Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung

Schlussbericht, 28.01.2021

SYGREN

Systemkennwerte Graue Energie Gebäudetechnik

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts
HOCHSCHULE
LUZERN
Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik
FH Zentralschweiz

Auftraggeber:
Bundesamt für Energie BFE
Forschung und Entwicklung
3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:
Amt für Hochbauten der Stadt Zürich AHB
Fachstelle Nachhaltiges Bauen
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen

Auftragnehmer:
Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE
Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw
www.hslu.ch

aardeplan ag, Architekten ETH SIA
Mühlegasse 18e, 6340 Baar
www.aardeplan.ch

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW
Life Sciences und Facility Management, Forschungsgruppe Ökobilanzierung
Grüental, 8820 Wädenswil
www.zhaw.ch

Autoren:
Davide Bionda, IGE, Hochschule Luzern, davide.bionda@hslu.ch
Gianrico Settembrini, Hochschule Luzern, gianrico.settembrini@hslu.ch
Silvia Domingo, IGE, Hochschule Luzern, silvia.domingo@hslu.ch

Weitere Projektbeteiligte:
Heike Zeifang (aardeplan ag), René Itten (ZHAW), Matthias Stucki (ZHAW)

Begleitgruppe:
Rolf Moser, Bundesamt für Energie BFE
Heinrich Gugerli, Gugerli Dolder GmbH
Katrin Pfäffli, Bürogemeinschaft Preisig Pfäffli
Rolf Frischknecht, Treeze GmbH
Annick Lalive d'Epinay, AHB Stadt Zürich

BFE-Bereichsleitung: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
BFE-Programmleitung: Rolf Moser, moser@enerconom.ch
BFE-Vertragsnummer: SI/501466-01

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

Bundesamt für Energie BFE, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern,Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Zusammenfassung

Diverse Sachbilanzstudien belegen, dass die Graue Energie der gebäudetechnischen Anlagen ein Viertel bis ein Drittel der gesamten Grauen Energie eines Neubaus betragen kann. Bis dato sind aber keine Werkzeuge verfügbar, welche für eine Optimierung der Grauen Energie der Gebäudetechnik in der frühen Projektierungsphase herangezogen werden können. Es besteht zudem generell ein Defizit an verwendbaren Ökobilanzdaten.

Hauptziel dieser Studie war die Ausweitung der vorhandenen Entscheidungsgrundlagen für deren Verwendung ab der Vorprojektphase eines Bau- oder gegebenenfalls Renovationsprojektes. Folgende Fragen standen im Vordergrund: Wie gross ist das Potential für eine Reduktion der Grauen Energie in Gebäudetechniksystemen? In welchen Gewerken, ist dieses Potential am grössten?

Zu diesem Zweck wurden Kennwerte der Grauen Energie für die Gebäudetechnikgewerke Heizung, Lüftung, Sanitär und Elektro ausgearbeitet. Diese wurden sowohl für Gesamtsysteme («Systemkennwerte», z.B. für eine Heizungsanlage mit Sole/Wasser Wärmepumpe und Erdwärmesonde) als auch für Systemkomponenten («Komponentenkennwerte», z.B. für Wärmepumpen verschiedener Leistungen) dargestellt. Der Fokus lag bei Gebäudetechniksystemen, welche im Wohnungs-, Verwaltungs- und Schulbau üblich und verbreitet sind. Die Kennwerte wurden primär aus bereits vorliegenden Sachbilanzstudien abgeleitet. Zur Verfügung standen Daten von dreizehn Wohnbauten, sechs Bürobauten, drei Schulgebäuden und drei Altersheimen. Zusätzliche, anwendbare Kennwerte wurden mithilfe einer Literaturrecherche mit Schwerpunkt auf Publikationen aus der Schweiz und Europa, ermittelt.

Empfehlungen zur Optimierung der Energiebilanz lassen sich vor allem aus jenen Elementen ableiten, welche eine hohe Relevanz und grosse Varianz haben. Die verschiedenen gebäudetechnischen Systeme bzw. Komponenten wurden deshalb auf ihre Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit bezüglich Grauer Energie untersucht. Die Schlüsselfragen waren: Bei welchen Systemen ist der energetische Eintrag besonders hoch (Relevanz)? Bei welchen unterschiedlichen Lösungsansätzen sind die relativen Unterschiede hinsichtlich Grauer Energie besonders gross (Varianz)? Welche Grössen sind im Planungsprozess beeinflussbar, kaum oder nicht beeinflussbar (Beinflussbarkeit)? Die Gebäudetechnikgewerke und ihre Komponenten stellen ein komplexes, kausalvernetztes System dar. Aus diesem Grund wurden ebenfalls die Wechselwirkungen zwischen den Systemkomponenten sowie die komplexen Wirkungszusammenhänge untersucht. Dies erfolgte anhand einer Wirkungsanalyse, welche es ermöglichte die Systemkomponenten nach ihrer Auswirkung auf das System zu klassifizieren in: kurzfristige, mittelfristige und langfristige Hebel bzw. kurzfristige und langfristige Indikatoren sowie neutrale Komponenten. Die Einflussgrössen wurden dabei so ausgewählt, dass sie gebäudetechnische, architektonische, energetische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Kriterien abdecken.

Die auf dieser Art und Weise definierten, wichtigsten Systemkomponenten wurden vertieft analysiert und im Sinne einer Erweiterung der aktuellen KBOB-Empfehlung «Ökobilanzdaten im Baubereich» diskutiert. Im Weiteren wurden Anschauungsbeispiele erarbeitet, welche die Zusammenhänge zwischen Grauer Energie und weiteren Systemgrössen (z.B. Betriebsenergie) wie auch die Trade-Offs bei der Optimierung der Grauen Energie aufzeigen.

Résumé

Diverses études montrent que l'énergie grise des installations techniques peut représenter entre un quart et un tiers de l'énergie grise totale dans une nouvelle construction. Toutefois, il n'existe à ce jour aucun outil qui puisse être utilisé dans les premières phases de projet pour optimiser l'énergie grise de la technique du bâtiment. De plus, il y a un manque général de données utilisables pour des analyses de cycle de vie.

Cette étude avait pour objectif principal d'élargir les bases de décision existantes pour permettre leur utilisation dès les phases d'avant-projet pour un nouveau bâtiment ou pour une rénovation le cas échéant. Les questions suivantes ont été mises en avant: quel est le potentiel de réduction de l'énergie grise dans les systèmes de technique du bâtiment? Dans quels types d'ouvrages ce potentiel est-il le plus important?

À cette fin, des valeurs caractéristiques d'énergie grise ont été définies pour les ouvrages du chauffage, de la ventilation, de l'électricité et les ouvrages sanitaires. Ces valeurs caractéristiques ont été données pour des systèmes complets (p. ex. pour une installation de chauffage avec pompe à chaleur sol/eau et sonde géothermique) tout comme les composants de système (p. ex. pour des pompes à chaleur de différentes puissances). L'accent a été mis sur les systèmes de technique du bâtiment courants et répandus dans les bâtiments résidentiels, administratifs et scolaires. Les valeurs caractéristiques utilisées sont principalement issues d'études d'inventaire déjà publiées. Les données de treize bâtiments résidentiels, six bâtiments administratifs, trois écoles et trois maisons de retraite étaient disponibles. Des valeurs caractéristiques supplémentaires ont été déterminées à partir d'une recherche bibliographique ciblée sur des publications suisses et européennes.

Les composants de système les plus importants ont été analysés en détail et travaillés comme extension de la recommandation du KBOB.

Summary

Various studies show that one quarter to one third of the embodied energy of a new building can be attributed to the technical installations. To date, however, there are no tools available which would allow an optimization of the embodied energy of building services in the early project planning phases. In general, there is also a shortage of usable life cycle assessment data.

The main objective of this study was to extend the existing decision-making tools in order to allow their use starting from the pre-project phase of a construction or renovation project. The following questions were in the foreground: What is the potential for a reduction of the embodied energy in building services systems? In which systems there is the highest potential?

For this purpose, reference values of the embodied energy of heating, ventilation, sanitary and electrical systems were worked out. These values are presented both for complete systems (e.g. for a heating system with brine/water heat pump and borehole heat exchanger), as well as for single system components (e.g. for heat pumps with different power ratings). The focus was on building services systems that are common and widespread in residential, office and school buildings. The reference values were primarily derived from existing life cycle inventory studies. Data from thirteen residential buildings, six office buildings, three school buildings and three retirement homes were available. Additional values were determined with the help of a literature search on publications from Switzerland and Europe.

The most important system components were analyzed more in detail and discussed in view of a possible expansion of the current KBOB recommendation.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung ... **3**

Résumé ... **4**

Summary ... **4**

Inhaltsverzeichnis ... **5**

Abkürzungsverzeichnis ... **8**

Definitionen ... **9**

1. Ausgangslage ... **10**

2. Ziel der Arbeit ... **10**

3. Vorgehen ... **11**

4. Grundlagen ... **12**

4.1 Literaturrecherche ... 12
4.1.1 Gebäude Ökobilanzen ... 13
4.1.1.1 Inklusive Betrieb ... 13
4.1.2 Gebäudetechnik Sach- und Teilökobilanzen ... 15
4.1.2.1 Inklusive Betrieb ... 15
4.1.2.2 Erstellung und Entsorgung ... 15
4.2 Produktdefinition ... 20
4.3 Risikoanalyse ... 20
4.4 Kommunikationspaket ... 21

5. Datenbasis und Auswertung ... **22**

5.1 Gebäudetechnische Systeme ... 22
5.2 Heizungsanlagen ... 26
5.3 Lüftungsanlagen ... 28
5.4 Sanitäranlagen ... 30
5.5 Elektroanlagen ... 32

6. Systemische Betrachtung ... **34**

6.1 Wirkungsanalyse ... 34
6.2 Optimierung der Grauen Energie und Trade-Offs ... 40
6.2.1 Lüftungsleitungen ... 40
6.2.2 Länge des Luftleitungsnetzes ... 41
6.2.3 Formgebung der Luftleitungen ... 41
6.2.4 Zentrale / dezentrale Lüftungsanlage ... 43
6.2.5 Bedarfsabhängige Lüftung ... 43
6.2.6 Länge von Erdwärmesonden ... 44

6.2.7 Energieerzeugung/-speicherung ... 44
6.2.8 Solaranlagen (Solarthermie oder Photovoltaik) ... 44
6.2.9 Grauwasser-/Regenwassernutzung ... 45
6.2.10 Gemeinschaftliche Waschküchen oder wohnungsgebundene Waschtürme ... 45
6.2.11 Bedarfsabhängige Beleuchtung ... 45
6.2.12 Geräteersatz / Optimierung der Energieeffizienz ... 46
6.2.13 Systemtrennung ... 46
6.2.14 Qualität ... 46

7. Kennwerte ... 47

7.1 Heizungsanlagen ... 47
7.1.1 Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage ... 49
7.1.2 Luft-Wasser Wärmepumpenanlage ... 52
7.1.3 Heizungsanlage (Holz, Gas, Öl) ... 53
7.1.4 Vergleich Heizsysteme ... 54
7.1.5 Thermische Solaranlage ... 54
7.1.6 Low-Tech Heizung ... 55
7.1.7 Wärmeerzeuger (Holz, Gas, Öl) ... 55
7.1.8 Fernwärme-Übergabestation ... 56
7.1.9 Wärmepumpe ... 56
7.1.9.1 Luft-Wasser Wärmepumpe ... 57
7.1.9.2 Sole-Wasser Wärmepumpe ... 58
7.1.9.3 Wasser-Wasser Wärmepumpe ... 59
7.1.10 Pufferspeicher ... 60
7.1.11 Wärmeverteilung Schulgebäude ... 61
7.2 Lüftungsanlagen ... 62
7.2.1 Fensterlüftung ... 63
7.2.2 Lüftungsanlage Büro ... 63
7.2.3 Lüftungsanlage Schule ... 63
7.2.4 Erdreich-Wärmeübertrager ... 63
7.2.5 Luftaufbereitung ... 63
7.2.6 Luftverteilung ... 65
7.2.7 Effiziente/ineffiziente Luftverteilung ... 69
7.2.8 Kaskadenlüftung oder Luftversorgung aus angrenzender Zone ... 69
7.3 Sanitäranlagen ... 70
7.3.1 Regen- und Grauwassernutzung ... 72
7.3.2 Wasserspeicher ... 72
7.3.2.1 Warmwasserspeicher ... 73
7.3.2.2 Speicherwassererwärmer ... 73
7.3.2.3 Kombispeicher ... 74
7.3.2.4 Durchflusswassererwärmer ... 75
7.3.2.5 Wärmepumpenboiler ... 76
7.3.3 Wasserverteilung ... 76
7.3.3.1 Leitungen Wohnen ... 79

7.3.3.2 Leitungen Büro und Schule ... 82
7.3.4 Entnahmestelle ... 82
7.3.5 Sprinkleranlage ... 85
7.4 Elektroanlagen ... 86
7.4.1 Solarstromanlage ... 87
7.4.2 Hybrid-Module (PVT) ... 87
7.4.3 Energiespeicher ... 87
7.4.4 Stromverteilung ... 88
7.4.4.1 Leitungen und Apparate Wohnen ... 88
7.4.4.2 Leitungen und Apparate Büro und Schule ... 90
7.4.5 Verbraucher ... 90
7.4.5.1 Beleuchtung Büro ... 90
7.4.5.2 Haushaltgrossgeräte ... 91
7.5 Kühlanlagen ... 91
7.6 Kommunikationsanlagen ... 91

8. Schlussfolgerungen und Ausblick ... 92

Literaturverzeichnis ... 94

Anhang A: Risikoanalyse ... 98

Anhang B: Ergebnisse Fragebogen an Expertenpool ... 100

Anhang C.1: Ergebnisse 1. Workshop (Expertenpool) ... 102

Anhang C.2: Ergebnisse 2. Workshop (Expertenpool und Begleitgruppe) ... 108

Anhang C.3: Ergebnisse 3. Workshop (Expertenpool) ... 112

Anhang D: Textbeitrag (informativ) für das Merkblatt SIA 2032 ... 115

Anhang E: Sanitärapparate ... 117

Abkürzungsverzeichnis

EBF	Energiebezugsfläche (m^2) gemäss SIA 380
eBKP-H	Baukostenplan Hochbau
KBOB	Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes. Grundlage für Planungsinstrumente des nachhaltigen Bauens. Stellt Umweltkennwerte u.a. von Baumaterialien, Komponenten der Gebäudetechnik zur Verfügung.
GE	Graue Energie
LCA	Life Cycle Assessment
PE	Primärenergie (total)
PEne	Primärenergie nicht erneuerbar bzw. Graue Energie
THG	Treibhausgasemissionen
UBP	Umweltbelastungspunkte. Vorwiegend in der Schweiz verwendete Einheit, um die gesamte Belastung auf die Umwelt in einem Gesamtindikator darzustellen.

Definitionen

Begriff	Definition	Quelle
Primärenergie	Form der Rohenergie, die noch keiner technischen Umsetzung oder Umwandlung und keinem Transport unterworfen worden ist. Beispiele: Rohöl, Erdgas, Uran oder Kohle in der Erde, Holz im Stand, Solarstrahlung, potenzielle Energie des Wassers, kinetische Energie des Windes. Sie setzt sich zusammen aus der erneuerbaren und der nicht erneuerbaren Primärenergie.	SIA 2031 (2009), SIA 2039 (2011), SIA 2040 (2011)
nicht erneuerbare Primärenergie	Primärenergie, die aus einer Quelle gewonnen wird, die durch Nutzung erschöpft wird, z.B. Uran, Rohöl, Erdgas, Kohle.	SIA 2031 (2009), SIA 2039 (2011), SIA 2040 (2011)
erneuerbare Primärenergie	Energie, die aus einer Quelle gewonnen wird, die durch Nutzung nicht erschöpft wird, wie z.B. die (thermische und photovoltaische) Sonnenenergie, Windenergie, Umgebungswärme, hydraulische Energie und Biomasse.	SIA 2031 (2009), SIA 2040 (2011)
Graue Energie	Gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Sie wird auch als kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet.	SIA 2032 (2010), SIA 2040 (2011)
Treibhausgasemissionen	Menge der Treibhausgase, die als Folge der Lieferung der Netto-Primärenergie an das Gebäude emittiert werden.	SIA 2031 (2009), SIA 2039 (2011), SIA 2040 (2011)
Umweltbelastungspunkte, UBP	Vorwiegend in der Schweiz verwendete Einheit, um die gesamte Belastung auf die Umwelt in einem Gesamtindikator darzustellen. Methode der ökologischen Knappheit.	BAFU
Gebäudetechniksysteme	Gebäudetechnische Elementgruppen, technische Anlage eines Gebäudes. z.B. Elektroanlage, Gebäudeautomation, Sicherheits-, Brandschutz-, Wärme-, Kälteanlage, Lufttechnische Anlage, Wasser-, Gas-, Druckluftanlage, Transportanlage.	eBKP-H SN 506511 (2012)
Gebäudetechnikkomponenten	Gebäudetechnische Elemente, technische Anlage für Quelle/Senke, Umwandlung, Speicherung, Verteilung und Übergabe von Wärme, Luft und Wasser.	eBKP-H SN 506511 (2012)
technische Lebensdauer	Zu erwartende Periode zwischen der Inbetriebnahme eines Bau- oder Anlageteils und dessen Ersatz auf Grund abnehmender Gebrauchstauglichkeit oder zunehmender Kosten für den Unterhalt und den Ersatz einzelner Bestandteile.	SIA 2032 (2010)
Amortisationszeit	Zeitdauer, über welche die Graue Energie für Herstellung und Entsorgung abgeschrieben wird	SIA 2032 (2010)
Systemkennwerte Graue Energie	Typische Werte, die die Graue Energie für Gebäudetechniksysteme und -komponenten beschreiben	Diese Studie

1. Ausgangslage

Sachbilanzstudien belegen, dass die Graue Energie (folgend mit GE bezeichnet) der gebäudetechnischen Anlagen ein Viertel bis ein Drittel der gesamten Grauen Energie eines Neubaus betragen kann (Klingler und Kasser 2011). Dabei ist unter dem Begriff GE der kumulierte, nicht erneuerbare Energieaufwand der für alle vorgelagerten Prozesse erforderlich ist, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse bis zur Entsorgung (inkl. Transporte und Hilfsmittel) zu verstehen (vgl. MB SIA 2032 Version 2010). In der Phase Vorprojekt wird für das geplante Gebäude eine Abschätzung der GE vorgenommen. Für diese Abschätzung eignen sich die verbreiteten Excel-Tools der SIA oder von Minergie (Tool SIA 2040 Effizienzpfad Energie 2.1, 2017; Tool Graue Energie zu SIA 2032, 2013[1]; Berechnungstool Graue Energie Vorprojekt, Version 2016[2]). Diese Tools sind nach Baukostenplan Hochbau des CRB (eBKP-H) gegliedert.

Für die konstruktiven Bauteile des Gebäudes stehen Optimierungswerkzeuge zur Minimierung der GE zur Verfügung. Als Beispiel sei hier das Bauteil eBKP-H C 2.1 Aussenwandkonstruktion aufgeführt. Dessen Bezugsgrösse ist die Bauteilfläche, welche mit dem Auswahlwerkzeug „Ausführungsvarianten“ in verschiedenen Konstruktionstypen berechnet und abgebildet werden kann.

Für die gebäudetechnischen Anlagen stellt mehrheitlich die Energiebezugsfläche (A_E) die Bezugsgrösse dar. Es sind kaum Auswahlmöglichkeiten und somit auch keine Optimierungswerkzeuge vorhanden.

2. Ziel der Arbeit

Das Ziel der SYGREN-Studie ist, im Bereich der Gebäudetechnik, Werkzeuge für die Projektoptimierung hinsichtlich der Grauen Energie für deren Verwendung ab der Vorprojektphase bereitzustellen. Solche Arbeitsinstrumente sollen beispielsweise Architekten ermöglichen, Varianten hinsichtlich der Gesamtenergiebilanz ihrer Projekte bei Wettbewerben zu berechnen und somit deren Energieeffizienz zu steigern.

Zu diesem Zweck soll untersucht werden, welche Aggregierung der (Teil-) Systeme, Komponenten, Materialien zu Systempaketen geeignete Auswahlmöglichkeiten ergeben. Entsprechend wird in einem Überblick der Materialaufwand für die Teilkomponenten der Gebäudetechnik bezogen auf nicht erneuerbare Graue Energie (GE), Graue Treibhausgasemissionen (THG) und Umweltbelastungspunkte (UBP) geschaffen. Betrachtet werden die eBKP-H Elementgruppen: D1 Elektroanlagen, D5 Wärmeanlagen, D7 Lufttechnische Anlagen und D8 Wasseranlagen. Unterschieden werden die Nutzungen Wohnen, Verwaltung und Schule.

Im Rahmen der verfügbaren Datengrundlage werden in diesem Forschungsprojekt neue Gebäudetechnikgewerke-Kennwerte für GE, THG und UBP für die betrachteten Systeme und Komponenten erarbeitet. Dabei ist nebst dem reinen quantitativen Aspekt zur Berechnung der GE der Gebäudetechnik das Aufzeigen von Wechselwirkungen zwischen dem GE-Aufwand und der Betriebsenergie – respektive von sogenannten Trade-Offs in einer gesamtheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung – von hoher Wichtigkeit. Mit plakativen Aussagen kann das Handeln der Fachleute am besten positiv beeinflusst werden.

[1] https://www.energytools.ch
[2] https://www.minergie.ch

Mit dieser Studie könnte auch indirekt einen Beitrag zur Anregung der Diskussion in übergeordneten Themen wie «Low-Tech vs. High-Tech» geleistet werden oder der Frage «wie viel Technisierung braucht ein Gebäude?» nachgegangen werden.

Für die Vermittlung der Erkenntnisse werden geeignete Kommunikationsmöglichkeiten vorgeschlagen, mit Ziel u.a. auch eine bessere Akzeptanz der Arbeitswerkzeuge bei den Zielgruppen zu erreichen.

3. Vorgehen

In einer Literaturrecherche wird in einem ersten Schritt die Datenlage bezüglich der GE zu Gebäudetechniksystemen erforscht. Die Recherche zielt vordergründig auf bestehende Studien und Daten in der Schweiz, wirft aber ebenfalls einen Blick auf nutzbare Grundlagen im nahen Ausland.

Die Studie beinhaltet im Wesentlichen die Datenanalyse auf dem Stand der KBOB-Liste[3] (KBOB 2016) und Datengrundlage von Klingler und Kasser (2011) und Klingler et al. (2014) für die (Teil-)Systeme und Komponenten der Gebäudetechnik. Ausgewertet werden die verschiedenen Materialien innerhalb dieser (Teil-)Systeme und Komponenten nach der jeweiligen ID-Nummer der KBOB 2016 und ihrem prozentualen Anteil an der GE, den THG und den UBP.

Die GE der Systeme wird hinsichtlich ihrer Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit sowie deren Optimierungspotenziale und Wechselwirkungen analysiert. Die Arbeit beinhaltet dazu eine systemische Wirkungsanalyse.

Die Untersuchung lehnt eng an die in der Norm SIA 411 «Modulare Darstellung der Gebäudetechnik» (2016) eingeführten Systematik und Methodik an. Dadurch soll die Kompatibilität der Studienergebnisse mit den Grundsätzen des SIA-Normenwerks zur Gebäudetechnik gewähreistet werden.

Im Rahmen von Experten-Workshops wird das Fachwissen von praxisnahen Planern und Beratern der Gebäudetechnikbranche abgefragt. Mit Hilfe der Beteiligten können denkbare Bezugsgrössen ermittelt werden, die nötig sind, um bereits im Vorprojekt Vergleichsvarianten hinsichtlich der GE gegenüberstellen zu können.

Das Vorgehen wird erlauben, anhand der vorhandenen Grundlagen weitere Kennwerte zu entwickeln, respektive aufzeigen, wo zusätzliche Erhebungen notwendig sind.

[3] Die KBOB-Empfehlung enthält eine grosse Auswahl an Umweltdaten von Baustoffen und Gebäudetechnikkomponenten, Energieträgern und Transportmitteln. Die Gebäudetechnikkomponenten umfassen Systeme für die Erzeugung, Verteilung und Abgabe von Raumwärme, Warmwassergewinnung, Belüftung und einiges mehr. Die Sachbilanzen für die Herstellung und Entsorgung der Baustoffe und Gebäudetechnikkomponenten entstammen zu einem grossen Teil der ecoinvent-Datenbank.

4. Grundlagen

4.1 Literaturrecherche

Die Gebäudetechnik umfasst alle technischen Disziplinen im Gebäude. Dazu gehören Heizung, Lüftung, Klima, Kälte, Sanitär, Elektro und Gebäudeautomation – HLKKSE + GA (Tabelle 1). Diese Systeme ermöglichen ein für den Menschen angenehmes Raumklima. Die Gebäudetechnik hat entscheidende Auswirkungen auf Energieeffizienz, Raumklima und Werterhaltung von Immobilien (EnergieSchweiz 2016).

Tabelle 1: Überblick Gebäudetechniksysteme und -Elementgruppen, modifiziert aus Von Euw et al. (2012).

	Gebäudetechnische Elementgruppe				
Gebäudetechnik-systeme[1]	**Quelle/ Senke**	**Umwandlung**	**Speicherung**	**Verteilung**	**Raum/ Übergabe**
Heizungsanlagen	Energie-zufuhr	Wärme-erzeugung	Wärme-speicherung	Wärme-verteilung	Wärmeabgabe
Lüftungs- und Klimaanlagen	Aussenluft Fortluft-führung	Luftauf-bereitung	Luftwärme-speicherung	Luftverteilung	Luftabgabe
Kälteanlagen	Energiezufuhr Wärmesenke	Kälteerzeugung Rückkühlung	Kältespeicherung	Kälte-verteilung	Kälteabgabe
Sanitäranlagen					
Wasser-versorgungsanlage	Wasserquelle	Wasser-behandlung	Wasser-speicherung	Wasser-verteilung	Entnahmestelle
Wasser-entsorgungsanlage	Abwasser	Abscheide-anlage	Abwasser-speicherung	Abwasser-leitung	Entwässerungs-gegenstand
Gasversorgungs-anlage	Gasquelle	Gasbehandlung	Gasspeicher	Gasverteilung	Gasverbrauchs-apparat
Druckluft- und Vakuumanlage	Aussenluft	Kompressor/ Luftbehandlung	Druckluft-/ Vakuumbehälter	Luftverteilung	Druckluft-/ Vakuum-verbraucher
Elektro- und Kommunikationsanlagen					
Elektroanlage	Starkstrom-anschluss-leitung	Starkstrom-erzeugung	Energiespeicher	Installationen (Stark- bzw. Schwachstrom)	Verbraucher
Kommunikations-anlage	Kommuni-kations-einspeisung	Datenquelle	Datenspeicher	Daten- und Kommunikati ons-installation	Daten- und Kommunikations-verbraucher
Gebäudeautomationssysteme		Feldebene	Automationsebene		Managementebene

[1] Gebäudetechniksysteme oder Hauptgruppe (gemäss eBKP-H 2012)

Bei der Erstellung eines Gebäudes trägt die Gebäudetechnik etwa 25% der gesamten Belastung betreffend Grauer Energie bei (Klingler und Kasser 2011, Kasser et al. 2016). Abbildung 1 zeigt die Aufteilung der Grauen Energie der Gebäudetechnik auf einzelne gebäudetechnische Systeme und Komponenten (Hauptgruppe bzw. Elementgruppe gemäss eBKP-H 2012).

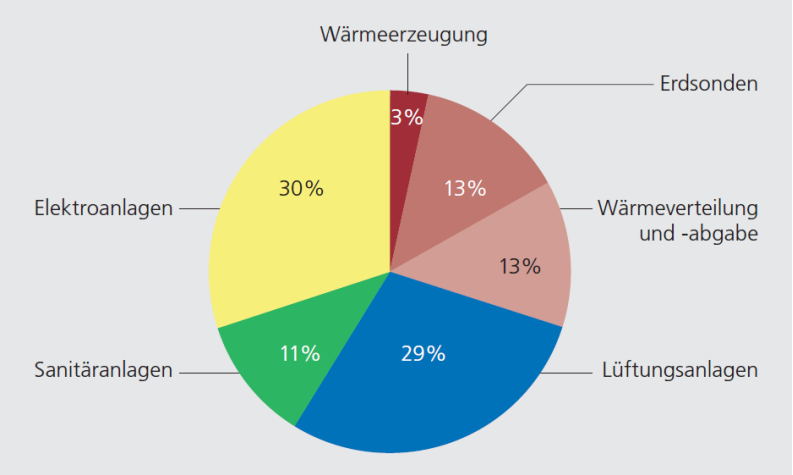


Abbildung 1: Aufteilung der Grauen Energie der Gebäudetechnik auf die verschiedenen Systeme und Elemngruppen. Durchschnittliche Anteile gemäss Sachbilanzstudien (Gugerli et al. 2015).

Diese Literaturrecherche zeigt Studienergebnisse, welche sich nicht nur auf die Ökobilanz (Erstellung, Betrieb und Entsorgung) von Gebäuden (inkl. Aussagen zur Grauen Energie der Gebäudetechnik) konzentrieren (siehe 4.1.1), sondern auch auf die Sach- und Teilökobilanz von Gebäudetechniksystemen (siehe 4.1.2). Die am meisten analysierten Kennwerte waren PEne (Primärenergie nicht erneuerbarer), THG (Treibhausgasemission) und UBP (Umweltbelastungspunkte). Die Studien werden chronologisch dargestellt.

4.1.1 Gebäude Ökobilanzen

4.1.1.1 Inklusive Betrieb

In Lalive d'Epinay (1998) wurde die ökologische Relevanz der Gebäudetechnik inkl. Betrieb im Vergleich mit dem restlichen Gebäude beurteilt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Herstellungsenergie der Gebäudetechnik mit 15% bis 30% einen bedeutenden Beitrag zur Herstellungsenergie des gesamten Gebäudes darstellt. Dieser Anteil ist zu einem grossen Teil (40–50%) auf die Leitungen zurückzuführen.

Lalive d'Epinay verglich dann im Jahr (2000), wie sich das Verhältnis von Erstellung und Betrieb verhält. Sie zeigte, dass die Umweltbelastung bei Gebäuden mit niedrigem Energiebedarf ähnlich stark durch Erstellung und Entsorgung beeinflusst wird, wie durch die Nutzung selbst. Die Umweltauswirkungen von Gebäuden während einem angenommenen Lebenszyklus von 80 Jahren wurden analysiert (Herstellung, Nutzungsphase und Entsorgung). Dabei wurden die verschiedenen Anlagen der Gebäudetechnik berücksichtigt: Heizung, Lüftung, Sanitär, Strom.

Zur Systemwahl Gebäudetechnik gehört die Wahl der Gebäudetechniksysteme und der Energieträger. Gewisse gebäudetechnische Komponenten können nur zusammen mit architektonischen oder funktionellen Massnahmen eingebaut werden.

Züger (2012) ökobilanzierte mehrere Bauprojekte. Sie empfiehlt, die Ökobilanz der Erstellung im Zusammenspiel mit der Raumheizung/Lüftung zu betrachten, weil sich diese Werte gegenseitig beeinflussen. Die Graue Energie wurde bestimmt (SIA 2032:2010), die berechneten Objektkennwerte wur-

den untereinander verglichen und den Richtwerten der SIA 2040 (2011) gegenübergestellt (Erstellung, Betrieb und Mobilität). Die Resultate der PEne (Graue Energie), der THG und der UBP nach der Methode der ökologischen Knappheit sind vergleichbar. Bei letzterer ist die Bedeutung der Erstellung sogar noch höher. Bei den UBP war der Anteil an der Gebäudetechnik durchgehend höher (z.B. für Umbauten ist dies mit bis zu 70% der Erstellung am deutlichsten).

Bei den berechneten Resultaten zweier verschiedener Gebäudetypen (im Betrieb) mit unterschiedlichem Technisierungsgrad lag der Anteil der Gebäudetechniksysteme am Gesamtbetrag der Grauen Energie bei knapp einem Viertel (etwa 23%, vgl. Von Euw et al., 2012). In der beschriebenen Studie schlägt sich die kurze Lebensdauer der Gebäudetechnikanlagen nieder. Die meisten technischen Systeme müssen während des Lebenszyklus eines Gebäudes von rund 60 Jahren mindestens einmal ersetzt werden.

Passer et al. (2012) untersuchten den Einfluss der Baumaterialien und der Gebäudetechnik und deren Auswirkungen auf die Umwelt während des gesamten Lebenszyklus (Erstellung – Baumaterialien und Gebäudetechnik; Betrieb, sowie Entsorgung des Baus) für fünf Wohngebäude. Die Ökobilanzresultate der Gebäudetechniksysteme waren von Bedeutung. Hohe Werte ergaben sich aus den verwendeten Materialien (v.a. Metalle) für die Herstellung der Gebäudetechnikkomponenten, insbesondere aus Kupfer. Die Herstellung von Baumaterialien und der Gebäudetechnik sollten von Anfang an in den Ökobilanzen berücksichtigt werden.

Die Umweltbelastung von 31 Gebäuden (8 Schulhäuser, 19 Wohngebäude, 3 Altersheime und 2 Bürogebäude) während der Erstellung, des Betriebs und der Mobilität gemäss SIA-Effizienzpfad Energie wurde analysiert (Wyss et al. 2014a). Die KBOB-Empfehlung 2009/1 (KBOB 2012) und der ecoinvent Datenbestand v2.2 (ecoinvent 2010) wurden für die Analyse benutzt. Die Herstellung und Entsorgung der Baumaterialien, der Bauteile und der Gebäudetechnik (Heizung, Sanitärinstallationen, Beleuchtung, Betriebseinrichtungen und Lüftung) wurde für die Gebäudeerstellung berücksichtigt. Bei einer Optimierung nach Umweltbelastungspunkten sollte das Hauptaugenmerk beim Bereich Erstellung liegen. Die Gebäudetechnik ist bezüglich Gesamtumweltbelastung von grosser Bedeutung. Insbesondere die Elektroanlagen und die Lüftungsanlagen (Blechkanäle) fallen stark ins Gewicht.

Lamster und Dürler (2015) analysierten die Graue Energie für verschiedene Gebäude im Betrieb. Zum Beispiel wurde die Wohn- und Gewerbesiedlung Kalkbreite nach SIA 2032 und SIA 2040 untersucht. Die jährliche Graue Energie und die jährlichen Treibhausgasemissionen für dieses Gebäude sind eher hoch (PEne 101.8 MJ/m^2 und THG 7.9 kg/m^2). Die durchschnittlichen Werte für die Gebäudetechnik (alle Anlagen und Installationen für Elektro, Heizung, Lüftung, Klima, Kälte und Sanitär) betrugen für PEne 25.8 MJ/m^2 und für THG 1.64 kg/m^2; beide Werte machen 25% bzw. 20% des Gesamtwertes des Gebäudes aus. Trotz der hohen PEne und THG erfüllt die Wohn- und Gewerbesiedlung Kalkbreite beide Normen (SIA 2040:2011 Richtwerte Erstellung Neubau: PEne 110 MJ/m^2 und THG 8.5 kg/m^2. SIA 2032:2010 Kennwerte Gebäudetechnik: PEne 23.5 MJ/m^2 und THG 1.52 kg/m^2).

In Tschümperlin et al. (2016) wurden drei weitere Bürogebäude und zusätzlich ein Wohngebäude hinsichtlich ihrer Umweltbelastung bilanziert (als Ergänzung von Wyss et al. 2014a) während der Erstellung, des Betriebs und bezüglich Mobilität. In den Detailanalysen der Gebäudeerstellung wurde deutlich, dass die Gebäudetechnik (Heizung, Sanitär, Lüftung und Elektroinstallationen) ein grosses Gewicht hat (UBP: ~24%–50%; PEne: ~19%–37%; THG: ~16%–34%) bezogen auf die gesamte Gebäudeerstellung. Insbesondere die Elektroinstallationen, aber auch Lüftungskanäle aus Blech, verursachen einen Grossteil der Gesamtumweltbelastung. Ein materialeffizienter Einbau von Elektro- und Lüftungsanlagen verhilft den Gebäuden zu einer deutlich verminderten Umweltbelastung (Wyss et al. 2014a). Eine richtige Dimensionierung, eine gute Planung und vor allem eine Optimierung aller Systemkomponenten der Gebäudetechnik sind massgebend. Ersichtlich ist, dass sich die Gebäude einer-

seits pro Nutzungstyp, aber auch pro Erstellungsart (Sanierung versus Neubau) unterscheiden (Tschümperlin et al. 2016).

Die Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Reduktion der THG – vor allem während des Gebäudebetriebs und in der Regel handelt es sich hierbei um fest am oder im Gebäude installierte Anlagen und Technikelemente – wurden von Jakob et al. (2016) abgeschätzt. Gemäss dem Ist-Zustand 2010 (PEne 149 TWh; THG 27 Mt CO_2-eq) und dem Referenzszenario 2050 (PEne 122 TWh; THG 17 Mt CO_2-eq) der Gebäudetechnik im schweizerischen Gebäudepark, wurden die energetischen Verwendungszwecke (Raumwärme, Warmwasser, Lüftung, Klimakälte, Beleuchtung und Allgemeine Gebäudetechnik) betrachtet. Entsprechend beträgt die Reduktion bei der PEne rund 39% und bei den THG 38%, dies im Vergleich zum Referenzszenario im Jahr 2050. Diese deutliche Reduktion ist vor allem auf die Substituierung von fossilen Energieträgern durch erneuerbare zurückzuführen. Bei der Primärenergie total beträgt die relative Reduktion 17%.

4.1.2 Gebäudetechnik Sach- und Teilökobilanzen

4.1.2.1 Inklusive Betrieb

Frischknecht (1999) verglich diverse kältetechnische Systeme und ihre Einwirkung auf die Umwelt während des Betriebs der Anlagen. Die Energieeffizienz spielt in den Bilanzen der damaligen Situation eine entscheidende Rolle. Die Strombereitstellung steuert beispielsweise bei Sole/Wasser-Wärmepumpen rund 90% zum Bedarf nicht erneuerbarer Energie bei, und 40–70% zu den Treibhausgasemissionen.

Laut einer Studie von Heck (2007) spielt die Nutzung der Umgebungswärme zur Gebäudeheizung eine wesentliche Rolle. In der Schweiz sind ca. 40% aller Neubauten mit Wärmepumpen ausgerüstet. Der Autor wählte Sachbilanzen (Infrastruktur bzw. Herstellung der Systeme und Betrieb) sowie Werte für den kumulierten Energieaufwand zur Nutzwärme von Wärmepumpen (basierend auf Frischknecht 1996). Die Resultate zeigten, dass die kumulierten CO_2-Emissionen für in der Schweiz betriebenen Wärmepumpen ohne Berücksichtigung der Wärmeverteilung in einem fiktiven Haus zwischen 10 g/MJ (Sole-Wasser-Wärmepumpen) und 13 g/MJ (Luft-Wasser-Wärmepumpen) liegen. Dieselben Wärmepumpen unter gleichen Temperaturbedingungen weisen jedoch mit UCTE[4]-Durchschnittselektrizität betrieben kumulierte CO_2-Emissionen zwischen 37 g/MJ (Sole-Wasser-Wärmepumpen) und 51 g/MJ (Luft-Wasser-Wärmepumpen) auf. Mit diesen Resultaten wurde die ecoinvent Datenbank 2007 ergänzt.

4.1.2.2 Erstellung und Entsorgung

Später wurden in verschieden Studien andere spezifische Gebäudetechniksysteme und deren Komponenten bilanziert (mit LCA). Zum Beispiel zeigten Hässig und Primas (2004), die komplexen Zusammenhänge in der LCA-Bilanzierung von Lufttechnischen Anlagen. Sie quantifizierten die Umweltauswirkungen von sechs Komfortlüftungssystemen mit Hilfe einer Ökobilanzierung mit ecoinvent (2003). Die Umwelteffizienz einer Lüftungsanlage wird von sehr unterschiedlichen Parametern und

[4] UCTE: Union for the Coordination of the Transmission of Electricity (neu ENTSO-E – MIX, European Network of Transmission System Operators). https://www.entsoe.eu/

deren Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Einflussfaktoren beeinflusst (*Investitionsparameter*: Wärmerückgewinnungsgrad, System (zentral/dezentral), Lüftungsrohre (Stahl/Polyethylen), Verlegungsart der Lüftungsrohre, Erdregister. *Betriebsparameter*: Strommix, Laufzeit der Lüftungsanlage, Luftmengen und deren Steuerung). So weisen beispielsweise sehr effiziente Wärmetauscher einen höheren Druckverlust auf, was zu einem erhöhten Strombedarf der Lüftungsanlage führt. Die Umweltbelastung von Herstellung und Entsorgung der Lüftungsanlage macht rund 50% bis 70% der Gesamtbelastung aus. Die Varianten mit Polyethylen-Rohren zeigen klare Vorteile gegenüber jenen mit verzinkten Stahlblechrohren. Bei den Systemvarianten mit und ohne Erdregister zeigten sich keine klaren Unterschiede in der Umwelteffizienz.

Die Studie von Prek (2004) betonte, dass während des Entwurfsprozesses von Heiz - und Klimaanlagen die Umweltaspekte eines Produkts in die Analyse und Auswahl von Designoptionen einbezogen werden. Es wurden drei verschiedene Heizsysteme mit Hilfe der Eco-Indikator-95-Methodik verglichen (Auswirkungen auf die Umwelt in der Produktionsphase des Systems). Der Eco-Indikator-Wert ist für Wärmeverteilung durch Heizkörper weitaus höher als bei Fussbodenheizung. Kupferrohre und andere Kupferteile tragen zu den grössten Umweltbelastungen bei.

Gugerli et al. (2008) analysierten die Berechnungsmethode der Grauen Energie von Gebäuden in der SIA 2032. In einem Fallbeispiel wurde die gesamte Graue Energie evaluiert (Erstellung und Entsorgung des Gebäudes und der Gebäudetechniksysteme). Auf Jahresraten umgerechnet, benötigt der Rohbau 56% der Grauen Energie und verursacht 66% der Treibhausgasemissionen. Bei den Gebäudetechniksystemen werden lediglich Heizung und Lüftung/Klima ausgewiesen. Auf die Erstellung dieser Systeme entfallen 7% der Grauen Energie und 4% der Treibhausgasemissionen.

Für die ökologische Bewertung der Gebäudetechniksysteme und deren Haupt- und Elementgruppen erarbeitete Primas (2008) Daten mit Hilfe der ökologischen Baustoffliste 2008 und ecoinvent (2007). Lüftungsanlagen, Heizungsanlagen, Elektroanlagen, Sanitäranlagen, Thermische Solaranlagen und Photovoltaikanlagen wurden während der Herstellung und Entsorgung analysiert, vgl. Tabelle 2. Die Resultate wurden für die SIA 2032 (2010) verwendet.

Tabelle 2: Angaben aus Primas (2008) für die Herstellung und Entsorgung von verschiedenen gebäudetechnischen Systemen.

Gebäudetechniksystem	PEne MJ/m^2		PEne MJ/kWp
Lüftungsanlagen	60–210 (Wohnen)	200–260 (Büro)	
Heizungsanlagen inkl. Heizungsverteilung	10–340*		
Elektroanlagen	150–500[1]		
Sanitäranlagen	230 (Wohnen)	160 (Büro)	
Thermische Solaranlagen	3‘700–5‘600 (EFH)	2‘900 (MFH)	
Photovoltaikanlagen			29‘000

* Nutzung nicht angegeben

Für die Umsetzung der 2000-Watt-Gesellschaft in der Stadt Zürich werden Faktoren zum Kumulierten Energieaufwand (Primärenergiefaktoren), zu den THG und zu den UBP von Wärme aus Sonnenkollektorsystemen benötigt. Ergebnisse für die Herstellung, Montage und Entsorgung diese Systeme zeigten, dass mit zunehmender Grösse der Anlage die Umweltbelastung pro m^2 sinkt, da verhältnismässig weniger Infrastrukturmaterial (Speicher, Leitungen etc.) benötigt wird (Stucki und Jungbluth 2010). Und dass der Hauptteil der Umweltbelastung aus dem Sonnenkollektorsystem und dem Strom-

verbrauch stammen. Mit diesen Daten wurden die ecoinvent Sachbilanzdaten für Sonnenkollektoren aktualisiert.

2011 überprüfte Klingler und Kasser (2011) die damals aktuellen Ökobilanzdaten und analysierte die wichtigsten Einflussgrössen aus der Bilanzierung diverser Gebäudetechniksysteme (Sanitär- und Elektroanlagen) während der Herstellung und Entsorgung. Die daraus resultierenden Werte wurden in der KBOB-Liste (KBOB 2012) und die SIA 2032 (2010) übernommen. Bei den Elektroanlagen wurden die Resultate der Grauen Energie vor allem von der Menge der verlegten Kabel sowie den davon abhängigen Mengen an Installationsrohren, Installationskanälen und Kabelbahnen beeinflusst. Einen Zusammenhang zwischen der Kompaktheit der Gebäudehülle und der Menge an verlegten Kabeln war nicht erkennbar. Ebenso unterscheidet sich der Aufwand für die Elektroinstallationen bei den Gebäuden, welche gemäss den Kriterien der 2000-Watt-Gesellschaft geplant wurden, nicht wesentlich von den anderen untersuchten Gebäuden, da die elektrischen Anlagen weitgehend ähnlich sind.

Später evaluierten Frischknecht et al. (2012) weitere Primärenergiefaktoren und Umweltauswirkungen von Energiesystemen, darunter Kollektor- und Photovoltaikanlagen. In der letzten Version aktualisierten Itten und Frischknecht (2014) die Sachbilanzen der Herstellung von Sonnenkollektoren und Solarpanels (pro m^2 beziehungsweise pro kWp) und der Heizungs-, Lüftungs-, Sanitär und Elektroanlagen. Dazu kam eine weitere Aktualisierung der KBOB-Empfehlung (Wyss et al. 2014b).

Spezifisch für die Gebäudetechniksysteme Lüftungsanlagen (inkl. Luftverteilkonzepte und die Art der Wärmerückgewinnung) und Wärmeanlagen (inkl. die Art der Wärmeabgabe: Radiator, Fussbodenheizung, Heizkühldecke) während der Herstellung und Entsorgung wurden Materialbilanzen ausgewertet und analysiert (Klingler et al. 2014).

Gemäss den Untersuchungen liegt die jährliche Graue Energie der Gebäudetechnik bei 20 MJ/m^2–70 MJ/m^2. Gemessen an den Richtwerten aus dem SIA-Effizienzpfad Energie für die Erstellung von Neubauten von 110 MJ/m^2 (Wohnen) und 130 MJ/m^2 (Büro) schlägt die Graue Energie der Gebäudetechnik mit 16%–67% dieser Richtwerte zu Buche. Tabelle 3 zeigt, dass die Lüftungs- und Wärmeanlagen basierend auf den aktuellen Ökobilanzdaten im Baubereich (KBOB 2012) bis zu 59% der Grauen Energie der Gebäudetechniksysteme und Elementgruppe ausmachen können, wenn die Wärmeerzeugung mit Erdsonden und Wärmepumpe erfolgt.

Tabelle 3: Graue Energie (Herstellung und Entsorgung) der untersuchten Gebäudetechniksysteme. Daten von Klingler und Kasser (2011, Sanitär- und Elektroanlagen) und Klingler et al. (2014, Lüftungs- und Wärmeanlagen).

Gebäudetechniksystem	Graue Energie total [MJ/m^2_{EBF}]	Mittelwert [MJ/m^2_{EBF}]	Amortisation gem. SIA 2032 [a][1]	Jährliche Graue Energie [MJ/m^2_{EBF}]	Anteil an GT
Wärmeerzeugung	9–44	26	20	1.3	3%
Wärmeverteilung u. -abgabe	91–207	149	30	5	13%
Erdsonden	68–341	204	40	5.1	13%
Lüftungsanlagen	130–528	329	30	11	29%
Sanitäranlagen	75–179	127	30	4.2	11%
Elektroanlagen	194–490	342	30	11.4	30%
Total Gebäudetechnik	567–1'789			38	100%

Bei den untersuchten Wärmeanlagen mit Erdsonden machen die Erdsonden fast 50% der Grauen Energie (PEne) und der THG der Wärmeanlage aus. Bei den untersuchten Lüftungsanlagen dominiert die Luftverteilung mit Rohren und Kanälen (überwiegend aus verzinktem Stahlblech) das Resultat. Der Anteil der Luftverteilung macht 58%–83% der Gesamtmasse und 43%–69% der Grauen Energie aus.

Mit den Ergebnissen dieser Sachbilanzdaten wurden die Hintergrunddaten des ecoinvent Datenbestands v2.2 (2010) ergänzt und die Ökobilanzen für die oben genannten Anlagen wurden aktualisiert (Klingler et al. 2014). Diese Studie ergänzt die Daten in der KBOB-Liste und bietet Empfehlungen für weitere spezifische Ökobilanzen für Gebäudetechniksysteme und -komponenten sowie Empfehlungen für die Erweiterung dieser Instrumente.

Die meisten bisherigen Arbeiten in der Schweiz und in Europa zum Thema Graue Energie der Gebäudetechnik enthalten wenig eigene Erhebungen, die meisten basieren auf bereits vorhandenen Datenbanken wie ecoinvent (2015). Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung der in der Literatur gefundenen und betreffend Grauer Energie analysierten Gebäudetechniksysteme. Die Strukturierung der Gebäudetechniksysteme und derer Elemente erfolgt gemäss dem SN EN 506 511 (eBKP-H 2012). Es wurden zwei Arten von Studien gefunden:

i. Studien, welche die Gebäudetechnik als Teil einer gesamthaften Umweltbelastungsanalyse auf Basis einer Ökobilanz und/oder von SIA 2032 und SIA 2040 betrachteten. Für die Bilanzen wurden die Erstellung des Gebäudes (inkl. Herstellung der Baumaterialien und Gebäudetechniksysteme) und der Betrieb des Gebäudes berücksichtigt. (Siehe in Tabelle 4, Kolonnen A, C, I-K, M, N).

ii. Studien, welche sich spezifisch mit den Gebäudetechniksystemen (bzw. den Elementgruppen und teilweise Komponenten) befassten, mit dem Ziel neue Daten zu erheben und Instrumente wie die KBOB-Liste (KBOB 2016) oder SIA 2032 (2010) mittels Material-, Sach- und Ökobilanzen zu aktualisieren. Einige Studien befassten sich mit den Gebäudetechniksystemen im Betrieb (Tabelle 4, Kolonnen B, F); andere mit deren Herstellung und Entsorgung (Tabelle 4, Kolonnen D, E, H, L).

Am meisten wurden Wärmesysteme und Lüftungsanlagen analysiert (Tabelle 4, letzte Spalte). In diversen Studien sind die Daten zusammengefasst (d.h. Ergebnisse pro gebäudetechnische Hauptgruppe, z.B. Lüftungstechnische Anlage) und in manchen werden auch wenige gebäudetechnische Elementgruppen (z.B. Lufthauptverteilung und/oder -abgabe) beschrieben und analysiert. Trotzdem sind die Werte für einzelne Elementgruppen in den Hauptgruppen addiert.

Die vor allem in der Schweiz gefundenen Studien und Sachbilanzen zur Grauen Energie von Gebäudetechniksystemen stellen ein erhebliches Potenzial dar, zusätzliche anwendbare Kennwerte zur Grauen Energie der Gebäudetechnik zu generieren. Dafür relevante Rohdaten vor allem aus den Studien von (Klingler und Kasser 2011, Klingler et al. 2014, Wyss et al. 2014a, Tschümperlin et al. 2016) – wegen der Detailanalysen der Herstellung und Entsorgung der Baumaterialien, der Bauteile und der Gebäudetechnik werden von grossem Nutzen sein. Die erhobenen Daten werden in die Studie einfliessen, sofern die entsprechenden Sachbilanzen verfügbar sind.

Datenbanken wie die Ökobaudat (2016) aus Deutschland wurden auch von Klingler und Kasser (2011) berücksichtigt. Sie wird im Rahmen des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB) verwendet. Die Datensätze für Gebäudetechnik (u.a. Heizung, Klimatisierung und Lüftung, Sanitär, Elektro) könnten von Nutzen für SYGREN sein.

Tabelle 4: Überblick der bereits in der Literatur analysierten Gebäudetechniksysteme.

Sachbilanzen und allg. Daten[1]. (Verteilung nach SN 506511 eBKP-H 2012)																
D. Technik Gebäude (Hauptgruppe)	Land	CH				EU	CH				AT	CH				
	Kolonne	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
	Autor	Lalive d'Epinay 1998	Frischknecht 1999	Lalive d'Epinay 2000	Hässig und Primas 2004	Preck 2004	Heck 2007	Primas 2008	Klingler und Kasser 2011	Züger et al. 2012	Passer 2012	Wyss et al. 2014a	Klingler et al. 2014	Lamster und Dürler 2015	Tschümperlin et al. 2016	
	Gebäudetyp[2] / Elementgruppe	GA		B	W	GA	AN	W, B		S, W, A, P	W	S, W, A, B		W, G	B	AA[3]
D1. Elektroanlage	D 1.1 Apparat, Anlage Starkstrom	x		x					x			x		x	x	6
	D 1.2 Installation Starkstrom	x		x				x								3
	D 1.3 Leuchte								x							1
	D 1.4 Elektrogerät	x						x	x	x	x					5
	D 1.5 Apparat, Anlage Schwachstrom								x			x		x	x	4
	D 1.6 Installation Schwachstrom	x						x								2
D5. Wärmeanlage	D 5.1 Lagerung zu Wärmeanlage															0
	D 5.2 Wärmeerzeugung	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	12
	D 5.3 Wärmehauptverteilung	x	x					x				x	x		x	6
	D 5.4 Wärmeabgabe	x						x				x	x		x	5
D6. Kälteanlage	D 6.1 Lagerung zu Kälteanlage															0
	D 6.2 Kälteerzeugung		x							x				x		3
	D 6.3 Kältehauptverteilung															0
	D 6.4 Kälteabgabe															0
D7. Lufttechnische Anlage	D 7.1 Aussenluftführung, Fortluftführung	x			x											2
	D 7.2 Luftaufbereitung	x		x	x							x	x	x	x	7
	D 7.3 Lufthauptverteilung				x							x	x		x	4
	D 7.4 Luftabgabe				x							x	x		x	4
	D 7.5 Kleinanlage für Zuluft, Abluft											x	x		x	3
D8. Wasser-, Gas-, Druckluftanlage	D 8.1 Armatur, Apparat															0
	D 8.2 Installationselement	x		x												2
	D 8.3 Wasseraufbereitungsanlage, Abwasseraufbereitungsanlage			x				x	x	x	x	x		x	x	8
	D 8.4 Versorgungsleitung	x							x							2
	D 8.5 Entsorgungsleitung								x							1
	D 8.6 Gasanlage															0
	D 8.7 Druckluftanlage, Vakuumanlage															0

[1] Die Daten basieren auf Lalive d'Epinay (1998); Frischknecht (1996) und ecoinvent Dantenbank (2007–2015). Internationale Datenbanken wie http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeudedaten/oekobaudat.html wurden ebenfalls konsultiert (z.B. in Klingler und Kasser 2011).
[2] Gebäudetypen: GA: Gebäude allgemein, B: Büro, W: Wohnen, AN: Allgemeine Neubauten, S: Schule, A: Altersheim, P: Pflegezentrum, G: Gewerbe.
[3] AA: angenäherte Schätzung die aus der Literatur analysierten Anlagen.

4.2 Produktdefinition

Bei der Produktdefinition stellte sich die zentrale Frage: Wie muss das Endprodukt aussehen, damit die Resultate in den Planungs- und Bauprozess transportiert und die Akzeptanz der Zielgruppe gewonnen werden können? Gemeinsam mit den Projektpartnern und mit dem Expertenpool wurde in einem ersten Schritt das Endprodukt des Projekts im Rahmen eines Workshops skizziert.

Die Formulierung der Produktdefinition erfolgte dann nach der Auseinandersetzung mit den Inhalten der verfügbaren Instrumente (v.a. die KBOB-Liste 2016 und das Merkblatt SIA 2032 2010) und Erlangung des Verständnisses, wie neue Daten in eine aktualisierte Version der KBOB-Liste integriert werden könnten. Die Literaturrecherche lieferte Hinweise über die Aspekte, die bereits am meisten studiert worden sind und über die Komponenten, welche für weitere Analysen interessant wären.

Die Definition des Produkts wurde mit einer entsprechenden Risikoanalyse verbunden (siehe 4.3). Das Endprodukt des Projekts SYGREN umfasst im wesentlichen folgende Elemente:

1. Textbeitrag für die Überarbeitung des Merkblatts SIA 2032 (Anhang D)
2. Analyse der Datengrundlage, der Bezugsgrössen und der Kennwerte (Kapitel 5, 6, 7)
3. Anschauungsbeispiele, welche die Trade-Offs bei der Optimierung der Grauen Energie aufzeigen (Kapitel 6.2)
4. Projektschlussbericht (dieses Dokument)

Mit diesen Inputs soll veranschaulicht werden, welches die wichtigsten Faktoren zur gesamtenergetischen Optimierung von Gebäuden sowie im Bereich der Grauen Energie der Gebäudetechnik sind.

4.3 Risikoanalyse

Anhand einer Risikoanalyse wurden potenzielle Schwierigkeiten im Projekt wie auch die Inhalte des Endproduktes, deren Transportierbarkeit und Anwendbarkeit bewertet.

Für die Risikoanalyse wurden 7 allgemeine Themen und 35 Kriterien formuliert, welche einen Einfluss auf das Endprodukt haben könnten. Für jedes Kriterium wurde die Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikofalles (E) und deren Auswirkungsgrad (A) auf einer Skala von 1 bis 3 bewertet. Das Risiko wurde als das Produkt E x A berechnet. Für hohe Risiken (Grad 6-9) wurden Massnahmen vorgeschlagen, bei geringeren, tolerierbaren Risiken (Grad 1-4) wurden vorbereitende Massnahmen angedacht. Zur Minimierung der Subjektivität der Resultate wurde die Bewertung von vier Projektmitarbeitenden durchgeführt und aus den errechneten Risiken Mittelwerte gebildet.

Die Resultate der Risikoanalyse (Anhang A) zeigen, dass die höchsten Risiken im Projekt bei den folgenden Punkten liegen:

- Es lassen sich keine eindeutigen Empfehlungen zur Optimierung der Grauen Energie formulieren.
- Die Anzahl der zugrunde gelegten Beispiele (Literatur) ist sehr gering und nicht ausreichend für Verallgemeinerungen

- Wenige Datensätze ergeben kaum repräsentative Durchschnittswerte, welche mit einer entsprechenden Gewichtung nach System-Komfortstufen auf Berechnungen angewendet werden können.
- Kenndaten werden nicht erkannt.

4.4 Kommunikationspaket

In der ersten Projektsitzung wurden folgende Ideen für die Kommunikation im Sinne einer Dissemination von Ergebnissen gesammelt:

- Empfehlung für die nächste Aktualisierung der KBOB-Empfehlung 2009/1
- Textbeitrag (informativ) für das neue Merkblatt SIA 2032
- Planungs-/Berechnungstools (Kontakt mit den Software-Herstellern nötig)
- FAQ-Liste, um die Anwenderseite bzw. Zielgruppen zu involvieren
- Publikation im Kontext Ökobilanzierung
- Populärwissenschaftliche Aufbereitung (z.B. Themenheft Tec21, gebäudetechnische Fachzeitschriften)
- Submission bei ecoinvent (Schweiz plus global, global ggf. als Nachfolgeprojekt)
- Ausbildungskonzept umreissen (z.B. Vorlesung auf Stufe Fachhochschulen oder Weiterbildungen wie CAS, Kurse eco-bau, SIA Form)
- Teilnahme an Konferenzen, Tagungen oder Seminare
- Vermittler finden: Kantonale Ämter als Informations-Anlaufstelle

Im Workshop mit dem Expertenpool wurden Inputs abgeholt, welche die Grundlage für Vorschläge zu möglichen Kommunikationsmassnahmen als Teil des Abschlussdokuments sein werden (z.B. Aktionsplankonzept mit passenden Weiterbildungen, Publikationen, Leitfäden/Ratgebern, Normen, Instrumenten).

Die Ergebnisse des vorliegenden Projekts könnten idealerweise in die zurzeit laufende Aktualisierung der KBOB-Empfehlung 2009/1 einfliessen (voraussichtlicher Abschluss der Aktualisierung im Laufe von 2021).

5. Datenbasis und Auswertung

5.1 Gebäudetechnische Systeme

Für die vorliegende Studie standen Daten von dreizehn Wohnbauten, sechs Bürobauten, drei Schulgebäuden und drei Altersheimen zur Verfügung. Die Daten stammen aus den Studien von Klingler und Kasser (2011) für die Sanitär- und Elektroanlagen und Klingler et al. (2014) für die Heizungs- und Lüftungsanlagen.

Abbildung 2 bis Abbildung 5 zeigen die für die jeweiligen Teilprozesse realisierten gebäudetechnischen Anlagen in den untersuchten Gebäuden. Bei zwei Bürobauten waren jeweils Daten über zwei Gewerke (Heizung und Lüftung) verfügbar. In allen anderen Fällen waren pro Gebäude nur Daten über ein Gewerk verfügbar.

Basierend auf den Ökobilanzdaten der untersuchten Bauobjekte wurde der Anteil an Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung für die verschiedenen Komponenten der Heizungsanlagen (Kap. 5.2), Lüftungsanlagen (Kap. 5.3), Sanitäranlagen (Kap. 5.4) und Elektroanlagen (Kap. 5.5) berechnet.

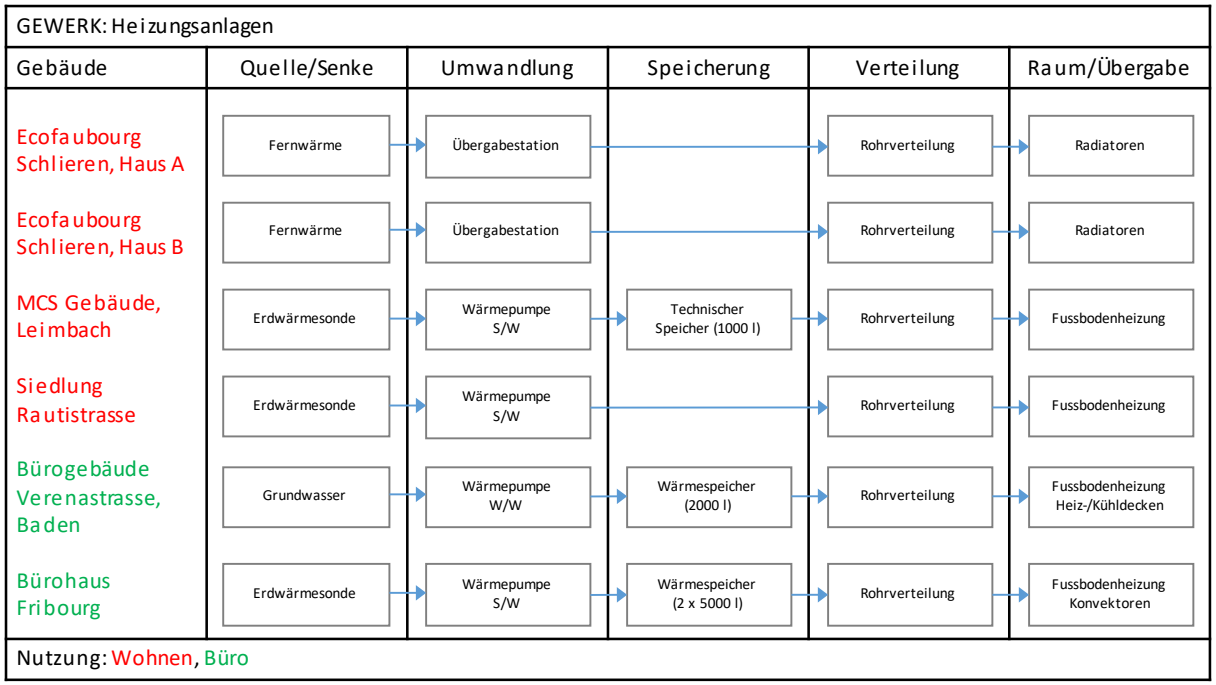


Abbildung 2: Heizungsanlagen bei den untersuchten Bauobjekten mit Unterteilung der Teilprozesse nach SIA 411.

GEWERK: Lüftungsanlagen

Gebäude	Quelle/Senke	Umwandlung	Speicherung	Verteilung	Raum/Übergabe
Altersheim Dorflinde*	Aussenluft	13 Lüftungsgeräte, zentral, Platten-WRG		Stahlkanäle	Detailinfo nicht vorhanden
Alterswohnungen Geeren	Aussenluft	3 Lüftungsgeräte, zentral (UG), Platten-WRG		Stahlkanäle und PE-Rohre	Detailinfo nicht vorhanden
Pflegezentrum Witikon*	Aussenluft	10 Lüftungsgeräte, zentral (UG+Dach), Platten-WRG		Stahlkanäle	Detailinfo nicht vorhanden
Bürogebäude Verenastrasse, Baden	Aussenluft	7 Lüftungsgeräte, zentral (UG+Dach), Rotations-/Platten-WRG		Material k.A., einfache Verteilung	Detailinfo nicht vorhanden
Bürohaus Fribourg	Aussenluft	10 Lüftungsgeräte, zentral (UG+Dach), Rotations-/Platten-WRG**		Stahlkanäle im Hohlboden, komplexe Verteilung	Detailinfo nicht vorhanden
Geschäftshaus B, Esslingen	Erdreichregister 18 m	1 Lüftungsgerät, zentrale (UG), Rotations-WRG		Stahlkanäle	Detailinfo nicht vorhanden
Geschäftshaus C, Esslingen	Aussenluft	1 Lüftungsgerät, zentrale (UG), Rotations-WRG**		Stahlkanäle, wenig Horizontalvert., Büros mit Überströmung	Detailinfo nicht vorhanden
Schulhaus Albisriederplatz	Aussenluft	4 Lüftungsgeräte, zentral (UG), Platten-WRG**		Spiro-Rohre, horizontal eingelegt	Detailinfo nicht vorhanden
Schulhaus Falletsche	Aussenluft	5 Lüftungsgeräte, zentral (UG), mit Kühlung, Rotations-/Platten-WRG		PE-Rohre, v.a. horizontal eingelegt	Detailinfo nicht vorhanden
Schulhaus Heslibach	Aussenluft	- Hauptgebäude UG: 1 Lüftungsgerät, Rotations-WRG - Materialraum Grundstufe: 3 LG, Platten-WRG - Aufenthalt: 1 LG		Stahlkanäle	Detailinfo nicht vorhanden

Nutzung: Altersheim, Büro, Schule
* Sanierung ** mit Kühlung (Verdunstungskühler)

Abbildung 3: Lüftungsanlagen bei den untersuchten Bauobjekten mit Unterteilung der Teilprozesse nach SIA 411.

Abbildung 4: Sanitäranlagen bei den untersuchten Bauobjekten mit Unterteilung der Teilprozesse nach SIA 411.

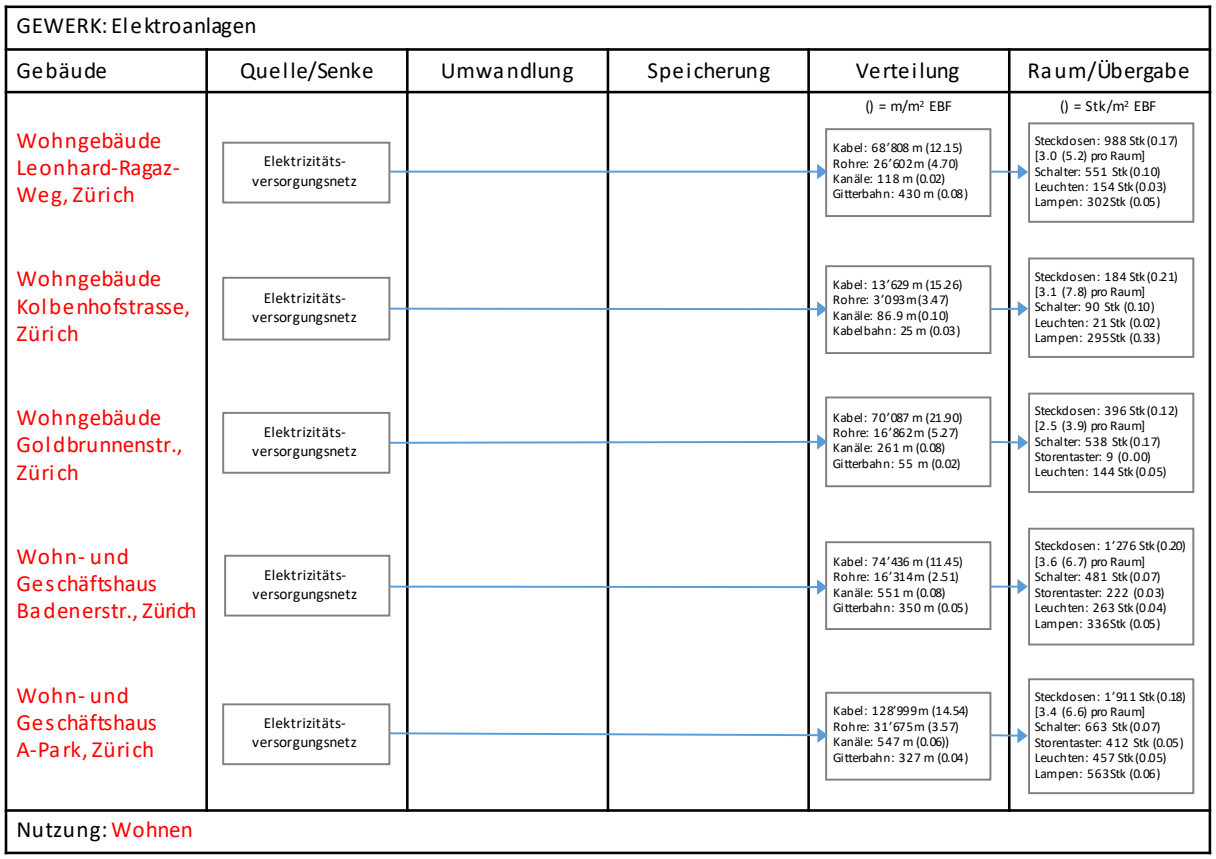


Abbildung 5: Elektroanlagen bei den untersuchten Bauobjekten mit Unterteilung der Teilprozesse nach SIA 411..

5.2 Heizungsanlagen

Abbildung 6 zeigt den Anteil an Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung für die verschiedenen Komponenten der Heizungsanlagen. Erdwärmesonden und Röhrenradiatoren (falls vorhanden) verursachen bis zu mehr als 60% des Aufwands an Grauer Energie des gesamten Heizsystems. Heiz-/Kühldecken liegen bei knapp 40% (Daten von nur einem Gebäude vorhanden).

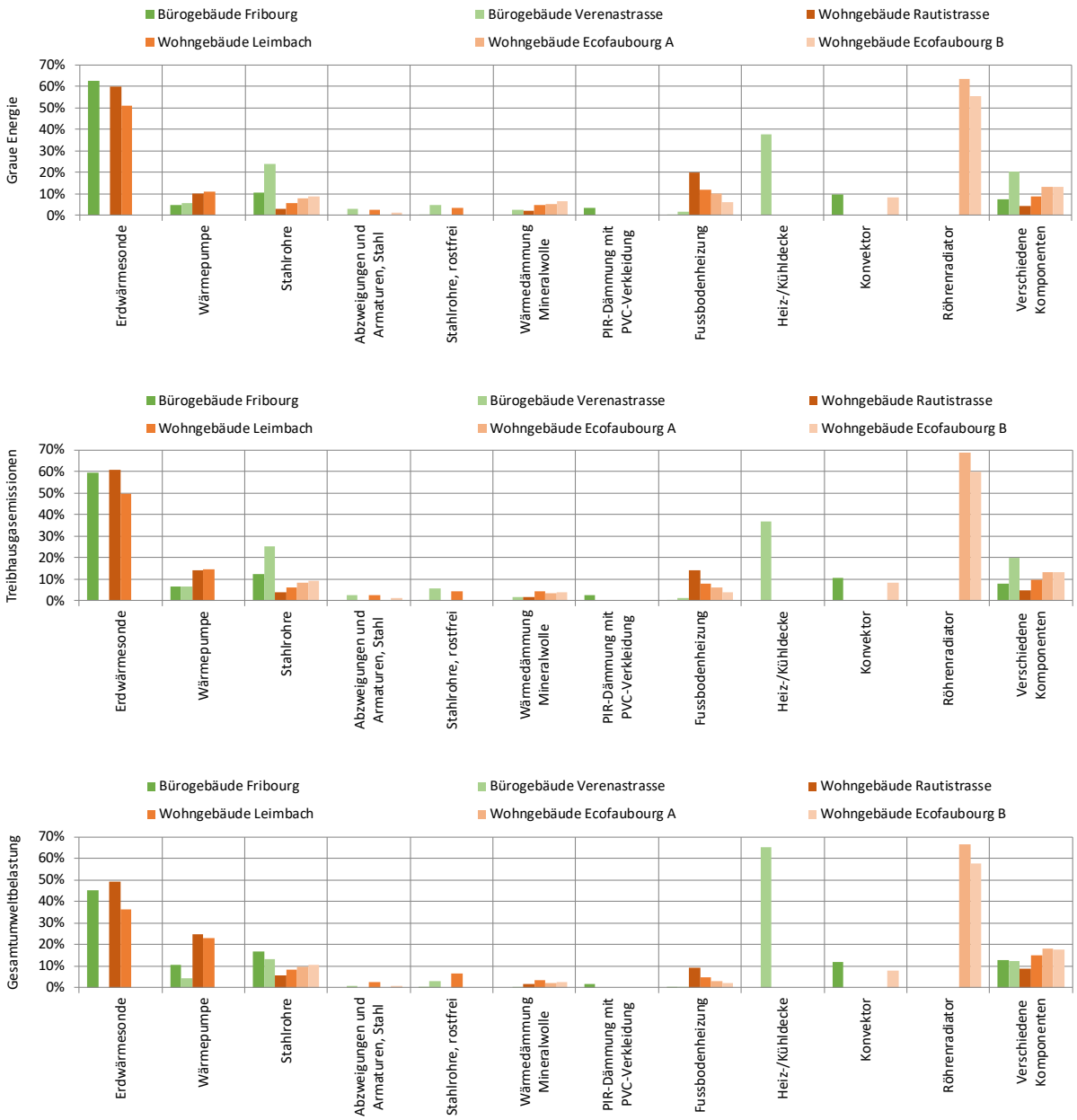


Abbildung 6: Heizungsanlagen. Graue Energie (oben), Treibhausgasemissionen (Mitte), Gesamtumweltbelastung (unten), ausgedruckt als Prozent der Belastung der gesamten Heizungsanlage des jeweiligen Bauobjekts. Grafik basierend auf Auswertungen der ZHAW, Forschungsgruppe Ökobilanzierung (René Itten).

Für jedes Gebäude wurde, basierend auf die Ökobilanzdaten, der prozentuale Umweltbelastungsbeitrag des jeweiligen Teilprozesses (Unterteilung nach SIA 411) an der totalen Umweltbelastung der Heizungsanlage berechnet. Der pro Teilsystem ermittelte, maximale Umweltbelastungsbeitrag aller Gebäuden wird als Indikator der Relevanz des jeweiligen Teilsystems betrachtet. Die berechnete Standardabweichung gilt als Massstab für dessen Varianz (Tabelle 5).

Tabelle 5: Heizungsanlagen. Maximalwert und Standardabweichung von Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung aufgeteilt nach Teilprozess/-system.

Heizungsanlagen	Graue Energie		Treibhausgasemissionen		Gesamtumweltbelastung	
Teilprozess (Teilsystem) nach SIA 411	Maximalwert	Standard-Abweichung	Maximalwert	Standard-Abweichung	Maximalwert	Standard-Abweichung
Quelle/Senke (Energiezufuhr)	63%	29%	61%	29%	49%	22%
Umwandlung (Wärmeerzeuger)	11%	4%	15%	6%	25%	10%
Speicherung (Wärmespeicher)	-	-	-	-	-	-
Verteilung (Wärmeverteilung)	35%	9%	35%	9%	21%	5%
Raum/Übergabe (Wärmeabgabe)	73%	26%	75%	28%	70%	30%

Für eine einfachere Lesbarkeit der Resultate wurden die Zahlendaten basierend auf die hier unten aufgeführte Bewertungsskala (Tabelle 6) in nominalen Werten transformiert. Alle Resultate sind in Tabelle 7 zusammengetragen, welche auch eine Bewertung der Beeinflussbarkeit der Systemkomponenten beinhaltet, die im Rahmen eines Workshops durch fünf Fachexperten eingeschätzt wurde (siehe Details im Anhang C.3).

Tabelle 6: Bewertungsskala für Relevanz und Varianz.

Relevanz	0%	5%	10%	20%	40%
Varianz	0%	4%	8%	12%	16%
Bewertung	keine	gering	mittel	hoch	sehr hoch

Tabelle 7: Heizungsanlagen. Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit des Aufwands an Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung aufgeteilt nach Teilprozess/-system.

Heizungsanlagen	Graue Energie		Treibhausgasemissionen		Gesamtumweltbelastung		Beeinflussbarkeit	
Teilprozess (Teilsystem) nach SIA 411	Relevanz	Varianz	Relevanz	Varianz	Relevanz	Varianz	Vorprojekt	Ausführung
Quelle/Senke (Energiezufuhr)	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	hoch	gering
Umwandlung (Wärmeerzeuger)	mittel	gering	mittel	gering	hoch	mittel	hoch	gering
Speicherung (Wärmespeicher)	-	-	-	-	-	-	-	-
Verteilung (Wärmeverteilung)	hoch	mittel	hoch	mittel	hoch	gering	gering	mittel
Raum/Übergabe (Wärmeabgabe)	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	mittel	gering

5.3 Lüftungsanlagen

Abbildung 7 zeigt den Anteil an Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung für die verschiedenen Komponenten der Lüftungsanlagen. Der Aufwand an Grauer Energie für das Lüftungssystem ist grösstenteils von den verzinkten Lüftungskanälen (ca. 30-40%) und den Lüftungsgeräten (ca. 20-30%) verursacht.

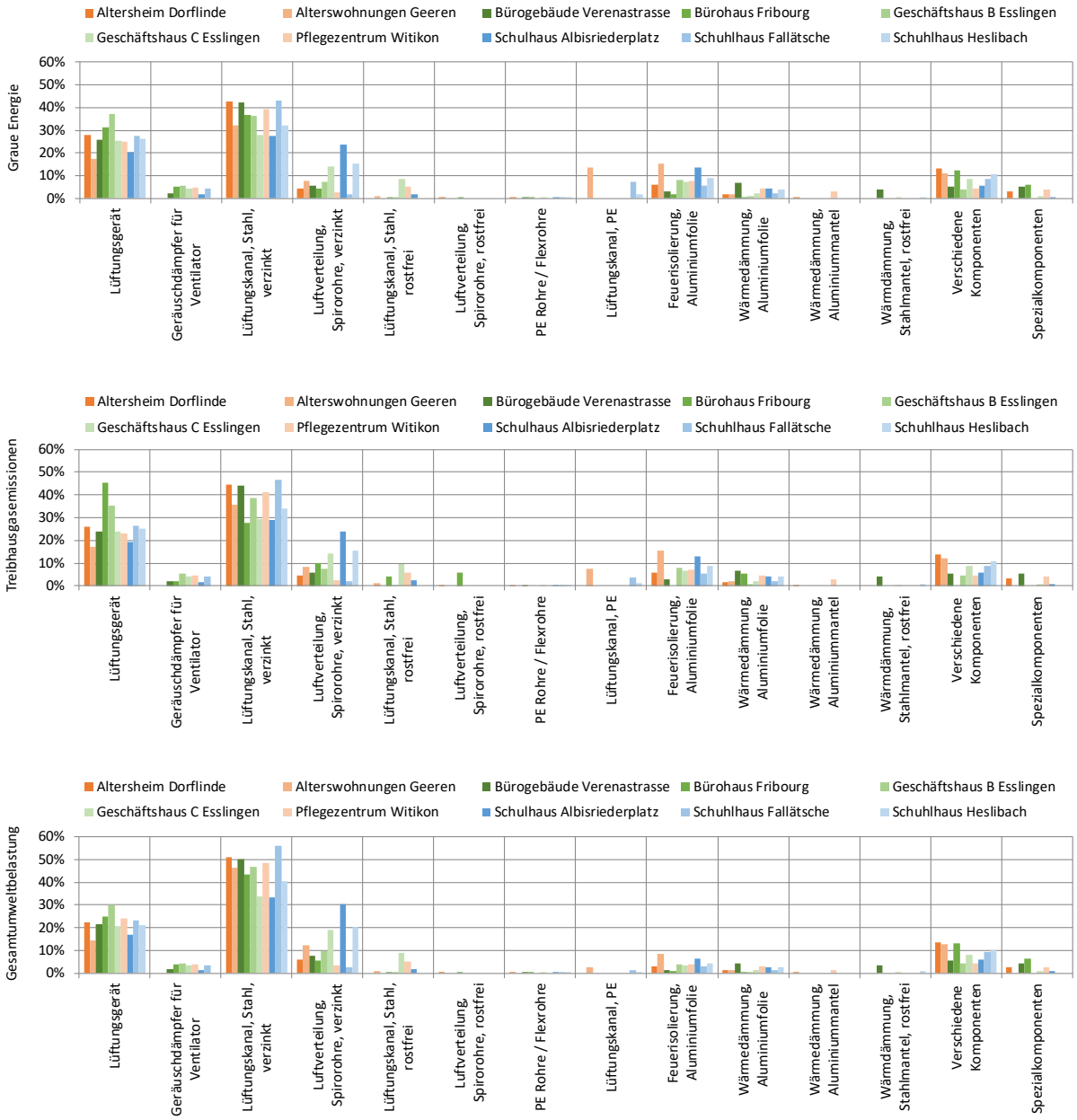


Abbildung 7: Lüftungsanlagen. Graue Energie (oben), Treibhausgasemissionen (Mitte), Gesamtumweltbelastung (unten), ausgedruckt als Prozent der Belastung der gesamten Lüftungsanlage des jeweiligen Bauobjekts. Grafik basierend auf Auswertungen der ZHAW, Forschungsgruppe Ökobilanzierung (René Itten).

Für jedes Gebäude wurde, basierend auf die Ökobilanzdaten, der prozentuale Umweltbelastungsbeitrag des jeweiligen Teilprozesses (Unterteilung nach SIA 411) an der totalen Umweltbelastung der Lüftungsanlage berechnet. Der pro Teilsystem ermittelte, maximale Umweltbelastungsbeitrag aller Gebäuden wird als Indikator der Relevanz des jeweiligen Teilsystems betrachtet. Die berechnete Standardabweichung gilt als Massstab für dessen Varianz (Tabelle 8).

Tabelle 8: Lüftungsanlagen. Maximalwert und Standardabweichung von Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung aufgeteilt nach Teilprozess/-system.

Lüftungsanlagen	Graue Energie		Treibhausgasemissionen		Gesamtumweltbelastung	
Teilprozess (Teilsystem) nach SIA 411	Maximalwert	Standard-Abweichung	Maximalwert	Standard-Abweichung	Maximalwert	Standard-Abweichung
Quelle/Senke (Aussenluft-/Fortluftführung)	-	-	-	-	-	-
Umwandlung (Luftaufbereitung)	43%	7%	47%	8%	34%	5%
Speicherung (Luftwärmespeicher)	-	-	-	-	-	-
Verteilung (Luftverteilung)	72%	8%	72%	6%	75%	6%
Raum/Übergabe (Luftabgabe)	-	-	-	-	-	-

Für eine einfachere Lesbarkeit der Resultate wurden die Zahlendaten basierend auf die hier unten aufgeführte Bewertungsskala (Tabelle 9) in nominalen Werten transformiert. Alle Resultate sind in Tabelle 10 zusammengetragen, welche auch eine Bewertung der Beeinflussbarkeit der Systemkomponenten beinhaltet, die im Rahmen eines Workshops durch fünf Fachexperten eingeschätzt wurde (siehe Details im Anhang C.3).

Tabelle 9: Bewertungsskala für Relevanz und Varianz.

Relevanz	0%	5%	10%	20%	40%
Varianz	0%	4%	8%	12%	16%
Bewertung	keine	gering	mittel	hoch	sehr hoch

Tabelle 10: Lüftungsanlagen. Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit des Aufwands an Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung aufgeteilt nach Teilprozess/-system.

Lüftungsanlagen	Graue Energie		Treibhausgasemissionen		Gesamtumweltbelastung		Beeinflussbarkeit	
Teilprozess (Teilsystem) nach SIA 411	Relevanz	Varianz	Relevanz	Varianz	Relevanz	Varianz	Vorprojekt	Ausführung
Quelle/Senke (Aussenluft-/Fortluftführung)	-	-	-	-	-	-	-	-
Umwandlung (Luftaufbereitung)	sehr hoch	gering	sehr hoch	mittel	hoch	gering	mittel	mittel
Speicherung (Luftwärmespeicher)	-	-	-	-	-	-	-	-
Verteilung (Luftverteilung)	sehr hoch	gering	sehr hoch	gering	sehr hoch	gering	mittel	gering
Raum/Übergabe (Luftabgabe)	-	-	-	-	-	-	-	-

5.4 Sanitäranlagen

Abbildung 8 zeigt den Anteil an Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung für die verschiedenen Komponenten der Sanitäranlagen. Der Aufwand an Grauer Energie für die meisten Gebäudetechnikkomponenten liegt im Bereich von ca. 10-20% des Gesamtaufwands für die Sanitäranlage. Bei den Rohrleitungen ist der Unterschied zwischen Wohnbauten (ca. 10-30%, vier Bauobjekte) und Bürobauten (ca. 60-75%, zwei Bauobjekte) besonders ausgeprägt.

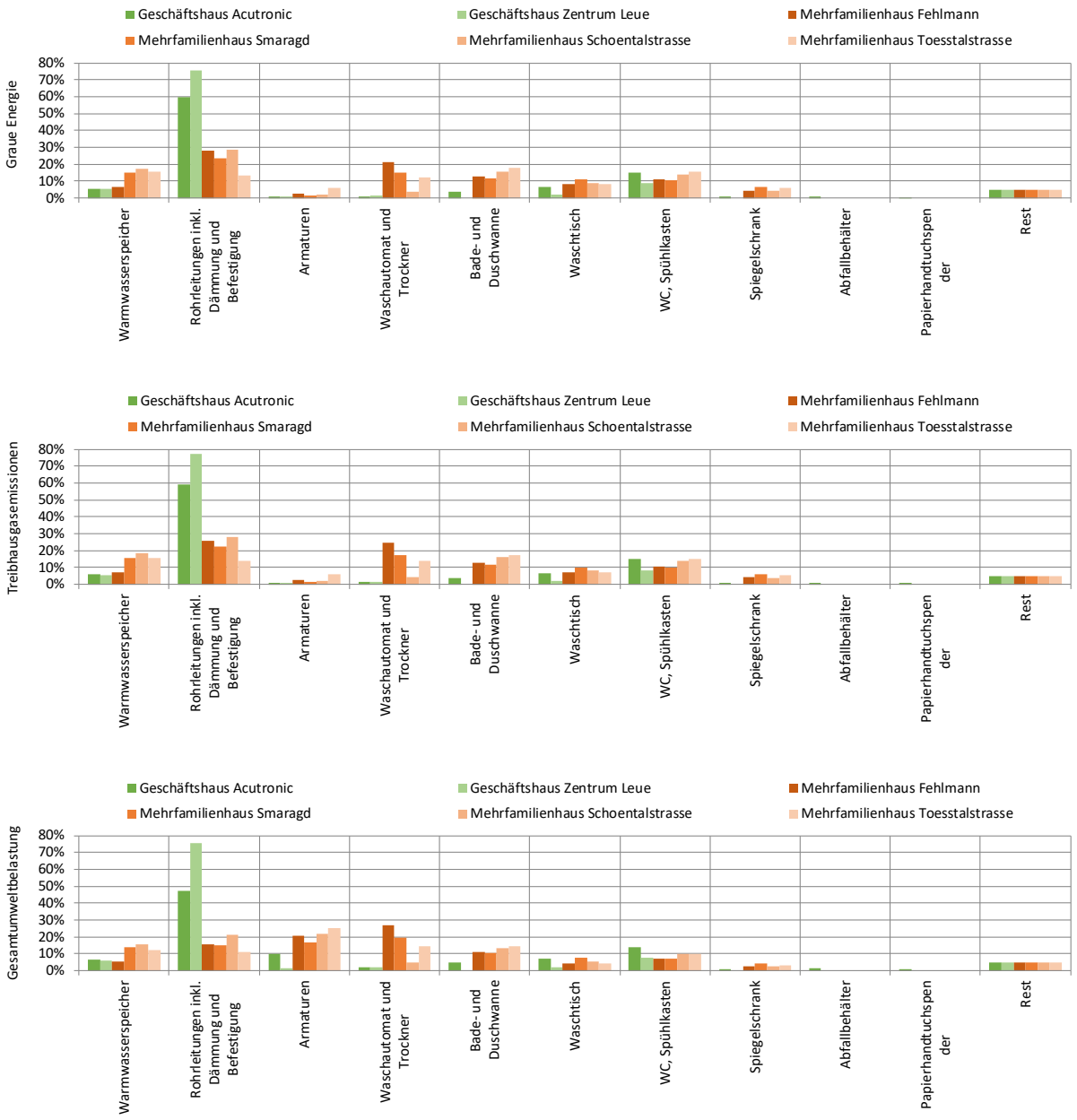


Abbildung 8: Sanitäranlagen. Graue Energie (oben), Treibhausgasemissionen (Mitte), Gesamtumweltbelastung (unten), ausgedruckt als Prozent der Belastung der gesamten Sanitäranlage des jeweiligen Bauobjekts. Grafik basierend auf Auswertungen der ZHAW, Forschungsgruppe Ökobilanzierung (René Itten).

Für jedes Gebäude wurde, basierend auf die Ökobilanzdaten, der prozentuale Umweltbelastungsbeitrag des jeweiligen Teilprozesses (Unterteilung nach SIA 411) an der totalen Umweltbelastung der Sanitäranlage berechnet. Der pro Teilsystem ermittelte, maximale Umweltbelastungsbeitrag aller Gebäuden wird als Indikator der Relevanz des jeweiligen Teilsystems betrachtet. Die berechnete Standardabweichung gilt als Massstab für dessen Varianz (Tabelle 11).

Tabelle 11: Sanitäranlagen. Maximalwert und Standardabweichung von Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung aufgeteilt nach Teilprozess/-system.

Sanitäranlagen	Graue Energie		Treibhausgasemissionen		Gesamtumweltbelastung	
Teilprozess (Teilsystem) nach SIA 411	Maximalwert	Standard-Abweichung	Maximalwert	Standard-Abweichung	Maximalwert	Standard-Abweichung
Quelle/Senke (Wasserquelle)	-	-	-	-	-	-
Umwandlung (Wasserbehandlung/-aufbereitung)	-	-	-	-	-	-
Speicherung (Wasserspeicher)	17%	5%	18%	5%	16%	4%
Verteilung (Wasserverteilung)	77%	21%	78%	21%	77%	16%
Raum/Übergabe (Entnahmestelle)	60%	17%	60%	18%	53%	14%

Für eine einfachere Lesbarkeit der Resultate wurden die Zahlendaten basierend auf die hier unten aufgeführte Bewertungsskala (Tabelle 12) in nominalen Werten transformiert. Alle Resultate sind in Tabelle 13 zusammengetragen, welche auch eine Bewertung der Beeinflussbarkeit der Systemkomponenten beinhaltet, die im Rahmen eines Workshops durch fünf Fachexperten eingeschätzt wurde (siehe Details im Anhang C.3).

Tabelle 12: Bewertungsskala für Relevanz und Varianz.

Relevanz	0%	5%	10%	20%	40%
Varianz	0%	4%	8%	12%	16%
Bewertung	keine	gering	mittel	hoch	sehr hoch

Tabelle 13: Sanitäranlagen. Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit des Aufwands an Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung aufgeteilt nach Teilprozess/-system.

Sanitäranlagen	Graue Energie		Treibhausgasemissionen		Gesamtumweltbelastung		Beeinflussbarkeit	
Teilprozess (Teilsystem) nach SIA 411	Relevanz	Varianz	Relevanz	Varianz	Relevanz	Varianz	Vorprojekt	Ausführung
Quelle/Senke (Wasserquelle)	-	-	-	-	-	-	-	-
Umwandlung (Wasserbehandlung/-aufbereitung)	-	-	-	-	-	-	-	-
Speicherung (Wasserspeicher)	mittel	gering	mittel	gering	mittel	gering	mittel	gering
Verteilung (Wasserverteilung)	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	hoch	mittel	gering
Raum/Übergabe (Entnahmestelle)	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	hoch	mittel	mittel

5.5 Elektroanlagen

Abbildung 9 zeigt den Anteil an Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung für die verschiedenen Komponenten der Elektroanlagen. Bei den Elektroanlagen sind Kabel und Installationsrohre für ca. 40-60% bzw. ca. 20-35% des Aufwandes an Grauer Energie für die gesamte Anlage verantwortlich.

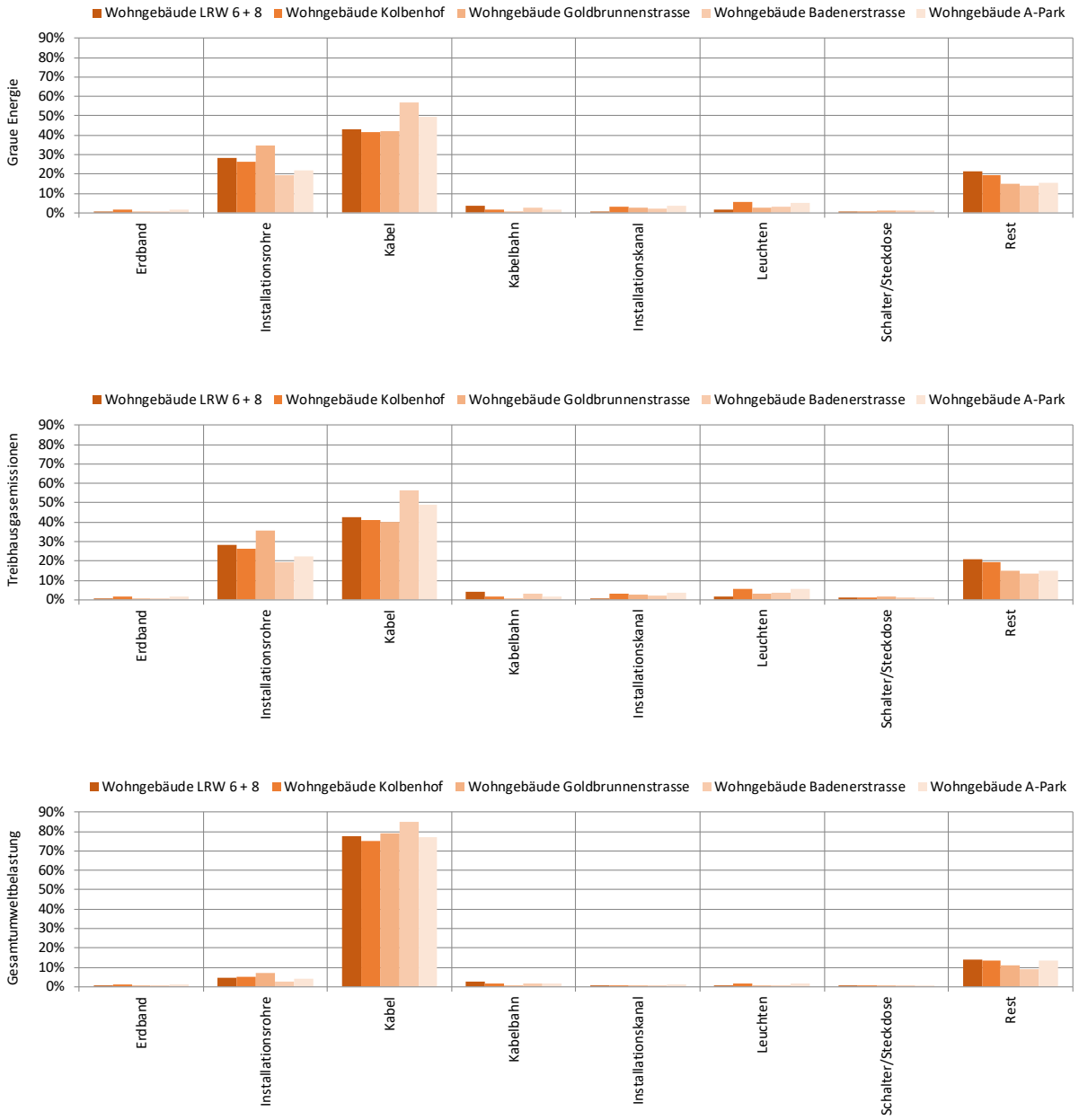


Abbildung 9: Elektroanlagen. Graue Energie (oben), Treibhausgasemissionen (Mitte), Gesamtumweltbelastung (unten), ausgedruckt als Prozent der Belastung der gesamten Elektroanlage des jeweiligen Bauobjekts. Grafik basierend auf Auswertungen der ZHAW, Forschungsgruppe Ökobilanzierung (René Itten).

Für jedes Gebäude wurde, basierend auf die Ökobilanzdaten, der prozentuale Umweltbelastungsbeitrag des jeweiligen Teilprozesses (Unterteilung nach SIA 411) an der totalen Umweltbelastung der Elektroanlage berechnet. Der pro Teilsystem ermittelte, maximale Umweltbelastungsbeitrag aller Gebäuden wird als Indikator der Relevanz des jeweiligen Teilsystems betrachtet. Die berechnete Standardabweichung gilt als Massstab für dessen Varianz (Tabelle 14).

Tabelle 14: Elektroanlagen. Maximalwert und Standardabweichung von Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung aufgeteilt nach Teilprozess/-system.

Elektroanlagen	Graue Energie		Treibhausgasemissionen		Gesamtumweltbelastung	
Teilprozess (Teilsystem) nach SIA 411	Maximalwert	Standard-Abweichung	Maximalwert	Standard-Abweichung	Maximalwert	Standard-Abweichung
Quelle/Senke (Starkstromanschluss)	2%	0%	2%	0%	1%	0%
Umwandlung (Starkstromerzeugung bzw. Spannungswandler)	-	-	-	-	-	-
Speicherung (Energiespeicher)	-	-	-	-	-	-
Verteilung (Stromverteilung)	81%	3%	81%	3%	90%	2%
Raum/Übergabe (Verbraucher)	6%	1%	7%	2%	2%	1%

Für eine einfachere Lesbarkeit der Resultate wurden die Zahlendaten basierend auf die hier unten aufgeführte Bewertungsskala (Tabelle 15) in nominalen Werten transformiert. Alle Resultate sind in Tabelle 16 zusammengetragen, welche auch eine Bewertung der Beeinflussbarkeit der Systemkomponenten beinhaltet, die im Rahmen eines Workshops durch fünf Fachexperten eingeschätzt wurde (siehe Details im Anhang C.3).

Tabelle 15: Bewertungsskala für Relevanz und Varianz.

Relevanz	0%	5%	10%	20%	40%
Varianz	0%	4%	8%	12%	16%
Bewertung	keine	gering	mittel	hoch	sehr hoch

Tabelle 16: Elektroanlagen. Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit des Aufwands an Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung aufgeteilt nach Teilprozess/-system.

Elektroanlagen	Graue Energie		Treibhausgasemissionen		Gesamtumweltbelastung		Beeinflussbarkeit	
Teilprozess (Teilsystem) nach SIA 411	Relevanz	Varianz	Relevanz	Varianz	Relevanz	Varianz	Vorprojekt	Ausführung
Quelle/Senke (Starkstromanschluss)	keine	keine	keine	keine	keine	keine	gering	gering
Umwandlung (Starkstromerzeugung bzw. Spannungswandler)	-	-	-	-	-	-	-	-
Speicherung (Energiespeicher)	-	-	-	-	-	-	-	-
Verteilung (Stromverteilung)	sehr hoch	keine	sehr hoch	keine	sehr hoch	keine	mittel	gering
Raum/Übergabe (Verbraucher)	gering	keine	gering	keine	keine	keine	gering	gering

6. Systemische Betrachtung

6.1 Wirkungsanalyse

Die Gebäudetechnikgewerke, ihre Komponenten und Wechselwirkungen stellen ein komplexes, kausal-vernetztes System dar. Die Änderung eines Elements kann den Rest des Systems bzw. die Wahl anderer Systemkomponenten beeinflussen. Um die gegenseitige Beeinflussung der Systemkomponente und die komplexen Wirkungszusammenhänge zu durchleuchten, wurde für jedes Gewerk eine Wirkungsanalyse[5] durchgeführt. Der gegenseitige Einfluss von ausgewählten Einflussgrössen (Tabelle 17) wurde anhand einer Wirkungsmatrix bewertet. Die Einflussgrössen wurden so ausgewählt, dass sie gebäudetechnische, architektonische, energetische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Kriterien abdecken.

Die strukturierte Betrachtung des Systems mittels Wirkungsanalyse kann behilflich sein, um folgende Fragen anzugehen:

- Was sind die für uns wichtigen Komponenten des Systems?
- Wie sind ihre gegenseitigen Beziehungen?
- Welche Folgen hat die Änderung einer Systemkomponente?
- Welches sind die Steuerungsmöglichkeiten des Systems?

Tabelle 17: Berücksichtigte Einflussgrössen mit ihrer Bedeutung im Kontext der vier Gewerke.

Einflussgrössen	Heizungsanlagen	Lüftungsanlagen	Sanitäranlagen	Elektroanlagen	Bereich
1 Quelle/Senke	Energiezufuhr (Brennstoffe, Elektrizität, Sonnenenergie, Luft, Wasser, Geothermie, Abwärme, Fernwärme)	Aussenluft-/Fortluftführung (Aussenluft, Fortluft, Erdreich-Wärmeübertrager, Luftkollektor)	Wasserversorgung (Wasserquelle), Wasserentsorgung (Abwasser)	Gelieferte Energie (z.B. Starkstromanschluss), eigenerzeugte Energie (z.B. Photovoltaik)	Gebäudetechnik (Teilprozess / Teilsystem SIA 411)
2 Umwandlung	Wärmeerzeuger (Heizkessel, Wärmepumpe, Wärme-Kraft-Kopplung, Sonnenkollektoren, Wärmeübertrager)	Luftaufbereitung (mechanische Lüftungsanlagen zentral/dezentral, mit/ohne Umluft-Funktion, Abluftanlagen, natürliche Lüftung bzw. Fensterlüftung usw.)	Wasserversorgungsanlagen: Wasserbehandlung, Wärmeübertragung an das Wasser (Wassererwärmung). Wasserentsorgungsanlagen: Abscheideanlage, Wärmeübertragung des Abwassers an ein anderes Medium.	Starkstromerzeugung, Schwachstromerzeugung	
3 Speicherung	Wärmespeicher (technische Speicher, Kurzzeit- und Langzeitspeicher)	Luftwärmespeicher (bei solaren Luftheizungen: Wärmespeicher mit Steinkörper oder mit Latentspeichermedien usw.)	Wasserversorgungsanlagen: Wasserspeicher, Wassererwärmer, druckloses und geschlossenes (Tank) oder offenes Gefäss (Becken). Wasserentsorgungsanlagen: Druckloses und geschlossenes (Tank) oder offenes Gefäss (Becken)	Energiespeicher: statisch (Batterien, Akkumulatoren) oder dynamisch (Schwungräder)	
4 Verteilung	Wärmewerteilung (Rohrmaterialien, Rohrdämmung, Art des Verteilnetzes, Art der Verteilung)	Luftverteilung (Rohrmaterialien, Art der Verteilung, Anzahl Zuluftleitungen an den Versorgungsstellen bzw. Einkanalanlagen/Zweikanalanlagen)	Wasserverteilung (Rohrmaterialien, Rohrdämmung, Versorgungs-/Entsorgungsart, Art der Verteilung)	Installationen (Stark-/Schwachstrom), Art der Verteilung	
5 Raum/Übergabe	Wärmeabgabe (Heizkörper, Fussboden-, Wand- und Deckenheizungen, TABS, Luftheizungen usw.)	Luftabgabe (Bauform des Luftdurchlasses: Dralldurchlass, Gitterdurchlass, Schlitzdurchlass usw.)	Entnahmestelle (Art der Entnahmestellen, Art der Wassernutzung, Entwässerungsgegenstände mit/ohne Geruchverschluss usw.)	Verbraucher	
6 Nutzung/Betrieb	Angeforderte Raumtemperatur (z.B. nach SIA 2024), interne Wärmelasten	Zuluft-/Raumluftqualität, Abluft-/Fortluftqualität, angeforderte thermische und hygrische Konditionen der Raum- bzw. Zuluft (Temperatur und Feuchte, z.B. nach SIA 2024)	Angeforderte Qualität des Trinkwassers gem. Bundesverordnungen (Grenz- und Toleranzwerte) und des Wassers zur Nutzung in gebäudetechnischen Anlagen	Anforderungen hinsichtlich des Energieverbrauchs für Haushaltgeräte, Beleuchtung usw.	
7 Bauweise	massiv, leicht, gemischt/hybrid	←	←	←	Architektur
8 Kompaktheit	hoch, gering, Gebäudehüllzahl Ath/AE	←	←	←	
9 Gebäudehülle	Thermische Eigenschaften (Dämmstandard, Wärmeverluste), Glasanteil (solare Wärmegewinne), Luftdichtigkeit	←	←	←	
10 Architektur/Ästhetik	Gebäude- und Raumgestaltung	←	←	←	
11 Betriebsenergie	Energiebedarf während des Betriebs	←	←	←	Energie
12 Anlagekosten	Investitionsausgaben für die Anschaffung der Anlage	←	←	←	Wirtschaft
13 Betriebskosten	Betriebs- und Unterhaltskosten	←	←	←	
14 Behaglichkeit	Thermischer Komfort, Raumluftqualität, Akustischer Komfort, Visueller Komfort, Einflussnahme des Nutzers auf die Bereiche Temperatur, Lüftung, Sonnen- und Blendschutz, Tages- und Kunstlicht	←	←	←	Gesellschaft
15 Nutzerakzeptanz	Akzeptanz der technischen Einrichtung (Bedienkomfort, Einfachheit der Bedienung, Eingriffsmöglichkeiten bzw. Einflussnahme des Nutzers usw.), Betriebskosten, Architektur/Ästhetik usw.	←	←	←	

[5] Für eine ausführliche Beschreibung des methodischen Vorgehens der Wirkungsanalyse siehe z.B. A. Ninck, L. Bürki, R. Hungerbühler und H. Mühlemann, „Systemik. Vernetztes Denken in komplexen Situationen," Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 4. Auflage, 2004.

Abbildung 10 bis Abbildung 17 zeigen die Wirkungsmatrizen mit der Bewertung der Wechselwirkungen im System und die Wirkungsdiagramme mit der Darstellung der Resultate, jeweils für die Gewerke Heizung, Lüftung, Sanitär und Elektro. Zur Minimierung der Subjektivität der Resultate wurde die Bewertung von drei Projektmitarbeitenden durchgeführt.

Heizungsanlagen Wirkung von ↓ auf → Bewertungsskala: 3: Starke Einwirkung 2: Mittlere Einwirkung 1: Schwache Einwirkung 0: Keine direkte Einwirkung		Quelle/Senke	Umwandlung	Speicherung	Verteilung	Raum/Übergabe	Nutzung/Betrieb	Bauweise	Kompaktheit	Gebäudehülle	Architektur/Ästhetik	Betriebsenergie	Anlagekosten	Betriebskosten	Behaglichkeit	Nutzerakzeptanz	Aktivsumme (AS)	Grad der Vernetzung (PS*AS)
1	Quelle/Senke		3	1	1	3	0	0	0	0	2	3	2	3	0	1	19	209
2	Umwandlung	3		1	1	3	1	0	0	0	0	3	2	3	0	1	18	234
3	Speicherung	0	1		1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	8	40
4	Verteilung	0	1	0		1	0	0	0	0	1	2	2	2	0	0	9	81
5	Raum/Übergabe	2	2	0	1		1	0	0	0	3	3	2	3	3	3	23	322
6	Nutzung/Betrieb	2	3	1	0	1		0	0	0	0	3	2	3	3	3	21	42
7	Bauweise	0	0	0	2	2	0		0	2	2	2	1	2	2	1	16	48
8	Kompaktheit	0	0	0	2	0	0	0		1	3	3	2	3	1	1	16	48
9	Gebäudehülle	1	2	1	0	1	0	0	0		3	3	2	3	3	2	21	126
10	Architektur/Ästhetik	3	1	1	1	3	0	3	3	3		1	1	1	0	3	24	336
11	Betriebsenergie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	3	0	3	6	162
12	Anlagekosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	0	2	4	80
13	Betriebskosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	3	3	96
14	Behaglichkeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1		3	6	72
15	Nutzerakzeptanz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0		3	78
Passivsumme (PS)		**11**	**13**	**5**	**9**	**14**	2	**3**	**3**	**6**	**14**	**27**	**20**	32	**12**	**26**		
Grad der Aktivität (AS/PS)		**1.7**	**1.4**	**1.6**	**1.0**	**1.6**	10.5	**5.3**	**5.3**	**3.5**	**1.7**	**0.2**	**0.2**	0.1	**0.5**	**0.1**		

Abbildung 10: Wirkungsmatrix Heizungsanlagen. Erklärung der Bewertungsskala: 3 = Kleine Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte hat sehr gosse Wirkung bei der Einflussgrösse in der Zeile; 2 = Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte führt zu gleich starker Wirkung; 1 = Starke Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte hat sehr kleine Wirkung; 0 = Keine, sehr schwache oder zeitverzögerte Wirkung.

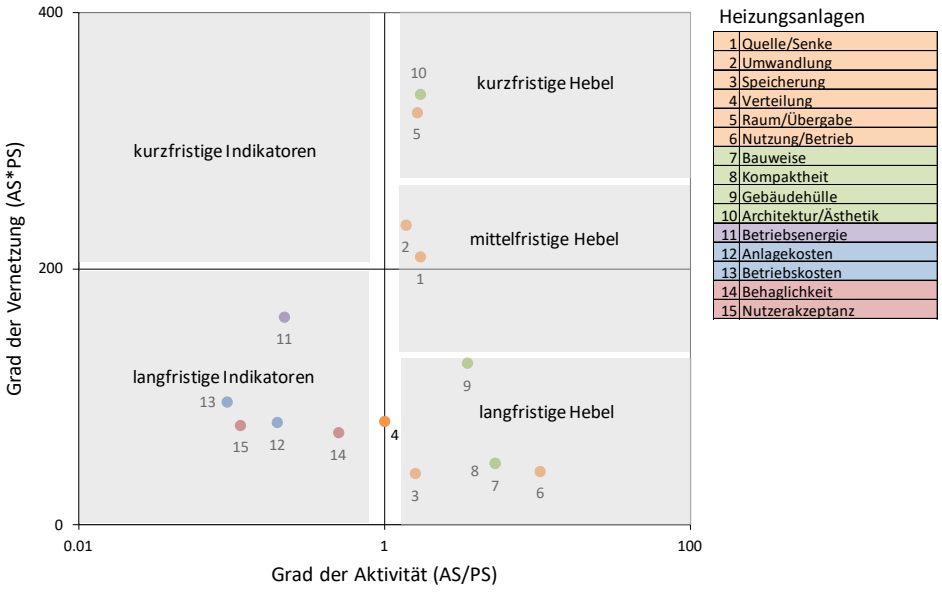


Abbildung 11: Wirkungsdiagramm Heizungsanlagen.

Lüftungsanlagen Wirkung von ↓ auf → Bewertungsskala: 3: Starke Einwirkung 2: Mittlere Einwirkung 1: Schwache Einwirkung 0: Keine direkte Einwirkung		Quelle/Senke	Umwandlung	Speicherung	Verteilung	Raum/Übergabe	Nutzung/Betrieb	Bauweise	Kompaktheit	Gebäudehülle	Architektur/Ästhetik	Betriebsenergie	Anlagekosten	Betriebskosten	Behaglichkeit	Nutzerakzeptanz	Aktivsumme (AS)	Grad der Vernetzung (PS*AS)
1	Quelle/Senke		1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	1	1	0	8	40
2	Umwandlung	1		2	2	1	2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	18	216
3	Speicherung	1	2		2	1	1	0	0	0	0	1	2	1	1	0	12	48
4	Verteilung	0	2	0		1	1	0	0	0	2	2	3	2	1	2	16	192
5	Raum/Übergabe	0	1	0	1		1	0	0	0	2	1	1	1	3	2	13	117
6	Nutzung/Betrieb	0	3	0	1	1		0	0	0	0	2	2	2	3	2	16	96
7	Bauweise	0	0	0	2	1	0		0	2	2	1	1	1	2	1	13	26
8	Kompaktheit	0	0	0	2	0	0	0		1	3	1	2	1	1	1	12	36
9	Gebäudehülle	1	2	1	0	2	0	0	0		3	1	1	1	3	2	17	102
10	Architektur/Ästhetik	2	1	1	2	2	0	2	3	3		1	1	1	0	3	22	286
11	Betriebsenergie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	3	0	3	6	90
12	Anlagekosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	0	2	4	76
13	Betriebskosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	3	3	60
14	Behaglichkeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1		3	6	102
15	Nutzerakzeptanz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0		3	78
Passivsumme (PS)		**5**	**12**	**4**	**12**	**9**	**6**	**2**	**3**	**6**	**13**	**15**	**19**	**20**	**17**	**26**		
Grad der Aktivität (AS/PS)		**1.6**	**1.5**	**3.0**	**1.3**	**1.4**	**2.7**	**6.5**	**4.0**	**2.8**	**1.7**	**0.4**	**0.2**	**0.2**	**0.4**	**0.1**		

Abbildung 12: Wirkungsmatrix Lüftungsanlagen. Erklärung der Bewertungsskala: 3 = Kleine Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte hat sehr gosse Wirkung bei der Einflussgrösse in der Zeile; 2 = Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte führt zu gleich starker Wirkung; 1 = Starke Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte hat sehr kleine Wirkung; 0 = Keine, sehr schwache oder zeitverzögerte Wirkung.

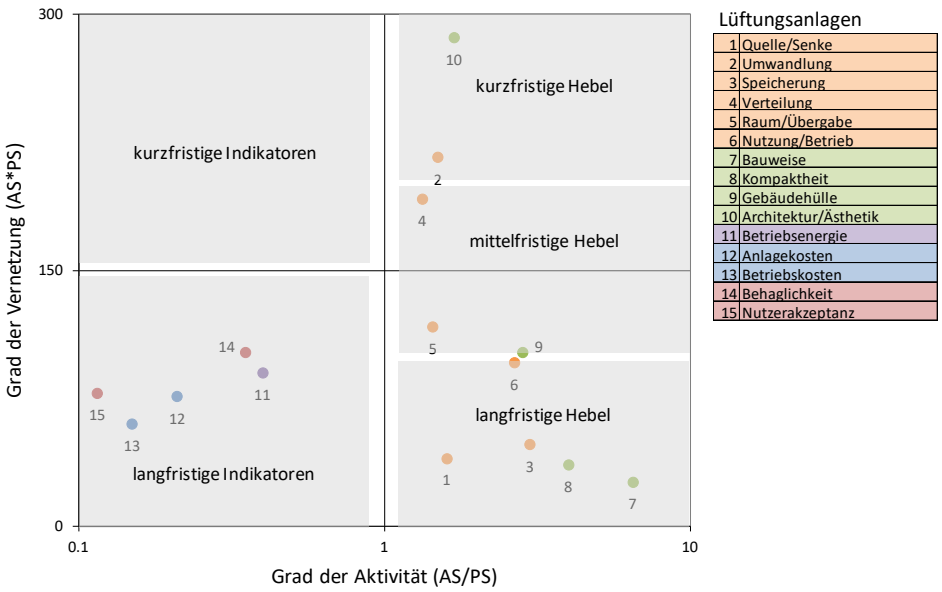


Abbildung 13: Wirkungsdiagramm Lüftungsanlagen.

Sanitäranlagen Wirkung von ↓ auf → Bewertungsskala: 3: Starke Einwirkung 2: Mittlere Einwirkung 1: Schwache Einwirkung 0: Keine direkte Einwirkung		Quelle/Senke	Umwandlung	Speicherung	Verteilung	Raum/Übergabe	Nutzung/Betrieb	Bauweise	Kompaktheit	Gebäudehülle	Architektur/Ästhetik	Betriebsenergie	Anlagekosten	Betriebskosten	Behaglichkeit	Nutzerakzeptanz	**Aktivsumme (AS)**	**Grad der Vernetzung (PS*AS)**
1	Quelle/Senke		1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	**5**	**5**
2	Umwandlung	0		2	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	1	**10**	**70**
3	Speicherung	0	1		1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	**7**	**35**
4	Verteilung	0	1	1		1	0	0	0	0	0	2	2	2	1	0	**10**	**90**
5	Raum/Übergabe	0	1	1	1		0	0	0	0	3	2	2	2	2	3	**17**	**102**
6	Nutzung/Betrieb	1	3	1	1	1		0	0	0	0	2	2	2	2	3	**18**	**0**
7	Bauweise	0	0	0	2	1	0		0	2	2	0	1	0	2	1	**11**	**22**
8	Kompaktheit	0	0	0	2	0	0	0		1	3	0	2	0	1	1	**10**	**30**
9	Gebäudehülle	0	0	0	0	0	0	0	0		3	1	0	1	3	2	**10**	**60**
10	Architektur/Ästhetik	0	0	0	1	3	0	2	3	3		1	1	1	0	3	**18**	**198**
11	Betriebsenergie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	3	0	3	**6**	**84**
12	Anlagekosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	0	2	**4**	**68**
13	Betriebskosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	3	**3**	**57**
14	Behaglichkeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1		3	**6**	**72**
15	Nutzerakzeptanz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0		**3**	**78**
Passivsumme (PS)		**1**	**7**	**5**	**9**	**6**	0	**2**	**3**	**6**	**11**	**14**	**17**	**19**	**12**	26		
Grad der Aktivität (AS/PS)		**5.0**	**1.4**	**1.4**	**1.1**	**2.8**	**###**	**5.5**	**3.3**	**1.7**	**1.6**	**0.4**	**0.2**	**0.2**	**0.5**	**0.1**		

Abbildung 14: Wirkungsmatrix Sanitäranlagen. Erklärung der Bewertungsskala: 3 = Kleine Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte hat sehr gosse Wirkung bei der Einflussgrösse in der Zeile; 2 = Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte führt zu gleich starker Wirkung; 1 = Starke Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte hat sehr kleine Wirkung; 0 = Keine, sehr schwache oder zeitverzögerte Wirkung.

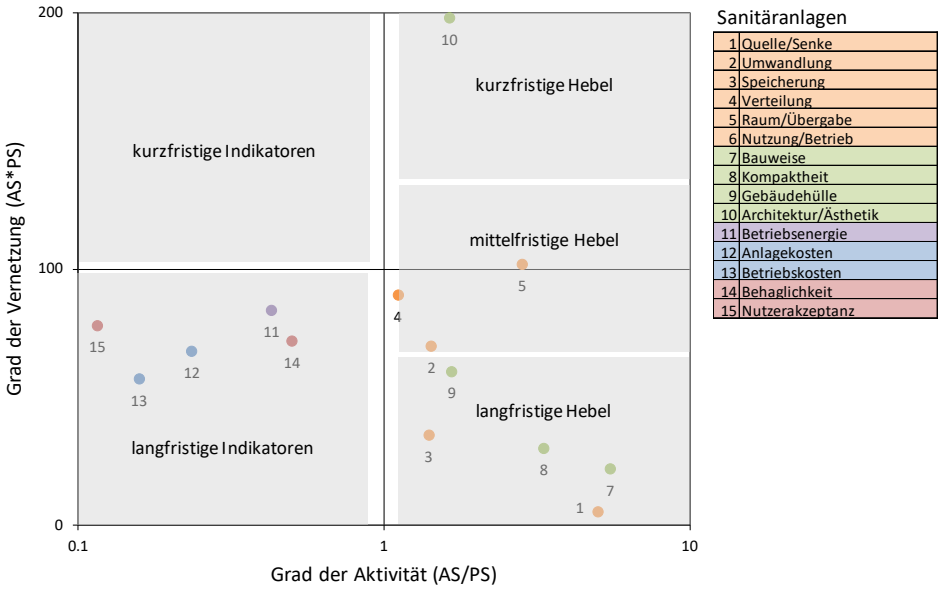


Abbildung 15: Wirkungsdiagramm Sanitäranlagen.

Elektroanlagen Wirkung von ↓ auf → Bewertungsskala: 3: Starke Einwirkung 2: Mittlere Einwirkung 1: Schwache Einwirkung 0: Keine direkte Einwirkung		Quelle/Senke	Umwandlung	Speicherung	Verteilung	Raum/Übergabe	Nutzung/Betrieb	Bauweise	Kompaktheit	Gebäudehülle	Architektur/Ästhetik	Betriebsenergie	Anlagekosten	Betriebskosten	Behaglichkeit	Nutzerakzeptanz	**Aktivsumme (AS)**	**Grad der Vernetzung (PS*AS)**
1	Quelle/Senke		2	1	0	0	0	0	0	0	2	3	3	3	0	1	**15**	**90**
2	Umwandlung	0		0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	**4**	**32**
3	Speicherung	1	1		0	0	0	0	0	0	1	2	3	2	0	0	**10**	**60**
4	Verteilung	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	**4**	**24**
5	Raum/Übergabe	1	2	2	2		0	0	0	0	2	3	2	3	3	3	**23**	**138**
6	Nutzung/Betrieb	1	3	2	0	2		0	0	0	0	2	2	2	3	3	**20**	**0**
7	Bauweise	0	0	0	1	1	0		0	2	2	0	1	0	2	1	**10**	**20**
8	Kompaktheit	0	0	0	2	0	0	0		1	3	2	2	2	1	1	**14**	**42**
9	Gebäudehülle	0	0	0	0	0	0	0	0		3	2	1	2	3	2	**13**	**78**
10	Architektur/Ästhetik	3	0	1	1	2	0	2	3	3		1	1	1	0	3	**21**	**273**
11	Betriebsenergie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	3	0	3	**6**	**108**
12	Anlagekosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2	0	2	**4**	**84**
13	Betriebskosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	3	**3**	**72**
14	Behaglichkeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1		3	**6**	**72**
15	Nutzerakzeptanz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0		**3**	**75**
Passivsumme (PS)		**6**	**8**	**6**	**6**	**6**	0	**2**	**3**	**6**	**13**	**18**	**21**	**24**	**12**	**25**		
Grad der Aktivität (AS/PS)		**2.5**	**0.5**	**1.7**	**0.7**	**3.8**	**###**	**5.0**	**4.7**	**2.2**	**1.6**	**0.3**	**0.2**	**0.1**	**0.5**	**0.1**		

Abbildung 16: Wirkungsmatrix Elektroanlagen. Erklärung der Bewertungsskala: 3 = Kleine Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte hat sehr gosse Wirkung bei der Einflussgrösse in der Zeile; 2 = Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte führt zu gleich starker Wirkung; 1 = Starke Veränderung der Einflussgrösse in der Spalte hat sehr kleine Wirkung; 0 = Keine, sehr schwache oder zeitverzögerte Wirkung.

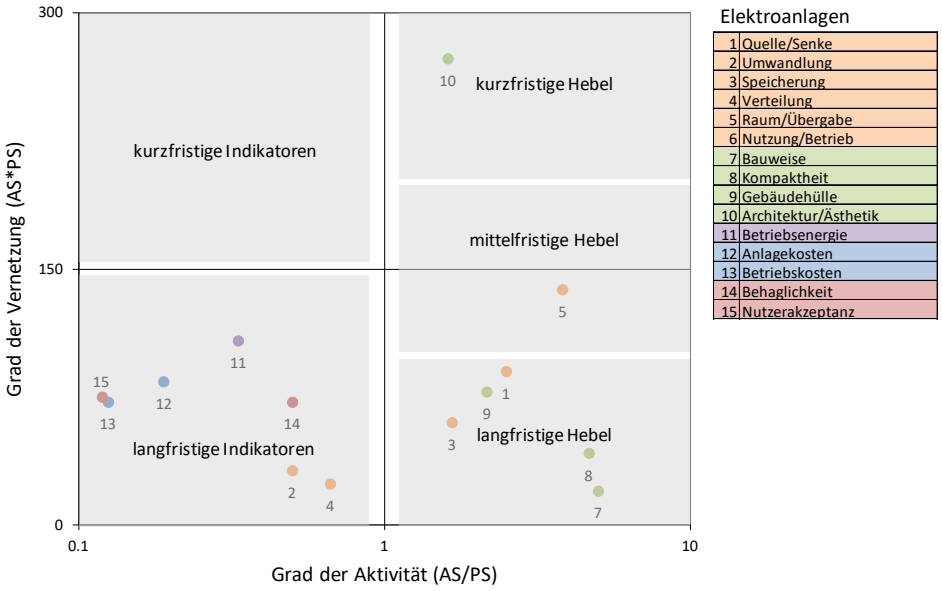


Abbildung 17: Wirkungsdiagramm Elektroanlagen.

Die Resultate der Wirkungsanalyse und deren Interpretation sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

Tabelle 18: Zusammenfassung der Resultate und Interpretation der Wirkungsanalyse.

Wirkung im System	Heizungsanlagen	Lüftungsanlagen	Sanitäranlagen	Elektroanlagen
Kurzfristige Hebel Elemente aktiv und hoch vernetzt. Bei Änderungen in diesem Bereich bewirkt der hohe Aktivitätsgrad meistens eine schnelle Reaktion des Systems. Aufgrund der hohen Vernetzung führen aber Eingriffe zu kaum kontrollierbaren Auswirkungen und sind deshalb nur mit Vorsicht zu tätigen.	5 Raum/Übergabe 10 Architektur/ Ästhetik	2 Umwandlung 10 Architektur/ Ästhetik	10 Architektur/ Ästhetik	10 Architektur/ Ästhetik
Mittelfristige Hebel Elemente aktiv und mittelstark vernetzt. Eingriffe hier führen zu mittelfristigen Auswirkungen und sind besser kontrollierbar als bei den kurzfristigen Hebeln.	1 Quelle/Senke 2 Umwandlung	4 Verteilung 5 Raum/Übergabe 9 Gebäudehülle	2 Umwandlung 5 Raum/Übergabe	5 Raum/Übergabe
Langfristige Hebel Elemente aktiv und schwach vernetzt. Sie zeigen verzögerte Auswirkungen mit überblickbaren Nebeneffekten und sind somit geeignet für langfristige Lösungsansätze.	3 Speicherung 6 Nutzung/Betrieb 7 Bauweise 8 Kompaktheit 9 Gebäudehülle	1 Quelle/Senke 3 Speicherung 6 Nutzung/Betrieb 7 Bauweise 8 Kompaktheit	1 Quelle/Senke 3 Speicherung 7 Bauweise 8 Kompaktheit 9 Gebäudehülle	1 Quelle/Senke 3 Speicherung 7 Bauweise 8 Kompaktheit 9 Gebäudehülle
Kurzfristige Indikatoren Elemente passiv und hoch vernetzt. Sie werden als Gesamtindikatoren betrachtet mithilfe von denen das System gut überwacht werden kann.				
Langfristige Indikatoren Elemente passiv und schwach vernetzt. Sie bleiben relativ konstant auch bei stärkeren Systemänderungen.	11 Betriebsenergie 12 Anlagekosten 13 Betriebskosten 14 Behaglichkeit 15 Nutzerakzeptanz	11 Betriebsenergie 12 Anlagekosten 13 Betriebskosten 14 Behaglichkeit 15 Nutzerakzeptanz	11 Betriebsenergie 12 Anlagekosten 13 Betriebskosten 14 Behaglichkeit 15 Nutzerakzeptanz	2 Umwandlung 4 Verteilung 11 Betriebsenergie 12 Anlagekosten 13 Betriebskosten 14 Behaglichkeit 15 Nutzerakzeptanz
Neutrale Komponenten Elemente weder eindeutig passiv noch aktiv (Grad der Aktivität ca. 1). Eingriffe hier haben keine beschleunigende Wirkung auf das System.	4 Verteilung		4 Verteilung	

6.2 Optimierung der Grauen Energie und Trade-Offs

Die Optimierung eines Bauprojekts bezüglich der Grauen Energie einer Gebäudetechnikkomponente kann – je nach Situation – auch einen mehr oder weniger grossen Einfluss auf andere mit dem Bauvorhaben verbunden Aspekten haben, wie z.B. den Energieverbrauch während des Betriebs der Anlage oder die Nutzerbehaglichkeit. Diese Zusammenhänge werden in den folgenden Abschnitten anhand von ausgewählten Anschauungsbeispielen qualitativ veranschaulicht. Für die Legende hierzu siehe Abbildung 18.

Legende:

↗	Erhöhung
↘	Reduktion
	Positiver Effekt
	Negativer Effekt

Abbildung 18: Legende zu den Anschauungsbeispielen.

6.2.1 Lüftungsleitungen

Gewerk: Lüftungsanlagen

Bei den im Rahmen dieser Studie untersuchten Bauobjekten (Kapitel 5) ist die Lüftungsverteilung für ca. 50-65% der Grauen Energie, der Treibhausgasemissionen sowie der Gesamtumweltbelastung der Lüftungsanlagen verantwortlich und hat somit – energetisch betrachtet – eine hohe Relevanz (Tabelle 19).

Tabelle 19: Aufwand für Graue Energie Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung bei den Lüftungsleitungen der untersuchten Gebäude.

	Graue Energie		Treibhausgasemissionen		Gesamtumweltbelastung	
	Mittelwert	Std. Abw.	Mittelwert	Std. Abw.	Mittelwert	Std. Abw.
Lüftungsverteilung (exkl. Dämmung)	49%	4%	51%	3%	59%	4%
Lüftungsverteilung (inkl. Dämmung)	60%	8%	62%	6%	65%	6%

Massgebende Parameter für die Bestimmung des Aufwandes an Grauer Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung der Lüftungsverteilung sind die Gesamtlänge, die Formgebung und die Querschnittsfläche der Leitungen.

6.2.2 Länge des Luftleitungsnetzes

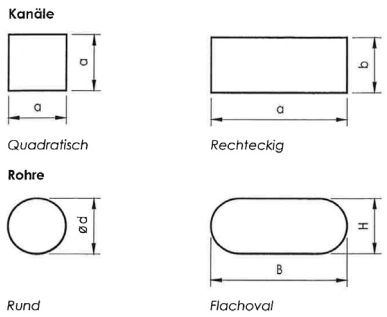
Kurze Luftleitungsnetze reduzieren die Graue Energie und verursachen tiefere Druckverluste und Betriebsenergieaufwände als lange Luftleitungsnetze (Abbildung 19).

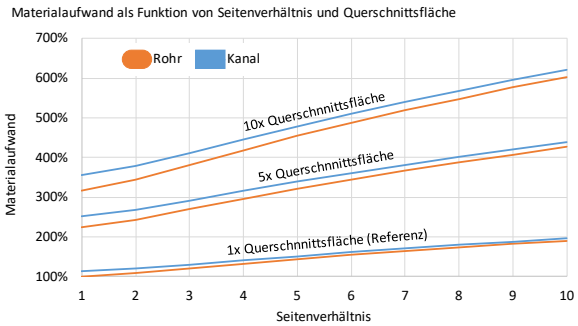
Hebel:	Auswirkung auf:		
Länge Luftleitungsnetz	Graue Energie Luftleitung	Druckverlust	Betriebsenergie
↘	↘	↘	↘

Abbildung 19: Wirkungsschema Länge Luftleitungsnetz.

6.2.3 Formgebung der Luftleitungen

Runde Querschnitte reduzieren den Materialaufwand bzw. die Graue Energie von Luftleitungen und verursachen einen tieferen Druckverlust als rechteckige Querschnitte. Die Graue Energie und der Druckverlust steigen mit steigendem Seitenverhältnis (Abbildung 20). Tiefere Druckverluste bedeuten (bei gleichbleibendem Luftvolumenstrom) einen niedrigeren Betriebsenergieaufwand (Abbildung 21).





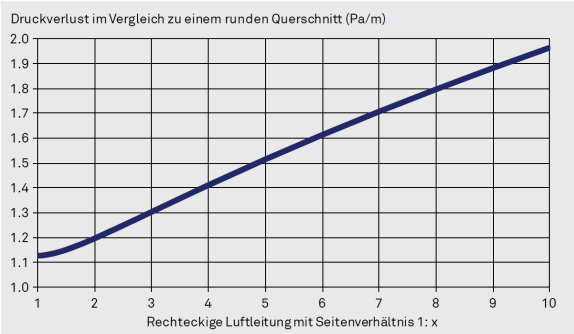


Abbildung 20: Oben: Typische Leitungsquerschnitte. Oben rechts: Zusammenhang zwischen Seitenverhältnis, Formgebung, Querschnittsfläche und Materialaufwand. Rechts: Zusammenhang zwischen Seitenverhältnis und Druckverlust bei rechteckigen Luftleitungen.

Hebel:	Auswirkung auf:				
Seitenverhältnis	Graue Energie Luftleitung	Graue Energie Betondecke	Platzbedarf in der Vertikalen	Druckverlust	Betriebsenergie
↘	↘	Von Konzept und Statik (Beton- und Armierungs-anteil) bedingt	↗	↘	↘

Abbildung 21: Wirkungsschema Seitenverhältnis.

Kleinere Querschnittsflächen reduzieren den Aufwand an Grauer Energie. Die daraus resultierenden Luftgeschwindigkeiten und Druckverluste führen aber einen höheren Betriebsenergieverbrauch herbei und können die Behaglichkeit in den Räumlichkeiten durch höhere Luftgeschwindigkeiten und Schallpegel beeinträchtigen (Abbildung 22).

Hebel:	Auswirkung auf:				
Querschnitts-fläche	Graue Energie Luftleitung	Graue Energie Betondecke	Luftgeschw. u. Druckverlust	Betriebsenergie	Behaglichkeit
↘	↘	Von Konzept und Statik (Beton- und Armierungs-anteil) bedingt	↗	↗	↘

Abbildung 22: Wirkungsschema Querschnittsfläche.

Eine gesamtenergetisch effiziente Luftverteilung muss sowohl die Auswirkungen auf die Graue Energie wie auch auf die Betriebsenergie berücksichtigen. Abbildung 23 fasst (qualitativ) die Wirkungen von Gesamtlänge, Formgebung und Querschnittsfläche auf Graue Energie und Betriebsenergie zusammen.

	Graue Energie	Betriebsenergie
Kurzes Luftleitungsnetz	✓	✓
Formgebung (runde Luftleitungen, kleine Seitenverhältnisse)	✓	✓
Kleine Querschnittsflächen (→ hohe Luftgeschwindigkeiten)	✓	✗
Grosse Querschnittsflächen (→ kleine Luftgeschwindigkeiten)	✗	✓

Abbildung 23: Zusammenfassung. Wirkung von Gesamtlänge, Formgebung und Querschnittsfläche auf Graue Energie und Betriebsenergie.

6.2.4 Zentrale / dezentrale Lüftungsanlage

Gewerk: Lüftungsanlagen

Die Lage der Lüftungsanlage hat Auswirkungen auf den Aufwand an Grauer Energie (Luftverteilung, Anzahle Geräte), die Behaglichkeit bzw. Akzeptanz für den Nutzer (Schallemissionen, individuelle Regulierungsmöglichkeiten) und den Wartungsaufwand (Abbildung 24).

Hebel:	Auswirkung auf:			
Lüftungsanlage	Graue Energie Anlage	Behaglichkeit / Akzeptanz		Wartungsaufwand
		Schallemissionen im Wohnraum	Individuelle Regulierung	
Zentral (z.B. Monobloc/s im Technikraum)	Abhängig von Luftverteilung	↘	↘	↘
Zentral (z.B. ein Gerät pro Wohnung, im Technikraum)	↗	↘	↗	↗
Dezentral (Gerät in der Wohnung)	Abhängig von Luftverteilung u. Anzahl Geräte	↗	↗↗	↗↗

Abbildung 24: Wirkungsschema zentrale/dezentrale Lüftungsanlage.

6.2.5 Bedarfsabhängige Lüftung

Gewerk: Lüftungsanlagen

Die nötigen Komponenten für eine bedarfsabhängige Lüftung bedingen einen zusätzlichen Aufwand an Grauer Energie, führen aber zu einer erheblichen Reduktion des Betriebsenergieverbrauchs (Abbildung 25). Die Möglichkeiten reichen vom einfachen Einbau einer Schaltuhr zur Vermeidung eines unnötigen Dauerbetriebs bis zur Anpassung des Luftvolumenstroms an den Bedarf, in Abhängigkeit der Belegung bzw. Luftqualität (z.B. CO_2-Regelung).

Hebel:	Auswirkung auf:		
Bedarfsabhängige Lüftung	Graue Energie zusätzlicher Komponenten	Betriebsenergie	Behaglichkeit (Luftqualität)
	↗	↘	↗

Abbildung 25: Wirkungsschema bedarfsabhängige Lüftung.

6.2.6 Länge von Erdwärmesonden

Gewerk: Heizungsanlagen

Längere Erdwärmesonden bedeuten mehr Graue Energie, wirken sich aber vorteilig auf den Energieverbrauch im Betrieb aus (Abbildung 26).

Hebel:	Auswirkung auf:	
Länge der Erdwärmesonde	Graue Energie EWS	Betriebsenergie
↗	↗	↘

Abbildung 26: Wirkungsschema Länge der Erdwärmesonde.

6.2.7 Energieerzeugung/-speicherung

Gewerk: Heizungsanlagen

Der Einsatz von Wärmespeichern erhöht eindeutig den Aufwand an Grauer Energie, kann aber auch die Energiebilanz während des Betriebs der Anlage verbessern (Abbildung 27).

Hebel:	Auswirkung auf:	
Einsatz Wärmespeicher	Graue Energie	Betriebsenergie
	↗	↘

Abbildung 27: Wirkungsschema Einsatz Wärmespeicher.

6.2.8 Solaranlagen (Solarthermie oder Photovoltaik)

Gewerk: Heizungsanlagen, Elektroanlagen

Der Einsatz von Solarthermie oder Photovoltaik bedingt eine Erhöhung des Grauenergieanteils der gebäudetechnischen Anlagen, führt aber gleichzeitig zu einer Reduktion des nichterneuerbaren Energieanteils für den Betrieb des Gebäudes (Abbildung 28).

Hebel:	Auswirkung auf:	
Einsatz Solarthermie oder Photovoltaik	Graue Energie	Betriebsenergie, Anteil nicht erneuerbar
	↗	↘

Abbildung 28: Wirkungsschema Einsatz Solarthermie oder Photovoltaik.

6.2.9 Grauwasser-/Regenwassernutzung

Gewerk: Sanitäranlagen

Die Realisierung einer Anlage für die Grauwasser- und/oder Regenwassernutzung führt zu einem Mehraufwand an Grauer Energie, erlaubt aber auch eine Reduktion des Frischwasserverbrauchs während des Betriebs des Gebäudes (Abbildung 29).

Hebel:	Auswirkung auf:	
Grauwasser-/ Regenwasser-nutzung	Graue Energie zusätzlicher Komponenten	Frischwasser-verbrauch
	↗	↘

Abbildung 29: Wirkungsschema Grauwasser-/Regenwassernutzung.

6.2.10 Gemeinschaftliche Waschküchen oder wohnungsgebundene Waschtürme

Gewerk: Sanitäranlagen

Waschküchen sind oftmals Begegnungsorte und können in sozialer Hinsicht eine wichtige Funktion einnehmen. Andererseits erhöhen wohnungsgebundene Waschtürme den Marktwert der Wohnungen (Abbildung 30).

Hebel:	Auswirkung auf:			
	Graue Energie Geräte	Soziale Funktion (z.B. Begegnung)	Nutzungskomfort	Marktwert der Wohnungen
Gemeinschaftliche Waschküche	↘	↗	↘	↘
Waschturm in der Wohnung	↗	↘	↗	↗

Abbildung 30: Wirkungsschema gemeinschaftliche Waschküchen oder wohnungsgebundene Waschtürme.

6.2.11 Bedarfsabhängige Beleuchtung

Gewerk: Elektroanlagen

Die Installation der Elektrokomponenten für eine bedarfsabhängige Beleuchtung (Präsenzmelder usw.) bedingt einen zusätzlichen Aufwand betreffend Grauer Energie, führt aber zu einer Reduktion des Energiebedarfs im Betrieb (Abbildung 31).

Hebel:	Auswirkung auf:	
Installation von Präsenzmeldern usw.	Graue Energie zusätzlicher Komponenten	Betriebsenergie
	↗	↘

Abbildung 31: Wirkungsschema bedarfsabhängige Beleuchtung.

6.2.12 Geräteersatz / Optimierung der Energieeffizienz

Gewerk: Heizungsanlagen, Lüftungsanlagen, Sanitäranlagen, Elektroanlagen

Neue, effizientere Geräte od. Komponenten (z.B. Wärmepumpe, Lüftungsgerät, Waschmaschine, Geschirrspüler, Beleuchtung usw.) verursachen einen zusätzlichen Aufwand an Grauer Energie, reduzieren aber gleichzeitig den Betriebsenergieaufwand und/oder den Wasserverbrauch (Abbildung 32).

Hebel:	Auswirkung auf:	
Ersatz mit effizienteren Geräten	Graue Energie neue Geräte	Betriebsenergie und/oder Wasserverbrauch
	↗	↘

Abbildung 32: Wirkungsschema Ersatz mit effizienteren Geräten.

6.2.13 Systemtrennung

Gewerk: Heizungsanlagen, Lüftungsanlagen, Sanitäranlagen, Elektroanlagen

Je nach Situation kann die Umsetzung der Systemtrennung mit Mehrkosten verbunden sein. Die daraus resultierende verbesserte Zugänglichkeit der Gebäudetechnikkomponenten erleichtert aber den Unterhalt und Rückbau, reduziert die Unterhaltskosten, erhöht die Anpassungsfähigkeit bzw. die Flexibilität der Gebäude und somit in der Regel auch deren ökonomischen Wert.

6.2.14 Qualität

Gewerk: Heizungsanlagen, Lüftungsanlagen, Sanitäranlagen, Elektroanlagen

Qualitativ bessere Geräte oder Komponenten bedeuten oft höhere Investitionskosten, führen aber meistens zu einer längeren Lebensdauer, einer besseren Effizienz und Nutzererlebnis.

7. Kennwerte

7.1 Heizungsanlagen

Die Systeme und Systemkomponenten für die Heizungsanlagen sind in Tabelle 20 unter Berücksichtigung der SIA 411 Gliederung zusammengefasst. Angegeben sind die Systemkomponenten, welche in der aktuellen Version der KBOB-Liste bereits aufgeführt sind, sowie jene Systeme und Systemkomponenten, welche im Rahmen dieser Studie vorgeschlagen werden. Die Tabelle beinhaltet ebenfalls die Resultate der Bewertung von Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit sowie die Resultate der Wirkungsanalyse pro Teilsystem. Die Ökobilanz-Kennwerte werden in den darauffolgenden Unterkapiteln präsentiert und/oder diskutiert.

Die Kennwerte, welche die Systeme betreffen, sind tendenziell v.a. für die Vorprojektphase von Interesse, als Projektdetails noch nicht bekannt sind bzw. noch nicht bestimmt werden können. Hingegen, die Kennwerte der einzelnen Komponenten sind eher für die Phasen Bauprojekt/Ausführungsprojekt wichtig, da zu diesem Zeitpunkt bereits mehr Details definiert sind.

Tabelle 20: Heizungsanlagen. Überblick der vorgeschlagenen Systeme und Systemkomponenten mit Bezugsgrösse, Einheit und Kapitel, wo die Kennwerte erarbeitet und/oder diskutiert werden. Legende: Grün=Kennwerte sind im Rahmen dieses Projekts erarbeitet worden; Hellgrün=für die Erarbeitung dieser Kennwerte sind weitere Untersuchungen notwendig; ●=Kennwerte sind in der aktuellen KBOB-Empfehlung (2009/1:2016) bereits vorhanden; Rel=Relevanz, Var=Varianz, B_{Vor}=Beeinflussbarkeit im Vorprojekt, B_{Aus}=Beeinflussbarkeit bei der Ausführung (sehr hoch hoch mittel gering keine); W=Wirkung im System gemäss Wirkungsanalyse.

		System / Systemkomponente	Bezugsgrösse	Kennwerte
Systeme		Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage, normale Entzugsleistung (Erdwärmesonde, Sole-Wasser Wärmepumpe, Verteilung, Wärmeabgabe) Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage, hohe Entzugsleistung (Erdwärmesonde, Sole-Wasser Wärmepumpe, Verteilung, Wärmeabgabe)	EBF (m^2)	7.1.1
		Luft-Wasser Wärmepumpenanlage (Luft-Wasser Wärmepumpe, Verteilung, Wärmeabgabe)	EBF (m^2)	7.1.2
		Heizungsanlage (Holz, Gas, Öl) (Wärmeerzeuger, Wärmespeicher, Verteilung, Wärmeabgabe)	EBF (m^2)	7.1.3
		Thermische Solaranlage für Warmwasseraufbereitung (Solarkollektor, Verbindungsleitungen und Speicher) Thermische Solaranlage für Warmwasseraufbereitung und Heizungsunterstützung (Solarkollektor, Verbindungsleitungen und Speicher)	EBF (m^2)	7.1.5
		Low-Tech Heizung «Extremfall» = keine Heizung; «Normalfall» = «Ein-Ofen-Haus» mit Holzofen/Kaminofen (Heizleistung bis 10 kW)	Gerät (Stk.)	7.1.6
	Quelle/Senke (Energiezufuhr) Rel Var B_{Vor} B_{Aus} W: mittelfristiger Hebel	Erdwärmesonde, für Sole-Wasser-Wärmepumpe	Sondenlänge (m)	●
	Umwandlung (Wärmeerzeuger) Rel Var B_{Vor} B_{Aus} W: mittelfristiger Hebel	Wärmeerzeuger (Holz, Gas, Öl), spez. Leistungsbedarf 10 bis 60 W/m^2	EBF (m^2)	7.1.7
		Fernwärme-Übergabestation, div. spez. Heizleistungen	EBF (m^2)	7.1.8
		Luft-Wasser Wärmepumpe, div. spez. Heizleistungen	Gerät (Stk.)	7.1.9.1
		Sole-Wasser Wärmepumpe, div. spez. Heizleistungen	Gerät (Stk.)	7.1.9.2
		Wasser-Wasser Wärmepumpe, div. spez. Heizleistungen	Gerät (Stk.)	7.1.9.3

Teilprozesse (Teilsysteme) nach SIA 411		Flachkollektor für Warmwasser EFH	Kollektorfläche (m^2)	●
		Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Kollektorfläche (m^2)	●
		Flachkollektor für Warmwasser MFH	Kollektorfläche (m^2)	●
		Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Kollektorfläche (m^2)	●
	Speicherung (Wärmespeicher) W: langfristiger Hebel	Pufferspeicher (technischer Speicher)	Volumen (Liter)	7.1.10
	Verteilung (Wärmeverteilung) Rel Var B_{Vor} B_{Aus} W: neutral	Wärmeverteilung Wohngebäude	EBF (m^2)	●
		Wärmeverteilung Bürogebäude	EBF (m^2)	●
		Wärmeverteilung Schulgebäude	EBF (m^2)	7.1.11
	Raum/Übergabe (Wärmeabgabe) Rel Var B_{Vor} B_{Aus} W: kurzfristiger Hebel	Wärmeabgabe über Heizkörper	EBF (m^2)	●
		Wärmeabgabe über Fussbodenheizung	EBF (m^2)	●
		Wärmeabgabe über Heizkühldecke (ohne Gips- oder Metalldecke)	EBF (m^2)	●
		Wärmeverteilung und Abgabe, Luftheizung	EBF (m^2)	●

Die Herleitung der Systemkennwerte für Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen, Luft-Wasser Wärmepumpenanlagen und Heizungsanlage (Holz, Gas, Öl) erfolgte basierend auf den typischen EBF der fünf Gebäudegrössenklassen (Tabelle 21) gemäss Angaben aus dem Projekt GEPAMOD (Jakob et al. 2016).

Tabelle 21: Energiebezugsfläche der Gebäudegrössenklassen KL1-KL5 nach Jakob et al. (2016).

GKL	Bezeichnung, typischer Fall	Mittelwert EBF (m^2)	Minimum EBF (m^2)	Maximum EBF (m^2)
KL1	Ein- und Zweifamilienhaus	180	80	331
KL2	Kleines MFH (3-9 Wohnungen)	580	331	960
KL3	Grosses MFH (10-20 Wohnungen)	1200	960	1730
KL4	Mittleres Bürogebäude	2800	1730	5000
KL5	Schule	8500	5000	15000

Zur Vereinfachung wurden drei spezifischen Heizleistungsbedarfe (10, 30 und 50 W/m^2), unabhängig von der Gebäudenutzung, berücksichtigt.

Tabelle 22 fasst die Eigenschaften der betrachteten Heizsysteme zusammen. Der generische Wärmeerzeuger gemäss aktueller KBOB-Empfehlung (2009/1:2016) entspricht einem Heizsystem mit Holz-, Gas- oder Ölfeuerung (Primas 2008). Die Heizungsanlage mit einem solchen Wärmeerzeuger verfügt über einen Wärmespeicher von 40 Liter pro kW Leistung und Heizkörper für die Wärmeabgabe. Bei den Anlagen mit Wärmepumpe erfolgt die Abgabe via Fussbodenheizung, weshalb kein Speicher benötigt wird. Für die Wärmeverteilung wurden die Ökobilanz-Kennwerte aus der KBOB-Empfehlung übernommen; unter der Annahme, dass eine Schule eine ähnlich komplexe Wärmeverteilung wie ein Büro hat.

Die Dimensionierung des Wärmeerzeugers erfolgte anhand des spezifischen Heizleistungsbedarfs und der EBF. Die marktüblichen Wärmeerzeuger weisen in der Regel eine Heizleistung ab 5 kW auf. Diese minimale Leistung wurde deshalb auch für Ein- und Zweifamilienhäuser mit sehr geringem Heizleistungsbedarf angenommen.

Tabelle 22: Eigenschaften der analysierten Heizungssysteme.

Wärmeerzeuger	Spezifischer Leistungsbedarf	Wärmespeicherung	Wärmeverteilung	Wärmeabgabe
Wärmeerzeuger (Holz, Gas, Öl)	10 W/m² (KBOB ID 31.001)	40 Liter/kW	KL1-KL3: Wohngebäude (KBOB ID 31.021) KL4-KL5: Bürogebäude (KBOB ID 31.022)	Fussbodenheizung
	30 W/m² (KBOB ID 31.002)			
	50 W/m² (KBOB ID 31.003)			
Luft-Wasser Wärmepumpe	10 W/m² (KBOB ID 31.001)	Nicht erforderlich	KL1-KL3: Wohngebäude (KBOB ID 31.021)	Fussbodenheizung
	30 W/m² (KBOB ID 31.002)			
	50 W/m² (KBOB ID 31.003)			
Sole-Wasser Wärmepumpe	10 W/m² (KBOB ID 31.001)	Nicht erforderlich	KL1-KL3: Wohngebäude (KBOB ID 31.021) KL4-KL5: Bürogebäude (KBOB ID 31.022)	Fussbodenheizung
	30 W/m² (KBOB ID 31.002)			
	50 W/m² (KBOB ID 31.003)			

7.1.1 Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage

Die Dimensionierung der Länge der Erdwärmesonde bei der Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage wurde nach dem vereinfachten Berechnungsverfahren nach SIA Norm 384/6 (2010) durchgeführt:

$$L_{BHE,N} = \frac{\Phi_e}{P_{BHE,N}}$$

$L_{BHE,N}$ Normlänge der Erdwärmesonde bei Normbedingungen, in m

Φ_e Kälteleistung der Wärmepumpe im Auslegepunkt, in kW

$P_{BHE,N}$ Normleistung der Erdwärmesonde bei Normbedingungen, in W/m

Für die Abschätzung der Normleistung der Erdwärmesonde (d.h. die Entzugsleistung) wurde eine Duplex-Erdwärmesonde mit Durchmesser von 32 mm angenommen. Für das Erdreich wurden typische Werte für den schweizerischen Molassegestein angewendet, d.h. Wärmeleitfähigkeit von 2.6 W/(m·K) und Wärmekapazität von 2.1 MJ/(m³·K). Dies ergibt nach Figur 7 in der SIA 384/6 (2010) eine Entzugsleistung der Erdwärmesonde von ca. 40 W/m. Die Kälteleistung wurde unter Annahme einer Leistungszahl bzw. COP von 5 ermittelt (Kälteleistung = 0.8·Heizleistung).

Abbildung 33 zeigt die Graue Energie einer Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage (inklusive Erdwärmesonde, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe) in Abhängigkeit vom spezifischen Wärmeleistungsbedarf, je nach Gebäudekategorie. Bei Anlagen bis 5 kW wird vorgeschlagen das Gerät selber (Anzahl Stück) anstelle der EBF als Bezugsgrösse anzuwenden. Dies weil, unabhängig vom effektiven Heizleistungsbedarf, ein Gerät mit einer Heizleistung von 5 kW eingesetzt wird.

Der Aufwand an Grauer Energie für die Heizungsanlagen in Bürogebäuden und Schulen ist sehr ähnlich. Diese zwei Gebäudekategorien können deshalb zusammengenommen werden. Die Grösse eines MFH hat einen geringen Einfluss auf die Graue Energie. Daher wird vorgeschlagen, Systemwerte bereitzustellen für: EFH mit einer installierten Leistung kleiner oder gleich als 5 kW (die angegebenen Werte gelten für EFH mit einer durchschnittlichen EBF von 180 m²); EFH (spezifischer Leistungsbedarf 30 W/m² und 50 W/m²); MFH (spezifischer Leistungsbedarf 10 W/m², 30 W/m² und 50 W/m²) und Büro-/Schulbauten (spezifischer Leistungsbedarf 10 W/m², 30 W/m² und 50 W/m²). Entsprechende Ökobilanz-Kennwerte für eine spezifische Entzugsleistung der Erdwärmesonde von 40 W/m sind in Tabelle 23 zusammengestellt.

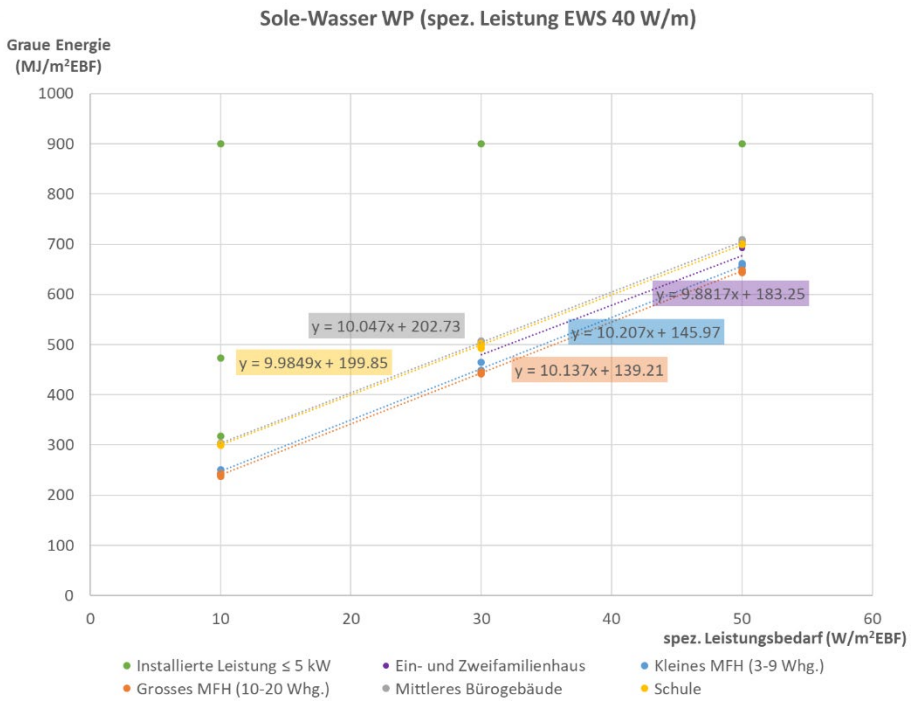


Abbildung 33: Graue Energie von Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen mit spezifischer Entzugsleistung von 40 W/m, je nach Gebäudekategorie und Heizleistungsbedarf.

Tabelle 23: Ökobilanz-Kennwerte von Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen mit spezifischer Entzugsleistung von 40 W/m, bezogen auf 1 m² EBF.

Anlage	Bezugs-grösse	Einheit	PE gesamt [MJ/]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
Sole-Wasser Wärmepumpe EFH, 5 kW	Gerät	Stk.	89'412	85'135	5'863	8'257'529
Sole-Wasser Wärmepumpe EFH, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	502.62	479.70	32.28	44'417
Sole-Wasser Wärmepumpe EFH, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	705.18	677.34	44.62	60'387
Sole-Wasser Wärmepumpe MFH, spez. Leistungsbedarf 10 W/m²	EBF	m²	258.17	243.71	15.74	20'304
Sole-Wasser Wärmepumpe MFH, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	467.45	447.51	28.75	37'583
Sole-Wasser Wärmepumpe MFH, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	676.73	651.31	41.77	54'862
Sole-Wasser Wärmepumpe Bürogebäude/Schule, spez. Leistungsbedarf 10 W/m²	EBF	m²	318.74	301.45	19.36	28'029
Sole-Wasser Wärmepumpe Bürogebäude/Schule, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	524.22	501.77	31.99	44'568
Sole-Wasser Wärmepumpe Bürogebäude/Schule, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	729.70	702.09	44.62	61'107

Erdwärmesonden sind für 40% bis 60% des gesamten Aufwandes an Grauer Energie des Heizsystems verantwortlich. Aus diesem Grund wurden Kennwerte für Wärmepumpenanlagen mit einer höhe-

ren Entzugsleistung der EWS von 60 W/m berechnet (Abbildung 34 und Tabelle 24). Erwartungsgemäss sind die Systemkennwerte bei einer Entzugsleistung von 60 W/m aufgrund der geringeren Erdwärmesondenlänge niedriger als bei einer Entzugsleistung von 40 W/m.

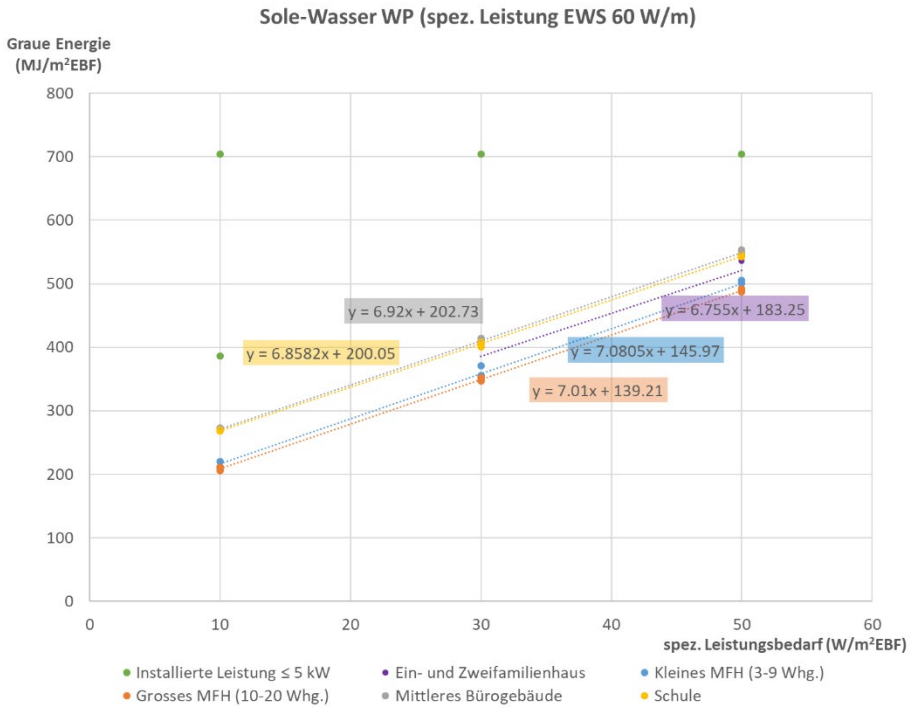


Abbildung 34: Graue Energie von Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen mit spezifischer Entzugsleistung von 60 W/m, je nach Gebäudekategorie und Heizleistungsbedarf.

Tabelle 24: Ökobilanz-Kennwerte von Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen mit spezifischer Entzugsleistung von 60 W/m, bezogen auf 1 m² EBF.

Anlage	Bezugs-grösse	Einheit	PE gesamt [MJ/]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
Sole-Wasser Wärmepumpe EFH, 5 kW	Gerät	Stk.	73'446	69'501	4'927	4'036'645
Sole-Wasser Wärmepumpe EFH, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	406.81	385.90	26.66	37'497
Sole-Wasser Wärmepumpe EFH, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	545.50	521.00	35.25	48'853
Sole-Wasser Wärmepumpe MFH, spez. Leistungsbedarf 10 W/m²	EBF	m²	226.24	212.44	13.87	17'998
Sole-Wasser Wärmepumpe MFH, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	371.66	353.70	23.13	30'663
Sole-Wasser Wärmepumpe MFH, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	517.08	494.96	32.40	43'329
Sole-Wasser Wärmepumpe Bürogebäude/Schule, spez. Leistungsbedarf 10 W/m²	EBF	m²	286.92	270.28	17.49	25'729
Sole-Wasser Wärmepumpe Bürogebäude/Schule, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	428.53	408.06	26.38	37'655
Sole-Wasser Wärmepumpe Bürogebäude/Schule, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	570.15	545.85	35.26	49'581

7.1.2 Luft-Wasser Wärmepumpenanlage

Die Systemkennwerte für Luft-Wasser Wärmepumpenanlagen wurden aufgrund der – verglichen mit Sole-Wasser Systemen – allgemein geringeren Leistung dieses Wärmepumpentyps nur für Wohngebäude berechnet (Abbildung 35 und Tabelle 25). Erwartungsgemäss zeigen die Resultate, dass der Aufwand an Grauer Energie von Luft-Wasser Wärmepumpenanlagen ist aufgrund des Fehlens der Erdwärmesonde niedriger als derjenigen von Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen.

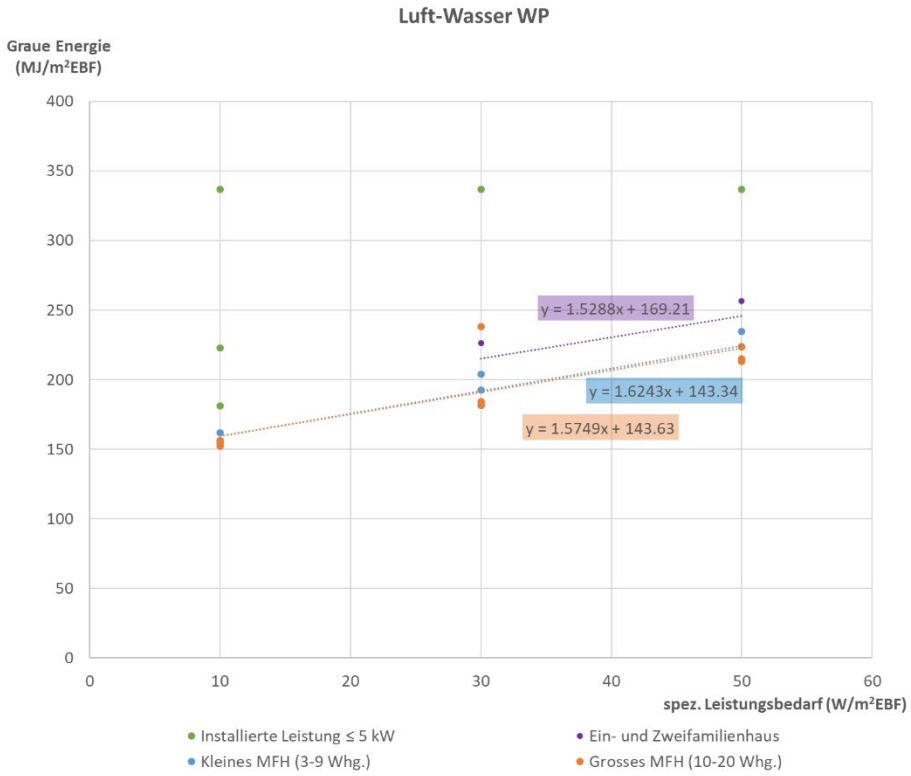


Abbildung 35: Graue Energie von Luft-Wasser Wärmepumpenanlagen in Wohnhäusern, je nach Gebäudetyp und Heizleistungsbedarf.

Tabelle 25: Ökobilanz-Kennwerte von Luft-Wasser Wärmepumpenanlagen in Wohnhäusern, bezogen auf 1 m² EBF.

Anlage	Bezugs-grösse	Einheit	PE gesamt [MJ/]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
Luft-Wasser Wärmepumpe EFH, 5 kW	Gerät	Stk.	43'669	40'097	3'527	5'566'176
Luft-Wasser Wärmepumpe EFH, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	234.16	215.07	18.63	29'116
Luft-Wasser Wärmepumpe EFH, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	267.78	245.65	22.48	36'303
Luft-Wasser Wärmepumpe MFH, spez. Leistungsbedarf 10 W/m²	EBF	m²	173.02	159.46	11.63	16'045
Luft-Wasser Wärmepumpe MFH, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	208.20	191.46	15.66	23'567
Luft-Wasser Wärmepumpe MFH, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	243.39	223.47	19.69	31'089

7.1.3 Heizungsanlage (Holz, Gas, Öl)

Basierend auf den Ökobilanzdaten der Wärmeerzeuger der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 wurden die Systemkennwerte für eine Heizungsanlage mit Holz-, Gas- oder Ölfeuerung erarbeitet (Abbildung 36 und Tabelle 26).

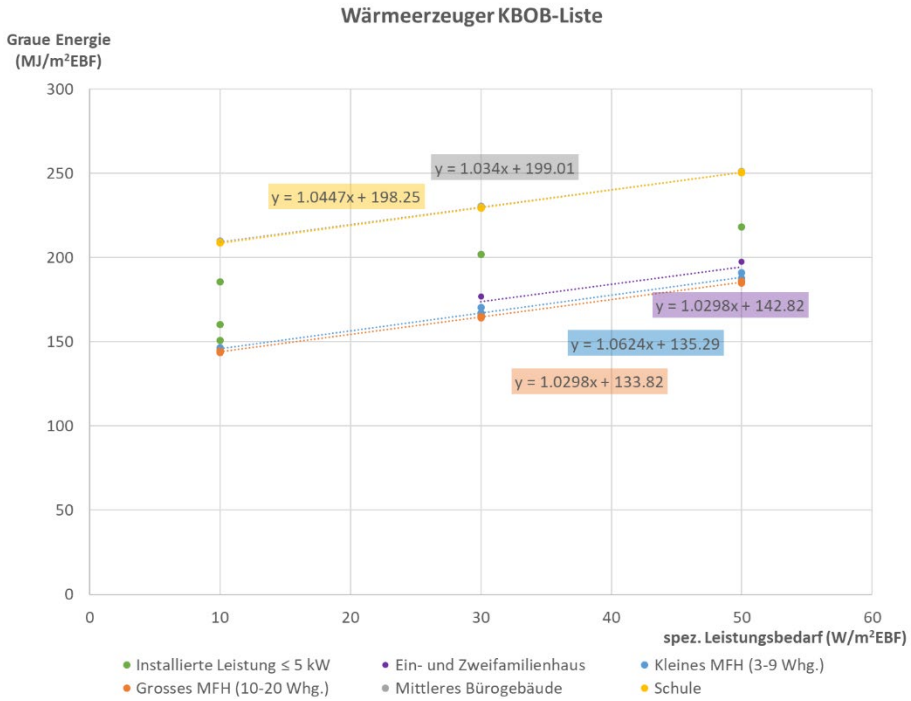


Abbildung 36: Graue Energie von Heizungsanlagen (Holz, Gas, Öl), je nach Gebäudekategorie und Heizleistungsbedarf.

Tabelle 26: Ökobilanz-Kennwerte von Heizungsanlagen (Holz, Gas, Öl), bezogen auf 1 m² EBF.

Anlage	Bezugs-grösse	Einheit	PE gesamt [MJ/]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
Wärmeerzeuger EFH, 5 kW	Gerät	Stk.	31'056	28'825	1'801	2'265'908
Wärmeerzeuger EFH, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	187.67	173.71	10.83	14'718
Wärmeerzeuger EFH, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	210.12	194.31	12.14	17'506
Wärmeerzeuger MFH, spez. Leistungsbedarf 10 W/m²	EBF	m²	156.70	144.87	8.97	11'177
Wärmeerzeuger MFH, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	179.55	165.88	10.31	13'998
Wärmeerzeuger MFH, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	202.41	186.89	11.64	16'818
Wärmeerzeuger Bürogebäude/Schule, spez. Leistungsbedarf 10 W/m²	EBF	m²	224.56	209.02	13.37	20'490
Wärmeerzeuger Bürogebäude/Schule, spez. Leistungsbedarf 30 W/m²	EBF	m²	247.11	229.81	14.69	23'291
Wärmeerzeuger Bürogebäude/Schule, spez. Leistungsbedarf 50 W/m²	EBF	m²	269.66	250.60	16.01	26'091

7.1.4 Vergleich Heizsysteme

Zum Vergleich sind die Durchschnittswerte der Grauen Energie aller Gebäudekategorien der vier analysierten Systeme in Abbildung 37 zusammengefasst. Die Sole-Wasser Wärmepumpensysteme weisen aufgrund der Erdwärmesonde einen deutlich höheren Aufwand an Grauer Energie als die anderen Heizsysteme auf.

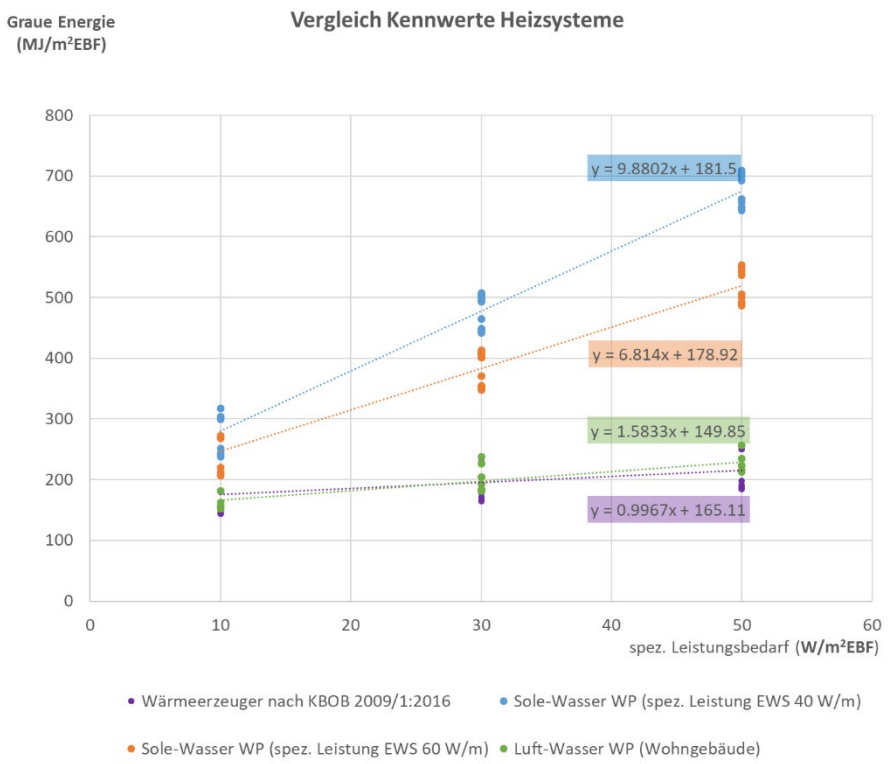


Abbildung 37: Vergleich des Aufwandes an Grauer Energie der vier untersuchten Heizsysteme.

7.1.5 Thermische Solaranlage

Die KBOB-Empfehlung (2009/1:2016) gibt Ökobilanzwerte für vier verschiedene Solarkollektoren:

- Flachkollektor für Warmwasser EFH (ID 31.007)
- Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH (ID 31.008)
- Flachkollektor für Warmwasser MFH (ID 31.009)
- Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH (ID 31.010)

Die angegebenen Kennwerte beinhalten, neben dem Aufwand an Grauer Energie für die Solarkollektoren, auch denjenigen für die notwendigen Warmwasser-/Solarspeicher, Leitungen, Dämmungen und Pumpen (Primas 2008). Als Bezugsgrösse wird die Kollektorfläche (m^2) verwendet.

Für die Verwendung in der Vorprojektphase ist jedoch die Darstellung der Ökobilanz-Kennwerte in Bezug auf die Energiebezugsfläche sinnvoller. Aus diesem Grund wurden, unter Berücksichtigung der

in Tabelle 27 zusammengefassten Umrechnungsgrössen, die Ökobilanz-Kennwerte bezogen auf 1 m^2 EBF berechnet (Tabelle 28).

Tabelle 27: Umrechnungsgrössen für die in der KBOB-Empfehlung aufgeführten Anlagen mit Solarkollektoren gemäss Primas (2008).

Anlage	Baustoffliste	Kollektorfläche (m^2)	EBF (m^2)
Flachkollektor für Warmwasser EFH	Flachkollektoranlage, Einfamilienhaus, Warmwasserspeicher	4	200
Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Flachkollektoranlage, Mehrfamilienhaus, Warmwasserspeicher	58.3	2'500
Flachkollektor für Warmwasser MFH	Flachkollektoranlage, Einfamilienhaus, Wärmespeicher	12.3	200
Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Vakuumröhrenkollektoranlage, Einfamilienhaus, Wärmespeicher	10.5	200

Tabelle 28: Ökobilanz-Kennwerte von thermischen Solaranlagen, bezogen auf 1 m^2 EBF.

Anlage	PE gesamt [MJ/m^2 EBF]	PE nicht erneuerbar [MJ/m^2 EBF]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/m^2 EBF]	Gesamt-umweltbelastung [UBP/m^2 EBF]
Flachkollektor für Warmwasser EFH	92.2	82	5.12	13'520
Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	78	69	4	10'541
Flachkollektor für Warmwasser MFH	172	154	10	24'231
Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	194	174	11	24'413

7.1.6 Low-Tech Heizung

Eine Low-Tech Heizung bedeutet im Extremfall, dass gar keine Heizungsanlage vorliegt, wie z.B. beim Bürogebäude 2226 in Lustenau. Als Low-Tech können aber insbesondere Gebäude gelten, welche z.B. dank einer sehr guten thermischen Isolation, homogenen Wärmeverteilung (offene Räume) und passiven Heizung via Sonneneinstrahlung, lediglich mit einem einzigen, einfachen Wärmerzeuger (z.B. «Ein-Ofen-Haus» mit Holzofen) ohne die üblichen Einrichtungen für die Wärmeverteilung und -abgabe auskommen. Solche Low-Tech Heizungen konnten mangels Daten im Rahmen dieser Studie nicht ausgewertet werden. Sie könnten aber zukünftig an Bedeutung gewinnen und es wäre deshalb von Interesse bei weiteren Untersuchungen, Informationen zu den Ökobilanzen für jene Heizungsanlagen, welche typischerweise in solchen Gebäuden eingesetzt werden, zu generieren.

7.1.7 Wärmeerzeuger (Holz, Gas, Öl)

Die aktuelle KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (KBOB 2016) gibt Werte für die Umweltbelastung eines generischen Wärmeerzeugers für die spezifischen Leistungsbedarfe von 10, 30 und 50 W/m^2. Die

Kennwerte sind für Holzfeuerungen, Gaskessel und Ölkessel gültig (Primas 2008) und weisen einen linearen Zusammenhang mit dem Leistungsbedarf auf. Durch einfache Interpolation können die Werte für weitere spezifische Leistungsbedarfe berechnet werden (Tabelle 29).

Der spezifische Leistungsbedarf bzw. «Norm-Heizwärmeleistungsbedarf» (Standard-/Zielwerte und Werte für bestehende Bauten) für die verschiedenen Nutzungen kann der Norm SIA 2024 (2015) entnommen werden. Für ein Mehrfamilienhaus (Nutzung Wohnen) gilt z.B. 19.7 W/m^2 (Standardwert), 13.5 W/m^2 (Zielwert) und 54.6 W/m^2 (Bestand). Für ein Grossraumbüro liegen die entsprechenden Werte bei 23.4 W/m^2, 16.4 W/m^2 bzw. 49.6 W/m^2.

Tabelle 29: Ökobilanz-Kennwerte für Wärmeerzeuger mit typischen Leistungsbedarfen (fett=Werte aus KBOB 2016).

spez. Leistungsbedarf [W/m^2]	PE gesamt [MJ/m^2 EBF]	PE nicht erneuerbar [MJ/m^2 EBF]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/ m^2 EBF]	Gesamt-umweltbelastung [UBP/m^2 EBF]
10	**9.05**	**8.2**	**0.512**	**1200**
20	18.1	16.4	1.024	2400
30	**27.1**	**24.6**	**1.53**	**3590**
40	36.1	32.8	2.04	4787
50	**45.2**	**41.0**	**2.56**	**5990**
60	54.2	49.2	3.07	7188

7.1.8 Fernwärme-Übergabestation

Für Fernwärme-Übergabestationen standen keine Ökobilanzdaten zur Verfügung. Die Umweltbelastung der Anlage wurde deshalb anhand der benötigten Komponenten (Wärmetauscher, Pumpen, Regelung, Rohrleitungen, Dämmung usw.) und der Herstellerangaben für das typische Gesamtgewicht des Systems geschätzt. Dieser Einschätzung nach, soll die Umweltbelastung einer Fernwärme-Übergabestation bei ca. 1/5 jener eines Heizkessels nach Tabelle 29 liegen.

7.1.9 Wärmepumpe

Gemäss dem statistischen Bericht 2017 der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS 2017) wurden im Jahr 2017 knapp 20’000 Wärmepumpen verkauft. Von diesen waren 69% Luft-Wasser-Wärmepumpen, 29% Sole-Wasser-Wärmepumpen und nur 2% Wasser-Wasser-Wärmepumpen. Mehr als die Hälfte (57%) haben eine Leistung zwischen 5 und 13 kW, fast ein Viertel (24%) zwischen 13 und 20 kW, 15% zwischen 20 und 50 kW und etwas weniger als 3% zwischen 50 und 100 kW.

Ein Datensatz mit der Leistung und dem Gewicht von mehr als 300 Wärmepumpen wurde gesammelt und analysiert, um das Durchschnittsgewicht der verschiedenen Typen von Wärmepumpen entsprechend ihrer Leistung zu bestimmen.

7.1.9.1 Luft-Wasser Wärmepumpe

Es wurden 100 Luft-Wasser Wärmepumpen analysiert, von denen 94 eine Leistung von weniger als 35 kW aufweisen (Abbildung 38). Die Auswertung zeigt, dass das Gewicht einer Wärmepumpe, bei gleicher Leistung stark variieren kann. Als Beispiel, eine Luft-Wasser Wärmepumpe mit einer Leistung von 10 kW kann zwischen ca. 150 und 300 kg wiegen.

Basierend auf dem Gewicht der Systeme und ausgehend von den Ökobilanzdaten der KBOB-Liste für die Luft-Wasser Wärmepumpe von 8 kW wurden neue Ökobilanzdaten für weitere typische Leistungen berechnet (Tabelle 30).

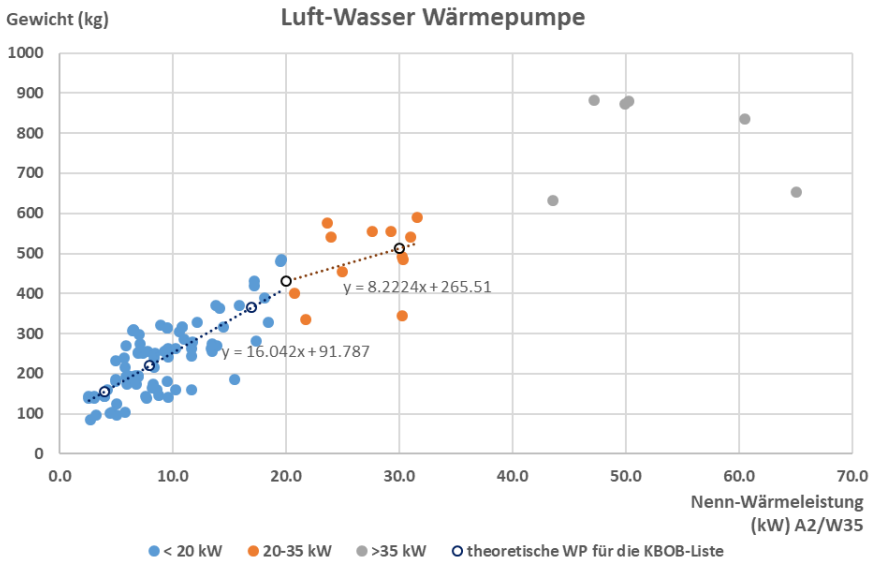


Abbildung 38: Gewicht von Luft-Wasser Wärmepumpen als Funktion der Leistung.

Tabelle 30: Ökobilanz-Kennwerte für Luft-Wasser-Wärmepumpen, je nach Leistung.

	PE gesamt [MJ]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
Luft-Wasser Wärmepumpe pro kg	104.77	95.3	12	22'400
Luft-Wasser Wärmepumpe 4 kW (156 kg)	16'344	14'867	1'872	3'494'400
Luft-Wasser Wärmepumpe 8 kW (220 kg)	23'049	20'966	2'640	4'928'000
Luft-Wasser Wärmepumpe 17 kW (364 kg)	38'136	34'689	4'368	8'153'600
Luft-Wasser Wärmepumpe 20 kW (430 kg)	45'051	40'979	5'160	9'632'000
Luft-Wasser Wärmepumpe 30 kW (512 kg)	53'642	48'794	6'144	11'468'800

7.1.9.2 Sole-Wasser Wärmepumpe

Sole-Wasser Wärmepumpen belegen mit einem Marktanteil von nahezu 30% die zweite Position auf dem Schweizer Markt. Im Vergleich zur Luft-Wasser Wärmepumpe wiegt eine Sole-Wasser Wärmepumpe mit gleicher Leistung in der Regel etwas weniger. Die Streuung des Gewichtes ist bei kleinen Leistungen geringer als bei grossen (eine Sole-Wasser Wärmepumpe mit einer Leistung von 10 kW kann zwischen 130 und 180 kg wiegen, eine Wärmepumpe mit einer Leistung von 80 kW zwischen 500 und 800 kg).

Basierend auf dem Gewicht der Systeme und ausgehend von den Ökobilanzdaten der KBOB-Liste für die Sole-Wasser Wärmepumpe von 8 kW wurden neue Ökobilanzdaten für weitere typische Leistungen berechnet (Tabelle 31).

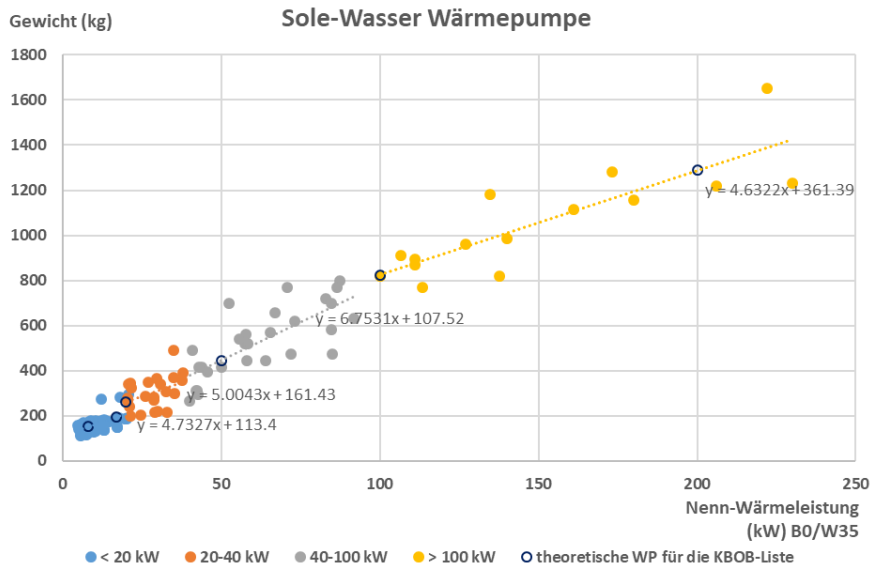


Abbildung 39: Gewicht von Sole-Wasser Wärmepumpen als Funktion der Leistung.

Tabelle 31: Ökobilanz-Kennwerte für Sole-Wasser-Wärmepumpen, je nach Leistung.

	PE gesamt [MJ]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
Sole-Wasser Wärmepumpe pro kg	115.73	106.00	11.60	22'500
Sole-Wasser Wärmepumpe 8 kW (151 kg)	17'475	16'006	1'752	3'397'500
Sole-Wasser Wärmepumpe 13 kW (194 kg)	22'452	20'564	2'250	4'365'000
Sole-Wasser Wärmepumpe 20 kW (262 kg)	30'321	27'772	3'039	5'895'000
Sole-Wasser Wärmepumpe 40 kW (445 kg)	51'500	47'170	5'162	10'012'500
Sole-Wasser Wärmepumpe 100 kW (825 kg)	95'477	87'450	9'570	18'562'500
Sole-Wasser Wärmepumpe 200 kW (1'288 kg)	149'060	136'528	14'941	28'980'000

7.1.9.3 Wasser-Wasser Wärmepumpe

Eine Sole-Wasser Wärmepumpe kann im Prinzip auch als Wasser-Wasser Wärmepumpe funktionieren. Allerdings ist die Effizienz der letzteren grösser, so dass die Leistung der gleichen Wärmepumpe für den Wasser-Wasser-Betrieb grösser ist. Daher ist das Verhältnis Leistung/Gewicht von diesem Typ von Wärmepumpe etwas höher bzw. günstiger.

Basierend auf dem Gewicht der Systeme und ausgehend von den Ökobilanzdaten der KBOB-Liste für die Wasser-Wasser Wärmepumpe von 8 kW wurden neue Ökobilanzdaten für weitere typische Leistungen berechnet (Tabelle 32).

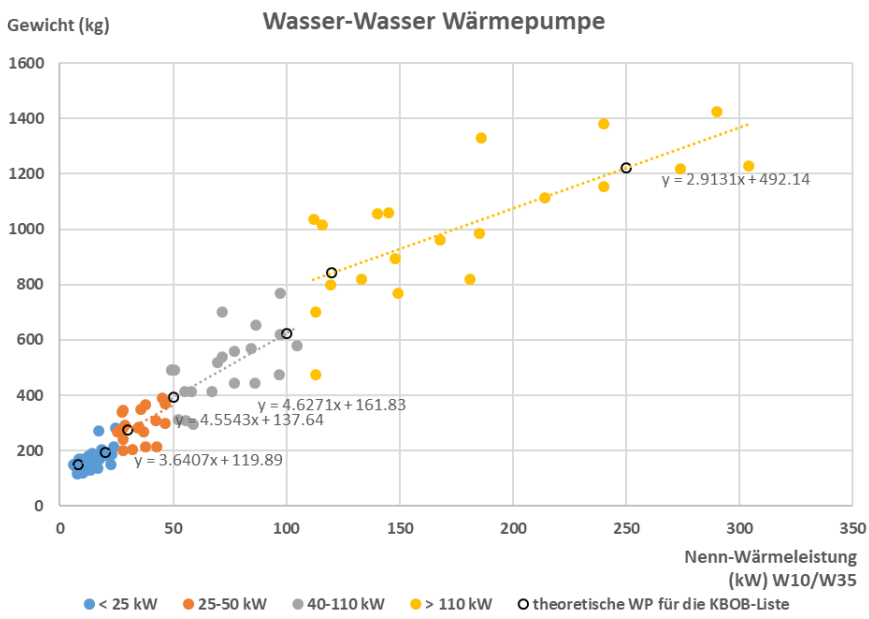


Abbildung 40: Gewicht von Wasser-Wasser Wärmepumpen als Funktion der Leistung.

Tabelle 32: Ökobilanz-Kennwerte für Wasser-Wasser-Wärmepumpen, je nach Leistung.

	PE gesamt [MJ]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
Wasser- Wasser Wärmepumpe pro kg	115.73	106.00	11.60	22'500
Wasser-Wasser Wärmepumpe 8 kW (149 kg)	17'244	15'794	1'728	3'352'500
Wasser-Wasser Wärmepumpe 20 kW (193 kg)	22'336	20'458	2'239	4'342'500
Wasser-Wasser Wärmepumpe 30 kW (274 kg)	31'710	29'044	3'178	6'165'000
Wasser-Wasser Wärmepumpe 50 kW (393 kg)	45'482	41'658	4'559	8'842'500
Wasser-Wasser Wärmepumpe 100 kW (625 kg)	72'331	66'250	7'250	14'062'500
Wasser-Wasser Wärmepumpe 120 kW (842 kg)	97'445	89'252	9'767	18'945'000
Wasser-Wasser Wärmepumpe 250 kW (1'220 kg)	141'191	129'320	14'152	27'450'000

7.1.10 Pufferspeicher

Die Umweltbelastung eines Pufferspeichers bzw. eines technischen Speichers ist nicht direkt proportional zu seinem Volumen: Ein kleiner Speicher hat nämlich mehr Graue Energie pro enthaltene Liter als ein grösserer.

Ein Datensatz mit den Angaben von etwa 80 Pufferspeichern wurde erstellt (Abbildung 41). Er enthält das Volumen, das Gesamtgewicht und das Gewicht der einzelnen Materialien, aus denen der Speicher besteht. Basierend auf diesen Daten wurden dann die Ökobilanzwerte für die verschiedenen Speicherkapazitäten berechnet (Tabelle 33). Es wurde angenommen, dass die Speicher immer aus emailliertem Stahl bestehen da Heiz-/Warmwasserspeicher häufiger aus diesem Material als aus Edelstahl hergestellt werden. Als Dämmmaterial wurde EPS (5 cm für Inhalt < 500 l, 10 cm für Inhalt ≥ 500 l) mit Polyesterfaserbeschichtung (0.6 mm) angenommen. Die Isolierung kann auch aus PUR mit PVC-Beschichtung bestehen, allerdings sind die Umweltbelastung und der Primärenergieverbrauch dieser Materialien ähnlich.

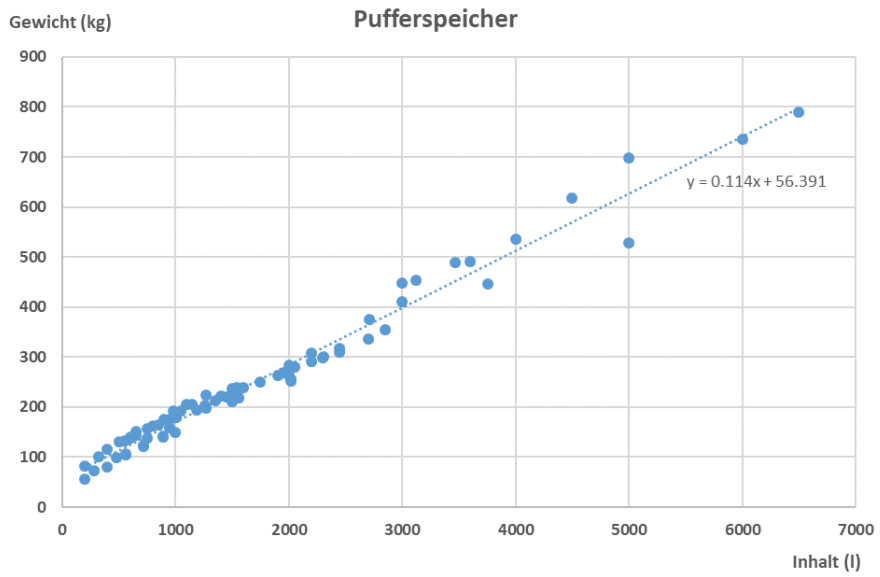


Abbildung 41: Gewicht von Pufferspeichern als Funktion des Volumens.

Tabelle 33: Ökobilanz-Kennwerte für Pufferspeicher, je nach Volumen (pro Stuck).

Inhalt (l)	Gewicht [kg]	PE gesamt [MJ]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
-	1	47.7	46.0	3.1	4'246.8
200	79	3'780	3'640	240	336'310
300	91	4'320	4'160	280	384'720
500	113	5'410	5'210	350	481'550
600	125	5'960	5'740	380	529'960
750	142	6'770	6'520	440	602'580
800	148	7'050	6'780	450	626'790
1'000	170	8'130	7'830	520	723'610
1'500	227	10'860	10'450	700	965'680
2'000	284	13'580	13'070	870	1'207'750
2'500	341	16'300	15'690	1'050	1'449'810
3'000	398	19'020	18'310	1'220	1'691'880
4'000	512	24'460	23'550	1'570	2'176'010
5'000	626	29'900	28'790	1'930	2'660'150
6'000	740	35'350	34'030	2'280	3'144'280

7.1.11 Wärmeverteilung Schulgebäude

Für die Wärmeverteilung in Schulgebäuden standen keine Ökobilanzdaten zur Verfügung. Es darf aber angenommen werden, dass die Topologie der Wärmeverteilung in einem typischen Schulbau im Wesentlichen vergleichbar mit jener eines Bürogebäudes ist bzw. dass die diesbezüglichen Unterschiede zwischen Schulen und Büros nicht grösser als die Variabilität innerhalb Bürobauten sind. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, dass für die Wärmeverteilung in Schulgebäuden die KBOB-Ökobilanzwerte für Bürobauten verwendet werden.

7.2 Lüftungsanlagen

Die Systeme und Systemkomponenten für die Lüftungsanlagen sind in Tabelle 34 unter Berücksichtigung der SIA 411 Gliederung zusammengefasst. Angegeben sind die Systemkomponenten, welche in der aktuellen Version der KBOB-Liste bereits aufgeführt sind, sowie jene Systeme und Systemkomponenten, welche im Rahmen dieser Studie vorgeschlagen werden. Die Tabelle beinhaltet ebenfalls die Resultate der Bewertung von Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit sowie die Resultate der Wirkungsanalyse pro Teilsystem. Die Ökobilanz-Kennwerte werden in den darauffolgenden Unterkapiteln präsentiert und/oder diskutiert.

Die Kennwerte, welche die Systeme betreffen, sind tendenziell v.a. für die Vorprojektphase von Interesse, als Projektdetails noch nicht bekannt sind bzw. noch nicht bestimmt werden können. Hingegen, die Kennwerte der einzelnen Komponenten sind eher für die Phasen Bauprojekt/Ausführungsprojekt wichtig, da zu diesem Zeitpunkt bereits mehr Details definiert sind.

Tabelle 34: Lüftungsanlagen. Überblick der vorgeschlagenen Systeme und Systemkomponenten mit Bezugsgrösse, Einheit und Kapitel, wo die Kennwerte erarbeitet und/oder diskutiert werden. Legende: Grün=Kennwerte sind im Rahmen dieses Projekts erarbeitet worden; Hellgrün=für die Erarbeitung dieser Kennwerte sind weitere Untersuchungen notwendig; ●=Kennwerte sind in der aktuellen KBOB-Empfehlung (2009/1:2016) bereits vorhanden; Rel=Relevanz, Var=Varianz, B_{Vor}=Beeinflussbarkeit im Vorprojekt, B_{Aus}=Beeinflussbarkeit bei der Ausführung (sehr hoch hoch mittel gering keine); W=Wirkung im System gemäss Wirkungsanalyse.

		System / Systemkomponente	Bezugsgrösse	Kennwerte
Systeme		Fensterlüftung manuell	-	7.2.1
		Fensterlüftung automatisch (Wohnen, Büro, Schule)	EBF (m^2)	
		Lüftungsanlage, spez. Luftmenge 1, 2, 4, 6, 8 $m^3/(h\ m^2\ EBF)$	EBF (m^2)	●
		Lüftungsanlage Wohnen, Blechkanäle, inkl. Küchenabluft	EBF (m^2)	●
		Lüftungsanlage Wohnen, PE-Kanäle, inkl. Küchenabluft	EBF (m^2)	●
		Lüftungsanlage Büro, Blechkanäle	EBF (m^2)	7.2.2
		Lüftungsanlage Schule, Blechkanäle	EBF (m^2)	7.2.3
		Abluftanlage Küche und Bad	EBF (m^2)	●
Teilprozesse (Teilsysteme) nach SIA 411	Quelle/Senke (Erdreich-Wärmeübertrager) W: langfristiger Hebel	Erdregister zu Lüftungsanlage Wohnen	EBF (m^2)	●
		Erdregister kurz zu Lüftungsanlage Büro (0.27 m/m^2 EBF)	EBF (m^2)	●
		Erdregister lang zu Lüftungsanlage Büro (0.67 m/m^2 EBF)	EBF (m^2)	●
		Erdregister kurz zu Lüftungsanlage Schule (0.27 m/m^2 EBF)	EBF (m^2)	7.2.4
		Erdregister lang zu Lüftungsanlage Schule (0.67 m/m^2 EBF)	EBF (m^2)	
	Umwandlung (Luftaufbereitung) Rel Var BVor B_{Aus} W: kurzfristiger Hebel	Lüftungsgerät	Luftvolumenstrom (m^3/h)	7.2.5
		Abluftgerät	Luftvolumenstrom (m^3/h)	
		Einzelraumlüfter Fenstermodell 10-30 m^3/h, ohne Montage	Gerät (Stk.)	●
	Speicherung (Luftwärmespeicher) W: langfristiger Hebel	Nicht berücksichtigt weil selten eingesetzt	-	-
	Verteilung (Luftverteilung) Rel Var B_{Vor} Baus W: mittelfristiger Hebel	Luftverteilung, spez. Luftmengen 1, 2, 4, 6, 8 $m^3/(h\ m^2\ EBF)$	EBF (m^2)	7.2.6
		Effiziente/ineffiziente Luftverteilung	Korrekturfaktor (-)	7.2.7
		Kaskadenlüftung od. Luftversorgung aus angrenzender Zone	Überströmte Fläche (m^2)	7.2.8
	Raum/Übergabe (Luftabgabe) W: mittelfristiger Hebel	Luftabgabe bei Verteilung inbegriffen	-	-

7.2.1 Fensterlüftung

Fensterlüftung kann entweder manuell oder automatisch erfolgen. Für die automatische Fensterlüftung standen keine detaillierten Daten zur Grauen Energie zur Verfügung. Einige Informationen betreffend Anzahl Antriebsgeräten und technische Spezifikationen derselben können zwar aus den Fallbeispielen der Studie «Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation» (EEV-GA, Kräuchi et al. 2016) gewonnen werden. Aus dieser Studie sind aber weder Daten zur Grauen Energie der Geräte noch zur Stromverteilung ableitbar.

7.2.2 Lüftungsanlage Büro

Die aktuelle KBOB-Empfehlung (2009/1:2016) enthält Ökobilanzdaten für Lüftungsanlagen mit den spezifischen Luftmengen von 1, 2, 4, 6, 8 $m^3/(h\ m^2$ EBF). Diese Daten sind für Anlagen mit Blechkanälen gültig.

Gemäss SIA 2024 (2015) liegt der Standardwert des Aussenluft-Volumenstroms pro Nettogeschossfläche für Grossraumbüros bei 3.6 $m^3/(h\ m^2)$. Die Kennwerte aus der aktuellen KBOB-Empfehlung decken deshalb bereits die Lüftungsanforderungen für einen hygienischen wie auch einen erhöhten Luftwechsel (z.B. als Unterstützung zur Raumkühlung/Nachtauskühlung).

7.2.3 Lüftungsanlage Schule

Der Standardwert des Aussenluft-Volumenstroms pro Nettogeschossfläche für Schulzimmer liegt gemäss SIA 2024 (2015) bei 8.3 $m^3/(h\ m^2)$. Wie bei Büros (siehe 7.2.2), decken somit die Ökobilanzdaten der aktuellen KBOB-Empfehlung auch Lüftungsanlagen, welche für einen hygienischen Luftwechsel in Schulen dimensioniert sind.

7.2.4 Erdreich-Wärmeübertrager

Von allen verfügbaren Gebäuden nur das Geschäftshaus B in Esslingen verfügt über ein Erdregister, für welches allerdings keine Ökobilanzdaten vorhanden sind. Für Schulbauten standen deshalb keine Daten zur Verfügung. Es ist aber anzunehmen, dass Erdregister für Schulbauten sich nicht wesentlich unterscheiden von demjenigen in Bürobauten. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, für Erdregister bei Schulgebäuden die KBOB-Ökobilanzwerte für Bürobauten zu verwenden.

7.2.5 Luftaufbereitung

Um einen möglichst detaillierten Datensatz für die Luftaufbereitung zusammenzustellen, wurden die Ökobilanzdaten von Lüftungsgeräten mit verschiedenen Nennluftmenge berücksichtigt. Diese Ökobilanzdaten stammen aus der Studie von Klingler et al. (2014) durchgeführten, in welcher ein Materialinventar erarbeitet worden ist, der folgende Komponenten abdeckt: vier unterschiedlich grossen Lüftungsgeräten in Modulbauweise mit jeweils drei verschiedenen Typen von Wärmerückgewinnersystemen (insgesamt zwölf Geräte) und vier Ventilatormodule mit unterschiedlicher Grösse (für den Einsatz in Garagen u.a.). Die Nennluftmenge der analysierten Geräte ist 1'800, 3'500, 6'700 und 13’000 m^3/h.

Für die Berechnungen wurde eine Anströmgeschwindigkeit auf die Wärmetauscher von 2 m/s angenommen (Tabelle 35).

Die in der Klinger Studie analysierte Lüftungsvorrichtung besteht aus folgenden Elementen:

- Lüftungsgerät mit Zu- und Abluftventilator (Radialventilator mit Riemenantrieb), Gliederklappen in AUL und ABL, Platten-Wärmetauscher, Luftfilter in ZUL und ABL, Lufterhitzer, Expansions- und Leerteil. Keine Schalldämpfer. Varianten dieser Anlage mit Rotationswärmetauscher sowie Kreislaufverbundsystem
- Einfaches Ventilatormodul mit einem Ventilator (Radialventilator mit Riemenantrieb), Gliederklappe und Luftfilter im Ansaug

Tabelle 35: Ökobilanz-Kennwerte für die Lüftungsgeräte, je nach Nennluftmenge und WRG-Systeme (im Falle von Lüftungsgeräten mit Zuluft- und Abluftventilator).

	PE gesamt [MJ]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
Ventilator 1'800 m3/h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer	22'670	20'510	1'190	2'511'100
Ventilator 3'500 m3/h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer	32'960	29'850	1'710	3'794'500
Ventilator 6'700 m3/h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer	53'630	48'650	2'780	6'491'800
Ventilator 13'000 m3/h, Modulbauweise mit Filter ohne Schalldämpfer	89'040	80'960	4'600	11'342'900
Lüftungsgerät,1'800 m3/h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer	87'310	78'650	4'620	8'874'100
Lüftungsgerät,1'800 m3/h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer	84'770	76'500	4'510	9'042'800
Lüftungsgerät,1'800 m3/h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer	75'850	68'240	4'010	9'255'000
Lüftungsgerät,3'500 m3/h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer	139'880	126'380	7'420	14'522'400
Lüftungsgerät,3'500 m3/h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer	128'160	115'950	6'810	14'087'400
Lüftungsgerät,3'500 m3/h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer	108'120	97'520	5'710	14'289'900
Lüftungsgerät,6'700 m3/h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer	226'210	204'960	12'010	24'779'800
Lüftungsgerät,6'700 m3/h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer	197'850	179'270	10'480	22'704'700
Lüftungsgerät,6'700 m3/h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer	173'900	157'170	9'180	24'570'200
Lüftungsgerät,13'000 m3/h mit Rotations-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer	394'030	357'650	20'950	44'031'700
Lüftungsgerät,13'000 m3/h mit Platten-Wärmetauscher ohne Schalldämpfer	351'610	319'040	18'640	40'549'400
Lüftungsgerät,13'000 m3/h mit Kreislaufverbund-WRG ohne Schalldämpfer	296'720	268'820	15'690	43'716'100

7.2.6 Luftverteilung

Bei den analysierten Gebäuden sind 45% bis 72% der gesamten Grauen Energie der Lüftungsanlage auf die Verteilung zurückzuführen (Kanäle, Rohre und Dämmung). Entsprechend wichtig ist eine Optimierung des Luftverteilungskonzepts, insbesondere was Länge und Gewicht der Verteilungsanlage anbelangt. Letztere zwei Parameter können von folgenden Faktoren stark beeinflusst werden:

- Art des Systems: zentral / dezentral. Eine dezentrale Installation ermöglicht ein kurzes Verteilungsnetz. Gleichzeitig werden dadurch mehr Lüftungsgeräte benötigt, was sich ebenfalls auf die Graue Energie auswirkt (das Gewicht von zwei Geräten ist grösser als das Gewicht von einem einzigen Gerät mit äquivalenter Nennluftmenge). Ob eine zentrale oder dezentrale Lösung besser geeignet ist, hängt stark von der Gestaltung des Gebäudes ab: Bei einem verzweigten Grundriss ist ein dezentrales System günstiger, während in einem kompakten Gebäude ein zentrales System die bessere Option darstellt.

- Lage der Lüftungszentrale: UG / Dach. In einem hohen Gebäude mit kompaktem Grundriss ist die Installation einer zentralen Anlage auf dem Dach kombiniert mit einer geringen Anzahl Steigzonen günstiger. In einem niedrigen Gebäude mit verzweigter Grundriss können mehrere Lüftungszentralen im UG von Vorteil sein. Ebenfalls von Vorteil ist, wenn die Lüftungszentrale möglichst nah am Steigschacht platziert ist. Wenn die Anlage über einen Lufterhitzer verfügt, ist es zudem sinnvoll, die Lüftungszentrale neben der Heizzentrale zu installieren.

- Verteilkonzept und Formgebung der Leitungen: Klares Konzept mit wenig Bögen / spezielle Elemente. Leitungen mit grossen Querschnitten sind kleinen, parallelen Kanälen vorzuziehen. Eine grosse Rolle spielt auch die Form der Kanäle: Runde (optimale Form) und quadratische Querschnitte sind in Bezug auf den Materialverbrauch besser als rechteckige oder flachovale Querschnitte. Die Anzahl einzeln geführte Leitungen ist generell möglichst klein zu halten. Ausreichende Raumhöhen und breite Räume ermöglichen eine einfache Verteilung und Kanäle mit optimalen Querschnitten. Zu beachten ist allerdings, dass höhere Raume eine grössere Fassadenfläche bewirken. Ebenfalls zu erwähnen ist, dass das Verteilkonzept besonders relevant wird, wenn eine Feinluftverteilung erforderlich ist (z.B. Wohnungen, Gruppen von Einzelbüros usw.).

- Notwendigkeit eines Brandschutzes: Es ist ratsam, die Luftverteilung durch Räume mit besonderen Brandschutzanforderungen zu vermeiden. Besonders ungünstig sind die Querung durch fremde Brandabschnitte. Nachteilig ist ebenfalls, wenn grosse Teile einer Anlage eine Brandschutzdämmung erfordern (z. B. im Keller). Brandschutzdämmungen haben eine höhere Dichte und damit eine schlechte ökologische Leistung. Brandschutzklappen können den für den Brandschutz erforderlichen Aufwand an Grauer Energie reduzieren.

- Maximale Luftgeschwindigkeit: Die Beibehaltung einer geringen Luftgeschwindigkeit erfordert grosse Leitungsquerschnitte und damit einen grösseren Materialaufwand, reduziert aber gleichzeitig den Energieverbrauch während des Betriebs.

- Material: im Vergleich zu Stahlrohren haben Polyethylenrohre ein geringeres Gewicht und eine geringere Umweltbelastung pro Laufmeter. Flexible Verrohrungen aus Polyethylen werden insbesondere für die Feinverteilung eingesetzt. Die Ökobilanz von verzinkten Stahlverrohrungen ist günstiger als jene von rostfreiem Stahl. Deshalb sollte die Verwendung von rostfreiem Stahl möglichst auf die Teile beschränkt werden, bei denen es unbedingt erforderlich ist (z.B. Aussenbereiche).

In der Studie von Klingler et al. (2014) wurden die Ökobilanzdaten basierend auf die Oberfläche der Kanäle und Rohre berechnet. Diese Bezugsgrösse ist jedoch wenig hilfreich, wenn es darum geht, verschiedene Optionen in einer frühen Planungsphase zu bewerten. Aus diesem Grund wurde beschlossen, die Ökobilanzen basierend auf der EBF des Gebäudes zu ermitteln. Diese Werte werden für verschiedene spezifische Luftmengen angegeben.

In den von Klingler et al. (2014) untersuchten Gebäuden besteht die Verteilung immer aus zwei oder mehr Materialien, wobei verzinkter Stahl anteilmässig der wichtigste Bestandteil ist. Dieser machte mindestens 70% und in der Hälfte der Gebäude sogar 95% der Grauen Energie aus.

Die verschiedenen Indikatoren (Primärenergie gesamt, Primärenergie nicht erneuerbar bzw. Graue Energie, Treibgashausemissionen und Gesamtumweltbelastung) sind in Bezug auf die spezifische Luftmenge des Gebäudes ausgewertet worden. Die Diagramme (Abbildung 42, Abbildung 43, Abbildung 44, Abbildung 45) zeigen, dass es eine gewisse Korrelation zwischen den Ökobilanzdaten der Luftverteilung und der spezifischen Luftmenge besteht. Es sind zudem zwei Ausreisser zu erkennen, welche deutlich vom Durschnitt abweichen: Das Schulhaus Albisriederplatz (Zentraler Lüftungsraum und Luftverteilung in drei Baukörper) mit markant höherer Umweltbelastung der Luftverteilung, und das Bürohaus Fribourg (Dachzentralen und kurze Wege für Aussenluft und Fortluft, Grundkonzept mit überwiegend grossen Kanaldimensionen) mit deutlich tieferen Werten.

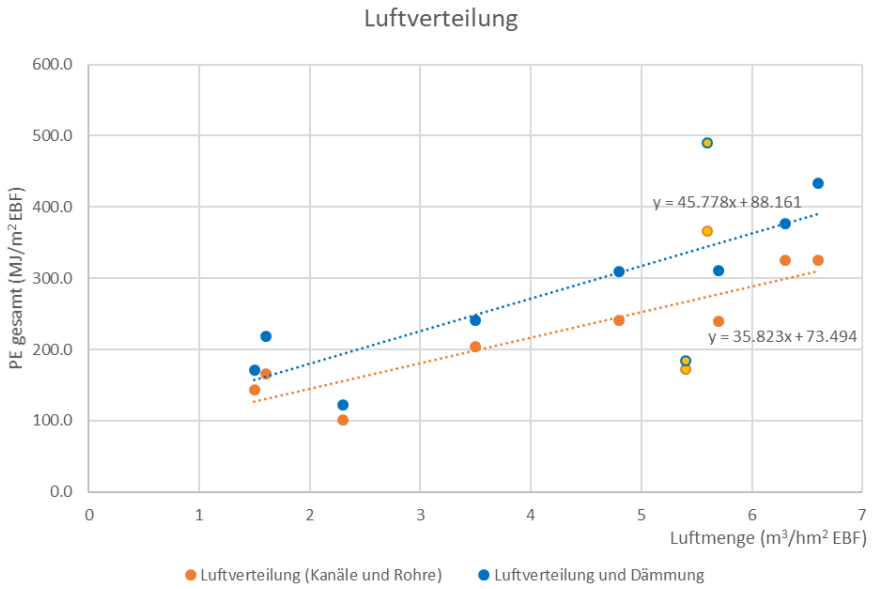


Abbildung 42: Korrelation zwischen der Primärenergie gesamt der Luftverteilung und der spezifischen Luftmenge. Die markierten gelben Punkte sind als Ausreisser interpretiert worden und wurden deshalb bei der linearen Regression nicht berücksichtigt.

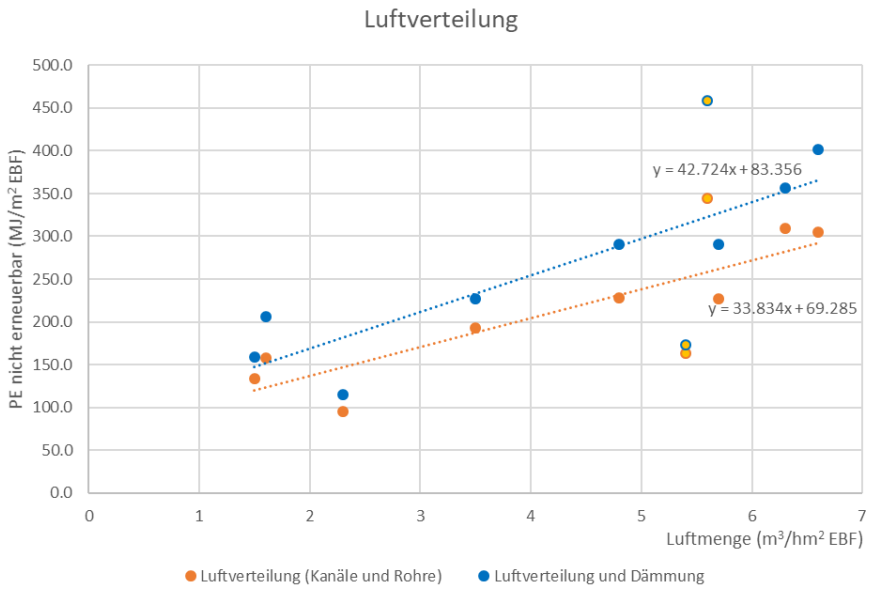


Abbildung 43: Korrelation zwischen der Primärenergie nicht erneuerbar der Luftverteilung und der spezifischen Luftmenge. Die markierten gelben Punkte sind als Ausreisser interpretiert worden und wurden deshalb bei der linearen Regression nicht berücksichtigt.

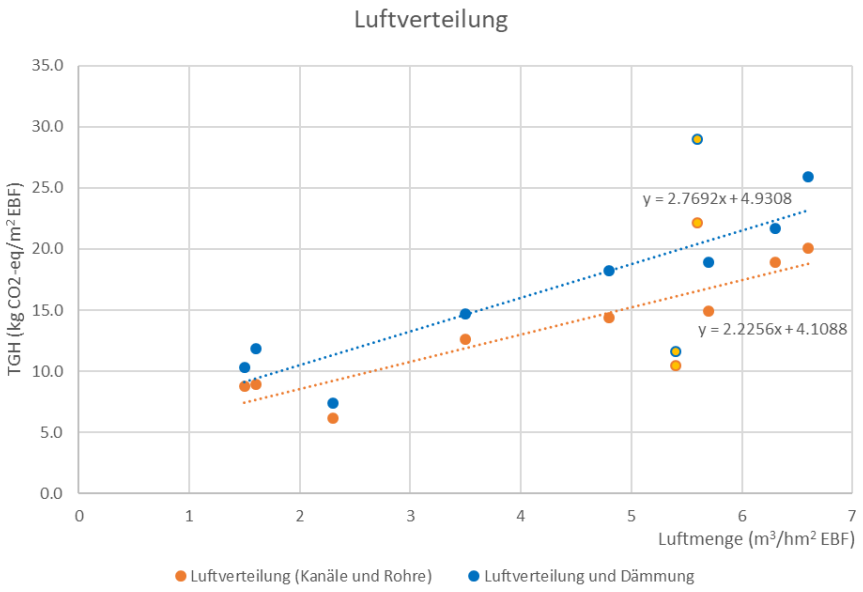


Abbildung 44: Korrelation zwischen den Treibgashausemissionen der Luftverteilung und der spezifischen Luftmenge. Die markierten gelben Punkte sind als Ausreisser interpretiert worden und wurden deshalb bei der linearen Regression nicht berücksichtigt.

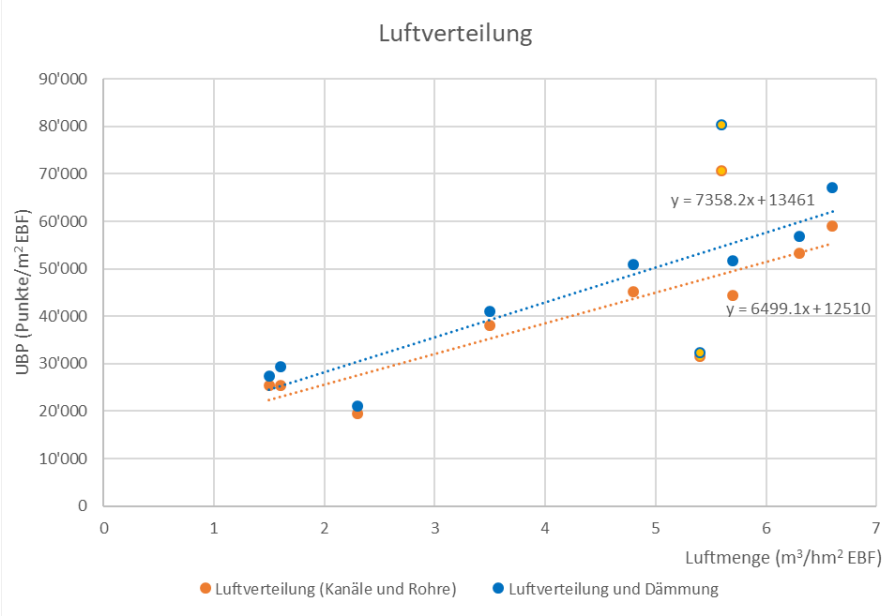


Abbildung 45: Korrelation zwischen dem Umweltbelastungspotenzial der Luftverteilung und der spezifischen Luftmenge. Die markierten gelben Punkte sind als Ausreisser interpretiert worden und wurden deshalb bei der linearen Regression nicht berücksichtigt.

Anhand der ermittelten Regressionsformeln wurden die Ökobilanzdaten für die Luftmengen berechnet, welche in der aktuellen KBOB-Liste (KBOB 2016) für die verschiedenen Lüftungsanlagen angegeben werden (Tabelle 36). Diese Zahlen sind als Durchschnittswerte zu betrachten.

Die Luftverteilung kann zwischen 48 und 75% der gesamten Grauen Energie einer Lüftungsanlage ausmachen. Es lohnt sich deshalb, der Optimierungsaufwand auf die Luftverteilung zu konzentrieren. Die Optimierung der Grauen Energie einer Lüftungsanlage ist wichtiger in Gebäuden mit tiefer spezifischer Luftmenge. Dies weil in diesem Fall der Materialaufwand für die Lüftungsanlage gross ist im Verhältnis zum Energieverbrauch während des Betriebes.

Tabelle 36: Ökobilanz-Kennwerte für die Luftverteilung (inklusive Dämmung), je nach spezifischer Luftmenge.

	PE gesamt [MJ/m² EBF]	PE nicht erneuerbar [MJ/m² EBF]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/m² EBF]	Gesamt-umweltbelastung [UBP/m² EBF]
Luftverteilung, inkl. Dämmung, spez. Luftmenge 1 m³/(h m² EBF)	133.9	126.1	7.7	20'819
Luftverteilung, inkl. Dämmung, spez. Luftmenge 2 m³/(h m² EBF)	179.7	168.8	10.5	28'177
Luftverteilung, inkl. Dämmung, spez. Luftmenge 4 m³/(h m² EBF)	271.3	254.3	16.0	42'894
Luftverteilung, inkl. Dämmung, spez. Luftmenge 6 m³/(h m² EBF)	362.8	339.7	21.5	57'610
Luftverteilung, inkl. Dämmung, spez. Luftmenge 8 m³/(h m² EBF)	454.4	425.1	27.1	72'327

7.2.7 Effiziente/ineffiziente Luftverteilung

Um die Komplexität verschiedener Verteilungsvarianten berücksichtigen zu können, wurden anhand der Abweichung der beiden Ausreisser zum berechneten Durchschnitt, zwei Korrekturfaktoren für die Fälle «effiziente» und «ineffiziente» Verteilung kalkuliert (Tabelle 37): Der Faktor von 0.6 gilt für eine effiziente, der Faktor 1.4 für eine ineffiziente Lufterteilung. Diese Faktoren zeigen, dass in der Luftverteilung ein erhebliches Optimierungspotenzial steckt.

Tabelle 37: Berechnete und effektive Ökobilanzdaten sowie Abweichung der Luftverteilung (inklusive Dämmung) der zwei Ausreisser Schulhaus Albisriederplatz und des Bürohaus Fribourg.

	Bürohaus Fribourg 5.4 $m^3/(h\ m^2\ EBF)$			Schulhaus Albisriederplatz 5.6 $m^3/(h\ m^2\ EBF)$		
	Berechnete Werte	Projektwerte	Abweichung	Berechnete Werte	Projektwerte	Abweichung
PE gesamt [MJ/m^2 EBF]	335.4	183.8	-45%	344.5	490.0	42%
PE nicht erneuerbar [MJ/m^2 EBF]	314.1	173.3	-45%	322.6	458.6	42%
Treibhausgasemissionen [kg CO_2-eq/m^2 EBF]	19.9	11.6	-42%	20.4	29.0	42%
Gesamtumweltbelastung [UBP/m^2 EBF]	53’195	32’411	-39%	54’667	80’422	47%

7.2.8 Kaskadenlüftung oder Luftversorgung aus angrenzender Zone

Einige Lüftungskonzepte sehen die Option vor, der hygienische Luftwechsel in einzelnen Räumen ohne zusätzliche Luftleitungen zu gewährleisten. Dies ist z.B. der Fall bei:

- Kaskadenlüftung. Die Lüftung von Räumen im Durchströmbereich erfordert keine zusätzlichen Luftführungen.
- Luftversorgung aus einer angrenzenden Zone. Einzelne Räume werden direkt aus einer angrenzenden Zone mit minimaler Kanallänge versorgt, ohne dass die Luftverteilung weit in den Raum verlegt werden muss (z.B. Führung von Lüftungskanälen in Gangzonen und, von dort aus, Versorgung der angrenzenden Zimmer mit kurzen Leitungen anstatt die Lüftungskanäle bis am Fenster jedes Zimmers zu verlegen).

Da diese Systeme meistens eine Reduktion des Materialaufwandes für die Luftleitungen bewirken, wird vorgeschlagen, bei der Berechnung der Grauen Energie, die EBF entsprechend anzupassen. Die Fläche F der Räume, welche im Durchströmbereich einer Kaskadenlüftung liegen oder welche direkt aus einer angrenzenden Zone mit minimaler Kanallänge versorgt werden, soll von der EBF abgezogen werden: EBF_{eff} = EBF - F. Die Berechnung der Grauen Energie der Luftverteilung erfolgt dann basierend auf der EBF_{eff} gemäss Kapitel 7.2.6 und ggf. mit Korrektur nach 7.2.7.

7.3 Sanitäranlagen

Die Systeme und Systemkomponenten für die Sanitäranlagen sind in Tabelle 38 unter Berücksichtigung der SIA 411 Gliederung zusammengefasst. Angegeben sind die Systemkomponenten, welche in der aktuellen Version der KBOB-Liste bereits aufgeführt sind, sowie jene Systeme und Systemkomponenten, welche im Rahmen dieser Studie vorgeschlagen werden. Die Tabelle beinhaltet ebenfalls die Resultate der Bewertung von Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit sowie die Resultate der Wirkungsanalyse pro Teilsystem. Die Ökobilanz-Kennwerte werden in den darauffolgenden Unterkapiteln präsentiert und/oder diskutiert.

Die Kennwerte, welche die Systeme betreffen, sind tendenziell v.a. für die Vorprojektphase von Interesse, als Projektdetails noch nicht bekannt sind bzw. noch nicht bestimmt werden können. Hingegen, die Kennwerte der einzelnen Komponenten sind eher für die Phasen Bauprojekt/Ausführungsprojekt wichtig, da zu diesem Zeitpunkt bereits mehr Details definiert sind.

Tabelle 38: Sanitäranlagen. Überblick der vorgeschlagenen Systeme und Systemkomponenten mit Bezugsgrösse, Einheit und Kapitel, wo die Kennwerte erarbeitet und/oder diskutiert werden. Legende: Grün=Kennwerte sind im Rahmen dieses Projekts erarbeitet worden; Hellgrün=für die Erarbeitung dieser Kennwerte sind weitere Untersuchungen notwendig; ●=Kennwerte sind in der aktuellen KBOB-Empfehlung (2009/1:2016) bereits vorhanden; Rel=Relevanz, Var=Varianz, B_{Vor}=Beeinflussbarkeit im Vorprojekt, B_{Aus}=Beeinflussbarkeit bei der Ausführung (sehr hoch hoch mittel gering keine); W=Wirkung im System gemäss Wirkungsanalyse.

		System / Systemkomponente	Bezugsgrösse	Kennwerte
Systeme		Sanitäranlagen, Büro, einfach, inkl. Apparate und Leitungen	EBF (m^2)	●
		Sanitäranlagen, Büro, aufwändig, inkl. Apparate und Leitungen	EBF (m^2)	●
		Sanitäranlagen, Wohnen, inkl. Apparate und Leitungen	EBF (m^2)	●
Teilprozesse (Teilsysteme) nach SIA 411	Quelle/Senke (Wasserquelle) W: langfristiger Hebel	Regenwassernutzung	EBF (m^2)	7.3.1
		Grauwassernutzung	EBF (m^2)	
	Umwandlung (Wasserbehandlung/-aufbereitung) W: mittelfristiger Hebel	Z.B. Wasserenthärtung: Nicht berücksichtigt weil selten eingesetzt	-	-
	Speicherung (Wasserspeicher) Rel Var B_{Vor} B_{Aus} W: langfristiger Hebel	Warmwasserspeicher	Volumen (Liter)	7.3.2.1
		Speicherwassererwärmer	Volumen (Liter)	7.3.2.2
		Kombispeicher	Volumen (Liter)	7.3.2.3
		Durchflusswassererwärmer	Masse (kg)	7.3.2.4
		Wärmepumpenboiler	Masse (kg)	7.3.2.5
	Verteilung (Wasserverteilung) Rel Var B_{Vor} B_{Aus} W: neutral	Leitungen Wohnen	EBF (m^2)	7.3.3.1
		Leitungen Büro, Ausbaustandard einfach	EBF (m^2)	7.3.3.2
		Leitungen Büro, Ausbaustandard aufwändig	EBF (m^2)	
		Leitungen Schule, Ausbaustandard einfach	EBF (m^2)	
		Leitungen Schule, Ausbaustandard aufwändig	EBF (m^2)	
	Raum/Übergabe (Entnahmestelle) Rel Var B_{Vor} B_{Aus} W: mittelfristiger Hebel	Nasszelle Wohnen (3 Apparate: WC, Bade- od. Duschwanne, Waschtisch)	Anzahl Räume (Stk.)	7.3.4
		WC Büro (Apparate: WC, Waschtische)	Anzahl Räume (Stk.)	
		Garderobe/Dusche Büro (Apparate: Duschen, Waschtische)	Anzahl Räume (Stk.)	
		WC Schule (Apparate: WC, Waschtische)	Anzahl Räume (Stk.)	
		Garderobe/Dusche Schule (Sporthalle) (Apparate: Duschen, Waschtische)	Anzahl Räume (Stk.)	
		Waschturm (Waschmaschine + Wäschetrockner)	Anzahl Waschtürme (Stk.)	
		Sprinkleranlage	EBF (m^2)	7.3.5

Die Sanitäranlagen umfassen alle Anlagen, die in Gebäuden, Grundstücken und Regionen vorwiegend der Wasserversorgung, Entwässerung, Gasversorgung und Abgasbeseitigung dienen (Pech und Jens 2006). Gasinstallationen und Anlageteile, welche über das Gebäudeperimeter hinausgehen werden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt. Das SIA Merkblatt 2026 «Effizienter Einsatz von Trinkwasser in Gebäuden» (2017) stellt ein Referenzdokument für eine effiziente Planung der Trinkwasserinstallation dar.

Für die Herleitung der Bezugsgrössen wurden die Daten aus der Studie von Klingler und Kasser (2011) herangezogen. Diese Studie umfasst sechs Gebäude: vier Wohngebäude (MFH) und zwei Bürogebäude. Die Bürogebäude, Gewerbegebäude Acutronic und Geschäftshaus Zentrum Leue, sind keine typischen Bürobauten: Im ersten Gebäude gibt es eine Fabrikationshalle im EG und im zweiten wird der grösste Teil der Fläche als Supermarkt genutzt. Abbildung 14 fasst die wichtigsten Eigenschaften sowie die Hauptkomponenten der Sanitäranlagen der sechs Gebäude zusammen.

Tabelle 39: Eckdaten der Gebäude aus der Studie von Klingler und Kasser (2011).

	Gewerbegeb. Acutronic, Bubikon	Geschäftshaus Zentrum Leue, Männedorf	MFH Obere Schöntalstr., Winterthur	MFH Tösstalstrasse, Winterthur	MFH Smaragd, Winterthur	MFH Fehlmann Areal, Winterthur
Beschrieb	Gewerbe-gebäude und Büro	Supermarkt, Kirchgemein-dehaus und Büro	2 Baukörper mit je 19 Wohnungen, 4 Geschosse und 1 UG	8 Wohnungen, 4 Geschosse und 1 UG	5 Wohnungen, 4 Geschosse und 1 UG	10 Wohnun-gen, 3 Ge-schosse und 1 UG
EBF (m^2)	5’131	3’048	4’079	766	1’100	1’548
Mittelwert BF pro Wohnung (m^2)	-	-	107	96	220	155
Anz. Nasszellen	16 NZ	8 NZ	6 Whg. mit 1 NZ + 32 Whg. mit 2 NZ	8 Whg. mit 1 NZ	2 Whg. mit 3 NZ + 2 Whg. mit 2 NZ + 1 Whg. mit 1 NZ	3 Whg. mit 1 NZ + 7 Whg. mit 2 NZ
Anz. Steigzonen	3	variiert je nach Geschoss	10 (2 pro Whg.)	2	2 oder 3 pro Gesch.	3 bis 7 pro Gesch.
Ausbaustandard	-	-	Einfach	Einfach	Gehoben	Gehoben
Waschautomat und Trockner	1 + 1	1 + 1	6 + 4 0.26 Ger./Whg.	2 + 2 0.5 Ger./Whg.	4 + 4 1.6 Ger./Whg.	10 + 10 2 Ger./Whg.
Bade- und Duschwanne	1+9	-	32 + 22	8 + 0	4 + 5	10 + 7
Warmwasserspeicher (l)	2'000	2'000	4 x 1000 + 2 x 2000 (Solaranlage)	750	1'500	1'000
Waschtisch	24	18 + 2 Schulbrunnen	70	8	16 + 8 Wandtische	7 + 10 Doppel
WC, Spülkasten	29 Wandklos + 12 Urinoir	17 Wandklos + 6 Urinoir	54	8	8	15
Rohrleitungen inkl. Dämmung und Befestigung	Rohrleitung: 2397 m (0.47) Dämmung: 1135 m (0.22)	Rohrleitung: 3021 m (1.48) Dämmung: 2343 m (1.14)	Rohrleitung: 2626 m (0.63) Dämmung: 1520 m (0.36)	Rohrleitung: 2626 m (0.63) Dämmung: 1520 m (0.36)	Rohrleitung: 627 m (0.57) Dämmung: 296 m (0.27)	Rohrleitung: 1800 m (1.16) Dämmung: 517 m (0.33)
Spiegelschrank	7 + 16 Spiegel	-	8	8	17	12
Armaturen	34	18	126	16	24	44
Abfallbehälter	16	10	-	-	-	-
Papierhandtuch-spender	17 + 29 Papierhalter	10 + 17 Papierhalter	54 Papierhalter	8 Papierhalter	8 Papierhalter	15 Papierhalter

7.3.1 Regen- und Grauwassernutzung

Regen- und Grauwasser kann innerhalb eines Gebäudes wiederverwendet werden und stellt somit eine Wasserquelle dar. Die untersuchten Gebäude besitzen keine Anlage zur Regen- oder Grauwassernutzung. Es sind somit keine Ökobilanzdaten über den Aufwand an Grauer Energie verfügbar.

Die Regenwassernutzung erfordert einen Sammeltank, eine Druckerhöhungsanlage, einen Filter und ein separates Leitungsnetz. Gemäss Merkblatt SIA 2026 (2017) «Eine Grauwasseranlage benötigt ein separates Leitungsnetz zur Sammlung des Abwassers und zur Verteilung des aufbereiteten Betriebswassers. Je nach Verwendungszweck wird das zentral in einem Tank gesammelte Grauwasser filtriert, zu Betriebswasser aufbereitet und mittels einer Druckerhöhungsanlage zu den Entnahmestellen gefördert.». Die Installation dieser Systeme ist nur dann sinnvoll, wenn die Bereitstellung von Betriebswasser weniger Energie für die Erstellung und den Betrieb der Anlagen erfordert als die Bereitstellung des Trinkwassers.

7.3.2 Wasserspeicher

Die Optimierung der Grauen Energie eines Wasserspeichersystems hängt von der richtigen Dimensionierung ab. Für eine einzelne Wohnung ist ein Volumen von 200 bis 250 Liter ausreichend, während in einem Mehrfamilienhaus nicht alle Wohnungen gleichzeitig den Spitzenbedarf abfordern, so dass das benötigte Volumen pro Wohnung geringer ist.

Die Dimensionierung des Speichers erfolgt nach der Norm SIA 385/2 (2015). Für eine vereinfachte Dimensionierung kann das Diagramm in Abbildung 3 benutzt werden. Demnach sollen für Wohnbauten folgende Warmwasserspeicherkapazitäten ausreichen: für 8 Wohnungen 750 Liter, 12 Wohnungen 1000 Liter, 20 Wohnungen 1500 Liter und für 48 Wohnungen 3000 Liter.

In Bürogebäuden ist der Warmwasserverbrauch viel geringer als in Wohngebäuden. Das Merkblatt SIA 2024 (2015) legt einen Warmwasserbedarf von 3 l/d bei 60 °C pro Person fest.

Abbildung 46: Bemessungsrichtwerte für Warmwasserspeicher (Recknagel et al. 2000).

Für die Berechnungen wurden folgende Materialien angenommen: Speicherbehälter aus emailliertem Stahl, Isolierung aus EPS (5 cm für Inhalt <500 l, 10 cm für Inhalt ≥500 l), Polyesterfaser-Beschichtung (0.6 mm). Die entsprechenden Ökobilanzdaten wurden der aktuellen KBOB-Liste entnommen und sind in Tabelle 40 aufgeführt.

Tabelle 40: Ökobilanz-Kennwerte der Materialien eines typischen Warmwasserspeichers. Werte aus KBOB (2016).

Material	ID-Nummer	Bezugs-grösse	PE gesamt [MJ/Bezug]	PE nicht erneuerbar [MJ/Bezug]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/Bezug]	Gesamt-umweltbelastung [UBP/Bezug]
Stahlblech, blank	06.010	kg	28.96	27.90	1.83	3570
Emaillieren, Metall	14.004	m2	172.50	157.00	8.11	10500
Polystyrol expandiert (EPS)	10.004	kg	108.30	107.00	7.64	5180
Polyester (UP) glasfaserverstärkt	15.004	kg	119.49	114.00	8.85	9200

Bei der Auswahl des Wasserspeichers sollte, bei gleichem Volumen, das Modell mit dem grössten Durchmesser gewählt werden: Je grösser der Durchmesser, desto kleiner die Oberfläche pro Volumeneinheit und somit desto geringer die Wärmeverluste und der Materialaufwand bzw. die Graue Energie.

Die Abmessungen und das Gewicht von verschiedenen Warmwasserspeichern (von verschiedenen Hersteller) wurden analysiert. Daraus wurde ein Durchschnittsgewicht jeder Komponente als Funktion der Grösse bzw. Kapazität des Speichers berechnet.

7.3.2.1 Warmwasserspeicher

Warmwasserspeicher haben gemäss Definition nach SIA 385/2 (2015) keine eingebauten Heizflächen und sind somit konstruktiv mit Pufferspeichern vergleichbar (Kap. 7.1.10).

7.3.2.2 Speicherwassererwärmer

Im Vergleich zu «einfachen» Warmwasserspeichern sind in Speicherwassererwärmern Heizflächen zur Erwärmung des Kaltwassers eingebaut.

Die Umweltbelastung eines Speicherwassererwärmers ist nicht direkt proportional zu seinem Volumen: Ein kleiner Speicher hat nämlich mehr Graue Energie pro enthaltene Liter als ein grösserer. Die am häufigsten verwendeten Speicherwassererwärmer in Mehrfamilienhäusern und Bürogebäuden haben eine Kapazität von 750, 1’000, 1’500, 2’000 oder 3’000 Litern.

Ein Datensatz mit den Angaben von etwa 40 Speicherwassererwärmern wurde erstellt (Abbildung 47). Er enthält das Volumen, das Gesamtgewicht und das Gewicht der einzelnen Materialien, aus denen der Speicher besteht. Basierend auf diesen Daten wurden dann die Ökobilanzwerte für die verschiedenen Speicherkapazitäten berechnet (Tabelle 41).

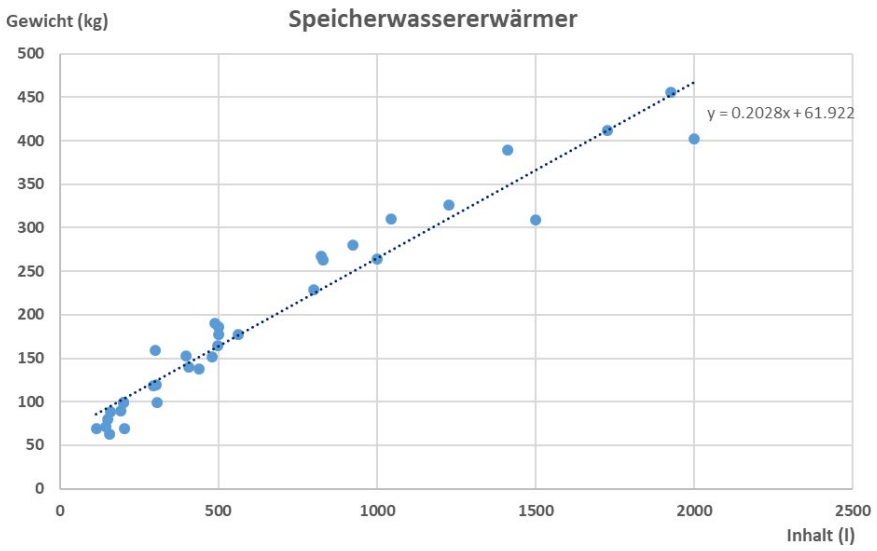


Abbildung 47: Gewicht von Speicherwassererwärmer als Funktion des Volumens.

Tabelle 41: Ökobilanz-Kennwerte für Speicherwassererwärmer, je nach Volumen (pro Stuck).

Inhalt (l)	Gewicht (kg)	PE gesamt [MJ]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
-	1	41.3	39.7	2.63	4'046.9
200	102	4'213	4'049	268	412'784
300	123	5'080	4'883	323	497'769
500	163	6'732	6'471	429	659'645
750	214	8'838	8'496	563	866'037
800	224	9'251	8'893	589	906'506
1'000	265	10'945	10'521	697	1'072'429
1'500	366	15'116	14'530	963	1'481'165
2'000	468	19'328	18'580	1'231	1'893'949

7.3.2.3 Kombispeicher

Ein Kombispeicher enthält getrennte Kammern für die gleichzeitige Speicherung von Heizungs- und Warmwasser. Dieser Speichertyp hat im oberen Bereich einen kleineren innenliegenden Warmwasserspeicher und aussen herum das deutlich grössere Speichervolumen für Heizwasser. Die Erwärmung des Heizwassers kann mit Solarthermie unterstützt werden. Normalerweise werden diese Speicher durch zwei Zahlen gekennzeichnet: Die Erste entspricht dem Volumen des Heizwassers, die Zweite jenem des Warmwassers. Diese Werte sind theoretisch, der tatsächliche Wasserinhalt ist in der Regel etwas niedriger.

Das angewandte Berechnungsverfahren für die Ermittlung der Ökobilanzwerte ist das gleiche wie für Speicherwassererwärmer. Abbildung 48 zeigt das Gewicht und Volumen der Kombispeicher im untersuchten Datensatz, Tabelle 42 die Ökobilanzwerte für typische Speicherkapazitäten.

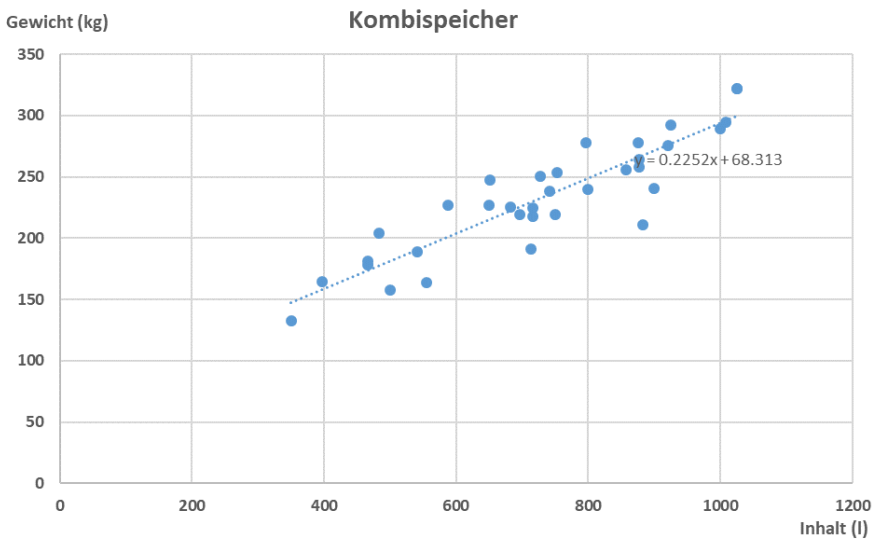


Abbildung 48: Gewicht von Kombispeichern als Funktion des Volumens.

Tabelle 42: Ökobilanz-Kennwerte für Kombispeicher, je nach Volumen (pro Stuck).

Inhalt (l)	Gewicht (kg)	PE gesamt [MJ]	PE nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq]	Gesamt-umweltbelastung [UBP]
-	1	41.8	40.1	2.62	4'063.1
400	175	7'315	7'018	459	711'043
500	181	7'566	7'258	474	735'421
600	208	8'694	8'341	545	845'125
750	233	9'739	9'343	610	946'702
800	241	10'074	9'664	631	979'207
1'000	274	11'453	10'987	718	1'113'289

7.3.2.4 Durchflusswassererwärmer

Durchflusswassererwärmer können ohne oder mit Warmwasserspeichern installiert werden (Speicherladesystem). Die Speicherladesysteme ermöglichen die Abdeckung des kontinuierlichen Bedarfs wie auch des Spitzenbedarfs an Trinkwarmwasser. Durchflusswassererwärmer bestehen normalerweise aus einem Plattenwärmetauscher aus rostfreiem Stahl V4A mit EPDM-Dichtungen (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk), eine Wärmedämmung aus Glaswolle (50 mm) und Aluminiumblech. In den analy-

sierten Gebäuden ist eine solche Komponente nicht vorhanden und somit sind keine Ökobilanzdaten verfügbar.

7.3.2.5 Wärmepumpenboiler

Gemäss dem statistischen Bericht 2017 der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS 2017) wurden im Jahr 2017 5'746 Wärmepumpenboiler verkauft, was mehr als ein Viertel der im gleichen Jahr verkauften Wärmepumpen ausmacht. Da nicht ausreichende Information zu den Materialien, aus denen sie bestehen zur Verfügung stand, konnte keine verlässliche Ökobilanz erstellt werden.

7.3.3 Wasserverteilung

Die effiziente Planung von Wasserversorgungsystemen in Gebäuden beginnt bei der räumlichen Anordnung und Verteilung der Sanitärräume und Entnahmestellen. Kurze Verteilleitungen erlauben kurze Warmwasser-Ausstosszeiten wie auch eine Reduktion von Wärme- und Druckverlusten, Materialaufwand und Umweltbelastung (Graue Energie, Treibhausgasemissionen, …). Die Grundsätze zur Konzeption und effizienten Planung von Wasserleitungen in Gebäuden werden im Merkblatt SIA 2026 (2017) beschrieben, wo u.a. folgende Empfehlungen entnommen werden können:

- Die Haustechnikzentralen sollen so angeordnet werden, dass möglichst kurze Verteilleitungen resultieren.
- Apparategruppen und Entnahmestellen sollen geschossweise rund um die Erschliessungszone und vertikal übereinander anordnen werden

Die Wasserleitungen können wie folgt nach ihrer Verwendung klassifiziert werden:

- Versorgungsleitungen:
  - Kaltwasserleitungen (KW)
  - Warmwasser- und Zirkulationsleitungen (WW & ZIR)
- Entsorgungsleitungen:
  - Schmutzabwasserleitungen (WAS)
  - Regenabwasserleitungen (WAR)

Material und Art der Isolierung von Rohren sind von deren Verwendungszweck abhängig. Die typischen Materialien für die verschiedenen Anwendungen sind inklusive Bewertung der ökologischen Qualität in Tabelle 43 zusammengefasst. Hausanschlussleitungen sind dabei nicht berücksichtigt worden, da ausserhalb der Systemgrenzen.

Tabelle 44 zeigt die berechneten Werte für Primärenergie, Treibhausgasemissionen und die Umweltbelastung für Rohren und Dämmung aus verschiedenen Materialien und mit unterschiedlichem Durchmesser.

Tabelle 43: Überblick der verwendeten Materialien für Leitungen und Dämmung nach Verwendungszweck. Die Priorität bezieht sich auf die ökologische Qualität des Materials der Leitung gemäss eco-bau (2018).

		Leitung		Dämmung
		Material	**Priorität**	**Material**
KW	Kellerverteilung	Nichtrostender Stahl	2	PIR- Schalen, PVC Umhüllung
		Metallverbundrohre (PE/Alu/PE)	2	
	Steigleitungen	Wie für Kellerverteilung		PIR- Schalen
	Stockwerksverteil.	Polybuten (PB)	1	Nicht isoliert
		Nichtrostender Stahl	2	
		Vernetztes Polyethylen (PE-X)	2	
		Metallverbundrohre (PE/Alu/PE)	2	
WW+Zirk.	Kellerverteilung	Wie im KW Zirkulationleit. Vernetztes Polyethylen (PE-X)		PIR- Schalen, PVC Umhül. Minerallwollschalen, PVC Umhül. Synthetischer Kautschuk mit Additiven (thermische Däm-
	Steigleitungen			PIR- Schalen Minerallwollschalen
	Stockwerksverteil.			Wie für KW - Nicht isoliert
WAS	Kellerverteilung	Polyethylenrohre PE	2	PE-Schaum Polyurethan (PUR) (Schalldämmung)
	Steigleitungen	Schallgedämmte Polyethylen-rohre PE mineralstoffverstärkt	2	
	Stockwerksverteil.	Polyethylenrohre PE		
WAR	Kellerverteilung	Wie im WAS		Synthetischer Kautschuk mit Additiven (thermische und Schalldämmung)
	Steigleitungen			
	Stockwerksverteil.			

Tabelle 44: Ökobilanz-Kennwerte für Rohre und Dämmungen verschiedener Materialen (pro Meter).

		Material	Durch-messer	Gew. [kg/m]	PE gesamt [MJ/m]	PE nicht erneuerb. [MJ/m]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/m]	Gesamt-umwelt-belastung [UBP/m]
Leitung	KW WW	Nichtrostender Stahl (CrNi-Stahl 18/8 blank)	DN 15	0.351	22.3	19.3	1.3	2418
		Metallverbundrohre (PE/Alu/PE) (ca. 73% PE, 27% Al)	DN 15	0.14	13.1	12.2	0.8	624
		Polybuten (PB)[1]	DN 15	0.081		7.0		
		Vernetztes Polyethylen (PE-X)[2]	DN 16	0.097	8.3	8.1	0.5	331
	WAS WAR	Polyethylenrohre PE	DN 90	0.91	78.0	76.2	4.9	3114
		Schallgedämmte Polyethylen-rohre PE mineralstoffverstärkt[3]	DN 90	3.70	152.2	146.9	9.1	6188
Dämmung	KW WW	PIR- Schalen, PVC Umhül.	DN 15	0.20	20.1	19.6	1.3	1197
		PIR- Schalen	DN 15	0.14	14.6	14.2	1.0	865
		Synthetischer Kautschuk m. Additiven[4]	DN 15	0.16	14.5	14.3	0.9	1232
	WW	Mineralwollschalen, PVC Umhül.	DN 15	0.63	14.9	14.1	1.0	972
		Mineralwollschalen	DN 15	0.55	9.3	8.6	0.6	630
	WAS WAR	Synthetischer Kautschuk mit Additiven[4]	DN 90	0.32	35.5	34.6	2.4	2106
		Schalldämmung aus PUR[5]	DN 90	0.16	18.1	17.6	1.2	1073

Materialien, die nicht in der KBOB-Liste verfügbar sind.

[1] Graue Energie aus eco-bau (2018)

[2] Werte des PE-Rohres aus der KBOB-Liste angenommen.

[3] Graue Energie aus eco-bau (2018), THG und UBP aus Klingler und Kasser (2011).

[4] Werte der Kautschukdichtungsmasse aus der KBOB-Liste angenommen.

[5] Daten der Dämmung PIR/PUR (30 kg/m^3) aus der KBOB-Liste übernommen, angepasst aufgrund der zur Gewährleistung einer besseren Schalldämmung notwendigen höheren Rohdichte (247 kg/m^3).

Kalt- und Warmwasserverteilung:

- Keller und Steigzonen: Metallverbundrohre haben weniger Graue Energie als Nichtrostender Stahlrohre.
- Stockwerksverteilung: Kunststoffrohre haben aufgrund ihres geringeren Gewichts weniger graue Energie. Hervorzuheben ist Polybuten, das nach Eco-BKP als Priorität 1 eingestuft ist.
- Für die Isolierung von Warmwasserleitungen wird vorzugsweise Mineralwolle gewählt.

Schmutz- und Regenabwasserleitungen:

- Die Leitungsquerschnitte sind aufgrund der Anforderungen an den Schallschutz (Einhaltung von maximalen Fliessgeschwindigkeiten für minimale Fliessgeräusche) grösser als die Leitungsquerschnitte von Kalt- und Warmwasserleitungen. Das bedeutet ein viel höheres Gewicht pro Laufmeter und damit eine höhere Graue Energie.
- Bei den Stockwerksverteilungen und Steigleitungen sind die akustischen Anforderungen höher und es wird deshalb ein schwererer Rohrmaterial verwendet. Diese Rohre bestehen aus mineralverstärktem Polyethylen und haben weniger Graue Energie pro Kilo als Polyethylen. Da sie aber ca. viermal schwerer als Polyethylenrohre sind, führen sie zu einem höheren Aufwand an Grauer Energie.

Die KBOB-Liste enthält innerhalb der Kategorie «Rohre» nur fünf Materialien: Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Gusseisen, Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polyvinylchlorid (PVC). Es wäre empfehlenswert die Liste mit den Ökobilanzdaten für PB-Rohre zu erweitern, da diese eine interessante Option für die Stockwerksverteilung sein können. PE-X ist weiteres Material, dass obschon angewendet, nicht in der KBOB-Liste aufgeführt wird. Auch Metallverbundrohren sind nicht berücksichtigt, in diesem Fall können aber die Ökobilanzwerte aus den Daten für die Komponenten Aluminium und Polyethylen abgeleitet werden. Was Entsorgungsleitungen anbelangt, wäre es empfehlenswert, ein schallgedämmtes Polyethylenrohr mineralstoffverstärkt aufzunehmen.

Für die Schalldämmstoffe wie Polyethylenschaum (Typ Geberit Dämmschlauch) und Polyurethan (Typ Geberit Isol Flex) wie auch für die Wärme- und Schalldämmung aus synthetischem Kautschuk (Typ Armaflex) sind in der KBOB-Liste keine Ökobilanzdaten vorhanden.

7.3.3.1 Leitungen Wohnen

Es wurden zwei Gebäude mit unterschiedlichem Komplexitätsgrad in Bezug auf die Leitungsinstallation analysiert.

Das MFH Tösstalstrasse (Abbildung 49) ist ein Gebäude mit einem einfachen, übersichtlichen Verteilkonzept, bei dem möglichst kurze Leitungen angestrebt wurden. Das Haus hat 8 Wohnungen (3- und 3.5-Zimmerwohnungen), 4 Geschossen und ein UG. Insgesamt sind zwei Steigzonen vorhanden. Die Wohnungen haben je eine Steigzone, welche zwischen Nasszelle mit Badewanne und Küche liegt, womit die Verteilung der Leitungen auf ein Minimum reduziert werden konnte. Die Waschautomaten und Trockner befinden sich im UG.

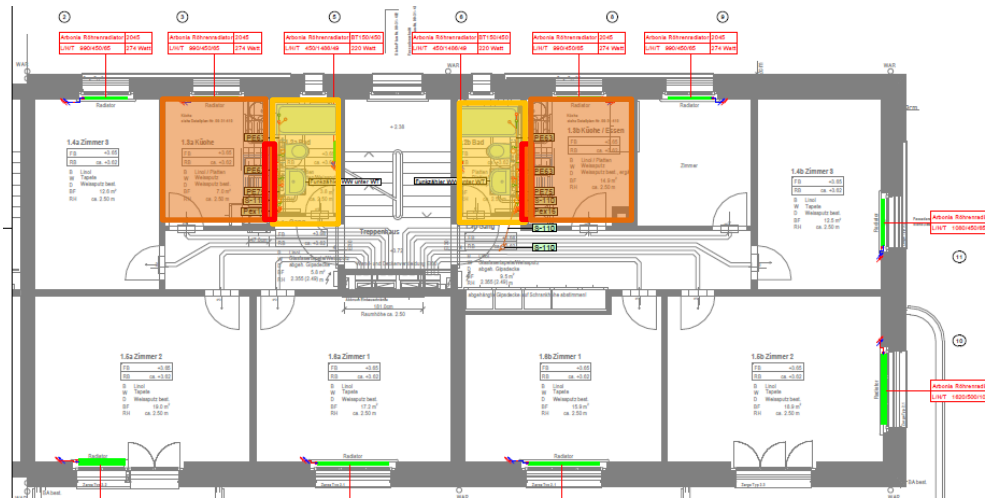


Abbildung 49: MFH Tösstalstrasse, Grundriss der EG, 1.OG, 2.OG und 3.OG. Die Badezimmer sind mit gelb markiert, die Küchen mit orange und die Steigzonen mit rot.

Das MFH Obere Schöntalstrasse (Abbildung 50) besteht aus zwei identischen viergeschossigen Baukörpern mit je 19 Wohnungen und einem gemeinsamen UG. Auf jeder Etage befinden sich – mit Ausnahme des EG, wo nur 4 Wohnungen vorhanden sind – zwei 3.5-Zimmerwohnungen mit zwei Nasszellen (eine mit Badewanne und die andere nur mit WC), zwei 4.5-Zimmerwohnungen mit zwei Nasszellen (eine mit Badewanne und die andere nur mit Dusche) und eine 2.5-Zimmerwohnung mit einer Nasszelle mit Dusche. In den Wohnungen mit 2 Nasszellen befindet sich die Steigzone zwischen den Nasszellen. Die Küche ist von der Steigzone etwas entfernt und während die Wasserversorgung durch die Steigzone der Nasszellen geleitet wird, erfolgt die Entsorgung des Schmutzwassers der Küche über eine separate Steigzone. Im Erdgeschoss wird zudem das Schmutzwasser nicht über die Schmutzwassersammelleitung der oberen Geschossen, sondern durch eine separate Leitung evakuiert. Im UG befinden sich 6 Waschautomaten und 4 Trockner. Das Gebäude hat eine solarthermische Anlage (ca. 100 m^2) und entsprechend ein grosses Warmwasserspeichervolumen (4 Speicher von 1’000 Litern und 2 Speicher von 2’000 Litern).

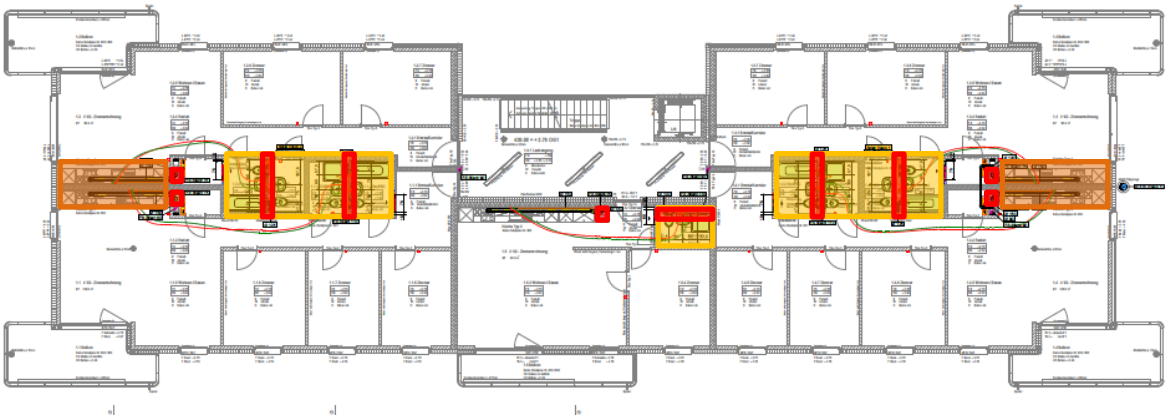


Abbildung 50: MFH Obere Schöntalstrasse, Grundriss der 1.OG, 2.OG und 3.OG (im EG ist keine zentrale Wohnung vorhanden). Die Badezimmer sind mit gelb markiert, die Küchen mit orange und die Steigzonen mit rot.

Für jedes MFH wurden zwei Varianten berechnet (Tabelle 45): eine mit den tatsächlich eingesetzten Materialien (Variante 1) und eine mit Materialien mit einer geringeren Grau Energie (Variante 2).

Tabelle 45: Berücksichtigte Materialen für die vergleichende Analyse. Blau markiert: Materialen mit geringerer Grauen Energie (Variante 2).

		Material Leitung	Material Dämmung
KW	Kellerverteilung	Nichtrostender Stahl	PIR- Schalen, PVC Umhül.
		Var. 2 Metallverbundrohre (PE/Alu/PE)	
	Steigleitungen	Nichtrostender Stahl	PIR- Schalen
		Var. 2 Metallverbundrohre (PE/Alu/PE)	
	Stockwerksverteil.	Nichtrostender Stahl	Nicht isoliert
		Var. 2 Vernetztes Polyethylen (PE-X) bei Tösstalstrasse. Bei Schöntalstr. ist Standardoption	
WW+Zirk.	Kellerverteilung	Wie im KW Zirkulationleit. Vernetztes Polyethylen (PE-X)	PIR- Schalen, PVC Umhül. Var. 2 Minerallwollschalen, PVC Umhül.
	Steigleitungen		PIR- Schalen Var. 2 Minerallwollschalen
	Stockwerksverteil.		Wie im KW - Nicht isoliert
WAS	Kellerverteilung	Polyethylenrohre PE	Polyurethan (PUR) (Schalldämmung)
	Steigleitungen	Schallgedämmte Polyethylen-rohre PE mineralstoffverstärkt	
	Stockwerksverteil.	Polyethylenrohre PE	
WAR	Kellerverteilung	Wie im WAS	Synthetischer Kautschuk mit Additiven (thermische und Schalldämmung)
	Steigleitungen		
	Stockwerksverteil.		

Tabelle 46 zeigt die Ergebnisse für das MFH Tösstalstrasse. Die Graue Energie der realisierten Wasserverteilung (Variante 1) beträgt ca. 34 MJ/m² EBF. Die Entsorgungsleitungen und -dämmung machen 60% der gesamten Grauen Energie aus. Dies ist auf die geringe Anzahl Entnahmestellen und auf die effiziente Verteilung zurückzuführen. Die Auswahl von umweltfreundlichen Materialien (Variante 2) würde es ermöglichen, die Graue Energie um 13% zu reduzieren; bei der Gesamtumweltbelastung wäre die Reduktion mehr als 30%.

Tabelle 46: Ökobilanz-Kennwerte der Wasserverteilung des Gebäudes MFH Tösstalstrasse (pro m² EBF).

		PE gesamt [MJ/m² EBF]	PE nicht erneuerbar [MJ/m² EBF]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/m² EBF]	Gesamt-umweltbelastung [UBP/m² EBF]
Variante 1: gebaute Installation	KW	8.0	7.2	0.5	805.1
	WW + Zirk.	6.8	6.2	0.4	620.1
	WAS	10.9	10.5	0.7	532.0
	WAR	10.3	10.0	0.6	517.2
	TOTAL	36.1	33.9	2.2	2474.5
Variante 2: geringe graue Energie	KW	4.8	4.5	0.3	290.3
	WW + Zirk.	4.9	4.6	0.3	299.5
	WAS	10.9	10.5	0.7	532.0
	WAR	10.3	10.0	0.6	517.2
	TOTAL	30.9	29.6	1.9	1638.9

Im Gebäude MFH Obere Schöntalstrasse beträgt die Graue Energie ca. 43 MJ/m² EBF (Tabelle 47). Dies entspricht 25% mehr Graue Energie als beim Gebäude an der MFH Tösstalstrasse mit einer effizienten Verteilung. Der höhere Aufwand an Grauer Energie ist auf die Entsorgung des Schmutzwassers über zwei verschiedenen Steigleitungen zurückzuführen. Diese Leitungen bestehen aus mineralverstärktem Polyethylen, das aufgrund seines hohen Gewichts einen signifikanten Einfluss auf die Graue Energie dieses Teilsystems hat.

Tabelle 47: Ökobilanz-Kennwerte der Wasserverteilung des Gebäudes MFH Obere Schöntalstrasse (pro m² EBF).

	PE gesamt [MJ/m² EBF]	PE nicht erneuerbar [MJ/m² EBF]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/m² EBF]	Gesamt-umweltbelastung [UBP/m² EBF]
KW	10.1	9.2	0.6	924.3
WW + Zirk.	8.5	7.9	0.5	730.1
WAS	17.9	17.3	1.1	841.7
WAR	8.5	8.3	0.5	419.8
TOTAL	45.1	42.6	2.8	2915.9
Solarthermie	7.9	7.2	0.5	708.2

Um einen leichteren Vergleich mit dem MFH Tösstalstrasse zu ermöglichen, wurde die thermische Solaranlage bei der Berechnung der gesamten Grau Energie nicht berücksichtigt. Wie die Ökobilanzwerte zeigen (siehe grau hinterlegte Werte in der letzten Zeile von Tabelle 47), macht die Solaranlage ca. 15% der Grauen Energie der Wasserverteilungssysteme des Gebäudes aus. Der hohe Wert ist auf die beträchtliche Länge der Dachanlageleitung zurückzuführen. Gleichzeitig spielen in diesem Zusammenhang auch die Edelstahlröhre eine Rolle, welche einen grösseren Querschnitt als die Röhren für die Kalt- und Warmwasserverteilern aufweisen.

Die richtige Dimensionierung der Rohrleitungen hat einen wesentlichen Einfluss auf die Graue Energie. Es ist deshalb wichtig, auf unnötige Entnahmestelle zu verzichten und eine möglichst effiziente Verteilung zu planen. Im Falle vom Regenwasser kann die Graue Energie des Systems dank eines bekiesten Daches reduziert werden. Aufgrund der höheren Durchlässigkeit bzw. Speicherkapazität von Kiesdächern muss weniger Abfluss gewährleistet werden, was eine Reduktion des Röhrendurchmessers erlaubt. Im Falle von MFH Obere Schöntalstrasse hat diese Lösung die Verwendung von DN 90 Rohren anstatt von DN 110 ermöglicht, was das Gewicht des Regenwasserbelebungsrohres um 25% reduziert hat.

7.3.3.2 Leitungen Büro und Schule

Wie bereits im Eingang des Kapitels 7.3 erwähnt, sind weder das Gewerbegebäude Acutronic, noch das Geschäftshaus Zentrum Leue repräsentativ für die Nutzung eines Bürogebäudes: bei Acutronic ist eine Fabrikationshalle im EG untergebracht; im Zentrum Leue wird der grösste Teil der Fläche als Supermarkt genutzt. Für die Wasserverteilung in Bürobauten standen deshalb keine brauchbaren Ökobilanzdaten zur Verfügung. Dasselbe gilt auch für Schulbauten, zu welchen gar keine Daten zur Verfügung standen. Weil nicht angenommen werden darf, dass die Topologie der Wasserverteilung vergleichbar ist, können die Ökobilanzwerten für die Wärmeverteilung in einem typischen Büro- oder Schulgebäude nicht aus jenen eines Wohnbauten hergeleitet werden. Für die Erarbeitung von Kennwerten der Grauen Energie der Leitungen von Büro- und Schulbauten sind also Daten von geeigneten Gebäuden notwendig. Unterschiedliche Ausbaustandards könnten basierend auf das Verhältnis von EBF pro Steigzone definiert werden.

7.3.4 Entnahmestelle

Die Vermeidung von unnötigen Entnahmestellen hat einen direkten Einfluss auf die Graue Energie, spart die Installation von Leitungen und erlaubt kleinere Leitungsquerschnitte. Eine gezielte Auswahl der Apparate und Armaturen kann eine zusätzliche Reduktion der Grauen Energie bewirken und gleichzeitig Einsparungen beim Verteilungsnetz erlauben, indem man z.B. Geräte mit niedrigem Wasserverbrauch einsetzt.

Zur Charakterisierung der Sanitärapparate wurden zuerst die typische Grösse und die Materialien aus denen die Apparate bestehen eruiert. Dies erfolgte basierend auf die Informationen, welche aus den Fallstudien verfügbar waren. Die evaluierten Sanitärapparate, ihre Komponenten wie auch ihre Materialien und deren Gewicht sind in der Tabelle 66 im Anhang E aufgeführt. Die Ökobilanzwerte jedes Apparats wurden basierend auf dem jeweiligen Materialgewicht und den Daten aus der KBOB-Liste berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 48 abgebildet.

Tabelle 48: Ökobilanz-Kennwerte für die verschiedenen Apparate (pro Stuck).

Apparate	Gewicht (kg)	PE gesamt [MJ/Stk.]	PE nicht erneuerbar [MJ/Stk.]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/Stk.]	Gesamt-umweltbelastung [UBP /Stk.]
Wandklosett	29.9	1513	1458	94.8	128460
Urinoir	28.0	1110	1071	63.3	90516
Waschtisch	21.9	1026	977	57.9	188223
Waschtisch Büro	30.4	1274	1216	73.6	218710
Kleiner Waschtisch	13.3	631	596	35.6	157510
Doppelwaschtisch	40.2	1903	1810	107.5	365537
Badewanne	56.7	2423	2291	147.6	385475
Duschwanne Wohnen	21.0	978	923	58.9	204488
Duschwanne Andere Nutz.	32.3	1258	1191	76.4	245715
Spiegelschrank Wohnen	6.3	368	322	19.6	24534
Spiegel für Doppelwaschtisch	8.8	196	181	12.0	14260
Spiegel Andere Nutz.	4.4	98	91	6.0	7130
Handtuch- und Badetuchhalter	1.2	115	103	6.8	13268
Papierhalter	0.4	32	29	1.9	3745
Papierhandtuchspender	1.4	133	119	7.8	15408
Abfallbehälter	2.5	227	203	13.4	26215
Waschmaschine	63.0	2856	2572	193.0	443250
Wäschetrockner	47.5	2154	1939	145.5	334196
Waschtrog (1 teilig)	6.5	597	536	35.2	69122
Waschtrog (2 teilig)	13.1	1211	1086	71.4	140170

Das Element mit der höchsten Grauen Energie ist die Waschmaschine, gefolgt von Badewanne, Wäschetrockner und Doppelwaschtisch. Apparate mit hohem Metallgehalt, vor allem Edelstahl (Cr-Ni-Stahl) und Aluminium, zeigen generell eine hohe Graue Energie. So weist z.B. ein metallischer Waschtrog eine hohe Graue Energie auf, obwohl sein Gewicht nicht sehr hoch ist. Tabelle 49 fasst die berücksichtigten Übergabeeinheiten und die dazu gehörigen Apparate zusammen, welche typischerweise installiert werden.

Tabelle 49: Überblick der je nach Übergabeeinheit berücksichtigten Apparate.

Übergabeeinheit	**Apparate**
Nasszelle Wohnen mit Bad (3 Apparate: WC, Badewanne, Waschtisch)	• Wandklosett • Badewanne • Waschtisch • Andere: Spiegelschrank, Handtuch- und Badetuchhalter, Papierhalter
Nasszelle Wohnen mit Dusche (3 Apparate: WC, Duschwanne, Waschtisch)	• Wandklosett • Duschwanne • Waschtisch • Andere: Spiegelschrank, Handtuch- und Badetuchhalter, Papierhalter
WC Wohnen (2 Apparate: WC, Waschtisch)	• Wandklosett • Kleine Waschtisch • Andere: Spiegelschrank, Handtuch und Papierhalter
Wie Nasszelle Wohnen mit Doppelwaschtisch, zwei Handtuchhalter und Doppelspiegel.	Wie Nasszelle Wohnen mit Doppelwaschtisch und Doppelspiegel (und zwei Handtuchhalter – 40% HB 1.1.).
WC Büro (Apparate: WC, Waschtische)	• Wandklosett • Waschtisch • Andere: Spiegel, Papierhandtuchspender, Abfallbehälter und Papierhalter
WC Büro mit Urinoir (Apparate: WC, Waschtische und Urinoir)	• Wandklosett • Waschtisch • Urinoir • Andere: Spiegel, Papierhandtuchspender, Abfallbehälter und Papierhalter
Garderobe/Dusche Büro (Apparate: 1 Duschen, 1 Waschtische)	• Duschwanne • Waschtisch • Andere: Spiegel, Handtuch- und Badetuchhalter, Papierhandtuchspender, Abfallbehälter
WC Schule (Apparate: WC, Waschtische)	Wie WC Büro.
Garderobe/Dusche Schule (Sporthalle) (Apparate: Duschen, Waschtische)	Wie Garderobe/Dusche Büro.
Waschturm (Waschmaschine, Wäschetrockner)	• Waschmaschine • Wäschetrockner

Die Tabelle 50 zeigt die Ökobilanzdaten für jede Raumkonfiguration. Die Werte zeigen, dass eine Nasszelle mit Badewanne ca. 35% mehr Graue Energie als ein Badezimmer mit Dusche hat. Ein Waschturm pro Wohnung erhalt mehr graue Energie als ein Badezimmer mit Dusche.

Tabelle 50: Ökobilanz-Kennwerte der Übergabeeinheiten.

Übergabeeinheit	PE gesamt [MJ/Stk.]	PE nicht erneuerbar [MJ/Stk.]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/Stk.]	Gesamt-umweltbelastung [UBP/Stk.]
Nasszelle Wohnen (3 Apparate: WC, Badewanne, Waschtisch)	5'480	5'180	329	743'700
Nasszelle Wohnen (3 Apparate: WC, Duschwanne, Waschtisch)	4'030	3'810	240	562'720
WC Wohnen (2 Apparate: WC, Waschtisch)	2'540	2'410	152	314'300
Nasszelle Wohnen - höhere Standard (3 Apparate: WC, Badewanne, Doppelwaschtisch)	6'230	5'910	373	916'090
WC Büro (Apparate: WC, Waschtische)	3'280	3'120	197	399'670
WC Büro mit Urinoir (Apparate: WC, Waschtische und Urinoir)	4'390	4'190	261	490'180
Garderobe/Dusche Büro (Apparate: 1 Duschen, 1 Waschtische)	3'100	2'920	184	526'450
Waschturm (Waschmaschine, Wäschetrockner)	5'010	4'510	339	777'450

7.3.5 Sprinkleranlage

Sprinkleranlagen sind v.a. in Gebäuden wie Bürobauten, Schulen, Spitälern usw. zu erwarten. Bei den betrachteten Fallbeispielen standen jedoch keine detaillierten Angaben zur Verfügung. Es besteht deshalb Bedarf Ökobilanzdaten für solche Anlagen zu erarbeiten.

7.4 Elektroanlagen

Die Systeme und Systemkomponenten für die Elektroanlagen sind in Tabelle 51 unter Berücksichtigung der SIA 411 Gliederung zusammengefasst. Angegeben sind die Systemkomponenten, welche in der aktuellen Version der KBOB-Liste bereits aufgeführt sind, sowie jene Systeme und Systemkomponenten, welche im Rahmen dieser Studie vorgeschlagen werden. Die Tabelle beinhaltet ebenfalls die Resultate der Bewertung von Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit sowie die Resultate der Wirkungsanalyse pro Teilsystem. Die Ökobilanz-Kennwerte werden in den darauffolgenden Unterkapiteln präsentiert und/oder diskutiert. Die Kennwerte, welche die Systeme betreffen, sind tendenziell v.a. für die Vorprojektphase von Interesse, als Projektdetails noch nicht bekannt sind bzw. noch nicht bestimmt werden können. Hingegen, die Kennwerte der einzelnen Komponenten sind eher für die Phasen Bauprojekt/Ausführungsprojekt wichtig, da zu diesem Zeitpunkt bereits mehr Details definiert sind.

Tabelle 51: Elektroanlagen. Überblick der vorgeschlagenen Systeme und Systemkomponenten mit Bezugsgrösse, Einheit und Kapitel, wo die Kennwerte erarbeitet und/oder diskutiert werden. Legende: Grün=Kennwerte sind im Rahmen dieses Projekts erarbeitet worden; Hellgrün=für die Erarbeitung dieser Kennwerte sind weitere Untersuchungen notwendig; ●=Kennwerte sind in der aktuellen KBOB-Empfehlung (2009/1:2016) bereits vorhanden; Rel=Relevanz, Var=Varianz, B_{Vor}=Beeinflussbarkeit im Vorprojekt, B_{Aus}=Beeinflussbarkeit bei der Ausführung (sehr hoch hoch mittel gering keine); W=Wirkung im System gemäss Wirkungsanalyse.

		System / Systemkomponente	Bezugsgrösse	Kennwerte
Systeme		Elektroanlagen Wohnen	EBF (m^2)	●
		Elektroanlagen Büro	EBF (m^2)	●
Teilprozesse (Teilsysteme) nach SIA 411	Quelle/Senke (Starkstromanschlussleitung) Rel Var B_{Vor} B_{Aus} W: langfristiger Hebel	-	-	-
	Umwandlung (Starkstromerzeugung bzw. Spannungswandler) W: langfristiger Indikator	Solarstromanlage	Max. Leistung (kWp)	7.4.1 ●
		Solarstromanlage Schrägdach	Max. Leistung (kWp)	●
		Solarstromanlage Flachdach	Max. Leistung (kWp)	●
		Solarstromanlage Fassade	Max. Leistung (kWp)	●
		Hybrid-Module (PVT)	Modulfläche (m^2)	7.4.2
	Speicherung (Energiespeicher) W: langfristiger Hebel	Blei-Säure-Akkumulator	Speicherkapazität (kWh)	7.4.3
		Lithium-Ionen-Akkumulator	Speicherkapazität (kWh)	
		Natrium-Nickelchlorid-Akkumulator	Speicherkapazität (kWh)	
		Vanadium-Redox-Flow-Akkumulator	Speicherkapazität (kWh)	
		Wasserstoffspeicher	Speicherkapazität (kWh)	
	Verteilung (Stromverteilung) Rel Var B_{Vor} B_{Aus} W: langfristiger Indikator	Leitungen und Apparate Wohnen	EBF (m^2)	7.4.4.1
		Ineffiziente Verteilung Wohnen	Korrekturfaktor (-)	
		Leitungen und Apparate Büro	EBF (m^2)	7.4.4.2
		Leitungen und Apparate Schule	EBF (m^2)	
	Raum/Übergabe (Verbraucher) Rel Var B_{Vor} B_{Aus} W: mittelfristiger Hebel	Kleine Verbraucher bei Verteilung inbegriffen	-	-
		Beleuchtung Büro	Anzahl (Stk.)	7.4.5.1
		Haushaltsgrossgeräte (Kochen, Kühlen/Gefrieren)	Anzahl (Stk.)	7.4.5.2

7.4.1 Solarstromanlage

Solarstromanlagen sind bereits in der KBOB-Empfehlung (2009/1:2016) berücksichtigt. Als Bezugsgrösse für die Berechnung der Grauen Energie wird dabei die Leistung (kWp) angegeben. Für weitere Untersuchungen wäre es denkbar zu überprüfen, ob es sinnvoller wäre, die Graue Energie in Bezug auf die Modulfläche (m^2) anzugeben. Das Verhältnis Leistung/Modulfläche ist von der Technologie abhängig und sollte deshalb produktspezifisch überprüft werden.

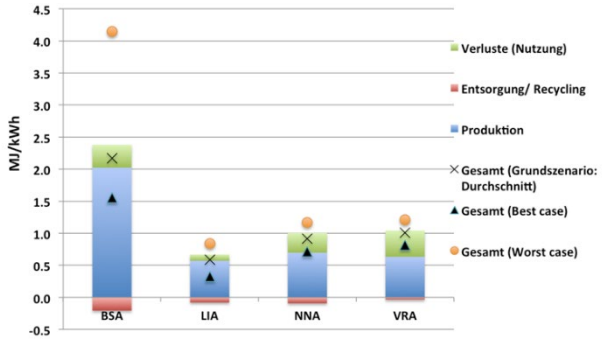
7.4.2 Hybrid-Module (PVT)

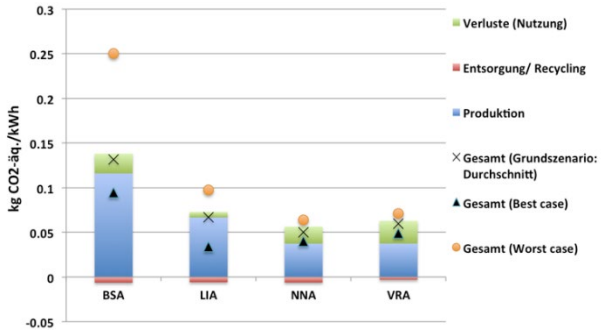
Hybrid-Module (PVT) kombinieren Fotovoltaik-Module mit thermischen Sonnenkollektoren. Zu solchen Elementen standen keine Ökobilanzdaten zur Verfügung. Bei weiteren Untersuchungen wäre denkbar, die Graue Energie in Bezug auf die Modulfläche oder aber mit einem Korrekturfaktor in Bezug auf die Grauen Energie von den Fotovoltaik-Modulen anzugeben.

7.4.3 Energiespeicher

Für die Speicherung von elektrischer Energie sind heutzutage mehrere Technologien verfügbar. Im Schlussbericht zum SPEQUA Projekt (Gaegauf et al. 2016) werden Daten über Graue Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung für folgende Speichersysteme zusammengestellt (Abbildung 51):

- Blei-Säure Akkumulatoren (Inventardaten zur Produktion des Akkus aus Rydh 1999)
- Lithium-Ionen Akkumulatoren (Inventardaten zur Produktion des Akkus vorwiegend aus Majeau-Bettez et al. 2011)
- Natrium-Nickelchlorid-Akkumulatoren (Inventardaten zur Produktion des Akkus aus ecoinvent v3.0, 2013)
- Vanadium-Redox-Flow-Akkumulatoren (Inventardaten zur Produktion des Akkus aus Rydh 1999)
- Wasserstoffspeicher mit Brennstoffzellen (Inventardaten aus Industrieprojekten, Gaegauf et al. 2016). Der Wasserstoffspeicher weist das grösste Verhältnis von Verlusten bei der Umwandlung zu Produktion minus Recycling auf. Dies bedeutet, dass die Umweltbelastung primär von der Umweltbelastung des eingespeicherten Stroms ausgeht. Die hohen Umwandlungsverluste erlauben einen wirtschaftlichen Einsatz nur als saisonaler Speicher. Aufgrund des unterschiedlichen Einsatzbereiches ist ein direkter Vergleich mit den anderen Systemen (Kurzzeit- bzw. Tagesspeicher) nicht möglich.





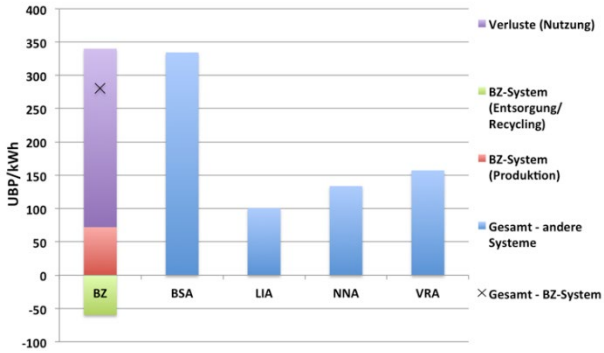


Abbildung 51: Vergleich von verschiedenen Energiespeichersytsemen: Graue Energie (oben), Treibhausgasemissionen (oben rechts) und Gesamtumweltbelastung (rechts). Diagramme aus Gaegauf et al. (2016). BSA: Blei-Säure-Akku; LIA: Lithium-Ionen-Akku; NNA: Natrium-Nickelchlorid-Akku; VRA: Vanadium-Redox-Akku; BZ: Wasserstoffspeicher mit Brennstoffzelle.

Tabelle 52: Graue Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung bezogen auf die Zusammenstellung der Durchschnittswerte aus Abbildung 51.

	PE nicht erneuerbar [MJ/kWh]	Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/kWh]	Gesamt-umweltbelastung [UBP/kWh]
Blei-Säure-Akkumulator	2.2	0.13	280
Lithium-Ionen-Akkumulator	0.6	0.07	332
Natrium-Nickelchlorid-Akkumulator	0.9	0.05	100
Vanadium-Redox-Flow-Akkumulator	1.0	0.06	133
Wasserstoffspeicher	Keine Daten vorhanden	Keine Daten vorhanden	156

7.4.4 Stromverteilung

7.4.4.1 Leitungen und Apparate Wohnen

In der Studie von Klingler und Kasser (2011) wurden die Elektroanlagen von fünf Wohngebäuden untersucht. Tabelle 53 zeigt die Eckdaten der analysierten Gebäude und die Anzahl der elektrischen Komponenten pro Wohnung/Raum. Was Umweltbelastung anbelangt, ist die Stromverteilung das wichtigste Element der Elektroanlagen, wenn im Gebäude keine Stromerzeugungs- und Speichersysteme zur Verfügung stehen. In Wohngebäuden sind die Möglichkeiten zur Optimierung der elektrischen Verteilung aus mehreren Gründen gering. Erstens, wie im Klinger-Bericht erwähnt: «Aufgrund

von gesetzlichen Vorschriften muss für jede Wohnung eine Versorgungsleitung verlegt werden, so dass die Zonierung von Steigschächten in mehrgeschossigen Gebäuden keinen Einfluss auf die Leitungslänge hat». Zweitens: die Anzahl Steckdosen, Schalter usw. in Wohnungen ist ziemlich standardisiert, so dass es schwierig ist, grössere Abweichungen zu finden. Alle Häuser haben eine Küche und diese hat einen hohen Installationsgrad aufgrund der grossen Anzahl von Elektrogeräten, die sich dort befinden. Bezogen auf die gesamte Fläche kann die Stromverteilung der Küche in kleinen Wohnungen einen erheblichen Einfluss haben, was zu höheren Werten der Grauen Energie pro m^2 EBF führen kann.

Der Unterschied im Installationsgrad eines Gebäudes kann sich auch aus anderen Installationen wie Brand- oder Einbruchmeldeanlagen sowie aus anderen Gebäudetechniksystemen wie Heizungs- oder Lüftungsanlagen und deren Lage im Gebäude ergeben. Zwei der untersuchten Gebäude – das Wohn- und Geschäftshaus an der Badenerstrasse und das Wohngebäude am Leonhard-Ragaz-Weg – verfügen über eine PV-Anlage, die aber in Klingler und Kasser (2011) nicht berücksichtigt wurde und zu der keine Daten vorhanden sind.

Tabelle 53: Eckdaten der Wohngebäude aus der Studie von Klingler und Kasser (2011).

	A-Park	**Badenerstrasse**	**Goldbrunnen-strasse**	**Kolbenhof-strasse**	**Leonhard-Ragaz-Weg**
EBF (m^2)	8'873	6'501	3'200	893	5'665
Wohnungen	56 Wohnungen 9 x 2.5-Zi-Whg 18 x 3.5-Zi-Whg 22 x 4.5-Zi-Whg 7 x 5.5-Zi-Whg	54 Wohnungen 24 x 2.5-Zi-Whg 21 x 3.5-Zi-Whg 6 x 4.5-Zi-Whg 3 x 5.5-Zi-Whg	27 Wohnungen 4 x 2.5-Zi-Whg 11 x 3.5-Zi-Whg 12 x 4.5-Zi-Whg	5 Wohnungen 4 x 4.5-Zi-Whg 1 x 5.5-Zi-Whg	47 Wohnungen 15 x 2.5-Zi-Whg 2 x 3.5-Zi-Whg 24 x 4.5-Zi-Whg 6 x 5.5-Zi-Whg
Mittelwert EBF pro Wohnung (m^2)	150	121	119	179	121
Anz. Steckdosen pro Raum	2	2	2	3-4	1
Installationsgrad*	mittel	mittel	mittel	hoch	niedrig
Anz. TV-Steckdosen pro Wohnung	4.0	2.4	1.9	5.2	1.0
Anz. Storentaster pro Raum	1.2	0.7	0.0	0.9	0.0
Anz. Lampendübel pro Raum **	2.3	3.9	2.8	3.3	2.4

* Installationsgrad: hoch = 3-4 Steckdosen pro Raum, mittel = 2 Steckdosen pro Raum, niedrig = 1 Steckdose pro Raum.
** Nur die Lampen und Leuchten in den Gemeinschaftsräumen sind in den Ökobilanzdaten enthalten, da die Lampen in den Wohnungen nicht zur Grundausstattung des Gebäudes gehören. Die Anzahl der Lampendübel gibt jedoch eine Orientierung über die vorgesehene Beleuchtungsinstallation.

Tabelle 54 zeigt die Ökobilanzdaten der untersuchten Gebäuden und die vorgeschlagenen neuen Kennwerte. Es lässt sich kein Zusammenhang zwischen dem Installationsgrad und den Resultaten pro m^2 EBF feststellen. Die neuen Kennwerte wurden als Mittelwert der Kennwerte der Gebäude A-Park, Badenerstrasse, Kolbenhofstrasse und Leonhard-Ragaz-Weg berechnet. Bei der Berechnung der Gesamtumweltbelastung wurde das Gebäude an der Badenerstrasse weggelassen, da es – aufgrund des hohen Kupferanteils – eine deutlich höhere Gesamtumweltbelastung als die anderen Gebäude aufweist (die Umweltbelastungspunkte werden relativ stark von der Masse an Kupfer pro m^2 EBF beeinflusst).

Das Gebäude an der Goldbrunnenstrasse (mittleres Installationsgrad) weist signifikant höhere Werte auf als die anderen Objekte. Dies gibt einen Hinweis über die mögliche Variabilität der Ökobilanzwerte für die Stromverteilung, welche sich nicht durch den Installationsgrad erklären lässt und möglicherweise auf einer bezüglich Umweltbelastung weniger effiziente Stromverteilung zurückzuführen ist. Ein Korrekturfaktor von 1.2 wird daher für solche Fälle vorgeschlagen.

Tabelle 54: Ökobilanzdaten der Stromverteilung der analysierten Wohngebäude und vorgeschlagene Kennwerte.

	A-Park	Badener-strasse	Goldbrunnen-strasse	Kolbenhof-strasse	Leonhard-Ragaz-Weg*	Vorgeschlagene Kennwerte
PE gesamt [MJ/m^2 EBF]	142.1	155.1	180.9	149.1	151.8	149.5
PE nicht erneuerbar [MJ/m^2 EBF]	131.0	141.2	167.9	137.5	140.6	137.6
Treibhausgas-emissionen [kg CO_2-eq/m^2 EBF]	8.4	9.2	10.6	8.8	8.9	8.8
Gesamt-umweltbelastung [UBP/m^2 EBF]	32’496	47’939	38’348	33’046	32’610	32717

7.4.4.2 Leitungen und Apparate Büro und Schule

Für die vorliegende Studie standen keine Daten von Elektroanlagen zur Verfügung, welche Aussagen über den Aufwand an Grauer Energie der Stromverteilung in Bürobauten und Schulen erlauben würden. Für Bürobauten besteht jedoch die Möglichkeit, mindestens den Aufwand für die gesamte Elektroanlage anhand der Kennwerte aus der aktuellen KBOB-Empfehlung (2009/1:2016) zu berechnen. Bei der Erarbeitung von Kennwerten für die differenzierte Betrachtung der Verteilung kann man davon ausgehen, dass in Büros pro Arbeitsplatz durchschnittlich zwei Stromanschlüsse vorliegen. Denkbar wäre die Untersuchung von zwei Szenarien mit unterschiedlichem Verhältnis von EBF/Arbeitsplatz. Für die Erarbeitung von Kennwerten für die Stromverteilung in Schulbauten wären Daten von geeigneten Gebäuden notwendig.

7.4.5 Verbraucher

7.4.5.1 Beleuchtung Büro

Betreffend Beleuchtungseinrichtungen in Büros standen keine ausreichend detaillierten Daten zur Verfügung. Es ist zu vermerken, dass Beleuchtungseinrichtungen in der Regel nur teilweise vom Architekten bzw. Planer definiert werden. Sollten deshalb weitere Untersuchungen in Betracht gezogen werden, wäre es allenfalls wichtig eine Unterscheidung zwischen Grundbeleuchtung und Arbeitsplatzleuchten vorzunehmen.

7.4.5.2 Haushaltgrossgeräte

Haushaltgrossgeräte zum Kochen, Kühlen, Gefrieren usw. haben eine geringe Relevanz und Varianz und es standen im Rahmen dieses Projekts auch keine Daten zur Verfügung. Zudem werden sie i.d.R. nicht vom Architekt oder Planer ausgewählt. Sie werden aus diesen Gründen hier nicht weiter abgehandelt. Waschmaschinen und Wäschetrocknern sind bei den Sanitäranlagen berücksichtigt worden (siehe Kap. 7.3.4).

7.5 Kühlanlagen

Es wird angenommen, dass infolge des Klimawandels die mechanische Kühlung von Gebäuden in Zukunft an Bedeutung gewinnen wird (Settembrini et al. 2017). Eine Berücksichtigung des Aufwandes an Grauer Energie von Kühlanlagen wird u.a. auch aus diesem Grund als wichtig betrachtet. Für die vorliegende Studie standen jedoch keine entsprechenden Ökobilanzdaten zur Verfügung. Es besteht deshalb Bedarf an weiteren Untersuchungen. Dies betrifft jedoch vor allem die Graue Energie der Kälteerzeuger selber, da für die Verteilung in den meisten Fällen die Heizungs- oder die Lüftungsverteilung verwendet werden kann.

7.6 Kommunikationsanlagen

Was Kommunikationsanlagen in Büros anbelangt, sind zwei Szenarien denkbar. Im Extremfall, erfolgt die gesamte Datenübertragung drahtlos, z.B. via WLAN. In diesem Fall entfällt der Aufwand an Grauer Energie für die Verkabelung der Arbeitsplätze. Hingegen, bei einer konventionellen Datenübertragung via Kabel kann man davon ausgehen, dass pro Arbeitsplatz durchschnittlich zwei Anschlüsse vorliegen (je eins für den Telefonapparat und für den PC). Die verfügbaren Daten zur Verkabelung der elektroanlagen differenzierten allerdings nicht zwischen Strom- und Kommunikationsleitung. Aus diesem Grund war eine Betrachtung des Aufwandes an Grauer Energie für die Kommunikationsleitungen nicht möglich. Was Graue Energie für die Kommunikationsapparate anbelangt, ist eine Evaluation im Kontext dieses Projekts nicht sinnvoll, da solche Geräte ausserhalb vom Kompetenzbereich des Architekten bzw. Planers stehen.

8. Schlussfolgerungen und Ausblick

Für jedes untersuchte Gebäudetechnikgewerk (Heizung, Lüftung, Sanitär und Elektro) konnten Systemkomponenten identifiziert werden, welche in der KBOB-Empfehlung «Ökobilanzdaten im Baubereich» (KBOB 2016) noch nicht berücksichtigt sind.

Für diese Systemkomponenten wurden entsprechende Kennwerte der Grauen Energie, Treibhausgasemissionen und Gesamtumweltbelastung erarbeitet. Im Sinne einer gesamtheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung wurden zudem die Wechselwirkungen zwischen den Systemkomponenten sowie die komplexen Wirkungszusammenhänge untersucht. Es konnte somit eine Grundlage zur Erweiterung der bestehenden Entscheidungswerkzeuge entworfen werden, welche von Architekten und Planer in einer frühen Projektierungsphase herangezogen werden kann. Diese besteht aus:

1. Textbeitrag für die Überarbeitung des Merkblatts SIA 2032 (Anhang D)
2. Erarbeitung und Bereitstellung von System- und Komponentenkennwerten für die am Planungsprozess beteiligten Fachleuten (Kapitel 5, 6, 7)
3. Anschauungsbeispiele, welche die Zusammenhänge zwischen Grauer Energie und weiteren Systemgrössen (z.B. Betriebsenergie) wie auch die Trade-Offs bei der Optimierung der Grauen Energie aufzeigen (Kapitel 6.2)

Bei der Erarbeitung der Daten für Detailberechnungen wurden wichtige Teilsysteme identifiziert, für welche noch keine passenden Projektdaten zur Verfügung stehen (siehe z.B. Wasserverteilung Büro und Wasserverteilung Schule). Gerade weil im Rahmen dieser Studie sich herausgestellt hat, dass diese Teilsysteme in Bezug auf die Umweltbelastung von Bedeutung sind, wäre es anstrebenswert in der Zukunft die vorhandene Lücke mit der Erarbeitung der jeweiligen Ökobilanzen zu füllen.

Ebenfalls wichtig wäre, v.a. im Hinblick auf die Folgen des Klimawandels, den Aufwand an Grauer Energie von Kühlanlagen zu berücksichtigen. Für diese Anlagen standen jedoch keine Ökobilanzdaten zur Verfügung, weshalb zur Erarbeitung entsprechender Kennwerte weitere Untersuchungen, insbesondere betreffend Graue Energie der Kälteerzeuger selber, erforderlich sind.

Die Analyse der bestehenden Bewertungswerkzeuge, wie der KBOB-Liste, hat zudem gezeigt, dass einen höheren Detaillierungsgrad bei der Aufschlüsselung der Systemkomponenten notwendig ist. Die einzelnen Anlagen wurden deshalb nach der Systematik der Norm SIA 411 in ihre jeweiligen Teilsysteme zerlegt. Diese zusätzlichen Auswahlmöglichkeiten sind wichtig, weil sie es dem Planer ermöglichen, die Gegebenheiten eines Bauprojekts besser abzubilden. Somit kann nicht nur eine effektivere und korrektere Beurteilung der Umweltbelastung, sondern womöglich auch eine höhere Akzeptanz des Arbeitsinstrumentes bei der Zielgruppe (Architekten, Planer, …) erreicht werden. Letztere sowie der Praxisbezug wurden ebenfalls durch Einbezug von Fachexperten aus der Branche angestrebt. Die effektive Praxistauglichkeit der vorgeschlagenen Arbeitswerkzeuge könnte aber zukünftig im Rahmen einer Testphase anhand von konkreten Bauprojekten geprüft werden. Interessant wäre ebenfalls ein Vergleich der Resultate für diese konkreten Fallbeispiele mit den Resultaten, welche aufgrund der aktuellen KBOB-Liste ermittelt werden. Somit können die Erkenntnisse aus dieser Studie auch als Diskussionsgrundlage für eine weitere Optimierung der angestrebten Entscheidungsgrundlagen und zur Anregung der Diskussion rund um die in der Einleitung zu diesem Bericht aufgeworfenen Frage «Wie viel Technisierung braucht ein Gebäude?» betrachtet werden.

Die Ergebnisse des vorliegenden Projekts könnten idealerweise in die zurzeit laufende Aktualisierung der KBOB-Empfehlung 2009/1 einfliessen (voraussichtlicher Abschluss der Aktualisierung im Laufe

von 2021) oder als Basis für die Erarbeitung von weiteren Kennwerten dienen und somit dem Zielpublikum leicht zugänglich gemacht werden.

Die zur Ergänzung der KBOB Empfehlung vorgeschlagenen Systeme und Komponenten sind in Tabelle 20 (Heizungsanlagen), Tabelle 34 (Lüftungsanlagen), Tabelle 38 (Sanitäranlagen) und Tabelle 51 (Elektroanlagen) zusammengestellt. Alle in den Tabellen aufgeführten Systeme bzw. Komponenten, welche noch nicht in der aktuellen KBOB Liste vorhanden sind und für denen Kennwerte im Rahmen dieser Studie erarbeitet worden sind oder noch zu erarbeiten sind, werden als mögliche Kandidaten für die Aufnahme in eine neue Fassung der KBOB Liste vorgeschlagen.

Literaturverzeichnis

eBKP-H (2012). SN EN 506 511. Baukostenplan Hochbau. CRB, Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, Zürich.

eco-bau (2018). https://www.eco-bau.ch/

ecoinvent (2003). Datenbestand v1.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

ecoinvent (2007). Datenbestand v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

ecoinvent (2010). Datenbestand v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

ecoinvent (2013). Datenbestand v3.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

ecoinvent (2015). Datenbestand v3.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.

EnergieSchweiz (2016). Gebäudetechnik, https://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/gebaeudetechnik

Frischknecht, R. (1999). Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel. Ökobilanzen von Wärmepumpen und Kälteanlagen, ESU-Services.

Frischknecht, R., et al. (1996). Ökoinventare fur Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz., Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt Institut für Energietechnik Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich. Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut, Villigen.

Frischknecht, R., et al. (2012). Primärenergiefaktoren von Energiesystemen v2.2. Zürich, Bundesamt für Energie BFE. Stadt Zürich. ESU-Services.

FWS (2017). Statistik 2017, Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz, https://www.fws.ch/wp-content/uploads/2018/05/FWS_Statistiken_2017_V2.pdf

Gaegauf, C., et al. (2016). SPEQUA - Thermische und elektrische Speicher in Gebäuden und Quartieren. Systeme, Anwendung und Umweltbilanz. Bundesamt für Energie BFE.

Gugerli, H., et al. (2008). Graue Energie im Fokus. Faktor Kompakt Zürich, Faktor-Verlag. 01: 7.

Gugerli, H., et al. (2015). Gesund und ökologisch bauen mit Minergie-Eco. Faktor. Zürich, Faktor-Verlag. Bundesamt für Energie BFE. Energie Schweiz.

Hässig, W. und Primas, A. (2004). Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich. Eine Praxisnahe Untersuchung mit Hinweisen zu Planung und Bau von Wohnungslüftungsanlagen. Basler & Hofmann AG, Zürich.

Heck, T. (2007). Wärmepumpen. Data Version 2.0. Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. (Final repo., Vol. 0). Ecoinvent report No. 6-X. R. e. a. D. (Ed.). Dübendorf, CH, Paul Scherrer Institut, Villigen.

Itten, R. und Frischknecht, R. (2014). Primärenergiefaktoren von Energiesystemen v2.2+. Uster, CH, Bundesamt für Umwelt BAFU.

Jakob, M., et al. (2016). Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie (GEPAMOD). Bundesamt für Energie BFE.

Jakob M., et al. (2016). Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik. Grundlagen für ein Potenzial- und Massnahmenkonzept der Gebäudetechnik zur Reduktion von Endenergie, Primärenergie und Treibhausgasemissionen. TEP Energy GmbH.

Kasser U., et al. (2016). Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich". Projekt QualiBOB. Mantelbericht und Teilberichte A bis M für die Marktsituation von Baustoffen, Baugrubensicherung, spezifische Bauteile und Baustoffgruppen. Uster, CH, Bundesamt für Energie BFE. Bundesamt für Umwelt BAFU. Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, AHB.

KBOB (2012). KBOB-Empfehlung «Ökobilanzdaten im Baubereich»- 2009/1:2012. Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes (KBOB), Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau (eco-bau) und Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren (IPB).

KBOB (2014). KBOB-Empfehlung «Ökobilanzdaten im Baubereich»- 2009/1:2014. Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes (KBOB), Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau (eco-bau) und Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren (IPB).

KBOB (2016). KBOB-Empfehlung «Ökobilanzdaten im Baubereich»- 2009/1:2016. Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes (KBOB), Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau (eco-bau) und Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren (IPB).

Klingler, M. und Kasser, U. (2011). Graue Energie von Sanitär- und Elektroanlagen Sach- und Ökobilanzen von zwölf verschiedenen Gebäuden in den Bereichen Wohnen und Büro. Bundesamt für Energie BFE.

Klingler, M., et al. (2014). Ökobilanzdaten für Lüftungs und Wärmeanlagen Sach- und Ökobilanzen von sechzehn verschiedenen Gebäuden in den Bereichen Wohnen, Büro, Schulen und Altersheime. Bundesamt für Energie BFE.

Kräuchi, P., et al. (2016). Projekt "Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation" (EEV-GA) - Ergebnisbericht. Bundesamt für Energie BFE.

Lalive d'Epinay, A. (1998). IEA CBS Annex 31, "Energy Related Environmental Impact of Buildings". Umweltrelevanz der Haustechnik – Eine Entscheidungsgrundlage. Zürich, Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz. Laboratorium für Technische Chemie. ETH. Amstein + Walthert Ingenieure AG.

Lalive d'Epinay, A. (2000). Die Umweltverträglichkeit als eine Determinante des architektonischen Entwurfs. Diss. ETH Nr. 13610, Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

Lamster, J. und Dürler, G. (2015). Graue Energie / Treibhausgasemissionen Wohn- und Gewerbebau Kalkbreite. Zürich, durable Planung und Beratung GmbH.

Majeau-Bettez, G., et al. (2011). Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles. Environmental Science & Technology, 45 (10).

Ökobaudat (2016). Informationsportal Nachhaltiges Bauen, http://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat/daten/db1/8/Geb%C3%A4udetechnik.html

Passer, A., et al. (2012). Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings. Int J Life Cycle Assess 17 (9)

Pech, A. und Jens, K. (2006). Lüftung und Sanitär. Ambra Verlag.

Prek, M. (2004). Environmental impact and life cycle assessment of heating and air conditioning systems, a simplified case study. Energy and Buildings 36 (10).

Primas, A. (2008). Ökologische Bewertung von Gebäudetechnikanlagen für SIA 2032. Zürich, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, AHB.

Recknagel, H., et al. (2010). Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik. Vulkan-Verlag.

Rydh, C. (1999). Environmental assessment of vanadium redox and lead-acid batteries for stationary energy storage. Journal of Power Sources, 80 (1-2).

Settembrini, G., et al. (2017). ClimaBau - Planen angesichts des Klimawandels: Energiebedarf und Behaglichkeit heutiger Wohnneubauten bis im Jahr 2100. Bundesamt für Energie BFE, https://www.aramis.admin.ch/Default.aspx?DocumentID=46167

SIA (2009). Merkblatt SIA 2031. Energieausweis für Gebäude. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA (2010). Norm SIA 384/6. Erdwärmesonden. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA (2010). Merkblatt SIA 2032. Graue Energie von Gebäuden. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA (2011). Merkblatt SIA 2039. Graue Energie von Gebäudestandort. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA (2011). Merkblatt SIA 2040. SIA-Effizienzpfad Energie. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA (2015). Norm SIA 385/2. Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden - Warmwasserbedarf, Gesamtanforderungen und Auslegung. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA (2015), Merkblatt SIA 2024. Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA (2016). Norm SIA 411. Modulare Darstellung der Gebäudetechnik. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

SIA (2017). Merkblatt SIA 2026. Effizienter Einsatz von Trinkwasser in Gebäuden. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Stucki, M. und Jungbluth, N. (2010). Primärenergiefaktoren von Sonnenkollektoren. v2.0. Zürich, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, AHB.

Tschümperlin, L., et al. (2016). Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude; Ergänzungsarbeiten mit Fokus auf den Einfluss der Technisierung auf die Umweltbelastung von Büro- und Wohn-bauten. Uster, CH, Bundesamt für Energie BFE. Bundesamt für Umwelt BAFU.

Von Euw, R., et al. (2012). Gebäudetechnik – Systeme integral planen. Zürich, CH, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau. Energie Schweiz. Bundesamt für Energie BFE.

Wyss, F., et al. (2014b). Hintergrundbericht zur Aktualisierung der Materialdaten der KBOB-Liste. v2.2+. Uster, CH, Bundesamt für Umwelt BAFU. Koordinationskonferenz der Bau und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren, KBOB.

Wyss, F., et al. (2014a). Zielwert Gesamtumweltbelastung Gebäude: Machbarkeitsstudie. Zürich, CH, Bundesamt für Energie BFE. Bundesamt für Umwelt BAFU. Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, AHB.

Züger, Y. (2012). Ökobilanz Erstellung - Bauprojekte im Vergleich. Zürich, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle nachhaltiges Bauen.

Anhang A: Risikoanalyse

Tabelle 55: Risikoanalyse mit den Bewertungskriterien, der Risikobeurteilung und den Massnahmen.

SYGREN Produkt-Risikoanalyse		Legende: E = Eintrittswahrscheinlichkeit (1: selten, 2: manchmal, 3: oft); A = Auswirkungsgrad (1: gering, 2: mittel, 3: hoch); Risiko = E x A														
Allgemeine Themen	**Risiko**	**Projektmitarbeiter 1**			**Projektmitarbeiter 2**			**Projektmitarbeiter 3**			**Projektmitarbeiter 4**			**Risiko (Mittelwert)**	**Hohes Risiko (6-9): Zu treffende Massnahmen**	**Geringes Risiko (1-4): Vorbereitende Massnahmen**
		E	A	Risiko	E	A	Risiko	E	A	Risiko	E	A	Risiko			
Grundlagen																
Datengrundlage	Unterschiedliche Datengrundlage (Version Ökobilanzen, Tools und Berechnungsprogramme, SIA Normen und Merkblätter)	2	3	6	2	3	6	2	2	4	2	2	4	**5**	- Datenabgleich / Datenabgrenzung treffen - Die Begleitgruppe definiert Optionen und Empfehlungen - Frage an die Begleitgruppe bzw. Experten: "Sind die Auswirkungen wirklich so stark?"	
	Vorhandene Kennwerte für alle Gebäudetechnikgewerke sind zu umfangreich	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	**2**		Wir schlagen vor, die Begleitgruppe und Experten grenzen z.B. anhand Geographie, Qualität oder weitere die Gewerke ab
	Aus bestehenden Kennwerten lassen sich keine neuen praxistauglichen, phasengerechte Kennewerte ableiten	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	Herkunft und Zugriff der Datenquellen absichern, prüfen	
	Es stehen zu wenig Kennwerte zur Verfügung	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**		ARGE: Weitere Quellen prüfen
	Es wird nicht erkannt, welche Kennwerte benötigt werden	2	2	4	2	3	6	2	2	4	1	3	3	**4**		Kennwerte nach Praxistauglichkeit klassifizieren (z.B. gem. SIA 411)
Inhalte definieren																
Gebäudekategorien (Wohnen / Verwaltung / Schulen)	Auswahl der Gebäudekategorien nicht repräsentativ genug: - Ergebnisse dadurch nicht transportierbar - SIA 2040 / Minergie Tool Abschätzung Graue Energie haben zur Auswahl zusätzlich Fachgeschäfte, Lebensmittelverkauf, Restaurants	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	2	4	**6**	Auswahl Gebäudekategorien in Produktdefinition integrieren. Empfehlungen für Anpassungen in allen Tools und Berechnungsprogrammen	
Systemwahl (Relevanz)	Es werden irrelevante Systeme analysiert, d.h. der Eintrag Grauer Energie ist gering	2	2	4	2	2	4	2	3	6	1	3	3	**4**	ARGE trifft nach Auswertung der Ergebnisse des 2. Workshops eine Auswahl, welche Systeme einen hohen Eintrag Grauer Energie besitzen und relevant sind?	
	Es werden nicht praxistaugliche Systeme zusammengestellt (zu spezialisiert oder geringe Aussagekraft)	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	**Fortlaufend:** Kriterien für Praxistauglichkeit bestimmen und regelmässig überprüfen	
Systemwahl (Varianz)	Es wird nicht eindeutig erkannt, welche Systeme eine hohe Varianz besitzen	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	Kriterien bestimmen, welche Systeme relativ grosse Unterschiede bei der Grauen Energie bringen	
	Es lassen sich keine eindeutigen Empfehlungen zur Optimierung der Grauen Energie formulieren	3	3	9	3	3	9	3	3	9	3	3	9	**9**	Kriterien für Optimierungen festlegen	
Systemwahl (Beeinflussbarkeit)	Es werden keine aussagekräftigen Grössen gefunden, die beeinflussend in Planungs- und Bauprozess wirken	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	Aussagekräftige Grössen bestimmen	
	Die Handlungsanweisungen sind ohne Einfluss auf Planungs- und Bauprozess	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	**Forlaufend:** Die Handlungsanweisungen müssen mit dem Planungs- und Bauprozess kompatibel sein	
Systeme identifizieren	Es werden Systeme identifiziert, welche nicht verwendet werden (z.B. aus finanziellen oder technischen Gründen)	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	**Meilenstein Methodik:** identifizierte Systeme in die verschiedenen Prioritätsklassen (A,B,C,D usw.) einteilen	
	Die Klassifizierung (A, B, C, D) ist fixiert und nicht erweiterbar oder anpassbar	3	1	3	3	1	3	3	1	3	3	1	3	**3**		**Meilenstein Methodik:** Klassifizierung (A,B, C, D, ...) ausbaubar gestalten
Bezugsgrössen																
Bezugsgrössen	Die gewählten Bezugsgrössen sind gewerksspezifisch oder phasengerecht, beides geht nicht	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	Welche Bezugsgrössen bilden Klassen (SIA 411) und sind eBKP-H kompatibel und einfach?	
	Klassifikationen stellen keine Erleichterungen dar	2	3	6	2	3	6	2	3	6	3	2	6	**6**	Klassifizierung gemäss SIA 411 (Bausteine der Klassen zu Komponenten / Klassengrenzen/ Systeme / Teilsysteme)	
	Keine einfache Zuordnung der Kennwerte der Grauen Energie zum Baukostenplan "eBKP-H" möglich	2	2	4	2	2	4	1	3	3	2	2	4	**4**	**Fortlaufend:** Sicherstellung Zuordnung	
Wechselwirkungen	Es kann kein Konsens für die Bewertung zwischen Grauer Energie und Betriebsenergie dargestellt werden	2	2	4	2	2	4	2	2	4	1	2	2	**4**		Fortlaufend beide Gesichtungen verfolgen

Detaillierungsgrad																
Detaillierungsgrad	Grundlagen für die Abschätzung widersprechen der späteren, genauen Berechnung (reduzierte Auswahlmöglichkeit bildet nicht das tatsächliche Systempaket ab)	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	**Fortlaufend:** Sicherstellung, dass richtige Abgrenzung, Zuordnung in Systeme (A,B,C,D usw.) erfolgte und konsequent nach Beeinflussbarkeit, Relevanz und Varianz geordnet wird	
Vorgehen für Methodik																
Inhalte definieren	Die Inhalte sind zu wenig allgemeingültig gewählt und sind z.B. bei der Weiterentwicklung der Datenbanken nicht mehr anwendbar	2	3	6	2	3	6	2	2	4	2	3	6	**6**	Inhalte definieren und klar abgrenzen. Konsens in der **ARGE** für Verallgemeinerungen	
	Definition der Inhalte ermöglichen keine gezielte Konzeptentwicklung	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	Inhalte müssen so definiert werden, dass die gezielte Konzeptentwicklung erfolgen kann	In der Produktdefinition die gezielte Konzeptentwicklung darstellen
Anzahl der Beispiele	Die Anzahl der zugrunde gelegten Beispiele (Literatur) ist sehr gering und nicht ausreichend für Verallgemeinerungen	3	3	9	3	3	9	3	3	9	3	3	9	**9**		Ein Kriterium für die Abgrenzung
Wenige Datensätze	Wenige Datensätze ergeben kaum repräsentative Durchschnittswerte, welche mit einer entsprechenden Gewichtung nach System-Komfortstufen auf Berechnungen angewendet werden können	3	3	9	3	3	9	3	3	9	3	3	9	**9**	**Ein Kriterium für die Abgrenzung:** Die gewonnenen Erkenntnisse müssen so aufbereitet sein, dass Empfehlungen für die konkrete Entwicklung formuliert werden können	
Gebäudekonzepte	Konzepte für Lowtech oder Hightech können nicht in bestehende Datenbanken oder in Tools (Excel SIA 2032 / MINERGIE Abschätzung Graue Energie) respektive in Berechnungsprogrammen eingebracht werden	2	3	6	2	3	6	2	2	4	2	3	6	**6**		Empfehlungen für zukünftige Vorgehensweisen ausarbeiten
Kennwerte identifzieren (Technisierungsgrad)	Kenndaten werden nicht erkannt. Beispiele: - Sanitär: ASP statt m^2 / Geräte zählen oder ASP? - Lüftung: Einzel- oder Sammelkanal / kein Kanal oder Feinverteilung? - WW: Anzahl Nasszellen statt m^2 EBF / Aufbereitung zentral oder dezentral? - Erschliessung: Anzahl Steigzonen / kurz oder lang? statt m^2 EBF - Elektrik: Kabel oder WLAN? / Batterie oder Schwungrad? - Heizung: Zirkulation oder Heizband im MFH?	3	3	9	3	3	9	3	3	9	3	3	9	**9**	Identifikation erfolgt im Zusammenhang mit der Analyse der KBOB-Datengrundlagen	
Praxistauglichkeit/ Akzeptanz bei Zielgruppen																
Praxistauglichkeit	Herangehensweise wird zu spezialisiert, das Verständnis für Zielgruppen wie z.B. Architekten wurde zu wenig berücksichtig	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	Praxistauglichkeit definieren	
	Transport zum Planungs- und Bauprozess wird nicht gefunden und damit wird das Ergebnis nicht akzeptiert	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	Transportierbarkeit für Planungs- und Bauprozess definieren	
	Fragen der Zielgruppen nicht ausreichend berücksichtigt Bezugsgrössen nicht richtig erkannt	2	3	6	2	3	6	3	2	6	2	3	6	**6**	Checkliste für Ziegruppen erstellen	
	Auswahl der Systempakete nicht praxisnah getroffen	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	Abgrenzung von Gebäudetechniksystemen nach Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit. Hierachisierung von Gebäudetechniksystemen (A,B,C,D usw.) nach Relevanz, Varianz und Beeinflussbarkeit	
Anwendung	Akzeptanz schwierig, da die Datenbasis zu unsicher ist respektive die Bilanzen Zahlenwerte und keine realistischen Ergebnisse darstellen	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	Voraussetzungen für Akzeptanz der Datenbasis definieren	
	Bewertungsgrössen sind gebäudebezogen aber nicht auf Quartiere übertragbar	3	1	3	3	1	3	3	1	3	3	1	3	**3**		**Fortlaufend:** Empfehlungen für Transformation in Quartiere erarbeiten
	Quantität statt Qualität	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	**ARGE (fortlaufend):** Das Nötige vom Unnötigen trennen und umsetzen	
Handlungsanweisungen																
Handlungsanweisungen	Handlungsanweisungen sind nicht phasengerecht	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	**Methodik:** Anweisungen nach Phasen bestimmen	
	Vorgehen bei Listenabweichung nicht gefunden	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	**Produktdefinition / Methodik:** Vorgehen für eine Listenabweichung im Produkt definieren, Tipps und Tricks entwickeln	
	Der Anwender muss weitere Spezialisten für die Anwendung beiziehen	2	3	6	2	3	6	2	3	6	2	3	6	**6**	**Fortlaufend begleiten:** Einfach entspricht praxistauglich, Akzeptanz. Kompliziert entspricht untauglich, Ablehnung	

Abbildung 52: Risikoanalyse (Fortsetzung).

Anhang B: Ergebnisse Fragebogen an Expertenpool

Teilnehmer Expertenpool:

- Andreas Baumgartner (A+W), Energieberatung
- Philipp Deflorin (EBP), Heizung/Kälte
- Didier Favre (HEIG-VD), Lesosai
- Ruedi Geissler (A+W), Elektro
- Michael Lippuner (ALCO Haustechnik AG), Sanitär
- Marco Ragonesi (RSP Bauphysik AG), Bauphysik
- Roland Wagner (AHB), Geothermie
- Lorenz Zumstein (jessenvollenweider), Architektur
- Benno Zurfluh (Zurfluh-Lottenbach GmbH), Lüftung

Als Vorbereitung für den ersten Workshop wurde im Voraus ein Fragenbogen mit zehn Fragen über die KBOB-Liste und das Merkblatt SIA 2032 an den Expertenpool gesendet. Der Fragebogen wurde von allen neun Vertretern des Expertenpools SYGREN ausgefüllt. Abbildung 53 zeigt, dass für die Teilnehmer der Umfrage die KBOB-Liste nicht nur bekannt ist (89%) sondern auch benutzt wird (67%): mindestens einmal pro Jahr (45%) oder einmal pro Monat (33%).

Abbildung 53: Antworten zu den Fragen 1 bis 3 aus dem Fragebogen für den Expertenpool.

Zur Frage 4 «Was fehlt Ihnen in der KBOB-Liste?» gaben fünf (56%) der Befragten folgenden Antworten:

- Praxisorientierte, spezifische Kennwerte für die einzelnen Gebäudetechnikgewerke
- Vollständige und benutzerfreundliche Bautechnikdaten für alle Gebäudetypen (nicht nur Wohnung und Büro), natürliche Wärmedämmprodukte, vorausberechnete Stahlbeton mit gemeinsam Stahl Verhältnisse
- Für Architekten reicht der Inhalt der Liste aus. Wichtiger sind Tools, die basierend auf diese Daten, in der Praxis für Konstruktionen angewendet werden können
- Neue Materialien, VIP, Recyclingbeton
- Wärmepumpen mit Erdwärmesonde und Regeneration

11% der Teilnehmer hat die KBOB-Liste noch nie verwendet; 33% gaben keine Antwort.

Die Antworten zu den Fragen 5, 6 und 8 zeigen, dass das Merkblatt SIA 2032 zwar bekannt ist (78%), aber wenig benutzt (67%) wird, vgl. Abbildung 54.

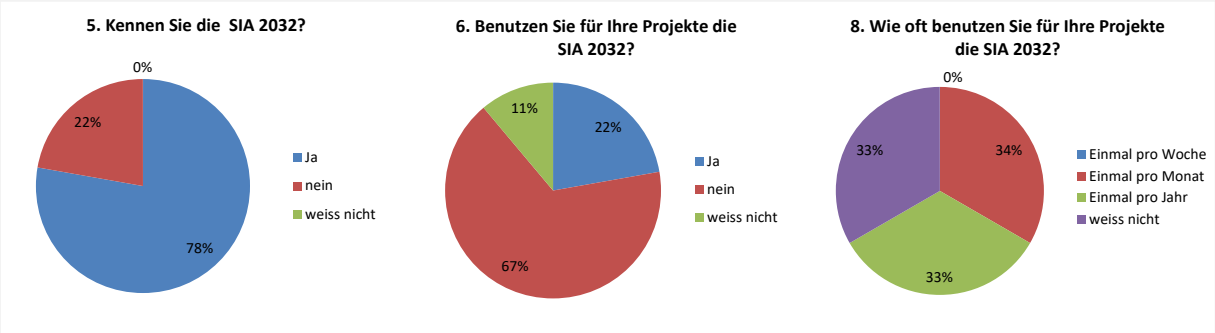


Abbildung 54: Antworten zu den Fragen 5, 6 und 8 aus dem Fragebogen für Expertenpool.

Zur Frage 7 «Für welche Projekte wenden Sie die SIA 2032 an?» gab es folgende Rückmeldungen:

- 44% der Experten wenden diese an v.a. im Kontext von 2000-Watt-Gesellschaft-Projekten, Minergie-ECO oder wenn konkrete Anforderungen an die Graue Energie gestellt werden
- 12% der Befragten haben die Liste noch nie verwendet
- 44% gaben keine Antwort

Zur Frage 9 «Was fehlt Ihnen in der SIA 2032?» gab es folgende Rückmeldungen:

- 33% der Teilnehmer haben die SIA 2032 vollständig und ausführlich gefunden, auch betreffend Methodik. Ein Teilnehmer hätte gerne ausführlichere Informationen im Annex C (Lebensdauer für Baumaterialien)
- 11% der Befragten haben die Liste noch nie verwendet
- 56% gaben keine Antwort

Zur Frage 10 «In welche Projektierungsphase konsultieren Sie die oben genannten Instrumente?» zeigte es sich, dass 56% der Befragten die Instrumente vor allem in den Phasen 1 bis 3 konsultieren.

Anhang C.1: Ergebnisse 1. Workshop (Expertenpool)

Teilnehmer:

- Expertenpool: Andreas Baumgartner (A+W), Philipp Deflorin (EBP), Didier Favre (HEIG-VD), Ruedi Geissler (A+W), Michael Lippuner (ALCO Haustechnik AG), Marco Ragonesi (RSP Bauphysik AG), Roland Wagner (AHB), Lorenz Zumstein (jessenvollenweider), Benno Zurfluh (Zurfluh-Lottenbach GmbH)
- aardeplan ag: Manfred Huber, Heike Zeifang
- Hochschule Luzern T&A, IGE: Ingrid Hincapié, Stefan Mennel, Gianrico Settembrini

Am 22. Februar 2017 fand der erste Workshop mit dem Expertenpool in Luzern statt. In drei Arbeitsgruppen wurden fünf grundsätzlichen Fragen mit Bezug auf der Grauen Energie der Gebäudetechnik diskutiert. Tabelle 56 zeigt zusammenfassend die Resultate des Workshops. Tabelle 57 zeigt die Flipchart-Bilder mit den detaillierten Inputs.

Tabelle 56: Zusammenfassung der Ergebnisse des ersten Workshops mit dem Expertenpool.

1. Austausch Nr. 1

- **Frage 1**: Kurzanalyse KBOB-Liste. Fokus: was ist gut, was sollte geändert werden und wie kann die Anwendung im «Alltag» gelingen? Geeignete Kommunikationswege?
  - **Antworten/Inputs der Experten:**
    - Keine Wahlmöglichkeit zur Projektoptimierung
    - Es ist nicht phasengerecht
    - Schwierig zu definieren, wer die Liste am besten nutzen kann und wie, ist es Sache des Herstellers oder Planers?
    - Varianten-Vergleichsmöglichkeiten wären sinnvoll
    - Aggregierung von Paketen für frühere Phase/Konzepte (analog Bauteile, Bauweise)
    - Verschiedene Nutzungen (Gebäudekategorien SIA)
    - Kommunikation: Schulungen, Fachpresse, Guidelines, Infoveranstaltung (einfach und selbsterklärend, „keep it simple“)

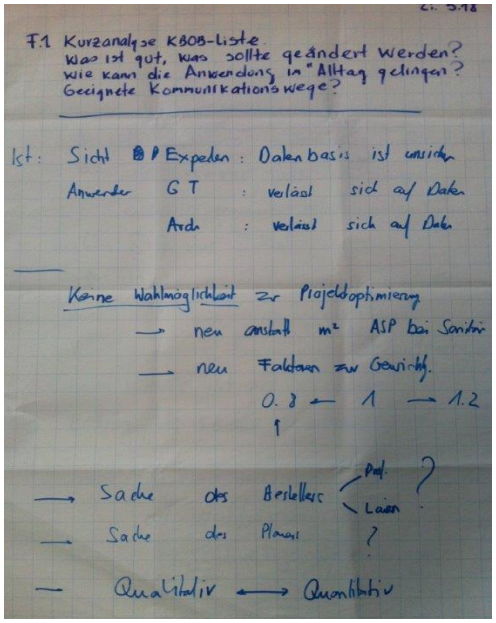
2. Austausch Nr. 2

- **Frage 2a:** Welche grundsätzlichen Systementscheide sind im Vorprojekt noch offen?
  - **Antworten/Inputs der Experten:**
    - Hauptverteilung (Al-Cu-Kabel)
    - Zentral vs. dezentral (Lüftung/WW)
    - Anzahl Steigzonen, Nasszellen. Zusammenarbeit ARCH und Gebäudetechnik (frühe Konzeptphase)
    - Layout: gut, mittel, ungeeignet kann beurteilt werden
    - Kommunikationskonzept
    - Batterien (PV), Kunststoffkanäle (Brandschutz, Kosten?)
    - Materialisierung ganz allgemein
- **Frage 2b:** Welche Schwierigkeiten ergeben sich in der Anwendung? Welche Tools werden verwendet? Defizite, Auslagerung an Experten?
  - **Antworten/Inputs der Experten:**
    - Skalierbarkeit ist nicht gegeben
    - Aggregierung von Daten
    - Varianten sind nötig

3. Austausch Nr. 3

- **Frage 3a**: Wo könnte eine Gesamtenergiebilanz (Betrieb und Erstellung) Sinn ergeben? Wo liegt Potential verborgen?
  - **Antworten/Inputs der Experten:**
    - Einfaches Bauen, z.B. wenig Technik
    - Lüftung: zentral/dezentral. Anzahl Kanäle, Geräte
    - Analog für alle Verteilungssysteme
    - Batterie (PV)
    - EWS-Länge
    - Transformatoren
- **Frage 3b**: Welche Bezugsgrössen sind sinnvoll (in Ph. 21/31)? Ergibt sich eine Analogie zu den Bezugsgrössen für Kosten (GKS/KS)?
  - **Antworten/Inputs der Experten:**
    - Elektro: Stückzahl
    - Sanitär: Anschlusspunkte
    - Qualitativ vs. quantitativ
    - Relevanz auf Gesamtsumme

Tabelle 57: Detaillierte Ergebnisse des ersten Workshops mit dem Expertenpool.

Frage 1: Kurzanalyse KBOB-Liste. Fokus: was ist gut, was sollte geändert werden und wie kann die Anwendung im «Alltag» gelingen? Geeignete Kommunikationswege?	

4.31 Analyse KBOB-Liste 22-2-17

- GT-Kennwerte basierend auf Angaben, welche nur Spezialisten liefern können.
- Liste sehr rudimentär – zu wenig differenziert
  ↳ interessiert nur, falls 2 Lösungen einander gegenübergestellt werden können!
- insbes StE nur 2 kat.
  ↳ wo ist das Optimierungspotential
- Sinnvoll ist der Variantenvergleich (integral mit Auswirkung Gesamtenergie)
- Gesamtbilanz ist per se ohne Ertrag, da reiner Zahlenwert
- Bedarf zB Materialisierung Stromschiene od stat/dynam. USV
  ↳ gleichwertige Systeme vgl.

4.31 S2

- GE ist nur ein weiteres krit. neben Nutzen, Kosten, Lebenszyklus zeiten
- Rechentool direkt in Liste integrieren
- Systementscheide abbilden (zB VW zentral vs dezentral)
- EBF ist nur Teil Gebäude
  ↳ Parkhaus etc.?
- Prod.ort & -art ist wichtig/entscheidend*
  ↳ ohne Massenauszug & auf der Basis der vorliegenden Daten keine Beeinflussbarkeit (& Arbeit ohne Nutzen)
  * unabh. vom ef. installierten Konzept
  ↳ & auch vom Inst. standard mit grosser Spannweite

4.31 S.3

- Für Nutzen d. Betrachtung gleichwertige Systeme einander gegenüber stellen
- Phase 31 für Konzepte (GT)*
  Materialisierung Ph. 32 / tw. 41
  * bautechnisch tw. schon Ph. 21
- Wichtig auch Grundsatzentscheide Bauherrschaft (was ist noch beeinfluss.bar)
  ↳ schwachhaft machen → Nutzen zeigen

Komm.

- Schulung anbieten / kurs Infoveranstaltung
- Fachpresse als Vorinfo
- zB. Vortrag an GVVon Verein/Verband od. Fachtagung
- Bewerben – wenn genug einfach, dann keine Schulung
  ↳ Ziel soll sein, dass es so einfach, dass selbsterklärend

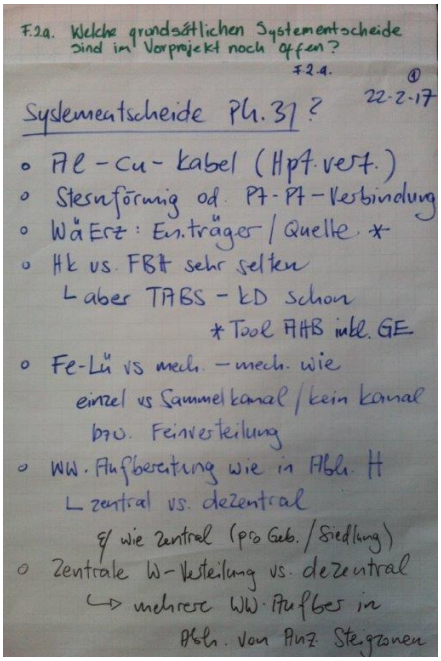
Ursus

21. 4.33.

F1. Kurzanalyse KBOB-Liste.
Was ist gut, was sollte geändert werden?
Wie kann die Anwendung im Alltag gelingen?
Geeignete Kommunikationswege?

- Phasengerechtigkeit:
  → Aggregierung von Paketen für die frühen Konzepte (analog Bauteile Bauweise)
  → Wechselwirkungen Betrieb/Erstellung spätes
  → Gebäudeebene vs. Quartiersebene
- Defizite:
  → Einschränkungen bei Nutzungen (Gebäudekategorien SIA?)
- Wie vorgehen bei Abweichungen zur Liste?
  → Leistungen
  → Nutzungen
  ↳ zusätzliche Guidelines zur Liste
- Wichtigkeit der Grundlagen der Liste bekannt? wichtig in dieser Art

Frage 2a: Welche grundsätzlichen Systementscheide sind im Vorprojekt noch offen?

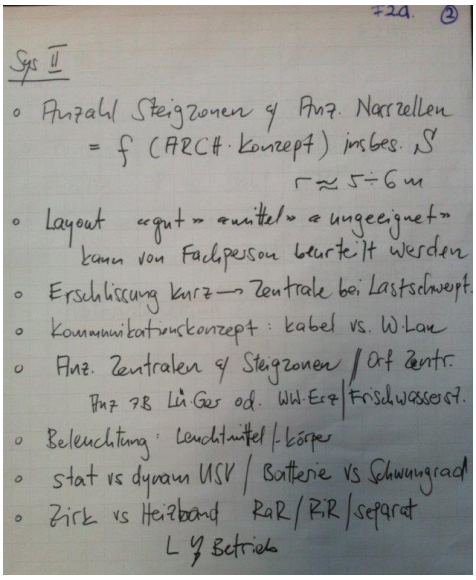


F.2a. Welche grundsätzlichen Systementscheide sind im Vorprojekt noch offen?

F.2.a. ① 22.2.17

Systementscheide Ph. 31 ?

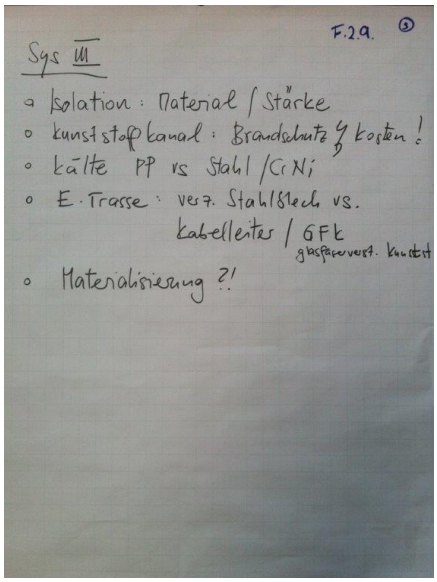
- Al - Cu - Kabel (Hpf. verf.)
- Sternförmig od. PT - PT - Verbindung
- WärErz: En.träger / Quelle. *
- Hk vs. FBH sehr selten
  - L aber TABS - KD schon
    - * Tool HHB inkl. GE
- Fe-Lü vs mech. - mech. wie
  - einzel vs Sammelkanal / kein Kanal
  - bzw. Feinverteilung
- WW. Aufbereitung wie in Abb. H
  - L zentral vs. dezentral
    - & wie zentral (pro Geb. / Siedlung)
- Zentrale W-Verteilung vs. dezentral
  - ↳ mehrere WW. Aufbes in Abh. von Anz. Steigzonen



F.2a. ②

Sys II

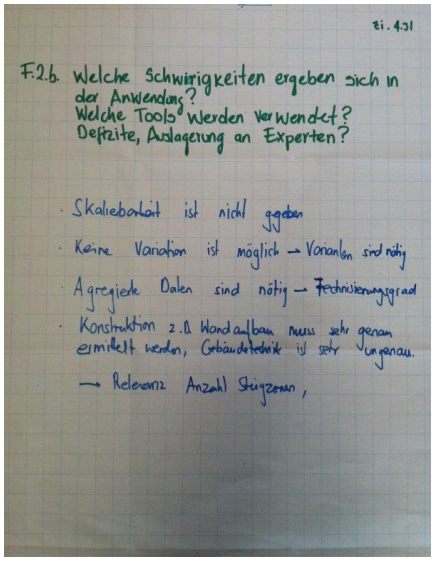
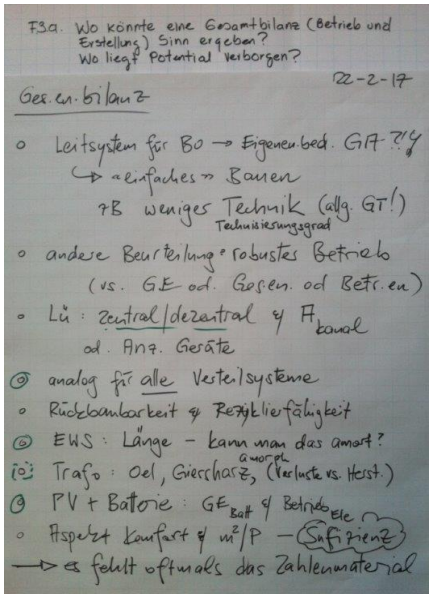
- Anzahl Steigzonen & Anz. Narrzellen = f (ARCH. Konzept) insbes. S
  - r ≈ 5 ÷ 6 m
- Layout «gut» «mittel» «ungeeignet» kann von Fachperson beurteilt werden
- Erschliessung kurz → Zentrale bei Lastschwerpt.
- Kommunikationskonzept: kabel vs. W-Lan
- Anz. Zentralen & Steigzonen / Ort Zentr.
  - Anz zB Lü-Ger od. WW-Erz / Frischwasserst.
- Beleuchtung: Leuchtmittel / -Körper
- stat vs dynam USV / Batterie vs Schwungrad
- Zirk vs Heizband RaR / RiR / separat
  - L & Betrieb

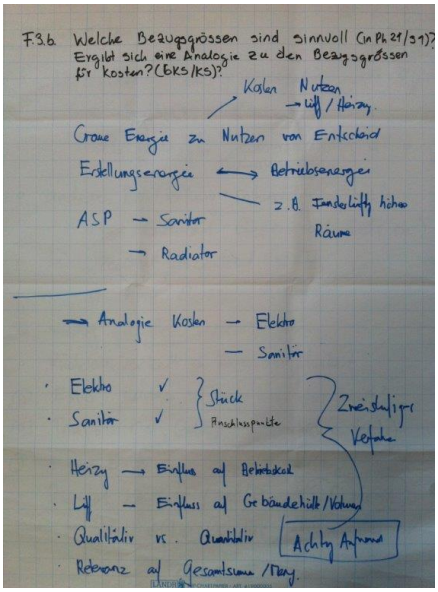


F.2.a. ③

Sys III

- Isolation: Material / Stärke
- Kunststoffkanal: Brandschutz & Kosten!
- Kälte PP vs Stahl / CrNi
- E. Trasse: verz. Stahlblech vs. Kabelleiter / GFK
  - glasfaserverst. Kunstst.
- Materialisierung ?!

Frage 2b: Welche Schwierigkeiten ergeben sich in der Anwendung? Welche Tools werden verwendet? Defizite, Auslagerung an Experten?	
Frage 3a: Wo könnte eine Gesamtenergiebilanz (Betrieb und Erstellung) Sinn ergeben? Wo liegt Potential verborgen?	

Frage 3b: Welche Bezugsgrössen sind sinnvoll (in Ph. 21/31)? Ergibt sich eine Analogie zu den Bezugsgrössen für Kosten (GKS/KS)?	

F3.b Welche Bezugsgrössen sind sinnvoll (in Ph 21/31)? Ergibt sich eine Analogie zu den Bezugsgrössen für Kosten? (GKS/KS)?

Kosten Nutzen → Lüft / Heizg.

Graue Energie zu Nutzen von Entscheid

Erstellungsenergie ⟷ Betriebsenergie

z.B. Fensterlüftung höhere Räume

ASP → Sanitär

→ Radiator

→ Analogie Kosten → Elektro

→ Sanitär

· Elektro ✓ } Stück

· Sanitär ✓ } Anschlusspunkte

Zweistufiges Verfahren

· Heizg → Einfluss auf Betriebskosten

· Lüft → Einfluss auf Gebäudehülle / Volumen

· Qualitätiv vs. Quantitativ

Achtung Anfänger

· Relevanz auf Gesamtsumme / Rang.

Anhang C.2: Ergebnisse 2. Workshop (Expertenpool und Begleitgruppe)

Teilnehmer:

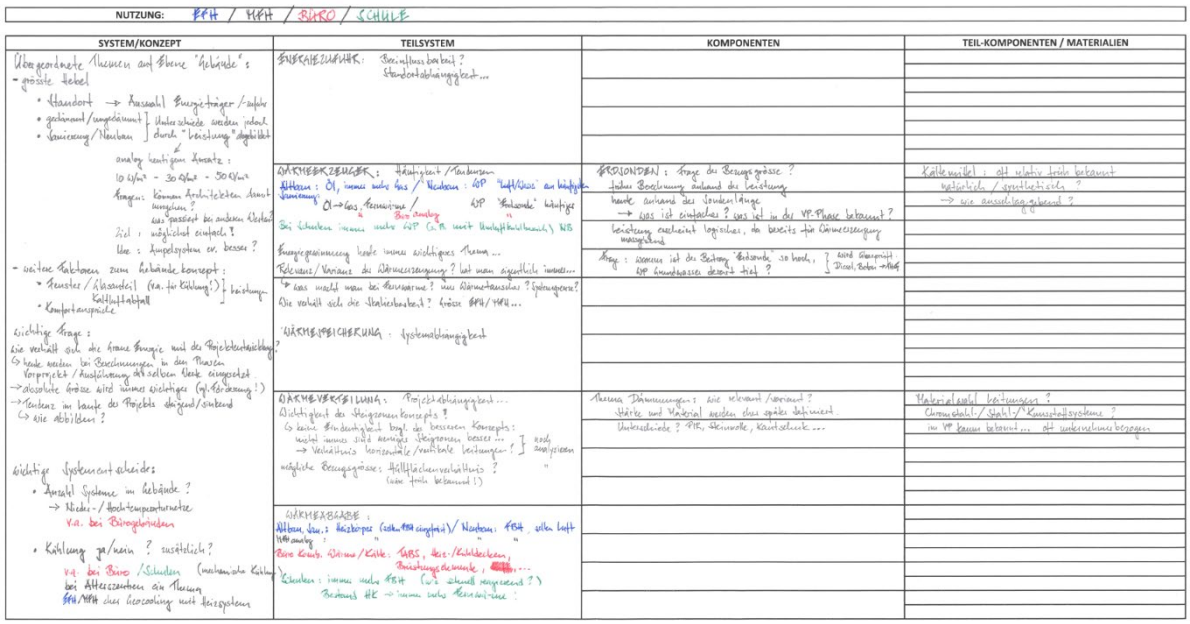
- Begleitgruppe: Rolf Frischknecht (Treeze GmbH), Heinrich Gugerli (Gugerli Dolder GmbH), Annick Lalive d'Epinay (AHB Stadt Zürich), Katrin Pfäffli (Bürogemeinschaft Preisig Pfäffli)
- Expertenpool: Philipp Deflorin (EBP), Ruedi Geissler (A+W), Michael Lippuner (ALCO Haustechnik AG), Marco Ragonesi (RSP Bauphysik AG), Roland Wagner (AHB), Lorenz Zumstein (jessen-vollenweider)
- aardeplan ag: Heike Zeifang
- ZHAW: Matthias Stucki
- Hochschule Luzern T&A, IGE: Ingrid Hincapié, Stefan Mennel, Gianrico Settembrini

Am 04. Mai 2017 fand einen gemeinsamen Workshop mit der Begleitgruppe und dem Expertenpool in Zürich statt. Hauptteil des Workshops war ein Austausch in Gruppen. Die Teilnehmer wurden in vier Gruppen geteilt, jede Gruppe hat an einem Gewerk gearbeitet (Heizung, Lüftung, Sanitär, Elektro). Die Leitragen für die Diskussion waren:

- Frage 1: Wo existieren beeinflussbare Differenzen bei der Ausprägung der gewerkspezifischen Umsetzung (Lösungsvarianten). Verortung im Baukasten vornehmen.
- Frage 2: Welches sind die wichtigsten (drei … fünf) Umsetzungsarten.
- Frage 3: Wie häufig werden diese bezogen auf die anvisierten Nutzungen (Wohnen MFH/EFH, Büro, Schulen) verwendet und umgesetzt.

Die Tabellen in den folgenden Seiten fassen die Resultate des Workshops zusammen.

Tabelle 58: Ergebnisse Gruppe «Heizung».



NUTZUNG: EFH / MFH / BÜRO / SCHULE			
SYSTEM/KONZEPT	TEILSYSTEM	KOMPONENTEN	TEIL-KOMPONENTEN / MATERIALIEN
Übergeordnete Themen auf Ebene "Gebäude": - grosse Hebel • Standort → Auswahl Energieträger / Zufuhr • gedämmt / ungedämmt • Sanierung / Neubau } Unterschiede werden jedoch durch "Belastung" abgebildet analog heutigen Ansatz: 10 kW/m² - 30 kW/m² - 50 kW/m² Fragen: Kommen Architekten damit zurecht? was passiert bei anderen Werten? Ziel: möglichst einfach! Idee: Ampelsystem ev. besser? - weitere Faktoren zum Gebäudekonzept: • Fenster / Glasanteil (v.a. für Kühlung!) } beeinflussen Kaltluftabfall • Komfortansprüche wichtige Frage: wie verhält sich die Grosse Energie mit der Projektentwicklung? ↳ heute werden bei Berechnungen in den Massen Vorprojekt / Ausführung dasselbe Werk eingesetzt → absolute Grösse wird immer wichtiger (vgl. Förderung!) → Tendenz im Laufe des Projekts steigend / sinkend ↳ wie abbilden?	ENERGIEZUFUHR: Bezugsfluss bei Bau? Standortabhängigkeit...		
	ERZEUGER: Häufigkeit / Verbreitung Altbau: Öl, immer mehr Gas / Neubau: WP "Luft/Wasser" am häufigsten Sanierung: Öl → Gas, Fernwärme / WP "Erdsonde" häufiger Bei Schulen immer mehr WP (z.B. mit Umluftheizung) NB Energiegewinnung heute immer wichtiges Thema... Relevanz / Varianz der Wärmeerzeugung? Ist man eigentlich immer... ↳ was macht man bei Fernwärme? nur Wärmetauscher? Speicherung? Wie verhält sich die Stromverbrauch? Grösse EFH / MFH... ÜBERWACHUNG: Systemabhängigkeit	RESSOURCEN: Frage der Bezugsgrösse? Andere Berechnung anhand der Leistung heute anhand der Jahreslänge → was ist einfacher? was ist in der VP-Phase bekannt? Leistung erscheint logischer, da bereits für Wärmeerzeugung verwendet Frag: wieviel ist der Beitrag "Erdsonde" so hoch, WP Grundwasser deckt tief? } eine Energieträger: Diesel, Erdgas, Pellets	Kältemittel: oft relativ frühe bekannt natürlich / synthetisch? → wie ausschlaggebend?
	VERTEILUNG: Projektabhängigkeit... Wichtigkeit der Steigzonen Konzepts? ↳ keine Eindeutigkeit bzgl. der besseren Konzepts: nicht immer 1 Steigzone besser ... } noch konzipieren → Verhältnis horizontale / vertikale Leitungen? } mögliche Bezugsgrösse: Hüllflächenverhältnis? (wenn früh bekannt!)	Thermische Dämmungen: wie relevant / verbreitet? Stärke und Material werden dann später definiert. Unterschiede? PIR, Steinwolle, Kautschuk...	Materialwahl Leitungen? Chromstahl / Stahl / Kunststoffsysteme? im VP kaum bekannt... oft unternehmensbezogen
	ABGABE: Altbau, Sanierung: Heizkörper (sehr häufig eingesetzt) / Neubau: FBH, selten Luft WP analog " " Büro Komb. Wärme / Kälte: FABS, Akt. Kühldecken, Deckenstrahlplatten, ... Schulen: immer mehr FBH (wird schnell eingesetzt?) Bestand HK → immer mehr Heizkörper		

Tabelle 59: Ergebnisse Gruppe «Lüftung».

AN Workshop „Lüftung“ für Graue Energie in der Gebäudetechnik

1. Grundsatzdiskussion zum Ziel
   a. Menge Graue Energie (GE) pro Quadratmeter
   b. Entscheidungshilfen/-grundlagen bieten

   Votum der Teilnehmenden:
   Eindeutig qualitativ Entscheidung beeinflussen statt quantitativ optimieren
   (obwohl dies einem Labelgedanken widerspricht, der konkrete Werte fordert statt einen Entscheidungsbaum hin zu frühen optimierenden Entscheiden begrüsst)

   1. Zwischenfazit: Welche Entscheide müssen vorgängig getroffen werden statt nach allen Entscheiden optimieren

2. Grundsatzentscheid ist mechanisch vs. manuell, falls mechanisch wird es sehr schnell sehr systemisch inkl. Raumhöhen etc. (Beispiele unten).

   2. Zwischenfazit: Die Disposition der Grundrisse ist entscheidend für den Einsatz an GE für die weitere Umsetzung der Lüftungsanlage (und des restlichen Gebäudes)

3. Entscheid mechanisch ist wesentlich eine Abhängigkeit von Nutzung/Belegung (oder Anzahl gefangener Räume) → **Entscheidungsgrösse: m^3/hm^2**

4. Entscheidend: Eine Auslegeordnung, welche Systeme sind wofür geeignet und welche sekundären Effekte ergeben sich aus der konkreten Wahl eines Systems

   Fallbeispiel: Schulen funktionieren gut auch mit Fensterlüftung, dann werden aber grössere Raumhöhen benötigt. An sich müsste dieser Mehraufwand ebenfalls betrachtet werden.

5. Auslegeordnung Systeme: Manuell, automatisierte Fenster, Pendellüfter, aktive Überströmer, Einzelraumgeräte, dezentrale Geräte (dezentral/zentral platziert sowie dezentral/semizentral versorgt), zentral, zentral mehrfach
   Welches System ersetzt welches Teilsystem wie? (z.B. Kanal durch Überströmer)

6. Konkrete weitere Fragestellungen:
   a. Varianz zentral/dezentral ist klein → Aussage veri/falsifizieren
   b. Welche Luftgeschwindigkeit ist gesamtenergetisch optimal?
   c. Systemische Analyse verschiedener Systeme und der sekundären baulichen Effekte
   d. Kann daraus ein Entscheidungsbaum abgeleitet werden, der basierend auf der räumlichen Dispo die verfügbaren Systeme einschränkt, ggf. sogar vergleicht
   e. Wann lohnt sich die Teilung in mehr Geräte zugunsten von weniger Kanälen?
   f. Kann die Messgrösse GE/m^3 geförderte Luft eine gute Kennzahl sein, dann am besten für Systemkomponenten (Aufbereitung, Verteilung, Abgabe)
   g. Sanierungsaspekt wäre ein Bedürfnis – hier geht es v.a. auch um die Minimierung von Erneuerungszyklen, diese Zyklen sind bei technischen Anlagen recht kurz
   h. Lässt sich bei der systemischen Analyse ein analoger Grundsatz herausschälen, wie ihn z.B. die Architektur kenn, wo gilt
      GF/(HNF+NNF) ist oftmals entscheidender als konkrete Materialisierung

Tabelle 60: Ergebnisse Gruppe «Sanitär».

Ergebnisse Protokoll WS 2 Sanitär 04. Mai 2017 im EBP in Zürich

1. Wo sitzen beeinflussbare Differenzen bei der gewerksspezifischen Umsetzung (Varianten)

Bezugsgrössen
- Anschlusspunkte sind die zentralen Bezugsgrössen und müssen effektiv berechnet werden
- Graue Energie (GE) pro Anschlusspunkt (ASP)

effektive Berechnung pro ASP
(WC-Zonen bestimmen (genauer Nasszellen, Input aardeplan)
WOHNEN : Anzahl Räume (z.B. 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 R-Wohnung)
BÜRO : HNF (Hauptnutzungsfläche)
SCHULE : Anzahl Klassenzimmer

- Anzahl der Apparate (? von aardeplan: sind hier alle ASP enthalten)
+ Wasservorbehandlung
+ W - Wasserhalteesystem (z. B. Zirkulation oder Heizband)
+ Abwasserpumpe

GESAMTHAFT: GE pro ASP bezogen auf Verteilnetz dezentral / zentral

Strategische Überlegungen (dezentral / zentral)
- wie gut ist die Zentrale plaziert
- Qualität vom Verteilkonzept (einfache Wege)
- Referenzgeschosse für EG (z.B. Lage Eingang), für Regelgeschoss, für Attikageschoss (meist anders als Regelgeschoss)

Steigzonen: hohe Anz. Steigzonen = geringer Energieverlust und kurze Anschlussleitungen,
aber GE steigt
geringe Anz. Steigzonen = höherer Energieverlust und lange Anschlussleitungen,
aber GE sinkt

2. Welche sind die wichitgsten Unsetzungsarten?

- gibt es so nicht im Gewerk Sanitär, **wenig Spielraum**

3. Wie häufig werden diese, bezogen auf die anvisierten Nutzungen, verwendet und umgesetzt?

- Relevant sind Installationen, WW oder Kaltwasser
- Auswertung muss über ASP von Referenzobjekten erfolgen
- Spezialnutzungen beachten (Spital, Sporthalle, Verkauf, Industrie)

Systeme / Teilsysteme
- Der Datensammlung GE müssen Referenzobjekte zu allen System-Komfortstufen beiliegen. Diese sollen mit einem Kurzbeschrieb, UG, EG, Regelgeschoss, ggf. Attikageschoss dokumentiert sein.
- Steigzonen, ASP und Sanitärzentrale sind mit grafischen Farbmarkierungen erkennbar zu machen.
- Darstellung der Grauwassernutzung

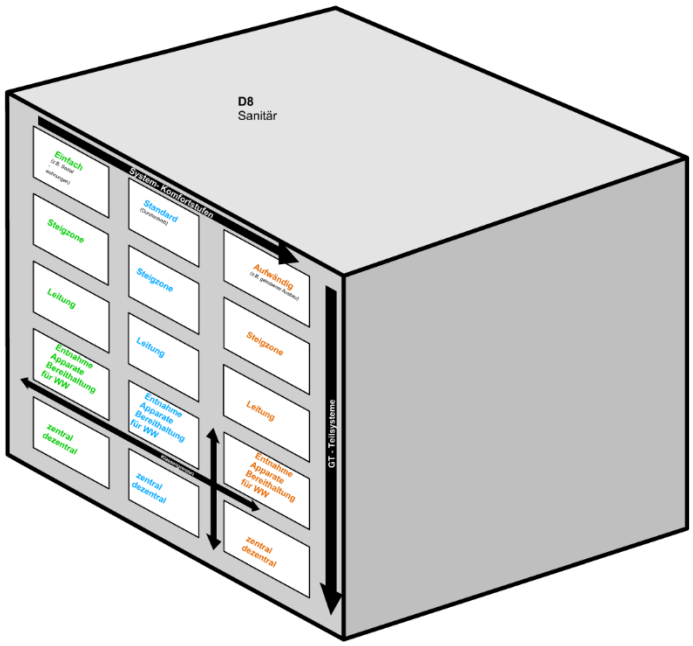


Tabelle 61: Ergebnisse Gruppe «Elektro» (Nutzung Wohnen).

NUTZUNG:	WOHNUNG		
SYSTEM/KONZEPT	**TEILSYSTEM**	**KOMPONENTEN**	**TEIL-KOMPONENTEN / MATERIALIEN**
Wichtig: Installationskonzept, Verteilungen optimieren ob es eine Eigentumswohnung ist oder nicht, konnte auch einen Einfluss haben (z.B. mehr Anschlusspunkte) Allg. Bemerkung über Nutzung Wohnung: Altersheimwohnung gilt als Wohnung. Pflegezentrum und/oder pflegeheim zählen nicht als Wohnungen, eher unter Spitalnutzung	**Starkstromanschlussleitung** – Verteilungsnetz auf Gebäude Wichtig im Vorprojekt: Haupt Steigzonen (Steigleitungen für jedes Stockwerk einzeln oder alle zusammen als "Baum") Kabeltrasse: Stern geeignet für Wohnung		Kabel Al, Cu. Kabeltrasse als Kunststoffkanal oder verzinkte Stahlwanne
	Starkstromerzeugung – Erzeugung	Spannungswandler nicht relevant (es gehört zu Stromnetz) PV Wind	
	„Energiespeicher"	Batterie: Speicherleistung, kWh (Kapazität).	Batterietyp: Ion-Li, andere?
	Installation Stark-/Schwachstrom - Kraftinstallation Anzahl Anschlusspunkte bzw. Rohranschlusspunkte: Durchschnitt/m^2 Hoch: 10-11 (Raumgrosse ~18m^2) Mittel: 8-10 (Raumgrosse ~14m^2) Tief: 6-8 (Raumgrosse ~10m^2) Allgemein: 60 Anschlusspunkte/100m^2 Wo die Steigzonen sind und die Verteilung haben hier wenig Einfluss Einfluss: Nicht zentrisch (exzentrische), z.B. Länge der Kabel, m und die Kernzonen	Schalter Lampe Steckdose Automatische Sonnenschutz (z.B. Rafflamellenstoren) Decklampe Kommunikation	Einfachstreckdosen / Dreifachsteckdosen Rohre, Kabel, Drähte Glasfaser, Kupfer, WLAN ("fibre to the floor", "fibre to the desk")
	Stromverbraucher	Waschmaschine Kühlschrank und andere weisse Ware Kochherd/ Backofen Leuchtmittel / Beleuchtung	 Deckenleuchte vs. Ständerlampe

Allgemeine Notizen:
1. für die Nutzung Restaurant sind Geräte wichtig aber eher im Betrieb. Beleuchtung und Anschlüsse haben eher wenig Einfluss
2. für die Nutzung Verkauf: Je nach Konzept, sind die Stromschiene von Bedeutung. Beleuchtung ist wichtig
3. Es wurde nebenbei diskutiert, wie die Daten in der KBOB-Liste im berecih Elektro am besten dargestellt sein sollten (z.B. Anzahl Anschlusspunkte, m^2, usw).

Tabelle 62: Ergebnisse Gruppe «Elektro» (Nutzung Büro).

NUTZUNG:	BÜRO		
SYSTEM/KONZEPT	**TEILSYSTEM**	**KOMPONENTEN**	**TEIL-KOMPONENTEN / MATERIALIEN**
Wichtig: Installationskonzept, Verteilungen optimieren Wichtig: Installationsdichte, Vorprojekt (v.a. Kraft, Beleuchtung und Kommunikation)	**Starkstromanschlussleitung** – Verteilungsnetz auf Gebäude Wichtig im Vorprojekt: Haupt Steigzonen (Steigleitungen für jedes Stockwerk einzeln oder alle zusammen als "Baum") Kabeltrasse: **Stich geeignet für Büro**		Kabel Al, Cu. Kabeltrasse als Kunststoffkanal oder verzinkte Stahlwanne
	Starkstromerzeugung – Erzeugung	Spannungswandler nicht relevant (es gehört zu Stromnetz)	Öl, andere Isolation
		PV	
		Wind	
	„Energiespeicher"	Batterie: Speicherleistung, kWh (Kapazität).	Batterietyp: Ion-Li, andere?
	Installation Stark-/Schwachstrom - Kraftinstallation		
Wichtig: wo sind die Steckdose plaziert?. Die Tiefe vom Büro spielt eine Rolle ARCH können im Vorprojekt die kleinste/grosse Einheiten definieren, auch wie viel und tief man fahren konnte	Anzahl Anschlusspunkte / Arbeitsplatz. Hoch: 4; Mittel: 3; Tief: 2. Bürogrosse ~8-10m². Steckdose/Arbeitsplatz (oder m²): Durchschnitt 3	Steckdose, Schalter	Röhre, Kabel
	Anzahlt Lichte - Fest (braucht mehr Leitung). Licht - Decke (braucht separates Netz)	Beleuchtung: Lampe, Decklampe	LED, FL, andere?
	Optimierung im Vorprojekt: Glass Fiber nur ein Kable nötig, aber Material vs. Herstellung? Horizontal Verkablung. Mit Cu, braucht man separate Kabel Wichtig: wo ist die kommunikationsverteiler Steigzone Einfluss: exzentrische Zonen brauchen mehr als ein Drittel Kabel	Kommunikation	Glasfaser, Kupfer, WLAN ("fibre to the floor", "fibre to the desk")

Für die Kommunikationsinstallationen gibt es Daten z.B. von der Andreasstrasse 11 (Geissler als Kontakt)

Tabelle 63: Ergebnisse Gruppe «Elektro» (Nutzung Schule).

«SYGREN» - Systemkennwerte Graue Energie Gebäudetechnik 2. Workshop – Expertenpool und Begleitgruppe
Austausch in Gruppen
04. Mai 17

NUTZUNG:	SCHULE		
SYSTEM/KONZEPT	**TEILSYSTEM**	**KOMPONENTEN**	**TEIL-KOMPONENTEN / MATERIALIEN**
Wichtig: Es gibt Unterschiede zwischen Primär-, Sekundär- und Hochschulen	**Starkstromanschlussleitung** – Verteilungsnetz auf Gebäude Wichtig im Vorprojekt: **Haupt Steigzonen**		Kabel Al, Cu.
	Starkstromerzeugung – Erzeugung	Spannungswandler nicht relevant (es gehört zu Stromnetz)	Öl, andere Isolation
		PV	
		Wind	
	„Energiespeicher"	Batterie: Speicherleistung, kWh (Kapazität).	Batterietyp: Ion-Li, andere?
	Installation Stark-/Schwachstrom - Kraftinstallation Die Beleuchtung gibt es Normen und sollte in der Regel Miergie standard sein. Einfluss: Die Lampen, Beluechtungskörpern und/oder Gerüst. Wichtig: Kommunikation hier kann man nicht so gut differenzieren. Allg. 1.5 Anschlusspunkte/m2 (30 Schuler/~60m2).	Steckdose, Schalter Beleuchtung: Lampe, Decklampe Kommunikation: Trend (Smartboard, Beamer, WLAN, Drucker) hata aber nicht zu viel Gewicht auf Beeinflusbarkeit	Röhre, Kabel LED, FL, andere?. Körper aus Al, Blech Glass Fiber, Cu

Anhang C.3: Ergebnisse 3. Workshop (Expertenpool)

Teilnehmer:

- Expertenpool: Andreas Baumgartner (A+W), Philipp Deflorin (EBP), Marco Ragonesi (RSP Bauphysik AG), Lorenz Zumstein (jessenvollenweider), Benno Zurfluh (Zurfluh-Lottenbach GmbH)
- aardeplan ag: Heike Zeifang
- Hochschule Luzern T&A, IGE: Davide Bionda, Gianrico Settembrini

Am 17. Oktober 2017 fand der Workshop mit der Expertengruppe in Bern statt. Im Rahmen des Workshops wurden der aktuelle Projektstand, die Resultate der Datenauswertung und die angewendete Systematik nach Norm SIA 411 präsentiert. Seitens Expertenpools wurde eine Bewertung der Beeinflussbarkeit der Systemkomponenten während der Vorprojekt- und Ausführungsphase durchgeführt (Tabelle 64). Tabelle 65 zeigt zusammenfassend die Inputs der Workshop-Teilnehmer.

Tabelle 64: Bewertung seitens Expertenpools der Beeinflussbarkeit der Systemkomponenten während der Vorprojekt- und Ausführungsphase.

Bewertung	Beeinflussbarkeit
1	keine
2	gering
3	mittel
4	hoch
5	sehr hoch

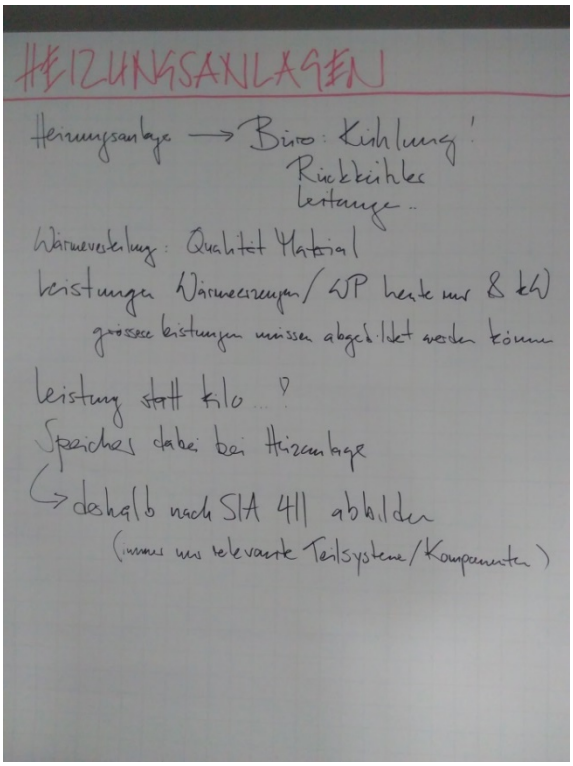
Heizungsanlagen - Bewertung der Beeinflussbarkeit	Experte 1		Experte 2		Experte 3		Experte 4		Experte 5	
Komponente	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung
Erdwärmesonde	5	3	2	5	5	2	5	2	5	1
Wärmepumpe	5	3	2	5	4	2	5	3	5	1
Stahlrohre	5	3	2	5	3	2	4	2	1	4
Abzweigungen und Armaturen, Stahl	4	3	2	5	1	2	4	2	1	4
Stahlrohre, rostfrei	4	3	2	5	3	2	4	2	1	4
Wärmedämmung Mineralwolle	5	3	2	5	3	2	4	2	1	5
PIR-Dämmung mit PVC-Verkleidung	5	3	2	5	3	2	4	2	1	5
Fussbodenheizung	3	3	2	5	3	2	5	3	5	1
Heiz-/Kühldecke	4	1	2	5	4	2	5	3	5	1
Konvektor	4	1	2	5	3	2	5	3	5	1
Röhrenradiator	4	1	2	5	3	2	5	3	5	1
Verschiedene Komponenten	4	1	2	5		2	4	2		

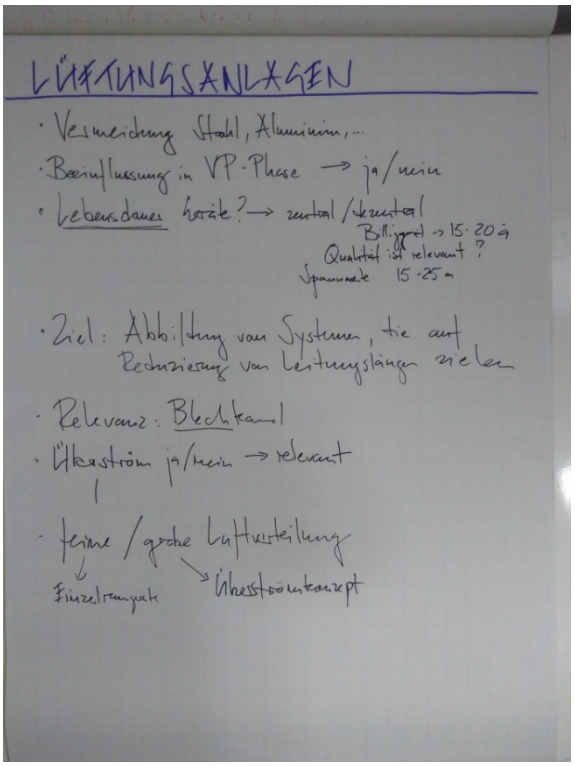
Lüftungsanlagen - Bewertung der Beeinflussbarkeit	Experte 1		Experte 2		Experte 3		Experte 4		Experte 5	
Komponente	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung
Lüftungsgerät	5	4	2	5	3	2	5	3	4	1
Geräuschdämpfer für Ventilator	5	4	2	5	1	2	5	3	4	2
Lüftungskanal, Stahl, verzinkt	2	1	2	5	4	2	4	2	4	1
Luftverteilung, Spirorohre, verzinkt	2	1	2	5	4	2	4	2	4	1
Lüftungskanal, Stahl, rostfrei	2	1	2	5	4	2	4	2	4	1
Luftverteilung, Spirorohre, rostfrei	2	1	2	5	4	2	4	2	4	1
PE Rohre / Flexrohre	2	3	2	5	3	2	4	2	4	1
Lüftungskanal, PE	2	3	2	5	3	2	4	2	4	1
Feuerisolierung, Aluminiumfolie	2	1	2	5	3	2	3	2	4	1
Wärmedämmung, Aluminiumfolie	3	1	2	5	3	2	3	2	4	1
Wärmedämmung, Aluminiummantel	3	1	2	5	3	2	3	2	4	1
Wärmdämmung, Stahlmantel, rostfrei	3	1	2	5	3	2	3	2	4	1
Verschiedene Komponenten	4	4	2	5	3	2	4	2	4	2
Spezialkomponenten	2	1	2	5	1	2	4	2		

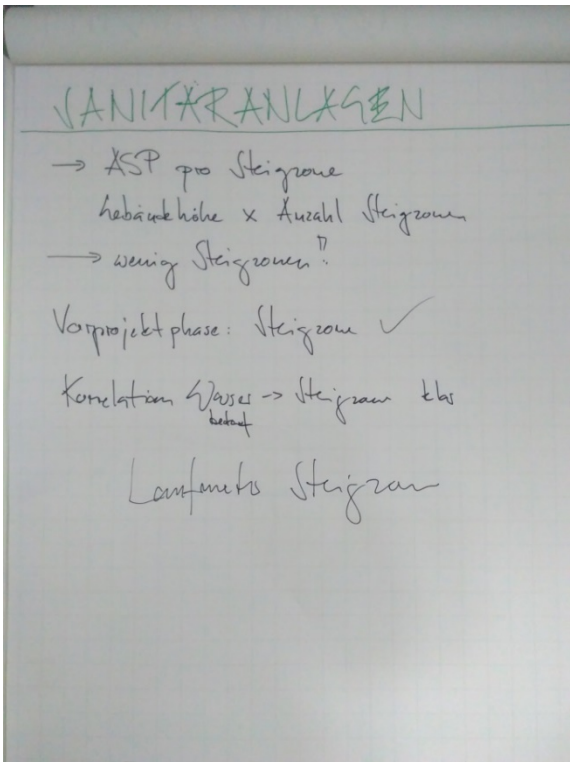
Sanitäranlagen - Bewertung der Beeinflussbarkeit	Experte 1		Experte 2		Experte 3		Experte 4		Experte 5	
Komponente	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung
Warmwasserspeicher	5	3	3	3	2	2	5	3	4	1
Rohrleitungen inkl. Dämmung und Befestigung	5	3	3	3	4	2	4	2	4	1
Armaturen	4	3	1	5	4	2	5	3	4	2
Waschautomat und Trockner	4	3	1	5	1	2	5	3	4	2
Bade- und Duschwanne	4	3	1	5	1	2	5	3	4	2
Waschtisch	4	3	1	5	1	2	5	3	4	2
WC, Spühlkasten	4	3	1	5	1	2	5	3	4	2
Spiegelschrank	4	3	1	5	1	2	5	4	4	2
Abfallbehälter	4	3	1	5	1	2	5	4	4	2
Papierhandtuchspender	4	3	1	5	1	2	5	4	4	2
Rest	4	3			1	2	4	2	4	2

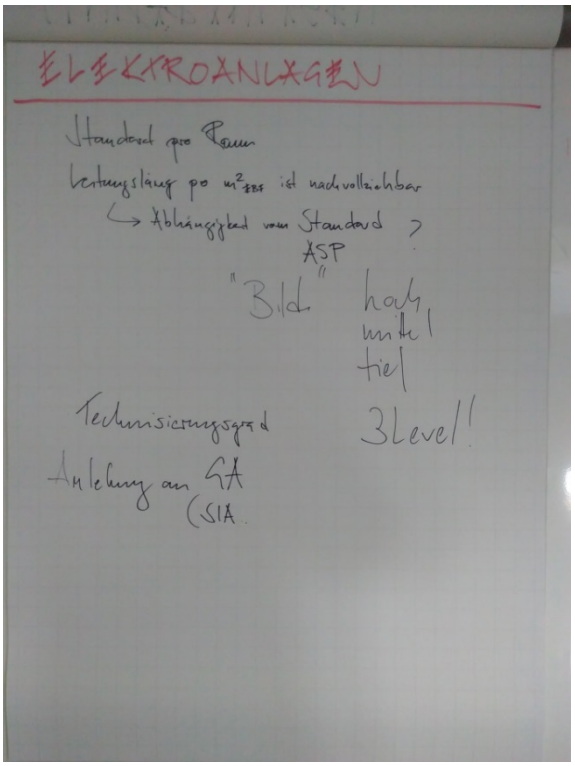
Elektroanlagen - Bewertung der Beeinflussbarkeit	Experte 1		Experte 2		Experte 3		Experte 4		Experte 5	
Komponente	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung	Vorprojekt	Ausführung
Erdband	4	2	1	5	2	2	4	2		
Installationsrohre	4	2	1	5	4	2	4	2		
Kabel	4	2	1	5	4	2	4	2		
Kabelbahn	4	2	1	5	3	2	4	2		
Installationskanal	4	2	1	5	2	2	4	2		
Leuchten	4	2	1	5	2	2	5	3		
Schalter/Steckdose	4	2	1	5	2	2	4	2		
Rest	4	2	1	5		2	4	2		

Tabelle 65: Inputs der Workshop-Teilnehmer für die Gewerke Heizung, Lüftung, Sanitär und Elektro.









Anhang D: Textbeitrag (informativ) für das Merkblatt SIA 2032

Der Textbeitrag ist als informativer Anhang mit spezifischen Hinweisen zur Grauen Energie der Gebäudetechnik vorgesehen. Einleitend soll auf die Analyse der diesbezüglichen *Datengrundlage* eingegangen werden. Danach wird aufgezeigt, wo *Optimierungspotenziale* hinsichtlich der Grauen Energie (der Gebäudetechnik) liegen können. Abschliessend werden Beispiele von *Wechselwirkungen* beschrieben, welche auf konzeptionelle Gebäudetechnikentscheide basieren. Sie können rein energetischer Art sein, vornehmlich zwischen der Grauen Energie und dem Aufwand für den Betrieb der Gebäude, weisen aber oftmals auch weiterreichende Effekte auf, beispielsweise auf ökonomische oder soziale Aspekte der Nachhaltigkeit.

Das Ziel ist ein kompakter, ein- bis zweiseitiger Textbaustein. Einen ersten Entwurf der Struktur sowie möglicher Inhalte wird folgend dargestellt:

Anhang X (informativ)

Graue Energie der Gebäudetechnik

X.1 Analyse der Gebäudetechnik hinsichtlich der Grauen Energie

X.1.1 Angabe von (Teil-)Systemen, Komponenten oder Materialien, welche die Graue Energie GE, die Grauen Treibhausgasemissionen THG sowie – wenn im Merkblatt thematisiert – die Menge an Umweltbelastungspunkten UBP wesentlich beeinflussen können. (Nennung von Beispielen zur Varianz und Relevanz der Bilanzen, in erster Linie basierend auf der Analyse der Studien von Klingler und Kasser (2011)[6] und Klingler et al. (2014)[7]).

- *Mögliches Beispiel:* in welcher Weise dominieren Lüftungsgeräte und Lüftungskanäle die Bilanz bei der GE, bei den THG und bei den UBP von Lüftungssystemen? Welche Komponenten / Materialien spielen dabei eine tragende Rolle?

X.2 Spezifisches Optimierungspotenzial bei der Gebäudetechnik

Mit zwei bis drei Beispielen wird aufgezeigt, wo Optimierungspotenziale hinsichtlich der Minderung des Aufwands für die Erstellung der Gebäudetechnik vorliegen könnten. Dies kann auf unterschiedliche Ebenen stattfinden:

- *bei konzeptionellen Entscheiden zur Lüftungsanlage:* z.B. dezentrale oder zentrale Systeme, Anwendung von Kaskadenlüftungskonzepte oder einer Abluftanlage in Kombination mit Aussenluftdurchlässen.
- *durch die Anordnung der Nasszellen:* Relation zwischen der Nasszellenanordnung, der Anzahl Steigschächten und somit der durchschnittlichen Leitungs- respektive Rohrlänge pro Sanitärapparat.
- *Amortisationszeit:* Konzepte zur Verlängerung der Lebensdauer (Nutzungsdauer) der Gebäudetechnik-Komponenten.

[6] Klingler M. und Kasser U. 2011. Graue Energie von Sanitär- und Elektroanlagen. Sach- und Ökobilanzen von zwölf verschiedenen Gebäuden in den Bereichen Wohnen und Büro. Auftraggeber: Bundesamt für Energie, 100 p.
[7] Klingler M., Kasser U., Savi D., Primas A., Stettler Y. und Gujer P. 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, 186 p.

X.3 Wechselwirkungen ausgehend von Gebäudetechnikentscheiden

Die Optimierung des Anteils an Grauer Energie bei der Gebäudetechnik kann einen wesentlichen Einfluss auf andere Beurteilungsgrössen des Gebäudes haben. Einige konkrete Beispiele zu Wechselwirkungen werden aufgezeigt.

X.3.1 Einfluss auf Betriebsenergie / Gegenüberstellung (2-3 Beispiele)

- *Länge von Erdwärmesonden (EWS)*: kürzere EWS bedeuten weniger Graue Energie wirken sich jedoch auf den Betrieb nachteilig aus.
- *Lüftungsleitungen*: kleinere Durchmesser reduzieren die Graue Energie, die daraus resultierenden Luftgeschwindigkeiten können einen höheren Betriebsaufwand herbeiführen (und die Behaglichkeit in den Räumlichkeiten beeinträchtigen).
- *Energieerzeugung/-speicherung*: Der Einsatz von sensiblen Speichern, Batterien o.ä. erhöht eindeutig die Graue Energie, kann jedoch die Gesamtenergiebilanz des Gebäudes verbessern.
- *Grauwasser- oder Regenwassernutzung:* Der Mehraufwand an Installationen und Leitungen kann durch Einsparungen im Betrieb kompensiert werden.
- *Geräteersatz / Optimierung der Lebensdauer:* Neue, energieeffiziente Geräte od. Komponenten verursachen zusätzliche Graue Energie, reduzieren gleichzeitig den Betriebsaufwand.

X.3.2 Einfluss auf andere Aspekte der Nachhaltigkeit / Gegenüberstellung (2-3 Beispiele)

- *Zentrale / dezentrale Lüftungsanlage*: Eine individuelle Lüftungsregulierung kann den Komfort der Bewohner beeinflussen und erhöht gleichzeitig die Akzeptanz der Anlage.
- *Gemeinschaftliche Waschküchen oder wohnungsgebunden Waschtürme*: Waschküchen sind oftmals Begegnungsorte und können in sozialer Hinsicht eine wesentliche Funktion einnehmen. Wohnungsgebundene Waschtürme erhöhen den Wert der Liegenschaft.
- *Systemtrennung*: Die Zugänglichkeit der Gebäudetechnik erleichtert den Rückbau und der Unterhalt (Kosten), erhöht die Anpassungsfähigkeit bzw. die Flexibilität der Gebäude (somit möglicherweise den ökonomischen Wert).
- *Qualität:* bessere Geräte / Komponenten haben Auswirkungen auf Investitionskosten, können zugleich einen Einfluss auf die Lebensdauer haben (Optimierung Amortisation).

Anhang E: Sanitärapparate

Tabelle 66: Sanitärapparate, Klassifizierung der Materialien und ID-Nummern aus KBOB-Liste.

Sanitärapparate	Komponente	Material	ID-Nummer aus der KBOB-Liste	Bezugsgrösse Gewicht / Fläche [kg/m²]
Wandklosett (29.9 kg)	WK 1.1. Wandklosett	100% Sanitärkeramik	03.014 Sanitärkeramik	13.9 kg
	WK 1.2. Wandklosettelement (Einbauspülkasten)	67.9% Stahl pulverbeschichtet	06.010 Stahlblech, blank	9.197 kg
			14.006 Pulverbeschichten, Stahl	0.2 m²
		11.4% ABS	13.001 Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)	1.546 kg
		10.2% PE-HD	13.002 Polyethylen (PE)	1.378 kg
		4.5% Synthesekautschuk	11.007 Kautschuk, 2 mm (umgerechnet in kg bei Dichte 1680 kg/m³)	0.612 kg
		2% Zink	06.013 Titanzinkblech	0.274 kg
		1.5% Messing verchromt	06.009 Messing-/Baubronzeblech	0.201 kg
		0.9% EPS	10.004 Polystyrol ex-pandiert (EPS)	0.123 kg
		0.8% PE-LD	Nicht auf KBOB-Liste, vergleichbar mit PE 13.002	0.106 kg
		0.8% PVC	13.004 Polyvinylchlorid (PVC)	0.106 kg
	WK 1.3. Klosettsitz	20% CrNi-Stahl	06.005 Chromnickelstahl-blech 18/8 verzinnt	0.5 kg
		80% ABS	13.001 Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)	2.0 kg
Urinoir (28 kg)	Urinoir	100% Sanitärkeramik	03.014 Sanitärkeramik	21 kg
	Urinoirelement	100% Stahl pulverbeschichtet	06.010 Stahlblech, blank	7 kg
			14.006 Pulverbeschichten, Stahl	0.4 m²
Waschtisch (W:21.9 kg, B:30.4 kg W klein. 13.3 kg W dopp. 40.2 kg)	WT 1.1. Waschtisch Wohnen (60x45 cm)	100% Sanitärkeramik	03.014 Sanitärkeramik	18.0 kg
	WT 2.1. Klein Waschtisch (35x45 cm)	100% Sanitärkeramik	03.014 Sanitärkeramik	10.0 kg
	WT 3.1. Doppelwaschtisch (123x52.5 cm)	100% Sanitärkeramik	03.014 Sanitärkeramik	32.4 kg
	WT 1.2. Einlochmischer / Waschtischmischer (15.0 cm)	100% Messing verchromt	06.009 Messing-/Baubronzeblech	2.5 kg
	WT 1.3. Montagerahmen (nur im Büro, Typenelement Geberit Duofix)	86.7% Stahl pulverbeschichtet	06.010 Stahlblech, blank	8.54 kg
			14.006 Pulverbeschichten, Stahl	0.5 m²
	Für kleine Waschtische: Korrekturfaktor 0.6	10.6% PE-HD	13.002 Polyethylen (PE)	1.111 kg
	Für Doppelwaschtische: Korrekturfaktor 2	2.7% Zink	06.013 Titanzinkblech	0.28 kg
Badewanne (56.7 kg)	BW 1.1. Badewanne (170x70 cm)	100% Stahl emailliert	06.010 Stahlblech, blank	48.8 kg
			14.004 Emaillieren, Metall	2.37 m²
	BW 1.2. Badewannenträger	100% EPS	10.004 Polystyrol ex-	2.99 kg

	(Typ Poresta)		pandiert (EPS)	
	BW 1.3. Wannenprofil	100% Synthesekautschuk	11.007 Kautschuk, 2 mm (umgerechnet in kg bei Dichte 1680 kg/m^3)	1.44 kg
	BW 1.4. Bademischer (15.3 cm)	100% Messing verchromt	06.009 Messing-/Baubronzeblech	3.5 kg
Duschwanne (W:21 kg / B:32.3 kg)	DW 1.1. Duschwanne (90x90x2.5 cm)	100% Stahl emailliert	06.010 Stahlblech, blank	20 kg
			14.004 Emaillieren, Metall	1.006 m^2
	DW 1.2. Duschwannenträger (Typ Poresta)	100% EPS	10.004 Polystyrol expandiert (EPS)	0.97 kg
	DW 1.3. Montagerahmen Dusche (Andere Nutzung als Wohnen)	97% Stahl pulverbeschichtet	06.010 Stahlblech, blank	8.54 kg
			14.006 Pulverbeschichten, Stahl	0.151 m^2
		3% Zink	06.013 Titanzinkblech	0.28 kg
	DW 1.4. Duschenmischer (15.3 cm)	100% Messing verchromt	06.009 Messing-/Baubronzeblech	2.5 kg
Spiegel (W: 6.32 kg / W dopp.: 8.8 kg / B: 4.4 kg)	S 1.1 Spiegelschrank Wohnen (60x70x12/14 cm)	66% Glas	03.005 Flachglas beschichtet	4.2 kg
		34% Aluminium eloxiert	06.001 Aluminiumblech, blank	2.12 kg
			14.005 Pulverbeschichten, Aluminium	0.758 m^2
	S 1.3. Spiegel für Doppelwaschtisch (120x70 cm)	95% Glas	03.005 Flachglas beschichtet	8.2 kg
		5% Aluminium eloxiert	06.001 Aluminiumblech, blank	0.4 kg
			14.005 Pulverbeschichten, Aluminium	0.016 m^2
	S 1.3. Spiegel Büro und andere Nutz. (60x70 cm)	95% Glas	03.005 Flachglas beschichtet	4.2 kg
		5% Aluminium eloxiert	06.001 Aluminiumblech, blank	0.2 kg
			14.005 Pulverbeschichten, Aluminium	0.008 m^2
Handtuch- und Badetuchhalter (1.24 kg)	HB1.1. Handtuch- und Badetuchhalter (100 und 70 cm)	100% Messing verchromt	06.009 Messing-/Baubronzeblech	1.24 kg
Papierhalter (0.35 kg)	PH 1.1. Papierhalter 13.5x14x8 cm)	100% Messing verchromt	06.009 Messing-/Baubronzeblech	0.35 kg
Papierhandtuchspender (1.44 kg)	PT 1.1. Papierhandtuchspender (27.8x32.3x11.8 cm)	100% CrNi-Stahl	06.005 Chromnickelstahlblech 18/8 verzinnt	1.44 kg
Abfallbehälter (2.45 kg)	AB 1.1. Abfallbehälter (Inhalt 26 Liter, 29x52x16 cm)	100% CrNi-Stahl	06.005 Chromnickelstahlblech 18/8 verzinnt	2.45 kg
Waschmaschine (63.0 kg)	WM 1.1. Waschmaschine	Unbestimmt	Gemäss Daten ZHAW	63.0 kg
Wäschetrockner (47.5 kg)	WT 1.1. Wäschetrockner	Unbestimmt	Gemäss Daten ZHAW	47.5 kg
Waschtrog (6.5 / dopp. 13.1 kg)	WTT 1.1. Waschtrog (70x50 cm)	100% CrNi-Stahl	06.005 Chromnickelstahlblech 18/8 verzinnt	6.46 kg
	WTT 1.2. Waschtrog (142x50 cm)	100% CrNi-Stahl	06.005 Chromnickelstahlblech 18/8 verzinnt	13.1 kg