Auffälligkeit ist erneut das Öl Brennwertgerät. Die hohen CO₂ Werte lassen sich auch hier auf den Brennstoff Öl zurückführen. Bei der Verbrennung von Öl wird mehr CO₂ freigesetzt als bei Gas oder Kohle.

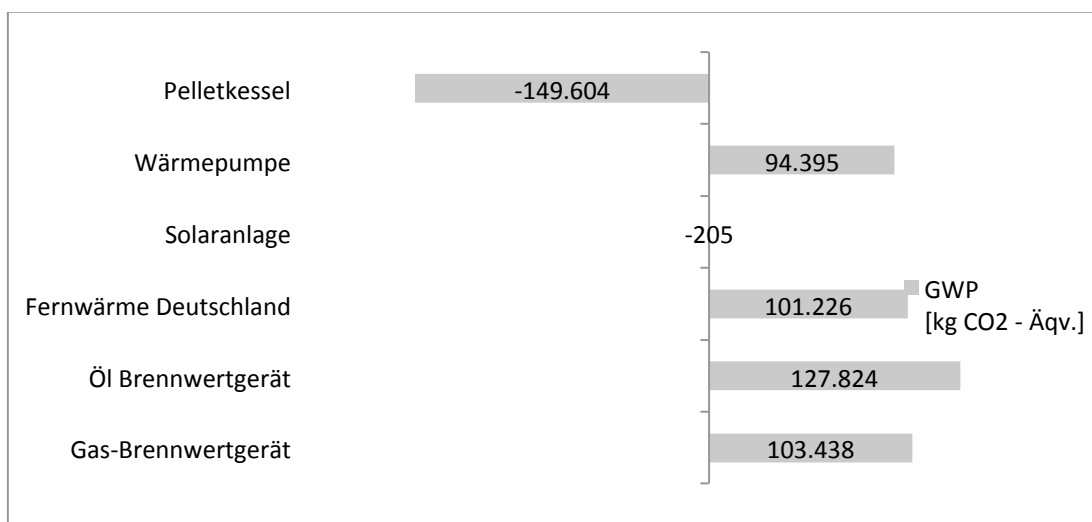


Abbildung 10: Diagramm des globalen Erderwärmungspotenzials

6.2.3. Versauerungspotenzial von Boden und Wasser

Das Diagramm über das Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP) zeigt einen hohen SO_2 -Gehalt beim Öl-Brennwertgerät. Dieser Wert lässt sich auf den genutzten Brennstoff Öl zurückführen. Bei der Verbrennung von Öl wird Säure an die Abgase abgegeben. Diese Abgase tragen die Säure dann in die Atmosphäre, wo sie sich durch Regen im Boden und im Wasser niedersetzen.

Durch unsaubere Verbrennung von Holzpellets kommt es auch beim Pelletkessel zu einem hohen Versauerungspotenzial.⁹

Auffällig ist auch, dass die Solaranlage nur im Versauerungspotenzial im positiven Bereich steht. Das Potenzial das während der Laufzeit eingespart werden kann, reicht somit nicht aus, um die Versauerung, die bei Produktion und Entsorgung entsteht, wieder aufzuheben.

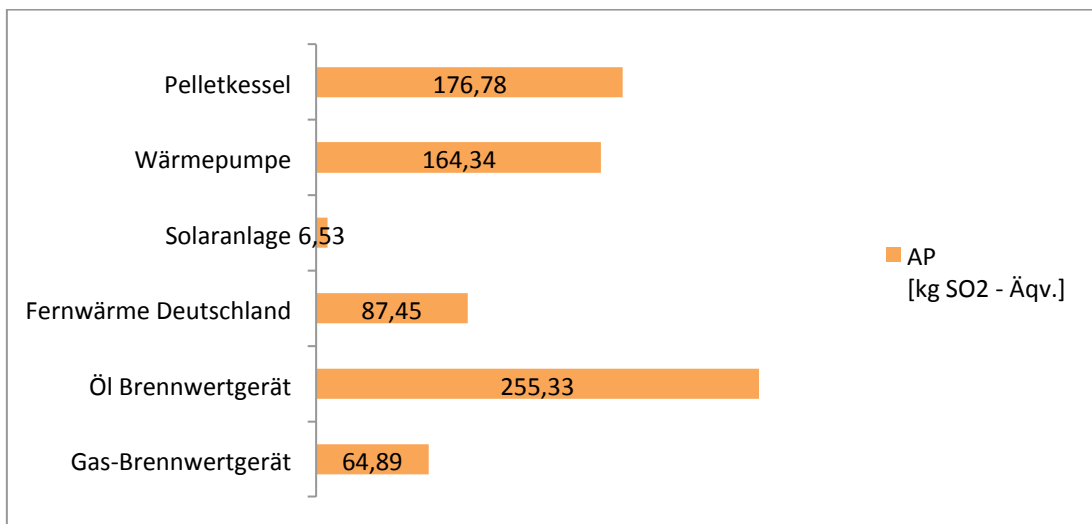


Abbildung 11: Diagramm über das Versauerungspotenzial von Boden und Wasser

6.3. Fazit

Nach Berechnung der Ökobilanz ist klar zu erkennen, dass der Pelletkessel seinen Ökostatut klar verdient hat. Gerade im Einsparen von CO_2 -Emissionen ist der Kessel unerreichbar. Durch den Einsatz von Holz hat er einen hohen Gewinn und des Weiteren verbraucht er sehr wenig nicht erneuerbare Energie. Der einzige Nachteil ist das hohe Versauerungspotenzial der Anlage.

Als zweite positive Anlage ist die Solaranlage zu nennen. Sie kann als erweitertes Objekt gut in eine Bestandsanlage integriert werden. Durch den Einsatz von fossilen Brennstoffen weisen die Durchschnitts-Fernwärmeanlage und die Brennwertkessel eine negative Ökobilanz auf. Doch ist zu berücksichtigen,

⁹ <http://www.baulinks.de/architektur/oekobilanz-oekobilanzierung.php>

sichtigen, dass die Stadtwerke Flensburg daran arbeiten, ihre fossilen Brennstoffe gegen ökologischere Brennstoffe zu ersetzen.

7. Gebäudeautomation

Die Gebäudeautomation von Privathaushalten wird immer häufiger in Erwägung gezogen. Durch stetig wachsende Energiekosten liegt der Schwerpunkt darauf, möglichst jedes Einsparpotenzial zu nutzen. Eines dieser Potenziale ist die intelligente Steuerung und Regelung elektrischer Betriebsmittel in Wohngebäuden.

Aufgrund der zunehmenden Nachfrage im Bereich der Steuerungstechnik wurde der Markt in den letzten Jahren mit verschiedenen Systemen von unterschiedlichen Herstellern ergänzt. Eines der bekanntesten Systeme ist das KNX-Bus-System, welches von unterschiedlichen Herstellern produziert wird. Bei einem KNX-Bus-System handelt es sich um eine zum Großteil freiprogrammierbare Software, welche im Bezug auf die jeweiligen Bedingungen und Anforderungen programmiert werden kann. Dieses System besteht immer aus verschiedenen Sensoren und Aktoren, wobei die Sensoren die Signale aufnehmen (Lichtschalter, Temperaturfühler, Bewegungs- und Präsenzmelder, u.v.m.) und die Aktoren die dazu gehörigen Betriebsmittel ein- bzw. ausschalten.

Es gibt im Bereich der Aktoren Unterschiede, wie z.B. Dimmaktoren für die Regelung der Beleuchtungsstärke oder Aktoren, die ein 0 -10 Volt Signal senden, welches für die Regelung von Heizungsanlagen oftmals benötigt wird. Mit diesem KNX-Bus-System kann jeder Sensor mit jedem Aktor verknüpfen und nach Wunsch geschaltet werden. Beispielsweise ist es möglich, die gesamte Außenbeleuchtung und die Beleuchtung auf Fluren und im Bereich der Küche sowie auch in der Wohnstube über einen Taster zu schalten, welcher sich z. B. in der Nähe des Bettes befindet. Ergänzend ist zu erwähnen, dass die Aufschaltung der gesamten Anlage auf mobile Endgeräte, oder auf dem Computer am Arbeitsplatz in einfachster Umsetzung möglich ist. Dieser Umstand ermöglicht es die Gebäudeautomation von unterwegs oder vom Arbeitsplatz aus zu steuern und dem jeweiligen Tagesablauf anzupassen.

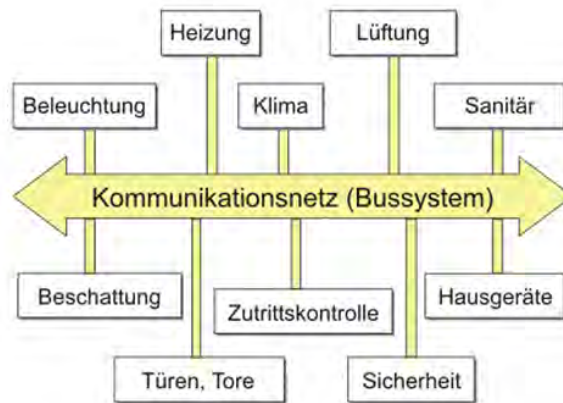


Abbildung 12: Schematische Darstellung Kommunikationsnetz

7.1. Maßnahmen zur Energieoptimierung

7.1.1. Lüftungsregelung in Wohngebäuden

Durch eine intelligente Raumluftregelung können, durch in verschiedenen Räumen verteilte Sensoren, digitale wie auch analoge Signale an anderen Betriebsmittel gesendet werden. Auf diese Weise könnte Volumenstrom in einem Badezimmer erhöht werden, um die anfallende Luftfeuchtigkeit schneller abzutransportieren. Darüber hinaus kann die gesamte Lüftungsanlage in Bezug auf Nutzungszeiten der Bewohner eingestellt und geregelt werden.

7.1.2. Heizungsregelung in Wohngebäuden

Mithilfe einer strukturierten Heizungsregelung können die verschiedenen Raumtemperatur- und Nachtabsenkungsbereiche optimal auf die jeweiligen örtlichen Umstände angepasst werden. Dadurch kann effektiv Heizenergie eingespart werden, da unnötiges Aufheizen durch Sensoren und eingestellte Nutzerzeiten unterbunden wird. Des Weiteren ist es möglich ein BHKW (Block-Heiz-Kraft-Werk), welches zusätzlich zur thermischen Energie auch noch elektrische Energie produziert, so zu regeln, dass unterschiedliche Verbraucher diese Energie optimal nutzen können. In Zeiten des Energie Überflusses würde es im Eigenverbrauch genutzt werden und die thermische Energie würde in einem Pufferspeicher zur späteren Nutzung gespeichert werden. Weiterhin ist zu erwähnen, dass beispielsweise durch Öffnen der Fenster die Heizung in den Absenkbetrieb geschaltet werden kann, um ein ungewolltes Entweichen von Heizenergie zu vermeiden. Zusätzlich wäre es möglich, die Fenster automatisch zu Öffnen, um bei starker Sonneneinstrahlung einer Überschreitung der Solltemperatur entgegen zu wirken.

7.1.3. Beleuchtungsregelung in Wohngebäuden

Im Bereich der Gebäudebeleuchtung gibt es eine Reihe von Möglichkeiten Energie einzusparen, da die Stärke, Lichtfarbe und Intensität der Beleuchtung geregelt werden kann. In Gebäuden in denen die Beleuchtung über mo-

derne KNX-Bus-Systeme gesteuert wird, kann die Beleuchtungsstärke an die im Raum vorhandene Helligkeit, welche auch von der Einstrahlung von Sonnenlicht und den Wetterverhältnissen abhängt, geregelt werden.

7.1.4. Regelung der Sonnenschutzeinrichtungen

Auch Jalousien und Fensterlamellen besitzen eine große Bedeutung für das Energieeinsparpotenzial von Wohngebäuden. Wie im o.a. Absatz „Beleuchtungsregelung in Wohngebäuden“ werden bei Gebäuden mit einem KNX-Bus-System die Lamellen und Jalousiestellung zusammenhängend mit der Beleuchtung in den Wohnräumen gesteuert. Die Jalousien werden, sofern kein Sonnenlichteinfall von außen vorliegt, gegen Abend wieder heruntergefahren, um ein unnötiges Auskühlen im Bereich der Fenster zu verhindern.

7.1.5. Intelligente Nutzung von Solarstrom

Die Solarenergie von Photovoltaik-Anlagen, sofern es sich um Eigenverbrauchsanlagen handelt, kann effektiv zum Laden von Akkumulatoren von Elektrofahrzeugen genutzt werden. Diese Fahrzeuge können mittels eines Steckers an das Stromnetz der Anlage angeschlossen werden und im Fall von Energieüberschuss geladen werden.

Auch durch Aufheizen des Puffer- oder Warmwasserspeichers mittels einer Elektro Heizpatrone kann Energie gespeichert werden.

Zusätzlich können Elektrogeräte mit einer hohen Stromaufnahme wie z.B. Geschirrspülmaschine, Waschmaschine und Trockner durch das Leistungsmanagement zugeschaltet werden, sobald ein gewisser Überschuss an elektrischer Energie vorliegt. Mit diesem Leistungsmanagement ist es möglich, den elektrischen Strombezug vom Netzbetreiber zu reduzieren und den Eigenverbrauch zu senken. Hinzu kommt ein mögliches Einsparpotenzial im Bereich der Raumlüftung und Erwärmung der Zuluft. In diesem Fall ist es möglich eine Elektroheizspirale im Bereich der Außenluftzufuhr zu installieren, um so die nötige Aufheizleistung zu minimieren.

7.1.6. Virtuelles Kraftwerk

Ein virtuelles Kraftwerk ist eine Vernetzung von dezentralen Stromerzeugern, wie beispielsweise Photovoltaik-, Biogas-, Windenergieanlagen und kleineren Blockheizkraftwerken, zu einem Verbund auf elektronischer Ebene. Mit diesem Prinzip ist es möglich, die einzelnen Energieproduzenten leistungsabhängig und an die jeweiligen Bedingungen anzupassen. Auf diese Weise kann die Auslastung und der Wirkungsgrad der meisten Blockheizkraftwerke verbessert werden. Hinzu kommt, dass thermische Verluste durch Fernwärmeleitungen minimiert werden, da sich die Blockheizkraftwerke in den jeweiligen Heizungsräumen befinden.

8. Innovative Energiekonzepte

Der folgende Abschnitt über innovative Energiekonzepte beschäftigt sich mit den möglichen Aussichten und den heutigen, erzielten Forschungsergebnissen hinsichtlich Umsetzbarkeit dieser Konzepte. Bei den meisten dieser Konzeptionen handelt es sich um Pilot Projekte und Techniken welche sich, bis zum heutigen Zeitpunkt aus verschiedenen Gründen in der freien Marktwirtschaft noch nicht etablieren konnten. Dieser Teil der Ausarbeitung versucht die Gründe, für eine zurückhaltende Einführung, aber auch die Chancen dieser Energiekonzepte aufzudecken und einen Ausblick zu ermöglichen.

8.1. Biomeiler

Bei einem Biomeiler (Kompost Heizung) handelt es sich um ein Heizungssystem, das die entstehende Abwärme bei einem Verrottungsprozess von Pflanzen nutzt. Für dieses Verfahren wird im Freien ein etwa 80-100 m³ großer Biomeiler (Komposthaufen) errichtet. Den Meiler kann man dann über einem Zeitraum von 12-18 Monaten nutzen. Je nach Zusammensetzung des Materials variiert der Nutzungszeitraum. Die Biomasse wird von Mikroorganismen durch anaerobe Fermentation zu hochwertigem Kompost umgewandelt. Für den beschriebenen Fall wird in der Regel ein Gemisch aus Wasser und gehäckseltem Grünschnitt verwendet. Dieser entsteht beim Beschnitt von Hecken oder Bäumen¹⁰.

Bei dem Grünschnitt ist auf die Häcksellänge zu achten. Sie sollten nicht zu groß sein, da die Mikroorganismen eine vergrößerte Oberfläche bevorzugen. Des Weiteren sollte ein Verhältnis von 1 zu 1 zwischen Holz und Rinde nicht überschritten werden, da sich unterhalb der Rinde die für den Verrottungsprozess notwendigen Gerbsäuren befinden. Grund dafür ist eine gründlichere Zerkleinerung auf zellulärer Ebene. Erreichen die Mikroorganismen die von den Messern zerschnittenen Zellen, wird schneller mehr Energie frei.

Ergänzend zu diesem Gemisch kann noch etwas Mist von Hühnern, Rindern oder anderen Nutztieren hinzugefügt werden. Mist und Gülle fördern den Prozess der Wärmeproduktion zusätzlich. Es wird aber auch von abweichenden Mischungsverhältnissen berichtet, mit vergleichbarem thermischem Output.

In Bezug auf die Größe kann man sagen, dass 10 Kubikmeter Biomeiler in etwa einem kW Heizleistung im Betrieb entspricht. Bei dem natürlichen Verrottungsprozess, welcher nach wenigen Tagen der Errichtung beginnt, entstehen im Meiler Temperaturen von bis zu 70 Grad. Die thermische Energie aus dem Inneren, wird nun mithilfe von wasserdurchströmten Kunststoffrohren, im Wärmetauscher Prinzip, abgeführt. Die Energie kann nun zum Auf-

¹⁰ <http://www.oya-online.de>

heizen von Wohnräumen oder zur Erwärmung von Trinkwasser genutzt werden¹¹. Ist die Verrottung abgeschlossen, können die Überreste aus dem Meiler als Pflanzendünger genutzt werden. Das verdeutlicht die doppelte Nutzungsmöglichkeit klar und zeigt eine optimale Nutzung im Bereich von Hausbesitzern oder kleineren Höfen. Der Gemüse- oder Obstanbau von Kleingärtnern und Höfen kann so mithilfe des Heizungssystems eine Produktionssteigerung bewirken.

Grundlegend ist zu sagen, dass es sich bei einem Biomeiler um eine "low tech" Anlage handelt. Dieser Umstand hat geringe Investitionskosten zu Folge.

Viele der Betriebsmittel die benötigt werden, wie z.B. die Rohre, können mehrfach genutzt werden. Ein Grund für die geringe Verbreitung dieser Technik liegt im Umstand, dass Biomeiler alle 12 bis 18 Monate neu aufgeschichtet werden müssen und es keine Garantie für das tatsächliche Erreichen der gewünschten Temperaturen gibt¹².

Biomeiler sind für Personen und Betriebe attraktiv, welche den benötigten Platz und ausreichend Grünschnitt ohne Mühe aufbringen können und auch den anfallenden, wertvollen Humus nutzen oder vertreiben können.

¹¹ <http://www.gratis-energie.com>

¹² <http://www.native-power.de>

8.2. Solar-Eis-Heizung

Die Solar-Eis-Heizung ist ein innovatives Energiekonzept, welches fünf regenerative Energiequellen kombiniert. Im Sommer wird die Wärme von Sonne und Luft auf niedrigem Temperaturniveau im Solareisspeicher im Erdreich gespeichert. Im Winter wird dem Wasser diese Wärme durch eine Wärmepumpe entzogen, um das Gebäude zu heizen. Durch den Wärmeentzug wird das Wasser zu Eis und kann im Sommer zum Kühlen genutzt werden.

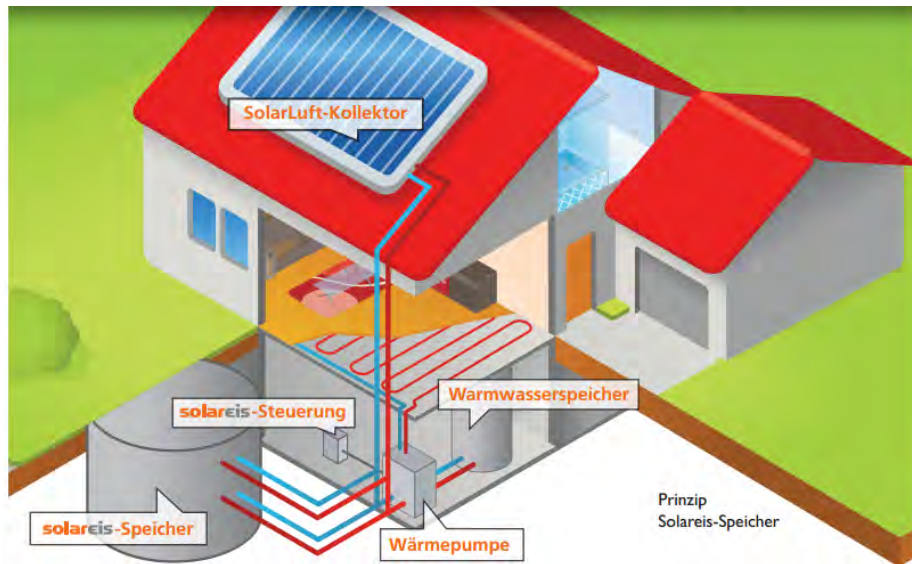


Abbildung 14: Schematische Darstellung Solar-Eis-Heizung

Der Solar-Luft-Kollektor nimmt einerseits die solare Wärme von der Sonne auf und zusätzlich zu herkömmlichen Kollektoren absorbiert er die Wärme aus der umliegenden Luft. Er arbeitet dadurch wesentlich effektiver als herkömmliche Kollektoren und kann auch horizontal montiert werden.

Der Solar-Eis-Speicher ist das Kernstück des Systems, indem in der warmen Jahreszeit die überschüssige Wärme aus Sonneneinstrahlung und Umgebungsluft im Niedrigtemperaturbereich gespeichert wird.

Durch die Erdwärme des umliegenden Erdreichs, benötigt er keine Wärmedämmung um die gewonnene Wärme über längere Zeit zu speichern. Durch die speziell angeordneten Wärmetauscherrohre kann der Vorgang der Kristallisation kontrolliert gesteuert und die Sprengwirkung des Eises unterbunden werden. Im Solar-Eis-Speicher wird die Wärme für die Wärmepumpe bereitgestellt.

Die Solar-Eis-Steuerung ist speziell für dieses System konzipiert und steuert die einzelnen Komponenten. Sie regelt intern, wo die Wärme aus den Solar-Luft-Kollektoren eingesetzt wird, ob Energie im Solareisspeicher gespeichert oder über die Wärmepumpe direkt ans Gebäude weitergegeben wird. Ebenso steuert sie den kontrollierten Phasenübergang von Wasser zu Eis, um die Kristallisationswärme freizusetzen. Der Phasenübergang von 0°C Wasser zu 0°C Eis ist der Bereich wo die Kristallisationswärme freigesetzt wird. Mit jedem Phasenübergang werden 93 Wh/kg freigesetzt. Die Kosten einer Eis-Speicher-Heizung sind mit anderen Heizsystemen ungefähr vergleichbar wie eine Erdsonden-Wärmepumpen-Anlage.¹³

Ein erheblicher Vorteil einer Solar-Eis-Heizung gegenüber einer Erdsonden-Heizung ist die Genehmigung. Während eine Erdsondenanlage einer Genehmigungspflicht unterliegt, darf eine Solar-Eis-Heizung auch in Wasserschutzgebieten installiert werden. Alle Leitungen und der Speicher werden ohne Frostschutzmittel betrieben. Eine solche Anlage ist rentabel, wenn im Sommer Energie für die Kühlung des Gebäudes benötigt wird. Ein Nachteil ist der Platzbedarf, für eine Heizleistung von 10 kW wird ein Eisspeicher mit ein Wasservolumen von 10 m³ benötigt.

Wenn gleichzeitig noch eine Photovoltaik-Anlage betrieben wird, die den Strom für die Solar-Eis-Heizung liefert, entstehen für den Bauherren für Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung keine Kosten mehr.

8.3. Abwasserwärmerückgewinnung

In der heutigen Zeit nimmt mit den Niedrigenergie- und Passivhäusern der Energiebedarf für die Bereitstellung von Warmwasser eine bedeutende Rolle ein. Damit der gewohnte Warmwasserkomfort beibehalten werden kann, wird bei der modernen hocheffizienten Bauweise die Hälfte des Energiebedarfs für die Bereitstellung des Warmwassers benötigt. Nach der Nutzung verschwindet es allerdings oft ungenutzt in der Kanalisation.

Durch eine Abwasserwärmerückgewinnungsanlage könnte 2/3 dieser Energie wieder aufgefangen werden. Theoretisch ist eine Rückgewinnung von 6kWh pro Tag möglich. Es gibt zwei Varianten, die zur Verfügung stehen, dezentrale und zentrale Systeme.

Ein dezentrales System wird beispielsweise unter der Duschwanne installiert, welches bei der Erzeugung von Warmwasser mittels Durchlauferhitzer sehr effektiv ist. Dort wird ein Wärmetauscher installiert, wobei das Kaltwasser vom warmen Abwasser auf ungefähr 27°C vorgewärmt wird. Bei einem Duschwasserdurchlauf von 7,5 l/min können ca. 59% der Energie zurückgewonnen werden.

¹³ <http://www.directbau24.de>

Die Kosten eines Duschwasser-Wärmetauschers liegen mit Anschlusssteilen bei ca. 390,- Euro. Bei einem durchschnittlichen Nutzungsverhalten sind so bei einer Erdgas-Wärmeerzeugung 180 m³ Erdgas einzusparen, das entspricht ca. 145,- Euro pro Jahr. Der Duschwasser-Wärmetauscher würde sich so nach 32 Monaten amortisieren¹⁴.

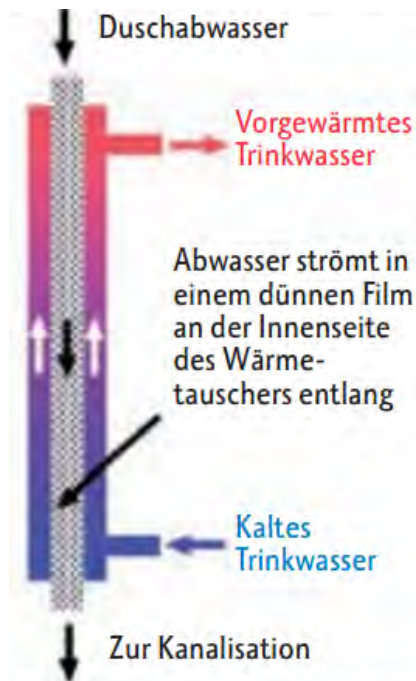


Abbildung 16: Duschwasserwärmetauscher

Die schematische Darstellung zeigt die Funktionsweise eines Duschwasser-Wärmetauschers, der in die Abwasserleitung einer Dusche montiert wird. Im Inneren des Wärmetauschers fließt das Abwasser in Richtung der Kanalisation. Im Äußeren des Wärmetauschers fließt das kalte Trinkwasser entgegengesetzt des Abwassers und wird so vorgewärmt.

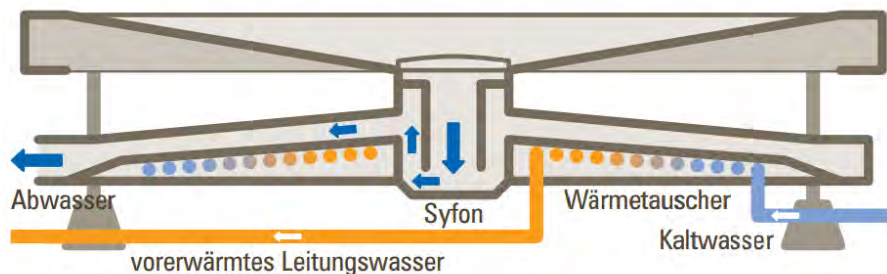


Abbildung 17: Duschwanne mit integriertem Wärmetauscher

¹⁴ <http://www.iso.e.de>

Bei den zentralen Systemen gibt es drei unterschiedliche Arten. Zum einen die in den Abwasserkanal montierte Variante, diese benötigt aber die Genehmigung des Kanalbetreibers.

Die zurückgewonnene Wärme wird einem Heizkraftwerk zugeführt. Bei Temperaturmessungen im Keller wurde festgestellt, dass 75% des Abwassers noch eine Temperatur von über 32°C aufweist. In einem Einfamilienhaus mit durchschnittlichem Wasserverbrauch und einer zugeführten Energie von 8,6 kWh pro Tag, ist ein theoretisches Wärmerückgewinnungspotenzial von 6 kWh pro Tag möglich.

Andere Varianten werden direkt in die Kaltwasserzufuhr eines Warmwasserspeichers integriert. Sobald Warmwasser gezapft wird, fließt das Kaltwasser durch den Wärmetauscher nach und wird durch das Abwasser vorgewärmt. Bei einigen Varianten wird das vorgewärmte Wasser so eingespeist, dass es direkt zur Zapfstelle gelangt, dadurch wird der Warmwasserverbrauch reduziert.

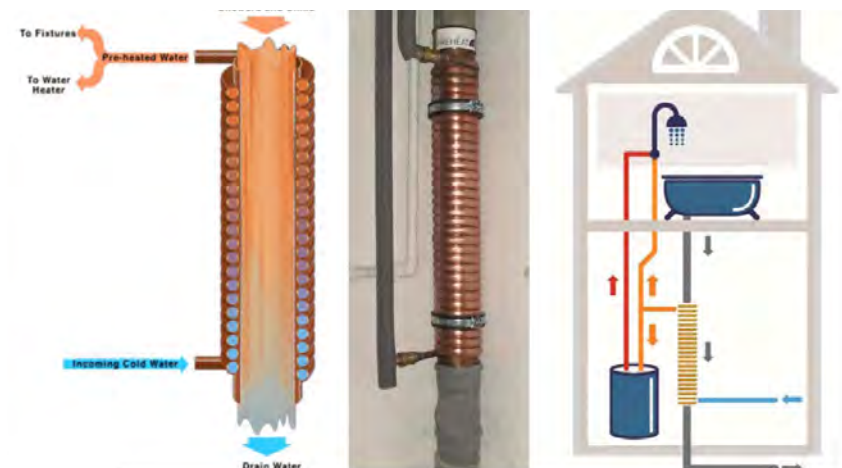


Abbildung 18: Einbaubeispiel eines senkrechten Abwasserwärmetauscher

Die zweite Variante arbeitet mit einer Wärmepumpe. Die durch den Abwasserwärmetauscher gewonnen Wärme wird über die Wärmepumpe an die gesamte Anlage weitergegeben. Bei diesen Varianten wird der Abwasserwärmetauscher direkt in die Abwasserleitung integriert.

Eine dritte Möglichkeit ist die Koppelung mit einer Grauwasser-Anlage. In den für die Grauwasser Nutzung benötigten Speicher wird ein Abwasserwärmetauschersystem integriert, welches die gewonnene Wärme über die Wärmepumpe weiternutzt.

Eine Abwasser-Wärmerückgewinnungsanlage ist eine lohnende Investition, da sie in verschiedensten Varianten erhältlich ist und auch bei Altbausanierungen gut umsetzbar sind. Die kurze Amortisierungszeit von teilweise nur 32 Monaten, ist eine gute Investition die Betriebskosten nachhaltig zu senken.

8.4. Grauwasser

Als „Grauwasser“ wird Urin- und fäkalienfreies Abwasser bezeichnet, welches beim Duschen, Baden und beim Händewaschen anfällt. Je nach Filteranlage (meist biologisch-mechanisch) wird auch das Abwasser der Waschmaschine und der Küchenspüle zu Brauchwasser (auch Betriebswasser genannt) aufbereitet. Dieses kann dann erneut zum Wäschewaschen oder als WC-Spülwasser verwendet werden.

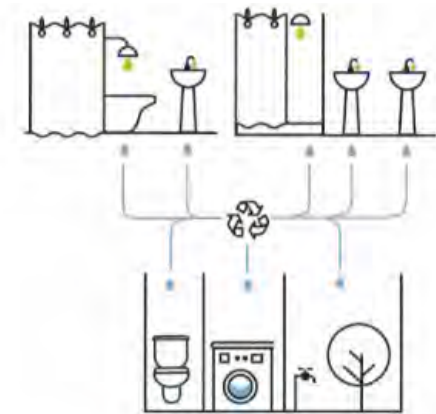


Abbildung 19: Schema Grauwassernutzung

Ebenso ist der Einsatz (bei zusätzlicher Bio-Membran-Filterung) zur Gebäudereinigung, zum Betrieb von Kehrmaschinen, zur Gartenbewässerung o.ä. möglich. Auf diese Weise können bis zu 50% Trinkwasser eingespart werden. Die Rohrleitungen einer Grauwasseranwendung müssen getrennt von der Trinkwasserversorgung installiert sein. Eine separate Verlegung der Abwasserleitung zum Grauwasserbehälter und direkt in den Abwasserkanal ist ebenfalls nötig. Ein Rückschlagventil bzw. Rohrtrenner ist sinnvoll und meist auch vorgeschrieben.

Für Einfamilienhäuser im Bestand ist eine Anlage finanziell interessant, die nur Grauwasser aus Dusche / Badewanne sammelt und für die WC-Spülung das Wasser hochpumpt. Die Kosten belaufen sich auf ca. 1500 Euro für die Anschaffung und amortisieren sich in wenigen Jahren. Dies ist abhängig vom Wasserverbrauch und dem Strombedarf der Pumpe.

Eine Regenwassernutzung ist in der Regel möglich, muss aber bei der Kommune angemeldet werden. Für Mehrfamilienhäuser sind Anlagen erst ab 150 bis 200 Bewohnern wirtschaftlich zu betreiben¹⁵. Die Mehrkosten für die getrennte Leitungsführung und die Tankaufstellung, sowie strengere Auflagen an die Wasserqualität sind dafür ausschlaggebend. In diesem Fall ist eine zusätzliche Abwasserwärmerückgewinnung empfehlenswert. Bei Neubauten können die Grauwasser- und Regenwassernutzung in die Planung einfließen und durch KfW-Förderungen finanziert werden.

¹⁵ <http://www.iwater.de>

8.5. Power to Gas

Das Prinzip von Power To Gas, aber auch e-Gas genannt, beruht auf der Umwandlung von Strom zu Methan. Da die erneuerbaren Energien vom Wetter abhängig sind und der Wind nicht unbedingt dann weht, wenn Strom benötigt wird, werden Speicher benötigt. Pumpspeicherkraftwerke und Batterien speichern die Energie nur kurzfristig, bei Bedarf werden Stromverbrauchsspitzen aufgefangen.

Um Strom in größeren Mengen und langfristig zu speichern, müsste er in eine andere Energieform umgewandelt werden. Bei langfristigen Speichermöglichkeiten müssten die Wind- und Photovoltaikanlagen bei einem Stromüberschuss nicht abgeschaltet werden. Der ansonsten ungenutzte Strom könnte in synthetisches Erdgas umgewandelt werden und in das Erdgasnetz eingespeist werden.

Das vorhandene Erdgasnetz ist eines der größten Energiespeicher, die in Deutschland vorhanden sind. Hierbei würde mithilfe von Strom, Wasser zu O_2 und H_2 aufgespalten (Elektrolyse). Da Wasserstoff nur geringe Anwendungsmöglichkeiten bietet und nur zu einem geringen Teil ins Erdgasnetz eingespeist werden kann, geht man einen Schritt weiter und stellt aus Wasserstoff und Kohlendioxid Methan her (Methanisierung).

Das so synthetisch hergestellte Methan gas entspricht der Zusammensetzung von Erdgas und kann daher ohne Einschränkungen in unser Erdgasnetz eingespeist werden. Zur Methanisierung wird zudem CO_2 benötigt. Das Kohlendioxid fällt unter anderem bei der Biogas Herstellung an oder es wird direkt aus der Luft entzogen. Beide Bereitstellungen haben eine positive CO_2 -Bilanz zur Folge.

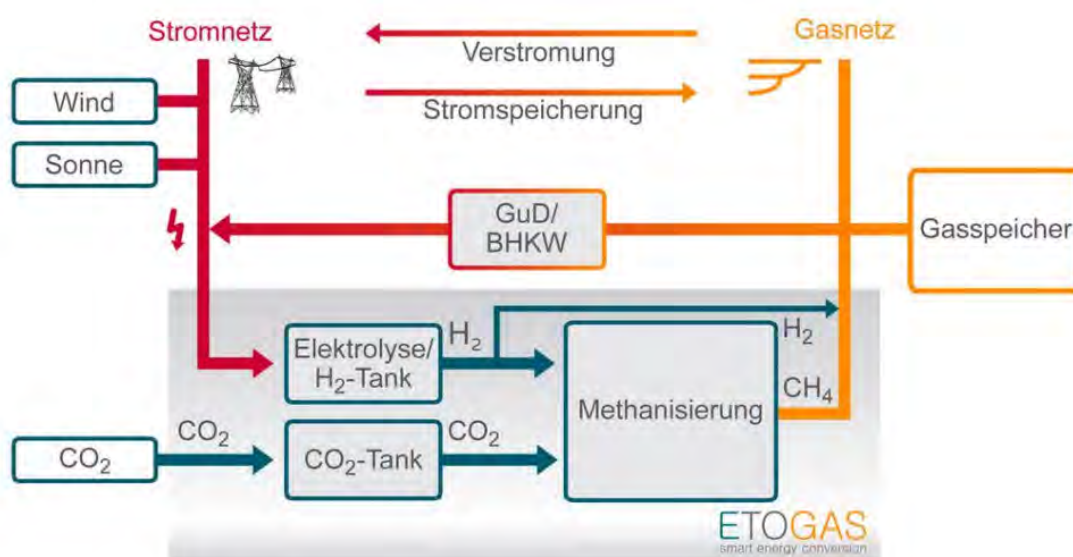


Abbildung 20: Einbindungsbeispiel

In verschiedenen Pilotprojekten wird die Technologie weiterentwickelt, um den Wirkungsgrad von ca. 60-75%, auf ca. 85% zu erhöhen. Auch bei der Rückverstromung ist zurzeit noch ein Verlust von 70% zu veranschlagen. Um nur den Überschuss aus der erneuerbaren Energie für die Herstellung von synthetischem Methangas zu nutzen, sollten die Anlagen zur Elektrolyse und Methanisierung über kurze Anlauf- und Abschaltzeiten verfügen¹⁶.

Wenn die Technologie so weiterentwickelt wird, dass die Produktion von synthetischem Methangas über kurze Schaltzeiten verfügt, kann bei einem Stromüberschuss die Elektrolyse und die Methanisierung ökologisch stattfinden. Auch bei einem Wirkungsgrad von 60-75% und bei Rückverstromung von 30% ist dies ein Beitrag zur Energiewende und könnte Deutschland ein wenig unabhängiger von fossilen Brennstoffen machen.

¹⁶ <http://www.windkraft-journal.de>

8.6. Photobioreaktor

Das Highlight der internationalen Bauausstellung (IBA) 2013 in Hamburg war das BIQ-Haus. BIQ steht für Bio-Intelligenz-Quotient und ist in dieser weltweit einzigartigen Fassade integriert.



Abbildung 21: BIQ-Haus in Hamburg



Abbildung 22: Algenfassade

Eine zweite Außenhülle ist der eigentlichen Gebäudehülle ein Stück vorge stellt und produziert dank des Photobioreaktors, in Form einer Algenfassade, Energie.

In diesem werden Mikroalgen (kleinste Pflanzen, meist nicht größer als Bakterien) kultiviert und mit CO₂, sowie Nährlösung (Wasser und Salze) versorgt. Durch die Photosynthese wird das Kohlendioxid in Sauerstoff und Traubenzucker abgebaut und in Biomasse umgewandelt, woraus Methangas entsteht. Dieser Vorgang wird durch das Grün in der Fassade sichtbar. Das so entstandene Biogas wird in der Heizung als Brennstoff genutzt.

Zur Biogasgewinnung eignen sich Algen besonders gut, da sie, verglichen zu Landpflanzen (Raps, Mais), fünfmal mehr Biomasse pro Hektar produzieren und viele energetisch nutzbare Öle enthalten.

Die Fassade gewinnt zusätzlich Energie, indem sie das nicht von den Algen genutzte Licht absorbiert und wie in einer solarthermischen Anlage Wärme produziert. Diese wird entweder direkt der Warmwasseraufbereitung und Heizung zugeführt, oder mithilfe von Erdwärmesonden zwischengespeichert. Ein ganzheitlicher Energiekreislauf ermöglicht, dass das BIQ-Haus ohne fossile Brennstoffe auskommt. Hierbei kommen Solar- und Geothermie, Brennstoffzelle und Fernwärme zum Einsatz.

Das Gebäude wird inzwischen seit über einem Jahr betrieben und es hat sich gezeigt, dass die Energiemenge der Algenfassade nicht ausreicht, um den Heizenergiebedarf des Gebäudes zu decken¹⁷.

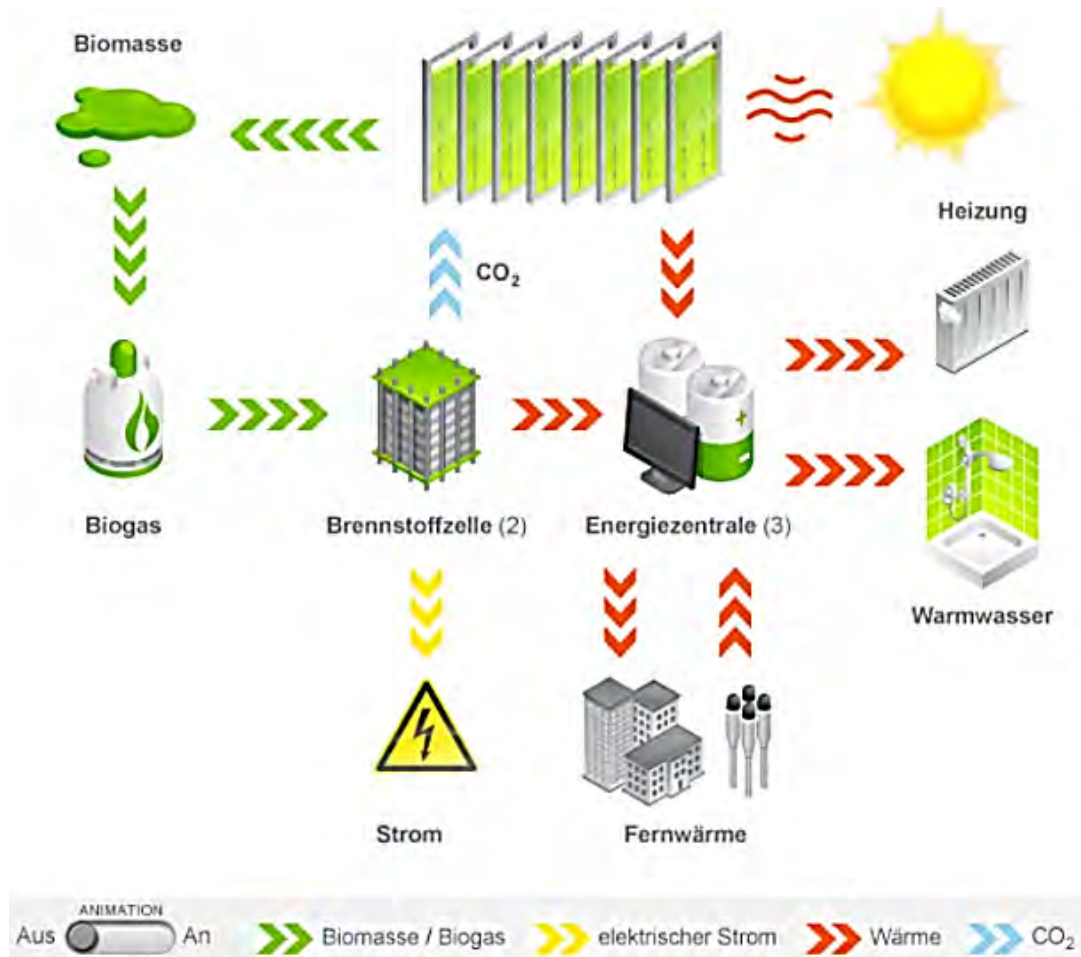


Abbildung 23: Ganzheitliches Energiekonzept einer BIQ-Fassade

Zusätzlich dient die „grüne Hülle“ dem Gebäude ganz konventionell auch als Schallschutz, dämmt Wärme wie Kälte und sorgt für Beschattung bei starker Sonneneinstrahlung.

¹⁷ <http://www.biq-wilhelmsburg.de>

8.7. Fazit innovative Energiekonzepte

Einige dieser innovativen Energiekonzepte stecken bis zum heutigen Zeitpunkt noch in der Erforschung, wo hingegen andere sich schon seit längerer Zeit bewähren. Ein Grund dafür liegt darin, dass es sich teilweise um eher unkonventionelle Techniken handelt, oder der Amortisationszeitraum zu unüberschaubar ist. Bei all diesen Energiekonzepten bedarf es einer persönlichen Abwägung und gründlicher Überlegung, ob das jeweilige Konzept mit den persönlichen Nutzungsanforderungen kompatibel ist. Abschließend ist zu sagen, dass es sich bei allen hier erwähnten innovativen Energiekonzepten um Möglichkeiten zur Kostenersparnis und Verbesserung der CO₂-Bilanz handelt.

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/images/Kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/oekobilanzierung/oekobilanz1-500_tcm45-60576.jpg	(21.05.2014)
Abbildung 2:	http://www.daemm-info.de/daemmsysteme_vergleich.html	(21.05.2014)
Abbildung 3:	http://www.busch-daemmung.de/resources/Kellerdecken+Schema.gif	(21.05.2014)
Abbildung 4:	http://www.baulinks.de/webplugin/2009/i/1644-isover5.jpg	(21.05.2014)
Abbildung 5:	http://www.window.de/86.html	(21.05.2014)
Abbildung 6:	http://www.window.de/86.html	(21.05.2014)
Abbildung 7:	Eigene Darstellung	(21.05.2014)
Abbildung 8:	Eigene Darstellung	(21.05.2014)
Abbildung 9:	http://www.znes.fh-flensburg.de/fileadmin/templates/multiflex4/Downloads/Reports/Integriertes%20Klimaschutzkonzept%20Flensburg_Final.pdf (Universität Flensburg / Zentrum für Nachhaltige Energiesysteme)	(21.05.2014)
Abbildung 10:	Eigene Darstellung	(21.05.2014)
Abbildung 11:	Eigene Darstellung	(21.05.2014)
Abbildung 12:	http://iis807.inf.tu-dresden.de/~auteg/images/vernetzung.png	(21.05.2014)
Abbildung 13:	http://www.holzhaus-blockhaus.auspolen.com/foto/dom34.jpg	(21.05.2014)
Abbildung 14:	Kissel GmbH PDF Ausgezeichnet Information zu Schwimmbad, Bad, Heizung und Solar- von Kissel Ehningen ,Winter 2011/12, Ausgabe 15, Seite 2	(21.05.2014)
Abbildung 15:	KWT Kälte- Wärmetechnik AG, Daniel Truessel, Eisspeicher Lösungen KWT Viessmann Group, Seite 21	(21.05.2014)
Abbildung 16:	4029152-folder DSS-douche-DUITS-LR , dss Duschwasser- Wärmetauscher Dutch Solar Systeme, Enschede, 15,05,2014, www.dutchsolarsystem.com	(21.05.2014)

- Abbildung 17: Ansicht 101202, Gebäudebezogene Nutzung von Abwasserwärme; Berliner Netzwerk e, Berlin, Ausgabe 01/2011, 15.05.2014-05-21; www.berliner-netzwerk-e.de (21.05.2014)
- Abbildung 18: Endbericht 1303 Wärmerückgewinnung aus Abwasser, PDF; Wärmerückgewinnung aus Abwasser in Niedrigenergie und Passivhaus; Autoren: A. Heinz, W. Lerch, J. Breidler, Ch. Fink, W. Wagner; Endbericht WRGpot, 03/2013, 16.05.2014-05-21 (21.05.2014)
- Abbildung 19: <http://www.holz-wasser-waerme.de/images/holz/schema-grauwassernutzung.jpg> (21.05.2014)
- Abbildung 20: Montan Universität; Peter Foith, Methanisierung als chemischer Verwertungsweg für Kohlendioxid; Montan Universität Leoben, Juni 2013, Seite 22; [www. UNILEOBEM.AC.AT](http://www.UNILEOBEM.AC.AT) (21.05.2014)
- Abbildung 21: www.biq-wilhelmsburg.de (21.05.2014)
- Abbildung 22: www.biq-wilhelmsburg.de (21.05.2014)
- Abbildung 23: www.biq-wilhelmsburg.de (21.05.2014)

10. Quellen- und Literaturverzeichnis

- Fußnote 1: http://www.nachhaltigesbauen.de/no_cache/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html?cid=5185&did=3290&sechash=d96ce594 (21.05.2014)
- Fußnote 2: <http://bau-umwelt.de/hp6249/EPDs-nach-Kategorien.htm> (21.05.2014)
- Fußnote 3: http://www.nachhaltigesbauen.de/no_cache/de/bewertungssystem-nachhaltiges-bauen-fuer-bundesgebaeude-bnb/bnb-unterrichtsmaterialien.html?cid=4856&did=2864&sechash=0f79e21f (21.05.2014)
- Fußnote 4: http://www.nachhaltigesbauen.de/no_cache/de/bewertungssystem-nachhaltiges-bauen-fuer-bundesgebaeude-bnb/bnb-unterrichtsmaterialien.html?cid=4856&did=2864&sechash=0f79e21f (21.05.2014)
- Fußnote 5: <http://www.window.de/86.html> (21.05.2014)
- Fußnote 6: Ökobau.dat: Datensatz: 8.6.01 Nutzung - Fernwärme (20-120 kW, entspr. EnEV) (B6); 20-120 kW (de) (21.05.2014)
- Fußnote 7: Begriffserklärung (21.05.2014)
- Fußnote 8: Ökobau.dat: Datensatz: 8.6.01 Nutzung - Strom-Wärmepumpe Sole-Wasser (0/50) (B6); (de) (21.05.2014)
- Fußnote 9: <http://www.baulinks.de/architektur/oekobilanz-oekobilanzierung.php> (21.05.2014)
- Fußnote 10: <http://www.oya-online.de/article/read/526.html> (21.05.2014)
- Fußnote 11: <http://www.gratis-energie.com/holz-energie/bioreaktor/> (21.05.2014)
- Fußnote 12: <http://www.native-power.de/de/native-power/biomeiler> (21.05.2014)

- Fußnote 13: <http://www.directbau24.de/baustoffe-technik/solareis.html> (21.05.2014)
- Fußnote 14: <http://www.isoe.de/presse/news/news-single/weltwassertag-2014-wasser-und-energie-abwasser-als-ressource-nutzen/> (21.05.2014)
- Fußnote 15: <http://www.iwater.de/Grauwassernutzung> (21.05.2014)
- Fußnote 16: <http://www.windkraft-journal.de/2012/05/24/methanisierung-als-speichermethode-fur-erneuerbaren-strom-ist-technisch-umsetzbar/> (21.05.2014)
- Fußnote 17: <http://www.biq-wilhelms-burg.de/energiekreislauf/energiekonzept.html> (21.05.2014)



Fachschule für Technik und Gestaltung

Schützenkuhle 20-24

24937 Flensburg

Tel. 0461 . 852534

Fax 0461 . 851026

fstug@esfl.de



Informieren Sie sich über aktuelle Ereignisse im GST-Team
oder laden Sie den Projektbericht als PDF herunter:

<http://www.eckener-schule-flensburg.de/fstug/375.html>