

Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich

Eine Praxisnahe Untersuchung mit Hinweisen
zu Planung und Bau von Wohnungslüftungsanlagen

Ausgearbeitet durch

W. Hässig, A. Primas, Basler & Hofmann AG

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

März 2004

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

Basler und Hofmann Ingenieure und Planer, Forchstrasse 395, CH-8029 Zürich
Tel. 01 387 11 22, Fax 01 387 11 00 · info@bhz.ch · www.bhz.ch

Autoren:

Werner Hässig, Basler & Hofmann AG
Alex Primas, Basler & Hofmann AG

Externes Gutachten:

Rolf Frischknecht, ESU-services
Mireille Faist Emmenegger, ESU-services

März 2004

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb: EMPA ZEN, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, www.empa-ren.ch
ENET, Egnacherstrasse 59, 9320 Arbon, enet@temas.ch,
www.energieforschung.ch

Zusammenfassung

Ziel	Ziel dieser Studie ist es, die Umweltauswirkungen von Komfortlüftungssystemen auf der Basis eines Lebenszyklusansatzes mithilfe der Ökobilanzierung zu quantifizieren. Dabei wird der Einfluss verschiedener Komponenten und Betriebsparameter auf die Systeme verglichen. Sich ergebende Optimierungspotenziale werden aufgezeigt.
Datenerhebung und verwendete Basisdaten	Mit einem Fragebogen wurden die notwendigen Daten für die Sachbilanzen zu den sechs Lüftungssystemen von den Herstellern erfragt. Als Datengrundlage werden die Grundinventare der Datenbank ecoinvent Version 1.01 (2003) verwendet.
Bewertung der Resultate	Die Resultate werden mit den Methoden Eco-indicator 99 (Typus Hierarchist), der ökologischen Knappheit, dem kumulierten nichterneuerbaren Energieaufwand sowie mit dem errechneten Treibhauspotentials bewertet.
Systemvarianten	Für ein Sechs-Familienhaus wurden folgende Systemvarianten untersucht: – Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, Stahlverrohrung, mit Erdregister – Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, Verrohrung aus PE, mit Erdregister – Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m³/h, Stahlverrohrung, mit Erdregister – Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m³/h, Verrohrung aus PE, mit Erdregister – Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, Stahlverrohrung, ohne Erdregister – Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, Verrohrung aus PE, ohne Erdregister Die meisten Auswertungen basieren auf folgenden Grundannahmen: – Ventilatoren-Elektrizitätsbedarf von 0.4 Wh/m³ – Strombedarf für die Steuerung von 10 Watt – Qualität der Elektrizität: Strombezug ab Niederspannung in der Schweiz – Betriebszeit der Anlagen während des ganzen Jahres (12 Monate) – der verminderte Wärmegewinn ohne Erdregister wie auch der zusätzliche Strombedarf für den Frostschutz wurden berücksichtigt – Lüftungswärmeverluste entsprechend einem MINERGIE-Neubau im Vergleich zu SIA 380/1 (2001) Standardnutzung ohne Lüftungsanlage
Systemwahl, Systemvergleich	Ergebnisse Die ökologische betrachtet besten Werte erreichte das System mit zentraler Lüftungsanlage und Erdregister. 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. Der höhere Materialaufwand für das Erdregister wird hier durch die bessere Systemeffizienz wieder ausgeglichen. Abbildung Z.1 zeigt den Systemvergleich ohne Einbezug der Heizenergiebedarfsreduktion durch die Lüftungsanlage bezogen auf ein Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF).

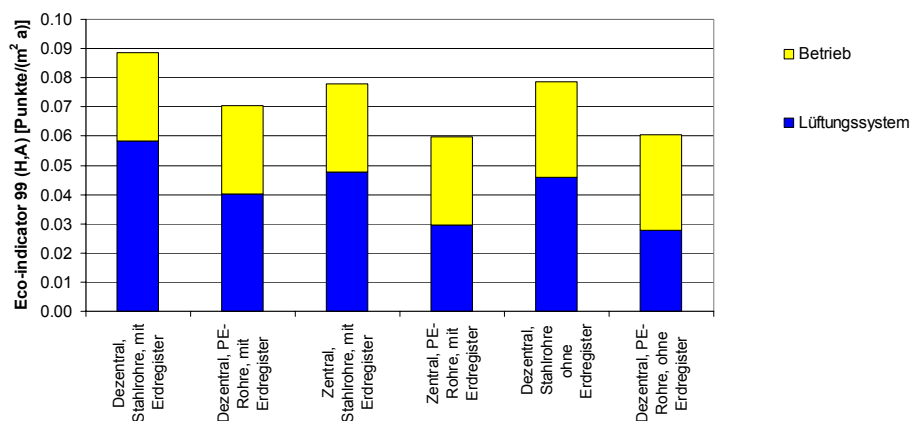


Abbildung Z.1 Umweltbelastung der Systemvarianten (Eco-indicator 99 H/A) pro Jahr, pro m² EBF

Lebensdauer

Wichtig ist die Lebensdauer der Lüftungsrohre, da die Verrohrung einen grossen Anteil (ca. 50 %) der Gesamtbelastung ausmacht und die angenommene Lebensdauer (50 Jahre) hier einen grossen Einfluss hat. Die erreichbare Lebensdauer wird auch von der Reinigbarkeit des Systems sowie einer fachgerechten Planung mitbestimmt.

Verlegung der Lüftungsrohre

Im Beton der Geschossdecke verlegte Lüftungsrohre zeigen sich ökologisch deutlich günstiger als im Unterlagsboden eingebrachte Rohre, sofern dadurch die Betonstärke der Geschossdecke nicht erhöht werden muss.

Wärmerückgewinnungsgrad

Da der Heizenergiebedarf des Gebäudes stark vom Wärmerückgewinnungsgrad der Lüftungsanlage abhängt, muss für einen ökologisch günstigen Anlagebetrieb der Wärmerückgewinnungsgrad mindestens 80 % betragen. Bei Wärmerückgewinnungsgraden über 90 % werden der Druckverlust des Wärmetauschers und damit der Mehrbedarf an Ventilatorstrom zu einem dominanten Kriterium.

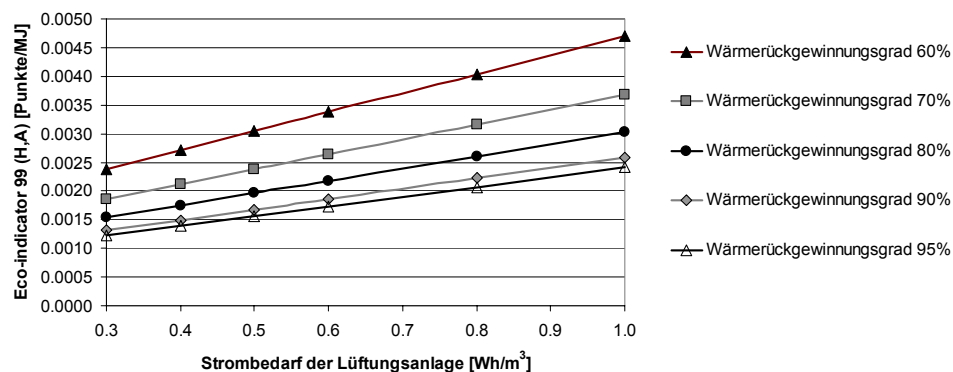


Abbildung Z.2 Einfluss von Wärmerückgewinnungsgrad und Strombedarf auf die Umweltbelastung (Eco-indicator 99 (H/A), Punkte pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion)

Grosser Einfluss des Strombedarfs

Der Strombedarf für den Betrieb der Lüftungsanlage hat einen grossen Einfluss auf die Umweltbelastung (siehe Abbildung Z.2). Bei der Bewertung mit Eco-indicator 99 (H/A) liegt der Anteil des Betriebs bei 33-52 % der Gesamtbelastung. In der

Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit liegt dieser Anteil bei 58-75 % und für den kumulierten nichterneuerbaren Primärenergiebedarf bei 79-88 %.

Einfluss von Klima und Dämmstandard

Bei sehr gut gedämmten Gebäuden konkurrenziert die Wärmerückgewinnung mit der Nutzung der internen und solaren Warmegewinne. Daraus kann gefolgert werden, dass eine Lüftungsanlage vor allem auch für Sanierungen oder Gebäude mit erhöhter Raumtemperatur oder in kaltem Klima ökologisch sinnvoll ist.

Laufzeit der Anlage

Aus Komfortgründen (Lärm, Staub, Pollen, Kühlung im Sommer) werden Lüftungsanlagen oft während dem ganzen Jahr betrieben. Wird die Laufzeit der Lüftungsanlage auf die Heizperiode beschränkt, lässt sich die ökologische Belastung je nach Klimaregion, Baustandard und Raumtemperatur (RT) stark verringern.

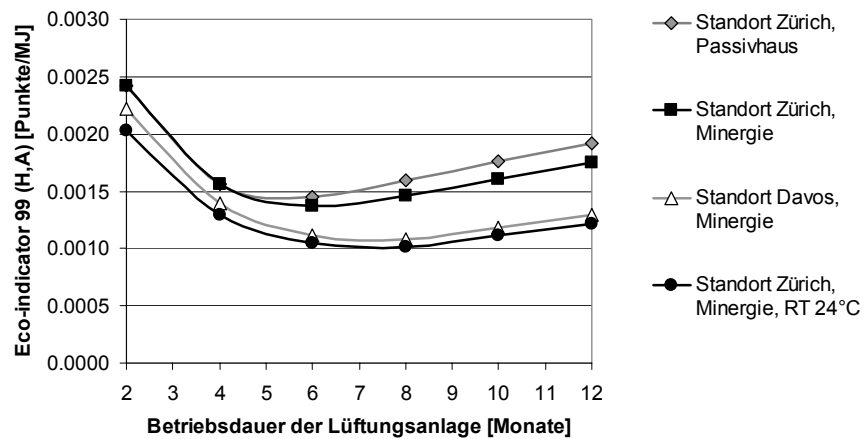


Abbildung Z.3 Einfluss der jährlichen Betriebsdauer auf die Umweltbelastung
(Eco-indicator 99 (H/A), Punkte pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion)

Variation der Luftmengen

Da sich die geförderte Luftmenge auf den Strombedarf und auf die Wärmeverluste auswirkt, ist eine optimierte, minimal notwendige Luftmenge wichtig (siehe Abbildung Z.4). Eine zu grosse Luftmenge verursacht zudem oft zu trockene Luft im Winter. Neben planerischen Massnahmen sollen auch vermehrt bedarfsgerechte Lüftungssteuerungen realisiert werden.

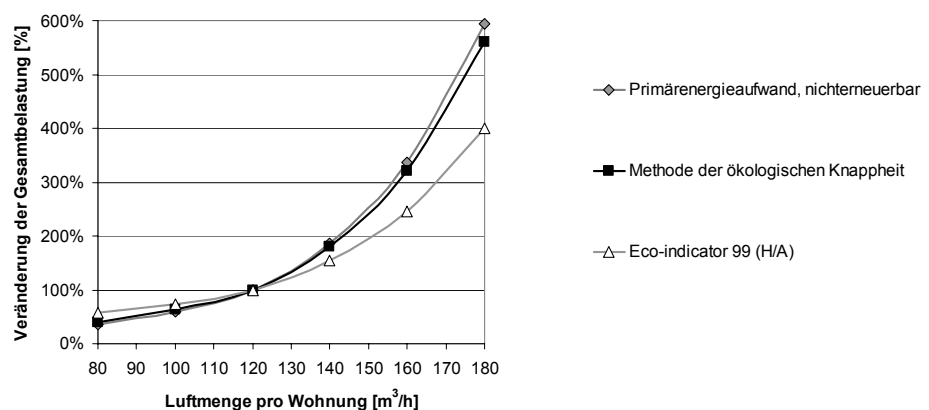


Abbildung Z.4 Einfluss der Luftmenge auf die Gesamtbelastung, Relativ zum Auslegungspunkt.

Vergleich zu natürlicher Belüftung

Durch den Einsatz eines Lüftungssystems wird gegenüber natürlicher Lüftung eine grosse Reduktion der Umweltbelastung erreicht. Dieses Resultat ist primär auf die starke Gewichtung des Ressourcenverbrauchs in der Eco-indicator 99 Methodik zurückzuführen. In Abbildung Z.5 sind die Umweltbelastungen durch die Beheizung eines gut gedämmten Gebäudes mit und ohne Lüftungsanlage dargestellt. Die Lüftungssysteme weisen ein Wärmerückgewinnungsgrad von 80 % und ein Strombedarf von 0.4 Wh/m^3 auf. Der Wert für die natürliche Lüftung entspricht der Standardnutzung nach SIA 380/1. Zur Deckung des Heizwärmebedarfs wird im gezeigten Beispiel eine kondensierende Gasheizung verwendet.

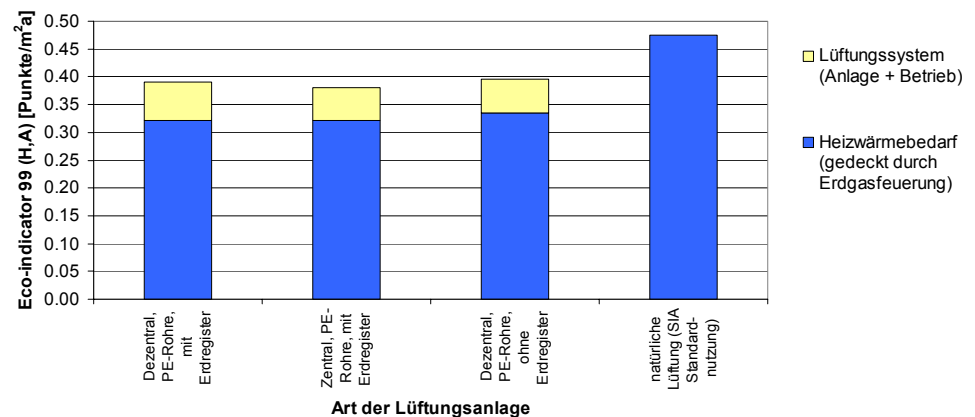


Abbildung Z.5 Umweltbelastung durch die Beheizung eines mechanisch belüfteten Gebäudes im Vergleich zu natürlicher Lüftung (Eco-indicator 99 H/A) pro Jahr, pro m^2 EBF

Die ökologisch optimale Lüftungsanlage

Die ökologisch optimierte Lüftung könnte etwa wie folgt beschrieben werden:

- Lüftungssystem mit zentralem Lüftungsgerät, Erdregister und in der Betondecke verlegten Polyethylenrohren für die Luftverteilung in der Wohnung
- robustes Lüftungsgerät, welches durch gute Komponentenaustauschbarkeit eine lange Lebensdauer erreicht
- Wärmetauscher mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 85 bis 90 %
- Ventilatoren mit geringem Stromverbrauch durch Verwendung von optimal ausgelegten DC oder EC-Motoren (insgesamt $0.3 \text{ Watt pro m}^3/\text{h}$ oder weniger).
- Luftverteilsystem mit einem geringen Druckabfall
- Luftmenge knapp auslegen und bedarfsgerechte Steuerung
- Betrieb der Lüftungsanlage nur während der Heizperiode
- Verwendung von zertifiziertem Ökostrom für den Betrieb der Lüftungsanlage

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einführung	1
1.1. Hintergrund dieser Untersuchung	1
2. Ziele und Vorgehen	2
2.1. Problemstellung und Ziel	2
2.2. Abgrenzung	2
2.3. Vorgehen	2
2.3.1 Systemgrenzen und Wahl der Inventarisierten Anlagen	3
2.3.2 Datenbeschaffung (Inventarisierung)	3
2.3.3 Bewertung und Interpretation	3
3. Systemgrenzen und Festlegungen	4
3.1. Funktionelle Einheit	4
3.2. Systemgrenzen und berücksichtigte Elemente	4
3.2.1 Systemgrenze	4
3.2.2 Berücksichtigte Elemente der Lüftungsanlage	5
3.2.3 Nicht berücksichtigte Elemente	6
3.3. Weitere Festlegungen	6
3.3.1 Festlegungen zur Laufzeit und Luftmenge der Lüftung	6
3.3.2 Festlegungen zum Gebäude	6
3.3.3 Festlegungen zu den Systemausführungen	7
3.3.4 Festlegungen zu den Lüftungswärmeverlusten	8
3.3.5 Transporte zur Baustelle	8
3.3.6 Entsorgung	8
3.4. Allokation und Cut-off Kriterien	8
3.5. Verwendete Inventardaten (ecoinvent)	9
3.6. Angewendete Bewertungsmethoden	9
4. Auswahl des Komfortlüftungssystems	10
4.1. Charakterisierung verschiedener Systeme	10
4.2. Wahl der zu bilanzierenden Systeme	12
5. Sachbilanzen der Systemkomponenten	12
5.1. Datengrundlagen	12
5.2. Aufbau der Sachbilanzprozesse	13
5.3. Sachbilanzen der Einzelkomponenten	14
5.3.1 Luftdurchlässe und Verteilkästen	14
5.3.2 Verrohrung vor Wohnungsverteiler	15
5.3.3 Verrohrung nach Wohnungsverteiler	16
5.3.4 Schalldämpfer und Luftfilter	17
5.3.5 Lüftungsgeräte, dezentral	17

5.3.6	Lüftungsgeräte, zentral	18
5.4.	Sachbilanz Lüftungsanlage komplett	19
5.5.	Sachbilanz Wohnraumlüftung	21
5.6.	Einbezug der Reduktion des Heizwärmebedarfs	22
6.	Resultate	24
6.1.	Anlagekomponenten	24
6.1.1	Systemvergleich	24
6.1.2	Hauptkomponenten	27
6.1.3	Einfluss der Lebensdauerannahmen	29
6.1.4	Einfluss der Verlegungsart	30
6.2.	Einfluss der Betriebsphase	32
6.2.1	Vergleich der Lüftungssysteme	33
6.2.2	Dämmstandard, Klimaregion	36
6.2.3	Strombedarf und Wärmerückgewinnungsgrad	38
6.2.4	Betriebsdauer	41
6.2.5	Einfluss der Luftmenge	43
6.2.6	Vergleich mit Heizsystemen	44
6.2.7	Strombezug	47
7.	Diskussion und Folgerungen	51
7.1.	Einflussfaktoren	51
7.2.	Energetische Parameter	51
7.2.1	Wärmerückgewinnungsgrad	51
7.2.2	Ventilatorstrombedarf	52
7.2.3	Verwendeter Strommix	52
7.3.	Betriebliche Parameter	52
7.3.1	Laufzeit der Lüftungsanlage	52
7.3.2	Luftmengen und deren bedarfsgerechte Steuerung	53
7.4.	Systemwahl	53
7.4.1	Zentral oder Dezentral?	53
7.4.2	Lüftungsrohre aus Stahl oder Polyethylen?	54
7.4.3	Verlegungsart der Lüftungsrohre	54
7.4.4	Erdregister ja oder nein?	55
7.4.5	Einfluss des Gebäudezustandes	55
7.5.	Die optimale Lüftungsanlage	56
8.	Review Bericht	57
8.1.	Zweck und Ablauf des Reviews	57
8.2.	Allgemeiner Eindruck	57
8.3.	Ziele und Vorgehen	57
8.4.	Systemcharakterisierung und Sachbilanzen	57
8.5.	Resultate	58
8.6.	Folgerungen und Diskussion	59
8.7.	Bericht	59

9. Literatur	60
10. Anhang	63
10.1. Grundlagen	63
10.1.1 Bauteillebensdauer	63
10.1.2 Verwendete Transportdistanzen	63
10.1.3 Gebäudekennwerte	64
10.2. Sachbilanzen, verwendete Basisdaten	66
10.2.1 Energiebedarf für den Herstellungsprozess	66
10.2.2 Anteil an Produktionsabfall bei der Herstellung	67
10.2.3 Basisinventare	68
10.2.4 Strommix auf Niederspannungsniveau	68
10.2.5 Energiebedarf, Betrieb Gebäudeinfrastruktur	69
10.2.6 Infrastruktur	70
10.3. Sachbilanzen, Einzelkomponenten	71
10.3.1 Luftdurchlässe und Verteilkästen	71
10.3.2 Verrohrung vor Wohnungsverteiler	72
10.3.3 Verrohrung nach Wohnungsverteiler	74
10.3.4 Schalldämpfer und Luftfilter	75
10.3.5 Lüftungsgeräte, dezentral	76
10.3.6 Lüftungsgeräte, zentral	78
10.3.7 Lüftungsanlage komplett, ecoinvent Datensatz	80
10.4. Resultattabellen	82
10.4.1 Lüftungsanlage, komplett	82
10.4.2 Wohnraumlüftung, Anlage inkl. Erneuerung	82
10.4.3 Wohnraumlüftung, Betrieb	85
10.5. Verwendete Bewertungsmethoden	88
10.5.1 Eco-indicator 99	88
10.5.2 Methode der ökologischen Knappheit	90
10.5.3 Kumulierter Primärenergieaufwand (KEA)	90

März 2004, B-3050.00-1 WPH / AP / CF

Basler & Hofmann
Ingenieure und Planer AG, Mitglied SIA/USIC

Zürich: Forchstrasse 395, CH-8029 Zürich
Tel. 01 387 11 22, Fax 01 387 11 00

Esslingen: Bachweg 1, CH-8133 Esslingen
Tel. 01 387 15 22, Fax 01 387 15 00

1. Einführung

Im vorliegenden Schlussbericht des Teilprojekts „Ökologie“ innerhalb des Untersuchungsprojektes "Gesundheitliche und ökologische Aspekte der Komfortlüftung" werden die Ergebnisse einer ökologischen Beurteilung von Komfortlüftungen neuerer Wohnbauten analysiert und dokumentiert.

1.1. Hintergrund dieser Untersuchung

Gut dämmende und somit sehr dichte Gebäudehüllen sind eine wichtige Grundlage für energiesparendes Bauen. Die dichten Gebäudehüllen ermöglichen es, die Energie im Innern zu behalten. Damit dennoch genügend Frischluft in den Innenraum dringt und keine gesundheitsgefährdenden Situationen entstehen, wird eine aktive Lüftung für energiesparende Bauten zu einem Muss.

Der Einbau einer Komfortlüftung kann als mögliche Lösung des Lüftungsproblems in Frage kommen. Sie bringt dank der Wärmerückgewinnung und dank der kontrollierten Luftmenge betriebs- und energietechnische Vorteile gegenüber anderen Lüftungssystemen (Fensterlüftung, mechanische Lüftung ohne Wärmerückgewinnung).

Bei den Komfortlüftungen mit Wärmerückgewinnung kommen vor allem zentrale Systeme (ein Gerät pro Haus) und dezentrale Systeme (ein Gerät pro Wohnung) zum Einsatz. Daneben werden von den Herstellern unterschiedliche Ausführungsvarianten (Materialien) angeboten.

Es ist noch kaum untersucht worden, wie sich diese Systeme über ihren ganzen Lebenszyklus in bezug auf die ökologischen Auswirkungen auf unsere Umwelt verhalten. Sind die Energieeinsparungen, die durch den Einbau einer Lüftungsanlage hervorgehen, in bezug auf die gesamte Umweltbelastung durch den Einbau, den Betrieb und den Rückbau der Anlage gerechtfertigt?

2. Ziele und Vorgehen

2.1. Problemstellung und Ziel

Da bezüglich der ökologischen Gesichtspunkte von Komfortlüftungssystemen über deren gesamten Lebenszyklus keine klaren Aussagen bekannt sind, werden diese Kriterien bis heute zu wenig beachtet. Solche Kriterien stehen überdies in einem Spannungsfeld mit vielen weiteren Aspekten wie Kosten, Akustik, Fertigungstechnik, Montagetechnik u.s.w.

Ziel dieser Studie ist es, die Umweltauswirkungen von Komfortlüftungssystemen auf der Basis eines Lebenszyklusansatzes mit Hilfe der Ökobilanzierung zu quantifizieren. Dabei soll ein Vergleich unterschiedlicher Systeme eine Aussage zum Einfluss der verschiedenen Komponenten oder Betriebsparameter ermöglichen. Im Weiteren wird die Umwelteffizienz mit Heizsystemen (Gas, Öl) verglichen. Aus den Resultaten sollen Optimierungspotenziale aufgezeigt werden.

2.2. Abgrenzung

Es handelt sich um eine Analyse verschiedener Fallbeispiele, aus welcher Handlungsanweisungen für Planer und Systemanbieter hervorgehen.

Diese Arbeit geht nicht weiter auf Aspekte wie Kosten, Komfort, Akustik, Fertigungstechnik und Montagetechnik ein, obwohl den Projektbeteiligten sehr bewusst ist, welche grosse Bedeutung auch in diesen Themen liegt. Dabei sei erwähnt, dass gerade akustische Probleme (im Sinne von zu hohen Gerätegeräuschen) derzeit wohl die häufigsten Ursachen von Beanstandungen bei Neuanlagen sind. Auch der Brandfall wird in dieser Arbeit nicht analysiert, da dies ein Ereignis ist, welches eine geringe Auftretenswahrscheinlichkeit hat und daher in den Bilanzrahmen einer Ökobilanz nicht eingeht. Natürlich sind die Auswirkungen im Brandfall stark von den verwendeten Materialien und dem Systemaufbau abhängig, haben jedoch üblicherweise nur eine Auswirkung auf die lokale Umgebung. Die Brandsicherheit ist ein wichtiger Aspekt in der Systemauslegung und die Einhaltung von Brandschutzvorschriften daher ein wichtiger Punkt (zugelassene Materialien und brandschutztechnisch korrekte Installation). Für diese Arbeit war jedoch nicht die Risikobeurteilung der Systeme das Ziel, sondern eine Beurteilung der globalen Auswirkungen auf die Umwelt.

Die in der Studie erarbeiteten Inventardatensätze werden für eine Verwendung in der Datenbank ecoinvent im EcoSpold Format erstellt und können somit ebenfalls in dieser Datenbank für weitergehende Untersuchungen verwendet werden.

2.3. Vorgehen

Die Vorgehensweise kann in drei Hauptschritte eingeteilt werden, welche nachfolgend kurz erläutert werden:

- Systemgrenzen und Wahl der inventarisierten Anlagen
- Datenbeschaffung (Inventarisierung, Sachbilanz)
- Bewertung und Interpretation

Die Vorgehensweise und die Resultate in diesen drei Schritten wurden zur Sicherung der Datenqualität durch ein externes Review überprüft. Der Reviewbericht ist in Kapitel 8 zu finden.

2.3.1 Systemgrenzen und Wahl der inventarisierten Anlagen

Im ersten Schritt wird das untersuchte System definiert und damit die anzuwendenden Systemgrenzen festgelegt (siehe Kapitel 3). Im Weiteren werden die zu vergleichenden Anlagen ausgewählt und die Unterschiede zwischen den Systemen werden analysiert (siehe Kapitel 4). Es sollen zwei Vergleiche stattfinden (siehe Abbildung 2.1), und zwar einerseits innerhalb eines Lüftungssystems zwei verschiedene Ausführungen und andererseits zwei verschiedene Lüftungssysteme.

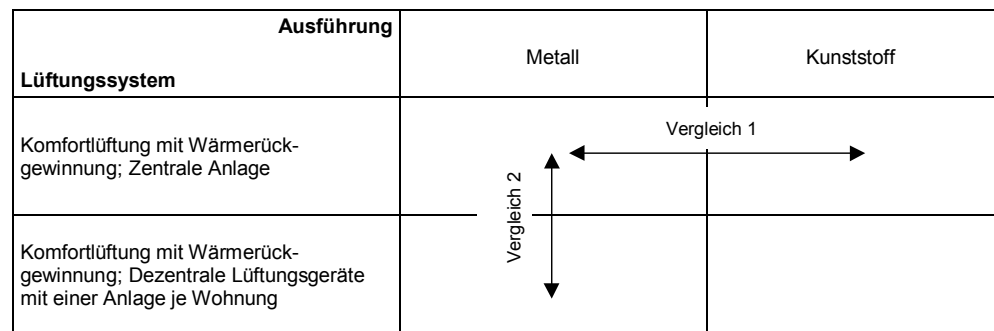


Abbildung 2.1 Wahl der zu vergleichenden Anlagen und Lüftungssysteme

2.3.2 Datenbeschaffung (Inventarisierung)

Die Anlagen werden im zweiten Schritt inventarisiert. Sowohl die Aufwendungen für die Materialbereitstellung und -Entsorgung (Geräte und Leitungen), als auch der Betriebsenergieaufwand werden erfasst. Für die Inventarisierung werden die benötigten Daten bei den verschiedenen Lüftungsfirmen erhoben und ausgewertet. Die Sachbilanzdaten der Hintergrundprozesse (Energiebereitstellung, Materialien, Entsorgung, Transporte) werden aus der Datenbank ecoinvent (Datenbestand Version 1.01, 2003) bezogen.

2.3.3 Bewertung und Interpretation

Die erhobenen Sachbilanzen werden anschliessend mit verschiedenen Bewertungsmethoden bewertet und die Resultate werden interpretiert. Für die Bewertung der Sachbilanzen kommen Eco-indicator 99, die Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97), der kumulierte nichterneuerbare Primärenergieaufwand (KEA) und die Berechnung des Klimaänderungspotentials zur Anwendung. Anhand einiger Sensitivitätsstudien werden die Robustheit der Resultate und die zugrunde liegenden Annahmen überprüft.

Erwartet werden Gesamtaussagen und vergleichende Analysen zu den beiden untersuchten Systemen und innerhalb des einen Systems zu den beiden Materialausführungen und zu den verschiedenen Komponenten.

3. Systemgrenzen und Festlegungen

3.1. Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit der Lüftungssysteme wird die Herstellung, die Erneuerung und die Entsorgung der gesamten Lüftungsanlage bezogen auf 1 m² Energiebezugsfläche und ein Jahr definiert. Für diese Berechnung werden die Aufwendungen für Herstellung, Erneuerung und Entsorgung entsprechend der jeweiligen Bauteillebensdauer auf ein Betriebsjahr bezogen¹. Die funktionelle Einheit wurde so gewählt, da im Gebäudebereich diese Bezugsgrösse üblich und weit verbreitet ist. Für die Vergleiche mit Einbezug der Betriebsphase wurde als funktionelle Einheit ein Bezug pro MJ Reduktion des Heizenergiebedarfs² gewählt. In der Betriebsphase ist neben dem Strombedarf der Grad der Wärmerückgewinnung und damit der Reduktion des Heizwärmebedarfs eine wichtige Grösse. Mit dem Bezug der Belastungen aus dem gesamten Lebenszyklus (inkl. Betriebsstrom) auf die Reduktion des Heizenergiebedarfs wird ein direkter Vergleich mit Heizsystemen erst möglich. Damit wird die Interpretation der Resultate stark erleichtert. Für die Sachbilanzen der einzelnen Systemkomponenten wird je nach Bauteil die funktionelle Einheit mit Stück (Bauelemente) oder Meter (Lüftungsleitungen) festgelegt.

3.2. Systemgrenzen und berücksichtigte Elemente

3.2.1 Systemgrenze

Die innerhalb den Systemgrenzen berücksichtigten Elemente sind in Abbildung 3.1 dargestellt.

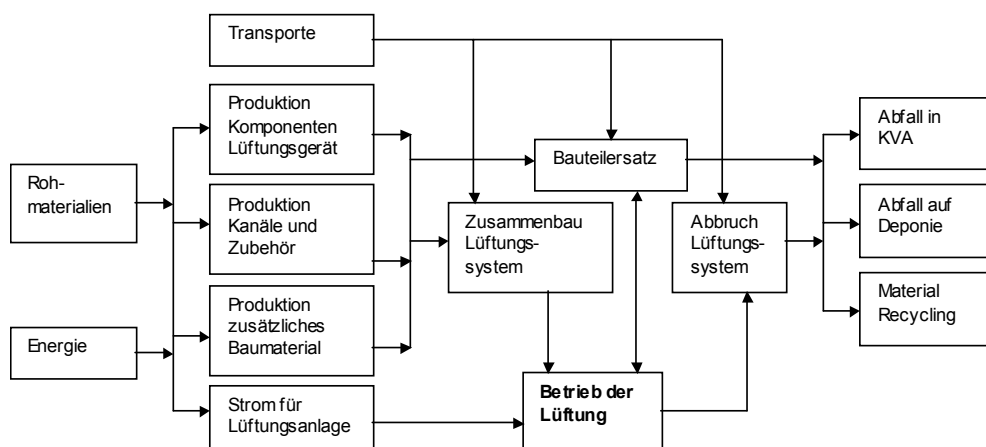


Abbildung 3.1 Struktur der berücksichtigten Elemente

Folgende Elemente wurden in die Betrachtungen einbezogen:

- Herstellung der Einzelkomponenten sowie der Lüftungsrohre.
- Herstellung von Bauelementen welche durch den Einbau des Lüftungssystems beeinflusst werden (z.B. verdrängte Betonmasse, verstärkter Unterlagsboden).

¹ z.B. für das Lüftungsgerät mit 20 Jahren Lebensdauer 1/20 der Aufwendungen.

² Reduktion des Heizwärmebedarfs gegenüber einem Haus ohne Lüftungsanlage (s. Kapitel 3.3.4)

- Transporte innerhalb der Komponentenproduktion sowie der Materialtransporte auf die Baustelle.
- Ersatz von Komponenten der Lüftungsanlage während der Lebensdauer der Anlage (z.B. Filter, Wärmetauscher).
- Abbruch und Entsorgung der Anlagekomponenten am Ende der Lebensdauer.
- Für Vergleiche mit Einbezug der Betriebsphase werden zudem der Stromverbrauch der Lüftungsanlage und die Reduktion des Heizwärmebedarfs durch die Lüftungsanlage berücksichtigt.

Für den Anlagenvergleich werden folgende Varianten in Betracht gezogen:

- Dezentrale Lüftungsgeräte mit einer Anlage je Wohnung ($120 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Zentrale Ausführung der Lüftungsanlage für 6 Wohnungen ($720 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Ausführung der Lüftungsrohre in Stahlblech.
- Ausführung der Lüftungsrohre in Kunststoff (PE).

Für die Sensitivitätsanalyse werden folgende Parameter variiert:

- Grad der Wärmerückgewinnung im System (Variation zwischen 60 und 95 %).
- Höhe des Ventilatorenstromverbrauchs; Variation zwischen $0.3\text{--}1.0 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$.
- Betriebsdauer der Lüftungsanlage (2-12 Monate).
- Variation der Luftmenge ($80\text{--}180 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Verwendeter Strommix (CH + Import, Strom aus GuD-Kraftwerk³, Ökostrom⁴).

Die Sensitivitätsanalysen werden mit den aggregierten Daten vorgenommen (mit Eco-indicator 99, Methode der ökologischen Knappheit).

3.2.2 Berücksichtigte Elemente der Lüftungsanlage

Folgende Einzelkomponenten der Lüftungsanlage werden in der Herstellung, dem Betrieb und der Entsorgung berücksichtigt:

- Lüftungsgerät (Ventilatoren, Wärmetauscher, Gehäuse, Steuerung)
- Erdregister
- Luftleitungen vor und nach dem Verteiler
- Luftverteiler
- Schalldämpfer
- Luftdurchlasse (Zuluft, Abluft)

Zusätzlich werden Bauelemente berücksichtigt, welche durch den Einbau des Lüftungssystems stark beeinflusst werden. Dies betrifft folgende Elemente:

- Veränderung der Betonmasse bei einer Verlegung der Lüftungsrohre in der Geschossdecke.
- Veränderung der Dämmplattenstärke bei einer Verlegung der Lüftungsrohre im Unterlagsboden (z.B. EPS Dämmplatten um 30 - 55 mm stärker).
- Erdaushub, welcher durch die Verlegung des Erdregisters bedingt ist.

Folgende Prozesse werden innerhalb der Prozesskette der Lüftungsbestandteile nur abschätzungsweise berücksichtigt:

- Energieaufwendungen für die Herstellung der Einzelkomponenten für welche keine spezifischen Daten von Lieferanten erhältlich sind (siehe Sachbilanzen).

³ Strom, Niederspannung, GuD-Kraftwerk, beste Technologie, als Grenzbetrachtung

⁴ z.B. Naturemade Star. Für die Resultate wurde Strom aus Wasserkraft und Photovoltaik betrachtet.

- Infrastruktur der Produktionsbetriebe für die Herstellung der Lüftungskomponenten.

3.2.3 Nicht berücksichtigte Elemente

Folgende Elemente und Prozesse werden nicht berücksichtigt:

- Transmissionswärmeverluste der Luftleitungen und des Gebäudes.
- Kühlwirkung des Erdregisters im Sommer (keine Substitution von anderen Energieträgern).
- Bau und Entsorgung des Gebäudes, mit Ausnahme der Bauteile welche infolge der Lüftungsanlage zusätzlich eingebaut oder weggelassen werden.
- Allgemeine Bauprozesse wie z.B. Energiebedarf für Licht oder Bautrocknung sowie z.B. auch Kranstunden.
- Wartungsaufwände wie z.B. Reinigung der Lüftungsrohre. Berücksichtigt wird dagegen der Ersatz von Komponenten mit geringer Lebensdauer wie z.B. Filter.

3.3. Weitere Festlegungen

3.3.1 Festlegungen zur Laufzeit und Luftmenge der Lüftung

Für die Bewertung der Stromverbräuche wird ein ganzjähriger Betrieb der Lüftungsanlage angenommen (Laufzeit 8760 h/a). Diese Betriebsart ist aus Komfortgründen (Lärmschutz, etc.) immer häufiger, als ein Betrieb nur in der Heizperiode und wird daher als Standardfall angesehen. Die Luftführung wird als Kaskadenlüftung ausgebildet. Es wird von einer Luftmenge von 120 m³/h pro Wohnung ausgegangen (Standardbetrieb).

3.3.2 Festlegungen zum Gebäude

Die Betrachtungen beziehen sich auf einen Gebäudeneubau. Es werden zwei Grundvarianten des Lüftungssystems untersucht:

- Variante mit dezentralen Lüftungsgeräten (siehe Abbildung 3.2)
- Variante mit zentralen Lüftungsgeräten (siehe Abbildung 3.3)

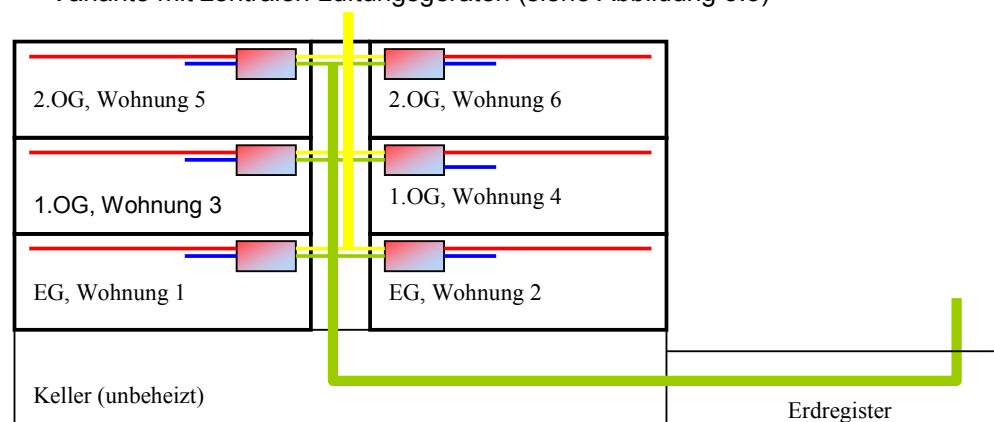


Abbildung 3.2 Prinzipschema Gebäudevariante mit 6 dezentralen Lüftungsgeräten System mit Erdregister. Bei System ohne Erdregister direkte Luftzu- und -abfuhr über Fassade.

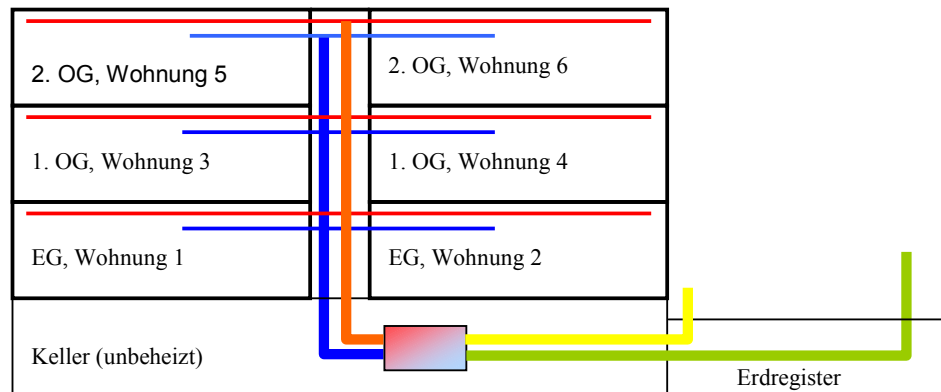


Abbildung 3.3 Prinzipschema Gebäudevariante mit einem zentralen Lüftungsgerät System mit Erdregister

Für die Festlegung der Leitungslängen und weiteren Dimensionierungsparameter wird von einem Mehrfamilienhaus mit sechs 4 ½ Zimmer Wohnungen mit je 106 m² Wohnfläche (ohne Treppenhaus und Kellerflächen) ausgegangen. Als Energiebezugsfläche wird in den Berechnungen ein Wert von 130 m² pro Wohnung verwendet. Für das Erdregister wird von vier parallelen Erdregisterrohren (Ø 200 mm) mit einer Länge von je 30 m ausgegangen. Es wird eine Gebäudelebensdauer von 80 Jahren angenommen.

3.3.3 Festlegungen zu den Systemausführungen

Folgende Randbedingungen gelten für die beiden Systemausführung (dezentral und zentral):

- Lüftung mit Wärmerückgewinnung und Erdregister; keine Luftheizung, keine Lufterwärmer.
- Schalldämmung: 25 dBA in Aufenthaltsräumen.
- Ausbalanciertes System (Zuluftmenge = Abluftmenge).
- Aussenluftzufuhr über Erdregister ins Gebäude (Kellergeschoss).
- Fortluftabfuhr von Lüftungsgerät auf dem kürzesten Weg nach aussen.
- Kochstellenabluft unabhängig separat gelöst (nicht Gegenstand der Untersuchung).

Folgende Festlegungen gelten spezifisch für die dezentrale Variante:

- Aussenluftzufuhr über Steigzone zu den dezentralen Lüftungsgeräten in den Wohnungen.
- Volumenstrom für Standardbetrieb ca. 120 m³/h pro Lüftungsgerät.
- Anzahl Luftleitungen in der Steigzone ist nicht definiert (systemabhängig ob und wo sich ein Luftverteiler befindet).

Folgende Festlegungen gelten spezifisch für die zentrale Variante:

- Luftzufuhr von Lüftungsgerät über Steigzone zu den Verteilern in den Wohnungen.
- Volumenstrom für Standardbetrieb ca. 720 m³/h für das Lüftungsgerät.
- Anzahl Luftleitungen in der Steigzone ist nicht definiert (systemabhängig ob und wo sich ein Luftverteiler befindet).

- Abluftabfuhr von den Verteilern in den Wohnungen über Steigzone zum Lüftungsgerät im Keller.

3.3.4 Festlegungen zu den Lüftungswärmeverlusten

Für die Berechnung der durch die Gebäudeheizung zu kompensierenden Lüftungswärmeverluste wird von einem gut gedämmten, dichten Neubau ausgegangen. Für den Aussenluftvolumenstrom ohne Lüftungsanlage wird ein Wert von $0.7 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ festgelegt. Dieser Wert entspricht dem Rechenwert für die Standardnutzung von Wohngebäuden nach der SIA Norm 380/1 (SIA 380/1, 2001).

Bei der Berechnung mit Lüftungsanlage wird für den Aussenluftvolumenstrom, welcher durch Gebäudeundichtheiten entsteht, mit einem Wert von $0.15 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ gerechnet. Dieser Wert entspricht dem Rechenwert für den Nachweis mit Lüftungsanlage nach MINERGIE (MINERGIE, 2003).

Die Lüftungsverluste und die Reduktion des Heizwärmebedarfs durch die Lüftungsanlage werden gemäss der SIA Norm 380/1 (SIA 380/1, 2001) aus den oben festgelegten Daten errechnet. Als Klimareferenz wird der Standort Zürich SMA gewählt. Als Variante mit kälterem Klima werden Berechnungen mit Davos als Gebäudestandort durchgeführt. Weitere Festlegungen zum Gebäude sind im Anhang in Tabelle 10.3 zu finden.

3.3.5 Transporte zur Baustelle

Für die Abschätzung der Transporte zur Baustelle wird ein Gebäudestandort in der Agglomeration Zürich angenommen.

3.3.6 Entsorgung

Es wird von einer sachgerechten Entsorgung ausgegangen. Für einzelne Materialien wird entsprechend den Resultaten aus der Erhebung bei den Herstellern von einem teilweisen Materialrecycling ausgegangen. Die Entsorgungsprozesse basieren auf (Doka, 2003).

3.4. Allokation und Cut-off Kriterien

Entstehen bei Prozessen neben dem interessierenden Erzeugnis noch andere Produkte (Koppelprodukte, Nebenprodukte, Abfälle) so muss eine Allokation der Aufwendungen und Emissionen vorgenommen werden, sofern diese nicht durch eine Erweiterung der Systemgrenzen vermieden werden kann. Die Allokation von Produkt und Koppelprodukt wird jeweils aufgrund von physikalischen oder ökonomischen Gesetzmässigkeiten vorgenommen und ist in der jeweiligen Sachbilanz dokumentiert.

Bei Prozessabfällen, welche rezykliert oder thermisch verwertet werden können (Metallspäne, Spritzgussabfälle, Kunststoffteile, etc.) sowie für rezyklierte Teile bei der Entsorgung des Systems, wird eine Strategie ohne Gutschriften oder Allokation von Aufwendungen gewählt (cut-off Ansatz). Dieser Ansatz führt zu folgenden Festlegungen:

- Keine Energie- und Umweltbelastungs-Gutschrift für Energierückgewinnung (z.B. von Kunststoff in KVA).

- Gutschrift für das Rezyklieren erfolgt nicht, aber auch keine Belastung durch den üblichen Recyclingprozess und die dafür notwendigen Transporte.
- Belastung des Rezyklates nur mit den durch den Recyclingprozess verursachten Umweltbelastungen.

3.5. Verwendete Inventardaten (ecoinvent)

Als Datengrundlage für Hintergrundprozesse werden die Sachbilanzdaten und die bewerteten Ergebnisse aus der Datenbank ecoinvent Datenbestand 1.01 (2003) verwendet (www.ecoinvent.ch).

Das Schweizer Zentrum für Ökoinventare⁵ hat zusammen mit verschiedenen Bundesämtern im Jahr 1998 das Projekt ecoinvent 2000 gestartet. Im Rahmen des Projektes ecoinvent 2000 wurden konsistente, generische Ökobilanzdaten für eine Vielzahl von Produkten und Dienstleistungen erarbeitet. Der ecoinvent Datenbestand Version 1.01 enthält Daten, welche auf die Produktions- und Versorgungssituation des Jahres 2000 Bezug nehmen. Der geographische Geltungsbereich umfasst einerseits die Schweiz, andererseits den westeuropäischen Raum.

3.6. Angewendete Bewertungsmethoden

Zur Darstellung der Resultate werden die Sachbilanzdaten mit den Wirkungskategorien der Bewertungsmethode Eco-indicator 99, Typus Hierarchist (H/A) bewertet (Goedkoop & Spriensma, 2000). Dabei werden folgende Schutzgüter unterschieden:

- Menschliche Gesundheit: Wirkungskategorien Klimawandel, Ozonabbau, Atemwegserkrankungen, Krebserregende Stoffe und Radioaktive Strahlung
- Ökosystemqualität: Wirkungskategorien Versauerung & Eutrophierung, Ökotoxizität und Landnutzung
- Ressourcen: Wirkungskategorien Fossile und Mineralische Ressourcen

Im Weiteren wird eine Bewertung der Substanzen, welche zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen (global warming potential, GWP 100) nach den Grundlagen von (IPCC, 2001) durchgeführt. Es werden die Faktoren für einen Zeithorizont von 100 Jahren berücksichtigt. Für die Bewertung der Resultate werden zudem folgende vollaggregierenden Methoden angewendet:

- Methode der ökologischen Knappheit. Als Umweltbelastungspunkte UBP'97; (BUWAL, 1998).
- Kumulierter Energieaufwand, nichterneuerbar (fossil und nuklear). Bewertungsgrundlagen gemäss (Frischknecht et al., 2003b).

Weitere Erläuterungen zu den verwendeten Bewertungsmethoden sind im Anhang in Kapitel 10.5 zu finden.

⁵ Das Schweizer Zentrum für Ökoinventare umfasst Institute bzw. Abteilungen der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ), der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), dem Paul Scherrer Institut, Villigen (PSI), der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf und St. Gallen (EMPA), der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf (EAWAG) und von Agroscope FAL Reckenholz.

4. Auswahl des Komfortlüftungssystems

4.1. Charakterisierung verschiedener Systeme

Für die Inventare wurden zwei von der Materialisierung möglichst unterschiedliche Systeme gewählt. Damit wird der Einfluss der Materialien auf das Gesamtergebnis aufgezeigt. Zudem wurden für ein System auch Varianten mit dezentralen und zentralen Lüftungsgeräten betrachtet. Auf dem Markt sind verschiedene Systeme erhältlich, welche sich in der Konzeption wie auch in der Materialwahl unterscheiden. In den nachfolgenden Kapiteln sind fünf Komfortlüftungssysteme kurz beschrieben. Die wichtigsten Kenndaten dieser Systeme wurden in einer Matrix zusammengefasst. Aufgrund dieser Daten wurden auch die zu inventarisierenden Systeme ausgewählt. Die Auswahl der Systeme erfolgte dabei aufgrund folgender Kriterien:

- Material der Zu- und Abluftleitungen innerhalb der Wohnung
- Material der Zu- und Abluftleitungen ausserhalb der Wohnung (vor Verteiler)
- Dimension und Anzahl der Luftleitungen vor und nach dem Verteiler
- Wichtigste Verlegungsart im Gebäude (in Beton, Unterlagsboden, unter Decke)
- Gewicht und Hauptmaterial des Lüftungsgerätes
- Ausführung des Systems auch mit zentraler Lüftungseinheit möglich

Natürlich sind noch weitere Komfortlüftungssysteme auf dem Markt erhältlich. Es war jedoch nicht das Ziel der Arbeit alle erhältlichen Systeme zu untersuchen, sondern zwei charakteristische und häufig verwendete System. Daher wurden für diese Charakterisierung fünf typische Systeme ausgewählt.

Das System „ComfoTube“ (Zehnder Comfosystems AG)

Ein Gesamtsystem für die Wohnraumbelüftung mit Luftleitungen aus flexiblen Kunststoffrohren mit unterschiedlichen Durchmessern, Lüftungsgeräten und sämtlichem Zubehör. Die flexiblen PE-Rohre (ausser gerippt, innen glatt) werden auch für Erdregister eingesetzt. Für das System sind auch Lüftungsgeräte mit stromsparenden Gleichstrom-Motoren angeboten.

Das System „Helios“ (Helios Ventilatoren AG)

Es handelt sich um ein Gesamtsystem für die Wohnraumbelüftung mit Luftleitungen aus flexiblen Kunststoffrohren mit unterschiedlichen Durchmessern, Lüftungsgeräten und sämtlichem Zubehör. Die flexiblen PE-Rohre (ausser gerippt, innen glatt) werden auch für Erdregister eingesetzt. Es wird auch ein Lüftungsgerät mit stromsparenden EC-Motoren⁶ angeboten.

Das System „Pluggit“ (Gehr. Tobler AG)

Beim Pluggit handelt es sich um ein Komplettsystem für die Wohnraumbelüftung mit Luftleitungen aus flexiblen Kunststoffrohren mit ovalem Querschnitt. Die Wanddurchlässe ermöglichen die Integration einer Elektro-/Kommunikationsversorgung. Der Verteiler ist in einem Verteilkasten übersichtlich angeordnet und jederzeit zu-

⁶ Elektronisch kommutierter Antriebsmotor (lineare Kennlinie)

gänglich. Zudem besteht für jede Raumverteilung eine einfache Drosselmöglichkeit.

Das System „Schrag“ (Visionair/Vescal AG)

Ein bereits etwa dreissigjähriges Komplettsystem für die Wohnraumbelüftung (und Luftheizung) mit Luftleitungen aus verzinktem Blech mit rechteckigem Querschnitt und Bodendurchlässen. Die Zuluftleitungen werden in der Regel im Unterlagsboden verlegt. Am Verteiler besteht für jede Raumzuleitung eine einfache Drosselmöglichkeit (nach Einbau nur noch schwer zugänglich).

Das System „SM-Heag“ (SM-Heag AG)

Es handelt sich um ein Gesamtsystem für die Wohnraumbelüftung mit Luftleitungen aus starren Kunststoffrohren mit Formstücken und einheitlichem Durchmesser, Lüftungsgeräten und sämtlichem Zubehör. Die starren PE-Rohre werden auch für Erdregister eingesetzt. Zudem wird ein Lüftungsgerät mit stromsparenden EC-Motoren angeboten.

Charakterisierung der Systeme

In Tabelle 4.1 sind einige charakteristische Merkmale der fünf betrachteten Lüftungssysteme dargestellt:

Tabelle 4.1 Charakterisierung der Lüftungssysteme

System	ComfoTUBE/ Zehnder Comfosystem	HELIOS	PLUGGIT/ Tobler	SM-HEAG	Visionair/ Vescal (Schrag)
Material, Dimension und Anzahl der Lüftungsrohre					
Aussenluft	Stahl verzinkt	Stahl verzinkt	Stahl verzinkt	PE, D _a 56 mm	Stahl verzinkt
Zuluft *)	PE, D _a 75 mm	PE, D _a 75 mm	PE, 50x92 mm	PE, D _a 56 mm	Stahl, 50x100
Anzahl Rohre	5	5	6	6	5
Abluft *)	PE, D _a 75 mm	PE, D _a 75 mm	Stahl, DN 80	Stahl, DN 125	Stahl, 50x100
Anzahl Rohre	5	3	2	2	5
Fortluft	Stahl verzinkt	Stahl verzinkt	Stahl verzinkt	Stahl verzinkt	Stahl verzinkt
Zu / Abluftrohre, Verlegungsart und Oberfläche					
Geschossdecke	ja	ja	ja	ja	ja
Unterlagsboden	-	ja	ja, nur Zuluft	ja, nur Zuluft	ja
Kanalquerschnitt	rund; aussen gerippt; innen glatt	rund; aussen gerippt; innen glatt	oval; aussen gerippt; innen gerippt	rund; aussen und innen glatt	rechteckig; aussen und innen glatt
Steifigkeit	flexibel	flexibel	flexibel	starr	starr
Lüftungsgerät für dezentrale Anordnung (Luftmenge 120 m ³ /h)					
Gewicht	35 kg	40 kg	35 kg	65 kg	60 kg
Wärmetauscher	Polystyrol	Aluminium	Aluminium	Aluminium	PET **)
Lüftungsgerät für dezentrale Anordnung (Luftmenge 720 m ³ /h)					
Gewicht	120 kg	170 kg	-	-	-
Wärmetauscher	Aluminium	Aluminium	-	-	-

*) bezieht sich auf die Luftleitungen innerhalb der Wohnung (Zu- bzw. Abluft)

**) Material Wärmetauscher: Polyethylentheremphtalat

4.2. Wahl der zu bilanzierenden Systeme

Systemdefinition

Aufgrund der in Tabelle 4.1 dargestellten Charakteristika sowie den von den Lüftungsfirmen erhaltenen Daten⁷ wurden die beiden bilanzierten Systeme definiert. Für den „Kunststofftyp“ wurde ein System bilanziert, das sowohl auf Zu- wie auf Abluftseite flexible Kunststoffrohre verwendet (vergleichbar mit System Zehnder Comfosystem bzw. Helios). Für die zweite Materialvariante wurde für alle Lüftungsrohre mit Ausnahme des Erdregisters verzinktes Stahlblech als Material verwendet (vergleichbar mit System Schrag [Visionair/Vescal]).

Verlegung der Luftleitungen

Für die Luftleitungen innerhalb der Wohnungen wurde als Standardvariante bei allen betrachteten Systemen von einer Verlegung in der Geschossdecke ausgegangen. Diese Verlegungsart ist vor allem bei Neubauten häufig und kann bei allen Systemen angewandt werden.

Lüftungsgerät

Bei den Lüftungsgeräten sind grössere Unterschiede bezüglich des Gesamtgewichts ersichtlich. Aus diesem Grund wurden sowohl für die dezentrale wie auch für die zentrale Systemvariante in der Bilanzierung mehrere Geräte berücksichtigt. Für die Berechnungen wurde ein mittleres Inventar aus den bilanzierten Geräten verwendet. Für die Sensitivitätsbetrachtung wurden jedoch einzelne Sachbilanzen für die verschiedenen Geräte erstellt.

5. Sachbilanzen der Systemkomponenten

5.1. Datengrundlagen

Erhebung mit Fragebogen

Die Erhebung der Sachbilanzen der fünf in Betracht gezogenen Lüftungssysteme erfolgte mit einem Fragebogen, in welchem die notwendigen Daten von den Herstellern erfragt wurden. Folgende Daten wurden dabei erfragt:

- Art und Menge der verwendeten Materialien der Komponenten.
- Informationen zur Herstellung der Komponenten (Energiebedarf, Prozess).
- Transportdistanzen zwischen Hersteller und Händler bzw. Anwender.
- Informationen zum Herstellerwerk.
- Informationen zur Entsorgung der Geräte nach Ende der Lebensdauer.

Alle beteiligten Firmen wurden ersucht, ihre Anlagencharakterisierung (Art und Anzahl der verwendeten Komponenten) nach einem vorgegebenen Gebäudebeispiel vorzunehmen (siehe 3.3.2).

Bilanzierung fehlender Daten

Für die Auswertung konnten die ausgefüllten Fragebögen von drei Firmen berücksichtigt werden. Dabei stellte sich heraus, dass vor allem die Fragen zum Herstellungsprozess (Emissionen und eingesetzte Energiemengen) von den Firmen kaum beantwortet werden konnten. Neben der Einschränkung, dass die Bauteile teilweise über mehrere Zwischenstufen vertrieben werden und somit der effektive Hersteller nur schwierig in eine solche Erhebung einzubeziehen ist, stellten sich auch Probleme aufgrund der Vertraulichkeit von Produktionsdaten.

⁷ Daten zu den einzelnen Systemen wurde mittels Fragebogen bei den verschiedenen Lüftungsherstellern erfragt.

Aufgrund der dürtigen Datenlage aus der Erhebung mussten diese fehlenden Daten mit Abschätzungen aus vergleichbaren Produktionsstätten und Literaturangaben ergänzt werden.

5.2. Aufbau der Sachbilanzprozesse

Bilanzierte Prozessschritte

In Abbildung 5.1 und Abbildung 5.2 ist der Aufbau der Bilanzen für den Herstellungsprozess der Einzelkomponenten sowie der kompletten Lüftungsanlage ersichtlich (inkl. Entsorgung). Abbildung 5.3 zeigt den Aufbau des Inventars für den Betrieb des Lüftungssystems (Bezugsgrösse pro m² und Jahr).

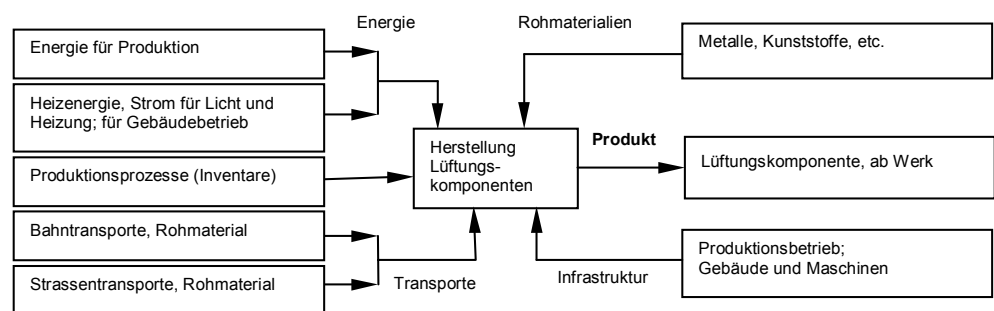


Abbildung 5.1 Prozessschema, Produktion Einzelkomponenten, ab Werk

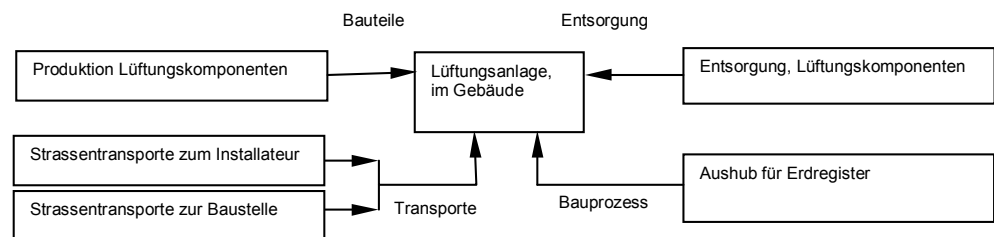


Abbildung 5.2 Prozessschema, Lüftungsanlage komplett, im Gebäude

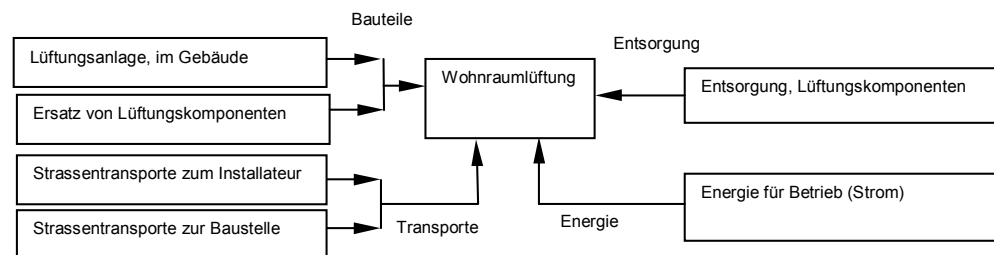


Abbildung 5.3 Prozessschema, Wohnraumlüftung

Materialmenge und Herstellungsenergie

In den Sachbilanzen der Einzelkomponenten wurde neben den verwendeten Materialien auch die für die Produktion verbrauchte Energie berücksichtigt. Zu diesen Energiemengen waren aus der Befragung keine Angaben verfügbar. Daher wurden diese Energiemengen aus den Angaben zum Produktionsprozess und spezifischen Energiekennzahlen berechnet. Details zu den verwendeten Kennzahlen sind im Anhang Kapitel 10.2.1 zu finden. Der Anfall an Produktionsabfall wurde im Rohmaterialbedarf berücksichtigt. Da keine bauteilspezifischen Angaben verfügbar waren, wurden diese Anteile abgeschätzt. Im Anhang in Tabelle 10.8 sind die verwendeten Anteile aufgeführt. Für die Entsorgung dieser Abfälle wurde entweder

Betrieb und Herstellung der Infrastruktur	ein Recycling (Metalle) oder eine Verbrennung in einer Kehrichtverbrennungsanlage angenommen (Kunststoffe, Karton, Farbreste). Neben den direkten herstellungsspezifischen Energiemengen wird Energie für den Betrieb der Gebäudeinfrastruktur der Herstellerwerke benötigt (Heizung, Licht). Diese Angaben wie auch die entsprechenden Aufwendungen für die Infrastruktur (Gebäude, Maschinen) wurden aus Umweltberichten ähnlich gelagerter Firmen entnommen, da kaum produktspezifische Angaben der Herstellerbetriebe verfügbar waren (siehe Kapitel 10.2.5 und 10.2.6 im Anhang).
Verwendete Transportdistanzen	Aus den Fragebogen waren Angaben zu den Transporten vom Hersteller zum Händler in der Schweiz verfügbar. Für die Transporte von Rohmaterialien zu den Herstellerwerken waren jedoch keine Angaben vorhanden. Für diese Transporte wurden die in ecoinvent verwendeten Standarddistanzen verwendet. Die verwendeten Distanzen sind im Anhang in Kapitel 10.1.2 ersichtlich. Für die Transporte der Bauteile zur Baustelle wurde ein Gebäudestandort in der Region Zürich angenommen (50 km mit Lieferwagen, < 3.5 t).
Lüftungsanlage komplett	Aus den erhobenen Daten waren Angaben über den Bedarf an einzelnen Lüftungskomponenten vorhanden (Anzahl, bzw. Länge). Aus diesen Angaben wurden Bilanzen für die kompletten Lüftungssysteme erstellt. In diesen Sachbilanzen werden sowohl die Herstellung wie auch die Entsorgung der Komponenten berücksichtigt. Für die Transporte wurde eine Installation im Grossraum Zürich berücksichtigt. Der Betrieb der Anlage (Strombedarf) sowie der Ersatz von Komponenten sind auf dieser Inventarstufe noch nicht berücksichtigt.
Betrieb der Lüftungsanlage	Für die Bilanzierung des Betriebs der Lüftungsanlage wurde neben dem Lüftungssystem auch der Ersatz von Einzelkomponenten berücksichtigt (Herstellung und Entsorgung). Dabei wurden die notwendigen Bauteilmengen entsprechend der Komponentenlebensdauer mit Bezug auf ein Betriebsjahr und 1 m² Energiebezugsfläche berechnet. In diesen Prozessen wurde die Betriebsenergie (v.a. Ventilatorstrom) einbezogen, nicht jedoch die Reduktion des Heizenergiebedarfs durch die Lüftungsanlage. Für die Resultatdiskussion werden die Daten zudem bezogen auf 1 MJ Reduktion des Heizenergiebedarfs berechnet um direkte Vergleiche mit dem Betrieb von Heizungssystemen zu ermöglichen.

5.3. Sachbilanzen der Einzelkomponenten

5.3.1 Luftdurchlässe und Verteilkästen

Einige Kennwerte zu den Sachbilanzen der Aussenluftfassung, Fortluftdurchlass, Zuluftdurchlass, Abluftventil, Luftverteilkasten, und der Überströmelemente sind in Tabelle 5.1 ersichtlich. Diese Bauteile bestehen zur Hauptsache aus Stahl (verzinktes Blech, bzw. rostfreies Stahlrohr bei der Aussenluftfassung). Daneben enthalten sie aber auch Teile aus Aluminium, Kunststoff oder Gummi. Der Herstellungsprozess erfolgt primär aus Blech, das gestanzt, gebogen und zum fertigen Bauteil verbunden wird (Schweissen, Nieten). Zum Teil erfolgt bei diesen Bauteilen zudem eine zusätzliche Oberflächenbehandlung durch Pulverlackierung. Die detaillierten Sachbilanzen zur Herstellung und Entsorgung dieser Komponenten sind im Anhang in Kapitel 10.3.1 zu finden.

Tabelle 5.1 Kennwerte, Luftdurchlässe und Verteilkästen

Datenwert	Name	Aussenluftfassung, Edelstahl, DN 370, ab Werk	Dachdurchführung, Stahl, DN 400, ab Werk	Fortluftauslass, Stahl / Alu, 85x365 mm, ab Werk	Zuluftfeinlass, Stahl / SS, 75 LLA, ab Werk	Abluftventil, UP- Gehäuse, Kunststoff / Stahl, DN 125, ab Werk	AP-Luftverteilkasten, Stahl, 120 m ³ /h, ab Werk	Überströmelement, Stahl, ca. 40 m ³ /h, ab Werk
	Location	RER	CH	CH	RER	CH	CH	RER
	Einheit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Gesamtgewicht, Komponente	kg	3.20E+1	1.70E+1	2.50E+0	2.20E+0	5.00E-1	9.50E+0	1.10E+0
Strombedarf Fertigung	kWh	1.77E+0	3.04E+0	1.07E+0	5.85E-1	1.77E-1	1.81E+0	2.95E-1
Anteil Strombedarf Gebäude	kWh	3.84E+0	2.04E+0	3.00E-1	2.64E-1	6.00E-2	1.14E+0	1.32E-1
Anteil Heizwärmebedarf Gebäude	MJ	1.34E+2	7.14E+1	1.05E+1	9.24E+0	2.10E+0	3.99E+1	4.62E+0
Transport LKW ab Werk bis Installateur in der Schweiz	km	1.10E+2	5.20E+1	5.20E+1	2.20E+2	5.20E+1	3.00E+1	2.20E+2
Hauptdatenquelle	-	Helios	Helios	Helios	Comfosys.	Helios	Comfosys.	Comfosys.

5.3.2 Verrohrung vor Wohnungsverteiler

Die Verrohrung vor dem Verteiler in den einzelnen Wohnungen wird in Mehrfamilienhäusern meist mit Wickelfalzrohren aus verzinktem Stahlblech ausgeführt. Für Verbindungsstücke vor der Verteilung kommen zudem flexible Rohre aus einer Verbundfolie (PET, Alu, verstärkt mit Federstahldraht) zum Einsatz. Meist wird das Erdregister aus mehreren parallelen Polyethylenrohren gefertigt. Einige Kennwerte zu diesen Bauelementen sind in Tabelle 5.2 ersichtlich. Die Herstellung der Wickelfalzrohre ($\varnothing$ 125 mm und $\varnothing$ 400 mm) erfolgt durch Zuschneiden von Blechstreifen, biegen und verschweissen. Vor dem Lüftungsgerät werden die Rohre mit einer Dämmung aus Mineralwolle versehen, welche mit einer Folie aus Aluminium und einem Drahtgitter geschützt wird. Für die Sachbilanz wurde als Dämmstoff Steinwolle spezifiziert (es wird auch Glaswolle verwendet). Für die Herstellung der Flex-Rohre waren keine präzisen Angaben zur Herstellung der Verbundfolie vorhanden. Der Herstellungsprozess wurde daher mit Sachbilanzdaten aus Folienverbunden in der Packstoffindustrie approximiert (BUWAL, 1996). Für das Erdregister wurde ein extrudiertes Kunststoffrohr mit $\varnothing$ 200 mm und einer Wandstärke von 5 mm bilanziert. Die detaillierten Sachbilanzen zur Herstellung und Entsorgung dieser Komponenten sind im Anhang in Kapitel 10.3.2 zu finden.

Bei den Transportdistanzen wurden für die Wickelfalzrohre und das Erdregister kürzere Transportdistanzen verwendet, als der Distanz von der Herstellerfirma entsprechen würden. Da diese Bauteile in Mittel auch von näher bei der Schweiz liegenden Hersteller geliefert werden, wird in der Sachbilanz für die Wickelfalzrohre statt mit 700 km nur mit 250 km Distanz verbucht. Für das Erdregister wurde die Distanz von 1400 km auf 400 km reduziert.

Tabelle 5.2 Kennwerte, Verrohrung vor Wohnungsverteiler

Kennwert	Name	Erdregisterrohr, PE, DN 200, ab Werk	Wickelfalzrohr, Stahl, DN 400, ab Werk	Dämmung Wickelfalzrohr, Steinwolle, DN 400, 30 mm, ab Werk	Wickelfalzrohr, Stahl, DN 125, ab Werk	Flex Rohr, Alu / PET, DN 125, ab Werk
	Location	RER	RER	RER	RER	RER
	Einheit	m	m	m	m	m
Gesamtgewicht, Komponente	kg	3.00E+0	6.00E+0	3.30E+0	1.90E+0	2.05E-1
Strombedarf Fertigung	kWh	-	7.88E-1	2.75E-1	2.52E-1	1.02E-2
Anteil Strombedarf Gebäude	kWh	3.30E-1	7.20E-1	3.96E-1	2.28E-1	2.26E-2
Anteil Heizwärmebedarf Gebäude	MJ	8.70E+0	2.52E+1	1.39E+1	7.98E+0	5.95E-1
Transport LKW ab Werk bis Installateur in der Schweiz	km	4.00E+2	2.50E+2	2.50E+2	2.50E+2	1.10E+2
Hauptdatenquelle	-	Balumag	Lindab	Lindab	Lindab	Helios

5.3.3 Verrohrung nach Wohnungsverteiler

Für die Verrohrung nach dem Wohnungsverteiler wird in der Sachbilanz zwischen flexiblen Polyethylen Wellschläuchen und Mini Kanälen aus verzinktem Stahlblech unterschieden. Während bei den Stahlkanälen zusätzliche Bogenstücke und Verbindungen für die Verlegung notwendig sind, kann bei den Wellschläuchen die Verbindung häufig durch wenige Steckverbindungen realisiert werden. Für die Abdichtung der Leitungen werden vor allem für die Stahlkanäle grössere Mengen Kaltschrumpfband benötigt. Die Sachbilanz dieses Klebebandes bezieht sich auf einen Verbund von einer Aluminium- und Polyethylenfolie, welche mit einer Klebeschicht versehen ist. Die Gesamtstärke dieses Bandes beträgt knapp 1 mm. Für die Herstellung dieses Klebebandes waren keine präzisen Angaben vorhanden. Der Herstellungsprozess wurde daher mit Sachbilanzdaten aus Folienverbunden in der Packstoffindustrie approximiert (BUWAL, 1996). Einige Kennwerte zu diesen Bauelementen sind in Tabelle 5.3 ersichtlich. Die Herstellung der Minikanäle (Blechstärke 0.65 mm) erfolgt durch Zuschneiden von Blechstreifen, Biegen und einer Verbindungsnaht. Bei den Bogenstücken werden die Verbindungen teilweise auch genietet. Für die Wellschläuche aus Polyethylen wurde eine Herstellung durch Extrusion zugrunde gelegt. Ein weiterer Unterschied zwischen den Stahlkanälen und dem PE-Wellschlauch besteht im Verarbeitungsabfall bei der Verlegung der Leitungen. Durch die fixen Längen der Stahlkanäle (bis 4 m) entstehen mehr nicht verwendbare Resten (5-15 %) als bei den Wellschläuchen, welche ab Rollen von 50 m verlegt werden (Verschnitt nur 1-5 %). Dieser Unterschied wird in den bilanzierten Mengen für das Gesamtsystem in Kapitel 5.4 berücksichtigt. Die detaillierten Sachbilanzen zur Herstellung und Entsorgung der beschriebenen Komponenten sind im Anhang in Kapitel 10.3.3 zu finden.

Tabelle 5.3 Kennwerte, Verrohrung nach Wohnungsverteiler

Kennwert	Name	Location	Einheit	Mini Kanal, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	Bogen 90°, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	Verbindungsstück, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	Lüftungsrohr, PE Wellrohr, DN 75, ab Werk	Kaltschrumpfband, Alu/ PE, 50 mm breit, ab Werk
Gesamtgewicht, Komponente	kg			1.50E+0	2.70E-1	2.00E-1	3.30E-1	5.69E-2
Strombedarf Fertigung	kWh			1.99E-1	1.34E-1	1.11E-1	-	-
Anteil Strombedarf Gebäude	kWh			1.80E-1	3.24E-2	2.40E-2	3.63E-2	6.83E-3
Anteil Heizwärmebedarf Gebäude	MJ			6.30E+0	1.13E+0	8.40E-1	9.57E-1	2.39E-1
Transport LKW ab Werk bis Installateur in der Schweiz	km			2.50E+2	2.50E+2	2.50E+2	1.20E+2	2.50E+2
Hauptdatenquelle	-			Schrag	Schrag	Schrag	Comfosys.	Schrag

5.3.4 Schalldämpfer und Luftfilter

Einige Kennwerte zu den Sachbilanzen der Schalldämpfer und der Luftfilter sind in Tabelle 5.4 ersichtlich. Die bilanzierten Schalldämpfer bestehen zur Hauptsache aus Stahl (verzinktes Blech) und aus einem Dämmmaterial (Glaswolle bzw. auch Steinwolle). Es werden auch Schalldämpfer aus Aluminium (flexibel) hergestellt, welche dadurch deutlich leichter sind. Die Prozesse wurden für die schwereren, starren Schalldämpfer bilanziert (mittlerer Gewichtsbereich). Die Luftfilter werden meist aus thermoplastischem Polyester als Mattenfilter gefertigt. Für Pollenfilter und grössere Anlagen werden jedoch auch Taschenfilter eingesetzt. Die Filter besitzen neben dem Filtermaterial einen Rahmen, der bei kleineren Filtern meist aus Karton gefertigt wird. Bei grossen Filtern besteht dieser Rahmen auch aus Stahlblech. Da die Filter häufig gewechselt werden, besitzen sie trotz ihrem geringen Gewicht eine gewisse Relevanz. Der Herstellungsprozess des Filtermaterials ist im Anhang 10.2.1 grob bilanziert. Die detaillierten Sachbilanzen zur Herstellung und Entsorgung dieser Komponenten sind im Anhang in Kapitel 10.3.4 zu finden.

Tabelle 5.4 Kennwerte, Schalldämpfer und Luftfilter

Prozessname	Name	Location	Einheit	Schalldämpfer, Stahl, DN 315, 50 mm, ab Werk	Schalldämpfer, Stahl, MSA-R 16/12, ab Werk	ZU- Abluftfilter, dezentral, 250 m ³ /h, ab Werk	ZU- Abluftfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h, ab Werk	Abluftfilter, in Abluftventil, ab Werk	ZU- Abluftfilter, zentral, 600 m ³ /h, ab Werk
Gesamtgewicht, Komponente	kg			2.00E+1	8.30E+0	5.00E-2	2.20E-1	4.00E-2	4.00E-1
Strombedarf Fertigung	kWh			2.28E+0	1.38E+0	-	-	-	1.59E-1
Anteil Strombedarf Gebäude	kWh			2.40E+0	9.96E-1	5.50E-3	2.42E-2	4.40E-3	4.40E-2
Anteil Heizwärmebedarf Gebäude	MJ			8.40E+1	3.49E+1	1.45E-1	6.38E-1	1.16E-1	1.16E+0
Transport LKW ab Werk bis Installateur in der Schweiz	km			5.20E+1	2.00E+1	1.10E+2	7.00E+2	2.20E+2	9.00E+2
Hauptdatenquelle	-			Trox	Comfosys.	Helios	Comfosys.	Comfosys.	Comfosys.

5.3.5 Lüftungsgeräte, dezentral

Die dezentralen Lüftungsgeräte müssen im Betrieb eine Luftleistung von 120 m³/h aufbringen können. Da die Geräte grosse Unterschiede im Bauteilgewicht aufweisen (v.a. Gehäuse und Wärmetauscher), wurden insgesamt Daten für vier unterschiedliche Geräten erhoben. Die bilanzierten Geräte haben maximale Luftleistun-

gen von bis zu 250 m³/h. Da die Daten nicht für alle Geräte in gleicher Aufschlüsselung vorhanden waren, wurde die Materialisierung teilweise über Analogieschlüsse⁸. Ein weiterer Prozess beschreibt ein mittleres Lüftungsgerät. Die darin verwendeten Daten setzen sich aus den Mittelwerten der erhobenen Einzeldaten zusammen. Daneben beschreibt ein Prozess die Aufwendungen für die Verkabelung des dezentralen Lüftungsgeräts und eine externe Steuerungseinheit (Stufenschalter). Einige Kennwerte zu den Sachbilanzen der Lüftungsgeräte sind in Tabelle 5.5 ersichtlich.

Tabelle 5.5 Kennwerte, Lüftungsgeräte, dezentral

Prozessname	Name	Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h, ab Werk	Lüftungsgerät, KWL 250, ab Werk	Lüftungsgerät, Aventa 97, ab Werk	Lüftungsgerät, Storkair G 90, ab Werk	Lüftungsgerät, GE 250 RE, ab Werk	Steuerung, Verkabelung, dezentral, ab Werk
	Location	RER	RER	RER	RER	CH	RER
Einheit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Gesamtgewicht, Komponente	kg	4.31E+1	4.00E+1	3.50E+1	3.27E+1	6.50E+1	2.18E+0
Strombedarf Fertigung	kWh	1.66E+1	1.76E+1	2.50E+1	8.05E+0	2.93E+1	-
Anteil Strombedarf Gebäude	kWh	5.18E+0	4.80E+0	4.20E+0	3.92E+0	7.80E+0	2.40E-1
Anteil Heizwärmebedarf Gebäude	MJ	1.81E+2	1.68E+2	1.47E+2	1.37E+2	2.73E+2	6.32E+0
Transport LKW ab Werk bis Installateur in der Schweiz	km	1.74E+2	1.10E+2	6.00E+2	7.00E+2	2.00E+1	1.10E+2
Hauptdatenquelle	-	Mittelwert	Helios	Airflow	Stork	SM-Heag	Helios

Ein Grossteil des Lüftungsgerätes besteht aus Stahlblech, welches gestanzt (teilweise auch Laserschneiden), gebogen und verbunden wird (Nieten, Punktschweißen). Unterschiedlich ist die Materialisierung beim Wärmetauscher. Meist besteht dieser aus Aluminium. Bei einem Gerät wird er jedoch aus Kunststoff (Polystyrol) gefertigt. Meist erfolgt zum Schluss eine Oberflächenbehandlung an der Aussen-seite des Gehäuses (Pulverlackierung).

für die Herstellung der Steuerungselektronik waren keine detaillierten Daten verfügbar. Die Angaben beschränkten sich meist auf das Gewicht sowie auf eine Angabe welchen Gewichtsanteil der Transformator aufweist (bei Gleichstromgeräten). Aufgrund der fehlenden Produktionsdaten wurde die Steuerung mit einem Prozess für allgemeine Industrieelektronik abgebildet. Aus den Angaben zum Transformatorgewicht wurde eine Materialisierung für einen üblichen Wechselstromtransformator kleiner Bauart aus der Konsumelektronik abgeleitet. Die detaillierten Sachbilanzen zur Herstellung und Entsorgung dieser Komponenten sind im Anhang in Kapitel 10.3.5 ersichtlich.

5.3.6 Lüftungsgeräte, zentral

Die zentralen Lüftungsgeräte müssen im Betrieb eine Luftleistung von 720 m³/h aufbringen können. Da auch bei diesen Geräten grosse Unterschiede im Bauteilgewicht bestehen, wurden Daten für zwei unterschiedliche Geräte erhoben (Luftmenge 700 bzw. 1200 m³/h). Da die verfügbaren Daten zu den Geräten nur ungenau auf die einzelnen Materialien aufgeschlüsselt waren, erfolgte die genauere

⁸ Betrifft z.B. Materialangaben für Ventilatoren, wenn nur das Gesamtgewicht des Ventilators verfügbar war, aber keine Aufschlüsselung auf die Materialien vom Laufrad und dem Motor.

Materialisierung auch hier teilweise über Analogieschlüsse aus Daten anderer Geräte. Ein weiterer Prozess beschreibt ein mittleres Lüftungsgerät. Die darin verwendeten Daten setzen sich aus den Mittelwerten der erhobenen Einzeldaten zusammen. Ein weiterer Prozess beschreibt die Aufwendungen für die Verkabelung des zentralen Lüftungsgeräts sowie eine externe Steuerungseinheit (Stufenschalter). Einige Kennwerte zu den Sachbilanzen der Lüftungsgeräte sind in Tabelle 5.6 ersichtlich.

Tabelle 5.6 Kennwerte, Lüftungsgeräte, zentral

Prozessname	Name	Lüftungsgerät, zentral, 600-1200 m ³ /h, ab Werk	Lüftungsgerät, KWLC 1200, ab Werk	Lüftungsgerät, TWL-700, ab Werk	Steuerung, Verkabelung, zentral, ab Werk
	Location	RER	RER	RER	RER
	Einheit	unit	unit	unit	unit
Gesamtgewicht, Komponente	kg	1.43E+2	1.70E+2	1.20E+2	4.80E+0
Strombedarf Fertigung	kWh	4.26E+1	4.84E+1	3.76E+1	-
Anteil Strombedarf Gebäude	kWh	1.71E+1	2.04E+1	1.44E+1	5.28E-1
Anteil Heizwärmebedarf Gebäude	MJ	5.99E+2	7.14E+2	5.05E+2	1.39E+1
Transport LKW ab Werk bis Installateur in der Schweiz	km	1.10E+2	1.10E+2	9.00E+2	1.10E+2
Hauptdatenquelle	-	Mittelwert	Helios	Troger	Helios

Wie bei den kleineren Lüftungsgeräten besteht ein Grossteil des Lüftungsgerätes aus Stahlblech. Auch die Produktionsverfahren unterscheiden sich kaum. Bei beiden Geräten besteht der Wärmetauscher aus Aluminium. Bei einem Gerät erfolgt die Oberflächenbehandlung des Gehäuses nicht durch einen Lack sondern durch eine Klebefolie⁹. Zur Steuerungselektronik waren keine detaillierten Daten verfügbar. Hier wurde das gleiche Vorgehen wie bei den dezentralen Lüftungsgeräten gewählt. Die detaillierten Sachbilanzen zur Herstellung und Entsorgung dieser Komponenten sind im Anhang in Kapitel 10.3.6 zu finden.

5.4. Sachbilanz Lüftungsanlage komplett

In Tabelle 5.7 sind die Sachbilanzdaten für die Herstellung von kompletten Lüftungsanlagen mit 720 m³/h Luftleistung für insgesamt sechs Wohnungen (120 m³/h pro Wohnung) dargestellt.

⁹ Bilanziert als Polyethylenverpackungsfolie, welche mit einer Klebstoffschicht beschichtet wird,

Tabelle 5.7 Lüftungsanlage komplett, Herstellung und Entsorgung

Name	Location	I *	Einheit	Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister	Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister	Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister	Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister	Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, ohne Erdregister	Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, ohne Erdregister
Input von Technosphäre	Location	I *	Einheit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Aussenluftfassung, Edelstahl, DN 370, ab Werk	RER	-	unit	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-
Dachdurchführung, Stahl, DN 400, ab Werk	CH	-	unit	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-
Fortluftauslass, Stahl / Alu, 85x365 mm, ab Werk	CH	-	unit	-	-	-	-	1.20E+1	1.20E+1
Zuluftreinlass, Stahl / SS, DN 75, ab Werk	RER	-	unit	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1
Abluftventil, UP-Gehäuse, Kunststoff / Stahl, DN 125, ab Werk	CH	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
AP-Luftverteilkasten, Stahl, 120 m ³ /h, ab Werk	CH	-	unit	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1
Überströmelement, Stahl, ca. 40 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
Erdregisterrohr, PE, DN 200, ab Werk	RER	-	m	1.20E+2	1.20E+2	1.20E+2	1.20E+2	-	-
Wickelfalzrohr, Stahl, DN 400, ab Werk	RER	-	m	4.00E+1	4.00E+1	4.50E+1	4.50E+1	-	-
Dämmung Wickelfalzrohr, Steinwolle, DN 400, 30 mm, ab Werk	RER	-	m	4.00E+1	4.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	-	-
Wickelfalzrohr, Stahl, DN 125, ab Werk	RER	-	m	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1
Mini Kanal, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	RER	-	m	6.00E+2	-	6.00E+2	-	6.00E+2	-
Bogen 90°, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	RER	-	unit	2.28E+2	-	2.28E+2	-	2.28E+2	-
Verbindungsstück, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	RER	-	unit	1.50E+2	-	1.50E+2	-	1.50E+2	-
Lüftungsrohr, PE Wellrohr, DN 75, ab Werk	RER	-	m	-	4.00E+2	-	4.00E+2	-	4.00E+2
Flex Rohr, Alu / PET, DN 125, ab Werk	RER	-	m	2.00E+1	1.00E+1	2.00E+1	1.00E+1	2.00E+1	1.00E+1
Schalldämpfer, Stahl, DN 315, 50 mm, ab Werk	CH	-	unit	-	-	2.00E+0	2.00E+0	-	-
Schalldämpfer, Stahl, DN 125, ab Werk	CH	-	unit	2.40E+1	2.40E+1	1.20E+1	1.20E+1	2.40E+1	2.40E+1
Zu- Abluftfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	1.20E+1	1.20E+1	-	-	1.20E+1	1.20E+1
Abluftfilter, in Abluftventil, ab Werk	RER	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
Zu- Abluftfilter, zentral, 600 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	-	-	2.00E+0	2.00E+0	-	-
Kaltschrumpfband, Alu/ PE, 50 mm breit, ab Werk	RER	-	m	7.00E+2	2.00E+2	7.00E+2	2.00E+2	7.00E+2	2.00E+2
Steuerung, Verkabelung, dezentral, ab Werk	RER	-	unit	6.00E+0	6.00E+0	-	-	6.00E+0	6.00E+0
Steuerung, Verkabelung, zentral, ab Werk	RER	-	unit	-	-	1.00E+0	1.00E+0	-	-
Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	6.00E+0	6.00E+0	-	-	6.00E+0	6.00E+0
Lüftungsgerät, zentral, 600-1200 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	-	-	1.00E+0	1.00E+0	-	-
Entsorgung, Aussenluftfassung, Edelstahl, DN 370	CH	-	unit	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-
Entsorgung, Dachdurchführung, Stahl, DN 400	CH	-	unit	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-
Entsorgung, Fortluftauslass, Stahl / Alu, 85x365 mm	CH	-	unit	-	-	-	-	1.20E+1	1.20E+1
Entsorgung, Zuluftreinlass, Stahl / SS, DN 75	CH	-	unit	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1
Entsorgung, Abluftventil, UP-Gehäuse, Kunststoff / Stahl, DN 125	CH	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
Entsorgung, AP-Luftverteilkasten, Stahl, 120 m ³ /h	CH	-	unit	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1
Entsorgung, Überströmelement, Stahl, ca. 40 m ³ /h	CH	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
Entsorgung, Erdregisterrohr, PE, DN 200	CH	-	m	1.20E+2	1.20E+2	1.20E+2	1.20E+2	-	-
Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl, DN 400	CH	-	m	4.00E+1	4.00E+1	4.50E+1	4.50E+1	-	-
Entsorgung, Dämmung Wickelfalzrohr, Steinwolle, DN 400, 30 mm	CH	-	m	4.00E+1	4.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	-	-
Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl, DN 125	CH	-	m	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1
Entsorgung, Mini Kanal, Stahl, 100x50 mm	CH	-	m	6.00E+2	-	6.00E+2	-	6.00E+2	-
Entsorgung, Bogen 90°, Stahl, 100x50 mm	CH	-	unit	2.28E+2	-	2.28E+2	-	2.28E+2	-
Entsorgung, Verbindungsstück, Stahl, 100x50 mm	CH	-	unit	1.50E+2	-	1.50E+2	-	1.50E+2	-
Entsorgung, Lüftungsrohr, PE Wellrohr, DN 75	CH	-	m	-	4.00E+2	-	4.00E+2	-	4.00E+2
Entsorgung, Flex Rohr, Alu / PET, DN 125	CH	-	m	2.00E+1	1.00E+1	2.00E+1	1.00E+1	2.00E+1	1.00E+1
Entsorgung, Schalldämpfer, Stahl, DN 315, 50 mm	CH	-	unit	-	-	2.00E+0	2.00E+0	-	-
Entsorgung, Schalldämpfer, Stahl, DN 125	CH	-	unit	2.40E+1	2.40E+1	1.20E+1	1.20E+1	2.40E+1	2.40E+1
Entsorgung, Zu- Abluftfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h	CH	-	unit	1.20E+1	1.20E+1	-	-	1.20E+1	1.20E+1
Entsorgung, Abluftfilter, in Abluftventil	CH	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
Entsorgung, Zu- Abluftfilter, zentral, 600 m ³ /h	CH	-	unit	-	-	2.00E+0	2.00E+0	-	-
Entsorgung, Kaltschrumpfband, Alu/ PE, 50 mm breit	CH	-	m	7.00E+2	2.00E+2	7.00E+2	2.00E+2	7.00E+2	2.00E+2
Entsorgung, Steuerung, Verkabelung, dezentral	CH	-	unit	6.00E+0	6.00E+0	-	-	6.00E+0	6.00E+0
Entsorgung, Steuerung, Verkabelung, zentral	CH	-	unit	-	-	1.00E+0	1.00E+0	-	-
Entsorgung, Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h	CH	-	unit	6.00E+0	6.00E+0	-	-	6.00E+0	6.00E+0
Entsorgung, Lüftungsgerät, zentral, 600-1200 m ³ /h	CH	-	unit	-	-	1.00E+0	1.00E+0	-	-
Aushub Hydraulikbagger	RER	-	m ³	1.37E+2	1.37E+2	1.37E+2	1.37E+2	-	-
Transport, Lkw 32t	RER	-	tkm	5.72E+2	3.33E+2	5.32E+2	2.92E+2	3.31E+2	9.21E+1
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	8.76E+0	8.76E+0	8.84E+0	8.84E+0	9.43E+0	9.43E+0
Transport, Lieferwagen <3.5t	CH	-	tkm	1.26E+2	8.16E+1	1.15E+2	7.05E+1	8.86E+1	4.41E+1

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

Die Sachbilanzen beziehen sich auf eine Aufstellung in einem Gebäude im Grossraum Zürich (Transportdistanz). Die Sachbilanzdaten für die Entsorgung der Komponenten beziehen sich auf eine Entsorgung bei einer Gebäuderenovation über den Baustellenabfall. Es wird von einer sachgemässen Abfallsortierung in einer Sortieranlage ausgegangen. Gemäss den Herstellerangaben werden die Kompo-

nenten nicht direkt zurückgenommen und so rezykliert. Die Aufwendungen für den Ersatz von Komponenten und den Betriebsenergiebedarf wurden hier nicht einbezogen. Diese Angaben werden in der Sachbilanz der Wohnraumlüftung (siehe Kapitel 5.5) berücksichtigt. Auch wird der Einfluss der Verlegung der Lüftungsrohre nicht berücksichtigt, da dies üblicherweise direkt in die Bilanzierung des Gebäudes einfließt.

Sachbilanz für Einbezug in ecoinvent Datenbank

Da die Entsorgung einiger Bauteile jeweils nur aus einem Entsorgungsprozess bestehen, werden diese für die in ecoinvent zu verwendenden Datensätze zusammengefasst. Die entsprechend modifizierte Sachbilanz und die Liste der betroffenen Bauteile ist im Anhang in Kapitel 10.3.7 zu finden.

5.5. Sachbilanz Wohnraumlüftung

Komponenten der Lüftungsanlage

In Tabelle 5.8 sind die Sachbilanzdaten für die Herstellung, den Betrieb, die Erneuerung und die Entsorgung von kompletten Lüftungsanlagen mit 720 m³/h Luftleistung für insgesamt sechs Wohnungen (120 m³/h pro Wohnung) dargestellt. Die Aufwendungen für den Ersatz von Komponenten wurden entsprechend ihrer Lebensdauer bestimmt (siehe Tabelle 10.1).

Betriebsenergiebedarf

Der hier dargestellte Betriebsenergiebedarf entspricht einer qualitativ guten Anlage mit Gleichstrom- bzw. EC-Motoren. Es wurde mit einem Strombedarf von 0.4 Wh/m³ für die Ventilatoren gerechnet. Für die Steuerung wurde ein Leistungsbedarf von 10 W eingesetzt.

Einsparungen beim Heizwärmebedarf

In den Sachbilanzen sind die Einsparungen gegenüber einem Gebäudebetrieb ohne Lüftungsanlage nicht einbezogen, da dieser Wert nicht nur durch die Lüftungsanlage alleine bestimmt wird. Diese Einsparungen werden nur für die verschiedenen Resultatauswertungen berücksichtigt (siehe Kapitel 5.6).

Anlagevarianten

Folgende Anlagevarianten wurden bilanziert:

- Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, Stahlkanäle, mit Erdregister
- Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, PE-Kanäle, mit Erdregister
- Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m³/h, Stahlkanäle, mit Erdregister
- Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m³/h, PE-Kanäle, mit Erdregister
- Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, Stahlkanäle, ohne Erdregister
- Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, PE-Kanäle, ohne Erdregister

Erdregister

Bei den Lüftungsanlagen mit Erdregister wurde das Erdregister durch eine Verringerung des thermisch wirksamen Luftvolumenstroms berücksichtigt. Die Berechnung dieses Einflusses erfolgte auf Basis der im Minergie-Nachweis angewendeten Berechnung (Minergie, 2003). Für die Varianten ohne Erdregister wurde ein zusätzlicher Strombedarf von 0.3 kWh/(m² a) für den Frostschutz berücksichtigt (Peper et al., 2001).

Verwendeter Strommix

In den in Tabelle 5.8 dargestellten Sachbilanzen wurde zur Deckung des Betriebsstrombedarfs ein Strombezug ab Niederspannung in der Schweiz inkl. Stromhandel vorausgesetzt (Betrieb der Anlage in der Schweiz).

Tabelle 5.8 Lüftungsanlage komplett, Betrieb Wohnraumlüftung

Name	Location	I *	Einheit	Wohnraumlüftung, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister	Wohnraumlüftung, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister	Wohnraumlüftung, zentral, 1 x 720 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister	Wohnraumlüftung, zentral, 1 x 720 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister	Wohnraumlüftung, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, ohne Erdregister	Wohnraumlüftung, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, ohne Erdregister
				CH	CH	CH	CH	CH	CH
Input von Technosphäre	Location	I *	Einheit	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a	m2a
Strom, Niederspannung, ab Netz (CH)	CH	-	kWh	3.35E+0	3.35E+0	3.35E+0	3.35E+0	3.65E+0	3.65E+0
Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister	CH	1	unit	2.56E-5	-	-	-	-	-
Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister	CH	1	unit	-	2.56E-5	-	-	-	-
Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister	CH	1	unit	-	-	2.56E-5	-	-	-
Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister	CH	1	unit	-	-	-	2.56E-5	-	-
Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, ohne Erdregister	CH	1	unit	-	-	-	-	2.56E-5	-
Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, ohne Erdregister	CH	1	unit	-	-	-	-	-	2.56E-5
Flex Rohr, Alu / PET, DN 125, ab Werk	RER	-	m	1.03E-3	5.13E-4	1.03E-3	5.13E-4	1.03E-3	5.13E-4
Schalldämpfer, Stahl, DN 315, 50 mm, ab Werk	CH	-	unit	-	-	1.03E-4	1.03E-4	-	-
Schalldämpfer, Stahl, DN 125, ab Werk	CH	-	unit	1.23E-3	1.23E-3	6.15E-4	6.15E-4	1.23E-3	1.23E-3
Zu- Abluftfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	1.51E-2	1.51E-2	-	-	1.51E-2	1.51E-2
Abluftfilter, in Abluftventil, ab Werk	RER	-	unit	2.26E-2	2.26E-2	2.26E-2	2.26E-2	2.26E-2	2.26E-2
Zu- Abluftfilter, zentral, 600 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	-	-	2.51E-3	2.51E-3	-	-
Steuerung, Verkablung, dezentral, ab Werk	RER	-	unit	3.08E-4	3.08E-4	-	-	3.08E-4	3.08E-4
Steuerung, Verkablung, zentral, ab Werk	RER	-	unit	-	-	5.13E-5	5.13E-5	-	-
Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	3.08E-4	3.08E-4	-	-	3.08E-4	3.08E-4
Lüftungsgerät, zentral, 600-1200 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	-	-	5.13E-5	5.13E-5	-	-
Entsorgung, Flex Rohr, Alu / PET, DN 125	CH	-	m	1.03E-3	5.13E-4	1.03E-3	5.13E-4	1.03E-3	5.13E-4
Entsorgung, Schalldämpfer, Stahl, DN 315, 50 mm	CH	-	unit	-	-	1.03E-4	1.03E-4	-	-
Entsorgung, Schalldämpfer, Stahl, DN 125	CH	-	unit	1.23E-3	1.23E-3	6.15E-4	6.15E-4	1.23E-3	1.23E-3
Entsorgung, Zu- Abluftfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h	CH	-	unit	1.51E-2	1.51E-2	-	-	1.51E-2	1.51E-2
Entsorgung, Abluftfilter, in Abluftventil	CH	-	unit	2.26E-2	2.26E-2	2.26E-2	2.26E-2	2.26E-2	2.26E-2
Entsorgung, Zu- Abluftfilter, zentral, 600 m ³ /h	CH	-	unit	-	-	2.51E-3	2.51E-3	-	-
Entsorgung, Steuerung, Verkablung, dezentral	CH	-	unit	3.08E-4	3.08E-4	-	-	3.08E-4	3.08E-4
Entsorgung, Steuerung, Verkablung, zentral	CH	-	unit	-	-	5.13E-5	5.13E-5	-	-
Entsorgung, Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h	CH	-	unit	3.08E-4	3.08E-4	-	-	3.08E-4	3.08E-4
Entsorgung, Lüftungsgerät, zentral, 600-1200 m ³ /h	CH	-	unit	-	-	5.13E-5	5.13E-5	-	-
Transport, Lkw 32t	RER	-	tkm	4.93E-3	4.92E-3	1.96E-3	1.95E-3	4.93E-3	4.92E-3
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	2.04E-4	2.04E-4	2.09E-4	2.09E-4	2.04E-4	2.04E-4
Transport, Lieferwagen <3.5t	CH	-	tkm	1.43E-3	1.42E-3	8.42E-4	8.37E-4	1.43E-3	1.42E-3

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

5.6. Einbezug der Reduktion des Heizwärmebedarfs

Reduktion des Heizwärmebedarfs

Die Reduktion des Heizwärmebedarfs gegenüber einem Gebäudebetrieb ohne Lüftungsanlage ist neben dem Wärmerückgewinnungsgrad und der Betriebsdauer der Lüftungsanlage auch vom Gebäude selbst (Dämmstandard, Fensterflächen etc.) bestimmt. Zudem hat der Gebäudestandort (Klimaregion) und die eingestellte Raumtemperatur einen wesentlichen Einfluss auf diesen Wert. Die Einsparungen beziehen sich auf die Differenz des berechneten Heizenergiebedarfs mit und ohne Lüftungsanlage gemäss den Berechnungsgrundlagen nach (Minergie, 2003). Das als Standardvariante berechnete Gebäude besitzt mit 76 MJ/m² a einen sehr tiefen Heizwärmebedarf (Q_h) und entspricht daher konstruktiv einem Minergie Gebäude. Für die Wärmerückgewinnung wurde ein mittlerer Rückgewinnungsgrad von 80 % angenommen (über das ganze Jahr). Zudem wurde ein ganzjähriger Betrieb der Lüftungsanlage angenommen. Als Klimastandort wurde Zürich gewählt.

Kühlwirkung des Erdregisters

Die Kühlwirkung des Erdregisters an heissen Sommertagen wurde nicht in die Betrachtungen einbezogen, da damit in Wohngebäuden keine anderen Energieträger eingespart werden (im Normalfall keine Luftkühlung zulässig).

Berechnungsvarianten

Als Varianten bezüglich des Baustandards wurde eine Variante mit einem Dämmstandard entsprechend dem Grenzwert nach SIA 380/1 und eine weitere welche dem Passivhausstandard entspricht, berechnet. Als Klimavariante wurde zudem ein Gebäudestandort in Davos berechnet. Für den Klimastandort Zürich wurden zudem Werte für 22°C und 24°C Raumtemperatur berechnet. Die Resultate dieser Berechnungen sind in Tabelle 10.3 zu finden.

Zur Vergleichbarkeit der Varianten wurden die Belastungen über den gesamten Lebenszyklus auf die Reduktion des Nutzenergiebedarfs (pro MJ ΔQ_h) bezogen.

6. Resultate

Die Resultatdiskussion erfolgt in zwei Teilen. Im ersten Teil (Kapitel 6.1) werden die Anlagekomponenten ohne die Aufwendungen aus dem Betrieb der Anlage betrachtet. Hier werden neben dem Systemvergleich einzelne Hauptkomponenten sowie der Einfluss der Lebensdauerannahmen und der Verlegungsart diskutiert. Im zweiten Teil (Kapitel 6.2) werden die Gesamtsysteme unter Einbezug der Betriebsaufwendungen (Strombedarf) betrachtet. In diesem Kapitel werden auch Sensitivitätsanalysen zu verschiedenen Parametern (Dämmstandard, Klimaregion, Strombedarf, Wärmerückgewinnungsgrad, Betriebsdauer, Luftmenge) dargestellt. Im Weiteren wird ein Vergleich zu Heizsystemen und von verschiedenen Arten des Strombezugs diskutiert.

6.1. Anlagekomponenten

In einem ersten Schritt wurden die Aufwendungen für die Herstellung, Erneuerung und Entsorgung der Anlagekomponenten untersucht. Folgende Systemvarianten wurden dabei in den Vergleich einbezogen:

- Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, Stahlverrohrung, mit Erdregister
- Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, Verrohrung aus PE, mit Erdregister
- Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m³/h, Stahlverrohrung, mit Erdregister
- Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m³/h, Verrohrung aus PE, mit Erdregister
- Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, Stahlverrohrung, ohne Erdregister
- Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m³/h, Verrohrung aus PE, ohne Erdregister

Die beiden Varianten ohne Erdregister weisen keine Verrohrung in der Steigzone auf sondern beziehen die Frischluft direkt über die Fassade. Auch die Fortluft wird direkt über die Fassade abgegeben. Diese Systeme führen im Betrieb aufgrund des fehlenden Erdregisters zu einem erhöhten Heizwärmebedarf des Gebäudes. Dieser Aspekt wird in Kapitel 6.2.1 vertieft diskutiert.

6.1.1 Systemvergleich

Vergleichsbasis

Die nachfolgenden Resultate zu den Systemkomponenten ohne Einbezug des Betriebstrombedarfs gehen von einer Systemlebensdauer von 50 Jahren aus. Die verwendeten Lebensdauern der Einzelkomponenten sind in Tabelle 10.1 dokumentiert. Die Resultate wurden bezogen auf ein Betriebsjahr und ein m² Energiebezugsfläche¹⁰ dargestellt.

In den Resultaten sind noch keine Einflüsse berücksichtigt, welche sich aus der Verlegung der Lüftungsrohre in den Wohnungen ergeben. Diese Einflüsse (verminderter Betonbedarf, bzw. verstärkter Unterlagsboden) werden in Kapitel 6.1.4 diskutiert. Auch der Betriebsstrombedarf ist nicht in den Resultaten enthalten.

Eco-indicator 99,
Typus Hierarchist (H/A)

Abbildung 6.1 zeigt den Einfluss einzelner Bauteilgruppen auf das Gesamtergebnis bewertet mit Eco-indicator 99 (H/A). Dabei zeigt sich, dass die grössten Belastungsanteile aus der Verrohrung und dem Lüftungsgerät stammen. Die Belastun-

¹⁰ Das gesamte Gebäude mit 6 Wohnungen weist eine Energiebezugsfläche von 780 m² auf.

gen aus der Verrohrung sind bei einer Luftverteilung in den Wohnungen mit Polyethylenrohren klar tiefer als bei der Verwendung einer Verrohrung aus verzinktem Stahlblech.

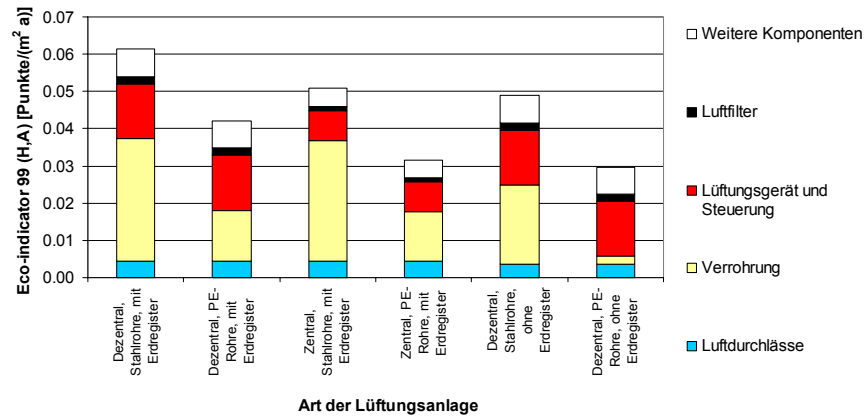


Abbildung 6.1 Vergleich der Lüftungssysteme, Komponenten, Eco-indicator 99 (H/A)

In Abbildung 6.2 sind die Belastungsanteile für die einzelnen Schadenskategorien dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass die Kategorien Atemwegserkrankungen¹¹ und Verbrauch fossiler Brennstoffe¹² mit zusammen über 50 % den Hauptanteil der Belastung ausmachen. In allen Schadenskategorien weisen die Varianten mit Verrohrung aus Polyethylen günstigere Werte auf als die Materialvariante aus Stahl. Die Unterschiede sind in Kapitel 6.1.2 detaillierter dargestellt. Im Systemvergleich schneidet auch die Variante mit einem zentralen Lüftungsgerät in allen Schadenskategorien besser ab als die Variante mit sechs dezentralen Geräten. Dies ist vor allem auf die geringeren Aufwendungen beim Lüftungsgerät selbst zurückzuführen (siehe dazu Kapitel 6.1.2).

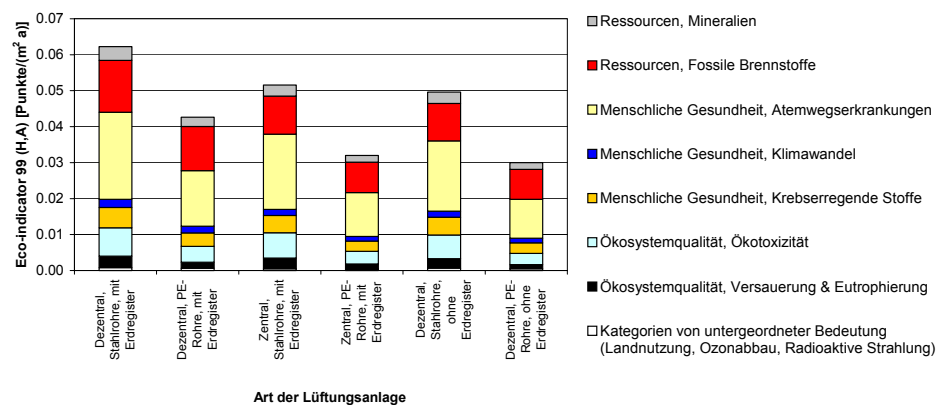


Abbildung 6.2 Vergleich der Lüftungssysteme, Schadenskategorien, Eco-indicator 99 (H/A)

Methode der
ökologischen Knappheit

Abbildung 6.3 zeigt den Einfluss einzelner Bauteilgruppen auf das Gesamtergebnis bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit nach BUWAL (1998). Auch hier stammen die grössten Belastungsanteile aus der Verrohrung und dem Lüf-

¹¹ Vor allem durch Partikelemissionen sowie Emissionen von NO_x, SO_x und Ammoniak verursacht

¹² Rohöl, Erdgas und Kohle

tungsgerät. Wie Abbildung 6.4 zeigt, bewertet die Methode der ökologischen Knappheit Emissionen in Luft, Grundwasser und Boden stark, während der Verbrauch von Energie-Ressourcen kaum gewichtet wird. Daher gehen zwischen 80 und 90 % der Gesamtbelastung auf Belastungen durch Emissionen (Luft, Wasser, Boden) zurück.

Auch bei einer Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit schneiden die Materialvarianten mit einer Verrohrung aus Polyethylen günstiger ab als diejenigen mit Stahlverrohrung und die Systeme mit zentralem Lüftungsgerät besser als die Systeme mit dezentralen Geräten.

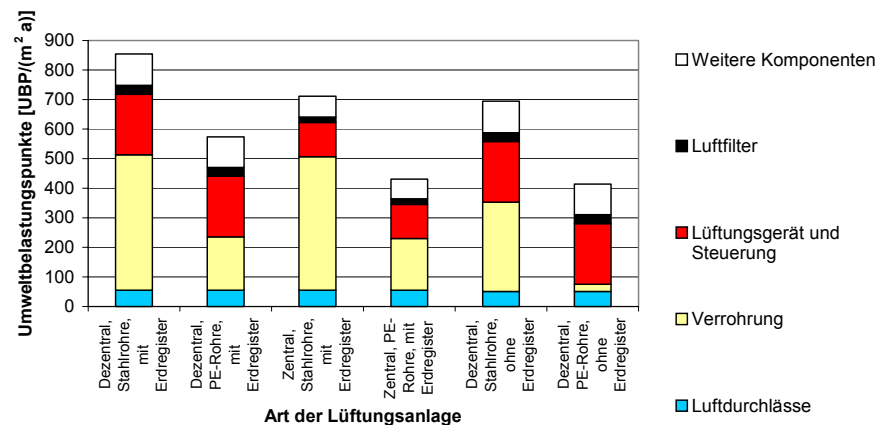


Abbildung 6.3 Vergleich der Lüftungssysteme, Komponenten, Ökologische Knappheit (1997)

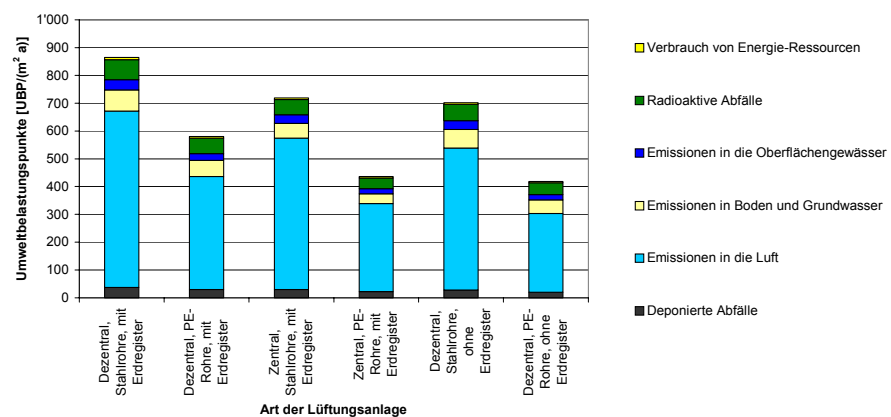


Abbildung 6.4 Vergleich der Lüftungssysteme, Schadenskategorien, Ökologische Knappheit (1997)

Nichtererneuerbare Primärenergie

Abbildung 6.5 zeigt den Einfluss einzelner Bauteilgruppen am kumulierten Energiebedarf für die Herstellung, Erneuerung und Entsorgung der Anlagekomponenten (ohne Betrieb). Die Wirkung wird ausgedrückt in MJ-eq. nichterneuerbare Primärenergie (Rohöl, Erdgas, Kohle, Uran). Auch diese Bewertung führt zu einer vergleichbaren Gesamtaussage bezüglich dem Systemvergleich (Metall / Kunststoff, bzw. Zentral / Dezentral). Allerdings ist der Einfluss der Materialwahl für die Verrohrung etwas geringer als bei der Bewertung mit Eco-indicator 99, was auf den relativ hohen Energiebedarf für die Herstellung der Polyethylenrohre zurückzuführen ist.

Vom kumulieren nichterneuerbaren Primärenergiebedarf stammt für alle Varianten ein Anteil von etwa 80 % aus fossilen Quellen (v.a. Rohöl und Erdgas) und 20 % aus Nuklearenergie.

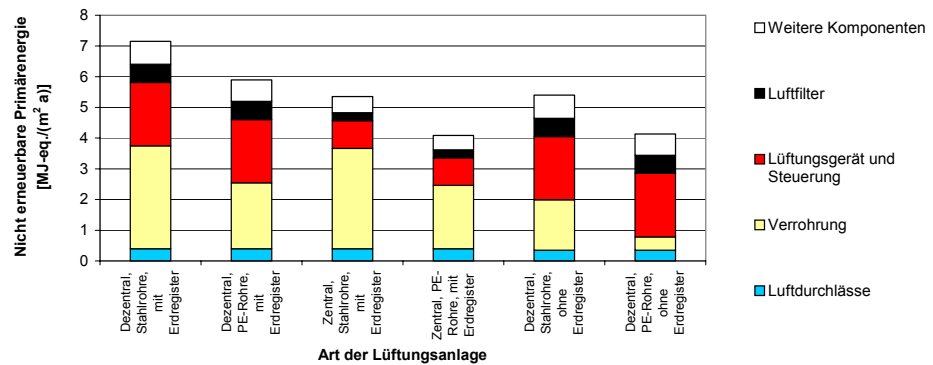


Abbildung 6.5 Vergleich der Lüftungssysteme, Komponenten, nichterneuerbare Primärenergie

Treibhauspotential

Abbildung 6.6 zeigt den Einfluss einzelner Bauteilgruppen an der Gesamtbelastung durch treibhauswirksame Emissionen. Die Schadenswirkung wird ausgedrückt in kg CO₂-Äquivalenten. Dabei wurden die Treibhauspotentiale mit einem Wirkungszeitraum von 100 Jahren verwendet. Die Resultate sind sehr ähnlich wie für die Bewertung des kumulierten nichterneuerbaren Primärenergiebedarfs. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ein Grossteil der CO₂ Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern innerhalb der Produktionskette entsteht und somit diese Emissionen stark mit dem Primärenergiebedarf aus fossilen Energiequellen gekoppelt sind.

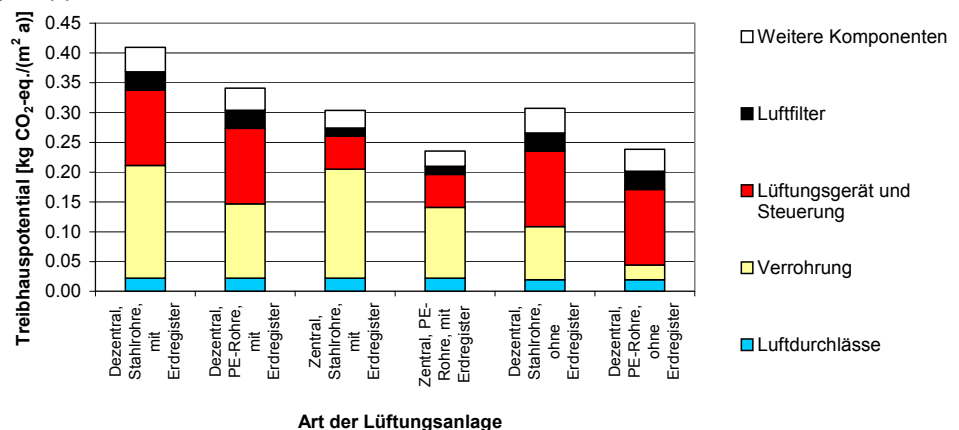


Abbildung 6.6 Vergleich der Lüftungssysteme, Komponenten, Treibhauspotential (IPCC 2001, 100 a)

6.1.2 Hauptkomponenten

Die Verrohrung innerhalb der Wohnung sowie die Lüftungsgeräte haben einen wesentlichen Anteil an der Gesamtbelastung aus Herstellung, Erneuerung und Entsorgung der Lüftungssysteme. Im Folgenden werden daher diese beiden Systemkomponenten genauer analysiert. Die Darstellung der Resultate erfolgt mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 (H/A).

Lüftungsgerät

In Abbildung 6.7 sind die Belastungsanteile an den Schadenskategorien von Eco-indicator 99 für die untersuchten Lüftungsgeräte dargestellt. Die Resultate beinhalten dabei die Belastungen aus Herstellung und Entsorgung der Lüftungsgeräte pro m^2 Energiebezugsfläche. Der Bezug pro m^2 Fläche lässt einen direkten Vergleich der beiden Gerätevarianten zu (Zentral: 1 Gerät mit $720 \text{ m}^3/\text{h}$, Dezentral: 6 Geräte mit $120 \text{ m}^3/\text{h}$).

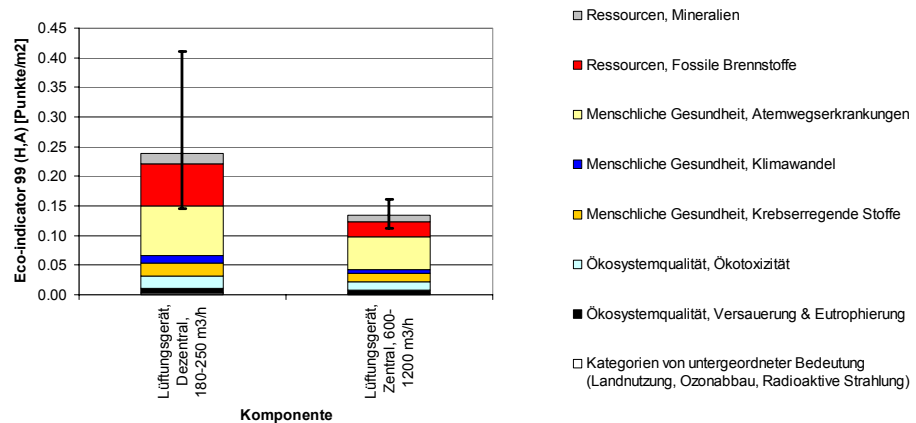


Abbildung 6.7 Lüftungsgerät, Schadenskategorien, Eco-indicator 99 (H/A)

Die Fehlerbalken in der Graphik zeigen den Streubereich der untersuchten Lüftungsgeräte (4 Stk. dezentral, 2 Stk. zentral). Die Belastung aus Herstellung und Entsorgung der Geräte korreliert stark mit dem Gerätegewicht. Auch eine Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit oder dem kumulierten nichterneuerbaren Primärenergieaufwand zeigt ein vergleichbares Resultat. Da für die dezentrale Lüftungsanlage 6 Geräte pro Haus benötigt werden, resultiert dabei für den Mittelwert der untersuchten Anlagen für die dezentrale Anlage knapp die doppelte Belastung aus der Herstellung und Entsorgung der Lüftungsgeräte wie für die zentrale Anlage. Mit Einbezug der Streubreite kann jedoch im günstigen Fall eine vergleichbare Belastung und im ungünstigen Fall etwa die vierfache Belastung resultieren. In dieser Betrachtung nicht berücksichtigt sind Unterschiede in der Leistungsfähigkeit der einzelnen Geräte (Wärmerückgewinnungsgrad, Ventilatorstrombedarf, Robustheit bzw. Lebensdauer des Geräts).

Verrohrung innerhalb Wohnung

In Abbildung 6.8 sind die Belastungsanteile an den Schadenskategorien von Eco-indicator 99 für die beiden Materialvarianten der Verrohrung dargestellt. Die Resultate beinhalten dabei sowohl die Herstellung wie auch die Entsorgung der Rohre. Bei der Bewertung mit Eco-indicator 99 zeigen sich klare Vorteile für die Materialvariante aus Polyethylen. Dies ist zu einem grossen Teil auf das um über Faktor 4 niedrigere Metergewicht der Verrohrung aus Polyethylen zurückzuführen. Bei der Verrohrung aus verzinktem Stahlblech ist der grösste Belastungsanteil auf die Schadenskategorie Atemwegserkrankungen zurückzuführen (44 %). Dies ist zu einem grossen Teil auf die Belastungen aus der Verzinkung zurückzuführen. Der Verbrauch fossiler Ressourcen hat dagegen hier nur einen Anteil von 14 % an den Gesamtbelastungen, während er bei der Verrohrung aus Polyethylen 64 % ausmacht.

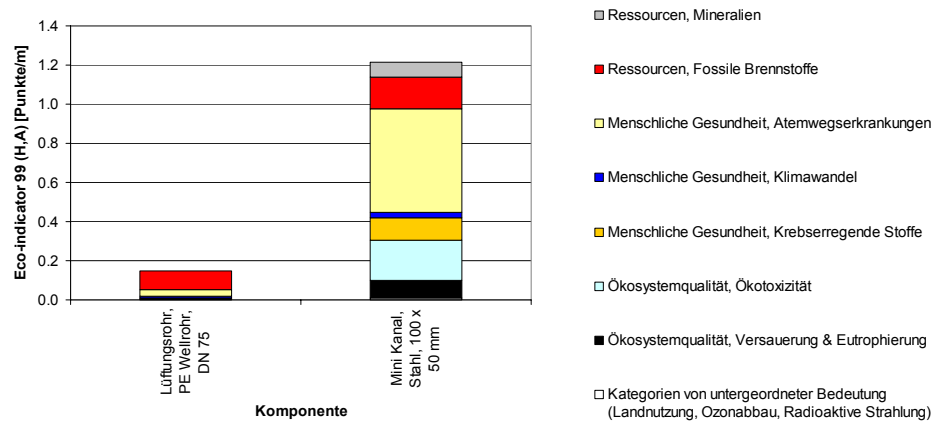


Abbildung 6.8 Lüftungsrohre, Schadenskategorien, Eco-indicator 99 (H/A)

Auch die Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit zeigt ähnliche Resultate. Da der Ressourcenverbrauch hier jedoch kaum gewichtet wird fällt der Vergleich für die PE Rohre noch etwas günstiger aus. Bei der Bewertung des nichterneuerbaren Primärenergiebedarfs sind die Unterschiede zwischen den beiden Materialvarianten nicht sehr gross. Es zeigt sich aber die gleiche Tendenz. Für die Verrohrung aus Polyethylen liegt der kumulierte nichterneuerbare Primärenergiebedarf bei 37 MJ/m und für die Verrohrung aus verzinktem Stahlblech 92 MJ/m. In diesen Betrachtungen sind die höheren Verschnitte bei der Verlegung der Stahlrohre gegenüber der Verrohrung aus Polyethylen noch nicht berücksichtigt.

6.1.3 Einfluss der Lebensdauerannahmen

Die Festlegung der Lebensdauer der einzelnen Komponenten ist aufgrund der grossen Streubreiten der Angaben oder infolge fehlender Erfahrungen für einzelne Komponenten schwierig. Die Streubreiten und die Datenquellen für die Lebensdauerannahmen für die einzelnen Komponenten sind in Tabelle 10.1 dargestellt. In Tabelle 6.1 sind die Lebensdauerannahmen für drei verschiedene Szenarien (hohe, mittlere und niedrige Lebensdauer) zusammengestellt:

Tabelle 6.1 Annahmen für Lebensdauerszenarien

Szenario	Gesamtsystem	Verrohrung, a)	Lüftungsgerät, b)	Filter, c)
hohe Lebensdauer	80 Jahre	80 Jahre	30 Jahre	24 Monate
mittlere Lebensdauer, *)	50 Jahre	50 Jahre	20 Jahre	12 Monate
tiefe Lebensdauer	30 Jahre	30 Jahre	15 Jahre	4 Monate

a) Gesamte Verrohrung, Luftverteiler, Erdregister, Luftdurchlässe

b) Lüftungsgerät, Steuerung, Verkabelung, Schalldämpfer

c) Zuluftfilter, Abluftfilter

*) Dieses Szenario entspricht der allgemein für die Resultatdiskussion verwendeten Basisvariante

Abbildung 6.9 zeigt die Streubreite der Resultate für die drei untersuchten Lebensdauerszenarien. Die Darstellung zeigt die Resultate für ein zentrales System in zwei Materialvarianten (Stahl / PE) bewertet mit Eco-indicator 99 (H/A).

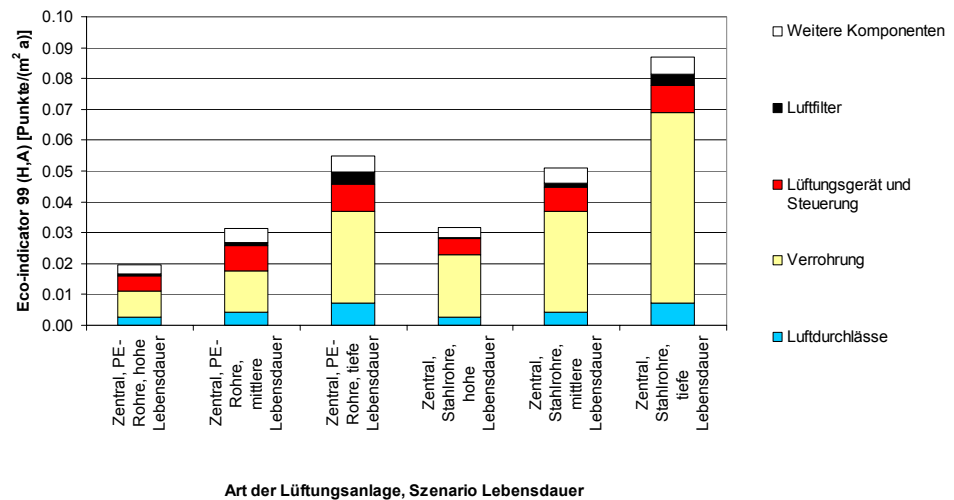


Abbildung 6.9 Einfluss der Lebensdauer, Eco-indicator 99 (H/A)

Das Resultat zeigt die Unsicherheit, welche sich aus den Annahmen zur Lebensdauer ergeben. Dabei ist vor allem die Lebensdauer der Lüftungsrohre von Bedeutung, da die Verrohrung einen grossen Anteil der Gesamtbelastung ausmacht. Aufgrund der grossen Kosten, welche ein Ersatz der Lüftungsrohre vor allem in der Wohnungsverteilung mit sich bringt, ist jedoch in den wenigsten Fällen von einer Lebensdauer von nur 30 Jahren auszugehen. Die effektiv erreichte Lebensdauer hängt auch mit den Möglichkeiten zur Reinigung des Systems zusammen und wird somit durch die fachgerechte Planung des Systems stark mitbestimmt. Für die Komponenten mit kürzerer Lebensdauer zeigt sich der Einfluss auf das Gesamtergebnis nicht im selben Mass wie bei der Verrohrung. Beim Filterersatz zeigt sich im Szenario mit tiefer Lebensdauer (Ersatz alle 4 Monate) der Einfluss dieser Komponenten jedoch bereits deutlich. Daher sollte für Filter, welche häufig gewechselt werden, ein System gewählt werden, bei dem der Filterrahmen sehr leicht ist oder mehrfach verwendet werden kann.

Für alle folgenden Betrachtungen wurde das Szenario der mittleren Lebensdauer gewählt.

6.1.4 Einfluss der Verlegungsart

Bei der Verlegung der Lüftungsrohre innerhalb den Wohnungen kann die Verlegung auf verschiedene Arten erfolgen. Sehr häufig erfolgt die Verlegung direkt im Beton der Geschossdecke. Dadurch wird ein Teil des Betonvolumens verdrängt und somit für dieselbe Deckenstärke weniger Beton benötigt. Eine Verlegung innerhalb des Bodenaufbaus wird vor allem bei den flachen Mini-Kanälen aus verzinktem Stahlblech oder ovalen Kunststoffrohren angewendet. Dabei erfolgt bei der Verlegung entweder eine Verstärkung der Trittschalldämmung (Verlegung innerhalb Dämmmaterial) oder der Unterlagsboden wird verstärkt (Verlegung im Unterlagsboden). In Tabelle 6.2 sind die Veränderungen im Materialbedarf für die drei Varianten zur Verlegung der Lüftungsrohre dargestellt:

Tabelle 6.2 Veränderung des Materialbedarfs am Gebäude durch die Rohrverlegung

Verlegeart	zusätzlicher Materialbedarf (Bezug pro m ² EBF)		Stahl 100x50 mm	PE Ø 75 mm
Geschossdecke, im Beton	Betonbedarf	kg/m ²	-8.05	-4.86
Unterlagsboden, in Dämmmaterial	Dämmmaterial (EPS 20)	kg/m ²	0.42	0.85
Unterlagsboden, in Zementschicht	Zementunterlagsboden	kg/m ²	45.8	93.8

Erhöhung der Aufbaustärke im Bodenaufbau: 30 mm für Minikanäle (Stahlblech), 55 mm für PE-Rohre
 Beim Einlegen der Rohre in die Geschossdecke und im Zementunterlagsboden wird davon ausgegangen, dass keine Verstärkung der Betonstärke aus statischen Gründen notwendig ist.

In Abbildung 6.10, Abbildung 6.11 und Abbildung 6.12 sind die Unterschiede für das Lüftungssystem mit zentralem Lüftungsgerät und einer Luftverteilung in den Wohnungen über Minikanäle aus verzinktem Stahlblech (50x100mm) dargestellt. Die Verlegung der Rohre im Beton der Geschossdecke führt unabhängig von der Bewertungsmethode zu einer leichten Reduktion der Gesamtbelastung, da eine geringere Menge Beton eingesetzt werden muss. Nachteilig bei dieser Variante ist, dass die Lüftungsrohre nicht mehr ersetzt werden können.

Werden die Lüftungsrohre in der Dämmung des Bodenaufbaus verlegt so ist eine erhöhte Dämmstärke der Trittschalldämmung notwendig (Erhöhung um 30 mm für Verrohrung mit 50 mm Höhe). Dies führt zu einer Erhöhung der Gesamtbelastung gegenüber der Variante ohne Verlegeeinfluss. Die zusätzlichen Aufwendungen durch die eingesetzte Polystyrolämmung zeigen sich dabei vor allem beim kumulierten Primärenergieaufwand (nicht erneuerbar). Werden die Rohre im verstärkten Unterlagsboden verlegt, so zeigen sich die Mehraufwendungen vor allem bei der Methode der ökologischen Knappheit durch die starke Erhöhung der Belastungen durch deponierte Abfälle. Beim kumulierten Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar) dagegen zeigen sich kaum Unterschiede zur Verlegung im Dämmmaterial.

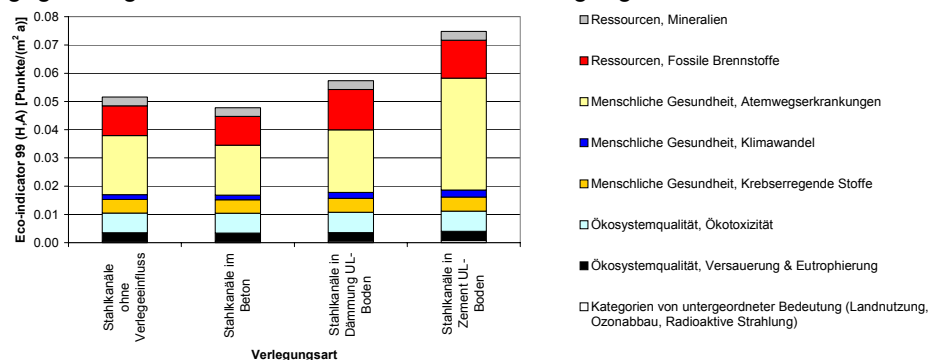


Abbildung 6.10 Einfluss der Verlegung, Stahlkanäle, Eco-indicator 99 (H/A)

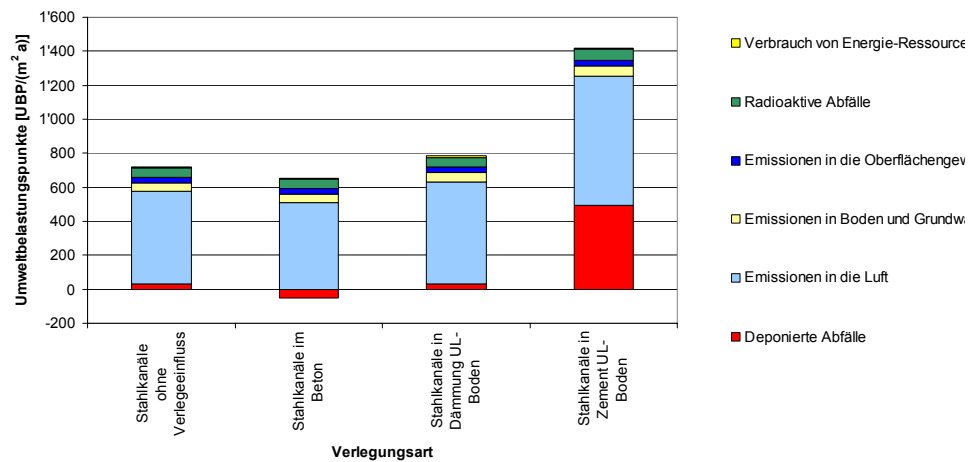


Abbildung 6.11 Einfluss der Verlegung, Stahlkanäle, Ökologische Knappheit (1997)

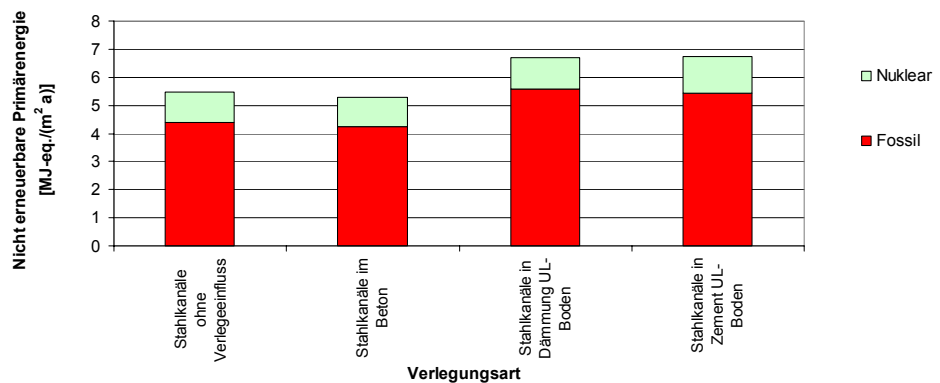


Abbildung 6.12 Einfluss der Verlegung, Stahlkanäle, Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf

Die Resultate für die Verlegung von Polyethylenrohren sind vergleichbar, jedoch ist der Unterschied zwischen Verlegung im Beton (bzw. ohne Verlegeeinfluss) und Verlegung im Unterlagsboden ausgeprägter, die Erhöhung der Aufbaustärke aufgrund des grösseren Rohrdurchmessers 55 mm statt nur 30 mm beträgt.

6.2. Einfluss der Betriebsphase

In diesem Kapitel werden die Gesamtsysteme unter Einbezug der Aufwendungen aus dem Betrieb betrachtet. Wird die Betriebsphase in die Betrachtungen einbezogen, so muss neben dem Strombedarf für die Lüftungsanlage auch die Wirksamkeit der Wärmerückgewinnung einbezogen werden, da dies einen wichtigen Einfluss auf die Gesamtleistung des Lüftungssystems hat. Dies wird durch die Verringerung des Heizenergiebedarfs (Q_h) gegenüber einer Referenzberechnung gemäss Standardnutzung nach SIA 380/1 berücksichtigt (siehe Kapitel 3.3.4). Als funktionelle Einheit wird hier der Bezug pro MJ Reduktion des Heizenergiebedarfs gewählt. Mit dem Bezug der Belastungen aus dem gesamten Lebenszyklus (inkl. Betriebsstrom) auf die Reduktion des Heizenergiebedarfs durch die Lüftungsanlage wird eine direkte Vergleichbarkeit zwischen den Varianten erreicht. Alle Resultate beziehen sich auf ein System mit Verlegung der Lüftungsrohre in der Betondecke.

6.2.1 Vergleich der Lüftungssysteme

Der Vergleich der verschiedenen Lüftungssysteme beinhaltet neben dem Strombedarf für den Betrieb den Anteil an der Herstellung, Erneuerung und Entsorgung der Anlage. Die dargestellten Resultate gelten für ein Gebäude in der Klimaregion Zürich, welches vom Dämmstandard den Anforderungen an MINERGIE erfüllt. Es wurde von in der Betondecke verlegten Lüftungsrohren ausgegangen. Ein ganzjähriger Betrieb der Lüftungsanlage wurde vorausgesetzt. Der Strombezug erfolgt aus dem Schweizer Stromnetz auf Niederspannungsstufe. In Tabelle 6.3 sind die Parameter dargestellt, welche als Grundlage für die Berechnung der Resultate verwendet wurden.

Tabelle 6.3 Grundlagedaten für Vergleich der Lüftungssysteme

Parameter	Einheit	Dezentral, Stahlrohre, mit Erdregister	Dezentral, PE-Rohre, mit Erdregister	Zentral, Stahlrohre, mit Erdregister	Zentral, PE-Rohre, mit Erdregister	Dezentral, Stahlrohre, ohne Erdregister	Dezentral, PE-Rohre, ohne Erdregister
spez. Strombedarf Ventilatoren	W/(m ³ /h)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Strombedarf Steuerung	W	10	10	10	10	10	10
Strombedarf für Frostschutz	kWh/m ² a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30
Betriebszeit der Lüftungsanlage	Monate/a	12	12	12	12	12	12
spez. Strombedarf Lüftungsanlage, total	kWh/m ² a	3.35	3.35	3.35	3.35	3.65	3.65
Luftmenge	m ³ /h	720	720	720	720	720	720
Wärmerückgewinnungsgrad	%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom, total	m ³ /m ² h	0.30	0.30	0.30	0.30	0.33	0.33
Heizenergieeinsparung (dQh) gegenüber Referenz	MJ/m ² a	34.2	34.2	34.2	34.2	31.2	31.2

Eco-indicator 99,
Typus Hierarchist (H/A)

In Abbildung 6.13 sind die Resultate der Bewertung mit Eco-indicator 99 (H/A) zum Vergleich ohne Berücksichtigung der Reduktion des Heizenergiebedarfs dargestellt (Bezug pro m² Energiebezugsfläche und Jahr). Gegenüber Abbildung 6.14, wo die Resultate auf die durch die Lüftungsanlage erreichte Reduktion des Heizenergiebedarfs bezogen werden (Bezug pro MJ), zeigen sich vor allem zwischen den Systemen mit und ohne Erdregister Unterschiede.

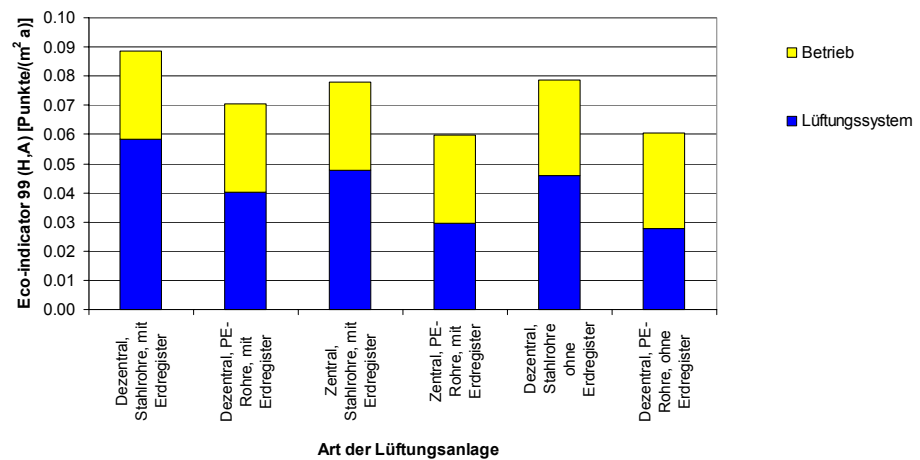


Abbildung 6.13 Vergleich der Systemvarianten, Eco-indicator 99 (H/A), Bezug pro Jahr und m² EBF
Ohne Einbezug der Heizenergiebedarfsreduktion durch die Lüftungsanlage

Abbildung 6.14 zeigt, dass bei einer Bewertung mit Eco-indicator 99 unter den in Tabelle 6.3 gegebenen Randbedingungen (v.a. Ventilatorstrombedarf) der Betrieb nur 34-54 % der Gesamtbelastung ausmacht. Die Systemvarianten ohne Erdregister fahren trotz geringerem Materialaufwand nicht besser, da sie den Heizwärmebedarf nicht im selben Masse reduzieren wie die Systeme mit Erdregister. Der bereits in Kapitel 6.1.1 beschriebene Vorteil von Systemen mit einem zentralen Lüftungsgerät sowie der Materialvariante mit Verrohrung aus Polyethylen bleibt bestehen.

Innerhalb der einzelnen Schadenskategorien von Eco-indicator 99 sind die grössten Belastungen in den Kategorien Atemwegserkrankungen (33-36 %), Verbrauch fossiler Brennstoffe (22-27 %) und Ökotoxizität (11-14 %) zu finden. Detaillierte Resultate dazu sind im Anhang in Tabelle 10.29 zu finden.

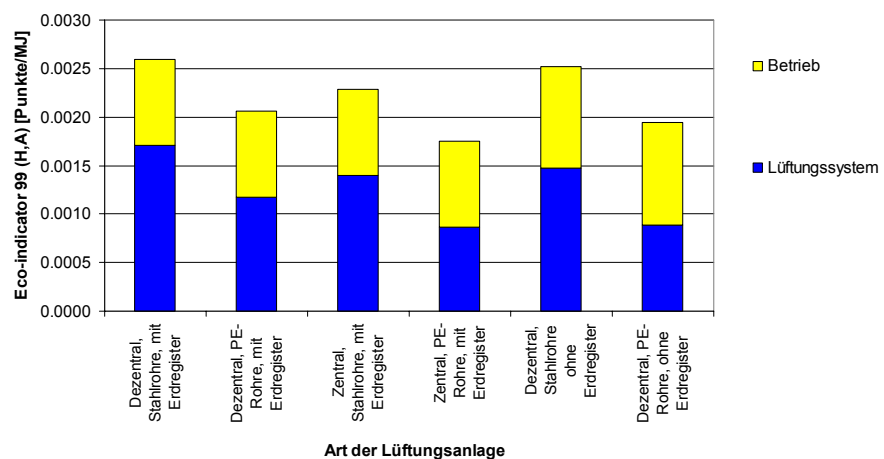


Abbildung 6.14 Umweltbelastung der Systemvarianten, Eco-indicator 99 (H/A)
Belastung in Punkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Wie Abbildung 6.15 zeigt, hat die Betriebsphase bei der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit nach BUWAL (1998) einen bedeutend grösseren Einfluss als bei der Bewertung mit Eco-indicator 99.

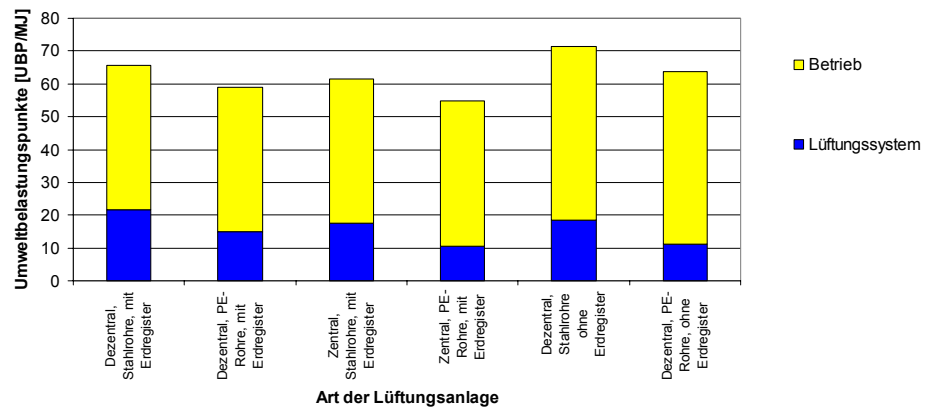


Abbildung 6.15 Umweltbelastung der Systemvarianten, Ökologische Knappheit (1997)

Belastung in Umweltbelastungspunkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Der Anlagenbetrieb macht dabei 67-83 % der Gesamtbelastung aus. Aus diesem Grund schneiden auch die Systeme ohne Erdregister deutlich schlechter ab als diejenigen mit Erdregister. Die Aussage bezüglich der Materialwahl (Polyethylen/Stahl) und Systemwahl (Zentral/Dezentral) bleibt jedoch bestehen.

Abbildung 6.16 zeigt die Belastungsanteile in den einzelnen Schadenskategorien. In der Bewertung der radioaktiven Abfälle ist deutlich der Einfluss des Strombezuges zu sehen (Schweizer Strommix inkl. Stromhandel).

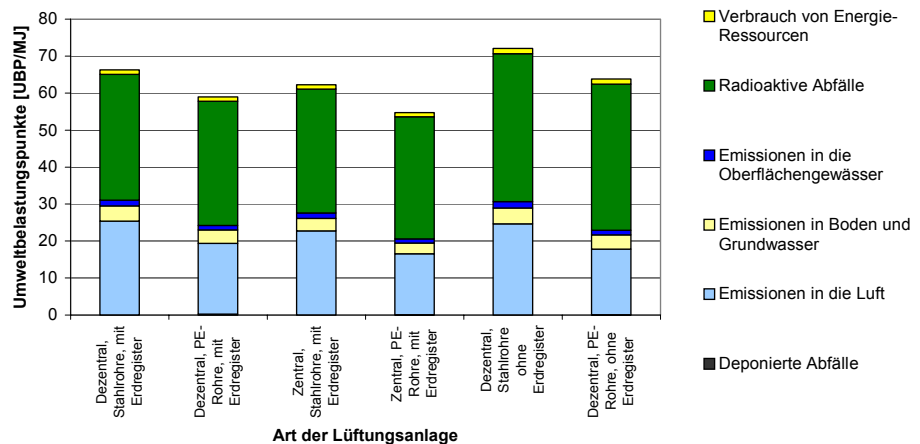


Abbildung 6.16 Umweltbelastung der Systemvarianten, Schadenskategorien, Ökologische Knappheit

Nichtererneuerbare Primärenergie

Einen grossen Einfluss hat die Betriebsphase für den kumulierten nichterneuerbaren Primärenergiebedarf. Wie Abbildung 6.17 zeigt, liegt der Anteil der Betriebsphase bei 79-88 % der Gesamtbelastung. Aus diesem Grund ist auch die Wahl des Systems (Zentral / Dezentral) und des Verrohrungsmaterials (Stahl / Polyethylen) von geringerer Bedeutung. Von grosser Bedeutung sind dagegen die erzielte Reduktion an Heizenergie und der Ventilatorstrombedarf.

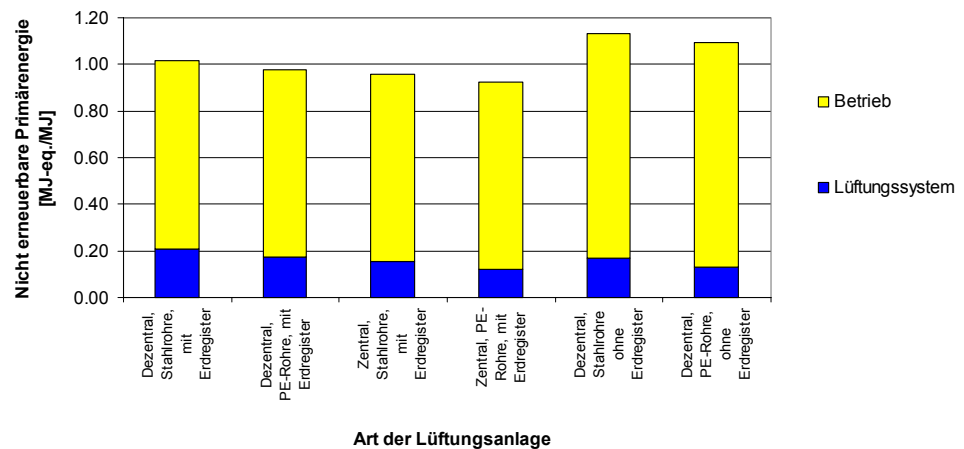


Abbildung 6.17 Vergleich der Systemvarianten, Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf

Belastung in MJ Primärenergieäquivalente pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Treibhauspotential

Die Gesamtbelastung durch treibhauswirksame Emissionen zeigt eine vergleichbare Rangfolge wie die Bewertung des kumulierten nichterneuerbaren Primärenergiebedarfs. Durch die beim Schweizer Strommix geringen CO₂ Emissionen ist jedoch der Einfluss der Betriebsphase mit 54-69 % der Gesamtbelastung deutlich geringer als beim kumulierten Primärenergiebedarf. Dadurch treten die Unterschiede in der Materialisierung der Systeme deutlicher hervor. Abbildung 6.18 zeigt die Resultate für das Treibhauspotential ausgedrückt in kg CO₂-Äquivalenten (Wirkungszeitraum 100 Jahre verwendet).

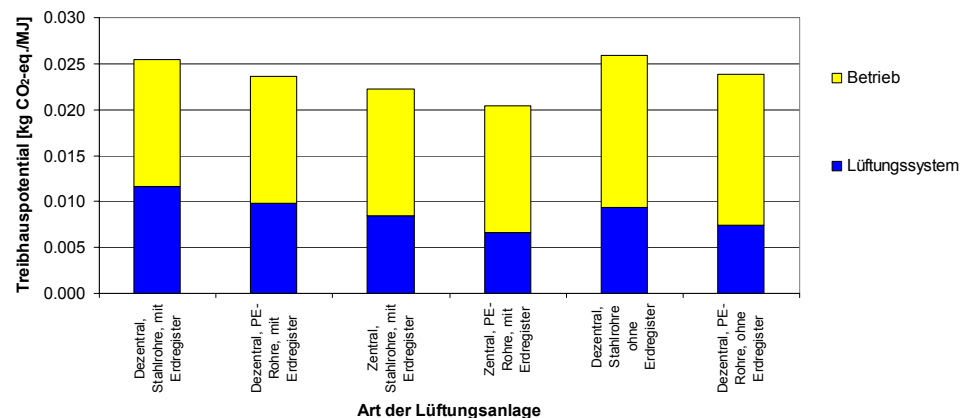


Abbildung 6.18 Vergleich der Systemvarianten, Treibhauspotential, nach IPCC 2001 (100 Jahre)

Belastung in kg CO₂-Äquivalenten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

6.2.2 Dämmstandard, Klimaregion

Der Dämmstandard, die Klimaregion sowie die Innentemperatur in der Heizperiode beeinflussen die Wirksamkeit der Lüftungsanlage. In kaltem Klima, oder bei hohen Raumtemperaturen ist die mögliche Wärmerückgewinnung grösser. In sehr gut gedämmten Gebäuden konkurrenziert die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage mit den nutzbaren Gewinnen (solar und intern). Dies wirkt sich über die dadurch erzielte Reduktion des Heizwärmebedarfs auch auf die ökologische Leistung der Lüftungsanlage aus. Die dargestellten Resultate gelten für ein Lüftungs-

system mit zentralem Lüftungsgerät mit Erdregister und Lüftungsrohren aus Polyethylen. Es wird von einem ganzjährigen Betrieb der Lüftungsanlage ausgegangen. Der Strombezug erfolgt aus dem Schweizer Stromnetz auf Niederspannungsebene. In Tabelle 6.4 sind die Parameter dargestellt, welche als Grundlage für die Resultatberechnung verwendet wurden.

Tabelle 6.4 Grundlagedaten für die Variation des Dämmstandards und Klimaregion

Parameter	Einheit	Zürich SMA, Standard	Zürich SMA, Minergie	Zürich SMA, Passivhaus	Davos, Minergie	Zürich, Minergie, RT = 22°C	Zürich, Minergie, RT = 24°C
spez. Strombedarf Ventilatoren	W/(m ³ /h)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Strombedarf Steuerung	W	10	10	10	10	10	10
Strombedarf für Frostschutz	kWh/m ² a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Betriebszeit der Lüftungsanlage	Monate/a	12	12	12	12	12	12
spez. Strombedarf Lüftungsanlage, total	kWh/m ² a	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35	3.35
Luftmenge	m ³ /h	720	720	720	720	720	720
Wärmerückgewinnungsgrad	%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom, total	m ³ /m ² h	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Heizenergieeinsparung (dQh) gegenüber Referenz	MJ/m ² a	39.5	34.2	31.1	46.3	41.6	49.4

Eco-indicator 99,
Typus Hierarchist (H/A)

Abbildung 6.19 zeigt, dass für Gebäude mit tiefem Heizenergiebedarf die spezifische Belastung pro MJ Reduktion des Heizenergiebedarfs höher ist. Dies ist durch die sinkende Ausnutzung der internen und solaren Gewinne begründet. In einem schlechter gedämmten Gebäude können die internen Gewinne auch mit einer Lüftungsanlage länger genutzt werden als bei einem stark gedämmten Passivhaus. Da im Passivhaus aus verschiedenen Gründen nicht auf eine Lüftungsanlage verzichtet werden soll, ist hier ein stromsparender Betrieb besonders wichtig. Im weiteren zeigt sich, dass der Einsatz einer Lüftungsanlage vor allem in kälteren Regionen (Beispiel: Davos) oder bei höheren Raumtemperaturen als 20°C vorteilhaft ist (siehe Abbildung 6.20). Die Bewertung der Resultate in Abbildung 6.19 und Abbildung 6.20 erfolgte mit Eco-indicator 99 (H/A). Eine Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit oder dem kumulierten nichterneuerbaren Primärenergieaufwand ergeben vergleichbare Resultate. Detaillierte Resultate zu diesen Bewertungsmethoden sind im Anhang in Tabelle 10.30 zu finden.

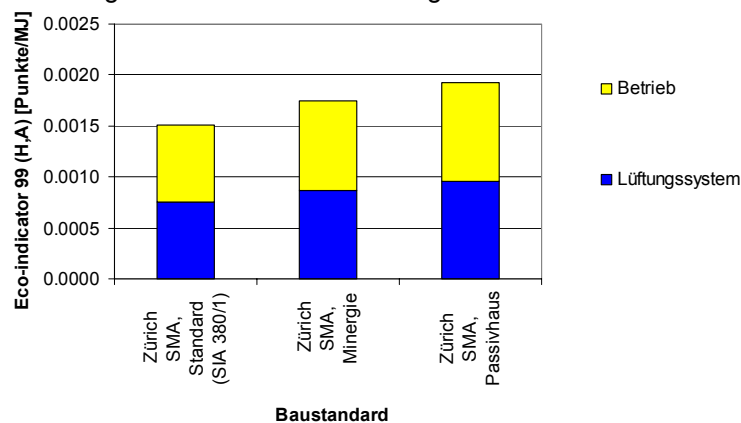


Abbildung 6.19 Einfluss des Baustandards, Eco-indicator 99 (H/A)

Belastung in Punkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

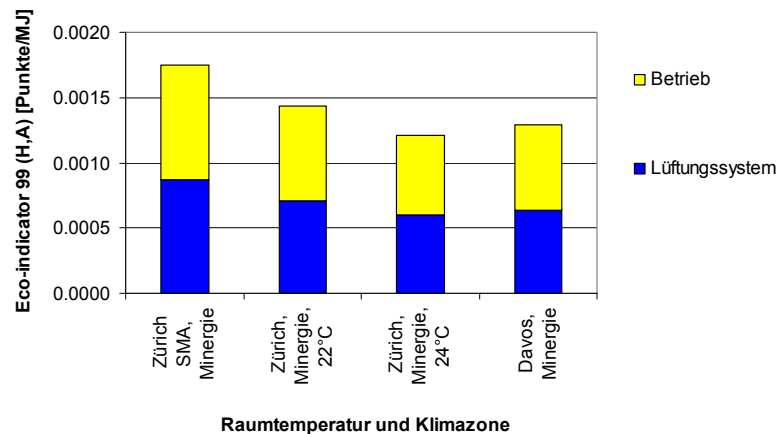


Abbildung 6.20 Einfluss von Raumtemperatur und Klimaregion, Eco-indicator 99 (H/A)
Belastung in Punkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Aus diesen Resultaten kann gefolgert werden, dass eine Lüftungsanlage vor allem auch für schlechter gedämmte Bauten (z.B. Sanierungen) oder Gebäuden mit erhöhter Raumtemperatur sinnvoll ist.

6.2.3 Strombedarf und Wärmerückgewinnungsgrad

Der Wärmerückgewinnungsgrad und der Ventilatorstrombedarf der Lüftungsanlage sind wichtige Einflussfaktoren für die Umwelteffizienz der Lüftungsanlage. Zur Untersuchung dieses Einflusses wurde in dieser Analyse neben dem in den anderen Berechnungen verwendeten Wärmerückgewinnungsgrad von 80 % eine Variation der Werte zwischen 60 % und 95 % berechnet. Dies wirkt sich über die dadurch erzielte Reduktion des Heizenergiebedarfs auch auf die Umwelteffizienz der Lüftungsanlage aus. Der Ventilatorstrombedarf¹³ wird für diese Analyse zwischen 0.3 Wh/m^3 und 1.0 Wh/m^3 variiert (Standardwert 0.4 Wh/m^3). Durch die Belastungen aus der Stromproduktion wirkt sich dieser Parameter ebenfalls direkt auf die Gesamtbelastung aus.

Die dargestellten Resultate gelten für ein Lüftungssystem mit zentralem Lüftungsgerät mit Erdregister und Lüftungsrohren aus Polyethylen. Es wird von einem ganzjährigen Betrieb der Lüftungsanlage ausgegangen. Der Strombezug erfolgt aus dem Schweizer Stromnetz auf Niederspannungsstufe. In Tabelle 6.4 sind die Parameter dargestellt, welche als Grundlage für die Resultatberechnung verwendet wurden.

¹³ Gesamte Stromaufnahme beider Ventilatoren im Lüftungsgerät

Tabelle 6.5 Grundlagedaten für die Variation des Strombedarfs und der Wärmerückgewinnung

Parameter	Einheit	spez. Strombedarf 0.3 Wh/m ³	spez. Strombedarf 0.4 Wh/m ³	spez. Strombedarf 0.5 Wh/m ³	spez. Strombedarf 0.6 Wh/m ³	spez. Strombedarf 0.8 Wh/m ³	spez. Strombedarf 1.0 Wh/m ³
spez. Strombedarf Lüftungsanlage, total	kWh/m ² a	2.54	3.35	4.16	4.96	6.58	8.20
Heizenergieeinsparung (dQh) gegenüber Referenz							
Wärmerückgewinnungsgrad 60%	MJ/m ² a	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
Wärmerückgewinnungsgrad 70%	MJ/m ² a	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1
Wärmerückgewinnungsgrad 80%	MJ/m ² a	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
Wärmerückgewinnungsgrad 90%	MJ/m ² a	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Wärmerückgewinnungsgrad 95%	MJ/m ² a	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0

Eco-indicator 99,
Typus Hierarchist (H/A)

Abbildung 6.21 zeigt, dass bei Wärmerückgewinnungsgraden über 90 % nur noch eine geringe Steigerung der Umwelteffizienz erfolgt. Die Differenzen durch die Erhöhung des Wärmerückgewinnungsgrades von 70 % auf 80 % sind dagegen sehr bedeutend. Daraus lässt sich folgern, dass hohe Wärmerückgewinnungsgrade, welche durch hohe Druckverluste im Wärmetauscher und damit einen erhöhten Ventilatorstrombedarf verbunden sind, kontraproduktiv sein können. Diese Aussage ist allerdings auch vom verwendeten Strommix abhängig und ist weniger zutreffend für ökologisch vorteilhafte Stromerzeugungsarten (z.B. naturemade star).

Im in Abbildung 6.21 dargestellten Fall wird dieselbe Gesamtbelastung erreicht, wenn der Ventilatorstrombedarf von 0.4 Wh/m³ auf 0.49 Wh/m³ steigt um den Wärmerückgewinnungsgrad von 90 % auf 95 % zu steigern. Eine Lüftungsanlage mit einem Wärmetauscher mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 70 % dürfte dagegen nur einen Ventilatorstrombedarf von 0.16 Wh/m³ aufweisen um dieselbe Gesamtbelastung pro MJ zu erreichen.

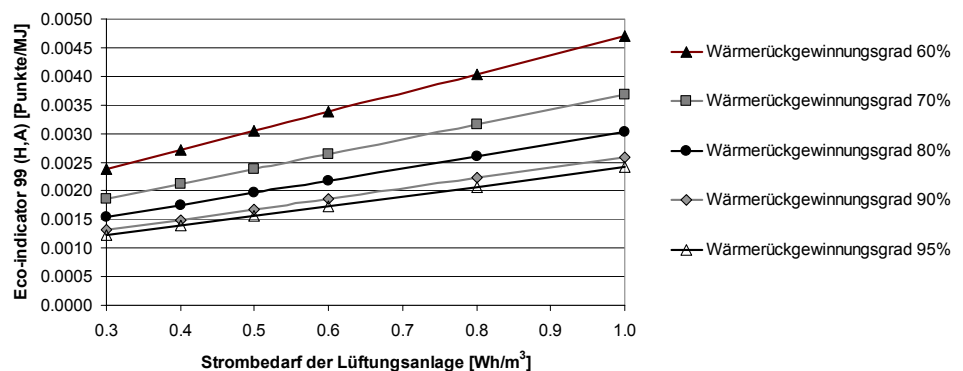


Abbildung 6.21 Einfluss von Strombedarf und Wärmerückgewinnung, Eco-indicator 99 (H/A)

Belastung in Punkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

In Abbildung 6.22 sind die relativen Verbesserungen der Umwelteffizienz einer Lüftungsanlage pro MJ Reduktion des Heizenergiebedarfs und pro Prozent Verbesserung des Wärmerückgewinnungsgrades dargestellt. Für die Bewertung der dargestellten Daten wurde Eco-indicator 99 (H/A) gewählt. Die Resultate beziehen sich auf ein zentrales Lüftungssystem mit Verrohrung aus Polyethylen und Erdre-

gister. Im Weiteren wurde für den gesamten dargestellten Bereich (50 %-95 % WRG) von einem Strombedarf von 0.4 Wh/m^3 ausgegangen.

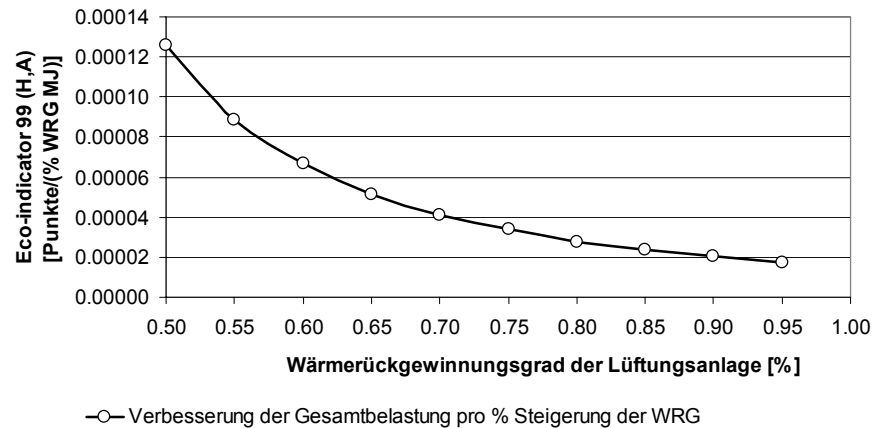


Abbildung 6.22 Relative Verringerung der Gesamtbelastung bei Verbesserung der WRG

In Punkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion und pro Prozent Erhöhung der WRG

Es zeigt sich, dass die Verbesserungen von 90 % auf 91 % Wärmerückgewinnung nur noch halb so gross sind wie von 70 % auf 71 %. Damit der bei der Erhöhung des Wärmerückgewinnungsgrades durch die höheren Druckverluste auftretende Mehrbedarf an Ventilatorstrom sich nicht kontraproduktiv auswirkt, darf die Zunahme des Ventilatorstrombedarfs (Summe aus Zu- und Abluft) pro Prozent Steigerung des Wärmerückgewinnungsgrades 0.01 Wh/m^3 nicht überschreiten. Diese Aussage gilt für Wärmetauscher mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80 % und höher und einem ganzjährigen Betrieb der Lüftungsanlage.

Methode der
ökologischen Knappheit

Aufgrund der stärkeren Gewichtung des Strombedarfs (siehe Kapitel 6.2.1) bei der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit ist der Einfluss der Veränderung des Ventilatorstrombedarfs, wie Abbildung 6.23 zeigt, grösser als bei der Bewertung mit Eco-indicator 99. Vergleichbare Resultate ergibt auch die Bewertung mit dem nichterneuerbaren Primärenergiebedarf, da auch dort der Betriebsenergiebedarf ein hohes Gewicht hat.

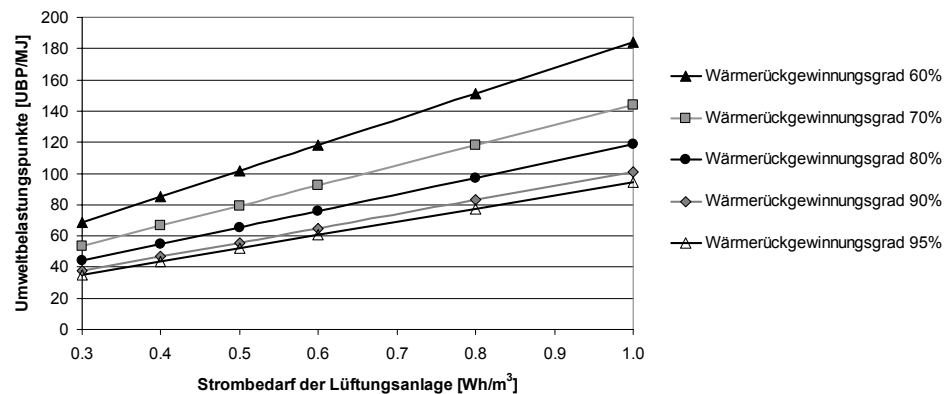


Abbildung 6.23 Einfluss von Strombedarf und Wärmerückgewinnung, Ökologische Knappheit (1997)

Belastung in Umweltbelastungspunkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

6.2.4 Betriebsdauer

Für die Untersuchung des Einflusses der Betriebsdauer der Lüftungsanlage wurde für die folgenden Varianten die Gesamtbelastung über den gesamten Lebenszyklus der Lüftungsanlage berechnet:

- Standort Zürich, Dämmstandard entsprechend MINERGIE (Standardvariante)
- Standort Zürich, Dämmung etwa entsprechend Passivhausstandard
- Standort Davos, Dämmung wie Standardvariante
- Standort Zürich, Dämmung wie Standardvariante, Raumtemperatur 24°C

Die dargestellten Resultate gelten für ein Lüftungssystem mit zentralem Lüftungsgerät mit Erdregister und Lüftungsrohren aus Polyethylen. Der Strombezug erfolgt aus dem Schweizer Stromnetz auf Niederspannungsstufe.

Für die Berechnung des Heizwärmebedarfs wurde angenommen, dass in der Zeit mit ausgeschalteter Lüftung über die Fenster gelüftet wird und dieselben Verluste entstehen wie bei einem Gebäude ohne Lüftungsanlage (Standardnutzung). In Tabelle 6.6 sind die Parameter dargestellt, welche als Grundlage für die Resultatberechnung verwendet wurden.

Tabelle 6.6 Grundlagedaten für die Variation der Betriebsdauer der Lüftungsanlage

Parameter	Einheit	Betriebsdauer 12 Monate / Jahr	Betriebsdauer 10 Monate / Jahr	Betriebsdauer 8 Monate / Jahr	Betriebsdauer 6 Monate / Jahr	Betriebsdauer 4 Monate / Jahr	Betriebsdauer 2 Monate / Jahr
spez. Strombedarf Lüftungsanlage, total	kWh/m ² a	3.35	2.79	2.23	1.67	1.12	0.56
Heizenergieeinsparung (dQh) gegenüber Referenz							
Zürich SMA, Minergie	MJ/m ² a	39.5	39.5	39.3	34.7	25.5	14.4
Zürich SMA, Passivhaus	MJ/m ² a	31.1	31.1	31.1	30.8	25.5	14.4
Davos, Minergie	MJ/m ² a	46.3	46.2	45.8	40.0	28.5	15.6

Wahl der Betriebsmonate entsprechend der maximalen Anzahl Heizgradtage.

Eco-indicator 99,
Typus Hierarchist (H/A)

Abbildung 6.24 zeigt, dass für Gebäude in Klimaregionen mit kälteren Temperaturen oder bei erhöhten Raumtemperaturen eine längere Laufzeit der Lüftungsanlage optimal ist. Bei der Bewertung mit Eco-indicator 99 liegen die Optima für die eingangs beschriebenen Voraussetzungen bei etwa 6 Monaten Laufzeit für den Gebäudestandort Zürich und einer Raumtemperatur von 20°C. In Bergregionen oder bei Raumtemperaturen um 24°C liegt das Optimum etwa bei 8 Monaten Laufzeit. Kürzere Laufzeiten als 5 Monate führen wieder zu einem starken Anstieg der Gesamtbelastung.

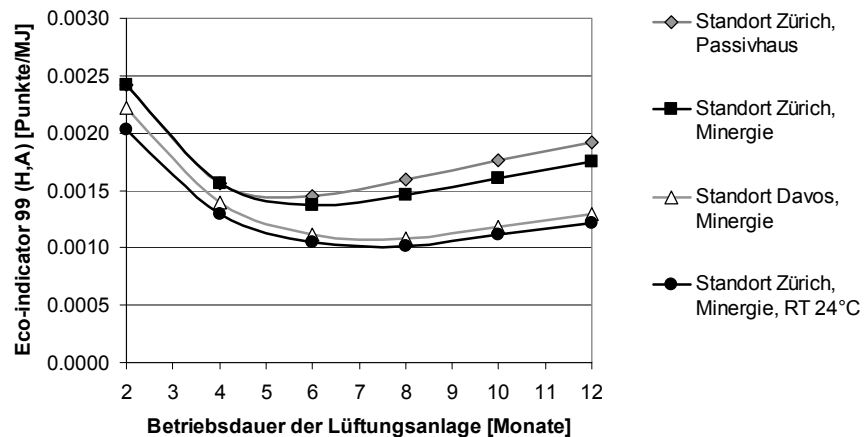


Abbildung 6.24 Einfluss der jährlichen Betriebsdauer, Eco-indicator 99 (H/A)
Belastung in Punkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Methode der
ökologischen Knappheit

Aufgrund der stärkeren Gewichtung des Strombedarfs (siehe Kapitel 6.2.1) bei der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit liegt das Optimum der Betriebsdauer (siehe Abbildung 6.25) tiefer als bei der Bewertung mit Eco-indicator 99. Ein ähnliches Resultat ergibt auch die Bewertung des nichterneuerbaren Primärenergiebedarfs, da auch dort der Betriebsenergiebedarf ein hohes Gewicht hat.

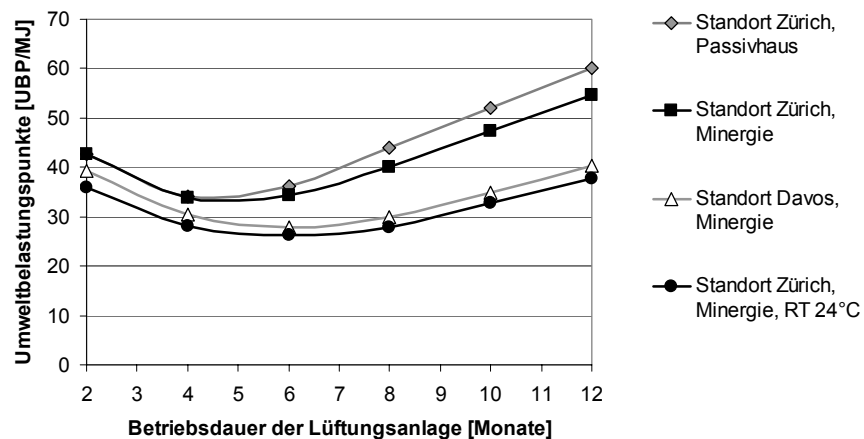


Abbildung 6.25 Einfluss der jährlichen Betriebsdauer, Ökologische Knappheit (1997)
Belastung in Umweltbelastungspunkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Betriebsdauer und Komfort

Häufig wird die Lüftungsanlage aus Komfortgründen während dem ganzen Jahr betrieben (Pollenfilterung, Lärmschutz, Kühlmöglichkeit im Sommer). Diese Betriebsweise wird mit einer 20-80 % höheren Umweltbelastung gegenüber der optimalen Laufzeit erkaufte. Aus ökologischer Sicht muss daher immer die Frage gestellt werden, inwieweit eine längere Betriebsdauer wirklich einen Zusatznutzen bringt und auch benötigt wird und ob dies nicht auf eine weniger energieintensive Art erreicht werden kann. Die optimale Laufzeit der Lüftungsanlage liegt etwa bei der Länge der Heizperiode (abhängig von Klima, Baustandard und Raumtemperatur).

6.2.5 Einfluss der Luftmenge

Für die Untersuchung des Einflusses der Luftmenge bzw. der am Gerät eingestellten Lüftungsstufe wurden die Belastungswerte über den gesamten Lebenszyklus für eine Luftmenge pro Wohnung zwischen 80 m³/h und 180 m³/h berechnet.

Berechnungsgrundlage

Die dargestellten Resultate gelten für ein Lüftungssystem mit zentralem Lüftungsgerät mit Erdregister und Lüftungsrohren aus Polyethylen. Der Strombezug erfolgt aus dem Schweizer Stromnetz auf Niederspannungsstufe. Es wird von einem ganzjährigen Betrieb der Lüftungsanlage mit der entsprechenden Luftmenge ausgegangen. Für die Berechnung des Heizwärmebedarfs wurde der Gebäudestandort Zürich verwendet (Standardvariante). Es wurde eine quadratische Abhängigkeit des Druckverlustes im System vom Volumenstrom angenommen. Die für die Berechnung verwendeten Werte des Ventilatorstrombedarfs und des Wärmerückgewinnungsgrades sind in Tabelle 6.7 dargestellt.

Tabelle 6.7 Grundlagedaten für die Variation der Luftmenge der Lüftungsanlage

Parameter	Einheit	Luftmenge pro Wohnung 80 m ³ /h	Luftmenge pro Wohnung 100 m ³ /h	Luftmenge pro Wohnung 120 m ³ /h	Luftmenge pro Wohnung 140 m ³ /h	Luftmenge pro Wohnung 160 m ³ /h	Luftmenge pro Wohnung 180 m ³ /h
spez. Strombedarf Ventilatoren, *)	W/(m ³ /h)	0.18	0.28	0.40	0.64	0.95	1.35
spez. Strombedarf Lüftungsanlage, total	kWh/m ² a	1.07	1.99	3.35	6.10	10.33	16.49
Wärmerückgewinnungsgrad, **)	%	82%	81%	80%	79%	78%	77%
Luftmenge für gesamtes Haus	m ³ /h	480	600	720	840	960	1'080
Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom, total	m ³ /m ² h	0.24	0.27	0.30	0.33	0.37	0.40
Heizenergiebedarf (Qh), mit WRG	MJ/m ² a	66.1	68.4	70.8	73.5	76.4	79.6
Heizenergieeinsparung (dQh)	MJ/m ² a	38.9	36.6	34.2	31.5	28.6	25.4

*) Für Luftmengen über 120m³/h als kubische Funktion der Luftgeschwindigkeit; bei Luftmengen <120 m³/h Reduktion als quadratische Funktion
 **) Höhere Luftgeschwindigkeiten führen zu einer Abnahme des Wärmerückgewinnungsgrades. Werte aus techn. Daten verschiedener Hersteller.

Resultat

Abbildung 6.26 zeigt den Einfluss einer Veränderung der Luftmenge gegenüber dem Auslegungspunkt von 120 m³/h je Wohnung. In der Graphik sind die berechneten Daten für die Bewertungsmethoden Eco-indicator 99 (H/A), Methode der ökologischen Knappheit und der nichterneuerbare Primärenergieaufwand als relative Veränderung gegenüber dem Auslegungspunkt aufgetragen. Die Werte beziehen sich auf die Berechnung eines gesamten Jahres mit der entsprechenden Luftmenge. Klar zeigt sich das deutlich schlechtere Abschneiden der Anlage bei hohen Luftmengen. Dies ist neben den erhöhten Druckverlusten und dem damit erhöhten Ventilatorstrombedarf auch auf höhere Lüftungswärmeverluste zurückzuführen. Zudem führt der leicht verminderte Wärmerückgewinnungsgrad zu einer weiteren Verschlechterung.

Die Kurven für die einzelnen Bewertungsmethoden spiegeln erneut die Bewertung des Strombedarfs wieder, welche den kleinsten Einfluss für Eco-indicator 99 aufweist und beim nichterneuerbaren Primärenergiebedarf am stärksten gewichtet wird.

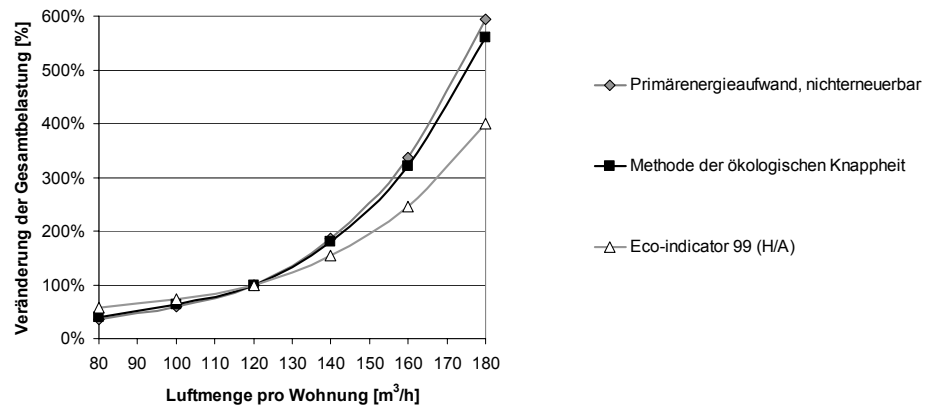


Abbildung 6.26 Einfluss der Luftmenge, Relativwerte zu Auslegungspunkt bei 120 m³/h

6.2.6 Vergleich mit Heizsystemen

Die Darstellung der Gesamtbelastung über den gesamten Lebenszyklus des Lüftungssystems pro MJ reduziertem Heizwärmebedarf¹⁴ ermöglicht einen direkten Vergleich zu den Heizsystemen, welche zum Einsatz kommen würden, um diese Differenz des Heizwärmebedarfs zu decken.

Der Vergleich beinhaltet neben dem Strombedarf für den Betrieb den Anteil an der Herstellung, Erneuerung und Entsorgung der Anlage. Die dargestellten Resultate gelten für ein Gebäude in der Klimaregion Zürich, welches vom Dämmstandard den Minergie Anforderungen genügt. Es wurde von in der Betondecke verlegten Lüftungsrohren ausgegangen. Ein ganzjähriger Betrieb der Lüftungsanlage wurde vorausgesetzt. Der Strombezug erfolgt aus dem Schweizer Stromnetz auf Niederspannungsstufe. In Tabelle 6.8 sind die Parameter dargestellt, welche als Grundlage für die drei in der Resultatberechnung dargestellten Lüftungssysteme verwendet wurden.

Tabelle 6.8 Grundlagedaten für Vergleich der Lüftungssysteme mit Heizsystemen

Parameter	Einheit	Dezentral, PE-Rohre, mit Erdregister	Zentral, PE-Rohre, mit Erdregister	Dezentral, PE-Rohre, ohne Erdregister
spez. Strombedarf Ventilatoren	W/(m³/h)	0.40	0.40	0.40
Strombedarf Steuerung	W	10	10	10
Strombedarf für Frostschutz	kWh/m² a	0.00	0.00	0.30
Betriebszeit der Lüftungsanlage	Monate/a	12	12	12
spez. Strombedarf Lüftungsanlage, total	kWh/m² a	3.35	3.35	3.65
Luftmenge	m³/h	720	720	720
Wärmerückgewinnungsgrad	%	80%	80%	80%
Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom, total	m³/m²h	0.30	0.30	0.33
Heizenergieeinsparung (dQh) gegenüber Referenz	MJ/m² a	34.2	34.2	31.2

Die für die Darstellung der Heizsysteme verwendeten Prozesse stammen aus der Datenbank ecoinvent (Datenbestand v.1.01) und beziehen sich jeweils auf 1 MJ Nutzwärme. In diesen Daten sind die Aufwendungen für die Heizungsinfrastruktur und den Hilfsstrombedarf eingeschlossen.

¹⁴ Reduktion bezogen auf Standardnutzung nach SIA 380/1, was einem möglichen Nutzung mit natürlichem Luftwechsel entspricht (Voraussetzung natürlicher Luftwechsel nur 0.7 m³/h m²).

Eco-indicator 99,
Typus Hierarchist (H/A)

Abbildung 6.27 zeigt die Bewertung der Resultate mit Eco-indicator 99. Es ist ersichtlich, dass der Einsatz eines Lüftungssystems zur Reduktion des Heizwärmebedarfs vor allem für die Schonung der nichterneuerbaren Ressourcen einen grossen Vorteil bedeutet (Ersatz von Öl oder Gas). In der Bewertung des Schutzgutes „Menschliche Gesundheit“ sind die Belastungen durch die Lüftungsanlage unter den angenommenen Randbedingungen vergleichbar mit dem Betrieb einer Ölheizung und ungünstiger gegenüber einer modernen kondensierenden Gasheizung. Etwa 50 % dieser Belastungen sind auf den Strombedarf der Lüftungsanlage zurückzuführen. Ähnliches gilt für die Bewertung des Schutzgutes „Ökosystemqualität“. Hier ist der Einfluss der Herstellung, Erneuerung und Entsorgung des Lüftungssystems jedoch noch leicht höher. Daher schneiden die Lüftungssysteme in dieser Schadenskategorie relativ schlecht ab.

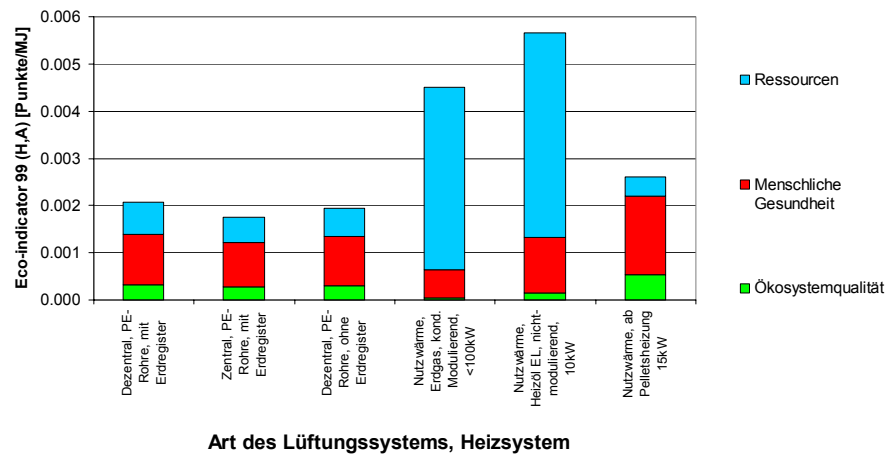


Abbildung 6.27 Vergleich mit Heizsystemen, Eco-indicator 99 (H/A)

Belastung in Punkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

In Abbildung 6.28 sind die gesamten Umweltbelastungen durch die Beheizung eines gut gedämmten Gebäudes mit und ohne Lüftungsanlage dargestellt. Der Wert für den Heizenergiebedarf bei natürlicher Lüftung entspricht der Standardnutzung nach SIA 380/1 und beträgt 105 MJ/(m² a). Zur Deckung des Heizwärmebedarfs wird im gezeigten Beispiel eine kondensierende Gasheizung verwendet.

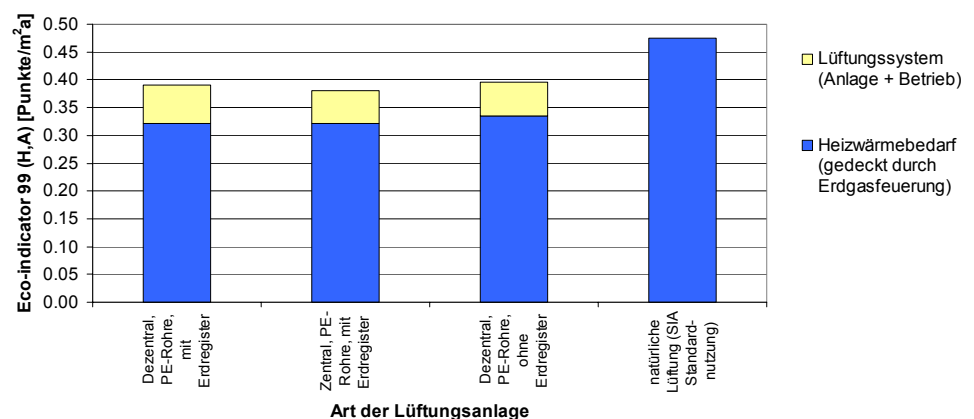


Abbildung 6.28 Umweltbelastung durch die Beheizung eines mechanisch belüfteten Gebäudes im Vergleich zu natürlicher Lüftung (Eco-indicator 99 H/A) pro Jahr, pro m² EBF

Methode der
ökologischen Knappheit

In der Diskussion der Betriebsphase (siehe Kapitel 6.2.1, Abbildung 6.15) wurde bereits festgestellt, dass der Strombedarf in der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit nach BUWAL (1998) einen hohen Anteil zur Gesamtbelastung beiträgt. Wie Abbildung 6.29 zeigt, sind daher auch die Belastungen durch die radioaktiven Abfälle aus der Stromproduktion für Belastungen aus der Betriebsphase bestimmend. Auf der anderen Seite hat die Gasheizung aufgrund der sauberen Verbrennung einen klaren Vorteil.

Da in der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit Emissionen in Luft Boden und Wasser bedeutend stärker gewichtet werden als in Eco-indicator 99 und der Verbrauch von Energie-Ressourcen nur schwach gewichtet wird, beträgt die Belastung durch die Komponenten der Lüftungsanlage (Herstellung, Erneuerung und Entsorgung) bereits 47-66 % der Gesamtbelastung einer Wärmeherzeugung durch eine kondensierende Gasheizung. Um trotzdem eine günstige Bewertung des Lüftungssystems zu erreichen, darf daher die Belastung aus dem Betrieb der Anlage nur gering sein¹⁵.

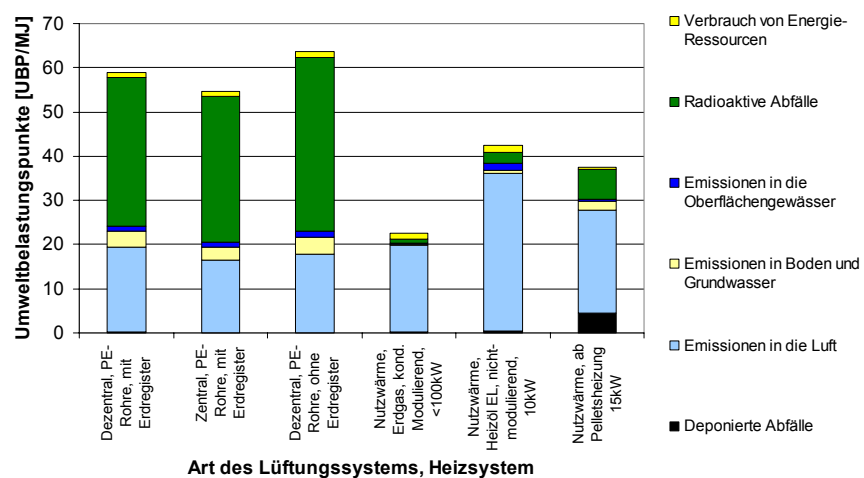


Abbildung 6.29 Vergleich mit Heizsystemen, Ökologische Knappheit (1997).

Belastung in Umweltbelastungspunkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Nichtererneuerbare Primär-
energie

Durch den grossen Einfluss der Betriebsphase bei der Bewertung des kumulierten nichterneuerbaren Primärenergiebedarfs, ist der Primärenergiebedarf für die Erzeugung des Betriebsstromes von zentraler Bedeutung für das erreichte Resultat. Wie aus Abbildung 6.30 ersichtlich ist, wirkt sich die geringe Effizienz der Stromerzeugung aus Kernkraft im Schweizer Strommix stark auf das Resultat aus.

¹⁵ Durch Verringerung des Strombedarfs (Leistung, Laufzeit) bzw. durch Verwendung von Ökostrom.

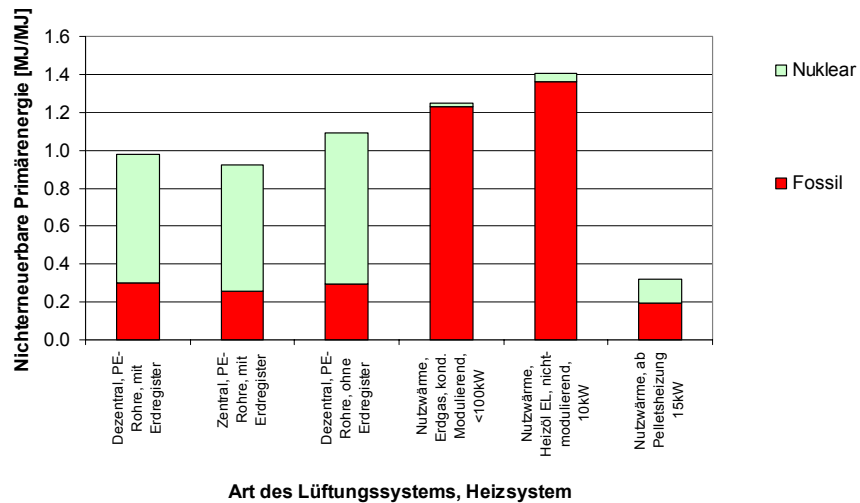


Abbildung 6.30 Vergleich mit Heizsystemen, nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf

Belastung in MJ Primärenergieäquivalenten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Folgerung aus den Resultaten

Aus den Unterschieden in den Resultaten der drei verwendeten Bewertungsmethoden kann gefolgert werden, dass eine Lüftungsanlage nicht per se umweltfreundlich ist. Die Stärken einer Lüftungsanlage liegen primär in der Reduktion des Bedarfs an fossilen Brennstoffen (wenn die Heizung mit Öl oder Gas betrieben wird). Damit eine Lüftungsanlage auch in den Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Ökosystemqualität Vorteile gegenüber der fossilen Heizwärmeerzeugung zeigt, muss der Betriebsstrombedarf minimal gehalten werden und ökologisch produzierter Strom verwendet werden (siehe dazu Kapitel 6.2.7). Eine Verringerung des Betriebsstrombedarfs kann entweder durch Verwendung sehr effizienter Ventilatoren oder durch die Reduktion der Jahreslaufzeit der Lüftung erreicht werden.

6.2.7 Strombezug

Für alle vorgehenden Resultate wurde der Schweizer Strommix (inkl. Stromhandel) als Grundlage verwendet. Im folgenden Vergleich wird der Strombezug aus dem Deutschen Strommix (Basisvariante für Gebäudestandort Deutschland), einem Gaskombikraftwerk moderner Bauart, einem Wasserkraftwerk sowie einer Photovoltaikanlage einbezogen. Das Gaskombikraftwerk stellt dabei die Erzeugungsvariante für eine Grenzbetrachtung dar. Wird durch den vermehrten Einsatz von Lüftungsgeräten und dem damit verbundenen Zuwachs des Strombedarfs der Zubau von neuen Kraftwerken notwendig, so ist es sehr wahrscheinlich, dass ein grosser Anteil durch neue Gaskombikraftwerke gedeckt würde. Alle Betrachtungen zum Strombezug erfolgen auf Niederspannungsstufe.

Der Vergleich beinhaltet neben dem Strombedarf für den Betrieb den Anteil an der Herstellung, Erneuerung und Entsorgung der Anlage. Die dargestellten Resultate gelten für ein Gebäude in der Klimaregion Zürich, welches vom Dämmstandard den Minergie Anforderungen genügt. Für den Vergleich wurde ein Lüftungssystem mit zentralem Lüftungsgerät, Erdregister und Verrohrung aus Polyethylen gewählt. Es wurde von in der Betondecke verlegten Lüftungsrohren ausgegangen. Ein

ganzjähriger Betrieb (12 Monate) der Lüftungsanlage wurde vorausgesetzt. In Tabelle 6.8 sind die Parameter dargestellt, welche als Grundlage für das betrachtete Lüftungssystem verwendet wurden.

Die für die Darstellung der Stromproduktion verwendeten Basisdaten stammen aus der Datenbank ecoinvent (Datenbestand v.1.01). Details zu den verwendeten Strominventaren sind im Anhang in Kapitel 10.2.4 zu finden. Als Vergleichsgrösse wird in den Graphen zudem der Wert für die Heizenergiebereitstellung durch eine kondensierende Gasheizung dargestellt.

Eco-indicator 99,
Typus Hierarchist (H/A)

Abbildung 6.31 zeigt die Bewertung der Resultate mit Eco-indicator 99. Der den Betrachtungen zugrunde gelegte Strommix hat einen grossen Einfluss auf die Bewertung der Schutzgüter „Menschliche Gesundheit“ und „Ressourcenschonung“.

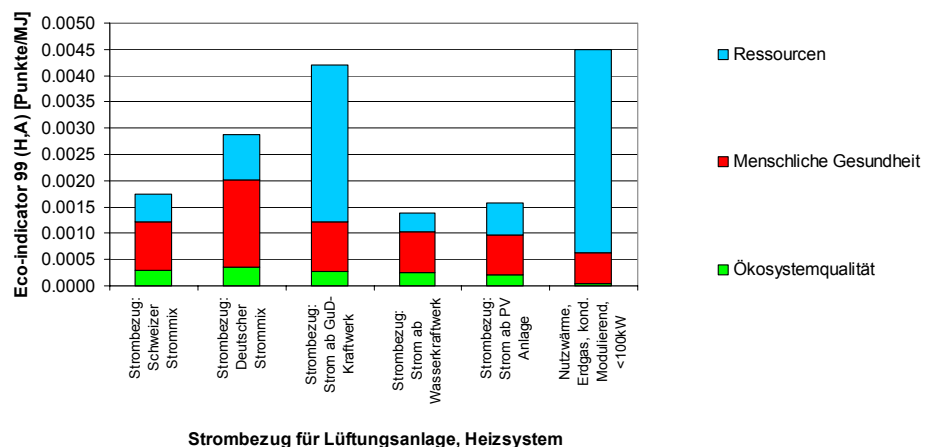


Abbildung 6.31 Einfluss des verwendeten Stromes, Eco-indicator 99 (H/A)

Belastung in Punkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Die geringsten Belastungen treten bei dem Betrieb mit Strom aus Wasserkraft oder Photovoltaik auf¹⁶. Wird für den Strombezug ein Gaskombikraftwerk neuer Bauart zugrunde gelegt, so ist die Gesamtbilanz aufgrund des hohen Verbrauchs an nichterneuerbaren Ressourcen nur wenig günstiger als der Betrieb ohne Lüftungsanlage mit Deckung des Heizwärmebedarfs durch eine kondensierende Gasheizung. Für eine ökologische Optimierung der Lüftungsanlage ist daher die Art des eingekauften Stromes von grosser Relevanz. Die Möglichkeiten zur Optimierung des Strombedarfs sind aus Kapitel 6.2.3 (Strombedarf und Wärmerückgewinnung) und 6.2.4 (Betriebsdauer) ersichtlich.

Methode der
ökologischen Knappheit

Abbildung 6.32 zeigt die Bewertung der Resultate mit der Methode der ökologischen Knappheit. Im Vergleich am günstigsten schneiden hier die Varianten mit Strombezug aus Wasserkraft ab. Auffallend ist bei dieser Bewertung das schlechte Abschneiden des Betriebs mit dem Schweizer Strommix. Dies ist vor allem durch die hohe Gewichtung der radioaktiven Abfälle aus der Stromerzeugung begründet. Im Weiteren führt die geringe Gewichtung des Ressourcenverbrauchs zu den sehr

¹⁶ Geringster Bedarf an nichterneuerbaren Ressourcen unter den betrachteten Stromproduktionen.

günstigen Resultaten für die Stromerzeugung mit dem Gaskombikraftwerk und auch für das als Vergleich dargestellte Heizungssystem mit kondensierender Gasheizung.

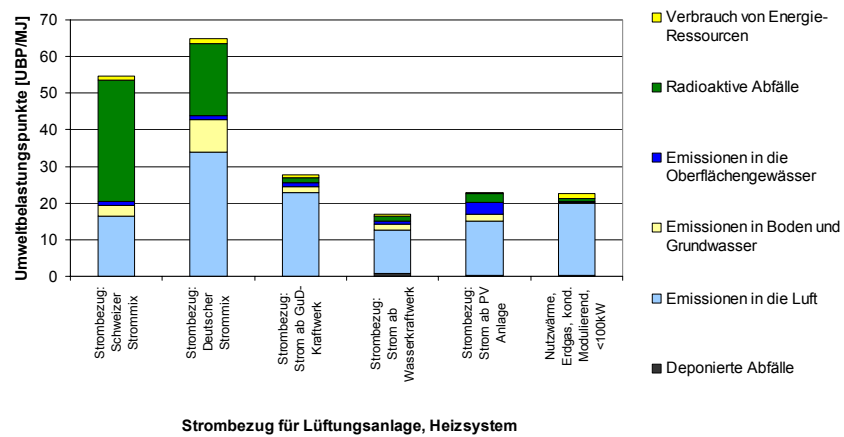


Abbildung 6.32 Einfluss des verwendeten Stromes, Ökologische Knappheit (1997)

Belastung in Umweltbelastungspunkten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Nichtererneuerbare Primärenergie

Auch in der Bewertung des nichterneuerbaren Primärenergiebedarfs ist die Art wie der Betriebsstrom der Lüftungsanlage produziert wird von zentraler Bedeutung. Wie aus Abbildung 6.33 ersichtlich ist hat der Betrieb der Lüftungsanlage mit Strom aus erneuerbaren Quellen dadurch eine sehr günstige Ausgangslage. Um auch für konventionell erzeugten Strom ein möglichst vorteilhaftes Resultat zu erzielen, muss der Betriebsstrombedarf klein gehalten werden (Betrieb nur in der Heizperiode) und eine wirkungsvolle Wärmerückgewinnung eingesetzt werden (>80 %).

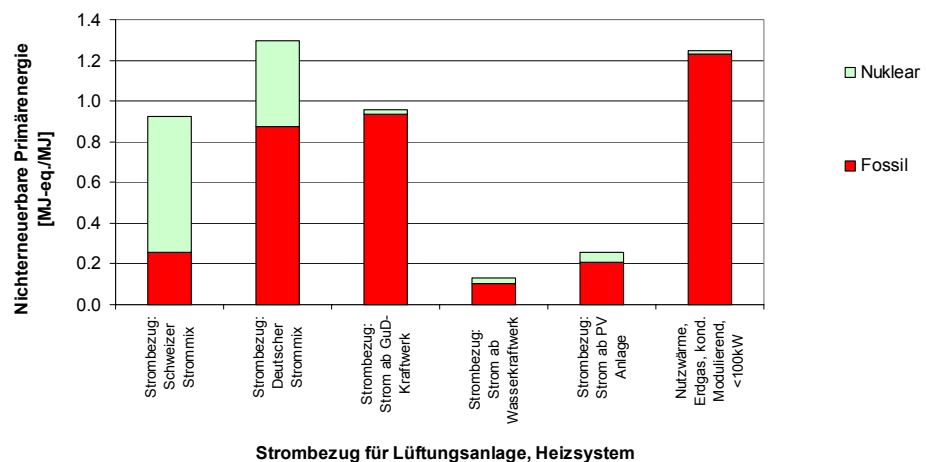


Abbildung 6.33 Einfluss des verwendeten Stromes, nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf

Belastung in MJ Primärenergieäquivalenten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

Treibhauspotential

Die Belastungen in bezug auf die Treibhauswirkung, welche sich für die Lüftungsanlage über den gesamten Lebenszyklus ergeben, sind sehr ähnlich wie die Resultate der Bewertung des nichterneuerbaren Primärenergiebedarfs. Dies gilt nicht für den Schweizer Strommix, welcher durch den geringen Anteil an fossil erzeugtem

Stromes eine günstige CO₂ Bilanz aufweist. Im Weiteren gelten jedoch dieselben Folgerungen wie für den nichterneuerbaren Primärenergiebedarf.

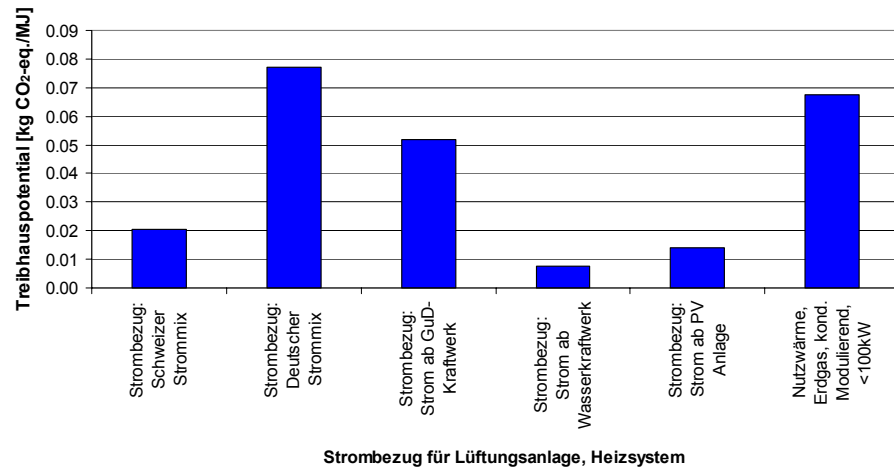


Abbildung 6.34 Einfluss des verwendeten Stromes, Treibhauspotential, nach IPCC 2001 (100 Jahre)
Belastung in kg CO₂-Äquivalenten pro MJ Heizwärmebedarfsreduktion

7. Diskussion und Folgerungen

7.1. Einflussfaktoren

Die Umwelteffizienz einer Lüftungsanlage wird von verschiedenen sehr unterschiedlichen Parametern beeinflusst. In vielen Fällen besteht auch eine Abhängigkeit zwischen den einzelnen Einflussfaktoren. So weisen beispielsweise sehr effiziente Wärmetauscher einen höheren Druckverlust auf, was zu einem erhöhten Strombedarf der Lüftungsanlage führt.

Aus den in Kapitel 6 vorgestellten Resultaten sollen nun die für die Umwelteffizienz der Lüftungsanlage wichtigsten Parameter zusammengefasst werden. Es werden dabei folgende Aspekte betrachtet:

Investitionsabhängige Parameter

- Wärmerückgewinnungsgrad
- Ventilatorstrombedarf
- Systementscheid Zentral oder Dezentral
- Lüftungsrohre aus Stahl oder Polyethylen
- Verlegungsart der Lüftungsrohre
- Erdregister

Betriebsabhängige Parameter

- Verwendeter Strommix
- Laufzeit der Lüftungsanlage
- Luftmengen und deren bedarfsgerechte Steuerung

7.2. Energetische Parameter

7.2.1 Wärmerückgewinnungsgrad

Da der Heizenergiebedarf des Gebäudes stark mit dem Wärmerückgewinnungsgrad der Lüftungsanlage gekoppelt ist, muss eine ökologisch günstige Lüftungsanlage einen hohen Wärmerückgewinnungsgrad aufweisen. Die Abhängigkeit zwischen Wärmerückgewinnungsgrad und der Umwelteffizienz ist jedoch keine lineare Funktion. Mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von nur 50 % schneidet die Lüftungsanlage auch unter günstigen Annahmen (Ventilatorstrombedarf 0.3 Wh/m^3 ,¹⁷) in der Bewertung mit Eco-indicator 99 (H/A) schlechter ab als eine alternative Wärmeerzeugung¹⁸ durch eine kondensierende Gasheizung (siehe Kapitel 6.2.3). *Für einen ökologisch günstigen Anlagebetrieb muss der Wärmerückgewinnungsgrad mindestens 80 % betragen.*

Bei Wärmerückgewinnungsgraden über 90 % wird der Druckverlust des Wärmetauschers zu einem wichtigen Kriterium. Wenn hohe Wärmerückgewinnungsgrade nur durch hohe Druckverluste im Wärmetauscher und damit einen erhöhten Ventilatorstrombedarf erreicht werden können, kann die Gesamtbilanz der „Verbesserung“ kontraproduktiv sein.

Unter Zugrundelegung des Schweizer Strommixes (inkl. Stromhandel) zeigte sich, dass der durch höhere Druckverluste auftretende Mehrbedarf an Ventilatorstrom (Summe aus Zu- und Abluft) pro Prozent Steigerung des Wärmerückgewinnungs-

¹⁷ Strombezug: Schweizer Strommix mit Stromhandel

¹⁸ Kompensation des Wärmeverluste des Lüftens durch höheren Heizwärmebedarf.

grades 0.01 Wh/m^3 nicht überschreiten darf. Diese Aussage gilt für Wärmetauscher mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80 % und höher und einem ganzjährigen Betrieb der Lüftungsanlage. Der Wert kann höher sein wenn ökologisch vorteilhafte Stromerzeugungsarten (z.B. naturemade star) eingesetzt werden.

7.2.2 Ventilatorstrombedarf

Der Ventilatorstrombedarf bestimmt weitgehend den Gesamtstrombedarf der Lüftungsanlage. Der Einfluss dieses Strombezuges wirkt sich in der ökologischen Bewertung des Lüftungssystems stark aus. Für einen Ventilatorstrombedarf von 0.4 Wh/m^3 mit Bezug von Schweizer Strommix liegt dieser Einfluss in der Bewertung mit Eco-indicator 99 (H/A) bei 34-54 % der Gesamtbelastung über den Lebenszyklus (siehe Kapitel 6.2.3). Einen grösseren Einfluss hat die Betriebsphase auf den kumulierten nichterneuerbaren Primärenergiebedarf, wo dessen Anteil 79-88 % der Gesamtbelastung ausmacht.

Um eine gute Umwelteffizienz der Lüftungsanlage zu erreichen, darf der Ventilatorstrombedarf nicht höher als 0.4 Wh/m^3 sein¹⁹.

Da sich die Höhe des Ventilatorstrombedarfs direkt auf die ökologische Belastung auswirkt, sollte er minimal gehalten werden. Dies kann mit folgenden Massnahmen erreicht werden:

- Einsatz von Gleichstrom oder EC-Motoren
- Minimierung der Druckverluste im System durch geradlinige Leitungsführung, kurze Leitungslängen sowie grosszügig dimensionierte Luftdurchlässe.
- Reduktion der jährlichen Laufzeit der Lüftungsanlage (siehe auch Kap. 7.2.3)

7.2.3 Verwendeter Strommix

Für eine ökologische Optimierung der Lüftungsanlage ist die Art des verwendeten Stromes von grosser Relevanz, da ein beträchtlicher Anteil der Gesamtbelastung durch den Betriebsstrom der Ventilatoren entsteht (siehe Kapitel 6.2.7).

Ein Betrieb der Lüftungsanlage mit Strom aus erneuerbaren Quellen schafft daher eine sehr günstige Ausgangslage für eine gute Ökobilanz. Um auch für konventionell erzeugten Strom ein vorteilhaftes Resultat²⁰ zu erzielen, muss der Wärmerückgewinnungsgrad der Anlage 80 % oder höher sein und der Ventilatorstrombedarf 0.4 Wh/m^3 oder tiefer.

7.3. Betriebliche Parameter

7.3.1 Laufzeit der Lüftungsanlage

Die in den meisten Auswertungen in diesem Projekt zugrunde gelegte Laufzeit der Lüftungsanlage während dem ganzen Jahr wirkt sich negativ auf die ökologische Leistung aus. Aus Komfortgründen (Lärm, Staubbelastung, Pollen, kühle Zuluft im Sommer) wird in vielen Fällen die Lüftungsanlage auch ausserhalb der Heizperiode betrieben. Dies führt je nach Klimaregion bis zu einer Verdoppelung des Lüftungsstrombedarfs. Wird die Laufzeit der Lüftungsanlage auf die Heizperiode einge-

¹⁹ Vergleich mit kondensierender Gasheizung, Grenzbetrachtung: Strombezug: aus GuD-Kraftwerk.

²⁰ Vergleich zwischen Grenzbetrachtung mit Strom aus GuD-Kraftwerk und kond. Gaskessel

schränkt lässt sich die ökologische Belastung durch die Lüftungsanlage je nach Klimaregion und Baustandard um bis zu 50 % verringern²¹ (s. Kapitel 6.2.4).

Für Gebäude in Klimaregionen mit kälteren Temperaturen oder bei erhöhten Raumtemperaturen ist dabei eine längere Laufzeit der Lüftungsanlage optimal. Für den Gebäudestandort Zürich (20°C Raumtemperatur) liegt die optimale Laufzeit der Lüftungsanlage bei etwa 6 Monaten²². In Bergregionen oder bei Raumtemperaturen um 24°C liegt das Optimum etwa bei 8 Monaten²² Laufzeit. Durch den Einfluss der Lüftungsverluste in der Heizperiode sind kürzere Laufzeiten als 5 Monate in der Gesamtbilanz ungünstig.

7.3.2 Luftmengen und deren bedarfsgerechte Steuerung

Wird die Lüftungsanlage mit kleineren Luftmengen betrieben als für die Auslegung vorgesehen, so verringern sich sowohl der Strombedarf wie auch die Wärmeverluste. Vor allem die Reduktion des Strombedarfs ist markant, da er sich überproportional zur Luftmenge verringert. Es ist daher sinnvoll für Zeiten mit geringer Nutzung (Ferien etc.) eine Reduktion des Luftdurchsatzes vorzunehmen. Hier ergeben sich Vorteile für die dezentrale Systemvariante, da die Luftmengen für jede Wohnung individuell reduziert werden kann (Grundlüftung).

Klar zeigt sich das deutlich schlechtere Abschneiden der Anlage bei hohen Luftwechseln (siehe Kapitel 6.2.5). Neben den erhöhten Druckverlusten und dem damit erhöhten Ventilatorstrombedarf wirken sich hier auch die höheren Lüftungsverluste ungünstig aus. Vor allem der Ventilatorstrombedarf nimmt bei höheren Luftmengen überproportional zu und bewirkt eine markante Verschlechterung der Umwelteffizienz der Lüftungsanlage. *Höhere Luftmengen als in der Grundausslegung vorgesehen sollten daher auf ein Minimum beschränkt werden (z.B. Partylüftung).*

7.4. Systemwahl

7.4.1 Zentral oder Dezentral?

Für die dezentrale Lüftungsanlage wird pro Wohnung ein Lüftungsgerät benötigt. Daher resultiert für den Mittelwert der untersuchten Lüftungsgeräte für die dezentrale Anlage etwa die doppelte Belastung wie für eine zentrale Anlage aus der Herstellung und Entsorgung der Lüftungsgeräte. Da die Belastungen für die einzelnen Geräte jedoch stark streut, kann im günstigen Fall eine vergleichbare Belastung und im ungünstigen Fall etwa die vierfache Belastung resultieren.

Wird der Vergleich nicht nur auf das Lüftungsgerät bezogen sondern auf den Lebenszyklus der gesamten Anlage, so sind die Unterschiede bedeutend geringer. In der Bewertung mit Eco-indicator 99 (H/A) schneidet die Anlage mit zentralem Lüftungsgerät noch etwa 15 % besser ab als die Anlage mit dezentralen Lüftungsgeräten (siehe Kapitel 6.2.1). In dieser Betrachtung nicht berücksichtigt sind eventuelle Unterschiede in der Leistungsfähigkeit der einzelnen Geräte (Wärmerückgewinnungsgrad, Ventilatorstrombedarf, Robustheit).

Für die Auswahl der Systeme ist daher in erster Linie die Optimierung der energetischen Parameter (Strombedarf, Wärmerückgewinnung, Filtersystem) relevant.

²¹ Je nach Bewertungsmethode, Gebäudestandort und Baustandard zwischen 15 und 50%

²² Minergie Gebäude, Lüftungsanlage mit 0.4 Wh/m³ und 80% WRG, Bewertung mit Eco-indicator 99

Bei energetisch vergleichbaren Systemen wird meist die zentrale Anlage eine leicht bessere Ökobilanz aufweisen. Da das Lüftungsgerät zu einem grossen Anteil aus Stahlblech besteht, kann als grobe Entscheidungshilfe für die Systemwahl das Gesamtgewicht der Lüftungsgeräte dienen²³. Bei dieser Entscheidung sind jedoch die Möglichkeiten zum Komponentenaustausch und die Robustheit des Geräts zu berücksichtigen, welche tendenziell bei zentralen Anlagen besser ist.

Für ein dezentrales System spricht die bessere individuelle Einstellung der Luftmengen auf den momentanen Bedarf (Ferienabwesenheit, etc.). Damit diese Möglichkeiten zur Energieeinsparung aber auch tatsächlich genutzt werden, müssen ein Verständnis für die Anlage und der Wille zur richtigen Benutzung vorhanden sein. Andernfalls kann diese Steuerungsmöglichkeit auch zu einem Mehrbedarf an Ventilatorstrom führen (Steuerung dauernd auf „Partylüftung“).

7.4.2 Lüftungsrohre aus Stahl oder Polyethylen?

Bei der Verrohrung ab dem Wohnungsverteiler zu den einzelnen Luftdurchlässen in den Räumen stellt sich die Frage nach der Materialwahl. Da die Lüftungsrohre aus Polyethylen bei vergleichbarem Querschnitt ein 4-mal niedrigeres Metergewicht aufweisen, ist es nicht weiter erstaunlich, dass sie, trotz dem relativ hohen Primärenergieaufwand in der Herstellung des Materials, besser abschneiden als Stahlrohre. Für die Verrohrung aus Polyethylen liegt der kumulierte nichterneuerbare Primärenergiebedarf bei 37 MJ/m und für die Verrohrung aus verzinktem Stahlblech bei Stahl 92 MJ/m. Bei der Bewertung mit Eco-indicator 99 zeigt die Materialvariante aus Polyethylen noch klarere Vorteile. Bei der Verrohrung aus verzinktem Stahlblech wirken sich die Belastungen aus der Verzinkung der Rohre zusätzlich ungünstig aus (siehe Kapitel 6.1.1 sowie Kapitel 6.1.2).

Wird der Vergleich nicht nur auf die Verrohrung bezogen, sondern auf den Lebenszyklus der gesamten Anlage (inkl. Betrieb), so ist der relative Einfluss der Materialwahl geringer. In der Bewertung mit Eco-indicator 99 (H/A) liegt die Belastung für die Anlage mit Polyethylenrohren um 15-20 % tiefer als für die Anlage mit Verrohrung aus verzinktem Stahlblech. In der Bewertung des nichterneuerbaren Primärenergiebedarfs sind die Unterschiede kleiner (ca. 5 %).

Aus ökologischer Sicht ist daher für die Verrohrung innerhalb der Wohnungsverteilung Polyethylen zu bevorzugen.

7.4.3 Verlegungsart der Lüftungsrohre

Verschiede Verlegungsvarianten der Lüftungsrohre innerhalb der Wohnung wurden untersucht:

- Verlegung im Beton der Geschossdecke
- Verlegung im Bodenaufbau durch Verstärkung der Dämmschicht
- Verlegung im Bodenaufbau durch Verstärkung des Zementunterlagsboden

Die Verlegung im Beton der Geschossdecke stellte sich als ökologisch günstigste Variante heraus, sofern dadurch keine Erhöhung der Betonstärke benötigt wird.

²³ Die Analyse der erhobenen Sachbilanzen ergab eine gute Korrelation zwischen Gewicht und Umweltbelastung für die untersuchten Lüftungsgeräte.

Durch die verringerte Betonmenge ergeben sich ökologische Vorteile. Nachteilig bei dieser Variante ist, dass die Lüftungsrohre nicht mehr ersetzt werden können. Bei den anderen beiden Varianten wird ein deutlicher Mehrbedarf an Material notwendig (Dämmmaterial bzw. Zementunterlagsboden), was sich ungünstig auf die Gesamtbelastung der Lüftungsanlage auswirkt. In der Bewertung mit Eco-indicator 99 (H/A) ergeben sich dadurch bei einer Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus²⁴ für die Verlegung in der Trittschalldämmung eine Erhöhung um 12 % und für die Verlegung im Zementunterlagsboden eine Erhöhung um 35 % (siehe Kapitel 6.1.4). Eine Verlegung der Lüftungsrohre im Beton ist daher der Verlegung im Bodenaufbau aus ökologischer Sicht vorzuziehen.

7.4.4 Erdregister ja oder nein?

Durch den Einbezug eines Erdregisters lassen sich Einsparungen beim Wärmebedarf durch die Vorwärmung der Frischluft erzielen. Im Sommer ergibt sich bei ganzjährigem Betrieb der Lüftungsanlage durch die kühlere Zuluft zudem eine Komfortsteigerung. Dieser Kühleffekt im Sommer wurde in den Betrachtungen nicht berücksichtigt, da damit zwar eine Steigerung des Komforts bewirkt wird, dies aber keine Auswirkungen auf den Energiebedarf hat, da in Wohngebäuden selten eine aktive Kühlung (Klimagerät) erfolgt. In der Entscheidung ob ein Erdregister erstellt werden soll oder nicht, kann diese Wirkung jedoch einen wichtigen Einfluss haben. Es ist jedoch zu beachten, dass der Betrieb des Erdregisters auch im Sommer, durch die längere Laufzeit der Ventilatoren, zu einem erhöhten Strombedarf führt. Dieser Aspekt ist bei der Festlegung des Betriebsregimes unbedingt zu beachten. Die Sommerkühlung hat damit einen nicht zu unterschätzenden Strombedarf pro kWh Kühlleistung²⁵.

Im Vergleich wurde nur für die Systemvarianten mit dezentralen Lüftungsgeräten eine Variante ohne Erdregister untersucht, da nur dort eine deutliche Einsparung an Verrohrung zu erzielen ist. Trotz klar geringerem Materialaufwand der Varianten ohne Erdregister schneiden diese in der Gesamtbilanz nicht besser ab, da sie einen leicht erhöhten Heizwärmebedarf bewirken und zudem zusätzlichen Strom für den Frostschutz des Wärmetauschers benötigen (siehe Kapitel 6.2.1). Diese Aussage gilt im Vergleich mit einem zentralen System mit Erdregister sowohl für den ganzjährigen Betrieb wie auch für den Betrieb nur innerhalb der Heizperiode.

Für Systemvarianten mit zentralem Lüftungsgerät ist der Einbau eines Erdregisters aus ökologischer Sicht empfehlenswert, da nur geringe Mehraufwände auf der Materialseite entstehen und mit Einbezug des Betriebseinflusses die Umwelteffizienz insgesamt besser ist. Bei Anlagen mit dezentralen Lüftungsgeräten ist der Gewinn an Umwelteffizienz mit Erdregister geringer (in vielen Fällen etwa identische Belastungen).

7.4.5 Einfluss des Gebäudezustandes

Da bei sehr gut gedämmten Gebäuden ein grosser Teil des Wärmebedarfs aus solaren und internen Gewinnen gedeckt wird, bleibt nur ein kleiner Restwärmbe-

²⁴ Herstellung, Betrieb, Erneuerung und Entsorgung eines Lüftungssystems mit Stahlrohren (zentral).

²⁵ Dieser Aspekt wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht. Abhängig Betrieb der Anlage.

darf durch die Heizung abzudecken. In diesen Fällen konkurrenziert die Wärmerückgewinnung mit der direkten Nutzung der Wärmegegewinne. Insofern reduziert sich die Umwelteffizienz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung in Gebäuden mit bereits gut optimierten Gebäudehüllen (siehe dazu Kapitel 6.2.2). Andererseits nimmt damit gerade bei Gebäuden mit schlechter Wärmedämmung (z.B. sanierte Altbauten) oder wenn höhere Raumtemperaturen verlangt werden (z.B. 22°C oder 24°C) die Umwelteffizienz einer Lüftungsanlage zu. Dasselbe gilt natürlich auch für Standorte mit kaltem Klima oder wenig Sonnenschein (lange Heizperioden).

Daraus kann gefolgert werden, dass eine Lüftungsanlage vor allem für Sanierungen oder Gebäude mit erhöhter Raumtemperatur ökologisch sinnvoll ist.

7.5. Die optimale Lüftungsanlage

Wird das Ziel verfolgt eine ökologisch optimale Lüftungsanlage zu erstellen, so können aus den Ergebnissen dieser Studie folgende Massnahmen zusammengefasst werden:

- Lüftungssystem mit zentralem Lüftungsgerät, Erdregister und in der Betondecke verlegten Polyethylenrohren für die Luftverteilung in der Wohnung
- Robustes Lüftungsgerät, welches durch gute Komponentenaustauschbarkeit eine lange Lebensdauer erreicht
- Wärmetauscher mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 90 % oder mehr aber trotzdem einem nicht unverhältnismässigen²⁶ Druckabfall
- Ventilatoren mit geringem Stromverbrauch durch Verwendung von optimal ausgelegten DC oder EC-Motoren (insgesamt 0.3 Wh/m³ oder weniger)
- Beachtung eines geringen Druckabfalls im Luftverteilsystem bei der Auslegung
- Verringerung der Luftmenge bei reduziertem Bedarf (bedarfsgerechte Steuerung)
- Betrieb der Lüftungsanlage nur während der Heizperiode
- Verwendung von zertifiziertem Ökostrom für den Betrieb der Lüftungsanlage (z.B. naturemade star)

²⁶ Unverhältnismässig im Bezug auf den Druckabfall im Gesamten System.

8. Review Bericht

Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich. Review des Schlussberichts. Reviewer : R. Frischknecht, M. Faist Emmenegger, ESU-services (23. 2.-09.03.2004)

8.1. Zweck und Ablauf des Reviews

Dieses Review beurteilt den Abschlussbericht der Studie „Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich“ von W. Hässig und A. Primas, Basler & Hofmann, im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Ziel dieser Studie war es, die Umweltauswirkungen von Komfortlüftungssystemen auf der Basis eines Lebenszyklusansatzes mit Hilfe der Ökobilanzierung zu quantifizieren. Das Review wurde begleitend durchgeführt. Die Reviewer haben neben diesem Reviewtext dreimal Rückmeldungen gegeben: ein erstes Mal bei der Zieldefinition und der Festlegung des Bilanzierungsrahmens, ein zweites Mal nach Abschluss der Datenerhebung zu den zusammengestellten und dokumentierten Sachbilanzdaten und ein drittes Mal zum Entwurf dieses Schlussberichts.

8.2. Allgemeiner Eindruck

Die Studie macht einen sehr guten Eindruck. Die angewendete Ökobilanz-Methode entspricht dem heutigen Stand. Die Empfehlungen und Vorgaben der ISO-Normen werden insbesondere bezüglich Sachbilanz weitgehend eingehalten. Die Sachbilanzdaten werden transparent dargelegt und begründet. Die bewerteten Resultate werden ausführlich diskutiert, Sachbilanzergebnisse werden allerdings keine gezeigt. Für mehrere wichtige Grössen werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt und deren Einfluss auf die Ergebnisse diskutiert. Die Folgerungen sind klar beschrieben, aus den Ergebnissen abgeleitet und weitgehend auf Rahmen und Zielsetzung der Studie abgestimmt. Im Folgenden werden die einzelnen Teile der Studie im Detail gewürdigt.

8.3. Ziele und Vorgehen

Die Ziele der Studie werden klar umschrieben und der daraus abgeleitete Untersuchungsrahmen definiert.

Als funktionelle Einheiten und Vergleichsbasis werden einerseits m² Energiebezugsfläche und Jahr und andererseits – auf Empfehlung der Gutachter - MJ eingesparte Heizenergie verwendet. Letztere ermöglicht den Vergleich mit anderen Heizungssystemen.

8.4. Systemcharakterisierung und Sachbilanzen

Die Vielzahl angebotener Komfortlüftungs-Systeme wurde mittels realistischer Modellannahmen auf sechs typische Systemkonfigurationen reduziert. Die Betriebsweise und die erzielbare Energieeinsparung wurden auf der Basis der einschlägigen SIA Normen modelliert. Dabei wurden zwei unterschiedliche Standorte (Zürich und Davos) und drei unterschiedliche Gebäudestandards (MINERGIE, Standard

und Passivhaus) zugrunde gelegt. In allen Varianten wird ein Ganzjahresbetrieb als Standard angenommen.

Hier fragen wir uns, ob es sinnvoll ist, den Ganzjahresbetrieb in den Standardvarianten zu verwenden, stellt es doch aus Gründen der Umwelteffizienz eine klar suboptimale Lösung dar.

Nicht quantifizierbare aber oftmals entscheidrelevante Unterschiede zwischen den Systemen werden in der Resultatdiskussion erwähnt. Beim Vergleich von zentralen mit dezentralen Systemen etwa wurden mögliche geräte- (d.h. nicht system-)spezifische Unterschiede bezüglich Wärmerückgewinnungsgrad, Ventilatorstrombedarf und Robustheit (Lebensdauer) nicht berücksichtigt aber in der Resultatdiskussion erwähnt.

Beim Vergleich der unterschiedlichen Verlegearten der Rohre in den Wohnungen wurde beim Verlegen in den Betondecken auf die Annahme hingewiesen, dass die Deckenstärke dieselbe bleibt. Dieselbe Bemerkung wäre angebracht bei einer Verlegung im Unterlagsboden, da dort die zusätzliche Belastung doch immerhin knapp 100 kg/m^2 beträgt.

Die verwendeten Sachbilanzdaten sind gut dokumentiert und wurden dem Zweck der Studie entsprechend verwendet. Beunruhigend ist die Tatsache, dass die angefragten Unternehmen zum Herstellungsenergiebedarf keine Angaben machen konnten. Es wäre zudem von Interesse gewesen, die Abfallmengen (differenziert nach Zusammensetzung und Entsorgungsweise) und gegebenenfalls auftretende Prozessemissionen abzufragen.

Die Datensätze sind sorgfältig aufgebaut und gut dokumentiert. Die Kennwert-Tabellen (Tab. 5.1ff) sind sehr hilfreich für das Nachvollziehen der entsprechenden detaillierten Datensätze. Die im Anhang abgebildeten Eingabetabellen und die im Text beschriebenen Annahmen sind konsistent und nachvollziehbar.

Bei der Strombereitstellung mit einzelnen Kraftwerkstechnologien (Wasserkraft, Gaskraftwerk) wurden die Transport- und Verteilungsverluste berücksichtigt, um diese Varianten mit den Strommix-Varianten vergleichbar zu machen. Bei den Vergleichssystemen Erdgas-, Öl- und Pelletfeuerung sind die Verteilungsaufwendungen nicht mit inbegriffen. Dies stellt ein gewisses Ungleichgewicht in den Systemvergleichen auf der Basis von 1 MJ Nutzwärme dar.

Die Werte in den Eingabetabellen wurden zum grossen Teil und soweit möglich überprüft, die Transportleistungen allerdings nur stichprobenartig. Die Transportdistanzen vom Werk bis zum Installateur für alle benötigten Komponenten wurden jeweils zusammengefasst. Diese Werte wurden aufgrund ihrer untergeordneten Relevanz nicht überprüft.

8.5. Resultate

Es werden fünf Methoden der Wirkungsabschätzung verwendet. Die bewerteten Ergebnisse werden in Form von Diagrammen (im Anhang tabellarisch), meist in vollaggregierter Form gezeigt. Die Ergebnisse wurden stichprobenartig und anhand von Plausibilitätsüberlegungen überprüft. Das Zeigen von (ausgewählten) Sachbilanzergebnissen würde dem Verständnis der bewerteten Ergebnisse dienen und

einer zentralen Forderung der ISO-Norm 14042 entsprechen²⁷. Die Auswahl der zu zeigenden Sachbilanzgrössen (Ressourcen und Schadstoffe) könnte auf der Basis der Wichtigkeit in der nachfolgenden Bewertung erfolgen.

Systemparameter, die die Resultate wesentlich beeinflussen, wurden einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Die Auswahl der Parameter wie auch die Variationsintervalle bzw. Alternativen erachten wir als sinnvoll. Im Sinne einer Ergänzung hätte die Stromerzeugung mit europäischer (Nord- bzw. Ostsee) Windkraft als zusätzliche Variante (möglicherweise aber auch anstelle der Photovoltaik) betrachtet werden können. Die Sensitivitätsbetrachtungen und die aussagekräftigen Graphiken sind eine grosse Hilfe für ein besseres Systemverständnis.

Es ist eine Stärke und ein Verdienst dieser Studie, dass sie mehrere Bewertungsmethoden parallel anwendet auch wenn die aus den Ergebnissen ableitbaren Folgerungen dadurch weniger eindeutig sind. Dem Leser kann so aber aufgezeigt werden, welches die umweltrelevanten Aspekte der Komfortlüftungssysteme sind.

8.6. Folgerungen und Diskussion

Die Folgerungen sind im Einklang mit der in Kapitel 2 beschriebenen Zielsetzung und dem daraus abgeleiteten Untersuchungsumfang wie auch den gezeigten Ergebnissen. Das abschliessende Unterkapitel 7.5 fasst die wesentlichen Erkenntnisse in knappen und klaren Worten zusammen. Es wurde auf Vorschlag der Gutachter in die Zusammenfassung aufgenommen.

8.7. Bericht

Der Bericht ist klar und sinnvoll strukturiert und liest sich gut. Das Kapitel 2 liesse sich durch eine kurze Beschreibung der verwendeten Methode (Ökobilanz) abrunden. Die Zusammenfassung würde durch die Verwendung von Zwischentiteln an Klarheit gewinnen (Zielsetzung und Vorgehen, Methode und Datengrundlage, Analytierte Systeme, Ergebnisse, Folgerungen).

²⁷ Auch das Verwenden vollaggregierender Bewertungsmethoden ist nicht ISO-konform. Die Studie erhebt aber nicht den Anspruch ISO-konform zu sein.

9. Literatur

- Althaus et al., 2003 Althaus, H.-J., Jungbluth, N., Kellenberger, D. und Werner, F. (2003) Life Cycle Inventories of Metals. Final report ecoinvent 2000 No. 10. EMPA Duebendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, CH, Online-Version unter: www.ecoinvent.ch.
- Böllhoff, 1999 Böllhoff GmbH, Umwelterklärung 1999, Werke Sonnewald und Bielefeld, Daten für das Jahr 1998, 1999. Online-Version unter: www.boellhoff.de.
- BUWAL, 1996 BUWAL 250, Ökoinventare für Verpackungen, Umwelt-Materialien Nr. 250, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 1996.
- BUWAL, 1998 BUWAL, Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 1997, Umwelt-Materialien Nr. 297 (Autoren: Brand, G., Scheidegger, A., Schwank, O., Braunschweig, A.), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 1998.
- Doka, 2003 Doka G., Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Final report ecoinvent 2000 No. 13. EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, 2003, Online-Version unter: www.ecoinvent.ch.
- Dones et al., 2003 Dones R., Faist M., Frischknecht R., Heck T. and Jungbluth N., Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE Countries. Final report ecoinvent 2000 No. 5. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, 2003, Online-Version unter: www.ecoinvent.ch.
- Faist & Heck, 2003 Faist M., Heck T., Erdgas, Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report ecoinvent 2000 No. 6. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, 2003, Online-Version unter: www.ecoinvent.ch.
- FRIED, 2003 FRIED Kunststofftechnik GmbH, aktualisierte Umwelterklärung 2002, Standort Urbach, Daten für die Jahre 1999-2002, 2003. Online-Version unter: www.fried.de.
- Frischknecht et al., 1996 Frischknecht, R., Bollens, U., Bosshart, S., Ciot, M., Ciseri, L., Doka, G., Hischier, R., Martin, A., Dones, R., Gantner, U., Ökoinventare von Energiesystemen, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energie, (BfE), Bern, 1996.
- Frischknecht & Jungbluth, 2003a Frischknecht R. and Jungbluth N., Overview and Methodology. Final report ecoinvent 2000 No. 1. ESU-services, Uster, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, CH, 2003, Online-Version unter: www.ecoinvent.ch.
- Frischknecht & Jungbluth, 2003b Frischknecht R. and Jungbluth N., Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent 2000 No. 3. ESU-services, Uster, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, 2003, Online-Version unter: www.ecoinvent.ch.
- Geberit, 1999 Geberit GmbH, Geberit Umwelterklärung, Standort Pfullendorf, Daten für das Jahr 1998, 1999. Online-Version unter: www.geberit.com.
- Geberit, 2000 Geberit AG, Geberit Umwelterklärung, Standort Jona, Daten für das Jahr 1999, 2000. Online-Version unter: www.geberit.com.
- Gloor, 1995 Gloor, R., Energiesparmöglichkeiten in der industriellen Lackiertechnik, RAVEL-Dokumentation Nr. 724.397.21.07 D, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1997. Online-Version unter: www.energie.ch/themen/industrie/lack.

- Goedkoop & Spriensma, 2001 Goedkoop, M., Spriensma, R. 2001, The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report, Third revised edition, PRé Consultants B.V., Amersfoort (NL), 2001.
- GOK, 2003 GOK Regler- und Armaturen-Gesellschaft mbH & Co. KG, Umwelterklärung 2003, Werk Marktbreit, Daten für das Jahr 2002, 2003. Online-Version unter: www.gok-online.de.
- Grundfos, 2003 Grundfos Pumpenfabrik GmbH, Nachhaltigkeitsbericht mit Umwelterklärung 2003, Standort Wahlstedt Daten für das Jahr 2002, 2003. Online-Version unter: www.grundfos.com.
- Hegler, 2003 Hegler Plastik GmbH, Hegler - das Unternehmen, Informationen zu den Werken Oerlenbach (D) und Craon (F), 2003. Online-Version unter: www.hegler.de.
- Hobart, 2000 Hobart GmbH, Umwelterklärung 1999, Hobart - Stoff- und Energiebilanz, 2000. Online-Version unter: www.hobart.de/umwelt/umweltbelast2d.htm.
- Hörauf & Kohler, 2003 Hörauf & Kohler GmbH, Umwelterklärung 2003, Standort Augsburg, Daten für die Jahre 1999-2002, 2003. Online-Version unter: www.hoeko.com.
- IP Bau, 1994 Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten, Grundlagen für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten; IP Bau, Bundesamt für Konjunkturfüragen, Bern, 1994.
- IPCC, 2001 IPCC, Technical Summary of the Working Group I Report, Co-ordinating Lead Authors: D.L. Albritton, L.G. Meira Filho, Climate Change 2001, The Scientific Basis; Online-Version unter: www.ipcc.ch/pub/reports.htm.
- Kemna, 1981 Kemna, R.B.J., Werkingen (energie analyse), avstudeerrapport deel 4, tussenavd, industrieel Ontwerpen, TU Delft, The Netherlands, 1981.
- Laursen et al, 1997 Laursen, S. E., Hansen, J., Bagh, J., Jensen O. and Werther, I., Environmental Assessment of Textiles. Life Cycle Screening of Textiles containing Cotton, Wool, Viscose, Polyester or Acrylic Fibres, Miljøstyrelsen Miljøprojekt nr. 369, DTI Clothing and Textile, dk-TEKNIK, Danmark, 1997.
- Lista, 2000 Lista AG, Umwelterklärung 2000, Stoff- und Energiebilanz der Werke Erlen, Degersheim und Arnegg 1997 - 2000, 2000. Online-Version unter: www.lista.com.
- Minergie, 2003 Wegleitung, Nachweis-Formular MINERGIE, Version 8, Ausgabe 2003, Verein MINERGIE, Bern, 2003. Online-Version unter: www.minergie.ch.
- Müller & Walter, 1992 Müller, A., Walter, F., RAVEL zahlt sich aus, Praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsrechnungen, Bundesamt für Konjunkturfüragen, Bern, 1992.
- Peper et al., 2001 Peper, S., Feist, W. und Kah, O., Messtechnische Untersuchung und Auswertung, Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover Kronsberg, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 19, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001.
- Richter et al., 1996 Richter, K., Künniger, T., Brunner, K., Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien (ohne Verglasung), EMPA Abteilung Holz, Schweizerische Zentralstelle für Fenster und Fassadenbau (SZFF), Dietikon, 1996.
- SIA 380/1, 2001 Thermische Energie im Hochbau, Empfehlung SIA 380/1, Ausgabe 2001, Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein SIA, Zürich, 2001.
- SIA 480, 2000 Wirtschaftlichkeitsberechnung im Hochbau, Draft SIA 480, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2000.

- Talbert, 1998, R. Talbert, Powder Coater's Manual, Vincentz Network, Hannover, 1998. Online-Version unter: www.coatings.de/pcmanual.cfm.
- Viessmann, 1998 Viessmann Werke GmbH & Co, Umwelterklärung 1997, Standort Allendorf – Werk 05, 1998. Online-Version unter: www.viessmann.de.
- Weckermann, 2000 August Weckermann GmbH, Umwelterklärung 2000, Daten für die Jahre 1997 - 2000, 2000. www.weckermann.de/qual/qual_index.htm.
- Weibel & Stritz, 1995 Weibel, T., Stritz, A., Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen. ESU-Reihe 1/95: Institut für Energietechnik der ETH, Zürich, 1995.

10. Anhang

10.1. Grundlagen

10.1.1 Bauteillebensdauer

In den Berechnungen wurden die in Tabelle 10.1 dargestellten Lebensdauer für die einzelnen Bauelemente der Lüftungsanlage verwendet. Diese Werte wurden für die verschiedenen untersuchten Varianten konstant gehalten. Die Bauteillebensdauer ist abhängig von der Qualität der Wartung und auch den Ansprüchen seitens der Bewohner und kann in weiten Bereichen schwanken. Die für die Berechnungen verwendeten Werte stellen Durchschnittswerte aus den erhobenen Daten sowie unterschiedlichen Literaturquellen dar (Frischknecht et al., 1996; IP Bau, 1994; Müller & Walter, 1992; SIA 480, 2000).

Tabelle 10.1 Für die Berechnungen verwendete Bauteillebensdauer

Bauteil	Lebensdauer Jahre	Bereich	
		von	bis
Aussenluftansaug	50		
Luftdurchlässe	50		
Erdregister	50	15	80
Lüftungsrohre, PE	50	25	100
Lüftungsrohre, Stahl	50	25	100
Dämmung Lüftungsrohre, Steinwolle	50		
Luftverteiler	50		
Schalldämpfer, Flex Rohre	20	10	30
Lüftungsgerät (inkl. Wärmetauscher)	20	15	50
Steuerung, Verkablung	20		
Luftfilter	1	0.33	2
Unterlagsboden	50	30	60
Geschossdecke (Beton)	80	70	100

Durchschnittswerte und Bereich aus den erhobenen Daten sowie Literaturangaben aus: Frischknecht et al., 1996; IP Bau, 1994; Müller & Walter, 1992; SIA 480, 2000.

10.1.2 Verwendete Transportdistanzen

Für die Abschätzung der Transporte zur Baustelle wurde ein Gebäudestandort in der Region Zürich angenommen. Für alle Lüftungskomponenten (Lüftungsrohre, Monobloc, etc.) wird für den Transport vom regionalen Lieferanten auf die Baustelle eine Transportdistanz von 100 km (Lieferwagen, < 3.5 t) angenommen. Die Transporte vom Herstellerwerk zum regionalen Lieferanten bewegen sich je nach Bauteil und Herstellungsort zwischen 0.5 und 1400 km und werden ausschliesslich mit dem Lastwagen zurückgelegt. Für diese Transporte wurden die erhobenen Transportdistanzen verwendet. Für den Transport der mineralischen Baustoffe zur Baustelle wurde für Beton 20 km (LKW 28 t) verbucht und für Zement 100 km Bahntransport und 20 km Strassentransport (LKW 28 t) angenommen.

Für Halbfabrikate und Rohstoffe wurden die in ecoinvent verwendeten Standarddistanzen verwendet (Frischknecht & Jungbluth, 2003a). Je nach Produktionsstandort (Schweiz / Europa) kommen unterschiedliche Distanzen zur Anwendung. In Tabelle 10.2 sind die verwendeten Werte dargestellt.

Entsorgung

Da die Transportprozesse für die Entsorgung bereits in den verwendeten Entsorgungsinventaren enthalten sind (Doka, 2003) wurde nur für diejenigen Entsorgungsprozesse Transportleistungen berücksichtigt welche nicht mit den Daten von (Doka, 2003) berechnet wurden. Für diese Prozesse wurde eine Transportdistanz von 10 km per LKW 28 t eingesetzt.

Tabelle 10.2 Verwendete Standarddistanzen für Transportprozesse

Material	Verbrauch in Europa		Verbrauch in der Schweiz	
	km Bahn	km Lkw 32t	km Bahn	km Lkw 28t
Zement	100	100	100	20
Beton (ohne Armierungseisen)	0	50	0	20
Stahl/ Gusseisen	200	100	600	50
Kupfer	200	100	600	50
Aluminium	200	100	200	50
Kunststoffe	200	100	200	50
Dämmstoffe, Karton, weitere Materialien; *)	200	100	200	50
Entsorgung in Kehrichtverbrennung	0	10	0	10
Entsorgung in Inertstoffdeponie	0	15	0	15

Quelle: Frischknecht & Jungbluth, 2003a.

*) Für diese Materialien wurden dieselben Distanzen wie für die Kunststoffe verwendet.

10.1.3 Gebäudekennwerte

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs sowie der Lüftungsverluste erfolgte nach SIA 380/1 (2001). Als Grundlage wurde ein virtuelles Gebäude gemäss den in Kapitel 3.3 beschriebenen Festlegungen berechnet (Variante: Zürich SMA, Minergie). In Tabelle 10.3 sind die Resultate aus der Berechnung nach SIA 380/1 (2001) für den Klimastandort Zürich und Davos dargestellt. Dabei wurde neben der Variante ohne Lüftungsanlage (Standardnutzung) eine Variante mit der bilanzierten Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80 % gerechnet.

Tabelle 10.3 Berechnungsergebnisse zum Heizwärmebedarf nach SIA 380/1 (2001)

Parameter	Einheit	Zürich SMA, Standard	Zürich SMA, Minergie	Zürich SMA, Passivhaus	Davos, Minergie	Zürich, Minergie, RT = 22°C	Zürich, Minergie, RT = 24°C
Grenzwert Heizenergiebedarf nach SIA 380/1	MJ/m ² a	204.8	204.8	204.8	249.1	204.8	204.8
Energiebezugsfläche, EBF	m ²	780	780	780	780	780	780
Nettowoohnfläche	m ²	636	636	636	636	636	636
Gebäudehüllzahl, A/EBF	-	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39
mittlerer U-Wert der opaken Hülle	W/m ² K	0.47	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
U-Wert der Fenster	W/m ² K	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Fensteranteil an gesamter Fassadenfläche	%	20	20	20	20	20	20
Fensteranteil an Südfassade	%	31	31	31	31	31	31
Grenzwert Heizenergiebedarf nach SIA 380/1	MJ/m ² a	204.8	204.8	204.8	249.1	204.8	204.8
mittlerer U-Wert der opaken Hülle	W/m ² K	0.47	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
Parameter für Gebäude ohne Lüftungsanlage							
Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom, total	m ³ /m ² h	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Transmissionsverluste	MJ/m ² a	308.6	188.7	144.3	276.5	221.5	254.3
interne Gewinne	MJ/m ² a	97.6	97.6	97.6	97.6	97.6	97.6
solare Gewinne	MJ/m ² a	136.9	136.9	136.9	165.5	136.9	136.9
Lüftungsverluste	MJ/m ² a	80.6	80.6	80.6	103.6	94.6	108.6
Anteil Ausnutzung der Gewinne (intern + solar)	%	79%	70%	65%	90%	79%	87%
Heizenergiebedarf (Q _h), ohne Lüftungsanlage	MJ/m ² a	204.2	105.0	72.2	143.3	130.7	159.4
Parameter für Gebäude mit Lüftungsanlage							
Betriebszeit der Lüftungsanlage	Monate/a	12	12	12	12	12	12
Luftmenge der Lüftungsanlage	m ³ /h	720	720	720	720	720	720
Wärmerückgewinnungsgrad der Lüftungsanlage	%	80	80	80	80	80	80
Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom, total	m ³ /m ² h	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Lüftungsverluste	MJ/m ² a	34.3	34.4	34.4	44.1	40.3	46.3
Anteil Ausnutzung der Gewinne (intern + solar)	%	76%	65%	59%	85%	74%	81%
Heizenergiebedarf (Q _h), mit Lüftungsanlage	MJ/m ² a	164.7	70.8	41.0	97.0	89.1	110.0
Reduktion des Heizenergiebedarfs (dQ _h)	MJ/m ² a	39.5	34.2	31.1	46.3	41.6	49.4

Weitere Gebäudekennwerte sind ebenfalls aus Tabelle 10.3 zu entnehmen. Für alle Berechnungen wurden die Energiebezugsflächen nach SIA als Bezug verwendet. Die ebenfalls angegebene Nettowoohnfläche ist definiert als mit internen Massen berechnete Bodenfläche. Sie bezieht sich auf die beheizte Wohnfläche und schliesst die Kellerflächen wie auch die Querschnitte der Wohnungstrennwände aus.

10.2. Sachbilanzen, verwendete Basisdaten

10.2.1 Energiebedarf für den Herstellungsprozess

Die für die einzelnen Bauteile verwendeten Materialien und deren Mengenanteile wurden aus den Angaben der Hersteller und Lieferanten ermittelt. Während über die Produktionsart oft Angaben verfügbar waren, war dies für die dafür aufgewendeten Energiemengen nicht der Fall. Um diese Energiemengen ermitteln zu können musste auf Literaturangaben zurückgegriffen werden. Die verwendeten spezifischen Energiebedarfe sind in Tabelle 10.4 dargestellt:

Tabelle 10.4 Spezifischer Elektrizitätsbedarfe, mechanische Fertigung

Prozess	Einheit	Elektrizitätsbedarf		Bemerkung
		Stahl	Aluminium	
Bearbeiten, mechanisch	kWh/kg	0.11	0.16	Pro kg zerspanntes Material
Trennen, Bandsäge	kWh/m ²	1.57	0.79	Pro m ² Trennfläche
Trennen, Scheren Stanzen	kWh/m ²	2.36	1.18	Pro m ² Trennfläche
Trennen, Laserschneiden	kWh/m ²	0.63	0.31	Pro m ² Trennfläche
Kaltumformen (Biegen)	kWh/kg	0.13	0.19	Pro kg verarbeitetes Material
Verbinden (Punktschweissen)	kWh/kg	0.13	0.19	Pro Verbindungspunkt *)

Quelle: Kemna 1981

*) Mittlerer Wert für 1 mm Blechstärke

Für verschiedene Prozessschritte konnten auch auf in ecoinvent (Datenbestand 1.0) bilanzierte Verarbeitungsprozesse zurückgegriffen werden. Dies betrifft insbesondere die folgenden Verarbeitungsprozesse:

- Spritzgiessen und Extrudieren von Kunststoff
- Walzen von Blechen und ziehen von Rohren und Drähten
- Schweissen (Schweissnähte)
- Verzinken der Stahlbleche

Die Produktion laminierter Folien wurde aus Angaben zur Lamination von Verpackungsfolien abgeschätzt. Die verwendete Sachbilanz stammt aus (BUWAL, 1996) und beinhaltet das Laminieren sowie das Zuschneiden der Folie. Es wurde ein Bindemittel auf Acrylatbasis angenommen. Die verwendeten Prozessdaten sind in Tabelle 10.5 ersichtlich.

Die Produktionsaufwendungen für die Filtermatten aus Polyethylenterephthalat (PET) wurden aus Angaben der Textilgarnherstellung abgeschätzt. Die verwendete Sachbilanz stammt aus (Laursen et al, 1997) und beinhaltet die Faserherstellung aus PET und das Verspinnen zu einem Garn. Die verwendeten Prozessdaten sind in Tabelle 10.6 ersichtlich.

Die Produktionsaufwendungen für das Pulverbeschichten wurde aus Angaben von (Gloor, 1995) bilanziert. Die verwendete Sachbilanz beinhaltet die Energieaufwendungen für die Vorbehandlung, die Beschichtung und die thermische Nachbehandlung. In der Sachbilanz wird von einer Auftragseffizienz von 95 % (inkl. Pulverrecycling) sowie mit 2 Gew.-% Lösemittlemissionen bei der thermischen Nachbehandlung gerechnet (Talbert, 1998). Die Beschichtungsstärke wurde mit

70 µm und die Dichte des verwendeten Farbpulvers mit 1300 kg/m³ angenommen. Die Sachbilanz für den Pulverlack stammt aus (Richter et al., 1996). Die verwendeten Prozessdaten sind in Tabelle 10.7 ersichtlich.

Tabelle 10.5 Produktionsprozess, Laminieren von Folien

			Name	Laminieren, Folie, mit Acrylat-Bindemittel
			Location	RER
			Infrastr. *)	-
			Einheit	m2
Input von Technosphäre	Location **)	I *)		
Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz	UCTE	-	kWh	1.83E-02
Acrylat-Bindemittel, 54% in H ₂ O, ab Werk	RER	-	kg	1.40E-03
Entsorgung, Anstrichstoff Reste, 0% Wasser, in Sonderabfallverbrennung	CH	-	kg	2.00E-04
Emissionen in Luft	Compart. **)			
Abwärme	Stadt	-	MJ	6.59E-02

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

**) Location: Herkunftsort (RER = Europa; CH = Schweiz); Compartment: Ort der Emission (Stadt, Land, ...)

Quelle: BUWAL, 1996; Beinhaltet Laminieren verkleben und Zuschneiden einer Folie mit 113 g/m².

Tabelle 10.6 Produktionsprozess, Filtermatten aus Polyethylenterephthalat

			Name	Vliesherstellung, Polyethylenterephthalat
			Location	RER
			Infrastr. *)	-
			Einheit	kg
Input von Technosphäre	Location **)	I *)		
Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz	UCTE	-	kWh	8.33E+00
Heizöl EL, in Industriefeuerung 1MW, nicht-modulierend	RER	-	MJ	1.36E+01
Emissionen in Luft	Compart. **)			
Abwärme	Stadt	-	MJ	3.00E+01

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

**) Location: Herkunftsort (RER = Europa; CH = Schweiz); Compartment: Ort der Emission (Stadt, Land, ...)

Quelle: Laursen et al, 1997; Beinhaltet Faserherstellung aus PET und das Verspinnen.

Tabelle 10.7 Produktionsprozess, Pulverbeschichten von Stahl

			Name	Pulverbeschichten, Stahl
			Location	RER
			Infrastr. *)	-
			Einheit	m2
Input von Technosphäre	Location **)	I *)		
Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz	UCTE	-	kWh	7.33E-01
Erdgas, in Industriefeuerung Low-NOx>100kW	RER	-	MJ	1.56E+01
Polyester Pulverlack, für Beschichtung, ab Werk	RER	-	kg	9.60E-02
Entsorgung, Anstrichstoff Reste, 0% Wasser, in Sonderabfallverbrennung	CH	-	kg	4.80E-03
Emissionen in Luft	Compart. **)			
Abwärme	Stadt	-	MJ	2.64E+00
NM VOC, Flüchtige organische Verbindungen	Stadt	-	kg	1.82E-03

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

**) Location: Herkunftsort (RER = Europa; CH = Schweiz); Compartment: Ort der Emission (Stadt, Land, ...)

Quelle: Gloor, 1995; Auftragseffizienz 95 %, 2 Gew.- % Lösemittlemissionen (Talbert, 1998).

Beschichtungsstärke 70 µm; Pulverdichte 1300 kg/m³.

10.2.2 Anteil an Produktionsabfall bei der Herstellung

Die für die einzelnen Materialarten wurden aufgrund fehlender bauteilspezifischer Angaben der Anteil Produktionsabfall abgeschätzt. In Tabelle 10.8 sind die verwendeten Anteile für die einzelnen Materialgruppen aufgelistet.

Tabelle 10.8 Anteil an Produktionsabfall in der Herstellung

Produktionsabfall	Anteil
Bleche, Stahl, Aluminium	10%
Kupferdraht	10%
Kunststoff, Spritzguss	10%
Kunststoff, Extrusion	5%
Gummi	5%
Dämmstoffe	10%
Karton und Verpackungsfolien	2%

Für die Entsorgung dieser Produktionsabfälle wird für die Metalle (Stahl, Aluminium, Kupfer) von einem Recycling ausgegangen. Für die Produktionsabfälle aus Kunststoff, Gummi, kunststoffbasierte Dämmstoffe (z.B. EPS) und Karton wird eine Entsorgung in einer Kehrichtsverbrennungsanlage angenommen. Bei der Spritzgussfertigung und Extrusion wird nur der nicht intern rezyklierbare Anteil der Produktionsabfälle berücksichtigt.

10.2.3 Basisinventare

Für alle Basisinventare wurden die Sachbilanzdaten aus der Datenbank ecoinvent (Datenbestand 1.01) bezogen. Die Sachbilanzen für Glaswolle und Unterlagsböden wurden mit den Sachbilanzdaten aus (Weibel & Stritz, 1995) und den Sachbilanzdaten aus ecoinvent berechnet, da die ecoinvent Inventare noch nicht zur Verfügung standen.

Für die Bauteile aus Stahlblech wurde ein Konsummix von 37 % Sekundär- und 63 % Primärstahl verwendet (gemäss Althaus et al., 2003). Für einzelne Bauteile (z.B. Transformatorbleche) wird von 100 % Primärstahl ausgegangen.

10.2.4 Strommix auf Niederspannungsniveau

Für die Diskussion der Resultate unter Einbezug verschiedener Stromproduktionsarten, wurde der Stromprozess ab Gaskombikraftwerk und ab Wasserkraftwerk aus der Datenbank ecoinvent (Datenbestand 1.01) mit den Prozessdaten für Stromtransport und Transformation auf Niederspannung erweitert. In Tabelle 10.9 sind die verwendeten Sachbilanzen für diese Anpassungen ersichtlich. Die Daten dieser Sachbilanz basieren auf den Daten zum Schweizer Strommix ab Niederspannung. Für den Strombezug ab Photovoltaik wurden kein Stromtransport und Transformation berücksichtigt, da angenommen wurde, dass der Strom direkt auf dem Dach des Gebäudes produziert wird. Für den Strom aus Photovoltaik wurde daher folgender, Prozess direkt aus der Datenbank ecoinvent (Datenbestand 1.01) verwendet:

- Strommix, Photovoltaik, ab Anlage, CH

Tabelle 10.9

Sachbilanz für Strombezug ab GuD-Kraftwerk und Wasserkraft

			Name	Strom, Niederspannung, GuD-Kraftwerk, beste Technologie, ab Netz	Strom, Niederspannung, Wasserkraft, ab Netz
			Location	CH	CH
			Infrastr. *)	-	-
Input von Technosphäre	Location **)	I *)	Einheit	kWh	kWh
Strom, ab Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk, beste Technologie	RER	-	kWh	1.12E+00	-
Strom, Wasserkraft, ab Kraftwerk	CH	-	kWh	-	1.12E+00
Verteilungsnetz, Strom, Niederspannung	CH	1	km	2.94E-07	2.94E-07
Übertragungsnetz, Strom, Mittelspannung	CH	1	km	3.56E-08	3.56E-08
Übertragungsnetz, Strom, Hochspannung	CH	1	km	9.38E-09	9.38E-09
Übertragungsnetz, Ferntransport	UCTE	1	km	3.52E-10	3.52E-10
Schwefelhexafluorid, flüssig, ab Werk	RER	-	kg	5.22E-08	5.22E-08
Emissionen	Compart. ***)				
Schwefelhexafluorid	Luft, allg.	-	kg	5.22E-08	5.22E-08
Ozon	Luft, allg.	-	kg	5.00E-06	5.00E-06
Lachgas	Luft, allg.	-	kg	5.56E-06	5.56E-06
Abwärme	Luft, allg.	-	MJ	4.00E-02	4.00E-02
Abwärme	Boden, allg.	-	MJ	3.01E-01	3.01E-01

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

**) Location: Herkunftsort (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)

***) Compartment: Ort der Emission (in Luft, in Boden, ...)

10.2.5 Energiebedarf, Betrieb Gebäudeinfrastruktur

Es waren keine Angaben zum Gebäudeenergiebedarf der einzelnen Herstellerbetriebe verfügbar. Daher wurden diese Angaben aus Umweltberichten bezüglich der Produktionsprozesse ähnlich gelagerten Firmen abgeschätzt (Böllhoff, 1999; FRIED, 2003; Geberit, 1999; Geberit, 2000; GOK, 2003; Grundfos, 2003; Hobart, 2000; Hörauf & Kohler, 2003; Lista, 2000; Viessmann, 1998; Weckermann, 2000). Um die Unterschiede aufgrund der Abwärme aus der Produktion zu berücksichtigen wurden folgende Kategorien unterschieden:

- Kunststoffverarbeiter, verwendet für die Herstellung aller Kunststoffbauteile
- Metallverarbeiter, verwendet für die Herstellung der Metallbauteile sowie den Zusammenbau der Geräte.

Der Bezug dieser Energiemengen erfolgte entsprechend der produzierten Produktmasse in kg. In Tabelle 10.10 sind die Daten ersichtlich, welche für die Berechnung der Sachbilanzen verwendet wurden:

Tabelle 10.10 Energiebedarf für den Betrieb der Gebäudeinfrastruktur (Produktionsstätte)

Energieträger	Einheit	Metallverarbeitung		Kunststoffverarbeitung	
		Wert	Streuung	Wert	Streuung
Heizenergiebedarf, total	MJ/kg	4.2	2.2 - 8.9	2.9	1.4 - 5.0
Aufteilung, Öl / Erdgas	%	50 % / 50 %	-	50 % / 50 %	-
Strombedarf Gebäude *)	kWh/kg	0.12	0.03 - 0.99	0.11	0.03 - 0.28

*) Bedarf nur für Beleuchtung sowie Betrieb der Heizungsanlage

Bezugsmenge: kg hergestelltes Produkt

Quelle: Böllhoff, 1999; FRIED, 2003; Geberit, 1999; Geberit, 2000; GOK, 2003; Grundfos, 2003; Hobart, 2000; Hörauf & Kohler, 2003; Lista, 2000; Viessmann, 1998; Weckermann, 2000.

10.2.6 Infrastruktur

Es waren nur sehr rudimentäre Angaben zu einzelnen Herstellerbetrieben verfügbar. Aus diesen Angaben konnten die für die Bilanzierung der Infrastruktur notwendigen Daten nur unzureichend abgeleitet werden. Um die Aufwendungen für die Infrastruktur dennoch angemessen zu berücksichtigen wurde auf Angaben aus Umweltberichten bezüglich den Produktionsprozessen ähnlich gelagerter Firmen zurückgegriffen (Böllhoff, 1999; FRIED, 2003; Geberit, 1999; Geberit, 2000; GOK, 2003; Grundfos, 2003; Hegler, 2003; Hörauf & Kohler, 2003; Viessmann, 1998; Weckermann, 2000). Es wurden folgende Infrastrukturprozesse unterschieden:

- Kunststoffverarbeitungsfabrik, verwendet für die Herstellung aller Kunststoffbauteile. Fabrik mit einer Jahresproduktion von 27'000 Tonnen.
- Lüftungskomponentenfabrik, verwendet für die Herstellung der Metallbauteile sowie den Zusammenbau der Geräte (Metallverarbeitung). Fabrik mit einer Jahresproduktion von 5'000 Tonnen pro Jahr.

Für die Gebäude wurde eine Gebäudelebensdauer von 50 Jahren angenommen. Der Gebäudepark wurde für beide Firmentypen mit 70 % der Flächen als Hallen (Metallkonstruktion) und 30 % als mehrgeschossige Gebäude angenommen. Für den Bau der Gebäude wurde eine Bauzeit (Landnutzung als Baustelle) von 2 Jahren angenommen. Die Abschätzungen zu den Produktionseinrichtungen beruhen nur auf groben Angaben zu je einer Firma (Hegler, 2003; Weckermann, 2000) und sind daher mit grossen Unsicherheiten behaftet. Für die Produktionseinrichtungen (Maschinen) wurde die Lebensdauer auf 25 Jahre veranschlagt. Der Bezug der Infrastruktur erfolgte entsprechend der produzierten Produktmenge in kg. Es wurde dabei von einer konstanten Produktionsmenge über die gesamte Gebäudelebensdauer ausgegangen. In Tabelle 10.11 sind die für die Berechnung verwendeten Sachbilanzdaten ersichtlich:

Tabelle 10.11

Infrastrukturprozesse

			Name	Lüftungs- komponenten- fabrik	Kunststoff- verarbeitungs- fabrik
			Location	RER	RER
			Infrastr. *)	1	1
			Einheit	unit	unit
Input von Technosphäre	Location **)	I *)			
Gebäude, Halle, Stahlkonstruktion	CH	1	m2	3.50E+04	9.80E+04
Gebäude, mehrstöckig	RER	1	m3	1.50E+05	4.20E+05
Strassenverkehrsinfrastruktur, Firmengelände, intern ***)	CH	1	m2 a	1.75E+06	5.00E+06
Industriemaschine, schwer, unspezifisch, ab Werk	RER	1	kg	4.13E+06	1.14E+06
Ressourcenbedarf	Compart. **)				
Nutzung, Baustelle	Fläche	-	m2 a	1.00E+05	2.80E+05
Nutzung, Industrieareal, bebaut	Fläche	-	m2 a	2.50E+06	7.00E+06
Nutzung, Industrieareal, bepflanzt	Fläche	-	m2 a	2.50E+06	6.50E+06
Umwandlung, von unbekannt	Fläche	-	m2	1.00E+05	2.70E+05
Umwandlung, zu Industrieareal, bebaut	Fläche	-	m2	5.00E+04	1.40E+05
Umwandlung, zu Industrieareal, bepflanzt	Fläche	-	m2	5.00E+04	1.30E+05
Kennwerte für den Bezug der Infrastrukturprozesse			Einheit	Wert	Wert
Jährliche Produktionsmenge			kg/a	5.00E+06	2.70E+07
Produktmenge über 50 Jahre Betrieb			kg	2.50E+08	1.35E+09

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

**) Location: Herkunftsort (RER = Europa; CH = Schweiz); Compartment: Art der benötigten Ressourcen (Land, in Boden, ...)

***) Infrastrukturprozess für versiegelte Strassen und Parkplatzfläche auf Betriebsgelände

Quelle: Böllhoff, 1999; FRIED, 2003; Geberit, 1999; Geberit, 2000; GOK, 2003; Grundfos, 2003; Hegler, 2003; Hörauf & Kohler, 2003; Viessmann, 1998; Weckermann, 2000.

10.3. Sachbilanzen, Einzelkomponenten

10.3.1 Luftdurchlässe und Verteilkästen

In Tabelle 10.12 sind die Sachbilanzdaten für die Herstellung Luftdurchlässe (Frischlufte, Zuluft, Abluft, Fortluft) sowie der Luftverteiler für Lüftungsanlagen mit 720 m³/h Luftleistung für insgesamt sechs Wohnungen (120 m³/h pro Wohnung). Diese Sachbilanzen beziehen sich ab Werk. In Tabelle 10.13 sind die Sachbilanzdaten für die Entsorgung dieser Komponenten dargestellt. Die Sachbilanzen beziehen sich auf eine Entsorgung der Komponenten bei einer Gebäuderenovation über den Baustellenabfall. Es wird von einer sachgemässen Abfallsortierung in einer Sortieranlage ausgegangen. Gemäss den Herstellerangaben werden die Komponenten nicht zurückgenommen und so direkt dem Recycling zugeführt.

Tabelle 10.12 Herstellung, Luftdurchlässe und Verteilkästen, ab Werk

	Location	I *	Name	Aussenluftfassung, Edelstahl, DN 370, ab Werk	Dachdurchführung, Stahl, DN 400, ab Werk	Fortluftauslass, Stahl / Alu, 85x365 mm, ab Werk	Zuluftreinlass, Stahl / SS, DN 75, ab Werk	Abluftventil, UP-Gehäuse, Kunststoff / Stahl, DN 125, ab Werk	AP-Luftverteilkästen, Stahl, 120 m³/h, ab Werk	Überströmelement, Stahl, ca. 40 m³/h, ab Werk
			Location	RER	CH	CH	RER	CH	CH	RER
Input von Technosphäre	Location	I *	Einheit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Erdgas, in Industrieheizung >100kW	RER	-	MJ	6.72E+1	3.57E+1	5.25E+0	4.62E+0	1.05E+0	2.00E+1	2.31E+0
Heizöl EL, in Industrieheizung 1MW, nicht-modulierend	RER	-	MJ	6.72E+1	3.57E+1	5.25E+0	4.62E+0	1.05E+0	2.00E+1	2.31E+0
Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz	UCTE	-	kWh	5.61E+0	-	-	8.49E-1	-	-	4.27E-1
Strom, Mittelspannung, ab Netz	CH	-	kWh	-	5.08E+0	1.37E+0	-	2.37E-1	2.95E+0	-
Elektrostahl, un- und niedriglegiert, ab Werk	RER	-	kg	-	6.92E+0	8.55E-1	7.73E-1	1.63E-1	3.79E+0	3.46E-1
Blaststahl, unlegiert, ab Werk	RER	-	kg	-	1.18E+1	1.46E+0	1.32E+0	2.77E-1	6.44E+0	5.89E-1
Stahl, niedriglegiert, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	-	1.10E-2	-	-
Chromstahl 18/8, ab Werk	RER	-	kg	3.30E+1	-	-	3.30E-1	-	-	-
Aluminium, Produktionsmix, Knetlegierung, ab Werk	RER	-	kg	-	-	4.40E-1	-	-	-	-
Polyethylen-Granulat, HDPE, ab Werk	RER	-	kg	2.10E+0	-	-	-	-	-	-
Polyvinylchlorid, ab Regionallager	RER	-	kg	-	-	-	-	9.90E-2	-	-
Gummi EPDM, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	-	-	-	2.63E-1
Polyurethan, Schaum flexibel, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	-	-	2.20E-1	-
Pulverbeschichten, Stahl	RER	-	m²	-	1.50E+0	-	-	-	-	3.00E-2
Rohr ziehen, Stahl	RER	-	kg	3.30E+1	-	-	-	-	-	-
Blech walzen, Aluminium	RER	-	kg	-	-	4.40E-1	-	-	-	-
Blech walzen, Chromstahl	RER	-	kg	-	-	-	3.30E-1	-	-	-
Blech walzen, Stahl	RER	-	kg	-	1.87E+1	2.31E+0	2.09E+0	4.51E-1	1.02E+1	9.35E-1
Schweißen, Lichtbogen, Stahl	RER	-	m	2.50E+0	-	-	-	-	-	-
Bandverzinkung	RER	-	m²	-	5.30E-1	5.30E-1	5.00E-1	8.00E-2	1.80E+0	2.20E-1
Extrudieren, Kunststoffrohre	RER	-	kg	2.10E+0	-	-	-	-	-	-
Spritzgiessen	RER	-	kg	-	-	-	-	9.90E-2	-	2.63E-1
Entsorgung, Polyethylen, 0.4% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	1.00E-1	-	-	-	-	-	-
Entsorgung, Polyvinylchlorid, 0.2% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	9.00E-3	-	-
Entsorgung, Gummi, unspezifisch, 0% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	-	-	1.25E-2
Entsorgung, Polyurethan, 0.2% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	-	2.00E-2	-
Transport, Fracht, Schiene	RER	-	tkm	7.02E+0	1.12E+1	1.47E+0	4.84E-1	2.90E-1	6.18E+0	2.40E-1
Transport, Lkw 32t	RER	-	tkm	3.51E+0	-	-	2.42E-1	-	-	1.20E-1
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	-	9.35E-1	1.38E-1	-	2.76E-2	5.23E-1	-
Lüftungskomponentenfabrik	RER	1	unit	1.28E-7	6.80E-8	1.00E-8	8.80E-9	2.00E-9	3.80E-8	4.40E-9

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

Tabelle 10.13 Entsorgung, Luftdurchlässe und Verteilkästen

	Location	I *	Name	Entsorgung, Aussenluftfassung, Edelstahl, DN 370	Entsorgung, Dachdurchführung, Stahl, DN 400	Entsorgung, Fortluftauslass, Stahl / Alu, 85x365 mm	Entsorgung, Zuluftreinlass, Stahl / SS, DN 75	Entsorgung, Abluftventil, UP-Gehäuse, Kunststoff / Stahl, DN 125	Entsorgung, AP-Luftverteilkästen, Stahl, 120 m³/h	Entsorgung, Überströmelement, Stahl, ca. 40 m³/h
			Location	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH
Input von Technosphäre	Location	I *	Einheit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Entsorgung, Gebäude, Massiveisen ohne Armierungseisen, in Sortieranlage	CH	-	kg	3.00E+1	1.70E+1	2.50E+0	2.20E+0	4.10E-1	9.30E+0	8.50E-1
Entsorgung, Gebäude, Polyethylen/Polypropylen-Produkte, in Beseitigung	CH	-	kg	2.00E+0	-	-	-	-	-	-
Entsorgung, Gebäude, PVC-Produkte, in Beseitigung	CH	-	kg	-	-	-	-	9.00E-2	-	-
Entsorgung, Gebäude, Anstrich auf Metall, in Sortieranlage	CH	-	kg	-	1.37E-1	-	-	-	-	2.73E-3
Entsorgung, Gebäude, PUR-Schaum, in Beseitigung	CH	-	kg	-	-	-	-	-	2.00E-1	-
Entsorgung, Gummi, unspezifisch, 0% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	-	-	2.50E-1
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	3.00E-1	-	-	-	-	-	2.50E-3

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

10.3.2 Verrohrung vor Wohnungsverteiler

In Tabelle 10.14 sind die Sachbilanzdaten für die Herstellung der Verrohrung vor dem Wohnungsverteiler für Lüftungsanlagen mit 720 m³/h Luftleistung für insgesamt sechs Wohnungen. Diese Sachbilanzen beziehen sich ab Werk. In Tabelle 10.15 sind die Sachbilanzdaten für die Entsorgung dieser Komponenten darge-

stellt. Diese Sachbilanzen beziehen sich auf eine Entsorgung der Verrohrung bei einer Gebäuderenovation über den Baustellenabfall. Es wird von einer sachgemässen Abfallsortierung in einer Sortieranlage ausgegangen. Gemäss den Herstellerangaben werden die Komponenten nicht zurückgenommen und so direkt dem Recycling zugeführt. Beim Flex-Rohr wird aufgrund des nicht trennbaren Materialverbundes von einer Entsorgung des gesamten Bauteils über die Kehrichtverbrennung ausgegangen (kein Materialrecycling).

Tabelle 10.14 Herstellung, Verrohrung vor Wohnungsverteiler, ab Werk

Name	Location	I *)	Einheit	Erdregisterrohr, PE, DN 200, ab Werk	Wickelfalzrohr, Stahl, DN 400, ab Werk	Dämmung Wickelfalzrohr, Steinwolle, DN 400, 30 mm, ab Werk	Wickelfalzrohr, Stahl, DN 125, ab Werk	Flex Rohr, Alu / PET, DN 125, ab Werk
				RER	RER	RER	RER	RER
				Infrastr. *)	-	-	-	-
Input von Technosphäre	Location	I *)	Einheit	m	m	m	m	m
Erdgas, in Industrieheizung >100kW	RER	-	MJ	4.35E+0	1.26E+1	6.93E+0	3.99E+0	2.97E-1
Heizöl EL, in Industrieheizung 1MW, nicht-modulierend	RER	-	MJ	4.35E+0	1.26E+1	6.93E+0	3.99E+0	2.97E-1
Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz	UCTE	-	kWh	3.30E-1	1.51E+0	6.71E-1	4.80E-1	3.28E-2
Elektrostahl, un- und niedriglegiert, ab Werk	RER	-	kg	-	2.44E+0	3.66E-1	7.73E-1	-
Blasstahl, unlegiert, ab Werk	RER	-	kg	-	4.16E+0	6.24E-1	1.32E+0	-
Stahl, niedriglegiert, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	-	2.20E-2
Aluminium, Produktionsmix, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	-	4.40E-2
Aluminium, Produktionsmix, Knetlegierung, ab Werk	RER	-	kg	-	-	8.80E-1	-	-
Polyethylen-Granulat, HDPE, ab Werk	RER	-	kg	3.15E+0	-	-	-	-
Polyethylenterephthalat-Granulat, amorph, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	-	1.43E-1
Steinwolle, verpackt, ab Werk	CH	-	kg	-	-	1.76E+0	-	-
Wellkartonverpackung, gemischte Fasern, einwellig, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	-	1.53E-2
Blech walzen, Aluminium	RER	-	kg	-	-	8.80E-1	-	4.40E-2
Blech walzen, Stahl	RER	-	kg	-	6.60E+0	-	2.09E+0	-
Schweissen, Lichtbogen, Stahl	RER	-	m	-	3.20E+0	-	2.60E+0	-
Draht ziehen, Stahl	RER	-	kg	-	-	9.90E-1	-	2.20E-2
Bandverzinkung	RER	-	m2	-	2.50E+0	4.50E-1	7.90E-1	-
Extrudieren, Kunststoffolie	RER	-	kg	-	-	-	-	1.43E-1
Extrudieren, Kunststoffrohre	RER	-	kg	3.15E+0	-	-	-	-
Laminieren, Folie, mit Acrylat-Bindemittel	RER	-	m2	-	-	-	-	4.00E-1
Entsorgung, Polyethylen, 0.4% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	1.50E-1	-	-	-	-
Entsorgung, Polyethylenterephthalat, 0.2% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	1.30E-2
Entsorgung, Inertstoff, 5% Wasser, in Inertstoffdeponie	CH	-	kg	-	-	1.60E-1	-	-
Entsorgung, Verpackungskarton, 19.6% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	3.00E-4
Transport, Fracht, Schiene	RER	-	tkm	6.30E-1	1.32E+0	7.26E-1	4.18E-1	4.49E-2
Transport, Lkw 32t	RER	-	tkm	3.17E-1	6.60E-1	3.65E-1	2.09E-1	2.26E-2
Lüftungskomponentenfabrik	RER	1	unit	-	2.40E-8	1.32E-8	7.60E-9	-
Kunststoffverarbeitungsfabrik	RER	1	unit	2.22E-9	-	-	-	1.52E-10

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

Tabelle 10.15 Entsorgung, Verrohrung vor Wohnungsverteiler

	Location	I *	Name	Entsorgung, Erdregisterrohr, PE, DN 200	Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl, DN 400	Entsorgung, Dämmung Wickelfalzrohr, Steinwolle, DN 400, 30 mm	Entsorgung, Wickelfalzrohr, Stahl, DN 125	Entsorgung, Flex Rohr, Alu / PET, DN 125
				CH	CH	CH	CH	CH
				Infrastr. *)	-	-	-	-
				Einheit	m	m	m	m
Input von Technosphäre	Location	I *	Einheit	m	m	m	m	m
Entsorgung, Gebäude, Massiveisen ohne Armierungseisen, in Sortieranlage	CH	-	kg	-	6.00E+0	1.70E+0	1.90E+0	-
Entsorgung, Gebäude, Mineralwolle, in Sortieranlage	CH	-	kg	-	-	1.60E+0	-	-
Entsorgung, Gebäude, Polyethylen/Polypropylen-Produkte, in Beseitigung	CH	-	kg	3.00E+0	-	-	-	-
Entsorgung, Polyethylenterephthalat, 0.2% Wasser, in Kehrlichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	1.30E-1
Entsorgung, Verpackungskarton, 19.6% Wasser, in Kehrlichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	1.50E-2
Entsorgung, Stahl, 0% Wasser, in Kehrlichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	2.00E-2
Entsorgung, Aluminium, 0% Wasser, in Kehrlichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	4.00E-2
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	-	-	-	-	2.05E-3
*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)								
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz, UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)								

10.3.3 Verrohrung nach Wohnungsverteiler

In Tabelle 10.16 sind die Sachbilanzdaten für die Herstellung der Verrohrung nach dem Wohnungsverteiler für Lüftungsanlagen mit 120 m³/h Luftleistung je Wohnung. Diese Sachbilanzen beziehen sich ab Werk. In Tabelle 10.17 sind die Sachbilanzdaten für die Entsorgung dieser Komponenten dargestellt. Diese Sachbilanzen beziehen sich auf eine Entsorgung der Verrohrung bei einer Gebäuderenovation über den Baustellenabfall. Es wird von einer sachgemässen Abfallsortierung in einer Sortieranlage ausgegangen. Gemäss den Herstellerangaben werden die Komponenten nicht zurückgenommen und so direkt dem Recycling zugeführt. Beim Kaltschrumpfband wird aufgrund des nicht trennbaren Materialverbundes von einer Entsorgung des gesamten Bauteils über die Kehrlichtverbrennung ausgegangen (kein Materialrecycling).

Tabelle 10.16 Herstellung, Verrohrung nach Wohnungsverteiler, ab Werk

Input von Technosphäre	Location	I *)	Name	Mini Kanal, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	Bogen 90°, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	Verbindungsstück, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	Lüftungsrohr, PE Wellrohr, DN 75, ab Werk	Kaltschumpfband, Alu/ PE, 50 mm breit, ab Werk
				RER	RER	RER	RER	RER
				Infrastr. *)	-	-	-	-
Input von Technosphäre	Location	I *)	Einheit	m	unit	unit	m	m
Erdgas, in Industrieheizung >100kW	RER	-	MJ	3.15E+0	5.67E-1	4.20E-1	4.79E-1	1.19E-1
Heizöl EL, in Industrieheizung 1MW, nicht-modulierend	RER	-	MJ	3.15E+0	5.67E-1	4.20E-1	4.79E-1	1.19E-1
Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz	UCTE	-	kWh	3.79E-1	1.66E-1	1.35E-1	3.63E-2	6.83E-3
Elektrostahl, un- und niedriglegiert, ab Werk	RER	-	kg	6.11E-1	1.10E-1	8.14E-2	-	-
Blasstahl, unlegiert, ab Werk	RER	-	kg	1.04E+0	1.87E-1	1.39E-1	-	-
Aluminium, Produktionsmix, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	-	5.67E-3
Polyethylen-Granulat, HDPE, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	3.47E-1	-
Verpackungsfolie, LDPE, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	-	1.58E-3
Acrylat-Bindemittel, 54% in H ₂ O, ab Werk	RER	-	kg	-	-	-	-	6.50E-2
Blech walzen, Aluminium	RER	-	kg	-	-	-	-	5.67E-3
Blech walzen, Stahl	RER	-	kg	1.65E+0	2.97E-1	2.20E-1	-	-
Schweissen, Lichtbogen, Stahl	RER	-	m	1.00E+0	2.00E-1	-	-	-
Bandverzinkung	RER	-	m ²	6.00E-1	1.10E-1	8.00E-2	-	-
Extrudieren, Kunststoffrohre	RER	-	kg	-	-	-	3.47E-1	-
Laminieren, Folie, mit Acrylat-Bindemittel	RER	-	m ²	-	-	-	-	5.00E-2
Entsorgung, Polyethylen, 0.4% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	1.65E-2	7.50E-5
Entsorgung, Anstrichstoff Reste, 0% Wasser, in Sonderabfallverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	1.50E-2
Transport, Fracht, Schiene	RER	-	tkm	3.30E-1	5.94E-2	4.40E-2	6.93E-2	1.44E-2
Transport, Lkw 32t	RER	-	tkm	1.65E-1	2.97E-2	2.20E-2	3.48E-2	7.38E-3
Lüftungskomponentenfabrik	RER	1	unit	6.00E-9	1.08E-9	8.00E-10	-	2.28E-10
Kunststoffverarbeitungsfabrik	RER	1	unit	-	-	-	2.44E-10	-

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

Tabelle 10.17 Entsorgung, Verrohrung nach Wohnungsverteiler

Input von Technosphäre	Location	I *)	Name	Entsorgung, Mini Kanal, Stahl, 100x50 mm	Entsorgung, Bogen 90°, Stahl, 100x50 mm	Entsorgung, Verbindungsstück, Stahl, 100x50 mm	Entsorgung, Lüftungsrohr, PE Wellrohr, DN 75	Entsorgung, Kaltschumpfband, Alu/ PE, 50 mm breit
				CH	CH	CH	CH	CH
				Infrastr. *)	-	-	-	-
Input von Technosphäre	Location	I *)	Einheit	m	unit	unit	m	m
Entsorgung, Gebäude, Massiveisen ohne Armierungseisen, in Sortieranlage	CH	-	kg	1.50E+0	2.70E-1	2.00E-1	-	-
Entsorgung, Gebäude, Polyethylen/Polypropylen-Produkte, in Beseitigung	CH	-	kg	-	-	-	3.30E-1	1.50E-3
Entsorgung, Anstrichstoff, 0% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	5.00E-2
Entsorgung, Aluminium, 0% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	5.40E-3
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	-	-	-	-	5.54E-4

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

10.3.4 Schalldämpfer und Luftfilter

In Tabelle 10.18 sind die Sachbilanzdaten für die Herstellung von Schalldämpfer und Luftfilter für Lüftungsanlagen mit 120 m³/h (dezentral) bzw. 720 m³/h (zentral) Luftleistung. Diese Sachbilanzen beziehen sich ab Werk. In Tabelle 10.19 sind die Sachbilanzdaten für die Entsorgung dieser Komponenten dargestellt. Diese Sachbilanzen beziehen sich auf eine Entsorgung der Schalldämpfer bei einer Gebäude-renovation über den Baustellenabfall. Es wird von einer sachgemässen Abfallsor-

tierung in einer Sortieranlage ausgegangen. Für die Luftfilter wird eine Entsorgung in der Kehrichtverbrennungsanlage angenommen.

Tabelle 10.18

Herstellung, Schalldämpfer und Luftfilter, ab Werk

	Location	I *	Name	Schalldämpfer, Stahl, DN 315, 50 mm, ab Werk	Schalldämpfer, Stahl, DN 125, ab Werk	Zu- Abluftfilter, dezentral, 250 m ³ /h, ab Werk	Zu- Abluftfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h, ab Werk	Abluftfilter, in Abluftventil, ab Werk	Zu- Abluftfilter, zentral, 600 m ³ /h, ab Werk
Input von Technosphäre	Location	I *	Einheit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Erdgas, in Industrieheizung >100kW	RER	-	MJ	4.20E+1	1.74E+1	7.25E-2	3.19E-1	5.80E-2	5.80E-1
Heizöl EL, in Industrieheizung 1MW, nicht-modulierend	RER	-	MJ	4.20E+1	1.74E+1	7.25E-2	3.19E-1	5.80E-2	5.80E-1
Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz	UCTE	-	kWh	-	-	5.50E-3	2.42E-2	4.40E-3	2.03E-1
Strom, Mittelspannung, ab Netz	CH	-	kWh	4.68E+0	2.38E+0	-	-	-	-
Elektrostahl, un- und niedriglegiert, ab Werk	RER	-	kg	6.92E+0	2.73E+0	-	-	-	1.42E-1
Blasstahl, unlegiert, ab Werk	RER	-	kg	1.18E+1	4.64E+0	-	-	-	2.43E-1
Polyethylenerephthalat-Granulat, amorph, ab Werk	RER	-	kg	-	-	3.15E-2	1.26E-1	4.20E-2	5.25E-2
Glaswolleplatte, ab Werk	CH	-	kg	3.30E+0	1.76E+0	-	-	-	-
Zellstoffkarton, ungebleicht, SUB, ab Werk	RER	-	kg	-	-	2.04E-2	1.02E-1	-	-
Blech walzen, Stahl	RER	-	kg	1.87E+1	7.37E+0	-	-	-	3.85E-1
Schweissen, Lichtbogen, Stahl	RER	-	m	2.00E+0	-	-	-	-	-
Bandverzinkung	RER	-	m ²	1.46E+0	1.40E+0	-	-	-	1.00E-1
Vliesherstellung, Polyethylenerephthalat	RER	-	kg	-	-	3.15E-2	1.26E-1	4.20E-2	5.25E-2
Entsorgung, Polyethylenerephthalat, 0.2% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	1.50E-3	6.00E-3	2.00E-3	2.50E-3
Entsorgung, Inertstoff, 5% Wasser, in Inertstoffdeponie	CH	-	kg	3.00E-1	1.60E-1	-	-	-	-
Entsorgung, Verpackungskarton, 19.6% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	4.00E-4	2.00E-3	-	-
Transport, Fracht, Schiene	RER	-	tkm	1.19E+1	4.77E+0	1.04E-2	4.56E-2	8.40E-3	8.75E-2
Transport, Lkw 32t	RER	-	tkm	-	-	5.21E-3	2.29E-2	4.22E-3	4.38E-2
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	1.10E+0	4.59E-1	-	-	-	-
Lüftungskomponentenfabrik	RER	1	unit	8.00E-8	3.32E-8	-	-	-	-
Kunststoffverarbeitungsfabrik	RER	1	unit	-	-	3.70E-11	1.63E-10	2.96E-11	2.96E-10

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

Tabelle 10.19

Entsorgung, Schalldämpfer und Luftfilter

	Location	I *	Name	Entsorgung, Schalldämpfer, Stahl, DN 315, 50 mm	Entsorgung, Schalldämpfer, Stahl, DN 125	Entsorgung, Zu- Abluftfilter, dezentral, 250 m ³ /h	Entsorgung, Zu- Abluftfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h	Entsorgung, Abluftfilter, in Abluftventil	Entsorgung, Zu- Abluftfilter, zentral, 600 m ³ /h
Input von Technosphäre	Location	I *	Einheit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Entsorgung, Gebäude, Massivdecken ohne Armierungseisen, in Sortieranlage	CH	-	kg	1.70E+1	6.70E+0	-	-	-	3.50E-1
Entsorgung, Gebäude, Mineralwolle, in Sortieranlage	CH	-	kg	3.00E+0	1.60E+0	-	-	-	-
Entsorgung, Polyethylenerephthalat, 0.2% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	3.00E-2	1.20E-1	4.00E-2	5.00E-2
Entsorgung, Verpackungskarton, 19.6% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	2.00E-2	1.00E-1	-	-
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	-	-	5.00E-4	2.20E-3	4.00E-4	5.00E-4

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

10.3.5 Lüftungsgeräte, dezentral

In Tabelle 10.20 sind die Sachbilanzdaten für die Herstellung von vier verschiedenen Lüftungsgeräten mit einer Luftmenge von bis zu 250 m³/h dargestellt. Im Weiteren wird ein Prozess dargestellt, der dem Mittelwert der erhobenen Daten entspricht. Diese Sachbilanzen beziehen sich ab Werk. In Tabelle 10.21 sind die Sachbilanzdaten für die Entsorgung dieser Lüftungsgeräte dargestellt. Diese Sachbilanzen beziehen sich auf eine Entsorgung bei einer Gebäuderenovation

über den Baustellenabfall. Es wird von einer sachgemässen Abfallsortierung in einer Sortieranlage ausgegangen. Gemäss den Herstellerangaben werden die Komponenten nicht zurückgenommen und so direkt dem Recycling zugeführt.

Tabelle 10.20 Herstellung, Lüftungsgeräte, dezentral, ab Werk

Input von Technosphäre	Location	I *	Name	Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h, ab Werk	Lüftungsgerät, KWL 250, ab Werk	Lüftungsgerät, Avent E 97, ab Werk	Lüftungsgerät, Storkair G 90, ab Werk	Lüftungsgerät, GE 250 RE, ab Werk	Steuerung, Verkäblung, dezentral, ab Werk
Location	Infrastr. *)	Einheit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Erdgas, in Industrieheizung >100kW	RER	-	MJ	9.06E+1	8.40E+1	7.35E+1	6.86E+1	1.37E+2	3.16E+0
Heizöl EL, in Industrieheizung 1MW, nicht-modulierend	RER	-	MJ	9.06E+1	8.40E+1	7.35E+1	6.86E+1	1.37E+2	3.16E+0
Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz	UCTE	-	kWh	2.18E+1	2.24E+1	2.92E+1	1.20E+1	-	2.40E-1
Strom, Mittelspannung, ab Netz	CH	-	kWh	-	-	-	-	3.71E+1	-
Elektrostahl, un- und niedriglegiert, ab Werk	RER	-	kg	8.88E+0	1.20E+1	4.64E+0	8.22E+0	1.36E+1	-
Blasstahl, unlegiert, ab Werk	RER	-	kg	1.64E+1	2.17E+1	8.78E+0	1.54E+1	2.46E+1	-
Chromstahl 18/8, ab Werk	RER	-	kg	8.98E-1	-	-	1.98E-1	4.07E+0	-
Aluminium, Produktionsmix, Knetlegierung, ab Werk	RER	-	kg	7.69E+0	7.59E+0	2.29E+1	8.80E-1	2.29E+1	-
Kupfer, ab Regionallager	RER	-	kg	6.21E-1	6.60E-1	4.40E-1	7.15E-1	7.15E-1	6.60E-1
Polyvinylchlorid, ab Regionallager	RER	-	kg	-	-	-	-	-	1.03E+0
Polystyrol, schlagfest, HIPS, ab Werk	RER	-	kg	7.26E+0	-	-	7.26E+0	-	-
Gummi EPDM, ab Werk	RER	-	kg	1.82E-1	1.58E-1	-	-	2.10E-1	-
Polystyrolplatte expandiert, ab Werk	RER	-	kg	2.86E+0	-	-	2.86E+0	-	-
Steinwolle, verpackt, ab Werk	CH	-	kg	2.42E+0	1.76E+0	1.60E+0	-	5.06E+0	-
Elektronik für technische Anlagen	RER	-	kg	2.29E-1	1.50E-1	1.50E-1	3.50E-1	3.50E-1	6.00E-1
Pulverbeschichten, Stahl	RER	-	m ²	1.78E+0	1.60E+0	1.40E+0	1.50E+0	3.00E+0	-
Blech walzen, Aluminium	RER	-	kg	7.69E+0	7.59E+0	2.29E+1	8.80E-1	2.29E+1	-
Blech walzen, Chromstahl	RER	-	kg	8.98E-1	-	-	1.98E-1	4.07E+0	-
Blech walzen, Stahl	RER	-	kg	2.53E+1	3.37E+1	1.34E+1	2.37E+1	3.82E+1	-
Draht ziehen, Kupfer	RER	-	kg	6.21E-1	6.60E-1	4.40E-1	7.15E-1	7.15E-1	6.60E-1
Bandverzinkung	RER	-	m ²	4.24E+0	7.20E+0	3.00E+0	1.70E+0	8.80E+0	-
Extrudieren, Kunststoffrohre	RER	-	kg	-	-	-	-	-	1.03E+0
Spritzgiessen	RER	-	kg	7.44E+0	1.58E-1	-	7.26E+0	2.10E-1	-
Entsorgung, Polyvinylchlorid, 0.2% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	-	4.90E-2
Entsorgung, Polystyrol, 0.2% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	6.60E-1	-	-	6.60E-1	-	-
Entsorgung, Gummi, unspezifisch, 0% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	8.66E-3	7.50E-3	-	-	1.00E-2	-
Entsorgung, expandiertes Polystyrol, 5% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	2.60E-1	-	-	2.60E-1	-	-
Entsorgung, Inertstoff, 5% Wasser, in Inertstoffdeponie	CH	-	kg	2.20E-1	1.60E-1	1.45E-1	-	4.60E-1	-
Transport, Fracht, Schiene	RER	-	tkm	9.49E+0	8.80E+0	7.70E+0	7.18E+0	3.15E+1	4.58E-1
Transport, Lkw 32t	RER	-	tkm	4.76E+0	4.40E+0	3.85E+0	3.60E+0	-	2.29E-1
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	-	-	-	-	3.58E+0	-
Lüftungskomponentenfabrik	RER	1	unit	1.73E-7	1.60E-7	1.40E-7	1.31E-7	2.60E-7	-
Kunststoffverarbeitungsfabrik	RER	1	unit	-	-	-	-	-	1.61E-9

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

Tabelle 10.21 Entsorgung, Lüftungsgeräte, dezentral

Name	Location	I *)	Einheit	Entsorgung, Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h	Entsorgung, Lüftungsgerät, KWL 250	Entsorgung, Lüftungsgerät, Avent E 97	Entsorgung, Lüftungsgerät, Storkair G 90	Entsorgung, Lüftungsgerät, GE 250 RE	Entsorgung, Steuerung, Verkabelung, dezentral
				CH	CH	CH	CH	CH	CH
				Infrastr. *)	-	-	-	-	-
Input von Technosphäre	Location	I *)	Einheit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Entsorgung, Gebäude, Massivstein ohne Armierungseisen, in Sortieranlage	CH	-	kg	3.13E+1	3.81E+1	3.34E+1	2.31E+1	5.99E+1	-
Entsorgung, Gebäude, Mineralwolle, in Sortieranlage	CH	-	kg	2.20E+0	1.60E+0	1.45E+0	-	4.60E+0	-
Entsorgung, Gebäude, EPS-Isolation flammgeschützt, in Beseitigung	CH	-	kg	2.60E+0	-	-	2.60E+0	-	-
Entsorgung, Gebäude, Anstrich auf Metall, in Sortieranlage	CH	-	kg	1.62E-1	1.46E-1	1.27E-1	1.37E-1	2.73E-1	-
Entsorgung, Kabel-Kunststoff, 3.55% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	-	-	1.01E+0
Entsorgung, Elektronik für Steuerung	RER	-	kg	2.29E-1	1.50E-1	1.50E-1	3.50E-1	3.50E-1	6.00E-1
Entsorgung, Polystyrol, 0.2% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	6.60E+0	-	-	6.60E+0	-	-
Entsorgung, Gummi, unspezifisch, 0% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	1.73E-1	1.50E-1	-	-	2.00E-1	-
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	6.77E-2	1.50E-3	-	6.60E-2	2.00E-3	1.01E-2
*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)									
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz)									

10.3.6 Lüftungsgeräte, zentral

In Tabelle 10.22 sind die Sachbilanzdaten für die Herstellung von zwei unterschiedlichen Lüftungsgeräten mit einer Luftmenge von bis zu 1200 m³/h dargestellt. Im Weiteren wird ein Prozess dargestellt, der dem Mittelwert der erhobenen Daten entspricht. Diese Sachbilanzen beziehen sich ab Werk. In Tabelle 10.23 sind die Sachbilanzdaten für die Entsorgung dieser Lüftungsgeräte dargestellt. Diese Sachbilanzen beziehen sich auf eine Entsorgung bei einer Gebäuderenovation über den Baustellenabfall. Es wird von einer sachgemässen Abfallsortierung in einer Sortieranlage ausgegangen. Gemäss den Herstellerangaben werden die Komponenten nicht zurückgenommen und so direkt dem Recycling zugeführt.

Tabelle 10.22 Herstellung, Lüftungsgeräte, zentral, ab Werk

Input von Technosphäre	Location	I *	Name	Lüftungsgerät, zentral, 600-1200 m ³ /h, ab Werk	Lüftungsgerät, KWLC 1200, ab Werk	Lüftungsgerät, TWL- 700, ab Werk	Steuerung, Verkabelung, zentral, ab Werk
			Location	RER	RER	RER	RER
			Infrastr. *)	-	-	-	-
			Einheit	unit	unit	unit	unit
Erdgas, in Industriefeuerung >100kW	RER	-	MJ	3.00E+2	3.57E+2	2.53E+2	6.96E+0
Heizöl EL, in Industriefeuerung 1MW, nicht-modulierend	RER	-	MJ	3.00E+2	3.57E+2	2.53E+2	6.96E+0
Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz	UCTE	-	kWh	5.97E+1	6.88E+1	5.20E+1	5.28E-1
Elektrostahl, un- und niedriglegiert, ab Werk	RER	-	kg	3.92E+1	4.64E+1	3.31E+1	-
Blasstahl, unlegiert, ab Werk	RER	-	kg	7.06E+1	8.34E+1	5.98E+1	-
Aluminium, Produktionsmix, Knetlegierung, ab Werk	RER	-	kg	3.01E+1	3.61E+1	2.51E+1	-
Kupfer, ab Regionallager	RER	-	kg	1.91E+0	2.20E+0	1.65E+0	1.76E+0
Polyvinylchlorid, ab Regionallager	RER	-	kg	-	-	-	2.73E+0
Gummi EPDM, ab Werk	RER	-	kg	6.30E-1	6.30E-1	6.30E-1	-
Steinwolle, verpackt, ab Werk	CH	-	kg	1.39E+1	1.76E+1	1.10E+1	-
Verpackungsfolie, LDPE, ab Werk	RER	-	kg	-	-	4.08E-1	-
Elektronik für technische Anlagen	RER	-	kg	6.00E-1	6.00E-1	6.00E-1	6.00E-1
Pulverbeschichten, Stahl	RER	-	m ²	4.98E+0	6.20E+0	-	-
Blech walzen, Aluminium	RER	-	kg	3.01E+1	3.61E+1	2.51E+1	-
Blech walzen, Stahl	RER	-	kg	1.10E+2	1.30E+2	9.28E+1	-
Draht ziehen, Kupfer	RER	-	kg	1.91E+0	2.20E+0	1.65E+0	1.76E+0
Bandverzinkung	RER	-	m ²	2.51E+1	3.00E+1	2.10E+1	-
Extrudieren, Kunststoffrohre	RER	-	kg	-	-	-	2.73E+0
Spritzgiessen	RER	-	kg	6.30E-1	6.30E-1	6.30E-1	-
Laminieren, Folie, mit Acrylat-Bindemittel	RER	-	m ²	-	-	4.00E+0	-
Entsorgung, Polyethylen, 0.4% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	8.00E-3	-
Entsorgung, Polyvinylchlorid, 0.2% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	1.30E-1
Entsorgung, Gummi, unspezifisch, 0% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	3.00E-2	3.00E-2	3.00E-2	-
Entsorgung, Inertstoff, 5% Wasser, in Inertstoffdeponie	CH	-	kg	1.26E+0	1.60E+0	1.00E+0	-
Transport, Fracht, Schiene	RER	-	tkm	3.14E+1	3.74E+1	2.64E+1	1.02E+0
Transport, Lkw 32t	RER	-	tkm	1.57E+1	1.87E+1	1.32E+1	5.10E-1
Lüftungskomponentenfabrik	RER	1	unit	5.71E-7	6.80E-7	4.81E-7	-
Kunststoffverarbeitungsfabrik	RER	1	unit	-	-	-	3.56E-9

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

Tabelle 10.23 Entsorgung, Lüftungsgeräte, zentral

Input von Technosphäre	Location	I *	Name	Entsorgung, Lüftungsgerät, zentral, 600-1200 m ³ /h	Entsorgung, Lüftungsgerät, KWLC 1200	Entsorgung, Lüftungsgerät, TWL-700	Entsorgung, Steuerung, Verkabelung, zentral
			Location	CH	CH	CH	CH
			Infrastr. *)	-	-	-	-
			Einheit	unit	unit	unit	unit
Entsorgung, Gebäude, Massiveisen ohne Armierungseisen, in Sortieranlage	CH	-	kg	1.29E+2	1.53E+2	1.09E+2	-
Entsorgung, Gebäude, Mineralwolle, in Sortieranlage	CH	-	kg	1.26E+1	1.60E+1	1.00E+1	-
Entsorgung, Gebäude, Polyethylen/Polypropylen-Produkte, in Beseitigung	CH	-	kg	-	-	4.00E-1	-
Entsorgung, Gebäude, Anstrich auf Metall, in Sortieranlage	CH	-	kg	4.53E-1	5.64E-1	-	-
Entsorgung, Kabel-Kunststoff, 3.55% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	-	-	-	2.69E+0
Entsorgung, Elektronik für Steuerung	RER	-	kg	6.00E-1	6.00E-1	6.00E-1	6.00E-1
Entsorgung, Gummi, unspezifisch, 0% Wasser, in Kehrichtverbrennung	CH	-	kg	6.00E-1	6.00E-1	6.00E-1	-
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	6.00E-3	6.00E-3	6.00E-3	2.69E-2

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)
Location: Geographischer Bezug für Prozess (RER = Europa; CH = Schweiz)

10.3.7 Lüftungsanlage komplett, ecoinvent Datensatz

Da die Entsorgung der in Tabelle 10.24 aufgeführten Bauteile jeweils nur aus einem Entsorgungsprozess bestehen werden diese für die in ecoinvent zu verwendenden Datensätze zusammengefasst. Die entsprechend modifizierte Sachbilanz ist in Tabelle 10.25 zu finden.

Tabelle 10.24 Entsorgungsprozesse mit nur einer Position

Input von Technosphäre	Location	I *	Name	Entsorgung, Fortluftauslass, Stahl / Alu, 85x365 mm	Entsorgung, Zuluftreinlass, Stahl / SS, DN 75	Entsorgung, Erdregisterrohr, PE, DN 200	Entsorgung, Wickelälzrohr, Stahl, DN 400	Entsorgung, Wickelälzrohr, Stahl, DN 125	Entsorgung, Mini Kanal, Stahl, 100x50 mm	Entsorgung, Bogen 90°, Stahl, 100x50 mm	Entsorgung, Verbindungsstück, Stahl, 100x50 mm	Entsorgung, Lüftungsrohr, PE Wellrohr, DN 75
			Location	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH
			Infrastr. *)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			Einheit	unit	unit	m	m	m	m	unit	unit	m
Entsorgung, Gebäude, Massiveisen ohne Armierungseisen, in Sortieranlage	CH	-	kg	2.50E+0	2.20E+0	-	6.00E+0	1.90E+0	1.50E+0	2.70E-1	2.00E-1	-
Entsorgung, Gebäude, Polyethylen/Polypropylen-Produkte, in Beseitigung	CH	-	kg	-	-	3.00E+0	-	-	-	-	-	3.30E-1

Tabelle 10.25 Lüftungsanlage komplett, Sachbilanz für ecoinvent

Input von Technosphäre	Location	I *	Name	Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister		Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister		Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister		Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister		Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, ohne Erdregister		Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, ohne Erdregister	
				CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH
				Einheit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Aussenluftfassung, Edelstahl, DN 370, ab Werk	RER	-	unit	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-	-	-
Dachdurchführung, Stahl, DN 400, ab Werk	CH	-	unit	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-	-	-
Fachluftauslass, Stahl / Alu, 85x365 mm, ab Werk	CH	-	unit	-	-	-	-	-	-	-	-	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1
Zuluftfeinlass, Stahl / SS, DN 75, ab Werk	RER	-	unit	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1	3.00E+1
Abluftventil, UP-Gehäuse, Kunststoff / Stahl, DN 125, ab Werk	CH	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
AP-Luftverteilkasten, Stahl, 120 m ³ /h, ab Werk	CH	-	unit	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1
Überströmelement, Stahl, ca. 40 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
Erdregisterrohr, PE, DN 200, ab Werk	RER	-	m	1.20E+2	1.20E+2	1.20E+2	1.20E+2	1.20E+2	1.20E+2	1.20E+2	1.20E+2	-	-	-	-
Wickelfalzrohr, Stahl, DN 400, ab Werk	RER	-	m	4.00E+1	4.00E+1	4.00E+1	4.50E+1	4.50E+1	4.50E+1	4.50E+1	4.50E+1	-	-	-	-
Dämmung Wickelfalzrohr, Steinwolle, DN 400, 30 mm, ab Werk	RER	-	m	4.00E+1	4.00E+1	4.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	-	-	-	-
Wickelfalzrohr, Stahl, DN 125, ab Werk	RER	-	m	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1
Mini Kanal, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	RER	-	m	6.00E+2	6.00E+2	6.00E+2	6.00E+2	6.00E+2	6.00E+2	6.00E+2	6.00E+2	-	-	-	-
Bogen 90°, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	RER	-	unit	2.28E+2	2.28E+2	2.28E+2	2.28E+2	2.28E+2	2.28E+2	2.28E+2	2.28E+2	-	-	-	-
Verbindungsstück, Stahl, 100x50 mm, ab Werk	RER	-	unit	1.50E+2	1.50E+2	1.50E+2	1.50E+2	1.50E+2	1.50E+2	1.50E+2	1.50E+2	-	-	-	-
Lüftungsrohr, PE Wellrohr, DN 75, ab Werk	RER	-	m	-	4.00E+2	4.00E+2	4.00E+2	4.00E+2	4.00E+2	4.00E+2	4.00E+2	-	-	-	-
Flex Rohr, Alu / PET, DN 125, ab Werk	RER	-	m	2.00E+1	1.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	1.00E+1	2.00E+1	1.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	1.00E+1	1.00E+1	1.00E+1
Schalldämpfer, Stahl, DN 315, 50 mm, ab Werk	CH	-	unit	-	-	-	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	-	-	-	-
Schalldämpfer, Stahl, DN 125, ab Werk	CH	-	unit	2.40E+1	2.40E+1	2.40E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	2.40E+1	2.40E+1	2.40E+1	2.40E+1
Zu- Abluftfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	-	-	-	-	-	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1
Abluftfilter, in Abluftventil, ab Werk	RER	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
Zu- Abluftfilter, zentral, 600 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	-	-	-	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	-	-	-	-
Kaltschrumpfband, Alu/ PE, 50 mm breit, ab Werk	RER	-	m	7.00E+2	2.00E+2	7.00E+2	7.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	7.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	2.00E+2
Steuerung, Verkablung, dezentral, ab Werk	RER	-	unit	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0	-	-	-	-	-	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0
Steuerung, Verkablung, zentral, ab Werk	RER	-	unit	-	-	-	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-	-	-
Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0	-	-	-	-	-	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0
Lüftungsgerät, zentral, 600-1200 m ³ /h, ab Werk	RER	-	unit	-	-	-	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-	-	-
Entsorgung, Gebäude, Massiveisen ohne Armierungseisen, in Sortieranlage	CH	-	kg	1.32E+3	3.29E+2	1.35E+3	3.59E+2	1.11E+3	1.19E+2	1.19E+2	1.19E+2	-	-	-	-
Entsorgung, Gebäude, Polyethylen/Polypropylen-Produkte, in Beseitigung	CH	-	kg	3.60E+2	4.92E+2	3.60E+2	4.92E+2	-	-	-	-	-	-	-	-
Entsorgung, Aussenluftfassung, Edelstahl, DN 370	CH	-	unit	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-	-	-
Entsorgung, Dachdurchführung, Stahl, DN 400	CH	-	unit	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-	-	-
Entsorgung, Abluftventil, UP-Gehäuse, Kunststoff / Stahl, DN 125	CH	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
Entsorgung, AP-Luftverteilkasten, Stahl, 120 m ³ /h	CH	-	unit	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1
Entsorgung, Überströmelement, Stahl, ca. 40 m ³ /h	CH	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
Entsorgung, Dämmung Wickelfalzrohr, Steinwolle, DN 400, 30 mm	CH	-	m	4.00E+1	4.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	2.00E+1	-	-	-	-
Entsorgung, Flex Rohr, Alu / PET, DN 125	CH	-	m	2.00E+1	1.00E+1	2.00E+1	1.00E+1	1.00E+1	1.00E+1	1.00E+1	1.00E+1	2.00E+1	1.00E+1	1.00E+1	1.00E+1
Entsorgung, Schalldämpfer, Stahl, DN 315, 50 mm	CH	-	unit	-	-	-	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	-	-	-	-
Entsorgung, Schalldämpfer, Stahl, DN 125	CH	-	unit	2.40E+1	2.40E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	2.40E+1	2.40E+1	2.40E+1	2.40E+1
Entsorgung, Zu- Abluftfilter, dezentral, 180-250 m ³ /h	CH	-	unit	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	-	-	-	-	-	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1	1.20E+1
Entsorgung, Abluftfilter, in Abluftventil	CH	-	unit	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1	1.80E+1
Entsorgung, Zu- Abluftfilter, zentral, 600 m ³ /h	CH	-	unit	-	-	-	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	2.00E+0	-	-	-	-
Entsorgung, Kaltschrumpfband, Alu/ PE, 50 mm breit	CH	-	m	7.00E+2	2.00E+2	7.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	7.00E+2	2.00E+2	2.00E+2	2.00E+2
Entsorgung, Steuerung, Verkablung, dezentral	CH	-	unit	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0	-	-	-	-	-	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0
Entsorgung, Steuerung, Verkablung, zentral	CH	-	unit	-	-	-	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-	-	-
Entsorgung, Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h	CH	-	unit	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0	-	-	-	-	-	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0	6.00E+0
Entsorgung, Lüftungsgerät, zentral, 600-1200 m ³ /h	CH	-	unit	-	-	-	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	-	-	-	-
Aushub Hydraulikbagger	RER	-	m ³	1.37E+2	1.37E+2	1.37E+2	1.37E+2	1.37E+2	1.37E+2	1.37E+2	1.37E+2	-	-	-	-
Transport, Lkw 32t	RER	-	tkm	5.72E+2	3.33E+2	5.32E+2	2.92E+2	2.92E+2	2.92E+2	2.92E+2	2.92E+2	3.31E+2	9.21E+1	9.21E+1	9.21E+1
Transport, Lkw 28t	CH	-	tkm	8.76E+0	8.76E+0	8.76E+0	8.84E+0	8.84E+0	8.84E+0	8.84E+0	8.84E+0	9.43E+0	9.43E+0	9.43E+0	9.43E+0
Transport, Lieferwagen <3.5t	CH	-	tkm	1.26E+2	8.16E+1	1.15E+2	7.05E+1	7.05E+1	7.05E+1	7.05E+1	7.05E+1	8.86E+1	4.41E+1	4.41E+1	4.41E+1

*) Infrastrukturprozess (1= ja, - = nein)

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

10.4. Resultattabellen

10.4.1 Lüftungsanlage, komplett

Die in Tabelle 10.26 präsentierten Resultate der Inventarberechnungen beziehen sich auf die Herstellung und Entsorgung der Bauteile der Lüftungsanlage (1 unit). In diesem Inventar sind keine Aufwendungen für Erneuerung und Betrieb der Anlage enthalten. Im Weiteren sind keine Aufwendungen aus der Verlegung der Lüftungsrohre enthalten (verringertes Betonbedarf, bzw. erhöhter Materialbedarf im Unterlagsboden).

Tabelle 10.26 Resultate, Lüftungsanlage komplett, Herstellung und Entsorgung

Bewertungsmethode	Einheit	Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister	Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister	Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister	Lüftungsanlage, zentral, 1 x 720 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister	Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, ohne Erdregister	Lüftungsanlage, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, ohne Erdregister
Eco-indicator 99, (H,A), Total	Punkte/unit	1.77E+03	1.01E+03	1.63E+03	8.66E+02	1.28E+03	5.15E+02
Ökologische Knappheit 1997, Total	UBP/unit	2.44E+07	1.34E+07	2.25E+07	1.15E+07	1.81E+07	7.06E+06
Kumulierter Energieaufwand, nicht-erneuerbar	MJ-Eq./unit	1.88E+05	1.38E+05	1.66E+05	1.16E+05	1.18E+05	6.82E+04
Kumulierter Energieaufwand, erneuerbar	MJ-Eq./unit	1.56E+04	1.02E+04	1.35E+04	8.08E+03	1.10E+04	5.57E+03
Bewertungsmethode, Schutzgutkategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Ökosystemqualität	Punkte/unit	3.60E+02	1.60E+02	3.43E+02	1.43E+02	2.82E+02	8.25E+01
Eco-indicator 99, (H,A), Menschliche Gesundheit	Punkte/unit	9.28E+02	4.96E+02	8.62E+02	4.29E+02	6.95E+02	2.62E+02
Eco-indicator 99, (H,A), Ressourcen	Punkte/unit	4.80E+02	3.51E+02	4.23E+02	2.94E+02	2.99E+02	1.70E+02
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Versauerung & Eutrophierung	Punkte/unit	1.02E+02	4.34E+01	9.85E+01	4.01E+01	7.99E+01	2.15E+01
Eco-indicator 99, (H,A), Ökotoxizität	Punkte/unit	2.43E+02	1.07E+02	2.31E+02	9.58E+01	1.91E+02	5.58E+01
Eco-indicator 99, (H,A), Landnutzung	Punkte/unit	1.52E+01	9.15E+00	1.34E+01	7.35E+00	1.12E+01	5.09E+00
Eco-indicator 99, (H,A), Krebsserregende Stoffe	Punkte/unit	1.57E+02	8.02E+01	1.45E+02	6.81E+01	1.28E+02	5.06E+01
Eco-indicator 99, (H,A), Klimawandel	Punkte/unit	5.87E+01	4.38E+01	5.13E+01	3.64E+01	3.65E+01	2.16E+01
Eco-indicator 99, (H,A), Radioaktive Strahlung	Punkte/unit	1.75E+00	1.12E+00	1.57E+00	9.31E-01	1.25E+00	6.19E-01
Eco-indicator 99, (H,A), Ozonabbau	Punkte/unit	2.60E-02	1.38E-02	2.33E-02	1.11E-02	2.01E-02	7.91E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Atemwegserkrankungen	Punkte/unit	7.11E+02	3.71E+02	6.64E+02	3.24E+02	5.30E+02	1.89E+02
Eco-indicator 99, (H,A), Fossile Brennstoffe	Punkte/unit	3.76E+02	2.95E+02	3.30E+02	2.48E+02	2.20E+02	1.39E+02
Eco-indicator 99, (H,A), Mineralien	Punkte/unit	1.06E+02	5.72E+01	9.55E+01	4.68E+01	8.04E+01	3.17E+01
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Ökologische Knappheit 1997, Deponierte Abfälle	UBP/unit	1.01E+06	7.13E+05	8.87E+05	5.91E+05	6.50E+05	3.55E+05
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Luft	UBP/unit	1.87E+07	9.79E+06	1.75E+07	8.58E+06	1.38E+07	4.94E+06
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in Boden und Grundwasser	UBP/unit	1.76E+06	1.11E+06	1.46E+06	8.05E+05	1.41E+06	7.56E+05
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Oberflächengewässer	UBP/unit	9.98E+05	5.01E+05	9.40E+05	4.42E+05	8.03E+05	3.05E+05
Ökologische Knappheit 1997, Radioaktive Abfälle	UBP/unit	1.78E+06	1.13E+06	1.59E+06	9.44E+05	1.27E+06	6.26E+05
Ökologische Knappheit 1997, Verbrauch von Energie-Ressourcen	UBP/unit	2.02E+05	1.47E+05	1.78E+05	1.23E+05	1.28E+05	7.29E+04
Bewertungsmethode, Energieträger	Einheit						
Kumulierter Energieaufwand, Fossil	MJ-Eq./unit	1.53E+05	1.14E+05	1.35E+05	9.59E+04	9.46E+04	5.56E+04
Kumulierter Energieaufwand, Nuklear	MJ-Eq./unit	3.50E+04	2.38E+04	3.13E+04	2.01E+04	2.37E+04	1.26E+04
Kumulierter Energieaufwand, Biomasse	MJ-Eq./unit	1.65E+03	1.28E+03	1.38E+03	1.01E+03	9.72E+02	6.04E+02
Kumulierter Energieaufwand, Wind, Sonne, Geothermie	MJ-Eq./unit	7.47E+02	4.53E+02	6.86E+02	3.92E+02	5.35E+02	2.41E+02
Kumulierter Energieaufwand, Wasser	MJ-Eq./unit	1.32E+04	8.46E+03	1.14E+04	6.68E+03	9.48E+03	4.72E+03

10.4.2 Wohnraumlüftung, Anlage inkl. Erneuerung

Die nachfolgend präsentierten Resultate der Inventarberechnungen beziehen sich auf 1 m² Energiebezugsfläche und ein Betriebsjahr. In diesen Resultaten sind keine Aufwendungen aus der Verlegung der Lüftungsrohre enthalten (verringertes Betonbedarf, bzw. erhöhter Materialbedarf im Unterlagsboden).

Ohne Einbezug der Betriebsenergie

In Tabelle 10.27 sind die Resultate aus Herstellung, Erneuerung und Entsorgung des betrachteten Lüftungssystems aufgeführt. In diesen Resultaten ist der Betriebsstrombedarf noch nicht einbezogen. Diese Resultate entsprechen den Werten, welche in Kapitel 6.1.1 diskutiert werden.

Tabelle 10.27 Resultate, Vergleich Lüftungssysteme, ohne Betriebsenergie

Bewertungsmethode	Einheit	Dezentral, Stahlrohre, mit Erdregister	Dezentral, PE-Rohre, mit Erdregister	Zentral, Stahlrohre, mit Erdregister	Zentral, PE-Rohre, mit Erdregister	Dezentral, Stahlrohre, ohne Erdregister	Dezentral, PE-Rohre, ohne Erdregister
Eco-indicator 99, (H,A), Total	Punkte/(m2 a)	6.21E-02	4.26E-02	5.15E-02	3.19E-02	4.96E-02	3.00E-02
Ökologische Knappheit 1997, Total	UBP/(m2 a)	8.64E+02	5.81E+02	7.19E+02	4.36E+02	7.02E+02	4.18E+02
Kumulierter Energieaufwand, nicht-erneuerbar	MJ-Eq./ (m2 a)	7.29E+00	6.00E+00	5.46E+00	4.17E+00	5.50E+00	4.20E+00
Kumulierter Energieaufwand, erneuerbar	MJ-Eq./ (m2 a)	6.78E-01	5.38E-01	4.74E-01	3.34E-01	5.59E-01	4.19E-01
Bewertungsmethode, Schutzgutkategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Ökosystemqualität	Punkte/(m2 a)	1.18E-02	6.68E-03	1.04E-02	5.31E-03	9.83E-03	4.70E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Menschliche Gesundheit	Punkte/(m2 a)	3.22E-02	2.11E-02	2.75E-02	1.64E-02	2.62E-02	1.51E-02
Eco-indicator 99, (H,A), Ressourcen	Punkte/(m2 a)	1.82E-02	1.48E-02	1.36E-02	1.03E-02	1.35E-02	1.02E-02
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Versauerung & Eutrophierung	Punkte/(m2 a)	3.22E-03	1.72E-03	2.97E-03	1.48E-03	2.66E-03	1.16E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Ökotoxizität	Punkte/(m2 a)	7.88E-03	4.41E-03	7.01E-03	3.54E-03	6.57E-03	3.09E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Landnutzung	Punkte/(m2 a)	7.06E-04	5.50E-04	4.48E-04	2.92E-04	6.03E-04	4.47E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Krebserregende Stoffe	Punkte/(m2 a)	5.68E-03	3.71E-03	4.82E-03	2.84E-03	4.93E-03	2.95E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Klimawandel	Punkte/(m2 a)	2.28E-03	1.89E-03	1.69E-03	1.31E-03	1.71E-03	1.32E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Radioaktive Strahlung	Punkte/(m2 a)	7.10E-05	5.46E-05	5.44E-05	3.80E-05	5.82E-05	4.19E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Ozonabbau	Punkte/(m2 a)	9.61E-07	6.47E-07	7.57E-07	4.43E-07	8.10E-07	4.96E-07
Eco-indicator 99, (H,A), Atemwegserkrankungen	Punkte/(m2 a)	2.42E-02	1.54E-02	2.09E-02	1.22E-02	1.95E-02	1.08E-02
Eco-indicator 99, (H,A), Fossile Brennstoffe	Punkte/(m2 a)	1.44E-02	1.23E-02	1.06E-02	8.45E-03	1.04E-02	8.32E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Mineralien	Punkte/(m2 a)	3.79E-03	2.54E-03	3.11E-03	1.86E-03	3.14E-03	1.89E-03
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Ökologische Knappheit 1997, Deponierte Abfälle	UBP/(m2 a)	3.71E+01	2.95E+01	2.95E+01	2.19E+01	2.80E+01	2.03E+01
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Luft	UBP/(m2 a)	6.35E+02	4.07E+02	5.45E+02	3.17E+02	5.11E+02	2.83E+02
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in Boden und Grundwasser	UBP/(m2 a)	7.55E+01	5.86E+01	5.26E+01	3.57E+01	6.65E+01	4.96E+01
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Oberflächengewässer	UBP/(m2 a)	3.67E+01	2.39E+01	3.11E+01	1.83E+01	3.17E+01	1.89E+01
Ökologische Knappheit 1997, Radioaktive Abfälle	UBP/(m2 a)	7.21E+01	5.54E+01	5.52E+01	3.86E+01	5.91E+01	4.24E+01
Ökologische Knappheit 1997, Verbrauch von Energie-Ressourcen	UBP/(m2 a)	7.82E+00	6.40E+00	5.87E+00	4.45E+00	5.93E+00	4.51E+00
Bewertungsmethode, Energieträger	Einheit						
Kumulierter Energieaufwand, Fossil	MJ-Eq./ (m2 a)	5.90E+00	4.89E+00	4.39E+00	3.38E+00	4.39E+00	3.38E+00
Kumulierter Energieaufwand, Nuklear	MJ-Eq./ (m2 a)	1.40E+00	1.11E+00	1.07E+00	7.83E-01	1.11E+00	8.22E-01
Kumulierter Energieaufwand, Biomasse	MJ-Eq./ (m2 a)	1.27E-01	1.18E-01	4.54E-02	3.58E-02	1.10E-01	1.00E-01
Kumulierter Energieaufwand, Wind, Sonne, Geothermie	MJ-Eq./ (m2 a)	2.95E-02	2.19E-02	2.30E-02	1.54E-02	2.41E-02	1.65E-02
Kumulierter Energieaufwand, Wasser	MJ-Eq./ (m2 a)	5.21E-01	3.98E-01	4.06E-01	2.83E-01	4.26E-01	3.03E-01

Mit Betriebsenergie,
CH Strommix

In Tabelle 10.28 sind die Resultate aus Herstellung, Betrieb, Erneuerung und Entsorgung des betrachteten Lüftungssystems aufgeführt. In diesen Resultaten ist der Betriebsstrombedarf einberechnet. Für die Berechnung wurde der Schweizer Strommix (inkl. Stromhandel) auf Niederspannungsebene verwendet. Diese Resultate entsprechen den Werten, welche in den Datensätzen für ecoinvent bereitgestellt werden. Der Strombedarf beruht auf einem Ventilatorstromverbrauch von 0.4 Wh/m^3 . In diesen Resultaten sind keine Aufwendungen aus der Verlegung der Lüftungsrohre enthalten (verringert Betonbedarf, bzw. erhöhter Materialbedarf im Unterlagsboden).

Tabelle 10.28 Resultate, Vergleich Lüftungssysteme, mit Betriebsenergie (CH- Strommix)

Bewertungsmethode	Einheit	Wohnraumlüftung, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister	Wohnraumlüftung, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister	Wohnraumlüftung, zentral, 1 x 720 m ³ /h, Stahlrohre, mit Erdregister	Wohnraumlüftung, zentral, 1 x 720 m ³ /h, PE-Rohre, mit Erdregister	Wohnraumlüftung, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, Stahlrohre, ohne Erdregister	Wohnraumlüftung, dezentral, 6 x 120 m ³ /h, PE-Rohre, ohne Erdregister
Eco-indicator 99, (H,A), Total	Punkte/(m ² a)	9.23E-02	7.27E-02	8.17E-02	6.21E-02	8.24E-02	6.28E-02
Ökologische Knappheit 1997, Total	UBP/(m ² a)	2.37E+03	2.09E+03	2.23E+03	1.94E+03	2.34E+03	2.06E+03
Kumulierter Energieaufwand, nicht-erneuerbar	MJ-Eq./ (m ² a)	3.48E+01	3.35E+01	3.30E+01	3.17E+01	3.55E+01	3.42E+01
Kumulierter Energieaufwand, erneuerbar	MJ-Eq./ (m ² a)	8.17E+00	8.03E+00	7.96E+00	7.82E+00	8.72E+00	8.58E+00
Bewertungsmethode, Schutzgatkategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Ökosystemqualität	Punkte/(m ² a)	1.63E-02	1.12E-02	1.50E-02	9.82E-03	1.48E-02	9.62E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Menschliche Gesundheit	Punkte/(m ² a)	4.97E-02	3.86E-02	4.50E-02	3.39E-02	4.53E-02	3.42E-02
Eco-indicator 99, (H,A), Ressourcen	Punkte/(m ² a)	2.63E-02	2.29E-02	2.17E-02	1.84E-02	2.24E-02	1.90E-02
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Versauerung & Eutrophierung	Punkte/(m ² a)	3.66E-03	2.17E-03	3.42E-03	1.92E-03	3.14E-03	1.64E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Ökotoxizität	Punkte/(m ² a)	1.15E-02	7.99E-03	1.06E-02	7.12E-03	1.05E-02	7.00E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Landnutzung	Punkte/(m ² a)	1.20E-03	1.04E-03	9.37E-04	7.81E-04	1.14E-03	9.79E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Krebsserregende Stoffe	Punkte/(m ² a)	9.13E-03	7.15E-03	8.27E-03	6.29E-03	8.68E-03	6.71E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Klimawandel	Punkte/(m ² a)	4.84E-03	4.46E-03	4.26E-03	3.87E-03	4.50E-03	4.12E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Radioaktive Strahlung	Punkte/(m ² a)	1.29E-03	1.27E-03	1.27E-03	1.26E-03	1.39E-03	1.37E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Ozonabbau	Punkte/(m ² a)	1.87E-06	1.55E-06	1.66E-06	1.35E-06	1.80E-06	1.48E-06
Eco-indicator 99, (H,A), Atemwegserkrankungen	Punkte/(m ² a)	3.44E-02	2.57E-02	3.12E-02	2.25E-02	3.07E-02	2.20E-02
Eco-indicator 99, (H,A), Fossile Brennstoffe	Punkte/(m ² a)	2.11E-02	1.90E-02	1.72E-02	1.51E-02	1.77E-02	1.56E-02
Eco-indicator 99, (H,A), Mineralien	Punkte/(m ² a)	5.28E-03	4.03E-03	4.60E-03	3.34E-03	4.76E-03	3.51E-03
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Ökologische Knappheit 1997, Deponierte Abfälle	UBP/(m ² a)	6.62E+01	5.86E+01	5.86E+01	5.10E+01	5.97E+01	5.20E+01
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Luft	UBP/(m ² a)	9.04E+02	6.76E+02	8.14E+02	5.86E+02	8.04E+02	5.76E+02
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in Boden und Grundwasser	UBP/(m ² a)	1.40E+02	1.23E+02	1.17E+02	1.00E+02	1.37E+02	1.20E+02
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Oberflächengewässer	UBP/(m ² a)	5.48E+01	4.20E+01	4.93E+01	3.65E+01	5.14E+01	3.86E+01
Ökologische Knappheit 1997, Radioaktive Abfälle	UBP/(m ² a)	1.16E+03	1.15E+03	1.15E+03	1.13E+03	1.25E+03	1.23E+03
Ökologische Knappheit 1997, Verbrauch von Energie-Ressourcen	UBP/(m ² a)	4.26E+01	4.12E+01	4.07E+01	3.93E+01	4.39E+01	4.24E+01
Bewertungsmethode, Energieträger	Einheit						
Kumulierter Energieaufwand, Fossil	MJ-Eq./ (m ² a)	1.13E+01	1.03E+01	9.78E+00	8.77E+00	1.03E+01	9.25E+00
Kumulierter Energieaufwand, Nuklear	MJ-Eq./ (m ² a)	2.35E+01	2.32E+01	2.32E+01	2.29E+01	2.52E+01	2.49E+01
Kumulierter Energieaufwand, Biomasse	MJ-Eq./ (m ² a)	2.62E-01	2.52E-01	1.80E-01	1.70E-01	2.56E-01	2.47E-01
Kumulierter Energieaufwand, Wind, Sonne, Geothermie	MJ-Eq./ (m ² a)	1.54E-01	1.47E-01	1.48E-01	1.40E-01	1.60E-01	1.53E-01
Kumulierter Energieaufwand, Wasser	MJ-Eq./ (m ² a)	7.75E+00	7.63E+00	7.63E+00	7.51E+00	8.30E+00	8.18E+00

10.4.3 Wohnraumlüftung, Betrieb

Die nachfolgend präsentierten Resultate der Inventarberechnungen beziehen sich auf die Reduktion des Heizenergiebedarfs durch die Lüftungsanlage in MJ. Der Bezug pro MJ ermöglicht einen direkten Vergleich zu anderen Möglichkeiten diese Heizwärme zu erzeugen (bzw. zurückzugewinnen).

Bezug auf Reduktion des
Heizwärmebedarfs

In Tabelle 10.29 sind die Resultate für die verschiedenen Systeme für ein Gebäude mit Standort in Zürich und einer gut gedämmten Gebäudehülle (entsprechend Minergie Standard). Für die Verlegung der Lüftungsrohre wurde eine Verlegung in der Betondecke angenommen (Reduktion der notwendigen Betonmenge). Für den Ventilatorsstromverbrauch wurde ein spezifischer Wert von 0.4 Wh/m^3 eingesetzt. Als Strombezug wurde der Schweizer Strommix (inkl. Importe) auf Niederspannungsstufe eingesetzt. Der Wärmerückgewinnungsgrad des Lüftungsgeräts beträgt 80 % und die Betriebszeit der Lüftung 12 Monate pro Jahr.

Tabelle 10.29

Resultate, Betrieb Lüftungsanlage, Bezug pro MJ Heizenergiebedarfsreduktion

Bewertungsmethode	Einheit	Dezentral, Stahlrohre, mit Erdregister	Dezentral, PE-Rohre, mit Erdregister	Zentral, Stahlrohre, mit Erdregister	Zentral, PE-Rohre, mit Erdregister	Dezentral, Stahlrohre ohne Erdregister	Dezentral, PE-Rohre, ohne Erdregister
Eco-indicator 99, (H,A), Total	Punkte/MJ	2.59E-03	2.06E-03	2.28E-03	1.75E-03	2.52E-03	1.94E-03
Ökologische Knappheit 1997, Total	UBP/MJ	6.59E+01	5.90E+01	6.16E+01	5.47E+01	7.13E+01	6.38E+01
Kumulierter Energieaufwand, nicht-erneuerbar	MJ-Eq./MJ	1.01E+00	9.78E-01	9.60E-01	9.24E-01	1.13E+00	1.09E+00
Kumulierter Energieaufwand, erneuerbar	MJ-Eq./MJ	2.39E-01	2.35E-01	2.33E-01	2.29E-01	2.80E-01	2.75E-01
Bewertungsmethode, Schutzgatkategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Ökosystemqualität	Punkte/MJ	4.76E-04	3.27E-04	4.36E-04	2.86E-04	4.71E-04	3.08E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Menschliche Gesundheit	Punkte/MJ	1.36E-03	1.07E-03	1.22E-03	9.32E-04	1.35E-03	1.03E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Ressourcen	Punkte/MJ	7.59E-04	6.65E-04	6.26E-04	5.32E-04	7.07E-04	6.04E-04
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Versauerung & Eutrophierung	Punkte/MJ	1.06E-04	6.25E-05	9.86E-05	5.53E-05	9.93E-05	5.18E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Ökotoxizität	Punkte/MJ	3.35E-04	2.34E-04	3.09E-04	2.08E-04	3.35E-04	2.24E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Landnutzung	Punkte/MJ	3.50E-05	3.04E-05	2.74E-05	2.29E-05	3.65E-05	3.14E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Krebsregende Stoffe	Punkte/MJ	2.66E-04	2.09E-04	2.41E-04	1.84E-04	2.78E-04	2.15E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Klimawandel	Punkte/MJ	1.38E-04	1.28E-04	1.21E-04	1.11E-04	1.41E-04	1.30E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Radioaktive Strahlung	Punkte/MJ	3.77E-05	3.72E-05	3.72E-05	3.67E-05	4.44E-05	4.39E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Ozonabbau	Punkte/MJ	5.37E-08	4.49E-08	4.77E-08	3.89E-08	5.66E-08	4.70E-08
Eco-indicator 99, (H,A), Atemwegserkrankungen	Punkte/MJ	9.14E-04	6.95E-04	8.20E-04	6.01E-04	8.83E-04	6.43E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Fossile Brennstoffe	Punkte/MJ	6.07E-04	5.50E-04	4.94E-04	4.37E-04	5.57E-04	4.94E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Mineralien	Punkte/MJ	1.54E-04	1.18E-04	1.34E-04	9.78E-05	1.53E-04	1.12E-04
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Ökologische Knappheit 1997, Deponierte Abfälle	UBP/MJ	-4.52E-01	2.71E-01	-6.75E-01	4.77E-02	-7.06E-01	8.68E-02
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Luft	UBP/MJ	2.54E+01	1.91E+01	2.28E+01	1.65E+01	2.46E+01	1.78E+01
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in Boden und Grundwasser	UBP/MJ	4.07E+00	3.58E+00	3.40E+00	2.91E+00	4.36E+00	3.83E+00
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Oberflächengewässer	UBP/MJ	1.60E+00	1.23E+00	1.44E+00	1.06E+00	1.64E+00	1.24E+00
Ökologische Knappheit 1997, Radioaktive Abfälle	UBP/MJ	3.40E+01	3.35E+01	3.35E+01	3.30E+01	4.00E+01	3.95E+01
Ökologische Knappheit 1997, Verbrauch von Energie-Ressourcen	UBP/MJ	1.24E+00	1.20E+00	1.19E+00	1.15E+00	1.40E+00	1.36E+00
Bewertungsmethode, Energieträger	Einheit						
Kumulierter Energieaufwand, Fossil	MJ-Eq./MJ	3.26E-01	2.98E-01	2.82E-01	2.54E-01	3.25E-01	2.94E-01
Kumulierter Energieaufwand, Nuklear	MJ-Eq./MJ	6.88E-01	6.80E-01	6.78E-01	6.70E-01	8.08E-01	8.00E-01
Kumulierter Energieaufwand, Biomasse	MJ-Eq./MJ	7.64E-03	7.37E-03	5.25E-03	4.98E-03	8.21E-03	7.91E-03
Kumulierter Energieaufwand, Wind, Sonne, Geothermie	MJ-Eq./MJ	4.51E-03	4.29E-03	4.32E-03	4.10E-03	5.13E-03	4.89E-03
Kumulierter Energieaufwand, Wasser	MJ-Eq./MJ	2.27E-01	2.23E-01	2.23E-01	2.20E-01	2.66E-01	2.62E-01

Dämmstandard und Klimaregion

In Tabelle 10.30 sind die Resultate für verschiedene Dämmstandards des betrachteten Gebäudes sowie unterschiedliche Klimastandorte (Zürich und Davos) dargestellt. Im Weiteren sind für den Standort Zürich auch Berechnungen mit erhöhten Raumtemperaturen (22 °C und 24 °C) dargestellt. Die Resultate beziehen sich auf ein Lüftungssystem mit zentralem Lüftungsgerät und Verrohrung aus Polyethylen. Für die Verlegung der Lüftungsrohre wurde eine Verlegung in der Betondecke angenommen (Reduktion der notwendigen Betonmenge). Für den Ventilatorstromverbrauch wurde ein spezifischer Wert von 0.4 Wh/m³ eingesetzt. Der Wärmerückgewinnungsgrad des Lüftungsgeräts beträgt 80 % und die Betriebszeit der Lüftung 12 Monate pro Jahr.

Tabelle 10.30

Resultate, Betrieb Lüftungsanlage, Variation von Dämmstandard und Klima

Bewertungsmethode	Einheit	Zürich SMA, Standard	Zürich SMA, Minergie	Zürich SMA, Passivhaus	Davos, Minergie	Zürich, Minergie, 22°C	Zürich, Minergie, 24°C
Eco-indicator 99, (H,A), Total	Punkte/MJ	1.51E-03	1.75E-03	1.92E-03	1.29E-03	1.44E-03	1.21E-03
Ökologische Knappheit 1997, Total	UBP/MJ	4.73E+01	5.47E+01	6.00E+01	4.04E+01	4.49E+01	3.79E+01
Kumulierter Energieaufwand, nicht-erneuerbar	MJ-Eq./MJ	7.99E-01	9.24E-01	1.01E+00	6.82E-01	7.59E-01	6.40E-01
Kumulierter Energieaufwand, erneuerbar	MJ-Eq./MJ	1.98E-01	2.29E-01	2.51E-01	1.69E-01	1.88E-01	1.58E-01
Bewertungsmethode, Schutzgutkategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Ökosystemqualität	Punkte/MJ	2.48E-04	2.86E-04	3.14E-04	2.11E-04	2.35E-04	1.98E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Menschliche Gesundheit	Punkte/MJ	8.06E-04	9.32E-04	1.02E-03	6.88E-04	7.65E-04	6.45E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Ressourcen	Punkte/MJ	4.60E-04	5.32E-04	5.84E-04	3.93E-04	4.37E-04	3.68E-04
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Versauerung & Eutrophierung	Punkte/MJ	4.79E-05	5.53E-05	6.07E-05	4.08E-05	4.54E-05	3.83E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Ökotoxizität	Punkte/MJ	1.80E-04	2.08E-04	2.28E-04	1.54E-04	1.71E-04	1.44E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Landnutzung	Punkte/MJ	1.98E-05	2.29E-05	2.51E-05	1.69E-05	1.88E-05	1.58E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Krebsserregende Stoffe	Punkte/MJ	1.59E-04	1.84E-04	2.01E-04	1.36E-04	1.51E-04	1.27E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Klimawandel	Punkte/MJ	9.61E-05	1.11E-04	1.22E-04	8.20E-05	9.12E-05	7.69E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Radioaktive Strahlung	Punkte/MJ	3.18E-05	3.67E-05	4.03E-05	2.71E-05	3.02E-05	2.54E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Ozonabbau	Punkte/MJ	3.37E-08	3.89E-08	4.27E-08	2.87E-08	3.19E-08	2.69E-08
Eco-indicator 99, (H,A), Atemwegserkrankungen	Punkte/MJ	5.20E-04	6.01E-04	6.59E-04	4.43E-04	4.93E-04	4.16E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Fossile Brennstoffe	Punkte/MJ	3.78E-04	4.37E-04	4.79E-04	3.22E-04	3.59E-04	3.02E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Mineralien	Punkte/MJ	8.46E-05	9.78E-05	1.07E-04	7.22E-05	8.03E-05	6.77E-05
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Ökologische Knappheit 1997, Deponierte Abfälle	UBP/MJ	4.13E-02	4.77E-02	5.24E-02	3.52E-02	3.92E-02	3.30E-02
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Luft	UBP/MJ	1.43E+01	1.65E+01	1.81E+01	1.22E+01	1.36E+01	1.14E+01
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in Boden und Grundwasser	UBP/MJ	2.52E+00	2.91E+00	3.20E+00	2.15E+00	2.39E+00	2.02E+00
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Oberflächengewässer	UBP/MJ	9.20E-01	1.06E+00	1.17E+00	7.85E-01	8.73E-01	7.36E-01
Ökologische Knappheit 1997, Radioaktive Abfälle	UBP/MJ	2.86E+01	3.30E+01	3.63E+01	2.44E+01	2.71E+01	2.29E+01
Ökologische Knappheit 1997, Verbrauch von Energie-Ressourcen	UBP/MJ	9.91E-01	1.15E+00	1.26E+00	8.46E-01	9.41E-01	7.93E-01
Bewertungsmethode, Energieträger	Einheit						
Kumulierter Energieaufwand, Fossil	MJ-Eq./MJ	2.20E-01	2.54E-01	2.79E-01	1.88E-01	2.09E-01	1.76E-01
Kumulierter Energieaufwand, Nuklear	MJ-Eq./MJ	5.79E-01	6.70E-01	7.35E-01	4.94E-01	5.50E-01	4.64E-01
Kumulierter Energieaufwand, Biomasse	MJ-Eq./MJ	4.31E-03	4.98E-03	5.46E-03	3.67E-03	4.09E-03	3.45E-03
Kumulierter Energieaufwand, Wind, Sonne, Geothermie	MJ-Eq./MJ	3.55E-03	4.10E-03	4.50E-03	3.03E-03	3.37E-03	2.84E-03
Kumulierter Energieaufwand, Wasser	MJ-Eq./MJ	1.90E-01	2.20E-01	2.41E-01	1.62E-01	1.80E-01	1.52E-01

Strombezug für Lüftungsanlage

In Tabelle 10.31 sind die Resultate für den Vergleich von drei unterschiedlichen Lüftungssystemtypen mit einer alternativen Deckung der Wärmeverluste ohne Lüftungsanlage durch eine Öl-, Gas- oder Pelletheizung. Für die Verlegung der Lüftungsrohre wurde eine Verlegung in der Betondecke angenommen (Reduktion der notwendigen Betonmenge). Die Angaben gelten für ein Gebäude mit Standort in Zürich und einer gut gedämmten Gebäudehülle (entsprechend Minergie Standard). Für den Ventilatorsstromverbrauch wurde ein spezifischer Wert von 0.4 Wh/m^3 eingesetzt. Der Wärmerückgewinnungsgrad des Lüftungsgeräts beträgt 80 % und die Betriebszeit der Lüftung 12 Monate pro Jahr.

Tabelle 10.31 Resultate, Betrieb Lüftungsanlage, Vergleich zu Wärmeerzeugung mit Heizung

Bewertungsmethode	Einheit	Dezentral, Stahlkanäle, mit Erdregister	Zentral, PE-Kanäle, mit Erdregister	Dezentral, PE-Kanäle, ohne Erdregister	Nutzwärme, Erdgas, kond. Modulierend, < 100 kW	Nutzwärme, Heizöl EL, nicht-modulierend, 10 kW	Nutzwärme, ab Pelletsheizung 15kW
Eco-indicator 99, (H,A), Total	Punkte/(m2 a)	2.06E-03	1.75E-03	1.94E-03	4.50E-03	5.66E-03	2.60E-03
Ökologische Knappheit 1997, Total	UBP/(m2 a)	5.90E+01	5.47E+01	6.38E+01	2.26E+01	4.24E+01	3.74E+01
Kumulierter Energieaufwand, nicht-erneuerbar	MJ-Eq./ (m2 a)	9.78E-01	9.24E-01	1.09E+00	1.25E+00	1.41E+00	3.19E-01
Kumulierter Energieaufwand, erneuerbar	MJ-Eq./ (m2 a)	2.35E-01	2.29E-01	2.75E-01	5.15E-03	1.37E-02	1.35E+00
Bewertungsmethode, Schutzgutkategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Ökosystemqualität	Punkte/(m2 a)	3.27E-04	2.86E-04	3.08E-04	4.91E-05	1.56E-04	5.39E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Menschliche Gesundheit	Punkte/(m2 a)	1.07E-03	9.32E-04	1.03E-03	5.90E-04	1.17E-03	1.65E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Ressourcen	Punkte/(m2 a)	6.65E-04	5.32E-04	6.04E-04	3.86E-03	4.33E-03	4.09E-04
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Versauerung & Eutrophierung	Punkte/(m2 a)	7.84E-05	6.94E-05	6.49E-05	2.42E-05	6.61E-05	9.32E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Ökotoxizität	Punkte/(m2 a)	2.91E-04	2.59E-04	2.79E-04	1.62E-05	5.25E-05	1.71E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Landnutzung	Punkte/(m2 a)	3.81E-05	2.86E-05	3.94E-05	2.10E-05	7.60E-05	4.09E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Krebserregende Stoffe	Punkte/(m2 a)	1.56E-04	1.37E-04	1.60E-04	1.89E-05	4.22E-05	1.56E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Klimawandel	Punkte/(m2 a)	9.56E-05	8.28E-05	9.67E-05	2.73E-04	3.81E-04	6.77E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Radioaktive Strahlung	Punkte/(m2 a)	2.77E-05	2.74E-05	3.27E-05	7.14E-07	1.94E-06	5.11E-06
Eco-indicator 99, (H,A), Ozonabbau	Punkte/(m2 a)	3.35E-08	2.90E-08	3.50E-08	1.92E-07	2.79E-07	2.35E-08
Eco-indicator 99, (H,A), Atemwegserkrankungen	Punkte/(m2 a)	5.19E-04	4.49E-04	4.80E-04	1.47E-04	4.51E-04	1.00E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Fossile Brennstoffe	Punkte/(m2 a)	4.63E-04	3.68E-04	4.18E-04	3.28E-03	3.53E-03	3.28E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Mineralien	Punkte/(m2 a)	1.67E-04	1.38E-04	1.59E-04	1.04E-05	2.92E-05	2.13E-05
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Ökologische Knappheit 1997, Deponierte Abfälle	UBP/(m2 a)	2.71E-01	4.77E-02	8.68E-02	2.81E-01	5.04E-01	4.62E+00
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Luft	UBP/(m2 a)	1.91E+01	1.65E+01	1.78E+01	1.96E+01	3.56E+01	2.32E+01
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in Boden und Grundwasser	UBP/(m2 a)	3.58E+00	2.91E+00	3.83E+00	3.05E-01	7.07E-01	2.04E+00
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Oberflächengewässer	UBP/(m2 a)	1.23E+00	1.06E+00	1.24E+00	1.60E-01	1.68E+00	4.47E-01
Ökologische Knappheit 1997, Radioaktive Abfälle	UBP/(m2 a)	3.35E+01	3.30E+01	3.95E+01	9.72E-01	2.46E+00	6.73E+00
Ökologische Knappheit 1997, Verbrauch von Energie-Ressourcen	UBP/(m2 a)	1.20E+00	1.15E+00	1.36E+00	1.25E+00	1.42E+00	3.44E-01
Bewertungsmethode, Energieträger	Einheit						
Kumulierter Energieaufwand, Fossil	MJ-Eq./ (m2 a)	2.98E-01	2.54E-01	2.94E-01	1.23E+00	1.36E+00	1.92E-01
Kumulierter Energieaufwand, Nuklear	MJ-Eq./ (m2 a)	6.80E-01	6.70E-01	8.00E-01	1.79E-02	4.76E-02	1.27E-01
Kumulierter Energieaufwand, Biomasse	MJ-Eq./ (m2 a)	7.37E-03	4.98E-03	7.91E-03	3.95E-04	5.99E-04	1.32E+00
Kumulierter Energieaufwand, Wind, Sonne, Geothermie	MJ-Eq./ (m2 a)	4.29E-03	4.10E-03	4.89E-03	4.58E-04	6.57E-04	2.48E-03
Kumulierter Energieaufwand, Wasser	MJ-Eq./ (m2 a)	2.23E-01	2.20E-01	2.62E-01	4.30E-03	1.24E-02	2.60E-02

Strombezug für Lüftungsanlage

In Tabelle 10.29 sind die Resultate für verschiedene Strombezugsarten für den Lüftungsstrombedarf dargestellt. Die Resultate beziehen sich auf ein Lüftungssystem mit zentralem Lüftungsgerät und Verrohrung aus Polyethylen. Für die Verlegung der Lüftungsrohre wurde eine Verlegung in der Betondecke angenommen (Reduktion der notwendigen Betonmenge). Die Angaben gelten für ein Gebäude mit Standort in Zürich und einer gut gedämmten Gebäudehülle (entsprechend Minergie Standard). Für den Ventilatorsstromverbrauch wurde ein spezifischer Wert von 0.4 Wh/m^3 eingesetzt. Der Wärmerückgewinnungsgrad des Lüftungsgeräts beträgt 80 % und die Betriebszeit der Lüftung 12 Monate pro Jahr.

Tabelle 10.32 Resultate, Betrieb Lüftungsanlage, Variation des Strommixes

Bewertungsmethode	Einheit	Strombezug: Schweizer Strommix	Strombezug: Deutscher Strommix	Strombezug: Strom ab GuD-Kraftwerk	Strombezug: Strom ab Wasserkraftwerk	Strombezug: Strom ab PV Anlage	Nutzwärme, Erdgas, kond. Modulierend, ≤100kW
Eco-indicator 99, (H,A), Total	Punkte/MJ	1.75E-03	2.88E-03	4.20E-03	1.39E-03	1.57E-03	4.50E-03
Ökologische Knappheit 1997, Total	UBP/MJ	5.47E+01	6.46E+01	2.73E+01	1.70E+01	2.29E+01	2.26E+01
Kumulierter Energieaufwand, nicht-erneuerbar	MJ-Eq./MJ	9.24E-01	1.30E+00	9.60E-01	1.29E-01	2.56E-01	1.25E+00
Kumulierter Energieaufwand, erneuerbar	MJ-Eq./MJ	2.29E-01	7.89E-02	1.24E-02	5.08E-01	2.30E+00	5.15E-03
Bewertungsmethode, Schutzgutkategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Ökosystemqualität	Punkte/MJ	2.86E-04	3.66E-04	2.80E-04	2.55E-04	2.11E-04	4.91E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Menschliche Gesundheit	Punkte/MJ	9.32E-04	1.64E-03	9.39E-04	7.76E-04	7.46E-04	5.90E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Ressourcen	Punkte/MJ	5.32E-04	8.65E-04	2.98E-03	3.55E-04	6.11E-04	3.86E-03
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Eco-indicator 99, (H,A), Versauerung & Eutrophierung	Punkte/MJ	5.53E-05	7.83E-05	6.06E-05	4.56E-05	5.73E-05	1.93E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Ökotoxizität	Punkte/MJ	2.08E-04	2.47E-04	1.96E-04	1.94E-04	1.37E-04	1.29E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Landnutzung	Punkte/MJ	2.29E-05	4.05E-05	2.34E-05	1.56E-05	1.74E-05	1.68E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Krebserrigende Stoffe	Punkte/MJ	1.84E-04	2.59E-04	1.74E-04	1.67E-04	1.24E-04	2.53E-05
Eco-indicator 99, (H,A), Klimawandel	Punkte/MJ	1.11E-04	4.19E-04	2.82E-04	4.20E-05	7.76E-05	3.67E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Radioaktive Strahlung	Punkte/MJ	3.67E-05	1.94E-05	1.24E-06	1.19E-06	2.46E-06	9.57E-07
Eco-indicator 99, (H,A), Ozonabbau	Punkte/MJ	3.89E-08	6.49E-08	1.69E-07	1.36E-08	3.55E-08	2.57E-07
Eco-indicator 99, (H,A), Atemwegserkrankungen	Punkte/MJ	6.01E-04	9.49E-04	4.83E-04	5.67E-04	5.42E-04	1.97E-04
Eco-indicator 99, (H,A), Fossile Brennstoffe	Punkte/MJ	4.37E-04	7.71E-04	2.91E-03	2.60E-04	5.25E-04	3.88E-03
Eco-indicator 99, (H,A), Mineralien	Punkte/MJ	9.78E-05	9.86E-05	9.67E-05	9.61E-05	8.84E-05	7.32E-06
Bewertungsmethode, Schadenskategorie	Einheit						
Ökologische Knappheit 1997, Deponierte Abfälle	UBP/MJ	4.77E-02	-3.06E-01	-5.43E-01	7.15E-01	3.62E-01	2.81E-01
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Luft	UBP/MJ	1.65E+01	3.38E+01	2.30E+01	1.20E+01	1.48E+01	1.96E+01
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in Boden und Grundwasser	UBP/MJ	2.91E+00	8.99E+00	1.53E+00	1.48E+00	1.80E+00	3.05E-01
Ökologische Knappheit 1997, Emissionen in die Oberflächengewässer	UBP/MJ	1.06E+00	1.13E+00	1.05E+00	1.00E+00	3.19E+00	1.60E-01
Ökologische Knappheit 1997, Radioaktive Abfälle	UBP/MJ	3.30E+01	1.96E+01	1.26E+00	1.21E+00	2.50E+00	9.72E-01
Ökologische Knappheit 1997, Verbrauch von Energie-Ressourcen	UBP/MJ	1.15E+00	1.34E+00	9.70E-01	6.35E-01	2.78E-01	1.25E+00
Bewertungsmethode, Energieträger	Einheit						
Kumulierter Energieaufwand, Fossil	MJ-Eq./MJ	2.54E-01	8.75E-01	9.34E-01	1.04E-01	2.07E-01	1.23E+00
Kumulierter Energieaufwand, Nuklear	MJ-Eq./MJ	6.70E-01	4.21E-01	2.54E-02	2.46E-02	4.86E-02	1.79E-02
Kumulierter Energieaufwand, Biomasse	MJ-Eq./MJ	4.98E-03	1.07E-02	1.77E-03	1.73E-03	3.05E-03	3.95E-04
Kumulierter Energieaufwand, Wind, Sonne, Geothermie	MJ-Eq./MJ	4.10E-03	2.75E-02	5.21E-04	4.75E-04	2.27E+00	4.58E-04
Kumulierter Energieaufwand, Wasser	MJ-Eq./MJ	2.20E-01	4.08E-02	1.01E-02	5.05E-01	2.32E-02	4.30E-03

System: Wohnraumlüftung, zentral, 1 x 720 m³/h, PE-Kanäle, mit Erdregister

10.5. Verwendete Bewertungsmethoden

10.5.1 Eco-indicator 99

Die Bewertungsmethode Eco-indicator 99 (Goedkoop & Spriensma, 2001) ist eine Weiterentwicklung der Methode Eco-indicator 95 und quantifiziert die Beeinträchtigung der folgenden Schutzgüter:

- Menschliche Gesundheit
- Ökosystemqualität
- Ressourcenentwertung

Dabei werden im Schutzgut Menschliche Gesundheit vorzeitige Todesfälle und auch Krankheiten einbezogen. Als Masseinheit werden hier DALYs (disability adjusted life years) verwendet. Folgende Wirkungskategorien werden für die Bewertung des Schutzgutes Menschliche Gesundheit einbezogen:

- Klimawandel
- Ozonabbau
- Atemwegserkrankungen
- Krebserregende Stoffe
- Radioaktive Strahlung

Im Schutzgut Ökosystemqualität wird der Einfluss auf das Verschwinden von Arten bewertet. Als Masseinheit wird hier PAF*m2a (potentially affected fraction) verwendet. Folgende Wirkungskategorien werden für die Bewertung des Schutzgutes Ökosystemqualität einbezogen:

- Ökotoxizität
- Versauerung und Eutrophierung
- Landnutzung

Im Schutzgut Ressourcenentwertung wird der Einfluss auf den Verbrauch fossiler und mineralischer Ressourcen bewertet. Als Masseinheit wird hier MJ erhöhten Energieverbrauchs (für den zukünftigen Abbau) verwendet. Folgende Wirkungskategorien werden für die Bewertung des Schutzgutes Ressourcenentwertung einbezogen:

- Fossile Ressourcen
- Mineralische Ressourcen

Die Gewichtung einzelner Schadenskategorien wie auch der drei Schutzgüter zueinander erfolgt in drei Schadensmodellen, welche auf drei verschiedenen Typen basiert:

- Egalitarian: Zukünftige Generationen ebenso wichtig wie heutige (Langzeitperspektive). Schon leichte Indizien für die Umweltschädlichkeit eines Stoffes werden in der Ökobilanz berücksichtigt.
- Hierarchist: Abwägen zwischen heutiger und zukünftigen Generationen. Unter Wissensafter anerkannte Zusammenhänge der Umweltschädlichkeit eines Stoffes werden in der Ökobilanz berücksichtigt.
- Individualist: Aktuelle Generation ist am wichtigsten (Kurzzeitperspektive). Nur wissenschaftlich beweisbare Auswirkungen der Umweltschädlichkeit eines Stoffes werden in der Ökobilanz bewertet.

In der vorliegenden Studie wurde für die Bewertung mit Eco-indicator 99 der Typus Hierarchist verwendet.

Abbildung 10.1 zeigt grob die Gewichtungsanteile für die drei Bewertungstypen in Eco-indicator 99

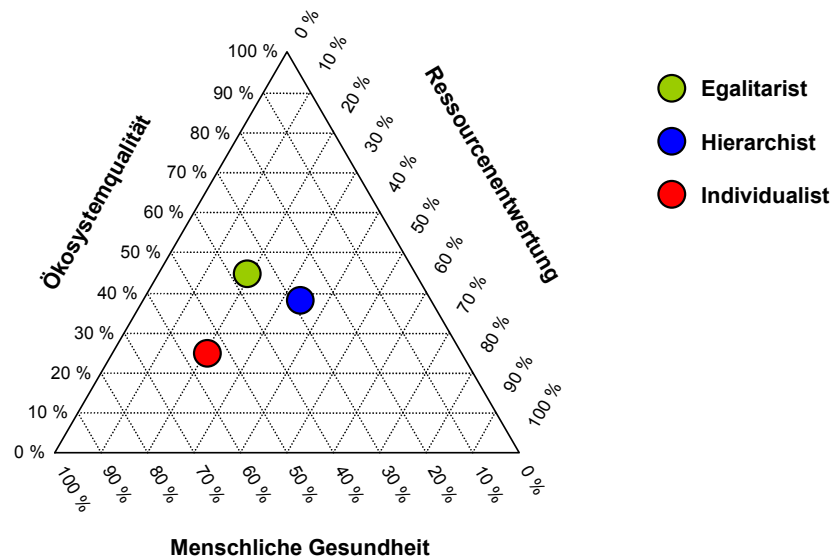


Abbildung 10.1 Gewichtsanteile der drei Bewertungstypen in Eco-indicator 99
nach (Goedkoop & Spriensma, 2001)

10.5.2 Methode der ökologischen Knappheit

Die Bewertung in der Methode der ökologischen Knappheit basiert auf dem Prinzip „Distance-to-target“. Für die Ermittlung der Bewertungsfaktoren werden einerseits die aktuellen Flüsse einer Umwelteinwirkung und andererseits aus den umweltpolitischen Zielen die maximal zulässig erachteten Flüsse verwendet. Sowohl maximal zulässige wie auch aktuelle Flüsse werden in dieser Methode in Bezug auf schweizerische Verhältnisse definiert (BUWAL, 1998).

Da die Methode der ökologischen Knappheit im Vergleich zum Eco-indicator 99 primär die Schutzgüter Menschliche Gesundheit und Schutz der Ökosysteme stützt und dem Schutz der Ressourcen wenig Gewicht beimisst können sich in Vergleichen mit den vollaggregierten Werten zwischen diesen beiden Bewertungen grosse Unterschiede ergeben.

10.5.3 Kumulierter Primärenergieaufwand (KEA)

Der Bedarf an nicht erneuerbaren und erneuerbaren energetischen Ressourcen wird in dieser Bewertungsmethode aufgrund des Brennwertes der einzelnen Energieträger gewichtet. Für Uran wird in dieser Studie ein Energieinhalt von 560 GJ/kg Uran in der Gewichtung verwendet. Auch für erneuerbare Energieträger wie Wasserkraft oder Solarwärme kann die Gewichtung vergleichbar vorgenommen werden und damit der Bedarf an erneuerbaren energetischen Ressourcen ausgewiesen werden. Die einzelnen Gewichtungsfaktoren sind in (Frischknecht & Jungbluth, 2003b) publiziert. Im Vergleich zu der Bewertung mit Eco-indicator 99 berücksichtigt diese Methode jedoch nur das Schutzgut Ressourcenentwertung und macht somit keine Aussage über die andern beiden Schutzgüter (Menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität).

In dieser Studie wird nur der nichterneuerbare Anteil der Energieressourcen ausgewiesen (fossil und nuklear).