

Ökologische Bewertung von Gebäudetechnikanlagen für SIA 2032

Schlussbericht

Zürich, 17. Oktober 2008, Rev. 4

Impressum

Auftraggeber: Amt für Hochbauten der Stadt Zürich
Fachstelle für nachhaltiges Bauen
Dr. Heinrich Gugerli

Auftragnehmer: Basler und Hofmann Ingenieure und Planer AG
Forchstrasse 395, CH-8032 Zürich
Tel. 044 387 11 22, Fax 044 387 11 00

Autor: Alex Primas

Fachliche Begleitung: Prof. Werner Dubach, Architekt, Zürich
Ueli Kasser, Büro für Umweltchemie, Zürich
Dr. Martin Lenzlinger, SIA, Zürich

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Zusammenfassung	1
1.1. Lüftungsanlagen	1
1.2. Heizungsanlagen	2
1.3. Elektroanlagen	2
1.4. Sanitäranlagen	3
1.5. Thermische Solaranlagen	3
1.6. Photovoltaikanlagen	3
Ausgangslage	4
2. Grundlagen und Methodik	4
2.1. Grundlagen	4
2.2. Methodik	4
3. Lüftungsanlagen	5
3.1. Funktionelle Einheit	5
3.2. Festlegungen zu den Berechnungen und verwendete Daten	5
3.3. Vergleich zur einfachen Massenbilanz	7
3.4. Resultate der Berechnungen	9
3.5. Daten für SIA 2032	16
4. Heizung	19
4.1. Funktionelle Einheit	19
4.2. Wärmeerzeugungsanlagen	19
4.3. Wärmeverteilung und -abgabe	21
4.4. Daten für SIA 2032	24
5. Elektroanlagen	28
5.1. Daten für SIA 2032	30
6. Sanitäranlagen	32
6.1. Daten für SIA 2032	34
7. Thermische Solaranlagen und Photovoltaikanlagen	36
7.1. Thermische Solaranlagen	36
7.2. Photovoltaikanlagen	38
8. Literatur	41

1. Zusammenfassung

Im SIA Merkblatt 2032 sollen Daten zur Grauen Energie von gebäudetechnischen Anlagen einfließen. Dieser Bericht dokumentiert die Erarbeitung der benötigten Daten für das Merkblatt für die folgenden Anlagenteile:

- Lüftungsanlage (einfache Lüftungsanlage, excl. Klimatisierung)
- Heizungsanlagen inkl. Heizungsverteilung
- Elektroanlagen
- Sanitäranlagen
- thermische Solaranlagen und Photovoltaikanlagen

Nachfolgend werden die wichtigsten Resultate für das SIA Merkblatt 2032 tabellarisch dargestellt.

1.1. Lüftungsanlagen

Es wurde eine Hauptunterteilung zwischen Wohnraumlüftungsanlagen und Bürolüftungsanlagen vorgenommen.

Tabelle 1.1 Resultate Wohnraumlüftungsanlage für SIA 2032, Herstellung + Entsorgung

Bewertungsmethode	Einheit Bezug: pro m ² EBF	Stahlnäle, ohne Erdregister, inkl. Küchenabluft *)	PE-Kanäle, ohne Erdregister, inkl. Küchenabluft *)	Erdregister (0.154 m/m ² EBF)	Abluftanlage Küche und Bad
Masse	kg/m ²	2.81	1.67	26.2 **)	1.06
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	210	130	60	60
Treibhauspotential	kg CO ₂ /m ²	13	8	5	4

*) Küchenabluft mit 20 MJ/m² Primärenergiebedarf bzw. 1.3 kg CO₂/m² Treibhauspotential eingesetzt

***) Masse tot: inkl. Magerbeton für Hinterfüllung; Masse Erdregister ohne Magerbeton: 0.46 kg/m²

Datenquelle: [7], [9] und eigene Abschätzungen

Tabelle 1.2 Resultate Bürolüftungsanlage für SIA 2032, Herstellung + Entsorgung

Bewertungsmethode	Einheit Bezug: pro m ² EBF	Stahlnäle, ohne Erdregister			Erdregister kurz *)	Erdregister lang *)
		2.4 2	4.8 4	7.2 6		
spez. Luftmenge	m ³ /(h m ² HNF) m ³ /(h m ² EBF)	2.4 2	4.8 4	7.2 6	Länge: 0.267 m/m ² EBF	Länge: 0.667 m/m ² EBF
Masse	kg/m ²	3.31	4.20	4.83	45.30 **)	113.24 **)
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	200	250	290	100	260
Treibhauspotential	kg CO ₂ /m ²	12	16	18	8	20

*) Bei 4 m³/(h m² EBF) entspricht Erdregister „kurz“ einer Länge von 1/15 m pro m³/h; Erdregister „lang“ einer Länge von 1/6 m pro m³/h

***) Masse tot: inkl. Magerbeton für Hinterfüllung; Datenquelle: [8], [9], eigene Abschätzungen

1.2. Heizungsanlagen

Es wurde eine Hauptunterteilung zwischen Wärmeerzeugungsanlage und Wärmeverteilung (inkl. Wärmeabgabe) vorgenommen.

Tabelle 1.3 Resultate Wärmeerzeugungsanlage für SIA 2032, Herstellung + Entsorgung

Bewertungsmethode	Einheit Bezug: pro m ² EBF	Erdwärmesonde)			Wärmeerzeuger (Mittelwert))		
		10	30	50	10	30	50
spez. Leistungsbedarf	W/m ²	10	30	50	10	30	50
Masse	kg/m ²	0.34	1.02	1.69	0.35	1.06	1.76
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	70	210	340	10	30	40
Treibhauspotential	kg CO ₂ /m ²	4.0	11.5	19.0	0.5	1.5	2.5

*) Für Wärmepumpen mit Erdwärmesonde sind zusätzlich zum Wärmeerzeuger die Erdwärmesonde einzurechnen, da die Graue Energie der Erdwärmesonde einen wesentlichen Einfluss hat

**) Mittelwert aus 10 kW Gaskessel, 100 kW Ölkessel, 50 kW Pelleffeuerung (excl. Beton für Pelletspeicherraum), 100 kW Stückholzfeuerung (inkl. Speicher). Beinhaltet Wärmeerzeuger, Kamin, Öltank (nur Ölfeuerung), Expansionsgefäss

Datenquelle: [2], eigene Abschätzungen und Ergänzungen

Tabelle 1.4 Resultate Wärmeverteilung und -abgabe für SIA 2032, Herstellung + Entsorgung

Bewertungsmethode	Einheit Bezug: pro m ² EBF	Luftheizung)	Fussboden- heizung	Wärmeabgabe über Radiatoren		
		10	**)	10	30	50
spez. Leistungsbedarf	W/m ²	10	**)	10	30	50
Masse	kg/m ²	0.60	1.78	1.92	3.14	4.36
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	30	130	90	150	210
Treibhauspotential	kg CO ₂ /m ²	1.8	8.6	5.5	9.0	12.5

*) Luftheizung nur für Gebäude mit sehr tiefem Wärmeleistungsbedarf (10 W/m²)

**) Einfluss primär Flächenabhängig

Datenquellen: [8], [9], [10], [13] eigene Abschätzungen und Ergänzungen

1.3. Elektroanlagen

Für die Elektroanlagen wurde eine Hauptunterteilung nach der Höhe des Installationsgrades vorgenommen. Die Werte für die nichterneuerbare Primärenergie der gesamten Elektroanlagen werden zwischen 150 MJ/m² EBF (tief installiert) und bis über 500 MJ/m² EBF (hoch installiert) liegen.

Tabelle 1.5 Resultate Elektroanlagen für SIA 2032, Herstellung + Entsorgung

Gebäude	Einheit Bezug: pro m ² EBF	Elektroanlagen, Tiefer Installationsgrad	Elektroanlagen, Mittlerer Installationsgrad	Elektroanlagen, Hoher Installationsgrad
Massenbilanz	kg/m ²	1.93	3.22	6.32
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	150	250	500
Treibhauspotential	kgCO ₂ /m ²	9	16	31

Verwendete Definition des Installationsgrades siehe Kapitel 5.1 und [17]

Datenquellen: [8], [9], [13], sowie eigene Abschätzungen

1.4. Sanitäranlagen

Für die Sanitäranlagen wurde eine Hauptunterteilung nach der Nutzung in Bürogebäude und Wohngebäude vorgenommen. Die Werte für die nichterneuerbare Primärenergie werden zwischen gut 150 MJ/m² EBF (grosses Bürogebäude) bis über 250 MJ/m² EBF (Wohngebäude mit höherem Ausbaustandard) liegen.

Tabelle 1.6 Resultate Sanitäranlagen für SIA 2032, Herstellung + Entsorgung

Gebäude	Einheit Bezug: pro m ² EBF	Sanitäranlagen, Bürogebäude *)	Sanitäranlagen, Wohngebäude *)
Massenbilanz	kg/m²	3.14	3.11
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	160	230
Treibhauspotential	kgCO ₂ /m ²	10	15

*) Werte sind stark von der Materialisierung und vom Schacht- und Verteilkonzept abhängig.
Datenquellen: [8], [9], [14]

1.5. Thermische Solaranlagen

Bei den thermischen Solaranlagen wird für die Daten zum Merkblatt SIA 2032 zwischen drei Anlagentypen unterschieden. Als Bezugsgrösse wurde 1 m² Kollektorfläche verwendet.

Tabelle 1.7 Resultate Solaranlagen für SIA 2032, Herstellung + Entsorgung

Bewertungsmethode	Einheit Bezug: pro m ² Kollektorfläche	Warmwasser, EFH *)	Warmwasser, MFH *)	Warmwasser und Heizung, EFH **)
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	5'600	2'900	3'700
Treibhauspotential	kg CO ₂ /m ²	350	180	230

*) Anlagen für Warmwassererwärmung

***) Anlagen für Warmwassererwärmung und Heizungsunterstützung
Datenquelle: [1], sowie eigene Abschätzungen (Bezugsfläche)

1.6. Photovoltaikanlagen

Bei den thermischen Photovoltaikanlagen (Solarstromanlage) wird für die Daten zum Merkblatt SIA 2032 eine typische Anlagenkonfiguration dargestellt. Als Bezugsgrösse wurde 1 kWp Anlagenleistung verwendet:

Tabelle 1.8 Resultate Photovoltaikanlagen, Herstellung + Entsorgung; Bezug: pro kWp

Bewertungsmethode	Einheit Bezug: pro kWp	Solarstromanlage *)
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/ kWp	29'800
Treibhauspotential	kg CO ₂ / kWp	1'840

*) Module mit polykristallinen Zellen, auf Flachdach aufgeständert.

Datenquelle: [2]

Ausgangslage

Im SIA Merkblatte 2032 sollen auch Daten zur Grauen Energie von Gebäudetechnikanlagen einfließen. Dieser Bericht dokumentiert die Erarbeitung der benötigten Daten für das Merkblatt für die folgenden Anlagenteile:

- Lüftungsanlage (einfache Lüftungsanlage, excl. Klimatisierung)
- Heizungsanlagen inkl. Heizungsverteilung
- Elektroanlagen
- Sanitäranlagen
- Thermische Solaranlagen
- Photovoltaikanlagen

Die für die Erarbeitung der Daten anzuwendende Systematik richtet sich nach den Vorgaben im Entwurf des Merkblattes 2032.

2. Grundlagen und Methodik

2.1. Grundlagen

Für die Erarbeitung der Daten werden folgende Grundlagen einbezogen:

- Besprechungen vom 10.4.2008 und 18.7.2008 mit H. Gugerli, U.Kasser, W. Dubach und M. Lenzlinger
- Ökologische Baustoffliste (EMPA, Version 2.0 vom 03.03.2008; [1])
- Div. Studien zu Ökobilanzdaten von Gebäudetechnik
- ecoinvent v2.01: www.ecoinvent.ch, [2]
- Methoden für die Bewertung von Ökobilanzdaten [3], [4], [5], [6]
- Sachbilanzen basierend auf diversen Untersuchungen (Quellen siehe in den entsprechenden Kapiteln)

2.2. Methodik

Für die Erarbeitung der vorliegenden Daten wurden Sachbilanzen aus verschiedenen Untersuchungen ausgewertet und verglichen. Um eine einheitliche Bewertung vornehmen zu können, wurden die Sachbilanzdaten teilweise dahingehend erweitert oder korrigiert, damit die Systemgrenzen für die verschiedenen Datensätze vergleichbar waren. Wo notwendig wurde für die Übertragung der Daten in die in der Ökologischen Baustoffliste und ecoinvent verwendeten Datenbasis eine Interpretation der Materialzuordnung vorgenommen. Für die in SIA 2032 verwendeten Datensätze wurden zudem Mittelwerte gebildet oder auch Datensätze für bestimmte Randbedingungen neu berechnet (z.B. Abhängigkeit von der spezifischen Luftmenge bei Bürolüftungsanlagen).

Die so aktualisierten Sachbilanzdaten wurden mit den in der Ökologischen Baustoffliste [1] verwendeten Bewertungsmethoden bewertet.

3. Lüftungsanlagen

3.1. Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit der Lüftungssysteme wird die Herstellung und die Entsorgung der gesamten Lüftungsanlage bezogen auf 1 m^2 Energiebezugsfläche definiert. Die funktionelle Einheit wurde so gewählt, da im Gebäudebereich die Energiebezugsfläche ein weit verbreiteter Wert ist, der auch in frühen Projektphasen verfügbar ist. Für einzelne Analysen wurden auch Daten bezogen auf die Luftmenge berechnet, da dieser Wert zum Teil aussagekräftiger ist.

3.2. Festlegungen zu den Berechnungen und verwendete Daten

In den Berechnungen wurden die folgenden Anlagenteile separat berechnet:

- Lüftungsgerät (Monobloc)
- Luftverteilung (ohne Erdregister)
- Erdregister

In diesem Bericht werden die Umweltbelastungen für Herstellung und Entsorgung wo von Interesse separat ausgewiesen.

Da sich Lüftungsanlagen für Wohn- und Bürogebäude vor allem bezüglich den geförderten Luftmengen pro m^2 Energiebezugsfläche deutlich unterscheiden wurden diese beiden Hauptgruppen untersucht.

3.2.1 Lüftungsanlagen von Wohngebäuden

Die Berechnungen für die Lüftungsanlagen in Wohngebäuden basieren primär auf den im Projekt „Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich“ [7] erhobenen Sachbilanzdaten. In diesem Projekt wurde von einer Lüftungsanlage in einem Mehrfamilienhaus mit sechs $4 \frac{1}{2}$ Zimmer Wohnungen mit je 106 m^2 Wohnfläche (ohne Treppenhaus und Kellerflächen) ausgegangen. Als Energiebezugsfläche wird in den Berechnungen ein Wert von 130 m^2 pro Wohnung verwendet. Für das Erdregister wurde von vier parallelen Erdregisterrohren ($\varnothing 200 \text{ mm}$) mit einer Länge von je 30 m ausgegangen. Die Kochstellenabluft wurde in dieser Studie nicht einbezogen. Die beiden Varianten mit dezentralem Lüftungsgerät ohne Erdregister weisen keine Verrohrung in der Steigzone auf, sondern beziehen die Frischluft direkt über die Fassade. Die Betrachtungen schliessen zudem folgende zwei Ausführungsvarianten mit ein:

- Variante mit dezentralen Lüftungsgeräten (siehe Abbildung 3.1)
- Variante mit zentralen Lüftungsgeräten (siehe Abbildung 3.2)

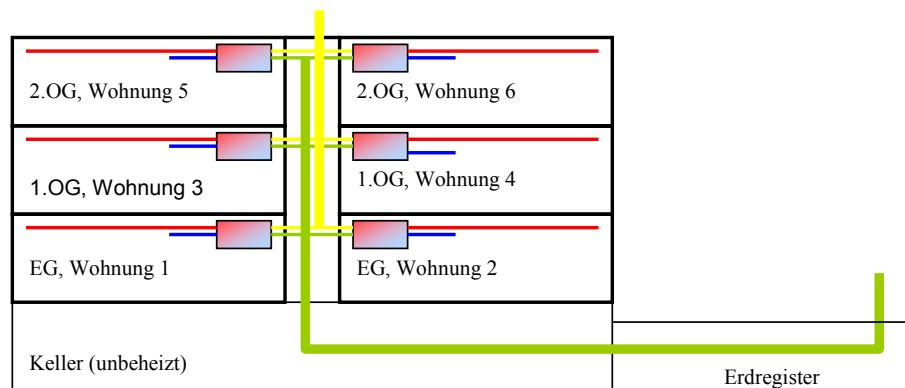


Abbildung 3.1 Prinzipschema Gebäudevariante mit 6 dezentralen Lüftungsgeräten System mit Erdregister. Bei System ohne Erdregister direkte Luftzufuhr über Fassade.

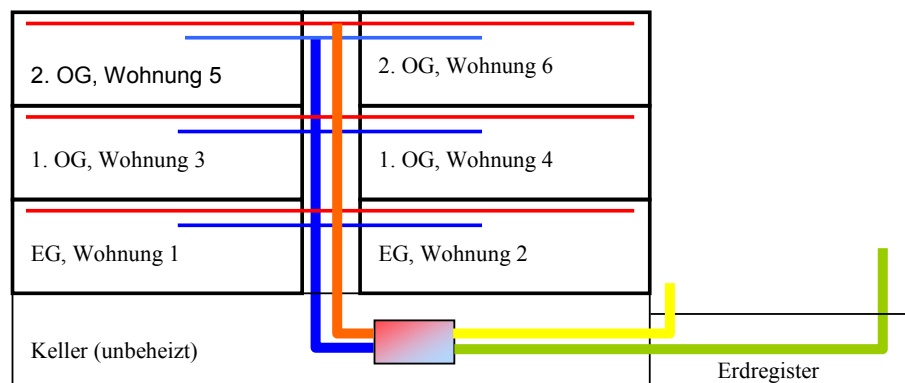


Abbildung 3.2 Prinzipschema Gebäudevariante mit einem zentralen Lüftungsgerät System mit Erdregister

Weitere Beispiele, die in die Analyse einbezogen wurden, stammen aus dem Projekt „Ökologische Optimierung von Solargebäuden über deren Lebenszyklus“ [10]. Diese Gebäude entsprechen meist dem Passivhausstandard, verfügen alle über ein Erdregister und oft auch über eine Luftheizung.

Zusätzlich wurde eine Sachbilanz einer reinen Abluftanlage (Fortluft über Dach) aus dem Projekt „Umweltrelevanz der Haustechnik - Eine Entscheidungsgrundlage“ [9] einbezogen.

3.2.2 Lüftungsanlagen von Bürogebäuden

Die Berechnungen für die Lüftungsanlagen in Wohngebäuden basieren auf zwei Sachbilanzen von Lüftungsanlagen in Bürogebäuden [8], [9]. Die bilanzierten Anlagen können wie folgt umschrieben werden:

- Bürogebäude mit 3088 m² EBF, Lüftungsgerät mit 8000 m³/h, spezifische Luftmenge (2.6 m³/(h m²)), Quelllüftung, Erdregister aus Zementrohren [8]
- Bürogebäude mit kleinem Wohnanteil (8%), ca. 4400 m² EBF, Lüftungsgerät mit 17'650 m³/h, spezifische Luftmenge (4.0 m³/(h m²)), ohne Erdregister [9]

Da bei diesen Untersuchungen wie auch teilweise bei den Sachbilanzen der Wohnraumlüftungsanlagen [9] [10] nur Materialien (ohne Produktionsprozesse) bilanziert

wurden, musste mit einer Sensitivitätsanalyse der Einfluss dieses methodischen Unterschieds untersucht werden (Kapitel 3.3).

Da bei den Lüftungsanlagen im Bürobereich eine grosse Spannweite der spezifischen Luftmengen vorhanden ist, wurden die Anlagen für den Einbezug in das Merkblatt SIA 2032 in drei Luftmengengruppen (2, 4 und 6 m³/(h m² EBF)) eingeteilt. Damit wird die dadurch deutlich unterschiedliche Umweltbelastung insbesondere für die Luftverteilung berücksichtigt. Da im Bürobereich mehrheitlich verzinkte Stahlblechkanäle für die Verteilung zum Einsatz kommen wurden keine anderen Materialien für die Luftverteilung berücksichtigt.

3.3. Vergleich zur einfachen Massenbilanz

Um den Einfluss der Bilanzierungsart auf das Resultat zu untersuchen wurden drei Hauptkomponenten der Lüftungsanlage wie folgt verglichen:

- Bewertung der gesamten Sachbilanz inkl. Vorketten [7]
- Vereinfachte Materialbilanz erstellt auf dem Gewicht des Bauteils und deren Materialzusammensetzung. Bilanzierung mit den Materialdaten [1]

Die zweite Berechnungsvariante wäre für eine vereinfachte Bilanzierung von Nutzerspezifischen Lüftungssystemen geeignet. Wie Abbildung 3.3 zeigt können durch die vereinfachte Bilanzierung Abweichungen von über 50% entstehen.

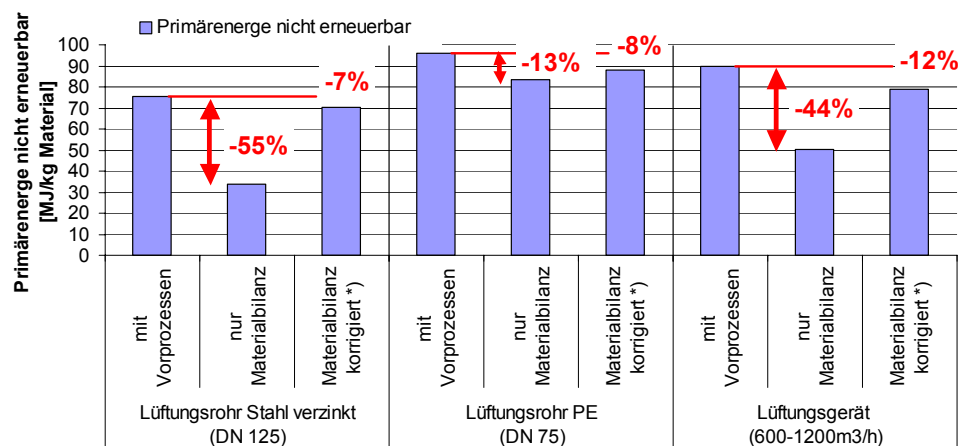


Abbildung 3.3 Vergleich einer Sachbilanz inkl. Vorprozessen mit einer einfachen Materialbilanz.
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro kg Produkt
*) Korrektur beinhaltet 5-10% Verarbeitungsabfälle und Datenanpassung auf Blechstärke 0.6 mm

Insbesondere beim Lüftungsrohr aus verzinktem Stahl zeigt sich eine grosse Differenz zwischen der Berechnung mit Vorprozessen [7] und der einfachen Materialbilanz. Der Grund liegt vor allem in der Verzinkung. Da das Material aus der ökologischen Baustoffliste [1] (Stahlblech, verzinkt, Rezyklatanteil 2000 (37% Rec.)) eine Stärke von gut 4 mm aufweist, hat bei diesem Material der Verzinkungsprozess einen viel geringeren Einfluss pro kg Material als bei einem 0.6 mm starken Wickelfalzrohr. Ein weiterer Punkt ist, dass bei der einfachen Materialbilanz die Verluste durch Verarbeitungsabfälle nicht berücksichtigt werden. Diese sind insbesondere

bei Lüftungsrohren aus Stahl von Bedeutung. Abbildung 3.4 zeigt den Einfluss der Blechstärke auf den Bedarf an nichterneuerbare Primärenergie für verzinktes Stahlblech. Für die Berechnung der in Kapitel 3.4 dargestellten Sachbilanzen wurde eine Blechstärke von 0.6 mm für Wohnraumlüftungsanlagen und 1.0 mm für Lüftungsanlagen in Bürogebäuden¹ bzw. für verzinkte Verschalungsbleche (z.B. bei Lüftungsgeräten) eingesetzt.

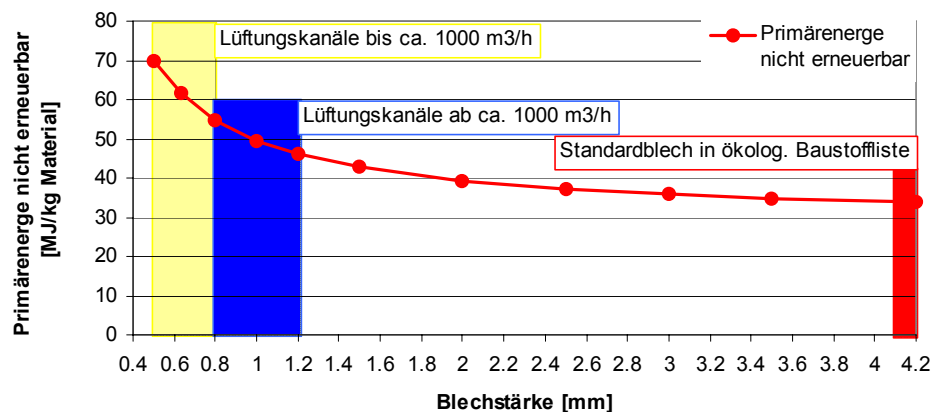


Abbildung 3.4 Einfluss der Blechstärke auf den Primärenergiebedarf für verzinktes Stahlblech.
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro kg Produkt

Die geringe Differenz beim PE-Rohr (s. Abbildung 3.3) beinhaltet neben den Verarbeitungsabfällen vor allem Produktionsinfrastruktur. Für die Bilanz des Lüftungsgerätes sind die Unterschiede wie beim Lüftungskanal auf die Verzinkung aber auch auf die Produktionsinfrastruktur und Produktionsverluste zurückzuführen. Für eine vereinfachte Materialbilanz in der korrekten Grössenordnung ist zumindest der Stahlblechprozess für ein dünnes Blech anzupassen und die Verarbeitungsabfälle sind zu berücksichtigen. In [7] wurden 10% Verarbeitungsabfälle für Metalle (Stahlkanäle, Monobloc) und 5% für Kunststoffe (PE Verrohrungen) eingesetzt. In [12] wurde ein Zuschlag für Bearbeitung und Abfall von 20% für Metalle bzw. 10% für Kunststoffe gemacht. In [9] erfolgte dagegen kein Zuschlag.

¹ Aufgrund der höheren Luftmengen wird davon ausgegangen, dass der grösste Teil der Lüftungskanäle eine Stärke von 0.8 mm oder mehr aufweist.

3.4. Resultate der Berechnungen

3.4.1 Lüftungsanlagen von Wohngebäuden

Die folgenden Wohngebäudetypen wurden mit Sachbilanzdaten ausgewertet:

Tabelle 3.1 Charakterisierung der Lüftungsanlagen in Wohngebäuden

Gebäude	Typ	EBF [m ²]	Luftmenge	Material*	Bemerkung
A	MFH	780	720 m ³ /h	Stahl verz.	6 dezentrale Anlagen, mit Erdregister
B	MFH	780	720 m ³ /h	PE	6 dezentrale Anlagen, mit Erdregister
C	MFH	780	720 m ³ /h	Stahl verz.	1 zentrale Anlagen, mit Erdregister
D	MFH	780	720 m ³ /h	PE	1 zentrale Anlagen, mit Erdregister
E	MFH	780	720 m ³ /h	Stahl verz.	6 dezentrale Anlagen, ohne Erdregister
F	MFH	780	720 m ³ /h	PE	6 dezentrale Anlagen, ohne Erdregister
G **)	REFH	794	800 m ³ /h	Stahl verz.	1 Anlage / Haus (Tot 5), mit Erdregister
H **)	MFH	1387	1500 m ³ /h	Stahl verz.	6 dezentrale Anlagen, mit Erdregister
I **)	MFH	1250	1330 m ³ /h	PE	1 zentrale Anlagen, mit Erdregister
J **)	EFH	188	120 m ³ /h	Stahl verz.	1 Anlage je Haus, mit Erdregister
K **)	REFH	825	742 m ³ /h	Stahl verz.	1 Anlage / Haus (Tot. 6), mit Erdregister
L **)	Wohnsiedl.	30800	k.A.	Stahl verz.	Nur Abluftanlage für Küche und Bad
M **)	MFH	ca. 780	855 m ³ /h	PE / St. verz.	1 Anlage, mit Erdregister

*) Hauptmaterial der Verteilrohre (Zuluft)

***) Berechnung der Ökobilanzdaten auf Basis korrigierter Daten für verzinkte Stahlbleche und inkl. 5-10% Mengenzuschlag für Verarbeitungsabfälle.

Tabelle 3.2 Massenbilanz der Lüftungsanlagen in Wohngebäuden

Gebäude	Gesamtanlage kg/ m ² EBF	Anteil Stahl *) kg/ m ² EBF	Lüftungsgerät kg/ m ² EBF	Verrohrung kg/ m ² EBF	Erdregister kg/ m ² EBF
A	3.23	2.36 (73%)	0.35	2.42	0.46
B	2.09	1.09 (52%)	0.35	1.28	0.46
C	2.95	2.26 (76%)	0.19	2.3	0.46
D	1.81	0.99 (55%)	0.19	1.16	0.46
E	2.27	1.98 (87%)	0.35	1.92	0
F	1.13	0.71 (62%)	0.35	0.78	0
G **)	3.45	1.49 (43%)	0.66	2.16	0.63
H **)	2.28	1.27 (56%)	0.35	1.42	0.5
I **)	1.96	0.60 (31%)	0.69	0.95	0.32
J **)	1.72	0.82 (48%)	0.41	1.12	0.19
K **)	2.57	1.85 (72%)	0.36	1.85	0.36
L **)	1.06	0.85 (80%)	0.05	1.01	0
M ***)	7.42	3.60 (49%)	1.02	3.84	2.55 (33.5)

*) Grösstenteils Stahlblech verzinkt, aber z.T. auch Edelstahl; In Klammern: In % der Gesamtanlage

***) Berechnung der Ökobilanzdaten auf Basis korrigierter Daten für verzinkte Stahlbleche und inkl. 5-10% Mengenzuschlag für Verarbeitungsabfälle.

***) Datenangaben stark gegen oben abweichend (nicht in Auswertung einbezogen); Wert in Klammer inkl. Magerbeton für Hinterfüllung.

Datenquellen: A-F [7]; G-K [10]; L [9]; M [12]

Die beiden dezentralen Varianten ohne Erdregister in Tabelle 3.1 und Tabelle 3.2 (Gebäude E und F) weisen keine Verrohrung in der Steigzone auf, sondern beziehen die Frischluft direkt über die Fassade. Tabelle 3.2 zeigt die Massenbilanzen für die untersuchten Gebäudetypen. Es ist keine klare Abhängigkeit der spezifischen Masse von der Gebäudegrösse ersichtlich. Einzig die Abhängigkeit der spezifischen Masse durch das Material und das Erdregister zeigen sich.

Abbildung 3.5 zeigt den Bedarf an nichterneuerbarer Primärenergie für die Herstellung der untersuchten Wohnraumlüftungsanlagen. Neben dem Erdregister liegt die Hauptdifferenz zwischen den verschiedenen Anlagen insbesondere beim Material der Verrohrung (Stahl verzinkt oder PE). Es lassen sich grob folgende Gruppen mit ähnlichem Primärenergieaufwand unterscheiden:

- Lüftungsanlage mit Verrohrung aus Stahl verzinkt, mit Erdregister
- Lüftungsanlage mit Polyethylen Verrohrung für Luftverteilung in der Wohnung, mit Erdregister
- Lüftungsanlage mit Verrohrung aus Stahl verzinkt, ohne Erdregister
- Lüftungsanlage mit Polyethylen Verrohrung für Luftverteilung in der Wohnung, ohne Erdregister
- Reine Abluftanlage (Küche und Bad) mit Verrohrung aus Stahl verzinkt

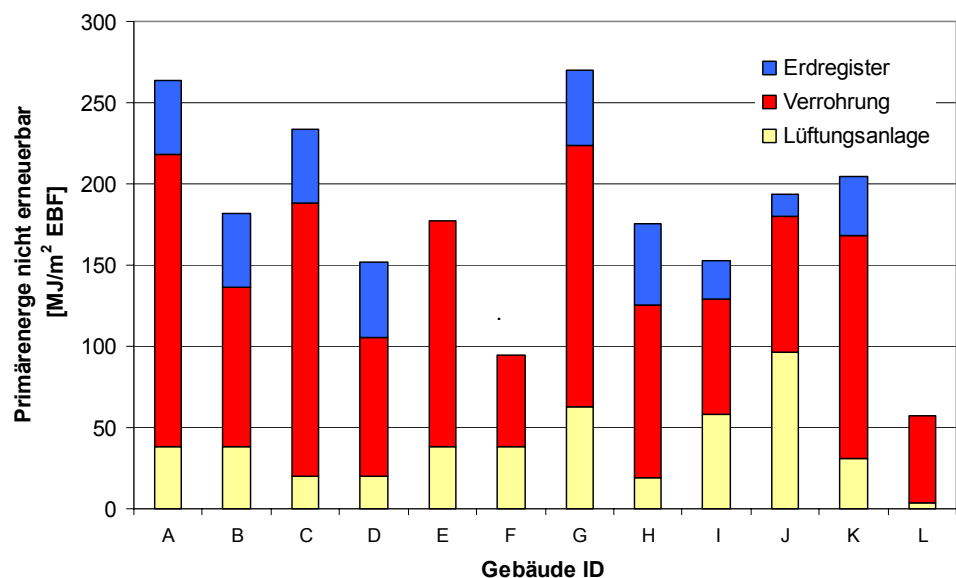


Abbildung 3.5 Lüftungsanlagen in Wohngebäuden, ausgewertete Inventardaten für Herstellung
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m² EBF

- Die Luftverteilung ist in den meisten Fällen der wichtigste Belastungsanteil
- Bei den Erdregistern können Konstruktionen aus Beton zu einem deutlich höheren Primärenergiebedarf führen (siehe auch Kapitel 3.4.3)
- Das Inventar mit einer reinen Abluftanlagen in Küche /Bad zeigt erwartungsgemäss den tiefsten Primärenergiebedarf

Der nichterneuerbare Primärenergiebedarf für die Verrohrung ist beim Gebäude F durch den Aussenlufteintritt über die Fassade (dezentrale Geräte mit minimaler Länge der Verrohrung) deutlich tiefer als beim Gebäude B (dezentrale Geräte mit zentralem Aussenlufteintritt).

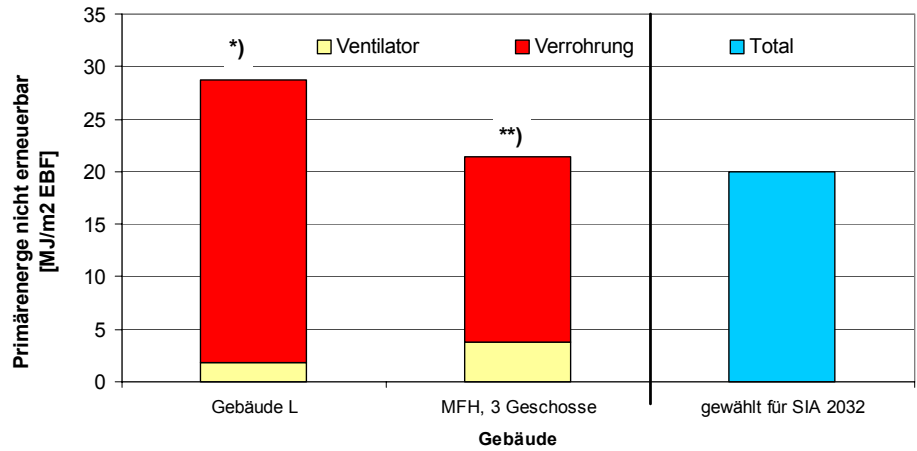
In der Bilanz vom Gebäude L sind neben der Verrohrung für die Abluft aus Küche und Bad die Klein-Entlüftungsventilatoren inkl. Unterputzgehäuse, benötigte Dachventilatoren sowie Zuluftelemente für die Nachströmung enthalten. Aus den Daten geht nicht hervor, ob die eigentliche Küchenabzugshaube mit eingeschlossen ist. Abbildung 3.5 zeigt nur den Bedarf an nichterneuerbarer Primärenergie für die Herstellung. Die Entsorgung der Bauteile ist jedoch in Bezug auf den Bedarf an nichterneuerbarer Primärenergie in den meisten Fällen von untergeordneter Bedeutung (bis 0.3%). Bei den Treibhausgasemissionen ist die Entsorgung von grösserer Bedeutung. Hier liegt der Emissionsanteil der Entsorgung bei 5% (geringer Kunststoffanteil) bis gut 20% (hoher Kunststoffanteil).

3.4.2 Verrohrung für Küchenabluft in Wohngebäuden

Bei den in Abbildung 3.5 dargestellten Komfortlüftungsanlagen sind mit Ausnahme von Gebäude L keine Verrohrungen für die Küchenabluft enthalten. Unter der Annahme, dass im Gebäude L pro Wohnung ein Bad und eine Küche vorhanden sind, dürfte für die Küchenabluft alleine etwa die Hälfte des nichterneuerbaren Primärenergieaufwandes für die Herstellung und Entsorgung benötigt werden. Je nach Verrohrungsanteil der Küchenabluft kann der Anteil jedoch auch deutlich tiefer ausfallen (z.B. bei mehreren Bädern pro Wohnung).

Um diese Annahme zu verifizieren wurde für das in der Untersuchung [7] verwendete Mehrfamilienhaus mit sechs 4 ½ Zimmer Wohnungen eine grobe Sachbilanz für die Küchenabluft erstellt und mit den Resultaten vom Gebäude L verglichen. Diese Vergleichsrechnung schliesst die Verrohrung über Dach inkl. der in diesem Gebäude notwendigen horizontalen Rohrführung in der Wohnung, den Dachhut und die eigentliche Abzugshaube (mit Ventilator) mit ein.

Die Resultate in Abbildung 3.6 zeigen, dass sich der nichterneuerbare Primärenergieaufwand für die Küchenabluft bei ca. 20 MJ/m² EBF bewegt. Bei optimalen Verhältnissen mit direkten Steigzonen in der Küche (keine horizontale Rohrführung nötig) kann sich der Wert auch auf ca. 12 MJ/m² EBF reduzieren.



*) Annahme Anteil für Küchenabluft entspricht 50% der Gesamtbelastung für Küchen- und Badabluft

**) Für 3-geschossiges Gebäude (Gebäudetyp wie Gebäude A-F) inkl. horizontaler Luftführung und Küchenabzugshaube

Abbildung 3.6 Küchenabluft in Wohngebäuden, Abschätzung für Herstellung und Entsorgung
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m² EBF

Wie Abbildung 3.7 zeigt, hat zudem die Geschosshöhe einen Einfluss auf die notwendige Länge der Verrohrung und damit auf die benötigte Graue Energie für die Küchenabluft.

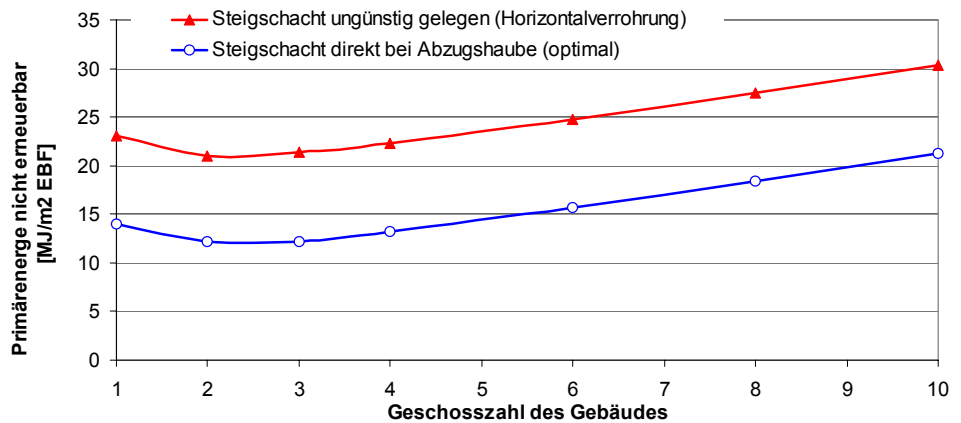


Abbildung 3.7 Küchenabluft in Wohngebäuden, Einfluss der Geschosshöhe des Gebäudes
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m² EBF

3.4.3 Erdregister

Beim Erdregister zeigen sich grosse Unterschiede bezüglich der Länge und Ausführung. Bei den in [11] beschriebenen Erdregister liegt beispielsweise die Luftgeschwindigkeit in einem Bereich zwischen 0.1 m/s und 8 m/s und die Länge der Einzelrohre zwischen 10 m und 140 m. Zudem weisen einige Erdregister durch ihre Erstellung aus Zementrohren und Luftsammler aus Beton einen sehr hohen Materialbedarf auf.

Tabelle 3.3 Kennwerte verschiedener Erdregister

Erd-Register	Länge *)	Durchmesser	Luftmenge	Material	Masse	Masse tot **)	nichterneuerbare Primärenergie	Treibhausgasemissionen
Nr.	m	mm	m ³ /h	Typ	kg / (m ³ /h)	kg / (m ³ /h)	MJ/ (m ³ /h)	kg CO ₂ / (m ³ /h)
1	400	40	8000	Zement / Beton	3.28	75.0	58.1	9.1
2	165	30	3500	Zement / Beton	1.95		1.5	0.2
3	989	25	17150	Polyethylen	0.18	4.29	19.1	1.5
4	910	40	26600	Polyethylen	0.21		18.9	1.2
5	980	30	15500	Polyethylen	0.30		26.2	1.7
6	264	10	200	PVC	2.33		191.2	11.3
7	150	8	240	PVC	0.88		72.3	4.3
8	86	12	195	Polyethylen	0.69		60.9	3.8
9	120	20	720	Polyethylen	0.50	0.46	44.0	2.8
10	77	80	2000	Zement / Beton	4.26		3.3	0.5
11	141	80	2800	Zement / Beton	5.57		4.3	0.7
Verwendet ***)	120	20	720	Polyethylen / Magerbeton	0.46	26.2	59.1	4.6

*) Gesamtlänge aller Rohre

**) Masse tot: inkl. Sammelkanäle aus Beton bzw. Magerbeton für Hinterfüllung

***) Für Bilanzierung der Wohnbauten verwendetes Erdregister (= Erdregister Bürobauten lang)

Datenquelle: [11], eigene Abschätzungen

Die Länge des Erdregisters variiert je nach Bauprojekt stark. Vor allem bei grösseren Anlagen (z.B. Büro- Gewerbebauten) sind die Erdregister oft deutlich kürzer. Bei diesen Gebäuden wurden Erdregisterlängen im Bereich von $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{30}$ m pro m³/h Luftmenge ermittelt. Für die Erdregisterlänge wird daher für die Bürogebäude mit zwei verschiedenen Längen gerechnet.

Für die Berechnung der Varianten mit Erdregister für das Merkblatt SIA 2032 wird das Erdregister wie folgt definiert:

- Erdregisterrohr aus Polyethylen, DN 200 (3 kg/m)
- Aushub für Erdregister: 1.14 m³/m Erdregister
- Menge Magerbeton für Hinterfüllung: 167 kg/m Erdregister (= ca. 0.08 m³/m)
- Erdregisterlänge Wohnbauten: $\frac{1}{6}$ m pro m³/h Luftmenge
- Erdregisterlänge Bürobauten lang: $\frac{1}{6}$ m pro m³/h Luftmenge
- Erdregisterlänge Bürobauten kurz: $\frac{1}{15}$ m pro m³/h Luftmenge

3.4.4 Lüftungsanlagen von Bürogebäuden

Die folgenden Bürogebäudetypen wurden mit Sachbilanzdaten ausgewertet:

Tabelle 3.4 Charakterisierung der Lüftungsanlagen in Bürogebäuden

Gebäude	Typ	EBF [m ²]	Luftmenge		Bemerkung
			m ³ /h	(m ³ /h)/m ²	
N **)	Bürogebäude	3088	8000 m ³ /h	2.6 (m ³ /h)/m ²	zentrale Anlage *), mit Erdregister
O **)	Bürogebäude	4400	17650 m ³ /h	4.0 (m ³ /h)/m ²	zentrale Anlage *), ohne Erdregister

*) Hauptmaterial der Verteilrohre Stahlblech verzinkt.

***) Berechnung der Ökobilanzdaten auf Basis korrigierter Daten für verzinkte Stahlbleche und mit 5% (Kunststoffe) bzw. 10% (Metalle) Mengenzuschlag für Verarbeitungsabfälle.

Tabelle 3.5 zeigt die Massenbilanzen für die untersuchten Bürogebäude. Es ist eine deutliche Abhängigkeit der spezifischen Masse von der spezifischen Luftmenge (in kg/(m³/h)) erkennbar. Insbesondere zeigt sich dies auch bei der Bewertung der nichterneuerbaren Primärenergie der Verrohrung (Abbildung 3.8).

Tabelle 3.5 Massenbilanz der Lüftungsanlagen in Bürogebäuden

Gebäude	Gesamtanlage	Anteil Stahl *)	Lüftungsgerät	Verrohrung	Erdregister
	kg/ m ² EBF	kg/ m ² EBF	kg/ m ² EBF	kg/ m ² EBF	kg/ m ² EBF
N **)	11.3 (197.2) ***)	2.36 (73%)	0.45	2.38	8.5 (194.4) ***)
O **)	5.17	1.09 (52%)	0.63	4.53	0

*) Grösstenteils Stahlblech verzinkt, aber z.T. auch Edelstahl; In Klammern: In % der Gesamtanlage

***) Berechnung der Ökobilanzdaten auf Basis korrigierter Daten für verzinkte Stahlbleche und mit 5% (Kunststoffe) bzw. 10% (Metalle) Mengenzuschlag für Verarbeitungsabfälle.

***) Werte in Klammer inkl. Sammelkanälen aus Beton

Datenquellen: N [8]; O [9]

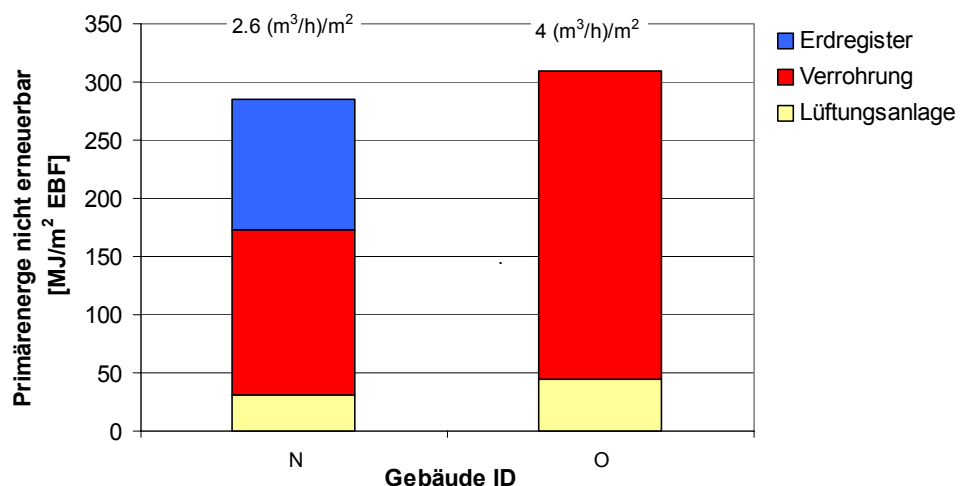


Abbildung 3.8 Lüftungsanlagen in Bürogebäuden, ausgewertete Inventardaten für Herstellung
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m² EBF

Werden die Daten (excl. Erdregister) auf die Luftmenge bezogen (pro m³/h) dargestellt, so zeigen die spezifischen Massen wie auch die beiden Bewertungsmethoden (Primärenergie, Treibhausgasemissionen) für beide Gebäude ähnliche Werte (siehe Tabelle 3.6).

Tabelle 3.6 Kennwerte der Lüftungsanlagen in Bürogebäuden

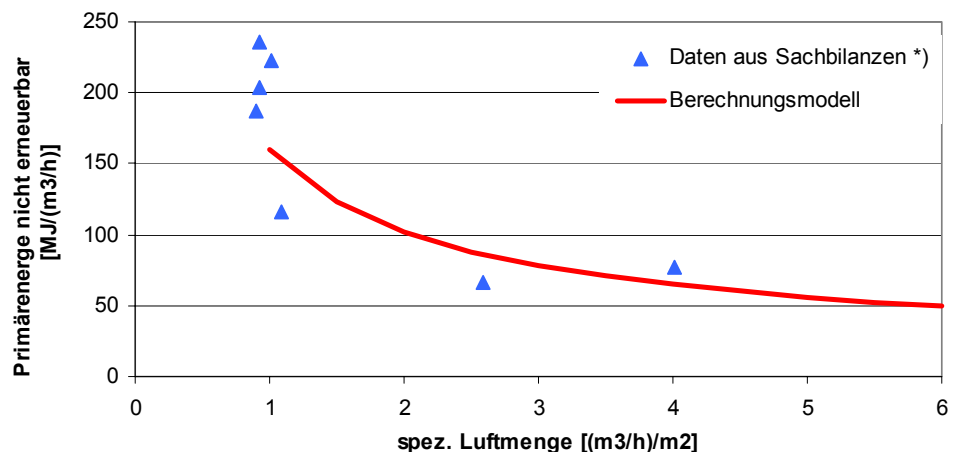
Gebäude	Luftmenge	Masse tot.	Masse ohne Erdregister	nichternewerbare Primärenergie	Treibhausgasemissionen
Nr.	(m ³ /h)/m ²	kg / (m ³ /h)	kg / (m ³ /h)	MJ/ (m ³ /h)	kg CO ₂ / (m ³ /h)
N **)	2.6	76.13	1.09	67 (110) *)	4.0 (12.3) *)
O **)	4.0	1.29	1.29	77	4.7

*) Werte in Klammer inkl. Erdregister

**) Berechnung der Ökobilanzdaten auf Basis korrigierter Daten für verzinkte Stahlbleche und inkl. 5-10% Mengenzuschlag für Verarbeitungsabfälle.

Datenquellen: N [8]; O [9]

Für die Bürogebäude ist also primär eine Unterscheidung nach spezifischem Luftvolumenstrom [in (m³/h)/m²] sinnvoll. In Abbildung 3.9 ist der nichterneuerbare Primärenergiebedarf pro Luftmenge in Abhängigkeit des spezifischen Luftvolumenstroms aufgetragen. Bei kleinen spezifischen Luftvolumenströmen steigt der spezifische Primärenergiebedarf deutlich an, während er bei hohen spezifischen Luftvolumenströmen gegen einen Grenzwert läuft. Da bei grossen spezifischen Luftvolumenströmen höhere Luftgeschwindigkeiten in den Verteilkanälen gefahren werden, ist dieses Verhalten nachvollziehbar. Mit einem Berechnungsmodell, welches auf dem Verlauf der zulässigen Luftgeschwindigkeiten gemäss der Energiegesetzgebung basiert kann der Verlauf gut nachgezeichnet werden.



*) Sachbilanzdaten für Lüftungsanlagen mit Verrohrung aus Stahl (ohne Erdregister)

Abbildung 3.9 Lüftungsanlagen, Abhängigkeit des spezifischen Primärenergiebedarfs von der spezifischen Luftmenge pro m² EBF; Vergleich Inventardaten und Berechnungsmodell

Das oben beschriebene Modell wurde für die Festlegung der Daten für das Merkblatt SIA 2032 verwendet. Es wurden folgende Gruppen mit ähnlichem Primärenergieaufwand unterschieden:

- spez. Luftmenge der Lüftungsanlage: 2 m³/(h m²), 4 m³/(h m²), 6 m³/(h m²),
- Erdregister: kein Erdregister; Erdregister kurz, Erdregister lang

Bei den Lüftungsanlagen für Bürogebäude werden nur Verrohrungen aus verzinktem Stahlblech betrachtet, da diese in den meisten Fällen zum Einsatz kommen. Das Erdregister wird nach demselben Verfahren wie in Kapitel 3.4.3 beschrieben, berechnet.

3.5. Daten für SIA 2032

3.5.1 Lüftungsanlagen von Wohngebäuden

Die Daten für die Lüftungsanlagen in Wohngebäuden basieren primär auf den in [7] erhobenen Sachbilanzdaten. Bei den Materialien für die Luftverteilung (Zuluft) in der Wohnung wird verzinktes Stahlblech und Polyethylen unterschieden. Für die Daten wird ein Mittelwert aus dezentralen (50%) und zentralen (50%) Anlagen verwendet. Im weiteren wird für 50% der dezentralen Anlagen eine zentrale Ausenluftfassung angenommen und für die anderen 50% eine Luftfassung an der Fassade. Zusätzlich wird die Verrohrung der separaten Küchenabluft (gemäss Kapitel 3.4.2) mit einbezogen. Das Erdregister wird als zusätzliches Bauteil ausgewiesen und kann (wenn vorhanden) addiert werden. Das Erdregister wird mit einer Länge von $\frac{1}{6} \text{ m}/(\text{m}^3/\text{h})$ bzw. $0.154 \text{ m}^2 \text{ EBF}$ berechnet. Für das Erdregister wird in Abweichung zu [7] zusätzlich 167 kg/m Erdregister Magerbeton für die Hinterfüllung eingerechnet.

Die Sachbilanz für die Abluftanlage Küche und Bad (Fortluft über Dach) wird aus [9] übernommen. Für das verzinkte Stahlblech wird in diesem Inventar bei der Bilanzierung von einer Blechstärke von 0.6 mm ausgegangen. Zusätzlich werden 10% Verarbeitungsabfälle für Metalle und 5% für Kunststoffe eingesetzt. Folgende Resultate berechnen sich aus den beschriebenen Sachinventaren:

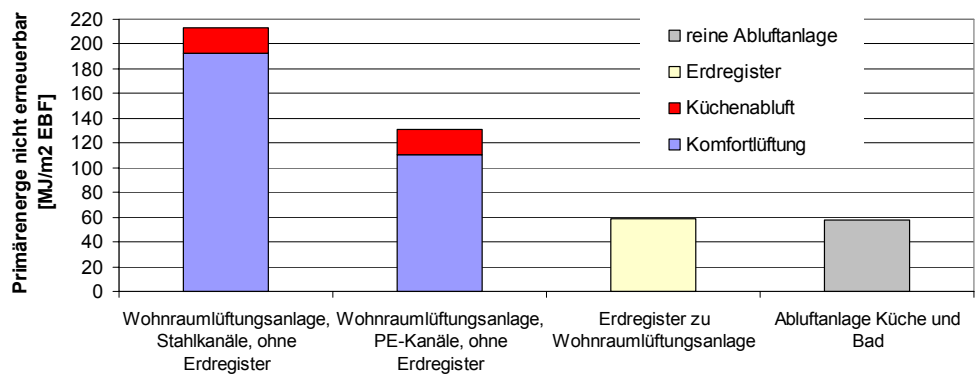


Abbildung 3.10 Lüftungsanlagen in Wohngebäuden, Datensätze für SIA 3032
 Datensatz beinhaltet Herstellung und Entsorgung
 Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro $\text{m}^2 \text{ EBF}$

Tabelle 3.7 Resultate Wohnraumlüftungsanlage für SIA 2032, Herstellung + Entsorgung

Bewertungsmethode	Einheit Bezug: pro m ² EBF	Stahlkanäle, ohne Erdregister, inkl. Küchenabluft *)	PE-Kanäle, ohne Erdregister, inkl. Küchenabluft *)	Erdregister (0.154 m/m ² EBF)	Abluftanlage Küche und Bad	nur Küchenabluft *)
Masse	kg/m ²	2.81	1.67	26.15 **)	1.06	0.30
Primärenergiebedarf nicht-erneuerbar	MJ/m ²	213	131	59.1	57.5	20.0
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/m ²	10.5	6.53	1.16	2.63	0.87
Primärenergiebedarf erneuerbar (o. Wasserkraft)	MJ/m ²	3.14	1.95	0.70	0.53	0.18
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/m ²	1.90	1.01	0.26	0.52	0.21
UBP 1997	UBP/m ²	30'100	16'700	4'230	7'810	3'050
Treibhauspotential	kg CO ₂ /m ²	13.3	8.19	4.56	3.59	1.22
UBP 2006	UBP/m ²	39'700	20'000	4'530	11'410	4'660

*) Küchenabluft in Daten enthalten (in letzter Spalte zur Information verwendete Daten dargestellt)

**) Masse tot: inkl. Magerbeton für Hinterfüllung; Masse Erdregister ohne Magerbeton: 0.46 kg/m²
Datenquelle: [7], [9] und eigene Abschätzungen

3.5.2 Lüftungsanlagen von Bürogebäuden

Die Daten für die Lüftungsanlagen in Bürogebäuden basieren grundsätzlich auf dem Mittelwert der in [8] und [9] erhobenen Sachbilanzdaten (ohne die Erdregister). Die Datensätze beinhalten zentrale Systeme mit einer Luftverteilung aus verzinktem Stahlblech. Für die Datendarstellung werden folgende drei Luftmengenklassen unterschieden:

- 2 m³/(h m² EBF) entsprechend 2.4 m³/(h m² HNF)² bzw. etwa einem Gebäude mit überwiegender Nutzung durch Einzel- und Gruppenbüros.
- 4 m³/(h m² EBF) entsprechend 4.8 m³/(h m² HNF) bzw. etwa einem Gebäude mit 80-90% Büronutzung und ca. 10-20% Nutzung durch Sitzungsräume
- 6 m³/(h m² EBF) entsprechend 7.2 m³/(h m² HNF) bzw. etwa einem Schulhaus oder einem Bürobau mit Hörsälen (30%) und Grossraumbüros

Das Erdregister wird als zusätzliches Bauteil ausgewiesen und kann (wenn vorhanden) addiert werden. Für das Erdregister werden die Daten aus [7] für ein Erdregisterrohr aus Polyethylen verwendet. In Abweichung zu [7] werden zusätzlich 167 kg/m Erdregister Magerbeton für die Hinterfüllung eingerechnet und die Länge des Erdregisters wird gemäss Kapitel 3.4.3 für eine Luftmenge von 4 m³/(h m² EBF) berechnet. Dabei wird zwischen „langem“ (0.667 m/m² EBF bzw. 1/6 m/(m³/h)) und „kuzem“ (0.267 m/m² EBF bzw. 1/15 m/(m³/h)) Erdregister unterschieden.

Für das verzinkte Stahlblech wird in diesen Inventaren bei der Bilanzierung für die Lüftungskanäle von einer Blechstärke von 1.0 mm und für die Lüftungsrohre von

² Umrechnung EBF zu HNF mit Faktor 1.2 gemäss dem Mittelwert der Flächenkennzahlen für Handels- und Verwaltungsgebäude gemäss FM Monitor 2006 [15]

einer Blechstärke von 0.6 mm ausgegangen. Zusätzlich werden 10% Verarbeitungsabfälle für Metalle und 5% für Kunststoffe eingesetzt.

Folgende Resultate berechnen sich aus den beschriebenen Sachinventaren:

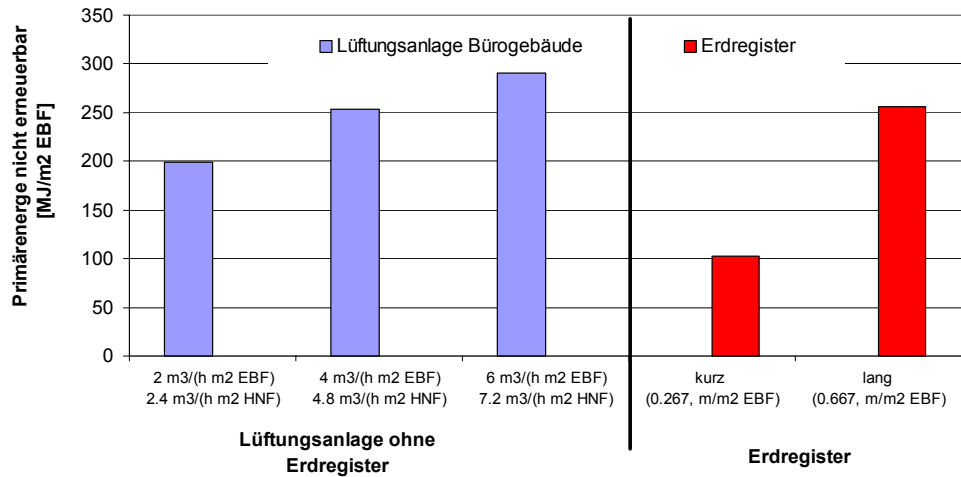


Abbildung 3.11 Lüftungsanlagen in Bürogebäuden, Datensätze für SIA 3032
 Datensatz beinhaltet Herstellung und Entsorgung
 Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m² EBF

Tabelle 3.8 Resultate Lüftungsanlagen für Bürogebäude zu SIA 2032 , Herstellung + Entsorgung

Bewertungsmethode	Einheit Bezug: pro m² EBF	Stahlkanäle, ohne Erdregister			Erdregister kurz *)	Erdregister lang *)
		2.4 2	4.8 4	7.2 6		
spez. Luftmenge	m³/(h m² HNF) m³/(h m² EBF)	2.4 2	4.8 4	7.2 6	Länge: 0.267 m/m² EBF	Länge: 0.667 m/m² EBF
Masse	kg/m²	3.31	4.20	4.83	45.30 **)	113.24 **)
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m²	199	253	291	103	256
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/m²	10.5	13.4	15.4	2.0	5.0
Primärenergiebedarf erneuerbar (ohne Wasserkraft)	MJ/m²	1.79	2.27	2.61	1.21	3.03
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/m²	1.90	2.42	2.78	0.45	1.13
UBP 1997	UBP/m²	28'633	36'349	41'794	7'334	18'335
Treibhauspotential	kg CO₂/m²	12.2	15.5	17.8	7.9	19.7
UBP 2006	UBP/m²	42'357	53'772	61'827	7'848	19'621

*) Bei 4 m³/(h m² EBF) entspricht Erdregister „kurz“ einer Länge von 1/15 m pro m³/h; Erdregister „lang“ einer Länge von 1/6 m pro m³/h

***) Masse tot: inkl. Magerbeton für Hinterfüllung; Datenquelle: [8], [9], eigene Abschätzungen

4. Heizung

4.1. Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit für die Analyse der Heizsysteme wird die Herstellung und die Entsorgung der Anlage bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche definiert. Für einzelne Analysen wurden auch Daten bezogen auf die Wärmeleistung berechnet, da dieser Wert zum Teil aussagekräftiger ist.

Die Analyse der Heizsysteme wird unterteilt in die Wärmeerzeugungsanlage und die Wärmeverteilung / -abgabe.

4.2. Wärmeerzeugungsanlagen

Die Analyse der Heizsysteme (nur Wärmeerzeugungsanlage ohne Wärmeverteilung) ist in Abbildung 4.1 auf Basis eines Heizleistungsbedarfs von 30 W/m² dargestellt.

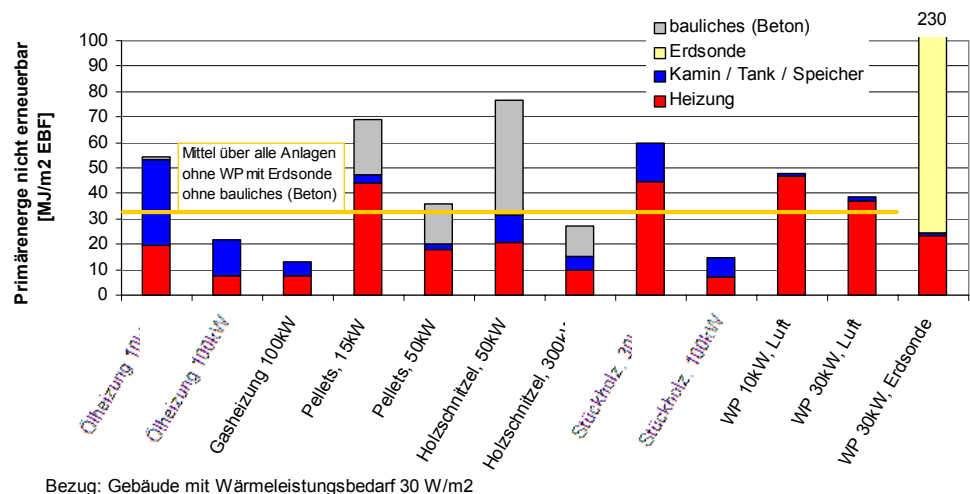


Abbildung 4.1 Wärmeerzeugungsanlage; Auswertung verschiedener Wärmeerzeugungsarten
Datenbasis [2]; Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m² EBF

Neben der Ölheizung, welche durch den Öltank³ einen erhöhten Primärenergieaufwand aufweist, sticht vor allem die Wärmepumpe mit Erdsonde durch den hohen Einfluss der Erdsonde heraus. Für die Luft-Wasser Wärmepumpe wurde eine Korrektur gegenüber der Sole-Wasser Wärmepumpe vorgenommen, da die Luft-Wasser Wärmepumpen deutlich schwerer sind⁴.

Bei allen Feuerungen besteht jedoch eine grössere Variationsbreite je nach Produkt. Für die Stückholz- und Holzschnitzelfeuerungen wurde ein Speicher (50 l/kW) mit einbezogen, da dies für einen effizienten Betrieb meist notwendig ist. Für alle Feuerungen sind in den in Abbildung 4.1 dargestellten Daten zudem der Kamin sowie das Expansionsgefäss mit einbezogen worden.

Die baulichen Aufwände (Beton), welche vor allem bei den Holzfeuerungen in den Basisdaten aus ecoinvent [2] eingeschlossen sind, wurden separat ausgewiesen

³ Für den 10 kW Kessel wurde von einem Lagervolumen von ca. einem Jahresbedarf ausgegangen. Für den 100 kW Kessel wurde von einem Lagervolumen von ca. 1/3 Jahresbedarf ausgegangen.

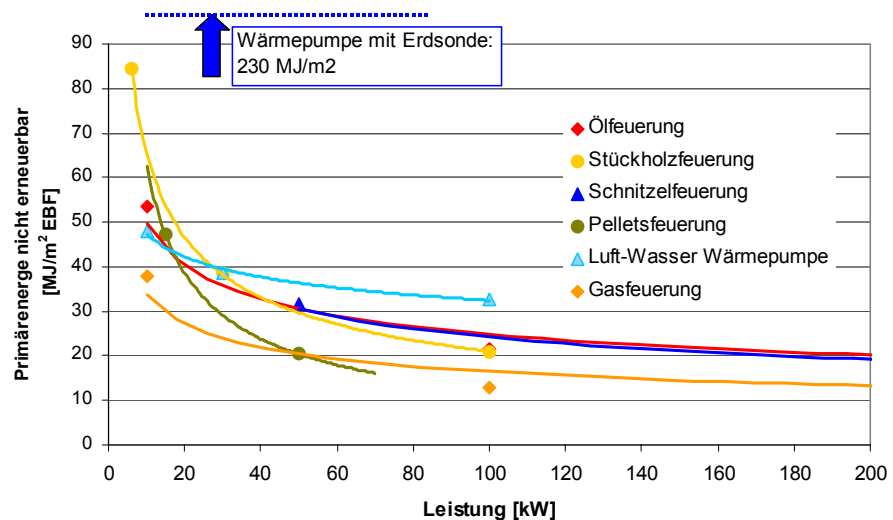
⁴ Bei 30 kW Leistung ca. 60%, bei 10 kW Leistung ca. 100%, Bei 100 kW Leistung ca. 30%

da sie in den Berechnungen für SIA 2032 bei den Heizungsanlagen nicht mit einbezogen werden (bauseitig). Diese Betonmaterialien werden für die Erstellung des Lagerraums für Holzschnitzel oder Holzpellets verwendet.

Im weiteren variieren die Werte je nach benötigtem Heizleistungsbedarf um bis über Faktor 2. Für die Berechnung wurde ein Heizleistungsbedarf von 30 W/m^2 (Heizung) zugrundegelegt. Die Werte für die nichterneuerbare Primärenergie der Wärmeerzeugungsanlage (ohne bauliches und ohne Wärmepumpe mit Erdsonde) liegen dabei zwischen ca. $10 \text{ MJ pro m}^2 \text{ EBF}$ (Gasfeuerung) bis gut $80 \text{ MJeq pro m}^2 \text{ EBF}$ (kleine Stückholzfeuerung). Der hohe Wert bei der kleinen Stückholzfeuerung (6 kW) ist beispielsweise vor allem auf das hohe Gewicht der bilanzierten Anlage (344 kg) zurückzuführen.

Für die Wärmepumpe mit Erdsonde liegt der Werte für die nichterneuerbare Primärenergie bei $230 \text{ MJ pro m}^2 \text{ EBF}$. Dieser Wert ist weniger von der Wärmeleistung abhängig, sondern vor allem durch die Sondenlänge und damit die Bodenbeschaffenheit am Standort abhängig. Für die Berechnungen wird von einer Entzugsleistung der Erdsonde von 33 W/m Sondenlänge ausgegangen ($\text{JAZ} = 3$).

Abbildung 4.2 zeigt die Abhängigkeit der nichterneuerbaren Primärenergie von der Anlagengrösse. Bei grösseren Anlagen ist der Primärenergieaufwand meist deutlich tiefer.



Bezug: Gebäude mit Wärmeleistungsbedarf 30 W/m^2

Abbildung 4.2 Wärmeerzeugungsanlage; Auswertung des Einflusses der install. Feuerungsleistung
Datenbasis [2]; Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: $\text{pro m}^2 \text{ EBF}$

Aufgrund der in Abbildung 4.2 dargestellten Zusammenhänge ist insbesondere eine Unterscheidung zwischen einer Wärmeerzeugungsanlage mit Erdsondenwärmepumpe und einem anderen System sinnvoll. Aufgrund der je nach eingesetztem Produkt grossen Variationsbreite des Anlagengewichts (und damit der Primärenergieaufwandes) ist eine Unterteilung in weitere Anlagengruppen wenig sinnvoll. Es lassen sich damit grob folgende Gruppen mit ähnlichem Primärenergieaufwand unterscheiden:

- Wärmepumpe mit Erdsonde (Erdsondenlänge: $20 \text{ m/kW}_{\text{th}}$)
- Übrige Wärmeerzeugungsanlagen (Gaskessel, Ölkessel, Holzfeuerung)

4.3. Wärmeverteilung und -abgabe

Die folgenden Gebäudetypen wurden mit Sachbilanzdaten ausgewertet:

Tabelle 4.1 Charakterisierung der untersuchten Gebäudewärmeverteilungen

Gebäude	Typ	EBF [m ²]	Leistung *)	Wärmeerzeugungsanlage	Wärmeverteilung
A	Bürogebäude	3088	32 W/m ²	Gas / Öl-Kessel	Heizkörper
B	MFH	30800	49 W/m ²	Fernwärme	Heizkörper
C	Bürogebäude	4400	67 W/m ²	Gaskessel	Heizkörper **)
D	MFH	1873	37 W/m ²	Gaskessel	Fussbodenheizung
E	MFH	2300	10 W/m ²	Erdsondenwärmepumpe	Fussbodenheizung ***)
F	EFH	188	21 W/m ²	Erdsondenwärmepumpe	Fussbodenheizung
G	MFH	1250	10 W/m ²	Pelletfeuerung	Luftheizung ***)
H	MFH	1387	12 W/m ²	Luft-Wasser Wärmepumpe	Luftheizung ***)
I	REFH	794	10 W/m ²	Luft-Wasser Wärmepumpe	Luftheizung

*) spezifischer Heizwärmebedarf

***) ca. 10% mit Bodenheizung; ***) Bäder zusätzlich mit Radiatoren

Tabelle 4.2 zeigt die Massenbilanzen für die Wärmeerzeugungsanlage und Wärmeverteilung in den verschiedenen Gebäudetypen. Aus den Daten kann in erster Linie die Abhängigkeit der spezifischen Masse (Tabelle 4.2) und der nichterneuerbaren Primärenergie der verschiedenen Abgabesysteme herausgelesen werden (Abbildung 4.4). Aus den verfügbaren Daten kann keine klare Abhängigkeit der spezifischen Masse von der Gebäudegrösse ermittelt werden.

Tabelle 4.2 Massenbilanz der Gebäudewärmeverteilungen

Gebäude	Summe *) kg/ m ² EBF	Erzeugung kg/ m ² EBF	Verteilung kg/ m ² EBF	Abgabe kg/ m ² EBF	Verteilung + Abgabe kg/ m ² EBF
A	3.74	0.11	2.72	0.91	3.63
B	4.78	0.10	1.07	3.61	4.69
C	5.04	0.27	2.00	2.78	4.77
D	2.11	0.21	0.63	1.26	1.9
E	4.09	1.52	1.52	1.05	2.57
F	2.45	1.59	0.87 ***)		0.87
G **)	3.92	3.18	0.73 ***)		0.73
H **)	1.49	0.45	1.03 ***)		1.03
I **)	0.73	0.69	0.04 ***)		0.04

*) Summe aus Erzeugung, Verteilung und Abgabe

***) Luftheizung: Nur Verrohrung und allfällige Badradiatoren in Verteilung / Abgabe enthalten

****) Aus den Grunddaten keine eindeutige Aufteilung zwischen Verteilung und Abgabe möglich
Berechnung der Ökobilanzdaten inkl. 5-10% Mengenzuschlag für Verarbeitungsabfälle.

Datenquellen: A [8], B-C [9]; D-E [13]; F-I [10]

Bei den Systemen mit Heizkörper zeigt sich eine Abhängigkeit der spezifischen Masse (Wärmeverteilung und -abgabe) von der Heizwärmeleistung (in W/m²).

Die sehr tiefen Werte in den Gebäuden F bis I sind auf die in drei Gebäuden installierten Luftheizungen bzw. die einfache Verlegung der Fussbodenheizung mit geringen Distanzen zurückzuführen. Bei den Fussbodenheizungen wurde in den In-

ventaren die Systemplatte (EPS) in der Bilanz mit einbezogen, nicht jedoch bauliche Aufwendungen wie z.B. ein dickerer Unterlagsboden.

Abbildung 4.3 zeigt die nichterneuerbarer Primärenergie für die Herstellung der untersuchten Heizungssysteme. Neben dem deutlich höheren Wert für die Wärmeerzeugung mit einer Wärmepumpe mit Erdsonde liegen die Hauptdifferenzen zwischen den verschiedenen Anlagen insbesondere in der Art des Wärmeabgabesystems. Abbildung 4.4 zeigt die Abhängigkeit des Bedarfs an nichterneuerbarer Primärenergie für verschiedene spezifische Wärmeleistungsbedarfe der Gebäude.

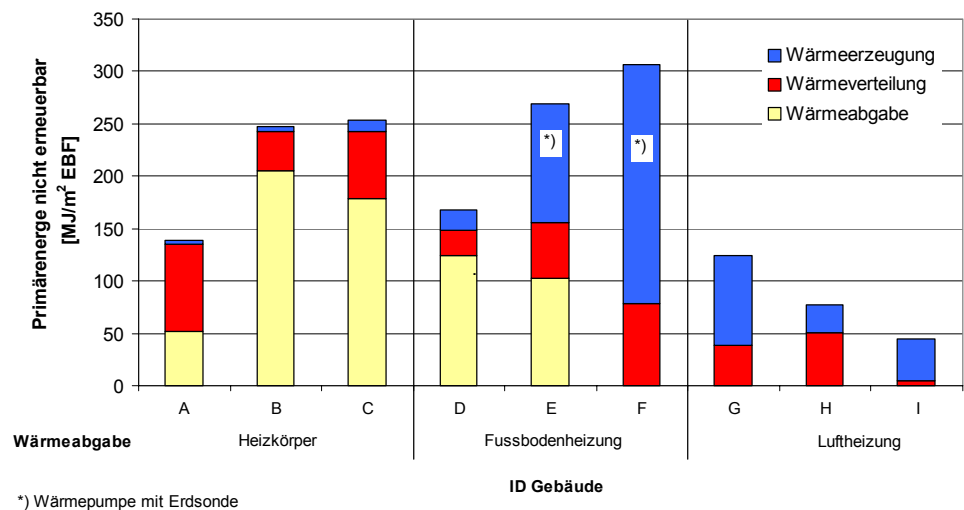


Abbildung 4.3 Wärmeerzeugung, -verteilung und -abgabe; Auswertung der Inventardaten Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar für Herstellung; Bezug: pro m² EBF Berechnung der Ökobilanzdaten inkl. 5-10% Mengenzuschlag für Verarbeitungsabfälle. Datenquellen: A [8], B-C [9]; D-E [13]; F-I [10]

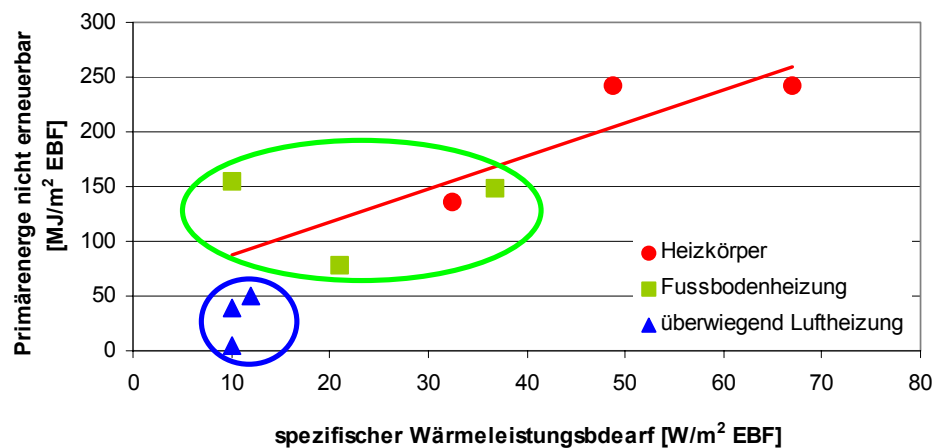


Abbildung 4.4 Wärmeerzeugung, -verteilung und -abgabe; Abhängigkeit vom spez. Wärmebedarf Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar für Herstellung; Bezug: pro m² EBF Berechnung der Ökobilanzdaten inkl. 5-10% Mengenzuschlag für Verarbeitungsabfälle. Datenquellen: [8], [9], [10], [13]

Die obenstehenden Abbildungen beziehen sich alle auf die Herstellung alleine ohne Entsorgung. Beim Bedarf an nichterneuerbaren Energie sind die Entsorgungsprozesse vernachlässigbar (Anteil tiefer als 0.3%). Bei den Treibhausgasemissionen ist die Entsorgung hingegen je nach verwendeten Bauteilen von grös-

serer Bedeutung. Hier liegt der Emissionsanteil der Entsorgung bei bis zu 36% (hoher Kunststoffanteil).

Abbildung 4.5 zeigt die Treibhausgasemissionen für die Herstellung und Entsorgung der untersuchten Heizungssystemen.

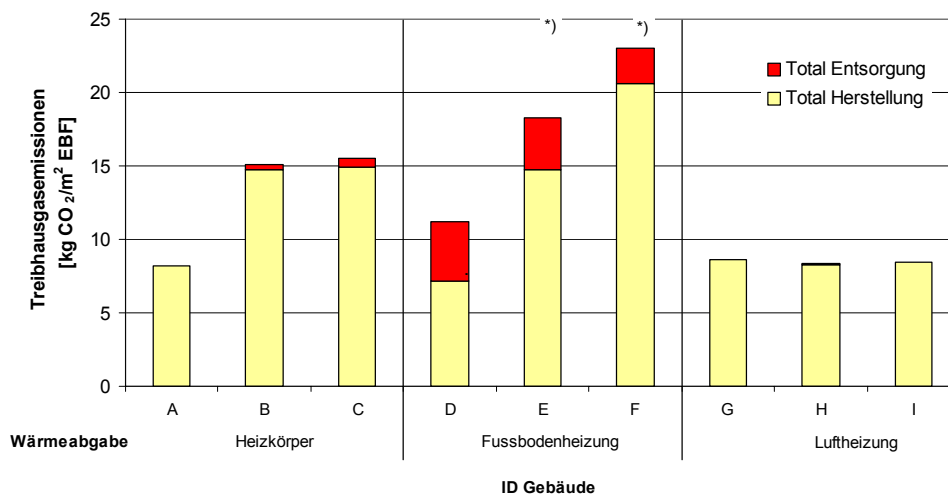


Abbildung 4.5 Wärmeerzeugung, -verteilung und -abgabe; Auswertung der Inventardaten
 Bewertung: Treibhausgasemissionen für Herstellung und Entsorgung
 Bezug: pro m² EBF; Datenquellen: A [8], B-C [9]; D-E [13]; F-I [10]
 Berechnung der Ökobilanzdaten inkl. 5-10% Mengenzuschlag für Verarbeitungsabfälle.

Aufgrund der durchgeführten Analysen lassen sich grob folgende Gruppen (Wärmeverteilung und -abgabe) mit ähnlichem Primärenergieaufwand unterscheiden:

- Wärmeabgabe über Heizkörper, spez. Leistungsbedarf ca. 30 W/m²
- Wärmeabgabe über Heizkörper, spez. Leistungsbedarf 50-60 W/m²
- Wärmeabgabe über Fussbodenheizung (primär Flächenabhängig)
- Wärmeabgabe über Luftheizung, spez. Leistungsbedarf ca. 10 W/m²

4.4. Daten für SIA 2032

4.4.1 Wärmeerzeugungsanlagen

Die Daten für die Wärmeerzeugungsanlagen basieren primär auf den in [2] erhobenen Sachbilanzdaten. Es werden folgende zwei Typen von Wärmeerzeugungsanlagen unterschieden:

- Wärmepumpe mit Erdsonde (Erdsondenlänge: 20 m/kW_{th}). In den Tabellen ist ein Wert für die Erdwärmesonde ausgewiesen, zu dem der Wärmeerzeuger noch addiert werden muss (Grund: unterschiedliche Lebensdauer)
- Übrige Wärmeerzeugungsanlagen (Mittelwert aus 10 kW Gaskessel, 100 kW Ölkessel, 50 kW Holzpelletfeuerung und 100 kW Stückholzkessel)

In den Daten sind keine baulichen Aufwendungen wie z.B. Beton für Pelletlager oder die Tankvormauerung enthalten. Neben dem Wärmeerzeuger mit Kamin und Öltank (nur Ölfeuerung) wird auch ein Expansionsgefäß einbezogen. Der Datensatz enthält nur für den Stückholzkessel ein Speicher, da dieser sonst für den Heizungsbetrieb nicht zwingend notwendig ist. Der Warmwasserspeicher ist Teil der Sanitäranlage und wird daher hier nicht mit einbezogen. Die beiden Datensätze werden zusammen mit den unterschiedenen Datensätzen zur Wärmeverteilung für die folgenden drei Leistungsbedarfe berechnet:

- 10 W/m², 30 W/m², 50 W/m²

Folgende Resultate berechnen sich aus den beschriebenen Sachinventaren:

Tabelle 4.3 Resultate Wärmeerzeugungsanlage für SIA 2032, Herstellung + Entsorgung

Bewertungsmethode	Einheit Bezug: pro m ² EBF	Erdwärmesonde *)			Wärmeerzeuger (Mittelwert **)		
		10	30	50	10	30	50
spez. Leistungsbedarf	W/m²	10	30	50	10	30	50
Masse	kg/m ²	0.34	1.02	1.69	0.35	1.06	1.76
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	69	206	343	8.8	26.4	43.9
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/m ²	0.60	1.81	3.02	0.45	1.34	2.23
Primärenergiebedarf erneuerbar (ohne. Wasserkraft)	MJ/m ²	0.22	0.67	1.12	0.19	0.56	0.93
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/m ²	0.37	1.11	1.85	0.07	0.22	0.36
UBP 1997	UBP/m ²	6'308	18'925	31'542	1'657	4'972	8'287
Treibhauspotential	kg CO ₂ /m ²	3.8	11.4	19.0	0.53	1.60	2.67
UBP 2006	UBP/m ²	4'370	13'109	21'848	1'100	3'301	5'502

*) Für Wärmepumpen mit Erdwärmesonde ist zusätzlich zum Wärmeerzeuger die Erdwärmesonde einzurechnen, da die Graue Energie der Erdwärmesonde einen wesentlichen Einfluss hat.

**) Mittelwert aus 10 kW Gaskessel, 100 kW Ölkessel, 50 kW Holzpelletfeuerung und 100 kW Stückholzkessel; Beinhaltet Wärmeerzeuger, Kamin, Öltank (nur Ölfeuerung), Expansionsgefäß, Heizungsspeicher (nur Stückholzheizung)

Datenquelle: [2], eigene Abschätzungen und Ergänzungen

4.4.2 Wärmeverteilung und -abgabe

Die Sachbilanzdaten für die Wärmeverteilung und -abgabe basieren auf verschiedenen Untersuchungen, welche für diesen Bericht zusammengefasst, vereinheitlicht und wo sinnvoll parametrisiert wurden. Aufgrund der durchgeführten Analysen lassen sich grob folgende Gruppen (Wärmeverteilung und -abgabe) mit ähnlichem Primärenergieaufwand unterscheiden:

- Wärmeabgabe über Heizkörper, spez. Leistungsbedarf ca. 30 W/m²
- Wärmeabgabe über Heizkörper, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²
- Wärmeabgabe über Heizkörper, spez. Leistungsbedarf 10 W/m²
- Wärmeabgabe über Fussbodenheizung (primär Flächenabhängig)
- Wärmeabgabe über Luftheizung, spez. Leistungsbedarf ca. 10 W/m²

Tabelle 4.4 Resultate Wärmeverteilung und -abgabe für SIA 2032, Herstellung + Entsorgung

Bewertungsmethode	Einheit Bezug: pro m ² EBF	Luftheizung	Fussboden- heizung	Wärmeabgabe über Radiatoren		
				10	30	50
spez. Leistungsbedarf	W/m ²	10 *)	**)	10	30	50
Masse	kg/m ²	0.61	1.78	1.92	3.14	4.36
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	30	128	91	149	207
Primärenergiebedarf Wasser	MJ/m ²	0.56	3.42	2.31	3.79	5.26
Primärenergiebedarf erneuerbar (o. Wasser)	MJ/m ²	0.32	1.27	0.90	1.47	2.04
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/m ²	0.14	0.54	0.37	0.60	0.84
UBP 1997	UBP/m ²	2'231	6'176	7'072	11'573	16'073
Treibhauspotential	kg CO ₂ /m ²	1.72	8.57	5.50	9.00	12.49
UBP 2006	UBP/m ²	2'701	8'394	8'184	13'392	18'600

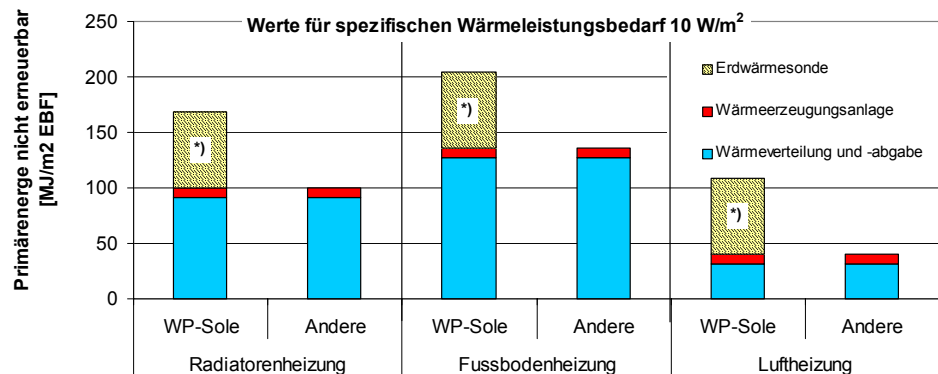
*) Luftheizung nur für Gebäude mit sehr tiefem Wärmeleistungsbedarf (10 W/m²)

***) Einfluss gemäss den ausgewerteten Daten primär Flächenabhängig; Einsatzbereich ca. 10-40 W/m²
Berechnung der Ökobilanzdaten inkl. 5-10% Mengenzuschlag für Verarbeitungsabfälle.
Datenquellen: [8], [9], [10], [13] eigene Abschätzungen und Ergänzungen

In den folgenden drei Abbildungen sind die Resultate zum nichterneuerbaren Primärenergieaufwand für die Wärmeerzeugungsanlage, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe für verschiedene spezifische Wärmeleistungsbedarfe dargestellt. Die Resultate werden zum einen für eine Wärmeerzeugungsanlage mit Wärmepumpe und Erdwärmesonde und zum andern mit einem Heizkessel (Mittelwert aus 10 kW Gaskessel, 100 kW Ölkessel, 50 kW Holzpelletfeuerung und 100 kW Stückholzkessel) dargestellt. Da die Erdwärmesonde in den Tabellen separat vom Wärmeerzeuger (Wärmepumpe) ausgewiesen wird, ist dieser Anteil jeweils in einer anderen Farbe und Schraffur markiert. Für die Wärmeabgabe werden folgende drei Systeme unterschieden:

- Wärmeabgabe über Heizkörper
- Wärmeabgabe über Fussbodenheizung
- Wärmeabgabe über Luftheizung (inkl. Badradiatoren ohne Lüftungsanlage)

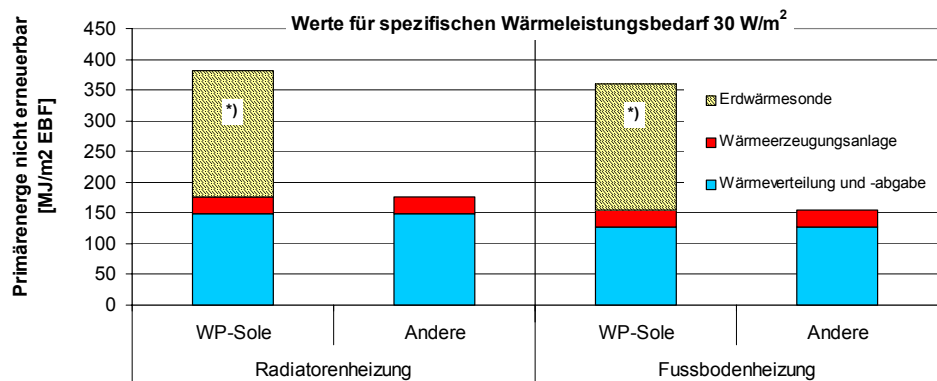
Abbildung 4.6 zeigt den nichterneuerbaren Primärenergieaufwand pro m^2 EBF für die Herstellung und Entsorgung der Wärmeerzeugungsanlage, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe für ein Gebäude mit einem spezifischen Wärmeleistungsbedarf von 10 W/m^2 .



WP-Sole: Wärmepumpe mit Erdsonde, Entzugsleistung der Erdsonde 33 W/m

Abbildung 4.6 Wärmeerzeugungsanlage und Abgabe, spezifischer Wärmeleistungsbedarf 10 W/m^2
 Datensätze für SIA 3032, Datensatz beinhaltet Herstellung und Entsorgung
 Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m^2 EBF
 *) Die Erdwärmesonde ist Teil der Wärmeerzeugungsanlage, wird aber aufgrund der längeren Lebensdauer als separater Wert dargestellt.

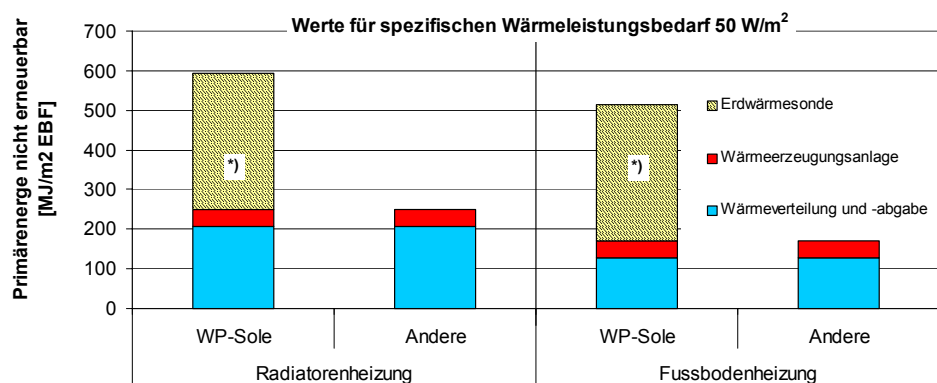
Abbildung 4.7 zeigt den nichterneuerbaren Primärenergieaufwand pro m^2 EBF für die Herstellung und Entsorgung der Wärmeerzeugungsanlage, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe für ein Gebäude mit einem spezifischen Wärmeleistungsbedarf von 30 W/m^2 . Eine Luftheizung ist für diesen spezifischen Wärmeleistungsbedarf nicht üblich und daher nicht dargestellt.



WP-Sole: Wärmepumpe mit Erdsonde, Entzugsleistung der Erdsonde 33 W/m

Abbildung 4.7 Wärmeerzeugungsanlage und Abgabe, spezifischer Wärmeleistungsbedarf 30 W/m^2
 Datensätze für SIA 3032, Datensatz beinhaltet Herstellung und Entsorgung
 Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m^2 EBF
 *) Die Erdwärmesonde ist Teil der Wärmeerzeugungsanlage, wird aber aufgrund der längeren Lebensdauer als separater Wert dargestellt.

Abbildung 4.8 zeigt den nichterneuerbaren Primärenergieaufwand pro m^2 EBF für die Herstellung und Entsorgung der Wärmeerzeugungsanlage, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe für ein Gebäude mit einem spezifischen Wärmeleistungsbedarf von 50 W/m^2 . Eine Luftheizung ist für diesen spezifischen Wärmeleistungsbedarf nicht üblich und daher nicht dargestellt.



WP-Sole: Wärmepumpe mit Erdsonde, Entzugsleistung der Erdsonde 33 W/m

Abbildung 4.8 Wärmeerzeugungsanlage und Abgabe, spezifischer Wärmeleistungsbedarf 50 W/m^2
 Datensätze für SIA 3032, Datensatz beinhaltet Herstellung und Entsorgung
 Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m^2 EBF
 *) Die Erdwärmesonde ist Teil der Wärmeerzeugungsanlage, wird aber aufgrund der längeren Lebensdauer als separater Wert dargestellt.

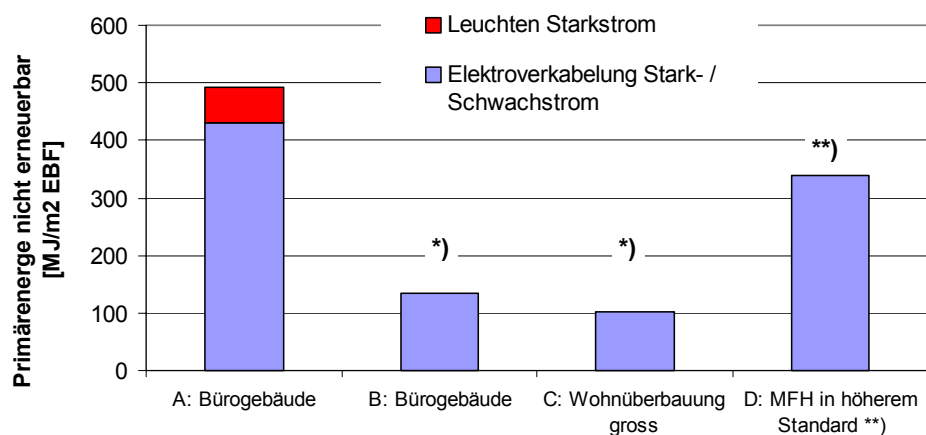
5. Elektroanlagen

Zu den Elektroanlagen waren nur drei Inventare von unterschiedlicher Vollständigkeit vorhanden ([8] und [9]). Um eine bessere Aussage zu ermöglichen wurden zusätzlich die Materialauszüge aus einem Mehrfamilienhaus Neubau (knapp Minergie Standard) ausgewertet [13].

In den Sachbilanzen werden zusätzlich 10% Verarbeitungsabfälle für Metalle und 5% für Kunststoffe eingesetzt.

Es zeigte sich, dass die Installationsdichte einen wichtigen Einfluss auf das Resultat ausübt. Nur in einem Gebäude waren Angaben zu den Leuchten enthalten. Diese Angabe wurde in Abbildung 5.1 separat aufgeführt, da die Leuchten oft zum Mieterausbau gehören und daher zum grossen Teil nicht in den Grundinstallationen enthalten sind. Da in den beiden mittleren Gebäuden in Abbildung 5.1 gemäss der Datenquelle div. Installationsbauteile nicht berücksichtigt wurden ist davon auszugehen, dass der Wert hier eher unterschätzt wird.

Es zeigt sich, dass die Werte für die nichterneuerbare Primärenergie der gesamten Elektroanlagen ohne Beleuchtungsinstallation zwischen 150 MJ/m² EBF (tief installiert) und bis über 500 MJ/m² EBF (hoch installiert) liegen wird.

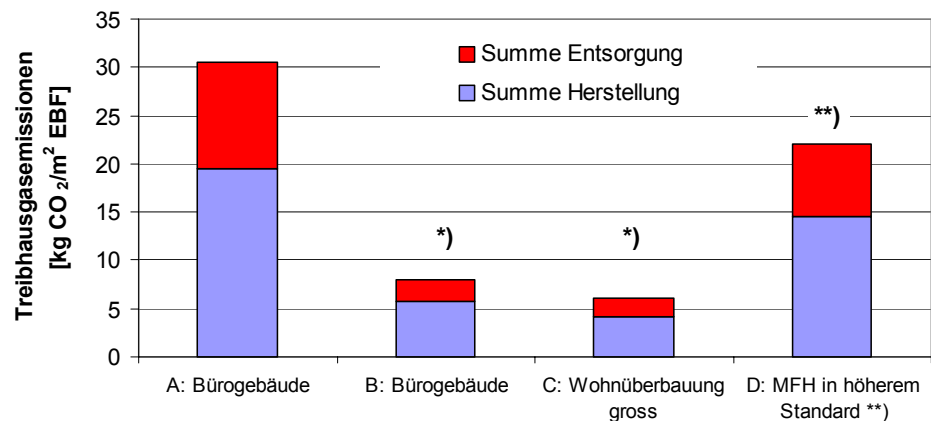


*) Inventar beinhaltet Kabel, Rohre, Kanäle, Fundamente der aber keine Installationen

***) Inventar beinhaltet alle relevanten Pos. Stark- / und Schwachstrom, keine Leuchten

Abbildung 5.1 Elektroanlagen; Auswertung der Inventardaten (Herstellung + Entsorgung)
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m² EBF
Datenbasis: [8], [9], [13]

Bei den Elektroanlagen hat die Entsorgung aufgrund des hohen Kunststoffanteils einen grösseren Einfluss als bei den anderen Haustechnikgewerken. Dabei wird entsprechend den Angaben in [16] für die Kabel von einem Recycling des Kupfers im Kabel und der Entsorgung der Kunststoffmaterialien in einer Kehrichtverbrennungsanlage ausgegangen. Dies zeigt sich insbesondere bei der Bewertung der Treibhausgasemissionen (siehe Abbildung 5.2).



*) Inventar beinhaltet Kabel, Rohre, Kanäle, Fundamente etc. aber keine Installationen

**) Inventar beinhaltet alle relevanten Pos. Stark- / und Schwachstrom, keine Leuchten

Abbildung 5.2 Elektroanlagen; Auswertung der Inventardaten (Herstellung + Entsorgung)
Bewertung: Treibhausgasemissionen; Bezug: pro m² EBF
Datenbasis: [8], [9], [13]

Tabelle 5.1 zeigt die Massenbilanzen und die Resultate zu den Elektroanlagen in tabellarischer Form:

Tabelle 5.1 Auswertung Elektroanlagen Massenbilanz und Resultate

Gebäude	Einheit	A: Bürogebäude	B: Bürogebäude	C: Wohn- überbauung gross	D: MFH in höhe- rem Standard
EBF	m ²	3088	4400	30800	1873
Massenbilanz in kg/m² EBF					
Kabel Starkstrom	kg/m ²	2.72	1.83	1.42	4.09
Anlagen Schwachstrom	kg/m ²	2.83	*)	*)	*)
Leuchten Starkstrom	kg/m ²	0.68	*)	*)	*)
Summe	kg/m ²	6.23	1.83	1.42	4.09
Umweltbelastung (Herstellung + Entsorgung) pro /m² EBF **)					
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	492	135	102	339
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/m ²	19.10	6.84	5.31	11.00
Primärenergiebedarf erneuerbar (ohne Wasserkraft)	MJ/m ²	7.03	2.07	1.56	4.18
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/m ²	6.79	2.27	1.79	4.00
UBP 1997	UBP/m ²	65'565	23'215	18'427	48'530
Treibhauspotential	kgCO ₂ /m ²	30.6	8.0	6.0	22.0
UBP 2006	UBP/m ²	143'815	62'647	51'494	101'849

*) Keine Angaben verfügbar

**) Berechnung der Ökobilanzdaten inkl. 10% Verarbeitungsabfälle für Metalle und 5% für Kunststoffe.

Datenquellen: [8], [9], [13]

Aufgrund der Resultate aus den Sachbilanzen ist für die Unterteilung der Elektroanlagen eine Aufteilung nach dem Installationsgrad sinnvoll. Im Bürogebäude A ist der Installationsgrad vermutlich relativ hoch, d.H. es sind viele Steckdosen und Datenanschlüsse zu verkabeln, was zu einem grossen Materialaufwand führt. Bei den Gebäuden B und C ist die Aussage schwieriger, da vermutet wird, dass nicht die komplette Elektroinstallation erfasst wurde. Es wird auch nicht unterschieden zwischen Starkstrom- und Schwachstrominstallationen. Im Gebäude D zeigte sich, dass auch in einem Wohngebäude in gehobenerem Standard durch eine starke Vernetzung mit Datenkabeln (Schwachstrom) und auch durch die Anzahl Anschlüsse (Steckdosen) beim Starkstrom der Materialaufwand in eine ähnliche Grössenordnung kommt wie bei einem Bürogebäude.

5.1. Daten für SIA 2032

Aus den Resultaten der Sachbilanzen wird für das Merkblatt SIA 2032 folgende Klassierung vorgeschlagen:

- Gebäude mit tiefem Installationsgrad: In etwa entsprechend Ausstattungswert 1 gemäss RAL-RG 678 für Wohngebäude [17] (Minimalstandard nach DIN 18015). In diese Kategorie fallen Wohngebäude (v.A. Mehrfamilienhäuser) ohne besondere Anforderungen bezüglich Anschlussausrüstung (Steckdosen etc.).
- Gebäude mit tiefem Installationsgrad: In etwa entsprechend Ausstattungswert 2 gemäss RAL-RG 678 für Wohngebäude. In diese Kategorie fallen moderne Wohngebäude und meist auch Reihen- / Einfamilienhäuser. Bürogebäude ohne besondere Ausstattung dürften ebenfalls in diese Kategorie zu liegen kommen.
- Gebäude mit hohem Installationsgrad: In diese Kategorie fallen Bürogebäude mit Server und Datenvernetzung, moderner Ausrüstung und fest eingebauten Leuchten in den Räumen. Auch Wohngebäude mit höherer Installationsdichte als Ausstattungswert 3 gemäss RAL-RG 678 dürften in diese Kategorie fallen.

Für Gebäude mit sehr hoher Installationsdichte (z.B. Banken, Versicherungen, IT) kann der nichterneuerbare Primärenergiebedarf noch höher liegen. Für diesen Gebäudetyp lagen jedoch keine Daten vor, sodass über die absolute Höhe der Grauen Energie dieser Kategorie keine Aussage gemacht wird.

Die Klassierung der verschiedenen Installationsgrade wurde auf Basis der Massenbilanzen von Gebäude D vorgenommen, wo eine Einordnung aufgrund der verfügbaren Daten möglich war. Dieses Gebäude wird im Bereich von Ausstattungswert 2-3 eingeordnet. Aufgrund der Unterschiede zwischen den Ausstattungswerten (Installationsgrad) wurde auf die entsprechende Massenbilanz zurückgerechnet. Als Basis für die korrigierten Massenbilanzen diente der Mittelwert aus den vier Inventaren mit folgender Anpassung:

- Tiefer Installationsgrad: 60% des Mittelwertes, ohne Leuchten
- Mittlerer Installationsgrad: 100% des Mittelwertes, ohne Leuchten
- Hoher Installationsgrad: 175% des Mittelwertes, inklusive Leuchten

Auf Basis der beschriebenen Aufteilung werden folgende Daten für die Elektroanlagen berechnet (siehe Tabelle 5.2 und Abbildung 5.3):

Dieser Unterteilungsvorschlag müsste aufgrund der schmalen Datenbasis noch durch die Analyse weiterer Gebäude bestätigt werden. Aus diesem Grund sind die für die Elektroanlagen erstellten Datensätze für das Merkblatt SIA 2032 mit Vorsicht zu bewerten.

Tabelle 5.2 Elektroanlagen nach Installationsgrad, Daten für SIA 2032; Resultate pro m² EBF

Gebäude	Einheit	Elektroanlagen, Tiefer Installationsgrad	Elektroanlagen, Mittlerer Installationsgrad	Elektroanlagen, Hoher Installationsgrad
Massenbilanz	kg/m²	1.93	3.22	6.32
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	151	252	501
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/m ²	5.7	9.6	20.7
Primärenergiebedarf erneuerbar (ohne Wasserkraft)	MJ/m ²	2.10	3.50	6.97
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/m ²	2.11	3.52	6.93
UBP 1997	UBP/m ²	22'281	37'136	72'182
Treibhauspotential	kgCO ₂ /m ²	9.4	15.7	31.3
UBP 2006	UBP/m ²	52'913	88'188	161'383

Berechnung der Ökobilanzdaten für Herstellung + Entsorgung inkl. 10% Verarbeitungsabfälle für Metalle bzw. 5% für Kunststoffe.

Datenquellen: [8], [9], [13], eigene Abschätzungen

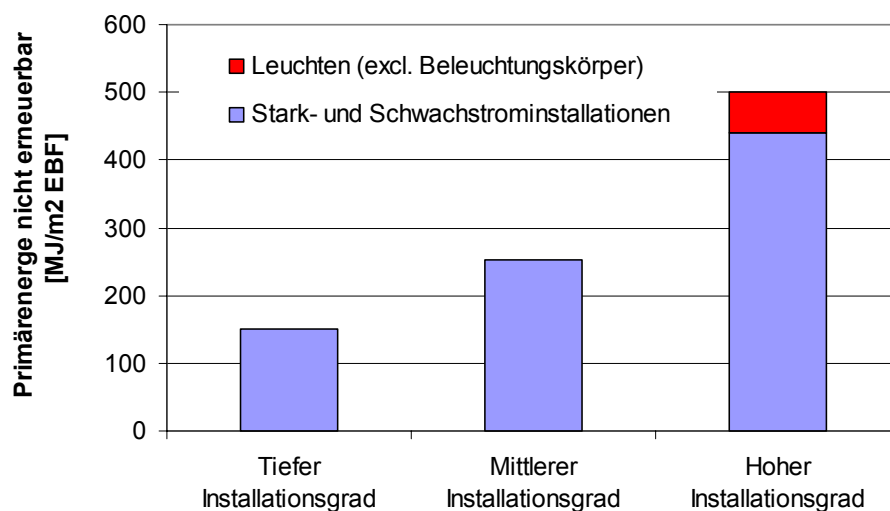


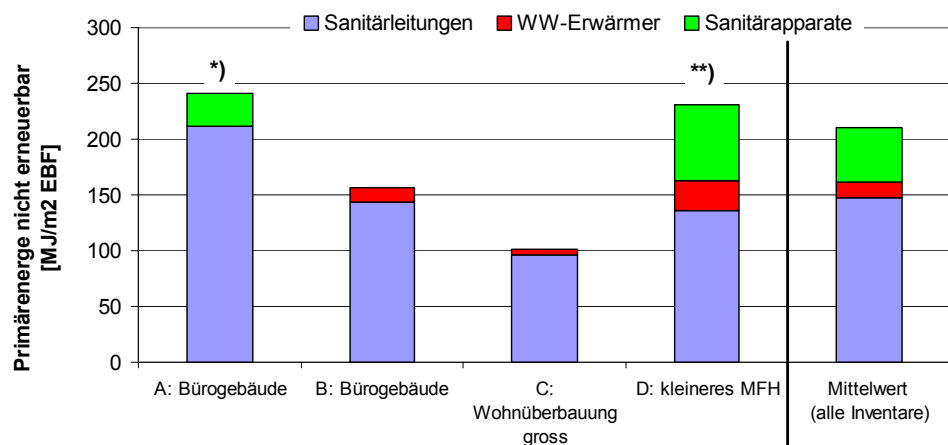
Abbildung 5.3 Elektroanlagen, Datensätze für SIA 3032 (Herstellung und Entsorgung)
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m² EBF

6. Sanitäranlagen

Zu den Sanitäranlagen waren vier Inventare von unterschiedlicher Vollständigkeit verfügbar. In den Inventaren für die Gebäude A und D waren neben den Leitungen (Kaltwasser, Warmwasser, Abwasser) auch die Sanitärapparate erfasst ([8] und [14]). In keinem der Inventare wurden die Kücheneinbauten berücksichtigt (Lieferumfang Küchenbauer). Im Inventar des Gebäudes D war der Warmwasserspeicher nicht berücksichtigt worden [14]. Für dieses Inventar wurde zur Vollständigkeit ein Warmwasserspeicher von üblicher Grösse⁵ mit den Daten aus ecoinvent [2] ergänzend bilanziert. Das Gebäude B besitzt eine dezentrale Warmwasseraufbereitung [8]. Daher sind keine separaten Daten für den Warmwassererwärmer ausgewiesen.

Die Massenbilanzen (verbaute Mengen) wurden für die Herstellung der Einzelkomponenten zusätzlich mit 10% Verarbeitungsabfälle für Metalle und 5% für Kunststoffe oder Sanitärkeramik ergänzt.

In Abbildung 6.1 ist der nichterneuerbare Primärenergiebedarf (Herstellung und Entsorgung) für die Verrohrung, Sanitärapparate und zentrale Warmwasserspeicher separat aufgeführt. Es zeigt sich, dass die Leitungen mit etwa 100-200 MJ/m² EBF den Hauptteil der Belastungen ausmachen. Die Belastung aus den Sanitärapparaten ist stark vom Ausrüstungsstandard abhängig. Wie erwartet, liegt dieser Wert beim Bürogebäude pro m² EBF deutlich tiefer als bei dem Wohngebäude (kleineres MFH). Bei Wohngebäuden mit hohem Ausbaustandard (mehrere WC/ Badezimmer pro Wohnung) dürfte dieser Wert noch deutlich höher sein (vermutlich 250 MJ/m² EBF oder höher).



*) Gebäude mit dezentrale WW-Erwärmung (in Daten Sanitärleitungen enthalten)

**) Warmwassererwärmer ergänzt (in Basisdatenquelle nicht enthalten)

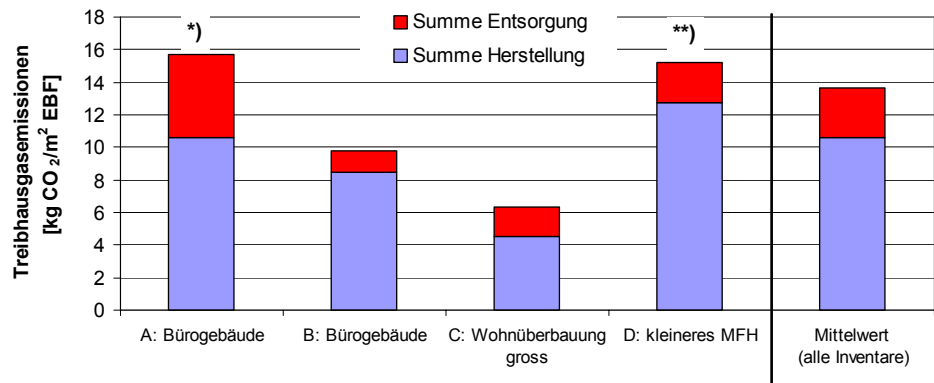
Abbildung 6.1 Sanitäranlagen; Auswertung der Inventardaten (Herstellung + Entsorgung)
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m² EBF
Datenbasis: [8], [9], [14]

⁵ Pro Wohnung wurde ein Speichervolumen von 180 Liter angesetzt.

Die Werte für die nichterneuerbare Primärenergie der gesamten Sanitäranlagen werden zwischen gut 150 MJ/m² EBF (grosses Bürogebäude) und bis über 250 MJ/m² EBF (Wohngebäude mit höherem Ausbaustandard) liegen. Im Mittel über die untersuchten Gebäude liegt der Wert bei gut 200 MJ/m² EBF.

Zu den hohen Werten de Bürogebäudes A ist anzumerken, dass in diesem Gebäude für ein Bürogebäude dieser Grösse untypisch viele Sanitärsteigzonen bestehen, was den hohen Wert der Primärenergie für die Sanitärleitungen erklärt.

Durch den teilweise hohen Anteil an Kunststoffen bei den Sanitäranlagen (v.A. Gebäude A und C) hat die Entsorgung in diesem Falle vor allem bei der Bewertung der Treibhausgasemissionen (siehe Abbildung 6.2) einen deutlichen Einfluss. Bei der nichterneuerbaren Primärenergie und der Bewertung mit Ecoindikator 99 (H/A) ist die Entsorgung von untergeordneter Bedeutung (0-4% der Gesamtbelastung).



*) Gebäude mit dezentrale WW-Erwärmung (in Daten Sanitärleitungen enthalten)
 **) Warmwassererwärmer ergänzt (In Basisdatenquelle nicht enthalten)

Abbildung 6.2 Sanitäranlagen; Auswertung der Inventardaten (Herstellung + Entsorgung)
 Bewertung: Treibhausgasemissionen; Bezug: pro m² EBF
 Datenbasis: [8], [9], [14]

Tabelle 6.1 zeigt die Massenbilanzen und Tabelle 6.2 die Resultate zu den Sanitäranlagen in tabellarischer Form:

Tabelle 6.1 Auswertung Sanitäranlagen Massenbilanz in kg/m² EBF

Gebäude	Einheit	A: Bürogebäude	B: Bürogebäude	C: Wohnüberbauung gross	D: kleineres MFH
EBF	m ²	3088	4400	30800	636
Sanitärapparate	kg/m ²	0.45	*)	*)	0.67
Sanitärleitungen	kg/m ²	2.83	3.91	1.1	1.87
Wassererwärmer	kg/m ²	0 **)	0.12	0.06	0.56 ***)
Summe	kg/m ²	3.29	4.04	1.15	3.11

*) Keine Angaben verfügbar
 **) kein zentraler Warmwasserspeicher (dezentrale Warmwasseraufbereitung)
 ***) Warmwasserspeicher mit 900l Volumen eingesetzt (nicht in Datenquelle enthalten)
 Datenquellen: [8], [9], [14]

Tabelle 6.2 Auswertung Sanitäranlagen Resultate zur Umweltbelastung pro m² EBF

Gebäude	Einheit	A: Bürogebäude	B: Bürogebäude	C: Wohn- überbauung gross	D: kleineres MFH
EBF	m²	3088	4400	30800	636
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	240	156	102	230
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/m ²	5.04	2.97	3.7	8.3
Primärenergiebedarf erneuerbar (ohne Wasserkraft)	MJ/m ²	2.06	2.05	1.33	3.64
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/m ²	1.54	0.79	0.76	1.94
UBP 1997	UBP/m ²	15'701	11'856	6'984	20'478
Treibhauspotential	kgCO ₂ /m ²	15.7	9.8	6.3	15.2
UBP 2006	UBP/m ²	25'399	17'983	7'837	25'121

Berechnung der Ökobilanzdaten für Herstellung + Entsorgung inkl. 10% Verarbeitungsabfälle für Metalle bzw. 5% für Kunststoffe und Sanitärkeramik

Datenquellen: [8], [9], [14]

Die Analyse der Resultate zeigt ein starker Einfluss der verwendeten Materialien. Im Inventar des Bürogebäudes wurde ein deutlich höherer Anteil Metallen (v.A. Stahl) eingesetzt, während im Wohngebäude vor allem Keramik und Kunststoffe eingesetzt wurden (Badewanne aus PMMA). Bei der Verwendung anderer Materialien kann die Umweltbelastung der Sanitärapparate in Wohngebäuden (insbesondere bei der Bewertung mit UBP) deutlich ansteigen (bis ca. Faktor 2).

Die Umweltbelastung für die Sanitärleitungen ist neben der Gebäudegrösse auch in starkem Masse von der Gebäudekonzeption (Schacht- und Verteilkonzept) und der Materialisierung abhängig. Aus diesem Grund sind die für die Sanitäranlagen mit der verfügbaren Datenbasis erstellten Datensätze für das Merkblatt SIA 2032 mit Vorsicht zu bewerten.

6.1. Daten für SIA 2032

Für eine Unterteilung der Sanitäranlagen ist eine Aufteilung nach Nutzung (Wohnen / Büro) sinnvoll. Typischerweise sind bei Bürogebäuden einer Sanitärzone 200 m² bis über 800 m² Fläche zugeordnet, während bei Wohngebäuden (Mehrfamilienhäuser) dieser Wert eher bei 50 m² bis 80 m² liegt. Dieser grosse Unterschied bezüglich den Flächen ist jedoch nicht direkt in den Massenbilanzen der ausgewerteten Inventare ersichtlich.

Für die Umsetzung der Daten in die beiden Nutzungstypen Wohnen und Büro, wurde wie folgt vorgegangen:

- Wohngebäude: Das Gebäude D wurde aufgrund der Grösse, Anzahl Sanitärzonen und Apparate als typisches Wohngebäude angesehen. Daher wurden die Daten vom Gebäude D für den in SIA 2032 abgebildeten Wert verwendet.

- Bürogebäude: Die Daten von den Gebäuden (A und B) wurde gemittelt verwendet. Da das Bürogebäude A bezüglich Anzahl Sanitärzonen und Apparate pro Geschossfläche eher untypisch ist (ca. Faktor 2-3 höher als ein Mittelwert aus 6 Gebäuden⁶) wurde die Massenbilanz vom Gebäude A um 40% reduziert (Abschätzung des Einflusses der Anzahl Sanitärzonen auf die Massenbilanz).

Auf Basis der beschriebenen Aufteilung werden folgende Daten für die Sanitäranlagen berechnet (siehe Tabelle 6.3 und Abbildung 6.3):

Tabelle 6.3 Sanitäranlagen nach Nutzungstyp, Daten für SIA 2032; Resultate pro m² EBF

Gebäude	Einheit	Sanitäranlagen, Bürogebäude *)	Sanitäranlagen, Wohngebäude *)
Massenbilanz	kg/m²	3.14	3.11
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/m ²	159	230
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/m ²	3.48	8.28
Primärenergiebedarf erneuerbar (ohne Wasserkraft)	MJ/m ²	1.76	3.64
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/m ²	1.01	1.94
UBP 1997	UBP/m ²	12'064	20'478
Treibhauspotential	kgCO ₂ /m ²	10.1	15.2
UBP 2006	UBP/m ²	19'280	25'122

Berechnung der Ökobilanzdaten für Herstellung + Entsorgung inkl. 10% Verarbeitungsabfälle für Metalle bzw. 5% für Kunststoffe und Sanitärkeramik.

*) Werte sind stark von der Materialisierung und vom Schacht- und Verteilkonzept abhängig.

Datenquellen: [8], [9], [14]

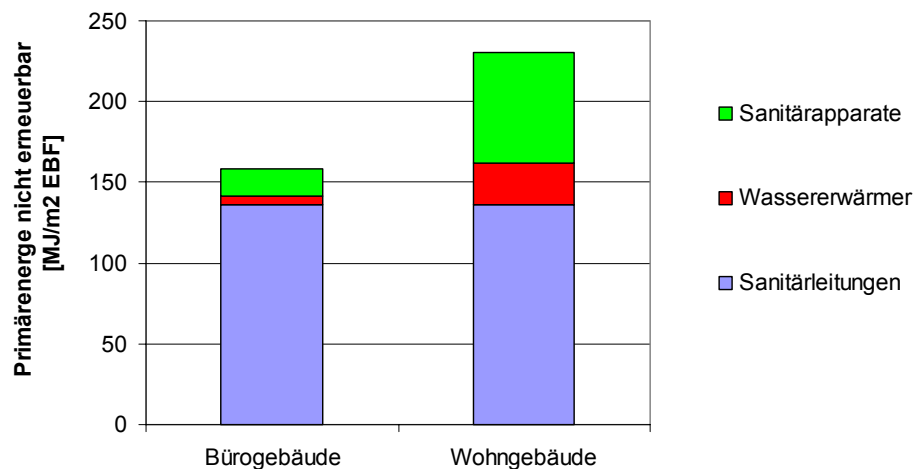


Abbildung 6.3 Sanitäranlagen, Datensätze für SIA 3032 (Herstellung und Entsorgung)
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar; Bezug: pro m² EBF

⁶ Typische Bürogebäude mit 2'300 bis 27'000 m² EBF

7. Thermische Solaranlagen und Photovoltaikanlagen

7.1. Thermische Solaranlagen

Im Vergleich mit den im Kapitel 4.2 beschriebenen Wärmeerzeugungsanlagen ist es von Interesse, welche Umweltbelastung für die Herstellung und Entsorgung Solaranlagen bezogen auf 1 m² Kollektorfläche aufweisen. Für diese Betrachtung werden die in der ökologischen Baustoffliste [1] aufgeführten thermischen Solaranlagen untersucht. Die verwendeten Umrechnungsgrössen für den Bezug auf 1 m² Kollektorfläche sind in Tabelle 7.1 dokumentiert.

Tabelle 7.1 Umrechnungsgrössen für die untersuchten thermischen Solaranlagen

Anlagebezeichnung	Bezeichnung (in ökologischer Baustoffliste [1])	Kollektor [m ² *)	EBF [m ² **]
EFH, Warmwasser, Flachkollektoranlage	Flachkollektoranlage, Einfamilienhaus, Warmwasserspeicher	4	200
MFH, Warmwasser, Flachkollektoranlage	Flachkollektoranlage, Mehrfamilienhaus, Warmwasserspeicher	58.3	2500
EFH, Warmwasser und Heizung, Flachkollektoranlage	Flachkollektoranlage, Einfamilienhaus, Wärmespeicher	12.3	200
EFH, Warmwasser und Heizung, Röhrenkollektoranlage	Vakuumröhrenkollektoranlage, Einfamilienhaus, Wärmespeicher	10.5	200

*) Aus Inventardaten [2]

**) Eingesetzte Werte entsprechen einer typischen Gebäudegrösse (EFH) bzw. Auslegung (MFH)

Die Inventardaten beinhalten neben den Kollektoren auch die notwendigen Warmwasser- oder Solarspeicher, die Leitungen, Dämmungen und Pumpen.

Abbildung 7.1 zeigt die nichterneuerbare Primärenergie für Herstellung und Entsorgung der betrachteten Solaranlagen. Die Daten für die weiteren Bewertungsmethoden sind aus Tabelle 7.2 ersichtlich.

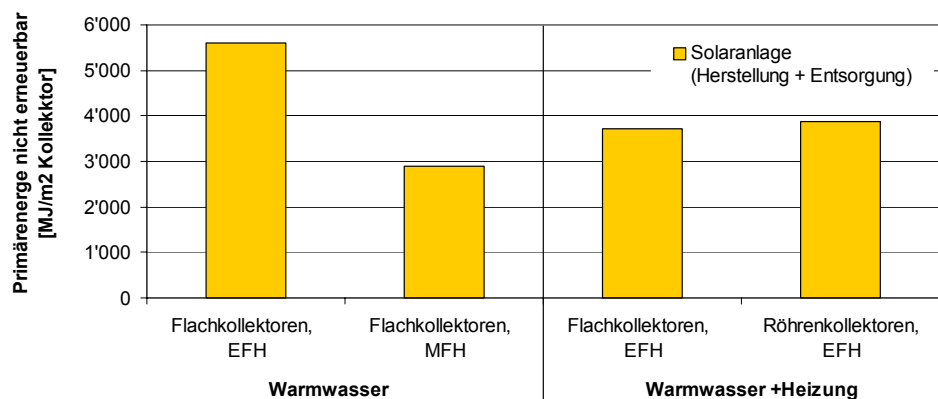


Abbildung 7.1 Solaranlagen; Auswertung der Inventardaten; Bezug: pro m² Kollektorfläche
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar für Herstellung und Entsorgung
Datenquelle: [1], [2]

Tabelle 7.2 Resultate Solaranlagen, Herstellung + Entsorgung; Bezug: pro m² Kollektorfläche

Bewertungsmethode	Bezug: pro m ² Kollektorfläche	Warmwasser, EFH *)	Warmwasser, MFH *)	WW + Heizung, EFH **)	WW+ Heizung, EFH ***)
Primärenergiebedarf nicht-erneuerbar	MJ/m ²	5'615	2'882	3'708	3'887
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/m ²	344	212	248	142
Primärenergiebedarf erneuerbar (o. Wasserkraft)	MJ/m ²	227	91	155	177
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/m ²	50.2	26.4	32.3	32.3
UBP 1997	UBP/m ²	583'825	306'758	381'837	383'619
Treibhauspotential	kg CO ₂ /m ²	345	179	229	235
UBP 2006	UBP/m ²	792'341	464'032	540'920	551'036

*) Anlagen für Warmwassererwärmung mit Flachkollektoren

**) Anlage für Warmwassererwärmung und Heizungsunterstützung mit Flachkollektoren

***) Anlage für Warmwassererwärmung und Heizungsunterstützung mit Röhrenkollektoren

Grau hinterlegte Anlagenkonfiguration für Merkblatt SIA 2032 verwendet; Datenquelle: [1]

Die in Tabelle 7.2 grau hinterlegten Datensätze werden im SIA Merkblatt 2032 aufgeführt (Bezugsgrösse: m² Kollektorfläche).

Im weiteren kann es von Interesse sein, welche Umweltbelastung für die Herstellung und Entsorgung Solaranlagen für eine typische Anwendung bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche auftreten. Damit die Umweltbelastung auf 1 m² Energiebezugsfläche bezogen werden kann, müssen einige Festlegungen für dies Umrechnung getroffen werden. Diese Festlegungen sind in Tabelle 7.1 dokumentiert. Abbildung 7.2 zeigt die nichterneuerbare Primärenergie für Herstellung und Entsorgung der betrachteten Solaranlagen bezogen auf die Energiebezugsfläche des Gebäudes. Die Daten für die weiteren Bewertungsmethoden sind aus Tabelle 7.3 ersichtlich.

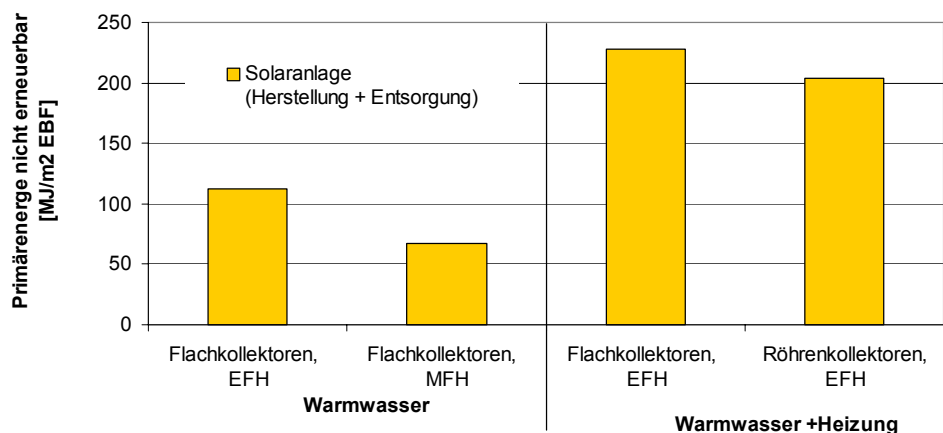


Abbildung 7.2 Solaranlagen; Auswertung der Inventardaten; Bezug: pro m² EBF
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar für Herstellung und Entsorgung
Datenquelle: [1]

Tabelle 7.3 Resultate Solaranlagen, Herstellung + Entsorgung; Bezug: pro m² EBF

Bewertungsmethode	Bezug: pro m ² EBF	Warm- wasser, EFH *)	Warm- wasser, MFH *)	WW + Heizung, EFH **)	WW+ Heizung, EFH ***)
Primärenergiebedarf nicht-erneuerbar	MJ/m ²	112	67	228	204
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/m ²	6.89	4.94	15.27	7.46
Primärenergiebedarf erneuerbar (o. Wasserkraft)	MJ/m ²	4.53	2.13	9.51	9.31
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/m ²	1.00	0.61	1.99	1.69
UBP 1997	UBP/m ²	11'677	7'154	23'483	20'140
Treibhauspotential	kg CO ₂ /m ²	6.90	4.18	14.11	12.35
UBP 2006	UBP/m ²	15'847	10'821	33'267	28'929

*) Anlagen für Warmwassererwärmung mit Flachkollektoren

**) Anlage für Warmwassererwärmung und Heizungsunterstützung mit Flachkollektoren

***) Anlage für Warmwassererwärmung und Heizungsunterstützung mit Röhrenkollektoren

Datenquelle: [1], sowie eigene Abschätzungen (Bezugsfläche)

7.2. Photovoltaikanlagen

Bei den Photovoltaikanlagen kann im Gegensatz zu den Solaranlagen kein typischer Wert pro m² Energiebezugsfläche angegeben werden, da die Installierbare Leistung vielmehr von der Dachfläche und dem Modultyp und nicht von der Energiebezugsfläche abhängig ist. Die Umweltbelastung wird sinnvollerweise auf die Peakleistung (kWp) der Anlage bezogen. Folgende sechs Anlagentypen werden als typische Beispiele für Photovoltaikanlagen aus dem Datenbestand von ecoinvent [2] dargestellt (siehe Tabelle 7.4).

Tabelle 7.4 Getroffene Festlegungen für untersuchte Photovoltaikanlagen

Anlage	Bezeichnung (in ecoinvent [2])	Leistung [kWp] *)	Fläche PV [m ²] *)	ca. benötigte Dachfläche [m ²] **)
Flachdach, polykristallin	3kWp Flachdachanlage, multi-Si, auf Dach	3	23.5	54
Schrägdach, angebaut, polykristallin	3kWp Schrägdachanlage, multi-Si, Paneel, aufgesetzt, auf Dach	3	23.5	27
Schrägdach, integriert, polykristallin	3kWp Schrägdachanlage, multi-Si, laminiert, integriert, auf Dach	3	23.5	54
Flachdach, monokristallin	3kWp Flachdachanlage, single-Si, auf Dach	3	22.1	54
Schrägdach, angebaut, monokristallin	3kWp Schrägdachanlage, single-Si, Paneel, aufgesetzt, auf Dach	3	22.1	54
Schrägdach, integriert, monokristallin	3kWp Schrägdachanlage, single-Si, laminiert, integriert, auf Dach	3	22.1	27

*) Aus Inventardaten [2]

**) Eingesetzte Werte entsprechen einer typischen Dachbelegung (9m² bzw. 18m² pro kWp Leistung)

Die Inventardaten beinhalten neben den Kollektoren auch die notwendigen Unterkonstruktionen (Aufständering), die Leitungen und den Wechselrichter. Abbildung 7.3 zeigt die nichterneuerbare Primärenergie für Herstellung und Entsorgung der

betrachteten Photovoltaikanlagen. Die Daten für die weiteren Bewertungsmethoden sind bezogen auf die installierte Leistung in Tabelle 7.5 dargestellt.

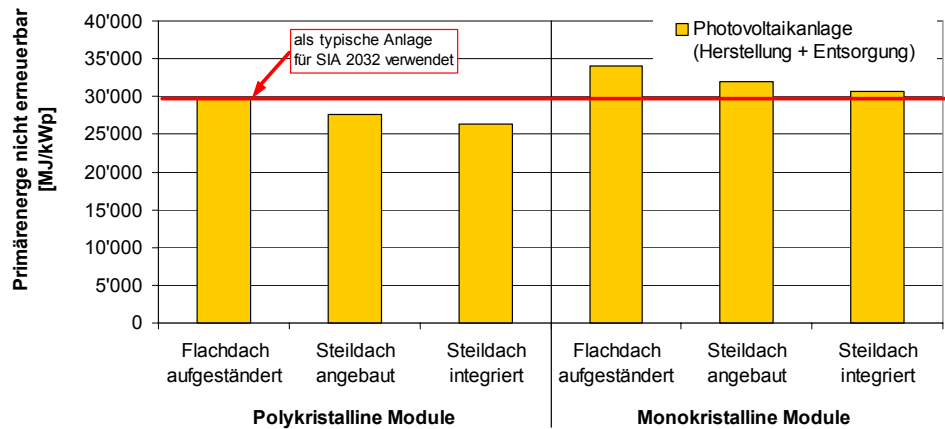


Abbildung 7.3 Photovoltaikanlagen; Auswertung der Inventardaten; Bezug: pro kW_p Anlagenleistung
Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar für Herstellung und Entsorgung
Datenquelle: [2]

Tabelle 7.5 Resultate Photovoltaikanlagen, Herstellung + Entsorgung; Bezug: pro kW_p

Bewertungsmethode	Bezug: pro kW _p	Polykristalline PV-Module			Monokristalline PV-Module		
		Flachdach	Steildach, angebaut	Steildach, integriert	Flachdach	Steildach, angebaut	Steildach, integriert
Modulfläche	m ² / kWp	7.8	7.8	7.8	7.4	7.4	7.4
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/ kWp	29'771	27'602	26'283	34'003	31'947	30'706
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/ kWp	4'271	4'108	3'752	3'997	3'844	3'509
Primärenergiebedarf erneuerbar (o. Wasserkraft)	MJ/ kWp	813	819	776	859	865	823
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/ kWp	137	128	120	142	134	127
UBP 1997	UBP/ kWp	2'011'100	1'927'300	1'781'500	2'243'900	2'163'900	2'026'833
Treibhauspotential	kg CO ₂ / kWp	1'839	1'690	1'559	2'031	1'889	1'766
UBP 2006	UBP/m ²	2'960'089	2'852'260	n.V.	n.V.	n.V.	n.V.

*) Typische Anlagenkonfiguration mit mittlerer Belastung: Für Merkblatt SIA 2032 verwendet.
Datenquelle: [2]

Der in *Tabelle 7.5* grau hinterlegte Datensatz wurde als typischer Fall für eine Photovoltaikanlage im SIA Merkblatt 2032 aufgeführt (Bezugsgrösse: kWp).

Im weiteren kann es von Interesse sein, welche Umweltbelastung für die Herstellung und Entsorgung von Photovoltaikanlagen bezogen auf 1 m² Modulfläche auftreten. Diese Festlegungen zu den für die verschiedenen Technologien massgebenden Flächenkennwerte sind in *Tabelle 7.4* dokumentiert. Die Daten bezogen auf 1 m² Modulfläche sind jedoch stark von der eingesetzten Technologie und der Modulgüte abhängig.

Abbildung 7.4 zeigt die nichterneuerbare Primärenergie für Herstellung und Entsorgung der betrachteten Photovoltaikanlagen bezogen auf die Modulfläche der

Anlage. Die Daten für die weiteren Bewertungsmethoden sind aus Tabelle 7.6 ersichtlich.

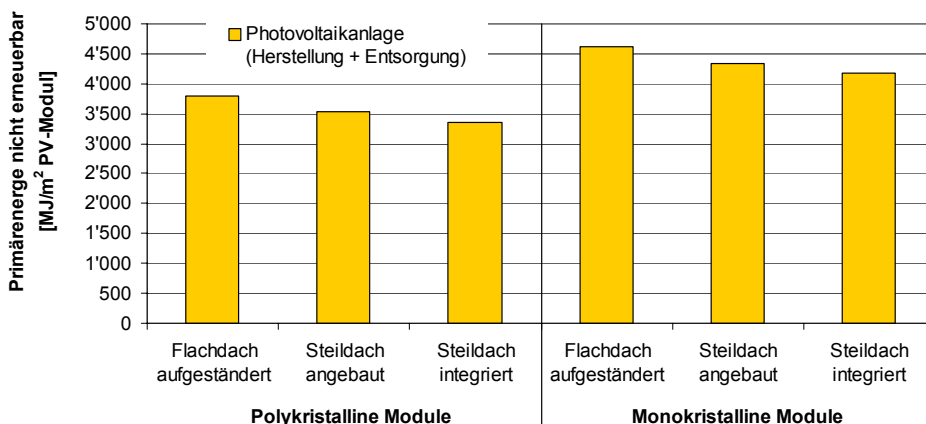


Abbildung 7.4 Photovoltaikanlagen; Auswertung der Inventardaten; Bezug: pro m² Modulfläche
 Bewertung: Primärenergiebedarf nichterneuerbar für Herstellung und Entsorgung
 Datenquelle: [2]

Tabelle 7.6 Resultate Photovoltaikanlagen, Herstellung + Entsorgung; Bezug: pro m² Modulfläche

Bewertungsmethode	Bezug: pro m ² Modulfläche	Polykristalline PV-Module			Monokristalline PV-Module		
		Flachdach	Steildach, angebaut	Steildach, integriert	Flachdach	Steildach, angebaut	Steildach, integriert
Anlagenleistung (Peak)	Wp/ m ²	128	128	128	136	136	136
Primärenergiebedarf nichterneuerbar	MJ/ kWp	3'805	3'528	3'359	4'622	4'342	4'174
Primärenergiebedarf Wasserkraft	MJ/ kWp	546	525	480	543	522	477
Primärenergiebedarf erneuerbar (o. Wasserkraft)	MJ/ kWp	104	105	99	117	118	112
Ecoindikator 99 (H/A)	Pt/ kWp	17.5	16.3	15.4	19.3	18.2	17.2
UBP 1997	UBP/ kWp	257'021	246'311	227'677	305'002	294'128	275'497
Treibhauspotential	kg CO ₂ / kWp	235	216	199	276	257	240
UBP 2006	UBP/m ²	378'302	364'522	n.V.	n.V.	n.V.	n.V.

Datenquelle: [2]

8. Literatur

- [1] Althaus H.-J., Lehmann M., Kellenberger D. (2008), Ökologische Baustoffliste (v2.0), Empa Abteilung Technologie und Gesellschaft, Dübendorf, 2008. Online-Version unter: www.empa.ch
- [2] Datenbank ecoinvent Datenbestand 2.01 (2008), Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Online-Version unter: www.ecoinvent.ch
- [3] IPCC (2001), Technical Summary of the Working Group I Report; Co-ordinating Lead Authors: D.L. Albritton, L.G. Meira Filho. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Online-Version unter: www.ipcc.ch/pub/reports.htm
- [4] Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hischier R., Hellweg S., Humbert S., Köllner T., Loerincik, Y., Margni M. and Nemecek T. (2007), Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH. Online-Version unter: www.ecoinvent.ch
- [5] Goedkoop M., Spriensma R. (2001), The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report, Third revised edition, PRé Consultants B.V., Amersfoort (NL)
- [6] Frischknecht R., Steiner R., Jungbluth N. (2008), Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Bundesamt für Umwelt (BAFU)/ÖBU, Schweizerische Vereinigung für ökologisch bewusste Unternehmungsführung, Bern
- [7] Hässig W., Primas A. (2004), Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich - Eine Praxisnahe Untersuchung mit Hinweisen zu Planung und Bau von Wohnungslüftungsanlagen, ausgearbeitet durch Basler & Hofmann AG, Bundesamt für Energie (BFE), Bern
- [8] Lalive d'Épinay A. (2000), Die Umweltverträglichkeit als eine Determinante des architektonischen Entwurfs, Diss ETH Nr. 13610, Zürich
- [9] Baumann T., Itchner L. (1998), Umweltrelevanz der Haustechnik - Eine Entscheidungsgrundlage, Untersuchung im Rahmen des IEA BCS Annex 31: Energy Related Environmental Impact of Buildings, Amstein + Walther Ingenieure AG, Zürich
- [10] Lalive d'Épinay A., Primas A. (2004), Ökologische Optimierung von Solargebäuden über deren Lebenszyklus, Schlussbericht, IEA SHC Task 28 / EC BCS Annex 38 Sustainable Solar Housing, Basler & Hofmann AG im Auftrag des Bundesamtes für Energie
- [11] Flückiger B., Wanner H-U., Lüthy P. (1997), Mikrobielle Untersuchung von Luftansaug-Erdregistern, ETH Zürich Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Zürich
- [12] Fontana A., Hartmann P. (1996), Graue Energie für Lüftungsanlagen, TWI Abteilung für Energie, Winterthur
- [13] Primas A. (2008), Auswertung Materialbilanz – Lüftungs- und Elektrogewerke für zwei Wohnüberbauungen mit 8-10 Wohnungen (nicht publiziert), Basler & Hofmann, Zürich

- [14] Egli C., Fiechter R., Lehner R. (1997), Graue Energie der Sanitärinstallationen beim Umbau des Mehrfamilienhauses an der Mutschellenstrasse 103 in Zürich, Semesterarbeit, TWI Abteilung für Energie, Winterthur
- [15] FM Monitor (2006), FM Monitor 2006, Trendanalyse FM-Markt und aktuelle Immobilien Kennzahlen, pom+ Consulting AG, Zürich
- [16] Hirsch R., Classen M., Lehmann M. and Scharnhorst W. (2007), Life cycle inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal.ecoinvent report No. 18, v2.0. Empa / Technology & Society Lab, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH. Online-Version unter: www.ecoinvent.ch
- [17] Ausstattungsrichtlinie RAL-RG 678, Elektrische Anlagen in Wohngebäuden – Anforderungen, RAL-Schriften Ausgabe: 2004-09