



Schlussbericht, 7. August 2014

Ökobilanzdaten für Lüftungs- und Wärmeanlagen

Sach- und Ökobilanzen von sechzehn verschiedenen Gebäuden in den Bereichen Wohnen, Büro, Schulen und Altersheime

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Stadt Zürich, Amt für Hochbauten
Fachstelle nachhaltiges Bauen
Lindenhofstrasse 21 / Postfach
CH-8021 Zürich
<http://www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen>

Auftragnehmer:

ARGE LW-Bilanzen

büro für umweltchemie
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
www.umweltchemie.ch

Basler & Hofmann AG
Ingenieure, Planer und Berater
Forchstrasse 395 / Postfach
CH-8032 Zürich
www.baslerhofmann.ch

Autoren:

Matthias Klingler, Büro für Umweltchemie, m.klingler@umweltchemie.ch
Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, u.kasser@umweltchemie.ch
Daniel Savi, Büro für Umweltchemie, d.savi@umweltchemie.ch
Alex Primas, Basler & Hofmann AG, Alex.Primas@baslerhofmann.ch
Yves Stettler, Basler & Hofmann AG, Yves.Stettler@baslerhofmann.ch
Pascal Gujer, Basler & Hofmann AG

Projektbegleitgruppe:

Rolf Moser, Vertretung BFE, Enerconom AG
Heinrich Gugerli, Vertretung AHB, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich
Rolf Frischknecht, Geschäftsführer Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich, treeze
Roland Wüthrich, hat1-4 GmbH
Andreas Baumgartner, Amstein + Walthert AG

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500788-02

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1 ABSTRACT	6
2 AUSGANGSLAGE	9
2.1 EINLEITUNG	9
2.2 LÜFTUNGSANLAGEN	9
2.3 WÄRMEANLAGEN	9
2.4 ÖKOBILANZDATEN ZUR GEBÄUDETECHNIK	9
2.5 ZIEL DER STUDIE	10
3 VORGEHEN	12
3.1 ANALYSIERTE GEBÄUDE	12
3.1.1 Auswahlkriterien	12
3.1.2 Gebäude für Lüftungsanlagen	12
3.1.3 Gebäude für Wärmeanlagen	14
3.2 ERHEBUNG DER SACHBILANZDATEN	16
3.2.1 Einleitung	16
3.2.2 Systemgrenzen Lüftungsanlagen	16
3.2.3 Systemgrenzen Wärmeanlagen	16
3.2.4 Materialbilanzen Gebäude	17
3.3 ÖKOBILANZIERUNG DER BAUTEILE UND SYSTEME	18
3.3.1 Ökobilanzmethoden	18
3.3.2 Herstellung	19
3.3.3 Entsorgung	20
3.3.4 Datengrundlagen Ökobilanzen	20
4 RESULTATE	24
4.1 LÜFTUNGSANLAGEN	24
4.1.1 Massen- und Materialbilanzen	24
4.1.2 Anlagenvergleich mit Massenbilanzen	46
4.1.3 Ökobilanzen	48
4.1.4 Einflussgrößen	51
4.1.5 Vergleich mit den KBOB-Daten	55
4.2 WÄRMEANLAGEN	59
4.2.1 Massen- und Materialbilanzen	59
4.2.2 Ökobilanzen	69
4.2.3 Einflussgrößen	78
4.2.4 Vergleich mit den KBOB-Daten	78

5 FAZIT	80
5.1 LÜFTUNGSANLAGEN	80
5.2 WÄRMEANLAGEN	81
6 EMPFEHLUNG	82
6.1 LÜFTUNGSANLAGEN	82
6.2 WÄRMEANLAGEN	88
7 LITERATUR	91
ANHANG	94
SYSTEMKOMPONENTEN LÜFTUNGSANLAGEN	94
<i>Einzelraumlüfter</i>	<i>94</i>
<i>Lüftungsgeräte in Modulbauweise</i>	<i>99</i>
<i>Luftverteilung und Dämmungen</i>	<i>112</i>
<i>Andere Komponenten der Lüftungsanlagen</i>	<i>121</i>
<i>Spezialelemente der Lüftungsanlagen</i>	<i>122</i>
<i>Datensätze von Komponenten und Anlagen für KBOB-Liste</i>	<i>124</i>
SYSTEMKOMPONENTEN WÄRMEANLAGEN	128
<i>Erdsonden und Wärmepumpen</i>	<i>128</i>
<i>Heizkühldecken</i>	<i>147</i>
<i>Heizkörper</i>	<i>150</i>
<i>Fussbodenheizungsrohr</i>	<i>158</i>
<i>Stahlrohre, Edelstahlrohre, Abzweigungen und Formstücke</i>	<i>160</i>
<i>Dämmungen</i>	<i>166</i>
<i>Andere Komponenten Wärmeanlagen</i>	<i>174</i>
<i>Ökobilanzzahlen Systemkomponenten</i>	<i>176</i>
ÖKOBILANZEN DER ANLAGEN	178
<i>Lüftungsanlagen, Projektwerte der untersuchten Anlagen</i>	<i>178</i>
<i>Wärmeanlagen</i>	<i>181</i>

1 Abstract

Es wurden die Materialbilanzen von Lüftungsanlagen in 4 Bürogebäuden, 3 Schulen und 3 Altersheimen sowie von Wärmeanlagen in 4 Wohngebäuden und 2 Bürogebäuden analysiert. Ziel der Studie war es, die Ökobilanzdaten für Lüftungs- und Wärmeanlagen zu aktualisieren und in Bezug auf die bestehenden Datenlücken zu erweitern. Die Systeme sollten anhand von realisierten Gebäuden untersucht werden.

Es wurden Gebäude gewählt, welche sich bezüglich der Kompaktheit und Nutzung unterscheiden. Bei den Wärmeanlagen wurde zudem die Art der Wärmeabgabe unterschieden (Radiator, Fussbodenheizung, Heizkühldecke). Die Lüftungsanlagen unterscheiden sich durch die Luftverteilkonzepte und die Art der Wärmerückgewinnung.

In die Analyse wurden die Bauteile einbezogen, welche in der Devisierung gemäss BKP den Lüftungs- bzw. Heizungsanlagen zugeordnet werden. Nicht berücksichtigt wurden bei der Lüftung z.B. heruntergehängten Decken (dienen „nur“ zur Verkleidung), die evtl. erforderliche grössere Deckenstärke infolge eingelegter Lüftungsleitungen und Anschlussleitungen von Luftherhitzern. Bei den Heizungsanlagen wurde die Freecoolingfunktion von Erdsonden mitbilanziert, aktive Kältekomponenten dagegen nicht. Auch eine zusätzliche Dämmung oder ein evtl. stärkerer Unterlagsboden bei Fussbodenheizungen wurde nicht einbezogen. Bei Heizkühldecken, welche eine Doppelfunktion haben, wurden nur jene Elemente berücksichtigt, welche im engeren Sinn der Wärme- und Kälteabgabe dienen (Kupferrohre und Wärmeleitschienen aus Aluminium).

Die neu erhobenen Daten zeigen zusammen mit den Resultaten aus der vorgängigen Studie zu Sanitär- und Elektroanlagen [7] die grosse Relevanz und Spannbreite der Grauen Energie von Haustechniksystemen. Gemäss den Untersuchungen und unter Berücksichtigung der Amortisationszeiten aus der SIA 2032 liegt die Graue Energie von gebäudetechnischen Anlagen zwischen 20 MJ/m²a bis zu mehr als 70 MJ/m²a (siehe Tabelle 1). Gemessen an den Richtwerten aus dem SIA-Effizienzpfad Energie für die Erstellung von Neubauten von 110 MJ/m²a (Wohnen) und 130 MJ/m²a (Büro) könnte die Graue Energie der Gebäudetechnik zwischen 16% und 67% dieser Richtwerte ausmachen.

Tabelle 1: Graue Energie (Herstellung und Entsorgung) der untersuchten Gebäudetechnikanlagen, Amortisationszeiten gemäss [6]

Systeme	Graue Energie [MJ/m ²]	Amortisation [a]	Graue Energie [MJ/m ² a]
Lüftungsanlagen Büro, Altersheim, Schulen	238 – 724	30	7.9 – 24.1
Wärmeanlagen Büro, Wohnen	114 – 804	20/30/40	3.8 – 26.8
Elektroanlagen	199 – 501	30	6.6 – 16.7
Sanitär	76 – 180	30	2.5 – 6.0
Total	619 – 2'165	30	20.8 – 73.6

Bei den untersuchten Wärmanlagen mit Erdsonden, machen die Erdsonden fast 50% oder mehr der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen aus. Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen den Ökobilanzdaten der Wärmeerzeugung (Erdsonde und Wärmepumpe) und dem spezifischen Wärmeleistungsbedarf der untersuchten Gebäude. Die Erdsondenlänge und das Gewicht der restlichen Systemkomponenten der Erzeugung pro m^2 EBF sind von der Art der Auslegung, der Erdreichbeschaffenheit und den Systemtemperaturen abhängig, welche in dieser Studie nicht näher analysiert werden konnten. Bei bivalenten Anlagen oder solchen mit mehreren Sonden, wie sie in dieser Studie untersucht wurden, müssen die Sonden in der Regel aufgrund der dadurch geringeren spezifischen Entzugsleistung länger dimensioniert werden. Deshalb ist die Graue Energie der Erdsonden der bilanzierten Anlagen im Vergleich zu den Daten aus der KBOB-Liste 2012 [1] teilweise deutlich höher (vergleiche Tabelle 2). Die Daten für die Graue Energie von Erdsonden in ecoinvent v2.2 und in der KBOB-Liste 2012 beziehen sich auf Einfamilienhäuser mit Erdsonden deren spezifische Entzugsleistungen bei 55 W/m^2 respektive 37 W/m^2 liegen. Die Erdsonden der untersuchten Anlagen hingegen weisen eine spezifische Entzugsleistung zwischen 26 W/m^2 und 38 W/m^2 auf. Aus diesem Grund wird der Datensatz der Erdsonde in der KBOB-Liste neu in m Sondenlänge angegeben und kann damit gut auf die effektiven Projektkennwerte abgestimmt werden. Bei der energetischen Betrachtung von Erdsonden ergeben sich gegenläufige Tendenzen zwischen der Herstellung und dem Betrieb. Für einen effizienten Betrieb sollte die Erdsonde möglichst lang dimensioniert sein, gleichzeitig erhöht dies aber die Graue Energie der Herstellung sowie die Kosten, da diese proportional zur Erdsondenlänge sind.

Bei der Wärmeverteilung zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Nutzungen Wohnen und Büro. Die Aufwendungen sind bei den Bürogebäuden pro m^2 EBF grösser als bei den Wohngebäuden. Bei den Wohngebäuden besteht ein gewisser Zusammenhang zwischen den Resultaten der Ökobilanzen und der durchschnittlichen Wohnungsgrösse sowie der Kompaktheit der Gebäude (Gebäudehüllzahl). Die Resultate für die Wärmeabgabe über Fussbodenheizung sind bezogen auf die EBF relativ konstant und nicht vom spezifischen Wärmeleistungsbedarf abhängig.

Bei den untersuchten Lüftungsanlagen dominiert die Luftverteilung mit Rohren und Kanälen überwiegend aus verzinktem Stahlblech das Resultat. Der Anteil der Luftverteilung macht zwischen 58% und 83% der Gesamtmasse und 43% bis 69% der Grauen Energie aus.

Die Graue Energie für die Herstellung und Entsorgung der Lüftungsanlagen pro m^2 EBF zeigt eine grosse Spannbreite (zwischen 238 MJ/m^2 und 724 MJ/m^2). Der Mittelwert über alle Anlagen liegt bei 480 MJ/m^2 . Es ist keine klare Unterscheidung der Resultate zwischen den verschiedenen Nutzungen (Schule, Büro, Altersheim) erkennbar. Es besteht eine starke Korrelation zwischen der Grauen Energie und dem Gewicht der Anlagenteile. Dies ist aufgrund der Dominanz der Verteilung mit Stahlkanälen auch einleuchtend und zu erwarten.

Die Resultate zeigen auch eine deutliche Korrelation mit der geförderten Luftmenge. Die Gebäudegrösse (m^2 EBF), die Gebäudekompaktheit sowie das Vorhandensein einer Küche zeigten dagegen für sich allein keinen signifikanten Einfluss. Da Gebäude mit Küchen insgesamt meist hohe spezifische Luftwechselraten aufweisen ist die Graue Energie in diesen Gebäuden vor allem aufgrund der geförderten Luftmenge höher.

Bei der Darstellung der geförderten Luft pro m^3/h sind die Unterschiede zwischen den Gebäuden auch gut erklärbar. Die deutlich über dem Median liegenden Gebäude weisen spezielle Eigen-

schaften auf, welche sich aus der Anlagenplanung ergaben. Das sind Konzeptentscheide die sich z.B. durch den Brandschutz, aufgrund von Effizienzüberlegungen (max. Luftgeschwindigkeit) oder der räumlichen Situation (Kanalform) ergeben. Günstig sind grundsätzlich Verteilkonzepte, welche mit einer geringen Kanaloberfläche auskommen und einen geringen Anteil an Brandschutzdämmungen aufweisen.

Im Vergleich zu den bisherigen Ökobilanzdaten für Lüftungs- und Wärmeanlagen aus der KBOB-Liste 2012 liegen die Ergebnisse aus der vorliegenden Studie tendenziell höher (vergleiche Tabelle 2).

Tabelle 2: Vergleich Graue Energie (Herstellung und Entsorgung) von Lüftungs- und Wärmeanlagen der KBOB-Liste 2012 mit den Resultaten der untersuchten Anlagen

	Graue Energie [MJ pro m ² EBF]	
	KBOB 2012	Neu
Wärmeerzeugung	9 - 44	5.7 - 175
Wärmeverteilung u. -abgabe	91 - 207	102 - 257
Erdsonden	68 - 341	247 - 497
Lüftungsanlagen	130 - 528	238 – 724

Aus den Resultaten ergeben sich für die Ökobilanzdaten der KBOB-Liste folgende Hinweise:

Für Anlagen mit Erdsonde und Wärmepumpe ist zu empfehlen die Anlage mit den Datensätzen für Systemkomponenten zu berechnen, da eine grosse Variationsbreite besteht.

Bei den planerischen Richtwerten für die Wärmeverteilung sollten aufgrund der deutlichen Abweichung der Resultate, Wohn- und Bürogebäude unterschieden werden.

Durch die neue Definition der Systemgrenzen (nur Fussbodenheizungsrohre und Befestigung ohne zusätzliche Dämmung oder evtl. stärkeren Unterlagsboden) muss der Wert pro m² EBF für die Fussbodenheizung angepasst werden. Zudem können Werte für die Abgabe über eine Heizkühldecke und Heizkörper bereitgestellt werden.

Für die Bilanzierung von Lüftungsanlagen eignen sich für die Verteilung die Komponentendaten pro m² Oberfläche am besten (Rohre, Kanäle, Dämmung). Bei den Lüftungsgeräten muss zwischen reinen Zu- oder Abluftgeräten, modularen Geräten mit Zu-/ Abluft und WRG und kleineren Kompaktgeräten unterschieden werden. Für die übrigen Komponenten eignet sich ein Datensatz pro m² EBF am besten um die Komplexität der Berechnung tief zu halten.

Für Datensätze mit der Bezugsgrösse m² Energiebezugsfläche müssen verschiedene spez. Luftmengen pro m² EBF verfügbar sein, da die Luftmenge das bestimmende Kriterium für die Ökobilanz ist. Es werden Datensätze für 1, 2, 4, 6, und 8 m³/(h m²) vorgeschlagen. Gegenüber den bestehenden Datensätzen in der KBOB-Liste liegen die neu berechneten Daten für die Graue Energie um den Faktor 1.4 bis 2 höher als die bestehenden. Der Hauptgrund für die Differenzen liegt bei der bisher unterschätzten Gesamtmasse der Luftverteilung bei Anlagen mit hohen spezifischen Luftmengen sowie der höheren Detaillierung der neuen Sachbilanzen.

2 Ausgangslage

2.1 Einleitung

Die Ökobilanzdaten für die Haustechniksysteme Lüftung und Heizung in der aktuellen Version der „Ökobilanzdaten im Baubereich“ der KBOB [1] stammen aus einer Untersuchung zur Gebäudetechnik von Basler & Hofmann aus dem Jahre 2008 [2]. In der Nachhaltigkeitsbeurteilung von Gebäuden werden Berechnungen der Primärenergie, Treibhausgasemissionen und der Umweltbelastungspunkte (UBP) immer wichtiger. Zudem zeigen Bilanzierungen von verschiedenen Bauten, dass der nicht erneuerbare Primärenergieaufwand von gebäudetechnischen Systemen bis zu 25% der gesamten Grauen Energie von Gebäuden ausmacht. In Anbetracht des bedeutenden Anteils an der Grauen Energie von Gebäuden sind die Haustechniksysteme der Lüftungs- und Wärmeanlagen noch wenig untersucht.

2.2 Lüftungsanlagen

Bei den Lüftungsanlagen wurde in einer Vorgängerstudie zur Wohnraumlüftung [5] die Anlage mittels eines Modellgebäudes definiert. Dasselbe Gebäude wurde mit unterschiedlichen Anlagen (zentral und dezentral) und Kanälen aus Polyethylen oder Stahl bilanziert. Der Einfluss von unterschiedlichen Gebäudegeometrien auf die Mengen an verlegten Kanälen konnten deshalb nicht analysiert werden. Ebenso fehlen Daten für Einzellüfter, welche im Wohnungsbau eingesetzt werden. Bei den Bürogebäuden wurden bisher Sachbilanzen für nur zwei Anlagen erstellt ([3], [4]) und für die Verwendung in der KBOB-Liste in [2] umgerechnet. Weiterhin fehlen Daten für die Nutzungen Schulen und Altersheime.

2.3 Wärmeanlagen

Bei den Wärmeanlagen sind die Wärmeerzeuger zwar schon relativ eingehend untersucht worden, jedoch ist bedingt durch die Nutzung einer Erdwärmesonde in Kombination mit einer Wärmepumpe eine Überprüfung der Sachbilanzen aufgrund der erheblichen Aufwendungen für die Bohrung der Sonde erforderlich. Zudem fehlen nach Nutzungstypen differenzierte Daten für verschiedene Wärmeverteilungssysteme. Die in Bürogebäuden häufig eingesetzte Deckenheizung wurde noch nicht untersucht.

2.4 Ökobilanzdaten zur Gebäudetechnik

Die Resultate der Studie von Basler & Hofmann sind unter anderem im SIA Merkblatt 2032 [6] und in den KBOB-Daten veröffentlicht worden und werden zur Berechnung der Grauen Energie von Gebäuden herangezogen. Die Ökobilanzdaten für Sanitär- und Elektroanlagen wurden in einem vorgängigen BFE Forschungsprojekt [7] bereits aktualisiert.

Tabelle 3 zeigt, dass die Lüftungs- und Wärmeanlagen basierend auf den aktuellen Ökobilanzdaten im Baubereich [1] bis zu 59% der Grauen Energie der Gebäudetechnikanlagen ausmachen können, wenn die Wärmeerzeugung mit Erdsonde und Wärmepumpe erfolgt.

Tabelle 3: Graue Energie von Gebäudetechnikanlagen gemäss [1], Amortisationszeiten gemäss [6]

	Graue Energie [MJ pro m ² EBF]	Mittelwert [MJ/m ²]	Amortisation [a]	Graue Energie [MJ/m ² a]	Anteil
Wärmeerzeugung	9 - 44	26	20	1.3	3%
Wärmeverteilung u. - abgabe	91 - 207	149	30	5.0	13%
Erdsonden	68 - 341	204	40	5.1	13%
Lüftungsanlagen	130 - 528	329	30	11.0	29%
Sanitäranlagen	75 - 179	127	30	4.2	11%
Elektroanlagen	194 - 490	342	30	11.4	30%
Total Gebäudetechnik	567 - 1'789			38.0	100%

2.5 Ziel der Studie

Ziel der Studie war es, die Ökobilanzdaten für Lüftungs- und Wärmeanlagen zu aktualisieren und in Bezug auf die bestehenden Datenlücken zu erweitern. Insbesondere sollten die Systeme anhand von realisierten Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzungsweisen untersucht werden. Im Rahmen einer ersten Sitzung der Projektgruppe wurden die zu untersuchenden Systeme und Systemkomponenten festgelegt.

Zur Untersuchung der Lüftungsanlagen wurden 4 Bürogebäude, 3 Schulen und 3 Altersheime ausgewählt. Es wurden dabei Gebäude mit unterschiedlichen Gebäudegeometrien berücksichtigt. Zudem sollten Daten für einen Einzelraumlüfter erarbeitet werden (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Lüftungsanlagen

Nutzung	Anlagentyp	Anz. Gebäude
Wohnen	Einzelraumlüfter	-
Büro	je 2 Gebäude mit unterschiedlichen Konzepten der Luftverteilung (kompakt bis weitverzweigt), je 2 Gebäude mit unterschiedlichem Standort der Lüftungszentrale (Dach, Keller)	4
Schule	3 Gebäude mit unterschiedlichen Konzepten der Luftverteilung (kompakt bis weitverzweigt)	3
Altersheim	3 Gebäude mit unterschiedlichen Konzepten der Luftverteilung (kompakt bis weitverzweigt)	3

Bezüglich den Wärmeanlagen wurde entschieden zwei Wohngebäude mit Wärmeabgabe über eine Fussbodenheizung und zwei Wohngebäude mit einer Wärmeabgabe über Heizkörper zu bilanzieren (siehe

Tabelle 5). Bei den Bürogebäuden wurden je ein Gebäude mit einer Wärmeabgabe über eine Deckenheizung und über Fussbodenheizung / Heizkörper ausgewählt. Eine allgemeine Aktualisierung der bestehenden Bilanzdaten für die Wärmeerzeuger war nicht Ziel der vorliegenden Studie, da diese bereits in früheren Projekten eingehend untersucht wurden. Einzig bei den Daten für Erdsonden und Wärmepumpen (Luft/Wasser und Sole/Wasser) wurde ein Aktualisierungsbedarf festgestellt.

Tabelle 5: Wärmeanlagen

Nutzung	Wärmeabgabe	Wärmeerzeugung
Wohnen	2 Gebäude mit Fussbodenheizung und unterschiedlichem Grundrisskonzept 2 Gebäude mit Heizkörper	Erdsonde Wärmepumpe Luft/Wasser
Büro	1 Gebäude mit Deckenheizung/ -Kühlung 1 Gebäude mit Heizkörpern und Fussbodenheizung	Wärmepumpe Sole/Wasser

Aufgrund der untersuchten Gebäude sollten für Lüftungs- und Wärmeanlagen die wichtigsten planerischen Einflussgrössen bestimmt werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollten als Grundlage dienen, um differenzierte Ökobilanzdatensätze für Planerinnen und Planer zu generieren. Ferner sollte die Bereitstellung der Daten im EcoSpold Format sicherstellen, dass die Resultate schnell aktualisiert werden können. Es ist beabsichtigt die aktualisierten und erweiterten Ökobilanzdaten für Lüftungs- und Wärmeanlagen in der Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich der KBOB zur Verfügung zu stellen.

3 Vorgehen

3.1 Analyisierte Gebäude

3.1.1 Auswahlkriterien

Die Auswahl der Gebäude berücksichtigt verschiedene Nutzungsarten, Gebäudegeometrien und Anlagentypen. Bei den Lüftungsanlagen wurden der Neubau sowie die Sanierung untersucht. Bei den Wärmeanlagen wurden nur Neubauten betrachtet. Bei einer Sanierung kann davon ausgegangen werden, dass eines oder mehrere Teilsysteme der Wärmeanlagen (Erzeugung, Verteilung, Abgabe) komplett ersetzt werden müssen. Die Resultate für die im Neubau untersuchten Teilsysteme dürften daher für den Sanierungsfall identisch sein.

3.1.2 Gebäude für Lüftungsanlagen

Tabelle 6: Lüftungsanlagen Schulen

Gebäude	Schulhaus Falletsche	Schulhaus Albisriederplatz	Schulhaus Heslibach
EBF [m ²]	5'607	5'603	2'849
Luftmenge	6.3 m ³ /(h m ²)	5.6 m ³ /(h m ²)	4.8 m ³ /(h m ²)
Anz. Geschosse	3	4	1 bis 2
Gebäudehülle	wenig kompakt	kompakt	wenig kompakt
Lüftungstyp	Zentral, 5 Anlagen, Anordnung im UG, Mit Kühlregister, Rotations- / Plattentauscher	Zentral, 4 Anlagen, Anordnung im UG, mit Verdunstungskühler, Plattentauscher, KVS-WRG	Hauptgebäude: Zentral, 1 Anlage, Anordnung im UG, Rotations-WRG Grundstufe dezentral, 3 Anlagen in Materialraum, WRG: Plattentauscher Aufenthalt: 1 Anlage
Luftverteilung	Horizontal v.a. eingelegt (PE-Rohre)	Horizontal Spiro-Rohre eingelegt	Stahlkanäle, dezentrale Anlagen mit kurzer Verteilung
Relevante Nutzungen der belüfteten Flächen	Schulräume Sporthalle Mehrzweckraum Garderoben/WC	Schulräume Café/Restaurant inkl. Küche WC, Mehrzweckraum	Schulräume Aufenthaltsraum
Bemerkungen	Neubau, Minergie, mit Sporthalle	Neubau, Minergie, ohne Sporthalle	Neubau, Minergie, ohne Sporthalle, Küche

Tabelle 7: Lüftungsanlagen Altersheime

Gebäude	Altersheim Dorflinde	Pflegezentrum Witikon	Alterswohnungen Geeren
EBF [m ²]	9'844	11'358	3'712
Luftmenge	3.5 m ³ /(h m ²)	6.6 m ³ /(h m ²)	1.6 m ³ /(h m ²)
Anz. Geschosse	11 bis 13	7	4
Gebäudehülle	kompakt	kompakt	wenig kompakt
Lüftungstyp	Zentral, 13 Anlagen, Plattentaucher, KVS-WRG	Zentral, 10 Anlagen, Zentralen im UG und Dach Plattentaucher, KVS-WRG	Zentral, 3 Anlagen, Zentralen im UG Doppelplattentaucher
Luftverteilung	Stahlkanäle	Stahlkanäle	Stahlkanäle im Pflegebereich ZUL mit Einlagen in Wohnun- gen (PE-Rohre)
Relevante Nutzungen der belüfteten Flächen	Wohnen Café/Restaurant inkl. Küche Wäscherei Mehrzweckraum Lager/Nebenräume	Wohnen Café/Restaurant inkl. Küche Wäscherei Einstellhalle Lager/Nebenräume	Wohnen Pflegeräume
Bemerkungen	Sanierung, Hochhaus	Sanierung; Rückkühler für gewerbliche Kälte	Neubau, Grosser Anteil mit Brandschutzdämmung

Tabelle 8: Lüftungsanlagen Büro

Gebäude	Bürohaus Fribourg	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Geschäftshaus C, Esslingen	Geschäftshaus B, Esslingen
Nutzung	Büro	Büro	Büro	Büro
EBF [m ²]	10'161	7'492	2'621	2'472
Luftmenge	5.4 m ³ /(h m ²)	5.7 m ³ /(h m ²)	1.5 m ³ /(h m ²)	2.3 m ³ /(h m ²)
Anz. Geschosse	4	4 bis 5	4	4
Gebäudehülle	wenig kompakt	sehr kompakt	kompakt	kompakt
Lüftungstyp	Zentral, 10 Anlagen, Zentralen im UG und Dachgeschoss Mit Kühlung (Verdunstungskühler), Rotations- / Plattentaucher, KVS-WRG	Zentral, 7 Anlagen, Dachzentrale + Anlage im UG, Rotations- / Plattentaucher, KVS-WRG	Zentral, 1 Anlage, Zentrale im UG Mit Kühlung (Verdunstungskühler), Rotations-WRG	Zentral, 1 Anlage, Zentrale im UG, Rotations-WRG
Luftverteilung	Divers: Stahlkanäle, im Hohlboden verlegt, Verteilung komplex, dezentrale konvektive Luftkühler	Verteilung einfach; Zuluft mit minimaler Verteilung auf den Geschossen	Stahlkanäle, wenig Horizontalverteilung im Geschoss, Büros mit aktiven Überströmer	Stahlkanäle konventionell, bauliches Luft-Erdregister 18 m
Relevante Nutzungen der belüfteten Flächen	Büro Café/Restaurant inkl. Küche Mehrzweckraum Aufenthaltsräume Einstellhalle	Büro Café / Restaurant inkl. Küche Einstellhalle	Büro	Büro
Bemerkungen	Neubau, Minergie	Neubau, Minergie	Neubau, Minergie-P	Neubau, Minergie

3.1.3 Gebäude für Wärmeanlagen

Im Bereich Wohnen wurden vier Gebäude untersucht (siehe auch Tabelle 9).

Die **Häuser A und B der Siedlung Ecofaubourg** in Schlieren sind Neubauten und werden nach dem MINERGIE-P-ECO Standard realisiert. Beide Gebäude werden mit Fernwärme beheizt. Die Wärmeabgabe erfolgt über Radiatoren. Beim Haus A handelt es sich um ein sechsgeschossiges Gebäude mit einer EBF von 3'655 m² und einer relativ kompakten Gebäudehülle (Gebäudehüllzahl 1.03). Das Haus B ist deutlicher weniger kompakt (Gebäudehüllzahl 1.32), hat nur drei Geschosse und weist eine EBF von 2'917 m² auf. Der Heizwärmebedarf (SIA 380/1) liegt beim Haus A bei 62 MJ/m²a und beim Haus B bei 80 MJ/m²a. Der spezifische Wärmeleistungsbedarf ist bei beiden Häusern ähnlich. Beim Haus A sind es 9 W/m² und beim Haus B 10 W/m².

Der **Neubau MCS-gerechtes Wohnhaus** in Leimbach hat vier Geschosse und eine EBF von 1'242 m². Von den untersuchten Gebäuden ist es das kleinste. Deshalb ist trotz der relativ einfachen Gebäudegeometrie die Kompaktheit als mittel einzustufen (Gebäudehüllzahl 1.16). Das Gebäude wurde nach dem MINERGIE Standard geplant. Der Heizwärmebedarf liegt bei 94 MJ/m²a und der spezifische Wärmeleistungsbedarf bei 19 W/m². Die Wärmeerzeugung erfolgt über eine Erdsonde mit Wärmepumpe und die Wärmeabgabe über eine Fussbodenheizung. Die spezifische Entzugsleistung der Erdsonde liegt bei 34 W/m'. Das System liefert neben Wärme auch Kühlung (Freie Kühlung). Im Sommer wird die Raumwärme über das Abgabesystem und die Erdsonde ins Erdreich zurückgeführt.

Die **Wohnüberbauung Rautistrasse** in Zürich Altstetten umfasst 7 MINERGIE-zertifizierte Gebäude mit je 6 Geschossen. Die EBF der gesamten Wohnüberbauung beträgt 14'000 m². Die Gebäude haben eine durchschnittliche Gebäudehüllzahl von 0.99 und können demnach als kompakt eingestuft werden. Es wurden die Heizungsanlagen der gesamten Siedlung untersucht. Der Heizwärmebedarf der Gebäude beträgt 79 MJ/m²a. Der spezifische Wärmeleistungsbedarf ist im Vergleich zu den anderen Wohngebäuden mit 26.7 W/m² deutlich höher. Wie beim Neubau MCS erfolgt die Wärmeerzeugung über Erdsonden mit Wärmepumpen und die Wärmeabgabe über Fussbodenheizungen. Die Erdsonden wurden bei diesen Gebäuden mit einer spezifischen Entzugsleistung von 38 W/m' dimensioniert. Das System verfügt ebenfalls über eine Freie Kühlung.

Tabelle 9: Wärmeanlagen Wohnen

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rau- tistrasse, 7 MFH
Architektur	Metron Architektur AG	Metron Architektur AG	Andreas Zimmer- mann Architekten AG	UNDEND
Ausführung	2012 – 2014	2012 – 2014	2012 – 2013	2012 – 2014
EBF [m ²]	3'655	2'917	1'227	14'000
Anz. Geschosse	6	3	4	6
Anz. Wohnungen	34	22	15	104
Durchschnittliche Wohnungsgrösse [m ²]	107.5	132.6	82.8	134.6
Gebäudehülle	kompakt	wenig kompakt	mittel kompakt	kompakt
Gebäudehüllzahl	1.03	1.32	1.16	0.99

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rau- tistrasse, 7 MFH
Q_h [MJ/m ² a]	62	80	94	79
spez. Wärmeleis- tungsbedarf [W/m ²]	9	10	19	26.7
spez. Entzugsleistung Erdsonde [W/m']	–	–	34	38
Wärmeerzeugung	Fernwärme	Fernwärme	Erdsonde, Wärme- pumpe	Erdsonde, Wärme- pumpe
Wärmeabgabe	Radiatoren	Radiatoren	Fussbodenheizung	Fussbodenheizung
Bemerkungen	Neubau, Minergie-P	Neubau, Minergie-P	Free Cooling, Neubau, Minergie	Free Cooling, Neubau, Minergie

Neben den Wohnbauten wurden auch zwei Bürogebäude untersucht (siehe Tabelle 10).

Das **Bürogebäude an der Verenastrasse** in Baden weist eine hohe Kompaktheit auf (Gebäudehüllzahl 0.79). Es hat 4 bis 5 Geschosse und eine EBF von 7'492 m². Das Gebäude ist nach MINERGIE zertifiziert und hat einen Heizwärmebedarf von 49 MJ/m²a. Der spezifische Wärmeleistungsbedarf liegt bei 7 W/m². Beheizt wird das Gebäude mit einer Grundwasser-Wärmepumpe. Die Wärmeverteilung erfolgt vor allem über Heizkühldecken, welche auch im Sommer für ein moderates Innenraumklima sorgen. Ein geringer Anteil der Wärmeverteilung geschieht über eine Fussbodenheizung.

Das **Bürohaus in Fribourg**¹ ist ebenfalls nach MINERGIE zertifiziert. Das Bürogebäude hat 4 bis 5 Geschosse und ist mit einer EBF von 10'161 m² deutlich grösser als jenes in Baden, jedoch mit einer Gebäudehüllzahl von 1.29 auch weniger kompakt. Zur Wärmeerzeugung werden Erdsonden und Wärmepumpen eingesetzt. Die spezifische Entzugsleistung der Erdsonden liegt bei 26 W/m'. Die Wärmeverteilung erfolgt über eine Kombination von Fussbodenheizung und Konvektoren. Auch bei diesem Bürogebäude werden die Erdsonden und das Verteilungssystem im Sommer zur Kühlung eingesetzt. Das Gebäude hat einen Heizwärmebedarf von 120 MJ/m²a und einen spezifischen Wärmeleistungsbedarf von 20 W/m².

Tabelle 10: Wärmeanlagen Büro

Gebäude	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
Architektur	Meier Leder Archi- tekten AG	anonym
Ausführung	2008 – 2009	2010 – 2011
EBF [m ²]	7'492	10'161
Anz. Geschosse	4 bis 5	4 bis 5
Gebäudehülle	sehr kompakt	wenig kompakt
Gebäudehüllzahl	0.79	1.29
Q_h [MJ/m ² a]	49	120

¹ Objekt und Architekt müssen auf Wunsch des Datenlieferanten anonym bleiben.

Gebäude	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
spez. Wärmeleis- tungsbedarf [W/m ²]	7	20
spez. Entzugs- leistung Erdson- de [W/m']	–	26
Wärmeerzeugung	Grundwasser, Wärmepumpe	Erdsonde, Wärme- pumpe
Wärmeverteilung	Heizkühldecken, Fussbodenheizung	Konvektoren, Fussbodenheizung
Bemerkungen	Neubau, Minergie	Neubau, Minergie

3.2 Erhebung der Sachbilanzdaten

3.2.1 Einleitung

Die untersuchten Gebäude wurden basierend auf den Devis für Lüftungs- und Wärmeanlagen bilanziert.

3.2.2 Systemgrenzen Lüftungsanlagen

Bei der Lüftungsverrohrung wurden nur die Bauteile gemäss BKP Lüftung einbezogen. Damit wurden die gegebenenfalls eingesetzten heruntergehängten Decken (z.B. im Korridorbereich) bzw. die grössere Deckenstärke nicht berücksichtigt.

Beim Heizungsanschluss der Lüftung entschloss man sich, die Heizungsanschlüsse für Lüftungsanlagen nicht bei der Lüftung einzubeziehen (sondern gemäss Schnittstelle Devis bei der Heizung), da sonst die Bilanzabgrenzung sehr komplex wird. Da vermutet wird, dass die Lüftungsanschlüsse in gewissen Gebäuden einen wesentlichen Einfluss auf die Bilanz haben (nur Lüftung zu günstige Lüftungsbilanz, nur Heizung zu hohe Werte für die Heizung) wird der Einfluss exemplarisch am (als diesbezüglich kritisch beurteilten) Pflegezentrum Witikon untersucht.

3.2.3 Systemgrenzen Wärmeanlagen

Bei den Wärmeanlagen wurden fast alle in den Devis vorhandenen Systemkomponenten berücksichtigt. Da Erdsonden mit Freecooling heute üblich sind, wurden diese mit den notwendigen Komponenten bilanziert. Aktive Kältekomponenten dagegen wurden nicht miteinbezogen (z.B. Kältemaschinen, Verdunstungskühler).

Die Schnittstelle zum baulichen bei Fussbodenheizungen wurde entsprechend den Komponenten der Fussbodensysteme gewählt. Damit wurden allfällige Befestigungsclips oder Platten einbezogen nicht aber die zusätzliche Dämmung oder evtl. der stärkere Unterlagsboden.

Bei Heizkühldecken handelt es sich um Bauteile mit einer Doppelfunktion. Einerseits dienen sie als heruntergehängte Decken, so wie sie in Bürogebäuden häufig eingesetzt werden. Andererseits haben sie eine Heiz- und Kühlfunktion. Bei der Massenbilanz der Wärmeanlagen wurde festgestellt, dass ihr Einfluss auf das Gesamtergebnis bei Berücksichtigung des gesamten Systems der Heizkühldecke (inkl. Deckplatten und Unterkonstruktion) sehr dominant ist. Um die

Vergleichbarkeit mit den anderen Abgabesystemen zu gewährleisten, wurde entschieden bei der Ökobilanz der Heizkühldecken nur jene Elemente zu berücksichtigen, welche im engeren Sinn der Wärme- und Kälteabgabe dienen (Kupferrohre und Wärmeleitschienen aus Aluminium).

3.2.4 Materialbilanzen Gebäude

Es wäre ein verhältnismässig grosser Aufwand für alle Systemkomponenten der Lüftungs- und Wärmeanlagen das genaue Gewicht und die Zusammensetzung zu bestimmen. Deshalb wurde ein iteratives Verfahren zur Relevanzbeurteilung angewendet. Ausgehend von den Auszügen wurden die Materialbilanzen in einem iterativen Prozess generiert (siehe Abbildung 1). Die Auszüge umfassen beispielsweise bei den Wärmeanlagen 100 bis 400 Positionen pro Gebäude. Aufgrund der Vielzahl der Systemkomponenten wurden in einem ersten Schritt die Gewichte der einzelnen Bauteile anhand der Herstellerangaben in Katalogen bestimmt oder abgeschätzt. Anschliessend wurden das Gesamtgewicht der verbauten Materialien pro Gebäude und der Anteil der einzelnen Systemkomponenten am Total berechnet. Die Liste der Bauteile wurde nach dem jeweiligen prozentualen Anteil der Bauteile absteigend sortiert. Die Anteile wurden kumuliert und alle Bauteile bis zu 95% des Totalgewichts genauer auf ihre Zusammensetzung und ihr Gewicht untersucht. Nach der genaueren Bestimmung der Gewichte wurde die Liste neu sortiert und der Prozess, falls notwendig, wiederholt. Da in den Auszügen viele Bauteile vorhanden sind, die nur einen geringen Anteil am Gesamtgewicht ausmachen, konnte durch diese Vorgehensweise die Anzahl der Bauteile, die genauer analysiert werden mussten, reduziert werden – z.B. bei den Wärmeanlagen von durchschnittlich 250 Bauteilen auf etwa 80. Da nur die Bauteile mit den höheren Gewichtsanteilen berücksichtigt wurden, wurden bei den Material- und Ökobilanzen alle Inputs mit einem Zuschlag versehen (Faktor: $100/95 = 1.053$). Diese Vorgehensweise rechtfertigt sich insofern als dass die Gewichtsanteile der Bauteile recht gut mit den jeweiligen Anteilen an der Grauen Energie korrelieren (siehe Kapitel 4.2.2).

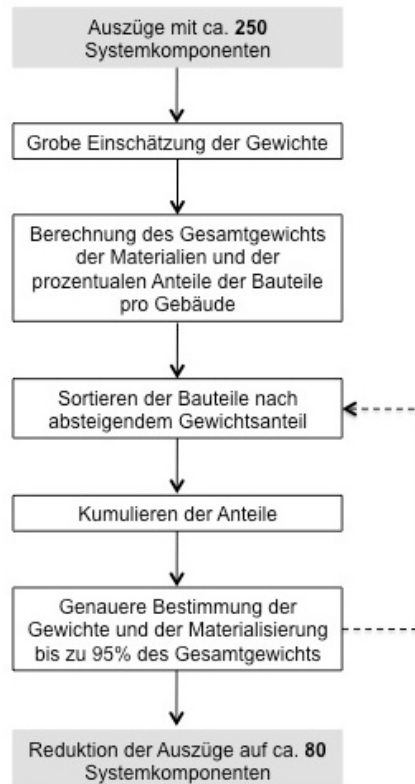


Abbildung 1: Verfahrensweise zur Relevanzbeurteilung

3.3 Ökobilanzierung der Bauteile und Systeme

3.3.1 Ökobilanzmethoden

3.3.1.1 Grundsätze

Die Bilanzierung umfasst die Herstellung und Entsorgung der Lüftungs- und Wärmanlagen respektive deren Komponenten. Es werden grundsätzlich alle erforderlichen Ressourcen und Energieträger vom Rohstoffabbau bis zur Entsorgung in der Deponie oder in einer Verbrennungsanlage bilanziert. Auch die Stoffe die bei der Herstellung oder Entsorgung in die Luft, Gewässer oder in Deponien gelangen, fließen in die Sachbilanzen ein. Solche Sachbilanzen der gebräuchlichsten Rohstoffe, Produkte und Dienstleistungen (Transporte) sind als Standardwerte in Datenbanken abgelegt².

Die Bilanzierung bezieht sich auf eine funktionelle Einheit. Die Lüftungs- und Wärmanlagen wurden hier pro Gebäude und pro m² EBF bilanziert.

Aufgrund der gewählten Vorgehensweise bei der Erstellung der Materialbilanzen (siehe Kapitel 3.2.4) wurden die Komponenten der Lüftung- und Wärmanlagen bis zu 95% des Gesamtge-

² ecoinvent ist eine der international bekanntesten Datenbanken für Ökobilanzen, die von verschiedenen Forschungsinstituten in der Schweiz (EMPA, ETH, EPFL, PSI) verwaltet wird: ecoinvent Centre 2010, ecoinvent v2.2, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, www.ecoinvent.org

wichts bilanziert. Deshalb wurden die Resultate der Sach- und Ökobilanzen bei allen untersuchten Gebäuden mit einem Zuschlag von 5.3% versehen.

Die Sachbilanzen werden anhand der Primärenergie gesamt, der Grauen Energie (Primärenergie nicht erneuerbar) sowie der Treibhausmissionen und den Umweltbelastungspunkten bewertet.

3.3.1.2 Graue Energie (Primärenergie nicht erneuerbar)

Bei der Grauen Energie handelt es sich um den kumulierten Aufwand an energetischen Rohstoffen, die erforderlich sind um ein Produkt oder eine Leistung an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt bereitzustellen. Dabei wird der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieträgern (fossile und nukleare Energieträger) beurteilt. Die Graue Energie wird in Energieeinheiten (MJ-Äquivalenten) ausgedrückt und ist die Summe der Bewertungen mittels dem "Kumulierten Energieaufwand nuklear" und dem "Kumulierten Energieaufwand fossil" ($CED_{nuclear\ cumulative\ energy\ demand\ nuclear}$, $CED_{fossil\ cumulative\ energy\ demand\ fossil}$)³.

3.3.1.3 Primärenergie gesamt

Die Bewertung der Primärenergie gesamt umfasst neben den nicht-erneuerbaren Energieträgern (Graue Energie) auch erneuerbare Energieträger (Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Geothermie). Sie wird ebenfalls in Energieeinheiten (MJ-Äquivalenten) ausgedrückt und berechnet sich als Summe des nicht erneuerbaren und erneuerbaren Anteils des Kumulierten Energieaufwands (Summe aus CED_{fossil} , $CED_{nuclear}$, $CED_{biomass}$, $CED_{geothermal}$, CED_{solar} , CED_{water} , CED_{wind}).

3.3.1.4 Treibhausgase

Analog zur Grauen Energie werden mittels des Treibhauspotentials die Emissionen an Treibhausgasen beziffert. Dabei wird die Wirksamkeit der Treibhausgase in Bezug auf 1 kg CO₂ bewertet. Die Bewertung erfolgt mittels den Charakterisierungsfaktoren vom IPPC 2007 (Intergovernmental Panel on Climate Change) für einen Zeithorizont von 100 Jahren.

3.3.1.5 Umweltbelastungspunkte

Mit der Methode der Ökologischen Knappheit werden neben dem Primärenergieaufwand und den Treibhausgasemissionen weitere umweltrelevante Aspekte beurteilt. So zum Beispiel Emissionen in Gewässer und in den Boden. Dabei werden sämtliche Umwelteinwirkungen in Bezug auf einen "kritischen Fluss" gewichtet ("Distance to target" Methode). Bei den kritischen Flüssen handelt es sich um Zielwerte, die nicht überschritten werden sollten. Das Resultat dieser Methode ist eine aggregierte Bewertung, die in Umweltbelastungspunkten (UBP 2006) ausgedrückt wird.

3.3.2 Herstellung

Die Bilanzierung umfasst sämtliche Ressourcen welche zur Herstellung der in den Systemgrenzen (siehe Kapitel 3.2.2 und 3.2.3) erfassten Bauteile benötigt werden. Gemäss SIA Merkblatt

³ Bewertung gemäss cumulative energy demand, eocinvnet v2.2

2032 [6] wurden die Aufwendungen für Transporte auf die Baustelle und für den Einbau auf der Baustelle vernachlässigt. Es wurden keine Zuschläge für Abfälle und Verschnitt gemacht, da diese bereits in den Auszügen berücksichtigt waren.

3.3.3 Entsorgung

Die Entsorgung der Systeme und Systemkomponenten wurde mittels der Datensätze für die Entsorgung von Baustoffen in ecoinvent modelliert. Die meisten Bauteile gelangen zunächst in eine Sortieranlage, wo sie in verschiedene Materialfraktionen aufgetrennt werden. Grundsätzlich wurde davon ausgegangen, dass die Metallfraktionen anschliessend ins Recycling gelangen. Die Kunststoffanteile hingegen werden in der Kehrlichtverbrennung entsorgt.

3.3.4 Datengrundlagen Ökobilanzen

3.3.4.1 ecoinvent

Die Sachbilanzdaten der Lüftungs- und Wärmeanlagen wurden mit Hintergrunddaten des ecoinvent⁴ Datenbestands v2.2 ergänzt. Die folgenden drei Abschnitte erläutern die Datengrundlagen für die Berechnung der in Bezug auf ihre Masse relevantesten Bauteile.

3.3.4.2 Datensätze für Systemkomponenten

Im Projekt sollten neben den planerischen Richtwerten pro m² EBF auch Datensätze von einzelnen Systemkomponenten erarbeitet werden, die es dem Planer erlauben sollen, die Anlagen allenfalls selbst zu bilanzieren und zu optimieren. Zudem sollten alle im Projekt untersuchten Anlagen anhand der Datensätze für einzelne Systemkomponenten bilanziert werden.

3.3.4.3 Lüftungsanlagen

Tabelle 11 zeigt die Datensätze welche für die Lüftungsanlagen erarbeitet wurden. Die Materialbilanzen zeigten, dass in Bezug auf das Gesamtgewicht der Anlagen die Kanäle und Rohre den grössten Anteil ausmachen. Da diese Anlageteile in sehr unterschiedlichen Abmessungen verbaut werden, wurde entschieden für die Kanäle einen Datensatz pro m² Kanaloberfläche für unterschiedliche Blechstärken bereitzustellen. Zusammen mit einer Tabelle, welche die Oberfläche Kanal pro Laufmeter in Abhängigkeit der Grösse des Kanals angibt, kann eine Vielzahl von Dimensionen mit einem Datensatz berechnet werden. Dasselbe Vorgehen wurde bei den Wickelfalzrohren gewählt. Auch hier wurden mehrere Datensätze pro m² Rohroberfläche erarbeitet. Für die Dämmungen, werden Datensätze der gängigen Dämmstärken mit Steinwollendämmung und Alukaschierung bereitgestellt. Für die thermische Dämmung werden zudem Datensätze mit Blechummantelung erstellt (für den Aussenbereich). Analog zu den Datensätzen für die Kanäle wurde die Dämmung pro m² Kanal-Oberfläche bilanziert.

⁴ ecoinvent Centre 2010, ecoinvent v2.2, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, www.ecoinvent.org

Tabelle 11: Datensätze Lüftungsanlagen

Systemkomponente	Bezugsgrösse	Kommentar
Kanäle	m ² Kanaloberfläche	Je 6 Datensätze für verschiedene Blechstärken; Für Material verzinktes Stahlblech bzw. rostfreier Stahl Umrechnungstabelle m ² /lm für div. Kanalgrössen
Wickelfalzhohr	m ² Rohrfläche	Je 4 Datensätze für verschiedene Blechstärken; Für Material verzinktes Stahlblech bzw. rostfreier Stahl Umrechnungstabelle m ² /lm für div. Rohrdurchmesser
Thermische Dämmungen	m ² Kanaloberfläche	Je 3 Datensätze für verschiedene Dämmstärken; Standard verkleidet mit gitternetzverstärkter Alufolie bzw. mit verzinktem Stahlblech bzw. rostfreiem Stahl
Brandschutz Dämmungen	m ² Kanaloberfläche	3 Datensätze für verschiedene Dämmstärken für Anforderungen EI30, EI 60, EI90 Standard verkleidet mit gitternetzverstärkter Alufolie
Lüftungsanlage	Stk.	Insgesamt 16 Datensätze für Anlagen mit Luftmengen zwischen 1'800m ³ /h und 13'000m ³ /h zusätzlich 4 separate Datensätze für Schalldämpfer
Mittlere Lüftungsanlage	m ³ /h Luftmenge *).	Je ein Datensatz für Einzelgerät (z.B. Fortluft), ein mittlerer Datensatz für Anlage mit WRG sowie je ein Datensatz für einen Schalldämpfer für Gerätegrösse mit 1'800m ³ /h bzw. 6'700m ³ /h
Einzelraumlüfter	Stk.	Durchschnittliches Gerät
Andere Komponenten	m ² EBF	Durchschnittswert pro m ² EBF für alle anderen Anlagenteile basierend auf den untersuchten Gebäuden
Gesamtanlagen	m ² EBF	Durchschnittswert pro m ² EBF für Gebäude mit 1, 2, 4, 6, oder 8 m ³ /(h m ² EBF) spezifischer Luftmenge basierend auf den untersuchten Gebäuden
*) Bezug auf Luftmenge bei Anströmgeschwindigkeit auf Wärmetauscher im Gerät von 2 m/s		

Bei den Lüftungsanlagen selbst wurden insgesamt 20 Datensätze bilanziert, um die gängigen Anlagentypen und spezifischer Luftmengen abzudecken. Aus diesen Angaben können 6 Datensätze (Bezug pro m³ Nennluftmenge) abgeleitet werden, mit denen Gebäudebilanzen erstellt werden können. Für Einzelraumlüfter wurde ein Datensatz für ein durchschnittliches Gerät erarbeitet.

Alle restlichen Systemkomponenten der untersuchten Anlagen wurden mit einem Datensatz, welcher einen Durchschnittswert pro m² EBF darstellt, berücksichtigt. Hierzu wurden die Materialbilanzen der untersuchten Anlagen ausgewertet und eine durchschnittliche materielle Zusammensetzung der restlichen Anlagenteile bestimmt. Die einzelnen Datensätze der Systemkomponenten der Lüftungsanlagen sind im Anhang dokumentiert.

3.3.4.4 Wärmeanlagen

Die Datensätze für Systemkomponenten der Wärmeanlagen in Tabelle 12 wurden ebenfalls mittels dem Kriterium der Massenrelevanz bestimmt. Der Datensatz für eine Erdsonde pro Laufmeter und die Datensätze für Wärmepumpen standen bereits beim Projektstart fest. Aufgrund der grossen Abweichungen des Gesamtgewichts bei Wärmepumpen innerhalb einer bestimmten Leistungsklasse wurde beschlossen, auch einen durchschnittlichen Datensatz pro

Kilogramm Wärmepumpe bereitzustellen. Weiterhin wurde entschieden Datensätze für Stahl- und Edelstahlrohre pro Kilogramm Rohr zur Verfügung zu stellen. Zu den Datensätzen wird eine Tabelle mitgeliefert, welche die Masse pro Laufmeter Rohr für unterschiedliche Durchmesser und die üblichen Wandstärken darstellt. Dadurch konnte vermieden werden, dass eine Vielzahl von Datensätzen für unterschiedliche Rohrdurchmesser generiert werden mussten. Analog wird auch je ein Datensatz für Abzweigungen und Formstücke aus Stahl und Edelstahl bereitgestellt. Für die Wärmedämmungen wurden Datensätze für zwei Dämmstoffe (PIR und Mineralwolle) mit unterschiedlichen Ummantelungen (PVC, gitterverstärkte Alufolie, Alu-Grobkornfolie, Leichtmetallblech) für die gebräuchlichsten Dämmstärken erarbeitet. Die Datensätze beziehen sich auf einen m^2 Dämmung. Eine Tabelle ermöglicht es dem Planer die Fläche der Dämmung in m^2 pro Laufmeter Rohr in Funktion von verschiedenen Rohrdurchmessern zu ermitteln. Weiterhin wurde ein Datensatz für ein durchschnittliches Fussbodenheizungsrohr pro Laufmeter erarbeitet. Darin wurde auch die Befestigung des Rohrs berücksichtigt. Aufgrund der unterschiedlichen Dimensionen von Heizkörpern (Radiatoren und Konvektoren) wurden die Heizkörper pro Kilogramm bilanziert. Eine Tabelle stellt das durchschnittliche Gewicht pro Heizkörper in Funktion der Dimension, der Leistung und der Vorlauftemperatur dar. Für Heizkühldecken wurden 3 Varianten (Metall- und Gipsdecke, Kapillarrohrkühldecke) pro m^2 Heizkühldecke berücksichtigt. Für alle übrigen Anlagenteile welche in Bezug auf das Gesamtgewicht der Anlagen einen geringeren Anteil ausmachen, wurde ein Datensatz mit einer durchschnittlichen Materialisierung pro m^2 EBF erarbeitet ("Andere Komponenten"). Die einzelnen Datensätze der Systemkomponenten der Wärmeanlagen sind im Anhang dokumentiert.

Tabelle 12: Datensätze Wärmeanlagen

Systemkomponente	Bezugsgrösse	Kommentar
Erdsonde	lm	Pro Laufmeter Sonde
Wärmepumpe Sole-Wasser, 8 kW	Stk.	Pro Wärmepumpe
Wärmepumpe Sole-Wasser	kg	Pro kg Wärmepumpe mit einer durchschnittlichen Zusammensetzung
Wärmepumpe Luft-Wasser, 8 kW	Stk.	Pro Wärmepumpe
Wärmepumpe Luft-Wasser	kg	Pro kg Wärmepumpe mit einer durchschnittlichen Zusammensetzung
Stahlrohr schwarz, grundiert	kg	Umrechnungstabelle mit kg/lm für verschiedene Durchmesser
Abzweigungen und Formstücke aus Stahl	kg	Umrechnungstabelle mit kg/Stk. für verschiedene Durchmesser
Edelstahlrohr	kg	Umrechnungstabelle mit kg/lm für verschiedene Durchmesser
Abzweigungen und Formstücke aus Stahl aus Edelstahl	kg	Umrechnungstabelle mit kg/Stk. für verschiedene Durchmesser
Wärmedämmung PIR mit PVC Umhüllung	m^2	Für Dämmstärken 30, 40, 50, 60 und 80 mm. Tabelle mit m^2 Dämmung pro Laufmeter Rohr in Funktion von verschiedenen Durchmessern.
Wärmedämmung Mineralwolle mit verschiedenen Umhüllungen	m^2	Mit Umhüllungen aus PVC, Alufolie gitterverstärkt, Alu – Grobkornfolie und Leichtmetallblech, Für Dämmstärken 40, 50, 60, 80 und 100 mm, Tabelle mit m^2 Dämmung pro Laufmeter Rohr in Funktion von verschiedenen Durchmessern.
Fussbodenheizungsrohr	m	Inklusive Befestigung mittels Klemmschienen

Systemkomponente	Bezugsgrösse	Kommentar
Heizkörper - Radiator	kg	Tabelle zur Umrechnung (kg/Stk) in Funktion von Leistung und Vorlauftemperatur
Heizkörper - Konvektor	kg	Tabelle zur Umrechnung (kg/Stk) in Funktion von Leistung und Vorlauftemperatur
Heizkühldecke	m ²	3 Typen werden unterschieden: Heiz-Kühldecke aus Metall und Gips (inkl. Unterkonstruktion), Kapillarrohre unter Putz, Daten pro m ² aktive Fläche.
Andere Komponenten	m ² EBF	Durchschnittswert pro m ² EBF für alle anderen Anlageteile basierend auf den untersuchten Gebäuden.

4 Resultate

4.1 Lüftungsanlagen

4.1.1 Massen- und Materialbilanzen

4.1.1.1 Materialbilanz Anlage Altersheim Dorflinde

Da das Altersheim Dorflinde diverse Anlagen neben der eigentlichen Wohnnutzung enthält, zeigt dieses Beispiel gut die Auswirkung verschiedener Nutzungen auf die Materialbilanz. Die Devisierung enthält gut 1900 Positionen. Fast 50% davon betreffen Lüftungskanäle und dort ist die grosse Zahl vor allem auf Anschlussstücke (Bögen, T-Stücke, Konen, etc.) zurückzuführen. Untenstehend sind die Massenanteile aufgeteilt auf acht Elementgruppen dargestellt. Daraus zeigt sich, dass gut 70% des Masseanteils auf die Luftverteilung zurückzuführen ist.

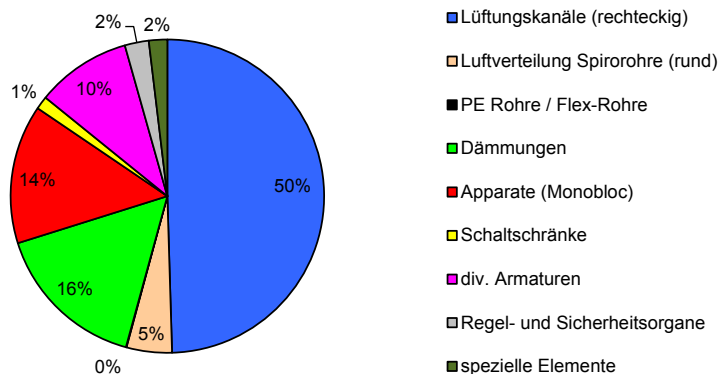


Abbildung 2: Altersheim Dorflinde Massenanteile Lüftungsanlagen

Betrachtet man die Massebilanz bezogen auf die verschiedenen Anlagen, so fällt auf, dass die Anlagen für die Cafeteria und Küche in diesem Gebäude 44% der Gesamtmasse ausmachen.

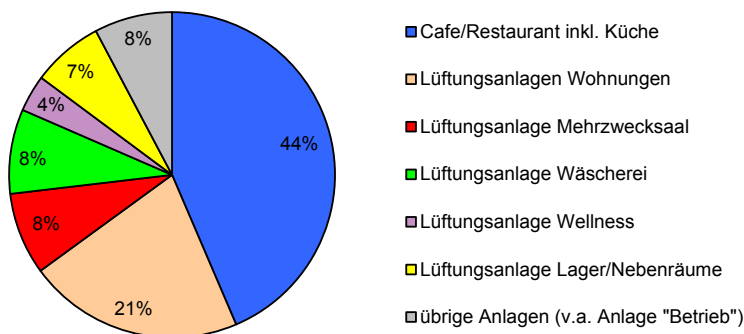


Abbildung 3: Altersheim Dorflinde Massenanteile nach Anlagen

Die Anlagen für die Wohnnutzungen sind mit gut 20% der Gesamtmasse von deutlich geringerer Relevanz. Daraus kann geschlossen werden, dass für die Lüftungsanlagen eine weniger die Quadratmeter Fläche als vielmehr der geförderte Luftvolumenstrom relevant ist.

Vergleicht man die verschiedenen Anlagen im Gebäude bezüglich ihres Einfluss pro m^3/h Luftmenge, so zeigt sich, dass damit die Unterschiede zwischen den Anlagen kleiner werden.

Im Mittel werden gut 2.4 kg Material pro m^3/h Luftmenge benötigt (je nach Anlage zwischen 2.1 und 3.8 kg Material pro m^3/h). Der Anteil der Luftverteilung bewegt sich dabei im Bereich von 55% bis 77% der Gesamtmasse.

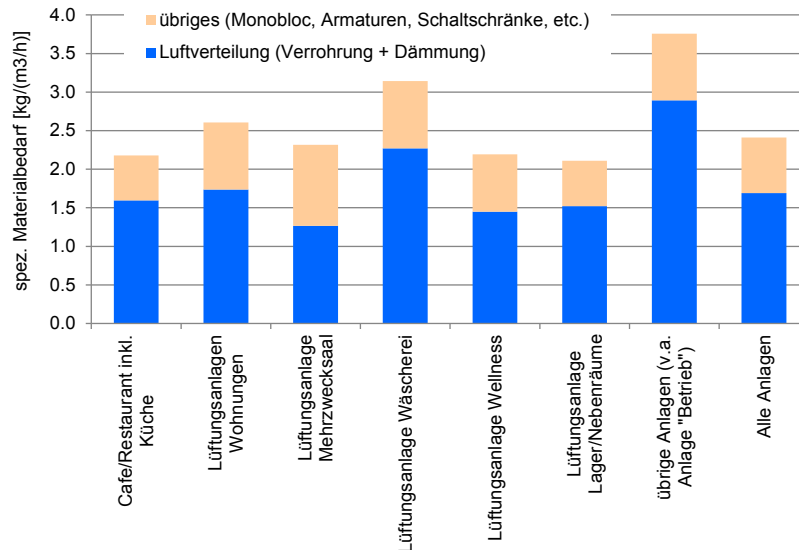


Abbildung 4: Altersheim Dorflinde Massenbilanz pro Anlage und m^3/h Luftmenge

Für die Anlagen Restaurant (inkl. Küche) und Wohnen, welche 66% der Gesamtmasse ausmachen wurden die Massenanteile untenstehend detaillierter aufgeschlüsselt.

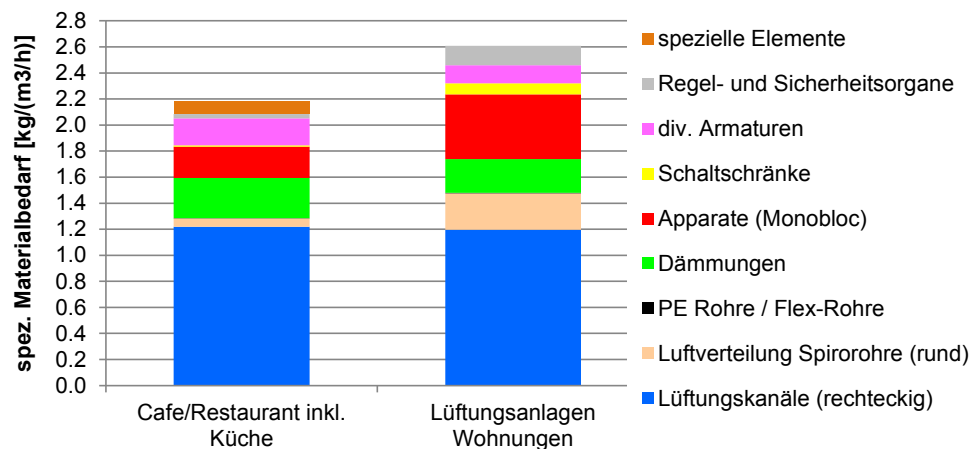


Abbildung 5: Altersheim Dorflinde Massenbilanz Anlagen Restaurant und Wohnen pro m^3/h Luftmenge

Es zeigt sich, dass die Materialbilanz pro m^3/h Luftmenge insgesamt sehr ähnlich ist. Bei den Wohnungsanlagen ist der Aufwand für die Luftverteilung höher, da die Feinverteilung der Luft (Spirorohre) aufwendiger ist. Demgegenüber sind bei der Lüftungsanlage vom Restaurant / Cafeteria die Materialaufwände für Dämmungen und Apparate deutlich höher. Dies liegt in erster Linie an den dort benötigten Brandschutzdämmungen (höhere Dichte) sowie dem grösseren Aufwand für die Lüftungsgeräte, da getrennte Anlagen (Kreislaufverbundsystem) eingesetzt wurden und die Anlage komplexer ist.

Die Analyse der Luftverteilung (Lüftungskanäle, Spirorohre, Armaturen) aufgeteilt auf die Teilbereiche Aussenluft, Zuluft, Abluft und Fortluft zeigt, dass knapp 60% der Materialaufwände auf die Luftverteilung nach dem Lüftungsgerät (Zuluft, Abluft) fällt. Dort kommen auch die kleineren Spirorohre zum Einsatz, während bei der Aussen- und Fortluft die grossen Dimensionen der Lüftungskanäle zur Anwendung kommen.

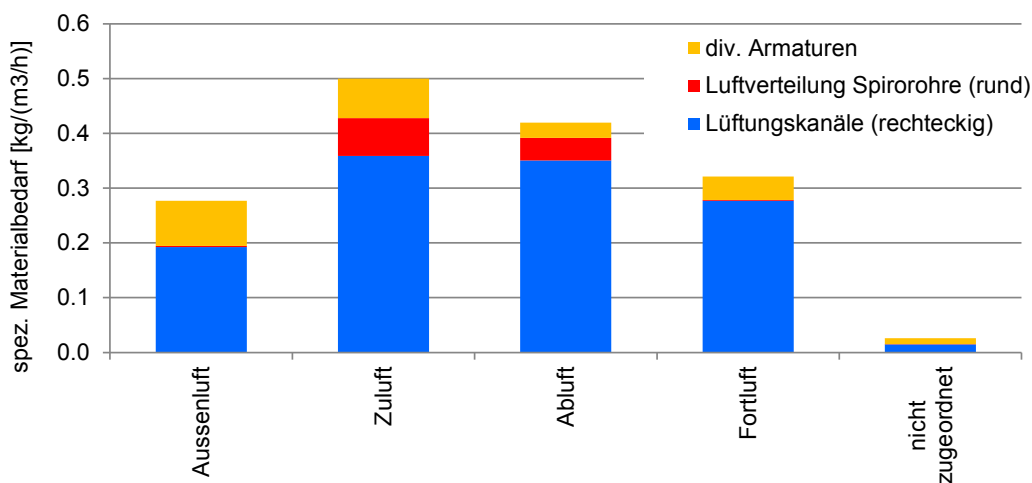


Abbildung 6: Altersheim Dorflinde Massenbilanz Aufteilung nach Luftarten

4.1.1.2 Materialbilanz Anlage Pflegezentrum Witikon

Auch das Pflegezentrum Witikon besitzt eine grosse Anzahl an Anlagen neben der Wohnnutzung. Die Massenanteile aufgeteilt auf die acht Elementgruppen zeigt hier, dass die Luftverteilung drei Viertel der Gesamtmasse ausmacht. Die Dämmungen sind für einen Viertel davon verantwortlich. Ein Fünftel geht auf Apparate zurück. Ein Fünftel geht auf Apparate zurück.

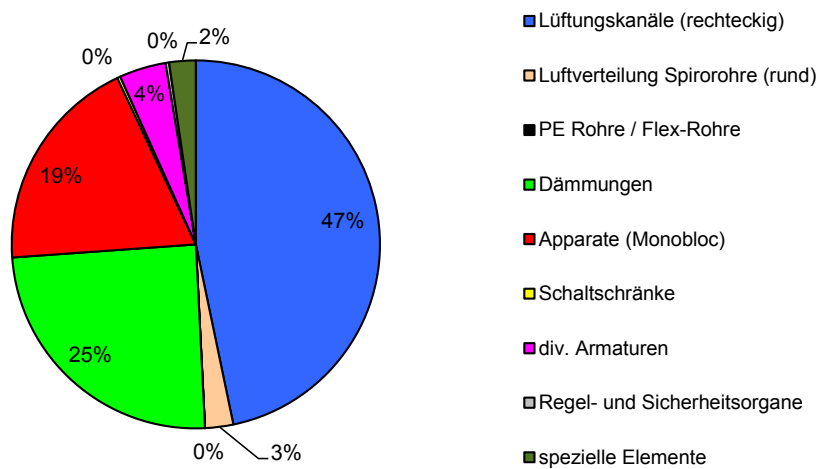


Abbildung 7: Pflegezentrum Witikon Massenanteile Lüftungsanlagen

Neben der Wohnnutzung, die in der Massenbilanz über alle Anlagen den grössten Anteil trägt, fällt wiederum vor allem die Anlage für die Cafeteria mit einem Drittel der Gesamtmasse ins Gewicht. Die restlichen Anlagen beanspruchen zusammen 30% des Gewichts für sich.

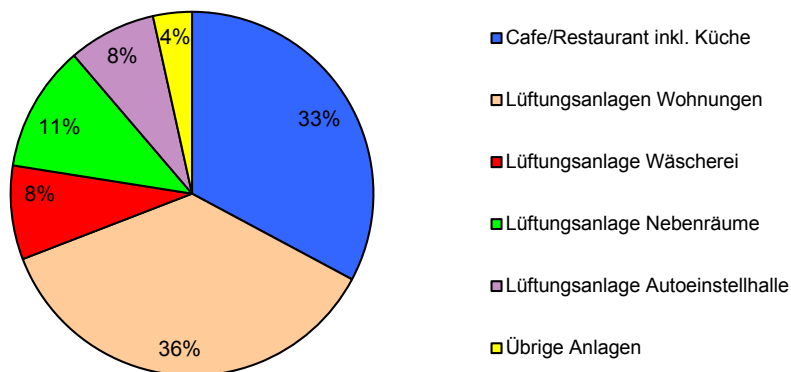


Abbildung 8: Pflegezentrum Witikon Massenanteile nach Anlagen

Pro m^3/h Luftmenge werden im Schnitt 2.1 kg Material benötigt, ein Fünftel weniger als beim Altersheim Dorflinde. Der Anteil der Luftverteilung ist dabei mit Werten von 64% bis 95% der Gesamtmasse sehr variabel. In der Kategorie der übrigen Anlagen befinden sich vier Anlagen, wovon zwei praktisch keine Verrohrungen benötigen. Dies erklärt den grossen Gewichtsanteil

des Monoblocs. Anders dagegen ist die Lüftungsanlage der Garage. Der relativ einfach aufgebaute Monobloc hat einen kleinen Gewichtsanteil gegenüber der Gesamtanlage. Die Lüftungsanlage für die Nebenräume hat einen hohen spezifischen Materialbedarf. Dies liegt daran, dass die Nebenräume durch die vergleichsweise geringe Nutzung weniger Luftaustausch benötigen. Die Luftverteilung zu den verschiedenen Räumen wird dadurch jedoch nicht reduziert.

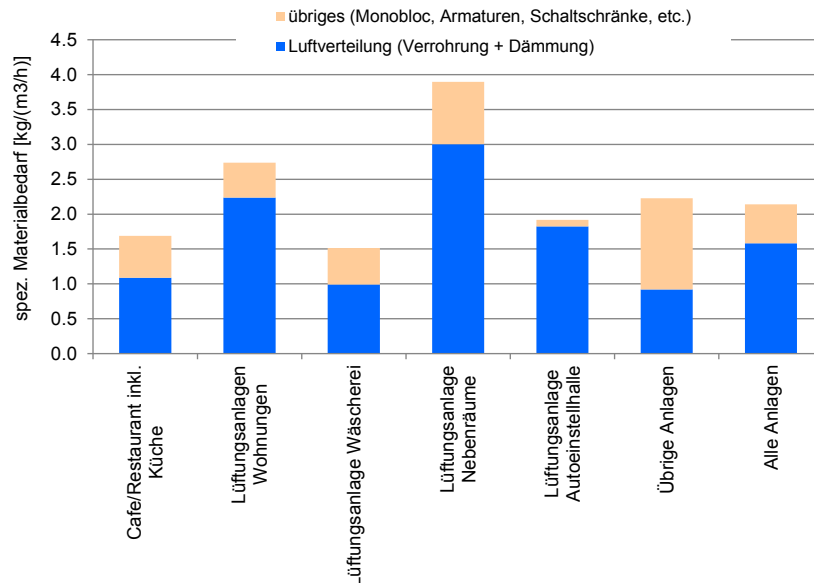


Abbildung 9: Pflegezentrum Witikon Massenbilanz pro Anlage und m³/h Luftmenge

Die Lüftungsanlage der Einstellhalle wurde aufgeschlüsselt und der Wohnungslüftung gegenübergestellt. Dabei zeigt sich, dass neben dem viel kleineren Anteil des Apparates am Gewicht auch der Anteil der Dämmungen kleiner ist.

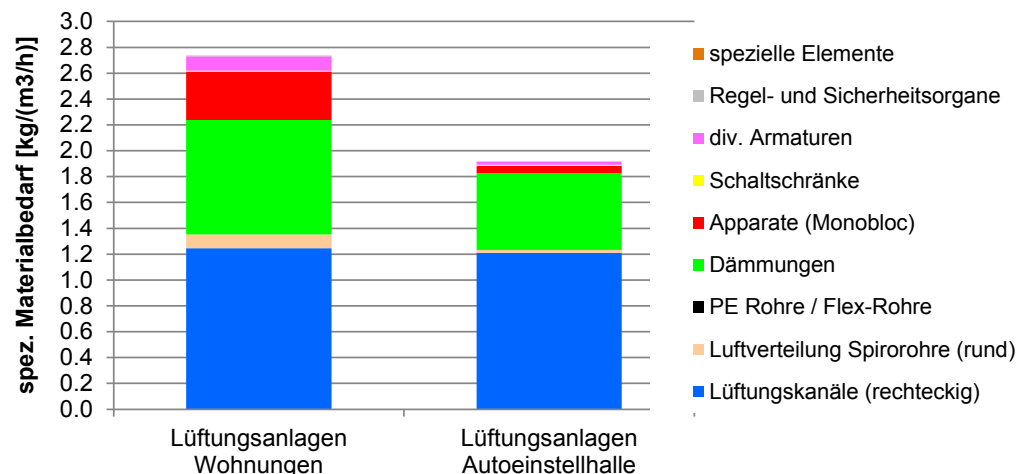


Abbildung 10: Pflegezentrum Witikon Massenbilanz Anlagen Wohnen und Einstellhalle pro m³/h Luftmenge

Die Zuordnung der Massenanteile der Luftverteilung zu den Luftarten in Abbildung 11 zeigt, dass knapp 70% des Materialaufwandes auf die Verteilung nach den Lüftungsgeräten fällt.

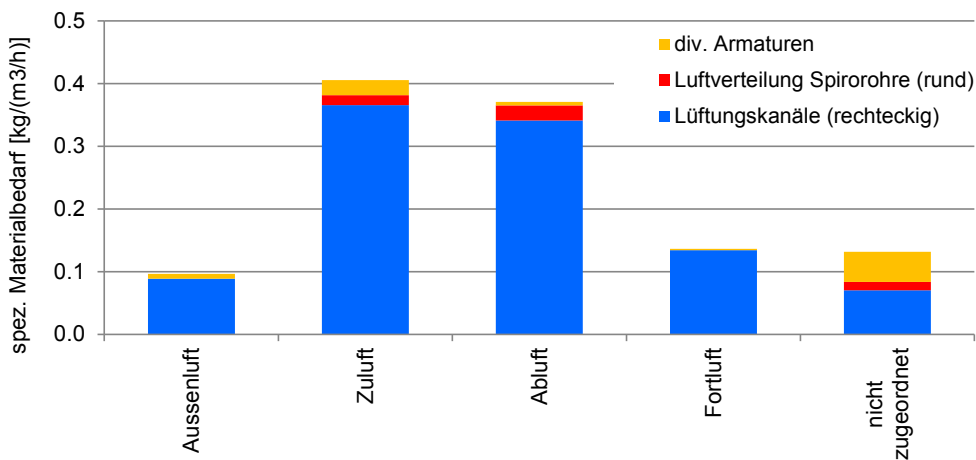


Abbildung 11: Pflegezentrum Witikon Massenbilanz Aufteilung nach Luftarten

Bei diesem Gebäude wurde der Einfluss der Anschlussleitungen für die Luftherhitzer grob untersucht. Der Grund liegt darin, dass in diesem Gebäude die verschiedenen Lüftungsanlagen räumlich weit auseinander (tw. im Dachgeschoss) und je nach Anlage auch weit weg von der Heizzentrale liegen. Die folgende Abschätzung des Einflusses basiert auf den räumlichen Distanzen der Anlagen zur Heizzentrale und bei einer einzelnen Führung der Heizleitungen für die Luftheizregister der Anlagen (keine gemeinsame Leitungen zu verschiedenen Unterverteiler). Dies stellt damit den ungünstigsten Fall dar.

Bezogen auf die Gesamtmasse der Anlage machen die zusätzlichen Heizleitungen (inkl. Dämmung) je nach Art der Dämmung 2.8 bis 3.4% der Masse aus. Nur bezogen auf die Masse der Luftverteilung sind dies 3.8 bis 4.6%. Ähnliche Anteile zeigen sich auch bei der Berechnung der Grauen Energie (2.6%), der Treibhausgasemissionen (2.3%) und der Umweltbelastungspunkte (1.8%).

Man kann also festhalten, dass die Verrohrung für die Luftherhitzer einen gewissen, aber nicht zentralen Einfluss auf die Gesamtbilanz haben kann. Bei den meisten Anlagen dürfte dieser Anteil jedoch tiefer liegen und damit von untergeordneter Bedeutung sein. Eine gewisse Bedeutung werden diese Leitungen vor allem in hohen Gebäuden, haben bei denen die Zuluftanlage auf dem Dach platziert ist.

4.1.1.3 Materialbilanz Anlage Alterswohnungen Geeren

Die Alterswohnung Geeren besitzt drei Lüftungsanlagen, wovon zwei für den Wohnbereich zuständig sind. Die dritte Anlage, welche für die Nebenräume sowie den Saal zuständig ist, beansprucht rund einen Drittel des Massenanteils für sich, obwohl sie für fast die Hälfte des Luftvolumenstroms zuständig ist. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die Verteilung für die Wohnungen aufwendiger ist. Auffällig hoch ist der Anteil der Dämmungen. Der Grund liegt im hohen Anteil der Luftverteilung in den Korridoren, welche Brandschutzgedämmt werden mussten.

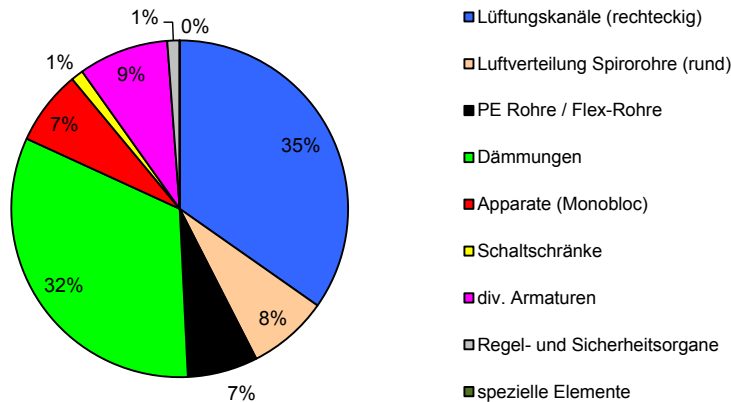


Abbildung 12: Alterswohnungen Geeren Massenanteile Lüftungsanlagen

Der Materialaufwand pro m^3/h Luftmenge ist vor allem bei der Wohnungslüftung sehr hoch, wie aus Abbildung 13 ersichtlich ist. Eine Aufschlüsselung mit Vergleich zur Anlage im Altersheim Dorflinde in Abbildung 14 zeigt einerseits, dass die Luftverteilung der Anlage Geeren ohne Dämmungen bereits so viel ausmacht wie die gesamte Anlage der Wohnraumlüftung des Altersheims Dorflinde (ohne Café / Restaurant und Spezialnutzungen). Andererseits sind die Aufwendungen für die Dämmungen fast sechsmal grösser.

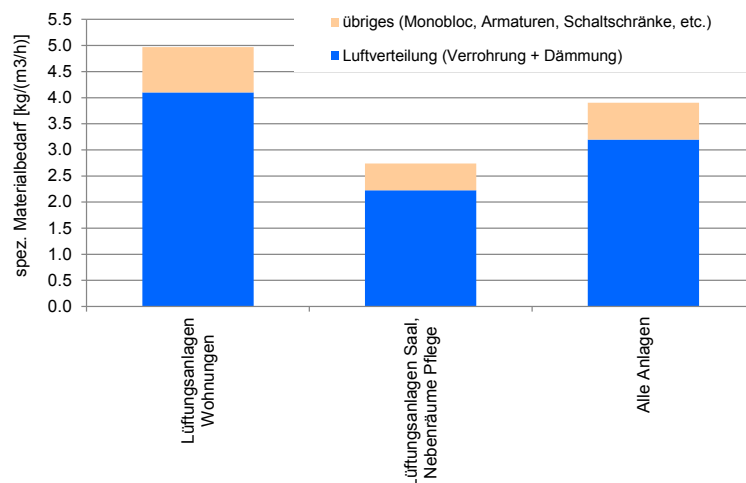


Abbildung 13: Alterswohnungen Geeren Massenbilanz pro Anlage und m^3/h Luftmenge

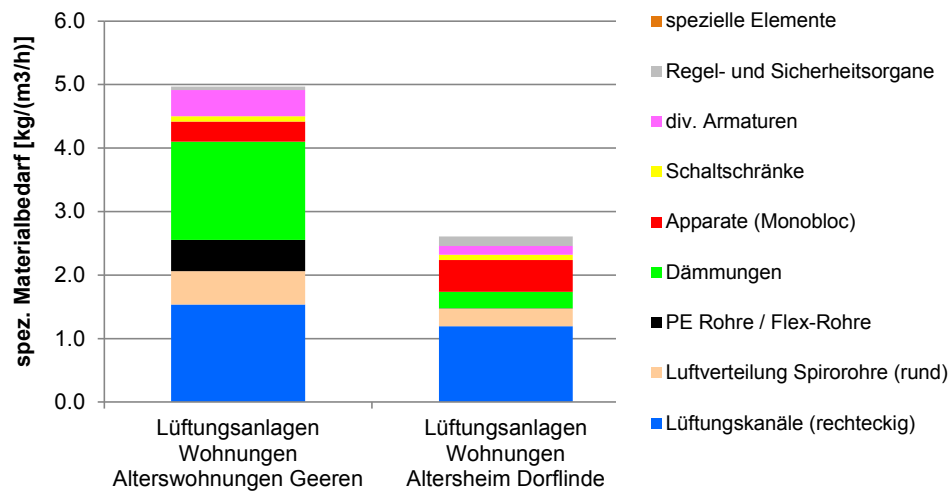


Abbildung 14: Vergleich der spez. Massenbilanz der Wohnungslüftungsanlagen Geeren und Dorflinde

Die Zuordnung der Massenanteile der Luftverteilung zu den Luftarten in Abbildung 15 zeigt, dass knapp 70% des Materialaufwandes auf die Verteilung nach den Lüftungsgeräten fällt. Bei diesem Gebäude sind die eingelegten Luftleitungen aus Polyethylen speziell ausgewiesen.

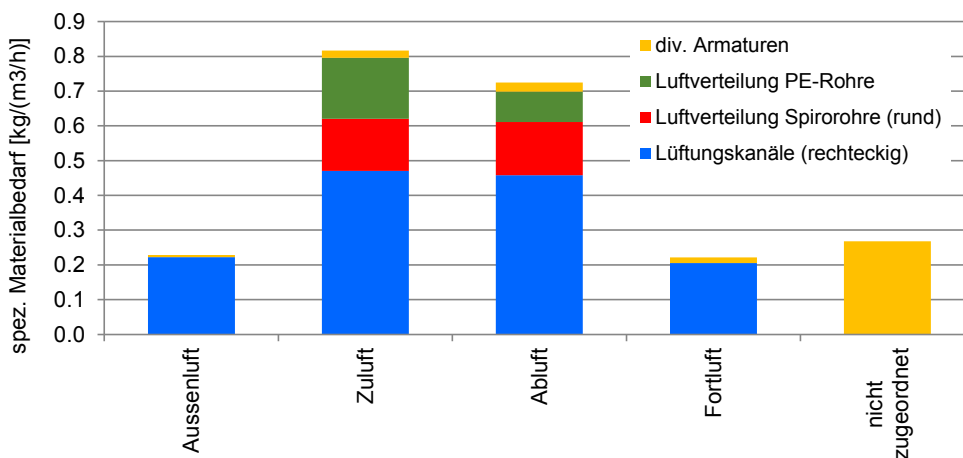


Abbildung 15: Alterswohnungen Geeren Massenbilanz Aufteilung nach Luftarten

4.1.1.4 Materialbilanz Anlage Schulhaus Falletsche

Die Schulanlage Falletsche wird von fünf Lüftungsanlagen bedient. Die Fortluftanlage des Containerraums fällt jedoch durch den geringen Massenanteil kaum ins Gewicht. Bei der Analyse der Massenanteile der verschiedenen Anlagenelemente fällt der grosse Anteil von diversen Armaturen auf. Der Grund liegt vor allem bei den in diesem Gebäude vorhandenen grossen Schlitzauslässen (für Zuluft), die rund 70% der Masse der diversen Armaturen ausmachen.

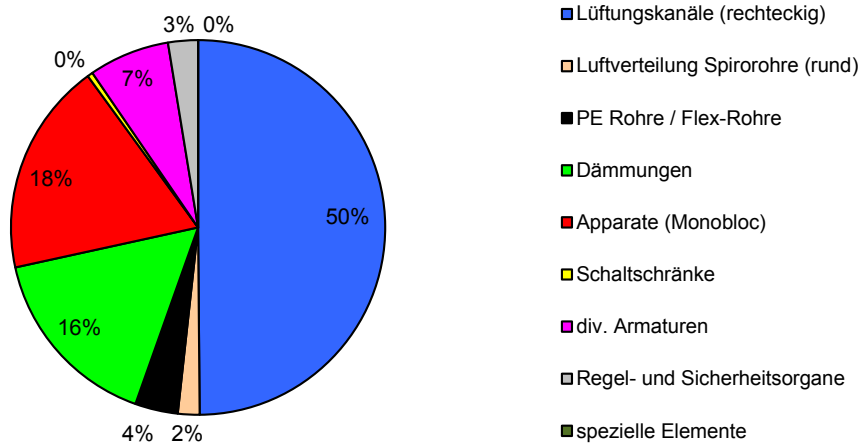


Abbildung 16: Schulhaus Falletsche Massenanteile Lüftungsanlagen

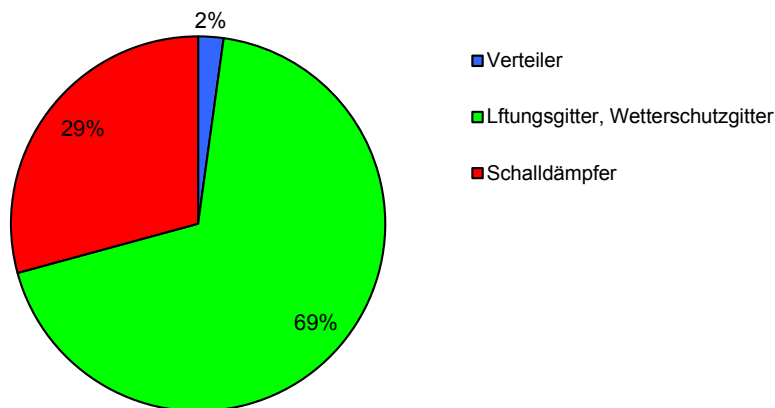


Abbildung 17: Schulhaus Falletsche Massenanteile der Kategorie diverse Armaturen

Das Gewicht der Lüftungsanlage für die Schulräume, welche auch die Bibliothek belüftet, ist fast so gross wie das der restlichen Anlagen. Die Sporthalle beansprucht etwa ein Drittel. In Abbildung 18 ist die Aufteilung der Massenanteile auf die einzelnen Anlagen dargestellt.

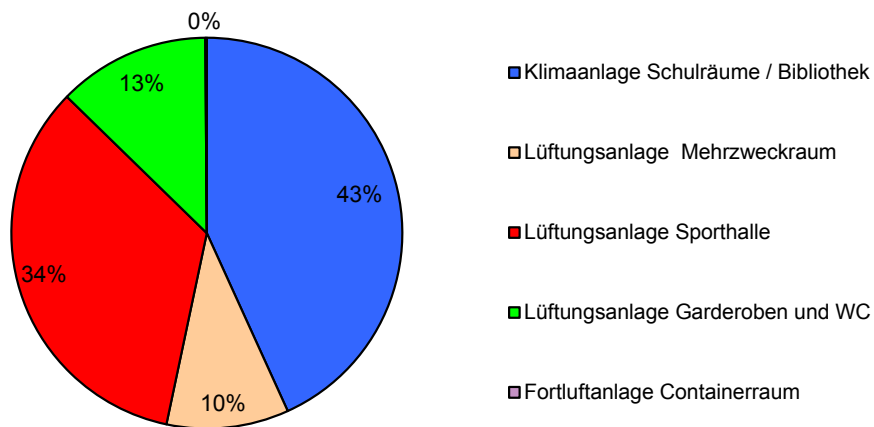


Abbildung 18: Schulhaus Falletsche Massenanteile nach Anlagen

Ein Vergleich der Anlagen bezogen auf die geförderte Luftmenge in Abbildung 19 zeigt grössere Unterschiede zwischen den Anlagen. Das spezifische Gewicht der Anlage für die Schulräume ist mindestens doppelt so hoch als bei den Anlagen für die Belüftung des Mehrzweckraumes oder der Sporthalle. Der Anteil der Luftverteilung liegt meistens bei zwei Drittel der Gesamtmasse der Anlage.

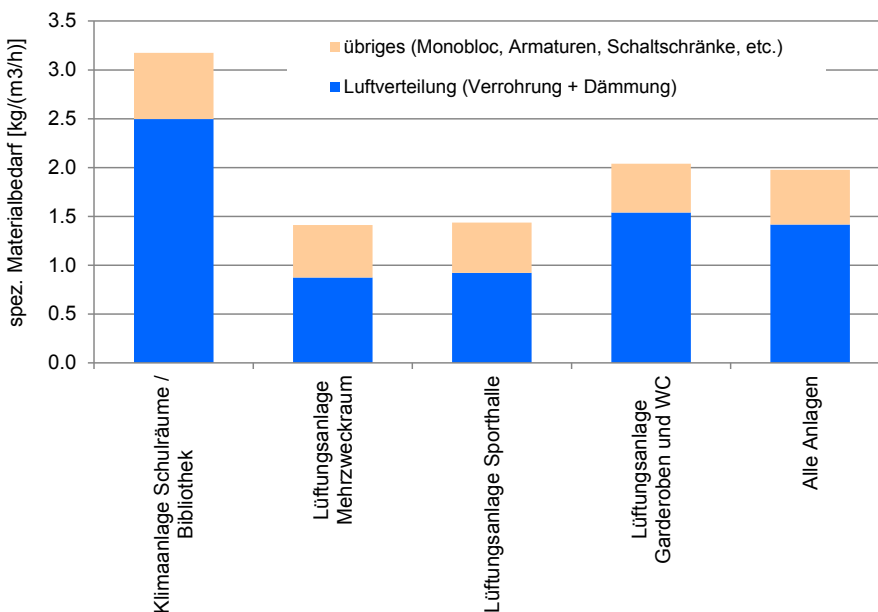


Abbildung 19: Schulhaus Falletsche Massenbilanz pro Anlage und m³/h Luftmenge

Die Luftverteilung wurde in den verfügbaren Daten nicht den Luftarten (Aussenluft, Zuluft, Abluft, Fortluft) zugeteilt, weshalb auf diese Auswertung verzichtet werden musste.

4.1.1.5 Materialbilanz Anlage Schulhaus Albisriederplatz

Die Massenanteile der acht Elementgruppen der Schule Albisriederplatz sind in Abbildung 20 dargestellt. Der Aufwand für die Dämmungen ist wiederum sehr hoch, was den Massenanteil der Verteilung auf gut 83% bringt.

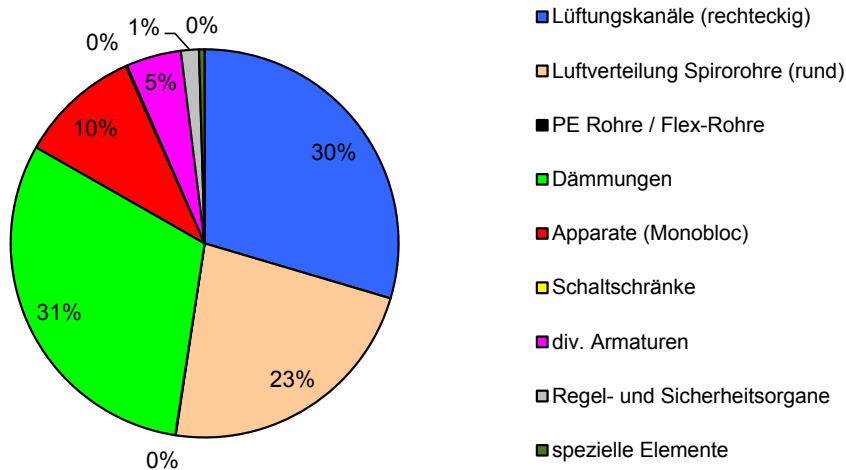


Abbildung 20: Schulhaus Albisriederplatz Massenanteile Lüftungsanlagen

Die Analyse der Massebilanz bezogen auf die verschiedenen Anlagen zeigt in Abbildung 21 die Dominanz der Lüftungsanlage für die Schulzimmer. Bezogen auf die geförderte Luftmenge liegen die Anlagen im Durchschnitt bei 2.6 kg Material pro m³/h. Wie sich dies auf die einzelnen Anlagen aufteilt ist aus Abbildung 21 ersichtlich. Der geringe Aufwand der Verteilung des Mehrzwecksaals erklärt sich dadurch, dass mit dieser Lüftung nur ein Raum belüftet wird.

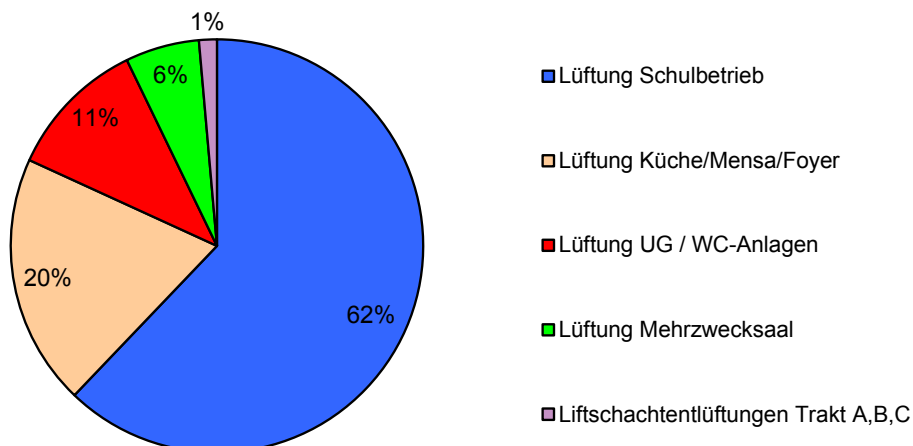


Abbildung 21: Schulhaus Albisriederplatz Massenanteile nach Anlagen

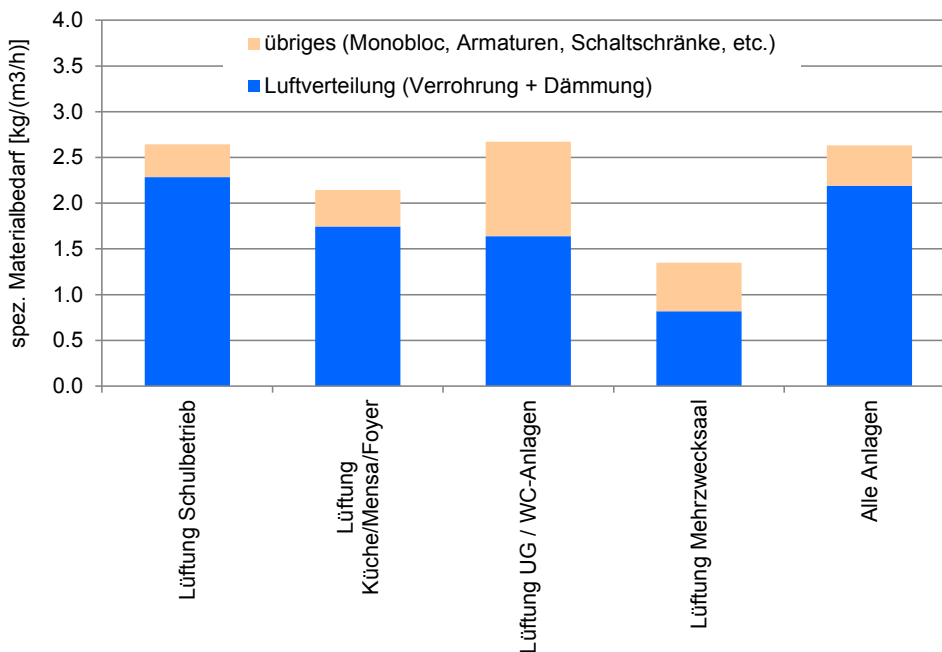


Abbildung 22: Schulhaus Albisriederplatz Massenbilanz pro Anlage und m³/h Luftmenge

Die Luftverteilung aufgeteilt auf die verschiedenen Luftartenteilbereiche in Abbildung 23 zeigt, dass über 90% der Materialaufwände auf die Luftverteilung nach dem Lüftungsgerät fällt, welche je hälftig von Spirorohren und rechteckigen Kanälen verwendet werden. Der hohe Materialaufwand für die Spirorohren in der Zuluft ist auf die eher aufwendige Verteilung mit im Beton eingelegten Rohren zurückzuführen. Diese weisen gegenüber Rohren aus Polyethylen ein deutlich höheres Gewicht pro Laufmeter auf.

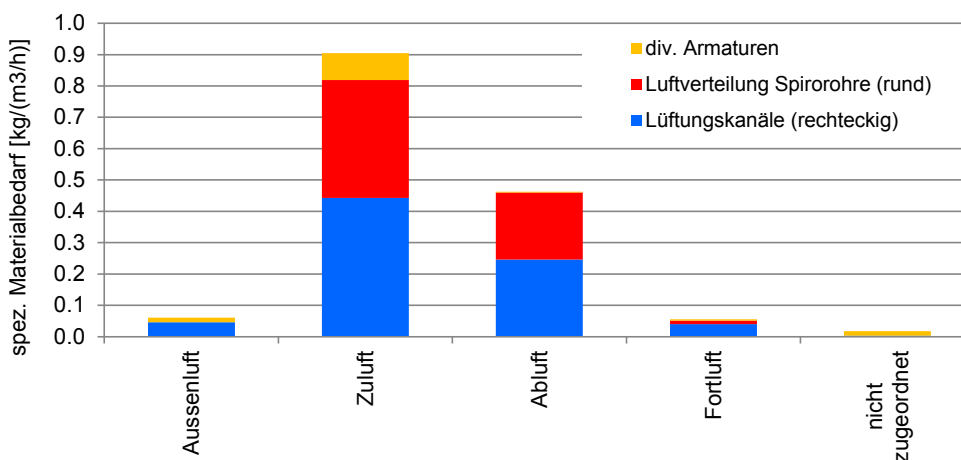


Abbildung 23: Schulhaus Albisriederplatz Massenbilanz nach Luftarten

4.1.1.6 Materialbilanz Anlage Schulhaus Heslibach

Die Schulanlage Heslibach in Küsnacht besitzt drei Lüftungsanlagen, wovon zwei die Schulräume belüften und eine die Aufenthaltsräume. Wie Abbildung 24 zeigt, wird auch in diesem Gebäude ein erheblicher Masseanteil für die Dämmungen benötigt. Damit liegt der Massenanteil der Luftverteilung in diesem Gebäude bei 76%.

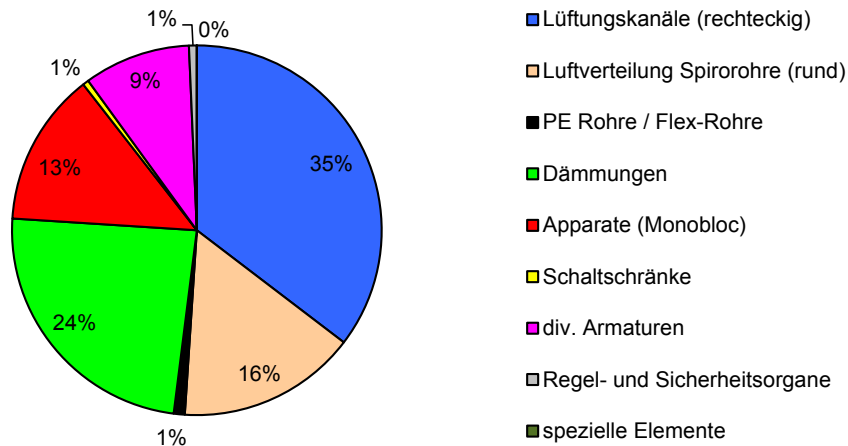


Abbildung 24: Schulhaus Heslibach Massenanteile Lüftungsanlagen

Rund 80% der Massenbilanz wird von den Anlagen für die Schulzimmer bestimmt, wie aus Abbildung 25 ersichtlich ist. Die Anlagen mit dezentralem Verteilkonzept im Neubau der Grundstufe machen dabei nur 8% der Massenbilanz aus, obwohl sie 11% der Luftmenge fördern.

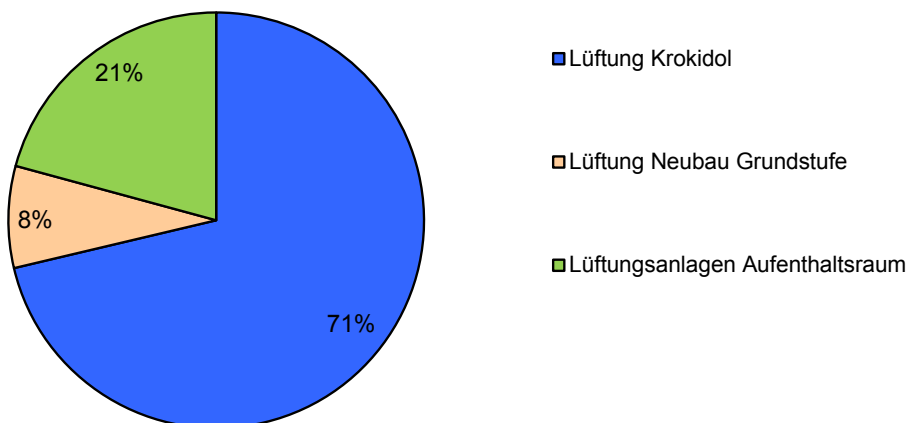


Abbildung 25: Schulhaus Heslibach Massenanteile nach Anlagen

Der Vergleich zwischen den beiden Nutzungen bezogen auf die geförderte Luftmenge in Abbildung 26 zeigt, dass die Lüftung der Grundstufe einen deutlich geringeren Aufwand für die Luftverteilung aufweist. Der Grund liegt darin, dass diese Anlage aus drei dezentralen Geräten besteht und darum der Verrohrungsaufwand relativ gering ist. Im Mittel über alle Anlagen liegt der spezifische Materialbedarf bei etwa 2.1 kg Material pro m³/h.

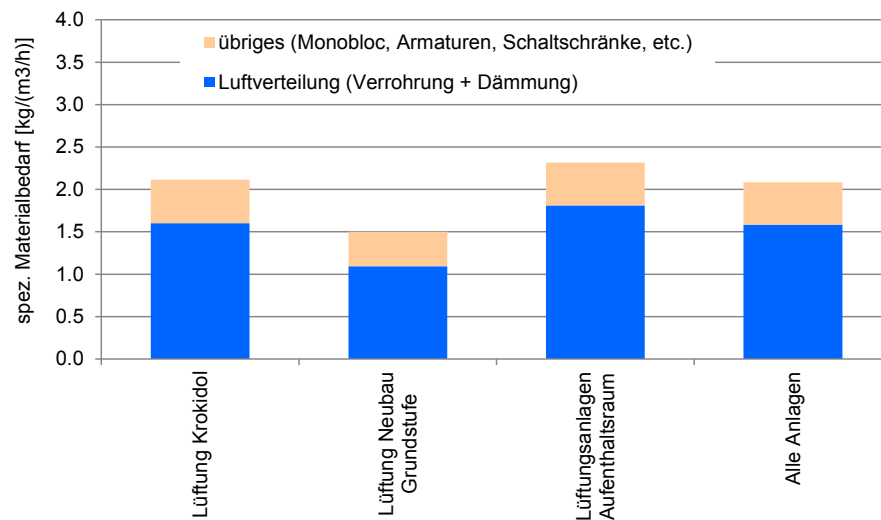


Abbildung 26: Schulhaus Heslibach Massenbilanz pro Anlage und m³/h Luftmenge

Die Aufschlüsselung der Gewichtsanteile auf die Luftarten in Abbildung 27 zeigt wieder den grossen Anteil der diversen Armaturen, welche keiner Luftart zugewiesen sind. Hierbei handelt es sich vor allem um Schalldämpfer, welche im Devis nicht zugewordnet wurden (bzw. dem Lüftungsgerät zugewordnet waren). Auch hier sind die Aufwände für die Luftverteilung nach dem Lüftungsgerät bei etwas über 70%.

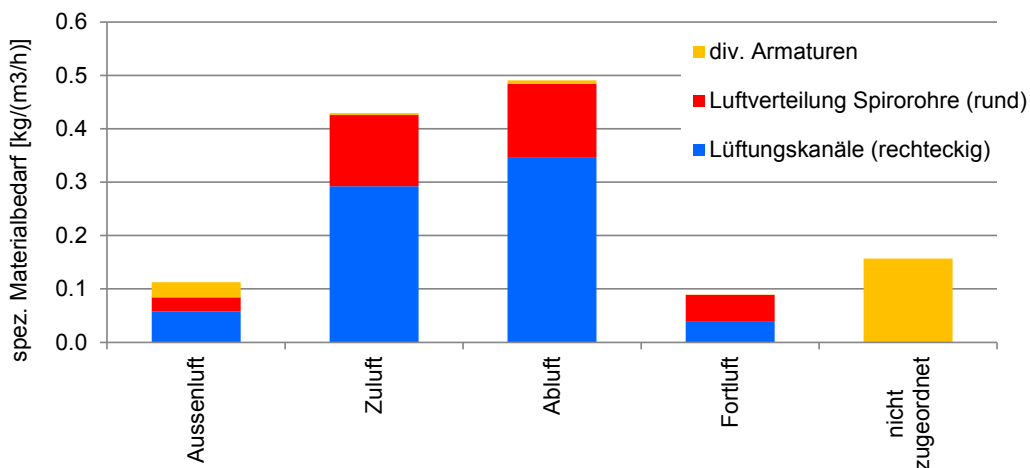


Abbildung 27: Schulhaus Heslibach Massenbilanz nach Luftarten

4.1.1.7 Materialbilanz Anlage Bürohaus Fribourg

Das Bürohaus in Fribourg hat diverse Lüftungsanlagen, wobei die Büros und die Mensa den weitaus grössten Anteil aufweisen. Rund 57% der Materialaufwände gehen auf die Luftverteilung zurück, wie aus Abbildung 28 ersichtlich ist. Der Massenanteil der Dämmungen ist mit 6% überraschend klein.

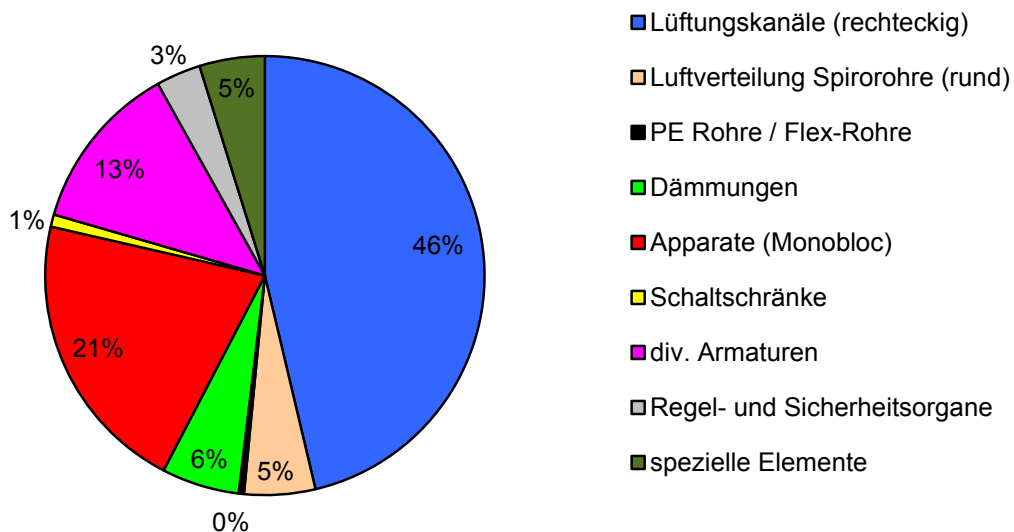


Abbildung 28: Bürohaus Fribourg, Massenanteile Lüftungsanlagen

Ein Blick auf die Massebilanz bezogen auf die verschiedenen Anlagen zeigt in Abbildung 29 die hohe Relevanz der Lüftungsanlage für die Büros und die der Cafeteria, welche beide etwa 30% des Gesamtgewichts ausmachen. Von Relevanz sind mit 10% auch die Umluft-Geräte und Schalldämpfer für die Klimatisierung der Büros und Konferenzräume. Mit 17% beansprucht die Einstellhalle ebenfalls einen wesentlichen Anteil an der Gesamtmasse für sich.

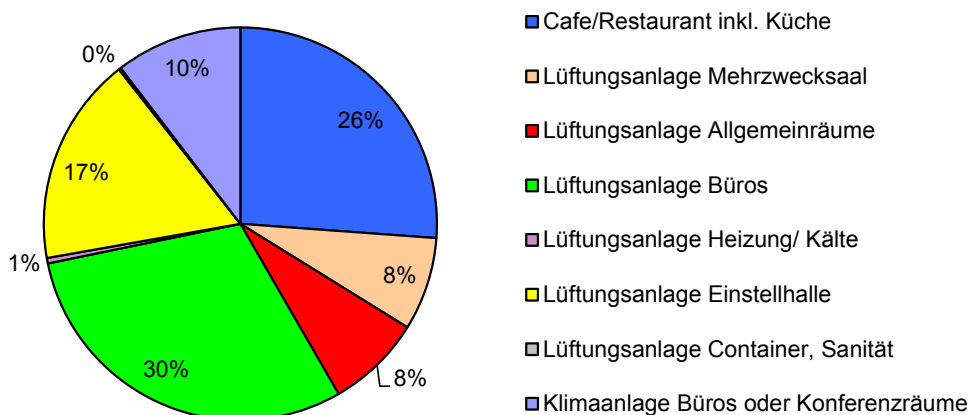


Abbildung 29: Bürohaus Fribourg, Massenanteile nach Anlagen

Der Vergleich der spezifischen Masse pro bewegter Luftmasse in Abbildung 30 zeigt, dass in der Planung der Anlagen ein Konzept mit relativ geringem Materialaufwand in der Verteilung verwendet wurde. Eine Ausnahme bildet dabei die Lüftungsanlage für die Gastronomie (Café, Restaurant, Küche), welche fast das doppelte Gewicht pro m^3/h Luft aufweist.

Der Grund für die geringe spezifische Masse pro bewegter Luftmasse der Luftverteilung dürfte vor allem durch die Dachzentralen (kurze Wege für Aussenluft und Fortluft) sowie im Grundkonzept mit überwiegend grossen Kanaldimensionen liegen. Da auch bei diesem Gebäude die Luftverteilung nicht den Luftarten (Aussenluft, Zuluft, Abluft, Fortluft) zugeteilt werden konnte, ist eine detailliertere Aussage dazu nicht möglich.

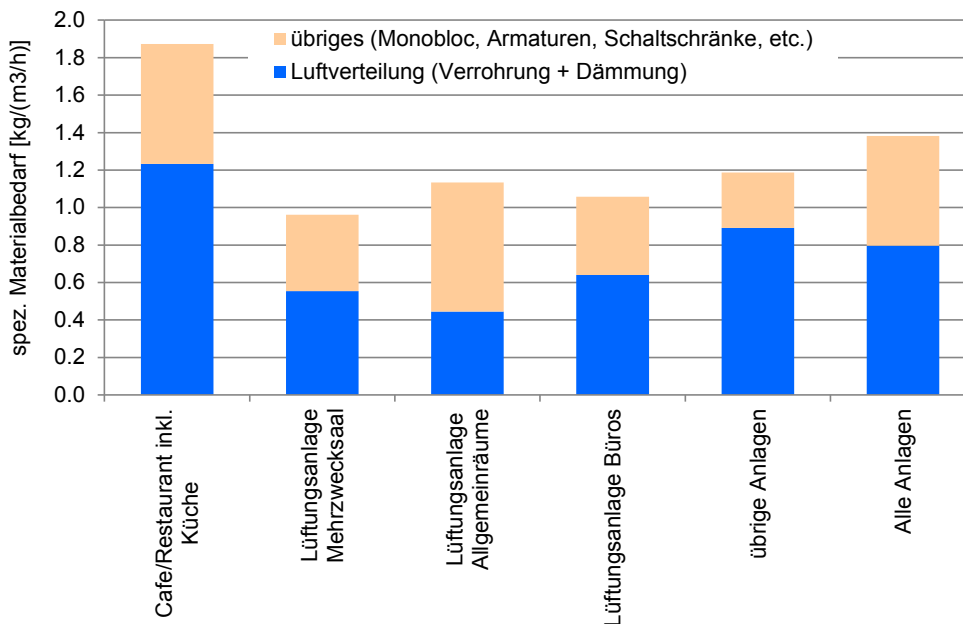


Abbildung 30: Bürohaus Fribourg, Massenbilanz pro Anlage und m^3/h Luftmenge

4.1.1.8 Materialbilanz Anlage Bürogebäude Verenastrasse, Baden

Das Bürohaus in Fribourg besitzt drei grössere Lüftungsanlagen. Rund 77% der Materialaufwände gehen auf die Luftverteilung zurück, wie aus Abbildung 31 ersichtlich ist. Der Massenanteil der Dämmungen ist mit 20% auch bei diesem Gebäude hoch. Der Grund liegt in diesem Fall bei einem grossen Anteil thermisch gedämmter Luftleitungen.

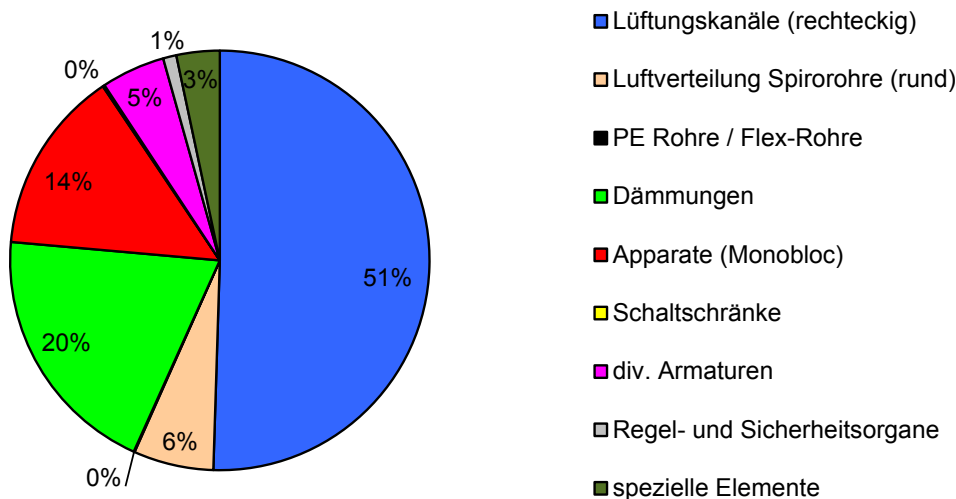


Abbildung 31: Bürogebäude Verenastrasse, Baden, Massenanteile Lüftungsanlagen

Ein Blick auf die Massebilanz bezogen auf die verschiedenen Anlagen zeigt in Abbildung 32 den mit 59% grossen Anteil der Lüftungsanlage für die Büros. Neben der Lüftung für die Cafeteria, welche einen Drittel für sich beansprucht, ist noch die Lüftungsanlage der Einstellhalle relevant.

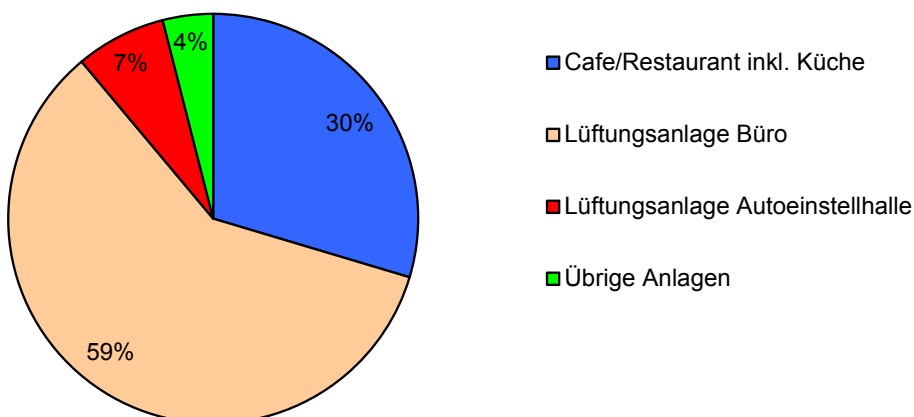


Abbildung 32: Bürogebäude Verenastrasse, Baden, Massenanteile nach Anlagen

Bei diesem Bürogebäude liegt das spezifische Gewicht der Anlagen bezogen auf geförderte Luftmenge im Bereich der Anlagen anderer Gebäude. Abbildung 33 zeigt, dass die Lüftung der Büroräume mit 2.4 kg Material pro m^3/h einen relativ hohen Aufwand für die Luftverteilung aufweist. Erwartungsgemäss gering fällt dieser Wert für die Lüftungsanlage der Einstellhalle aus. Die Luftverteilung beansprucht im Mittel etwas drei Viertel des Gewichts für sich.

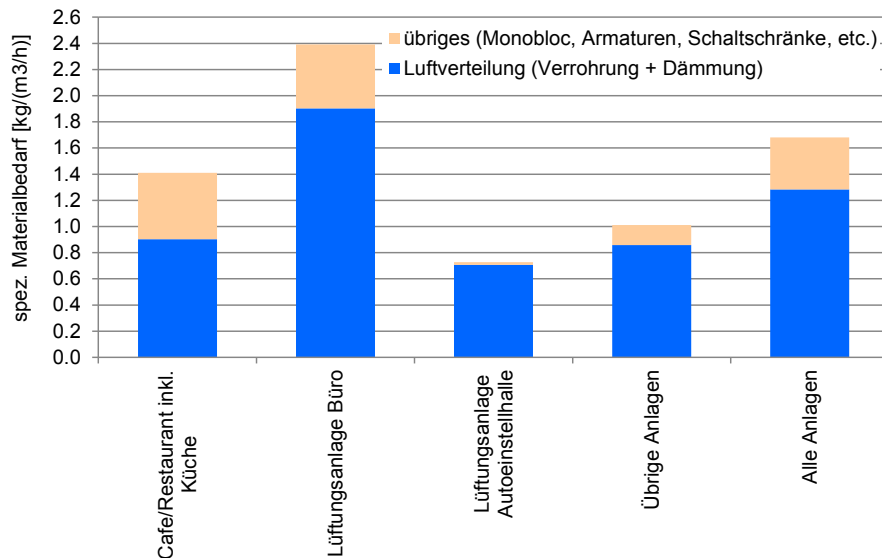


Abbildung 33: Bürogebäude Verenastrasse, Baden, Massenbilanz pro Anlage und m^3/h Luftmenge

Die Aufschlüsselung des spezifischen Gewichts der Luftverteilung auf die Luftarten in Abbildung 34 zeigt eine Dominanz des Abluftsystems, welches über die Hälfte des Gewichtsanteils besitzt. Weitere 23% des spezifischen Gewichts gehen aufs Konto der Zuluft. Der Grund dafür liegt in der Art der Luftverteilung in den Büros, welche zuluftseitig kaum horizontal verteilt wird.

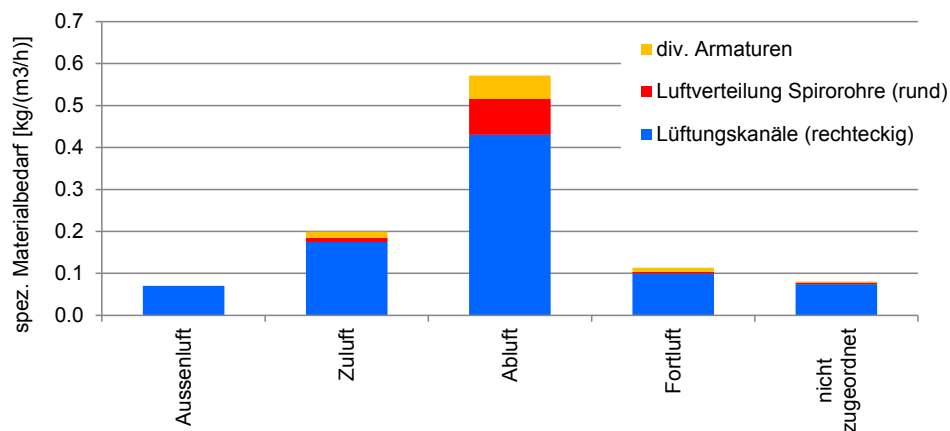


Abbildung 34: Bürogebäude Verenastrasse, Baden, Massenbilanz nach Luftarten

4.1.1.9 Materialbilanz Anlage Geschäftshaus C, Esslingen

Auch bei den Anlagen des Geschäftshaus C in Esslingen zeigt sich, dass der Massenanteil der Luftverteilung etwas drei Viertel der Gesamtmasse beträgt. Auffallend ist der grosse Anteil an Rohren anstatt rechteckiger Kanäle, wie aus Abbildung 35 ersichtlich ist. Dies ist auf die getrennte Führung der Zu- und Abluft bis in die Geschosse mittels Spirorohren zurückzuführen.

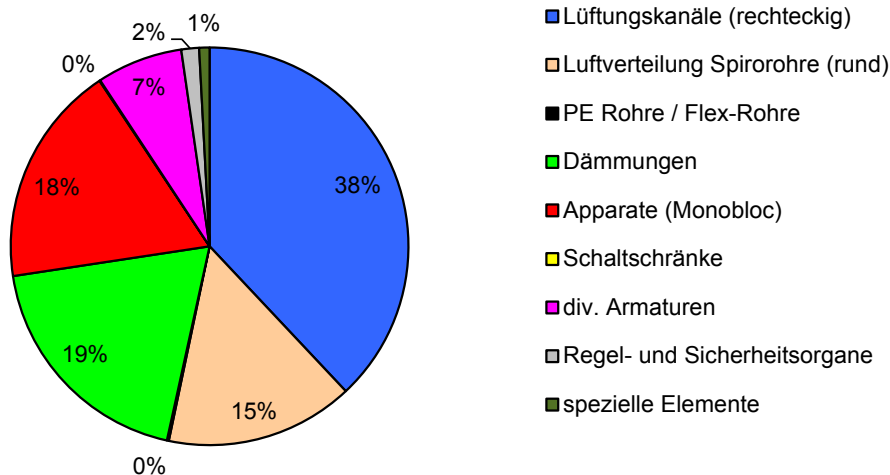


Abbildung 35: Geschäftshaus C, Esslingen Massenanteile Lüftungsanlagen

Das Gebäude besitzt nur zwei Anlagen, eine für das Büro und eine Liftschachtentlüftung. Die Liftschachtentlüftung besitzt jedoch keinen Ventilator, womit es keine Angabe zur beförderten Luftmenge gibt. Die Lüftungsanlage für die Büros macht 92% der Gesamtmasse aus.

Die spezifische Gesamtmasse der Büroanlage im Geschäftshaus C beträgt 3.6 kg pro m³/h. Zum Vergleich ist in Abbildung 36 die Anlage im Haus Geschäftshaus B dargestellt. In diesem Gebäude liegt der Wert bei 1.9 kg Material pro m³/h. Der grosse Unterschied und der relativ hohe Wert im Haus C kommt dadurch zu Stande, dass bei der Erstellung darauf geachtet wurde, die Luftgeschwindigkeiten im Lüftungssystem möglichst tief zu halten. Die dadurch kleingehaltenen Verluste im Betrieb kompensieren den höheren Materialaufwand. Im Weiteren wurden im Haus C alle Zonen mit einzelnen Verrohrungen ins Untergeschoss geführt. Aufgrund dessen konnten die Anforderungen an den Brandschutz einfacher einhalten werden, aber im Gegenzug ist ein höherer Aufwand bei den Lüftungskanälen erforderlich.

Ein zusätzlicher Punkt ist, dass durch das bauliche Erdregister, welches in der Aufstellung nicht eingeht (Betonkanal) der bilanzierte Aufwand für die Frischluft bei diesem Gebäude minimal ist. Bezogen auf die Energiebezugsfläche liegt der spezifische Materialaufwand der beiden Gebäuden wieder deutlich näher beieinander (Haus C: 5.5 kg/m²; Haus B: 4.7 kg/m²).

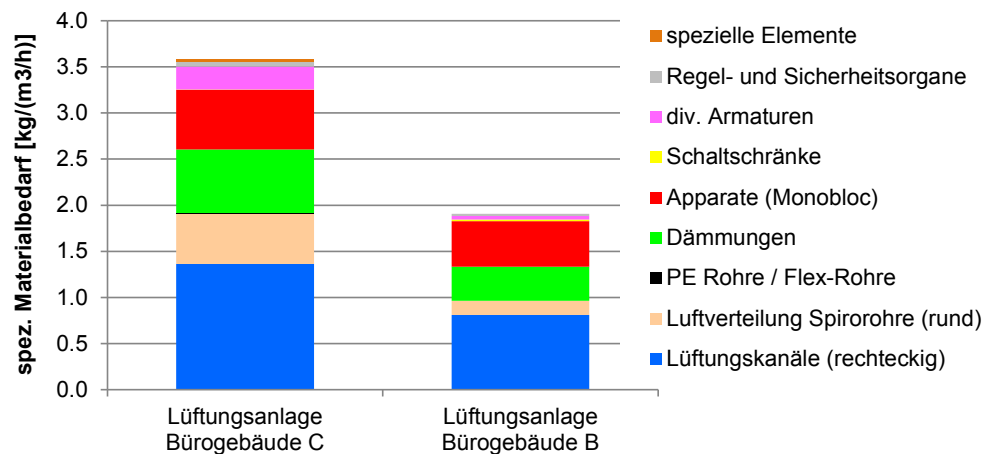


Abbildung 36: Vergleich der spez. Massenbilanz der Anlagen in den Geschäftshäuser C und B

Die Spirorohre werden in erster Linie im Zu- und Abluftbereich benutzt, wie aus Abbildung 37 ersichtlich ist. Mit einem Gewichtsanteil von 38% ist vor allem die Abluft von Bedeutung. Neben den Spirorohren im Bereich zwischen der Steigzone und dem Lüftungsgerät kommen hier auch die Kanäle in den Geschossen zum tragen. Bei der Zuluft übernimmt diese Funktion im eingesetzten Lüftungskonzept der Korridor selbst. Daher ist der Anteil der Zuluft mit 20% deutlich geringer. Insgesamt liegen die Aufwände für die Luftverteilung nach dem Lüftungsgerät bei knapp 60% der Gesamtmasse der Verrohrung.

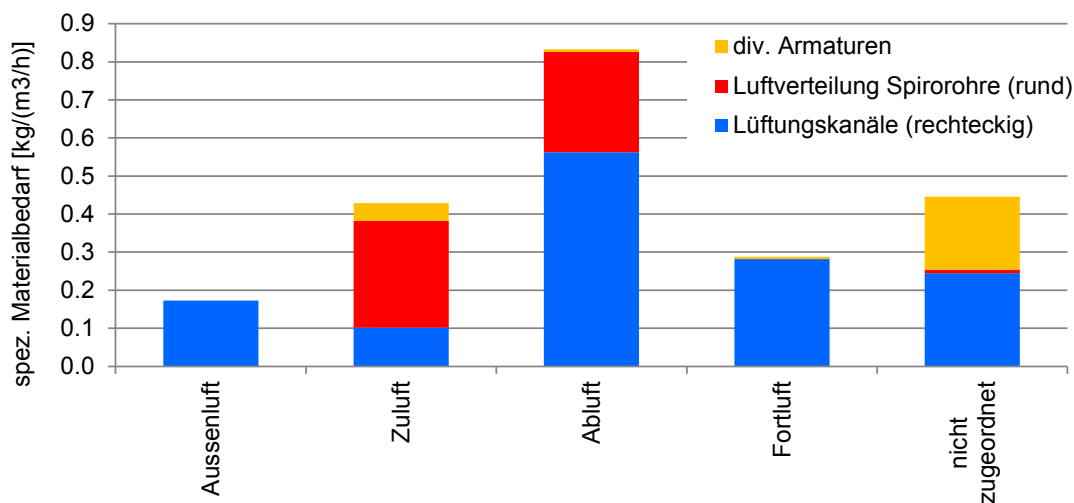


Abbildung 37: Geschäftshaus C, Esslingen Massenbilanz nach Luftarten

4.1.1.10 Materialbilanz Anlage Geschäftshaus B, Esslingen

Das Geschäftshaus B besitzt eine ähnliche Aufschlüsselung der Anlagenelemente wie das Geschäftshaus C. Aus Abbildung 38 ist ersichtlich, dass prozentual weniger Spirorohre benutzt wurden als im Geschäftshaus C. Zudem macht das Gewicht der Apparate einen grösseren Prozentsatz der Gesamtmasse aus. Der Grund dafür liegt vor allem in der geringeren Masse der Luftverteilung.

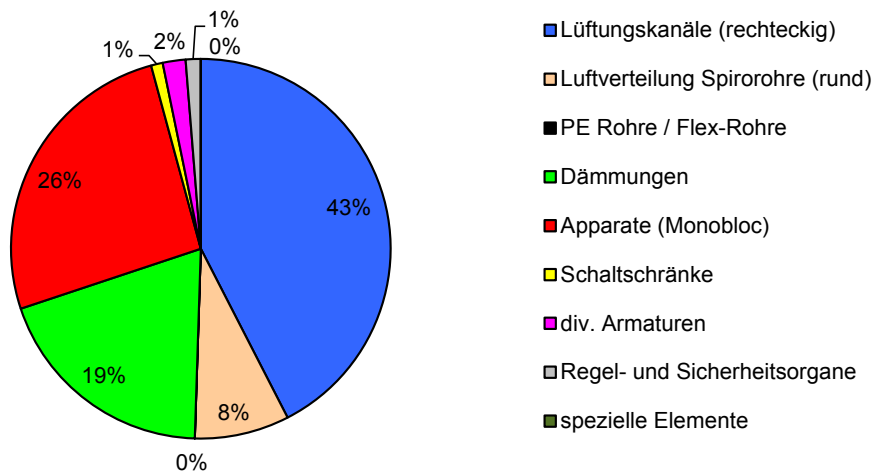


Abbildung 38: Geschäftshaus B, Esslingen Massenanteile Lüftungsanlagen

Die Liftschachtentlüftung wurde auch hier nur mit einer Klappe gelöst. Der Rest wird von einer Lüftungsanlage übernommen. Das spezifische Gewicht pro m^3/h dieser Anlage ist mit $1.9 \text{ kg}/(\text{m}^3/\text{h})$ nur etwa halb so gross, wie das der Anlage im Geschäftshaus C.

Wie aus Abbildung 39 ersichtlich ist, geht 85% des spezifischen Materialbedarfs der Luftverteilung auf das Konto der Zu- und Abluft. Der grösste Teil wird mit rechteckigen Lüftungskanälen gelöst. Aufgrund des verwendeten Konzepts mit wenigen Kanälen zur Luftverteilung im UG (Brandschutz wird über Brandschutzklappen gelöst) ist das spezifische Gewicht der Luftverteilung in diesem Gebäude trotz konventioneller Verteilung relativ tief.

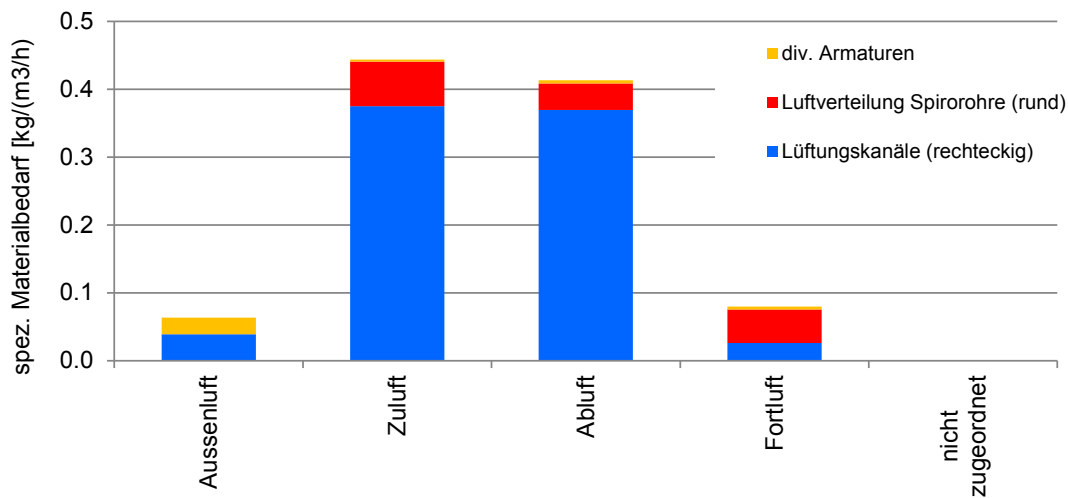


Abbildung 39: Geschäftshaus B, Esslingen Massenbilanz nach Luftarten

In diesem Gebäude konnte zudem zwischen den Luftleitungen in der Steigzone und der Horizontalverteilung unterschieden werden. Dies ist in Abbildung 40 dargestellt. Mit 71% des Materialaufwandes liegt der grosse Teil in der Horizontalverteilung. Die Vertikalverteilung ist durch eine günstige Anordnung des Lüftungsgerätes und durch das bauliche Erdregister (Betonkanal der nicht im bilanzierte Aufwand berücksichtigt wurde) sehr gering.

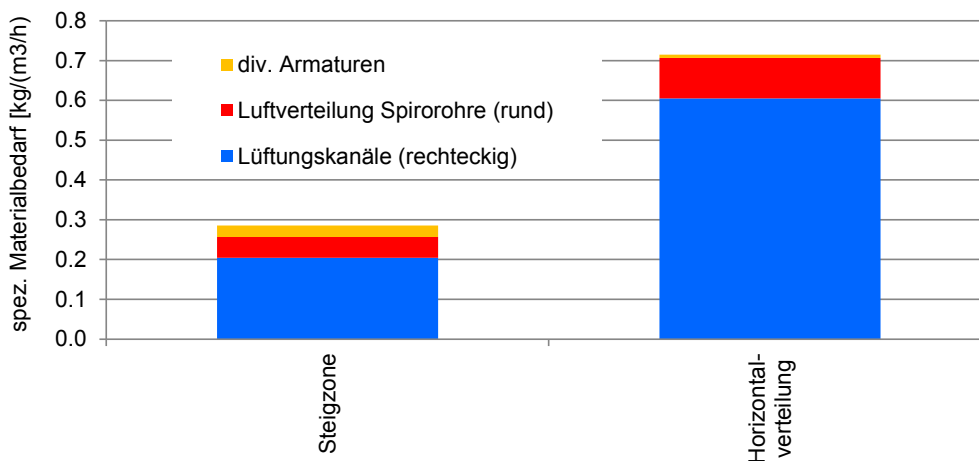


Abbildung 40: Geschäftshaus B, Esslingen Massenbilanz Horizontal / Vertikal

4.1.2 Anlagenvergleich mit Massenbilanzen

Abbildung 41 zeigt nochmals zusammengefasst den spezifischen Materialbedarf der untersuchten Anlagen bezogen auf die Luftmenge (in kg pro m³/h). Bis auf die Gebäude „Alterswohnungen Geeren“ und „Geschäftshaus C“, liegen die spezifischen Massen im Bereich von etwa 1.5 bis 2.5 kg pro m³/h. Die beiden „Ausreisser“ liegen mit 3.5 bis 4 kg pro m³/h deutlich höher.

Abbildung 42 zeigt den spezifischen Materialbedarf pro m² Energiebezugsfläche. Bei dieser Bezugsgrösse sind die Unterschiede zwischen den Gebäuden bereits deutlich grösser. Die festgestellten Kennwerte liegen zwischen etwa 4 und 14 kg pro m² EBF. Der Mittelwert über alle zehn Anlagen liegt dabei bei 9.3 kg pro m² EBF.

Bei allen Anlagen dominiert die Luftverteilung mit Rohren und Kanälen überwiegend aus verzinktem Stahlblech das Resultat. Der Anteil der Luftverteilung macht zwischen 58 und 83% der Gesamtmasse aus. Im Mittel beträgt der Masseanteil der Luftverteilung 73%.

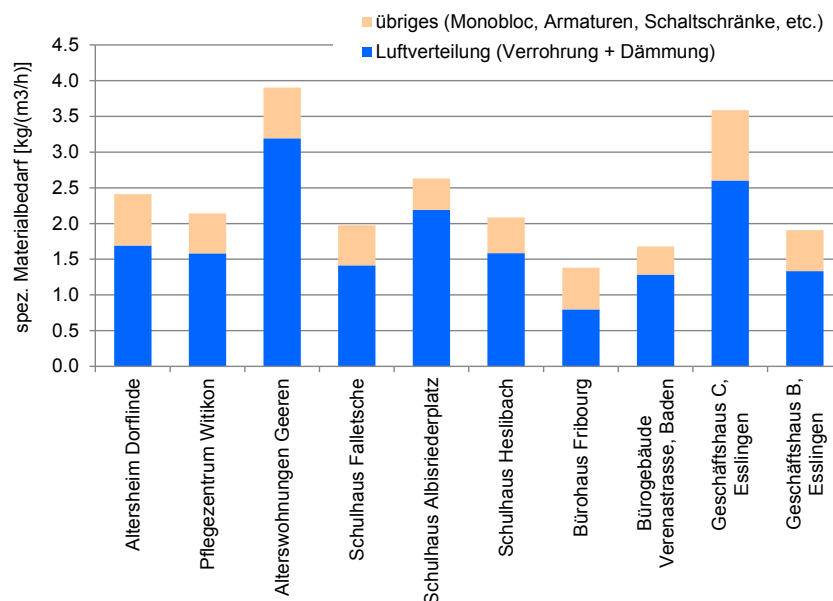


Abbildung 41: Vergleich spezifischer Materialbedarf pro m³/h Luft der verschiedenen Objekte

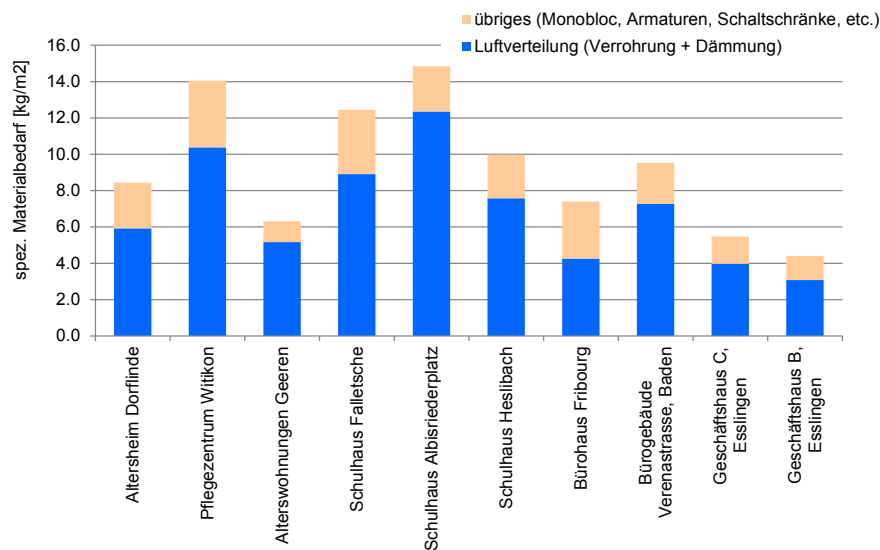


Abbildung 42: Vergleich spezifischer Materialbedarf pro m² EBF der verschiedenen Objekte

Abbildung 43 zeigt den spezifischen Materialbedarf der verschiedenen Teilanlagen bezogen auf die Luftmenge (in kg pro m³/h). Die Anlagen wurden dabei nach ähnlichen Nutzungen gruppiert um einen Vergleich zu erhalten. Bei einigen Nutzungsgruppen zeigen sich grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Gebäuden. Mit Faktor 4.6 ist die Differenz zwischen dem tiefsten und höchsten Wert bei den Anlagen zur Belüftung der Nebenräume am höchsten. Dies dürfte mit den in dieser Gruppe sehr unterschiedlichen Anforderungen und Ausführungen zusammenhängen. Mit einem Faktor um 3 sind auch bei den Büronutzungen (3.1) und den Mehrzwecksälen (2.9) grosse Unterschiede vorhanden. Deutlich kleiner sind die Differenzen bei den Schulräumen (Faktor 2.2) und bei den Lüftungsanlagen für die Gastronomieflächen (1.5). Die Medianwerte der verschiedenen Nutzungsgruppen liegen dagegen mit 1.3 bis 2.7 kg pro m³/h recht nahe beieinander. Aufgrund der deutlich einfacheren Anlagen weisen die Lüftungsanlagen von Einstellhallen im Mittel den tiefsten spezifischen Materialbedarf auf. Bei diesem Anlagentyp ist vor allem der tiefe Gewichtsanteil von den Lüftungsgeräten auffallend.

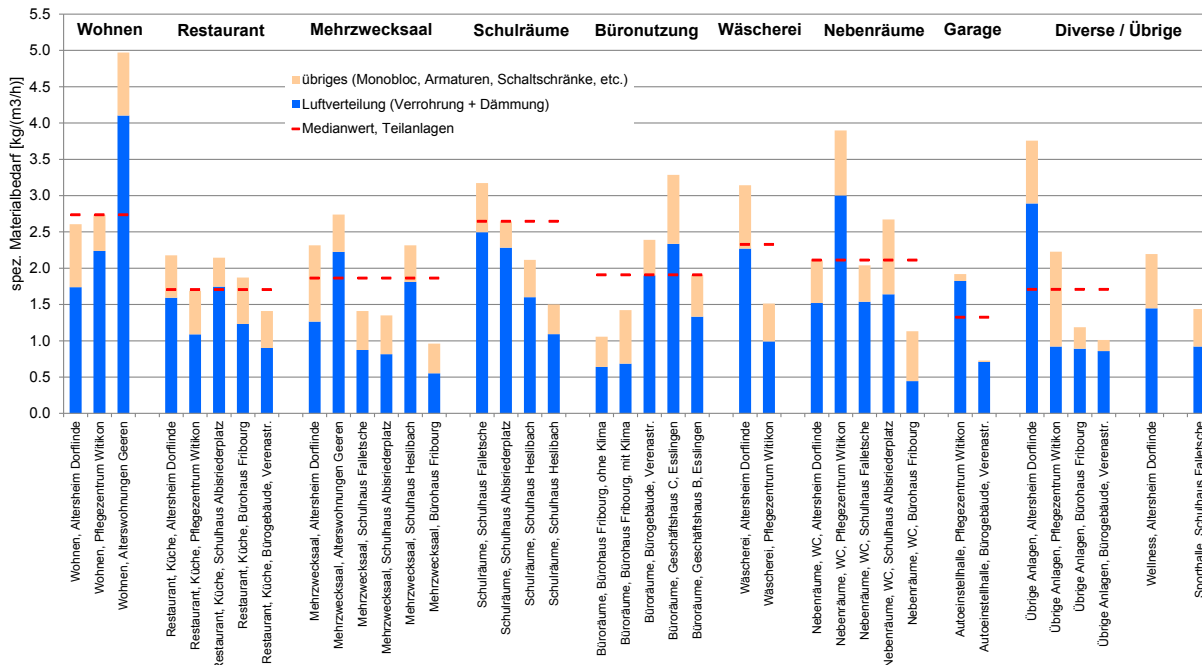


Abbildung 43: Vergleich spezifischer Materialbedarf pro m³/h Luft der verschiedenen Teilanlagentypen

4.1.3 Ökobilanzen

Die untersuchten Anlagen wurden mit den in Kapitel 3.3.4.3 und im Anhang beschriebenen Datensätzen für Systemkomponenten bilanziert. Die Resultate der Ökobilanzen sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die detaillierten Ergebnisse einzelner Komponenten sind im Anhang ersichtlich.

Abbildung 44 zeigt die Graue Energie für die Herstellung und Entsorgung der Lüftungsanlagen pro m² EBF. Sie liegt bei den untersuchten Schulhäusern zwischen 508 und 692 MJ/m². Bei den Altersheimen variiert die Graue Energie mit 314 und 724 MJ/m² deutlich stärker. Die Graue Energie der Lüftungsanlagen in den untersuchten Bürogebäuden liegt zwischen 238 und 515 MJ/m² und hat damit auch eine grosse Spannbreite. Der Mittelwert über alle Anlagen liegt bei 480 MJ/m². Es ist keine klare Unterscheidung der Resultate zwischen den verschiedenen Nutzungen (Schule, Büro, Altersheim) erkennbar.

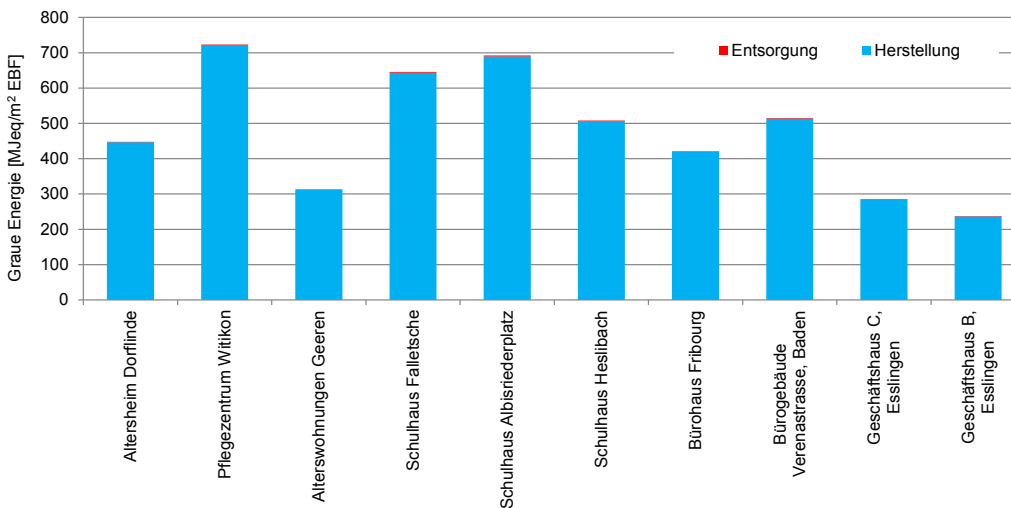


Abbildung 44: Graue Energie für die Herstellung / Entsorgung der Lüftungsanlagen pro m² EBF

Wie aus Abbildung 50 ersichtlich ist, besteht eine starke Korrelation zwischen der Grauen Energie und dem Gewicht der Anlagenteile. Dies ist aufgrund der Dominanz der Verteilung mit Stahlkanälen auch einleuchtend und zu erwarten.

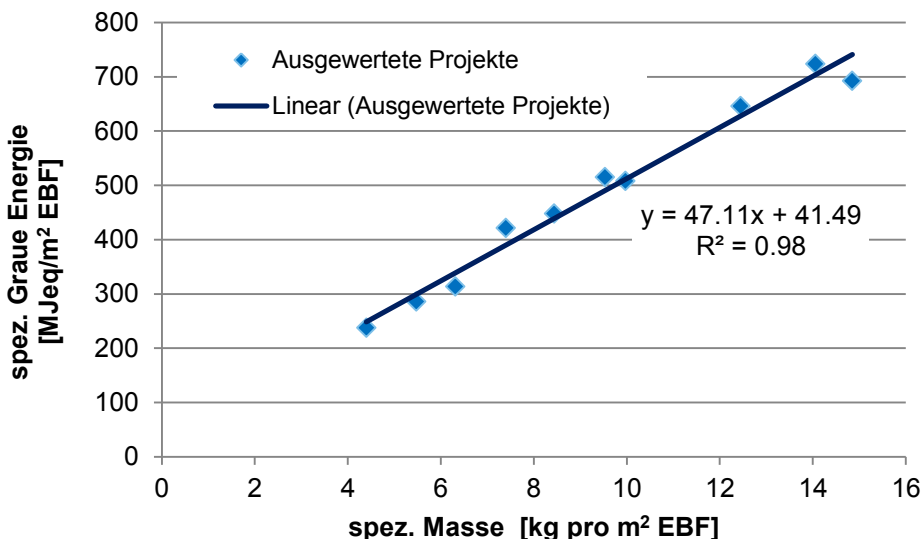


Abbildung 45: Korrelation Massenbilanz und Graue Energie Lüftungsanlagen

Bei den Treibhausgasemissionen sind in Bezug auf die Herstellung der Anlagen die Anteile der Teilkomponenten ähnlich wie bei der Grauen Energie. Während die Entsorgung jedoch bei der Grauen Energie einen sehr geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat, ist sie bei den Treibhausgasemissionen vor allem bei den Anlagen mit eingelegten Kunststoffrohren etwas höher (Alterswohnungen Geeren und Schulhaus Falletsche). Dafür verantwortlich ist die Entsorgung

der Kunststoffanteile durch Verbrennung. Insgesamt ist der Anteil der Entsorgung aber auch hier mit 2-3% gering. Die Treibhausgasemissionen der untersuchten Anlagen liegen für die Schulhäuser zwischen 33 und 45 kg CO₂-eq/m², für die Altersheime zwischen 30 und 48 kg CO₂-eq/m² und für die Bürogebäude zwischen 15 und 34 kg CO₂-eq/m². Der Mittelwert über alle Anlagen liegt bei 31 kg CO₂-eq/m² EBF.

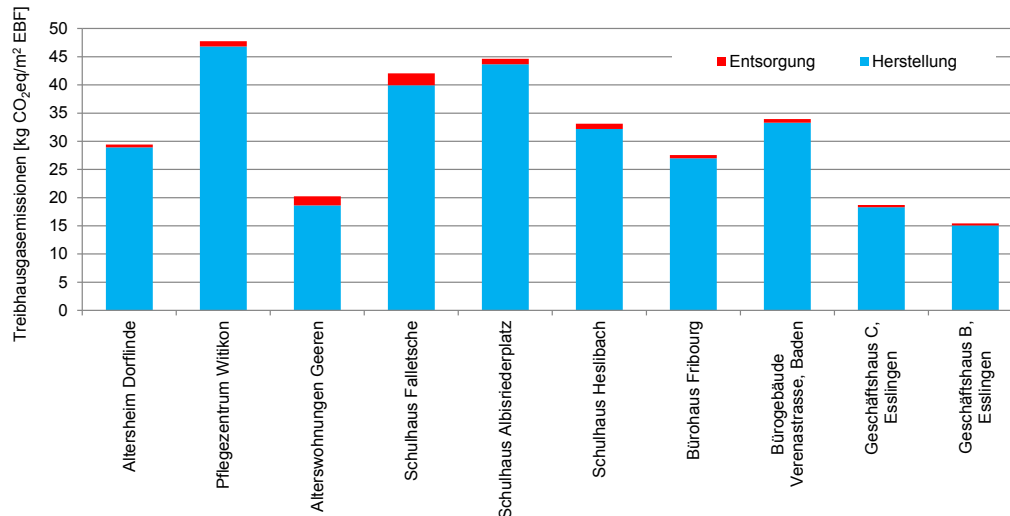


Abbildung 46: Treibhausgasemissionen für die Herstellung / Entsorgung der Lüftungsanlagen pro m² EBF

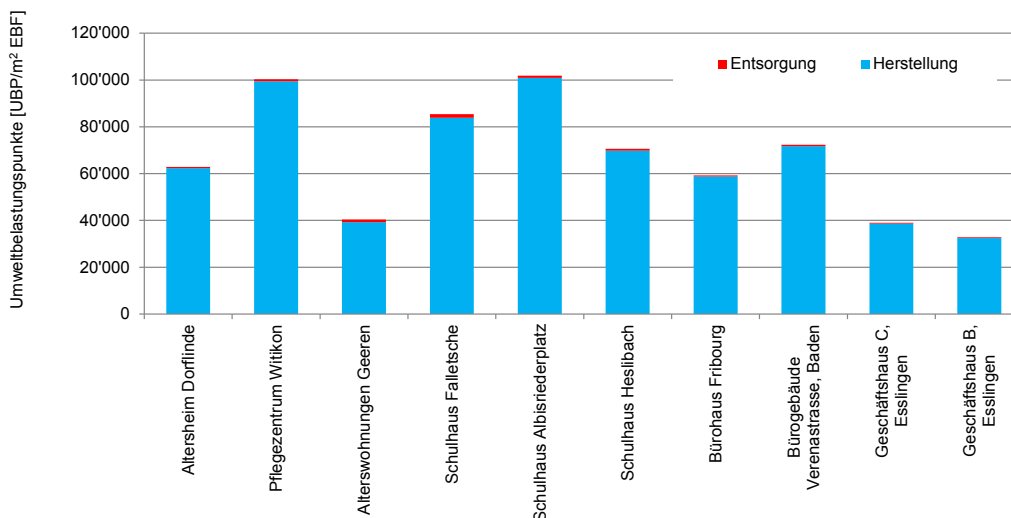


Abbildung 47: Umweltbelastungspunkte für die Herstellung / Entsorgung der Lüftungsanlagen pro m² EBF

Auch bei der Bewertung mit der Methode der Ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 2006) zeigen sich vergleichbare Unterschiede zwischen den Anlagen (siehe Abbildung 47). Die Werte für die Umweltbelastung der untersuchten Anlagen liegen für die Schulhäuser zwischen 71 und 102 kUBP/m², für die Altersheime zwischen 40 und 100 kUBP/m² und für die

Bürogebäude zwischen 33 und 72 kUBP/m². Der Mittelwert über alle Anlagen liegt bei 66 kUBP/m² EBF.

4.1.4 Einflussgrössen

Um Hinweise zu möglichen Einflussfaktoren zu erhalten wurden die Resultate mit einer Regressionsanalyse untersucht (siehe Abbildung 48). Dabei wurden als Einflussparameter die Fläche (EBF), die Luftmenge, die Gebäudekompaktheit⁵ sowie das Vorhandensein einer Küche⁶ einbezogen. Der einzige Parameter, der einen signifikanten Einfluss auf das Resultat hatte war dabei die Luftmenge. Dies zeigt sich auch in der geringeren Streuung der Resultate bei einem Bezug auf die Luftmenge (siehe Abbildung 49) bzw. in der Korrelation zwischen der Grauen Energie pro m² EBF und der spezifischen Gesamtluftmenge (in m³/h pro m²) in Abbildung 50.

Da Gebäude mit Küchen insgesamt meist hohe spezifische Luftwechselraten aufweisen, ist die Graue Energie in diesen Gebäuden vor allem aufgrund der geförderten Luftmenge höher.

Aus diesen Ergebnissen kann gefolgert werden, dass allgemeine Datensätze für die Graue Energie von Lüftungsanlagen vor allem bezüglich der spezifischen Luftmengen unterschieden werden sollten. Für Datensätze, die als Bezugsgrösse m² Energiebezugsfläche haben, ist die Angabe der spezifischen Luftmenge für den Kennwert der Grauen Energie massgebend. Für die KBOB-Liste wird daher vorgeschlagen entsprechende Datensätze für 1, 2, 4, 6, und 8 m³/(h m²) bereitzustellen.

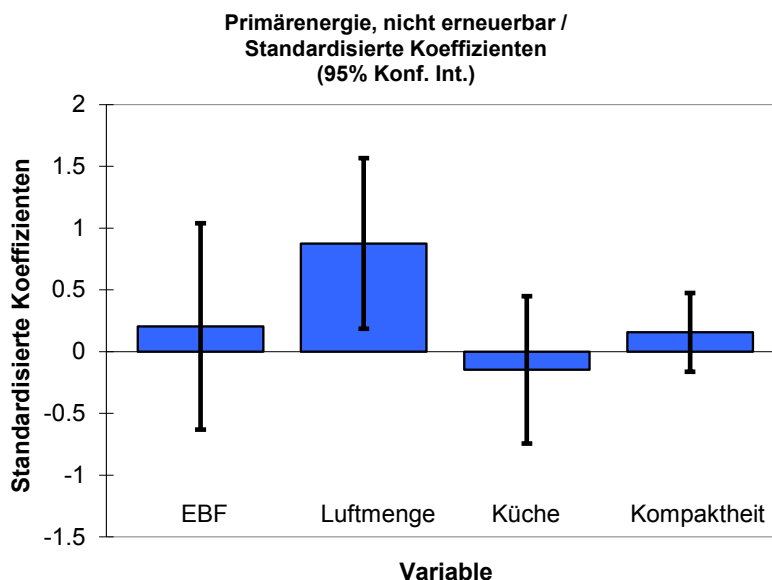


Abbildung 48: Analyse möglicher Einflussfaktoren auf die graue Energie

⁵ Merkmal Kompaktheit ja/nein: Basis $A_{th}/A_e < 1.2$: Kompaktheit = ja; Basis $A_{th}/A_e > 1.2$: Kompaktheit = nein

⁶ Merkmal Küche ja/nein (gewerbliche Küche mit eigener Lüftung vorhanden bzw. nicht vorhanden)

Abbildung 49 zeigt die Graue Energie bezogen auf die Luftmenge (in MJ_{eq} pro m^3/h). In dieser Auswertung zeigen sich vor allem zwei Ausreisser, welche einen deutlich höheren Wert aufweisen (Alterswohnungen Geeren; Geschäftshaus C). Diesen beiden Gebäuden gemeinsam ist ihre tiefe spezifische Luftmenge pro m^2 EBF (1.6 bzw. $1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ pro m^2 EBF).

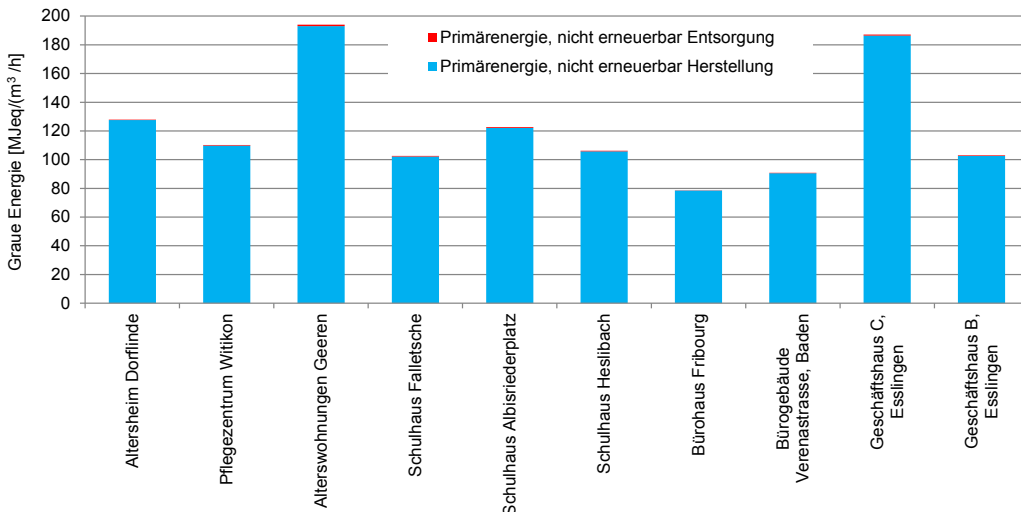


Abbildung 49: Graue Energie für die Herstellung / Entsorgung der Lüftungsanlagen pro m^3/h

Wie aus Abbildung 50 ersichtlich ist, besteht eine gute Korrelation zwischen der spezifischen Gesamtluftmenge (m^3/h pro m^2 EBF) und der Grauen Energie pro m^2 EBF. Damit ist eine Modellierung verschiedener Datensätzen mit unterschiedlicher spezifischer Gesamtluftmenge für die KBOB-Liste am zielführendsten.

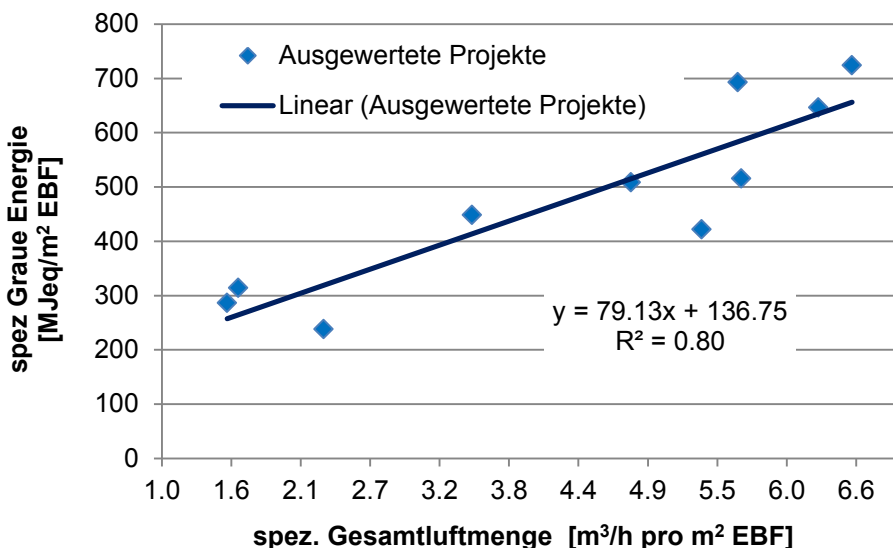


Abbildung 50: Korrelation spez. Luftmenge und spez. Graue Energie der Lüftungsanlagen

Weitere Einflussfaktoren, welche sich nicht direkt aus den Daten der analysierten Gebäuden ableiten liessen sind beispielsweise:

- Art der Luftverteilung bezüglich Kanalform und Verteilkonzept
- Konzept im Umgang mit den Brandschutzanforderungen
- Zusammenhang zwischen Gebäudetyp und Lüftungskonzept

Tabelle 13 zeigt zu diesen Punkten eine Einschätzung auf was die Umweltbelastung der Anlage (vor allem der Verteilung) günstig bzw. ungünstig beeinflusst.

Tabelle 13: Weitere Einflussfaktoren und Auswirkungen (qualitativ)

	Günstig	Ungünstig
Grundkonzept	Dezentrale Anlagen mit kurzem Verteilnetz	Zentrale Anlagen mit ausgedehntem Verteilnetz
Hohe Gebäude, kompakter Grundriss	kleine Anzahl Steigzonen Dachzentralen, KVS-Systeme	Viele Steigzonen Zentrale im UG
Niedrige Gebäude, verzweigter Grundriss	einfache Horizontalverteilung mit grossen Querschnitten (v.A. im UG) mehrere Zentralen im UG	verzweigte Horizontalverteilung mit kleinen Querschnitten (v.A. im UG) nur eine Zentrale (Standort!)
Kanalform, Verteilkonzept	Rund / Quadratisch wenig einzeln geführte Leitungen klares Konzept mit wenig Bögen	Rechteckig und Flach (a/b hoch) Alle Leitungen einzeln geführt Komplex mit vielen Bögen
Lüftungszentrale	Angrenzend zu Steigschacht Raumform und -höhe für einfache Leitungsführung geeignet	Weit weg vom Steigschacht Zu geringe Höhe / Länge vom Raum damit ungünstige Leitungsführung
Brandschutz *)	Möglichst ohne Querung fremder Brandabschnitte; Geringe Längen mit Brandschutzdämmung	Viele Brandabschnitte in Verteilung; Grosse Teile (z.B. im UG) mit Brandschutzdämmung

*) Bei Brandschutz oft gegenläufige Interessen (z.B. Brandschutzdämmung versus Brandschutzklappen). Daher ist für eine gute Lösung ein gutes Grundkonzept nötig, das beide Aspekte berücksichtigt.

Insbesondere auch der Entscheid welche Form die eingesetzten Kanäle aufweisen und ob die Luft über viele kleine (parallele) Kanäle oder über grosse Querschnitte verteilt wird hat einen erheblichen Einfluss auf die erforderliche Oberfläche der Verteilkanäle.

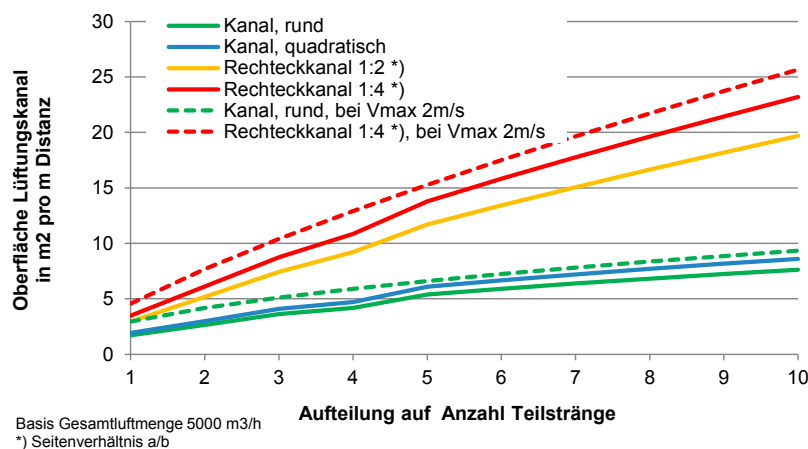
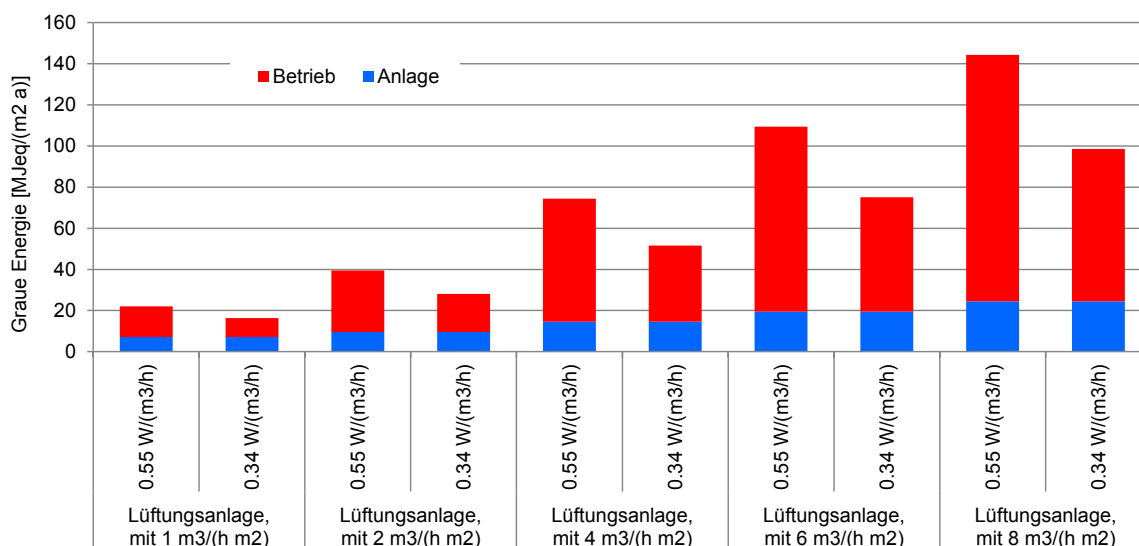


Abbildung 51: Oberfläche der Luftverteilung in Abhängigkeit von Kanalform und Verteilkonzept

Abbildung 51 zeigt, dass bei einer ungünstigen Kanalform (Seitenverhältnis 1:4) eine Aufteilung auf 5 parallele Teilstränge bereits zu einer viermal höheren Oberfläche der Verteilungen führt. Auch deutlich sichtbar ist der grosse Unterschied, der sich durch ungünstigere Kanalformen ergibt. Dies ist vor allem bei der Horizontalen Luftverteilung zu beachten.

Die in Abbildung 51 dargestellten Werte beziehen sich auf die gemäss Energiegesetz (MuKE) maximal zulässigen Luftgeschwindigkeiten. Werden deutlich tiefere Luftgeschwindigkeiten gewählt (z.B. 2 m/s), so ist vor allem bei Teilstücken mit grossen Luftmengen eine deutliche Erhöhung der Kanaloberfläche die Folge (bis max. Faktor 1.9). Dem gegenüber müssten jedoch die Energieeinsparungen aufgrund der geringeren Druckverluste bilanziert werden. In Abbildung 52 ist der Anteil der Betriebsenergie im Vergleich zur Anlage beispielhaft für den Indikator „nicht-erneuerbare Primärenergie“ dargestellt. Die Berechnung geht von einer typischen Büronutzung mit 2870 Vollbetriebsstunden pro Jahr aus. Für den Betriebsstrom wurde der Schweizer Strommix (Niederspannung, ab Netz) zugrunde gelegt. Die Darstellung zeigt zwei Fälle mit unterschiedlicher Energieeffizienz gemäss der Standardnutzung nach SIA 2024 (0.55 W/(m³/h) und 0.34 W/(m³/h)). Die Resultate zeigen, dass die Betriebsenergie bzw. die Energieeffizienz der Anlage einen sehr wesentlichen Einfluss hat und vor allem bei grossen spezifischen Luftmengen bestimmend ist (Anteil Energie bis über 80%). Bei Anlagen mit tiefen spezifischen Luftwechseln (z.B. typische Wohnungsanlagen) ist dagegen der Anteil der Energie deutlich kleiner und damit rückt die Anlagenerstellung stärker in den Fokus einer Optimierung.



Basis Stromerzeugung: Schweizer Strommix (Niederspannung, ab Netz)
 Basis Lüftungsbetrieb: 2870 Vollaststunden pro Jahr

Abbildung 52: Anteile nichterneuerbarer Primärenergie für Anlageerstellung und Betrieb

4.1.5 Vergleich mit den KBOB-Daten

Um die Ökobilanzen der untersuchten Gebäude mit den Zahlen aus der KBOB-Liste [1] zu vergleichen, wurden die Gebäude mit den KBOB-Durchschnittswerten für Lüftungsanlagen bilanziert. Die in der KBOB-Liste vorhandenen Daten sind:

- Bürolüftungsanlage mit einem spez. Luftbedarf von 4 m³/h pro m², Werte pro m² EBF
- Bürolüftungsanlage mit einem spez. Luftbedarf von 6 m³/h pro m², Werte pro m² EBF
- Wohnungslüftungsanlage, Werte pro m² EBF

Tabelle 14 zeigt die Datensätze der KBOB-Liste mit denen die untersuchten Gebäude bilanziert wurden.

Tabelle 14: Bilanzierung Lüftungsanlagen mit KBOB-Daten

Alters- und Pflegeheime	Altersheim Dorflinde	Pflegezentrum Witikon	Alterswohnungen Geeren	
Verwendeter Datensatz	Lüftungsanlage Büro Blechkanäle, spez. Luftmenge 4 m ³ /hm ² EBF	Lüftungsanlage Büro Blechkanäle, spez. Luftmenge 6 m ³ /hm ² EBF	Lüftungsanlage Wohnen, PE-Kanäle, inkl. Küchenabluft	
Menge [m ² EBF]	9'844	11'358	3'712	
Schulgebäude	Schulhaus Falletsche	Schulhaus Albisriederplatz	Schulhaus Heslibach	
Verwendeter Datensatz	Lüftungsanlage Büro Blechkanäle, spez. Luftmenge 6 m ³ /hm ² EBF	Lüftungsanlage Büro Blechkanäle, spez. Luftmenge 6 m ³ /hm ² EBF	Lüftungsanlage Büro Blechkanäle, spez. Luftmenge 4 m ³ /hm ² EBF	
Menge [m ² EBF]	5'607	5'603	2'849	
Bürogebäude	Bürohaus Fribourg	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Geschäftshaus C, Esslingen	Geschäftshaus B, Esslingen
Verwendeter Datensatz	Lüftungsanlage Büro Blechkanäle, spez. Luftmenge 6 m ³ /hm ² EBF	Lüftungsanlage Büro Blechkanäle, spez. Luftmenge 6 m ³ /hm ² EBF	Lüftungsanlage Büro Blechkanäle, spez. Luftmenge 2 m ³ /hm ² EBF	Lüftungsanlage Büro Blechkanäle, spez. Luftmenge 2 m ³ /hm ² EBF
Menge [m ² EBF]	10'161	7'492	2'621	2'472

Die folgenden Abbildungen vergleichen die Resultate der Lüftungsanlagen, so wie sie im vorliegenden Projekt berechnet wurden, mit den Ergebnissen aus der Berechnung mit Durchschnittswerten aus der KBOB-Liste. In Abbildung 53 dargestellt ist der Vergleich der Grauen Energie für die Herstellung und Entsorgung der Lüftungsanlagen pro m² EBF. Bei allen Anlagen liegt der berechnete Projektwert der Grauen Energie um den Faktor 1.2 bis 2.5 höher als der KBOB-Wert. Vergleichbare Differenzen sind auch bei der Bewertung der Treibhausgasemissionen ersichtlich (Abbildung 54). Bei der Bewertung der Umweltauswirkungen mit der Methode der Ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 2006) sind die Differenzen geringer (Faktor 0.8 bis 2.0) wie aus Abbildung 55 ersichtlich ist.

Der Hauptgrund für die Differenzen ist die in den bisherigen Datensätzen der KBOB-Liste vor allem bei hohen spezifischen Luftmengen deutlich unterschätzte Gesamtmasse der Anlage. Bei den bewerteten Resultaten ist zusätzlich die im Vergleich zu den bisherigen Datensätzen der Bürolüftungsanlagen deutlich höhere Detaillierung der neuen Sachbilanzen von Bedeutung (v.A. bei den Lüftungsgeräten).

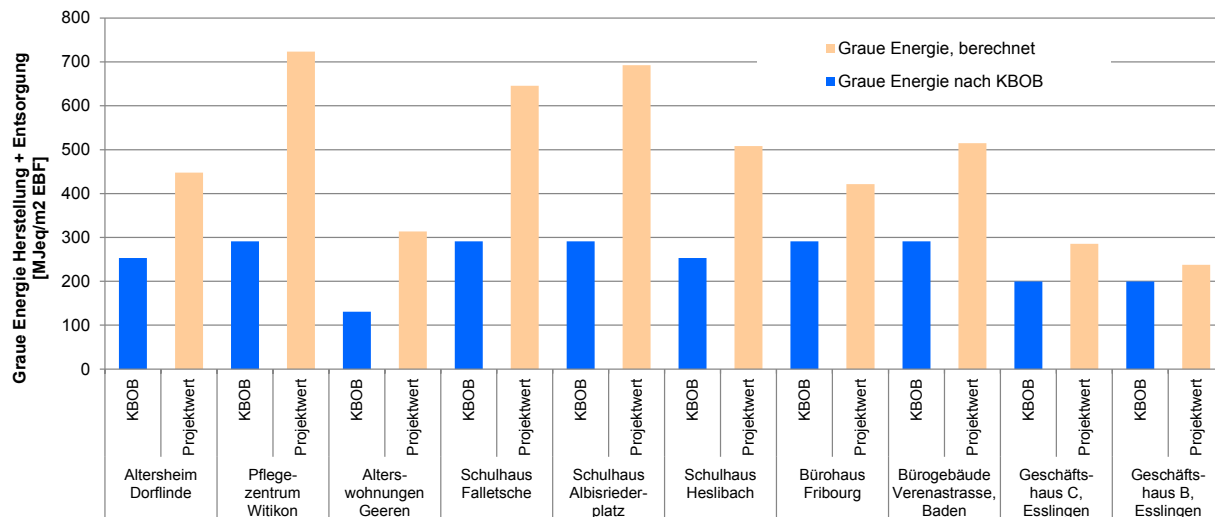


Abbildung 53: Graue Energie für Herstellung / Entsorgung pro m² EBF, Vergleich mit KBOB-Wert

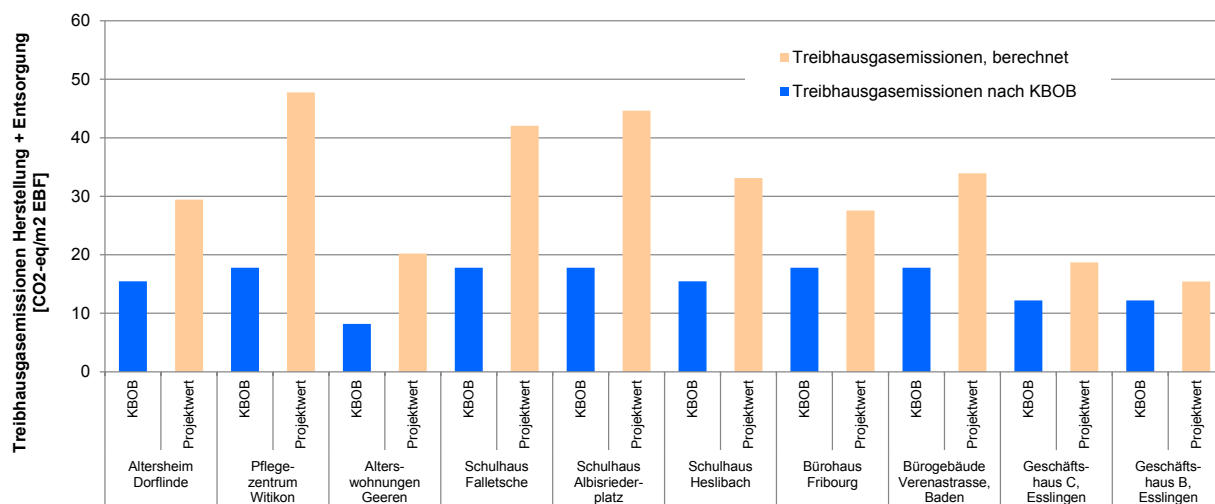


Abbildung 54: Treibhausgasemissionen für Herstellung / Entsorgung pro m² EBF, Vergleich mit KBOB-Wert

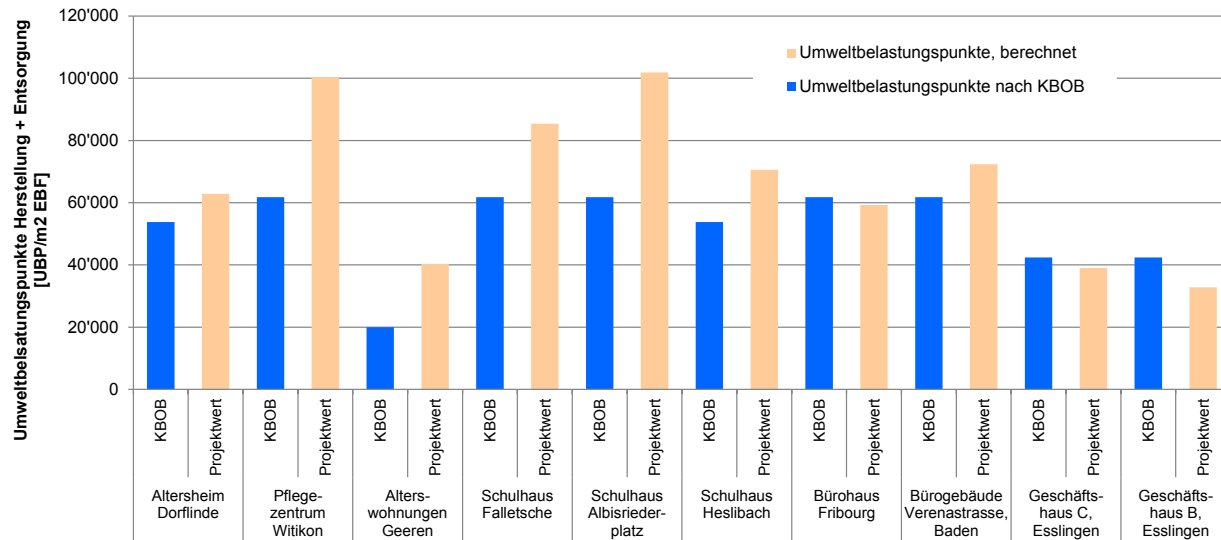


Abbildung 55: Umweltbelastungspunkte für Herstellung / Entsorgung pro m² EBF, Vergleich mit KBOB-Wert

Im Fall der Alterswohnungen Geeren wo die Bilanz aufgrund der Nähe zu einer Wohnnutzung mit dem bisherigen Wohnungs-Datensatz der KBOB-Liste erstellt wurde, muss zusätzlich angemerkt werden, dass zum einen das Projektgebäude eine erheblich höhere spezifische Luftmenge (in $\text{m}^3/\text{h pro m}^2$) aufweist als eine typische Wohnnutzung. Zudem sind neben der Wohnnutzung noch Gemeinschaftsräume (Saal) und Pflegezimmer vorhanden.

Aus diesem Grund wurde ein separater Vergleich für die Wohnnutzung erstellt. Die Resultate dazu sind in Abbildung 56 (Graue Energie) und Abbildung 57 (spez. Masse) dargestellt.

Ein Vergleich der spezifischen Massen für die Anlage der Alterswohnungen Geeren mit den Hintergrunddaten des KBOB-Datensatzes zeigt, dass die Differenz in erster Linie von der grösseren spezifischen Masse herrührt. Wird der Vergleich zudem nur mit dem Wohnungsteil aus dem Altersheim Dorflinde gemacht, so zeigen sich bei diesem Vergleich ähnliche Kennwerte wie im KBOB-Datensatz. Bei dieser Teilanlage ist die spezifische Luftmenge mit $1.0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ auch mit dem KBOB-Datensatz vergleichbar ($0.92 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$). Für die Gesamtanlage der Alterswohnungen Geeren ist dies nicht gegeben. Der Wert für die Gesamtanlage liegt bei $1.6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Der Wert nur für den Wohnteil Geeren, ist mit $1.0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ eigentlich vergleichbar mit dem KBOB-Wert. Dass die spez. Bauteilmasse bei der Anlage Geeren dennoch deutlich höher liegt, hängt in erster Linie mit der aufwendigen Luftverteilung (hoher Anteil an Brandschutzdämmungen) in diesem Gebäude zusammen.

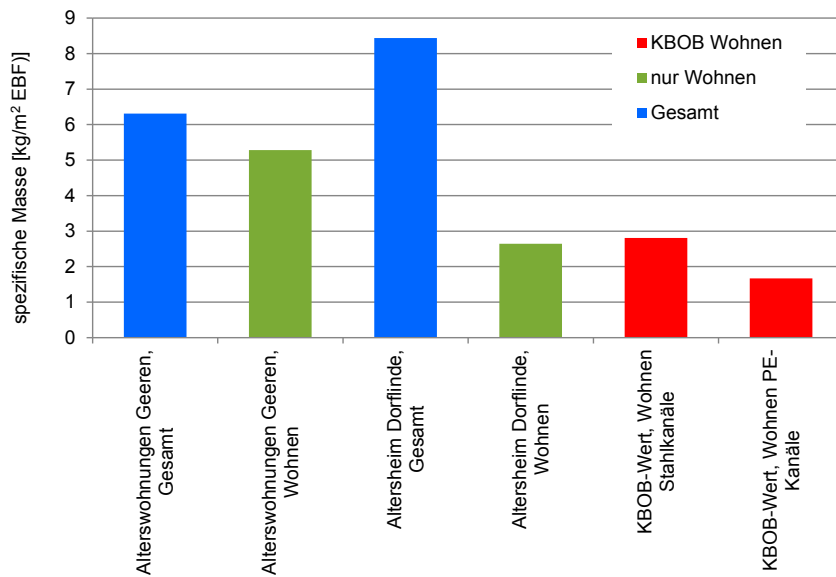


Abbildung 56: Vergleich mit KBOB-spez. Masse für Lüftungsanlagen (Wohnteil) pro m² EBF

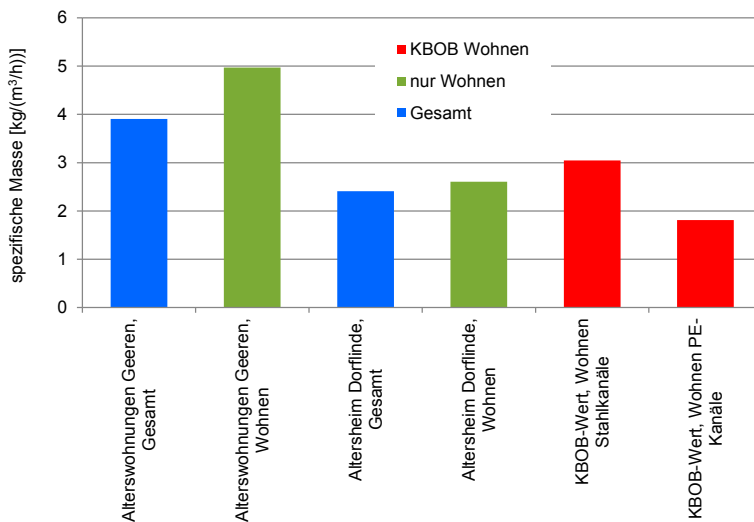


Abbildung 57: Vergleich mit KBOB – spez. Masse für Lüftungsanlagen (Wohnteil) pro m³/h

4.2 Wärmeanlagen

4.2.1 Massen- und Materialbilanzen

Das Gesamtgewicht der Anlagen wurde pro m² EBF ausgewertet. Die Resultate sind in Abbildung 58 dargestellt. Dabei sind die Massen der Anlagen der untersuchten Gebäude (siehe Kapitel 3.1.3) in Blau abgebildet. Sie wurden mit den Resultaten aus der Vorgängerstudie von Basler & Hofmann [2] verglichen (Balken in Grau). Die Eigenschaften dieser Gebäude und der darin verbauten Wärmeanlagen sind in Tabelle 15 zusammengefasst. Die Gegenüberstellung zeigt, dass das Gesamtgewicht der Anlagen grösstenteils in einem ähnlichen Bereich liegt wie bei den früher untersuchten Objekten. Einzig die Anlagen im Bürohaus in Fribourg haben ein deutlich höheres Gewicht.

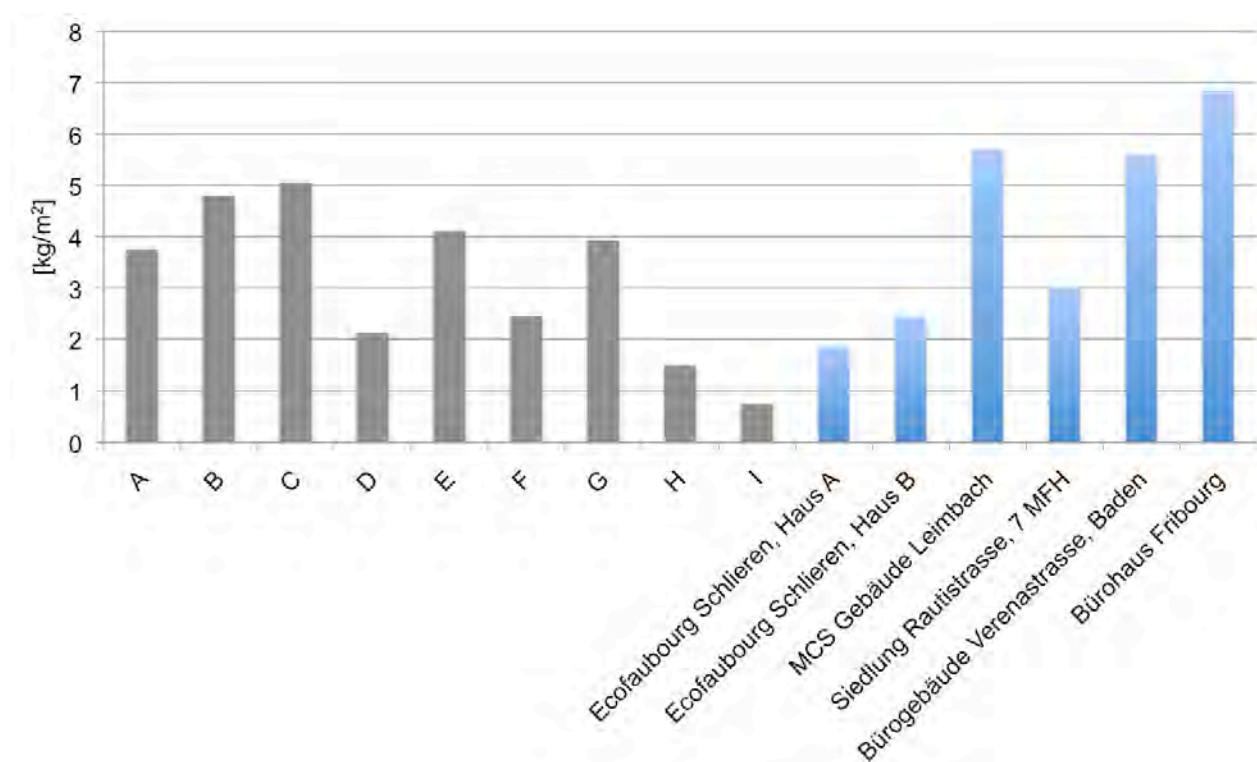


Abbildung 58: Vergleich Massenbilanzen der untersuchten Gebäude mit den Resultaten aus der Studie für SIA 2032 [2]

Tabelle 15: Gebäude A – I aus der Studie für SIA 2032 [2]

Gebäude	Typ	EBF [m ²]	Spez. Heizwärmebedarf [W/m ²]	Wärmeerzeugung	Wärmeverteilung
A	Bürogebäude	3088	32	Gas/Öl-Kessel	Heizkörper
B	MFH	30800	49	Fernwärme	Heizkörper
C	Bürogebäude	4400	67	Gaskessel	Heizkörper
D	MFH	1873	37	Gaskessel	Fussbodenheizung
E	MFH	2300	10	Erdsonde-WP	Fussbodenheizung

Gebäude	Typ	EBF [m ²]	Spez. Heizwärmebedarf [W/m ²]	Wärmeerzeugung	Wärmeverteilung
F	EFH	188	21	Erdsonde-WP	Fussbodenheizung
G	MFH	1250	10	Pelletfeuerung	Luftheizung
H	MFH	1387	12	Luft-Wasser-WP	Luftheizung
I	REFH	794	10	Luft-Wasser-WP	Luftheizung

Die detaillierten Resultate zur Massenbilanz der untersuchten Gebäude sind in Tabelle 16 und in Abbildung 59 dargestellt. Die Resultate sind aufgeschlüsselt nach Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe. Dabei ist zu bemerken, dass die Wärmeerzeugung bei den Bürogebäuden auch die Kälterzeugung beinhaltet, da eine Vielzahl der Systemkomponenten beide Funktionen wahrnehmen (Wärme- sowie Kälterzeugung). Aus diesem Grund lassen sich Wärme- und Kälterzeugung nicht eindeutig trennen. Auch die Freie Kühlung bei den Systemen mit Erdsonde / Wärmepumpe ist teilweise von Anlageteilen der Wärmeerzeugung abhängig. Die Erdsonden werden zum Heizen sowie zum Kühlen verwendet. Dasselbe gilt für die Systemkomponenten der Wärme- respektive Kälteverteilung und der Abgabe. Um dies zu verdeutlichen wurden in den Tabellen und Abbildungen die Begriffe Erzeugung, Verteilung und Abgabe anstatt Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe verwendet.

Erzeugung

Beim Haus A und B der Siedlung Ecofaubourg, die mit Fernwärme beheizt werden, sind die Anteile der Erzeugung und ihr Gewicht pro m² EBF erwartungsgemäss geringer als bei den anderen untersuchten Wärmanlagen mit Erdsonden-oder Grundwasser-Wärmepumpe. Die Anteile der Erzeugung in Bezug auf das Gesamtgewicht der Anlagen betragen bei beiden Gebäuden rund 5% respektive 0.09 und 0.12 kg/m².

Die Erdsonden sind, falls vorhanden, aufgrund ihres bedeutenden Anteils am Gesamtgewicht der Anlagen in der Tabelle separat aufgeführt. Bei der Massenbilanz der Erdsonden wurde nur das Polyethylenrohr ohne Sole sowie ohne Zement/ Bentonit – Hinterfüllung berücksichtigt. Diese Bestandteile wurden erst in den Ökobilanzen miteinbezogen. Die Hinterfüllung alleine hat schon eine Masse von fast 10 kg pro Laufmeter Erdsonde und würde dadurch die Massenbilanzen der Anlagen dominieren. Es zeigt sich, dass die Erdsonde trotzdem 22% bis 31% des Gesamtgewichts der Wärmanlagen ausmachen kann. Zusammen mit den Wärmepumpen und den anderen Systemkomponenten beträgt der Anteil der Erzeugung bei diesen Systemen 38% bis 60% vom Gesamtgewicht der Anlagen. Das Gewicht der Erzeugung (ohne Erdsonde) ist beim MCS Gebäude mit 2.16 kg/m² deutlich höher als bei der Siedlung Rautistrasse (0.66 kg/m²) und beim Bürogebäude in Fribourg (0.76 kg/m²). Zum einen ist die Wärmepumpe beim MCS Gebäude vergleichsweise schwerer als bei den anderen untersuchten Anlagen. Andererseits sind für die Erzeugung mehr Rohrleitungen vorhanden sowie ein Heizungsspeicher und ein Schaltschrank. Das Bürogebäude Verenastrasse verfügt über eine Grundwasserwärmepumpe. Die dazu notwendigen Bohrungen sind deutlich weniger tief als bei den Systemen mit Erdsonde. Die Pumpensteigrohre aus Chromstahl haben deshalb nur einen geringen Einfluss auf das Gewicht der Erzeugung. Der Anteil der Wärmeerzeugung inklusive Pumpensteigrohre am Gesamtgewicht der Anlagen beträgt 16% (0.89 kg/m²).

Tabelle 16: Resultate der Massenbilanzen pro m² EBF [kg/m²] und Anteile in %

Gebäude	Eco-faubourg Schlieren, Haus A		Eco-faubourg Schlieren, Haus B		MCS Gebäude Leimbach		Siedlung Rautistrasse, 7 MFH		Bürogebäude Verenastrasse, Baden		Bürohaus Fribourg	
Erdsonde	–	–	–	–	1.27	22%	0.93	31%	–	–	1.86	27%
Erzeugung	0.09	5%	0.12	5%	2.16	38%	0.66	22%	0.89	16%	0.76	11%
Verteilung	0.62	33%	0.87	36%	1.51	26%	0.65	21%	1.85	33%	3.25	47%
Abgabe	1.15	62%	1.45	59%	0.77	14%	0.77	26%	2.86	51%	0.98	14%
Total	1.86	100%	2.44	100%	5.70	100%	3.01	100%	5.59	100%	6.84	100%

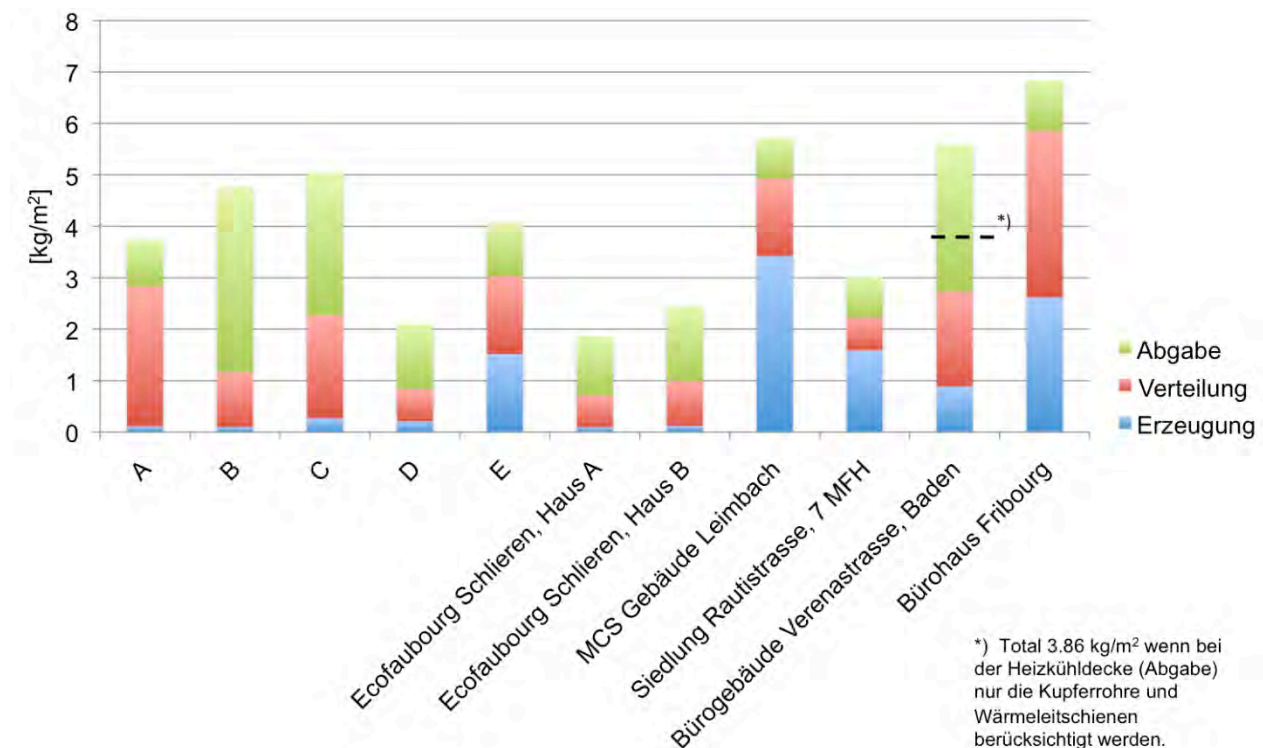
**Abbildung 59: Resultate der Massenbilanzen pro m² EBF [kg/m²]**

Abbildung 60 zeigt die Resultate der Erzeugung, diesmal inkl. Erdsonde damit die Ergebnisse mit den Resultaten aus der Vorgängerstudie verglichen werden können. Die Resultate der Anlagen in der vorliegenden Studie werden jenen mit identischer Erzeugung aus der Studie von Basler & Hofmann gegenübergestellt. Bei den Anlagen mit Fernwärme sind die Resultate der Häuser A und B der Siedlung Ecofaubourg (0.09 und 0.12 kg/m²) sehr nahe beim Gewicht der Erzeugung mit Fernwärme aus der Vorgängerstudie (Gebäude B, Erzeugung 0.1 kg/m²). Bei der Erzeugung mit Erdsonde / Wärmepumpe zeigen sich im Vergleich zur früheren Studie (Gebäude E und F) teilweise deutliche Abweichungen. Die Erzeugung inklusive Erdsonde beim MCS Gebäude ist mit 3.43 kg/m² mehr als doppelt so schwer wie den Gebäuden E (1.52 kg/m²) und F (1.59 kg/m²). Der Massenanteil der Erzeugung ist beim MCS Gebäude auch deutlich höher als bei den Gebäuden der Siedlung Rautistrasse. Dort beträgt der durchschnittliche Anteil der Er-

zeugung inklusive Erdsonde 1.59 kg/m^2 . Wie bereits erwähnt, ist dies hauptsächlich durch die schwerere Wärmepumpe, die Rohrleitungen, den Heizungsspeicher und den Schaltschrank im MCS Gebäude bedingt. Auch die Erzeugung beim Bürohaus in Fribourg hat ein höheres Gewicht (2.62 kg/m^2) als bei der Siedlung Rautistrasse und den Gebäuden E und F. Dies hingegen ist vor allem darauf zurückzuführen, dass das Bürogebäude pro m^2 EBF rund doppelt soviel Laufmeter Erdsonde benötigt als die Gebäude an der Rautistrasse.

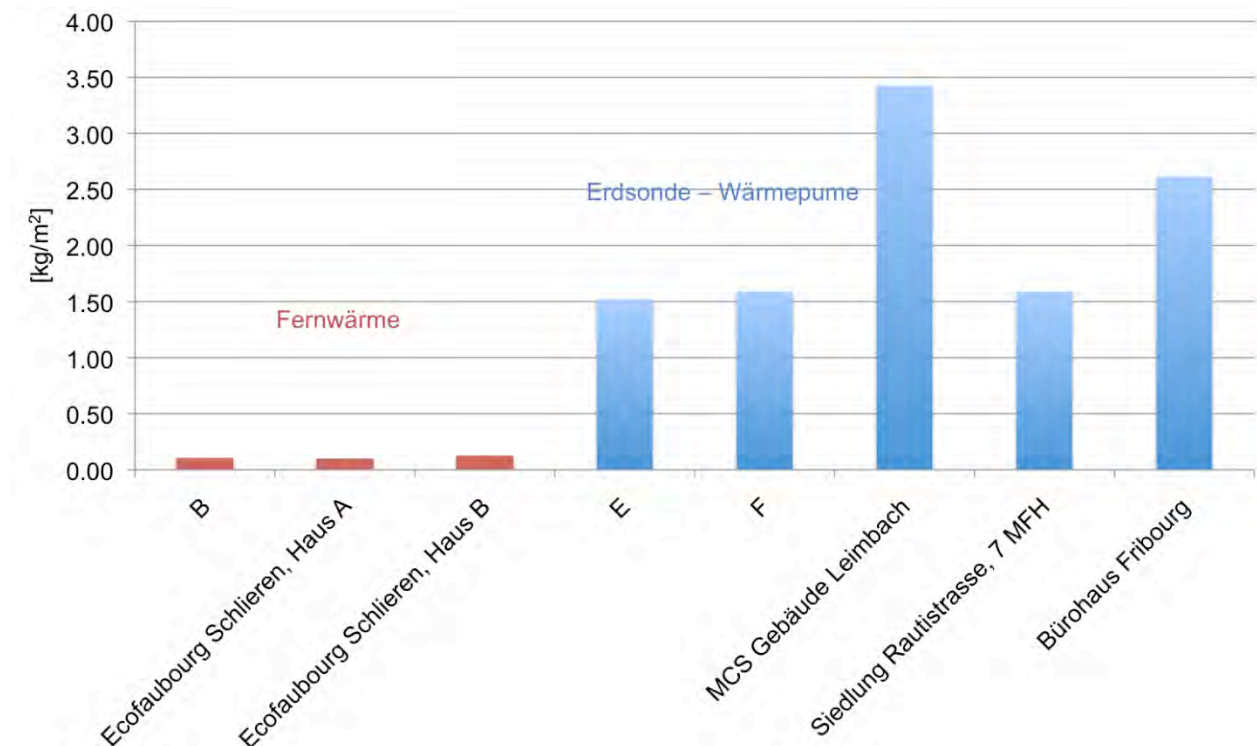


Abbildung 60: Massenbilanzen Erzeugung pro m^2 EBF [kg/m^2]

Verteilung

In Abbildung 61 sind die Resultate für die Verteilung in kg pro m^2 EBF dargestellt. Bei den Gebäuden B, D, E, A und C handelt es sich wieder um die Resultate der Massenbilanzen aus der Vorgängerstudie. Insgesamt zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Wohn- und Bürogebäuden. Das durchschnittliche Gewicht der zur Verteilung notwendigen Anlageteile ist bei den Bürogebäuden im Mittel mehr als doppelt so hoch wie bei den Wohngebäuden. Bei untersuchten Wohngebäuden liegt das Gewicht der Verteilung zwischen 0.62 und 1.51 kg/m^2 währendem die Verteilung der Gebäude B, D und E in einem ähnlichen Bereich von 0.63 bis 1.52 kg/m^2 ist. Bei den untersuchten Bürogebäuden hingegen liegt das Gewicht der Verteilung bei 1.85 und 3.25 kg/m^2 . Auch bei den Bürogebäuden aus der Vorgängerstudie liegt die Verteilung in einem ähnlichen Bereich bei 2 und 2.72 kg/m^2 .

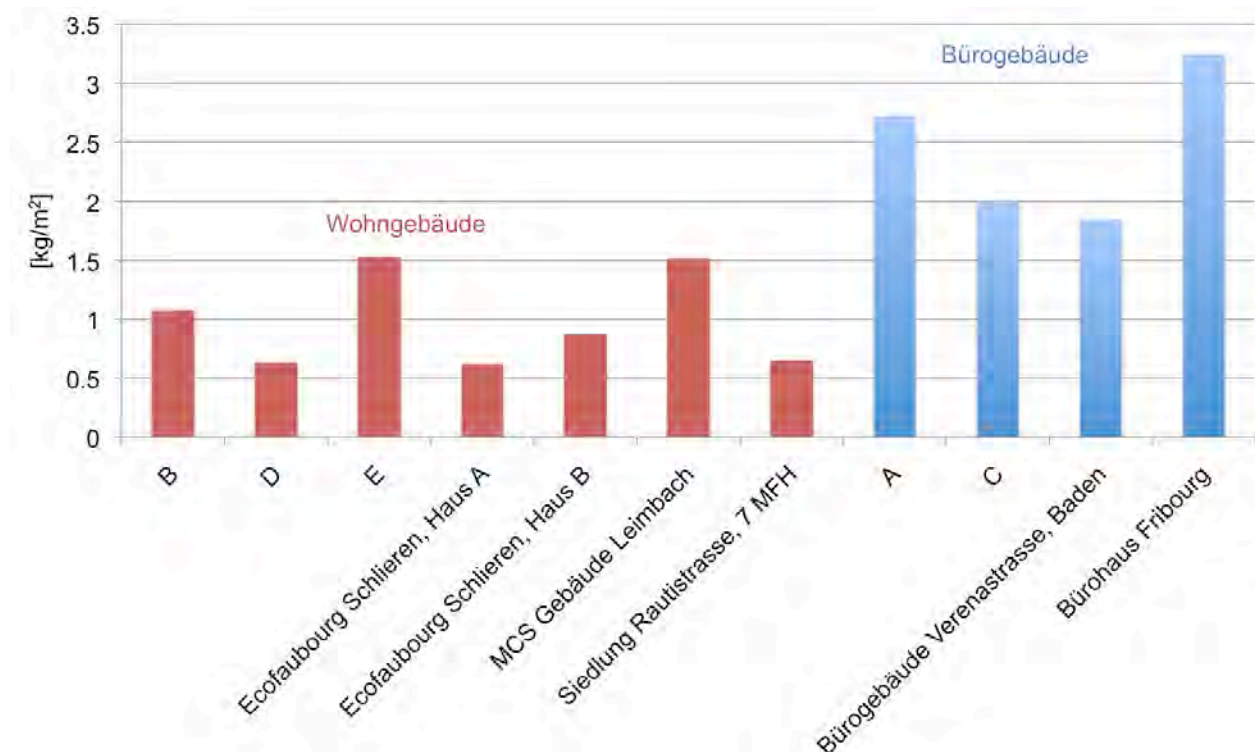


Abbildung 61: Massenbilanzen Verteilung pro m² EBF [kg/m²]

Ein Vergleich der Gewichte der zur Verteilung notwendigen Anlageteile pro m² EBF und der Gebäudehüllzahlen lässt einen gewissen Zusammenhang erkennen (siehe Abbildung 62 und Abbildung 63). Sowohl bei den Wohn- als auch bei den Bürogebäuden nimmt das Gewicht der Verteilung pro m² EBF mit steigender Gebäudehüllzahl tendenziell zu. Desto geringer die Kompaktheit der Gebäudehülle, desto höher sind die materiellen Aufwendungen für die Verteilung pro Flächeneinheit. Bei den Wohngebäuden jedoch, hat das MCS Gebäude für die Verteilung ein deutlich höheres Gewicht pro m² EBF als die anderen untersuchten Wohngebäude mit einer ähnlichen Kompaktheit. Dies scheint vor allem dadurch bedingt, dass die durchschnittliche Wohnungsgrösse beim MCS Gebäude deutlich kleiner ist als bei den anderen untersuchten Gebäuden (siehe Tabelle 9). Da jede Wohnung separat erschlossen werden muss, ist der Aufwand für die Verteilung pro m² EBF bei kleinen Wohnungen deutlich höher, als bei durchschnittlichen Wohnungsgrössen. Abbildung 64 zeigt diese Abhängigkeit.

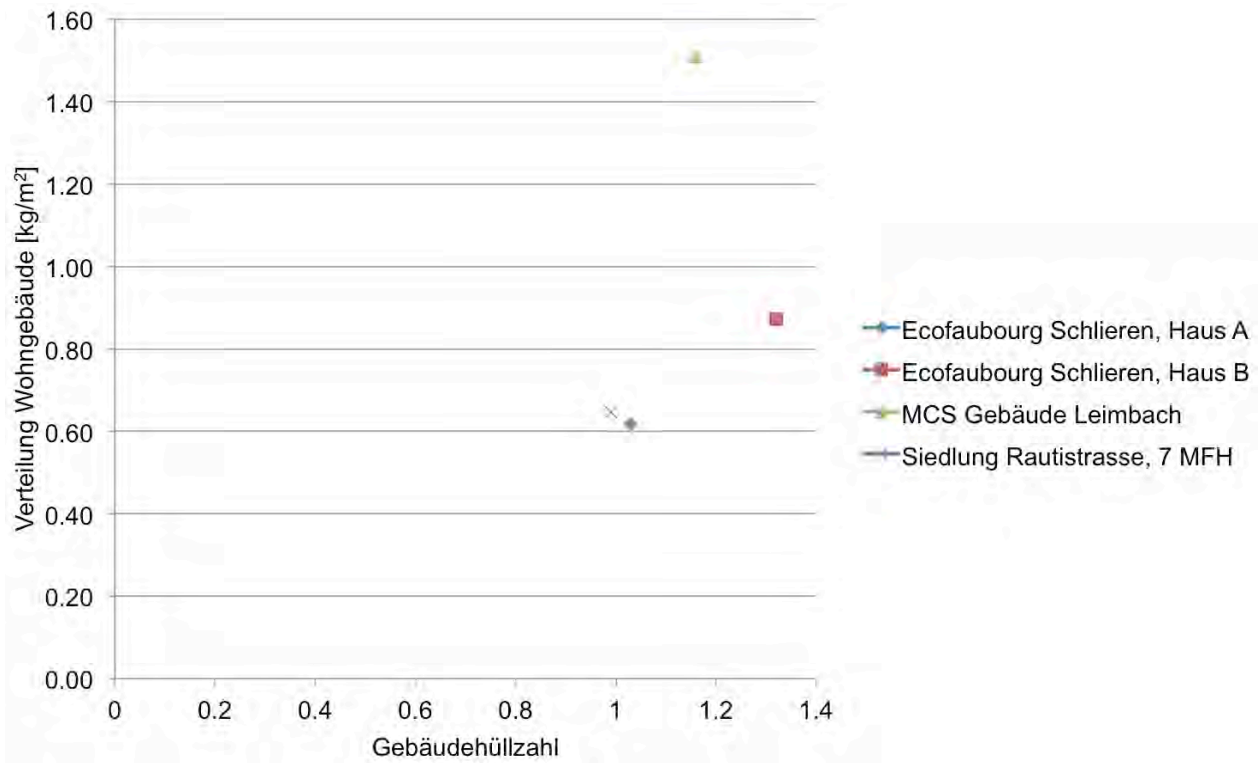


Abbildung 62: Verteilung Wohngebäude und Gebäudehüllzahl

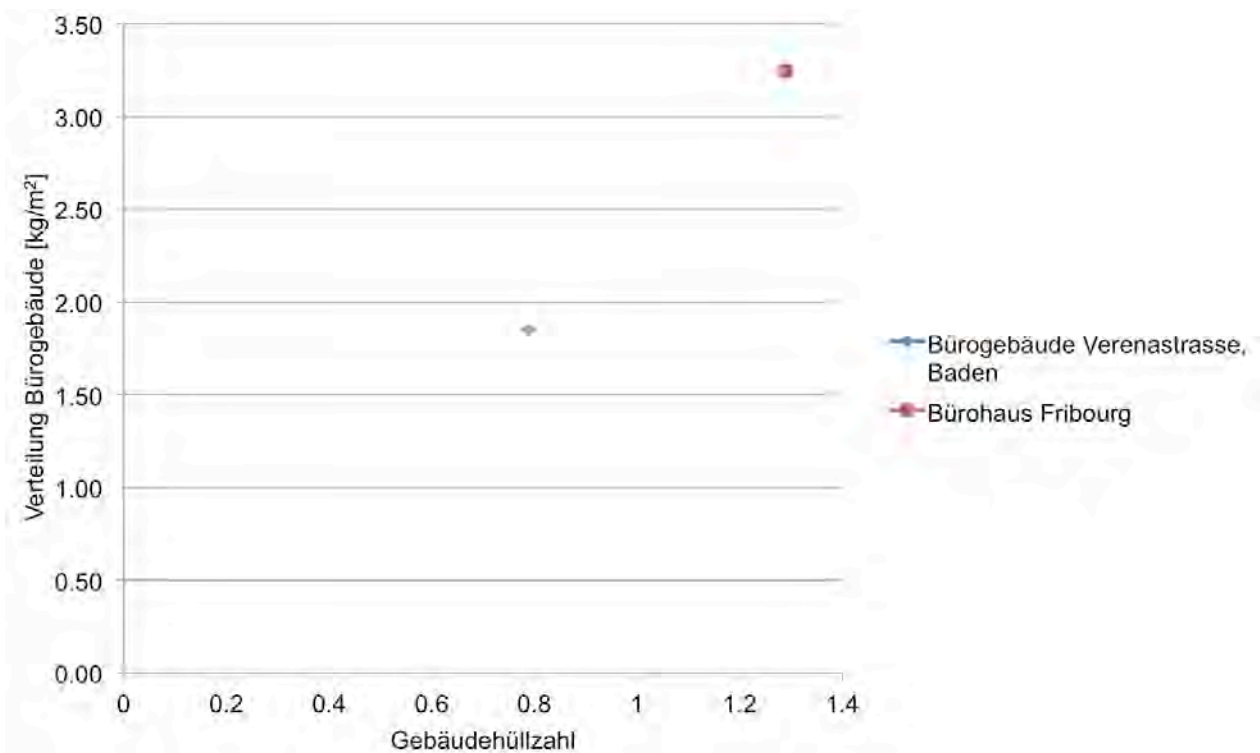


Abbildung 63: Verteilung Bürogebäude und Gebäudehüllzahl

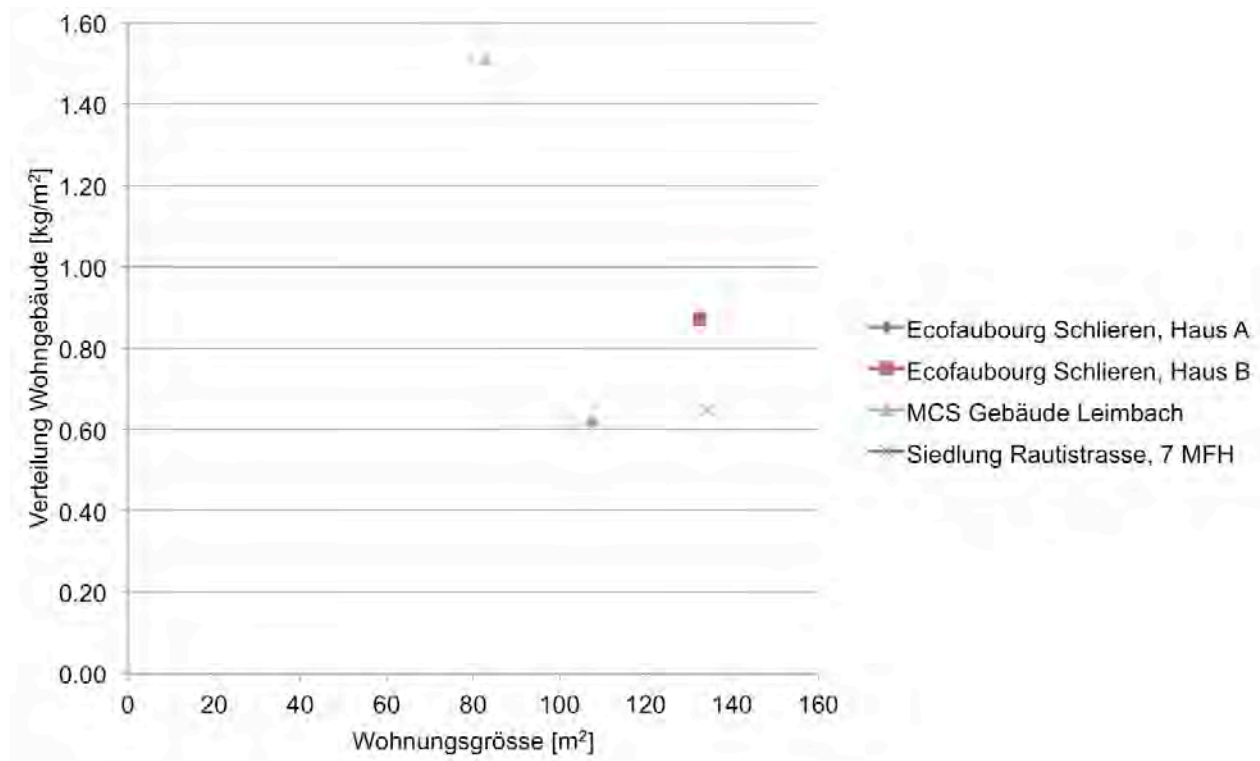


Abbildung 64: Verteilung Wohngebäude und Wohnungsgrösse

Abgabe

Die Massenbilanzen der untersuchten Wärmeanlagen und jene aus dem Vorgängerprojekt unterscheiden sich in Funktion des Abgabesystems (siehe Abbildung 65). Das durchschnittliche Gewicht pro m² EBF der Abgabe über Heizkörper ist deutlich höher als jenes der Abgabe über Fussbodenheizung. Die Resultate der Abgabe über Radiatoren in den Häusern Ecofaubourg A (1.15 kg/m²) und Ecofaubourg B (1.45 kg/m²) sind ähnlich wie beim Gebäude A (0.91 kg/m²) aus der früheren Studie. Dies obwohl der spezifische Wärmeleistungsbedarf von Gebäude A mit 32 W/m² rund dreimal höher ist als bei den Häusern A und B von Ecofaubourg (vergleiche auch Tabelle 9 und Tabelle 15). Die anderen Abgabesysteme über Heizkörper aus der Vorgängerstudie (Gebäude B und C) haben deutlich höhere Gewichte pro m² EBF. Teilweise hängt dies mit dem höheren spezifischen Wärmeleistungsbedarfs dieser Gebäude zusammen (vergleiche Tabelle 15). Das Gebäude B hat einen spezifischen Wärmeleistungsbedarf von 49 W/m² und das Gebäude C von 67 W/m². Wie Abbildung 66 zeigt, ist dieser Zusammenhang jedoch nur bedingt feststellbar, da das Gebäude C mit dem höchsten spezifischen Wärmeleistungsbedarf in der Massenbilanz der Abgabe ein geringeres Resultat aufweist (2.78 kg/m²) als das Gebäude B (3.61 kg/m²). Zudem zeigen die Häuser A und B der Siedlung Ecofaubourg mit einem spezifischen Wärmeleistungsbedarf um die 10 W/m², in der Massenbilanz der Abgabe ein ähnliches Resultat wie das Gebäude A aus der Vorgängerstudie mit einem spezifischen Wärmeleistungsbedarf von 32 W/m².

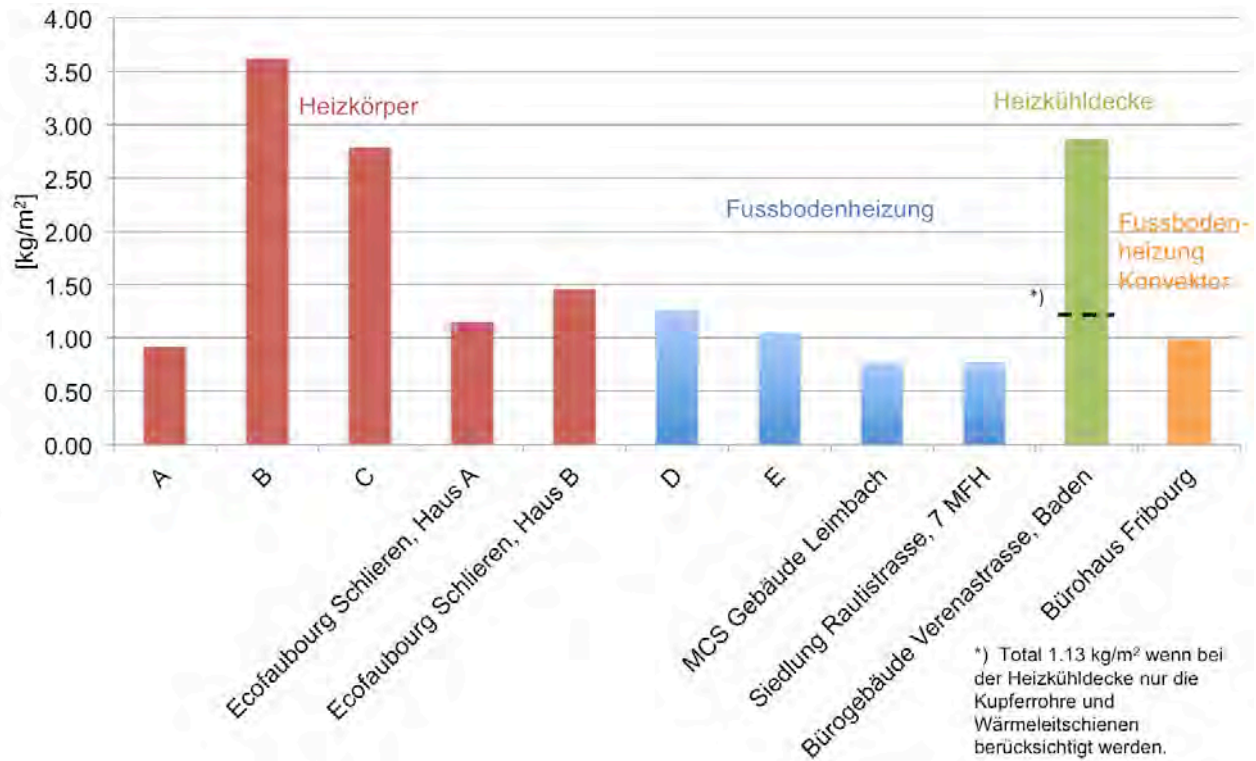


Abbildung 65: Massenbilanzen Abgabe pro m² EBF [kg/m²]

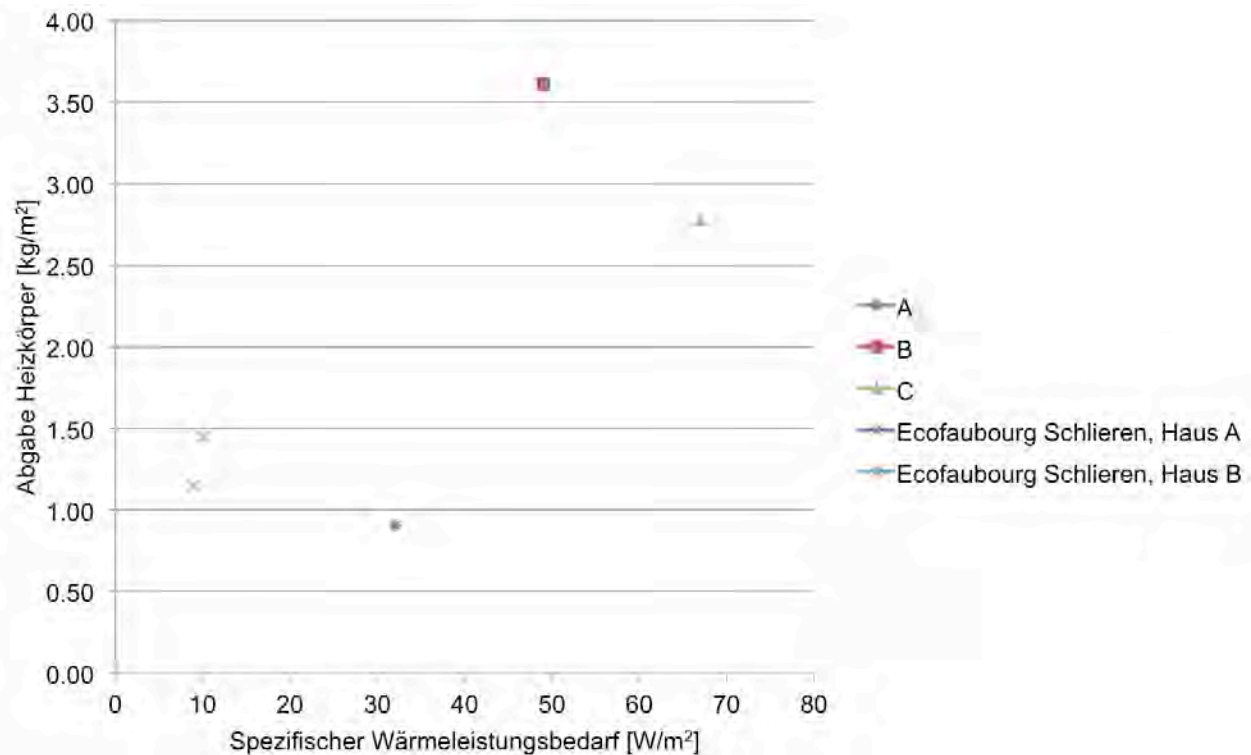


Abbildung 66: Massenbilanz Abgabe Heizkörper – spezifischer Wärmeleistungsbedarf [W/m²]

Die Masse der Abgabe über Fussbodenheizung ist bei den untersuchten Wohngebäuden (MCS Leimbach und Rautistrasse) mit 0.77 kg/m^2 identisch (Abbildung 65). Die Gewichte der Fussbodenheizung aus der früheren Studie sind etwas höher (Gebäude D und E). Jedoch dürfte dies vor allem durch die unterschiedlichen Systemgrenzen bedingt sein. In der Vorgängerstudie wurde die Dämmung der Fussbodenheizung auch miteinbezogen, während in der vorliegenden Studie nur die Fussbodenheizungsrohre und ihre Befestigung berücksichtigt wurden.

Die Heizkühldecke aus Metall im Bürogebäude in Baden ist nicht mit den anderen Abgabesystemen vergleichbar. Mit rund 10 kg pro m^2 Kühldecke inklusive Unterkonstruktion beträgt das Gewicht dieses Abgabesystems bezogen auf die gesamte EBF des Bürogebäudes 2.86 kg/m^2 . Dies sind rund 50% des Gesamtgewichts der Wärmanlagen in diesem Bürogebäude. Dabei muss aber bedacht werden, dass die Heizkühldecke eine Doppelfunktion erfüllt. Neben dem Heizen und Kühlen dient sie gleichzeitig als heruntergehängte Decke, so wie sie im Bürobau häufig eingesetzt wird. Werden in der Bilanz nur die Wärmeleitschienen aus Aluminium und die Kupferrohre der Decke berücksichtigt, welche nur für die Funktion Heizen und Kühlen notwendig sind, ist das Gewicht dieses Abgabesystems nur noch 1.13 kg/m^2 und damit pro m^2 EBF von ähnlicher Grössenordnung wie die Abgabe über Radiatoren bei den Häusern A und B von Ecofaubourg Schlieren. Dies ist in Abbildung 59 und Abbildung 65 mittels der gestrichelten Linie angedeutet. Um die Vergleichbarkeit mit den anderen Abgabesystemen zu gewährleisten, wurden bei der Ökobilanz der Heizkühldecken nur noch die Kupferrohre und die Wärmeleitschienen bilanziert. Im Bürogebäude in Fribourg erfolgt die Abgabe über eine Kombination von Fussbodenheizung und Konvektoren. Pro m^2 EBF ist das Gewicht der Abgabe 0.98 kg und liegt somit zwischen den Resultaten für die Abgabe über Fussbodenheizungen und Heizkörper der anderen untersuchten Gebäude.

Materialbilanz

Abbildung 67 zeigt die Resultate der Materialbilanzen in kg pro m^2 EBF. Daraus ist ersichtlich, dass bei den untersuchten Wärmanlagen mit Abgabe über Heizkörper (Haus A und B, Ecofaubourg) oder Metall – Heizkühldecke (Bürogebäude Baden) der Stahlanteil von allen verbauten Materialien am bedeutendsten ist. Nebst dem Abgabesystem wird der Stahlanteil auch wesentlich durch die Verteilung mit Stahlrohren beeinflusst. Da das Gewicht der Verteilung in kg pro m^2 EBF bei den Bürogebäuden höher ist als bei den Wohngebäuden (siehe Abschnitt Verteilung oben), ist auch die Masse Stahl pro m^2 EBF bei den Bürogebäuden höher. Bei den Wärmanlagen mit Erdsonden und Abgabe über Fussbodenheizung (MCS Gebäude, Siedlung Rautistrasse und Bürogebäude Fribourg) ist aufgrund der Materialisierung der Erdsonde und der Fussbodenheizung auch der Polyethylenanteil sehr hoch. Dabei fällt auf, dass die Massen von Polyethylen pro m^2 EBF beim MCS Gebäude und der Siedlung Rautistrasse ähnlich sind, jedoch ist in Bezug auf die Gesamtmasse der Kunststoffanteil bei der Siedlung Rautistrasse deutlich höher (>50%). Beim Gebäude in Leimbach ist einerseits aufgrund der durchschnittlich kleineren Wohnungen der Aufwand für die Verrohrung grösser und andererseits die Wärmepumpe vergleichsweise schwerer, was einen höheren Metallanteil zur Folge hat. Beim Bürogebäude in Baden ist der Aluminium- und Kupferanteil, bedingt durch die Heizkühldecken, deutlich höher als bei den anderen Gebäuden.

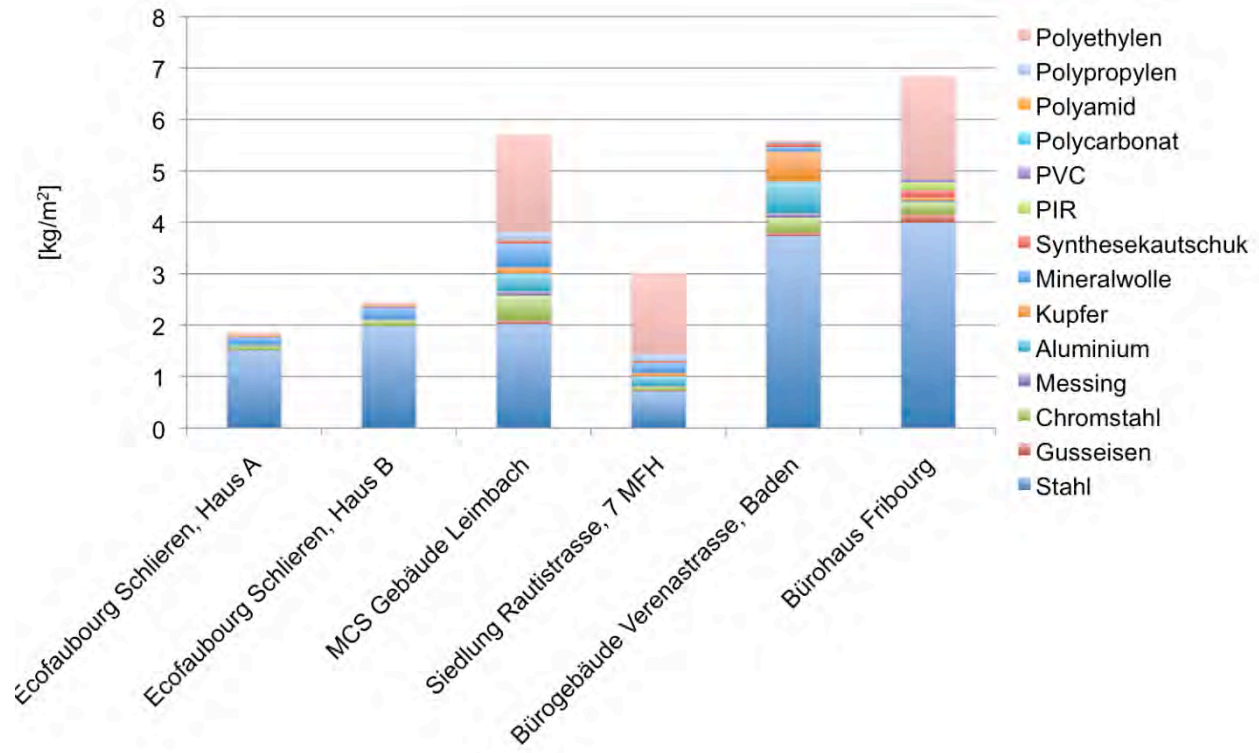


Abbildung 67: Materialbilanz pro m² EBF [kg/m²]

4.2.2 Ökobilanzen

Die untersuchten Anlagen wurden mit den in Kapitel 3.3.4.4 und im Anhang beschriebenen Datensätzen für Systemkomponenten bilanziert (siehe Tabelle 117 und Tabelle 118 im Anhang). Die Resultate der Ökobilanzen sind in Tabelle 17 aufgeführt. Die detaillierten Ergebnisse aufgeschlüsselt nach Erdsonden, Erzeugung, Verteilung und Abgabe sind in Tabelle 119 im Anhang ersichtlich.

Tabelle 17: Ökobilanzresultate Wärmeanlagen pro m² EBF

Gebäude	Ecofau- bourg Schlie- ren, Haus A	Ecofau- bourg Schlie- ren, Haus B	MCS Gebäu- de Leim- bach	Siedlung Rautistras- se, 7 MFH	Bürogebäude Verenastras- se, Baden	Büro- haus Fribourg
Primärenergie total						
Herstellung [MJ/m ²]	121	156	691	435	276	823
Entsorgung [MJ/m ²]	0.47	0.70	5.93	4.08	0.54	8.67
Graue Energie						
Herstellung [MJ/m ²]	114	150	656	418	247	796
Entsorgung [MJ/m ²]	0.45	0.67	5.31	3.64	0.52	7.74
Treibhausgasemissio- nen						
Herstellung [kg CO ₂ -eq /m ²]	6.89	8.94	37.24	22.63	16.26	45.07
Entsorgung [kg CO ₂ -eq /m ²]	0.40	0.41	7.03	5.18	0.88	5.56
Umweltbelastungs- punkte						
Herstellung [UBP/m ²]	11'455	15'016	53'523	29'361	58'687	62'679
Entsorgung [UBP/m ²]	275	291	4'101	3'140	422	3'815

Abbildung 68 zeigt die Graue Energie für die Herstellung der Wärmeanlagen pro m² EBF. Sie liegt bei den untersuchten Wohngebäuden mit Fernwärme und Abgabe über Heizkörper (Ecofau-bourg Haus A und B) bei 114 und 150 MJ/m². Bei den anderen Wohngebäuden mit Erdsonde ist die Graue Energie mit 656 und 418 MJ/m² deutlich höher. Die Graue Energie der Wärmeanlagen in den Bürogebäuden in Baden und Fribourg beträgt jeweils 247 und 796 MJ/m². Beim Bürogebäude in Baden ist der Anteil der Abgabe über Heizkühldecken dominant, obwohl in der Ökobilanz der Heizkühldecken, aus Gründen der Vergleichbarkeit mit anderen Abgabesystemen, nur die Kupferrohre und Wärmeleitschienen berücksichtigt wurden. Beim Bürogebäude in Fribourg hingegen macht die Graue Energie der Erdsonden den grössten Anteil aus. Auch bei den untersuchten Wohngebäuden mit Erdsonde ist der Anteil der Erdsonde an der gesamten Grauen Energie der Anlagen am bedeutendsten.

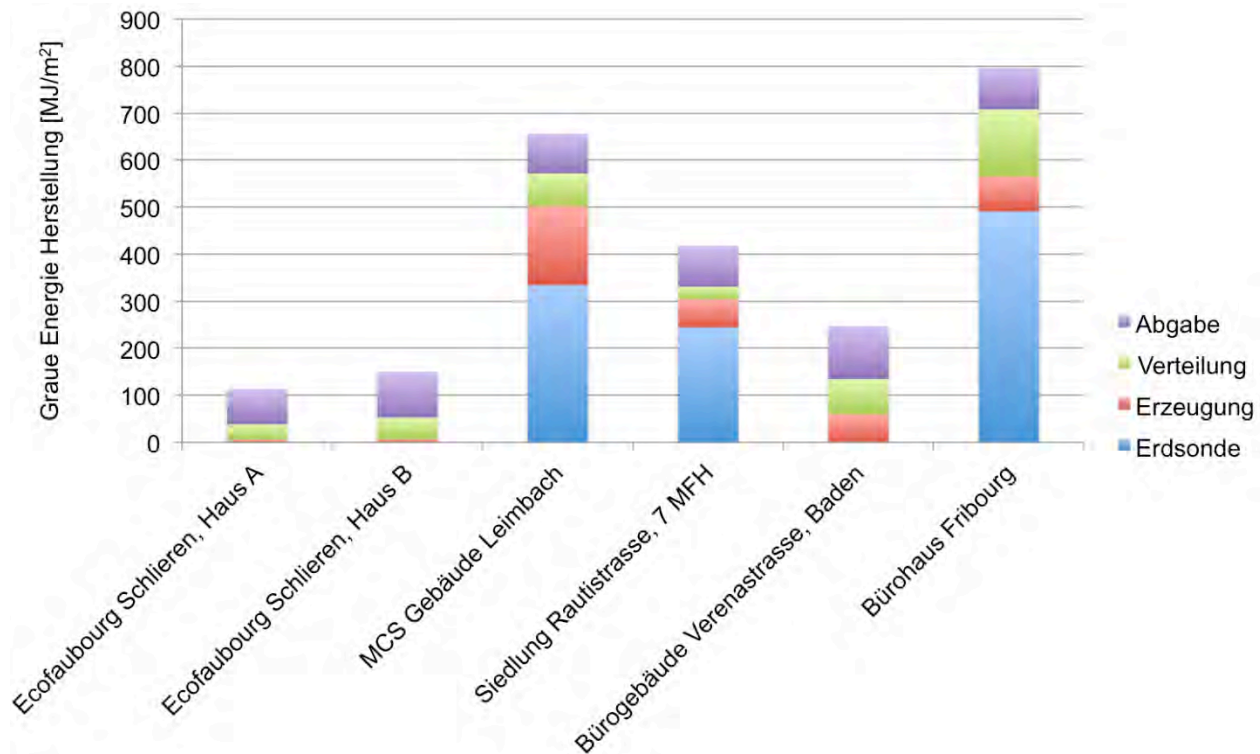


Abbildung 68: Graue Energie Herstellung

Abgesehen von den Resultaten für die Siedlung Rautistrasse und dem Bürogebäude in Baden korreliert die Graue Energie recht gut mit der Massenbilanz. Dies ist in Abbildung 69 ersichtlich. Bei zunehmendem Gewicht der Anlagen pro m^2 EBF steigt auch die flächenbezogene Graue Energie. Wie schon im Abschnitt 4.2.1 erwähnt, ist der Kunststoffanteil der Wärmeanlagen bei der Siedlung Rautistrasse mit über 50% höher als bei den anderen Gebäuden. Deshalb ist trotz des vergleichsweise geringen Gewichts der Anlagen pro m^2 EBF die Graue Energie relativ hoch. Beim Bürogebäude in Baden hingegen ist, aufgrund des Abgabesystems über Heizkühldecken aus Kupfer und Aluminium, vor allem der Metallanteil dominant. Das auf die EBF bezogene Gesamtgewicht der Anlagen ist deshalb relativ hoch, wobei die Metalle in Bezug auf die Graue Energie weniger intensiv sind in der Herstellung als Kunststoffe.

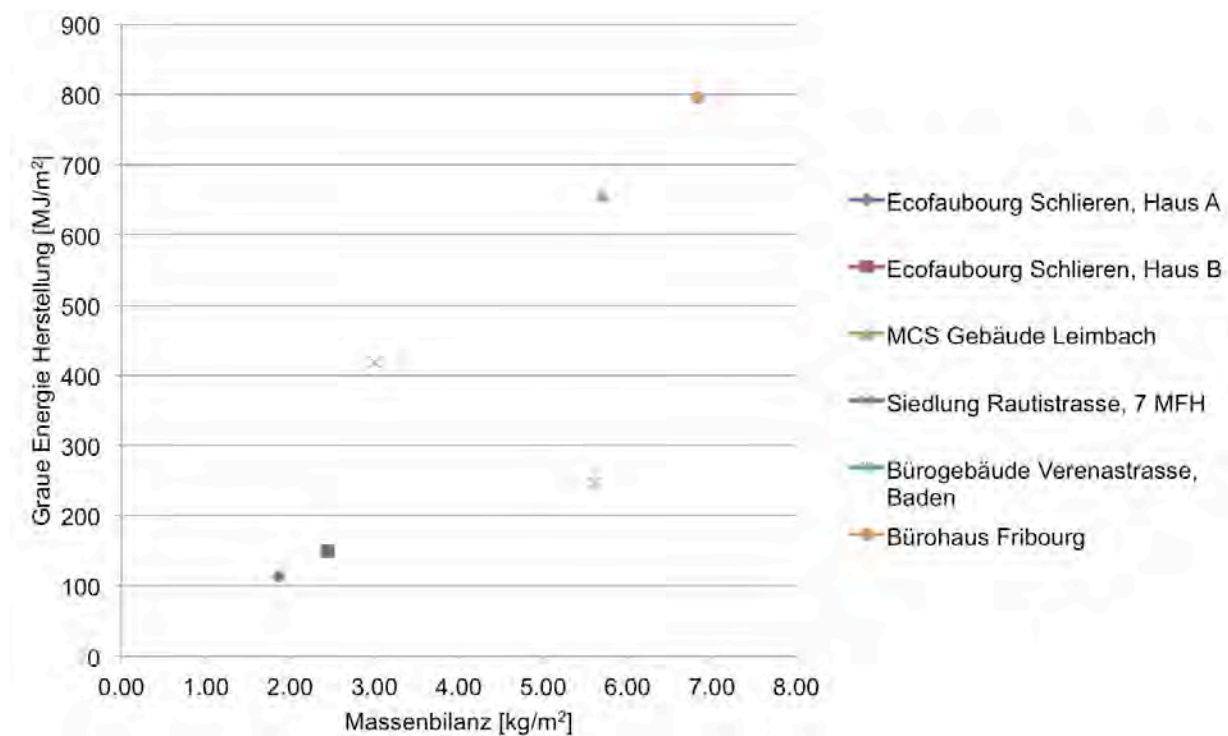


Abbildung 69: Korrelation Massenbilanz und Graue Energie

Bei den Treibhausgasemissionen sind in Bezug auf die Herstellung der Anlagen die Anteile von Erdsonde, Erzeugung, Verteilung und Abgabe ähnlich wie bei der Grauen Energie. Während die Entsorgung jedoch bei der Grauen Energie einen geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat, ist sie bei den Treibhausgasemissionen bedeutender. Dafür verantwortlich sind vor allem die Entsorgung der Kunststoffanteile durch Verbrennung (insbesondere bei der Abgabe über Fussbodenheizung) und die Behandlung der Wärmeträgerflüssigkeit der Erdsonden (siehe Abbildung 70).

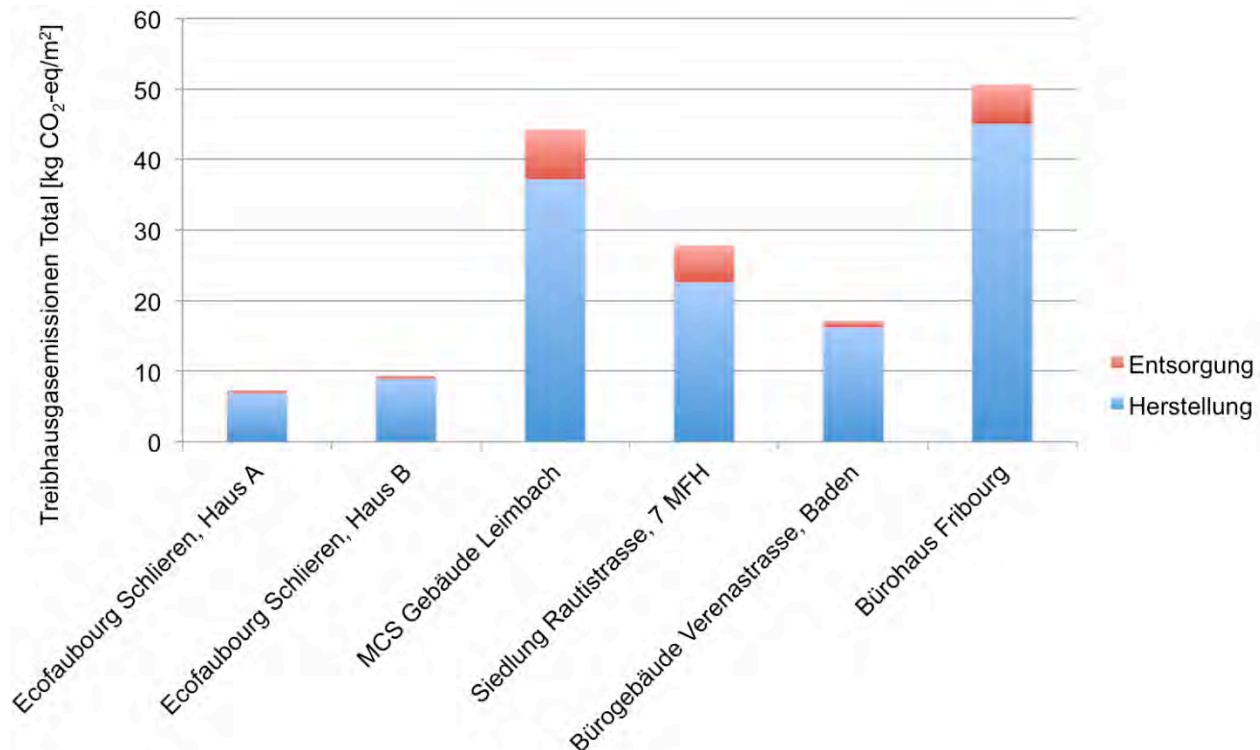


Abbildung 70: Treibhausgasemissionen Herstellung und Entsorgung

Ein ähnlicher Einfluss hat die Entsorgung der Wärmeanlagen bei den Umweltbelastungspunkten. Für die Herstellung zeigen sich bei den UBP im Vergleich zu den anderen Indikatoren gewisse Abweichungen. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Metalle wie Aluminium und Kupfer bei der Herstellung, neben dem Verbrauch von nicht-erneuerbaren Energieträgern und den Treibhausgasemissionen, weitere relevante Umweltbelastungen generieren. Bedingt durch die Abgabe über Heizkühldecken mit Kupferrohren und Wärmeleitschienen aus Aluminium, generiert die Herstellung der Wärmeanlagen für das Bürogebäude in Baden mit fast 59'000 UBP beinahe soviel Umweltbelastungspunkte wie die Anlagen im Bürogebäude in Fribourg (siehe Abbildung 71). Hingegen sind die Resultate bezüglich Grauer Energie und Treibhausgasemissionen beim Bürogebäude in Baden deutlich tiefer als bei jenem in Fribourg.

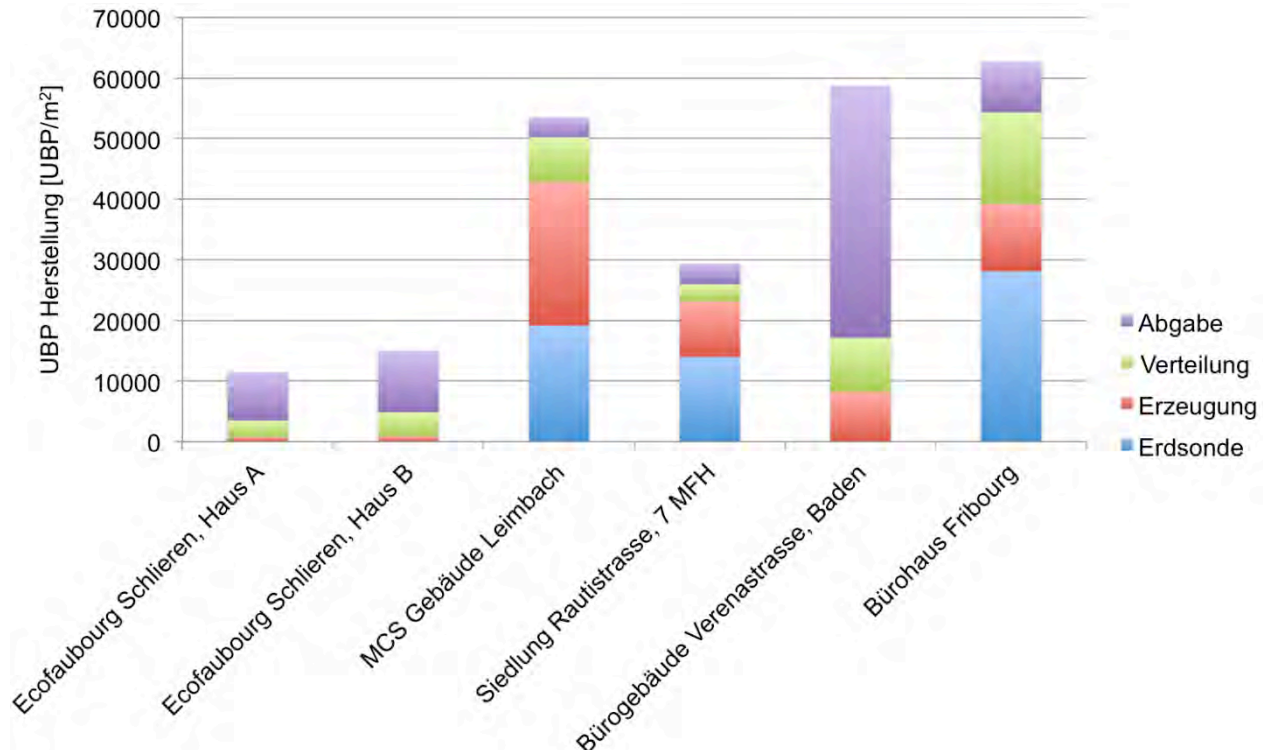


Abbildung 71: Umweltbelastungspunkte Herstellung

Erzeugung

Aufgrund ihrer grossen Relevanz werden hier die Erdsonden, wie schon im Kapitel der Massenbilanzen, getrennt von der Erzeugung ausgewiesen. Die Graue Energie für die Herstellung der Erdsonden ist direkt proportional zur Sondenlänge. Diese reicht bei den untersuchten Anlagen von 0.5 m pro m² EBF bei der Siedlung Rautistrasse bis zu 1 m pro m² EBF beim Bürogebäude in Fribourg. Dies ist u.a. dadurch bedingt, dass die spezifische Entzugsleistung der Erdsonden beim Bürogebäude mit 26 W/m' deutlich tiefer ist als bei der Siedlung Rautistrasse (38 W/m'). Dementsprechend variiert die Graue Energie der Erdsonde auch um einen Faktor 2 von 244 MJ/m² (Rautistrasse) bis zu 491 MJ/m² (Bürogebäude Fribourg). Die Graue Energie für 0.7 m Sonde pro m² EBF beim MCS Gebäude in Leimbach beträgt 334 MJ/m² (siehe Abbildung 72). Ein Vergleich der Grauen Energie der Erdsonden mit dem jeweiligen spezifischen Wärmeleistungsbedarf der untersuchten Gebäude zeigt keinen Zusammenhang. Die Siedlung Rautistrasse mit dem höchsten spezifischen Wärmeleistungsbedarf (26.7 W/m²) hat zugleich den niedrigsten Wert für die Graue Energie der Erdsonden pro m² EBF. Ebenso liegen die Werte der Grauen Energie für die Erdsonden in den Gebäuden Leimbach und Fribourg trotz einem ähnlichen spezifischen Wärmeleistungsbedarfs (MCS Gebäude 19 W/m², Bürogebäude Fribourg 20 W/m²) relativ weit auseinander (siehe Abbildung 73).

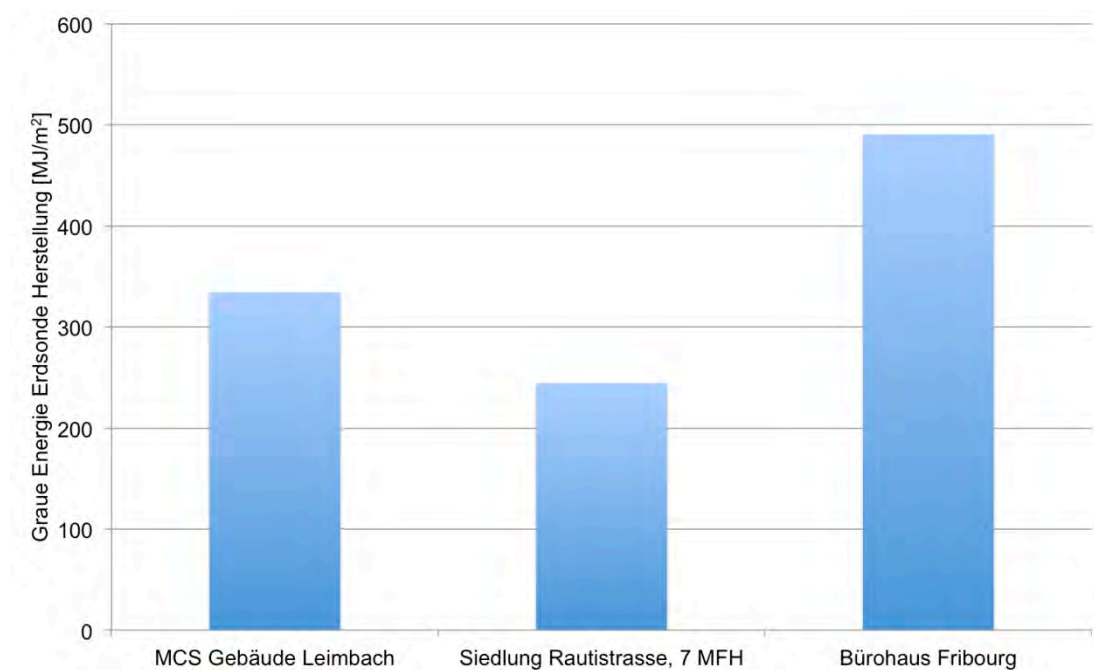


Abbildung 72: Graue Energie Erdsonden Herstellung

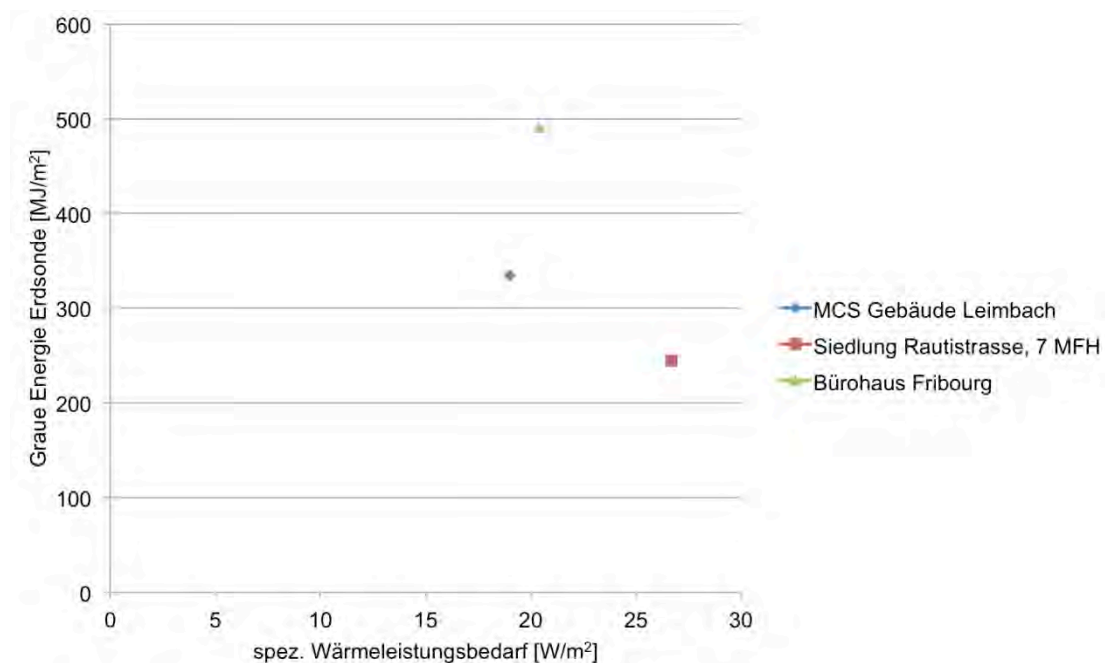


Abbildung 73: Graue Energie Erdsonde und spezifischer Wärmeleistungsbedarf

Die Häuser A und B der Siedlung Ecofaubourg in Schlieren werden mit Fernwärme beheizt. Deshalb ist der Beitrag der Erzeugung zum Total der Grauen Energie der Wärmeanlagen relativ gering und liegt zwischen 5 bis 7 MJ/m² EBF. Die anderen Gebäude (MCS Gebäude, Siedlung Rautistrasse, Bürogebäude Fribourg) werden mit Erdsonden und Wärmepumpen beheizt. Im

Bürogebäude in Baden erfolgt die Wärmeerzeugung mit einer Grundwasserwärmepumpe. Die Graue Energie der Systemkomponenten welche hier unter Erzeugung zusammengefasst werden, betrifft die Anlagenteile der Erzeugung exklusive der Erdsonden (siehe Kapitelanfang). Abbildung 74 zeigt, dass die Graue Energie dieser Anlagenteile bei den analysierten Gebäuden stark variiert. Sie ist beim MCS Gebäude mehr als doppelt so hoch (168 MJ/m^2) als bei den anderen untersuchten Anlagen. Dies ist vor allem durch das vergleichsweise hohe Gewicht der Wärmepumpe im MCS Gebäude, durch Rohrleitungen, einen Heizungsspeicher und einen Schaltschrank bedingt. Bei den anderen Gebäuden mit Wärmepumpen liegt die Graue Energie der Erzeugung bei ca. 60 MJ/m^2 (Siedlung Rautistrasse und Bürogebäude Baden) bis 74 MJ/m^2 (Bürogebäude Fribourg).

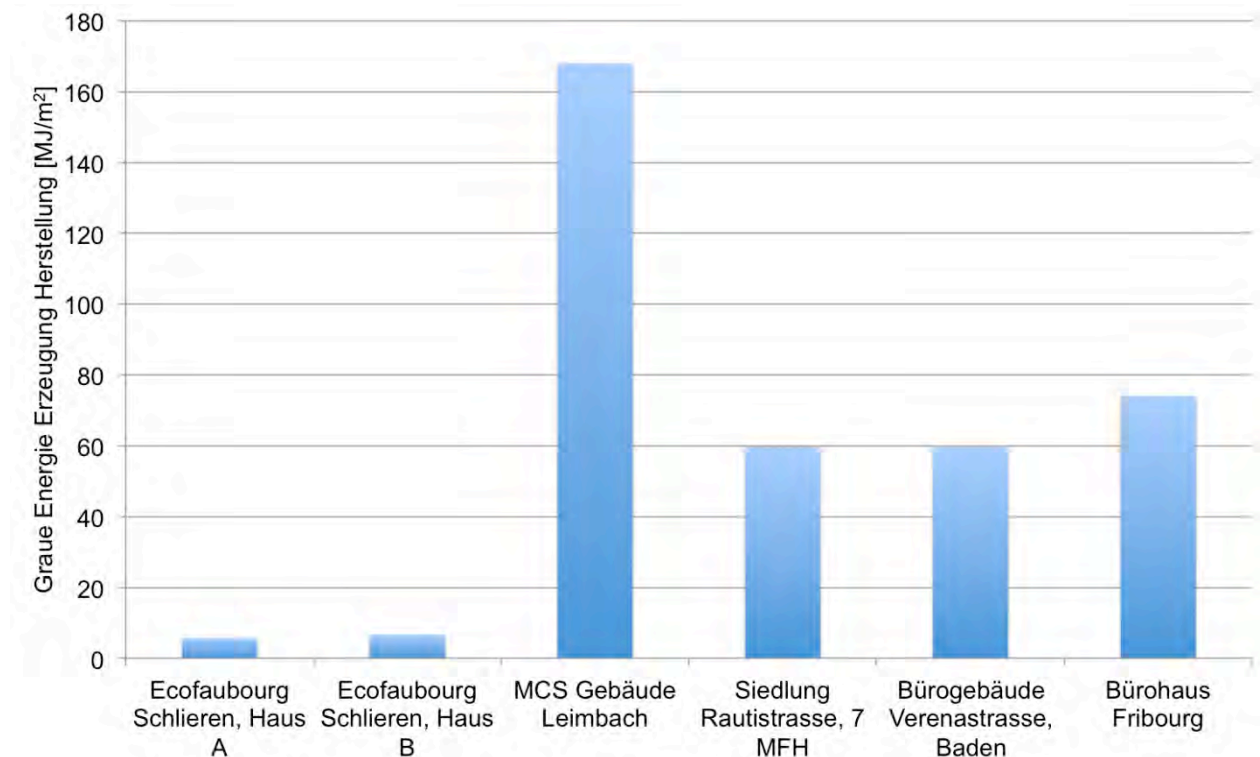


Abbildung 74: Graue Energie Erzeugung Herstellung

Wie schon bei den Erdsonden lässt sich bei der Erzeugung mit Wärmepumpe auch kein Zusammenhang zwischen spezifischem Wärmeleistungsbedarf und der Grauen Energie herstellen. Die Siedlung Rautistrasse mit dem höchsten spezifischen Wärmeleistungsbedarf, hat zugleich auch die geringste Graue Energie für die Erzeugung pro m^2 EBF.

Verteilung

Die Graue Energie der Verteilung pro m^2 EBF in Abbildung 75 korreliert recht gut mit den Resultaten der Massenbilanz (vergleiche Abbildung 61). Die Materialisierung der Verteilung unterscheidet sich abgesehen von gewissen Abweichungen in Bezug auf die eingesetzten Dämm-

stoffe und Umhüllungen wenig. Die in Bezug auf die Masse relevantesten Systemkomponenten der Verteilung sind die Stahlrohre.

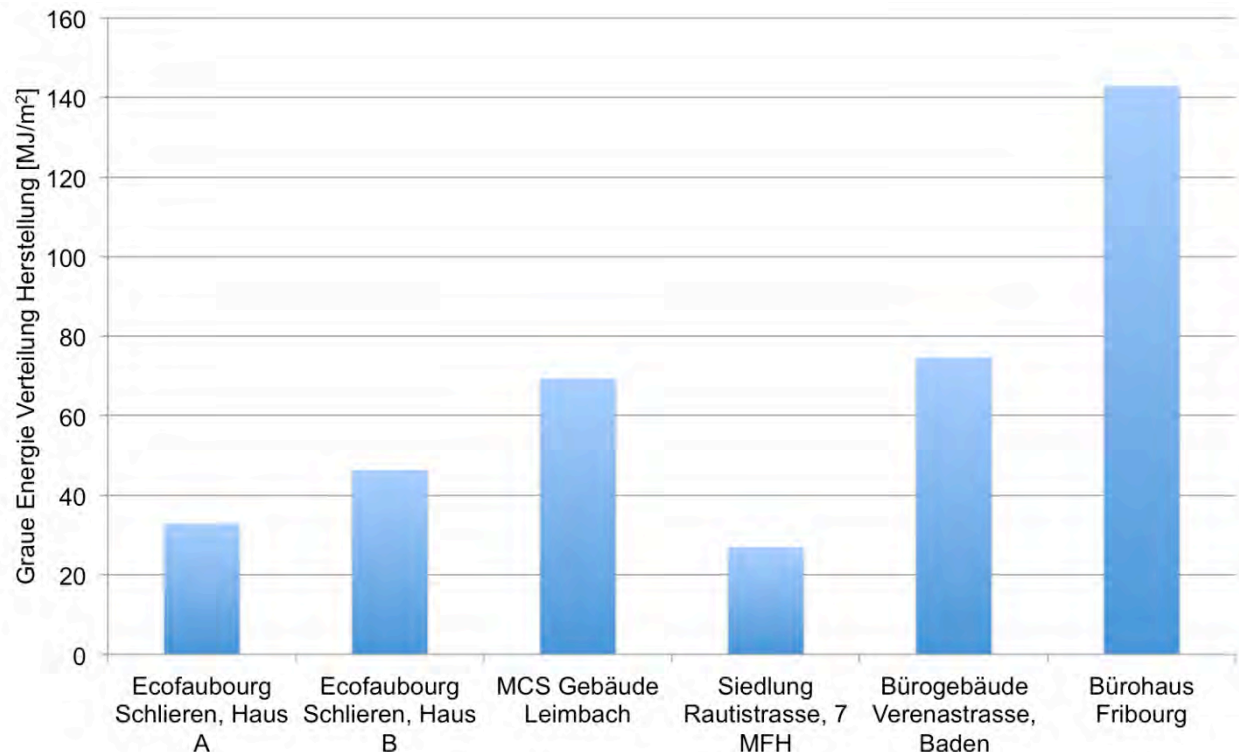


Abbildung 75: Graue Energie Verteilung Herstellung

Von den untersuchten Wohngebäuden weist die Siedlung Rautistrasse für die Verteilung den niedrigsten Wert für die Graue Energie auf (27 MJ/m^2). Gemäss den Bemerkungen in 4.2.1 dürfte dies teilweise durch die Wohnungsgrösse beeinflusst sein. Jede Wohnung muss separat erschlossen werden und je grösser die Wohnungen sind, desto geringer ist die Graue Energie der Verteilung pro m^2 EBF. Die durchschnittliche Wohnungsgrösse an der Rautistrasse ist mit 134.6 m^2 von den untersuchten Objekten am grössten. Gleichzeitig sind beim MCS Gebäude die Wohnungen mit 82.8 m^2 am kleinsten und die Graue Energie für die Verteilung mit 69.3 MJ/m^2 am grössten. Die Graue Energie für die Verteilung ist mit 32.9 MJ/m^2 beim Haus A von Ecofaubourg Schlieren bei einer durchschnittlichen Wohnungsgrösse von 107.5 m^2 geringer als beim Haus B mit den etwas grösseren Wohnungen (132.6 m^2 , 46.3 MJ/m^2). In diesem Fall stimmt der Zusammenhang zwischen Wohnungsgrösse und Grauer Energie der Verteilung nicht überein. Die Graue Energie der Verteilung bei den Bürogebäuden ist im Mittel höher als bei den Wohngebäuden. Vor allem beim Bürogebäude in Fribourg ist sie mehr als doppelt so hoch wie bei den Wohngebäuden. Wie schon im Kapitel 4.2.1 bemerkt wurde, dürfte dies auch teilweise mit der Devisierung zusammenhängen. Bei den Bürogebäuden waren in den Auszügen von den Wärmeanlagen auch die Kälteverteilung und –Abgabe enthalten. Jedoch trägt dies auch der Tatsache Rechnung, dass im Bürobau die Aufwendungen für die Kühlung höher sind als im Wohnungsbau, wo allenfalls eine Freie Kühlung zum Einsatz kommt. Die Systemkomponenten für die Freie Kühlung waren in den Auszügen vom MCS Gebäude und der Siedlung Rautistrasse vorhanden.

Abgabe

Die Resultate für die Graue Energie der Abgabe pro m^2 EBF liegen bei den untersuchten Anlagen zwischen 74 und 113 MJ/m^2 (siehe Abbildung 76). Bei den Wohngebäuden erfolgt die Abgabe bei den Häusern der Siedlung Ecofaubourg über Radiatoren. Die Gebäude in Leimbach und an der Rautistrasse verfügen über Fussbodenheizungen. Zwar haben die Radiatoren bezogen auf die EBF eine höhere Masse (vergleiche Abbildung 65) jedoch haben die Fussbodenheizungsrohre und die Befestigung aus Kunststoff pro Masseneinheit eine höhere Graue Energie. Somit ergibt sich für die Abgabe über Radiatoren (Haus A 74.9 MJ/m^2 , Haus B 97.1 MJ/m^2) im Vergleich zur Abgabe über Fussbodenheizung (MCS Gebäude 84.6 MJ/m^2 , Siedlung Rautistrasse 86.8 MJ/m^2) im Schnitt ein vergleichbares Resultat pro m^2 EBF. Die Gebäude der Siedlung Ecofaubourg haben einen ähnlichen spezifischen Wärmeleistungsbedarf (Haus A 9 W/m^2 , Haus B 10 W/m^2). Es ist deshalb schwierig die Abhängigkeit von der Grauen Energie vom spezifischen Wärmeleistungsbedarf zu bewerten. Die Abgabe im Bürogebäude in Fribourg erfolgt über Fussbodenheizung und Konvektoren. Das Resultat für die Graue Energie liegt im Bereich der untersuchten Wohngebäuden (88.2 MJ/m^2). Die Abgabe über Heizkühldecke im Bürogebäude in Baden weist mit 113 MJ eine etwas höhere Graue Energie pro m^2 EBF auf als die anderen Abgabesysteme. Dies ist durch die energieintensivere Materialisierung der Heizkühldecken (Kupferrohre und Wärmeleitschienen aus Aluminium) bedingt. Die EBF bezogene Masse der Kupferrohre und der Wärmeleitschienen ist vergleichbar mit jener der Abgabesysteme über Heizkörper.

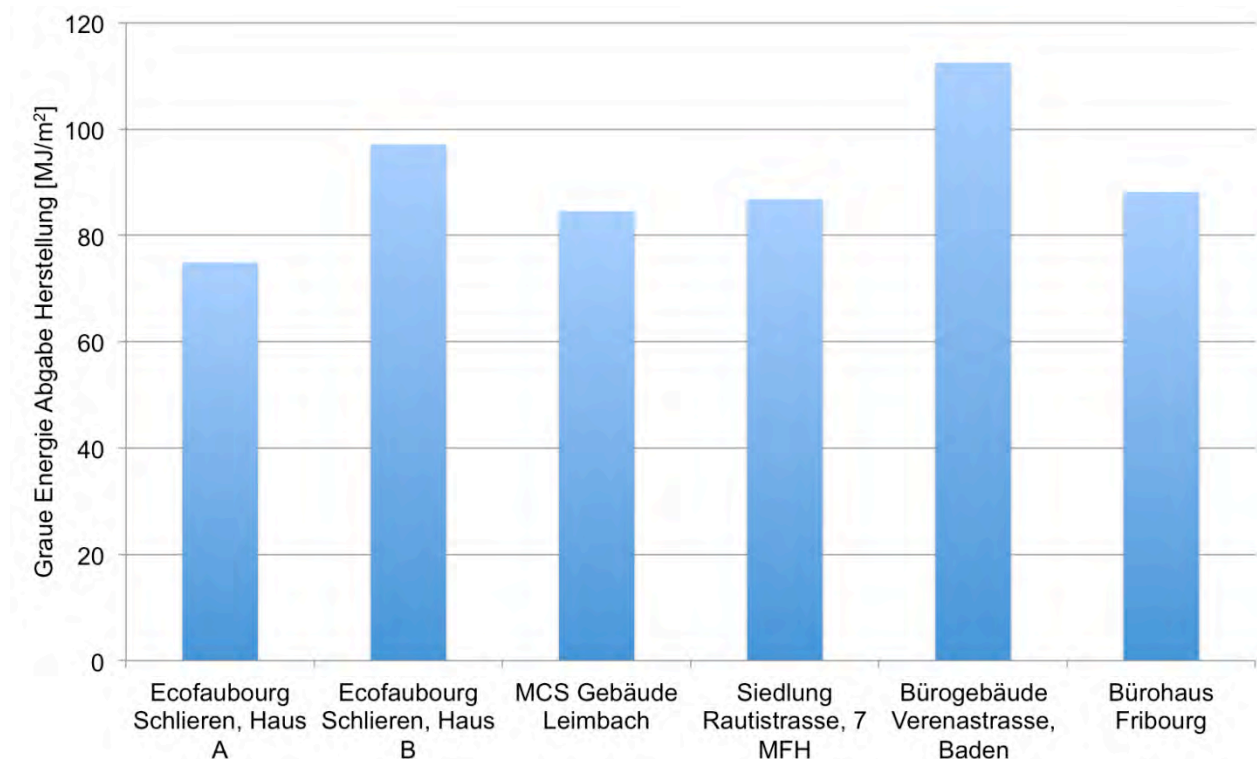


Abbildung 76: Graue Energie Abgabe Herstellung

4.2.3 Einflussgrössen

Bei den untersuchten Wärmeanlagen mit Erdsonden, machen die Erdsonden fast 50% oder mehr der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen aus. Bei den Umweltbelastungspunkten liegt ihr Anteil am Gesamtergebnis zwischen 35% und 50% und damit etwas tiefer. Ein Vergleich der Ökobilanzzahlen der Wärmeerzeugung (Erdsonde und Wärmepumpen) mit dem spezifischen Wärmeleistungsbedarf der untersuchten Gebäude zeigt keinen Zusammenhang zwischen diesen beiden Grössen. Die Erdsondenlänge und das Gewicht der restlichen Systemkomponenten der Erzeugung pro m^2 EBF sind von der Art der Auslegung, der Erdreichbeschaffenheit und Systemtemperaturen abhängig, welche in dieser Studie nicht näher analysiert werden konnten. Bei bivalenten Anlagen oder solchen mit mehreren Sonden, wie sie in dieser Studie untersucht wurden, müssen die Sonden in der Regel länger dimensioniert werden. Deshalb ist die Graue Energie der Erdsonden der bilanzierten Anlagen im Vergleich zu den Daten aus der KBOB-Liste 2012 [1] deutlich höher. Die Daten für die Graue Energie von Erdsonden in ecoinvent v2.2 und in der KBOB-Liste 2012 beziehen sich auf Einfamilienhäuser mit Erdsonden deren spezifische Entzugsleistungen bei 55 W/m^2 respektive 37 W/m^2 liegen. Die Erdsonden der untersuchten Anlagen hingegen weisen eine spezifische Entzugsleistung zwischen 26 bis 38 W/m^2 auf. Bei der energetischen Betrachtung von Erdsonden ergeben sich gegenläufige Tendenzen zwischen der Herstellung und dem Betrieb. Für einen effizienten Betrieb sollte die Erdsonde möglichst lang dimensioniert sein, gleichzeitig erhöht dies aber die Graue Energie der Herstellung sowie auch die Kosten, da diese proportional zur Erdsondenlänge sind.

Bei der Verteilung zeigt sich unter Einbezug der Resultate aus dem Vorgängerprojekt ein deutlicher Unterschied zwischen den Nutzungen Wohnen und Büro. Die Aufwendungen hinsichtlich Massen- und Ökobilanz sind bei den Bürogebäuden in Bezug auf die EBF grösser als bei den Wohngebäuden. Bei den untersuchten Wohngebäuden lässt sich einen gewissen Zusammenhang zwischen den Resultaten der Ökobilanzen und der durchschnittlichen Wohnungsgrösse sowie der Kompaktheit der Gebäude (Gebäudehüllzahl) herstellen. Die Aufwendungen für die Verteilung pro m^2 EBF sind bei kleineren Wohnungen und bei geringerer Kompaktheit der Gebäudehülle tendenziell grösser.

Die Resultate für die Abgabe über Fussbodenheizung weichen kaum voneinander ab. Sie sind bezogen auf die EBF relativ konstant und nicht vom spezifischen Wärmeleistungsbedarf abhängig. Die Abgabe über Heizkörper hingegen ist höchstwahrscheinlich vom spezifischen Wärmeleistungsbedarf abhängig. Dies konnte aber, bedingt durch die geringe Anzahl der untersuchten Gebäude, nicht genauer untersucht werden.

4.2.4 Vergleich mit den KBOB-Daten

Um die Ökobilanzen der untersuchten Gebäude mit den Zahlen aus der KBOB-Liste [1] zu vergleichen, wurden die Gebäude mit den KBOB-Durchschnittswerten für Wärmeanlagen bilanziert. Die in der KBOB-Liste vorhandenen Daten sind:

- 3 Datensätze für Erdsonden für einen spez. Wärmeleistungsbedarf von 10 , 30 und 50 W/m^2 , Werte pro m^2 EBF
- 3 Datensätze für die Wärmeerzeugung für einen spez. Wärmeleistungsbedarf von 10 , 30 und 50 W/m^2 , Werte pro m^2 EBF

- 3 Datensätze für die Verteilung und Abgabe über Radiatoren für einen spez. Wärmeleistungsbedarf von 10, 30 und 50 W/m², Werte pro m² EBF
- 1 Datensatz für die Verteilung und Abgabe über Fussbodenheizung, Wert pro m² EBF

Tabelle 18 zeigt die Datensätze der KBOB-Liste mit denen die untersuchten Gebäude bilanziert wurden.

Tabelle 18: Bilanzierung mit KBOB-Daten

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rautistrasse, 7 MFH	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
Spez. Wärmeleistungsbedarf [W/m ²]	9	10	19	26.7	7	20
Erdsonde	–	–	Mittelwert aus Erdsonde für spez. Wärmeleistungsbedarf von 10 und 30 W/m ²	Erdsonde für spez. Wärmeleistungsbedarf von 30 W/m ²	–	Mittelwert aus Erdsonde für spez. Wärmeleistungsbedarf von 10 und 30 W/m ²
Erzeugung	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 10 W/m ²	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 10 W/m ²	Mittelwert aus Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 10 und 30 W/m ²	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 30 W/m ²	Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 10 W/m ²	Mittelwert aus Wärmeerzeuger, spez. Leistungsbedarf 10 und 30 W/m ²
Verteilung und Abgabe	Wärmeverteilung, Radiatoren, spez. Leistungsbedarf 10 W/m ²	Wärmeverteilung, Radiatoren, spez. Leistungsbedarf 10 W/m ²	Wärmeverteilung, Fussbodenheizung	Wärmeverteilung, Fussbodenheizung	Wärmeverteilung, Radiatoren, spez. Leistungsbedarf 10 W/m ²	Mittelwert aus Wärmeverteilung, Fussbodenheizung und Wärmeverteilung, Radiatoren, spez. Leistungsbedarf 30 W/m ²

Abbildung 77 vergleicht die Resultate der Wärmeanlagen, so wie sie im vorliegenden Projekt berechnet wurden, mit den Ergebnissen der Berechnung mit Durchschnittswerten aus der KBOB-Liste. Dargestellt ist die Graue Energie für die Herstellung der Wärmeanlagen pro m² EBF. Für die Häuser der Siedlung Ecofaubourg und Rautistrasse liefert die vereinfachte Berechnungsweise ähnliche Ergebnisse. Beim MCS Gebäude und bei den Bürogebäuden in Baden und Fribourg ergeben sich jedoch grössere Abweichungen. Diese werden grösstenteils durch unterschiedliche Werte bei den Erdsonden verursacht. Die Erdsondenlänge pro m² EBF bei den untersuchten Gebäuden korreliert nicht mit dem spezifischen Wärmeleistungsbedarf. Die Daten für Erdsonden in der KBOB-Liste hingegen sind nach dem spezifischen Wärmeleistungsbedarf differenziert und ergeben für das Wohngebäude in Leimbach und das Bürogebäude in Fribourg deutlich tiefere Resultate. Die Abweichungen beim Bürogebäude in Baden sind vor allem auf die Abgabe und Verteilung zurückzuführen. Einen Wert für die Abgabe über Heizkühl-

decken gibt es in der KBOB-Liste noch nicht. Deshalb wurde die Heizkühldecke in der vereinfachten Berechnungsweise mit den Daten für eine Abgabe über Radiatoren berechnet, was zu deutlich niedrigeren Werten der Grauen Energie führt. Bei den Gebäuden in Leimbach und Baden ergeben sich auch in Bezug auf die Erzeugung deutliche Abweichungen zwischen den Resultaten der exakten und vereinfachten Berechnungsweise.

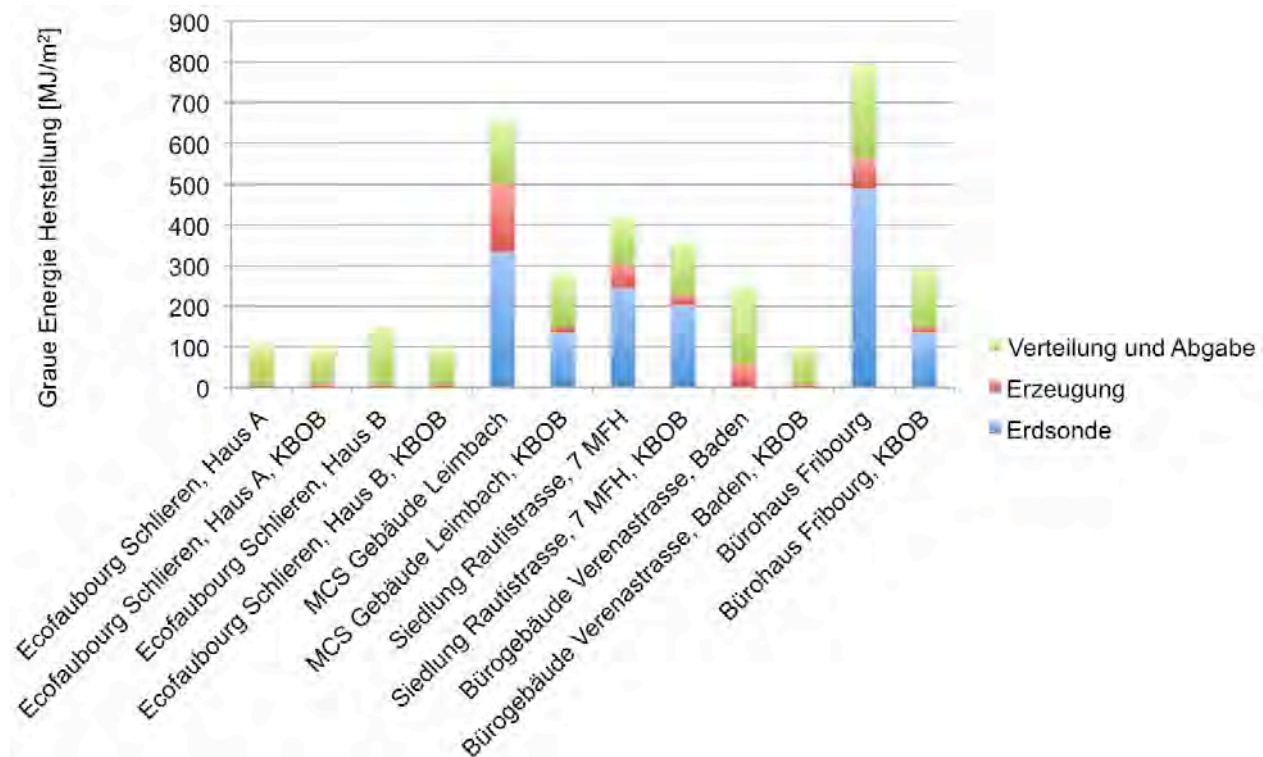


Abbildung 77: Vergleich Berechnung mit KBOB-Daten für Wärmanlagen

5 Fazit

5.1 Lüftungsanlagen

Die Ökobilanzzahlen der untersuchten Lüftungsanlagen zeigen, dass mit den bestehenden Daten nach KBOB die Umweltbelastung aus der Erstellung der Lüftungsanlagen stark unterschätzt wird. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass die spezifische Luftmenge pro m² EBF unter Einbezug aller Anlagen (inkl. z.B. Garagenlüftungen) sehr hoch sein kann (Werte von bis über 6 m³/(h m²) waren in den Projekten vorhanden). Dadurch sind grosse Kanalquerschnitte erforderlich, welche zu einem hohen Materialbedarf bei der Luftverteilung führen.

Im Weiteren können insbesondere die Anordnung der zentralen Lüftungsgeräte im UG und die damit verbundenen horizontalen Verfahrwege einen wesentlichen Einfluss auf das Resultat haben. Auch können Entscheide wie die Anlage bezüglich der Erfüllung von Brandschutzanfor-

derungen konzipiert wird, einen wesentlichen Einfluss auf den Materialbedarf für die Luftverteilung und den Umfang der Ausrüstung mit Brandschutzdämmung haben.

Bei den Lüftungsgeräten zeigt sich, dass die bei grösseren Anlagen meist zum Einsatz kommenden modularen Geräte deutlich schwerer sind als die Kompaktgeräte, welche mit den bisherigen Daten abgebildet wurden.

Je nach dem ob eine Anlage auf optimale Energieeffizienz (also mit grosszügig ausgelegten Geräten und Kanälen) oder kostenoptimiert in Bezug auf Leitungen und Geräte, welche die Mindestanforderungen einhalten, ausgelegt sind, bestehen grosse Unterschiede im Hinblick auf eine ökologische Bilanzierung. Für eine konsequente Betrachtung dieses Punktes müsste jedoch auch der Betriebsenergiebedarf einbezogen werden, welcher bei grosszügiger Auslegung durch die geringeren Druckverluste deutlich sinkt.

Da die Luftverteilung (Kanäle, Rohre, Dämmung) bei den untersuchten Anlagen meist etwa 70% oder mehr der Gesamtmasse ausgemacht haben, kommt einer Anlagenoptimierung bezüglich der Luftverteilung ein grosses Gewicht zu. Dabei kommt dem Konzept (z.B. Sammelkanäle versus Führung als parallele Einzelstränge) und der Ausführung (Form der verwendeten Kanäle) eine wesentliche Bedeutung zu.

Da die spezifische Luftmenge pro m^2 Energiebezugsfläche je nach Nutzungsmix sehr stark variieren kann, ist als spezifischer Wert ein Kennwert pro m^3/h Nennluftmenge (Planungswert) am besten geeignet um eine grobe Einschätzung eines Projekts zu treffen. Dieser Wert kann bei bekanntem Flächen- und Nutzungsmix relativ einfach durch den Lüftungsplaner definiert werden. Für die auf m^2 EBF bezogenen mittleren Anlagenwerte der KBOB-Liste sind daher Datensätze mit unterschiedlichen spezifischen Luftmengen zur Verfügung zu stellen.

5.2 Wärmeanlagen

Die Ökobilanzzahlen der untersuchten Wärmeanlagen ausgewertet pro m^2 EBF variieren sehr stark.

Bei den untersuchten Wärmeanlagen mit Erdsonden, machen die Erdsonden fast 50% oder mehr der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen aus. Es zeigte sich jedoch kein Zusammenhang zwischen der Ökobilanzzahlen der Wärmeherzeugung (Erdsonde und Wärmepumpen) und dem spezifischen Wärmeleistungsbedarf der untersuchten Gebäude. Die Erdsondenlänge und das Gewicht der restlichen Systemkomponenten der Erzeugung pro m^2 EBF sind von der Art der Auslegung, der Erreichbarkeitsbeschaffenheit und Systemtemperaturen abhängig, welche in dieser Studie nicht näher analysiert werden konnten. Es hat sich gezeigt, dass die spezifische Entzugsleistung der Erdsonden deutlich tiefer sein kann als in vorgängigen Untersuchungen angenommen wurde. Bei der energetischen Betrachtung von Erdsonden ergeben sich gegenläufige Tendenzen zwischen der Herstellung und dem Betrieb. Für einen effizienten Betrieb sollte die Erdsonde möglichst lang dimensioniert sein, gleichzeitig erhöht dies aber die Graue Energie der Herstellung sowie auch die Kosten, da diese proportional zur Erdsondenlänge sind.

Bei der Verteilung zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Nutzungen Wohnen und Büro. Die Aufwendungen sind bei den Bürogebäuden pro m^2 EBF grösser als bei den Wohngebäuden. Bei den Wohngebäuden lässt sich einen gewissen Zusammenhang zwischen den Re-

sultaten der Ökobilanzen und der durchschnittlichen Wohnungsgrösse sowie der Kompaktheit der Gebäude (Gebäudehüllzahl) herstellen. Die Resultate für die Abgabe über Fussbodenheizung sind bezogen auf die EBF relativ konstant und nicht vom spezifischen Wärmeleistungsbedarf abhängig.

6 Empfehlung

6.1 Lüftungsanlagen

Aufgrund der untersuchten Gebäude und festgestellten Zusammenhänge wird vorgeschlagen, die aktuellen Ökobilanzdaten für Lüftungsanlagen der KBOB-Liste [1] wie folgt zu ergänzen:

- Lüftungsrohre und Lüftungskanäle: Gebräuchliche Blechstärken- und Materialvarianten mit Bezug auf 1 m² Oberfläche
- Dämmungen zu Lüftungskanälen: Unterschieden in 3 Dämmstärken sowie mit verschiedenen Verkleidungen. Zusätzlich 2 Datensätze zu Brandschutzdämmungen (EI30, EI 60). Bezug pro 1 m² Oberfläche des Lüftungskanals
- Lüftungsgeräte: Unterscheidung zwischen Einzelgerät (z.B. Garagenfortluft) und Gerät mit WRG, Evtl. Reduktion auf Mittelwert unabhängig vom WRG-Typ für Anlagengrösse 1800 m³/h und 6700 m³/h. Separate Bilanzierung der Schalldämpfer, da in Projekten unterschiedlich einbezogen. Bezugsgrösse für KBOB sinnvollerweise pro m³/h Auslegungsluftmenge
- Einfaches Ventilatormodul mit 1 Ventilator (Radialventilator mit Riemenantrieb), Gliederklappe und Luftfilter im Ansaug
- Schalldämpfer für Lüftungsgerät mit Zu- und Abluftventilator bzw. einfaches Ventilatormodul als eigener Datensatz, da Verwendung sehr projektspezifisch erfolgt
- Abbildung allgemeiner Anlagenkomponenten mit Mittelwert pro m² EBF
- Allgemeinen Datensätze für Büros (pro m² EBF) ersetzen / ergänzen durch neue Datensätze für 1, 2, 4, 6, und 8 m³/(h m²) da bisherige Daten die Aufwände unterschätzen

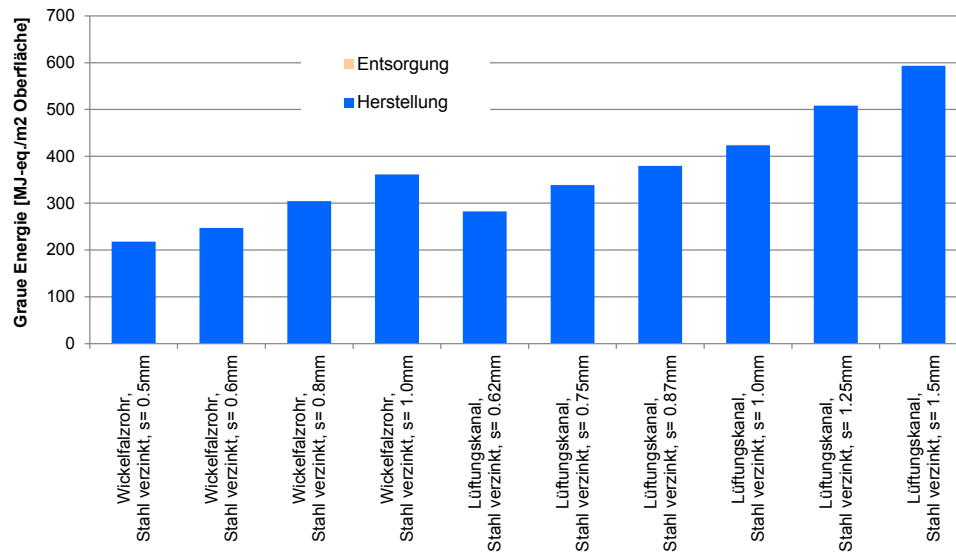


Abbildung 78: Datensätze für Lüftungsrohre und Kanäle [pro m² Oberfläche]

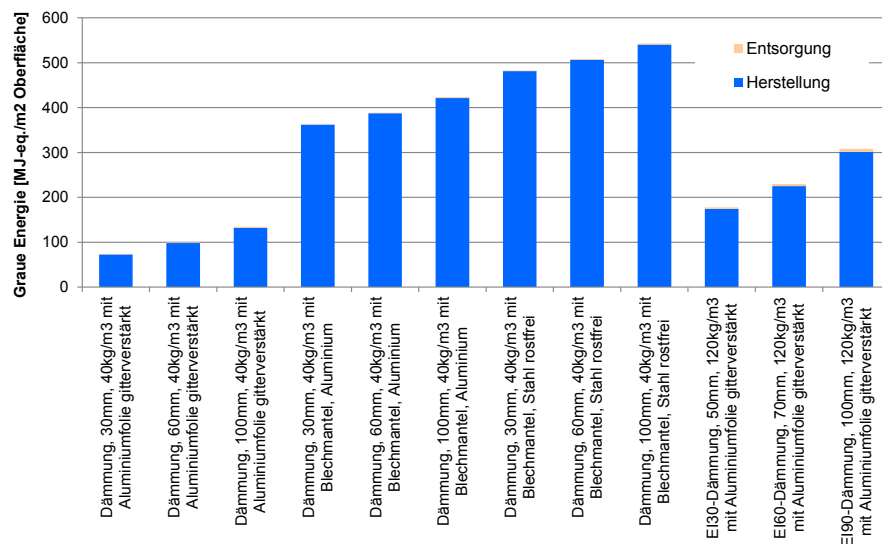


Abbildung 79: Datensätze für Dämmungen von Lüftungsleitungen [pro m² Oberfläche]

Für die Luftverteilung sind die in Abbildung 78 und Abbildung 79 dargestellten Datensätze für eine Bilanzierung der Anlagen wesentlich und sollten daher auch in der KBOB-Liste Eingang finden. Bei den Lüftungsgeräten sind die Differenzen zwischen den Arten der Wärmerückgewinnung mit 15-25% nicht allzu gross (siehe Abbildung 80). Hier kann ein mittlerer Datensatz für kleine (1'800 m³/h) und grosse (6'700 m³/h) Geräte sinnvoll sein. Um auch einfache Garagenventilatoren und Anlagen mit grossen Schalldämpfern abbilden zu können, sollte das entsprechende Einzelgerät und der zugehörige Schalldämpfer ebenfalls aufgenommen werden. Um die Skalierung einfacher zu machen wird als Bezugsgrösse 1 m³/h Luftmenge vorgeschlagen.

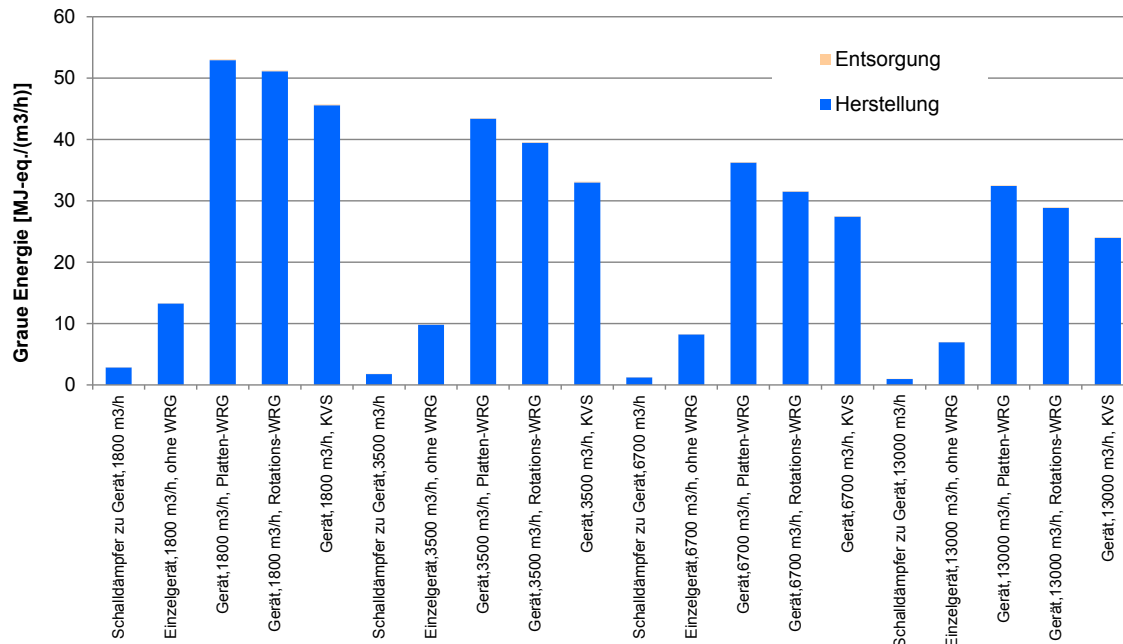


Abbildung 80: Datensätze für Lüftungsgeräte [pro m³/h Luftmenge bei 2 m/s Anströmgeschwindigkeit]

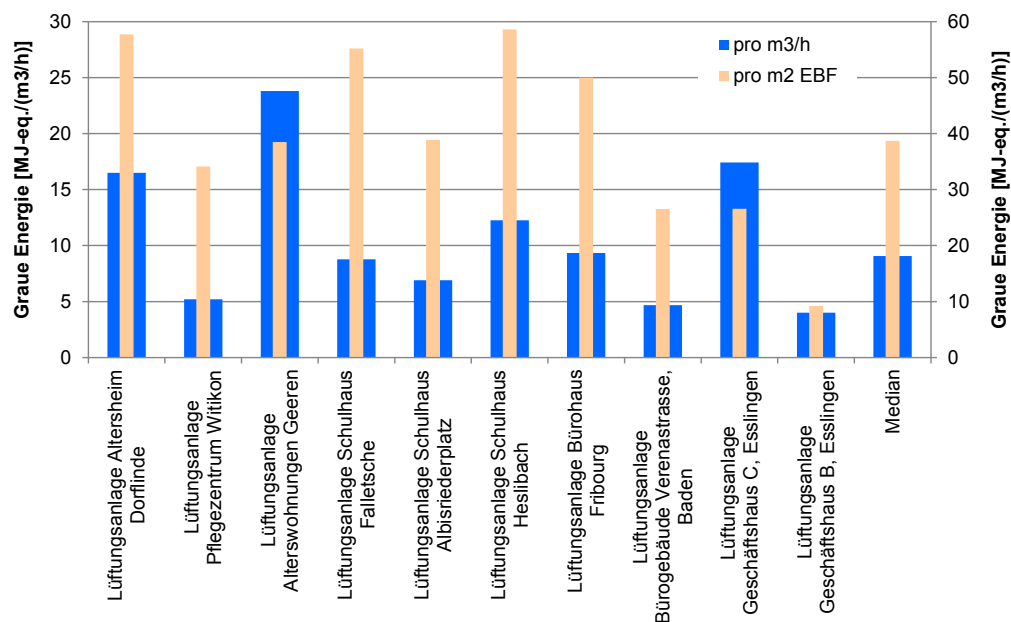


Abbildung 81: Datensatz für übrige Anlagenkomponenten [pro m³/h Luftmenge oder m² EBF]

Für die allgemeinen Anlagenkomponenten ist ein Mittelwert pro m² EBF sinnvoll, da bei dieser Bezugsgrösse die Streuung geringer ist als bei einem Bezug pro m³/h Luftmenge (siehe Abbildung 81). Der Grund dafür liegt in der grossen Inhomogenität dieses Datensatzes, welcher z.B.

aufgrund der Lüftungsgitter und anderer Elemente auch zu einem westlichen Teil stärker flächenabhängig ist. Dies zeigt auch die statistische Analyse der Daten (Abbildung 82).

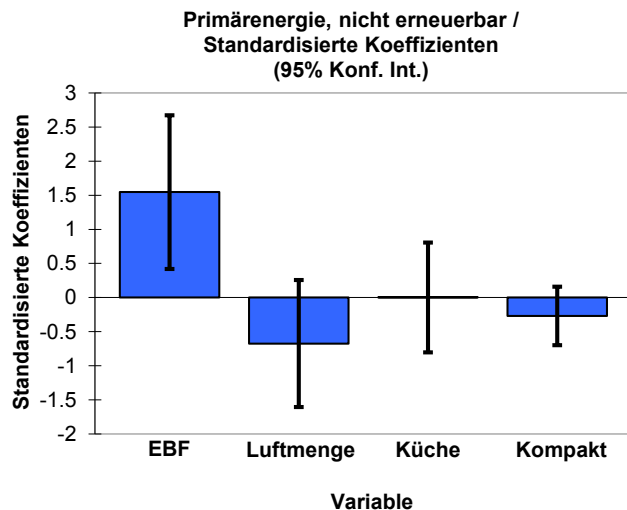


Abbildung 82: Analyse möglicher Einflussfaktoren für die allgemeinen Bauteile auf die graue Energie

Für die allgemeinen Datensätze, welche auf m^2 Energiebezugsfläche bezogen sind, ist die Angabe der spezifischen Luftmenge für den Kennwert der Grauen Energie massgebend. In der KBOB-Liste sollen daher Datensätze für 1, 2, 4, 6, und $8 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ aufgenommen werden.

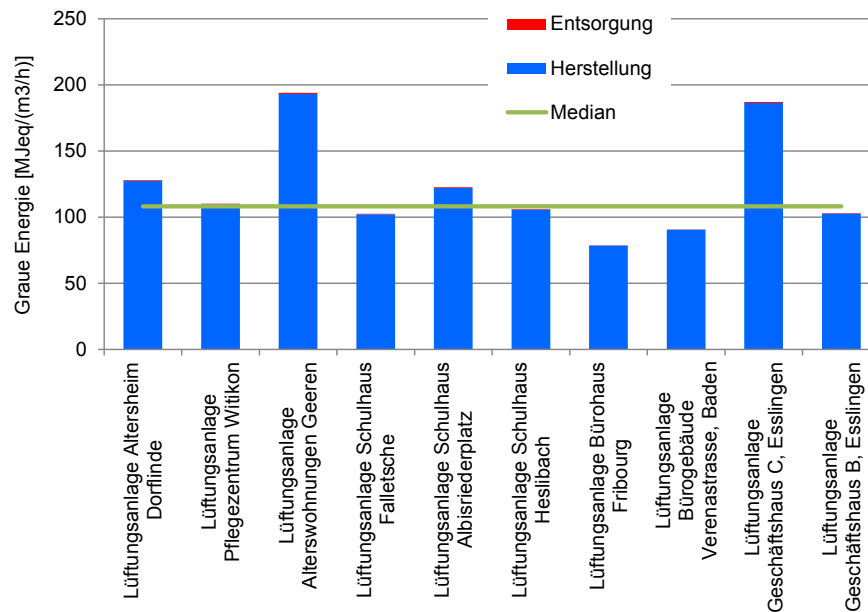


Abbildung 83: Graue Energie, Vergleich der untersuchten Anlagen mit Bezug pro m^3/h Luftmenge

Für die allgemeinen Datensätze, welche als Bezugsgrösse m^2 Energiebezugsfläche haben, wurden die Bilanzdaten der einzelnen Anlagen entsprechend summiert und umgerechnet um je einen Datensatz für 1, 2, 4, 6, und $8 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ zu erhalten⁷. Gegenüber den bestehenden Datensätzen der KBOB-Liste zeigen sich folgende Differenzen (siehe Tabelle 19):

Tabelle 19: Vergleich neue Datensätze pro m^2 EBF mit KBOB-Werten für Lüftungsanlage Büro

Gebäude	Umweltbelastungspunkte	Primärenergie total	Primärenergie nicht erneuerbar	Treibhausgasemissionen
Datensatz mit $2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$	95%	146%	144%	154%
Datensatz mit $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$	114%	174%	172%	184%
Datensatz mit $6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$	133%	203%	201%	215%

Wie bereits in Kapitel 4.1.5 erläutert liegt der Hauptgrund für die Differenzen bei der unterschätzten Gesamtmasse bei Anlagen mit hohen spezifischen Luftmengen sowie der höheren Detaillierung der neuen Sachbilanzen. Abbildung 84 vergleicht die Resultate zur Grauen Energie der Anlagen, so wie sie im vorliegenden Projekt berechnet wurden, mit den neu berechneten generischen Durchschnittswerten. Die Zwischenwerte, z.B. bei einer spez. Luftmenge von $4.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$, wurden dabei zwischen den Datensätzen mit $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ und $6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ h})$ linear interpoliert.

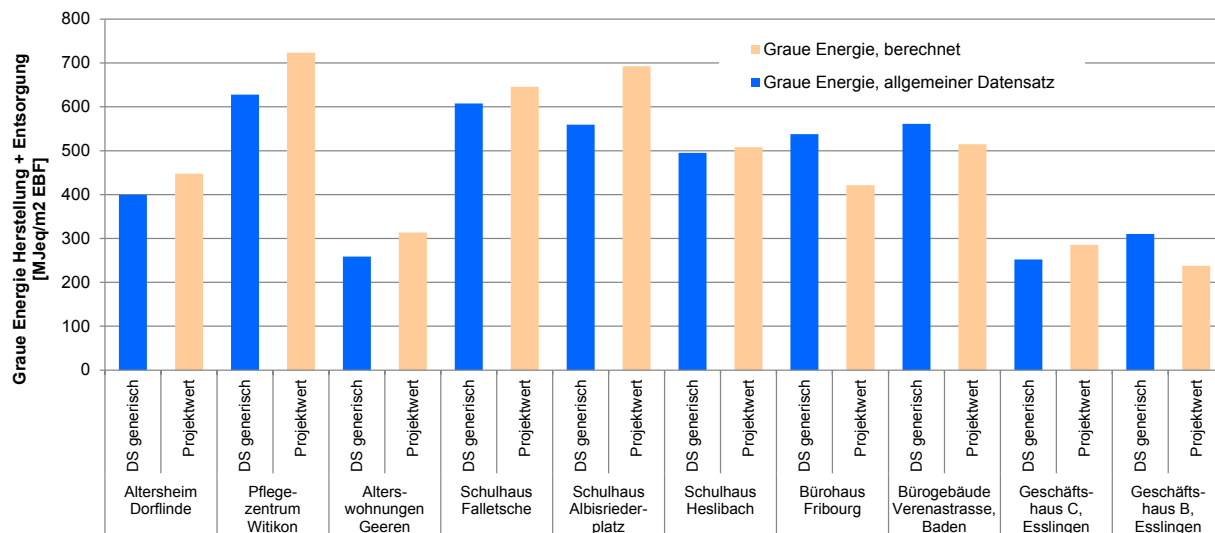


Abbildung 84: Graue Energie für Herstellung / Entsorgung pro m^2 EBF, Vergleich mit Mittelwerten

⁷ Summe über alle Gebäude bezogen auf gesamte EBF (= Mittelwert bei $4.89 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$) sowie Mengenkorrektur auf Basis der Korrelation der spez. Luftmenge mit folgender Formel: $76.5\% \times (\text{spez. Luftmenge} - 4.89 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}) / 4.89$; wobei der Faktor 76.5% aus der Korrelationsfunktion gemäss Abbildung 50 stammt.

Die vorhandenen Differenzen sind projektspezifisch erklärbar. So liegt auf der einen Seite der generisch berechnete Wert bei den Anlagen „Alterswohnungen Geeren“ und „Schulhaus Albisriederplatz“ knapp 20% tiefer. Dies ist aufgrund der in beiden Gebäuden vorhandenen aufwendigen Luftverteilung plausibel. Auf der anderen Seite liegt der generische Wert bei den Anlagen „Bürohaus Fribourg“ und „Geschäftshaus B“ deutlich höher als der Projektwert (ca. 30%). Der Grund für die deutlich geringeren spezifischen Masse der Luftverteilung (in $\text{kg}/(\text{m}^3/\text{h})$) dieser Projekte gegenüber dem Mittel über alle Gebäude liegt vor allem in der Konzeption der Luftverteilung. Ähnliche Ergebnisse zeigt der Vergleich der Resultate zu den Treibhausgasemissionen in Abbildung 85 und der Umweltbelastungspunkte in Abbildung 86.

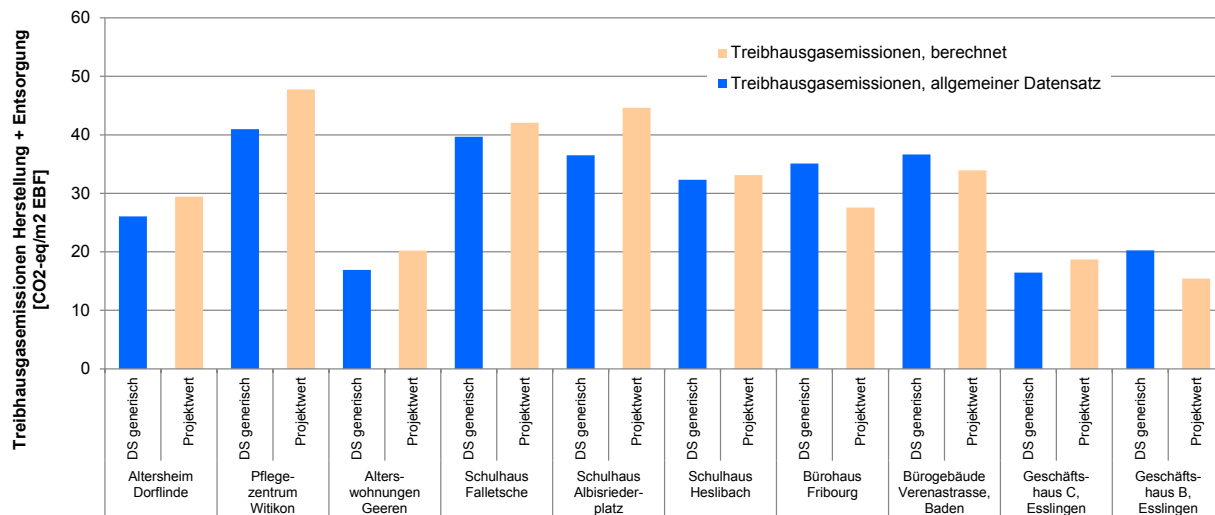


Abbildung 85: Treibhausgasemissionen für Herstellung / Entsorgung pro m^2 EBF, Vergleich mit Mittelwerten

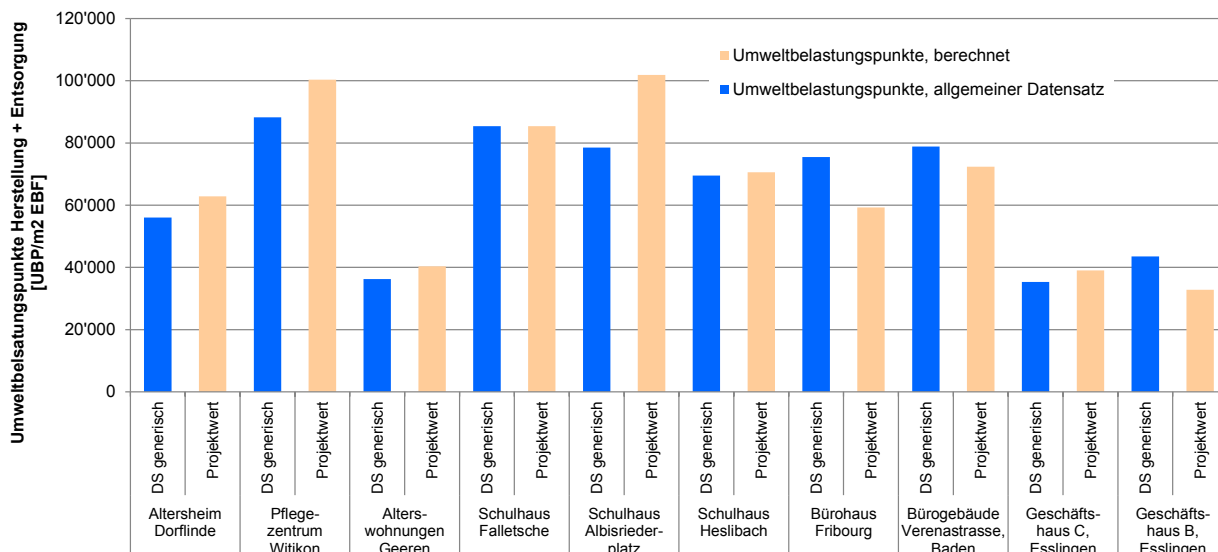


Abbildung 86: Umweltbelastungspunkte für Herstellung / Entsorgung pro m^2 EBF, Vergleich mit Mittelwerten

6.2 Wärmeanlagen

Aufgrund der untersuchten Gebäude und festgestellten Zusammenhänge wird vorgeschlagen, die aktuellen Richtwerte für Wärmeanlagen der KBOB-Liste [1] in folgenden Bereichen anzupassen:

- Erzeugung

Es wurden nur Systeme mit Fernwärme, Erdsonde und Wärmepumpe untersucht. Bei der Erzeugung mittels Erdsonde und Wärmepumpe hat sich eine grosse Variabilität der Resultate unabhängig vom spezifischen Wärmeleistungsbedarf gezeigt. Die Graue Energie der Erdsonden scheint u.a. durch die spezifische Entzugsleistung bestimmt zu werden. Die Untersuchungen in dieser Studie haben gezeigt, dass diese deutlich tiefer sein kann, als in den bisherigen Berechnungen von Ökobilanzdaten angenommen wurde. Ebenso sind bei Wärmepumpen mit ähnlicher Heizleistung grössere Abweichungen bezüglich der Gerätegewichte möglich. Ein Vergleich der untersuchten Anlagen mit den gegenwärtigen Richtwerten der KBOB-Liste führt bei den Systemen mit Wärmepumpe / Erdsonde teilweise zu grösseren Abweichungen, welche vor allem auf unterschiedliche Resultate der Erzeugung zurückzuführen sind. Es wird dem Planer deshalb empfohlen, die Erzeugung mit Erdsonde und Wärmepumpe, wenn möglich, mit den Datensätzen für Systemkomponenten zu berechnen (siehe Tabelle 20). Für die Wärmepumpen werden Daten pro Anlage (Stück) oder pro Kilogramm bereitgestellt, da die Anlagegewichte je nach Leistungsklasse stark variieren können.

Tabelle 20: Datensätze für Erdsonden und Wärmepumpen

Gebäude	Erdsonden, für Sole- Wasser- Wärmepumpe	Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW	Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW	Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW
Bezugsgrösse	m	Stk	kg	Stk	kg
Primärenergie total					
Herstellung [MJ]	473.3	22'286.1	118.9	27'034.2	110.9
Entsorgung [MJ]	6.35	179.50	0.96	238.87	0.98
Primärenergie nicht erneuerbar					
Herstellung [MJ]	465.3	20'746.8	110.7	24'845.6	101.9
Entsorgung [MJ]	5.56	168.90	0.90	224.97	0.92
Treibhausgasemissionen					
Herstellung [kg]	25.0	1'552.8	8.3	2'055.6	8.4
Entsorgung [kg]	2.72	764.77	4.08	1142.57	4.69
Umweltbelastungspunkte					
Herstellung [UBP]	26'629	3'373'586	18'002	4'481'196	18'376
Entsorgung [UBP]	2'326	257'225	1'373	378'513	1'555

- Verteilung:

Die Ökobilanzresultate zeigen deutliche Unterschiede zwischen Wohn- und Bürogebäu-

den. Deshalb sollten diese Nutzungen bei den planerischen Richtwerten pro m² EBF unterschieden werden. Zusammenhänge zwischen den Ökobilanzresultaten und der Wohnungsgrösse und der Kompaktheit der Gebäudehülle sind feststellbar. Es wurden jedoch zu wenige Anlagen untersucht um daraus Richtwerte abzuleiten, welche diese beiden Einflussgrössen berücksichtigen. Es wird deshalb vorgeschlagen jeweils nur einen planerischen Richtwert für die Verteilung in Wohn- und Bürogebäuden bereitzustellen. Dazu wurden aus den Resultaten für die Verteilung in Wohngebäuden und Bürogebäuden Mittelwerte gebildet (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Planerische Richtwerte Verteilung pro m² EBF

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rautistrasse, 7 MFH	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
Verteilung	Verteilung Wohngebäude pro m ² EBF (Mittelwert Wohngebäude)				Verteilung Bürogebäude pro m ² EBF (Mittelwert Bürogebäude)	
Primärenergie total						
Herstellung [MJ]	46.75				115.65	
Entsorgung [MJ]	0.33				0.83	
Primärenergie nicht erneuerbar						
Herstellung [MJ]	43.88				108.75	
Entsorgung [MJ]	0.32				0.79	
Treibhausgasemissionen						
Herstellung [kg]	2.45				6.52	
Entsorgung [kg]	0.20				0.49	
Umweltbelastungspunkte						
Herstellung [UBP]	4'223.47				11'989.26	
Entsorgung [UBP]	145.51				365.80	

– Abgabe:

Bei der Fussbodenheizung muss aufgrund der anderen Systemgrenzen der Wert pro m² EBF angepasst werden. Zusätzlich können Werte für die Abgabe über Heizkühldecke bereitgestellt werden. Da die gegenwärtigen Richtwerte in der KBOB-Liste die Verteilung und Abgabe in einem Wert zusammenfassen, muss auch für die Abgabe über Heizkörper ein neuer Richtwert bereitgestellt werden. Dieser Wert dürfte mit einer grösseren Unsicherheit verbunden sein als die Richtwerte für die anderen Abgabesysteme. Bei den Heizkörpern wird im Gegensatz zur Fussbodenheizung und den Heizkühldecken eine gewisse Abhängigkeit des Richtwerts pro m² EBF vom spezifischen Wärmeleistungsbedarf vermutet. Da die beiden untersuchten Gebäude mit Heizkörpern jedoch einen ähnlichen spezifischen Wärmeleistungsbedarf haben, konnte diese Einflussgrösse nicht nä-

her bestimmt werden. Die Richtwerte für Heizkörper und Fussbodenheizung pro m² EBF werden jeweils als Mittelwert der Resultate der untersuchten Anlagen berechnet. Bei der Abgabe über Heizkühldecke wird als Richtwert das Resultat des untersuchten Bürogebäudes in Baden übernommen (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Planerische Richtwerte Abgabe pro m² EBF

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rautistrasse, 7 MFH	Bürogebäude Verenastrasse, Baden
Abgabe	Abgabe über Heizkörper pro m ² EBF (Mittelwert)		Abgabe über Fussboden- heizung pro m ² EBF (Mittelwert)		Abgabe über Heizkühldecke pro m ² EBF
Primärenergie total					
Herstellung [MJ]	90.92		91.82		130.91
Entsorgung [MJ]	0.13		0.19		0.11
Primärenergie nicht erneuerbar					
Herstellung [MJ]	86.04		85.71		112.52
Entsorgung [MJ]	0.13		0.18		0.10
Treibhausgasemissionen					
Herstellung [kg]	5.56		3.67		7.73
Entsorgung [kg]	0.02		2.01		0.13
Umweltbelastungspunkte					
Herstellung [UBP]	9'066.06		3'328.13		41'564.18
Entsorgung [UBP]	18.51		1'285.21		87.51

7 Literatur

- [1] Ökobilanzdaten im Baubereich, KBOB, 2009/1, Stand Juli 2012
- [2] Ökologische Bewertung von Gebäudetechnikanlagen für SIA 2032, Schlussbericht, Basler und Hoffmann Ingenieure und Planer AG im Auftrag vom Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, 2008
- [3] Lalive d'Epinay A.; Die Umweltverträglichkeit als eine Determinante des architektonischen Entwurfs; Diss ETH Nr. 13610; Zürich; 2000
- [4] Baumann T., Itschner L.; Umweltrelevanz der Haustechnik – Eine Entscheidungsgrundlage; Untersuchung im Rahmen des IEA BCS Annex 31: Energy Related Environmental Impact of Buildings; Amstein + Walthert Ingenieure AG; Zürich; 1998
- [5] Hässig W. und Primas A.; Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich; Schlussbericht, Basler & Hofmann AG im Auftrag des Bundesamtes für Energie; 2004
- [6] SIA Merkblatt 2032; Graue Energie von Gebäuden; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; Zürich; 2010
- [7] Graue Energie von Sanitär- und Elektroanlagen, Schlussbericht, büro für umweltchemie im Auftrag vom Bundesamt für Energie, 2011
- [8] Doka G., Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent report No. 13. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, St. Gallen, 2009
- [9] Hischier R., Classen M., Lehmann M. and Scharnhorst W., Life cycle inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal. ecoinvent report No. 18. Empa / Technology & Society Lab, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007
- [10] Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Heck T., Hellweg S., Hischier R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M., Wernet G., Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007
- [11] Interconnection Consulting: Marktstudie für Industrie- und Gewerbelüftung, IC-Market Tracking®; Interconnection Consulting 2013; <http://www.interconnectionconsulting.com>
- [12] Interconnection Consulting: Marktstudie für Kontrollierte Wohnraumlüftung in DACH; Interconnection Consulting 2013; <http://www.interconnectionconsulting.com>
- [13] Seven-Air; SKG / SZG Lüftungs- und Klimageräte, Planungsdokumentation; 2012
- [14] Wolf Klimatechnik; Klimageräte KG/KGW Top 21-1000, Planungsdokumentation; 2012
- [15] Troges; Lüftungsgeräte; Planungsdokumentation; 2012
- [16] Seven-Air; Ökobilanz Monobloc-Paneele Sevenpir; 2012
- [17] Hilti; Technisches Handbuch für Lüftungssysteme; 2013; online erhältlich unter: www.hilti.de
- [18] Berliner Luft, div. Produktinformationen zu Luftführung; 2011; online erhältlich unter: www.berlinerluft.de
- [19] Lindab, div. Produktdokumentationen; 2013; Online-Version unter: www.lindab.com
- [20] AGI AG für Isolierungen; Dokumentation Lüftungskanäle - Verkleidung von Lüftungsleitungen; 2009; online erhältlich unter: www.agigu.ch
- [21] Flumroc; Technische Dämmung 2.1, Dokumentation für die technische Dämmung und den Brandschutz; 2013; Online-Version unter: www.flumroc.ch

- [22] Classen M., Althaus H.-J., Blaser S., Doka G., Jungbluth N. and Tuchs Schmid M.; Life Cycle Inventories of Metals; Final report ecoinvent data v2.1 No.10; Swiss Centre for Life Cycle Inventories; Dübendorf; 2009
- [23] Lindab; Lindab Annual Report 2012; Online-Version unter: www.lindabgroup.com
- [24] Belimo; Belimo Annual Report 2012; Online-Version unter: www.belimo.com
- [25] Schock Metallwerk GmbH; Aktualisierte Umwelterklärung 2013; Online-Version unter: www.schock-metall.de
- [26] Beck Metall GmbH; Umwelterklärung 2012; Online-Version unter: www.emas.de
- [27] Steiner R. and Frischknecht R.; Life Cycle Inventories of Metal Processing and Compressed Air Supply; Final report ecoinvent data v2.0, No. 23; Swiss Centre for Life Cycle Inventories; Dübendorf; 2007
- [28] Wildeboer; Produktedeklaration, Brandschutzklappe FR90, FK90, FK90K; Wildeboer Bauteile GmbH; 2013; Online-Version unter: <http://bau-umwelt.de/>
- [29] Sauter AG; Material- und Umweltdeklaration, Klappenantrieb ASM105 ASM115; MD 51.040/2; 2012; Online-Version unter: www.sauter-controls.com;
- [30] Sauter AG; Material- und Umweltdeklaration, Druckwächter, Druckschalter DSB, DSF; MD 23.760/1; 2012; Online-Version unter: www.sauter-controls.com
- [31] Sauter AG; Material- und Umweltdeklaration, Stabtemperaturfühler EGT346, 347, 348; MD 36.036/1; 2013; Online-Version unter: www.sauter-controls.com
- [32] Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen awp, 2007. *Technisches Merkblatt Wärmepumpenheizungsanlage mit Erdwärmesonden*. awp, Zürich
- [33] Bundesamt für Energie, *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2011*, 2011
- [34] Erb, M., Hubacher, P., & Ehrbar, M., *FAWA – Feldanalyse von Wärmepumpen-Anlagen*, 2004
- [35] Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz, *Wärmepumpen-Statistik Schweiz 2010*, 2011
- [36] Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz, *Wärmepumpen-Statistik 2011*, 2012
- [37] Frischknecht, R., *Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel*, 1999.
- [38] FWS, *Reglement Gütesiegel für Erdwärmesonden – Bohrfirmen vom 31. Oktober 2012* (pp. 1–10), 2012
- [39] Georg Fischer Piping Systems, Technical Handbook GF PE100 Industrial Polyethylene. Georg Fischer LLC, USA, 2010
- [40] Graf, M., Fragekatalog Ökobilanz Erdwärmesonden. e-therm / büro für umweltchemie, 2012
- [41] HakaGerodur, Technisches Merkblatt Gerotherm Erdwärmesondensystem, 2009
- [42] HakaGerodur, Preisliste GeroTherm Erdwärmesondenrohrsysteme, 2010
- [43] HDG Umwelttechnik, Injektionsanlagen - Niederdruck, n.d.
- [44] Heck, T., Wärmepumpen. In R. et al Dones (Ed.), *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz*. (Final repo., Vol. 0). Dübendorf, CH: Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007
- [45] Imhasly, S., Signorelli, S., & Rybach, L., *Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz* (p. 45), 2012
- [46] Kemmler, A., Piégas, A., Ley, A., Keller, M., Jakob, M., & Catenazzi, G., *Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2011 nach Verwendungszwecken*, 2012

- [47] SIA 384/6; Erdwärmesonden; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; Zürich; 2010
- [48] Kunz, P., Afjei, T., Betschart, W., Hubacher, P., Löhner, R., Müller, A., & Prochaska, V., *Handbuch Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung*. Bundesamt für Energie, Bereich Aus- und Weiterbildung, 2008
- [49] Leibundgut, R., Persönliche Mitteilung 12.11.2012, 2012
- [50] Leibundgut, R., Persönliche Mitteilung, 2013
- [51] Lindemann, U., & Woerz, M., *Herstellerauszug 8 kW Wärmepumpen Hoval*. Hoval Aktiengesellschaft, Vaduz, Liechtenstein, 2013
- [52] Mégel, T. Persönliche Mitteilung 9.11.2012, 2012
- [53] Savi, D., *Telefoninterviews Erstellung Ökobilanz Wärmepumpen*, internes Dokument, 2013
- [54] Savi, D., Eigene Berufserfahrung, 2013b

ANHANG

Systemkomponenten Lüftungsanlagen

Folgende Kapitel beschreiben die Berechnungsgrundlagen der Datensätze für Systemkomponenten. Die Ökobilanzzahlen sind tabellarisch im Abschnitt Ökobilanzzahlen Systemkomponenten aufgeführt.

Einzelraumlüfter

Einleitung

In gut abgedichteten Gebäuden wird häufig eine aktive Belüftung eingesetzt, um die Wohn- oder Büroräume mit Frischluft zu versorgen. Dies kann über eine zentrale Lüftungsanlage erfolgen. Diese Systeme sind nicht Teil dieser Ökobilanzierung. Eine weitere Möglichkeit bieten Einzelraumlüfter, die jeweils an der Gebäudeaussenwand angebracht werden und den Raum über einen eigenen Zu- und Abluftkanal belüften. Auf dem Markt werden zahlreiche technische Lösungen für die Einzelraumbelüftung angeboten. Die einfachsten Systeme belüften den Raum passiv durch Schlitze im Fensterrahmen oder durch Luftkanäle in der Aussenwand. Aktive Systeme mit Ventilatoren bilden die nächste Stufe, häufig wird die Luft mit Filtern gesäubert. In dieser Bilanz werden ausschliesslich aktive Lüftungsgeräte mit Wärmetauscher berücksichtigt. Diese Geräte reduzieren die Wärmeverluste, indem die Wärme der Abluft teilweise über einen Gegenstromwärmetauscher an die Zuluft abgegeben wird.

Marktanalyse

Die Produktvielfalt bei den Einzelraumlüftern mit Wärmetauscher ist relativ gross. Die Geräte unterscheiden sich in der Montageart, dem maximalen Volumenstrom, der Effizienz der Wärmehückgewinnung, dem Stromverbrauch im Betrieb und der Geräuschentwicklung, um nur die wichtigsten Unterschiede aufzuzählen. Zahlreiche Geräte werden an der Innenseite der Wand befestigt und über zwei Kernbohrungen in der Aussenwand mit Zu- und Abluft versorgt. Eine weitere Geräteklasse wird im Lichtmass der Fenster montiert und benötigt keine separate Durchdringung der Aussenmauer. Daneben werden auch Geräte angeboten, die direkt in der Kernbohrung durch die Aussenwand eingebaut werden. Eine Marktanalyse der in der Schweiz erhältlichen Geräte ist in Tabelle 23 zusammengefasst. Es wurden nur für den Wohnbereich geeignete Geräte aufgenommen. Die Tabelle weist die bekannten Hersteller-Daten zum Gerätengewicht, Luftvolumen, elektrischer Leistung und Schallpegel aus. Angaben zu den Marktanteilen einzelner Gerätetypen von Einzelraumlüftern waren nicht verfügbar. Die Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 23: Marktübersicht Einzelraumlüfter

Hersteller, Gerätetyp	Gewicht [kg]	Luftvolumen [m ³ /h]	Wärmerückgewinnung	el. Leistung [W]	Schallpegel [dB(A)]
Einbau in Fensteröffnung					
Zehnder, PremiVent	6 (ohne Trafo)	≤ 60	≥ 80 %	3 - 12	≤ 25 bei 45m ³ /h
Siegenia Aubi, Aero-mat VT mit WRG ⁸	keine Angabe	15-36	≤ 62 %	10 - 21	17-34
Emco, emcovent TYP FLH		60-180	≤ 60 %	11-62	30-53
Einbau auf Innenseite Aussenwand					
Fentech, I-vent RL 21 raumhoch	23	10-30		7 (bei 10m ³ /h)	25 bei 20m ³ /h
Fentech, I-vent RL 21 fensterhoch	13	10-30	≈ 70 %	7 (bei 10m ³ /h)	25 bei 20m ³ /h
Meltem, M-WRG Standard	8.1	15-100	76 %	3.8-12.5	19-35
Meltem, M-WRG Komfort	8.1	15-100	76 %	3.8-34	19-46
Paul Wärmerückgewinnung, ventos 50 DC	22	≤ 115	≈ 83 %	≤ 62	17.5 – 37.1
Einbau in Kernbohrung					
Helios, KWL EC 60	12.5	17-60	≥ 70 %	≤ 14	18-30

Erhebung der Inventardaten

Systemgrenzen Einzelraumlüfter

Einzelraumlüfter werden als fertige Geräte eingebaut. Dafür sind für jedes Gerät bauseitig unterschiedliche Massnahmen nötig. Diese Massnahmen sind wegen der grossen Unterschiede nicht in der Ökobilanz enthalten. Die Systemgrenze umfasst die Produktion des Gerätes mit allen Aufwendungen für die Rohstoffbereitstellung und den Produktionsaufwand. Nicht berücksichtigt werden alle bauseitig notwendigen Installationen wie Zu- und Abluftrohre, zusätzliche Zargen, Stromzuleitungen und Kondenswasserableitungen. Die Entsorgung des Gerätes wurde in einem separaten Datensatz bilanziert. Sie umfasst wiederum nur die Entsorgung des Gerätes selbst, ohne Montagehilfsstoffe.

Für die Bilanzierung stehen die Materialdaten des Gerätes I-vent RL 21 fensterhoch der Firma Fentech zur Verfügung. Zur Marktrepräsentativität dieses Geräts liegen keine Informationen vor. Aufgrund der Vielzahl der möglichen Bauformen und den unterschiedlichen Gewichten der

⁸ WRG: Wärmerückgewinnung

Geräte ist es relativ schwierig, ein repräsentatives Gerät zu ermitteln. Wie die Zusammenstellung der Gerätegewichte in Tabelle 23 zeigt, bewegt sich das Gerät der Firma Fentech im oberen Mittelfeld der Gerätegewichte. Die Gerätebauteile sind bei allen Geräten vergleichbar, es handelt sich immer um einen Wärmetauscher, zwei Ventilatoren, die Regelungstechnik und die Stromversorgung. Man kann deshalb davon ausgehen, dass das Gerät in erster Näherung einem konservativ gewählten Durchschnittsgerät entspricht.

Materialbilanz Herstellung Einzelraumlüfter

Basis der Materialbilanz ist eine Zusammenstellung der Bauteile durch den Hersteller. Diesen Bauteilen wurden Materialien gemäss Herstellerangaben für das Gehäuse und gemäss Angaben zu den Standardbauteilen für die elektrischen Bauteile zugewiesen. Das Gehäuse besteht vollständig aus Sperrholz und macht allein 10 kg des Gesamtgewichts von 13 kg aus. Für die Berechnung des Gehäusevolumens standen die Konstruktionszeichnungen des Herstellers für das Gehäuse zur Verfügung. Das Sperrholz ist teilweise feuchtebelastet. Aus diesem Grund wurde für die Bilanzierung der ecoinvent-Datensatz „plywood outdoor use“ gewählt. Die Beschichtung der Bauteile wurde durch eine Abschätzung der benötigten Materialmengen berücksichtigt. Für die Kunststoffbauteile und Leiterplatten wurden Gewichte aus den Grössenangaben des Herstellers und den Angaben zum Flächengewicht in ecoinvent oder durch Vergleich mit Standardbauteilen abgeschätzt. Die Verarbeitung der Kunststoffe wurde durch die generischen ecoinvent-Datensätze „injection moulding“, „extrusion, plastic pipes“ und „foaming, expanding“ berücksichtigt. Für den enthaltenen Trafo wurde ersatzweise der ecoinvent-Datensatz für einen Laptop-Stromadapter eingesetzt. In diesem Datensatz ist auch das Anschlusskabel enthalten, welches als Näherung für die interne Verkabelung übernommen werden konnte. Der Datensatz enthält jedoch bereits die Entsorgung des Gerätes, welche in diesem Projekt separat bilanziert wird. Deshalb wurde die Entsorgung eines Laptop-Adapters vom Herstellungsdatensatz subtrahiert. Über die Lebensdauer werden inkl. der Erstproduktion 20 Luftfiltersets à 75 g benötigt. Diese werden mit dem Datensatz „fleece, polyethylene“ bilanziert (1.5 kg). Die Transporte wurden bis auf die Sperrholzelemente mit den Standarddistanzen gemäss ecoinvent-Dokumentation v2.2 eingesetzt. Für Sperrholz wurden 250 km Bahn- und 250 km Lastwagen-transport eingesetzt da ein grosser Teil vom Ausland importiert wird). Die gesamte Bilanzierung wurde also mit Näherungen vorgenommen, da keine Produktionsdaten des Herstellers zur Verfügung standen. Für die Abschätzung der Unsicherheiten wurde die Methode der Pedigree-Matrix nach [10] angewendet. Die Datenqualität ist dementsprechend als tief anzusetzen.

Entsorgung Einzelraumlüfter

Die Entsorgung der Einzelraumlüfter wird als Elektrogeräte erfolgen. Eine Demontage der Gehäuse durch den Hersteller mit separater Entsorgung ist ebenfalls denkbar. Der Aufwand für die manuelle Demontage dürfte in erster Näherung jedoch mit der mechanischen Demontage eines Elektrogerätes in einem Schredder vergleichbar sein. Für den Entsorgungsweg von Elektrogeräten existieren bereits ecoinvent-Datensätze für verschiedene Gerätetypen ([8], [9]). Der passendste ist der Datensatz „disposal, industrial devices, to WEEE treatment“. Allerdings geht dieser Datensatz von einem Gerät aus, das mit einem reinen Metallgehäuse ausgestattet ist. Das Gehäuse des bilanzierten Gerätes ist jedoch aus Sperrholz gefertigt. Um diesen Unterschied zu berücksichtigen, wurde für die Sperrholzbestandteile eine Entsorgung in einer Kehrichtverbrennungsanlage angenommen (ecoinvent-Datensatz „disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration“), während die Entsorgung aller anderen Bestandteile mit dem Datensatz „disposal, industrial devices, to WEEE treatment“ berücksichtigt wird. Über die Lebensdauer der Anlage werden die Luftfilter jährlich ersetzt. Über die angenommene Lebensdauer von 20 Jahren fallen im Betrieb somit 1.43 kg Luftfilter an (19 Luftfiltersets à 75 g), die in der Kehrichtverbrennungsanlage entsorgt werden⁹ (disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration). Im Datensatz für die Entsorgung von Elektrogeräten sind keine Transporte enthalten. In Anlehnung an die Standarddistanzen für ecoinvent 2.2 wird ein Strassentransport von 50 km angenommen. Aus eigener Erfahrung ist den Autoren die Situation bei den WEEE-Recyclern bekannt. Ein grosser Teil der Transporte wird mit relativ kleinen Lastwagen abgewickelt. Für die Transporte wird deshalb der ecoinvent-Datensatz „transport, lorry 3.5-20t, fleet average, CH“ verwendet.

⁹ Bei Entsorgung wird angenommen, dass die letzten Frischluft- und Abluftfilter (zusammen 75g) mit dem Gerät entsorgt werden. Deshalb nur 1.5 kg - 75 g = gerundet 1.43 kg

Sachbilanz

Herstellung

Datensatz-Name ecoinvent 2.2	Region	Menge	Einheit	Geom. Std.-Abw. Basis-unsicherheit (Pedigree-Matrix)
INPUT				
extrusion, plastic pipes	RER	1.95	kg	1.28 1.05 (4,4,1,1,4,5)
transport, freight, rail	RER	8.03	t*km	1.47 2 (4,5,3,2,1,5)
foaming, expanding	RER	0.1	kg	1.18 1.05 (4,4,1,1,3,5)
plywood, outdoor use, at plant	RER	0.0200	m3	1.15 1.05 (4,4,1,1,1,5)
acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant	RER	2.26	kg	1.12 1.05 (3,4,1,1,1,5)
injection moulding	RER	0.342	kg	1.18 1.05 (4,4,1,1,3,5)
electric motor, electric vehicle, at plant	RER	0.3	kg	1.16 1.05 (3,4,1,1,3,5)
printed wiring board, surface mounted, unspec., Pb free, at plant	GLO	0.0155	kg	1.46 1.05 (4,5,1,1,5,5)
fleece, polyethylene, at plant	RER	1.5	kg	1.28 1.05 (4,4,1,1,4,5)
polyester resin, unsaturated, at plant	RER	0.1	kg	1.28 1.05 (4,4,1,1,4,5)
aluminium, production mix, at plant	RER	0.0385	kg	1.27 1.05 (5,5,1,1,1,5)
transport, lorry >16t, fleet average	RER	2.96	t*km	1.47 2 (4,5,3,2,1,5)
polycarbonate, at plant	RER	0.0385	kg	1.28 1.05 (4,4,1,1,4,5)
power adapter, for laptop, at plant	GLO	1	Stk.	1.53 1.05 (5,5,1,1,5,5)
Disposal, power adapter, external, for laptop, to WEEE treatment	CH	-1	Stk.	–
OUTPUT				
Single room ventilator with heat recovery window frame model	CH	1	Stk.	–

Entsorgung

Datensatz-Name ecoinvent 2.2	Region	Menge	Einheit	Geom. Std.-Abw. (Pedigree-Matrix)
INPUT				
disposal, industrial devices, to WEEE treatment	CH	3.36	kg	1.39 1.05 (4,5,5,1,4,5)
disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration	CH	10.0	kg	1.39 1.05 (4,5,5,1,4,5)
disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration	CH	1.43	kg	1.9 1.05 (4,5,5,1,4,5)
transport, lorry 3.5-20t, fleet average	CH	0.0198	t*km	1.61 2 (5,5,5,1,3,5)
OUTPUT				
Disposal, single room ventilator with heat recovery window frame model	CH	1	Stk.	–

Lüftungsgeräte in Modulbauweise**Einleitung**

Lüftungsgeräte für grössere Anlagen werden meist in Modulbauweise erstellt. Damit können die individuellen Anforderungen an die Lüftungsanlage flexibel realisiert werden. Die Kombinationsmöglichkeiten sind dadurch sehr vielseitig und es ist schwierig eine „Standardkonfiguration“ zu definieren. Durch den Geräteaufbau mit einem Grundrahmen und einzelnen Elementen sind diese Geräte schwerer als vergleichbare Kompaktgeräte. Es muss jedoch auch beachtet werden, dass Kompaktgeräte meist keine Schalldämpfer im Gerät integriert haben (was bei Anlagen in Modulbauweise oft der Fall ist).

Marktanalyse

Bei der Modulbauweise ist eine grosse Produktvielfalt vor allem durch die praktisch unbeschränkten Kombinationsmöglichkeiten gegeben. Grundsätzlich sind die Anlagen verschiedener Hersteller ähnlich aufgebaut. Sie unterscheiden sich in erster Linie in der Art der Materialisierung z.B. der Rahmenelemente oder durch die Qualitätsstufe der Materialisierung (z.B. bei Anlagen für korrosive Umgebungen oder Aussenaufstellung).

Eine von Interconnection Consulting 2012/13 durchgeführten Marktanalyse zu Industrie- und Gewerbelüftungsmarkt [11] in Europa zeigt, dass Modulargeräte auf einen Marktanteil von 56.8% kommen. Dies liegt primär an der hohen Flexibilität dieser Geräte. Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied im Marktanteil zwischen der Schweiz, Deutschland und Österreich (siehe Abbildung 87). Vor allem in der Schweiz ist der Marktanteil der zentralen Geräte (wo überwiegend modulare Geräte zum Einsatz kommen) mit mehr als 70% sehr hoch.

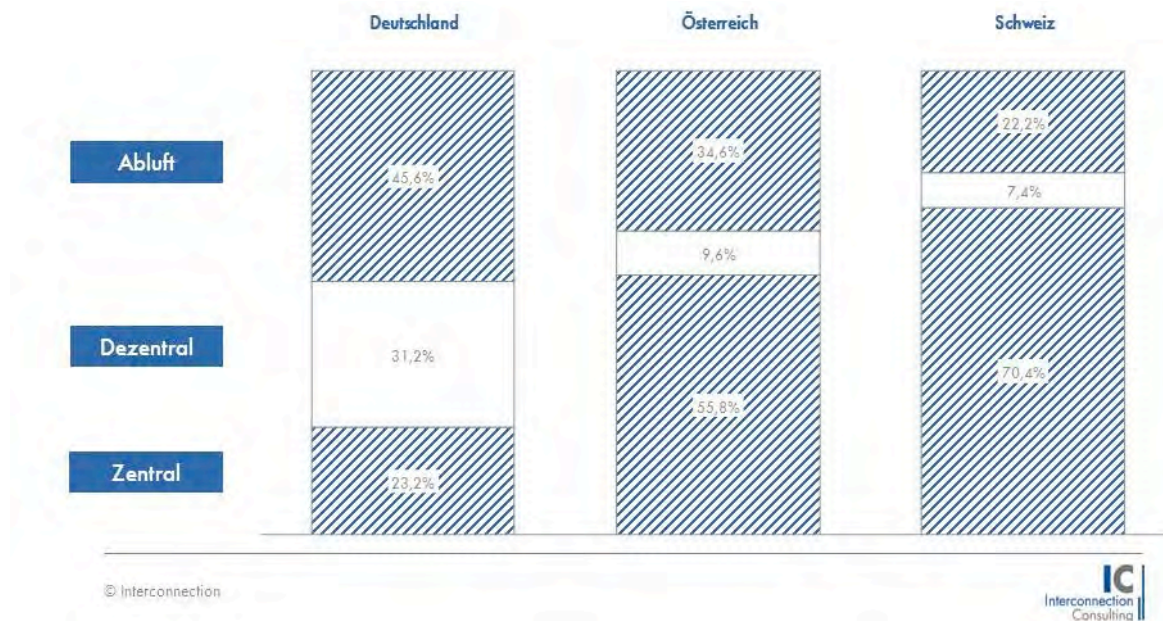


Abbildung 87: Produktgruppenvergleich nach Anlagentypen von Lüftungen (Quelle [12])

Dezentrale Systeme machen mit 19.1% die kleinste Gruppe unter den Lüftungsgeräten aus. Der Trend geht aktuell zu Kompaktgeräten. Diese Produktgruppe hat derzeit einen Marktanteil von 24.1%, der sich jedoch gemäss der Studie bis 2016 auf 28.8% ausbauen soll. Ausschlaggebend dafür ist der niedrigere Preis und die kompakte Größe für Geräte dieser Produktgruppe. Mit 10.9% am stärksten gewachsen ist 2013 der Absatz der Lüftungsgeräte mit einem Nennvolumenstrom von 5'000 bis 15'000 m³/h. Darunter sind fast nur modulare Lüftungssysteme zu finden. In der Gruppe der Geräte bis 50'000 m³/h fallen 7.7% aller verkauften Lüftungssysteme mit einem Umsatzanteil von 21.7% an.

Erhebung der Inventardaten

Systemgrenzen Lüftungsgeräte in Modulbauweise

Da die Lüftungsgeräte in Modulbauweise kundenspezifisch zusammengestellt werden, wurden für die Sachbilanzen typische Konfigurationen verwendet, welche oft zum Einsatz kommen. Folgende Geräte wurden bilanziert:

- Lüftungsgerät mit Zu- und Abluftventilator (Radialventilator mit Riemenantrieb), Gliederklappen in AUL und ABL, Platten-Wärmetauscher, Luftfilter in ZUL und ABL, Luftherhitzer, Expansions- und Leerteil. Ohne Schalldämpfer
- Varianten dieser Anlage mit Rotationswärmetauscher sowie Kreislaufverbundsystem
- Einfaches Ventilatormodul mit 1 Ventilator (Radialventilator mit Riemenantrieb), Gliederklappe und Luftfilter im Ansaug
- Schalldämpfer für Lüftungsgerät mit Zu- und Abluftventilator bzw. einfaches Ventilatormodul

Während das Lüftungsgerät mit Zu- und Abluftventilator für die Belüftung von beheizten Räumen zum Einsatz kommt, kann das einfache Ventilatormodul im Bereich der Garagenlüftung zum Einsatz kommen.

Auf die Integration des Schalldämpfermoduls in den Datensatz zum Lüftungsgerät mit Wärmehückgewinnung wurde verzichtet, da dieses Bauteil je nach Situation (Anforderungen, Konzept, Platzverhältnisse) im Gerät integriert sein kann oder aber auch separat im Kanalnetz eingesetzt wird. Zudem existieren je nach Anforderung verschieden lange Schalldämpferelemente. Für die Bilanzierung wurde von einem Element mit einer Länge von 900 mm ausgegangen.

Damit für die häufig vorkommenden Gerätegrössen eine passende Bilanz verfügbar ist, wurden vier Anlagegrössen bilanziert. Als Kenngrösse wird dabei die Nennluftmenge bei einer Anströmgeschwindigkeit auf den Plattenwärmetauscher von 2 m/s verwendet. Dies entspricht den heute üblichen Auslegungskriterien. Es ist jedoch zu beachten, dass die mit einer Gerätegrösse gefahrene Luftmenge je nach Einsatzzweck und Platz- bzw. Energieanforderungen deutlich variieren kann. Dies wurde auch in den untersuchten Gebäuden festgestellt.

Folgende Gerätegrössen¹⁰ wurden bilanziert:

- Gerätegrösse mit Nennluftmenge 1'800 m³/h
- Gerätegrösse mit Nennluftmenge 3'500 m³/h
- Gerätegrösse mit Nennluftmenge 6'700 m³/h
- Gerätegrösse mit Nennluftmenge 13'000 m³/h

¹⁰ Bezug auf Luftmenge bei Anströmgeschwindigkeit auf Plattenwärmetauscher von 2 m/s

In Abbildung 88 ist eine typische Graphik zur Geräteauswahl eines Herstellers dargestellt. Darin wird mit dem erforderlichen Luftvolumenstrom und der gewünschten max. Luftgeschwindigkeit die Baugröße des Geräts festgelegt.

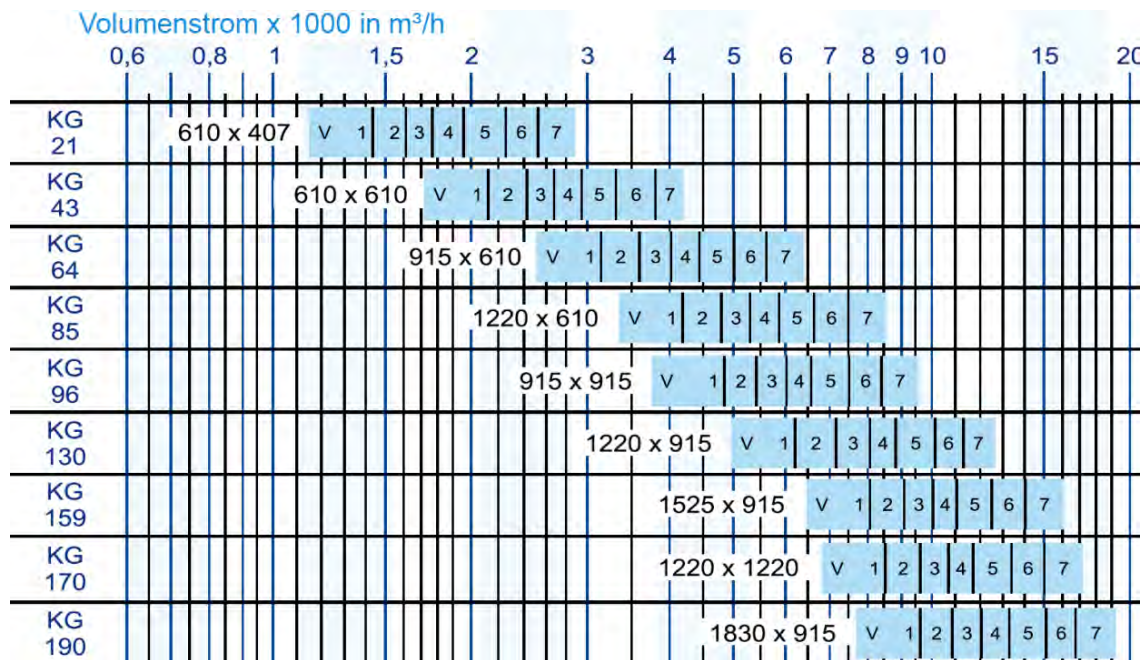


Abbildung 88: Geräteauswahltabelle mit Luftvolumenstrom und max. Luftgeschwindigkeit (Quelle[14])

Die Systemgrenze umfasst die Produktion des Gerätes mit allen Aufwendungen für die Rohstoffbereitstellung und den Produktionsaufwand. Nicht berücksichtigt werden alle bauseitig nötigen Installationen, welche nicht direkt mit dem Gerät zusammenhängen bzw. darin eingebaut sind. Folgende Positionen sind in der Systemgrenze nicht enthalten:

- Heizungsgruppe für Lufterhitzer (Rohre, Pumpe, Regelventil)
- Alle an das Gerät anschliessenden Kanäle
- Bauliche Massnahmen wie z.B. evtl. erforderliche Sockel etc.

Folgende Positionen wurden in die Systemgrenze einbezogen:

- Frequenzumformer zur Steuerung des Ventilators
- Schaltschrank zum Lüftungsgerät mit einem Anteil an Verkabelung (da oft ebenfalls vom Lüftungsgeräteelieferant mitgeliefert)

Materialbilanz Herstellung Lüftungsgeräte in Modulbauweise

Basis der Materialbilanz ist eine Zusammenstellung der Bauteile von verschiedenen Herstellern ([13], [14], [15]) sowie diverse Detaildaten zu den Geräten aus den Planungsdaten der untersuchten Gebäude. Für einzelne Teilelemente standen auch Ökobilanzdaten zur Verfügung [16]. Für viele Bauteile wurden auf Basis der Material- und Dimensionsangaben die Materialanteile berechnet bzw. wo genauere Daten fehlten abgeschätzt.

Zu einem grossen Teil bestehen die Geräte aus verzinktem Stahlblech¹¹, welches teilweise pulverbeschichtet wird. Ein weiteres Hauptmaterial ist Aluminium, welches für die Rahmenprofile sowie die Wärmetauscherflächen zum Einsatz kommt. Im Weiteren sind Dämmstoffe (PUR und Steinwolle) sowie Kupfer (Wärmetauscherrohre) und rostfreier Stahl (Kondensatwannen) zu erwähnen. Keine detaillierten Daten standen zu den Bauteilen im Schaltschrank zur Verfügung. Neben dem Datensatz für den Inverter¹² wurde die Bilanz auf Basis des bestehenden Datensatzes für zentrale Anlagen der Wohnungslüftungen erstellt¹³. Der Strombedarf für die Produktion des Gerätes wurde auf Basis von Daten pro kg Produkt¹⁴ ähnlich gelagerter Unternehmen abgeschätzt ([23], [24], [25], [26]). Für den Wärmebedarf der Produktionsgebäude und die Gebäudeinfrastruktur wurden die mittleren Datensätze für die Metallverarbeitung aus ecoinvent verwendet [27]. Die bilanzierte Menge bezieht sich dabei auf das Gesamtgewicht der Komponente.

In der Bilanz des Gerätes wurde ein jährlicher Ersatz der Luftfilter über die 20 Jahre Lebensdauer eingerechnet.

Die Transporte wurden mit den Standarddistanzen gemäss ecoinvent-Dokumentation v2.2 eingesetzt. Für die Abschätzung der Unsicherheiten wurde die Methode der Pedigree-Matrix nach [10] angewendet.

Entsorgung Lüftungsgeräte in Modulbauweise

Die Entsorgung der Lüftungsgeräte wird entweder direkt durch den Lieferanten erfolgen oder über einen Rückbau in einzelnen Teilen überwiegend als Metallschrott erfolgen. Für den Rückbau wurde daher in erster Linie auf die Datensätze des Gebäuderückbaus zurückgegriffen.

Für den jährlichen Ersatz der Luftfilter über die 20 Jahre Lebensdauer wird eine Entsorgung über die Kehrlichtverbrennung zugrunde gelegt.

¹¹ Basis ist Stahlblech mit 37% Recyclinganteil (Bilanzierung wie bei Wohnraumlüftungsanlagen in [5] basierend auf den Teilprozessen 37% „Elektrostahl, un- und niedriglegiert“ sowie 63% „Blasstahl, unlegiert“. Die Verzinkung basiert auf einer Zinkauflage von 275 g/m² (siehe Details zu diesem Teilprozess in Tabelle 39)

¹² Bilanzierte Menge auf Basis der elektrischen Ventilatorenleistung (Basisinventar Inverter mit 2.5kW Leistung)

¹³ Bilanzierung linear zu Luftvolumenstrom auf Basis von Prozess “control and wiring, central unit, at plant” (mit Kennwert 2.78 Stk. pro 1000 m³/h)

¹⁴ Bilanzierung proportional zu Gesamtgewicht der Komponenten mit Kennwert 0.6 kWh pro kg

Werte zu typischen Geräten für KBOB-Liste

Die Datensätze für die KBOB-Liste werden aus den Datensätzen zu den Geräten mit einer Nennluftmenge von 1'800 m³/h und 6'700 m³/h. Zwischen dem Gerät mit 1'800 m³/h und dem Gerät mit 6'700 m³/h nimmt die Masse pro m³/h Luftmenge deutlich ab. Daher ist es sinnvoll diese beiden Datensätze zur Verfügung zu stellen. Bei grösseren Anlagen bleibt der spezifische Wert praktisch konstant. Daher können grössere Geräte gut mit dem Datensatz des Gerätes mit 6'700 m³/h abgebildet werden. Da die Differenzen zwischen den verschiedenen Typen der Wärmerückgewinnung nicht allzu gross sind, wurde hier ein Mittelwert gebildet.

Als eigene Datensätze machen die Ventilatorenbaugruppe (z.B. für Garagenfortluft) und das Schalldämpfer-Element Sinn, da diese Komponenten projektspezifisch sehr unterschiedlich sein können.

Sachbilanz Lüftungsgeräte in Modulbauweise

Herstellung

Tabelle 24: Lüftungsgeräte mit Zu- und Abluftventilator und Platten-Wärmetauscher

	Lüftungsgerät, 1800 m ³ /h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Lüftungsgerät, 3500 m ³ /h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Lüftungsgerät, 6700 m ³ /h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Lüftungsgerät, 13000 m ³ /h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH Unit	CH Unit	CH Unit	CH Unit	
ecoinvent - Datensatz					
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	1.81E+2	2.77E+2	4.52E+2	7.79E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	3.08E+2	4.72E+2	7.70E+2	1.33E+3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
polyurethane, rigid foam, at plant, RER, [kg]	2.45E+1	3.82E+1	6.36E+1	9.80E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
electric motor, electric vehicle, at plant, RER, [kg]	5.00E+1	5.00E+1	1.44E+2	1.44E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	2.49E+2	3.77E+2	5.41E+2	9.10E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant, RER, [kg]	3.85E+0	4.99E+0	7.02E+0	8.66E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	3.61E+0	3.07E+0	4.50E+0	6.36E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
copper, at regional storage, RER, [kg]	1.12E+1	2.02E+1	3.88E+1	7.08E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	5.39E+0	9.23E+0	1.56E+1	2.79E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	3.62E+1	6.12E+1	1.11E+2	1.97E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant, RER, [m3]	3.66E-2	6.18E-2	1.13E-1	1.98E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
drawing of pipes, steel, RER, [kg]	1.12E+1	2.02E+1	3.88E+1	7.08E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
powder coating, aluminium sheet, RER, [m2]	1.46E+2	3.07E+2	4.99E+2	1.01E+3	1.32, (4,4,1,1,1,5)
powder coating, steel, RER, [m2]	4.37E+1	6.11E+1	9.34E+1	1.37E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
section bar extrusion, aluminium, RER, [kg]	1.70E+2	2.11E+2	2.72E+2	3.64E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	7.90E+1	1.66E+2	2.70E+2	5.46E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, chromium steel, RER, [kg]	5.39E+0	9.23E+0	1.56E+1	2.79E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	4.89E+2	7.50E+2	1.22E+3	2.11E+3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, coils, RER, [m2]	4.39E+1	7.30E+1	1.25E+2	2.35E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, adjustment per um, RER, [m2]	-6.72E+2	-1.12E+3	-1.92E+3	-3.59E+3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
fleece production, polyethylene terephthalate, RER, [kg]	3.62E+1	6.12E+1	1.11E+2	1.97E+2	1.34, (3,4,1,1,3,5)
inverter, 2500W, at plant, RER, [unit]	8.40E-1	1.62E+0	2.80E+0	5.88E+0	1.34, (3,4,1,1,3,5)
control and wiring, central unit, at plant, RER, [unit]	4.86E+0	9.50E+0	1.86E+1	3.61E+1	1.34, (3,4,1,1,3,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	5.35E+2	8.07E+2	1.32E+3	2.20E+3	1.34, (3,4,1,1,3,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	8.91E+2	1.34E+3	2.20E+3	3.67E+3	1.27, (2,4,2,1,3,4)
metal working factory, RER, [unit]	4.08E-7	6.16E-7	1.01E-6	1.68E-6	3.07, (2,4,2,1,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	3.90E+2	5.83E+2	9.77E+2	1.62E+3	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	4.45E+1	6.72E+1	1.10E+2	1.83E+2	2.14, (4,5,1,1,1,5)

Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)

Tabelle 25: Lüftungsgeräte mit Zu- und Abluftventilator und Rotations-Wärmetauscher

	Lüftungsgerät 1800 m ³ /h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Lüftungsgerät 3500 m ³ /h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Lüftungsgerät 6700 m ³ /h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Lüftungsgerät 13000 m ³ /h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH Unit	CH Unit	CH Unit	CH Unit	
ecoinvent - Datensatz					
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.02E+2	2.94E+2	4.22E+2	7.06E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	3.43E+2	5.01E+2	7.18E+2	1.20E+3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
polyurethane, rigid foam, at plant, RER, [kg]	2.19E+1	3.27E+1	5.18E+1	7.91E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
electric motor, electric vehicle, at plant, RER, [kg]	5.00E+1	5.00E+1	1.44E+2	1.44E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	2.29E+2	3.24E+2	4.49E+2	7.89E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant, RER, [kg]	3.85E+0	4.99E+0	7.02E+0	8.66E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	3.61E+0	3.07E+0	4.50E+0	6.36E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
copper, at regional storage, RER, [kg]	1.12E+1	2.02E+1	3.88E+1	7.08E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	1.96E+0	2.46E+0	2.96E+0	5.59E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	3.62E+1	6.12E+1	1.11E+2	1.97E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant, RER, [m ³]	3.66E-2	6.18E-2	1.13E-1	1.98E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
drawing of pipes, steel, RER, [kg]	1.12E+1	2.02E+1	3.88E+1	7.08E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
powder coating, aluminium sheet, RER, [m ²]	1.20E+2	2.25E+2	3.53E+2	8.16E+2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
powder coating, steel, RER, [m ²]	4.03E+1	5.41E+1	7.85E+1	1.13E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
section bar extrusion, aluminium, RER, [kg]	1.65E+2	2.03E+2	2.58E+2	3.48E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	6.47E+1	1.21E+2	1.91E+2	4.41E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, chromium steel, RER, [kg]	1.96E+0	2.46E+0	2.96E+0	5.59E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	5.45E+2	7.95E+2	1.14E+3	1.91E+3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, coils, RER, [m ²]	5.52E+1	8.53E+1	1.23E+2	2.20E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, adjustment per um, RER, [m ²]	-8.45E+2	-1.30E+3	-1.88E+3	-3.37E+3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
fleece production, polyethylene terephthalate, RER, [kg]	3.62E+1	6.12E+1	1.11E+2	1.97E+2	1.34, (3,4,1,1,3,5)
inverter, 2500W, at plant, RER, [unit]	8.40E-1	1.62E+0	2.80E+0	5.88E+0	1.34, (3,4,1,1,3,5)
control and wiring, central unit, at plant, RER, [unit]	4.86E+0	9.50E+0	1.86E+1	3.61E+1	1.34, (3,4,1,1,3,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	5.53E+2	7.95E+2	1.20E+3	1.98E+3	1.34, (3,4,1,1,3,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	9.21E+2	1.32E+3	2.00E+3	3.31E+3	1.27, (2,4,2,1,3,4)
metal working factory, RER, [unit]	4.22E-7	6.07E-7	9.18E-7	1.51E-6	3.07, (2,4,2,1,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	4.17E+2	5.94E+2	8.99E+2	1.46E+3	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	4.60E+1	6.62E+1	1.00E+2	1.65E+2	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 26: Lüftungsgeräte mit Zu- und Abluftventilator und Kreislaufverbund-WRG

	Lüftungsgerät, 1800 m3/h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Lüftungsgerät, 3500 m3/h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Lüftungsgerät, 6700 m3/h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Lüftungsgerät, 13000 m3/h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
ecoinvent - Datensatz	CH	CH	CH	CH	
	Unit	Unit	Unit	Unit	
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	1.69E+2	2.40E+2	3.55E+2	6.15E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	2.88E+2	4.09E+2	6.04E+2	1.05E+3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
polyurethane, rigid foam, at plant, RER, [kg]	2.30E+1	3.42E+1	5.39E+1	8.10E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
electric motor, electric vehicle, at plant, RER, [kg]	5.00E+1	5.00E+1	1.44E+2	1.44E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	2.04E+2	2.60E+2	3.65E+2	5.77E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant, RER, [kg]	3.85E+0	4.99E+0	7.02E+0	8.66E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	3.61E+0	3.07E+0	4.50E+0	6.36E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
copper, at regional storage, RER, [kg]	3.74E+1	6.73E+1	1.29E+2	2.36E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	3.43E+0	4.31E+0	5.19E+0	7.82E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	3.62E+1	6.12E+1	1.11E+2	1.97E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant, RER, [m3]	3.66E-2	6.18E-2	1.13E-1	1.98E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
drawing of pipes, steel, RER, [kg]	3.74E+1	6.73E+1	1.29E+2	2.36E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
powder coating, aluminium sheet, RER, [m2]	6.83E+1	1.01E+2	1.94E+2	4.20E+2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
powder coating, steel, RER, [m2]	4.18E+1	5.60E+1	8.11E+1	1.16E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
section bar extrusion, aluminium, RER, [kg]	1.67E+2	2.05E+2	2.60E+2	3.50E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	3.69E+1	5.44E+1	1.05E+2	2.27E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, chromium steel, RER, [kg]	3.43E+0	4.31E+0	5.19E+0	7.82E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	4.57E+2	6.49E+2	9.58E+2	1.66E+3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, coils, RER, [m2]	4.01E+1	6.07E+1	9.19E+1	1.79E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, adjustment per um, RER, [m2]	-6.14E+2	-9.28E+2	-1.41E+3	-2.74E+3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
fleece production, polyethylene terephthalate, RER, [kg]	3.62E+1	6.12E+1	1.11E+2	1.97E+2	1.34, (3,4,1,1,3,5)
inverter, 2500W, at plant, RER, [unit]	8.40E-1	1.62E+0	2.80E+0	5.88E+0	1.34, (3,4,1,1,3,5)
control and wiring, central unit, at plant, RER, [unit]	4.86E+0	9.50E+0	1.86E+1	3.61E+1	1.34, (3,4,1,1,3,5)
pump 40W, at plant, CH, [unit]	1.00E+0	2.00E+0	4.00E+0	8.00E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	5.02E+2	6.99E+2	1.10E+3	1.81E+3	1.34, (3,4,1,1,3,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	8.36E+2	1.16E+3	1.83E+3	3.02E+3	1.27, (2,4,2,1,3,4)
metal working factory, RER, [unit]	3.83E-7	5.33E-7	8.40E-7	1.38E-6	3.07, (2,4,2,1,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	3.76E+2	5.24E+2	8.29E+2	1.37E+3	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	4.18E+1	5.82E+1	9.17E+1	1.51E+2	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 27: Einfaches Ventilatormodul mit Klappe und Filter ohne Schalldämpfer

	Ventilator 1800 m3/h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Ventilator 3500 m3/h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Ventilator 6700 m3/h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Ventilator 13000 m3/h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	
	Unit	Unit	Unit	Unit	
ecoinvent - Datensatz					
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	5.77E+1	7.95E+1	1.18E+2	2.06E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	9.82E+1	1.35E+2	2.01E+2	3.51E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
polyurethane, rigid foam, at plant, RER, [kg]	5.65E+0	8.54E+0	1.38E+1	2.07E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
electric motor, electric vehicle, at plant, RER, [kg]	2.50E+1	2.50E+1	7.20E+1	7.20E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	4.51E+1	5.89E+1	7.70E+1	1.10E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant, RER, [kg]	1.88E+0	2.45E+0	3.46E+0	4.28E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	1.35E+0	9.58E-1	1.47E+0	2.20E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	1.81E+1	3.06E+1	5.57E+1	9.83E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant, RER, [m3]	1.83E-2	3.09E-2	5.63E-2	9.92E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
powder coating, steel, RER, [m2]	1.34E+1	1.71E+1	2.38E+1	3.26E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
section bar extrusion, aluminium, RER, [kg]	4.51E+1	5.89E+1	7.70E+1	1.10E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	1.56E+2	2.15E+2	3.19E+2	5.56E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, coils, RER, [m2]	1.39E+1	2.06E+1	3.24E+1	6.39E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, adjustment per um, RER, [m2]	-2.12E+2	-3.16E+2	-4.96E+2	-9.78E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
fleece production, polyethylene terephthalate, RER, [kg]	1.81E+1	3.06E+1	5.57E+1	9.83E+1	1.34, (3,4,1,1,3,5)
inverter, 2500W, at plant, RER, [unit]	4.20E-1	8.12E-1	1.40E+0	2.94E+0	1.34, (3,4,1,1,3,5)
control and wiring, central unit, at plant, RER, [unit]	2.43E+0	4.75E+0	9.31E+0	1.81E+1	1.34, (3,4,1,1,3,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	1.57E+2	2.14E+2	3.42E+2	5.48E+2	1.34, (3,4,1,1,3,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	2.62E+2	3.57E+2	5.71E+2	9.13E+2	1.27, (2,4,2,1,3,4)
metal working factory, RER, [unit]	1.20E-7	1.63E-7	2.61E-7	4.18E-7	3.07, (2,4,2,1,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	1.19E+2	1.58E+2	2.54E+2	4.06E+2	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	1.31E+1	1.78E+1	2.85E+1	4.57E+1	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 28: Schalldämpfermodul zu Lüftungsgeräten in Modulbauweise

	Schalldämpfer zu Ventilator 1800 m³/h, Modulbauweise, ab Werk	Schalldämpfer zu Ventilator 3500 m³/h, Modulbauweise, ab Werk	Schalldämpfer zu Ventilator 6700 m³/h, Modulbauweise, ab Werk	Schalldämpfer zu Ventilator 13000 m³/h, Modulbauweise, ab Werk	Geometrische Standard- Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	
	Unit	Unit	Unit	Unit	
ecoinvent - Datensatz					
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.55E+1	3.12E+1	4.07E+1	6.57E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	4.34E+1	5.31E+1	6.94E+1	1.12E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
polyurethane, rigid foam, at plant, RER, [kg]	3.39E+0	4.52E+0	6.22E+0	8.48E+0	1.24, (2,4,1,1,1,5)
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	7.20E+0	7.20E+0	7.20E+0	7.20E+0	1.24, (2,4,1,1,1,5)
rock wool, at plant, CH, [kg]	1.06E+1	1.90E+1	3.65E+1	6.66E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
powder coating, steel, RER, [m2]	4.32E+0	5.76E+0	7.92E+0	1.08E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
section bar extrusion, aluminium, RER, [kg]	7.20E+0	7.20E+0	7.20E+0	7.20E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	6.89E+1	8.43E+1	1.10E+2	1.78E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, coils, RER, [m2]	7.88E+0	9.31E+0	1.19E+1	2.06E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, adjustment per um, RER, [m2]	-1.21E+2	-1.42E+2	-1.82E+2	-3.15E+2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	5.40E+1	6.90E+1	9.60E+1	1.56E+2	1.34, (3,4,1,1,3,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	9.00E+1	1.15E+2	1.60E+2	2.60E+2	1.38, (4,5,1,1,1,5)
metal working factory, RER, [unit]	4.12E-8	5.27E-8	7.33E-8	1.19E-7	3.18, (4,5,1,1,3,5)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	4.55E+1	5.67E+1	7.60E+1	1.23E+2	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	4.50E+0	5.75E+0	8.00E+0	1.30E+1	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 29: Datensätze für KBOB-Liste mit Mittelwerten typischer Anlagen

ecoinvent - Datensatz	Luftungsgerät 1800 m ³ /h mit ZUL, ABL und WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Ventilator 1800 m ³ /h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Schalldämpfer zu Ventilator 1800 m ³ /h, Modulbauweise, ab Werk	Luftungsgerät 6700 m ³ /h mit ZUL, ABL und WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Ventilator 6700 m ³ /h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Schalldämpfer zu Ventilator 6700 m ³ /h, Modulbauweise, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	1.02E-1	3.20E-2	1.42E-2	6.11E-2	1.76E-2	6.08E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	1.74E-1	5.46E-2	2.41E-2	1.04E-1	3.00E-2	1.04E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
polyurethane, rigid foam, at plant, RER, [kg]	1.28E-2	3.14E-3	1.88E-3	8.42E-3	2.06E-3	9.28E-4	1.24, (2,4,1,1,1,5)
electric motor, electric vehicle, at plant, RER, [kg]	2.78E-2	1.39E-2	-	2.15E-2	1.07E-2	-	1.24, (2,4,1,1,1,5)
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	1.26E-1	2.50E-2	4.00E-3	6.74E-2	1.15E-2	1.07E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
rock wool, at plant, CH, [kg]	-	-	5.86E-3	-	5.17E-4	5.45E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant, RER, [kg]	2.14E-3	1.04E-3	-	1.05E-3	5.17E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	2.00E-3	7.48E-4	-	6.71E-4	2.20E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
copper, at regional storage, RER, [kg]	1.11E-2	-	-	1.03E-2	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	2.00E-3	-	-	1.18E-3	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant, RER, [kg]	2.01E-2	1.01E-2	-	1.66E-2	8.31E-3	-	1.24, (2,4,1,1,1,5)
sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant, RER, [m ³]	2.03E-5	1.02E-5	-	1.68E-5	8.40E-6	-	1.24, (2,4,1,1,1,5)
drawing of pipes, steel, RER, [kg]	1.11E-2	-	-	1.03E-2	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
powder coating, aluminium sheet, RER, [m ²]	6.19E-2	-	-	5.20E-2	-	-	1.32, (4,4,1,1,1,5)
powder coating, steel, RER, [m ²]	2.33E-2	7.47E-3	2.40E-3	1.26E-2	3.56E-3	1.18E-3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
section bar extrusion, aluminium, RER, [kg]	9.29E-2	2.50E-2	4.00E-3	3.93E-2	1.15E-2	1.07E-3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	3.34E-2	-	-	2.81E-2	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, chromium steel, RER, [kg]	2.00E-3	-	-	1.18E-3	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	2.76E-1	8.66E-2	3.83E-2	1.65E-1	4.76E-2	1.64E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, coils, RER, [m ²]	2.58E-2	7.70E-3	4.38E-3	1.69E-2	4.84E-3	1.77E-3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, adjustment per um, RER, [m ²]	-3.95E-1	-1.18E-1	-6.70E-2	-2.59E-1	-7.41E-2	-2.71E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
fleece production, polyethylene terephthalate, RER, [kg]	2.01E-2	1.01E-2	-	1.66E-2	8.31E-3	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
inverter, 2500W, at plant, RER, [unit]	4.67E-4	2.33E-4	-	4.18E-4	2.09E-4	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
control and wiring, central unit, at plant, RER, [unit]	2.70E-3	1.35E-3	-	2.78E-3	1.39E-3	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
pump 40W, at plant, CH, [unit]	1.85E-4	-	-	1.99E-4	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	2.94E-1	8.73E-2	3.00E-2	1.80E-1	5.11E-2	1.43E-2	1.34, (3,4,1,1,3,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	4.90E-1	1.46E-1	5.00E-2	3.01E-1	8.52E-2	2.39E-2	1.27, (2,4,2,1,3,4)
metal working factory, RER, [unit]	2.25E-10	6.67E-11	2.29E-11	1.38E-10	3.90E-11	1.09E-11	3.07, (2,4,2,1,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	2.19E-1	6.64E-2	2.53E-2	1.35E-1	3.80E-2	1.13E-2	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	2.45E-2	7.28E-3	2.50E-3	5.59E-2	4.26E-3	1.19E-3	2.14, (4,5,1,1,1,5)

Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)

Entsorgung

Tabelle 30: Lüftungsgeräte mit Zu- und Abluftventilator und Platten-Wärmetauscher

ecoinvent - Datensatz	Entsorgung, Lüftungsgerät, 1800 m ³ /h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 3500 m ³ /h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 6700 m ³ /h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 13000 m ³ /h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	
	Unit	Unit	Unit	Unit	
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	8.05E+2	1.21E+3	1.96E+3	3.26E+3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyurethane foam, to final disposal, CH, [kg]	2.45E+1	3.82E+1	6.36E+1	9.80E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	2.70E+0	3.49E+0	4.92E+0	6.06E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, glass, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.16E+0	1.50E+0	2.11E+0	2.60E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	3.61E+0	3.07E+0	4.50E+0	6.36E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration, CH, [kg]	3.62E+1	6.12E+1	1.11E+2	1.97E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.81E+1	3.06E+1	5.57E+1	9.83E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	1.83E+1	3.55E+1	5.72E+1	1.11E+2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
disposal, control and wiring, central unit, CH, [unit]	4.86E+0	9.50E+0	1.86E+1	3.61E+1	1.34, (3,4,1,1,3,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	5.43E-1	9.17E-1	1.67E+0	2.95E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 31: Lüftungsgeräte mit Zu- und Abluftventilator und Rotations-Wärmetauscher

ecoinvent - Datensatz	Entsorgung, Lüftungsgerät, 1800 m ³ /h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 3500 m ³ /h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 6700 m ³ /h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 13000 m ³ /h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	
	Unit	Unit	Unit	Unit	
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	8.37E+2	1.19E+3	1.77E+3	2.92E+3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyurethane foam, to final disposal, CH, [kg]	2.19E+1	3.27E+1	5.18E+1	7.91E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	2.70E+0	3.49E+0	4.92E+0	6.06E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, glass, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.16E+0	1.50E+0	2.11E+0	2.60E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	3.61E+0	3.07E+0	4.50E+0	6.36E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration, CH, [kg]	3.62E+1	6.12E+1	1.11E+2	1.97E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.81E+1	3.06E+1	5.57E+1	9.83E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	1.54E+1	2.69E+1	4.16E+1	8.97E+1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
disposal, control and wiring, central unit, CH, [unit]	4.86E+0	9.50E+0	1.86E+1	3.61E+1	1.34, (3,4,1,1,3,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	5.43E-1	9.17E-1	1.67E+0	2.95E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 32: Lüftungsgeräte mit Zu- und Abluftventilator und Kreislaufverbund-WRG

	Entsorgung, Lüftungsgerät, 1800 m ³ /h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 3500 m ³ /h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 6700 m ³ /h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 13000 m ³ /h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	
ecoinvent - Datensatz	Unit	Unit	Unit	Unit	
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	7.54E+2	1.04E+3	1.61E+3	2.65E+3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyurethane foam, to final disposal, CH, [kg]	2.30E+1	3.42E+1	5.39E+1	8.10E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	2.70E+0	3.49E+0	4.92E+0	6.06E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, glass, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.16E+0	1.50E+0	2.11E+0	2.60E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	3.61E+0	3.07E+0	4.50E+0	6.36E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration, CH, [kg]	3.62E+1	6.12E+1	1.11E+2	1.97E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.81E+1	3.06E+1	5.57E+1	9.83E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	1.06E+1	1.51E+1	2.65E+1	5.17E+1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
disposal, control and wiring, central unit, CH, [unit]	4.86E+0	9.50E+0	1.86E+1	3.61E+1	1.34, (3,4,1,1,3,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	5.43E-1	9.17E-1	1.67E+0	2.95E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 33: Einfaches Ventilatormodul mit Klappe und Filter ohne Schalldämpfer

	Entsorgung, Ventilator 1800 m ³ /h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Ventilator 3500 m ³ /h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Ventilator 6700 m ³ /h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Ventilator 13000 m ³ /h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	
ecoinvent - Datensatz	Unit	Unit	Unit	Unit	
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	2.26E+2	2.99E+2	4.68E+2	7.39E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyurethane foam, to final disposal, CH, [kg]	5.65E+0	8.54E+0	1.38E+1	2.07E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	1.31E+0	1.71E+0	2.42E+0	3.00E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, glass, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	5.63E-1	7.34E-1	1.04E+0	1.28E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.35E+0	9.58E-1	1.47E+0	2.20E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.81E+1	3.06E+1	5.57E+1	9.83E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration, CH, [kg]	9.05E+0	1.53E+1	2.78E+1	4.91E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	1.30E+0	1.65E+0	2.30E+0	3.15E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, control and wiring, central unit, CH, [unit]	2.43E+0	4.75E+0	9.31E+0	1.81E+1	1.34, (3,4,1,1,3,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	2.71E-1	4.59E-1	8.35E-1	1.47E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 34: Schalldämpfermodul zu Lüftungsgeräten in Modulbauweise

ecoinvent - Datensatz	Entsorgung, Schalldämpfer zu Ventilator 1800 m ³ /h, Modulbauweise, ab Werk	Entsorgung, Schalldämpfer zu Ventilator 3500 m ³ /h, Modulbauweise, ab Werk	Entsorgung, Schalldämpfer zu Ventilator 6700 m ³ /h, Modulbauweise, ab Werk	Entsorgung, Schalldämpfer zu Ventilator 13000 m ³ /h, Modulbauweise, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedgree-Matrix)
	CH Unit	CH Unit	CH Unit	CH Unit	
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	7.61E+1	9.15E+1	1.17E+2	1.85E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyurethane foam, to final disposal, CH, [kg]	3.39E+0	4.52E+0	6.22E+0	8.48E+0	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, mineral wool, to sorting plant, CH, [kg]	1.06E+1	1.90E+1	3.65E+1	6.66E+1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	4.17E-1	5.56E-1	7.64E-1	1.04E+0	1.32, (4,4,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 35: Datensätze für KBOB-Liste mit Mittelwerten typischer Anlagen

ecoinvent - Datensatz	Entsorgung, Lüftungsgerät, 1800 m ³ /h mit ZUL, ABL und WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Ventilator 1800 m ³ /h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Schalldämpfer zu Ventilator 1800 m ³ /h, Modulbauweise, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 6700 m ³ /h mit ZUL, ABL und WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Ventilator 6700 m ³ /h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Schalldämpfer zu Ventilator 6700 m ³ /h, Modulbauweise, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedgree-Matrix)
	CH m ³ /h	CH m ³ /h	CH m ³ /h	CH m ³ /h	CH m ³ /h	CH m ³ /h	
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	4.44E-1	1.26E-1	4.23E-2	2.66E-1	6.99E-2	1.75E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyurethane foam, to final disposal, CH, [kg]	1.28E-2	3.14E-3	1.88E-3	8.42E-3	2.06E-3	9.28E-4	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, mineral wool, to sorting plant, CH, [kg]	-	-	5.86E-3	-	-	5.45E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	1.50E-3	7.30E-4	-	7.34E-4	3.62E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, glass, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	6.42E-4	3.13E-4	-	3.14E-4	1.55E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	2.00E-3	7.48E-4	-	6.71E-4	2.20E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration, CH, [kg]	2.01E-2	1.01E-2	-	1.66E-2	8.31E-3	-	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.01E-2	5.03E-3	-	8.31E-3	4.16E-3	-	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	8.22E-3	7.21E-4	2.32E-4	6.23E-3	3.43E-4	1.14E-4	1.32, (4,4,1,1,1,5)
disposal, control and wiring, central unit, CH, [unit]	2.70E-3	1.35E-3	-	2.78E-3	1.39E-3	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	3.02E-4	1.51E-4	-	2.49E-4	1.25E-4	-	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)							

Luftverteilung und Dämmungen

Einleitung

Für die Luftverteilung sind vor allem die eingesetzten Kanäle und Rohre von Bedeutung. Üblicherweise sind diese aus sendzimir verzinktem Stahlblech hergestellt. Insbesondere in Wohnungen kommen aber für die Feinverteilung in die Räume flexible Verrohrungen aus Polyethylen vor. Eine Dämmung der Leitungen ist erforderlich, wenn erhebliche Temperaturunterschiede zwischen der transportierten Luft und der umgebenden Raumluft vorliegen ($>5K$). Ebenfalls ist oft eine Dämmung aufgrund von Anforderungen des Brandschutzes notwendig.

Marktanalyse

Für die Elemente der Luftverteilung (Kanäle, Spiralfalzrohre, Dämmungen) lagen keine spezifischen Angaben zum Markt vor. Eine von Interconnection Consulting 2012/13 durchgeführten Marktanalyse zum Wohnraumlüftungsmarkt [12] in der Schweiz, Deutschland und Österreich (DACH) zeigt folgende Ergebnisse. Im Jahr 2012 betrug das wertmässige Marktvolumen in allen drei Märkten 726.5 Millionen Euro. Der Deutsche Markt ist dabei mit 72.2% Marktanteil das Schwergewicht unter den drei Märkten. Das starke Marktwachstum in den letzten Jahren im Bereich der Wohnraumlüftung zeigt sich in Abbildung 89.

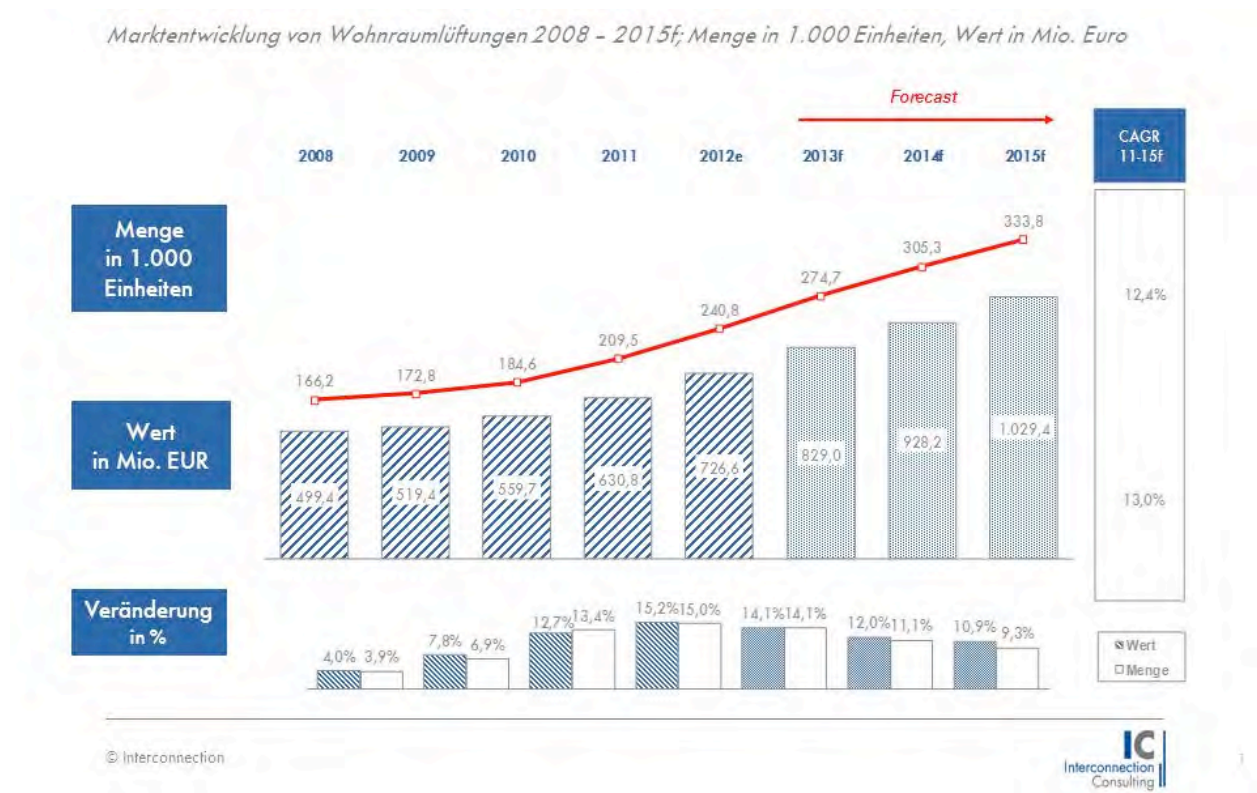


Abbildung 89: Marktentwicklung von Wohnraumlüftungen 2008-2015 (Quelle [12])

Die Oberflächen der geraden Rohr- und Kanalstücke pro Laufmeter Rohr oder Kanal sind in Tabelle 35 dargestellt. Für die Verbindungselemente muss die Oberfläche geometrisch aus den jeweils eingesetzten Elementen berechnet werden (aus Devisierungsunterlagen).

Tabelle 36: Umrechnungstabelle für Rohr- / Kanaloberfläche pro Laufmeter

D, B [in mm]	Rohr (rund)	Kanalhöhe H [in mm]																											
		80	100	125	140	150	160	180	200	225	250	300	315	350	400	450	500	600	800	1000	1200	1400	1500	1600	1800	2000			
80	0.25	0.32	0.36	0.41	0.44	0.46	0.48	0.52	0.56	0.61	0.66	0.76	0.79	0.86	0.96	1.06	1.16	1.36	1.76	2.16	2.56	2.96	3.16	3.36	3.76	4.16			
100	0.31	0.36	0.40	0.45	0.48	0.50	0.52	0.56	0.60	0.65	0.70	0.80	0.83	0.90	1.00	1.10	1.20	1.40	1.80	2.20	2.60	3.00	3.20	3.40	3.80	4.20			
125	0.39	0.41	0.45	0.50	0.53	0.55	0.57	0.61	0.65	0.70	0.75	0.85	0.88	0.95	1.05	1.15	1.25	1.45	1.85	2.25	2.65	3.05	3.25	3.45	3.85	4.25			
140	0.44	0.44	0.48	0.53	0.56	0.58	0.60	0.64	0.68	0.73	0.78	0.88	0.91	0.98	1.08	1.18	1.28	1.48	1.88	2.28	2.68	3.08	3.28	3.48	3.88	4.28			
150	0.47	0.46	0.50	0.55	0.58	0.60	0.62	0.66	0.70	0.75	0.80	0.90	0.93	1.00	1.10	1.20	1.30	1.50	1.90	2.30	2.70	3.10	3.30	3.50	3.90	4.30			
160	0.50	0.48	0.52	0.57	0.60	0.62	0.64	0.68	0.72	0.77	0.82	0.92	0.95	1.02	1.12	1.22	1.32	1.52	1.92	2.32	2.72	3.12	3.32	3.52	3.92	4.32			
180	0.57	0.52	0.56	0.61	0.64	0.66	0.68	0.72	0.76	0.81	0.86	0.96	0.99	1.06	1.16	1.26	1.36	1.56	1.96	2.36	2.76	3.16	3.36	3.56	3.96	4.36			
200	0.63	0.56	0.60	0.65	0.68	0.70	0.72	0.76	0.80	0.85	0.90	1.00	1.03	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.40	3.60	4.00	4.40			
225	0.71	0.61	0.65	0.70	0.73	0.75	0.77	0.81	0.85	0.90	0.95	1.05	1.08	1.15	1.25	1.35	1.45	1.65	2.05	2.45	2.85	3.25	3.45	3.65	4.05	4.45			
250	0.79	0.66	0.70	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.90	0.95	1.00	1.10	1.13	1.20	1.30	1.40	1.50	1.70	2.10	2.50	2.90	3.30	3.50	3.70	4.10	4.50			
300	0.94	0.76	0.80	0.85	0.88	0.90	0.92	0.96	1.00	1.05	1.10	1.20	1.23	1.30	1.40	1.50	1.60	1.80	2.20	2.60	3.00	3.40	3.60	3.80	4.20	4.60			
315	0.99	0.79	0.83	0.88	0.91	0.93	0.95	0.99	1.03	1.08	1.13	1.23	1.26	1.33	1.43	1.53	1.63	1.83	2.23	2.63	3.03	3.43	3.63	3.83	4.23	4.63			
350	1.10	0.86	0.90	0.95	0.98	1.00	1.02	1.06	1.10	1.15	1.20	1.30	1.33	1.40	1.50	1.60	1.70	1.90	2.30	2.70	3.10	3.50	3.70	3.90	4.30	4.70			
400	1.26	0.96	1.00	1.05	1.08	1.10	1.12	1.16	1.20	1.25	1.30	1.40	1.43	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	3.80	4.00	4.40	4.80			
450	1.41	1.06	1.10	1.15	1.18	1.20	1.22	1.26	1.30	1.35	1.40	1.50	1.53	1.60	1.70	1.80	1.90	2.10	2.50	2.90	3.30	3.70	3.90	4.10	4.50	4.90			
500	1.57	1.16	1.20	1.25	1.28	1.30	1.32	1.36	1.40	1.45	1.50	1.60	1.63	1.70	1.80	1.90	2.00	2.20	2.60	3.00	3.40	3.80	4.00	4.20	4.60	5.00			
600	1.88	1.36	1.40	1.45	1.48	1.50	1.52	1.56	1.60	1.65	1.70	1.80	1.83	1.90	2.00	2.10	2.20	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	4.20	4.40	4.80	5.20			
800	2.51	1.76	1.80	1.85	1.88	1.90	1.92	1.96	2.00	2.05	2.10	2.20	2.23	2.30	2.40	2.50	2.60	2.80	3.20	3.60	4.00	4.40	4.60	4.80	5.20	5.60			
1000	3.14	2.16	2.20	2.25	2.28	2.30	2.32	2.36	2.40	2.45	2.50	2.60	2.63	2.70	2.80	2.90	3.00	3.20	3.60	4.00	4.40	4.80	5.00	5.20	5.60	6.00			
1200	3.77	2.56	2.60	2.65	2.68	2.70	2.72	2.76	2.80	2.85	2.90	3.00	3.03	3.10	3.20	3.30	3.40	3.60	4.00	4.40	4.80	5.20	5.40	5.60	6.00	6.40			
1400	4.40	2.96	3.00	3.05	3.08	3.10	3.12	3.16	3.20	3.25	3.30	3.40	3.43	3.50	3.60	3.70	3.80	4.00	4.40	4.80	5.20	5.60	5.80	6.00	6.40	6.80			
1500	4.71	3.16	3.20	3.25	3.28	3.30	3.32	3.36	3.40	3.45	3.50	3.60	3.63	3.70	3.80	3.90	4.00	4.20	4.60	5.00	5.40	5.80	6.00	6.20	6.60	7.00			
1600	5.03	3.36	3.40	3.45	3.48	3.50	3.52	3.56	3.60	3.65	3.70	3.80	3.83	3.90	4.00	4.10	4.20	4.40	4.80	5.20	5.60	6.00	6.20	6.40	6.80	7.20			
1800	5.65	3.76	3.80	3.85	3.88	3.90	3.92	3.96	4.00	4.05	4.10	4.20	4.23	4.30	4.40	4.50	4.60	4.80	5.20	5.60	6.00	6.40	6.60	6.80	7.20	7.60			
2000	6.28	4.16	4.20	4.25	4.28	4.30	4.32	4.36	4.40	4.45	4.50	4.60	4.63	4.70	4.80	4.90	5.00	5.20	5.60	6.00	6.40	6.80	7.00	7.20	7.60	8.00			
2500	7.85	5.16	5.20	5.25	5.28	5.30	5.32	5.36	5.40	5.45	5.50	5.60	5.63	5.70	5.80	5.90	6.00	6.20	6.60	7.00	7.40	7.80	8.00	8.20	8.60	9.00			
3000	9.42	6.16	6.20	6.25	6.28	6.30	6.32	6.36	6.40	6.45	6.50	6.60	6.63	6.70	6.80	6.90	7.00	7.20	7.60	8.00	8.40	8.80	9.00	9.20	9.60	10.00			
4000	12.57	8.16	8.20	8.25	8.28	8.30	8.32	8.36	8.40	8.45	8.50	8.60	8.63	8.70	8.80	8.90	9.00	9.20	9.60	10.00	10.40	10.80	11.00	11.20	11.60	12.00			

Neben der Fläche ist auch die Blechstärke ein wesentlicher Parameter für die Bilanzierung. Die Blechstärke ist abhängig von der grössten Seitenlänge des Kanals bzw. des Durchmessers bei den Spiralfalzrohren. Zudem ist bei Mittel- oder Hochdruckanlagen eine höhere Blechstärke zu wählen. Für die in diesem Bericht erstellten Bilanzen wurden Blechstärken für Niederdruckanlagen zugrunde gelegt¹⁵. Folgende Blechstärken wurden eingesetzt und bilanziert:

Tabelle 37: Verwendete Blechstärken für Lüftungskanäle und Spiralfalzrohre

Lüftungskanäle		Spiralfalzrohre	
grösste Seitenlänge [mm]	Blechstärke [mm]	Durchmesser [mm]	Blechstärke [mm]
bis 400	0.62	bis 200	0.5
401 bis 700	0.75	201 bis 500	0.6
701 bis 1000	0.87	501 bis 1000	0.8
1001 bis 1500	1.00	> 1000	1.0
1501 bis 2000	1.25		
> 2000	1.50		

¹⁵ Nach VDI 3801 gilt als Niederdruck der Druckbereich zwischen -500 Pa ... +1'000 Pa,

Neben verzinktem Stahlblech kommen für gewisse Anwendungen (z.B. Aussenbereiche) auch Kanäle und Rohre aus rostfreiem Stahl (1.4301) zum Einsatz. Diese wurden daher auch bilanziert.

Für PE-Wellrohre und voll flexible Lüftungsrohre (Flex-Rohre) wurden die bestehenden Bilanzen (Lüftungsrohr, PE Wellrohr, DN 75, ab Werk; Flex Rohr, Alu / PET, DN 125, ab Werk) für die durchgeführten Berechnungen verwendet. Zur Umrechnung anderer Dimensionen kamen dabei die in Tabelle 38 dargestellten Umrechnungsfaktoren zur Anwendung.

Tabelle 38: Umrechnungsfaktoren für PE-Wellrohre und Flexible Lüftungsrohre

PE Wellrohr		
Durchmesser [mm]	Masse (kg/m)	Faktor [m/m]
50	0.2	0.61
75	0.33	1.00
90	0.46	1.39
110	0.53	1.61
125	0.67	2.03
140	0.85	2.58
160	0.99	3.00
Für grössere Dimensionen oder andere Produkttypen (z.B. starre Rohre) muss der Faktor aus dem Produktwert (kg/m) berechnet werden.		

Quelle: Zehnder Comfosystems

Flexibles Lüftungsrohr		
Durchmesser [mm]	Masse (kg/m)	Faktor [m/m]
80	0.12	0.63
100	0.14	0.74
125	0.19	1.00
160	0.25	1.32
200	0.48	2.53
250	0.53	2.79
315	0.93	4.89
355	0.97	5.11
400	1.12	5.89
Materialbasis: 2-lagige Polyesterfolie, aluminiumbeschichtet, Federstahlschraube zur Versteifung		

Quelle: Helios

Neben dem für die Herstellung erforderlichen Materialanteil für Falze und Anschlussflansche werden auch die für die Verstärkung (Verstreben) und Montage (Befestigungsringe/-schienen, Dämpfungselemente) der Kanäle benötigten Teile in die Bilanz pro m² Oberfläche einbezogen. Damit sind alle durch den Lüftungsbauer gelieferten Elemente einbezogen.

Bei der Dämmung der Luftverteilung muss in erster Linie zwischen folgenden Kategorien unterschieden werden:

- Thermische Dämmung
- Brandschutz Dämmung

Da sich diese beiden Dämmungstypen bezüglich des Materialeinsatzes (Eingesetzte Rohdichte des Dämmstoffes) klar unterscheiden und auch in der Devisierung separat ausgeschrieben werden wurden dazu eigene Sachbilanzen erstellt. Folgende Dämmungen wurden bilanziert:

- Thermische Dämmung, 30 mm Stärke mit Steinwolle 40 kg/m³ (Temperaturdiff. 5-10 K)
- Thermische Dämmung, 60 mm Stärke mit Steinwolle 40 kg/m³ (Temperaturdiff. 10-15 K)
- Thermische Dämmung, 100 mm Stärke mit Steinwolle 40 kg/m³ (Temperaturdiff. >15 K)
- Brandschutz-Dämmung EI30, 50 mm Stärke mit Steinwolle 120 kg/m³
- Brandschutz-Dämmung EI60, 70 mm Stärke mit Steinwolle 120 kg/m³
- Brandschutz-Dämmung EI90, 100 mm Stärke mit Steinwolle 120 kg/m³

Als Verkleidung der Dämmung wird meist eine gitterverstärkte Aluminiumfolie eingesetzt (Standardfall). Da die thermischen Dämmungen auch teilweise im Aussenbereich eingesetzt werden,

wurde für diese Prozesse auch eine Untervariante mit Blechverkleidung aus Aluminium bzw. rostfreiem Stahl erstellt.

Die Systemgrenze umfasst die Produktion der Elemente mit allen Aufwendungen für die Rohstoffbereitstellung und den Produktionsaufwand. Nicht berücksichtigt werden alle bauseitig nötigen Installationen, welche nicht direkt mit dem Gerät zusammenhängen bzw. darin eingebaut sind. Folgende Positionen sind in der Systemgrenze nicht enthalten:

- Verschnitte, welche evtl. auf der Baustelle anfallen
- Transporte auf die Baustelle
- Bauliche Massnahmen wie z.B. evtl. erforderliche Durchbrüche etc.

Materialbilanz Herstellung Luftverteilung und Dämmungen

Basis der Materialbilanz sind Informationen von verschiedenen Herstellern oder Verarbeitungsunternehmen ([17], [18], [19], [20], [21]). Im Weiteren bildeten die Angaben in den Devisierungsunterlagen der bilanzierten Gebäude sowie eigene Daten und Auswertungen aus Projekten die Basis für die Sachbilanzen.

Wesentlich für die Bilanz ist das Hauptmaterial, das verzinkte Stahlblech¹⁶. Neben der Blechstärke, welche sich aus der Dimension der Kanäle oder Rohre ergibt, ist dabei vor allem der Verzinkungsprozess von Bedeutung. Typisch für Lüftungskanäle ist eine Zinkauflage von 275 g/m² Kanal bzw. eine Schichtdicke von 20 µm (je Seite). Dem entsprechenden ecoinvent Prozess „Bandverzinkung“ [22] liegt eine deutlich höhere Zinkauflage / Schichtstärke zugrunde. Daher erfolgte eine Korrektur mit dem Prozess „Stückverzinkung, Korrektur pro µm“. In Tabelle 39 sind die verwendeten Korrekturen dargestellt:

Tabelle 39: Korrektur ecoinvent-Prozess Bandverzinkung für Verzinkung Lüftungskanäle [22]

	Prozess "Bandverzinkung"	Prozess "Stückverzinkung, Korrektur pro µm" **)	Prozessanpassung für verzinken Lüftungskanäle
Zinkbedarf			
Zink, primär	679 g/m ²	24 g/m ²	679 g/m ²
Zink, rezykliert	150 g/m ²	0 g/m ²	150 g/m ²
Gesamter Zinkbedarf	829 g/m ²	24 g/m ²	829 g/m ²
Schichtstärkenkorrektur je Seite		0.001 mm	-0.010 mm
Korrigierter Zinkbedarf			593 g/m ²
Schichtstärke je Seite	0.030 mm *)		0.019 mm
Zinkauflage, total	428 g/m ²	14 g/m ²	275 g/m ²
"Prozesseffizienz"	52%	61%	46%

*) Geometrisches Mittel aus Angabe in Prozess von 0.02...0.045mm

**) Mit Umrechnungsfaktor (x 1.53) für Anwendung auf Prozess "Bandverzinkung"

¹⁶ Basis ist Stahlblech mit 37% Recyclinganteil (Bilanzierung wie bei Wohnraumlüftungsanlagen in [5] basierend auf den Teilprozessen 37% „Elektrostahl, un- und niedriglegiert“ sowie 63% „Blasstahl, unlegiert“

Der Bandverzinkungsprozess in ecoinvent weist eine Effizienz bezüglich Zinkauftrag von etwa 50-60% auf. Bezogen auf das Verzinken von Lüftungskanälen müsste der Zinkbedarf im Prozess damit ca. 500 g/m² betragen. Aus den Angaben der Prozessbeschreibung beträgt das geometrische Mittel der Zinkauflage (je Seite) für den Prozess 30 µm. Durch die Einführung des zusätzlichen Korrekturprozesses für -10 µm würde für die Zinkauflage von 275 g/m² mit einer Prozesseffizienz von 46% ein ähnlicher Wert wie für den Grundprozess erreicht.

Der Strombedarf für die Produktion der Lüftungskanäle wurde primär auf Basis von Daten eines entsprechenden Unternehmens eingeschätzt [23]. Vergleiche mit Daten eines Unternehmens mit ähnlichen Produktionsprozessen [25] bestätigen diese Annahme. Für den Wärmebedarf der Produktionsgebäude und die Gebäudeinfrastruktur wurden die mittleren Datensätze für die Metallverarbeitung aus ecoinvent verwendet [27]. Die bilanzierte Menge bezieht sich dabei auf das Gesamtgewicht der Komponente. Bei der Sachbilanz der Dämmmaterialien sind die Aufwendungen für die Herstellung bereits im Prozess des Dämmmaterials enthalten. Weitergehende Prozessenergien wurden hier vernachlässigt.

Die Transporte wurden mit den Standarddistanzen gemäss ecoinvent-Dokumentation v2.2 eingesetzt. Für die Abschätzung der Unsicherheiten wurde die Methode der Pedigree-Matrix nach [10] angewendet.

Entsorgung Luftverteilung und Dämmungen

Die Entsorgung der Lüftungsgeräte wird entweder direkt durch den Lieferanten erfolgen oder über einen Rückbau in einzelnen Teilen überwiegend als Metallschrott erfolgen. Für den Rückbau wurde daher in erster Linie auf die Datensätze des Gebäuderückbaus zurückgegriffen.

Für den jährlichen Ersatz der Luftfilter über die 20 Jahre Lebensdauer wird eine Entsorgung über die Kehrlichtverbrennung zugrunde gelegt.

Sachbilanz Luftverteilung und Dämmungen

Herstellung

Tabelle 40: Spiralfalzrohre aus verzinktem Stahlblech

ecoinvent - Datensatz	Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.5mm, ab Werk	Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.6mm, ab Werk	Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.8mm, ab Werk	Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 1.0mm, ab Werk	Geometrische Standard- Abweichung (Pedigree- Matrix)
	CH	CH	CH	CH	
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	1.56E+0	1.89E+0	2.56E+0	3.23E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	2.65E+0	3.22E+0	4.36E+0	5.50E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	4.21E+0	5.12E+0	6.92E+0	8.73E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
section bar rolling, steel, RER, [kg]	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
zinc coating, coils, RER, [m2]	1.07E+0	1.09E+0	1.10E+0	1.11E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, RER, [m2]	1.70E-2	1.70E-2	1.70E-2	1.70E-2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, adjustment per um, RER, [m2]	-1.64E+1	-1.66E+1	-1.69E+1	-1.70E+1	1.22, (2,3,1,1,1,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	1.35E+0	1.62E+0	2.17E+0	2.71E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	4.51E+0	5.42E+0	7.22E+0	9.03E+0	1.27, (2,4,2,1,3,4)
metal working factory, RER, [unit]	2.07E-9	2.48E-9	3.31E-9	4.13E-9	3.07, (2,4,2,1,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	2.71E+0	3.25E+0	4.33E+0	5.42E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	2.26E-1	2.71E-1	3.61E-1	4.51E-1	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 41: Spiralfalzrohre aus rostfreiem Stahlblech

ecoinvent - Datensatz	Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s = 0.5mm, ab Werk	Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s = 0.6mm, ab Werk	Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s = 0.8mm, ab Werk	Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s = 1.0mm, ab Werk	Geometrische Standard- Abweichung (Pedigree- Matrix)
	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	4.21E+0	5.12E+0	6.92E+0	8.73E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	4.21E+0	5.12E+0	6.92E+0	8.73E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
section bar rolling, steel, RER, [kg]	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1	2.00E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, RER, [m2]	1.70E-2	1.70E-2	1.70E-2	1.70E-2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	1.35E+0	1.62E+0	2.17E+0	2.71E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	4.51E+0	5.42E+0	7.22E+0	9.03E+0	1.27, (2,4,2,1,3,4)
metal working factory, RER, [unit]	2.07E-9	2.48E-9	3.31E-9	4.13E-9	3.07, (2,4,2,1,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	2.71E+0	3.25E+0	4.33E+0	5.42E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	2.26E-1	2.71E-1	3.61E-1	4.51E-1	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 42: Lüftungskanäle aus verzinktem Stahlblech

ecoinvent - Datensatz	Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 0.62mm, ab Werk	Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 0.75mm, ab Werk	Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 0.87mm, ab Werk	Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 1.0mm, ab Werk	Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 1.25mm, ab Werk	Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 1.5mm, ab Werk	Geometrische Standard- Abweichung (Pedigree- Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	m2	m2	
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.23E+0	2.72E+0	3.17E+0	3.66E+0	4.61E+0	5.55E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	3.80E+0	4.63E+0	5.40E+0	6.24E+0	7.85E+0	9.45E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	6.03E+0	7.35E+0	8.58E+0	9.91E+0	1.25E+1	1.50E+1	1.22, (2,3,1,1,1,5)
section bar rolling, steel, RER, [kg]	2.50E-1	7.65E+0	8.88E+0	1.02E+1	1.28E+1	1.53E+1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
zinc coating, coils, RER, [m2]	1.24E+0	1.25E+0	1.26E+0	1.26E+0	1.27E+0	1.27E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, RER, [m2]	2.13E-2	2.13E-2	2.13E-2	2.13E-2	2.13E-2	2.13E-2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, adjustment per um, RER, [m2]	-1.89E+1	-1.91E+1	-1.92E+1	-1.93E+1	-1.94E+1	-1.95E+1	1.22, (2,3,1,1,1,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	1.90E+0	2.30E+0	2.66E+0	3.06E+0	3.83E+0	4.59E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	6.33E+0	7.65E+0	8.88E+0	1.02E+1	1.28E+1	1.53E+1	1.27, (2,4,2,1,3,4)
metal working factory, RER, [unit]	2.90E-9	3.51E-9	4.07E-9	4.67E-9	5.84E-9	7.01E-9	3.07, (2,4,2,1,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	3.80E+0	4.59E+0	5.33E+0	6.12E+0	7.65E+0	9.18E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	3.16E-1	3.83E-1	4.44E-1	5.10E-1	6.38E-1	7.65E-1	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)							

Tabelle 43: Lüftungskanäle aus rostfreiem Stahlblech

ecoinvent - Datensatz	Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 0.62mm, ab Werk	Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 0.75mm, ab Werk	Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 0.87mm, ab Werk	Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 1.0mm, ab Werk	Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 1.25mm, ab Werk	Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 1.5mm, ab Werk	Geometrische Standard- Abweichung (Pedigree- Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	m2	m2	
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	6.03E+0	7.35E+0	8.58E+0	9.91E+0	1.25E+1	1.50E+1	1.22, (2,3,1,1,1,5)
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	6.03E+0	7.35E+0	8.58E+0	9.91E+0	1.25E+1	1.50E+1	1.22, (2,3,1,1,1,5)
section bar rolling, steel, RER, [kg]	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	2.50E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
zinc coating, pieces, RER, [m2]	2.13E-2	2.13E-2	2.13E-2	2.13E-2	2.13E-2	2.13E-2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	1.90E+0	2.30E+0	2.66E+0	3.06E+0	3.83E+0	4.59E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	6.33E+0	7.65E+0	8.88E+0	1.02E+1	1.28E+1	1.53E+1	1.27, (2,4,2,1,3,4)
metal working factory, RER, [unit]	2.90E-9	3.51E-9	4.07E-9	4.67E-9	5.84E-9	7.01E-9	3.07, (2,4,2,1,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	3.80E+0	4.59E+0	5.33E+0	6.12E+0	7.65E+0	9.18E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	3.16E-1	3.83E-1	4.44E-1	5.10E-1	6.38E-1	7.65E-1	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)							

Tabelle 44: Thermische / Brandschutz Dämmung Lüftungskanäle mit gitterverstärkten Alufolie

	Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m ³ mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m ³ mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m ³ mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	El 30 Brandschutz-Dämmung, 50mm, 120kg/m ³ mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	El 60 Brandschutz-Dämmung, 70mm, 120kg/m ³ mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	El 90 Brandschutz-Dämmung, 100mm, 120kg/m ³ mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	m2	m2	
ecoinvent - Datensatz							
rock wool, at plant, CH, [kg]	1.32E+0	2.64E+0	4.40E+0	6.60E+0	9.24E+0	1.32E+1	1.22, (2,3,1,1,1,5)
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	1.08E-1	1.08E-1	1.08E-1	1.08E-1	1.08E-1	1.08E-1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	3.80E-1	3.80E-1	3.80E-1	3.80E-1	3.80E-1	3.80E-1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
polyethylene, LDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	5.40E-2	5.40E-2	5.40E-2	5.40E-2	5.40E-2	5.40E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	1.08E-1	1.08E-1	1.08E-1	1.08E-1	1.08E-1	1.08E-1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
wire drawing, steel, RER, [kg]	3.80E-1	3.80E-1	3.80E-1	3.80E-1	3.80E-1	3.80E-1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	3.72E-1	6.36E-1	9.88E-1	1.43E+0	1.96E+0	2.75E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	9.31E-2	1.59E-1	2.47E-1	3.57E-1	4.89E-1	6.87E-1	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)							

Tabelle 45: Thermische Dämmung Lüftungskanäle Blechummantelung (Alu / rostfreier Stahl)

	Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Aluminium, ab Werk	Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Aluminium, ab Werk	Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Aluminium, ab Werk	Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Stahl rostfrei, ab Werk	Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Stahl rostfrei, ab Werk	Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Stahl rostfrei, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	m2	m2	
ecoinvent - Datensatz							
rock wool, at plant, CH, [kg]	1.32E+0	2.64E+0	4.40E+0	1.32E+0	2.64E+0	4.40E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	2.16E+0	2.16E+0	2.16E+0	-	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	-	-	-	6.28E+0	6.28E+0	6.28E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	2.16E+0	2.16E+0	2.16E+0	-	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	-	-	-	6.28E+0	6.28E+0	6.28E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	6.96E-1	9.60E-1	1.31E+0	4.03E+0	4.30E+0	4.65E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	1.74E-1	2.40E-1	3.28E-1	3.80E-1	4.46E-1	5.34E-1	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)							

Entsorgung

Tabelle 46: Spiralfalzrohre aus verzinktem Stahlblech

	Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.5mm, ab Werk	Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.6mm, ab Werk	Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.8mm, ab Werk	Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 1.0mm, ab Werk	Geometrische Standard- Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	
ecoinvent - Datensatz					
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	4.41E+0	5.32E+0	7.12E+0	8.93E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 47: Spiralfalzrohre aus rostfreiem Stahlblech

ecoinvent - Datensatz	Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s = 0.5mm, ab Werk	Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s = 0.6mm, ab Werk	Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s = 0.8mm, ab Werk	Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s = 1.0mm, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	4.41E+0	5.32E+0	7.12E+0	8.93E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1	1.00E-1	1.32, (4,4,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)					

Tabelle 48: Lüftungskanäle aus verzinktem Stahlblech

ecoinvent - Datensatz	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 0.62mm, ab Werk	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 0.75mm, ab Werk	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 0.87mm, ab Werk	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 1.0mm, ab Werk	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 1.25mm, ab Werk	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s = 1.5mm, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	m2	m2	
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	6.28E+0	7.60E+0	8.83E+0	1.02E+1	1.27E+1	1.53E+1	1.22, (2,3,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)							

Tabelle 49: Lüftungskanäle aus rostfreiem Stahlblech

ecoinvent - Datensatz	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 0.62mm, ab Werk	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 0.75mm, ab Werk	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 0.87mm, ab Werk	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 1.0mm, ab Werk	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 1.25mm, ab Werk	Entsorgung, Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s = 1.5mm, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	m2	m2	
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	6.28E+0	7.60E+0	8.83E+0	1.02E+1	1.27E+1	1.53E+1	1.22, (2,3,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	5.00E-2	1.32, (4,4,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)							

Tabelle 50: Thermische / Brandschutz Dämmung Lüftungskanäle mit gitterverstärkten Alufolie

ecoinvent - Datensatz	Entsorgung, Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m3 mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	Entsorgung, Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m3 mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	Entsorgung, Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m3 mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	Entsorgung, EI 30 Brandschutz-Dämmung, 50mm, 120kg/m3 mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	Entsorgung, EI 60 Brandschutz-Dämmung, 70mm, 120kg/m3 mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	Entsorgung, EI 90 Brandschutz-Dämmung, 100mm, 120kg/m3 mit Aluminiumfolie gitterverstärkt, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	m2	m2	
disposal, building, mineral wool, to sorting plant, CH, [kg]	1.32E+0	2.64E+0	4.40E+0	6.60E+0	9.24E+0	1.32E+1	1.22, (2,3,1,1,1,5)
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	4.88E-1	4.88E-1	4.88E-1	4.88E-1	4.88E-1	4.88E-1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, building, PE sealing sheet, to final disposal, CH, [kg]	5.40E-2	5.40E-2	5.40E-2	5.40E-2	5.40E-2	5.40E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)							

Tabelle 51: Thermische Dämmung Lüftungskanäle Blechummantelung (Alu / rostfreier Stahl)

ecoinvent - Datensatz	Entsorgung, Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Aluminium, ab Werk	Entsorgung, Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Aluminium, ab Werk	Entsorgung, Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Aluminium, ab Werk	Entsorgung, Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Stahl rostfrei, ab Werk	Entsorgung, Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Stahl rostfrei, ab Werk	Entsorgung, Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m ³ mit Blechmantel, Stahl rostfrei, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	m2	m2	
disposal, building, mineral wool, to sorting plant, CH, [kg]	1.32E+0	2.64E+0	4.40E+0	1.32E+0	2.64E+0	4.40E+0	1.22, (2,3,1,1,1,5)
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	2.16E+0	2.16E+0	2.16E+0	6.28E+0	6.28E+0	6.28E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)							

Andere Komponenten der Lüftungsanlagen

Neben den oben beschriebenen Datensätzen wurde ein generischer Datensatz für alle übrigen Systemkomponenten erarbeitet. Die Grundlage für diesen Datensatz bilden die Massenbilanzen aus den verschiedenen Anlagen. Dabei wurden verschiedene Hauptgruppen (Klappen, Regelorgane, Lüftungsgitter, Verteilerkästen, Schalldämpfer, Brandschutzklappen, Antriebe, Messfühler) unterschieden. Im Weiteren wurde (v.a. bei Lüftungsgitter und Luftverteiler) auch das Material unterschieden, da bei diesen Elementen neben verzinktem Stahl oft auch rostfreier Stahl oder Aluminium zum Einsatz kommt. Für jede Hauptgruppe wurde ein typischer Materialmix aus verfügbaren Daten und Unterlagen ([28],[29], [30], [31]) bzw. aus eigenen Analysen von Teilkomponenten erarbeitet. Damit wurde für jedes Objekt eine Bilanz mit den Hauptbestandteilen der übrigen Bauelemente erstellt (siehe Tabelle 52 und Tabelle 53). Aus diesen Datensätzen wurde wiederum der mittlere Datensatz pro m² Energiebezugsfläche für die KBOB-Liste generiert (siehe Tabelle 56 und Tabelle 57).

Der Strombedarf zur Produktion der Bauelemente wurde von der Produktion der Lüftungsgeräte übernommen. Ein Vergleich mit Daten von Unternehmen mit typischen Produktionsprozessen für diese Bauteilgruppe ([23], [24]), bestätigten die Annahme. Für den Wärmebedarf der Produktionsgebäude und die Gebäudeinfrastruktur wurden die mittleren Datensätze für die Metallverarbeitung aus ecoinvent verwendet [27]. Die Transporte wurden mit den Standarddistanzen gemäss ecoinvent-Dokumentation v2.2 eingesetzt. Für die Abschätzung der Unsicherheiten wurde die Methode der Pedigree-Matrix nach [10] angewendet.

	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	Geometrischer Standard-Abweichung Pedregre-Marx)	
	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit		
ecoinvent - Datensatz																
autoclaved aerated concrete block, at plant, CH, [kg]	2.48E+2	6.93E+1	3.61E+1	2.78E+2	-	-	-	-	-	4.70E+2	1.72E+2	-	7.76E+0	1.34	(3.4,1.1,1.5)	
rock wool, at plant, CH, [kg]	5.76E+2	7.22E+2	2.56E+2	2.85E+2	8.12E+1	-	4.10E+2	-	1.24E+3	8.47E+1	1.53E+2	-	-	1.26	(3.4,1.1,1.5)	
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	1.07E+2	7.16E+2	1.17E+1	2.79E+2	-	-	3.68E+2	-	-	1.76E+1	1.46E+2	3.08E+0	-	1.26	(3.4,1.1,1.5)	
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	3.94E+3	3.42E+3	9.67E+2	3.61E+3	3.04E+3	1.27E+3	-	-	6.01E+3	2.19E+3	5.49E+2	1.03E+2	-	1.26	(3.4,1.1,1.5)	
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.31E+3	2.01E+3	5.68E+2	2.12E+3	1.78E+3	7.47E+2	-	-	3.53E+3	1.29E+3	3.23E+2	6.05E+1	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
brass, at plant, CH, [kg]	2.88E+1	1.24E+1	3.50E+0	1.75E+1	3.00E+1	7.57E+0	-	-	2.00E+1	6.59E+0	4.34E+0	2.56E+0	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	2.89E+3	1.74E+1	4.50E+2	1.89E+1	7.86E+1	7.23E+0	-	-	4.34E+2	2.72E+2	2.92E+1	1.68E+2	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
copper, at regional storage, RER, [kg]	2.24E+0	2.72E+0	2.72E+1	-	3.47E+0	3.06E+0	-	-	1.90E+0	2.45E+0	2.04E+1	6.80E+2	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
zinc, primary, at regional storage, RER, [kg]	4.03E+0	4.88E+0	4.88E+1	-	6.22E+0	5.49E+0	-	-	3.42E+0	4.39E+0	3.66E+1	1.22E+1	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
powder coating, aluminium sheet, RER, [m ²]	2.41E+1	1.72E+0	-	-	-	8.74E+1	-	-	-	1.07E+2	6.50E+3	-	1.32	(4.4,1.1,1.5)		
powder coating, steel, RER, [m ²]	1.63E+0	1.78E+0	1.17E+1	2.67E+0	2.70E+0	1.04E+1	-	-	1.39E+0	2.12E+0	1.69E+1	3.70E+2	1.32	(4.4,1.1,1.5)		
zinc coating, coils, RER, [m ²]	6.38E+2	5.83E+2	1.80E+2	5.40E+2	4.24E+2	2.45E+2	-	-	1.06E+3	3.10E+2	9.98E+1	1.39E+1	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
polycarbonate, at plant, RER, [kg]	5.87E+1	5.25E+1	6.89E+0	4.19E+1	2.36E+1	1.49E+1	-	-	7.58E+1	4.09E+1	6.78E+1	3.04E+0	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
polyvinylchloride, at regional storage, RER, [kg]	2.44E+0	2.96E+0	2.96E+1	-	3.77E+0	3.33E+0	-	-	2.07E+0	2.66E+0	2.22E+1	7.40E+2	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	2.27E+1	3.12E+0	2.94E+0	1.66E+1	2.35E+1	2.83E+0	-	-	1.63E+1	1.72E+0	4.08E+0	2.17E+0	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
printed wiring board, through-hole mounted, unspec., solder mix, at plant, GLO, [kg]	3.93E+0	4.14E+0	4.34E+1	2.37E+0	2.03E+0	1.29E+0	-	-	4.46E+0	2.76E+0	6.00E+2	2.24E+1	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
sheet rolling, steel, RER, [kg]	6.25E+3	5.43E+3	1.54E+3	5.73E+3	4.82E+3	2.02E+3	9.54E+3	-	3.48E+3	8.72E+2	1.63E+2	1.26	(3.4,1.1,1.5)			
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	1.07E+2	7.16E+2	1.17E+1	2.79E+2	-	-	3.68E+2	-	-	1.76E+1	1.46E+2	3.08E+1	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
sheet rolling, chromium steel, RER, [kg]	2.89E+3	1.74E+1	4.50E+2	1.89E+1	7.86E+1	7.23E+0	-	-	4.34E+2	2.72E+2	2.92E+1	1.68E+2	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
wire drawing, copper, RER, [kg]	3.10E+1	1.51E+1	3.77E+0	1.75E+1	3.35E+1	1.06E+1	2.20E+1	-	9.04E+0	4.55E+0	2.62E+0	1.26	(3.4,1.1,1.5)			
injection moulding, RER, [kg]	6.11E+1	5.55E+1	7.19E+0	4.19E+1	2.74E+1	1.82E+1	7.79E+1	-	4.35E+1	9.00E+1	3.12E+0	1.26	(3.4,1.1,1.5)			
casting, bronze, CH, [kg]	4.03															

	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	9.28E+3	6.19E+3	2.00E+3	6.05E+3	4.94E+3	2.41E+3	1.00E+4	3.94E+3	1.05E+3	3.37E+2	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
disposal, building, mineral wool, to sorting plant, CH, [kg]	5.76E+2	7.22E+2	2.56E+2	2.85E+2	8.12E+1	4.10E+2	1.24E+3	8.47E+1	1.53E+2		1.26	(3.4,1.1,1.5)		
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	5.87E+1	5.25E+1	6.89E+0	4.19E+1	2.36E+1	1.49E+1	7.58E+1	4.09E+1	6.78E+1	3.04E+0	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal, CH, [kg]	2.44E+0	2.96E+0	2.96E+1		3.77E+0	3.33E+0	2.07E+0	2.66E+0	2.22E+1	7.40E+2	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	2.27E+1	3.12E+0	2.94E+0	1.66E+1	2.35E+1	2.83E+0	1.63E+1	1.72E+0	4.08E+0	2.17E+0	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
disposal, building, brick, to final disposal, CH, [kg]	2.48E+2	6.93E+1	3.61E+1	2.78E+2			4.70E+2	1.72E+2		7.76E+0	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	1.81E+1	1.76E+1	1.13E+2	2.58E+1	2.80E+1	9.44E+2	2.34E+1	2.06E+1	1.69E+2	3.12E+0	1.26	(3.4,1.1,1.5)		
disposal, electronics for control units, RER, [kg]	3.93E+0	4.14E+0	4.34E+1	2.37E+0	2.03E+0	1.29E+0	4.46E+0	2.76E+0	6.00E+2	2.24E+1	1.34	(3.4,1.1,3.5)		

Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz; UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)

Bei einigen Anlagen kommen sehr spezielle Elemente in der Lüftungsausschreibung vor, welche nicht typisch für allgemeine Anlagen sind. Diese Elemente wurden in einer getrennten Kategorie erhoben und ausgewertet. Diese Elemente machen bei den meisten Anlagen deutlich weniger als 5% der gesamten Masse aus. Typische Elemente sind Zu- und Abluftdecken sowie Ablufthauben für gewerbliche Küchen. Für diese Elemente wurden grobe Massenbilanzen erstellt und einbezogen. Auch in diese Kategorie fallen die Umluftkühler im „Bürogebäude Fribourg“ sowie die Verbundlüfter im „Geschäftshaus C“. Die für die Spezialelemente verwendeten Sachbilanzen sind in den Tabelle 54 und Tabelle 55 dargestellt.

BFE Forschungsprojekt Schlussbericht, August 2014

Da diese Datensätze für die Gebäude „Altersheim Dorflinde“, „Pflegezentrum Witikon“, „Bürogebäude Verenastrasse, Baden“ ähnliche Zu- und Abluftdecken sowie Ablufthauben für die gewerbliche Küche im Gebäude enthalten, wurde daraus ein mittlerer Wert gebildet und pro m³/h Luftmenge der Lüftungsgerätes der Küche bezogen. Dieser mittlere Datensatz (Bezeichnet als „Lüftungsdeckensystem gewerbliche Küche“) wurde für die Verwendung in der KBOB-Liste erstellt (siehe Tabelle 56 und Tabelle 57). Damit können solche Lüftungsdeckensysteme, welche in grösseren Küchen eingesetzt werden, grob bilanziert werden.

Tabelle 54: Bilanzierung Herstellung Objektspezifische Spezialelemente zu Lüftungsanlagen

	Lüftungsanlage Altersheim Dorflinde, Spezialelemente	Lüftungsanlage Pflegezentrum Witikon, Spezialelemente	Lüftungsanlage Schulhaus Albisriederplatz, Spezialelemente	Lüftungsanlage Bürohaus Fribourg, Spezialelemente	Lüftungsanlage Bürogebäude Verenastrasse, Baden, Spezialelemente	Lüftungsanlage Geschäftshaus C. Esslingen, Spezialelemente	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH Unit	CH Unit	CH Unit	CH Unit	CH Unit	CH Unit	
ecoinvent - Datensatz							
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	4.48E+1	1.31E+2	-	-	6.31E+1	1.48E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	7.62E+1	2.24E+2	-	-	1.07E+2	2.52E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc coating, coils, RER, [m2]	1.03E+1	3.02E+1	-	-	1.45E+1	3.40E-1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	9.60E+2	8.69E+2	3.85E+2	3.00E+2	1.51E+3	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	4.95E+2	2.23E+3	-	-	6.98E+2	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
rock wool, at plant, CH, [kg]	-	2.55E+2	-	-	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
fan, at plant, GLO, [kg]	-	-	-	-	-	1.00E+1	1.34, (3,4,1,1,3,5)
cable, connector for computer, without plugs, at plant, GLO, [m]	-	-	-	-	-	3.38E+2	1.34, (3,4,1,1,3,5)
transformer, low voltage use, at plant, GLO, [kg]	-	-	-	-	-	3.60E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
medium density fibreboard, at plant, RER, [m3]	-	-	-	-	-	9.81E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant, RER, [kg]	-	-	-	-	-	4.50E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation equipment, KWLC 250, at plant, RER, [unit]	-	-	-	6.90E+1	-	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
ventilation equipment, KWLC 1200, at plant, RER, [unit]	-	-	-	1.00E+0	-	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
sheet rolling, chromium steel, RER, [kg]	9.60E+2	8.69E+2	3.85E+2	3.00E+2	1.51E+3	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	1.21E+2	3.55E+2	-	-	1.71E+2	4.00E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	4.95E+2	2.23E+3	-	-	6.98E+2	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	7.48E+2	1.18E+3	2.31E+2	1.80E+2	1.15E+3	1.86E+1	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	7.88E+1	1.73E+2	1.93E+1	1.50E+1	1.19E+2	4.25E+0	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)							

Tabelle 55: Bilanzierung Entsorgung Objektspezifische Spezialelemente zu Lüftungsanlagen

	Entsorgung, Lüftungsgerät, 1800 m ³ /h mit ZUL ABL und WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Ventilator 1800 m ³ /h Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Schalldämpfer zu Ventilator 1800 m ³ /h, Modulbauweise, ab Werk	Entsorgung, Lüftungsgerät, 6700 m ³ /h mit ZUL ABL und WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Ventilator 6700 m ³ /h Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Entsorgung, Schalldämpfer zu Ventilator 6700 m ³ /h, Modulbauweise, ab Werk	Geometrische Standard-Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH m3/h	CH m3/h	CH m3/h	CH m3/h	CH m3/h	CH m3/h	
ecoinvent - Datensatz							
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	4.44E-1	1.26E-1	4.23E-2	2.66E-1	6.99E-2	1.75E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyurethane foam, to final disposal, CH, [kg]	1.28E-2	3.14E-3	1.88E-3	8.42E-3	2.06E-3	9.28E-4	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, mineral wool, to sorting plant, CH, [kg]	-	-	5.86E-3	-	-	5.45E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	1.50E-3	7.30E-4	-	7.34E-4	3.62E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, glass, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	6.42E-4	3.13E-4	-	3.14E-4	1.55E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	2.00E-3	7.48E-4	-	6.71E-4	2.20E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration, CH, [kg]	2.01E-2	1.01E-2	-	1.66E-2	8.31E-3	-	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.01E-2	5.03E-3	-	8.31E-3	4.16E-3	-	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	8.22E-3	7.21E-4	2.32E-4	6.23E-3	3.43E-4	1.14E-4	1.32, (4,4,1,1,1,5)
disposal, control and wiring, central unit, CH, [unit]	2.70E-3	1.35E-3	-	2.78E-3	1.39E-3	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	3.02E-4	1.51E-4	-	2.49E-4	1.25E-4	-	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)							

Datensätze von Komponenten und Anlagen für KBOB-Liste

Entsprechend den in Kapitel 6.1 beschriebenen Empfehlungen wurden mittlere Datensätze für die Verwendung in der KBOB-Liste generiert. Damit können zum einen Anlagen projektspezifisch mit groben Komponenteninformationen bilanziert werden und andererseits kann mit den pro m² Energiebezugsfläche bezogenen Datensätzen eine Ersteinschätzung in frühen Projektphasen erfolgen. Die Daten zu wesentlichen Komponenten der Luftverteilung wie Kanäle oder Dämmungen werden dabei pro m² Kanaloberfläche bilanziert. Die zugehörigen Tabellen dieser Sachbilanzen sind ab Tabelle 40 dargestellt. Zu den Lüftungsgeräten wurden Mittelwerte für typische Anlagen gebildet. Diese sind in Tabelle 29 (Herstellung) und Tabelle 35 (Entsorgung) dargestellt und beschrieben. Für die allgemeinen Anlagenkomponenten wird ein Mittelwert pro m² EBF als zielführend erachtet. In Tabelle 56 und Tabelle 57 ist die Sachbilanz dazu dargestellt. Die darin dargestellten Daten beruhen auf dem Mittelwert aller analysierten Projekte. Zur Vollständigkeit wird der Datensatz auch pro m³/h Luftmenge ausgewiesen.

Tabelle 56: Bilanzierung Herstellung Mittelwert diverse Komponenten zu Lüftungsanlagen für KBOB-Liste

	Lüftungsanlage, diverse Elemente	Lüftungsanlage, diverse Elemente	Lüftungsdeckensystem gewerbliche Küche	Geometrische Standard- Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	
	m2	m3/h	m3/h	
ecoinvent - Datensatz				
autoclaved aerated concrete block, at plant, CH, [kg]	2.08E-2	4.24E-3	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
rock wool, at plant, CH, [kg]	6.17E-2	1.26E-2	6.78E-3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
aluminium, production mix, wrought alloy, at plant, RER, [kg]	2.67E-2	5.46E-3	9.09E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
steel, converter, unalloyed, at plant, RER, [kg]	4.07E-1	8.31E-2	1.08E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
steel, electric, un- and low-alloyed, at plant, RER, [kg]	2.39E-1	4.88E-2	6.35E-3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
brass, at plant, CH, [kg]	2.16E-3	4.41E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	7.33E-2	1.50E-2	8.87E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
copper, at regional storage, RER, [kg]	2.66E-4	5.42E-5	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
zinc, primary, at regional storage, RER, [kg]	4.76E-4	9.73E-5	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
powder coating, aluminium sheet, RER, [m2]	4.62E-5	9.44E-6	-	1.32, (4,4,1,1,1,5)
powder coating, steel, RER, [m2]	2.06E-4	4.21E-5	-	1.32, (4,4,1,1,1,5)
zinc coating, coils, RER, [m2]	6.63E-2	1.35E-2	1.46E-3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
polycarbonate, at plant, RER, [kg]	5.17E-3	1.06E-3	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
polyvinylchloride, at regional storage, RER, [kg]	2.89E-4	5.90E-5	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	1.56E-3	3.18E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
printed wiring board, through-hole mounted, unspec., solder mix, at plant, GLO, [kg]	3.52E-4	7.18E-5	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, steel, RER, [kg]	6.46E-1	1.32E-1	1.72E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	2.67E-2	5.46E-3	9.09E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
sheet rolling, chromium steel, RER, [kg]	7.33E-2	1.50E-2	8.87E-2	1.26, (3,4,1,1,1,5)
wire drawing, copper, RER, [kg]	2.43E-3	4.95E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
injection moulding, RER, [kg]	5.45E-3	1.11E-3	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
casting, bronze, CH, [kg]	4.76E-4	9.73E-5	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
electricity, medium voltage, production UCTE, at grid, UCTE, [kWh]	5.09E-1	1.04E-1	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
metal working factory operation, average heat energy, RER, [kg]	8.49E-1	1.73E-1	-	1.27, (2,4,2,1,3,4)
metal working factory, RER, [unit]	3.89E-10	7.94E-11	-	3.07, (2,4,2,1,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	4.63E-1	9.45E-2	8.17E-2	2.14, (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	4.24E-2	8.67E-3	9.84E-3	2.14, (4,5,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)				

Tabelle 57: Bilanzierung Entsorgung Mittelwert diverse Komponenten zu Lüftungsanlagen für KBOB-Liste

	Entsorgung, Lüftungsanlage, diverse Elemente	Entsorgung, Lüftungsanlage, diverse Elemente	Entsorgung, Lüftungsdeckensystem gewerbliche Küche	Geometrische Standard- Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH m2	CH m3/h	CH m3/h	
ecoinvent - Datensatz				
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	7.48E-1	1.53E-1	1.97E-1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, building, mineral wool, to sorting plant, CH, [kg]	6.17E-2	1.26E-2	6.78E-3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	5.17E-3	1.06E-3	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal, CH, [kg]	2.89E-4	5.90E-5	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration, CH, [kg]	1.56E-3	3.18E-4	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, building, brick, to final disposal, CH, [kg]	2.08E-2	4.24E-3	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	2.43E-5	4.97E-6	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, electronics for control units, RER, [kg]	3.52E-4	7.18E-5	-	1.34, (3,4,1,1,3,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)				

Die mittleren Datensätze pro m^2 Energiebezugsfläche werden für verschiedene spezifische Luftmengen erstellt (für 1, 2, 4, 6, und $8 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$), da dies der wichtigste Einflussfaktor für die Unterscheidung ist. Für die Sachbilanz wurde dafür ein Mittelwert über alle untersuchten Anlagen gebildet. Dieser entspricht einer Anlage mit einer spezifischen Luftmenge von $4.89 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Die Korrektur der Luftmengenabhängigen Komponenten erfolgt auf Basis einer Korrekturfunktion, welche auf der Korrelation gemäss Abbildung 50 basiert. Die Korrekturfunktion erfolgt mit folgender Formel: $76.5\% \times (\text{spez. Luftmenge} - 4.89 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}) / 4.89 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Damit wird eine gute Korrelation mit den Resultaten aus den analysierten Projekten erreicht.

Die Sachbilanzen dieser mittleren Datensätze für die Verwendung in der KBOB-Liste sind in Tabelle 58(Herstellung) und Tabelle 59 (Entsorgung) dargestellt.

Tabelle 58: Bilanzierung Herstellung Mittelwerte typischer Lüftungsanlagen für KBOB-Liste

ecoinvent - Datensatz	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 1 m³/h m²	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 2 m³/h m²	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 4 m³/h m²	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 6 m³/h m²	Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 8 m³/h m²	Geometrische Standard- Abweichung (Pedegree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	m2	
ventilator unit 3500 m3/h, modular, w. filter, without silencer, at plant, CH, [unit]	1.60E-5	2.30E-5	3.70E-5	5.09E-5	6.49E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilator unit 13000 m3/h, modular, w. filter, without silencer, at plant, CH, [unit]	1.06E-5	1.52E-5	2.45E-5	3.38E-5	4.30E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
silencer for ventilator unit 1800 m3/h, modular, at plant, CH, [unit]	4.49E-5	6.44E-5	1.04E-4	1.43E-4	1.82E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
silencer for ventilator unit 3500 m3/h, modular, at plant, CH, [unit]	1.02E-4	1.47E-4	2.37E-4	3.26E-4	4.16E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
silencer for ventilator unit 6700 m3/h, modular, at plant, CH, [unit]	1.79E-4	2.57E-4	4.13E-4	5.69E-4	7.25E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
silencer for ventilator unit 13000 m3/h, modular, at plant, CH, [unit]	2.73E-4	3.93E-4	6.31E-4	8.70E-4	1.11E-3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation equipment, central, 600-1200 m3/h, at plant, RER, [unit]	1.80E-5	2.59E-5	4.16E-5	5.73E-5	7.30E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation unit 1800 m3/h, w. cross plate heat exchanger, at plant, CH, [unit]	1.42E-5	2.03E-5	3.27E-5	4.51E-5	5.74E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation unit 3500 m3/h, w. cross plate heat exchanger, at plant, CH, [unit]	4.68E-5	6.72E-5	1.08E-4	1.49E-4	1.90E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation unit 6700 m3/h, w. cross plate heat exchanger, at plant, CH, [unit]	2.57E-5	3.69E-5	5.94E-5	8.18E-5	1.04E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation unit 13000 m3/h, w. cross plate heat exchanger, at plant, CH, [unit]	9.28E-6	1.33E-5	2.14E-5	2.95E-5	3.76E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation unit 6700 m3/h, w. rotary heat exchanger, at plant, CH, [unit]	1.52E-5	2.19E-5	3.52E-5	4.85E-5	6.18E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation unit 13000 m3/h, w. rotary heat exchanger, at plant, CH, [unit]	3.20E-5	4.60E-5	7.39E-5	1.02E-4	1.30E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation unit 3500 m3/h, w. circuit connected heat exchanger, at plant, CH, [unit]	4.30E-6	6.18E-6	9.93E-6	1.37E-5	1.74E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation unit 6700 m3/h, w. circuit connected heat exchanger, at plant, CH, [unit]	2.53E-5	3.63E-5	5.83E-5	8.04E-5	1.02E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation unit 13000 m3/h, w. circuit connected heat exchanger, at plant, CH, [unit]	4.28E-5	6.15E-5	9.89E-5	1.36E-4	1.74E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.62mm, at plant, CH, [m2]	5.39E-2	7.74E-2	1.24E-1	1.71E-1	2.18E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.75mm, at plant, CH, [m2]	6.95E-2	9.98E-2	1.60E-1	2.21E-1	2.82E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.87mm, at plant, CH, [m2]	3.37E-2	4.84E-2	7.79E-2	1.07E-1	1.37E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.0mm, at plant, CH, [m2]	2.44E-2	3.51E-2	5.64E-2	7.77E-2	9.90E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.25mm, at plant, CH, [m2]	9.90E-3	1.42E-2	2.29E-2	3.15E-2	4.02E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.5mm, at plant, CH, [m2]	3.68E-3	5.29E-3	8.50E-3	1.17E-2	1.49E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.5mm, at plant, CH, [m2]	3.46E-2	4.97E-2	7.99E-2	1.10E-1	1.40E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.6mm, at plant, CH, [m2]	2.04E-2	2.93E-2	4.71E-2	6.49E-2	8.27E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.8mm, at plant, CH, [m2]	8.65E-4	1.24E-3	2.00E-3	2.75E-3	3.51E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 1.0mm, at plant, CH, [m2]	1.52E-5	2.18E-5	3.51E-5	4.83E-5	6.16E-5	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 0.62mm, at plant, CH, [m2]	3.25E-4	4.67E-4	7.50E-4	1.03E-3	1.32E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 0.75mm, at plant, CH, [m2]	6.36E-5	9.14E-5	1.47E-4	2.02E-4	2.58E-4	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 0.87mm, at plant, CH, [m2]	4.75E-4	6.83E-4	1.10E-3	1.51E-3	1.93E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 1.0mm, at plant, CH, [m2]	1.25E-3	1.79E-3	2.88E-3	3.97E-3	5.06E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 1.25mm, at plant, CH, [m2]	9.31E-4	1.34E-3	2.15E-3	2.96E-3	3.77E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 1.5mm, at plant, CH, [m2]	6.88E-4	9.88E-4	1.59E-3	2.19E-3	2.79E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, stainless steel, s= 0.5mm, at plant, CH, [m2]	7.69E-5	1.10E-4	1.78E-4	2.45E-4	3.12E-4	1.24, (2,4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, stainless steel, s= 0.8mm, at plant, CH, [m2]	2.04E-4	2.92E-4	4.70E-4	6.48E-4	8.25E-4	1.24, (2,4,1,1,1,5)
thermal insulation, 30mm, 40kg/m3, reinforced aluminum foil, at plant, CH, [m2]	8.05E-2	1.16E-1	1.86E-1	2.56E-1	3.27E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
thermal insulation, 60mm, 40kg/m3, reinforced aluminum foil, at plant, CH, [m2]	5.04E-3	7.24E-3	1.16E-2	1.60E-2	2.04E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
thermal insulation, 100mm, 40kg/m3, reinforced aluminum foil, at plant, CH, [m2]	1.54E-3	2.21E-3	3.56E-3	4.90E-3	6.25E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
thermal insulation, 100mm, 40kg/m3, aluminum cladding, at plant, CH, [m2]	4.89E-3	7.02E-3	1.13E-2	1.56E-2	1.98E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
thermal insulation, 30mm, 40kg/m3, stainless steel cladding, at plant, CH, [m2]	1.27E-3	1.82E-3	2.92E-3	4.03E-3	5.13E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
thermal insulation, 60mm, 40kg/m3, stainless steel cladding, at plant, CH, [m2]	5.75E-4	8.26E-4	1.33E-3	1.83E-3	2.33E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
EI 30 fire insulation, 50mm, 120kg/m3, reinforced aluminum foil, at plant, CH, [m2]	5.82E-2	8.35E-2	1.34E-1	1.85E-1	2.36E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
EI 60 fire insulation, 70mm, 120kg/m3, reinforced aluminum foil, at plant, CH, [m2]	1.19E-2	1.70E-2	2.74E-2	3.78E-2	4.81E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation duct, PE corrugated tube, DN 75, at plant, RER, [m]	8.04E-2	1.16E-1	1.86E-1	2.56E-1	3.26E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
flexible duct, aluminum/PET, DN of 125, at plant, RER, [m]	1.38E-2	1.98E-2	3.18E-2	4.38E-2	5.58E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
ventilation system, various components, CH, [m2]	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.24, (2,4,1,1,1,5)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)						

Tabelle 59: Bilanzierung Entsorgung Mittelwerte typischer Lüftungsanlagen für KBOB-Liste

ecoinvent - Datensatz	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 1 m³/h m2	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 2 m³/h m2	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 4 m³/h m2	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 6 m³/h m2	Entsorgung, Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 8 m³/h m2	Geometrische Standard- Abweichung (Pedigree-Matrix)
	CH	CH	CH	CH	CH	
	m2	m2	m2	m2	m2	
disposal, ventilator unit 3500 m³/h, modular, w. filter, without silencer, CH, [unit]	1.60E-5	2.30E-5	3.70E-5	5.09E-5	6.49E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilator unit 13000 m³/h, modular, w. filter, without silencer, CH, [unit]	1.06E-5	1.52E-5	2.45E-5	3.38E-5	4.30E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, silencer for ventilator unit 1800 m³/h, modular, CH, [unit]	4.49E-5	6.44E-5	1.04E-4	1.43E-4	1.82E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, silencer for ventilator unit 3500 m³/h, modular, CH, [unit]	1.02E-4	1.47E-4	2.37E-4	3.26E-4	4.16E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, silencer for ventilator unit 6700 m³/h, modular, CH, [unit]	1.79E-4	2.57E-4	4.13E-4	5.69E-4	7.25E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, silencer for ventilator unit 13000 m³/h, modular, CH, [unit]	2.73E-4	3.93E-4	6.31E-4	8.70E-4	1.11E-3	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation equipment, central, 600-1200 m³/h, CH, [unit]	1.80E-5	2.59E-5	4.16E-5	5.73E-5	7.30E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 1800 m³/h, w. cross plate heat exchanger, CH, [unit]	1.42E-5	2.03E-5	3.27E-5	4.51E-5	5.74E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 3500 m³/h, w. cross plate heat exchanger, CH, [unit]	4.68E-5	6.72E-5	1.08E-4	1.49E-4	1.90E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 6700 m³/h, w. cross plate heat exchanger, CH, [unit]	2.57E-5	3.69E-5	5.94E-5	8.18E-5	1.04E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 13000 m³/h, w. cross plate heat exchanger, CH, [unit]	9.28E-6	1.33E-5	2.14E-5	2.95E-5	3.76E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 6700 m³/h, w. rotary heat exchanger, CH, [unit]	1.52E-5	2.19E-5	3.52E-5	4.85E-5	6.18E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 13000 m³/h, w. rotary heat exchanger, CH, [unit]	3.20E-5	4.60E-5	7.39E-5	1.02E-4	1.30E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 3500 m³/h, w. circuit connected heat exchanger, CH, [unit]	4.30E-6	6.18E-6	9.93E-6	1.37E-5	1.74E-5	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 6700 m³/h, w. circuit connected heat exchanger, CH, [unit]	2.53E-5	3.63E-5	5.83E-5	8.04E-5	1.02E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 13000 m³/h, w. circuit connected heat exchanger, CH, [unit]	4.28E-5	6.15E-5	9.89E-5	1.36E-4	1.74E-4	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.62mm, CH, [m2]	5.39E-2	7.74E-2	1.24E-1	1.71E-1	2.18E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.75mm, CH, [m2]	6.95E-2	9.98E-2	1.60E-1	2.21E-1	2.82E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.87mm, CH, [m2]	3.37E-2	4.84E-2	7.79E-2	1.07E-1	1.37E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.0mm, CH, [m2]	2.44E-2	3.51E-2	5.64E-2	7.77E-2	9.90E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.25mm, CH, [m2]	9.90E-3	1.42E-2	2.29E-2	3.15E-2	4.02E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.5mm, CH, [m2]	3.68E-3	5.29E-3	8.50E-3	1.17E-2	1.49E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.5mm, CH, [m2]	3.46E-2	4.97E-2	7.99E-2	1.10E-1	1.40E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.8mm, CH, [m2]	2.04E-2	2.93E-2	4.71E-2	6.49E-2	8.27E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.8mm, CH, [m2]	8.65E-4	1.24E-3	2.00E-3	2.75E-3	3.51E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 1.0mm, CH, [m2]	1.52E-5	2.18E-5	3.51E-5	4.83E-5	6.16E-5	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, stainless steel, s= 0.62mm, CH, [m2]	3.25E-4	4.67E-4	7.50E-4	1.03E-3	1.32E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, stainless steel, s= 0.75mm, CH, [m2]	6.36E-5	9.14E-5	1.47E-4	2.02E-4	2.58E-4	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, stainless steel, s= 0.87mm, CH, [m2]	4.75E-4	6.83E-4	1.10E-3	1.51E-3	1.93E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, stainless steel, s= 1.0mm, CH, [m2]	1.25E-3	1.79E-3	2.88E-3	3.97E-3	5.06E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, stainless steel, s= 1.25mm, CH, [m2]	9.31E-4	1.34E-3	2.15E-3	2.96E-3	3.77E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, stainless steel, s= 1.5mm, CH, [m2]	6.88E-4	9.88E-4	1.59E-3	2.19E-3	2.79E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, spiral-seam duct, stainless steel, s= 0.5mm, CH, [m2]	7.69E-5	1.10E-4	1.78E-4	2.45E-4	3.12E-4	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, spiral-seam duct, stainless steel, s= 0.8mm, CH, [m2]	2.04E-4	2.92E-4	4.70E-4	6.48E-4	8.25E-4	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, thermal insulation, 30mm, 40kg/m³, reinforced aluminium foil, CH, [m2]	8.05E-2	1.16E-1	1.86E-1	2.56E-1	3.27E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, thermal insulation, 60mm, 40kg/m³, reinforced aluminium foil, CH, [m2]	5.04E-3	7.24E-3	1.16E-2	1.60E-2	2.04E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, thermal insulation, 100mm, 40kg/m³, reinforced aluminium foil, CH, [m2]	1.54E-3	2.21E-3	3.56E-3	4.90E-3	6.25E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, thermal insulation, 100mm, 40kg/m³, aluminium cladding, CH, [m2]	4.89E-3	7.02E-3	1.13E-2	1.56E-2	1.98E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, thermal insulation, 30mm, 40kg/m³, stainless steel cladding, CH, [m2]	1.27E-3	1.82E-3	2.92E-3	4.03E-3	5.13E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, thermal insulation, 60mm, 40kg/m³, stainless steel cladding, CH, [m2]	5.75E-4	8.26E-4	1.33E-3	1.83E-3	2.33E-3	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, EI 30 fire insulation, 50mm, 120kg/m³, reinforced aluminium foil, CH, [m2]	5.82E-2	8.35E-2	1.34E-1	1.85E-1	2.36E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, EI 60 fire insulation, 70mm, 120kg/m³, reinforced aluminium foil, CH, [m2]	1.19E-2	1.70E-2	2.74E-2	3.78E-2	4.81E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	2.65E-2	3.81E-2	6.13E-2	8.45E-2	1.08E-1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, flexible duct, aluminum/PEI, DN of 125, CH, [m]	1.38E-2	1.98E-2	3.18E-2	4.38E-2	5.58E-2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation system, various components, CH, [m2]	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.24, (2,4,1,1,1,5)

Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)

Systemkomponenten Wärmeanlagen

Folgende Kapitel beschreiben die Berechnungsgrundlagen der Datensätze für Systemkomponenten. Die Ökobilanzzahlen sind tabellarisch im Abschnitt Ökobilanzzahlen Systemkomponenten aufgeführt.

Erdsonden und Wärmepumpen

Einleitung

Die Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen stellt in der Schweiz einen wachsenden Teil der Heizenergie bereit. Gemäss Energiestatistik des Bundes [33] wurden im Jahr 2011 1.22 % des gesamten Endenergieverbrauch durch Umweltwärme gedeckt. Mit den Angaben aus [45] und [46] kann der Anteil der Umweltwärme am Energieverbrauch für Heizung, Warmwasseraufbereitung und Klima, Lüftung, Haustechnik im Jahre 2011 zu ca. 3 % berechnet werden. Zum Vergleich dazu betrug dieser Anteil im Jahr 2006 erst rund 1.5 %.

Der Anteil der Erdwärmesonden inkl. Erdregister und Wärmekörpern an der geothermisch bereitgestellten Energie beträgt 77.7 %, die oberflächennahe Grundwassernutzung trägt weitere 11.2 % bei und Thermalbäder nutzen 10 % der geothermisch gewonnenen Energiemenge (alle Zahlen für das Jahr 2011 aus [45]).

Die installierten Anlagen sind vorwiegend klein im Bereich um 5-13 kW. Diese Anlagengrössen werden in Einfamilienhäusern eingesetzt. Dazu sind grössere Anlagen in Betrieb mit Leistungen bis zu einigen hundert kW für Mehrfamilienhäuser oder gesamte Überbauungen. Tiefe Bohrungen mit Anlageleistungen im Megawatt-Bereich gelten als Hoffnungsträger für einen weiteren Ausbau der Erdwärmenutzung. Das Investitionsrisiko ist für diese Technologie jedoch gross. Bisher kann die tiefe Geothermie keinen nennenswerten Beitrag zur Energiegewinnung leisten.

Grundlagen und Begriffe

Bentonit-Zement-Suspension: Plastisch aushärtende Suspension aus Bentonit, Zement und Wasser. Wird zur Hinterfüllung des Bohrlochs nach einsetzen der Erdwärmesonde eingesetzt.

Doppel-U-Rohr: Das Doppel-U-Rohr führt zwei Leitungen parallel nach unten durch das Bohrloch bis zum Sondenfuss und wieder nach oben. Beide Rohre beschreiben somit ein sehr langgezogenes U.

Entzugsleistung [W/m]: Der dem Erdreich pro Sondenmeter entzogene Wärmestrom. Die Entzugsleistung darf nicht dauerhaft höher liegen als der maximale Wärmefluss im Untergrund, da es sonst um die Sonde zu einer Auskühlung des Untergrunds kommen würde.

Erdwärmesonde (EWS): Die Erdwärmesonde wird heute praktisch ausschliesslich als Doppel-U-Rohr aus hochdichtem Polyethylen (PE 100) ausgeführt. Sie führt das Wasser des Solekreislaufs bis zum Bohrlochgrund und zurück.

Hammerbohrung: Bei der Hammerbohrung werden zwei Rohre abgesenkt, das Aussen- und das Innenrohr. Die Drehbewegung des Bohrkopfs wird über das Innenrohr übertragen. Im Innenrohr wird Druckluft nach unten gepresst, welche den Bohrkopf nach unten treibt und dabei ins Aus-

senrohr austritt. Über das Aussenrohr strömt die Luft wieder nach oben und transportiert dabei das zertrümmerte Gestein (Bohrklein). Hammerbohrungen sind vor allem für Festgesteine geeignet.

Hinterfüllung: Die Hinterfüllung füllt den Zwischenraum zwischen Erdwärmesonde und Untergrund aus.

Injektionsrohr: Das Injektionsrohr ist ein separates Rohr aus hochdichtem Polyethylen (HDPE). Es wird mit der Erdwärmesonde bis zum Bohrlochgrund geführt, ist unten offen und dient zur Einbringung der Bentonit-Zement-Suspension.

Jahresarbeitszahl (JAZ 2): Nutzwärme pro Jahr geteilt durch eingesetzte elektrische Energie pro Jahr. Die Jahresarbeitszahl ist dimensionslos und beschreibt die effektive Effizienz der Energiebereitstellung durch die Wärmepumpe während eines Betriebsjahres. Die JAZ 2 bezieht sich auf die Wärmeabgabe direkt ab Wärmepumpe ohne Einbezug vorhandener Speicher. Für speicherlose Anlagen sind JAZ 1 und JAZ 2 gleichbedeutend [34].

Kühlmittel: Das Kühlmittel zirkuliert in der Wärmepumpe. Seine Funktion ist der Wärmetransport vom Solekreislauf zum Heizkreislauf.

Leistungszahl (coefficient of performance COP): Nutzwärmestrom geteilt durch elektrische Leistungsaufnahme. Die Leistungszahl ist dimensionslos und beschreibt die Effizienz der Energiebereitstellung durch die Wärmepumpe unter Ideal- respektive Prüfbedingungen.

Monovalenter Betrieb: Die Wärmepumpe stellt den gesamten Wärmebedarf bereit ohne Zusatzheizung.

Nutzwärme Q_N : Die Wärme, welche von der Wärmepumpe an den Heizwasserkreislauf abgegeben wird.

Spülbohrung: Bei der Spülbohrung werden zwei Rohre abgesenkt, das Aussen- und das Innenrohr. Die Drehbewegung des Bohrkopfs wird über das Innenrohr übertragen. Im Innenrohr wird eine Spülsuspension nach unten geleitet, welche durch den Bohrkopf ins Aussenrohr austritt. Über das Aussenrohr strömt die Suspension wieder nach oben und transportiert dabei das zertrümmerte Gestein (Bohrklein). Spülbohrungen sind vor allem für lockere Untergründe geeignet.

Wärmepumpe (WP): Die Technische Anlage, welche die Wärme aus dem Umgebungsmedium abzieht (Sole oder Luft) und auf einem höheren Temperaturniveau an den Heizkreislauf abgibt.

Systemcharakterisierung

Systemgrenze

Sole-Wasser-Wärmepumpe

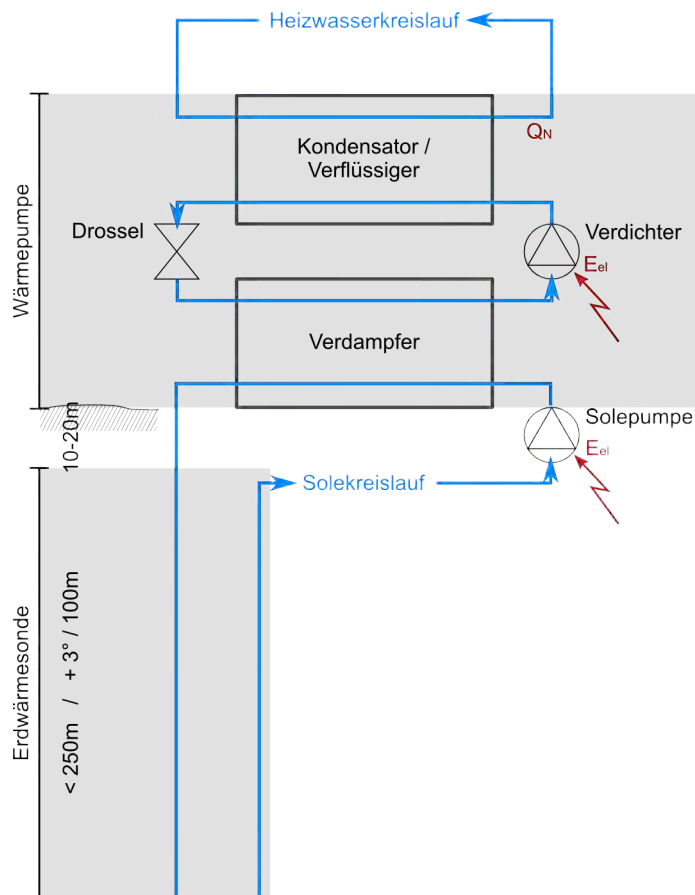


Abbildung 91: Systemkomponenten Sole-Wasser-Wärmepumpe

Die Bilanzierung der Sole/Wasser-Wärmepumpe umfasst die Erstellung respektive Produktion der Systemkomponenten vom Abbau der Rohstoffe bis zur Fertigstellung des Bauteils inklusive aller Transporte und Hilfsstoffe soweit bekannt. Als Systemkomponenten werden die Erdwärmesonde und eine Wärmepumpe mit integrierten Umwälzpumpen für Sole- und Heizkreislauf berücksichtigt. Die Bilanzierung umfasst keine Speicher auf der Heizseite.

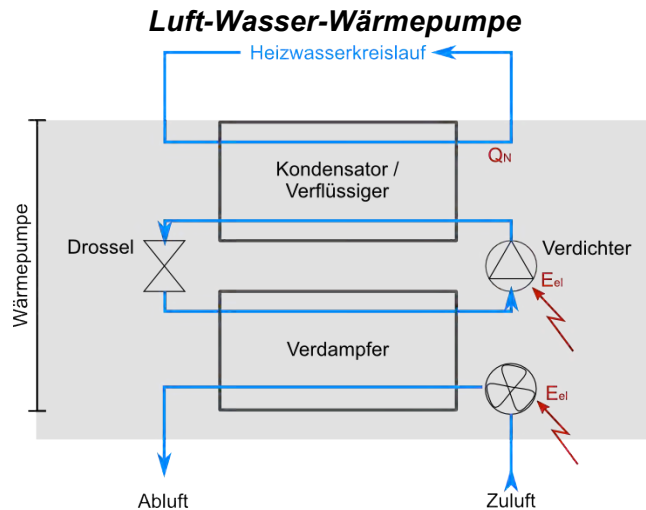


Abbildung 92: Systemkomponenten Luft-Wasser-Wärmepumpe

Die Bilanzierung der Luft/Wasser-Wärmepumpe umfasst die Herstellung der Systemkomponenten vom Abbau der Rohstoffe bis zur Fertigstellung des Bauteils inklusive aller Transporte und Hilfsstoffe soweit bekannt. Als Systemkomponenten wird die Wärmepumpe mit integrierten Umwälzpumpen für den Heizkreislauf berücksichtigt. Ebenfalls integriert ist der Ventilator für die Luftansaugung. Die Bilanzierung umfasst keine Speicher auf der Heizseite.

Erdwärmesonde

Die Bilanzierung der Erdwärmesonde umfasst die folgenden Aktivitäten:

- Energieverbrauch Bohrung des Erdsondenschachts inkl. Material- und Personaltransporte auf die Baustelle. Die Bohrung erfolgt mit einem Hammerbohrer
- Produktion Grundmaterial Doppel-U-Rohr
- Produktion Grundmaterial Injektionsrohr
- Produktion Doppel-U-Rohre und Injektionsrohre aus HDPE sowie damit verbundene Transporte bis zur Baustelle werden abgeschätzt
- Hinterfüllung des Bohrlochs mit Bentonit-Zement-Suspension, inkl. Mischung der Ausgangsstoffe
- Abbau, Transport und Aufbereitung der Rohstoffe für die Bentonit-Zement-Suspension
- Glykol-Herstellung und Wasserbedarf für die Einfüllung des Wasser-Glykol-Gemischs in den Sondenkreislauf
- Abnutzung Bohrgestänge
- Entsorgung Bohrschlamm

Folgende Aktivitäten wurden in der Bilanzierung nicht berücksichtigt da keine Angaben vorhanden waren:

- Energieaufwand Einbringung Doppel-U-Rohr und Injektionsrohr
- Energieaufwand Druckluftkompressor zur Ausblasung des Bohrlochs während der Bohrung

- Produktion Sondenfuss

Die vernachlässigten Prozesse sollten jedoch im Vergleich zu den anderen Inputs nur einen geringen Einfluss auf die Ökobilanz haben.

Für die Bohrenergie stehen die Angaben zweier Bohrfirmen aus der Schweiz zur Verfügung ([40]; [49]). Beide Angaben liegen nahe beieinander. Eine Bohrfirma gibt 3.2 l Diesel/m Bohrung an. Diese Zahl beinhaltet auch die Transporte des Hammerbohrers und der Mannschaft von und zur Baustelle [49]. Die zweite Bohrfirma weist ca. 3 l Diesel/m Bohrung aus für Hammerbohrungen. Für die Bilanzierung wurde die Angabe von 3.2 l/m Bohrung übernommen.

In der Schweiz werden derzeit fast ausschliesslich zwei verschiedene Durchmesser von Doppel-U-Rohren eingesetzt; zum einen 32 mm-Rohre, zum anderen 40mm-Rohre. Aus den Angaben in [40] konnte ein Anteil der 32 mm-Rohre von 25 % und von 75% für die 40mm-Rohre hergeleitet werden. Der Bohrdurchmesser ist für beide Doppel-U-Rohrdurchmesser derselbe und vom vorhandenen Bohrequipment einer Firma abhängig. Es lohnt sich für eine Bohrfirma nicht, die Bohrdurchmesser den Durchmessern der Doppel-U-Rohre anzupassen ([40], [49]). Für die Bilanzierung des Bohrdurchmessers wurde der Mittelwert aus den Angaben der beiden Bohrfirmen von 143 mm angenommen.

Das Doppel-U-Rohr wird nach Herstellerangaben aus PE 100 hergestellt [41]. PE 100 hat gemäss Angaben eines Herstellers von Rohrleitungen eine Dichte von 955 kg/m^3 [39]. Somit gehört es zu den hochdichten Polyethylenen (high density polyethylene HDPE). Pro Laufmeter haben Doppel-U-Rohre 32mm ein Gewicht von 1.1 kg/m und Doppel-U-Rohre 40mm 1.73 kg/m [42]. Das Injektionsrohr wird in der Mitte des Doppel-U-Rohres bis zum Grund der Bohrung geführt und leitet die Hinterfüllmasse in das Bohrloch. Es verbleibt nach der Füllung im Bohrloch ([40]; [49]). Das Injektionsrohr wird aus HDPE gefertigt und wiegt 0.274 kg/m [42]. Für die Ökobilanzierung sowohl der Doppel-U-Rohre wie auch des Injektionsrohrs kann deshalb der ecoinvent Datensatz „polyethylene, HDPE, granulate, at plant, RER“ verwendet werden. Für den Transport der Rohstoffe zur Extrusion und der Rohre vom Hersteller zur Baustelle stehen keine Daten zur Verfügung, weshalb diese mit den Standarddistanzen für ecoinvent 2.2 berücksichtigt wurden. Ebenfalls keine spezifischen Daten sind für die Produktion der Rohre aus HDPE verfügbar. Als Näherung wird der ecoinvent-Prozess „extrusion, plastic pipes“ verwendet. Die Einbringung des Doppel-U-Rohres in das fertige Bohrloch erfolgt gemäss eigenen Recherchen durch einfaches Herablassen des Rohres in die fertige Bohrung. Damit kann von vernachlässigbaren Umweltwirkungen für die Einbringung ausgegangen werden. Für die Einbringung wird je nach Bohrung ein Einbaugewicht unter die Sonde gehängt. Gemäss Expertenschätzung ist das in 30-40 % der Bohrungen der Fall [50]. Das Gewicht ist ein Eisengewicht mit 25-40 kg. Für die Ökobilanzierung wird von Gewichtseinsatz in 40 % der Bohrungen mit 30 kg-Gewichten ausgegangen (ecoinvent-Datensatz „cast iron, at plant, RER“). Für die Umrechnung auf den Bohrmeter wird von einer durchschnittlichen Sondenlänge von 150m ausgegangen. Beim Rückbau verbleibt das eingesetzte Gewicht im Untergrund und zersetzt sich in geologischen Zeiträumen zu Eisenoxid. Dieser Prozess wurde in der Ökobilanzierung nicht berücksichtigt.

Nach Abschluss der Bohrung und Einbringung des Doppel-U-Rohres wird das Bohrloch mit einer Bentonit-Zement-Suspension verfüllt. Diese dient der Stabilisierung der Sonde und soll eine genügende Wärmeleitung zwischen den Sondenrohren und dem umgebenden Untergrund sicherstellen. Für die benötigte Menge Bentonit-Zement-Mischung pro Sondenmeter konnten beide Bohrunternehmen Angaben machen. Aus dem Mittelwert ergibt sich ein Verbrauch von

9.75 kg/m. Für das Mischungsverhältnis von Bentonit und Zement wurde die Standardrezeptur aus dem Reglement für das Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen übernommen [38]. Im Gegensatz zu älteren ecoinvent Datensätzen wird keine Spülbohrung bilanziert, da diese nach übereinstimmender Auskunft aller befragter Experten nur noch einen marginalen Anteil an allen durchgeführten Bohrungen ausmacht. Die Hammerbohrung benötigt zur Spülung keine Bentonit-Zement-Suspension, sondern spült das Bohrloch mit Druckluft.

Für den Abbau von Bentonit wurde der ecoinvent Datensatz „bentonite, at processing, DE“ verwendet, für Zement „cement, unspecified, at plant, CH“. Bentonit wird im süddeutschen Raum abgebaut [44]. Nach Auskunft des Produzenten wird Kalziumbentonit in Abbaustätten um Moosburg an der Isar gewonnen und in Moosburg für den Transport abgepackt. Der Transport in die Schweiz erfolgt im LKW und wird für die Ökobilanzierung mit 400 km eingesetzt (ecoinvent-Datensatz „Transport, lorry 3.5-20t, fleet average, CH“) (Hofbauer, 2012). Für den Zement wird eine Herkunft aus der Schweiz angenommen. Die Transporte werden mit den Standarddistanzen für ecoinvent 2.2 berücksichtigt. Auf der Baustelle wird die Bentonit-Zement-Mischung mit Wasser aus dem Hydrant (ecoinvent-Datensatz „tap water, at user, CH“) zu einer Suspension gemischt. Das Wasser wird teilweise als Anmachwasser im Zement gebunden, der Rest wird in das umgebende Erdreich emittiert. Die Mischung erfolgt in einem Niederdruckmischer. Für die Ökobilanzierung wurden die technischen Daten einer elektrisch betriebenen Mischanlage mit integriertem Lagerbehälter und Förderpumpe für die Verpressung der Suspension ins Bohrloch verwendet [43]. Aus den Daten konnte lediglich der elektrische Energieverbrauch abgeschätzt und mit dem ecoinvent-Datensatz „Electricity, low voltage, at grid, CH“ berücksichtigt werden. Über verbrauchte Schmierstoffe und die Lebensdauer der Anlage waren keine Angaben verfügbar.

Aus [48] sind Füllmengen pro Laufmeter Doppel-U-Rohr mit 32mm und 40mm Durchmesser bekannt. Der Glykolanteil von 30 % wurde gegenüber der letzten Ökobilanzierung nicht verändert [44]. Die Dichte von Ethylenglykol wurde ebenfalls unverändert übernommen. Das eingesetzte Wasser wurde als „tap water, at user, CH“ bilanziert, das Glykol als „ethylene glycol, at plant, RER“. Die Transporte wurden erneut über die Standarddistanzen für ecoinvent 2.2 abgeschätzt, da keine spezifischen Daten vorhanden waren. Am Ende der Nutzungsdauer wird das Glykol-Wasser-Gemisch einer gesonderten Entsorgung zugeführt. Diese Behandlung wird im separaten Datensatz „Entsorgung, Erdwärmesonde 1m“ mit „treatment, heat carrier liquid, 40 % C3H8O2, to wastewater treatment, class 2“ berücksichtigt. Für den Transport in die Entsorgung werden 50km Strassentransport angenommen.

Für die Abnutzung des Bohrers wurden keine neuen Daten erhoben. Angesichts der untergeordneten Bedeutung für die Ökobilanz wäre der Aufwand dafür nicht verhältnismässig. Es wurden deshalb die Angaben aus [44] unverändert übernommen.

Für den anfallenden Bohrschlamm lieferten beide Bohrunternehmen quantitative Angaben. Aus dem Mittelwert der Umfrage wurde die Masse des Abfalls auf die Inertstoffdeponie erhalten („Disposal, inert waste, 5 % water, to inert material landfill“). Da zum Wassergehalt des Bohrschlammes keine Angaben verfügbar waren, wurde dieser nicht korrigiert.

Damit eine installierte Wärmepumpenleistung mit einer bestimmten Sondenlänge verknüpft werden kann, muss eine Annahme über die Entzugsleistung pro Sondenmeter getroffen werden. Die jährlich installierte Erdwärmesondenlänge stieg zwischen 2001 und 2011 kontinuierlich an. Im Neubau wurden insgesamt 64 % der Laufmeter gebohrt und in der Sanierung 36 %. Der

Anteil der Sanierungen nahm über die Jahre stetig zu [36]. Die Energiestatistik für Geothermie [45] liefert Daten für die installierte Heizleistung von Sole/Wasser-Wärmepumpen. Mit der durchschnittlichen JAZ 2 von 3.5 aus [34] kann diese Angabe in die benötigte Kälteleistung umgerechnet werden. Aus beiden Angaben kann die durchschnittlich dimensionierte Entzugsleistung pro Meter Erdwärmesonde für die Jahre 2001 bis 2011 berechnet werden. Die Berechnung führt zu einem Wert von 44 W/m. Dieser Wert wird verglichen mit dem Wert aus [34] für die effektive Entzugsleistung von 48W/m ($s_d = 13.4$). Die Kombination zweier statistische Quellen für die Berechnung der dimensionierten Entzugsleistung ohne weitere Hintergrunddaten ist heikel und führt in den Jahresergebnissen zu erheblichen und nicht erklärbaren Schwankungen. Der Mittelwert über 10 Jahre ist jedoch plausibel und passt zur Erkenntnis aus [34]. Aus den Daten in (Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz, 2012) und [45] kann jedoch kein Trend abgeleitet werden, mit dem die Angabe aus [34] aktualisiert werden könnte. Die Norm SIA 384/6 [47] empfiehlt eine Dimensionierung auf 35 W/m Entzugsleistung im Schweizer Mittelland. Dieser Wert liegt jedoch tiefer als in früheren Empfehlungen und wird in der Praxis durch die installierten Anlagen überschritten [52]. Somit ist die in der Feldstudie [34] gemessene Entzugsleistung pro Sondenmeter von 48 W/m ($s_d = 13.4$) die Beste für die Schweiz verfügbare Angabe und wird als Grundlage für die Ökobilanzierung der Sondenlänge übernommen.

Es wird davon ausgegangen, dass die Sonde auch nach dem Ende der Nutzungsdauer im Boden verbleibt. Eine Sanierungsmöglichkeit leerer Sonden ist nicht absehbar. Die Entsorgung berücksichtigt deshalb nur die Behandlung des Wasser-Glykolegemisches wie bereits beschrieben.

Wärmepumpe

Marktanteile

Die Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz veröffentlicht jährlich eine Statistik der verkauften Stückzahlen von Wärmepumpen ([35], [36]). Die Wärmepumpen werden in dieser Statistik in Leistungsklassen eingeteilt, es wird nicht nach Energiequelle unterschieden. Es zeigt sich, dass zwei Leistungsklassen die Absatzzahlen dominieren. Es sind dies Wärmepumpen mit folgenden Heizleistungen:

1. 5-13 kW Heizleistung mit einem Marktanteil 2010-2011 von 64 %
2. 13-50 kW Heizleistung mit einem Marktanteil 2010-2011 von 32 %

Der leistungsbezogene Anteil an der installierten Heizleistung ist für die Klasse 13-50 kW höher als der Stückzahlanteil. Dies gilt natürlich in noch stärkerem Masse für Anlagen mit Leistungen über 100 kW. Da deren Marktanteil nach Stückzahlen jedoch nur bei rund 3 % liegt, kann auch der Marktanteil nach Leistung als klein abgeschätzt werden. Für die Marktanteile der Leistungsklassen nach installierter Leistung konnten keine statistischen Daten eruiert werden.

Sole-Wasser-Wärmepumpe

Gemäss ([35], [36]) beträgt der Marktanteil von Sole/Wasser-Wärmepumpen 2010-2011 in der Schweiz rund 38 %. Für die Bilanzierung von Sole/Wasser-Wärmepumpen konnten Hersteller-Daten zu einer Wärmepumpe mit 8 kW Wärmeleistung ausgewertet werden [51]. Von den weiteren angefragten Herstellern von Wärmepumpen konnten leider trotz umfangreicher Bemühungen keine Daten erhalten werden. Es war ebenfalls nicht möglich, Daten zu Wärmepumpen mit höherer Heizleistung von Herstellern zu erhalten. Die Auswertung der Anlagedaten der Muster-

gebäude im Rahmen dieses Projektes zeigte grosse Unterschiede im Gewicht der eingebauten Anlagen. Diesen Sachverhalt bestätigt auch eine Auswertung von Katalogdaten nach Gewicht und Wärmeleistung von Standardanlagen. Für die Auswertung in Abbildung 93 wurden die Katalogdaten von 50 Anlagen ausgewertet.

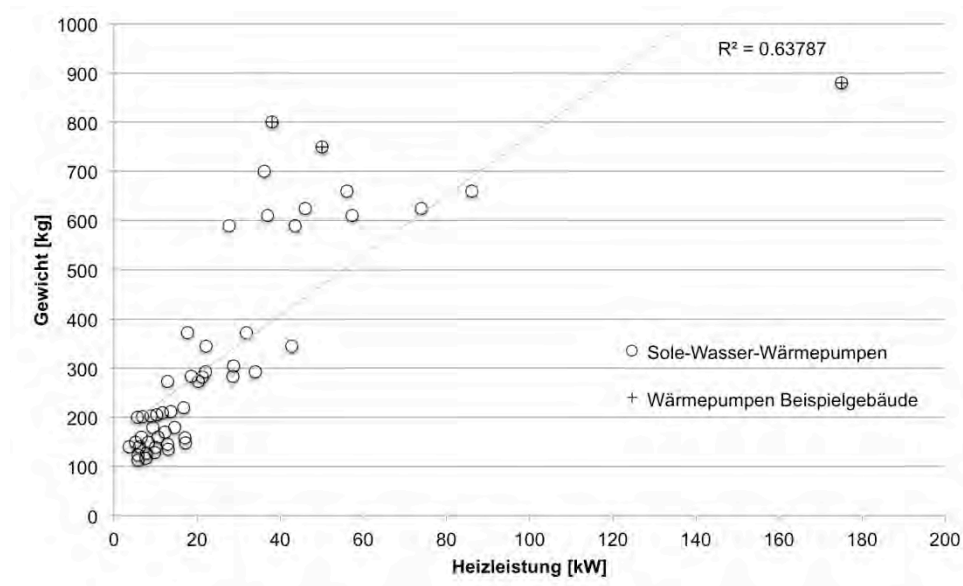


Abbildung 93: Gewicht vs. Heizleistung von Sole-Wasser-Wärmepumpen

Die Gewichte in der Leistungsklasse 0-20 kW liegen für fast alle Anlagen zwischen 100 und 200 kg. Es gibt jedoch bereits in diesem Leistungsbereich Ausnahmen mit Gewichten bis zu 372 kg. Bei den Wärmepumpen über 20 kW streuen die Gewichte erheblich, für eine Leistung um 40 kW werden Anlagen mit Gewichten von rund 300 bis rund 800 kg angeboten. In den grösseren Leistungsklassen sind zudem Einzelanfertigungen häufig, die auf Bestellung gemäss den Anforderungen eines Objekts gebaut werden. Bei den drei ausgewiesenen Wärmepumpen aus den Beispielgebäuden handelt es sich um solche Einzelanfertigungen.

Für Sole/Wasser-Wärmepumpen wurde eine Sachbilanz für die 8 kW-Anlage gemäss [51] erstellt. Diese Anlagegrösse ist gemäss Herstellerangabe die häufigste eingesetzte in der Leistungsklasse 5-13 kW. Die Herstellerangaben umfassen die Anlageteile, wie in Tabelle 60 aufgeführt. Es standen Daten zu den Rohmaterialien gemäss Tabelle 61 zur Verfügung.

Tabelle 60: Anlagebauteile, Betriebsstoffe, Hilfsstoffe und Produktionsenergie der Sole/Wasser-Wärmepumpe, für welche Herstellerangaben verfügbar sind

Bauteile	Betriebsstoffe
Anschlusschläuche	Kältemittel
Dichtungen	Verdichteröl
Eckprofile	
Grundwanne	
Lüfter	Hilfsstoffe Produktion

Bauteile	Betriebsstoffe
Nieten und Kleinteile	Biegeöl
Plattentauscher	Lote
Pumpen	Lötgase (Acetylen, Sauerstoff)
Sammler	Spülgas (N ₂)
Verdampfer inkl. Wanne	Produktionsenergie
Verdichter inkl. Kupfer-Wicklung	Elektrische Energie Endmontage
Verkleidung	
Verrohrung	
Wasserverrohrung	

Die Produktionsaufwände konnten nicht vollständig erfasst werden. Vom Hersteller wurden die Daten zu den eingesetzten Gasen, den Lötmitteln und dem Elektrizitätsbedarf in der Endfertigung eruiert (siehe Tabelle 61).

Tabelle 61: Herstellerangaben Sole-Wasser-WP 8 kW

Rohmaterialien	Menge	Einheit
Kupfer	6	kg
Stahl	77	kg
Gusseisen	23	kg
Edelstahl	21.5	kg
Alu	1.7	kg
Messing	11	kg
Kunststoffe	6	kg
Weichkautschuk	9.11	kg
Synthetic Polyol ester	1.45	l
Biegeöl	0.002	l
Polyurethan	6	kg
Kältemittel (R 407c)	2.65	kg
Kabel	9	kg
Leiterplatten	6	kg
Elektrokomponenten	7	kg
Betriebsstoffe	Menge	Einheit
Stickstoff-Gas	5.3	l
Acetylen-Gas	1.6	l
Sauerstoff-Gas	1.3	l
Hilfsstoffe	Menge	Einheit
Silberlot	0.025	kg
Phosphorlot	0.09	kg
Energie	Menge	Einheit
Elektrizitätsbedarf der Halle inkl. Energiebedarf Heizung der Halle pro WP	183	kWh

Für die Vorprodukte wurden die Produktionsaufwände über die generischen ecoinvent-Datensätze für die Produktherstellung von Metallprodukten approximiert. Die Transporte wurden über die Standarddistanzen gemäss ecoinvent-Richtlinien v 2.2 berücksichtigt. Für die Kältemittel-Emissionen aus der Produktion musste eine Annahme getroffen werden. Es wurde in Anlehnung an [37] und an die Schätzung des Herstellers [51] Emissionen von 3% der Füllmenge angenommen.

Aus der Ökobilanz der 8 kW-Wärmepumpe wurde eine Ökobilanz pro Kilogramm Wärmepumpe berechnet durch Division der Ergebnisse durch das Anlagegewicht der bilanzierten Anlage. Die Unsicherheiten in diesem Wert sind als hoch einzustufen, da für die Bilanzierung lediglich eine Anlage zur Verfügung stand. Die Daten in Tabelle 61 zeigen, dass fast das gesamte Anlagegewicht aus den verschiedenen Stahlqualitäten und Gusseisen hervorgeht. Für diese ist eine fast lineare Abhängigkeit vom Anlagegewicht plausibel, insbesondere da die Gewichte der massiven Bauteile (Wärmetauscher, Kompressoren) mit der Anlageleistung anwachsen. Für die Elektronik und Elektrokomponenten ist keine lineare Abhängigkeit zum Anlagegewicht gegeben. Für grössere Anlagen muss deshalb davon ausgegangen werden, dass der Beitrag der Elektronik zur Umweltbelastung überschätzt wird. Für die Kältemittel zeigt eine Auswertung der Prospekt Daten eine gewisse Korrelation zwischen Füllmenge und Anlagegewicht. grundsätzlich steigt die Füllmenge mit steigendem Anlagegewicht. Allerdings ist die Streuung gross und die Korrelation dementsprechend schwach.

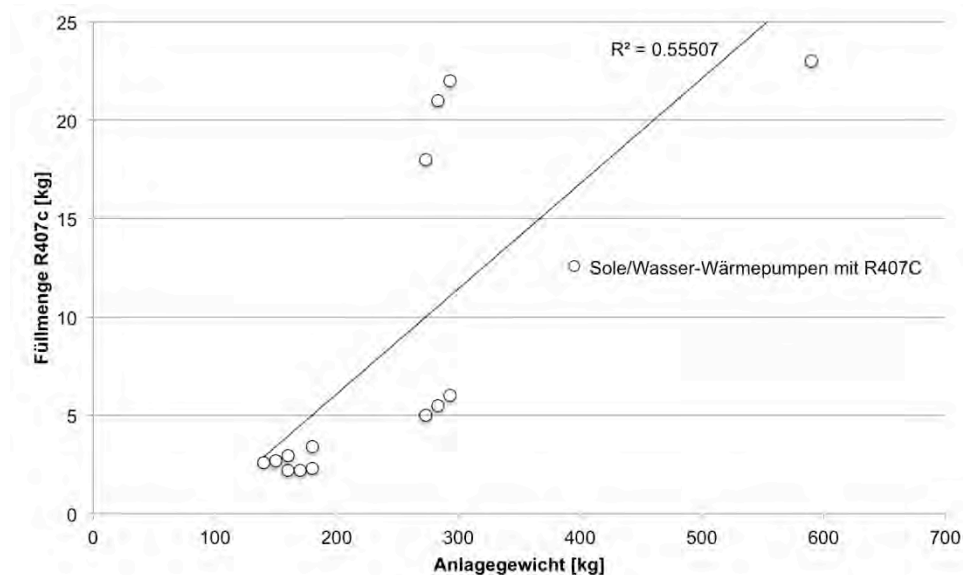


Abbildung 94: Füllmenge Kältemittel vs. Anlagegewicht Sole/Wasser-Wärmepumpen

Die Entsorgung der Sole/Wasser-Wärmepumpe musste aufgrund fehlender Praxisdaten aus theoretischen Überlegungen abgeleitet werden. Bei der Wärmepumpe handelt es sich grundsätzlich um ein Kompressorgerät mit Kühlmittel, vergleichbar mit einem Kühlschrank. Das Kühlschrankrecycling umfasst eine Recyclinganlage für Elektrogeräte, die allerdings vollständig gekapselt ist, um im Gegenstromverfahren das freiwerdende Kühlmittel abzufangen. Das gesammelte Kühlmittel wird zur Zerstörung direkt in eine Sondermüllverbrennungsanlage einge-

blasen [54]. In ecoinvent v 2.2 existiert keine Bilanzierung des Recyclings von Kompressorgeräten. Die näherungsweise passendsten Datensätze sind deshalb „disposal, industrial devices, to WEEE treatment“ für die Entsorgung der Wärmepumpe und „disposal, hazardous waste, 25% water, to hazardous waste incineration“ für die Kühlmittelverbrennung. In der Entsorgung treten unweigerlich Kühlmittelverluste auf. Zum einen durch Beschädigungen der Kühlmittelkreisläufe, zum anderen in der Entsorgungsanlage und beim Einspritzen in die Sondermüllverbrennung. Ein Teil der Anlagen wird zudem wegen einer Leckage am Kühlkreislauf ausfallen. Da diese Anlagen einen praktisch 100% Kühlmittelverlust aufweisen werden, tragen sie sehr bedeutend zur den gesamten Emissionen in der Entsorgung bei. Aus eigener Erfahrung wissen die Autoren, dass die Anzahl beschädigter Kühlkreisläufe in der Entsorgungslogistik von Kühlschränken bedeutend ist. Die Verluste werden deshalb konservativ mit 15% abgeschätzt.

Luft-Wasser-Wärmepumpe

Gemäss ([35], [36]) beträgt der Marktanteil von Luft/Wasser-Wärmepumpen 2010-2011 in der Schweiz rund 59 %. Bilanziert wurde ein Vertreter der typischen Leistungsklasse von 5-13 kW Heizleistung. Wie bereits im vorhergehenden Kapitel erwähnt, gestaltete sich die Datenrecherche schwierig. Trotz zahlreicher Kontakte konnten nur ein Hersteller dazu bewegt werden, Herstellungsdaten für die vorliegende Bilanzierung zu liefern. Wie bei der Sole/Wasser-Wärmepumpe konnte eine Anlage der Firma Hoval mit 8 kW Heizleistung bilanziert werden. Diese Anlagegrösse ist gemäss Herstellerangaben die häufigste eingesetzte in der Leistungsklasse 5-13 kW. Die Herstellerangaben umfassen die Anlageteile, wie in Tabelle 62 aufgeführt.

Tabelle 62: Anlagebauteile, Betriebsstoffe, Hilfsstoffe und Produktionsenergie der Luft/Wasser-Wärmepumpe, für welche Herstellerangaben verfügbar sind

Bauteile	Betriebsstoffe
Anschlussschläuche	Kältemittel
Dichtungen	Verdichteröl
Eckprofile	
Grundwanne	
Lüfter	Hilfsstoffe Produktion
Nieten und Kleinteile	Biegeöl
Plattentauscher	Lote
Pumpen	Lötgase (Acetylen, Sauerstoff)
Sammler	Spülgas (N ₂)
Verdampfer inkl. Wanne	Produktionsenergie
Verdichter	Elektrische Energie Endmontage
Verkleidung	
Verrohrung	
Wasserverrohrung	

Es standen Daten zu den Rohmaterialien gemäss Tabelle 63 zur Verfügung. Die Produktionsaufwände konnten nicht vollständig erfasst werden, vom Hersteller wurden die Daten zu den

eingesetzten Gasen, den Lötmitteln und dem Elektrizitätsbedarf in der Endfertigung eruiert (siehe Tabelle 63).

Tabelle 63: Herstellerangaben Luft/Wasser-WP 8 kW

Rohmaterialien	Menge	Einheit
Kupfer	22	kg
Stahl	103	kg
Gusseisen	20	kg
Edelstahl	13	kg
Alu	25.7	kg
Messing	6	kg
Kunststoffe	11	kg
Weichkautschuk	9.21	kg
Synthetic Polyol ester	1.45	l
Biegeöl	0.002	l
Polyurethan	6	kg
Kältemittel (R 407c)	4	kg
Kabel	11	kg
Leiterplatten	4	kg
Elektrokomponenten	7	kg
Betriebsstoffe	Menge	Einheit
Stickstoff-Gas	5.3	l
Acetylen-Gas	1.6	l
Sauerstoff-Gas	1.3	l
Hilfsstoffe	Menge	Einheit
Silberlot	0.03	kg
Phosphorlot	0.12	kg
Energie	Menge	Einheit
Elektrizitätsbedarf der Halle inkl. Energiebedarf Heizung der Halle pro WP	183	kWh

Für die Vorprodukte wurden die Produktionsaufwände über die generischen ecoinvent-Datensätze für die Produktherstellung von Metallprodukten approximiert. Die Transporte wurden über die Standarddistanzen gemäss ecoinvent-Richtlinien v 2.2 berücksichtigt. Für die Kältemittel-Emissionen aus der Produktion musste eine Annahme getroffen werden. Es wurde in Anlehnung an (Frischknecht, 1999) Emissionen von 3% der Füllmenge angenommen.

Aus der Ökobilanz der 8 kW-Wärmepumpe wurde eine Ökobilanz pro Kilogramm Wärmepumpe berechnet durch Division der Ergebnisse durch das Anlagegewicht der bilanzierten Anlage. Die Unsicherheiten in diesem Wert sind als hoch einzustufen, da für die Bilanzierung lediglich eine Anlage zur Verfügung stand. Im Übrigen gelten die Überlegungen für die Sole/Wasser-Wärmepumpe zu dieser Umrechnung sinngemäss auch für die Luft/Wasser-Wärmepumpe.

Die Entsorgung der Luft/Wasser-Wärmepumpe musste aufgrund fehlender Praxisdaten analog zu der Entsorgung der Sole/Wasser-Wärmepumpe aus theoretischen Überlegungen abgeleitet

werden. Diese Überlegung sind bereits im Kapitel über Sole/Wasser-Wärmepumpen detailliert dargestellt worden.

Sachbilanz

Herstellung, Erdwärmesonde [m]

Datensatz-Name ecoinvent 2.2	Region	Menge	Einheit	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
INPUT				
bentonite, at processing	DE	3.25	kg	1.14 1.05 (4,5,1,1,1,1)
reinforcing steel, at plant	RER	0.22	kg	1.77 3 (4,5,2,2,1,5)
tap water, at user	CH	31.4	kg	1.05 1.05 (2,3,1,1,1,3)
diesel, burned in building machine	GLO	118	MJ	1.05 1.05 (2,3,1,1,1,3)
polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	1.85	kg	1.04 1.05 (2,2,1,1,1,2)
ethylene glycol, at plant	RER	1.04	kg	1.17 1.05 (4,1,4,1,1,5)
cement, unspecified, at plant	CH	6.5	kg	1.14 1.05 (4,5,1,1,1,1)
electricity, low voltage, at grid	CH	0.012	kWh	1.17 1.05 (4,5,1,1,1,5)
transport, lorry 3.5-20t, fleet average	CH	1.3	t*km	1.52 2 (5,5,1,1,1,5)
extrusion, plastic pipes	RER	1.85	kg	1.37 1.05 (5,5,1,2,4,5)
cast iron, at plant	RER	0.08	kg	1.77 3 (4,5,1,1,1,5)
transport, freight, rail	RER	0.994	t*km	1.53 2 (5,5,3,1,3,1)
transport, lorry >28t, fleet average	CH	0.275	t*km	1.53 2 (5,5,3,1,3,1)
transport, freight, rail	CH	0.65	t*km	1.53 2 (5,5,3,1,3,1)
disposal, inert waste, 5 % water, to inert material landfill	CH	91.7	kg	1.06 1.05 (2,4,1,1,1,2)
OUTPUT				
Water, ground		26.7	kg	1.14 1.05 (4,3,1,1,1,5)
borehole heat exchanger	CH	1.0	m	–

Entsorgung, Erdwärmesonde [m]

Datensatz-Name ecoinvent 2.2	Region	Menge	Einheit	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
INPUT				
treatment, heat carrier liquid, 40 % C ₃ H ₈ O ₂ , to wastewater treatment, class 2	CH	0.00303	m ³	1.15 1.05 (2,3,1,1,3,5)
transport, lorry >28t, fleet average	CH	0.152	t*km	1.53 2 (5,5,3,1,3,1)
OUTPUT				
disposal, borehole heat exchanger	CH	1.0	m	–

Herstellung, Sole/Wasser-WP 8kW [Stk.]

Datensatz-Name ecoinvent 2.2	Region	Menge	Einheit	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
INPUT				
acetylene, at regional storehouse	CH	0.00144	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
aluminium product manufacturing	RER	1.7	kg	1.17 1.05 (2,5,1,1,3,5)
aluminium, production mix, at plant	RER	1.7	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
brass, at plant	CH	11	kg	1.17 1.05 (2,5,1,1,3,5)
cable, three-conductor cable, at plant	GLO	8.65	m	1.27 1.05 (2,5,1,2,4,5)
cast iron, at plant	RER	23	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
chemicals organic, at plant	GLO	1.32	kg	1.17 1.05 (2,5,1,1,3,5)
chromium steel 18/8, at plant	RER	21.5	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
chromium steel product manufacturing	RER	21.5	kg	1.17 1.05 (2,5,1,1,3,5)
copper product manufacturing	RER	6	kg	1.17 1.05 (2,5,1,1,3,5)
copper, at regional storage	RER	6	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
electricity, medium voltage, at grid	CH	183	kWh	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	6	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
metal product manufacturing	RER	34	kg	1.17 1.05 (2,5,1,1,3,5)

Datensatz-Name ecoinvent 2.2	Region	Menge	Einheit	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
nitrogen, liquid, at plant	RER	0.00514	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
oxygen, liquid, at plant	RER	0.00143	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
polyurethane, rigid foam, at plant	RER	6	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
printed wiring board, surface mounted, unspec., Pb free, at plant	GLO	6	kg	1.27 1.05 (2,5,1,2,4,5)
refrigerant R134a, at plant	RER	2.73		1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
solder, bar, Sn95.5Ag3.9Cu0.6, for electronics industry, at plant	GLO	0.115	kg	1.27 1.05 (2,5,1,2,4,5)
steel product manufacturing	RER	77	kg	1.17 1.05 (2,5,1,1,3,5)
steel, low-alloyed, at plant	RER	77	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant	RER	9.11	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
transformer, high voltage use, at plant	GLO	7	kg	1.27 1.05 (2,5,1,2,4,5)
transport, freight, rail	RER	103	tkm	1.60 2 (5,5,3,1,4,5)
transport, lorry >28t, fleet average	CH	9.37	tkm	1.60 2 (5,5,3,1,4,5)
OUTPUT				
HFC-134a to air unspec.		0.04134	kg	1.54 2 (5,5,4,1,1,5)
HFC-125 to air unspec.		0.019875	kg	1.54 2 (5,5,4,1,1,5)
HFC-32 to air unspec		0.018285	kg	1.54 2 (5,5,4,1,1,5)

Stückgewicht 187.4 kg

Entsorgung, Sole/Wasser-WP 8kW [Stk.]

Datensatz-Name ecoinvent 2.2	Region	Menge	Einheit	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
INPUT				
disposal, hazardous waste, 25% water, to hazardous waste incineration	CH	2.25	kg	1.29 1.05 (4,5,1,1,4,5)
disposal, industrial devices, to WEEE treatment	CH	185	kg	1.28 1.05 (3,5,3,1,4,5)
OUTPUT				
HFC-134a to air unspec.		0.207	kg	1.54 2 (4,5,2,1,4,5)
HFC-125 to air unspec.		0.0994	kg	1.54 2 (4,5,2,1,4,5)
HFC-32 to air unspec		0.0914	kg	1.54 2 (4,5,2,1,4,5)

Stückgewicht 187.4 kg

Herstellung, Luft/Wasser-WP 8kW [Stk.]

Datensatz-Name ecoinvent 2.2	Region	Menge	Einheit	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
INPUT				
acetylene, at regional storehouse	CH	0.00144	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
aluminium product manufacturing	RER	25.7	kg	1.18 1.05 (2,5,1,1,3,5)
aluminium, production mix, at plant	RER	25.7	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
brass, at plant	CH	6	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
cable, three-conductor cable, at plant	GLO	10.6	m	1.27 1.05 (2,5,1,2,4,5)
cast iron, at plant	RER	20	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
chemicals organic, at plant	GLO	1.32	kg	1.18 1.05 (2,5,1,1,3,5)
chromium steel product manufacturing	RER	13	kg	1.18 1.05 (2,5,1,1,3,5)
chromium steel 18/8, at plant	RER	13	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
copper product manufacturing	RER	22	kg	1.18 1.05 (2,5,1,1,3,5)
copper, at regional storage	RER	22	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)

Datensatz-Name ecoinvent 2.2	Region	Menge	Einheit	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
electricity, medium voltage, at grid	CH	183	kWh	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	11	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
metal product manufacturing	RER	20	kg	1.18 1.05 (2,5,1,1,3,5)
metal product manufacturing	RER	6	kg	1.18 1.05 (2,5,1,1,3,5)
nitrogen, liquid, at plant	RER	0.00514	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
oxygen, liquid, at plant	RER	0.00143	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
polyurethane, rigid foam, at plant	RER	6	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
printed wiring board, through-hole mounted, unspec., Pb free, at plant	GLO	4	kg	1.27 1.05 (2,5,1,2,4,5)
refrigerant R134a, at plant	RER	4.12	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
solder, bar, Sn95.5Ag3.9Cu0.6, for electronics industry, at plant	GLO	0.15	kg	1.27 1.05 (2,5,1,2,4,5)
steel product manufacturing	RER	103	kg	1.17 1.05 (2,5,1,1,3,5)
steel, low-alloyed, at plant	RER	103	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
synthetic rubber, at plant	RER	9.21	kg	1.14 1.05 (2,5,1,1,1,5)
transformer, high voltage use, at plant	GLO	7	kg	1.27 1.05 (2,5,1,2,4,5)
transport, freight, rail, RER	RER	125.3	tkm	1.60 2 (5,5,3,1,4,5)
transport, lorry >28t, fleet average	CH	12.2	tkm	1.60 2 (5,5,3,1,4,5)
OUTPUT				
HFC-134a to air unspec.		0.0624	kg	1.54 2 (5,5,4,1,1,5)
HFC-125 to air unspec.		0.03	kg	1.54 2 (5,5,4,1,1,5)
HFC-32 to air unspec		0.0276	kg	1.54 2 (5,5,4,1,1,5)

Stückgewicht 243.4 kg

Entsorgung, Luft/Wasser-WP 8kW [Stk.]

Datensatz-Name ecoinvent 2.2	Region	Menge	Einheit	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
INPUT				
disposal, hazardous waste, 25% water, to hazardous waste incineration	CH	3.4	kg	1.29 1.05 (4,5,1,1,4,5)
disposal, industrial devices, to WEEE treatment	CH	239	kg	1.28 1.05 (3,5,3,1,4,5)
OUTPUT				
CFC-134a to air unspec.		0.312	kg	1.54 2 (4,5,2,1,4,5)
CFC-125 to air unspec.		0.15	kg	1.54 2 (4,5,2,1,4,5)
CFC-32 to air unspec		0.138	kg	1.54 2 (4,5,2,1,4,5)

Stückgewicht 243.4 kg

Resultate und Vergleich mit Daten aus ecoinvent

In Tabelle 64 werden die Ökobilanzresultate der Erdsonden und Wärmepumpen, welche im vorliegenden Projekt untersucht wurden, den Daten aus ecoinvent gegenübergestellt. Um die Daten zu vergleichen wurden die Ökobilanzdaten aus ecoinvent für die Erdsonde auf 1 m Sondenlänge und bei der Wärmepumpe auf 1 kg Wärmepumpe umgerechnet.

Die Unterschiede der Resultate erklären sich bei der Erdsonde durch ca. 650 g mehr Polyethylen pro Laufmeter, mehr Bentonit (rund 3 kg pro Laufmeter mehr), mehr Ethylenglykol (ca. 320 g mehr). Bei den Wärmepumpen wurden einerseits bei der Bilanzierung auch die Aufwendungen für die Herstellung der elektronischen Bauteile berücksichtigt, welche in den Daten auf ecoinvent noch nicht bilanziert sind. Andererseits sind die bilanzierten Emissionen von Kältemittel deutlich geringer als jene welche in ecoinvent bilanziert wurden. Bei den im vorliegenden Projekt bilanzierten Wärmepumpen wurden die Herstellung und Entsorgung separat bilanziert. Für die Herstellung wurden Kältemittelmmissionen von 3% der Füllmenge berücksichtigt. In den ecoinvent Daten betragen die Emissionen rund 22% der Füllmenge, welche die Emissionen während der Herstellung sowie während der Entsorgung berücksichtigen.

Tabelle 64: Vergleich Ökobilanzresultate Herstellung

Datensatz	Bezugs- grösse	Primärener- gie total [MJ]	Primärener- gie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhaus- gasemissionen [kg CO2-eq]	UBP 2006 [UBP]
Erdsonde ecoinvent	m	347	343	19.23	21'221
Erdsonde BFE	m	473	465	24.95	26'629
Wärmepumpe Sole-Wasser 10kW ecoinvent	kg	63	59	12.97	16'815
Wärmepumpe Sole-Wasser 8kW BFE	kg	119	111	8.29	18'002
Wärmepumpe Luft-Wasser 8kW BFE	kg	111	102	8.43	18'376

Heizkühldecken

Bei den Heizkühldecken lassen sich im Wesentlichen drei verschiedene Typen unterscheiden:

- Heizkühldecken aus Metall
- Heizkühldecken aus Gips
- Kapillarrohrkühldecken

Sämtliche Systeme wurden pro m² aktive Fläche bilanziert.

Die Heizkühldecken aus Metall wurden gemäss den Angaben von der Firma MWH Barcol-Air AG¹⁷ bilanziert. Der Aufbau der bilanzierten Metall Heizkühldecke ist in Tabelle 65 beschrieben. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit anderen Abgabesystemen wurden in der Ökobilanz jedoch nur die Wärmeleitschienen und die Kupferrohre, also nur jene Komponenten deren Funktion die Wärme- und Kälteabgabe ist, bilanziert.

Tabelle 65: Systembeschreibung Heizkühldecken Metall pro Deckplatte (2.4 x 0.45 m)

Kupferrohre: Durchmesser (mm) Gewicht pro Laufmeter (kg/lm) Laufmeter pro Deckplatte (m)	12 0.308 7.2	
Alu-Wärmeleitschienen: Breite (mm) Länge (m) Stärke (mm) Anz. pro Deckplatte	60 2.2 2 3	
Gesamtgewicht (kg/m ²)	4.03	
Deckplatten Stahl pulverbeschichtet: Dimension (m x m) Stärke (mm)	2.4 x 0.45 0.7	Ausserhalb der System- grenze – nicht bilanziert
Akustikvlies - Glasfaservlies (g/m ²)	75	Ausserhalb der System- grenze – nicht bilanziert
Unterkonstruktion aus Stahl verzinkt (kg/m ²)	0.884	

Tabelle 66 und Tabelle 67 zeigen die Bilanzierung der Herstellung und Entsorgung mit Hintergrunddaten aus ecoinvent. Die Transporte für die Bereitstellung der Rohstoffe wurden mit ecoinvent – Standarddistanzen berücksichtigt.

¹⁷ Telefonische Auskunft Herr Ihlow 05.03.2013, MWH Barcol-Air AG

Tabelle 66: Bilanzierung Herstellung Heizkühldecke Metall

ecoinvent - Datensatz	Heizkühldecke Metall inkl. Unterkonstruktion [m2]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
Herstellung		
copper, at regional storage, RER, [kg]	2.053E+00	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
copper product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	2.053E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	1.980E+00	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
section bar extrusion, aluminium, RER, [kg]	1.980E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	1.628E+00	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	2.017E-01	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)

Tabelle 67: Bilanzierung Entsorgung Heizkühldecke Metall

ecoinvent - Datensatz	Heizkühldecke Metall inkl. Unterkonstruktion [m2]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
Entsorgung		
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	4.033E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)

Zu den Heizkühldecken aus Gips wurden ebenfalls Informationen bei der Firma MWH Barcol-Air AG¹⁸ eingeholt. Wiederum wurden nur die Kupferrohre und Wärmeleitschienen der Heizkühldecken bilanziert. Im Unterschied zur Metall – Heizkühldecke braucht es aufgrund der schlechteren Wärmeleitfähigkeit von Gips mehr Kupferrohr und Alu – Wärmeleitschienen pro m² Heizkühldecke. Ebenso sind die Wärmeleitschienen für eine bessere Wärmeübertragung auf ein Lochblech aus Aluminium montiert.

Tabelle 68: Systembeschreibung Heizkühldecke Gips pro m2 Heizkühldecke

Kupferrohre: Durchmesser (mm)	12	
Gewicht pro Laufmeter (kg/lm)	0.308	
Laufmeter pro m ² (m)	12.5	
Alu-Wärmeleitschienen: Breite (mm)	60	
Stärke (mm)	2	
Laufmeter pro m ² (m)	12.5	
Alu-Lochblech (kg/m ²)	1.08	

¹⁸ Telefonische Auskunft Herr Ihlow 05.03.2013, MWH Barcol-Air AG

Gesamtgewicht (kg/m ²)	8.98	Ausserhalb der Systemgrenze – nicht bilanziert
Gipskartonplatte (kg/m ²)	8.80	
Spachtel (kg/m ²)	7.41	
Dispersionsfarbe (kg/m ²)	0.20	
Unterkonstruktion Stahl verzinkt (kg/m ²)	2.59	

Tabelle 69 und Tabelle 70 zeigen die Bilanzierung der Heizkühldecke aus Gips mit Daten aus ecoinvent. Die Transporte für die Bereitstellung der Rohstoffe wurden mit ecoinvent – Standard-distanzen berücksichtigt.

Tabelle 69: Bilanzierung Herstellung Heizkühldecke Gips

ecoinvent - Datensatz	Heizkühldecke Gips inkl. Unterkonstruktion [m2]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
Herstellung		
copper, at regional storage, RER, [kg]	3.850E+00	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
copper product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	3.850E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	5.130E+00	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
section bar extrusion, aluminium, RER, [kg]	4.050E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	1.080E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
transport, freight, rail, RER, [tkm]	3.336E+00	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	4.490E-01	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)

Tabelle 70: Bilanzierung Entsorgung Heizkühldecke Gips

ecoinvent - Datensatz	Heizkühldecke Gips inkl. Unterkonstruktion [m2]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
Entsorgung		
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	8.980E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)

Die Angaben zur Bilanzierung der Kapillarrohrkühldecken stammen aus den Katalogen der Firmen BEKA¹⁹ und Clina²⁰.

¹⁹ http://www.beka-klima.de/fileadmin/BeKa/pdf/deutsch/BEKA_K.pdf

²⁰ <http://www.clina.de/Produkte/Heiz-Kuehlmatten/OPTIMAT.php>

Tabelle 71: Systembeschreibung Kapillarrohrkühldecken

Kapillarstränge aus Polypropylene Random (PPR): Durchmesser (mm) Kapillarrohrabstand (mm)	3.5 15	
Gewicht Kühlmatte (ohne Wasser+Sammler) (kg/m ²)	0.440	
Durchschnittliches Gewicht Sammelrohre (kg/m ²)	0.067	
Putzaufbau: Haftbrücke (mm) Kalkzement-Grundputz (mm) Deckputz (mm)	1 10 2.5	Ausserhalb der Systemgrenze – nicht bilanziert
Wanddispersion (kg/m ²)	0.200	

Tabelle 72 und Tabelle 73 zeigen die Bilanzierung der Kapillarrohrkühldecke mittels den Daten in ecoinvent. Die Transporte für die Bereitstellung der Rohstoffe wurden mit ecoinvent – Standarddistanzen berücksichtigt.

Tabelle 72: Bilanzierung Herstellung Kapillarrohrkühldecke

ecoinvent - Datensatz	Kapillarrohrkühldecke [m ²]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
Herstellung		
polypropylene, granulate, at plant, RER, [kg]	5.070E-01	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
extrusion, plastic pipes, RER, [kg]	5.070E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
transport, freight, rail, CH, [tkm]	1.014E-01	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	2.535E-02	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)

Tabelle 73: Bilanzierung Entsorgung Kapillarrohrkühldecke

ecoinvent - Datensatz	Kapillarrohrkühldecke [m ²]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
Entsorgung		
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	5.070E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)

Heizkörper

Es wurden Ökobilanzdaten pro Kilogramm Radiator und Konvektor erarbeitet. Pro Masseneinheit unterscheiden sich diese beiden Heizkörpertypen bezüglich der Oberfläche. Die Auswertung von Daten zu Radiatoren mit 2 bis 6 Säulen ergibt eine durchschnittliche Oberfläche von

0.096 m²/kg²¹. Die Analyse von verschiedenen Konvektortypen ergibt eine Oberfläche von 0.246 m²/kg²².

Sowohl Radiatoren als auch Konvektoren werden werkseitig mit einer Zinkstaubfarbe als Rostschutz behandelt und dann lackiert respektive pulverbeschichtet. Tabelle 74 zeigt die Rezeptur der Zinkstaubfarbe. Der durchschnittliche Farbverbrauch beträgt 184 g/m². Die Lackierung wurde beim Radiator mit einem Datensatz für einen Acryllack und beim Konvektor mit einem Datensatz für eine Pulverbeschichtung in ecoinvent modelliert. Bei der Lackierung wurde von 2 Anstrichen zu je 150 g/m² ausgegangen (Tabelle 75).

Tabelle 74: Rezeptur Zinkstaubfarbe

Rostschutz	Massen - %
Bindemittel (Epoxidharz)	6.7%
Pigmente	81.5%
Füllstoffe	1.3%
Lösemittel	9.3%
Additive	1.2%

Tabelle 75: Oberflächen und Farbverbrauch

Durchschnittliche Oberfläche Radiatoren (kg/m ²)	0.096
Durchschnittliche Oberfläche Konvektoren (kg/m ²)	0.246
Verbrauch Rostschutz (g/m ²)	184
Verbrauch Lackierung (g/m ²)	300

Pro Kilogramm Heizkörper wurden bei den Datensätzen ebenfalls eine durchschnittliche Befestigung mit Konsolen beim Radiator und mit Stahlfüßen beim Konvektor sowie ein Thermostatventil berücksichtigt. Die Bilanzierung von Radiatoren und Konvektoren mit Datensätzen in ecoinvent sind in Tabelle 76 bis Tabelle 79 dargestellt. Die Transporte für die Bereitstellung der Rohstoffe wurden mit ecoinvent – Standarddistanzen berücksichtigt.

Tabelle 76: Bilanzierung Herstellung Radiator

ecoinvent - Datensatz	Radiator [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
Herstellung			
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	9.533E-01	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Radiator
drawing of pipes, steel, RER, [kg]	9.533E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Radiator

²¹ Daten von Zehnder Charleston Technik 2011, <http://www.zehnder-systems.ch/heizkoerper/>

²² Daten Zehnder Stratos und Zehnder Konvektor, <http://www.zehnder-systems.ch/heizkoerper/>

ecoinvent - Datensatz	Radiator [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
steel product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	9.533E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Radiator
epoxy resin, liquid, at plant, RER, [kg]	1.190E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
zinc, primary, at regional storage, RER, [kg]	1.447E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
limestone, milled, loose, at plant, CH, [kg]	2.308E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
solvents, organic, unspecified, at plant, GLO, [kg]	1.651E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
chemicals organic, at plant, GLO, [kg]	2.131E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
acrylic varnish, 87.5% in H2O, at plant, RER, [kg]	2.895E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Lackierung
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	8.889E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Konsole
steel product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	8.889E-03	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Konsole
zinc coating, pieces, RER, [m2]	5.333E-04	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Konsole
brass, at plant, CH, [kg]	4.815E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Thermostatventil
metal product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	4.815E-03	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Thermostatventil
polystyrene, high impact, HIPS, at plant, RER, [kg]	7.407E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Thermostatventil
injection moulding, RER, [kg]	7.407E-04	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Thermostatventil
transport, freight, rail, CH, [tkm]	6.057E-01	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)	
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	5.047E-02	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)	

Tabelle 77: Bilanzierung Entsorgung Radiator

ecoinvent - Datensatz	Radiator [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
Entsorgung			
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	9.670E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Metall
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	4.670E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Zinkstaub- farbe

ecoinvent - Datensatz	Radiator [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
disposal, building, paint on metal, to final disposal, CH, [kg]	4.670E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Zinkstaubfarbe
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	7.407E-04	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Griff Thermostatventil

Tabelle 78: Bilanzierung Herstellung Konvektor

ecoinvent - Datensatz	Konvektor [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
Herstellung			
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	9.547E-01	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Konvektor
sheet rolling, steel, RER, [kg]	9.547E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Konvektor
steel product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	9.547E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Konvektor
epoxy resin, liquid, at plant, RER, [kg]	3.033E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
zinc, primary, at regional storage, RER, [kg]	3.690E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
limestone, milled, loose, at plant, CH, [kg]	5.885E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
solvents, organic, unspecified, at plant, GLO, [kg]	4.210E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
chemicals organic, at plant, GLO, [kg]	5.433E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
powder coating, steel, RER, [m2]	2.460E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Pulverbeschichtung
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	1.292E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Befestigung mit Stahlfüßen
steel product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	1.292E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Befestigung mit Stahlfüßen
zinc coating, pieces, RER, [m2]	7.752E-04	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Befestigung mit Stahlfüßen
brass, at plant, CH, [kg]	4.199E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Thermostatventil
metal product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	4.199E-03	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Thermostatventil
polystyrene, high impact, HIPS, at plant, RER, [kg]	6.460E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Thermostatventil
injection moulding, RER, [kg]	6.460E-04	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Thermostatventil
transport, freight, rail, CH, [tkm]	6.078E-01	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)	

ecoinvent - Datensatz	Konvektor [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	5.066E-02	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)	

Tabelle 79: Bilanzierung Entsorgung Konvektor

ecoinvent - Datensatz	Konvektor [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
Entsorgung			
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	9.718E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Metall
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	8.218E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Zinkstaubfarbe
disposal, building, paint on metal, to final disposal, CH, [kg]	8.218E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Zinkstaubfarbe
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	6.460E-04	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Griff Thermostatventil

Technische Daten Radiatoren und Konvektoren

Folgende Tabellen dienen der Anwendung der Ökobilanzdaten pro Kilogramm Radiator und Konvektor. Darin finden sich die Gewichte pro Element für Radiatoren und für 1 m Baulänge bei den Konvektoren.

Abkürzungen:

Symbol	Einheit	Bezeichnung
H	mm	Bauhöhe
N	mm	Nabenabstand
T	mm	Bautiefe
A	m ²	Oberfläche
V	dm ³	Wasserinhalt
M	kg	Leergewicht
s _k	%	Strahlungsanteil
q _{ms}	kg/h	Normwasserstrom
n	–	Heizkörper-Kennzahl, Exponent
Φ _L	W	Normalwärmeleistung nach EN 442 (75/65/20°C)

Tabelle 80: Technische Daten Radiatoren pro Element

Modell	H	N	T	A	V	M	S _k	q _{ms}	n	Φ _L
zehnder charleston 2-Säuler										
2019	177	119	62	0.02	0.3	0.3	30	1	1.26	14.5
2026	260	202	62	0.04	0.3	0.4	25	2	1.25	21.1
2030	292	234	62	0.04	0.4	0.5	25	2	1.24	23.6
2035	342	284	62	0.05	0.4	0.6	24	2	1.24	27.5
2040	392	334	62	0.06	0.4	0.6	25	3	1.24	31.2
2045	442	384	62	0.07	0.5	0.7	24	3	1.24	34.9
2050	492	434	62	0.07	0.5	0.8	23	3	1.25	38.4
2055	542	484	62	0.08	0.6	0.9	23	4	1.25	41.9
2060	592	534	62	0.09	0.6	1	23	4	1.25	45.3
2075	742	684	62	0.11	0.7	1.2	22	5	1.25	55
2090	892	834	62	0.14	0.8	1.4	22	5	1.25	63.9
2100	992	934	62	0.15	0.9	1.5	22	6	1.25	69.5
2110	1092	1034	62	0.17	1	1.6	22	6	1.25	74.7
2120	1192	1134	62	0.18	1.1	1.8	22	7	1.26	82.7
2150	1492	1434	62	0.23	1.3	2.3	23	9	1.28	104
2180	1792	1734	62	0.28	1.5	2.7	23	11	1.31	124
2200	1992	1934	62	0.31	1.7	2.9	23	12	1.31	138
2220	2192	2134	62	0.34	1.9	3.2	23	13	1.31	151
2250	2492	2434	62	0.39	2.1	3.7	23	15	1.3	171
2280	2792	2734	62	0.44	2.4	4	23	16	1.3	189
2300	2992	2934	62	0.47	2.5	4.4	23	17	1.3	201
zehnder charleston 3-Säuler										
3019	185	119	100	0.04	0.4	0.5	23	2	1.27	20.1
3026	260	194	100	0.06	0.5	0.7	21	2	1.25	27.9
3030	300	234	100	0.07	0.6	0.7	20	3	1.25	32
3035	350	284	100	0.08	0.6	0.9	20	3	1.25	37
3040	400	334	100	0.09	0.7	1	19	4	1.25	41.9
3045	450	384	100	0.1	0.7	1.1	19	4	1.25	46.8
3050	500	434	100	0.11	0.8	1.2	18	4	1.25	51.6
3055	550	484	100	0.12	0.9	1.3	18	5	1.26	56.3
3060	600	534	100	0.14	0.9	1.4	18	5	1.26	60.9
3075	750	684	100	0.17	1.1	1.7	18	6	1.26	74.3
3090	900	834	100	0.21	1.3	2	18	7	1.27	87
3100	1000	934	100	0.23	1.4	2.3	18	8	1.27	95.1
3110	1100	1034	100	0.25	1.5	2.4	18	9	1.28	103
3120	1200	1134	100	0.28	1.6	2.7	18	10	1.29	115
3150	1500	1434	100	0.35	2	3.3	18	12	1.31	140
3180	1800	1734	100	0.42	2.4	4.2	18	14	1.33	166
3200	2000	1934	100	0.47	2.6	4.6	18	16	1.33	183
3220	2200	2134	100	0.51	2.9	4.9	18	17	1.32	200
3250	2500	2434	100	0.58	3.2	5.5	18	19	1.32	225
3280	2800	2734	100	0.65	3.6	6.1	18	22	1.3	251

Modell	H	N	T	A	V	M	s _k	q _{ms}	n	Φ _L
3300	3000	2934	100	0.7	3.9	6.6	18	23	1.3	269

Tabelle 81: Technische Daten für Konvektoren für 1m Baulänge

Modell	H	N	T	A	V	M	s _k	q _{ms}	n	Φ _L
zehnder stratos CS										
CS-08-06	75	35	56	0.98	1.2	4.8	15	25.6	1.29	298
CS-15-06	153	113	56	1.95	2.5	9.5	15	40.7	1.29	473
CS-23-06	231	191	56	2.92	3.7	14.2	16	53.4	1.29	621
CS-31-06	309	269	56	3.89	5	19	17	64.9	1.3	755
CS-08-10	75	35	98	1.62	1.5	6.2	13	41.4	1.36	482
CS-15-10	153	113	98	3.22	3	12.3	11	68	1.35	791
CS-23-10	231	191	98	4.82	4.4	18.4	11	89.6	1.34	1042
CS-31-10	309	269	98	6.43	5.9	24.5	12	107.9	1.33	1255
CS-08-14	75	35	144	2.43	2.2	9.4	12	57.5	1.3	669
CS-15-14	153	113	144	4.84	4.4	18.5	10	90.1	1.31	1048
CS-23-14	231	191	144	7.25	6.6	27.7	10	118.1	1.31	1374
CS-31-14	309	269	144	9.66	8.8	36.9	10	144.2	1.32	1677
CS-08-19	75	35	186	3.07	2.4	10.8	11	75.6	1.35	879
CS-15-19	153	113	186	6.11	4.8	21.3	9	119.9	1.34	1394
CS-23-19	231	191	186	9.15	7.3	31.9	9	156.9	1.34	1825
CS-31-19	309	269	186	12.2	9.7	42.4	9	189.9	1.34	2209
CS-08-23	75	35	232	3.88	3.1	14	10	93.5	1.32	1087
CS-15-23	153	113	232	7.73	6.2	27.6	9	142	1.33	1651
CS-23-23	231	191	232	11.58	9.4	41.2	8	183.5	1.34	2134
CS-31-23	309	269	232	15.43	12.6	54.8	8	222.1	1.35	2583
CS-08-28	75	35	274	4.52	3.3	15.4	11	102.1	1.35	1188
CS-15-28	153	113	274	9	6.7	30.4	8	169.6	1.33	1972

Modell	H	N	T	A	V	M	s _k	q _{ms}	n	Φ _L
CS-23-28	231	191	274	13.48	10.1	45.3	7	221.2	1.31	2573
CS-31-28	309	269	274	17.97	13.5	60.3	7	261.5	1.3	3041
zehnder stratos CSW (Daten für 1000 mm Baulänge)										
CSW-08-06	75	35	56	0.98	0.7	4.8	18	21.8	1.3	253
CSW-15-06	153	113	56	1.95	1.4	9.5	18	35.1	1.3	408
CSW-23-06	231	191	56	2.92	2.1	14.2	19	46.6	1.3	542
CSW-31-06	309	269	56	3.89	2.8	19	19	57.3	1.31	666
CSW-08-10	75	35	98	1.62	0.9	6.2	23	22.6	1.28	263
CSW-15-10	153	113	98	3.22	1.9	12.3	21	37.2	1.29	433
CSW-23-10	231	191	98	4.82	2.8	18.4	20	50	1.29	582
CSW-31-10	309	269	98	6.43	3.8	24.4	20	61.8	1.29	719
CSW-08-14	75	35	144	2.43	1.5	9.4	12	53.3	1.33	620
CSW-15-14	153	113	144	4.84	3	18.5	11	86.5	1.33	1006
CSW-23-14	231	191	144	7.25	4.4	27.7	11	112.2	1.32	1305
CSW-31-14	309	269	144	9.66	5.9	36.9	11	133.5	1.31	1553
CSW-08-23	75	35	232	3.88	2.4	14	11	85.6	1.33	995
CSW-15-23	153	113	232	7.73	4.8	27.6	9	139.1	1.33	1618
CSW-23-23	231	191	232	11.58	7.3	40.9	8	179.6	1.33	2089
CSW-31-23	309	269	232	15.43	9.7	54.8	8	214.4	1.32	2493
zehnder konvektor, konvektor S (Daten für 1000 mm Baulänge)										
211	70	34	73	1.1	1.2	5.7	13	32	1.26	369
212	140	104	73	2.2	2.4	11.5	14	45	1.3	528
213	210	174	73	3.3	3.6	17.2	14	59	1.33	689
214	280	244	73	4.4	4.8	23	14	74	1.37	865
221	70	34	104	1.6	1.2	6.8	13	40	1.28	460
222	140	104	104	3.3	2.4	13.8	12	56	1.32	651
223	210	174	104	5	3.6	20.7	12	73	1.36	850
224	280	244	104	6.6	4.8	27.5	12	93	1.4	1076
321	70	34	134	2	1.9	9.5	12	54	1.3	628
322	140	104	134	4.1	3.8	19.1	10	79	1.32	915
323	210	174	134	6.1	5.7	28.7	10	101	1.33	1172
324	280	244	134	8.2	7.6	38.3	10	123	1.35	1425

Modell	H	N	T	A	V	M	s _k	q _{ms}	n	Φ _L
431	70	34	195	2.9	2.6	13.3	11	72	1.32	837
432	140	104	195	6	5.2	26.8	9	108	1.33	1256
433	210	174	195	9	7.8	40.4	8	140	1.35	1625
434	280	244	195	12	10.4	53.9	8	170	1.36	1979
541	70	34	256	3.8	3.2	17	11	93	1.31	1077
542	140	104	256	7.8	6.5	34.5	8	143	1.31	1660
543	210	174	256	11.8	9.8	51.9	8	185	1.31	2148
544	280	244	256	15.8	13	69.4	7	222	1.31	2587

Fussbodenheizungsrohr

Beim bilanzierten Fussbodenheizungsrohr handelt es sich um ein Polyethylen – Aluminium – Verbundrohr 16 x 2 mm mit einem Gewicht von 105 g pro Laufmeter (siehe Tabelle 82 und Abbildung 95).

Tabelle 82: Verbundrohr für Fussbodenheizung

Verbundrohr PE/Alu/PE	Kennwerte
Durchmesser / Wandstärke (mm)	16 / 2
Stärke Aluminiumschicht (mm)	0.2
Gewicht (kg/lm)	0.105

Für die Ökobilanz wurde ebenfalls eine Befestigung mit Klemmschienen aus Polypropylen berücksichtigt. Aufgrund der untersuchten Gebäude sind durchschnittlich 0.11 m Klemmschiene pro Laufmeter Fussbodenheizungsrohr erforderlich. Tabelle 83 und Tabelle 84 zeigen die Bilanzierung des Fussbodenheizungsrohrs mit Daten aus ecoinvent. Die Transporte für die Bereitstellung der Rohstoffe wurden mit ecoinvent – Standarddistanzen berücksichtigt.

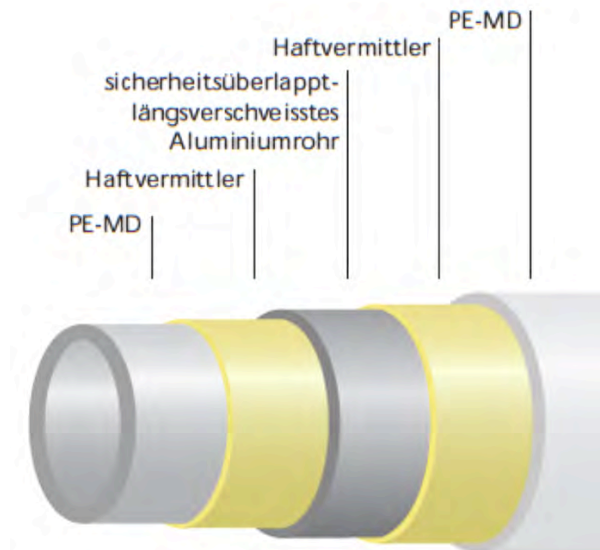


Abbildung 95: Aufbau Fussbodenheizungsrohr

Tabelle 83: Bilanzierung Herstellung Fussbodenheizungsrohr

ecoinvent - Datensatz	Fussbodenheizungsrohr [m]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
Herstellung		
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	2.375E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	2.375E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
aluminium product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	2.375E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
polyethylene, HDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	4.062E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
polyethylene, LDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	4.062E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
extrusion, plastic pipes, RER, [kg]	8.158E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
polypropylene, granulate, at plant, RER, [kg]	2.470E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
injection moulding, RER, [kg]	2.484E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
transport, freight, rail, CH, [tkm]	2.594E-02	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	6.485E-03	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)

Tabelle 84: Bilanzierung Entsorgung Fussbodenheizungsrohr

ecoinvent - Datensatz	Fussbodenheizungsrohr [m]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
Entsorgung		
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	2.375E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	1.059E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)

Stahlrohre, Edelstahlrohre, Abzweigungen und Formstücke

Für Rohre, Abzweigungen und Formstücke aus Stahl und aus Chromstahl in Tabelle 85 wurden Bilanzen pro Kilogramm angefertigt. Die Rohre und Formstücke aus Stahl sind mit einer Zinkstaubfarbe grundiert, deren Zusammensetzung in Tabelle 74 beschrieben ist. Aus den Daten für Rohre mit Nennweiten DN 10 bis DN 150 wurde eine mittlere Oberfläche von 0.051 m² pro Kilogramm Rohrleitung ermittelt. Der durchschnittliche Verbrauch von Rostschutzanstrich wurde mit 0.184 kg/m² Oberfläche berücksichtigt. Tabelle 86, Tabelle 88, Tabelle 90 und Tabelle 92 zeigen die Bilanzierung dieser Bauteile mit den Daten aus ecoinvent. Die Transporte für die Bereitstellung der Rohstoffe wurden mit ecoinvent – Standarddistanzen berücksichtigt.

Tabelle 85: Datensätze für Rohre und Formstücke

Datensatz	Bezugsgrösse	Kommentar
Stahlrohr schwarz, grundiert	kg	Grundierung mit Zinkstaubfarbe, Mittlere Oberfläche Rohr 0.051m ² /kg
Abzweigungen und Formstücke aus Stahl	kg	Grundierung mit Zinkstaubfarbe, Mittlere Oberfläche 0.051m ² /kg
Edelstahlrohr	kg	
Abzweigungen und Formstücke aus Edelstahl	kg	

Tabelle 86: Bilanzierung Herstellung Stahlrohre

ecoinvent - Datensatz	Stahlrohre schwarz, grundiert [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
Herstellung			
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	9.906E-01	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Stahlrohr
sheet rolling, steel, RER, [kg]	9.906E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Verarbeitung
welding, arc, steel, RER, [m]	5.070E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Verarbeitung
metal working factory, RER, [unit]	4.580E-10	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Infrastruktur

ecoinvent - Datensatz	Stahlrohre schwarz, grundiert [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
epoxy resin, liquid, at plant, RER, [kg]	6.272E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
zinc, primary, at regional storage, RER, [kg]	7.629E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
limestone, milled, loose, at plant, CH, [kg]	1.217E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
solvents, organic, unspecified, at plant, GLO, [kg]	8.706E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
chemicals organic, at plant, GLO, [kg]	1.123E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
transport, freight, rail, CH, [tkm]	5.999E-01	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)	
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	5.000E-02	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)	

Tabelle 87: Bilanzierung Entsorgung Stahlrohre

ecoinvent - Datensatz	Stahlrohre schwarz, grundiert [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
Entsorgung			
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	9.906E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Metall
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	9.361E-03	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Zinkstaubfarbe
disposal, building, paint on metal, to final disposal, CH, [kg]	9.361E-03	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Zinkstaubfarbe

Tabelle 88: Bilanzierung Herstellung Abzweigungen und Formstücke aus Stahl

ecoinvent - Datensatz	Abzweigungen und Formstücke Stahl, grundiert [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
Herstellung			
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	9.906E-01	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Stahl
drawing of pipes, steel, RER, [kg]	9.906E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Verarbeitung
epoxy resin, liquid, at plant, RER, [kg]	6.272E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
zinc, primary, at regional storage, RER, [kg]	7.629E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
limestone, milled, loose, at plant, CH, [kg]	1.217E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe

ecoinvent - Datensatz	Abzweigungen und Formstücke Stahl, grundiert [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
solvents, organic, unspecified, at plant, GLO, [kg]	8.706E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
chemicals organic, at plant, GLO, [kg]	1.123E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)	Zinkstaubfarbe
transport, freight, rail, CH, [tkm]	5.999E-01	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)	
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	5.000E-02	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)	

Tabelle 89: Bilanzierung Entsorgung Abzweigungen und Formstücke aus Stahl

ecoinvent - Datensatz	Abzweigungen und Formstücke Stahl, grundiert [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)	Kommentar
Entsorgung			
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	9.906E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Metall
disposal, building, paint on metal, to sorting plant, CH, [kg]	9.361E-03	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Zinkstaubfarbe
disposal, building, paint on metal, to final disposal, CH, [kg]	9.361E-03	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)	Entsorgung Zinkstaubfarbe

Tabelle 90: Bilanzierung Herstellung Edelstahlrohre

ecoinvent - Datensatz	Edelstahlrohre [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
Herstellung		
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	1.000E+00	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
drawing of pipes, steel, RER, [kg]	1.000E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
transport, freight, rail, CH, [tkm]	6.000E-01	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	5.000E-02	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)

Tabelle 91: Bilanzierung Entsorgung Edelstahlrohre

ecoinvent - Datensatz	Edelstahlrohre [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pe-degree-Matrix)
Entsorgung		
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	1.000E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)

Tabelle 92: Bilanzierung Herstellung Abzweigungen und Formstücke aus Edelstahl

ecoinvent - Datensatz	Abzweigungen und Formstücke aus Edelstahl [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pe-degree-Matrix)
Herstellung		
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	1.000E+00	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
drawing of pipes, steel, RER, [kg]	1.000E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
transport, freight, rail, CH, [tkm]	6.000E-01	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	5.000E-02	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)

Tabelle 93: Bilanzierung Entsorgung Abzweigungen und Formstück aus Edelstahl

ecoinvent - Datensatz	Abzweigungen und Formstücke aus Edelstahl [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pe-degree-Matrix)
Entsorgung		
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	1.000E+00	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)

Technische Daten Rohrleitungen, Abzweigungen und Formstücke

In Tabelle 94 bis Tabelle 97 sind die Dimensionen und durchschnittlichen Gewichte von Rohrleitungen, Abzweigungen und Formstücken aus Stahl und Edelstahl aufgeführt.

Tabelle 94: Dimensionen Rohrleitungen und Gewicht pro Laufmeter

Nennweite DN	Zoll	Aussendurchmesser d_a (mm)	Innendurchmesser d_i (mm)	Gewicht (kg/m)
10		13.5	9.9	0.522
	3/8	17.2	13.6	0.89
15		20	16	0.89
	1/2	21.3	17.3	0.962
20		25	21	1.13
	3/4	26.9	22.3	1.41
25		30	24.8	1.77

Nennweite DN	Zoll	Aussendurchmesser d _a (mm)	Innendurchmesser d _i (mm)	Gewicht (kg/m)
	1	33.7	28.5	2.01
32		38	32.8	2.29
	1 1/4	42.4	37.2	2.57
40		44.5	39.3	2.7
	1 1/2	48.3	43.1	2.95
50		57	51.2	3.9
	2	60.3	54.5	4.14
65	2 1/2	76.1	70.3	5.28
80	3	88.9	82.5	6.81
100		108	100.8	9.33
	4	114.3	107.1	9.9
125		133	125	12.8
	5	139.7	131.7	13.5
150		159	150	17.1

Tabelle 95: Bogen 3D 90°, Dimensionen und Gewicht pro Stück

Nennweite DN	Zoll	Aussendurchmesser (mm)	Gewicht (kg/Stk.)
	1/2	21.3	0.04
	3/4	26.9	0.065
	1	33.7	0.12
32		38	0.16
	1 1/4	42.4	0.19
40		44.5	0.215
	1 1/2	48.3	0.265
50		57	0.44
	2	60.3	0.49
65	2 1/2	76.1	0.76
80	3	88.9	1.22
100		108	1.84
	4	114.3	2.37
125		133	3.64
	5	139.7	4.04
150		159	5.8

Tabelle 96: Dimensionen T-Stücke und Gewicht pro Stück

Nennweite DN	Zoll	Aussendurchmesser (mm)	Gewicht (kg/Stk.)
	1/2	21.3 x 21.3	0.09
	3/4	26.9 x 26.9	0.15
	1	33.7 x 33.7	0.29
	1 1/4	42.4 x 42.4	0.49
	1 1/2	48.3 x 48.3	0.69

Nennweite DN	Zoll	Aussendurchmesser (mm)	Gewicht (kg/Stk.)
50		57 x 57	0.99
	2	60.3 x 60.3	1
65	2 1/2	76.1 x 76.1	1.68
80	3	88.9 x 88.9	2.3
100		108x108	3.9
	4	114.3 x 114.3	4
125		133 x 133	6.1
	5	139.7 x 139.7	6.9
150		159 x 159	9.3

Tabelle 97: Dimensionen konzentrische Reduzierstücke und Gewicht pro Stück

Für Rohre mit Aussendurchmesser (mm)	Gewicht (kg/Stk.)	Für Rohre mit Aussendurchmesser (mm)	Gewicht (kg/Stk.)	Für Rohre mit Aussendurchmesser (mm)	Gewicht (kg/Stk.)
26.9 x 21.3	0.07	57 x 21.3	0.27	108 x 57	1.2
26.9 x 17.2	0.07	60.3 x 48.3	0.21	108 x 48.3	0.93
33.7 x 26.9	0.07	60.3 x 44.5	0.31	108 x 44.5	0.93
33.7 x 21.3	0.14	60.3 x 42.4	0.26	114.3 x 88.9	0.92
38 x 33.7	0.13	60.3 x 38	0.33	114.3 x 76.1	1.17
38 x 26.9	0.13	60.3 x 33.7	0.33	114.3 x 60.3	1.46
38 x 21.3	0.15	60.3 x 26.9	0.31	114.3 x 57	0.95
42.4 x 33.7	0.1	76.1 x 60.3	0.34	114.3 x 48.3	0.95
42.4 x 26.9	0.13	76.1 x 57	0.34	133 x 114.3	0.96
42.4 x 21.3	0.15	76.1 x 48.3	0.45	133 x 108	1.05
44.5 x 38	0.17	76.1 x 44.5	0.48	133 x 88.9	1.55
44.5 x 33.7	0.17	76.1 x 42.4	0.5	133 x 76.1	1.87
44.5 x 26.9	0.15	76.1 x 38	0.55	133 x 57	1.5
44.5 x 21.3	0.17	76.1 x 33.7	0.48	139.7 x 114.3	1.19
48.3 x 42.4	0.11	88.9 x 76.1	0.39	139.7 x 108	1.49
48.3 x 38	0.18	88.9 x 60.3	0.59	139.7 x 88.9	2.1
48.3 x 33.7	0.16	88.9 x 57	0.64	139.7 x 76.1	2.39
48.3 x 26.9	0.19	88.9 x 48.3	0.75	139.7 x 60.3	1.6
48.3 x 21.3	0.18	88.9 x 44.5	0.8	159 x 139.7	1.1
57 x 48.3	0.21	88.9 x 42.4	0.56	159 x 133	1.53
57 x 44.5	0.24	88.9 x 38	0.56	159 x 114.3	2.13
57 x 42.4	0.22	88.9 x 33.7	0.56	159 x 108	2.32
57 x 38	0.25	108 x 88.9	0.64	159 x 88.9	2.96
57 x 33.7	0.28	108 x 76.1	0.87	159 x 76.1	3.35
57 x 26.9	0.33	108 x 60.3	1.15	159 x 60.3	2.3

Dämmungen

Es wurden Dämmungen mit Mineralwolle und PIR untersucht. Aufgrund der in den untersuchten Gebäuden vorhandenen Dämmungen wurden bei der Mineralwolle Umhüllungen mit PVC, Alufolie gitterversärkt, Alu – Grobkornfolie und Leichtmetallblech berücksichtigt. Der PIR Dämmstoff wurde mit einer PVC Umhüllung bilanziert. Bei den Dämmungen mit Mineralwolle wurde ein Mix aus Steinwolle (50%) und Glaswolle (50%) berücksichtigt. Die Rohdichte der Steinwolle für Anwendungen in der Haustechnik liegt zwischen 80 und 145 kg/m³. Bei der Glaswolle bewegt sie sich zwischen 37 und 44 kg/m³. Die Mineralwolledämmungen im vorliegenden Projekt wurden dann mit einer mittleren Rohdichte von 76.5 kg/m³ bilanziert. Beim PIR Dämmstoff wurde eine mittlere Rohdichte von 30 kg/m³ angenommen (Tabelle 98). Die erwähnten Umhüllungen mit ihren üblichen Schichtdicken sind in Tabelle 99 aufgeführt.

Tabelle 98: Rohdichten Mineralwolle – Dämmungen

Dämmstoff	Rohdichte (kg/m ³)	
	Von:	Bis:
Steinwolle	80	145
Glaswolle	37	44
Mineralwolle – Mix	76.5	
PIR	30	

Tabelle 99: Umhüllungen

Umhüllungen	Schichtdicke (mm)
PVC	0.3
Alufolie gitterverstärkt	0.04
Alu – Grobkornfolie	0.2
Leichtmetallblech	0.6

Tabelle 100 zeigt die in Funktion der Rohrdurchmesser üblichen Dämmstärken für Mineralwolle und PIR gemäss Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEN).

Tabelle 100: Rohrdämmungen und Dämmstärken

Nennweite DN (Rohr)	Zoll (Rohr)	Aussendurchmesser Rohr (mm)	Dämmstärke Mineralwolle [mm]	Dämmstärke PIR [mm]
10		13.5	40	30
	3/8	17.2	40	30
15		20	40	30
	1/2	21.3	40	30
20		25	50	40
	3/4	26.9	50	40
25		30	50	40
	1	33.7	50	40

32		38	50	40
	1 1/4	42.4	50	40
40		44.5	60	50
	1 1/2	48.3	60	50
50		57	60	50
	2	60.3	60	50
65	2 1/2	76.1	80	60
80	3	88.9	80	60
100		108	100	80
	4	114.3	100	80
125		133	100	80
	5	139.7	100	80
150		159	100	80

Es wurde entschieden die Ökobilanzdaten für die Rohrdämmungen pro m² Dämmstoff für verschiedene Dämmstärken bereitzustellen. Dadurch sollte vermieden werden, dass für jeden Rohrdurchmesser ein Datensatz generiert werden musste. Da die Masse des Dämmstoffs und der Umhüllung pro Laufmeter Rohleitung immer vom Rohrdurchmesser abhängig sind, war dazu eine Vereinfachung notwendig. Die Rohroberflächen pro Laufmeter mit denen die Datensätze pro m² Dämmstoff multipliziert werden sollten, wurden so skaliert, dass sich in Bezug auf die Graue Energie ein identisches Resultat ergibt, wie bei einer exakten Berechnung. Tabelle 101 zeigt die Rohrdurchmesser, Rohroberflächen und den Verbrauch der verschiedenen Dämmungen in m² pro Laufmeter Rohr.

Tabelle 101: Rohrdimensionen und Dämmstoffverbrauch

Aussendurch- messer Rohr (mm)	Oberflä- che Rohr (m ² /m)	Verbrauch (m ² /lm)				
		Mineral- wolle mit PVC	Mineralwol- le mit Alublech	Mineralwol- le mit Alu Grobkornfo- lie	Mineral- wolle mit Alufolie	PIR mit PVC
13.5	0.042	0.194	0.250	0.216	0.182	0.239
17.2	0.054	0.205	0.261	0.228	0.194	0.254
20	0.063	0.214	0.270	0.236	0.202	0.265
21.3	0.067	0.218	0.274	0.241	0.206	0.270
25	0.079	0.262	0.329	0.288	0.250	0.311
26.9	0.085	0.268	0.335	0.294	0.256	0.319
30	0.094	0.278	0.345	0.303	0.265	0.330
33.7	0.106	0.289	0.357	0.315	0.277	0.344
38	0.119	0.303	0.370	0.328	0.291	0.361
42.4	0.133	0.317	0.384	0.342	0.304	0.377
44.5	0.140	0.356	0.432	0.383	0.343	0.412
48.3	0.152	0.368	0.444	0.395	0.355	0.425
57	0.179	0.395	0.472	0.423	0.382	0.458
60.3	0.189	0.405	0.482	0.433	0.392	0.470
76.1	0.239	0.519	0.611	0.550	0.505	0.665

Aussendurchmesser Rohr (mm)	Oberfläche Rohr (m ² /m)	Verbrauch (m ² /lm)				
		Mineralwolle mit PVC	Mineralwolle mit Alublech	Mineralwolle mit Alu Grobkornfolie	Mineralwolle mit Alufolie	PIR mit PVC
88.9	0.279	0.559	0.651	0.590	0.545	0.717
108	0.339	0.682	0.787	0.716	0.668	0.831
114.3	0.359	0.702	0.807	0.735	0.688	0.855
133	0.418	0.761	0.866	0.794	0.747	0.927
139.7	0.439	0.782	0.887	0.815	0.768	0.953
159	0.500	0.843	0.947	0.876	0.828	1.028

Die folgenden Tabellen zeigen die Bilanzierung der Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Dämmungen mit Daten aus ecoinvent. Die Transporte für die Bereitstellung der Rohstoffe wurden mit ecoinvent – Standarddistanzen berücksichtigt.

Die Unsicherheiten bezüglich den Inputs wurde wie folgt abgeschätzt:

Tabelle 102: Unsicherheitsinformationen zur Bilanzierung der Dämmungen

Prozesse	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
Ausgangsstoffe	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
Verarbeitung / Entsorgung	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
Transporte	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)

Tabelle 103: Bilanzierung Herstellung Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
HERSTELLUNG					
rock wool, at plant, CH, [kg]	1.530E+00	1.913E+00	2.295E+00	3.060E+00	3.825E+00
glass wool mat, at plant, CH, [kg]	1.530E+00	1.913E+00	2.295E+00	3.060E+00	3.825E+00
polyvinylchloride, at regional storage, RER, [kg]	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01
extrusion, plastic film, RER, [kg]	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01
transport, freight, rail, CH, [tkm]	3.915E-01	4.680E-01	5.445E-01	6.975E-01	8.505E-01

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	8.256E-02	9.786E-02	1.132E-01	1.438E-01	1.744E-01

Tabelle 104: Bilanzierung Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
ENTSORGUNG					
disposal, building, mineral wool, to sorting plant, CH, [kg]	3.060E+00	3.825E+00	4.590E+00	6.120E+00	7.650E+00
disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal, CH, [kg]	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01

Tabelle 105: Bilanzierung Herstellung Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
HERSTELLUNG					
rock wool, at plant, CH, [kg]	1.530E+00	1.913E+00	2.295E+00	3.060E+00	3.825E+00
glass wool mat, at plant, CH, [kg]	1.530E+00	1.913E+00	2.295E+00	3.060E+00	3.825E+00
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	1.620E+00	1.620E+00	1.620E+00	1.620E+00	1.620E+00
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	1.620E+00	1.620E+00	1.620E+00	1.620E+00	1.620E+00
transport, freight, rail, CH, [tkm]	6.300E-01	7.065E-01	7.830E-01	9.360E-01	1.089E+00

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	1.422E-01	1.575E-01	1.728E-01	2.034E-01	2.340E-01

Tabelle 106: Bilanzierung Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
ENTSORGUNG					
disposal, building, mineral wool, to sorting plant, CH, [kg]	3.060E+00	3.825E+00	4.590E+00	6.120E+00	7.650E+00
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	1.620E+00	1.620E+00	1.620E+00	1.620E+00	1.620E+00

Tabelle 107: Bilanzierung Herstellung Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
HERSTELLUNG					
rock wool, at plant, CH, [kg]	1.530E+00	1.913E+00	2.295E+00	3.060E+00	3.825E+00
glass wool mat, at plant, CH, [kg]	1.530E+00	1.913E+00	2.295E+00	3.060E+00	3.825E+00
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
transport, freight, rail, CH, [tkm]	4.140E-01	4.905E-01	5.670E-01	7.200E-01	8.730E-01
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	8.820E-02	1.035E-01	1.188E-01	1.494E-01	1.800E-01

Tabelle 108: Bilanzierung Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
HERSTELLUNG					
rock wool, at plant, CH, [kg]	1.530E+00	1.913E+00	2.295E+00	3.060E+00	3.825E+00
glass wool mat, at plant, CH, [kg]	1.530E+00	1.913E+00	2.295E+00	3.060E+00	3.825E+00
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01	5.400E-01
transport, freight, rail, CH, [tkm]	4.140E-01	4.905E-01	5.670E-01	7.200E-01	8.730E-01
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	8.820E-02	1.035E-01	1.188E-01	1.494E-01	1.800E-01

Tabelle 109: Bilanzierung Herstellung Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
HERSTELLUNG					
rock wool, at plant, CH, [kg]	1.530E+00	1.913E+00	2.295E+00	3.060E+00	3.825E+00
glass wool mat, at plant, CH, [kg]	1.530E+00	1.913E+00	2.295E+00	3.060E+00	3.825E+00
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	1.080E-01	1.080E-01	1.080E-01	1.080E-01	1.080E-01
sheet rolling, aluminium, RER, [kg]	1.080E-01	1.080E-01	1.080E-01	1.080E-01	1.080E-01
polyethylene, LDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	5.433E-02	5.433E-02	5.433E-02	5.433E-02	5.433E-02
injection moulding, RER, [kg]	5.433E-02	5.433E-02	5.433E-02	5.433E-02	5.433E-02
transport, freight, rail, CH, [tkm]	3.385E-01	4.150E-01	4.915E-01	6.445E-01	7.975E-01
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	6.932E-02	8.462E-02	9.992E-02	1.305E-01	1.611E-01

Tabelle 110: Bilanzierung Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
ENTSORGUNG					
disposal, building, mineral wool, to sorting plant, CH, [kg]	3.060E+00	3.825E+00	4.590E+00	6.120E+00	7.650E+00
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	1.080E-01	1.080E-01	1.080E-01	1.080E-01	1.080E-01

ecoinvent-Datensatz	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 100mm [m2]
disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	5.433E-02	5.433E-02	5.433E-02	5.433E-02	5.433E-02

Tabelle 111: Bilanzierung Herstellung Dämmung PIR mit PVC Umhüllung

ecoinvent-Datensatz	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 30mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]
HERSTELLUNG					
polyurethane, rigid foam, at plant, RER, [kg]	9.000E-01	1.200E+00	1.500E+00	1.800E+00	2.400E+00
polyvinylchloride, at regional storage, RER, [kg]	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01
extrusion, plastic film, RER, [kg]	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01
transport, freight, rail, CH, [tkm]	2.655E-01	3.255E-01	3.855E-01	4.455E-01	5.655E-01
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	6.636E-02	8.136E-02	9.636E-02	1.114E-01	1.414E-01

Tabelle 112: Bilanzierung Entsorgung Dämmung PIR mit PVC Umhüllung

ecoinvent-Datensatz	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 30mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]
ENTSORGUNG					
disposal, building, polyurethane foam, to final disposal, CH, [kg]	9.000E-01	1.200E+00	1.500E+00	1.800E+00	2.400E+00

ecoinvent-Datensatz	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 30mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]
disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal, CH, [kg]	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01	4.273E-01

Andere Komponenten Wärmanlagen

Neben den oben beschriebenen Datensätzen wurde ein generischer Datensatz für alle übrigen Systemkomponenten, ausser den oben beschriebenen, pro Kilogramm erarbeitet. Dazu gehören unter anderem Komponenten wie: Schaltschrank Elektrotabelleau, Heizkreisverteiler, Verteilerkasten, Druckexpansionsgefässe, Montagegarnitur Wärmezähler, Strangreguliertventile, Heizungsspeicher und Luftflaschen. Die Inputs ergeben sich aus den Mittelwerten der Materialbilanzen der untersuchten Gebäude. Neben den Rohstoffen wurden durchschnittliche Daten für die Metall- und Kunststoffverarbeitung verwendet. Die Transporte für die Bereitstellung der Rohstoffe wurden wie bei den anderen Datensätzen mit ecoinvent – Standarddistanzen berücksichtigt. Die Bilanzierung mit Datensätzen aus ecoinvent sind in Tabelle 113 und Tabelle 114 dargestellt.

Tabelle 113: Bilanzierung Herstellung Andere Komponenten Wärmanlagen

ecoinvent-Datensatz	Andere Komponenten Wärmeanlagen [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
HERSTELLUNG		
steel, low-alloyed, at plant, RER, [kg]	3.686E-01	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
cast iron, at plant, RER, [kg]	7.153E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
chromium steel 18/8, at plant, RER, [kg]	3.519E-01	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
brass, at plant, CH, [kg]	5.064E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
aluminium, production mix, at plant, RER, [kg]	2.149E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
copper, at regional storage, RER, [kg]	4.400E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
metal product manufacturing, average metal working, RER, [kg]	8.686E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
synthetic rubber, at plant, RER, [kg]	4.488E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
polyvinylchloride, at regional storage, RER, [kg]	2.305E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
polycarbonate, at plant, RER, [kg]	1.344E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)

ecoinvent-Datensatz	Andere Komponenten Wärme- anlagen [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant, RER, [kg]	4.591E-03	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
polypropylene, granulate, at plant, RER, [kg]	5.640E-04	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
polyethylene, HDPE, granulate, at plant, RER, [kg]	7.773E-02	1.067 1.05 (2,2,3,2,1,3)
injection moulding, RER, [kg]	8.194E-02	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
transport, freight, rail, CH, [tkm]	5.388E-01	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)
transport, lorry 20-28t, fleet average, CH, [tkm]	5.000E-02	1.442 2 (3,3,2,2,3,4)

Tabelle 114: Bilanzierung Entsorgung Andere Komponenten Wärmeanlagen

ecoinvent-Datensatz	Andere Komponenten Wärme- anlagen [kg]	Geom. Std.-Abw. Basisunsicherheit (Pedigree-Matrix)
ENTSORGUNG		
disposal, building, bulk iron (excluding reinforcement), to sorting plant, CH, [kg]	8.686E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
disposal, building, polyeth- ylene/polypropylene products, to final disposal, CH, [kg]	1.291E-01	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)
disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal, CH, [kg]	2.305E-03	1.126 1.05 (2,2,3,2,3,4)

Ökobilanzzahlen Systemkomponenten

GEBÄUDETECHNIK	Bezug Référence Größe Unité de mesure	UBP	Primärenergie Energie primaire				Treibhaus- gasemissionen Emissions de gaz à effet de serre						
			gesamt globale		nicht erneuerbar non renouvelable		Total		Total				
			Total total	Herstellung Fabrication	Entsorgung Elimination	Total total	Herstellung Fabrication	Entsorgung Elimination	Total total	Herstellung Fabrication	Entsorgung Elimination		
			MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	MJ	kg	kg	kg		
Lüftungsanlagen													
Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.5mm, ab Werk	Kanalabf. m2	40'200	222	229	228	0.45	219	218	0.43	13.9	13.6	0.331	
Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.6mm, ab Werk	Kanalabf. m2	43'589	226	259	258	0.52	248	247	0.50	15.8	15.5	0.334	
Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 0.8mm, ab Werk	Kanalabf. m2	50'153	235	318	318	0.67	305	305	0.64	19.6	19.3	0.341	
Wickelfalzrohr, Stahl verzinkt, s= 1.0mm, ab Werk	Kanalabf. m2	56'574	244	377	377	0.82	362	361	0.78	23.4	23.0	0.348	
Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s= 0.5mm, ab Werk	Kanalabf. m2	44'124	222	403	402	0.45	354	353	0.43	24.0	23.7	0.331	
Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s= 0.6mm, ab Werk	Kanalabf. m2	53'224	226	485	484	0.52	425	425	0.50	28.9	28.5	0.334	
Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s= 0.8mm, ab Werk	Kanalabf. m2	71'422	235	649	648	0.67	569	568	0.64	38.6	38.3	0.341	
Wickelfalzrohr, Stahl rostfrei, s= 1.0mm, ab Werk	Kanalabf. m2	89'621	244	813	812	0.82	712	712	0.78	48.4	48.0	0.348	
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 0.62mm, ab Werk	Kanalabf. m2	50'309	131	296	296	0.56	283	283	0.54	18.1	17.9	0.181	
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 0.75mm, ab Werk	Kanalabf. m2	57'092	138	355	354	0.67	339	339	0.64	22.3	22.2	0.186	
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 0.87mm, ab Werk	Kanalabf. m2	61'787	144	397	397	0.78	380	380	0.74	25.2	25.0	0.191	
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 1.0mm, ab Werk	Kanalabf. m2	66'931	150	443	442	0.89	425	424	0.84	28.2	28.0	0.196	
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 1.25mm, ab Werk	Kanalabf. m2	76'619	163	532	530	1.10	510	509	1.05	34.0	33.8	0.206	
Lüftungskanal, Stahl verzinkt, s= 1.5mm, ab Werk	Kanalabf. m2	86'200	176	620	618	1.31	595	593	1.25	39.8	39.6	0.216	
Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s= 0.62mm, ab Werk	Kanalabf. m2	62'715	131	565	564	0.56	495	494	0.54	33.6	33.5	0.181	
Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s= 0.75mm, ab Werk	Kanalabf. m2	76'093	138	686	685	0.67	600	600	0.64	40.8	40.6	0.186	
Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s= 0.87mm, ab Werk	Kanalabf. m2	88'443	144	797	796	0.78	698	697	0.74	47.4	47.2	0.191	
Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s= 1.0mm, ab Werk	Kanalabf. m2	101'821	150	918	917	0.89	803	802	0.84	54.6	54.4	0.196	
Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s= 1.25mm, ab Werk	Kanalabf. m2	127'549	163	1'150	1'149	1.10	1'006	1'005	1.05	68.4	68.2	0.206	
Lüftungskanal, Stahl rostfrei, s= 1.5mm, ab Werk	Kanalabf. m2	153'277	176	1'382	1'381	1.31	1'209	1'208	1.25	82.2	81.9	0.216	
Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m3, Aufolie gitterverstärkt, ab Werk	Kanalabf. m2	7'947	7636	211	82.5	81.8	73.7	73.0	0.72	4.90	4.72	0.174	
Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m3, Aufolie gitterverstärkt, ab Werk	Kanalabf. m2	10'680	10'335	272	110	108	140	100	98	6.38	6.18	0.208	
Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m3, Aufolie gitterverstärkt, ab Werk	Kanalabf. m2	14'287	13'934	354	146	144	230	134	132	8.37	8.12	0.253	
EI 30 Brandschutz-Dämmung, 50mm, 120kg/m3, Aufolie gitterverstärkt, ab Werk	Kanalabf. m2	18'887	18'432	456	191	188	342	178	174	3.37	3.26	0.309	
EI 60 Brandschutz-Dämmung, 70mm, 120kg/m3, Aufolie gitterverstärkt, ab Werk	Kanalabf. m2	24'408	23'829	579	245	241	476	230	225	4.69	4.59	0.377	
EI 90 Brandschutz-Dämmung, 100mm, 120kg/m3, Aufolie gitterverstärkt, ab Werk	Kanalabf. m2	32'688	31'925	763	327	320	677	308	301	6.68	6.43	0.479	
Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m3, Blechmantel Aluminium, ab Werk	Kanalabf. m2	28'161	28'089	72	432	431	0.85	363	362	0.83	18.3	17.8	0.208
Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m3, Blechmantel Aluminium, ab Werk	Kanalabf. m2	30'921	30'788	133	469	468	1.52	389	387	1.50	28.5	28.4	0.076
Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m3, Blechmantel Aluminium, ab Werk	Kanalabf. m2	34'601	34'386	215	496	493	2.42	424	421	2.38	30.5	30.4	0.121
Thermische Dämmung, 30mm, 40kg/m3, Blechmantel Stahl rostfrei, ab Werk	Kanalabf. m2	62'195	62'102	92	553	552	1.20	483	481	1.16	32.4	32.4	0.058
Thermische Dämmung, 60mm, 40kg/m3, Blechmantel Stahl rostfrei, ab Werk	Kanalabf. m2	64'955	64'801	154	580	578	1.87	509	507	1.82	33.9	33.8	0.092
Thermische Dämmung, 100mm, 40kg/m3, Blechmantel Stahl rostfrei, ab Werk	Kanalabf. m2	68'635	68'389	236	617	614	2.76	543	541	2.71	35.9	35.8	0.137
Lüftungsgerät 1800 m3/h mit ZUL, ABL und WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Luftmenge m3/h	5'458	5'377	81	55.7	55.6	0.11	50.0	49.9	0.10	3.35	3.25	0.088
Ventilator 1800 m3/h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Luftmenge m3/h	1'476	1'443	34	14.7	14.6	0.04	13.3	13.3	0.04	0.873	0.833	0.040
Schalldämpfer zu Ventilator 1800 m3/h, Modulbauweise, ab Werk	Luftmenge m3/h	329	325	3.9	3.10	3.09	0.01	2.88	2.87	0.01	0.188	0.183	0.005
Lüftungsgerät 6700 m3/h mit ZUL, ABL und WRG ohne Schalldämpfer, ab Werk	Luftmenge m3/h	3'803	3'741	62	35.3	35.2	0.08	31.9	31.9	0.08	2.11	2.03	0.073
Ventilator 6700 m3/h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer, ab Werk	Luftmenge m3/h	1'005	978	27	9.07	9.04	0.03	8.27	8.24	0.03	0.531	0.501	0.030
Schalldämpfer zu Ventilator 6700 m3/h, Modulbauweise, ab Werk	Luftmenge m3/h	141	139	2.01	1.31	1.30	0.01	1.23	1.22	0.01	0.079	0.076	0.003
Lüftungsanlage, diverse Elemente	Luftmenge m3/h	1'174	1'170	4.30	9.17	9.15	0.02	8.52	8.49	0.02	0.560	0.554	0.005
Lüftungsdeckensystem gewerbliche Küche	Luftmenge m3/h	2'047	2'045	1.29	25.5	25.5	0.02	21.6	21.6	0.02	1.57	1.57	0.001
Lüftungsanlage, diverse Elemente	EBF m2	5'748	5'727	21.1	44.9	44.8	0.11	41.7	41.6	0.10	2.74	2.71	0.026
Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 1 m3/(h m2)	EBF m2	29'797	29'513	285	228	228	0.79	213	212	0.77	13.9	13.6	0.339
Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 2 m3/(h m2)	EBF m2	40'293	39'893	400	309	307	1.10	287	286	1.06	18.8	18.3	0.476
Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 4 m3/(h m2)	EBF m2	61'285	60'655	630	469	467	1.70	437	435	1.64	28.5	27.7	0.750
Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 6 m3/(h m2)	EBF m2	82'277	81'417	860	629	627	2.30	586	584	2.23	38.2	37.2	1.023
Lüftungsanlage, zentral, Mittelwert für 8 m3/(h m2)	EBF m2	103'269	102'178	1'090	789	786	2.90	735	732	2.81	48.0	46.7	1.286

177

Lüftungsanlagen, Projektwerte der untersuchten Anlagen

Tabelle 115: Bilanzierung Herstellung der Anlagen mit Datensätzen für Komponenten [Bezug pro Anlage]

	Lüftungsanlage Altersheim Dorflinde	Lüftungsanlage Pflegezentrum Witikon	Lüftungsanlage Alterswohnungen Geeren	Lüftungsanlage Schulhaus Fallalische	Lüftungsanlage Schulhaus Absriederplatz	Lüftungsanlage Schulhaus Heilbach	Lüftungsanlage Burghaus Fibourg	Lüftungsanlage Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Lüftungsanlage Geschäftshaus C, Esslingen	Lüftungsanlage Geschäftshaus B, Esslingen	Geometrische Standard- Abweichung (Pedgree- Matrix)
CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	
ventilator unit 3500 m3/h, modular, w. filter, without silencer, at plant, CH, [unit]	-	1.69E+0	-	-	-	-	-	9.74E-1	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilator unit 13000 m3/h, modular, w. filter, without silencer, at plant, CH, [unit]	-	1.00E+0	-	-	-	-	7.69E-1	-	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
silencer for ventilator unit 1800 m3/h, modular, at plant, CH, [unit]	-	5.51E+0	-	-	1.97E+0	-	-	-	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
silencer for ventilator unit 3500 m3/h, modular, at plant, CH, [unit]	-	1.02E+1	-	-	-	-	5.94E+0	9.74E-1	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
silencer for ventilator unit 6700 m3/h, modular, at plant, CH, [unit]	-	4.00E+0	-	8.84E+0	1.29E+0	-	9.85E+0	1.94E+0	3.89E+0	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
silencer for ventilator unit 13000 m3/h, modular, at plant, CH, [unit]	-	2.05E+1	-	6.31E+0	3.50E+0	-	8.12E+0	4.58E+0	-	2.50E+0	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation equipment, central, 600-1200 m3/h, at plant, RER, [unit]	-	-	1.00E+0	-	-	2.00E+0	-	-	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation unit 1800 m3/h, w. cross plate heat exchanger, at plant, CH, [unit]	-	1.38E+0	-	-	9.83E-1	-	-	-	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation unit 3500 m3/h, w. cross plate heat exchanger, at plant, CH, [unit]	3.22E+0	9.77E-1	1.38E+0	-	-	7.29E-1	1.49E+0	-	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation unit 6700 m3/h, w. cross plate heat exchanger, at plant, CH, [unit]	1.78E+0	-	-	6.42E-1	-	-	8.96E-1	9.72E-1	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation unit 13000 m3/h, w. cross plate heat exchanger, at plant, CH, [unit]	-	-	-	-	1.00E+0	-	5.46E-1	-	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation unit 6700 m3/h, w. rotary heat exchanger, at plant, CH, [unit]	-	-	-	-	1.57E+0	-	-	9.72E-1	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation unit 13000 m3/h, w. rotary heat exchanger, at plant, CH, [unit]	-	-	-	-	1.58E+0	-	7.37E-1	1.10E+0	1.29E+0	8.26E-1	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation unit 3500 m3/h, w. circuit connected heat exchanger, at plant, CH, [unit]	9.96E-1	7.17E-1	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation unit 6700 m3/h, w. circuit connected heat exchanger, at plant, CH, [unit]	7.51E-1	1.00E+0	-	-	6.46E-1	-	1.57E+0	-	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation unit 13000 m3/h, w. circuit connected heat exchanger, at plant, CH, [unit]	7.51E-1	4.64E+0	-	-	7.51E-1	-	1.00E+0	-	-	-	1.26, (3.4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.62mm, at plant, CH, [m2]	1.09E+3	2.83E+3	4.31E+2	1.26E+3	1.54E+3	5.96E+2	5.49E+2	4.26E+2	6.58E+0	2.55E+2	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.75mm, at plant, CH, [m2]	1.84E+3	2.87E+3	6.40E+2	1.13E+3	9.62E+2	3.99E+2	1.40E+3	2.02E+2	1.87E+3	2.57E+2	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.87mm, at plant, CH, [m2]	7.94E+2	1.45E+3	7.99E+0	4.81E+2	3.63E+2	2.81E+2	1.10E+3	1.03E+3	2.50E+1	8.64E+1	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.0mm, at plant, CH, [m2]	1.08E+3	6.67E+2	3.03E+1	7.15E+2	2.09E+2	2.87E+0	7.91E+2	3.09E+2	2.44E+2	2.38E+1	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.28mm, at plant, CH, [m2]	1.58E+2	3.31E+2	-	3.28E+2	7.97E+1	5.59E+1	2.11E+2	4.59E+2	2.83E+1	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.5mm, at plant, CH, [m2]	7.12E+0	3.79E+2	-	1.59E+2	1.18E+1	-	-	5.70E+1	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.5mm, at plant, CH, [m2]	7.84E+2	6.69E+2	4.02E+2	1.70E+2	1.68E+3	3.51E+2	5.64E+2	8.38E+2	4.70E+1	8.49E+1	1.24, (2.4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.6mm, at plant, CH, [m2]	7.09E+1	6.08E+0	-	9.94E+1	2.04E+3	4.66E+2	1.82E+2	1.16E+2	3.62E+2	5.37E+1	1.24, (2.4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.8mm, at plant, CH, [m2]	6.03E+0	-	-	-	4.65E+1	4.48E+1	1.54E+1	-	3.36E+0	2.81E+1	1.24, (2.4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 1.0mm, at plant, CH, [m2]	-	-	-	-	-	2.53E+0	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 0.62mm, at plant, CH, [m2]	-	3.00E+1	2.05E+1	-	-	-	1.75E-1	-	-	3.50E+0	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 0.75mm, at plant, CH, [m2]	-	1.06E+1	-	-	-	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 0.87mm, at plant, CH, [m2]	-	6.10E+1	-	-	1.66E+1	-	1.68E+0	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 1.0mm, at plant, CH, [m2]	-	1.19E+2	-	-	8.09E+1	-	3.42E+0	-	4.80E+0	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 1.25mm, at plant, CH, [m2]	-	1.55E+2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, stainless steel, s= 1.5mm, at plant, CH, [m2]	-	6.66E+1	-	-	-	-	-	-	4.81E+1	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, stainless steel, s= 0.5mm, at plant, CH, [m2]	-	-	-	-	-	-	1.28E+1	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
spiral-seam duct, stainless steel, s= 0.8mm, at plant, CH, [m2]	1.88E+0	-	-	-	-	-	3.20E+1	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
thermal insulation, 30mm, 40kg/m3, reinforced aluminum foil, at plant, CH, [m2]	1.11E+3	4.73E+3	3.14E+2	9.80E+1	2.33E+3	8.02E+2	3.74E+2	3.66E+3	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
thermal insulation, 60mm, 40kg/m3, reinforced aluminum foil, at plant, CH, [m2]	-	-	-	7.33E+2	-	-	-	-	4.81E+1	5.89E+1	1.24, (2.4,1,1,1,5)
thermal insulation, 100mm, 40kg/m3, reinforced aluminum foil, at plant, CH, [m2]	-	1.74E+2	-	-	-	-	-	-	8.28E+1	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
thermal insulation, 100mm, 40kg/m3, aluminum cladding, at plant, CH, [m2]	8.00E+1	7.35E+2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
thermal insulation, 30mm, 40kg/m3, stainless steel cladding, at plant, CH, [m2]	-	-	-	-	-	2.14E+1	-	1.85E+2	4.80E+0	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
thermal insulation, 60mm, 40kg/m3, stainless steel cladding, at plant, CH, [m2]	-	-	-	-	-	9.59E+1	-	2.85E+2	2.85E+2	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
El30 fire insulation, 50mm, 120kg/m3, reinforced aluminum foil, at plant, CH, [m2]	1.46E+3	2.74E+3	9.78E+2	-	2.94E+3	7.10E+2	-	2.95E+2	2.85E+2	2.68E+2	1.24, (2.4,1,1,1,5)
El60 fire insulation, 70mm, 120kg/m3, reinforced aluminum foil, at plant, CH, [m2]	-	4.85E+2	-	8.85E+2	-	-	3.64E+2	2.35E+2	9.00E+0	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation duct, PE corrugated tube, DN 75, at plant, RER, [m]	-	-	4.79E+3	7.79E+3	-	8.28E+2	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
flexible duct, aluminum/PET, DN of 125, at plant, RER, [m]	2.42E+2	-	-	5.98E+1	1.91E+2	4.78E+0	1.43E+3	2.51E+2	1.10E+2	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Altersheim Dorflinde, various components, CH, [unit]	1.00E+0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Pflegezentrum Witikon, various components, CH, [unit]	-	1.00E+0	-	-	-	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Alterswohnungen Geeren, various components, CH, [unit]	-	-	1.00E+0	-	-	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Schulhaus Fallalische, various components, CH, [unit]	-	-	-	1.00E+0	-	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Schulhaus Absriederplatz, various components, CH, [unit]	-	-	-	-	1.00E+0	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Schulhaus Heilbach, various components, CH, [unit]	-	-	-	-	-	1.00E+0	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Burghaus Fibourg, various components, CH, [unit]	-	-	-	-	-	-	1.00E+0	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Bürogebäude Verenastrasse, Baden, various components, CH, [unit]	-	-	-	-	-	-	-	1.00E+0	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Geschäftshaus C, Esslingen, various components, CH, [unit]	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00E+0	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Geschäftshaus B, Esslingen, various components, CH, [unit]	1.00E+0	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00E+0	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Altersheim Dorflinde, special components, CH, [unit]	-	1.00E+0	-	-	-	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Pflegezentrum Witikon, special components, CH, [unit]	-	-	1.00E+0	-	-	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Schulhaus Absriederplatz, special components, CH, [unit]	-	-	-	-	1.00E+0	-	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Burghaus Fibourg, special components, CH, [unit]	-	-	-	-	-	1.00E+0	-	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Bürogebäude Verenastrasse, Baden, special components, CH, [unit]	-	-	-	-	-	-	1.00E+0	-	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
ventilation system, Geschäftshaus C, Esslingen, special components, CH, [unit]	-	-	-	-	-	-	-	1.00E+0	-	-	1.24, (2.4,1,1,1,5)
Location, Geografischer Bezug für Prozess (RER = Europa, CH = Schweiz, ÜCITE = Union for the Coordination of Transmission of Electricity)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00E+0	1.24, (2.4,1,1,1,5)

	Erstergung, Lüftungsanlage Altersheim Dorflinde	Erstergung, Lüftungsanlage Pflegezentrum Witikon	Erstergung, Lüftungsanlage Altenwohnungen Geeren	Erstergung, Lüftungsanlage Schulhaus Fallätsche	Erstergung, Lüftungsanlage Schulhaus Albsriederplatz	Erstergung, Lüftungsanlage Schulhaus Heilbach	Erstergung, Lüftungsanlage Bürohaus Fribourg	Erstergung, Lüftungsanlage Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Erstergung, Lüftungsanlage Geschäftshaus C, Esslingen	Erstergung, Lüftungsanlage Geschäftshaus B, Esslingen	Geometrische Standard- Anweisung (Pfeilgrün-Matrix)
CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	
Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	Unit	
disposal, ventilator unit 3500 m3/h, modular, w. filter, without silencer, CH, [unit]	1.69E+0	-	-	-	-	-	-	9.74E-1	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilator unit 13000 m3/h, modular, w. filter, without silencer, CH, [unit]	1.00E+0	-	-	-	-	-	-	7.69E-1	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, silencer for ventilator unit 1800 m3/h, modular, CH, [unit]	5.51E+0	-	-	-	1.97E+0	-	-	-	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, silencer for ventilator unit 3500 m3/h, modular, CH, [unit]	1.02E+0	-	-	-	-	-	5.94E+0	9.74E-1	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, silencer for ventilator unit 6700 m3/h, modular, CH, [unit]	4.00E+0	-	-	-	-	-	9.85E+0	1.94E+0	3.89E+0	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, silencer for ventilator unit 13000 m3/h, modular, CH, [unit]	2.05E+1	-	-	-	8.84E+0	1.29E+0	9.85E+0	1.94E+0	3.89E+0	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation equipment, central, 600-1200 m3/h, CH, [unit]	-	1.00E+0	-	-	6.31E+0	3.50E+0	8.12E+0	4.58E+0	-	2.50E+0	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 1800 m3/h, w. cross plate heat exchanger, CH, [unit]	1.38E+0	-	-	-	-	9.83E-1	2.00E+0	-	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 3500 m3/h, w. cross plate heat exchanger, CH, [unit]	3.22E+0	9.77E-1	1.38E+0	-	-	7.29E-1	1.49E+0	-	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 6700 m3/h, w. cross plate heat exchanger, CH, [unit]	1.78E+0	-	-	6.42E-1	-	-	8.96E-1	9.72E-1	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 13000 m3/h, w. cross plate heat exchanger, CH, [unit]	-	-	-	-	1.00E+0	-	5.46E-1	-	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 6700 m3/h, w. rotary heat exchanger, CH, [unit]	-	-	-	1.57E+0	-	-	-	-	9.72E-1	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 13000 m3/h, w. rotary heat exchanger, CH, [unit]	-	-	-	1.58E+0	-	-	7.37E-1	1.10E+0	1.29E+0	8.26E-1	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 3500 m3/h, w. circuit connected heat exchanger, CH, [unit]	-	7.17E-1	-	-	-	-	-	-	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 6700 m3/h, w. circuit connected heat exchanger, CH, [unit]	9.96E-1	1.00E+0	-	-	6.46E-1	-	1.57E+0	-	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation unit 13000 m3/h, w. circuit connected heat exchanger, CH, [unit]	7.51E-1	4.64E+0	-	-	7.51E-1	-	-	1.00E+0	-	-	1.26, (3,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.62mm, CH, [m2]	1.09E+3	2.83E+3	4.31E+2	1.26E+3	1.54E+3	5.96E+2	5.49E+2	4.26E+2	6.58E+0	2.55E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.75mm, CH, [m2]	1.84E+3	2.87E+3	6.40E+2	1.13E+3	9.62E+2	3.98E+2	1.40E+3	1.87E+3	2.02E+2	2.57E+2	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 0.87mm, CH, [m2]	7.94E+2	1.45E+3	7.99E+0	4.81E+2	3.63E+2	2.81E+2	1.10E+3	1.03E+3	2.50E+1	8.64E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.0mm, CH, [m2]	1.08E+3	6.67E+2	3.03E+1	7.15E+2	2.09E+2	2.87E+0	7.91E+2	3.09E+2	2.44E+2	2.38E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.25mm, CH, [m2]	1.58E+2	3.31E+2	3.28E+2	7.97E+2	5.59E+1	2.11E+2	4.59E+2	2.83E+1	-	-	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, ventilation duct, steel, zinc coated, s= 1.5mm, CH, [m2]	7.12E+0	3.79E+2	1.59E+2	1.18E+1	-	-	5.70E+1	-	-	-	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.5mm, CH, [m2]	7.64E+2	8.69E+2	4.02E+2	1.70E+2	1.68E+3	3.51E+2	5.64E+2	8.38E+2	4.70E+1	8.49E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.6mm, CH, [m2]	7.09E+1	6.08E+0	-	9.94E+1	2.04E+3	4.66E+2	1.82E+2	3.62E+2	5.37E+1	5.37E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, spiral-seam duct, steel, zinc coated, s= 0.8mm, CH, [m2]	6.03E+0	-	-	-	4.65E+1	4.48E+1	1.54E+1	-	3.36E+0	2.81E+1	1.24, (2,4,1,1,1,5)
disposal, spiral-seam duct, steel											

BFE Forschungsprojekt Schlussbericht, August 2014

PROJEKTWERTE GEBÄUDETECHNIK									
Bezug Référence Größe Unité de mesure	UBP	Primärenergie Energie primaire				nicht erneuerbar non renouvelable		Treibhaus- gasemissionen Emissions de gaz à effet de serre	
		gesamt globale		Entsorgung Elimination		Herstellung Fabrication		Entsorgung Elimination	
		Total total	MU	Total total	MU	Total total	MU	Total total	MU
Lüftungsanlagen									
Einheit	Stk.	2'657'427	26'434	60684	26'363	71.1	23'936	23'869	68
Einheit	Stk.	3'974'230	37'959	99'573	37'939	120.1	34'466	34'352	114
Einheit	Stk.	6'724'992	60'717	178'867	60'498	219.2	55'333	55'124	208
Einheit	Stk.	11'564'531	99'456	312'641	99'058	397.8	91'000	90'623	378
Einheit	Stk.	592'733	5'578	6'960	5'562	16.4	5'179	5'163	16
Einheit	Stk.	719'393	7'093'33	9'460	6'744	23.5	6'299	6'276	23
Einheit	Stk.	942'443	8'243	13'447	8'767	36.9	8'242	8'206	36
Einheit	Stk.	1'497'415	13'225	19'245	13'164	61.0	12'515	12'455	59
Einheit	Stk.	9'717'920	106'446	148'665	106'254	191.8	95'487	95'304	183
Einheit	Stk.	15'689'449	169'008	242'698	169'008	578.9	152'137	151'829	351
Einheit	Stk.	26'364'938	259'043	430'885	269'201	688'622	323.7	243'332	242'780
Einheit	Stk.	46'379'782	456'502	740'279	466'354	1032.5	422'491	421'509	982
Einheit	Stk.	9'750'163	96'059'10	144'273	102'524	190.7	92'191	92'010	182
Einheit	Stk.	15'012'393	153'463	232'651	153'463	314.1	138'455	138'155	299
Einheit	Stk.	24'001'363	235'931'81	408'771	233'945	545.8	211'664	211'144	520
Einheit	Stk.	42'602'639	414'766	704'639	413'790	976.4	375'856	374'928	929
Einheit	Stk.	10'005'170	98'599'009	145'860	91'692	184.8	82'251	82'074	176
Einheit	Stk.	15'212'193	149'777'679	234'514	128'621	302.0	115'857	115'570	288
Einheit	Stk.	25'994'990	254'833'389	411'601	203'845	533.6	184'260	183'752	508
Einheit	Stk.	45'526'733	448'202'869	708'444	344'397	952.7	312'365	311'458	906
Einheit	Stk.	77'305'562	770'599'864	245'998	621'558	1210.5	568'414	567'248	1'166
Einheit	Stk.	49'206'257	49'024'208	182'049	423'267	962.9	387'551	386'621	930
Einheit	Stk.	20'396'988	20'350'903	46'085	153'436	142'853	142'496	97'235	91'86
Einheit	Stk.	42'274'918	42'107'964	166'954	330'833	759.9	309'651	308'919	732
Einheit	Stk.	32'771'454	32'684'1907	129'546	228'499	527.8	217'870	217'367	503
Einheit	Stk.	21'035'967	20'963'155	72'712	183'964	488.7	166'988	166'545	443
Einheit	Stk.	75'400'046	75'093'163	306'883	535'660	1'671.1	508'218	506'600	1'619
Einheit	Stk.	27'877'804	27'759'399	117'865	211'645	472.9	198'581	198'127	454
Einheit	Stk.	8'787'620	8'765'365	22'255	76'774	171.7	69'886	69'520	166
Einheit	Stk.	3'015'252	3'002'867	12'386	25'392	34.2	22'854	22'821	33
Einheit	Stk.	15'911'510	15'903'698	78'113	181'222	181'090	154'152	154'027	125
Einheit	Stk.	37'207'692	37'178'683	29'010	511'892	511'473	418.6	430'530	430'126
Einheit	Stk.	3'794'034	3'792'125	1'909	33'897	33'864	32.1	29'364	29'334
Einheit	Stk.	38'557'117	38'505'713	51'044	301'814	301'466	347.9	271'481	271'148
Einheit	Stk.	23'980'484	23'968'691	11'793	269'293	269'094	198.6	229'286	229'096
Einheit	Stk.	1'007'892	887'699	114'193	9'026	8'869	157.2	6'739	6'590
Einheit	Stk.	618'707'727	614'106'282	4'601'445	4'756'395	14'669.9	4'408'341	4'394'158	14'183
Einheit	Stk.	1'139'917'220	1'130'143'034	9'774'186	8'922'024	8'888'359	33'665.6	8'217'890	8'185'212
Einheit	Stk.	149'847'728	145'690'091	4'157'637	1'240'492	1'234'784	5708.1	1'164'093	1'156'522
Einheit	Stk.	478'991'515	470'254'543	8'736'973	3'661'208	3'647'819	13'389.9	3'520'724	3'507'756
Einheit	Stk.	570'629'448	565'548'475	5'080'973	4'148'957	4'130'050	18'906.9	3'980'041	3'961'639
Einheit	Stk.	201'183'716	199'013'744	2'169'973	1'556'540	1'550'665	5'875.2	1'447'810	1'442'106
Einheit	Stk.	602'175'091	597'284'410	4'890'681	4'594'767	4'582'441	12'345.4	4'281'183	4'269'308
Einheit	Stk.	542'033'537	537'701'240	4'432'297	4'166'146	4'153'327	12'818.5	3'855'056	3'845'572
Einheit	Stk.	102'277'994	101'312'822	965'071	809'702	806'724	2'977.7	748'462	745'598
Einheit	Stk.	81'036'850	80'274'831	762'019	631'414	629'132	2'282.2	587'347	585'138

Wärmanlagen

Tabelle 117: Bilanzierung Herstellung Anlagen mit Datensätzen für Systemkomponenten pro m² EBF

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rautistrasse, 7 MFH	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
Erdsonde						
Erdsonde [m]	–	–	7.188E-01	5.254E-01	–	1.055E+00
Erzeugung						
Sole-Wasser WP [kg]	–	–	6.765E-01	3.941E-01	1.234E-01	3.749E-01
Stahlrohre schwarz, grundiert [kg]	5.093E-03	–	2.901E-01	4.993E-02	2.635E-01	–
Abzweigungen und Formstücke Stahl [kg]	–	–	2.801E-02	–	8.792E-03	–
Edelstahlrohre [kg]	–	–	2.609E-01	–	1.422E-01	–
Abzweigungen und Formstücke Edelstahl [kg]	–	–	8.997E-03	–	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	–	–	–	–	4.127E-03	–
Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	–	–	3.577E-03	–	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	–	–	3.037E-02	–	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	–	–	8.321E-03	–	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	–	–	–	5.202E-03	–	–
Andere Komponenten [kg]	6.992E-02	8.393E-02	6.240E-01	1.633E-01	3.243E-01	4.094E-01
Verteilung						
Rohre schwarz [kg]	2.473E-01	3.667E-01	7.644E-01	3.360E-01	1.364E+00	2.481E+00
Abzweigungen und Formstücke Stahl [kg]	–	9.078E-03	3.026E-02	–	2.344E-02	–
Edelstahlrohre [kg]	–	–	8.037E-02	–	2.312E-02	2.607E-02
Abzweigungen und Formstücke Edelstahl [kg]	–	–	7.712E-03	–	–	–
Fussbodenheizungsrohr [m]	8.633E-01	7.205E-01	–	–	–	–
Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämm- stärke 40mm [m2]	1.242E-02	3.534E-02	–	–	–	–
Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämm- stärke 50mm [m2]	2.786E-02	3.184E-02	–	–	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	–	–	–	–	3.813E-03	–
Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	–	–	–	–	1.469E-03	–
Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	–	–	–	–	1.169E-02	–

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rautistrasse, 7 MFH	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	–	–	–	–	9.772E-03	–
Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	–	–	3.369E-03	–	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	–	–	1.916E-02	–	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	–	–	1.550E-02	–	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	–	–	–	3.799E-03	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	–	–	3.908E-02	8.739E-03	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	–	–	9.716E-03	1.775E-02	–	–
Dämmung Mineralwolle mit Grobkornfolie Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	–	–	–	1.040E-02	–	–
Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 30mm [m2]	–	–	–	–	–	2.469E-02
Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	–	–	–	–	–	7.027E-02
Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	–	–	–	–	–	2.932E-02
Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	–	–	–	–	–	2.421E-02
Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	–	–	–	–	–	1.582E-02
Andere Komponenten [kg/m2]	8.358E-02	1.371E-01	1.477E-01	7.887E-02	2.449E-01	3.208E-01
Abgabe						
Heizkörper - Radiator [kg]	1.167E+00	1.339E+00	–	–	–	–
Heizkörper - Konvektor [kg]	–	1.455E-01	–	–	–	9.420E-01
Fussbodenheizungsrohr [m]	–	–	6.257E+00	6.425E+00	3.365E-01	3.376E-01
Heiz-Kühldecke Metall [m2]	–	–	–	–	2.701E-01	–
Andere Komponenten [kg]	3.928E-02	3.078E-02	–	–	5.441E-02	5.048E-02

Tabelle 118: Bilanzierung Entsorgung Anlagen mit Datensätzen für Systemkomponenten pro m² EBF

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rautistrasse, 7 MFH	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
Erdsonde						
Entsorgung Erdsonde [m]	–	–	7.188E-01	5.254E-01	–	1.055E+00
Erzeugung						
Entsorgung Sole-Wasser WP [kg]	–	–	6.765E-01	3.941E-01	1.234E-01	3.749E-01
Entsorgung Stahlrohre schwarz, grundiert [kg]	5.093E-03	–	2.901E-01	4.993E-02	2.635E-01	–
Entsorgung Abzweigungen und Formstücke Stahl [kg]	–	–	2.801E-02	–	8.792E-03	–
Entsorgung Edelstahlrohre [kg]	–	–	2.609E-01	–	1.422E-01	–
Entsorgung Abzweigungen und Formstücke Edelstahl [kg]	–	–	8.997E-03	–		–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	–	–		–	4.127E-03	–
Dämmung Mineralwolle mit Entsorgung Alublech Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	–	–	3.577E-03	–	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	–	–	3.037E-02	–	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Grobkorn- folie Umhüllung, Dämm- stärke 50mm [m2]	–	–	8.321E-03	–	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Grobkorn- folie Umhüllung, Dämm- stärke 80mm [m2]	–	–	–	5.202E-03	–	–
Entsorgung Andere Komponenten [kg]	6.992E-02	8.393E-02	6.240E-01	1.633E-01	3.243E-01	4.094E-01
Verteilung						
Entsorgung Rohre schwarz [kg]	2.473E-01	3.667E-01	7.644E-01	3.360E-01	1.364E+00	2.481E+00
Entsorgung Abzweigungen und Formstücke Stahl [kg]	–	9.078E-03	3.026E-02	–	2.344E-02	
Entsorgung Edelstahlrohre [kg]	–	–	8.037E-02	–	2.312E-02	2.607E-02
Entsorgung Abzweigungen und Formstücke Edelstahl [kg]	–	–	7.712E-03	–	–	–
Entsorgung Fussboden- heizungsrohr [m]	8.633E-01	7.205E-01	–	–	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	1.242E-02	3.534E-02	–	–	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	2.786E-02	3.184E-02	–	–	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	–	–	–	–	3.813E-03	–

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rautistrasse, 7 MFH	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	–	–	–	–	1.469E-03	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	–	–	–	–	1.169E-02	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alufolie gitterverstärkt Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	–	–	–	–	9.772E-03	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	–	–	3.369E-03	–	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	–	–	1.916E-02	–	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Alublech Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	–	–	1.550E-02	–	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Grobkorn-folie Umhüllung, Dämm-stärke 40mm [m2]	–	–	–	3.799E-03	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Grobkorn-folie Umhüllung, Dämm-stärke 50mm [m2]	–	–	3.908E-02	8.739E-03	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Grobkorn-folie Umhüllung, Dämm-stärke 60mm [m2]	–	–	9.716E-03	1.775E-02	–	–
Entsorgung Dämmung Mineralwolle mit Grobkorn-folie Umhüllung, Dämm-stärke 80mm [m2]	–	–	–	1.040E-02	–	–
Entsorgung Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 30mm [m2]	–	–	–	–	–	2.469E-02
Entsorgung Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 40mm [m2]	–	–	–	–	–	7.027E-02
Entsorgung Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 50mm [m2]	–	–	–	–	–	2.932E-02
Entsorgung Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 60mm [m2]	–	–	–	–	–	2.421E-02
Entsorgung Dämmung PIR mit PVC Umhüllung, Dämmstärke 80mm [m2]	–	–	–	–	–	1.582E-02
Entsorgung Andere Komponenten [kg/m2]	8.358E-02	1.371E-01	1.477E-01	7.887E-02	2.449E-01	3.208E-01
Abgabe						
Entsorgung Heizkörper - Radiator [kg]	1.167E+00	1.339E+00	–	–	–	–
Entsorgung Heizkörper - Konvektor [kg]	–	1.455E-01	–	–	–	9.420E-01
Entsorgung Fussboden-heizungsrohr [m]	–	–	6.257E+00	6.425E+00	3.365E-01	3.376E-01
Entsorgung Heiz-Kühldecke Metall [m2]	–	–	–	–	2.701E-01	–

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rautistrasse, 7 MFH	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
Entsorgung Andere Komponenten [kg]	3.928E-02	3.078E-02	–	–	5.441E-02	5.048E-02

Tabelle 119: Resultate Ökobilanzen pro m² EBF

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäude Leimbach	Siedlung Rautistrasse, 7 MFH	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
Erdsonde						
Primärenergie total						
Herstellung [MJ]	–	–	3.40E+02	2.49E+02	–	4.99E+02
Entsorgung [MJ]	–	–	4.56E+00	3.33E+00	–	6.70E+00
Primärenergie nicht erneuerbar						
Herstellung [MJ]	–	–	3.34E+02	2.44E+02	–	4.91E+02
Entsorgung [MJ]	–	–	4.00E+00	2.92E+00	–	5.87E+00
Treibhausgasemissionen						
Herstellung [kg CO ₂ eq]	–	–	1.79E+01	1.31E+01	–	2.63E+01
Entsorgung [kg CO ₂ eq]	–	–	1.95E+00	1.43E+00	–	2.87E+00
UBP						
Herstellung [UBP]	–	–	1.91E+04	1.40E+04	–	2.81E+04
Entsorgung [UBP]	–	–	1.67E+03	1.22E+03	–	2.45E+03
Erzeugung						
Primärenergie total						
Herstellung [MJ]	6.25E+00	7.27E+00	1.84E+02	6.44E+01	6.55E+01	8.01E+01
Entsorgung [MJ]	9.81E-03	1.12E-02	8.81E-01	4.20E-01	2.10E-01	4.14E-01
Primärenergie nicht erneuerbar						
Herstellung [MJ]	5.74E+00	6.67E+00	1.68E+02	5.97E+01	5.99E+01	7.40E+01
Entsorgung [MJ]	9.38E-03	1.07E-02	8.35E-01	3.96E-01	1.99E-01	3.90E-01
Treibhausgasemissionen						
Herstellung [kg CO ₂ eq]	3.44E-01	3.98E-01	1.14E+01	4.22E+00	3.92E+00	5.05E+00
Entsorgung [kg CO ₂ eq]	2.77E-02	3.32E-02	3.01E+00	1.67E+00	6.35E-01	1.69E+00
UBP						
Herstellung [UBP]	7.72E+02	9.01E+02	2.37E+04	9.15E+03	8.24E+03	1.11E+04
Entsorgung [UBP]	1.79E+01	2.15E+01	1.10E+03	5.84E+02	2.56E+02	6.19E+02
Verteilung						
Primärenergie total						
Herstellung [MJ]	3.52E+01	4.65E+01	7.61E+01	2.92E+01	7.99E+01	1.51E+02
Entsorgung [MJ]	3.43E-01	5.42E-01	3.01E-01	1.38E-01	2.21E-01	1.44E+00
Primärenergie nicht erneuerbar						
Herstellung [MJ]	3.29E+01	4.63E+01	6.93E+01	2.70E+01	7.46E+01	1.43E+02
Entsorgung [MJ]	3.27E-01	5.15E-01	2.94E-01	1.35E-01	2.13E-01	1.36E+00
Treibhausgasemissionen						
Herstellung [kg CO ₂ eq]	1.69E+00	2.29E+00	4.26E+00	1.58E+00	4.61E+00	8.44E+00
Entsorgung [kg CO ₂ eq]	3.51E-01	3.55E-01	7.23E-02	3.75E-02	1.10E-01	8.69E-01
UBP						
Herstellung [UBP]	2.72E+03	3.95E+03	7.38E+03	2.85E+03	8.89E+03	1.51E+04
Entsorgung [UBP]	2.39E+02	2.51E+02	6.08E+01	3.08E+01	7.87E+01	6.53E+02
Abgabe						

Gebäude	Ecofaubourg Schlieren, Haus A	Ecofaubourg Schlieren, Haus B	MCS Gebäu- de Leimbach	Siedlung Rautistrasse, 7 MFH	Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Bürohaus Fribourg
Primärenergie total						
Herstellung [MJ]	7.93E+01	1.03E+02	9.06E+01	9.30E+01	1.31E+02	9.27E+01
Entsorgung [MJ]	1.18E-01	1.50E-01	1.83E-01	1.88E-01	1.08E-01	1.20E-01
Primärenergie nicht erneuerbar						
Herstellung [MJ]	7.49E+01	9.71E+01	8.46E+01	8.68E+01	1.13E+02	8.82E+01
Entsorgung [MJ]	1.13E-01	1.43E-01	1.79E-01	1.84E-01	1.03E-01	1.15E-01
Treibhausgasemissionen						
Herstellung [kg CO ₂ eq]	4.86E+00	6.25E+00	3.62E+00	3.72E+00	7.73E+00	5.26E+00
Entsorgung [kg CO ₂ eq]	2.33E-02	2.21E-02	1.99E+00	2.04E+00	1.33E-01	1.34E-01
UBP						
Herstellung [UBP]	7.97E+03	1.02E+04	3.28E+03	3.37E+03	4.16E+04	8.35E+03
Entsorgung [UBP]	1.84E+01	1.86E+01	1.27E+03	1.30E+03	8.75E+01	8.86E+01
Total						
Primärenergie total						
Herstellung [MJ]	1.21E+02	1.56E+02	6.91E+02	4.35E+02	2.76E+02	8.23E+02
Entsorgung [MJ]	4.71E-01	7.03E-01	5.93E+00	4.08E+00	5.39E-01	8.67E+00
Primärenergie nicht erneuerbar						
Herstellung [MJ]	1.14E+02	1.50E+02	6.56E+02	4.18E+02	2.47E+02	7.96E+02
Entsorgung [MJ]	4.50E-01	6.69E-01	5.31E+00	3.64E+00	5.15E-01	7.74E+00
Treibhausgasemissionen						
Herstellung [kg CO ₂ eq]	6.89E+00	8.94E+00	3.72E+01	2.26E+01	1.63E+01	4.51E+01
Entsorgung [kg CO ₂ eq]	4.02E-01	4.11E-01	7.03E+00	5.18E+00	8.78E-01	5.56E+00
UBP						
Herstellung [UBP]	1.15E+04	1.50E+04	5.35E+04	2.94E+04	5.87E+04	6.27E+04
Entsorgung [UBP]	2.75E+02	2.91E+02	4.10E+03	3.14E+03	4.22E+02	3.82E+03