

Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"

Umweltrelevanz der Haustechnik

Eine Entscheidungsgrundlage

Amstein + Walthert Ingenieure AG
Zürich

Untersuchung im Rahmen des IEA BCS Annex 31:
Energy Related Environmental Impact of Buildings

Mit Unterstützung des
Bundesamtes für Energie

November 1998

Impressum

Projekttitel: IEA CBS Annex 31, "Energy Related Environmental Impact of Buildings"
Titel Teilprojekt: **Umweltrelevanz der Haustechnik – Eine Entscheidungsgrundlage**
Auftraggeber: Bundesamt für Energie, BfE

Projektleitung: Annick Lalive d'Epinay
Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz
Laboratorium für Technische Chemie
Eidgenössische Technische Hochschule ETH
8092 Zürich

Auftragnehmer: Amstein und Walther
Beratende Ingenieure AG
Leutschenbachstrasse 45
8050 Zürich

Thomas Baumann
Lena Itchner

Bezug: Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz
Laboratorium für Technische Chemie
Eidgenössische Technische Hochschule ETH
8092 Zürich

ISBN-Nummer: 3-906734-04-8

1. Auflage, November 1998



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Problemstellung	3
1.2	Ziel.....	3
1.3	Betrachtungsbereich und Systemgrenzen	4
1.4	Untersuchungsobjekte (HLKSE)	4
1.4.1	Heizung.....	4
1.4.2	Lüftung.....	6
1.4.3	Kälte.....	10
1.4.4	Sanitärbereich.....	11
1.4.5	Elektro.....	13
2	Vorgehen	16
2.1	Allgemeines Vorgehen	16
2.2	Beschrieb der ausgewählten Bauobjekte.....	17
2.2.1	Kappeli.....	17
2.2.2	Elektrolux	18
2.3	Ausgewählte Komponenten	18
3	Resultate und Diskussion	20
3.1	Relevante Komponenten.....	20
3.1.1	Anteil der Gewerke an der gesamten Haustechnik	21
3.1.2	Anteil der Haustechnik-Masse an der gesamten Gebäudemasse	23
3.1.3	Herstellungsenergie versus Betriebsenergie	26
3.1.4	Vergleich Ecoindikatorpunkte (EIP) Haustechnik versus Betrieb	28
3.2	Fehlerdiskussion	29
3.2.1	Vernachlässigung von Komponenten	29



3.2.2	Falsche Materialannahme	30
3.2.3	Vernachlässigung von Materialmengen.....	31
3.3	Diskussion der Methode.....	31
3.4	Vorhandene Untersuchungen zu Haustechnik und Ökologie	32
4	Schlussfolgerungen und Ausblick	33
4.1	Schlussfolgerungen.....	33
4.2	Ausblick und Handlungsbedarf	34
5	Glossar	37
6	Literaturverzeichnis.....	39
7	Anhang	42
7.1	Unberücksichtigte Komponenten	42
7.2	Resultate: Materialinhalt der Komponenten nach Gewerk.....	43
7.2.1	Heizung.....	43
7.2.2	Lüftung.....	46
7.2.3	Kälte.....	49
7.2.4	Sanitär.....	51
7.2.5	Elektro.....	54
7.2.6	Bemerkungen zu Werkstoffen und Dichten.....	55
7.3	Haustechnik (Masse, Energie) im Vergleich zum Gesamtgebäude.....	56
7.4	Herstellungenergie im Vergleich zur Betriebsenergie (Haustechnik).....	58
7.5	Herstellungenergien der bilanzierten Materialien nach [Kasser, Pöll 1995]	58
7.6	Lebensdauerzeiten der bilanzierten Komponenten nach [AfB 1995]	59
7.7	Berechnete Herstellungenergien pro Jahr.....	60
7.8	Berechnete Ecoindikatorpunkte (EIP).....	64

Einleitung

Problemstellung

Bauen stellt immer einen Eingriff in die Umwelt dar. Materialien werden gewonnen und transportiert, Flächen werden versiegelt, während der Nutzung der Gebäude werden Stoffe an die Umwelt abgegeben und beim Abbruch/Rückbau müssen alle eingesetzten Materialien entsorgt werden, sei es durch Verbrennung, Deponie oder Recycling.

Um all die Auswirkungen auf die Umwelt, die durch die Bauaktivität entstehen, erfassen beziehungsweise abschätzen zu können, wird zur Zeit von verschiedenen Forschungsteams an der Entwicklung von Instrumenten und Methoden gearbeitet.

So hat die Internationale Energieagentur (IEA) 1996 einen Annex 31 mit dem Titel „Energy Related Environmental Impact of Buildings“ lanciert. Dieser Annex hat zum Ziel, die Datengrundlagen zu den Umweltauswirkungen von Gebäuden zu verbessern und Methodikfragen dahingehend zu bearbeiten, dass die Integration einer Umweltanalyse in die Planung des Gebäudes ermöglicht wird. Ebenso ist die Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung (CRB) daran, die BEK-Struktur [BEK 96] mit Basisdaten gemäss [Frischknecht et al., 1996] zu ergänzen. Dabei wird jedoch die Haustechnik aufgrund der fehlenden Datenlage nicht berücksichtigt.

Um einen Beitrag zur Untersuchung der Haustechnik zu leisten entstand auf Wunsch des Bundesamtes für Energie das hier vorliegende Projekt als Teil des schweizerischen Beitrages zum IEA CBS Annex 31.

Ziel

Aufgrund der obigen Ausführung besteht das langfristige Ziel darin, im gesamten Haustechnik-Bereich (Heizung, Lüftung, Klima, Sanitär, Elektro; HLKSE) ökologisch relevante Komponenten zu bestimmen um daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten. Dies kann durch die vollständige Ökobilanzierung der einzelnen Komponenten und dem anschliessenden Vergleich der erhaltenen Daten erfolgen. Dieser Ansatz hätte jedoch den zeitlichen und kapazitiven Rahmen dieser Arbeit unweigerlich gesprengt.

Aus diesem Grunde wurden die Zielvorstellungen insofern abgeändert, als das Resultat dieser Arbeit eine Beurteilung der ökologischen Relevanz der Haustechnik im Vergleich mit dem restlichen Gebäude als auch mit dem Betrieb sein soll. Die Beurteilung umfasst quantitative Aussagen zum Massen-, Energieaufwand und eine Bewertung mittels [Frischknecht et al. 1996] sowie qualitative Aussagen in Form der Diskussion dieser Resultate.

Daneben wurde auch versucht, allfällig vorhandene Literatur zu diesem Thema zusammenzusuchen (vgl. Kapitel 0).



Damit sollte eine Grundlage für weitere Projekte geschaffen werden, indem

1. bereits vorhandene Ökoinventardaten von Haustechnikkomponenten direkt in das CRB-Projekt integriert werden können
2. die Bestimmung von materialmengenmässig relevanten Komponenten Anstoss für die Untersuchung von anderen Aspekten (Energie, Umweltrelevanz der Materialien etc.) geben soll (vgl. Kapitel 0).

Betrachtungsbereich und Systemgrenzen

Die Untersuchung erstreckt sich nur auf Anlagen und Komponenten, die in Wohn- und Dienstleistungsgebäuden eingesetzt werden. Dabei bildet im allgemeinen die Grundstücksgrenze die Systemgrenze. Ausnahmen von dieser Regel ergeben sich, wenn die Komponenten zwar innerhalb der Grundstücksgrenze liegen, jedoch nicht zum Besitz des Hauses zu rechnen sind. Als Beispiel sei der Anschluss eines Gebäudes ans öffentliche Stromnetz genannt. Obschon sich der eigentliche Anschluss im Gebäudeinneren befindet, gehört er dem lokalen Elektrizitätswerk und wird deshalb nicht in die Untersuchung miteinbezogen.

Nicht berücksichtigt werden ferner Komponenten, die dem Baugerüst angerechnet werden können (bspw. Schornsteine), beziehungsweise solche, die beim Innenausbau installiert werden (bspw. sanitäre Einrichtungen). Ausserdem gilt allgemein für alle Gewerke, dass Armaturen, Regeleinrichtungen und Installationen (elektrische Installationen wie Tableaux bei der Lüftung z.B.) nicht berücksichtigt werden. Der Grund dafür liegt einerseits in der Komplexität der Komponenten (Regeleinrichtungen, Installationen), andererseits aber auch darin, dass diese aufgrund der teilweise gleichen Materialzusammensetzung zu den bilanzierten Komponenten zugerechnet werden konnten (bspw. Armaturen, siehe Kapitel 0).

Darüber hinaus sind spezifische Systemgrenzen für die verschiedenen Gewerke je in den einzelnen Gewerk-Beschreibungen (siehe Kapitel 0) dargestellt.

Untersuchungsobjekte (Heizung, Lüftung, Kälte, Sanitär und Elektro: HLKSE)

Im folgenden werden die einzelnen Haustechnikbereiche in den Grundzügen beschrieben sowie die spezifisch für die einzelnen Gewerke gewählten Systemgrenzen besprochen. Dabei stützen sich diese Beschreibungen im wesentlichen auf [Pistohl 1996]. Grundsätzlich können alle Gewerke in die drei Bereiche Erzeugung, Verteilung und Abgabe unterteilt werden.

Heizung

Die gesamte Heizungsanlage kann durch folgende Teilbereiche beschrieben werden: Brennstofflagerung, Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung sowie Wärmeabgabe.

Heizungen werden eingeteilt in Einzelheizungen (Zimmeröfen) und Zentralheizungen. Für unsere Betrachtungen beschränken wir uns auf die Zentralheizungen, da sie in der Schweiz die häufigste Form der Heizung darstellen.

Zentralheizungen werden unterschieden nach Brennstoffart, Umtriebskraft, Druck, Rohrsystem und Lage der Hauptverteilung (Abbildung 1). Die fettgedruckten Bereiche stellen die in diesem Bericht untersuchten Systeme dar.

Daneben kann man Zentralheizungen in Blockheizungen (übliche Heizung zur Beheizung eines einzelnen Hauses oder Gebäudegruppe) und Fernheizungen (für grössere Gebäudegruppen) einteilen. Die Infrastruktur der Fernwärmezentrale sowie die Leitungen bis zur Gebäudegruppe wurde nicht berücksichtigt, da diese an einem Fernwärmeverbundnetz angeschlossen sind und deren Anteil aufgrund fehlender Daten nicht berechnet werden konnte.

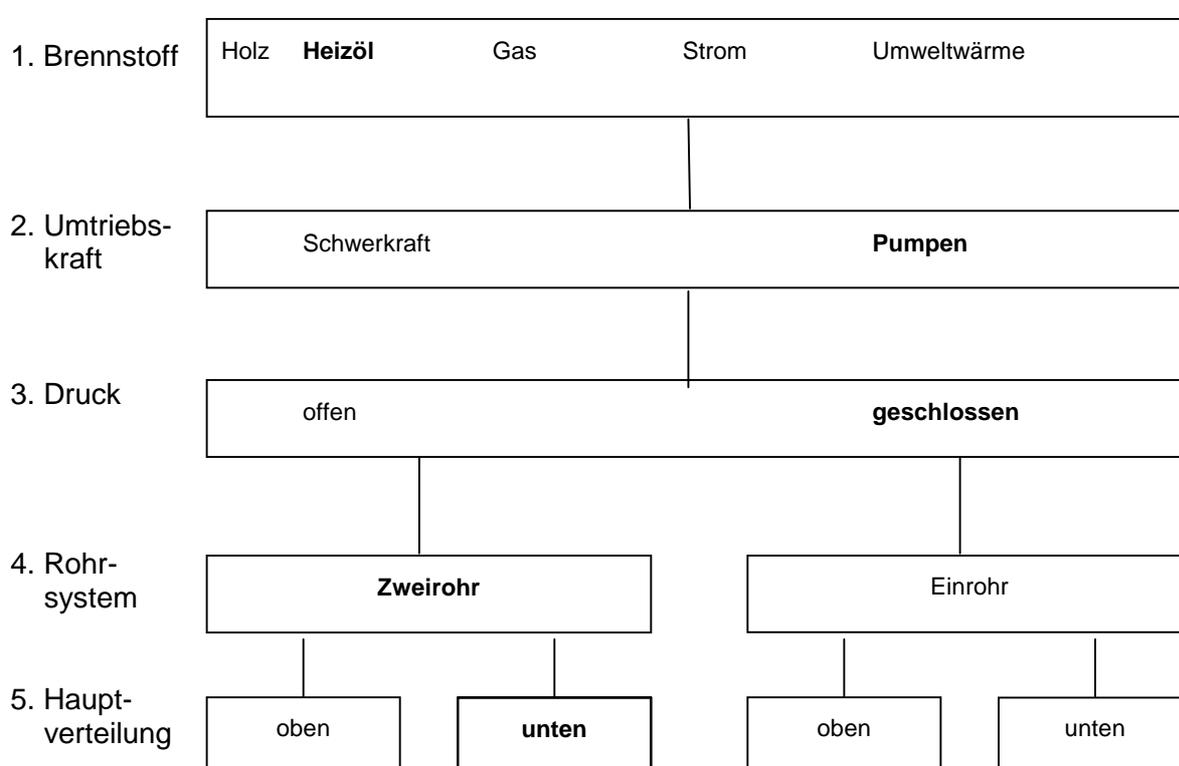


Abbildung 1: Einteilung der Zentralheizungen [Pistohl 1996]

Brennstofflagerung

Je nach verwendetem Brennstoff erfolgt die Lagerung in Räumen (feste Brennstoffe wie Holz) oder in Behältern (Heizöl, Gas). Dabei ist für unsere Betrachtung aufgrund der gezogenen Systemgrenzen nur die Lagerung in Behältern von Bedeutung, da Lagerräume dem Gebäude zugerechnet werden.

Wärmeerzeugung

Die Wärme wird konventionell in Heizkesseln mit Öl, Holz oder Gas oder alternativ durch Wärmepumpen oder Sonnenkollektoren erzeugt. Ebenfalls möglich ist der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung (gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Elektrizität).



Die Heizkessel werden nach einer ganzen Reihe von Merkmalen wie Brennstoff- und Bauart, Werkstoff, Wärmeträger, Konstruktionsweise etc. unterschieden.

Dabei können Heizkessel auch mit der Warmwasserbereitung gekoppelt werden. Ist dies der Fall, unterscheidet man zwischen Kombinationskesseln mit Speicher oder mit Durchlauferhitzer.

Wärmeverteilung

Die Wärmeverteilung geschieht über Leitungssysteme. Diese sind gegen Wärmeverluste beziehungsweise gegen Schall geschützt. Ein Korrosionsschutz ist hingegen nur in seltenen Fällen notwendig, da das Heizwasser in einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert und sich sehr rasch ein chemisches Gleichgewicht eingestellt hat.

Man unterscheidet dabei im wesentlichen zwischen Verteil- und Apparateanschlussleitungen. Diese unterscheiden sich hauptsächlich im verwendeten Material.

Wärmeabgabe

Der Wärmeabgabe dienen Heizflächen/Heizkörper, die unterschieden werden können in Radiatoren, Konvektoren, Platten- und Kompaktheizkörper sowie Flächenheizungen (Decken-, Fussboden- und Wandheizungen). Diese unterscheiden sich sowohl nach der Art der Wärmeabgabe, als auch nach Konstruktionsweise. So geben Radiatoren, Platten- bzw. Kompaktheizkörper und Flächenheizungen ihre Wärme zu einem grossen Teil oder sogar überwiegend als Strahlung ab, während bei Konvektoren die Wärmeabgabe durch Konvektion erfolgt.

Radiatoren bestehen aus einzelnen, wasserdurchflossenen oder dampfdurchströmten Gliedern. Konvektoren bestehen aus Heizrohren, die zur Vergrößerung der Heizfläche mit Lamellen bestückt sind. Platten- und Kompaktheizkörper sind aus Stahlblechen aufgebaut, die auf ihrer Rückseite mit Heizwasserrohren oder Stahlblechen verschweisst sind, während Flächenheizungen im wesentlichen aus Heizrohren bestehen, die die jeweiligen Flächen aufheizen und damit indirekt durch Strahlung den Raum aufheizen.

Lüftung

Die Lufttechnik kann grob unterteilt werden in Raumlüftungstechnik und Prozesslufttechnik. Da letztere nur in Industriebetrieben eingesetzt wird, ist sie für diese Arbeit nicht von Bedeutung. Die Raumlüftungstechnik hingegen kann wie in Abbildung 2 dargestellt weiter unterteilt werden.

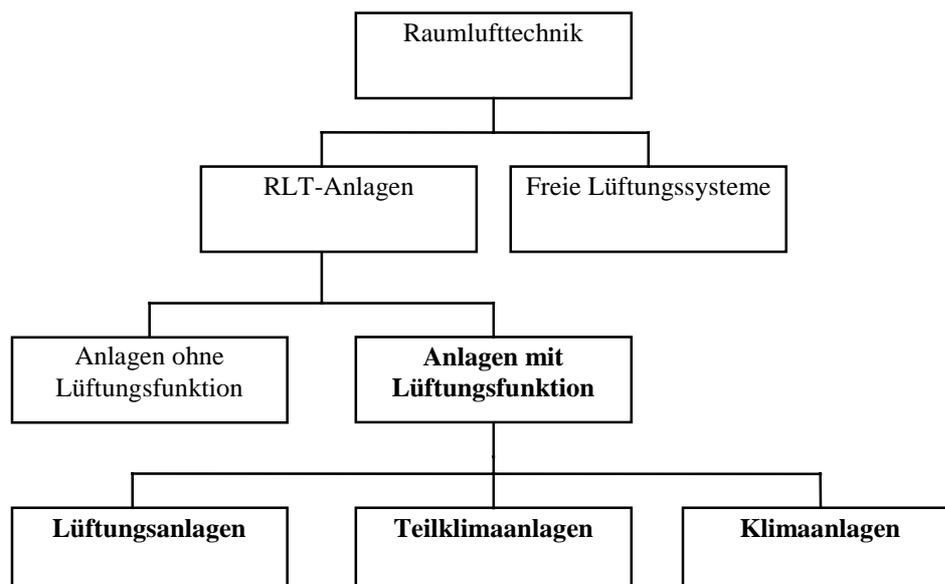


Abbildung 2: Gliederung der Raumlufttechnik

Freie Lüftungssysteme werden bauseits realisiert als Fugen-, Fenster-, Dachaufsatz- und Schachtlüftung und sind deshalb hier nicht von Interesse.

Raumlufttechnische Anlagen werden nach [DIN 1946 T1] nach Lüftungsfunktion, thermodynamischer Luftbehandlungsfunktion, Druckverhältnissen und Luftgeschwindigkeit unterschieden.

Anlagen mit Lüftungsfunktion, d.h. mit Lufterneuerung der Raumluft, werden weiter unterschieden nach

- Lüftungsanlagen (Anlagen ohne bzw. mit einer thermodynamischer Luftbehandlungsfunktion)
- Teilklimaanlagen (Anlagen mit zwei oder drei thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen)
- Klimaanlagen (Anlagen mit allen vier thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen)

Dabei sind die vier thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten.

Klimaanlagen im Sinne der [DIN 1946 T1] sind raumlufttechnische Anlagen, die Temperatur und Luftfeuchtigkeit sowie einen bestimmten Reinheitsgrad der Raumluft während des ganzen Jahres selbsttätig innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs halten.

Raumlufttechnische Anlagen können sowohl mit Nieder- (2-10 mbar und 2-8 m/s) als auch mit Hochdruck (10-25mbar und 8-25m/s) arbeiten. Hochdruckanlagen werden jedoch nicht weiter betrachtet, da sie heute kaum mehr eingesetzt werden.

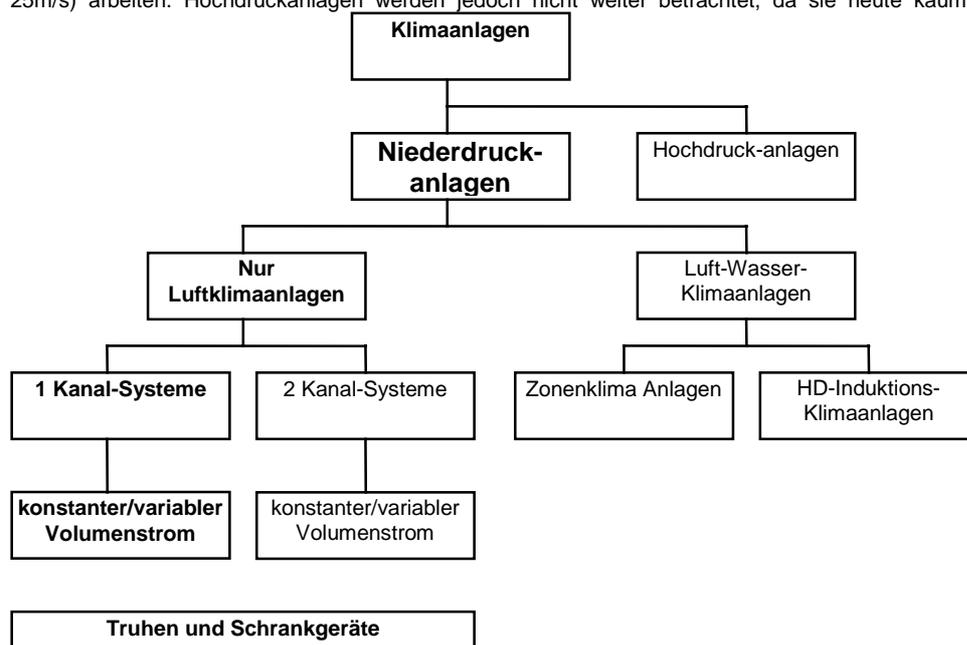


Abbildung 3 zeigt eine schematische Übersicht über die verschiedenen Anlagen- und Kanalsysteme.

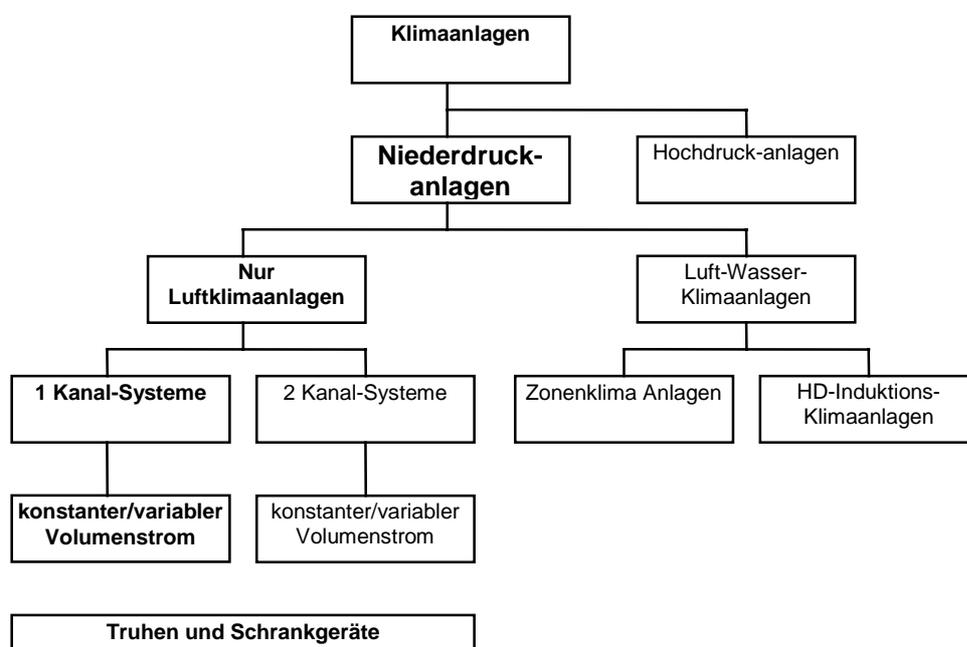


Abbildung 3: Einteilung der Klimaanlagen

Das Lüftungssystem umfasst Konditionierung, Verteilung und Abgabe von Luft an Räume. Die zur Verfügung gestellte Energie in Form von Wärme oder Kälte, welche zur Luftkonditio-



nierung benötigt wird, wird über bereits erarbeitete Module von Ecoinvent [Frischknecht et al., 1996] abgebildet.

Im Rahmen dieser Arbeit werden im weiteren nur Anlagen mit Lüftungsfunktion untersucht, da Anlagen ohne Lüftungsfunktion (nur Umluft) in Wohn- und Dienstleistungsgebäuden nicht eingesetzt werden. In diesen Gebäuden werden selten Anlagen mit einem Volumenstrom von mehr als 20'000 m³/h eingesetzt. Auch in Bezug auf die Luftreinigung (Filter) werden nur wenige der heute verfügbaren Systeme in diesem Bereich eingesetzt.

Konditionierung

Die Luftaufbereitung findet in mehreren Stufen statt. In den Grundzügen bestehen diese Stufen aus einer Mischkammer zur Mischung von Aussen- und Umluft, einem Luftfilter zur Reinigung der Luft, einem Lufterwärmer und Luftkühler zur Temperierung, einem Luftbe- und -entfeuchter, Ventilatoren im Zu- und Abluftkanal sowie Schalldämpfern zur Dämpfung der Geräusche aus Kanälen, Ventilatoren, Kältemaschinen etc.

Unter Umständen kommt auch eine Wärmerückgewinnung am Anfang der Luftbehandlung zur Anwendung. Dabei wird der nach aussen abgeführten Abluft die Wärme/Kälte entzogen und zur Vorwärmung/Abkühlung der frisch angesogenen Zuluft verwendet. Der gesamte Komplex, in welchem die Konditionierung stattfindet, wird Monobloc genannt.

Verteilung/Abgabe

Die Verteilung der Luft geschieht über Kanäle. Diese müssen korrosionsbeständig sein, glatte Innenflächen haben und nicht hygroskopisch (wassersaugend) sein. Die Abgabe der Luft an den Raum kann über verschiedenste Öffnungen geschehen. Dabei unterscheidet man einerseits zwischen der räumlichen Lage (Wand-, Decken- oder Fussbodendurchlass), andererseits aber auch nach Art des Durchlasses (bspw. Punkt-, Linear- und Flächendurchlässe). Neben diesen einfachen Durchlässen können jedoch auch Lüftungs- und Kühldecken eingesetzt werden, d.h. abgehängte Decken, welche eine gleichmässige Luftverteilung im Raum zum Ziel haben. Die Hohldecke bildet den Einblaskanal. Sie werden jedoch hier nicht weiter betrachtet, da sie dem Gebäude zugeordnet werden.

Die Luftführung kann verschieden verlaufen, wobei man im wesentlichen drei Systeme unterscheidet, nämlich die Misch-, Verdrängungs- und Quelllüftung.

Je nach internen Lasten stehen verschiedenen Systeme der Luftführung zur Verfügung:

	Kleine Last <20 W/m ²	Mittlere Last <50 W/m ²	Gro- sse Last	Rechenzentrum
Mischlüftung	(x)	x		x
Verdrängungslüftung		x		
Quelllüftung	x			



Quelllüftung mit Kühldecke			x	(x)
----------------------------	--	--	---	-----

Tabelle 1: Verschiedene Arten der Luftführung

In modernen Rechenzentren werden hauptsächlich Umluftkühlgeräte mit Drallauslässen im Boden unter den Rechnern verwendet oder die Rechner werden direkt wassergekühlt.

Kälte

Das System umfasst die Erzeugung, Verteilung und Abgabe von Kälte. Dabei werden hier nur Kältesysteme zur Raumkonditionierung betrachtet, d.h. die gewerbliche Kälteerzeugung wird nicht weiter untersucht, da sie in Dienstleistungs- und Wohnbauten keine Verwendung findet.

Mit zunehmendem Technisierungsgrad in Gebäuden, vornehmlich Dienstleistungsgebäuden, nehmen die internen Wärme-Lasten zu. Aufgrund der heute sehr guten Gebäudeisolation muss deshalb auch im Winter oft Wärme abgeführt werden. Dadurch nehmen Kältesysteme eine sehr zentrale Stelle in der Haustechnik ein.

Grundsätzlich kann die Kühlung entweder mittels freier Kühlung (Free Cooling) oder durch die Erzeugung von Kälte geschehen. Dabei versteht man unter freier Kühlung die direkte oder indirekte Kühlung von Gebäuden durch kalte Aussenluft ohne Einsatz von Kältemaschinen.

Kälteerzeugung

Unter Kälteerzeugung werden nachfolgend alle Anlagenteile zusammengefasst, welche zur Bereitstellung von Kaltwasser notwendig sind. Dies sind einerseits die Kältemaschine, andererseits die Rückkühlwerke und die notwendigen Verbindungsleitungen (Kühlwassernetz). Bei sehr grossen Bauprojekten werden unter Umständen auch zentrale Kälteanlagen in Energiezentralen eingesetzt, so dass die umliegenden Gebäude über Fernleitungen mit Kälte versorgt werden.

Zur Kälteerzeugung werden zur Zeit ausschliesslich Kältemaschinen verwendet. Dabei werden als Kälteträger Kaltwasser (Kreislaufwasser 6°/12°C), Sole (Frostschutz-Wassergemisch <0°C) sowie Kühlwasser (Kreislaufwasser ≈ 25°C) eingesetzt.

Die Wirkungsweise der Kältemaschinen, die sowohl als Kompressions- als auch Absorptions-Kältemaschinen ausgelegt sein können, besteht darin, dass in einem thermodynamischen Kreisprozess dem zu kühlenden Medium Wärme entzogen und diese dann auf einem entsprechend höheren Niveau wieder einem anderen Medium zugeführt wird. Kältemaschinen sind also Wärmepumpen, wobei die gewünschte Nutzenergie am Verdampfer in Form von Kälte abgegriffen wird.

Verteilung/Abgabe



Die Verteilung der Kälte erfolgt durch Rohrleitungen. Kaltwasserleitungen sind meist nahtlose Stahlrohren, welche anschliessend isoliert werden. Die Förderung erfolgt mittels Gruppenpumpen.

Sanitärbereich

Das System „Sanitär“ kann grob in Wasserversorgung, Wasseraufbereitung und Abwasserentsorgung eingeteilt werden.

Bei der Betrachtung des Sanitärbereichs wird auf die Untersuchung der sanitären Einrichtungen verzichtet, da diese meist stark den speziellen Wünschen und Bedürfnissen der Bauherrschaft unterliegen.

Wasserversorgung

Die Wasserversorgung wird durch den Anschluss des Gebäudes an die öffentliche Trinkwasserversorgung gewährleistet. Sie besteht demzufolge hauptsächlich aus einem Anschlussrohr, währenddem die eigentliche Trinkwasserversorgungsanlage ausser Haus zu finden ist. Es kann auch eine Eigenwasserversorgung zur Anwendung kommen. Dabei unterscheidet man die Trinkwasser-Eigenversorgungsanlage, die Betriebswasserversorgungsanlage sowie die Regenwassernutzungsanlage. Die ersten zwei sind jedoch für die von uns untersuchten Objekte (Wohn- und Dienstleistungsgebäude) nicht relevant, während die Regenwassernutzungsanlage eingesetzt werden kann, um ca. die Hälfte des normalen Trinkwasserverbrauchs einzusparen (v.a. für die Toilettenspülung und die Waschmaschine). Zur Zeit ist die Installation einer Regenwassernutzungsanlage aufgrund der tiefen Wasserpreise bei uns noch sehr selten, könnte aber in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

Als Sonderanlagen bei der Wasserversorgung werden Druckerhöhungs- und Feuerlöschposten beziehungsweise Brandschutzanlagen bezeichnet. Dabei sind erstere dann erforderlich, wenn der notwendige Mindestfließdruck bei hoch gelegenen Entnahmestellen, z.B. bei Hochhäusern, nicht mehr ausreicht.

Wasseraufbereitung inklusive Wasserverteilung

Unter die Wasseraufbereitung fallen einerseits Einrichtungen, die die Qualität des Wassers beeinflussen sollen, d.h. Filter, Enthärtungsanlagen etc. Andererseits rechnet man dazu aber auch die Warmwasserbereitungsanlagen (Boiler, Speicher-Wassererwärmer).

Die Warmwasserbereitungsanlagen unterscheidet man auch nach der Art des verwendeten Brennstoffs (Öl, Gas, Elektro, Wärmepumpe, Sonnenenergie etc.) bzw. nach dem Ort der Erwärmung. Dabei bezeichnet die örtliche Warmwasserbereitung die Erwärmung des Wassers am Ort seiner Verwendung (Durchlauferhitzer), während bei der zentralen Warmwasserbereitung das Warmwasser über ein Rohrnetz beliebig viele Verbraucher mit Warmwasser versorgt. Die Aufteilung der zentralen Warmwasserbereitung ist in Abbildung 4 ersichtlich.

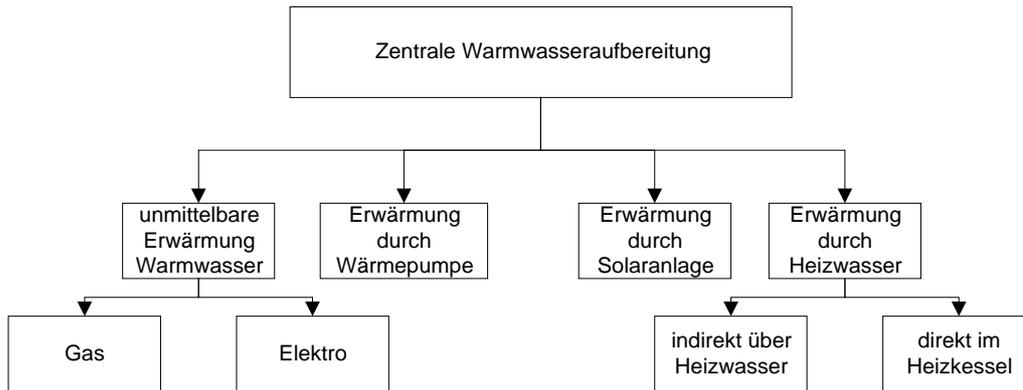


Abbildung 4: Arten der zentralen Warmwasserbereitung

Wird das Wasser durch das Heizungswasser erwärmt, kann dies entweder indirekt oder direkt im Heizkessel selbst geschehen. Trifft letzteres zu, spricht man von Kombinationskessel.

Die Wasserverteilung geschieht via Leitungen aus verschiedensten Werkstoffen. Hinzu kommen ausserdem noch Wärmedämmungen.



Wasserentsorgung

Bei der Wasserentsorgung sind vor allem die Leitungen von Bedeutung. Diese führen das Abwasser der öffentlichen Kanalisation zu. Dabei unterscheidet man folgende Leitungen:

- *Anschlussleitungen*: vom Geruchverschluss des Entwässerungsgegenstandes bis zur weiterführenden Leitung bzw. Abwasserhebeanlage.
- *Falleitung*: senkrechte Leitung, die durch ein oder mehrere Geschosse führt und das Abwasser einer Grund- oder Sammelleitung zuführt.
- *Lüftungsleitungen*: senkrechte Leitung, die zur Be- und Entlüftung der Falleitung dient, aber kein Wasser aufnimmt.
- *Regenfalleitungen*: Innen- oder aussenliegende Regenfalleitungen zum Ableiten des Regenwassers
- *Sammelleitungen*: Liegende Leitung zur Aufnahme des Abwassers von Fall- und Anschlussleitungen
- *Grundleitung*: im Erdreich unzugänglich verlegte Leitung, die das Abwasser dem Anschlusskanal zuführt.
- *Anschlusskanal*: Kanal zwischen dem öffentlichen Kanal und der Grundstücksgrenze

Neben dem Leitungssystem ist noch die Betrachtung von Abwasserhebeanlagen notwendig. Diese setzen sich zusammen aus einem Behälter, einer Druckrohrleitung sowie einer Pumpe und dienen dazu, einen Rückstau zu verhindern oder die Entwässerung auch bei schwierigem Gefälle zu ermöglichen.

Elektro

Bei den Elektroanlagen unterscheidet man zwischen Starkstromanlagen und Schwachstromanlagen. Dabei dienen erstere dem Erzeugen, Umwandeln, Speichern, Verteilen und Verbrauchen elektrischer Energie zur Wärme-, Kraft- oder Lichterzeugung, während Schwachstromanlagen, die mit geringen Spannungen betrieben werden, auch als Fernmeldeanlagen bezeichnet werden und im weitesten Sinne der Nachrichtenübermittlung dienen.

In dieser Arbeit werden nur die Komponenten der Verteilung wie Kabel-, Kabelrohre und Kanäle sowie Fundamenterder (grosser Massenanteil) berücksichtigt. Trotzdem sei hier eine Grobübersicht über die zwei Teilbereiche Stark- und Schwachstromanlagen skizziert.

Starkstrom

Starkstromanlagen gliedern sich in die Bereiche Netzeinspeisung/Hausanschluss sowie Stromverteilung/Installationen. Die Stromverteilung wird nachfolgend weiter untersucht.

Netzeinspeisung/Hausanschluss

Unter Hausanschluss versteht man den Anschluss eines Gebäudes an das öffentliche Stromversorgungsnetz. Dieser besteht also im wesentlichen aus einer Leitung sowie einem Kabelschutzrohr. Neben den eigentlichen Anschlusskomponenten werden hier auch Transformatoren dazugezählt, die nötigenfalls die Mittelspannung auf Niederspannung umwandeln.

Anstelle des Anschlusses an das öffentliche Stromnetz können auch sogenannte Eigenstromversorgungsanlagen die Stromversorgung gewährleisten. Dabei unterscheidet man zwischen Anlagen, die der Notstromversorgung dienen (Netzersatzanlagen / Notstromaggregate, Batterieanlagen, und Unterbrechungsfreie Stromversorgung USV) und solchen, die generell einen Teil der elektrischen Energie bereitstellen (Blockheizkraftwerke BHKW, Photovoltaik).

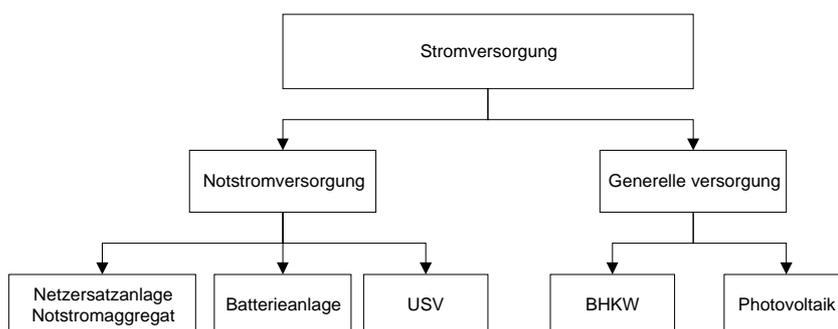


Abbildung 5: Arten der Stromversorgung

Zusätzlich zu den eigentlichen Stromversorgungsanlagen bzw. zum Hausanschluss können auch Sonderspannungsanlagen erwähnt werden. Diese dienen der Umformung des Stroms, wenn Sonderspannungen oder Normspannungen mit abweichenden Frequenzen benötigt werden (EDV-Anlagen z.B.). Dabei unterscheidet man zwischen Motor-Generator-Sätzen und Unterbrechungsfreier Stromversorgung.

Stromverteilung/Installationen

Vom Hausanschluss führen sogenannte Hauptleitungen zu den einzelnen Zählern. Davon führen Leiter zum Stromkreisverteiler, der im allgemeinen im Schwerpunkt der Wohnung liegt. Über weitere Kabelleitungen wird danach der Strom zu den Verbrauchsmitteln (Steckdosen, Beleuchtungsauslässe oder Geräteanschlussdosen) geführt.

Die Kabelleitungen werden meist in Rohrinstallationen, d.h. Lehrrohren aus Kunststoff oder Metall, oder in Kanälen geführt. Dabei sind letztere Schienensysteme, die meist an den Decken befestigt sind, und in denen die Kabel versorgt sind.

Bei den Kabelkanälen unterscheidet man zwischen Brüstungs- und Bodenkanälen. Brüstungskanäle werden v.a. da eingesetzt, wo nicht allzu viele Installationen notwendig sind und Heizkörper und Brüstungsklimageräte eine Brüstungsverkleidung mit sich bringen.

Kabel bestehen aus einem bis mehreren Leitern und einer alle Leiter umschliessenden Isolation. Spezialkabel werden aufgeteilt in schwerbrennbare Kabel, Sicherheitskabel sowie abgeschirmte Kabel (Kommunikationstechnik).

Um den Gefahren von gefährlichen Berührungsspannungen in den metallenen Rohrsystemen für Gas, Wasser, Heizung usw., die durch Isolationsfehler in den Starkstromleitungen entstehen, vorzubeugen, werden Fundamenterder und Hauptpotentialausgleichsleiter instal-



liert, die den Zusammenschluss aller grösseren leitfähigen Teile innerhalb eines Gebäudes ermöglichen.

Im Zusammenhang mit den Erdungsmassnahmen sind auch die Blitzschutzanlagen zu erwähnen. Diese dienen einerseits der Abführung der auftretenden elektrischen Ladungen in die Erde, ferner haben sie die Aufgabe, die bei einem Blitzschlag im Gebäude auftretenden Überspannungen durch entsprechende Leiter für empfindliche Elektrogeräte unwirksam zu machen. Sie bestehen aus Fangeinrichtung, Ableitung und Erdung.

Als Installationen sind Schalter und Stecker zu nennen, während Isolierungen aus Kunststoff die wichtigste Schutzmassnahme gegen gefährliche Körperströme darstellen.

Schwachstromanlagen

Wie schon erwähnt, dienen Schwachstromanlagen im weitesten Sinne der Nachrichtenübermittlung.

Dabei unterscheidet man im wesentlichen vier verschiedene Typen:

- Haussignalanlagen dienen der Kommunikation zwischen Eingang und Wohnung. Dazu gehören Klingel-, Türöffner-, Haussprech- und Haussehanlagen.
- Fernsprecheinrichtungen bzw. Telefonanlagen
- Rundfunk- und Fernsehempfangsanlagen, d.h. Kabelanschluss, Antennenanlagen und Satellitenempfang
- Sonderanlagen wie Gebäudeleittechnik-, Gefahrenmelde-, Überwachungs-, Uhren- und Kontroll-, Ton- und Fernsehübertragungs- sowie Mess- und Regelanlagen

Vorgehen

Allgemeines Vorgehen

Der Ansatz dieser Arbeit basiert auf einer Massenanalyse von ausgewählten Komponenten in zwei verschiedenen Gebäuden, welche als Fallbeispiele dienen. Als Methode wurde nicht die detaillierte Ökobilanz gewählt, sondern es wurden jeweils nur die Masseninhalte der ausgewählten Komponenten grob erfasst. Dabei wurden wiederum auch nur die mengenmässig wichtigsten Materialien berücksichtigt.

Wie in

Abbildung 6 dargestellt wurden also weder vorgelagerte (Herstellung, Transport, Installation etc.) noch nachgelagerte (Transport, Entsorgung etc.) Prozesse betrachtet.

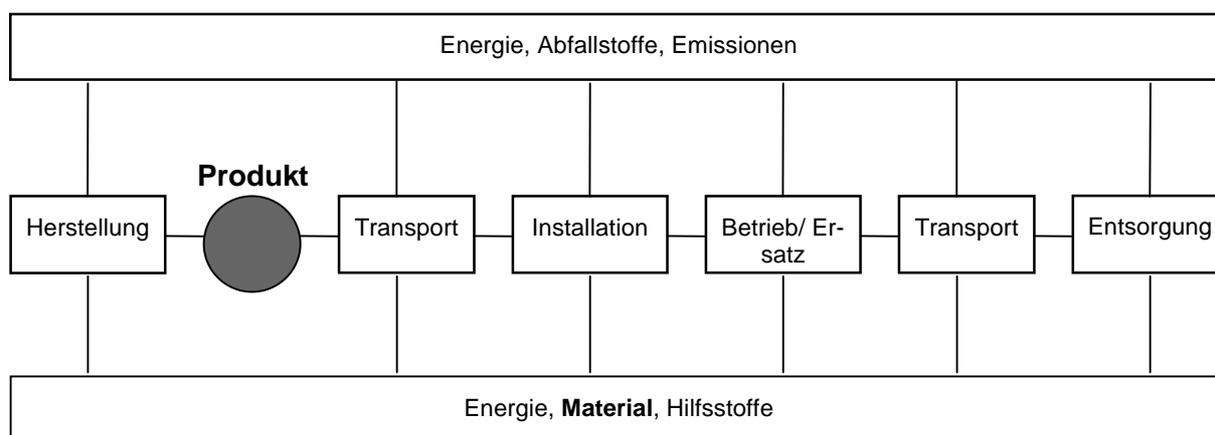


Abbildung 6: Darstellung der Lebenszyklus-Stufen eines Produktes. In dieser Arbeit wurde nur der Materialinhalt, resp. das entsprechende Energieäquivalent der Produkte (Komponenten) erfasst.

Das Vorgehen gliedert sich in folgende Schritte:

1. Auswahl von relevanten Komponenten aufgrund der Einsatzhäufigkeit in Wohn- und Dienstleistungsgebäuden sowie ihrer voraussichtlichen Materialmenge. Die Auswahl erfolgte nach Interviews mit Fachplanern, Lieferanten und Herstellern.
2. Bilanzierung der wichtigsten Materialmassen der ausgewählten Haustechnik-Komponenten eines Wohn- und eines Bürogebäudes. Dabei wurden die jeweiligen Devis zur Berechnung verwendet. Angaben bezüglich der Materialzusammensetzung der einzelnen Komponenten konnten Produkteprospekten entnommen werden oder stützen sich auf mündliche Aussagen von Herstellern. Teilweise wurde die ursprüngliche Kompo-

tenliste den gewonnenen Erkenntnissen entsprechend angepasst (Ergänzung um weitere respektive Vernachlässigung von Komponenten).

3. Aggregation der Daten auf Stufe Komponente / Gewerk, Analyse und Diskussion der Resultate im Vergleich mit dem Gesamtgebäude und dessen Betriebsaufwand.

Definition Komponenten

Sichten Devis

Definition Material

Aggregation Massen Auswertungen

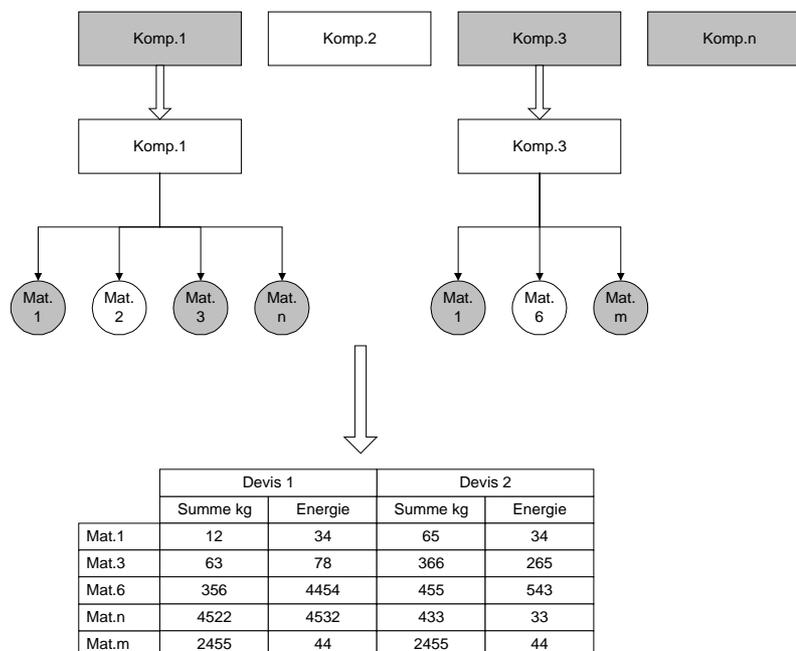


Abbildung 7: Darstellung des Vorgehens

Auf die Vor- und Nachteile dieses Ansatzes wird in Kapitel 0 näher eingegangen.

Beschrieb der ausgewählten Bauobjekte

Bei den ausgewählten Gebäuden, deren Haustechnik-Komponenten bilanziert wurden, handelt es sich um eine Wohnsiedlung sowie ein Bürogebäude.

Kappeli

Die Wohn-Überbauung Kappeli in der Stadt Zürich wurde 1996 projiziert, bis jetzt jedoch nicht gebaut. Sie hätte aus ca. 202 Wohnungen (2 ½ - 5 ½ Zimmer), 30 Ateliers, 8 Studios, 10 Bastel- und 2 Lagerräumen sowie einem Kindergarten bestehen sollen. Die gesamte Bruttogeschossfläche betrug rund 35'000m². Für die Heizung des Gebäudes wurde die Fernwärmeheizung mit Wärmeabgabe über verschiedene Heizkörper (Säulenradiatoren, Konvektoren, Handtuchheizkörper sowie Flachrohrheizwand) vorgesehen, während die Lüftung der Nasszellen und Küchen über Ventilatoren in Unterputz geplant wurde. Für das Warmwasser Sanitär wären 1500-Liter-Boiler zum Einsatz gekommen.

Elektrolux

Das zweite Gebäude, Electrolux, ist ein Bürogebäude, welches jedoch zusätzlich noch vier 3 ½ -Zimmerwohnungen enthält. Die gesamte Bruttogeschossfläche beträgt 5'000m², wobei der Anteil der Wohnungen 402m² resp. 8% beträgt. Dieser Wohnanteil wurde in der Diskussion (vgl. Kapitel 0) vernachlässigt. Das Gebäude wurde im Sommer 1990 projektiert. Für die Heizung wurde ein Gaskessel, für die Wärmeabgabe wurden Radiatoren (bei den Wohnungen zusätzlich auch eine Fussbodenheizung) eingeplant. Zur Belüftung kommen zwei Monoblocs mit ca. 17'000 m³/h resp. 650m³/h Luftmenge, für die Kälte eine Kältemaschine mit Umluftgerät und Rückkühleinheit zum Einsatz. Für das Warmwasser wurde ein 1500-Liter-Boiler eingesetzt, während die Wasserverteilung über Eisen-, Kupfer- oder Kunststoffrohre erfolgt.

Ausgewählte Komponenten

Die nach dem Literaturstudium und Gesprächen mit den Fachplanern zur weiteren Untersuchung bestimmten Komponenten sind nach Gewerk in folgender Tabelle aufgeführt:

Heizung	Lüftung	Klima	Sanitär	Elektro
Heizkessel inkl. Gasbrenner und Expansionsgefäß	Monobloc	Kältemaschine	Wassererwärmer	Kabel
Pumpen	Ventilatoren	Umluftkühlgerät	Pumpen	Rohre
Leitungen	Kanal	Rückkühlsystem	Leitungen	Kanäle
Dämmung	Rohr	Dämmung	Dämmung	Fundamenterde
Heizkörper	Dämmung		Filter	
Fussbodenheizungen				

Tabelle 2: Ausgewählte Komponenten je Gewerk

Bei der Einschränkung auf die in der Tabelle aufgeführten Komponenten waren untenstehende Ausschlusskriterien ausschlaggebend. Komponenten, welche schon von vornherein nach diesen Kriterien ausgeschlossen wurden, sind dabei in Klammern aufgeführt.

- Die Komponente wird weder heute noch in Zukunft in Wohn- und Dienstleistungsgebäuden verwendet (z.B. Nasswäscher).
- Die Komponente kommt sehr selten zur Anwendung oder ist für das Funktionieren der Anlage von geringerer Bedeutung.
- Die entsprechende Komponente ist schon genügend untersucht worden, d.h. es bestehen schon Ökoinventardaten (Heizung: Sonnenkollektoren, Wärmepumpe; Elektro: Photovoltaik)



- d) Die jeweilige Komponente ist ohne umfassende Berechnung oder genaue Kenntnis der Materialströme im Vergleich zu anderen Komponenten mit ca. derselben Materialzusammensetzung vernachlässigbar, bzw. der mengenmässig wichtigeren Komponente zurechenbar (Heizung: Abgasklappen/Nebenstromvorrichtungen; Lüftung: Volumenstrom-, Mischregler; Sanitär: Feuerlöschanlage, Abläufe).
- e) Die Komponente wurde von vornherein durch die Wahl des Betrachtungsbereichs oder der Systemgrenzen aus der Untersuchung ausgeschlossen (siehe (Regeleinrichtungen, Armaturen)).
- f) Die Komponente weist sowohl eine zu komplexe Materialzusammensetzung auf (Herstellerabhängig, keine Daten vorhanden etc.) und ist auch mengenmässig vernachlässigbar.

Die Selektion erfolgte also teils aufgrund gesicherter Tatbestände (Ökoinventardaten schon vorhanden), teils aber auch aufgrund von groben Grössenordnungsabschätzungen und dem Bestreben, die Komponentenliste vorerst im Hinblick auf die limitiert zur Verfügung stehende Zeit einzugrenzen. Wollte man dem Anspruch der Vollständigkeit jedoch entsprechen, wären natürlich alle Komponenten, die nicht schon umfassend bilanziert worden sind, in die Untersuchung einzubeziehen.

Resultate und Diskussion

Um eine Diskussion bezüglich der Umweltrelevanz der Haustechnik zu ermöglichen, müssen die erhobenen Haustechnikdaten nicht nur innerhalb der einzelnen Gewerke, sondern auch mit Daten anderer Bereiche verglichen werden. Die nachfolgenden Resultate, deren Analyse und Diskussion basieren auf Vergleichen zwischen den in Abbildung 8 dargestellten Bereichen Herstellung Gebäude, Herstellung Haustechnik und Betrieb.

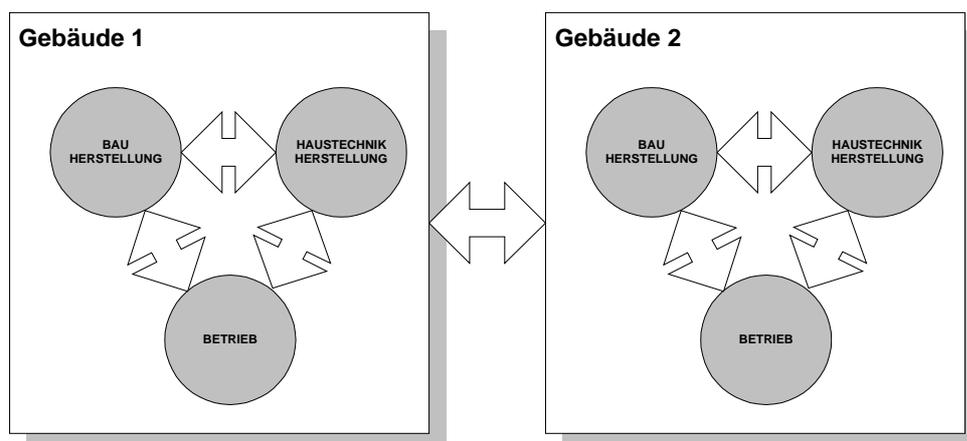


Abbildung 8: Umfeld der zu berücksichtigenden Bereiche. Verglichen wurden Materialeinsatz, Energieäquivalent und Ecoindikatorpunkte.

Relevante Komponenten

In Tabelle 4 sind die wichtigsten Komponenten inklusive ihrer Materialien nach der Masse geordnet dargestellt. Die ausführlichen Resultattabellen sind in Anhang 0 (Resultate: Materialinhalt der Komponenten nach Gewerk) aufgeführt. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Leitungen bzw. Kanäle, Rohre und Kabel in allen Gewerken (ausser Kälte) und bei beiden Gebäudetypen bezüglich Massenanteil zu den wichtigsten Komponenten zu zählen sind. Ebenfalls von grosser Bedeutung scheint die Dämmung zu sein sowie die Heizkörper, die bei Kappeli sogar den grössten Massenanteil überhaupt stellen. Auffallend ist, dass bei beiden Gebäudetypen die Rangfolge der Komponenten recht gut übereinstimmt.

Kappeli			
Gewerk	Komponenten	Menge [kg]	Materialien
Heizung	- Heizkörper	110'000	Stahl unlegiert
	- Leitungen	31'000	Stahl unlegiert, VPE
	- Wärmetauscher	2'500	Stahl unlegiert, Stahl hochlegiert
	- Dämmung	1'800	Mineralwolle, Aluminium, PE
	- Pumpen	400	Gusseisen, Stahl unlegiert
Lüftung	- Kanäle	22'300	Stahl verzinkt
	- Rohre	3'500	Stahl verzinkt
	- Dämmung	4'400	Mineralwolle, Aluminium
	- Ventilator	1'200	PE, Stahlblech verzinkt

Gewerk	Komponenten	Menge [kg]	Materialien
Sanitär	- Verteilleitungen	25'000	PE, Stahl hochlegiert , PP, VPE, PB
	- Abwasserleit.ung	2'500	PE
	- Dämmung	4'500	Gummi, PIR, PVC
	- Wassererwärmer	1'800	Stahl hochlegiert
	- Pumpen	200	Gusseisen , Stahl unlegiert,
Elektro	- Kabel	33'600	Kupfer , PVC
	- Rohre	10'000	PVC , Aluminium
	- Kanäle	5'000	Stahl verzinkt
	- Fundamenterder	1'800	Stahl verzinkt

Tabelle 3: Mengenmässig relevante Komponenten nach Gewerk für Kappeli. Die Mengenangaben sind dabei gerundete Werte der Tabelle 8 bis Tabelle 11. Bei Bereichsangaben wurde das arithmetische Mittel gebildet. Die fettgedruckten Materialien bilden den Hauptbestandteil der entsprechenden Komponente.

Electrolux			
Gewerk	Komponenten	Menge [kg]	Haupt-Materialien
Heizung	- Heizkörper	11'000	Stahl unlegiert
	- Leitungen	7'600	Stahl unlegiert
	- Fussbodenheizg.	1'600	Aluminium , Polystyrol, PE
	- Dämmung	1'200	Mineralwolle, Gummi , Aluminium, PVC
	- Heizkessel	1'000	Stahl unlegiert , Stahl niedriglegiert
	- Pumpen	200	Gusseisen , Stahl unlegiert, Kupfer
Lüftung	- Kanäle	12'000	Stahl verzinkt
	- Rohre	5'600	Stahl verzinkt
	- Monobloc	2'700	Stahl verzinkt , Aluminium
	- Dämmung	330	Mineralwolle
Kälte	- Dämmung	4'800	Mineralwolle , PIR, Aluminium, PVC
	- Kältemasch.	1'500	Stahl verzinkt , Aluminium, Stahl hochlegiert
	- Rückkühleinh.	1'500	Stahl unlegiert , Gusseisen, Kupfer
Sanitär	- Verteilleitungen	3'700	Stahl unlegiert , PE, PP
	- Abwasserleitungen	12'100	Gusseisen
	- Dämmung	1'100	PIR , Mineralwolle, Gummi, PVC, Aluminium
	- Wassererw.	550	Stahl hochlegiert , Mineralwolle, Aluminium
	- Pumpen	300	Gusseisen Stahl unlegiert
Elektro	- Kabel	6'700	Kupfer , PVC, PUR
	- Kanäle	5'400	Stahl verzinkt
	- Rohre	1'000	PVC , Stahl verzinkt, PE, PP
	- Fundamenterder	50	Stahl verzinkt

Tabelle 4: Mengenmässig relevante Komponenten nach Gewerk für Electrolux. Die Mengenangaben sind dabei gerundete Werte der Tabelle 8 bis Tabelle 11. Bei Bereichsangaben wurde das arithmetische Mittel gebildet. Die fettgedruckten Materialien bilden den Hauptbestandteil der entsprechenden Komponente.

Anteil der Gewerke an der gesamten Haustechnik

Der nachfolgend dargestellte Sachverhalt ist interessant bezüglich Abschätzungen des Einflusses der Gebäudenutzung (Wohnen / Büro) auf die Anteile der einzelnen Gewerke am Gesamtgebäude. Für fundierte Aussagen müssen sicher zusätzliche Objekte analysiert werden.

Die Abbildungen in diesem Kapitel zeigen einerseits den prozentualen Anteil der Gewerke an der Haustechnik-Gesamtmasse resp. an der Herstellungsenergie des Gesamtgebäudes und andererseits deren Massendichte (kg/m^2 Energiebezugsfläche), resp. Energiedichte (MJ/m^2 Energiebezugsfläche). Dabei ergeben sich Unterschiede zwischen den zwei Gebäudetypen. Der Unterschied im Sanitärbereich ist darauf zurückzuführen, dass bei Electrolux beim Abwassersystem in erster Linie Leitungen aus Gusseisen, in Kappeli solche aus PE

eingesetzt wurden. Gusseisenrohre schlagen aufgrund ihres Gewichts pro Laufmeter (grosse Wandstärke) stark zu Buche.

Das ist ebenfalls erkennbar an der starken Zunahme des Sanitärenergieanteils von Kappeli in der Abbildung 10. Daraus ist ersichtlich, dass aus Anteilsverschiebungen zwischen Masse und Energie einer Komponente in verschiedenen Gebäuden geschlossen werden kann, dass sehr wahrscheinlich andere Produkte (Gusseisen- versus PE-Rohr) verwendet wurden.

Beide Objekte weisen eine ähnliche Energiedichte der Heizung auf.

Der Lüftungsanteil als auch deren Massendichte ist im Bürogebäude erwartungsgemäss grösser als im Wohnungsbau. Die Massendichten der Heizung der beiden Objekte sind in etwa gleich.

Der Massen-, resp. der Energieanteil Elektro ist hoch, unter Berücksichtigung, dass nur die Verteilung bilanziert wurde.

Die Aufteilung nach Energie und Massen ist innerhalb der beiden Objekte gleich. Das kann bedeuten, dass in etwa dieselben Komponenten / Materialien eingesetzt werden unabhängig von der Gebäudenutzung. Die Ausnahme bildet wie erwähnt der Sanitärbereich.

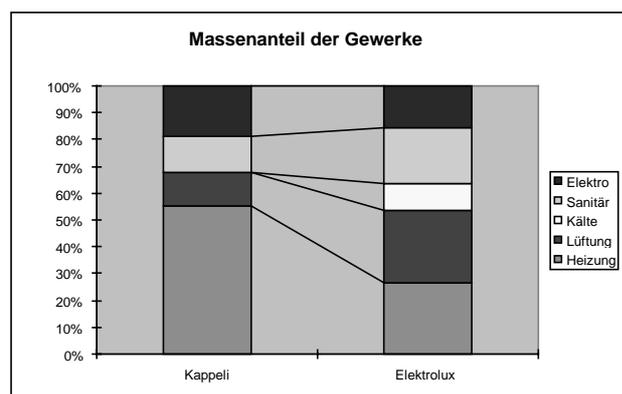


Abbildung 9: Massenanteil der Gewerke an der gesamten Haustechnik-Masse.

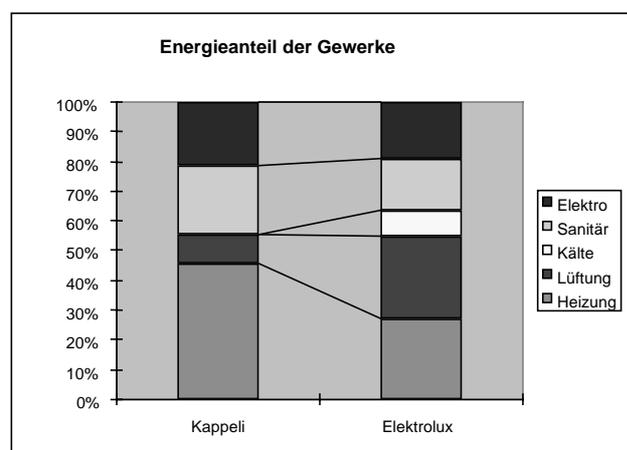


Abbildung 10: Energieanteil der Gewerke an der gesamten Haustechnik-Herstellungsenergie

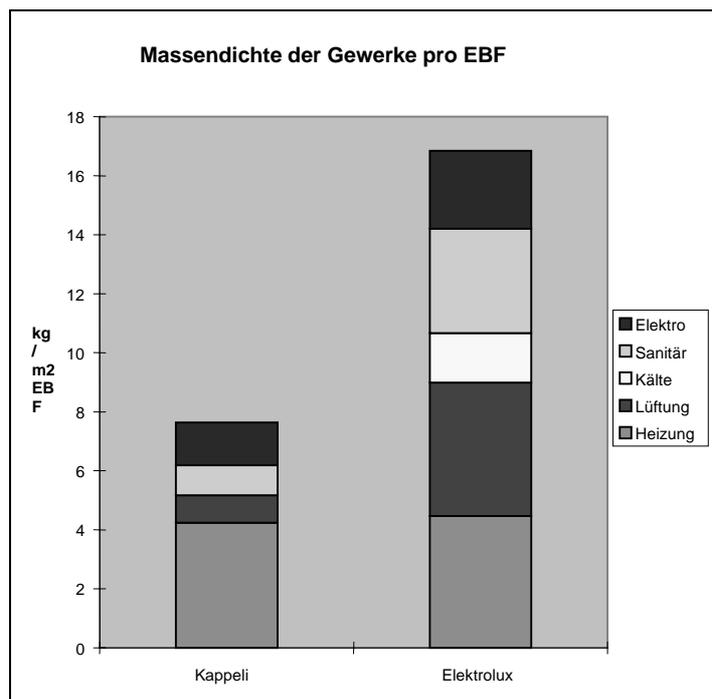


Abbildung 11: spezifischer Massenanteil pro Energiegeschossfläche und Gewerk

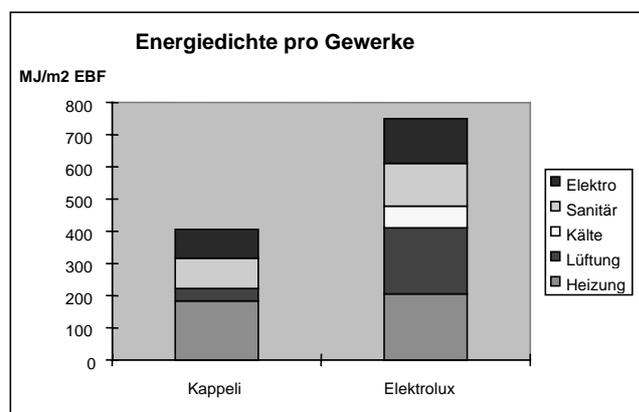


Abbildung 12: spezifischer Energieanteil pro Energiegeschossfläche und Gewerk

Aus Abbildung 11 und Abbildung 12 ist ersichtlich, dass bei Kappeli die Heizung rund die Hälfte der Haustechnik ausmacht, während bei Elektrolux Heizung und Lüftung zusammen rund 50% ergeben. Ob diese Aussage generell für Wohn-, resp. Bürogebäude gültig ist, sollte weiter untersucht werden.

Anteil der Haustechnik-Masse an der gesamten Gebäudemasse

Um die Werte aus der Massenbilanz in Relation zum Gesamtgebäude setzen zu können, wurden die addierten Massen der Haustechnikkomponenten durch die gesamte Energiebezugsfläche des entsprechenden Gebäudes dividiert und mit Werten für das Gesamtgebäude verglichen. Diese Werte ($\text{kg} / \text{m}^2 \text{ EBF}$) wurden einer Untersuchung von [Kasser, Pöll 1997]

entnommen¹. Dabei handelt es sich um zwei MFH, wobei das eine konventionell, das andere als Niedrigenergiehaus konzipiert ist.

Auf diese Weise wurden im Falle von Electrolux die Haustechnik-Werte mit den Gesamtwerten eines anderen Gebäudetyps verglichen, welches nicht als korrekt angesehen werden kann. Der Vergleich wurde mangels geeigneter Daten für ein Bürogebäude dennoch durchgeführt, um eine grobe Grössenabschätzung zu erhalten.

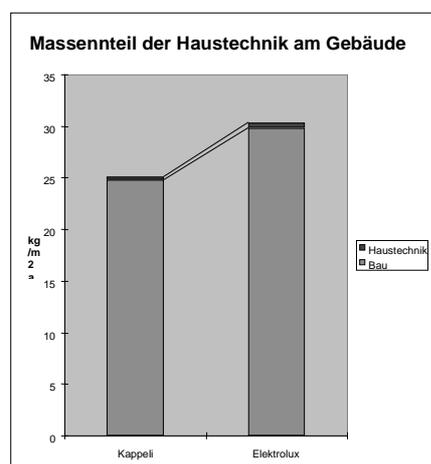


Abbildung 13: Anteil der Haustechnik-Masse an der gesamten Gebäude-Masse

Wie aus Abbildung 13 hervorgeht, beträgt der Anteil der Haustechnik-Masse an der gesamten Gebäudemasse unter Berücksichtigung der Lebensdauer² der einzelnen Komponenten bzw. des Gesamtgebäudes bei Kappeli rund 1%, während der Anteil bei Electrolux mit ca. 2.3% etwas höher liegt.

Zum Vergleich sei auf die Studie [VDI 1997] hingewiesen. Danach beträgt der Massenanteil der Haustechnik (Elektro, Sanitär, Wärmeversorgung) mit 2.4t rund 0.6% der gesamten Gebäudemasse (391t für Fundament und Keller, Baukonstruktion sowie Haustechnik) eines Niedrigenergie-Einfamilienhauses mit 120m² Fläche.

In den Werten der Studie [VDI 1997] wurden allerdings die Lüftung sowie die Klimaanlage nicht berücksichtigt. Der Anteil der Lüftungsmasse an der gesamten Haustechnik-Masse beträgt gemäss unserer Massenbilanz (ohne Berücksichtigung der Lebensdauer) ca. 13% resp. 20% (Kappeli bzw. Electrolux). Der entsprechende Wert für die Kälteanlagen beträgt 4.8% (Electrolux). Unter der Annahme, dass diese Daten mehr oder weniger adäquat sind, kann man daraus für das in [VDI 1997] beschriebene Gebäude neu den totalen Anteil der Haustechnik an der gesamten Gebäudemasse abschätzen. Dieser würde sich bei einer totalen Haustechnikmasse von 2.82t von 0.6% auf 0.72% erhöhen.

¹ Da die Werte für die Gesamtgebäude von [Kasser, Pöll 1997] die Haustechnik nicht berücksichtigen, wurden die in dieser Arbeit für die Haustechnik bilanzierten Massenwerte/m² zu diesen Werten hinzugezählt. Die so erhaltenen Gesamt-Massenwerte wurden danach für den Massenvergleich verwendet.

² Die Angaben bezüglich mittlerer Lebensdauer von einzelnen Komponenten bzw. Gesamt-Gebäuden stammen aus [AfB 1995]. Dabei wurde für ein Wohnhaus eine Lebensdauer von 60 Jahren, für ein Verwaltungsgebäude eine solche von 50 Jahren angenommen. Allfällige Renovationsarbeiten wurden dabei in diese Lebensdauerzeiten inkludiert. Genaue Angaben zu den Lebensdauerzeiten der einzelnen Komponenten finden sich in Anhang 0.



Im Vergleich zu diesen %-Anteilen scheinen die für die Haustechnik von Kappeli und Electrolux ermittelten Werte realistisch zu sein.

Wie aus Abbildung 13 ersichtlich ist, ist der Anteil der Haustechnik an der Gesamt-Gebäudemasse bei Electrolux höher als bei Kappeli. Da bei beiden Gebäuden die gleichen Kriterien bei der Auswahl der zu bilanzierenden Komponenten angewendet wurden, kann dieser Unterschied ein Indiz für die unterschiedliche Nutzung der Gebäude sein (Wohn- versus Bürogebäude). Um diesem Unterschied auf den Grund zu gehen, wurde versucht, die jeweiligen Komponentenmassen der beiden Gebäude miteinander zu vergleichen.

Komponente	Kappeli [kg/ m²]	Electrolux [kg/ m²]
Heizung		
Dämmung	0.05-0.06	0.16-0.31
Heizkessel		0.2
Leitungen	0.9	1.5
Pumpen	0.01	0.03
Heizkörper inkl. Fussbodenheizung	2.9-3.5	2.5
Platten-Wärmetauscher	0.08	
Lüftung		
Monobloc und Ventilator	0.04-0.05	0.55
Kanal	0.64	2.3
Rohr	0.1	1.01-1.23
Isolation	0.15	0.52
Klima		
Isolation		0.96-1.0
Kältemaschine m. Umluftkühlgerät und Rückkühleinheit		0.7

Sanitär		
Leitungen	0.79	3.14
Pumpen	0.005	0.06
Wassererwärmer	0.05	0.1
Dämmung	0.13-0.22	0.15-0.35
Elektro		
Kabel	0.97	1.34
Rohre	0.3	0.2
Kanäle	0.14	1.08
Fundamenterder	0.05	0.01

Tabelle 5: Massen der einzelnen Komponenten pro m² ohne Berücksichtigung der Materialien. Unterschiede zwischen den beiden Gebäuden, die mehr als einen Faktor 10 betragen, sind grau eingefärbt.

Wie Tabelle 5 zeigt, ergeben sich teilweise Unterschiede zwischen den Gebäuden. Die Werte für Electrolux liegen durchwegs ca. um eine Grössenordnung höher als diejenigen von Kappeli (vor allem im Bereich Lüftung und Sanitär).

Dabei ist es nicht erstaunlich, dass die Lüftungsmassen beim Bürogebäude viel höher sind als beim Wohnhaus, wo praktisch keine Lüftungselemente eingesetzt werden (vgl. [SIA 380/1]). Die sanitäre spezifische Leitungsmasse beim Bürogebäude ist wegen der Verwendung von Gusseisenrohren ca. fünfmal höher ist als beim MFH.

Diese Ausführungen stellen lediglich Vermutungen dar. Neben den unterschiedlichen Gebäudenutzungsformen spielen natürlich auch andere Faktoren wie Gebäudeausrichtung, Gebäudenutzung und -dämmung etc. eine wesentliche Rolle. Eine Verallgemeinerung oder endgültige Schlussfolgerungen sind deshalb aufgrund der geringen Gebäudeanzahl und der Nichtberücksichtigung dieser Faktoren nicht möglich.

Herstellungsenergie Haustechnik / Gebäude versus Betriebsenergie

Analog zum Vergleich der Massen Haustechnik/Gesamtgebäude wurde ein Vergleich der entsprechenden Herstellungsenergien angestellt. Dafür mussten die durch die Bilanz erhaltenen Massenwerte erst in die entsprechenden Energiewerte umgerechnet werden, welches anhand von den in [Kasser, Pöll 1995] aufgeführten Herstellungsenergien geschah. Durch Berücksichtigung der Lebensdauer der jeweiligen Komponenten [AfB 1995] konnten die so erhaltenen Werte auf ein Jahr bezogen werden. Die genaue Auflistung der angenommenen Herstellungsenergien sowie der jeweiligen Lebensdauer ist im Anhang (0) und (0) zu finden.

Die Werte für die Gesamtgebäude wurden wiederum [Kasser, Pöll 1995] entnommen, wobei der für die Haustechnik bilanzierte Wert dazuaddiert wurde. Diese Werte (konventioneller Bau: 75-93MJ/m²a) stimmen mehr oder weniger mit den in [SIA D0118] aufgeführten Werten



überein (Herstellungenergie MFH: Gesamtgebäude ca. 75MJ/m²a, Büro: Gesamtgebäude ca. 100MJ/m²a).

Wie in Tabelle 6 dargestellt ist, beträgt der Anteil der Herstellungenergie für die Haustechnik Kappeli an der Herstellungenergie für das Gesamtgebäude ca. 15%, während der Anteil bei Electrolux mit ca. 30% um einiges höher liegt. Verglichen mit dem Massenanteil der Haustechnik von 1- 2.3 % am Gesamtgebäude liegt hier der Anteil höher, was auf den Einsatz von wesentlich energieintensiveren Materialien schliessen lässt.

Anteil der Herstellungenergie Haustechnik an der Herstellungenergie Gesamtgebäude		
	MFH	Bürogebäude
A+W	15%	30%
VDI	12 - 16%	
SIA D0118	23%	8%

Tabelle 6: Anteil der Herstellungenergie für die Haustechnik an der Herstellungenergie für das Gesamtgebäude

Zum Vergleich sei auf die Studie [VDI 1997] sowie auf [SIA D0118] hingewiesen. Nach [VDI 1997] beträgt der Anteil der Herstellungenergie für die Haustechnik (Elektro, Sanitär, Wärmeversorgung) mit 0.12TJ rund 8% an der gesamten Herstellungenergie (1.5TJ für Fundament und Keller, Baukonstruktion sowie Haustechnik) eines Niedrigenergie-Einfamilienhauses mit 120m² Fläche. Versucht man diese Werte für die Herstellungenergien auf m² und Jahr umzurechnen, erhöht sich dieser Anteil auf 12% bis 16% (angenommene durchschnittliche Lebensdauer für die Hauskomponenten 30 bis 40 Jahre, für ein Einfamilienhaus ca. 60 Jahre). Dieser Wert stimmt also recht gut mit dem für Kappeli berechneten Anteilswert überein.

Ein etwas anderes Ergebnis ist in [SIA D0118] zu finden. Danach beträgt der Anteil der Haustechnik für ein Mehrfamilienhaus mit 17MJ/m²a ca. 23% an der gesamten Herstellungenergie, während der Anteil der Haustechnik für ein Bürogebäude mit ca. 8MJ/m²a ca. 8% beträgt, damit also wesentlich geringer ist als der Wert für ein MFH und im Gegensatz zu den durch die Bilanz ermittelten Werte. Da nicht bekannt ist, wie die in [SIA D0118] ausgewiesenen Werte zustande kamen, lässt sich an dieser Stelle diesbezüglich keine Aussage machen. Dieser Unterschied sollte jedoch weiter untersucht werden (vgl. 0).

Ein weiterer interessanter Vergleich kann zwischen der Herstellungenergie für die Haustechnik-Komponenten, dem Gebäude und der Betriebsenergie des Gebäudes angestellt werden. Zur Ermittlung der Betriebsenergie wurde anhand [SIA 380/1] und [SIA 380/4] versucht, den Energiebedarf für ein Mehrfamilienhaus sowie ein Bürogebäude abzuschätzen. Gemäss [SIA 380/1] ergibt sich somit für ein Mehrfamilienhaus eine Energiekennzahl³

³ Energiekennzahl: dem Gebäude zugeführte Energie (aus Heizenergiebedarf, Energiebedarf und Nutzungsgrad). Dabei unterscheidet man in Energiekennzahl Wärme (Raumheizung, Warmwasser) und Licht/Kraft/Prozesse. Letztere umfasst bei einem Wohnhaus die Energie für Licht, Unterhaltungselektronik, (Wasch-)Küche, Hilfsenergie (Pumpen, Ventilatoren etc.).

Raumheizung bzw. Wärme von 280 - 410 MJ/m²a sowie eine Energiekennzahl Elektrizität von 100-150MJ/m²a, d.h. ein Total von 420 – 510 MJ/m²a.

Zur Abschätzung der Betriebsenergie eines Bürogebäudes wurden nebst den Angaben in [SIA 380/1] auch die Energiekennzahl-Grenzwerte nach [SIA 380/4] zu Hilfe genommen. Demgemäss beträgt die Energiekennzahl Raumheizung für ein Bürogebäude ca. 240MJ/m²a, währenddem der Grenzwert für die Energiekennzahl Elektrizität 320MJ/m²a beträgt (total ca. 560MJ/m²a). Im letzteren inbegriffen ist der Elektrizitätsbedarf für Arbeits-hilfen (Computer, Faxmaschinen etc.), Beleuchtung, Lüftung/Klima, diverse Technik (Pum-pen), Zentrale Dienste (Telefonzentralen, USV-Anlagen, Zentrale EDV-Anlagen etc.) sowie Elektrowärme (Wärmepumpen, Wassererwärmer, Elektrische Begleitheizungen etc.).

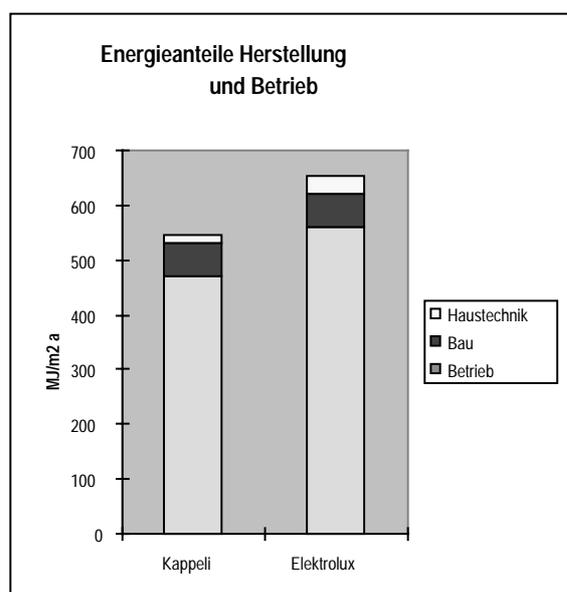


Abbildung 14: Herstellungsenergie der Haustechnik-Komponenten versus Betriebsenergie

Wie aus Abbildung 14 hervorgeht, beträgt der Anteil der Herstellungsenergie der Haustechnik an der Betriebsenergie unter Berücksichtigung der Lebensdauer zwischen 2.3% und 5%. Diese Feststellung wird in [VDI 1997] bestätigt, indem dort postuliert wird, dass der Herstellungsaufwand den Energieverbrauch während der Gebäudenutzungsdauer nicht nachhaltig beeinflusst. Diese Ansicht wird auch in [SIA D0118] vertreten.

Andererseits wird in [Kasser, Pöll 1995] gezeigt, dass sich der Energieaufwand für die Herstellung bei zunehmendem Einsatz von energieeffizienten Komponenten an den Energieaufwand während des Betriebs angleicht. Daraus lässt sich schliessen, dass das Verhältnis von Energieaufwand Herstellung zu Energieaufwand Betrieb stark von den eingesetzten Komponenten respektive den gewählten Anlagentypen abhängig ist und somit die Bedeutung der Herstellungsenergie nicht generell vernachlässigt werden darf.

Vergleich Ecoindikatorpunkte (EIP) Haustechnik versus Betrieb

Die in diesem Kapitel ausgewiesenen Resultate können nur als Hinweis für die Umweltrelevanz der Herstellung der Haustechniksysteme im Vergleich mit der Gebäudeherstellung ge-

sehen werden. Auf die Problematik der Bewertung nach [Goedkoop 1995] wird nicht näher eingegangen.

Aufgrund fehlender Daten bezüglich Gebäude wird nachfolgend die Haustechnik nur mit der Betriebsenergie verglichen. Der in Kapitel 0 ausgewiesene jährliche Energieaufwand wurde mit dem in [Frischknecht et al., 1996] verwendeten Modul *Nutzwärme ab Heizung Low-Nox kond <100 kW* in EIP umgerechnet.

Alle bilanzierten Materialien mussten vorgängig auf bestehende Module von [Frischknecht et al. 1996] abgebildet werden. Die Ecoindikatorpunkte wurden anschliessend pro eingesetzten Materialien und Gewerk aufsummiert (Anhang 0). Abbildung 15 stellt die Haustechnik der Betriebsenergie bezüglich EIP pro m² und Jahr gegenüber. Bemerkenswert erscheint hier der prozentuale Anteil der Haustechnik am Betrieb mit 28 % (Kappeli), resp. 64% (Elektrolux). Diese Werte weisen daraufhin, dass durch umfassendere Betrachtung der Umwelteinflüsse die Haustechnik an Bedeutung gewinnt. Diese Tendenz wurde bereits mit dem Vergleich der Massendaten und den Energiedaten im Kapitel 0 aufgezeigt.

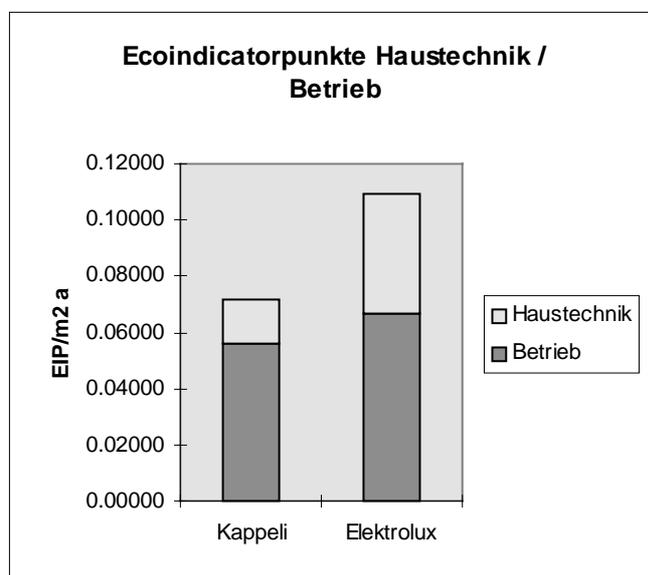


Abbildung 15: Vergleich Betriebsaufwand und Herstellungsaufwand Haustechnik mittels Ecoindikatorpunkten pro m² und Jahr

Fehlerdiskussion

Im folgenden sind einige Beispiele von Fehlern aufgeführt, die möglicherweise bei der Bilanzierung aufgetreten sind.

Vernachlässigung von Komponenten

Ein Versuch, den gewichtsmässigen Anteil der Sanitärarmaturen an der gesamten Leitungsmasse abzuschätzen, ergab, dass dieser für Kappeli ca. 10% beträgt. Dabei wurden unter Armaturen die Muffen, Reduktionen, Stopfen, Kappen, Kupplungen und Verschraubungen, Übergänge und Nippel etc. zusammengefasst. Nicht berücksichtigt wurden dabei



kleinere Geräte wie Manometer, Ventile, Druckminderer etc. Auch wenn diese Abschätzung wiederum mit Vorsicht zu geniessen ist und nicht alle vernachlässigten Teile berücksichtigt, kann sie doch als Indiz für die Aussagekraft der ermittelten Haustechnikmasse Sanitär gelten. Während der Anteil der Leitungsmasse an der gesamten bilanzierten Sanitärmasse 74% - 81.1% beträgt, würde somit durch Berücksichtigung der Armaturen die Gesamtmasse Sanitär um ca. 8% steigen. Da der Anteil der Leitungen bei den anderen Gewerken eher noch niedriger ist (ca. 70% bei der Lüftung, nur ca. 20% bei der Heizung), wird dadurch der durch die Vernachlässigung der Armaturen entstandene Fehler eher noch kleiner. Dies unter der Annahme, dass der Anteil der Armaturen an der Leitungsmasse bei den anderen Gewerken ebenfalls rund 10% beträgt.

Durch die Fokussierung der Bilanzierung im Bereich Elektro auf die Verteilung wurden Komponenten mit wenig Massenanteil vernachlässigt, die Problematik der Vernachlässigung von Materialien mit grosser Umweltrelevanz kann hier aber beträchtlich sein (Halbleiter, Glasfaser, etc.)

Falsche Materialannahme

Durch die Annahme von falschen Materialien wird die Massenberechnung der Komponenten (in kg) nur bezüglich der Leitungen sowie der Dämmung beeinflusst. Für die Leitungen wurden die im Devis ausgeschriebenen Meterlängen mit den entsprechenden Werten in kg/m multipliziert, für die Dämmung wurden die Massen anhand der Dichten berechnet, während die anderen Komponenten aufgrund von absoluten Herstellerangaben (beispielsweise kg Stahlblech verzinkt pro Heizkörper) bilanziert wurden.

Bezüglich der Leitungen wird von einer guten Datenqualität der berechneten Massen ausgegangen, da die Materialangaben in den Devis unmissverständlich sind und sehr gut mit den aus [VSSH 1993] verwendeten Daten übereinstimmen. Bei der Dämmung gilt dasselbe, es wurde jedoch zusätzlich die Unsicherheit bezüglich der Materialverarbeitung und der daraus folgenden unterschiedlichen Dichten in den Massenberechnungen dahingehend berücksichtigt, indem für die einzelnen Materialien ein Dichtebereich angenommen wurde.

Aus diesen Gründen kann angenommen werden, dass der Fehler durch falsche Materialannahme (unter der Voraussetzung der richtigen Massenangaben durch die Hersteller) für die Massenberechnung gering ist.

Für die Berechnung der grauen Energie sowie für eine allfällige Bewertung der Materialflüsse durch eine Ökobilanzbewertungsmethode hängt die Genauigkeit der Daten jedoch zusätzlich auch von der Richtigkeit der Materialangaben der Hersteller ab. Je nachdem, welcher Kunststoff wirklich verwendet wurde, beträgt die graue Energie zwischen 67 und 95MJ/kg für die in dieser Arbeit bilanzierten Kunststoffe (Stähle: 39.5 - 140MJ/kg). Da von dieser Unsicherheit jedoch die Leitungen und die Dämmung aufgrund der genauen Materialangaben im Devis kaum betroffen sind, diese jedoch massenmässig den grössten Anteil stellen, kann man davon ausgehen, dass der dadurch entstandene Fehler v.a. bei der Heizung (massenmässiger Anteil der Leitungen ca. 20%) einen Einfluss hat, während der Sanitärbereich und die Lüftung dagegen weniger anfällig sind.

Vernachlässigung von Materialmengen

Die Vernachlässigung von kleineren Materialmengen durch die Hersteller trägt vermutlich nicht direkt zur Verfälschung der Massen- und Herstellungsenergie-Werte bei. Bei einer all-fälligen Bewertung der Materialflüsse könnte dies jedoch auf die Gesamtbewertung der Umweltrelevanz der einzelnen Komponenten einen wesentlichen Einfluss haben, wenn geringe Materialmengen mit unter Umständen grosser Umweltrelevanz (grosses Treibhauspotential, hohe Öko-/Humantoxizität etc.) vernachlässigt werden.

Diskussion der Methode

Wie schon in Kapitel 0 erwähnt, wurde in dieser Arbeit ein Verfahren in drei Stufen angewendet. Erstens wurde durch die Auswahl der Komponenten der Kreis der Untersuchungsobjekte eingeschränkt. Zweitens wurde lediglich auf einen Aspekt fokussiert, indem nur der Materialinhalt der Komponenten erfasst wurde. Drittens wurden beim Screening wiederum nur die mengenmässig wichtigsten Materialien berücksichtigt.

Auf diese Weise wurden folgende Aspekte vernachlässigt:

1. Potentiell umweltrelevante Komponenten, die von Anfang an nicht in die Untersuchung einbezogen wurden.
2. Vor- und nachgelagerte Prozesse des Produktlebenszyklusses einer Komponente sowie materialspezifische Eigenschaften.
3. Mengenmässig unbedeutende Materialmengen der ausgewählten Komponenten bei der Grobanalyse.

Unser Ansatz unterscheidet sich somit in mehreren Punkten von einer vollständigen Ökobilanz oder dem MIPS-Konzept (Material-Intensität pro Serviceeinheit) [Schmidt-Bleek 1994].

Während Punkt 1. und 3. auch bei einer Ökobilanz bzw. beim MIPS-Konzept je nach Ausrichtung der Untersuchung (Anzahl bilanzierter Komponenten) bzw. Genauigkeit des Ökoinventars (Erfassungstiefe der Materialien und Energien) auftreten könnten, ergeben sich wesentliche Unterscheidungsmerkmale unseres Ansatzes zu einer vollständigen Ökobilanz und zum MIPS-Konzept vor allem bezüglich Punkt 2:

- Kein Lebenszyklusansatz (vor- und nachgelagerte Prozesse werden nicht berücksichtigt)
- Beschränkung auf graue Energie (es wird kein vollständiges und umfassendes Inventar erstellt) (Ökobilanz)
- Keine Bewertung der Material- und Energieflüsse gemäss CML [Heijungs 1992 a,b] oder Eco-Indicator 95 [Goedkoop 1995] (Ökobilanz)

Aus diesen Auslegungen folgt, dass aufgrund der Nichtberücksichtigung von vor- und nachgelagerten Prozessen sowie der nicht erfolgten Bewertung der Materialien bezüglich der Umweltauswirkungen wie Treibhauseffektpotential etc. eine abschliessende Beurteilung der Umweltrelevanz der Komponenten relativ zueinander und im Vergleich zum Gesamtgebäude nicht möglich ist. Aus dem Vorgehen und den Einschränkungen lässt sich schliessen, dass



der in dieser Arbeit quantifizierte Umwelteinfluss der Haustechnik eher die untere Grenze bildet und unter Einbezug aller Grössen und Prozesse wahrscheinlich an Einfluss gewinnt.

Trotzdem sind jedoch wichtige Schlussfolgerungen aus der vorhandenen Datenlage zu ziehen (vgl. 0).

Vorhandene Untersuchungen zu Haustechnik und Ökologie

Unseres Wissens bestehen bezüglich Haustechnikanlagen kaum vollständige Ökobilanz- bzw. Ökoinventardaten. Die Literaturrecherche ergab zwar eine Fülle von Publikationen zum Thema „Bau und Ökologie“. Dabei stand meist die Energiebilanz des Bauprozesses oder der verwendeten Materialien im Zentrum der Untersuchungen. Ebenso liegt relativ viel Information zu umweltverträglichen Baustoffen vor. Auch bezüglich Wärmedämmstoffen ist sehr viel Information vorhanden. Spezifisch für Haustechnikkomponenten besteht jedoch mehrheitlich eine Informationslücke.

Vollständige Ökoinventardaten bestehen jedoch bezüglich Photovoltaik, Sonnenkollektoren, Wärmepumpe, Wärmedämmstoffe und Heizkessel [Frischknecht et al., 1996], [EMPA 1995] sowie bezüglich Rohrleitungen [Geberit 1996].

Mit [SIA D0118] existiert ausserdem eine Orientierungshilfe, die beim Planen und Bauen eines Gebäudes für das Thema „ökologische Haustechnik“ sensibilisieren soll. Es werden keine konkreten Handlungsrezepte abgegeben, sondern Problemfelder ausgeleuchtet und allgemeine Richtlinien formuliert.

Ein weiteres Projekt von verschiedenen Vertretern öffentlicher Bauträger in Zusammenarbeit mit dem CRB hat zum Ziel, den Normpositionenkatalog (NPK) mit ökologischen Leistungsverzeichnissen (ÖLV) zu ergänzen. Zu diesem Zweck werden sämtliche Produkte einer bestimmten Funktion miteinander verglichen, indem diese nach ausgewählten ökologischen Kriterien beurteilt werden. Als quantitative Kriterien gelten bspw. Lösemittlemissionen oder die Graue Energie, als qualitative Kriterien gelten bspw. die Abwesenheit von Bestandteilen mit R-Sätzen. Dieser Ansatz stellt einen sehr anwenderfreundlichen Ansatz dar, indem für den Planer auf diese Weise direkt ersichtlich wird, welche Produkte ökologisch interessant sind. Auf der anderen Seite ist, wie schon verschiedentlich von Fachleuten geäussert wurde [Friedli 1997], die Wahl des einen oder anderen Produktes ein ökologisch relativ bedeutungsloser Schritt in einer langen Kette von möglichen Entscheidungen. Über den ganzen Bauprozess betrachtet fällt dabei viel mehr ins Gewicht, welche Funktionen überhaupt eingeplant werden. Dafür bietet dieses Instrument keinen befriedigenden Lösungsansatz.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Schlussfolgerungen

Aus den obenstehenden Ausführungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Leitungen (inkl. Kanäle und Rohre) sind sowohl bezüglich der Masse als auch bezüglich der Herstellungsenergie innerhalb der Haustechnik diejenige Komponentengruppe mit der grössten Bedeutung.
- Die Masse der Haustechnik ist im Vergleich mit der gesamten Gebäudemasse mit einem Anteil von 0.5% bis 2% vernachlässigbar.
- Die Herstellungsenergie der Haustechnik stellt mit 15% bis 30% einen bedeutenden Beitrag zur Herstellungsenergie des gesamten Gebäudes. Dieser Anteil ist zu einem grossen Teil (40 - 50%) auf die Leitungen zurückzuführen.
- Im Vergleich mit der Betriebsenergie ist die Herstellungsenergie der Haustechnik-Komponenten mit einem Anteil von 2% bis 5% sehr klein.
- Die Rangfolge der bezüglich Materialinhalt sowie Herstellungsenergie bedeutenden Komponenten ist mehr oder weniger unabhängig von der Nutzungsform des Gebäudes. Hingegen ergeben sich teilweise bedeutende Unterschiede bezüglich der Anteile der einzelnen Gewerke an der Haustechnik-Gesamtmasse respektive an der gesamten Herstellungsenergie.
- Aufgrund der Nichtberücksichtigung von vor- und nachgelagerten Prozessen sowie der fehlenden Untersuchung der umweltrelevanten Materialeigenschaften kann keine abschliessende Beurteilung der Umweltrelevanz der verschiedenen Komponenten gemacht werden. Sicher nimmt die Umweltrelevanz durch Einbezug aller Prozessstufen zu. Die hier erhaltenen Resultate geben jedoch einen Hinweis, welche Komponenten umweltrelevant sind, und wo konkret noch Handlungsbedarf besteht (siehe 0).
- Alle Vernachlässigungen und Vereinfachungen seitens der Haustechnikbilanzierung führen dazu, dass deren Umweltrelevanz höher als der in dieser Arbeit ausgewiesene sein muss und weitere Arbeiten in diesem Umfeld deshalb als sinnvoll erscheinen. Einen zusätzlichen Hinweis auf die Richtigkeit dieser Feststellung liefert die Bewertung mittels der Ecoindicatorpunkte. Mit einem EIP-Anteil der Haustechnik von rund 20% an der Betriebsenergie ist auch in dieser Hinsicht die Haustechnik nicht vernachlässigbar.

Ausblick und Handlungsbedarf

Wie in 0e beschrieben, fehlt unserer Untersuchung die Berücksichtigung weiterer Lebenszyklusstufen sowie die Bewertung der Umwelteinwirkungen, die von den einzelnen Materialien und den eingesetzten Energien ausgehen. Um die hier erhaltenen Ergebnisse zu erhärten, wäre die Untersuchung noch um diese Schritte zu erweitern. Sinnvoll wäre dabei beispielsweise folgendes Vorgehen:

1. Abschätzung, welche Haustechnik-Komponenten überhaupt ökologisch bedeutend sind

Einbezug weiterer Komponenten im Bereich Elektro.

Grobanalyse der Stoff- und Energieflüsse der Haustechnik über alle Stufen des Produkt-Lebenszyklus und anschließende Bewertung der erfassten Material- und Energieflüsse anhand einer Ökobilanzbewertungsmethode (CML [Heijungs 1992 a,b], [Frischknecht et al. 1996] [Goedkoop 1995 b] etc.). Dabei wäre die funktionale Einheit, auf die sich die Stoff- und Energieflüsse beziehen, die Komponente selbst.

Nach dem Durchrechnen einiger solcher Fallbeispiele wäre die Verallgemeinerung aus dem Vergleich der verschiedenen Gebäudetypen zu ziehen.

2. Untersuchung der als umweltrelevant bestimmten Komponenten

Die weitere Untersuchung der als umweltrelevant bestimmten Komponenten könnte durch Produkt-Ökobilanzen erfolgen.

Funktionelle Einheit bei der Produkt-Ökobilanz wäre dabei je nach Komponente unterschiedlich, z.B. beim Heizkessel kWh, bei Leitungen Meter etc.

Resultat davon wäre idealerweise die Bevorzugung eines Materials oder einer Technologie, wie es in [Geberit 1996] aufgezeigt ist. Dabei konnte gezeigt werden, dass reine Metallrohre eine klar höhere Umweltbelastung darstellen als Kunststoff- oder Verbundrohre.

Dieses zweistufige Vorgehen ist schematisch in Abbildung 16 dargestellt.

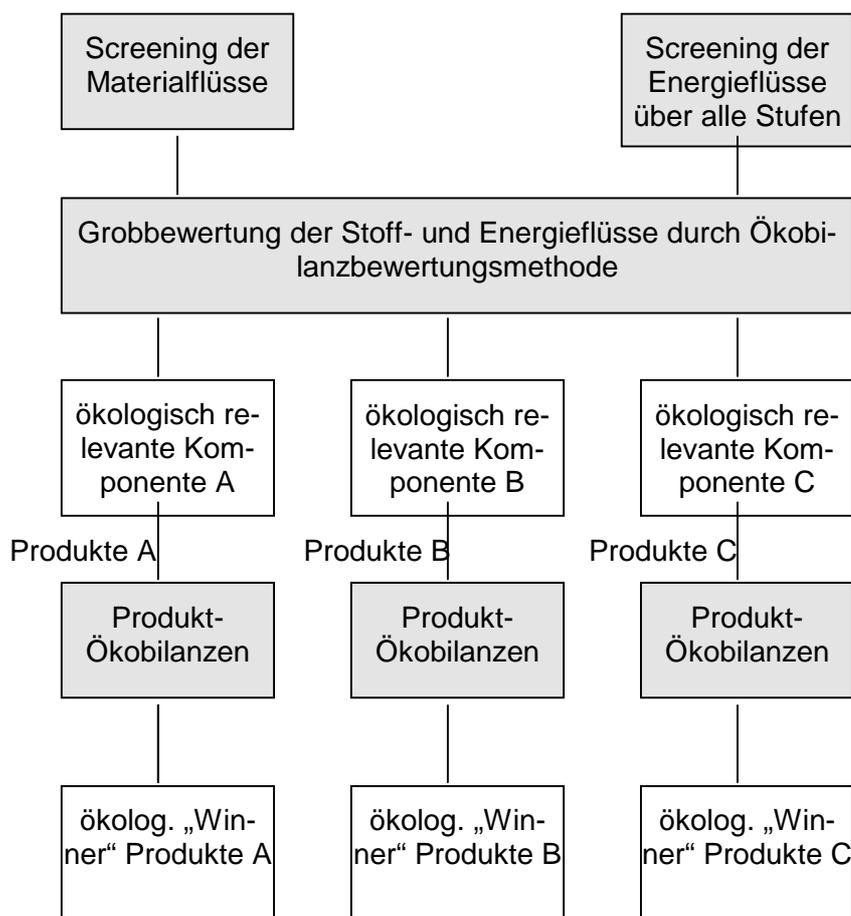


Abbildung 16: Schematische Darstellung einer umfassenden Screening-Untersuchung. Dabei stellen die grau ausgefüllten Felder Methoden dar.

Durch Einbezug aller Lebenszyklusstufen in die Untersuchung ist es weiter möglich, diese Stufen miteinander zu vergleichen (z.B. Investitions- und Betriebsaufwand) und so die ökologisch einflussreichste Lebenszyklusstufe zu bestimmen. Auf diesen Erkenntnissen wäre es weiter möglich, Massnahmen zur Reduktion der Umweltauswirkungen abzuleiten.

Ganz wichtig erscheint die genauere Untersuchung des Elektrobereiches. Denn obwohl im Elektrogewerk nur die Kabel berücksichtigt wurden, trägt dieser Bereich heute mit 7 bis 18% zur gesamten Haustechnik-Masse bei, Tendenz steigend, da die Anforderungen im Bereich Information / Kommunikation grösser werden. Daraus resultiert die Tatsache, dass hier die Innovationen bezüglich eingesetzten Technologien und Materialien eindeutig am stärksten sind. Beispielhaft zu nennen sind Glasfaserkabel oder der Ersatz von Relaischaltungen durch Bussysteme. Somit gewinnt dieser Bereich einerseits rein material- (Material mit grossem Umweltschadenspotential) und mengenmässig aber auch aufgrund immer kürzerer Lebensdauer der eingesetzten Komponenten und mangelnden Recycling- und Wiederverwendungsmöglichkeiten an Bedeutung.



3. Untersuchung Zusammenhang Haustechnik Gebäude / Haustechnikkonzept

Um dabei auch Unterschiede bezüglich der Material- und Energieflüsse zwischen verschiedenen Gebäudenutzungsformen und Gebäudegrößen aufzudecken, wären verschiedene Gebäudetypen als Fallbeispiele auszuwählen.

Beispiele solcher Gebäude wären Ein- und Mehrfamilienhaus sowie Verwaltungsgebäude etc. gemäss [SIA 380/4]. Interessant wäre ferner auch der Vergleich von verschiedenen Haustechnikkonzepten, Bau- und Konstruktionsarten wie beispielsweise konventionelle versus Niedrigenergie-Bauweise. Dabei wären auch Faktoren wie Gebäudeausrichtung, -nutzung, -dämmung etc. zu berücksichtigen (vgl. 0).



Glossar

BGF	Bruttogeschossfläche.
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
Devis	Leistungsbeschreibung als Basis für die Kostenkalkulation für Unternehmer
EBF	Energiebezugsfläche. Summe aller ober- und unterirdischen Bruttogeschossflächen, für deren Nutzung eine Beheizung oder Klimatisierung notwendig ist.
EIP	Ecoindicatorpunkt
Elastomere	Untergruppe der Kunststoffe neben Thermoplaste und Duroplaste. Zeichnen sich durch hohe Elastizität aus. In dieser Arbeit durch Gummi ersetzt.
HLKSE	Heizung, Lüftung, Klima, Sanitär, Elektro
Mineralwolle/-fasern	Stein- oder Glaswolle aus Diabas/Basalt resp. Bor-Silikatglas. Als Bindemittel wird meist Phenol-Formaldehyd-Harz verwendet (1-3%). Für die Staubbindung gelangen Mineralöle/Silikone zur Anwendung.
MIPS	Material-Intensität pro Serviceeinheit
Mo	Molybdän
Ni	Nickel
PB	Polybuten
Pb	Blei
PE	Polyethylen
PIR	Polyisocyanurat
PP	Polypropylen
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid



Stahl niedriglegiert	Zur Bezeichnung Stahl niedriglegiert [Frischknecht et al., 1996] wird die Chrom-Nickel-Molybdän-Stahl- sowie die Mangan-Chrom- Legierung gezählt.
Stahl unlegiert	Als Stahl unlegiert [Frischknecht et al., 1996] wird Stahl 37 bezeichnet, der zu ca. 80% aus Roheisen und 20% aus Schrott besteht. Dieselbe Bezeichnung wurde auch für die Stähle 33.1 resp. 33.2 verwendet.
Synthetischer tschuk/Gummi	Kau- Entsteht durch Polymerisation von Butadien/2,3-Dimethylbutadien oder 2-Chlorbutadien. Durch Addition von Schwefel erhält man Gummi.
VPE	Vernetztes Polyethylen



Literaturverzeichnis

- AfB 1995 Amt für Bundesbauten
Nutzungszeiten von Gebäuden und Bauteilen
AfB, Jan. 1995
- Baumann 1997 Baumann Jürgen, Siemens
„Mit PEP zu ökoeffizienten Produkten“
Vortrag an der MUT Basel, 13. Nov. 1997
- BEK 96 CRB - Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung
Berechnungselemente-Katalog BEK Haustechnik
CRB 1996
- Boitsis 1993 Boitsis Rainer
Dämmstoffe auf dem ökologischen Prüfstand
Forschungsbericht, Verlag des Österreichischen Instituts für Baubiologie und -ökologie, 1993
- Braunschweig et al 1996 Braunschweig A.
„MIPS versus Life Cycle Assessment: An alternative?“
Im IWÖ-Diskussionsbeitrag Nr. 32 (Developments in LCA-Valuation),
1996
- Daniels 1996 Klaus Daniels
Gebäudetechnik - Ein Leitfaden für Architekten und Ingenieure
Hochschulverlag AG an der ETH Zürich 1996
- econcept 1998 Koch P., Ott W., Seiler B.
Umweltauswirkungen von Hochbauprojekten
IEA Annex 31
Zürich 1998
- EM AG Elektro-Material AG Nr. 11
Artikel / Preis-Katalog
- EMPA 1995 EMPA 1995
Energie- und Stoffbilanzen bei der Herstellung von Wärmedämmstoffen
EMPA Abt. Holz, Sept. 1995
- Friedli 1997 Friedli Reinhard
Amt für Bundesbauten
mündliche Aussage MUT Basel, 13. Nov. 1997



- Frischknecht et al, 1996. Frischknecht R., Bollens U., Bosshart S., Ciot M., Ciseri L., Doka G., Dones R., et al.
Ökoinventare von Energiesystemen. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökolbilanzen für die Schweiz, 3. Auflage
Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt, ETH Zürich und Sektion ganzheitliche Systemanalyse, PSI Villingen, Schweiz, 1996
- Formeln und Tafeln 1984 Verein Schweizerischer Mathematik- und Physiklehrer
Formeln und Tafeln
1984
- Geberit 1996 Geberit International AG
„Umweltbelastungen von Trinkwasserversorgungsrohren“
Jona, 1996
- Gieck 1989 K. Gieck
Technische Formelsammlung
Gieck Verlag, 1989
- Goedkoop 1995 Goedkoop M.
The Eco-Indicator 95
Final Report, Bericht Nr. 9523, Pré Consultants, Bergstraat 6, 3811 NH Amersfoort, Niederlande 1995
- Heijungs 1992a Heijungs R.
Environmental Life Cycle Assessment of Products
Backgrounds October 1992, Bericht Nr. 9267, Centre of Environmental Science, Leiden 1992
- Heijungs 1992b Heijungs R.
Environmental Life Cycle Assessment of Products
Guide October 1992, Bericht Nr. 9266, Centre of Environmental Science, Leiden 1992
- Hochbauamt Bern 1994-1997 Hochbauamt Bern
Merklblätter für die Ausschreibung von Bauarbeiten des Kantons Bern
Bern 1994 – 1997
- Kasser, Pöll 1995 U. Kasser, M. Pöll
Graue Energie von Baustoffen
Büro für Umweltchemie, Mai 1995
- Kasser, Pöll 1997 U. Kasser, M. Pöll
Gesamtenergie-Buchhaltung von drei Gebäuden
Energie 2000 Öko-Bau, Dez. 1997
- Levin et al. 1995 H. Levin, A. Boerstra, S. Ray
Scoping U.S. Buildings Inventory Flows and Environmental Impacts in Life Cycle Assessment
Presentation at SETA impacts assessment work group meeting, Alexandria, VA
April 19, 1995



- Pistohl 1994 Wolfram Pistohl
Handbuch der Gebäudetechnik - Band 1: Sanitär/Elektro
Werner-Verlag, Düsseldorf 1994
- Pistohl 1996 Wolfram Pistohl
Handbuch der Gebäudetechnik -
Band 2: Heizung/Lüftung/Energiesparen
Werner-Verlag, Düsseldorf 1996
- Schmidlin AG 1995 Schmidlin AG
Luftverteilsysteme und Komponenten
Preis-Prospekt 1995
- Schmidt-Bleek
1994 Schmidt-Bleek F.
„Wieviel Umwelt braucht der Mensch?“
Birkhäuser, 1994
- SIA 380/1 SIA 380/1
Energie im Hochbau
Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein 1988
- SIA 380/4 SIA 380/4
Elektrische Energie im Hochbau
Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein 1995
- SIA D 0118 SIA
Ökologie in der Haustechnik - Eine Orientierungshilfe
SIA-Dokumentation D 0118
SIA 1995
- SWKI 1993 Schweizerischer Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren
Devis Raumluftechnische Anlagen (RLT)
Materialvorschriften, Richtlinie 92-2B
Bern, 1993
- VDI 1997 Verein Deutscher Ingenieure (VDI)
VDI-Berichte 1328
VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1997
- VSSH 1993 Fux et al.
SI-Handbuch, 5 Auflage
VSSH 1993
- Wüthrich 1997 B. Wüthrich
Sanierung der Universität Kollegengebäude I
Hochbauamt des Kantons Zürich 1997

Anhang

Unberücksichtigte Komponenten

Komponente	Ausschlusskriterium
Heizung	
• Sonnenkollektoren	c)
• Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen	
• Regeleinrichtungen	e)
• Rohrarmaturen	d)
• Abgasklappen/Nebenstrom-vorrichtungen	d)
• Wärmepumpe	c)
Lüftung	
• Brandschutz-, andere Klappen	d)
• Volumenstrom-, Mischregler	d)
• Entfeuchter	b)
• Antriebsmotoren	d)
• Tropfenabscheider	b)
Klima	
• Regeleinrichtungen	e)
• Armaturen	e)
Sanitär	
• Wasserzähleranlage	

• Feuerlöschanlage	d)
• Enthärtungsanlage	b)
• Abläufe	d)
Elektro	
• Photovoltaik	c)
• Potentialausgleich	d)
• Blitzschutzanlagen	d)
• Installationen	e)

Tabelle 7: Unberücksichtigte Komponenten gemäss den Kriterien in 0

Resultate: Materialinhalt der Komponenten nach Gewerk

Im folgenden sind die durch die Massenbilanz berechneten Massenwerte für die einzelnen Komponenten nach Gewerk und Materialtyp aufgelistet. Dabei muss bemerkt werden, dass die Materialangaben alle in kg sind. Weiter wurden Farben und Anstriche überall vernachlässigt. Spezifische Angaben zur Berechnung der einzelnen Massen, zu den getroffenen Annahmen und den Informationsquellen befinden sich jeweils am Ende jeder Gewerkstabelle.

Heizung

HEIZUNG [kg]	KAPPELI	ELECTROLUX
Dämmung 1)		
PE	227	
PVC		17-46
Synth. Gummi (Synth. Kautschuk)		338-812
Mineralwolle	1'125-1'406	437-655
Aluminium	450	32
Heizkessel (Brennwertkessel)2)		
Stahl unlegiert		544
Mineralwolle		69



Aluminium		35
Stahl niedriglegiert		16
Kunststoff		16
Gasbrenner		
Stahl unlegiert		39
Kunststoff		117
Expansionsgefäß3)		
Stahl unlegiert		172
Gummi (Butyl-Kautschuk)		1
Leitungen4)		
Stahl unlegiert	28'409	7'598
VPE	2'657	
Pumpen5)		
Gusseisen	219	101
Kupfer	18	8
Stahl unlegiert	91	42
Stahl hochlegiert	18	8
Gummi	18	8
Heizkörper6): Flachrohrheizwand, Handtuchheizkörper, Konvektoren, Säulenradiatoren		
Stahl unlegiert	100'500-122'127	10'828
Fussbodenheizungen7)		
Polystyrol (Styropor)		308
PE		158
PE mit Aluminium		223
Aluminium		693
Platten-Wärmetauscher8)		
Stahl unlegiert	1551	
Stahl hochlegiert	1011	
Gummi	58	

Tabelle 8: Bilanzierte Massen für die Heizung



1) Dämmung

Dichten zur Berechnung sowie Berechnungsarten siehe Sanitär. Bei Electrolux wurden die zusätzlich aufgeführten Isolationen der Mauerdurchführungen vernachlässigt.

2) Heizkessel

Angaben gemäss mündlicher Auskunft von Herrn Kindlimann, Fa. Weishaupt. Demnach wiegt ein Brennwertkessel mit der Leistung 295kW ca. 680kg und besteht zu 80% aus Stahl unlegiert und zu 20% aus Mineralwolle mit Aluminiumlamellen, Edelstahl sowie Kunststoff. Anhand der Abmessungen des Kessels liessen sich die Massen für die Mineralwolle sowie die Aluminiumlamellen berechnen (69 resp. 35kg). Die restlichen 32kg wurden je zur Hälfte dem Edelstahl sowie den Kunststoffen angerechnet.

3) Expansionsgefäss

Gemäss Stücklin Pneumatex, wiegt eine Expansionsanlage je nach Behältervolumen (unsere Beispiele zwischen 80 und 1500 Litern) zwischen 13.5 und 380kg und besteht aus Stahl unlegiert. Als Korrosionsschutz wird auf der Behälter-Innenseite eine Gummi-Schicht (Butyl-Kautschuk) verwendet. Das Gewicht dieser Schicht wurde anhand der Behälter-Masse, der Schichtdicke sowie der Gummi-Dichte (Kautschuk) überschlagsmässig abgeschätzt (ca. 1kg).

3) Leitungen

Angaben bezüglich kg/m aus [VSSH 1993].

4) Pumpen

Gewicht und Materialzusammensetzung siehe Sanitär Kappeli.

5) Heizkörper

Gewicht und Materialzusammensetzung gemäss mündlicher Aussage von Herrn Wurzer, Zehnder-Runtal. Folgende Angaben wurden als Berechnungsgrundlage verwendet:

- Handtuchheizkörper:

Höhe bis 900mm, Länge 500mm: 22kg

Höhe 901 bis 1400mm, Länge 500mm: 33.5kg

- Flachrohrheizwand (Ein Flachwahlrohr ist ca. 70mm breit):

- Ohne Lamellen, 180mm resp. 140mm hoch: 3.31 resp 2.62kg/Flachwahlrohr

- Mit Lamellen, 180mm resp. 140mm hoch: 5.04 resp. 3.92kg/Flachwahlrohr

- Konvektoren: Verschiedene Modelle

214 resp. 214/1: 23kg/m resp. 31.85kg/m

324 resp. 324/1: 38.3kg/m resp. 47.15kg/m

414/3: 53.9kg/m

Da sich diese Modelltypen nicht vollständig mit den in den Devis angegebenen Typen decken, wurde angenommen, dass C214/2 etwa C214, C314/2 etwa C324 und C314/1 etwa C324/1 entspricht.

- Säulen-Radiatoren:

Modelle (die Gewichtsangaben beziehen sich auf ein Element):

2045 0.78kg 2180 2.8kg 3050 1.25kg

2090 1.45kg 2200 3.1kg 3045 1.14kg

2120 1.9kg



6) Fussbodenheizungen

Gemäss schriftlicher Information von Herrn Sievert, Stramax, werden pro m2 Fussbodenheizung folgende Materialien eingebaut:

- Systemisolation: 0.4kg Polystyrol (Styropor)
0.26kg Trittschall
- Befestigung: 0.085kg PE
- Heizrohr: 0.29kg PE mit Aluminiumkern
- Wärmeleitlamellen: 0.9kg Aluminium
- Folie: 0.12kg PE

7) Platten-Wärmetauscher

Gemäss mündlicher Aussage von Herrn Gerber, Hauser Automatic, besteht ein Platten-Wärmetauscher je nach Grösse bzw. Anzahl Platten zu ca. 50-60% Stahl unlegiert, zu 35% aus Stahl hochlegiert und zu 5% aus Gummi. Das Gewicht der einzelnen Platten-Wärmetauscher konnte den Devis entnommen werden. Farben sowie bromatverzinkter Zuganker wurden vernachlässigt.

Weder für den Brennstoff- noch für den Brauchwasser-Behälter konnten Daten gefunden werden.

Lüftung

LÜFTUNG [kg]	KAPPELI	ELECTROLUX
Monobloc1) (Filter, WRG, Nachwärmung, Zuluft-Ventilator, Drehstrommotor, Kühler, Erhitzer, Luftwäscher, Abluft-Ventilator)		
Stahl verzinkt		2025
Aluminium		405
Stahl hochlegiert		135
Kupfer		45
PE		45
Gummi		45
Monobloc2) (Zu- und Abluftgerät mit Wärmerückgewinnung)		
Stahl verzinkt		49
Stahl hochlegiert		13
Kupfer		1
PE		1
Gummi		1
Ventilator2)		

PE	1'097-1'307	
Stahlblech verzinkt	130	16
Aluminium	1	0.3
Kupfer	3	
Calcium-Silikat	227	
Kanal3)		
Stahl verzinkt	22'339	11'724
Rohr4)		
Stahl verzinkt	3'224-3'806	5'074-6'200
Isolation5)		
Aussenisolation		
Kanäle		
Mineralwolle	3'648-3'652	
Aluminium	476	
Brandschutzisolation		
Kanäle		
Mineralwolle	770	90
Aluminium	122	3
Schalldämpfer6)		
Kanalschalldämpfer		
Stahlblech verzinkt	190	2'035
Mineralwolle	21	222
Rohrschalldämpfer		
Stahlblech verzinkt		218
Mineralwolle		24

Tabelle 9: Bilanzierte Massen für die Lüftung

- 1) Monobloc: Gemäss mündlicher Aussage von Herrn Herger, 7-Air, wiegt ein Monobloc mit den in der Tabelle angegebenen Teilen und einer Luftmenge von ca. 17'000m³/h ca. 2700kg und besteht zu ca. 70% aus Stahl, 15% Aluminium, 5% Chromstahl und 5% aus Kupfer, Kunststoffen und Gummi. Dieser Typ stellt von der Teilzusammensetzung her ein typisches Beispiel für ein Bürogebäude dar, bezüglich der Luftmenge ist eine solche Aussage jedoch nicht möglich (Bandbreite 500 - 200'000m³/h).
- 2) Monobloc: Gemäss Herrn Staub, Bartholet, wiegt ein Monobloc mit den in der Tabelle angegebenen Teilen und der Luftmenge 650m³/h ca. 65kg. Die Materialzusammensetzung wird als analog zum obigen Monobloc angenommen.
- 3) Ventilator:

Kappeli:

Gemäss mündlicher Aussage von Herrn Cherbuin, Helios Ventilatoren:

- Klein-Entlüftungsventilator (Luftmenge 100m³/h): ca. 2kg Kunststoff (Annahme: PE)
 - Unterputzgehäuse mit Brandschutz: ca. 1kg Kalzium-Silikat, 0.5kg Kunststoff (Annahme: PE)
 - Zuluftelement: 0.7-1.6kg Kunststoff (Annahme: PE)
- Kanalventilator (Luftmenge 1'150m³/h): ca. 79kg (Bereich: 12-80kg) Stahlblech verzinkt
- Rohrventilator (500m³/h): ca. 4.8kg Stahlblech verzinkt

Gemäss mündlicher Aussage von Herrn Beer, Stäfa Ventilatoren:

- Radialventilator (5'800m³/h): Ventilator ca. 40kg (97% Stahlblech verzinkt, 3% Aluminium)
 - Motor: ca. 10kg (7kg Stahlblech verzinkt, 3kg Kupfer)

Electrolux:

- Rohrventilator (Luftmenge 300m³/h, Leistung 94W, Drehzahl 1'690l/min): Gewicht und Materialzusammensetzung gemäss mündlicher Aussage von Herrn Meyer, Antlia AG.
- Radialventilator (Luftmenge 1'250m³/h, Leistung 0,23kW, Drehzahl 1'410l/min: Gewicht und Materialzusammensetzung gemäss Prospekte Helios Ventilatoren.

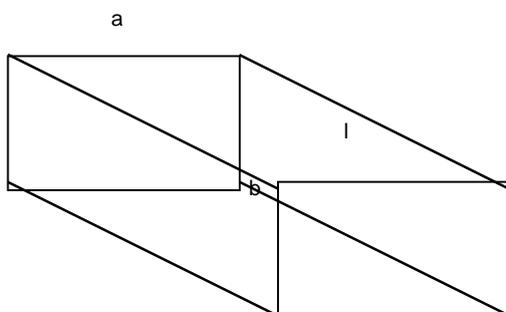
3) Kanal

Durchschnittliche Blechdicke (Stahl verzinkt) aus [SWKI 1993]:

grössere Seitenlänge	Blechdicke
bis 700mm	0.7mm
700-1300mm	0.9mm
>1300mm	1.1mm

Berechnung der Kanalmassen: Umfang x Kanallänge x Blechdicke x Dichte:

$$[(2a + 2b) \times l \times d \times \delta_{\text{Blech}}], \text{ wobei } \delta_{\text{Blech}} = 7850\text{kg/m}^3 \text{ [VSSH 1993]}$$



4) Rohre



Angaben bezüglich kg/m aus [Schmidlin AG 1995]. Da im Devis keine Angaben bezüglich der Rohrdicke vorhanden waren, wurden die Werte für verschiedene Dicken (0.4 und 0.6mm für Rohre mit Durchmesser 80 bis 200mm, bzw. 0.6 und 0.8mm für Rohre mit Durchmesser 224 bis 500mm) berechnet.

Durchmesser	kg/m
80mm	0.92-1.39
100mm	1.16-1.73
125mm	1.45-2.17
150mm	1.73-2.6
160mm	1.85-2.77
200mm	2.3-3.5
250mm	4.34-5.78

5) Isolation

Die Isolationsmassen für die Kanäle konnten entweder direkt aus den im Devis angegebenen Daten (m2 Isolation, Isolationsdicke, Rohdichte der Isolation) berechnet (Kappeli) oder analog durch das unter Sanitär erläuterten Verfahren ermittelt werden. Dabei wurden folgende Werte für die Isolationsdichten verwendet:

- Mineralwolle: Steinwolle [VSSH 1993] 80-100kg/m3; Mineralfasermatten [VSSH 1993] 20-30kg/m3

- Aluminium [Gieck 1977]: 2600kg/m3

Bei der Berechnung der Mauerdurchführungen (Kappeli) wurde angenommen, dass es sich um rechteckige Stücke handelt. Die Berechnung der Brandschutzisolation erfolgte aufgrund der angegebenen m2, der Isolationsdicke sowie den entsprechenden Dichten.

6) Schalldämpfer

- Kanalschalldämpfer (2'400 - 17'000m3/h): Gewicht und Materialzusammensetzung gemäss mündlicher Auskunft von Herrn Feusi, Air Progress. Demnach setzt sich ein Schalldämpfer aus ca. 90% verzinktem Stahlblech und ca. 10% Mineralwolle zusammen. Je nach Abmessung bewegen sich die Massen der in diesem Beispiel verwendeten Schalldämpfer zwischen 46kg und 600kg.

- Rohrschalldämpfer (300m3/h): Gewicht und Materialzusammensetzung gemäss mündlicher Auskunft von Herrn Meyer, Antlia AG. Je nach Grösse wiegt ein R. demnach zwischen 8.7 und 12.1kg und besteht aus verzinktem Stahlblech und Mineralwolle (ca. 10%).

Kälte

KLIMA	KAPPELI	ELECTROLUX
Isolierungen¹⁾		
PIR		164-438
PVC		4-7
Aluminium		4
Brandschutzisolation		
Mineralwolle		4560



Aluminium		120
Kältemaschine²⁾		
Stahl verzinkt		1065
Aluminium		213
Stahl hochlegiert		71
PE		24
Gummi		24
Kältemittel (R 407, R 134)		20
Kupfer		45
Umluftkühlgerät³⁾		
Stahl unlegiert		364
Aluminium		78
Kupfer		9
PE		9
Gummi		9
Stahl hochlegiert		26
Rückkühleinheit⁴⁾		
Pumpen		
Gusseisen		71
Stahl unlegiert		22
Kupfer		6
Stahl hochlegiert		6
Gummi		6
Gehäuse mit Ventilatoren und Motor		
Stahl unlegiert		1000
Kupfer		10



Expansionsgefäss⁵⁾		
Stahl unlegiert		367
Gummi (Butyl-Kautschuk)		3.01.00

Tabelle 10: Bilanzierte Massen für die Klimaanlage

1) Isolation

Berechnung siehe Sanitär bzw. Lüftung.

2) Kältemaschine

Gemäss Angabe im Devis wiegt die ausgeschriebene Kältemaschine (Luftmenge rund 17'000m³/h) 1420kg. Gemäss mündlicher Auskunft von Herrn Herger, 7-Air, kann mehr oder weniger die gleiche Materialzusammensetzung wie für den Monobloc angenommen werden. Hinzugezählt wurde jedoch noch das eingesetzte Kältemittel (R 407/134), welches mit rund 20kg zu Buche schlägt. Weiter wurden noch die Kupferleitungen zwischen Kältemaschine und Verdampfer berücksichtigt.

3) Umluftgerät

Gewicht des Umluftgerätes (Luftmenge rund 4'000m³/h) gemäss Devisangabe. Die Materialzusammensetzung wurde als nach Absprache mit Herrn Herger, 7-Air, als analog zur Kältemaschine angenommen (ohne Kältemittel).

4) Rückkühleinheit (Luftmenge rund 50'000m³/h)

Gemäss mündlicher Auskunft von Herrn Koller, Amstein & Walthert ist die im Devis ausgeschriebene Rückkühleinheit ca. 1500kg schwer. Dabei besteht das Gehäuse sowie die Ventilatoren und der Motor in erster Linie aus Stahl unlegiert. Für die Pumpen wurde die gleiche Materialzusammensetzung wie bei den Sanitärpumpen angenommen, für das Expansionsgefäss siehe Heizung.

5) Expansionsgefäss

Angaben für das Expansionsgefäss siehe Heizung.

Sanitär

SANITÄR [kg]	KAPPELI	ELECTROLUX
Leitungen¹⁾		
Stahl unlegiert		2'500
Stahl hochlegiert	9'370	
Gusseisen	2550	12'070
VPE	602	
PE	10225	1'147
PP	4672	12
PB	89	
Pumpen²⁾		

Stahl unlegiert	44.5	179
Stahl hochlegiert	9	
Gusseisen	107	104
Zink		1
Kupfer	9	26
Edelstahl		35
Aluminium		2
Kunststoff (Elastomere, PVC)	9	2
Wasserewärmer³⁾		
Stahl hochlegiert/Stahl niedriglegiert	1520	500
Melamin	236	
Mineralwolle		22
Aluminium		15
Dämmung⁴⁾		
Gummi	1185-2847	15-34
PE	346.6-865	
Blei	1'286	
PVC	33-57.5	9-16
Mineralwolle	623-779	172-212
Aluminium	452	11
PIR	540-1'439	472-1'312
Filter⁵⁾		
Gusseisen		6
PE		1.3

Tabelle 11: Bilanzierte Massen für Sanitär

1) Leitungen: Angaben bezüglich kg/m aus [VSSH 1993].

2) Pumpen:

Kappeli:

Gewicht aus Prospekten Biral und Häny. Materialzusammensetzung gemäss mündlicher Auskunft von Herrn Franke, Biral. Demnach besteht eine Abwasser- bzw. Fäkalienpumpe, (Motorleistung 0.5kWh resp. 1-4kWh, Volumenstrom 2l/s resp. 5l/s) aus ca. 60% Gusseisen, ca. 25% Stahl unlegiert und je ca. 5% Kupfer, Stahl hochlegiert und Elastomeren.



Diese Materialzusammensetzung wurde, falls keine andere Angabe vorliegt, für alle Pumpentypen angenommen (drei Pumpen zu je 26kg, drei Pumpen zu je 12kg, zwei zu je 16kg und je eine zu 14 bzw. 18kg). Dabei wurde das Thermo-schutzrelais in allen Fällen vernachlässigt.

Electrolux:

- Umwälzpumpe (BWZ 150): Gewicht und Materialzusammensetzung gemäss mündlicher Auskunft von Herrn Bögli, Arwa-Vortex. Demnach ist eine solche Pumpe 4kg schwer und setzt sich zu 50% aus Messing (50% Kupfer, 50% Zink), zu 25% aus Stahl unlegiert und zu 25% aus Kupfer und Kunststoff zusammen.
- Schmutzwasserpumpe (Motorleistung 2kW, Volumenstrom 5l/s): Gewicht und Material gemäss mündlicher Auskunft von Herrn Türtscher, Carl Heusser AG: 65kg, 40% Gusseisen, 40% Stahl unlegiert, 6% Kupfer, <1% Aluminium, Rest Edelstahl.
- Wärmepumpe (Heizleistung 3.8kW): Gewicht gemäss mündlicher Auskunft von Herrn Gutensohn, Saurer (105kg). Materialzusammensetzung gemäss [Frischknecht et al., 1996].

3) Wassererwärmer

Kappeli:

Gewichtsangaben für Behälter und Isolation aus Prospekt Cipag (1000l: 200 + 36kg, 1500l: 270 + 44kg, 2000l: 350 + 52kg, 3000l: 700 + 104kg). Materialangaben aus Devis. Keine Berücksichtigung von Mannloch, Thermometern, VL-Stützen mit Sprührohr und RL-Stützen.

Electrolux:

Gewicht und Materialzusammensetzung gemäss mündlichen Angaben von Herrn Züger, Accum AG. Demnach wiegt ein 1500Liter Behälter ca. 500kg und besteht aus Chromstahl. Aus den Abmessungen und den angegebenen Daten für die Isolation (120mm dick, Mineralwolle mit Aluminium-Blechverschalung [Aluman]) konnte die Masse derselben annähernd berechnet werden (< 50kg).

4) Dämmung

Kappeli und Electrolux:

Die Berechnung des Dämmungsgewichtes für Schläuche und Rohre erfolgte nach folgender Formel:

Umfang x Länge x Dicke der Dämmung, d.h.: $2\pi r \times l \times d$

Bei Umhüllungen mit Aluminium-Blech wurde eine Dicke von 0.1mm, bei solchen mit PVC (Hart-PVC) eine Dicke von 0.4mm angenommen [VSSH 1993]. Berücksichtigt wurden jeweils nur die Dämmung sowie die Umhüllung, der verzinkte Draht wurde überall vernachlässigt.

In den Werten für die Leitungsdämmung (PIR- und Mineralwoll-Schalen) sind rund 25% als Zuschlag für die Formstücke enthalten, bei der Schlauchdämmung aus PE beträgt dieser Zuschlag rund 10%. Diese Werte wurden so direkt aus dem Devis übernommen. Korrekterweise wäre entweder dieser Zuschlag von den Werten abzuzählen oder aber die Umhüllungen der Formstücke ebenfalls zu berücksichtigen gewesen. Darauf wurde jedoch verzichtet.

Für die Berechnung wurden folgende Dichten angenommen:

- Gummi (synthetischer Kautschuk): 50-120kg/m³ [VSSH 1993]
- PE: 20-50kg/m³ [VSSH 1993]
- Mineralwolle: 80-100kg/m³ [VSSH 1993]
- PVC (Hart-PVC): 40-70kg/m³ [Boitsis 1993]
- PIR: 30-80kg/m³ [VSSH 1993]
- Aluminium-Blech: 2600kg/m³ [Gieck 1977]
- Mineralwolle (Mineralfasermatten): 20-30kg/m³ [VSSH 1993]
- Schaumstoff mit Bleimantel: gemäss mündlicher Aussage von Herrn Jupplé, Geberit [Geberit 1997], besteht diese Dämmung aus einer PVC-Schaum-Schicht (ca. 2mm dick), einer PE-Schaum-Schicht (8-10mm dick) sowie einer dünnen



Bleifolie (ca. 0.3mm dick). Für die Berechnung der Massen wurden für PVC und für PE die obigen Dichten angenommen, der entsprechende Wert für Blei beträgt gemäss [Gieck 1977] 11'340kg/m³.

5) Filter

Electrolux:

Gemäss mündlicher Aussage von Herrn Kästli, Fa. Nussbaum, wurde jeweils von einem Filter von 6-7kg mit PE-Tasse (eigtl. Grilamid) ausgegangen. Dieser setzt sich zu ca. 79% aus Gusseisen, zu 19% aus PE (eigtl. Grilamid) und je zu ca. 1% aus Papier und Edelstahl zusammen

Elektro

Elektro	KAPPELI [kg]	ELECTROLUX [kg]
Kabel¹⁾		
Kupfer	20460	3520
PVC weich	13110	3140.
PUR		40
Rohre²⁾		
Stahl nichtrostend (verzinkt)		320
Aluminium	66	
PVC weich		460
PVC hart	9970	190
PE		310
PP		90

Tabelle 12: Bilanzierte Massen Elektro

1) Kabel:

Angaben bezüglich Gesamtgewicht pro Laufmeter und Querschnittsfläche Kupferleiter gemäss [EM AG 11].

Die Berechnung der übrigen Materialien erfolgte mittels Differenzbildung Gewicht Gesamt / Kupfer mit $\rho_{Cu} = 8930 \text{ kg/m}^3$ [Gieck 1997].

Mantelmaterial von flammwidrigen Kabeln wurde PVC weich zugeschlagen.

Für abgeschirmte Kabel wurde der Anteil an Zinn und Aluminium vernachlässigt. (Gewicht Al, Sn zusammen 3.2 kg, Anteil davon an Al, Sn max. 5%).

2) Rohre:

Angaben bezüglich Gesamtgewicht pro Laufmeter [EM AG 11].

Bemerkungen zu Werkstoffen und Dichten

Die Werkstoffe wurden den in [Frischknecht et al., 1996.] vorhandenen Modulen angepasst. Im folgenden ist aufgelistet, welche Annahmen getroffen wurden.

- Stahl unlegiert: Eisenstahl (Stahl 37, 33.2 etc.)
- Stahl niedriglegiert: bis 5% Legierung, z.B. Cr-Ni-Mo, Stahl verzinkt
- Stahl hochlegiert: mehr als 5% Legierung, z.B. Cr-Stahl
- (Butyl-)Kautschuk, Elastomere: Gummi
- Grilamid: Thermoplaste wie PUR, PVC, PP, Polystyrol, PE. Hier wurde PE gewählt.
- Messing: 50% Kupfer, 50% Zink.
- Styropor: Polystyrol

Werkstoffe und Dichten pro m³

Werkstoff	[kg/m ³]	Quelle
Dämmstoffe		
PE	20-50	[VSSH 1993]
PVC	40-70	[VSSH 1993]
Gummi (synth. Kautschuk)	50-120	[VSSH 1993]
PIR	30-80	[VSSH 1993]
Mineralwolle	80-100	[VSSH 1993]
Mineralfasern	20-30	[VSSH 1993]
Metalle		
Stahl unlegiert	ca. 7'850	[VSSH 1993]
Stahl hochlegiert	ca. 8'000	[VSSH 1993]
Aluminium	2'600	[VSSH 1993]
Blei	11'340	[VSSH 1993]
Kupfer	8'900	[VSSH 1993]
Gusseisen	7'050	[VSSH 1993]
Zink	7140	[Formeln u. Tafeln 1984]
Kunststoffe		



PE	950	[VSSH 1993]
PP	895	[VSSH 1993]
VPE	938-940	[VSSH 1993]
Gummi (Elastomere)	1400	[Gieck 1989]
PB	930	[VSSH 1993]

Haustechnik (Masse, Energie) im Vergleich zum Gesamtgebäude

KAPPELI					
Masse [kg/m²]			Anteil der Haustechnik am Gesamtgebäude [%]		
Haustechnik	Gebäude konv. Bau	tot.	Gebäude tot. Niedrigenergie (NE)	konv. Bau	NE
7.3 - 8.0	ca. 1'507		ca. 1'788	0.48 - 0.53	0.40 - 0.45
ELECTROLUX					
Masse [kg/m²]			Anteil der Haustechnik am Gesamtgebäude [%]		
Haustechnik	Gebäude konv. Bau	tot.	Gebäude tot. Niedrigenergie (NE)	konv. Bau	NE
16.5 - 17.1	ca. 1'522		ca. 1'803	1.1 - 1.2	0.9 - 1.0

Tabelle 13 : Anteil der Haustechnik an der Gesamt-Gebäude-Masse pro m². Die Angaben für die totalen Gebäude-Massen für ein konventionelles resp. Niedrigenergie-Mehrfamilienhaus stammen aus [Kasser, Pöll 1997].

KAPPELI					
Masse [kg/m²a]			Anteil der Haustechnik am Gesamtgebäude [%]		
Haustechnik	Gebäude konv. Bau	tot.	Gebäude tot. Niedrigenergie (NE)	konv. Bau	NE
0.24 - 0.27	ca. 25.1		ca. 29.8	0.96-1.08	0.8 - 0.91
ELECTROLUX					
Masse [kg/m²a]			Anteil der Haustechnik am Gesamtgebäude [%]		
Haustechnik	Gebäude konv. Bau	tot.	Gebäude tot. Niedrigenergie (NE)	konv. Bau	NE
0.55 - 0.57	ca. 30.4		ca. 36.0	1.8 - 1.9	1.5 - 1.6

Tabelle 14: Anteil der Haustechnik an der Gesamt-Gebäude-Masse pro m² und Jahr. Die Angaben für die totalen Gebäude-Massen für ein konventionelles resp. Niedrigenergie-Mehrfamilienhaus stammen aus [Kasser, Pöll 1997].

KAPPELI					
Herstellungenergie [MJ/m²a]			Anteil der Haustechnik am Gesamtgebäude [%]		
Haustechnik	Gebäude konv. Bau	tot.	Gebäude tot. Niedrigenergie (NE)	konv. Bau	NE
12.1-13.0	75		91	16.1-17.3	13.1-14.3
ELECTROLUX					
Herstellungenergie [MJ/m²a]			Anteil der Haustechnik am Gesamtgebäude [%]		
Haustechnik	Gebäude konv. Bau	tot.	Gebäude tot. Niedrigenergie (NE)	konv. Bau	NE
27.1 – 28.4	93		109	29.1 - 30.5	24.9 - 26.1

Tabelle 15: Anteil der Haustechnik an der gesamten Herstellungenergie. Die Angaben für die totalen Herstellungenergien für ein konventionelles resp. Niedrigenergie-Mehrfamilienhaus stammen aus [Kasser, Pöll 1997].

Herstellungsenergie im Vergleich zur Betriebsenergie (Haustechnik)

KAPPELI		
H.-Energie [MJ/m²a]	B.-Energie [MJ/m²a]	Anteil H.-E. an B.-E. [%]
12.1-13.0	430-510	2.4 - 3.0
ELECTROLUX		
H.-Energie [MJ/m²a]	B.-Energie [MJ/m²a]	Anteil H.-E. an B.-E. [%]
27.1 – 28.4	ca. 560	4.8 - 5.0

Tabelle 16: Herstellungsenergie versus Betriebsenergie

Herstellungsenergien der bilanzierten Materialien nach [Kasser, Pöll 1995]

Material	Graue Energie nach [Kasser, Pöll 1995] in MJ/kg
Aluminium	170
Blei	29.2
Gummi/Elastomere	30.2
Gusseisen	14
Kupfer	55.7
Mineralwolle	20
PB	71
PE/allg. Kunststoff/ PP/ Melamin/VPE	84.8
PIR/PUR	94.7
PVC	67.5
Stahl hochlegiert	140
Stahl niedriglegiert	140
Stahl unlegiert	39.5
Stahl verzinkt	42.5
Zink	87.7

Tabelle 17: Angenommene Herstellungsenergien für die einzelnen Komponenten-Materialien



Lebensdauerzeiten der bilanzierten Komponenten nach [AfB 1995]

Komponente	Lebensdauer [Jahre]
HEIZUNG	
Dämmung	30
Heizkessel	20
Gasbrenner	15
Expansionsgefäß	15
Leitungen	40
Pumpen	20
Heizkörper	40
Fussbodenheizungen	30
Platten-Wärmetauscher	30
LÜFTUNG	
Monobloc	20
Ventilator	20
Kanal	25
Rohr	25
Isolation	20
KLIMA	
Isolation	20
Kältemaschine inkl. Umluftkühlgerät und Rückkühleinheit	18
SANITÄR	
Leitungen	30
Pumpen	20
Wassererwärmer	30
Dämmung	30
Filter	10
ELEKTRO	
Kabel	30

Tabelle 18: Angenommene Lebensdauerzeiten für die bilanzierten Komponenten



Berechnete Herstellungsenergien pro Jahr

ELECTROLUX	Masse [kg]Min	Max	Graue Energie [MJ/kg]	Energie total [MJ]Min	Max	Lebens-dauer [Energie [MJ/a]Min	Max
HEIZUNG							
Dämmung 1)						30.00	
PVC	17.00	46.00	67.50	1147.50	3105.00	30.00	38.25 103.50
Synth. Gummi (Synth. Kautschuk)	338.00	812.00	30.20	10207.60	24522.40	30.00	340.25 817.41
Mineralwolle	437.00	655.00	20.00	8740.00	13100.00	30.00	291.33 436.67
Aluminium	32.00	32.00	170.00	5440.00	5440.00	30.00	181.33 181.33
Heizkessel (Brennwertkessel)2)						20.00	
Stahl unlegiert	544.00	544.00	39.50	21488.00	21488.00	20.00	1074.40 1074.40
Mineralwolle	69.00	69.00	20.00	1380.00	1380.00	20.00	69.00 69.00
Aluminium	35.00	35.00	170.00	5950.00	5950.00	20.00	297.50 297.50
Stahl niedriglegiert	16.00	16.00	48.30	772.80	772.80	20.00	38.64 38.64
Kunststoff	16.00	16.00	84.80	1356.80	1356.80	20.00	67.84 67.84
Gasbrenner						15.00	
Stahl unlegiert	39.00	39.00	39.50	1540.50	1540.50	15.00	102.70 102.70
Kunststoff	117.00	117.00	84.80	9921.60	9921.60	15.00	661.44 661.44
Expansionsgefäß3)						15.00	
Stahl unlegiert	172.00	172.00	39.50	6794.00	6794.00	15.00	452.93 452.93
Gummi (Butyl-Kautschuk)	1.00	1.00	30.20	30.20	30.20	15.00	2.01 2.01
Leitungen4)				0.00	0.00	40.00	
Stahl unlegiert	7598.00	7598.00	39.50	300121.00	300121.00	40.00	7503.03 7503.03
Pumpen5)						20.00	
Gusseisen	101.00	101.00	14.00	1414.00	1414.00	20.00	70.70 70.70
Kupfer	8.00	8.00	55.70	445.60	445.60	20.00	22.28 22.28
Stahl unlegiert	42.00	42.00	39.50	1659.00	1659.00	20.00	82.95 82.95
Stahl hochlegiert	8.00	8.00	140.00	1120.00	1120.00	20.00	56.00 56.00
Elastomere	8.00	8.00	30.20	241.60	241.60	20.00	12.08 12.08
Heizkörper6): Flachrohrheizwand, Handtuchheizkörper, Konvektoren, Säulenradiatoren						40.00	
Stahlblech verzinkt	10828.00	10828.00	42.50	460190.00	460190.00	40.00	11504.75 11504.75
Fussbodenheizungen7)						30.00	
Polystyrol (Styropor)	308.00	308.00	100.00	30800.00	30800.00	30.00	1026.67 1026.67
Trittschalldämmung	200.00	200.00		0.00	0.00	30.00	0.00 0.00
PE	158.00	158.00	84.80	13398.40	13398.40	30.00	446.61 446.61
PE mit Aluminium	223.00	223.00	84.80	18910.40	18910.40	30.00	630.35 630.35
Aluminium	693.00	693.00	170.00	117810.00	117810.00	30.00	3927.00 3927.00
	22008.00	22729.00	1645.30	1020879.00	1041511.30		28900.05 29587.79
LÜFTUNG							
Monobloc1) (Filter, WRG, Nachwärmung, Zuluft-Ventilator, Drehstrommotor, Kühler, Erhitzer, Luftwäscher, Abluft-Ventilator)						20.00	
Stahl verzinkt	2025.00	2025.00	42.50	86062.50	86062.50	20.00	4303.13 4303.13
Aluminium	405.00	405.00	170.00	68850.00	68850.00	20.00	3442.50 3442.50
Stahl hochlegiert	135.00	135.00	140.00	18900.00	18900.00	20.00	945.00 945.00
Kupfer	45.00	45.00	55.70	2506.50	2506.50	20.00	125.33 125.33
Kunststoff	45.00	45.00	84.80	3816.00	3816.00	20.00	190.80 190.80
Gummi	45.00	45.00	30.20	1359.00	1359.00	20.00	67.95 67.95
Monobloc2) (Zu- und Abluftgerät mit Wärmerückgewinnung)						20.00	
Stahl verzinkt	49.00	49.00	42.50	2082.50	2082.50	20.00	104.13 104.13
Stahl hochlegiert	13.00	13.00	140.00	1820.00	1820.00	20.00	91.00 91.00
Kupfer	1.00	1.00	55.70	55.70	55.70	20.00	2.79 2.79
Kunststoff	1.00	1.00	84.80	84.80	84.80	20.00	4.24 4.24
Gummi	1.00	1.00	30.20	30.20	30.20	20.00	1.51 1.51
Ventilator2)						20.00	
Stahlblech verzinkt	16.00	16.00	42.50	680.00	680.00	20.00	34.00 34.00
Aluminium	0.30	0.30	170.00	51.00	51.00	20.00	2.55 2.55
Kanal3)						25.00	
Stahl verzinkt	11724.00	11724.00	42.50	498270.00	498270.00	25.00	19930.80 19930.80
Rohr4)						25.00	
Stahl verzinkt	5074.00	6200.00	42.50	215645.00	263500.00	25.00	8625.80 10540.00
Isolation5)						25.00	
Brandschutzisolation						25.00	
Kanäle						20.00	
Mineralwolle	90.00	90.00	20.00	1800.00	1800.00	20.00	90.00 90.00
Aluminium	3.00	3.00	170.00	510.00	510.00	20.00	25.50 25.50
Schalldämpfer6)						20.00	
Kanalschalldämpfer						20.00	
Stahlblech verzinkt	2035.00	2035.00	42.50	86487.50	86487.50	20.00	4324.38 4324.38
Mineralwolle	222.00	222.00	20.00	4440.00	4440.00	20.00	222.00 222.00
Rohrschalldämpfer						20.00	
Stahlblech verzinkt	218.00	218.00	42.50	9265.00	9265.00	20.00	463.25 463.25
Mineralwolle	24.00	24.00	20.00	480.00	480.00	20.00	24.00 24.00
	22171.30	23297.30	1488.90	1003195.70	1051050.70		43020.64 44934.84



KÄLTE									
Isolierungen1)									
PIR	164.00	438.00	94.70	15530.80	41478.60	20.00	776.54	2073.93	
PVC	4.00	7.00	67.50	270.00	472.50	20.00	13.50	23.63	
Aluminium	4.00	4.00	170.00	680.00	680.00	20.00	34.00	34.00	
Brandschutzisolierung									
Mineralwolle	4560.00	4560.00	20.00	91200.00	91200.00	20.00	4560.00	4560.00	
Aluminium	120.00	120.00	170.00	20400.00	20400.00	20.00	1020.00	1020.00	
Kältemaschine2)									
Stahl verzinkt	1065.00	1065.00	42.50	45262.50	45262.50	18.00	2514.58	2514.58	
Aluminium	213.00	213.00	170.00	36210.00	36210.00	18.00	2011.67	2011.67	
Stahl hochlegiert	71.00	71.00	140.00	9940.00	9940.00	18.00	552.22	552.22	
Kunststoff,	24.00	24.00	84.80	2035.20	2035.20	18.00	113.07	113.07	
Gummi	24.00	24.00	30.20	724.80	724.80	18.00	40.27	40.27	
Kupfer	45.00	45.00	55.70	2506.50	2506.50	18.00	139.25	139.25	
Umluftkühlgerät									
Stahl unlegiert	364.00	364.00	39.50	14378.00	14378.00	18.00	798.78	798.78	
Aluminium	78.00	78.00	170.00	13260.00	13260.00	18.00	736.67	736.67	
Kupfer	9.00	9.00	55.70	501.30	501.30	18.00	27.85	27.85	
Kunststoff	9.00	9.00	84.80	763.20	763.20	18.00	42.40	42.40	
Gummi	9.00	9.00	30.20	271.80	271.80	18.00	15.10	15.10	
Stahl hochlegiert	26.00	26.00	140.00	3640.00	3640.00	18.00	202.22	202.22	
Rückkühlereinheit									
Pumpen									
Gusseisen	71.00	71.00	14.00	994.00	994.00	18.00	55.22	55.22	
Stahl unlegiert	22.00	22.00	39.50	869.00	869.00	18.00	48.28	48.28	
Kupfer	6.00	6.00	55.70	334.20	334.20	18.00	18.57	18.57	
Stahl hochlegiert	6.00	6.00	140.00	840.00	840.00	18.00	46.67	46.67	
Elastomere	6.00	6.00	30.20	181.20	181.20	18.00	10.07	10.07	
Gehäuse mit Ventilatoren und Motor									
Stahl unlegiert	1000.00	1000.00	39.50	39500.00	39500.00	18.00	2194.44	2194.44	
Kupfer	10.00	10.00	55.70	557.00	557.00	18.00	30.94	30.94	
Expansionsgefäß5)									
Stahl unlegiert	367.00	367.00	39.50	14496.50	14496.50	18.00	805.36	805.36	
Gummi (Butyl-Kautschuk)	1.30	3.00	30.20	39.26	90.60	18.00	2.18	5.03	
	8278.30	8557.00	2009.90	315385.26	341586.90		16809.84	18120.21	
SANITÄR									
Leitungen1)									
Stahl unlegiert	2500.00	2500.00	39.50	98750.00	98750.00	30.00	3291.67	3291.67	
Gusseisen	12070.00	12070.00	24.00	289680.00	289680.00	30.00	9656.00	9656.00	
PE	1147.00	1147.00	86.50	99215.50	99215.50	30.00	3307.18	3307.18	
PP	12.00	12.00	84.50	1014.00	1014.00	30.00	33.80	33.80	
Pumpen 2)									
Stahl unlegiert	144.00	144.00	39.50	5688.00	5688.00	20.00	284.40	284.40	
Gusseisen	104.00	104.00	14.00	1456.00	1456.00	20.00	72.80	72.80	
Zink	1.00	1.00	87.70	87.70	87.70	20.00	4.39	4.39	
Kupfer	26.00	26.00	55.70	1448.20	1448.20	20.00	72.41	72.41	
Edelstahl	35.00	35.00	140.00	4900.00	4900.00	20.00	245.00	245.00	
Aluminium	2.00	2.00	170.00	340.00	340.00	20.00	17.00	17.00	
Kunststoff (Elastomere, PVC)	2.00	2.00	30.20	60.40	60.40	20.00	3.02	3.02	
Wasserpumpe3)									
Stahl hochlegiert/Stahl niedriglegiert	500.00	500.00	140.00	70000.00	70000.00	30.00	2333.33	2333.33	
Mineralwolle	22.00	22.00	20.00	440.00	440.00	30.00	14.67	14.67	
Aluminium	15.00	15.00	170.00	2550.00	2550.00	30.00	85.00	85.00	
Dämmung4)									
Gummi	15.00	34.00	30.20	453.00	1026.80	30.00	15.10	34.23	
PVC	9.00	16.00	67.50	607.50	1080.00	30.00	20.25	36.00	
Mineralwolle	172.00	212.00	20.00	3440.00	4240.00	30.00	114.67	141.33	
Aluminium	11.00	11.00	170.00	1870.00	1870.00	30.00	62.33	62.33	
PIR	472.00	1312.00	94.70	44698.40	124246.40	30.00	1489.95	4141.55	
Filter5)									
Gusseisen	5.00	5.00	14.00	70.00	70.00	10.00	7.00	7.00	
PE	1.00	1.00	84.80	84.80	84.80	10.00	8.48	8.48	
	17265.00	18171.00	1582.80	626853.50	708247.80		21138.44	23851.59	
ELEKTRO									
Kabel									
Kupfer	3524.23	3524.23	55.70	196299.61	196299.61	30.00	6543.32	6543.32	
PVC	2953.00	2953.00	67.50	199327.50	199327.50	30.00	6644.25	6644.25	
Gummi	192.43	192.43	30.20	5811.39	5811.39	30.00	193.71	193.71	
PUR	40.05	40.05	94.70	3792.74	3792.74	30.00	126.42	126.42	
Röhre									
PVC	645.00	645.00	84.80	54696.00	54696.00	25.00	2187.84	2187.84	
PP	86.00	86.00	84.50	7267.00	7267.00	25.00	290.68	290.68	
Stahl verzinkt	318.00	318.00	42.50	13515.00	13515.00	25.00	540.60	540.60	
Kanäle									
Stahl verzinkt	5427.00	5427.00	42.50	230647.50	230647.50	25.00	9225.90	9225.90	
Fundamenteerder									
Stahl verzinkt	53.00	53.00	42.50	2252.50	2252.50	20.00	112.63	112.63	
	13238.71	13238.71	544.90	713609.23	713609.23		25865.35	25865.35	
SUMME	82961.31	85993.01		3679922.69	3856005.93		135734.32	142359.77	
BGF	5016.20	5016.20		5016.20	5016.20		5016.20	5016.20	
kg/m2, MJ/m2 bzw. MJ/m2,a	16.54	17.14		733.61	768.71		27.06	28.38	
	kg/m2	kg/m2		MJ/m2	MJ/m2		MJ/m2,a	MJ/m2,a	

Tabelle 19: Berechnete Herstellungsenergie pro m2 und Jahr für Elektrolux.



KAPPELI	Masse [kg]	Min	Max	Graue Energie [MJ/kg]	Energie total [MJ]	Min	Max	Lebens-dauer [a]	Energie [MJ/ a]	Min	Max
HEIZUNG											
Dämmung 1)								30.00			
PE	227.00	227.00		84.80	19249.60	19249.60		30.00	641.65	641.65	
Mineralwolle	1125.00	1406.00		20.00	22500.00	28120.00		30.00	750.00	937.33	
Aluminium	450.00	450.00		170.00	76500.00	76500.00		30.00	2550.00	2550.00	
Leitungen4)								40.00			
Stahl unlegiert	28409.00	28409.00		39.50	1122155.50	1122155.50		40.00	28053.89	28053.89	
VPE	2657.00	2657.00		84.80	225313.60	225313.60		40.00	5632.84	5632.84	
Pumpen5)								20.00			
Gusseisen	219.00	219.00		14.00	3066.00	3066.00		20.00	153.30	153.30	
Kupfer	18.00	18.00		55.70	1002.60	1002.60		20.00	50.13	50.13	
Stahl unlegiert	91.00	91.00		39.50	3594.50	3594.50		20.00	179.73	179.73	
Stahl hochlegiert	18.00	18.00		140.00	2520.00	2520.00		20.00	126.00	126.00	
Elastomere	18.00	18.00		30.20	543.60	543.60		20.00	27.18	27.18	
Heizkörper6): Flachrohrheizwand, Handtuchheizkörper, Konvektoren, Säulenradiatoren								40.00			
Stahl unlegiert	100500.00	122127.00		42.50	4271250.00	5190397.50		40.00	106781.25	129759.94	
Platten-Wärmetauscher8)								30.00			
Stahl unlegiert	1551.00	1551.00		39.50	61264.50	61264.50		30.00	2042.15	2042.15	
Stahl hochlegiert	1011.00	1011.00		140.00	141540.00	141540.00		30.00	4718.00	4718.00	
Gummi	58.00	58.00		30.20	1751.60	1751.60		30.00	58.39	58.39	
	136352.00	158260.00		930.70	5952251.50	6877019.00			151764.50	174930.52	
LÜFTUNG											
Ventilator2)								20.00			
Kunststoff (PE?)	1097.00	1307.00		84.80	93025.60	110833.60		20.00	4651.28	5541.68	
Stahlblech verzinkt	130.00	130.00		42.50	5525.00	5525.00		20.00	276.25	276.25	
Aluminium	1.00	1.00		170.00	170.00	170.00		20.00	8.50	8.50	
Kupfer	3.00	3.00		55.70	167.10	167.10		20.00	8.36	8.36	
Kanal3)								25.00			
Stahl verzinkt	22339.00	22339.00		42.50	949407.50	949407.50		25.00	37976.30	37976.30	
Rohr4)								25.00			
Stahl verzinkt	3224.00	3806.00		42.50	137020.00	161755.00		25.00	5480.80	6470.20	
Isolation5)								20.00			
Aussenisolation					0.00	0.00		20.00	0.00	0.00	
Kanäle					0.00	0.00		20.00	0.00	0.00	
Mineralwolle	3648.00	3652.00		20.00	72960.00	73040.00		20.00	3648.00	3652.00	
Aluminium	476.00	476.00		170.00	80920.00	80920.00		20.00	4046.00	4046.00	
Brandschutzisolation					0.00	0.00		20.00	0.00	0.00	
Kanäle					0.00	0.00		20.00	0.00	0.00	
Mineralwolle	770.00	770.00		20.00	15400.00	15400.00		20.00	770.00	770.00	
Aluminium	122.00	122.00		170.00	20740.00	20740.00		20.00	1037.00	1037.00	
Schalldämpfer6)					0.00	0.00		20.00	0.00	0.00	
Kanalschalldämpfer					0.00	0.00		20.00	0.00	0.00	
Stahlblech verzinkt	190.00	190.00		42.50	8075.00	8075.00		20.00	403.75	403.75	
Mineralwolle	21.00	21.00		20.00	420.00	420.00		20.00	21.00	21.00	
Rohrschalldämpfer					0.00	0.00		20.00	0.00	0.00	
Stahlblech verzinkt					0.00	0.00		20.00	0.00	0.00	
Mineralwolle					0.00	0.00		20.00	0.00	0.00	
	32021.00	32817.00		880.50	1383830.20	1426453.20			58327.24	60211.04	
SANITÄR											
Leitungen1)								30.00			
Stahl hochlegiert	9370.00	9370.00		140.00	1311800.00	1311800.00		30.00	43726.67	43726.67	
Gusseisen	2550.00	2550.00		14.00	35700.00	35700.00		30.00	1190.00	1190.00	
VPE	602.00	602.00		84.80	51049.60	51049.60		30.00	1701.65	1701.65	
PE	10225.00	10225.00		84.80	867080.00	867080.00		30.00	28902.67	28902.67	
PP	4672.00	4672.00		84.50	394784.00	394784.00		30.00	13159.47	13159.47	
PB	89.00	89.00		71.00	6319.00	6319.00		30.00	210.63	210.63	
Pumpen 2)								20.00			
Stahl unlegiert	44.50	44.50		39.50	1757.75	1757.75		20.00	87.89	87.89	
Stahl hochlegiert	9.00	9.00		140.00	1260.00	1260.00		20.00	63.00	63.00	
Gusseisen	107.00	107.00		14.00	1498.00	1498.00		20.00	74.90	74.90	
Kupfer	9.00	9.00		55.70	501.30	501.30		20.00	25.07	25.07	
Kunststoff (Elastomere, PVC)	9.00	9.00		30.20	271.80	271.80		20.00	13.59	13.59	
Wassere warmer3)								30.00			
Stahl hochlegiert/Stahl niedriglegiert	1520.00	1520.00		140.00	212800.00	212800.00		30.00	7093.33	7093.33	
Melamin	236.00	236.00		84.80	20012.80	20012.80		30.00	667.09	667.09	
Dämmung4)								30.00			
Gummi	1185.00	2847.00		30.20	35787.00	85979.40		30.00	1192.90	2865.98	
PE	346.60	865.00		84.80	29391.68	73352.00		30.00	979.72	2445.07	
Blei	1286.00	1286.00		29.20	37551.20	37551.20		30.00	1251.71	1251.71	
PVC	33.00	57.50		67.50	2227.50	3881.25		30.00	74.25	129.38	
Mineralwolle	623.00	779.00		20.00	12460.00	15580.00		30.00	415.33	519.33	
Aluminium	452.00	452.00		170.00	76840.00	76840.00		30.00	2561.33	2561.33	
PIR	540.00	1439.00		94.70	51138.00	136273.30		30.00	1704.60	4542.44	
	33908.10	37168.00		1479.70	3150229.63	3334291.40			105095.80	111231.19	
ELEKTRO											
Kabel								30.00			
Cu	20459.00	20459.00		55.70	1139566.30	1139566.30		30.00	37985.54	37985.54	
PVC	12448.00	12448.00		67.50	840240.00	840240.00		30.00	28008.00	28008.00	
Gummi	662.00	662.00		30.20	19992.40	19992.40		30.00	666.41	666.41	
Rohre								25.00			
PVC	9971.00	9971.00		67.50	673042.50	673042.50		25.00	26921.70	26921.70	
Aluminium	66.00	66.00		170.00	11220.00	11220.00		25.00	448.80	448.80	
Kanäle								25.00			
Stahl verzinkt	5016.00	5016.00		42.50	213180.00	213180.00		25.00	8527.20	8527.20	
Fundamenterde								20.00			
Stahl verzinkt	1849.00	1849.00		42.50	78582.50	78582.50		20.00	3929.13	3929.13	
SUMME	252752	278716		3767	13462135	14613587		0	421674	452860	
BGF	34767	34767			34767	34767			34767	34767	
kg/m2, MJ/m2 bzw. MJ/m2,a	7.3	8.0			387.2	420.3			12.1	13.0	
	kg/m2	kg/m2		MJ/m2	MJ/m2	MJ/m2		MJ/m2,a	MJ/m2,a		

Tabelle 20: Berechnete Herstellungenergie pro m2 und Jahr für Kappeli.



ELECTROLUX						
	Masse [kg]		Energie total [MJ]		Energie [MJ/a]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
SUMME	82'961.3	85'993.0	3'679'922.7	3'856'005.9	135'734.3	142'359.8
BGF	5'016.2	5'016.2	5'016.2	5'016.2	5'016.2	5'016.2
kg/m2 bzw. MJ/m2 bzw. MJ/a m2	16.5	17.1	733.6	768.7	27.1	28.4
KAPPELI						
	Masse [kg]		Energie total [MJ]		Energie [MJ/a]	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
SUMME	252'752.1	278'716.0	13'462'135.0	14'613'587.3	421'674.3	452'859.5
BGF	34'766.8	34'766.8	34'766.8	34'766.8	34'766.8	34'766.8
kg/m2 bzw. MJ/m2 bzw. MJ/a m2	7.3	8.0	387.2	420.3	12.1	13.0

Tabelle 21: Berechnete Massen pro m² für Kappeli und Electrolux

Berechnete Ecoindikatorpunkte (EIP)

KAPPELI				EI Total	
				E-09 Pts.	
HEIZUNG				min	max
Material				min	max
Stahl unlegiert	130551	152178		3263.8	3804.5
Stahl hochlegiert	1029	1029		174.9	174.9
Gusseisen	219	219		9.3	9.3
Kupfer	18	18		2.0	2.0
Alu-Dichtungsbahn	450	450		93.2	93.2
Mineralwolle	1125	1406		8.2	10.2
Gummi EPDM	76	76		3.0	3.0
PE (HD)	2657	2657		82.1	82.1
PE (LD)	227	227		7.7	7.7
				3644	4187
LÜFTUNG					
Material					
Stahlblech verzinkt	25883	26465		2976.5	3043.5
Kupfer	3	3		0.3	0.3
Alu-Dichtungsbahn	599	599		124.0	124.0
Mineralwolle	4439	4443		32.2	32.2
PE (LD)	1097	1307		37.2	44.3
				3170	3244
SANITÄR					
Material					
Stahl unlegiert	44.5	44.5		1.1	1.1
Stahl hochlegiert	10899	10899		1852.8	1852.8
Gusseisen	2657	2657		112.7	112.7
Kupfer	9	9		1.0	1.0
Aluminium 0% Rec.	452	452		51.1	51.1
Blei	1286	1286		243.1	243.1
Mineralwolle	623	779		4.5	5.6
Gummi EPDM	1185	2847		47.5	114.2
PVC schlagfest	42	66.5		7.6	12.1
PE (HD)	602	602		18.6	18.6
PE (LD)	10807.6	11326		366.4	384.0
Propylen	4672	4672		116.8	116.8
Polypropylen	89	89		4.4	4.4
PUR-Hartschaum	540	1439		34.1	90.9
				2862	3008
ELEKTRO					
Material					
Kupfer	20460	20460		2271.1	2271.1
Stahlblech verzinkt	6865	6865		789.5	789.5
Aluminiumfolie	66	66		5.4	5.4
PVC schlagfest	9970	9970		1814.5	1814.5
PVC-Dichtungsbahn	13110	13110		1560.1	1560.1
				6441	6441
Summe alle Gewerke				16117	16880

Tabelle 22: berechnete Ecoindikator Punkte für Kappeli. Die Materialien pro Gewerk wurden aus der Tabelle 20 und Tabelle 21 entnommen und z.T. in [Frischknecht et al. 1996] bestehenden Modulen zugewiesen.

Electrolux			EI Total	
			E-09 Pts.	
			min	max
HEIZUNG				
Material	min	max		
Stahl unlegiert	19223	19223	480.6	480.6
Stahl niedriglegiert	32	32	0.9	0.9
Stahl hochlegiert	8	8	1.4	1.4
Gusseisen	101	101	4.3	4.3
Kupfer	8	8	0.9	0.9
Aluminium 0% Rec.	847	847	95.7	95.7
Mineralwolle	506	724	3.7	5.2
PVC schlagfest	133	133	24.2	24.2
Gummi EPDM	347	821	13.9	32.9
PE (LD)	301	301	10.2	10.2
PVC schlagfest	17	46	3.1	8.4
Polystyrol schlagfest	308	308	10.2	10.2
			649	675
LÜFTUNG				
Material				
Stahlblech verzinkt	21141	22268	2431.2	2560.8
Stahl hochlegiert	148	148	25.2	25.2
Kupfer	46	46	5.1	5.1
Aluminium 0% Rec.	408.3	408.3	46.1	46.1
Mineralwolle	336	336	2.4	2.4
Gummi EPDM	46	46	1.8	1.8
PE (LD)	46	46	1.6	1.6
			2513	2643
KÄLTE				
Material				
Stahlblech verzinkt	1065	1065	122.5	122.5
Stahl unlegiert	1753	1753	43.8	43.8
Stahl hochlegiert	103	103	17.5	17.5
Gusseisen	71	71	3.0	3.0
Kupfer	70	70	7.8	7.8
Aluminium 0% Rec.	415	415	46.9	46.9
Mineralwolle	4560	4560	33.1	33.1
Gummi EPDM	40	42	1.6	1.7
PVC schlagfest	4	7	0.7	1.3
PE (LD)	33	33	1.1	1.1
PUR-Hartschaum	164	438	10.4	27.7
Kaeltemittel R134a	20	20	0.9	0.9
			289	307
SANITÄR				
Material				
Stahl unlegiert	2644	2644	66.1	66.1
Stahl hochlegiert	535	535	91.0	91.0
Gusseisen	12180	12180	516.4	516.4
Zink fuer Verzinkung	1	1	0.4	0.4
Kupfer	26	26	2.9	2.9
Aluminium 0% Rec.	28	28	3.2	3.2
Mineralwolle	194	234	1.4	1.7
Gummi EPDM	15	34	0.6	1.4
PVC schlagfest	11	18	2.0	3.3
PE (LD)	1148.3	1148.3	38.9	38.9
Polypropylen	12	12	0.6	0.6
PUR-Hartschaum	472	1312	29.8	82.9
			753	809
ELEKTRO				
Material				
Stahlblech verzinkt	5800	5800	667.0	667.0
Kupfer	3520	3520	390.7	390.7
PVC schlagfest	190	190	34.6	34.6
PVC-Dichtungsbahn	3600	3600	428.4	428.4
PE (LD)	310	310	10.5	10.5
Polypropylen	90	90	4.4	4.4
PUR-Hartschaum	40	40	2.5	2.5
			1538	1538
Summe alle Gewerke			5743	5972

Tabelle 23: berechnete Ecoindikator Punkte für Kappeli. Die Materialien pro Gewerk wurden aus der Tabelle 20 und Tabelle 21 entnommen und z.T. in [Frisknecht et al. 1996] bestehenden Modulen zugewiesen.