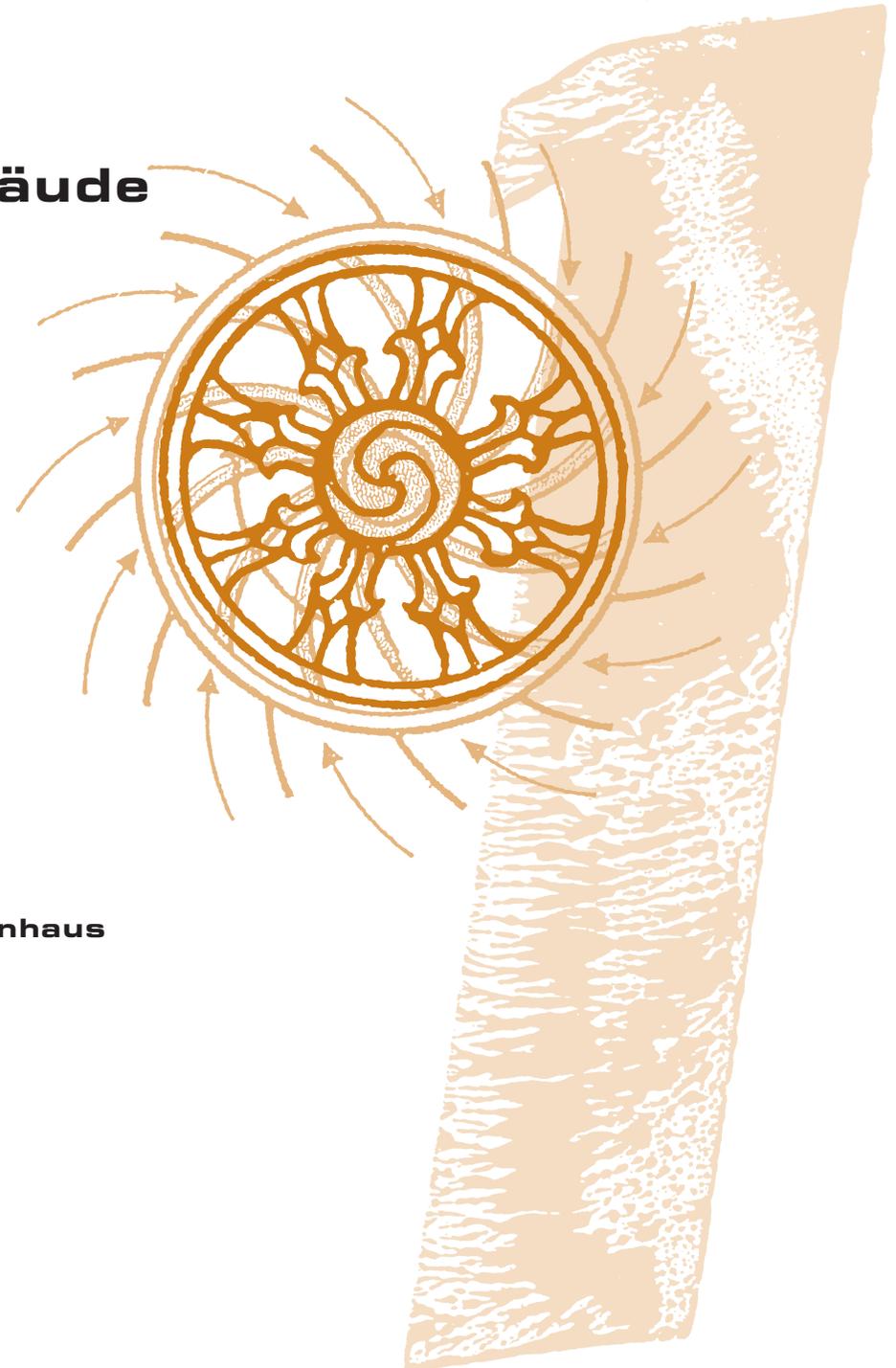


Energieflüsse in einem Gebäude

Energie im Unterricht, Module für Bauberufe: Modul 1

- 1 Einführung: Worum geht es ?**
- 2 Lernziele**
- 3 Vorschläge für den Unterricht**
- 4 Fachinformation**
 - **Stufen der betrieblichen Energie**
 - **Energieflüsse im Gebäude**
 - **Energiebilanz eines Gebäudes**
 - **Energieflussdiagramm**
 - **Energiestandards für Gebäude**
 - **Der betriebliche Energiefluss in einem Wohnhaus**
 - **Energie und Nachhaltigkeit**
 - **Glossar**
- 5 Aufgaben, Lösungsvorschläge**
- 6 Weiterführende Literatur**
- 7 Bild- und Textnachweis**
- 8 Vorlagen**



1 Einführung: Worum geht es ?

Für die Erstellung und den Betrieb eines Gebäudes brauchen wir Energie. Zur Stabilisierung oder Reduktion der Umweltbelastungen und Schonung der vorhandenen Energieressourcen ist eine rationelle Energieanwendung gefragt.

Damit ein sparsamer Umgang mit Energie möglich wird, sind Kenntnisse betreffend der **Energieflüsse** bei einem Bauvorhaben notwendig. Mit **Energiebilanzen** können Energieflüsse beurteilt und mögliche Energieeinsparpotenziale aufgezeigt werden.

Die **Gesamtenergiebilanz** für ein Bauvorhaben berücksichtigt sämtliche Energieflüsse, welche für die Erstellung und den Betrieb eines Bauvorhabens auftreten. Der Gesamtenergiefluss umfasst alle energierelevanten Bestandteile von der Energiegewinnung bis zum Abnehmer der Nutzenergie im Gebäude. Dabei werden sowohl die betrieblichen Energieflüsse (zum Beispiel für den Brennstoff zur Deckung des Wärmebedarfes eines Gebäudes) als auch die Anteile der grauen Energie für die Herstellung von Baustoffen in die Gesamtbilanz einbezogen.

Für die Bewertung des **Wärmehaushaltes** in einem Gebäude werden nur die betrieblichen Energieflüsse in die Bilanz einbezogen. Diese Energiebuchhaltung beschreibt die Energieflüsse von der Endenergie bis zur verfügbaren Nutzenergie. Auf diesen Energiestufen ist der Einfluss auf den Energieverbrauch am grössten. Bauweise und Bauqualität, Nutzungsart und eingesetzte Wärmeerzeugung bestimmen die notwendige Endenergie für die Abdeckung des Wärmebedarfes eines Gebäudes. Mittels Energiekennzahlen stehen auf der Stufe der Endenergie für das Gebäude, differenziert für verschiedene Nutzungen, entsprechende Anforderungs- und Vergleichswerte zur Verfügung. Energiebilanzen können zur anschaulichen Betrachtung der Energieflüsse als Diagramm dargestellt werden.

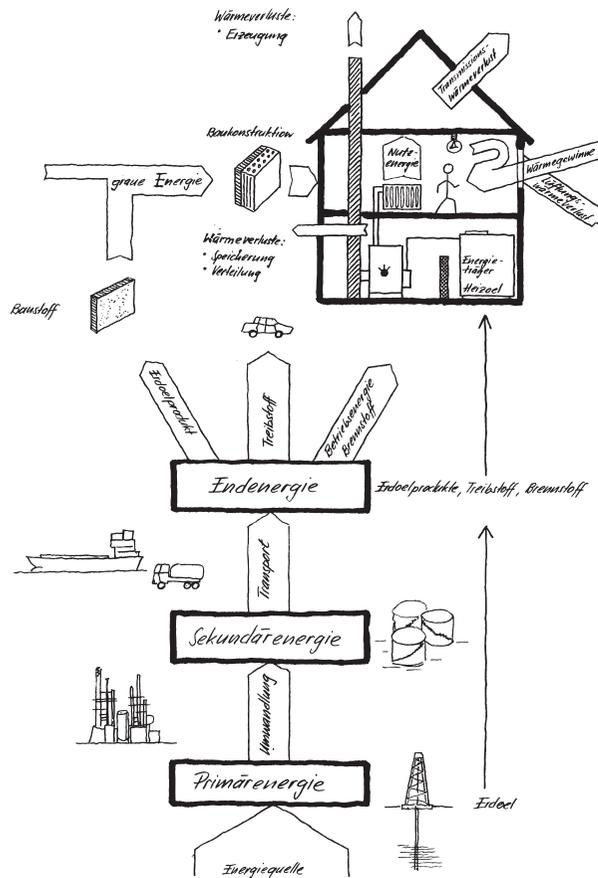


Abb. 1 Gesamtenergiebilanz



2 Lernziele

Die Lernenden ...

- geben Auskunft über die wichtigsten Energieverbraucher in einem Wohnhaus,
- zeigen die in Frage kommenden Energiequellen und -träger auf,
- skizzieren ein einfaches Energieflussdiagramm für ein Wohnhaus, und bezeichnen die wichtigsten Energieflüsse und -verbraucher,
- zeigen auf Grund der Energiebilanz Einflussmöglichkeiten auf und erläutern diese,
- legen dar, was unter den Begriffen Betriebsenergie und graue Energie zu verstehen ist.



3 Vorschläge für den Unterricht

Zusammenhang

Energie und Gebäude verstehen

- Anhand der Übersicht «Energie und Gebäude» die verschiedenen Energieflüsse herauslesen und umschreiben

Gesamtenergiebilanz aufskizzieren und erläutern

- Grobdiagramm für eine Gesamtenergiebilanz aufstellen und Energieflüsse nennen
- Die Bedeutung von grauer und Betriebsenergie anhand des Diagramms erläutern

Energieflussdiagramm nach Norm SIA 380/1 erstellen

- Energieverluste und -gewinne für ein einfaches Wohnhaus als Energieflussdiagramm darstellen
- Komponenten der Energieflüsse im Diagramm bezeichnen
- Energiekennzahl Wärme E_{hww} und Wärmebedarf für Heizung Q_h und Warmwasser Q_{ww} aufgrund von Vorgabewerten erläutern
- Bewerten der resultierenden Energiekennzahl Wärme E_{hww} anhand von Vergleichswerten nach Norm SIA 380/1

Einflussmöglichkeiten

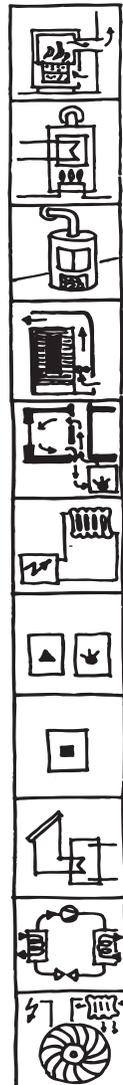
in der Energiebilanz aufzeigen

- Beeinflussungsmöglichkeiten anhand eines Energieflussdiagrammes für ein herkömmliches Wohnhaus aufzeigen
- Optimierungsmöglichkeiten der Energieflüsse mit der Zielsetzung von Minergie nennen

Energie und Gebäude

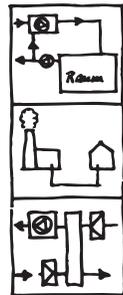
Konventionelle Techniken

Energieeffiziente Techniken



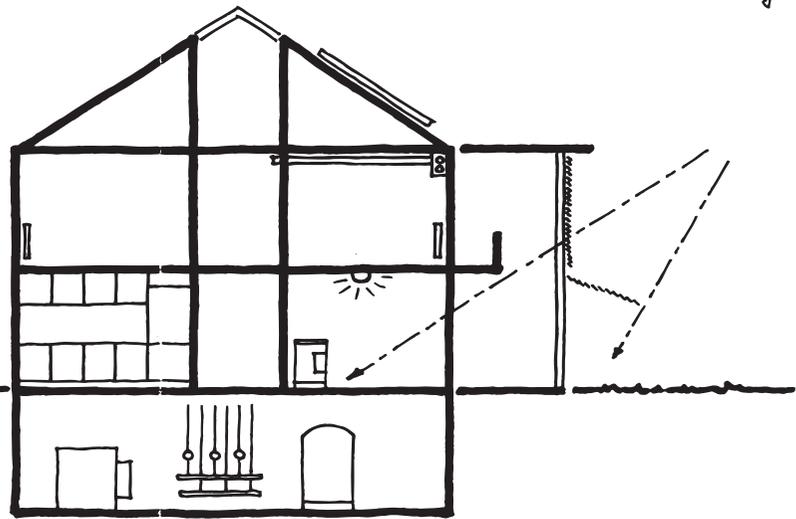
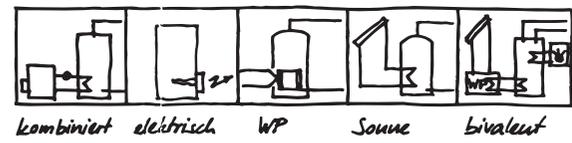
- Öl-ofen**
- mit Zugunterbrecher
 - mit Begrenzung der Verbrennungsluft
- Gasheizgerät**
- mit Kaminanschluss
 - mit Außenwandanschluss
- Holzofen**
- Speicher- resp. Kachelofen
 - Schwedenofen
- elek. Raumheizgerät, Einzel**
- Strahlungsheizkörper
 - Direktheizgeräte
 - Speicherheizgeräte
- Wärmeluftheizung**
- od-, gas- und holzbeheizt
 - Sonnenheizsysteme
 - Luft/Luft-WP
- elek. Widerstandsheizung, zentral**
- Feststoff-Zentralspeicher
 - Wasser-Zentralspeicher
- Öl- und Gasheizkessel**
- Heizkessel öl- oder gasbetrieben
- Holz-kessel**
- Durchbrand-Feuerung
 - unterer Abbrand

- Sonnenenergienutzung**
- Photovoltaik
 - Sonnenkollektoren
- Wärmepumpen**
- Luft/Wasser
 - Wasser/Wasser
 - Sole/Wasser
- Wärme-Kraft-Kopplung**
- Dampfturbine und Generator
 - Blockheizkraftwerk (BHKW)



- lüftungstechn. Anlagen**
- kontrollierte Lüftung
 - einfache Lüftungsanlage
- Abwärmennutzung**
- ARA
 - Heizkraftwerk
 - Kehrichtverbrennungsanlage
- Wärmerückgewinnung**
- mit Austauschflächen
 - mit Speicherwasser

Wärmewassererzeugung



Erhaltung

- Bausubstanz
- Unterhalt
- Sanierung

Rückbau

- Mehrmuldenkonzept

- energiege-rechte Planung

- k-Werte
- Wärmeschutz

- Material

- Sonnenkollektoren
- Flachkollektor
- Vakuumröhre
- Photovoltaik

- Fassadenelemente
- TWD

- Puffer-räume
- Wintergarten

- Wandsysteme
- solare Lüftung

Beleuchtung

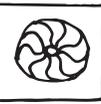


Haarhaargröße

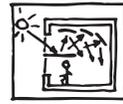


Antriebsysteme

- Pumpen
- Ventilatoren



Umlenkspiegel



Elektrische Installationen

Tageslicht



4 Fachinformation

4.1 Stufen der betrieblichen Energie

Die **Primärenergie** umfasst das gesamte Vorkommen der in der Natur vorhandenen und gewinnbaren Energien. Dabei wird zwischen **erneuerbaren** und **nicht erneuerbaren** Energievorkommen unterschieden. Erneuerbare Energiequellen sind z.B. Sonnenenergie, Erdwärme, Holz und Wasserkraft. Als nicht erneuerbare Energien werden z.B. fossile Vorräte an Erdöl, Erdgas und Kohle bezeichnet.

Die Bewertungen und Vergleiche der benötigten grauen Energie für Baustoffe oder Baukonstruktionen erfolgen auf der Stufe Primärenergie. In ökologischer Hinsicht liegt das grösste Energiesparpotenzial allerdings in der Reduktion der Betriebsenergie. Der Anteil an grauer Energie im Verhältnis zur eingesetzten Betriebsenergie beträgt für ein Gebäude im ersten Betriebsjahr mit durchschnittlichem Wärmebedarf 25 – 30%. Wird die Lebensdauer eines Gebäudes mitberücksichtigt, vergrössert sich die Differenz zwischen jährlichen betrieblichen Energieaufwendungen und dem Einsatz von grauer Energie für die Herstellung der Bauteile erheblich. Der Energiefluss der grauen Energie spielt demzufolge bei Gebäuden mit durchschnittlichem Wärmeschutz für die Gesamtenergiebilanz nur eine untergeordnete Rolle. Erst bei Bauten mit extrem hohen Anforderungen bezüglich Wärmeschutz kann der benötigte Einsatz von grauer Energie faktisch die Werte der Betriebsenergie erreichen.

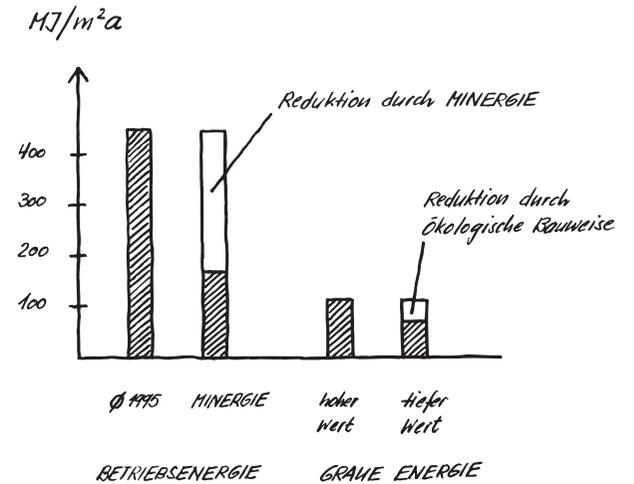


Abb. 2 Das Verhältnis von Betriebsenergie zu grauer Energie



Energiefluss von der Primärenergie bis zur Nutzenergie

Stufen der Energieumwandlung am Beispiel «Erdöl»

- **Primärenergie**
Gewinnung des in der Natur vorhandenen Erdölvorkommens mittels Bohrtürmen.
- **Umwandlung**
Raffination (Veredelung) des Rohöls zu Heizöl.
- **Sekundärenergie**
Verarbeitetes Heizöl in Lagertanks zum Weitertransport bereitgestellt.
- **Transport**
Heizöl, mit Pipelines und Tankschiffen sowie Tankwagen zum Verbraucher geführt.
- **Endenergie**
Heizöl, beim Verbraucher im Haustank zur Weiterverarbeitung zwischengelagert.
- **Wärmeerzeugung**
Verbrennung des Heizöls mittels Ölbrenner und Umwandlung zu Wärmeenergie. Wärmeverteilung des Heizmediums, z.B. Heisswasser.
- **Nutzenergie**
Wärmeabgabe des Heizmediums z.B. über Bodenheizungsregister oder Heizkörper für die Verbraucher.

Die aufgezeigten Energiestufen gelten für andere Energieträger wie z.B. Erdgas und Kohle sinngemäss.

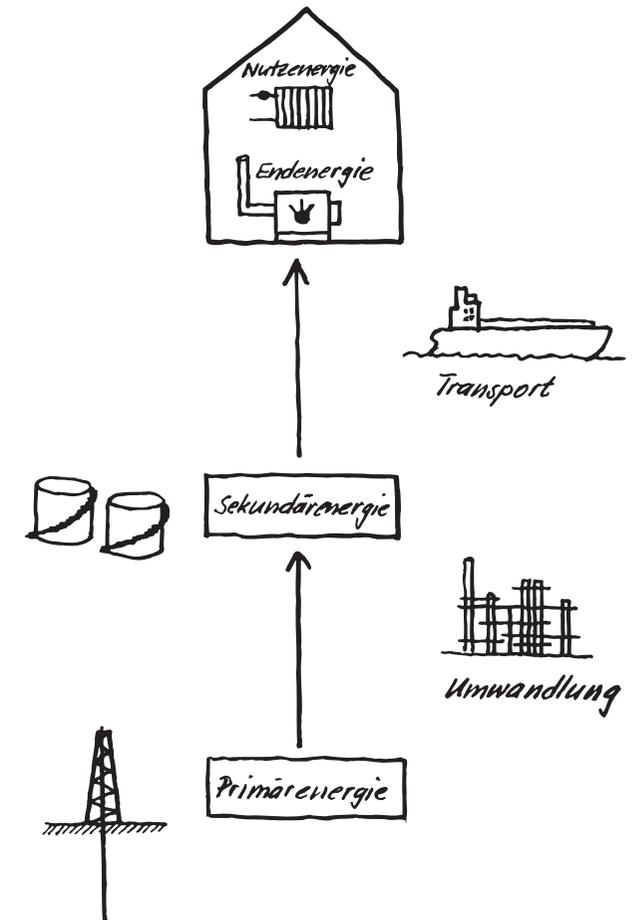


Abb. 3 Energiefluss am Beispiel von Erdöl

Stufen der Energieumwandlung am Beispiel «Elektrizität» (Kernkraftwerk)

- **Primärenergie**
Abbau des in der Natur vorhandenen Uranerzes in Bergwerken. Anreicherung des Urans und Aufbereitung zu Uranoxid.
- **Umwandlung**
Erzeugen von dampfförmiger Wärmeenergie im Reaktor mittels Kernspaltung in den Brennstäben. Antrieb der Turbinen und Übertrag der Bewegungsenergie auf den Generator.
- **Sekundärenergie**
Elektrische Energie durch Erhöhung der Spannung in Transformatoren für den Weitertransport bereitstellen.
- **Transport**
Elektrischer Strom über Hoch- und Mittelspannungsleitungen zu den Abnehmern geführt.
- **Endenergie**
Reduktion der Spannung in Unterwerken und Stromeinspeisung über Niederspannungsleitungen zum Verbraucher.
- **Wärmeerzeugung**
Erzeugen von Wärmeenergie durch elektrische Widerstandsheizgeräte. Wärmeverteilung des Heizmediums Heisswasser oder Warmluft.
- **Nutzenergie**
Wärmeabgabe des Heizmediums über Feststoffspeicher oder Heizkörper für die Verbraucher.

Die Umwandlung von Primärenergie zu Nutzenergie hat immer einen Energieverlust zur Folge. Die Grösse des Verlustes ist von der Energieart und den Umwandlungsprozessen abhängig und fällt sehr unterschiedlich aus. So ist z.B. von der Gewinnung des Urangesteins über die Aufbereitung in Kernkraftwerken zu Elektrizität bis zur Umwandlung zu Nutzwärme mittels einer Widerstandsheizung ein Energieverlust von gegen 70% zu verzeichnen. Dieser schlechte Wirkungsgrad bei der Wärmeerzeugung mit Elektrizität verdeutlicht, warum elektrische Energie nicht direkt für die Produktion von Wärme, sondern grundsätzlich für Prozesse, Kraft und Licht eingesetzt werden soll.

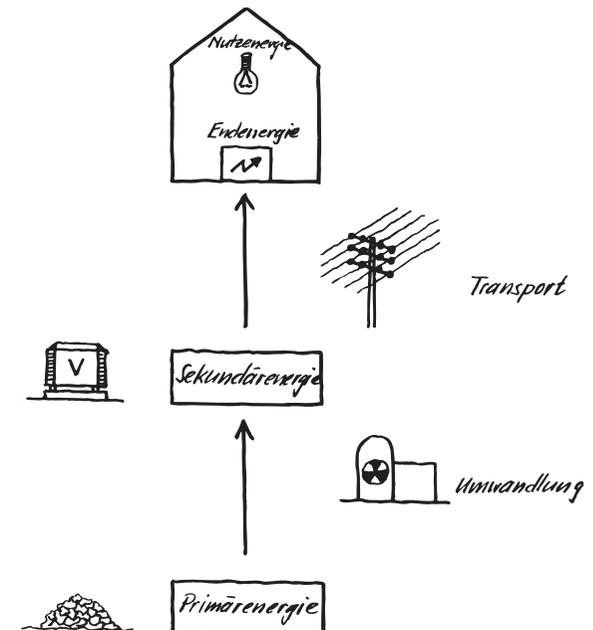


Abb. 4 Energiefluss am Beispiel von Kernenergie

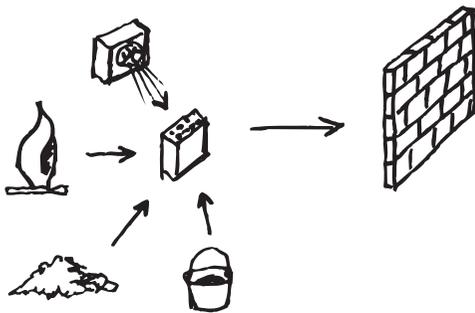


4.2 Energieflüsse im Gebäude

Für die Erstellung und den Betrieb eines Gebäudes werden zwei Energiegrößen unterschieden. Der Energieaufwand für die Erstellung des Bauwerks aus Baumaterialien wird als graue Energie und der Energieeinsatz für die Nutzung als Betriebsenergie bezeichnet.

Graue Energie

Die graue Energie beschreibt den Primärenergieinhalt von Baustoffen und Bauteilen, welche für die Erstellung eines Gebäudes eingesetzt werden. Als Kriterium für einen umweltschonenden Energieeinsatz gilt neben der Höhe des Primärenergieinhaltes [MJ/m² Bauteilkonstruktion] auch das Verhältnis von erneuerbaren zu nicht erneuerbaren Energieaufwendungen.



Die Bewertung des Primärenergieinhaltes von Baukonstruktionen kann mit Hilfe des Index gemäss SIA-Dokumentation D 0123 «Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten» vorgenommen werden.

Betriebsenergie

Die Betriebsenergie umfasst den Energiefluss in einem Gebäude von der Endenergie bis zur Nutzenergie. Die in einem Wohnhaus vorhandenen Energieverluste und -gewinne werden bilanziert und der notwendige Energieinput auf Stufe Endenergie als Energiekennzahl festgeschrieben. Aufgrund von Anforderungs- und Vergleichswerten lässt sich anhand dieser Energiekennzahl eine Aussage über

die Qualität des betrieblichen Wärmehaushaltes eines Gebäudes machen.

Die Behandlung des betrieblichen Energieflusses erfolgt anhand einer Energiebilanz auf der Grundlage der Norm SIA 380/1 «Thermische Energie im Hochbau» (Ausgabe 2001).

$$\text{Energiekennzahl} = \frac{\text{Energieverbrauch}}{\text{m}^2 \text{ EBF}}$$

EBF = Energiebezugsfläche

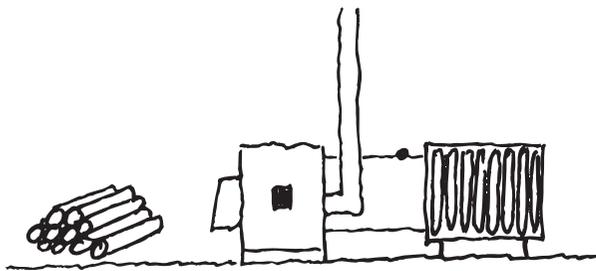


Abb. 5 Vergleich von Betriebsenergie und grauer Energie



4.3 Energiebilanz eines Gebäudes

Energiebedarf «Wärme» für Heizung und Warmwasser

In der Energiebilanz werden für die Berechnung des Endenergiebedarfs E_w folgende Größen einbezogen:

- Wärmebedarf Q_{hww} für Heizung und Warmwasser
- Nutzungsgrad η_{hww} für die Wärmeerzeugung
- Energieverluste durch die Gebäudehülle
- Energiegewinne

Energieverluste Q_T und Q_L :

- Transmissionsverluste Q_T durch die Bauteile
- Lüftungsverluste Q_V infolge Luftwechsel
- Wärmeverluste Q_L durch Erzeugung, Betrieb, Speicherung, Verteilung

Energiegewinne Q_s und Q_i :

- Solare Gewinne Q_s infolge Sonneneinstrahlung durch die Fenster
- Interne Gewinne Q_{ip} infolge Personenabwärme (Benutzer)
- Interne Gewinne Q_{iE} infolge Elektrizitätsabwärme (Prozess, Licht, Kraft)

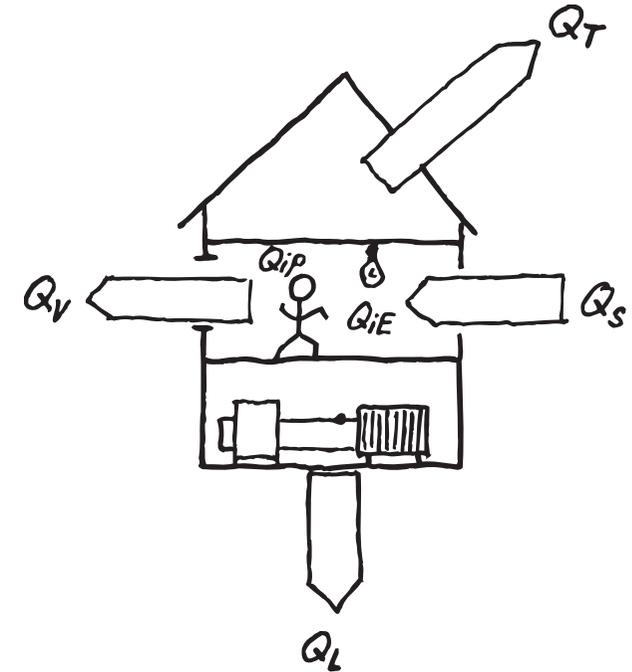


Abb. 6 Energieverluste und -gewinne

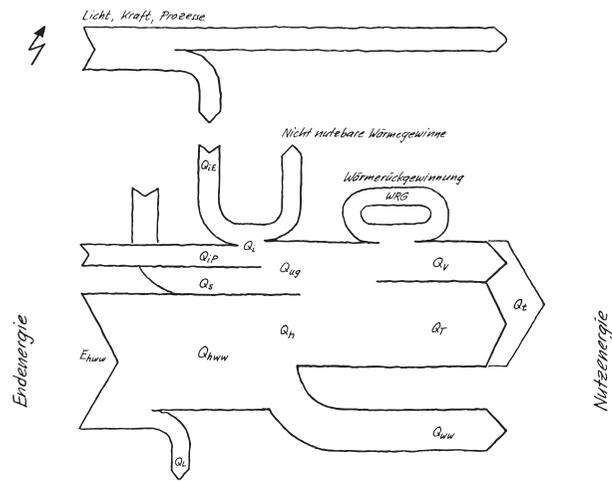


Abb. 7 Begriffe

Die wichtigsten Begriffe und Berechnungsformeln

[Einheit: kWh/m² a oder MJ/m² a]

Q_T = Transmissionsverluste

Q_V = Lüftungsverluste

Q_T = Totale Wärmeverluste Transmission und Lüftung

Q_S = Solarer Wärmegewinn

Q_i = Interne Wärmegewinne

Q_{iP} = Interner Wärmegewinn Personen

Q_{iE} = Interner Wärmegewinn Elektrizität

Q_{ug} = Nutzbare Wärmegewinne

Q_{ww} = Wärmebedarf Warmwasser

Q_L = Wärmeverluste Erzeugung, Speicherung und Verteilung

η_{hww} = Nutzungsgrad Heizung und Warmwasser

η_g = Nutzungsgrad Wärmegewinne

Heizwärmebedarf

$$Q_h = Q_T + Q_V - Q_{ug}$$

Nutzbare Wärmegewinne

$$Q_{ug} = \eta_g \cdot (Q_s + Q_i)$$

Interne Wärmegewinne

$$Q_i = Q_{iP} + Q_{iE}$$

Wärmebedarf Heizung und Warmwasser

$$Q_{hww} = Q_h + Q_{ww}$$

Heizenergiebedarf

$$E_h = Q_h + Q_{Lh}$$

Energiebedarf Warmwasser

$$E_{ww} = Q_{ww} + Q_{Lww}$$

Energiebedarf Heizung und Warmwasser

$$E_{hww} = Q_{hww} + Q_L$$

Die Energiekennzahl Wärme entspricht dem Endenergiebedarf E_{hww} für Heizung und Warmwasser. Sie bezieht sich auf eine Jahresperiode und 1 m² der Energiebezugsfläche EBF.

Die Energiebezugsfläche EBF umfasst die gesamten Bruttogeschossflächen BGF von beheizten, aber teilweise auch unbeheizten Räumen innerhalb der vollständig umschlossenen, wärmedämmten Gebäudehülle (definierte Wärmedämmebene).



Verständigung

$$Q_h = Q_T + Q_V - \eta_g (Q_i + Q_s)$$

Heizwärmebedarf:

Der Heizwärmebedarf Q_h ist die Wärmemenge, die erforderlich ist, um ein Gebäude auf einer gewünschten Raumlufthtemperatur zu halten. Er bestimmt sich aus den Verlusten aufgrund der Transmission und der Lüftung abzüglich den genutzten Anteil der Wärmegewinne. Die Wärmegewinne entstehen durch Sonneneinstrahlung (solarer Wärmegewinn) und durch die von Personen oder Geräten abgegebene Wärme (interne Wärmegewinne).

Der Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne η_g ist abhängig vom Verhältnis der Gewinne zu den Verlusten und von der Wärmeträgheit des Gebäudes. Der Einfluss der verwendeten Regelung der Raumlufthtemperatur wird als Verlust des haustechnischen Systems, das heisst bei der Bestimmung des Nutzungsgrades η_h berücksichtigt.

Die Wärmerückgewinnung WRG in Lüftungstechnischen Anlagen wird als Reduktion des Wärmebedarfs für die Lüftung behandelt.

Wärmebedarf für Warmwasser:

Der Wärmebedarf für Warmwasser Q_{ww} ist die Wärmemenge, welche notwendig ist, um die benötigte Wassermenge auf die gewünschte Temperatur zu erwärmen.

$$E_h = Q_h + Q_{Lh}$$

Heizenergiebedarf:

Der Heizenergiebedarf E_h ist die Endenergiemenge, die dem Heizsystem zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf abzudecken. Er setzt sich zusammen aus dem Heizwärmebedarf Q_h und den technischen Verlusten Q_{Lh} der Wärmeerzeugung und -verteilung. Der Heizenergiebedarf wird gemäss SIA 180/4 auch als Energiekennzahl Heizung bezeichnet.

$$E_{ww} = Q_{ww} + Q_{Lww}$$

Energiebedarf für Warmwasser:

Der Energiebedarf für Warmwasser E_{ww} ist die Endenergiemenge, die dem Warmwassersystem zugeführt werden muss, um den Wärmebedarf für Warmwasser abzudecken. Er setzt sich zusammen aus dem Wärmebedarf für Warmwasser Q_{ww} , den Verlusten Q_{Lww} bei der Warmwassererwärmung, -speicherung und -verteilung (inkl. Warmhaltung der Verteilleitungen) und den Ausstossverlusten. Der Energiebedarf für Warmwasser wird gemäss SIA 180/4 auch als Energiekennzahl Warmwasser bezeichnet.



$$E_{\text{hww}} = E_{\text{h}} + E_{\text{ww}}$$

Energiebedarf für Heizung und Warmwasser:

Der Energiebedarf für Heizung und Warmwasser E_{hww} ist die Endenergiemenge, welche dem System zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf und den Wärmebedarf für Warmwasser zu befriedigen. Er setzt sich zusammen aus dem Heizwärmebedarf Q_{h} , dem Wärmebedarf für Warmwasser Q_{ww} sowie aus den Verlusten Q_{l} bei der Wärmeerzeugung und -speicherung, bei der Heizwärmeverteilung und bei der Warmwasserverteilung. Der Energiebedarf für Heizung und Warmwasser wird auch als Energiekennzahl Wärme E_{w} bezeichnet.

$$\eta_{\text{hww}} = \frac{Q_{\text{hww}}}{E_{\text{hww}}}$$

Nutzungsgrad:

Als Nutzungsgrad bezeichnet man das Verhältnis vom Wärmebedarf zum Energiebedarf im Jahresdurchschnitt.

4.4 Energieflussdiagramm

SIA 380/4 «Elektrische Energie im Hochbau»
(Ausgabe 1995):

Die Empfehlung SIA 380/4 hat einen rationellen Einsatz von Elektrizität in Bauten und Anlagen zum Ziel und will als Planungshilfe dazu beitragen, den Elektrizitätsverbrauch von Neu- und Umbauten zu optimieren. Kernpunkt dieser Empfehlung bildet die standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs.

Energieflussdiagramm nach Norm SIA 380/1

Die Verständlichkeit einer Energiebilanz für ein Wohnhaus kann durch die grafische Darstellung ver-

bessert werden. Die einzelnen Energieflüsse werden dafür proportional aufgetragen und als Diagramm schematisch dargestellt.

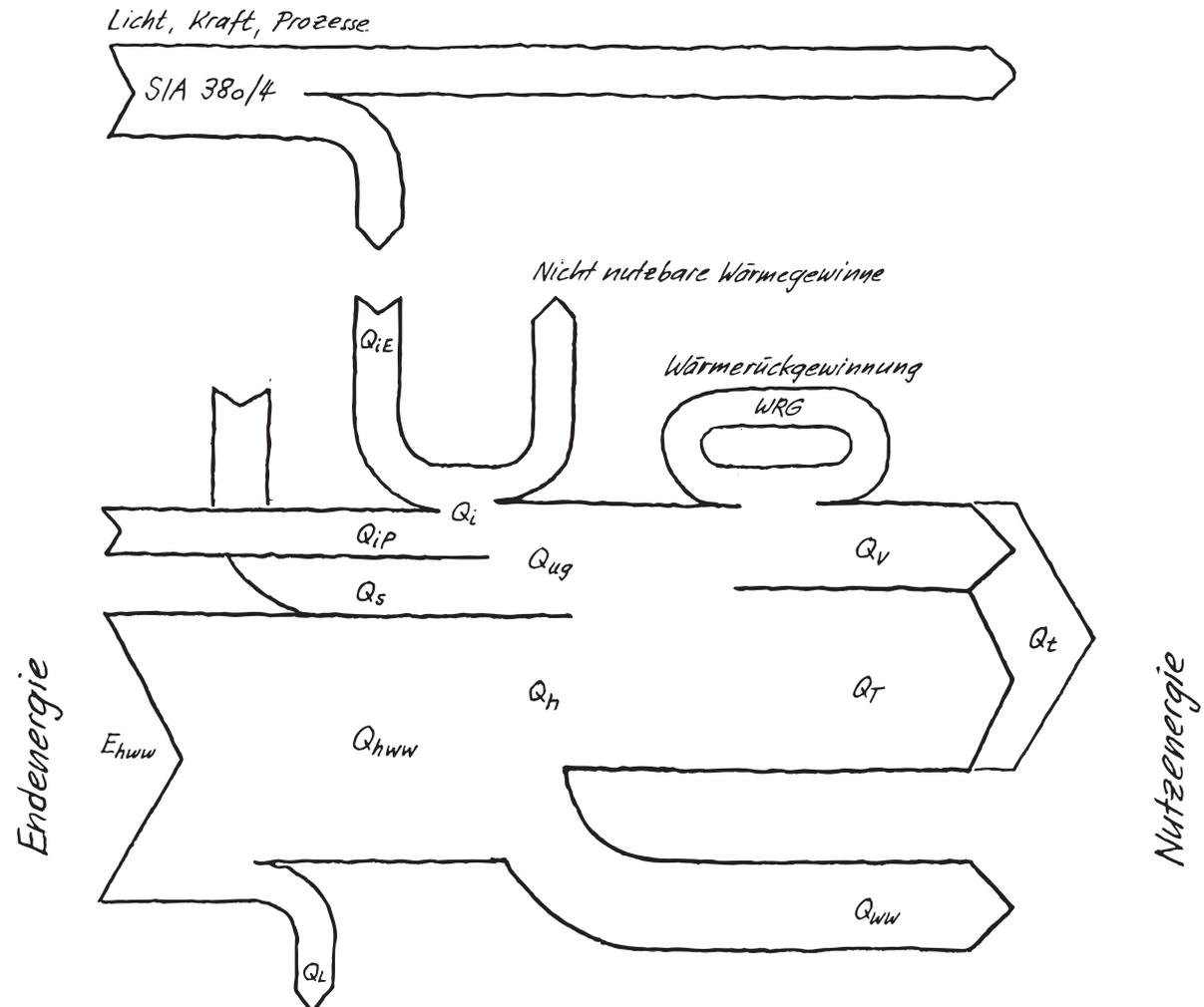


Abb.8 Energieflussdiagramm nach Norm SIA 380/1



Einflussmöglichkeiten zur Energieeinsparung innerhalb der Energiebilanz:

- Verbesserung des Wärmeschutzes von Bauteilen (tieferer U-Wert)
- Einbau einer Ersatzluftanlage mit Wärmerückgewinnung
- Anbau von unbeheizten, verglasten Pufferräumen
- Sonnenenergienutzungsanteil durch die Fenster erhöhen
- Einsatz von Wärmeerzeugungssystemen mit hohem Wirkungsgrad
- Reduktion von Speicherverlusten durch hohe Wärmedämmwerte
- Kurze Verteilleitungen und verbesserte Leitungswärmedämmung

Durch das Beachten der nachfolgenden Grundsätze kann ein niedriger Endenergiebedarf E_{hww} für ein Wohnhaus erzielt werden:

Mit einem durchwegs guten Wärmeschutz der Bauteile und durch Reduktion von konstruktiven Wärmebrücken wird der Transmissionswärmeverlust Q_T tief gehalten.

Eine luftdichte Gebäudehülle und allenfalls der Einsatz einer Ersatzluftanlage mit Wärmerückgewinnung können unnötige Lüftungswärmeverluste Q_V bedeutend reduzieren.

Optimale Ausrichtung eines Gebäudes im Gelände und die geschickte Anordnung von Nutzungszonen sowie auf die Orientierung abgestimmte Fensterflächen ergeben höhere solare Gewinne durch Sonneneinstrahlung Q_s .

Durch den Einbau von unbeheizten, verglasten Pufferräumen wie Windfängen, Wintergärten usw. können einerseits die Verluste durch Transmission und Lüftung nochmals gesenkt und andererseits weitere Sonnenenergiegewinne nutzbar gemacht werden.

Die Berücksichtigung dieser Kriterien ergibt als Resultat einen niedrigeren Heizwärmebedarf Q_h und damit die Voraussetzung für den Einsatz neuer, energieeffizienter Heiztechniken für Raumheizung und Brauchwarmwasser.

Durch die Verwendung eines Wärmeerzeugungssystems mit hohem Wirkungsgrad und einer kompakten, verlustarmen Wärmeverteilung und -speicherung werden hohe Nutzungsgrade ausgewiesen. Zusammen mit einem niedrigen Wärmebedarf Q_{hww} und einem hohen Systemnutzungsgrad η_{hww} für Erzeugung, Speicherung und Verteilung sind schlussendlich auch tiefe Energiekennzahlen für Wärme E_{hww} erreichbar.



4.5 Energiestandards für Gebäude

Gebäudestandard nach Energiegesetz und Wärmedämmvorschriften

Der Heizwärmebedarf Q_h von Gebäuden ist durch kantonale Verordnungen und Vorschriften begrenzt. Die auszuweisende Heizwärme darf einen nutzungbezogenen Grenzwert nicht überschreiten. Die Grösse des Heizwärmebedarfs wird bei üblicher Bauweise hauptsächlich durch die Qualität der Wärmeschutzmassnahmen, also über die Höhe der Transmissionsverluste, sowie über die solaren Wärmegewinne beeinflusst.

Der Heizwärmebedarf für Wohnungsneubauten kann bei diesem Gebäudestandard mit einem Erdöläquivalent von ca. 6 bis 10 Liter Heizöl pro m^2 Energiebezugsfläche und Jahr veranschlagt werden.

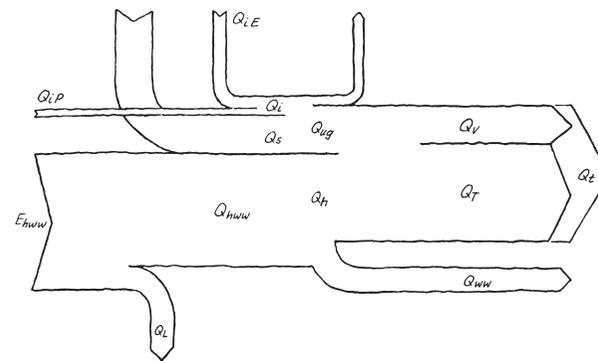


Abb.9 Energieflussdiagramm «Grenzwert»

Niedrigenergiehäuser

Diese Bezeichnung entspricht keiner festgelegten Definition. Im Gebrauch können damit grundsätzlich alle Gebäude bezeichnet werden, die zumindest den vorgeschriebenen Grenzwert einhalten.

Mit dem Ausdruck **Niedrigenergiestandard** wird allerdings zusätzlich die Berücksichtigung nachfolgender Kriterien verstanden:

- hoher Wohnkomfort bei gleichzeitig niedrigem Energieverbrauch
- kompakte, optimal ausgerichtete Gebäudeform
- Baukonstruktion und Materialwahl nach ökologischen Gesichtspunkten
- direkte Nutzung der Sonneneinstrahlung
- sorgfältiger Umgang mit Wasser und Luft
- Berücksichtigung von Siedlungsumfeld und Verkehrsfragen
- überschaubarer und massvoller Einsatz von technischen Installationen
- wirtschaftliche Bauweise
- bewusster Umgang mit Ressourcen
- Einbezug der Themen Abfall, Unterhalt und Rückbau



energiebedarf pro m^2 Wohnfläche in einem europäischen Passivhaus darf $120 \text{ kWh}/(m^2 \text{ a})$ für Raumheizung, Warmwasseraufbereitung und Haushaltsstromverbrauch nicht überschreiten. Dies bildet die Grundlage, den verbleibenden Energiebedarf vollständig durch erneuerbare Energien decken zu können.

Damit wird in einem Passivhaus insgesamt weniger Energie verbraucht, als in durchschnittlichen neuen europäischen Wohnbauten allein an Haushaltsstrom und für die Warmwasserbereitung benötigt wird. Der gesamte Endenergieverbrauch eines Passivhauses ist daher um mindestens einen Faktor 4 geringer als der durchschnittliche Verbrauch in Neubauten nach den jeweils geltenden örtlichen Vorschriften. Ein Passivhaus ist kosteneffizient, wenn die kapitalisierten Gesamtkosten (Investitionen in das Gebäude einschliesslich Planung und Haustechnik sowie Betriebskosten über 30 Jahre) nicht höher sind als in einem durchschnittlichen Neubau.

Folgende Grundsätze bilden einen Leitfaden zum Bau von Passivhäusern:

- Guter Wärmeschutz und Kompaktheit:
Alle Bauteile der Aussenhülle des Hauses werden auf einen U-Wert kleiner als $0,15 \text{ W}/(m^2 \text{ K})$ gedämmt.
- Südorientierung und Verschattungsfreiheit:
Passive Solarenergienutzung ist ein wesentlicher Faktor für das Passivhaus.
- Hochwärmedämmende Verglasung und Fenster-
rahmen:

Die Fenster (Verglasung, einschliesslich der Fensterrahmen) sollen einen U-Wert von $0,80 \text{ W}/(m^2 \text{ K})$ bei einem g-Wert um 50% nicht überschreiten.

- Luftdichtigkeit des Gebäudes:
Die Leckage durch unkontrollierte Fugen muss kleiner als $0,6 \text{ h}^{-1}$ (Gebäudevolumen pro Stunde) sein.
- Passive Vorerwärmung der Frischluft:
Die Frischluft kann über einen Erdreich-Wärmeaustauscher in das Haus geführt werden. Selbst an kalten Wintertagen wird die Luft so bis auf eine Temperatur von über 5°C vorerwärmt.
- Hochwirksame Rückgewinnung der Wärme aus der Abluft mit einem Gegenstromwärmeaustauscher:
Der Frischluft wird der grösste Teil der fühlbaren Wärme aus der Abluft wieder entnommen (Wärmerückgewinnungsgrad über 80%).
- Erwärmung des Brauchwarmwassers mit teilweise regenerativen Energien:
Mit Solarkollektoren oder auch mit Wärmepumpen wird die Energie für die Warmwasserversorgung gewonnen.
- Energiespargeräte für den Haushalt:
Kühlschrank, Herd, Tiefkühltruhe, Lampen, Waschmaschine, usw. als hocheffiziente Stromspargeräte sind ein unverzichtbarer Bestandteil für ein Passivhaus.

Hinweis:

Weitere Informationen zum Passivhaus unter www.passiv.de



Nullenergiehäuser

Nullenergiehäuser sind bisher hauptsächlich als Demonstrations- oder Pilotobjekte realisiert worden. Dabei stand das Sammeln von Erfahrungen hinsichtlich der baulichen und technischen Möglichkeiten sowie den daraus entstehenden Konsequenzen im Vordergrund. Zudem sollte, durch das Aufzeichnen von Messdaten, das Energiesparpotenzial und die Funktionsweise überprüft werden. Bereits gebaute oder auch zukünftig erstellte Nullenergiehäuser sind spezielle, individuelle Einzelobjekte, die keinem verbreiteten Energiestandard zugeschrieben werden können.

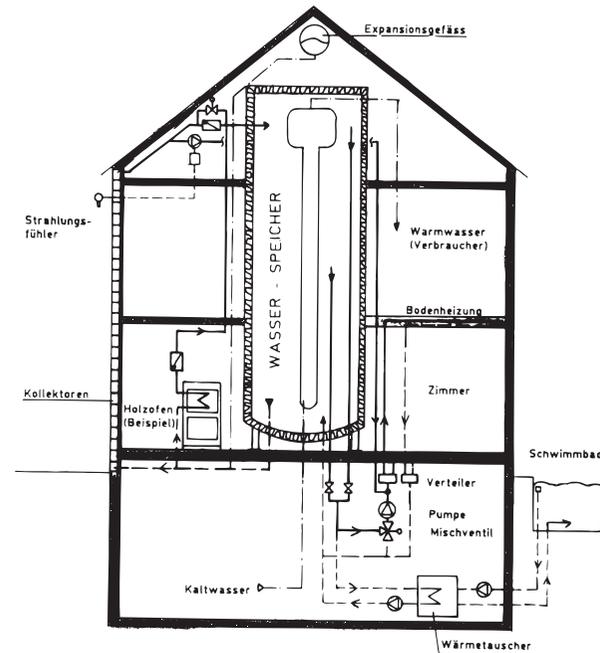


Abb.11 Heureka-Nullenergiehaus

Der Ausdruck «Nullenergiehaus» hat sich eingebürgert, obwohl er eigentlich nicht ganz korrekt ist. Selbstverständlich brauchen auch diese Häuser Energie, die sie sich allerdings ausschliesslich aus der Sonnenenergienutzung beschaffen. «Nullenergiehaus» meint lediglich, dass weder Elektrizität, noch Öl, Gas oder Holz für die Wärmeerzeugung benötigt werden. Nullenergiehäuser der neuesten Generation funktionieren, ähnlich wie Passivhäuser, alle nach dem gleichen Prinzip: Sie verfügen über eine optimale Wärmedämmung der Gebäudehülle sowie über ein energieeffizientes Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung (WRG). Durch den Einsatz von Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien benötigen sie schlussendlich nur noch maximal einen Viertel der Energien konventioneller Neubauten. Einige wenige Bauten kommen sogar ohne jede Fremdenergie aus. Nachteilig bei dieser Bauweise ist, dass die Reduktion der Betriebsenergie in der Regel durch einen höheren Anteil an grauer Energie erkaufte werden muss. Dies kann jedoch durch eine ökologische Bauweise zumindest teilweise kompensiert werden.

4.6 Der betriebliche Energiefluss in einem Wohnhaus

Der Energiefluss zwischen Endenergie und Nutzenergie in einem Wohnhaus ist auch als Betriebsablauf darstellbar. Diese grafische Form wird allerdings vor allem bei industriellen oder gewerblichen Gebäudenutzungen mit Prozessenergien angewendet.

Für ein einfaches Wohnhaus können z.B. folgende betriebliche Ablaufstufen beschrieben werden:

- **Bereitstellung der Endenergie**
z.B. Heizöl, Gas, Umweltwärme usw.
- **Energieumwandlung**
z.B. Heizkessel, Wärmepumpe usw.
- **Energieverteilung**
z.B. Verteilnetz für Heisswasser, Strom usw.
- **Energieabnehmer**
z.B. Heizung, Warmwasser-Zapfstellen, Beleuchtung, Motoren usw.
- **Energiedienstleistung als Nutzenergie**
z.B. Wärme, Licht, Kraft usw.
- **Entsorgung**
z.B. Rauchgase, Abluft usw.
- **Energierückgewinnung**
z.B. Abwärme, Abluft usw.

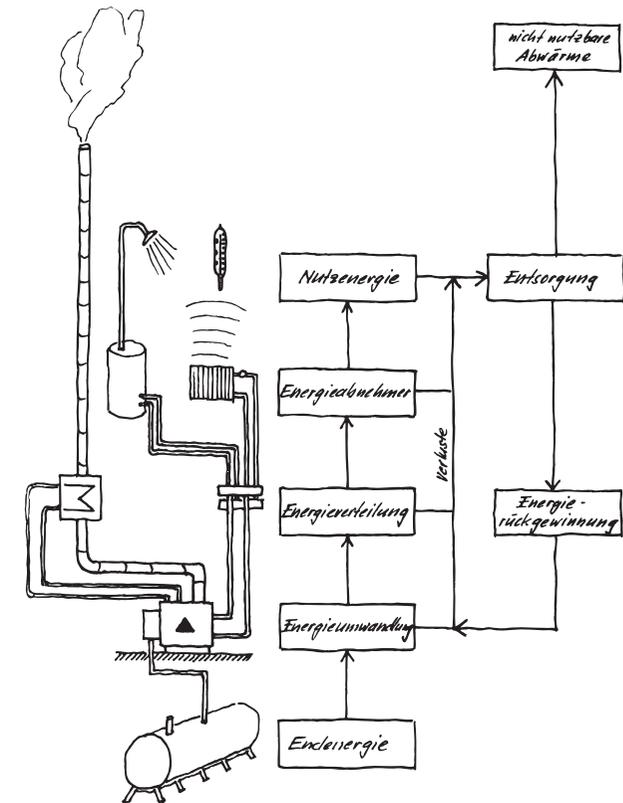


Abb. 12 Betrieblicher Energiefluss



4.7 Energie und Nachhaltigkeit

Die Bewertung eines Objektes nach ökologischen Kriterien erfolgt heute aufgrund der angestrebten und erreichten Nachhaltigkeit. Die Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Bauvorhabens umfasst die Themen Gesellschaft, Wirtschaft, Umwelt und Raum. Innerhalb dieser Bereiche müssen zum Beispiel Fragen zu Standortqualität, Ökonomie, Heizenergiebedarf, Haustechnik und Material beantwortet werden. Die Auswertung der einzelnen Kriterien und Aspekte nach speziellen Planungsinstrumenten ergibt als Gesamtbetrachtung die gesuchte Antwort betreffend der Nachhaltigkeit eines Objektes.

Für die umfassende ökologische Beurteilung eines Gebäudes ist mit der energetischen Auseinandersetzung allein somit nur ein Teilaspekt einbezogen. Möglichst tiefe Werte für den Verbrauch von Betriebsenergie, aber auch für die aufgewendete graue Energie stellen im Rahmen der Umweltbewertung einen entscheidenden Faktor dar und sind als wichtiger Schritt für ein nachhaltiges Bauen unabdingbar.

4.8 Glossar

1930	↘	130'860 TJ	= 100%
1940		128'520 TJ	
1950	↗	168'120 TJ	
1960		295'000 TJ	
1970		586'790 TJ	
1973	↘	673'750 TJ	
1974	↘	623'550 TJ	
1980	↗	683'870 TJ	
1985		724'110 TJ	
1990		786'140 TJ	
1995		811'090 TJ	
1996	↘	829'960 TJ	
1997	↘	824'980 TJ	
1998	↗	847'100 TJ	
1999		861'770 TJ	
2000	↘	855'290 TJ	= 653%

Abb. 13
Entwicklung des Gesamt-
energie-Endverbrauches
in der Schweiz

a) Energiekonsum

In den letzten Jahren ist die Energie zu einem gesellschaftspolitischen Schlagwort geworden. Physikalisch ist Energie eine messbare Grösse, welche einem Erhaltungssatz genügt, das heisst: Energie kann weder erzeugt noch vernichtet, sondern lediglich von einer Form in die andere umgewandelt werden. Die Tatsache, dass Energie den Status einer gesellschaftlichen und politischen Grösse einnehmen konnte, hat mehrere Gründe. Nach dem zweiten Weltkrieg wurde die Kohle allmählich vom bequemerem Öl verdrängt. Die Komfortansprüche und die Energieumsätze nahmen sprunghaft zu. Dass so hohe Energieumsätze nicht ewig andauern können, ist spätestens seit der Ölkrise im Jahre 1973 bekannt. Die nachfolgend eingeleiteten Sparbemühungen führten zum Überdenken des Gesamtenergieverbrauchs und im Speziellen zum Umdenken beim Konsum von nicht erneuerbaren Energieressourcen. Es entstand der Grundsatz der rationalen Energieverwendung.

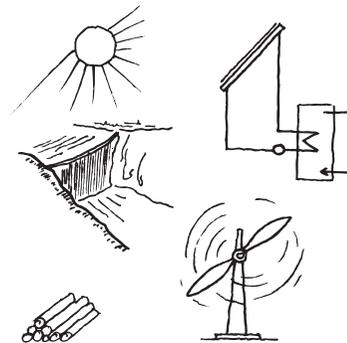


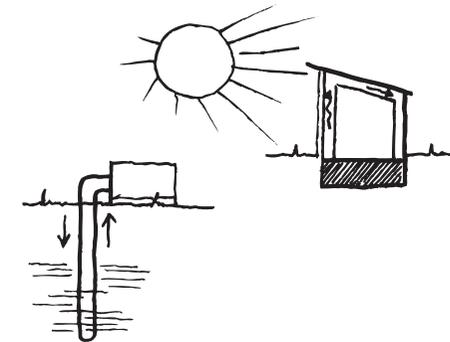
Abb. 14/15 Erneuerbare Energien

b) Energiequellen

Das **Energievorkommen** beinhaltet die gesamtheitlich in der Natur vorhandene und mit technischen Hilfsmitteln gewinnbare Energie.

Vorräte **erneuerbarer Energie**, auch regenerierbare oder regenerative Energien genannt, erneuern sich auf natürliche Weise entweder kontinuierlich oder in Zyklen. Die Energiequellen können dabei vollständig oder nur teilweise erneuerbar sein. Für die Schweiz sind folgende erneuerbaren Energiequellen von Bedeutung:

- Wasserkraft (potenzielle Energie der Gewässer)
- Sonnenstrahlung (Sonnenenergie)
- Umgebungswärme (Umweltenergie)
- Erdwärme (geothermische Energie)
- Biomasse (Energie organischen Ursprungs, v.a. Holzenergie)
- Windkraft (Windenergie)



Nicht erneuerbare Energievorkommen sind wirtschaftlich nutzbare Energievorräte, welche nicht oder nur in sehr grossen Zeiträumen neu gebildet werden:

- Erdöl
- Erdgas
- Kohle
- Uran

Fossile Energien sind organischer Herkunft. Sie sind in erdgeschichtlichen Zeiten entstanden. Die fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas und Kohle deckten 2000 rund 72% des gesamten Endenergieverbrauchs in der Schweiz.



Abb.16 Nicht erneuerbare Energien

c) Energieträger

Alle Stoffe bzw. physikalischen Erscheinungsformen von Energie, aus denen direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen Nutzenergie bzw. Energiedienstleistungen gewonnen werden können, werden als Energieträger bezeichnet, z.B.:

- Heizöl
- Erdgas
- Elektrizität
- Holz
- Dampf
- u.a.

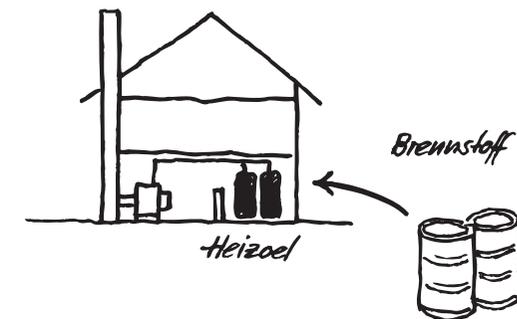


Abb.17 Energieträger



d) Energieverbraucher in einem Gebäude

Für die Erstellung und die Nutzung eines Gebäudes benötigt man Energie.

Der Energieeinsatz für die Herstellung von Baumaterialien und die daraus entstehenden Bauwerke wird als graue Energie bezeichnet. Die graue Energie stellt eine Bewertungsgrösse dar, die neben dem Energieeinsatz auch für weitere Umweltauswirkungen, wie Treibhausgase und andere Luftschadstoffe, aussagekräftig ist.

In einem Wohnhaus sind verschiedenartige Energieverbraucher anzutreffen. Der dafür notwendige Energieaufwand wird als Betriebsenergie bezeichnet:

- Heizung
- Lüftung (z.B. Ersatzluftanlage)
- Warmwasser
- Beleuchtung
- Haushaltgeräte
- Spezielle elektrische Geräte (Computer, Stereoanlage usw.)

Der Energieeinsatz für die Nutzung des Gebäudes ist eine wichtige Schlüsselgrösse hinsichtlich der Qualität des Wärmehaushaltes.

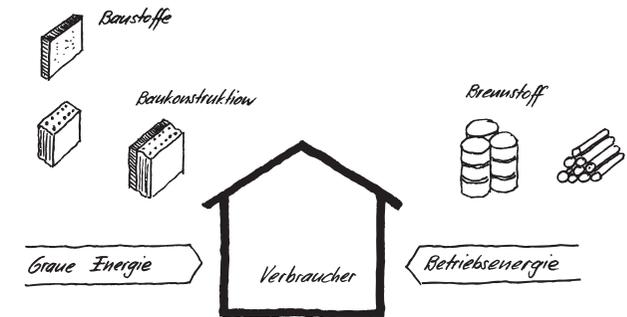


Abb. 18 Graue Energie und Betriebsenergie

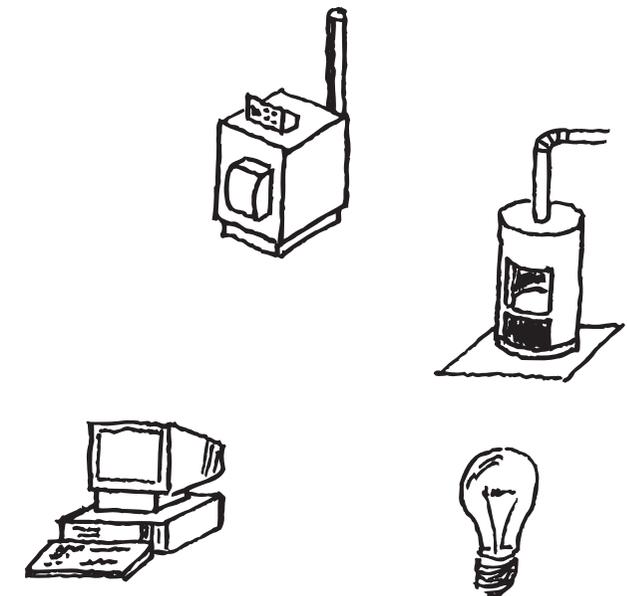


Abb. 19 Energieverbraucher

e) Energieflüsse

Die Bereitstellung von Energie für die Erstellung und die Nutzung eines Gebäudes erfolgt in mehreren Stufen. Der Energiefluss beschreibt den ganzen Energieprozess von der ersten Stufe, beginnend bei der Energiegewinnung, über die Bereitstellung des Energieträgers bis zur letzten Stufe, der Fertigstellung von Bauteilen oder der Wärmeabgabe in einzelnen Räumen.

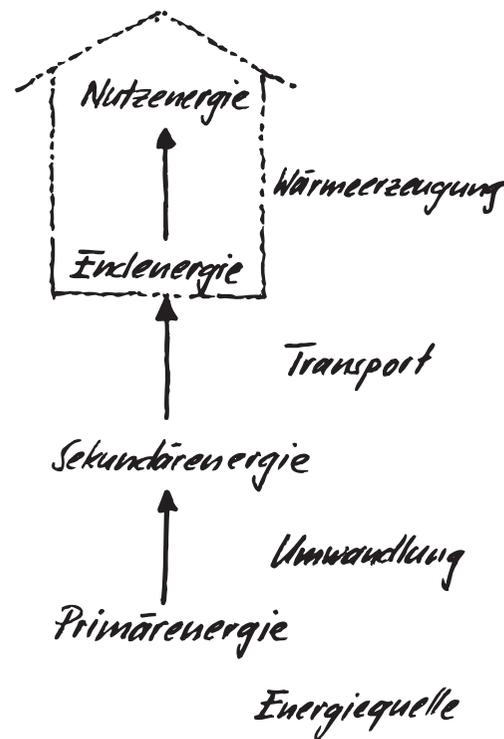


Abb.20 Energiestufen

Betrieblicher Energiefluss:

Interessant hinsichtlich dem Energieverbrauch ist in erster Linie der betriebliche Energiefluss innerhalb eines Gebäudes von der Stufe Endenergie (z.B. Haustank mit Heizöl) bis zur letzten Stufe, der Nutzenergie (z.B. Wärmeabgabe mittels Heizkörpern).

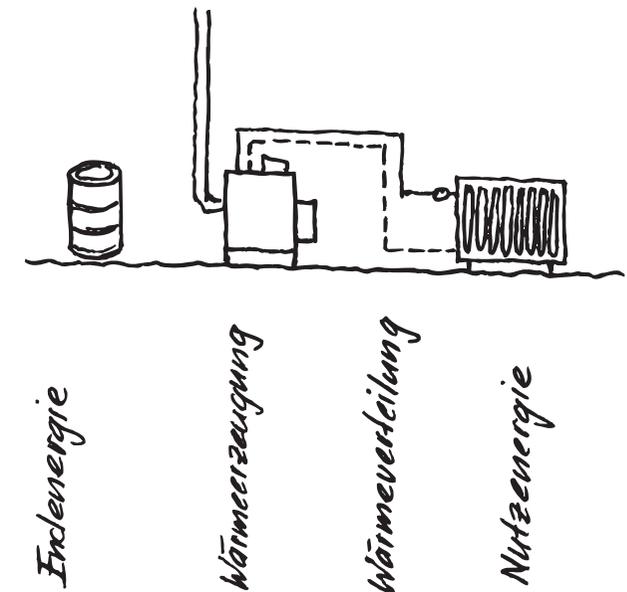
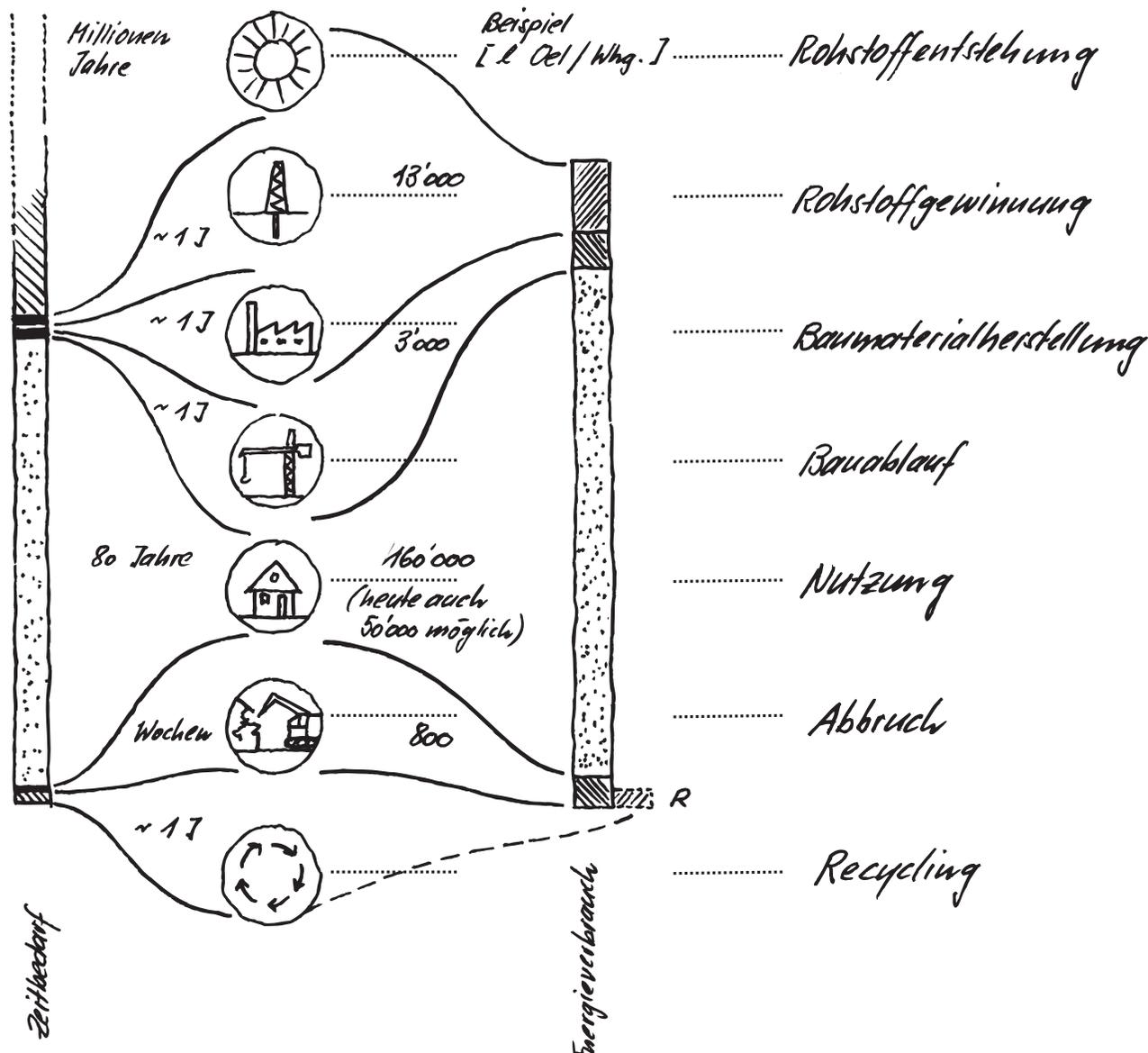


Abb.21 Betriebsenergie

Qualitative sowie quantitative Aussagen zum Umgang mit Energieressourcen werden hauptsächlich durch die Wahl des Energieträgers und aufgrund des erforderlichen Wärmebedarfs eines Gebäudes bestimmt.



In diesem Energieflussbereich liegt das grösste Einsparpotenzial von Betriebsenergie. Mittels Energiebilanzen werden Energieverluste und Energiegewinne gegenübergestellt und durch Energieflussdiagramme auf anschauliche Weise grafisch dargestellt. Der Erfolg von Korrekturen durch Beeinflussung einzelner Komponenten (wie z.B. ein verbesserter Wärmeschutz eines Bauteils oder ein erhöhter Sonnenenergiegewinn infolge grösserer Fensterflächen auf der Gebäudesüdseite) können mit Hilfe dieser Bilanzen und Diagrammen laufend überprüft werden.

Die Grundlage für das Erstellen von Energiebilanzen und Energieflussdiagrammen ist die Norm SIA 380/1 «Thermische Energie im Hochbau» (Ausgabe 2001).

Energiefluss anhand des Lebenszyklus von Bauten:

Die Grafik veranschaulicht am Beispiel eines Wohnhauses deutlich, wo innerhalb des Energieflusses, bezogen auf den Lebenszyklus eines Bauwerks, das grösste Energiesparpotenzial liegt. Die Nutzung eines Gebäudes und die dafür erforderliche Betriebsenergie ist schon aufgrund der Nutzungsdauer des Bauwerks der entscheidende Verbrauchsfaktor.

Abb.22 Das Bauen in erdgeschichtlichen Dimensionen



5 Aufgaben, Lösungsvorschläge

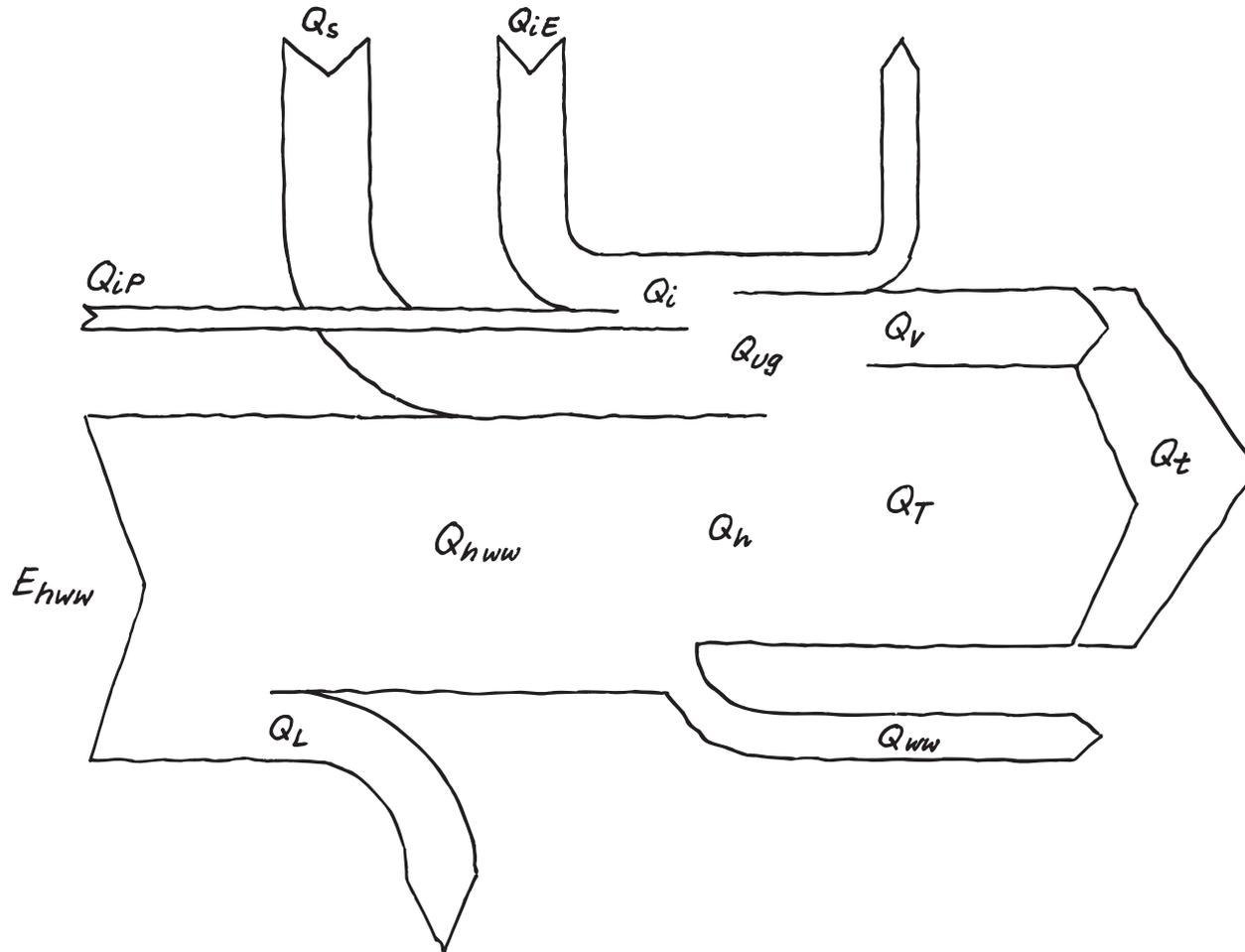
Lernaufträge:

Zeichnen Sie das Energieflussdiagramm für den Wärmehaushalt eines neuen Einfamilienhauses, Baujahr 2001, herkömmliche Bauweise, mit den nachfolgenden Energiebilanzwerten massstäblich auf:

$$\begin{aligned}
 \text{EBF} &= 338 \quad \text{m}^2 \\
 Q_T &= 300 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 Q_V &= 80 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 Q_{iE} &= 56 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 Q_{iP} &= 18 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 Q_s &= 103 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 \eta_g &= 0,77 \quad - \\
 Q_{ww} &= 50 \text{ MJ/m}^2 \text{ a} \\
 \eta_{hww} &= 0,80 \quad - \text{ (Ölheizung mit kombinierter} \\
 &\quad \text{Wassererwärmung)}
 \end{aligned}$$

- Wie gross ist der Wärmebedarf Q_{hww} für das Einfamilienhaus ?
- Wie gross ist die Energiekennzahl Wärme E_{hww} für das Einfamilienhaus?
- Wie ist die Grösse der resultierenden Energiekennzahl Wärme E_{hww} im Vergleich mit den Vorgaben in der Norm SIA 380/1 «Thermische Energie im Hochbau» (2001) zu beurteilen?
- In welchen Bereichen wäre aufgrund der Energiebilanz bei einer zukünftigen energetischen Sanierung anzusetzen, um den Zielwert E_{hww} von $240 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ nach Norm SIA 380/1 (2001) zu erreichen?
- Wir gehen von einem Neubau aus. Wo müssten zusätzliche Massnahmen ergriffen werden, damit das Gebäude zudem dem Energiestandard Minergie mit einem Energiebedarf für Wärme E_{hww} von $150 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ entsprechen könnte?

Lösungen:



$$a) Q_{hww} = Q_T + Q_v - \eta_g \cdot (Q_{iE} + Q_{iP} + Q_s) + Q_{ww} = 293 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$$

$$b) E_{hww} = Q_{hww} / \eta_{hww} = 366 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$$

- c) Für Bauten mit Baujahr 2001 ist am Beispiel des beschriebenen Einfamilienhauses in der Norm SIA 380/1 (2001) ein Grenzwert E_{hww} von $401 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ definiert. Die resultierende Energiekennzahl E_{hww} mit $366 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ liegt somit innerhalb dieses Grenzwertes. Der Zielwert für Bauten mit Baujahr nach 2001 beträgt allerdings $240 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$. Bezogen auf diesen Zielwert weist das Gebäude einen grossen Endenergiebedarf aus.

Energiekennzahlen SIA 380/1 (Ausgabe 2001) und Minergie für das Beispiel:

- Grenzwert E_{hww} : $401 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$
Mindestwert für Neubauten (100 %)
- Zielwert E_{hww} : $240 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$
Gute Werte für Neubauten (60 %)
- Minergie $*E_{hww}$: $150 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$
Neubauten ab 1990
Energiekennzahl Wärme

* E_{hww} = gewichtete Energiekennzahl für Heizung, Lüftung und Brauchwarmwasser. Für den Minergie-Nachweis wird der Energiebedarf Elektrizität für die Wärmeerzeugung und Lüftung doppelt gewichtet.

Abb. 23 Energieflussdiagramm



- d) Die grössten Energieeinsparpotenziale sind durch die Reduktion der Transmissionswärmeverluste Q_T und eine Verbesserung des Systemnutzungsgrades η_{hww} zu erwarten. Einerseits wäre somit eine wärmetechnische Sanierung der Bauteile angezeigt, und andererseits müsste der Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung für die Heizung und das Warmwasser erhöht werden, beispielsweise mit einer neuen, energieeffizienten Heizungsanlage (Sole/Wasser-Wärmepumpe, Gas-Kondensationskessel u.a.) und gut wärmegeämmten Verteilleitungen.
- e) – Weitere Verbesserung des Wärmeschutzes von Bauteilen (tiefer U-Wert) und somit nochmalige Reduktion der Transmissionswärmeverluste Q_T .
– Verminderung der Lüftungswärmeverluste Q_V durch den Einbau einer Ersatzluftanlage mit Wärmerückgewinnung (kontrollierte Lüftung).
– Verbesserung des solaren Wärmegewinns durch optimierte Anordnung und Vergrösserung der nach Süden gerichteten Fensterflächen.
– Verwendung von Verglasungen mit möglichst hohem Gesamtenergiedurchlassgrad g bei weiterhin gutem U-Wert des Isolierglases.
– Einsatz erneuerbarer Energien wie z.B. Sonnenenergie, Umgebungswärme oder Erdwärme für die Wärmeerzeugung.



6 Weiterführende Literatur

- Wärmeschutz im Hochbau, Norm SIA 180, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich (1999)
- Thermische Energie im Hochbau, Norm SIA 380/1, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich (2001)
- Thermische Energie im Hochbau, Leitfaden für die Anwendung der Norm SIA 380/1, SIA - Dokumentation D 0170, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich (2001)
- Elektrische Energie im Hochbau, Empfehlung SIA 380/4, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich (1995)
- Energiekennzahl, Empfehlung SIA 180/4, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich (1982)
- Energiekennzahlen von Gebäudegruppen, SIA – Dokumentation D 024, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich (1988)
- Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, SIA – Dokumentation D 0123, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich (1995)
- Element 29, Wärmeschutz und Energie im Hochbau, Schweizerische Ziegeleiindustrie, Zürich (1990, vergriffen)
- M. Ragonesi: Bautechnik der Gebäudehülle – Bau und Energie, Leitfaden für Planung und Praxis, Herausgeber: Ch. Zürcher, vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich (1993)
- H. Moor: Physikalische Grundlagen – Bau und Energie, Leitfaden für Planung und Praxis, Herausgeber: Ch. Zürcher, vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich (1993)
- Ch. Schmid, J. Nipkow, Ch. Vogt : Heizung, Lüftung, Elektrizität – Bau und Energie, Leitfaden für Planung und Praxis, Herausgeber: Ch. Zürcher, vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich (2000)
- Schweizer Energiefachbuch, Herausgeber: R. Köhler, Künzler-Bachmann AG, St. Gallen (erscheint jährlich)
- R. Fraefel: Das Minergie-Haus, Planungshilfe für Baufachleute, Herausgeber: Baudirektion des Kantons Zürich, AWEL Abt. Energie, Zürich (1998)

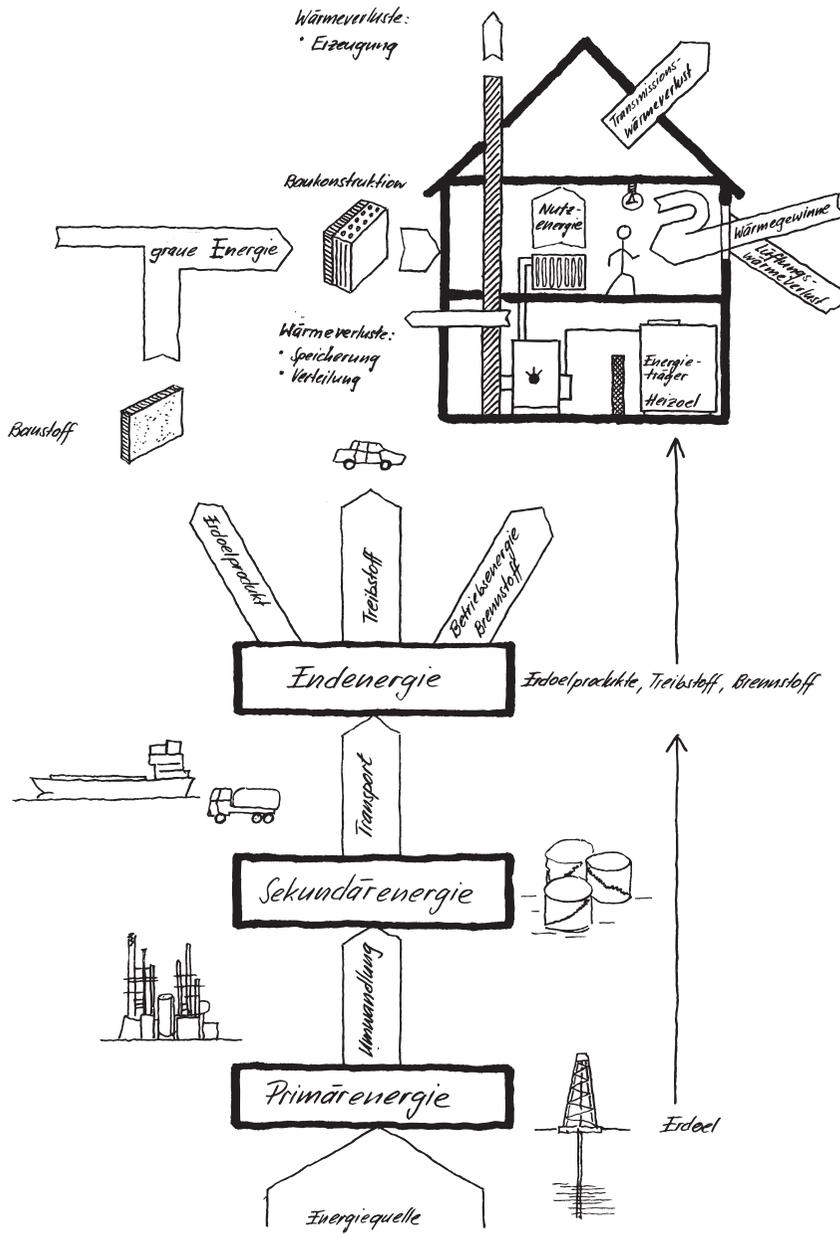


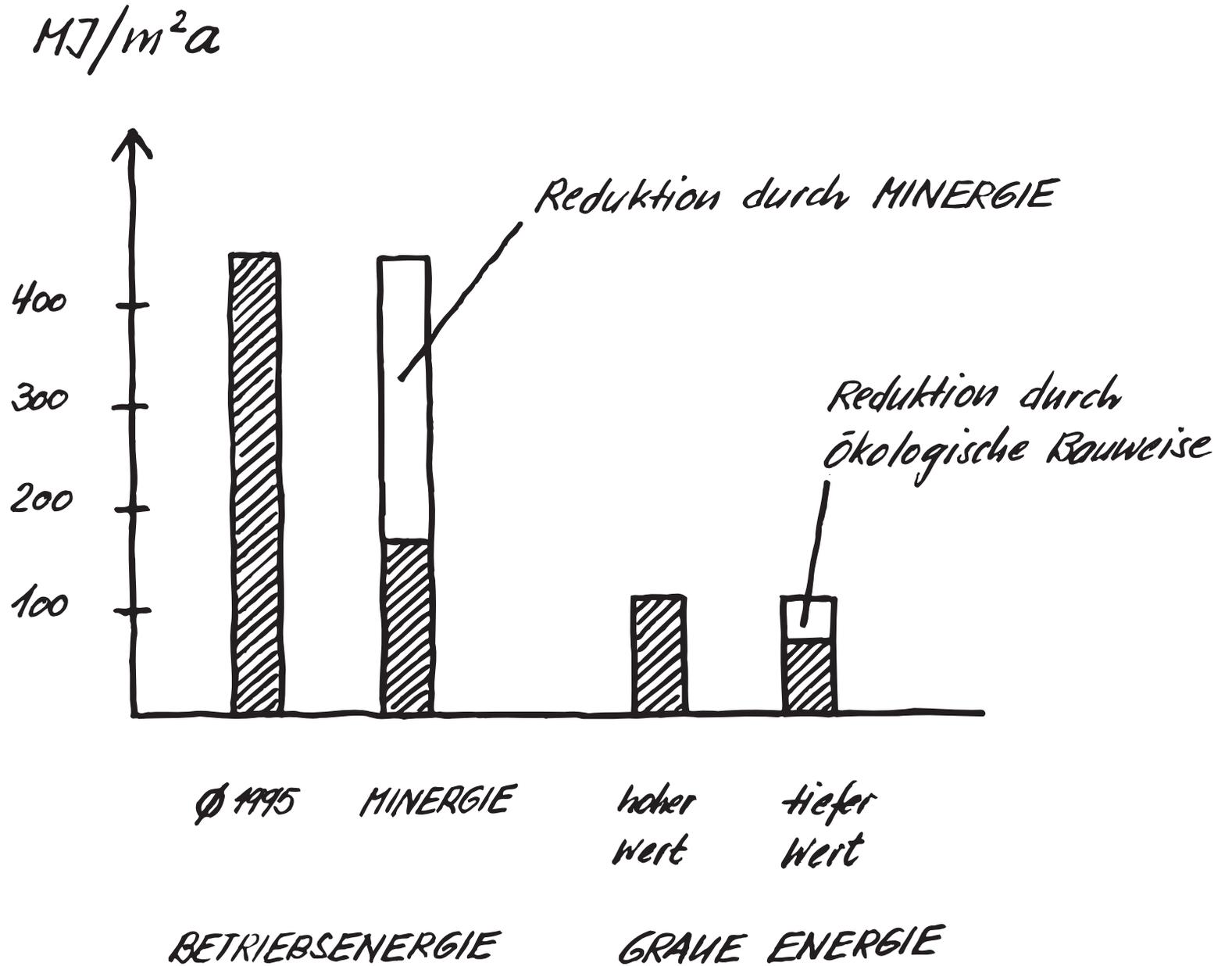
7 Bild- und Textnachweis

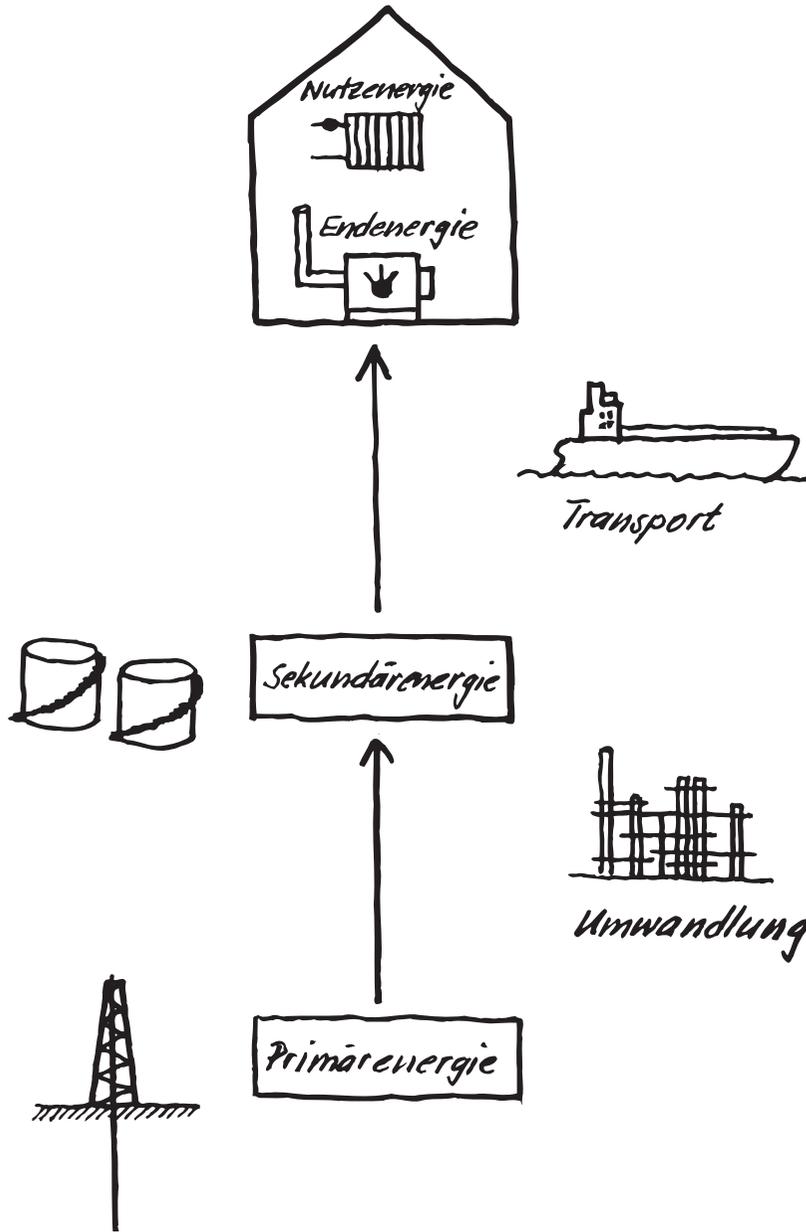
Sämtliche Zeichnungen ausser Abb. 11 stammen vom Autor.

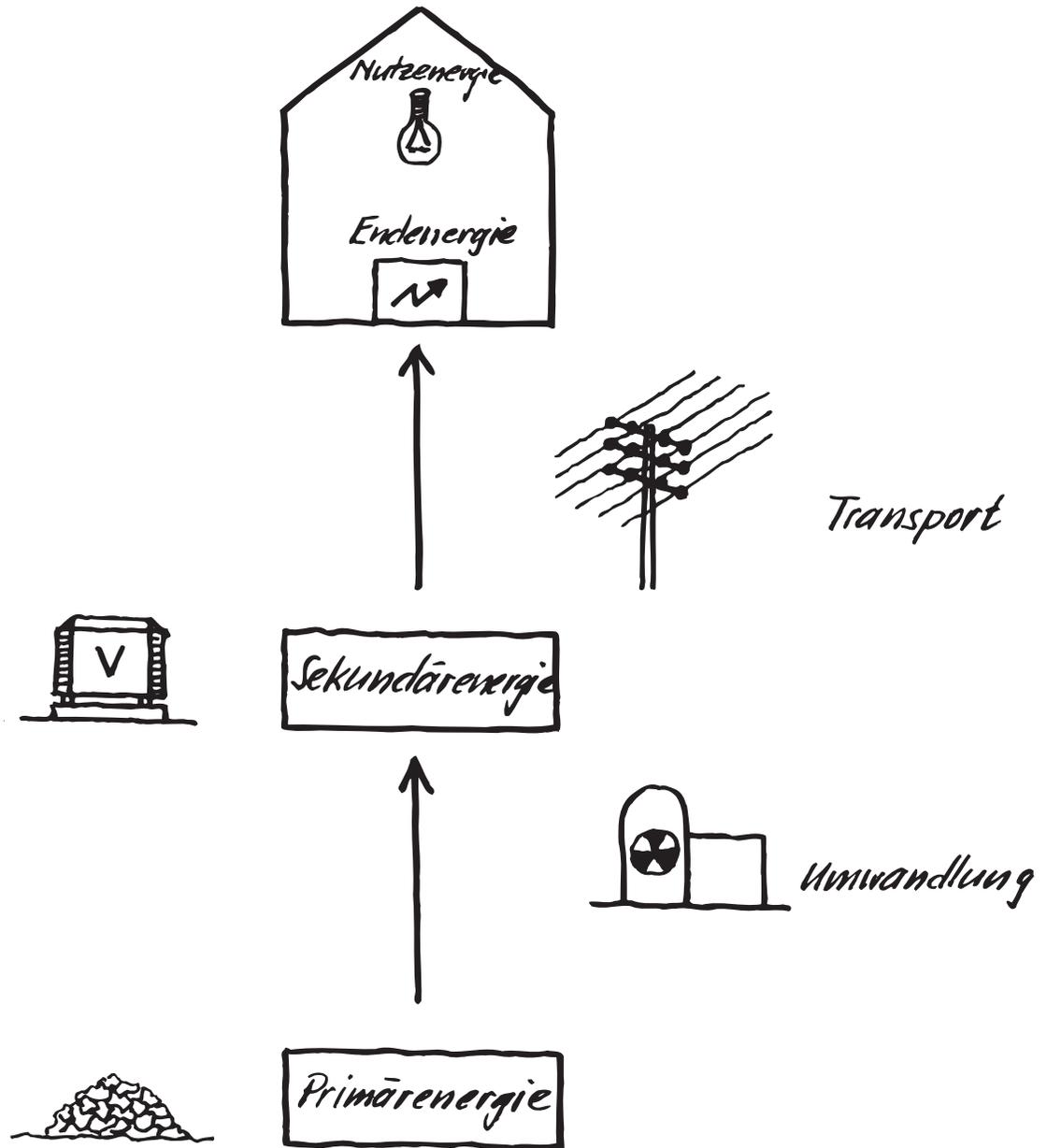
Abbildung 11:
Schweizer Energiefachbuch, Ausgabe 1992

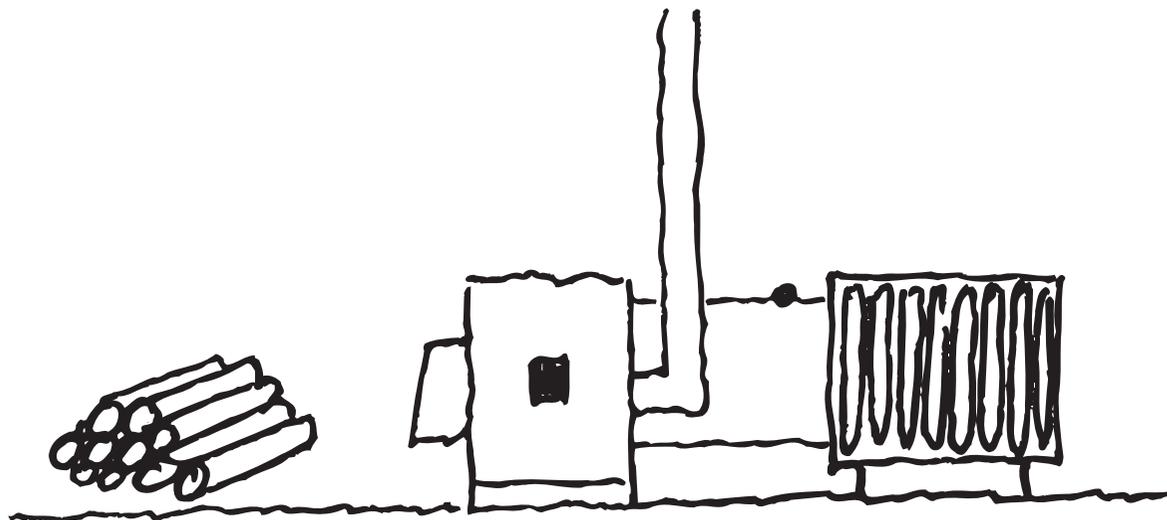
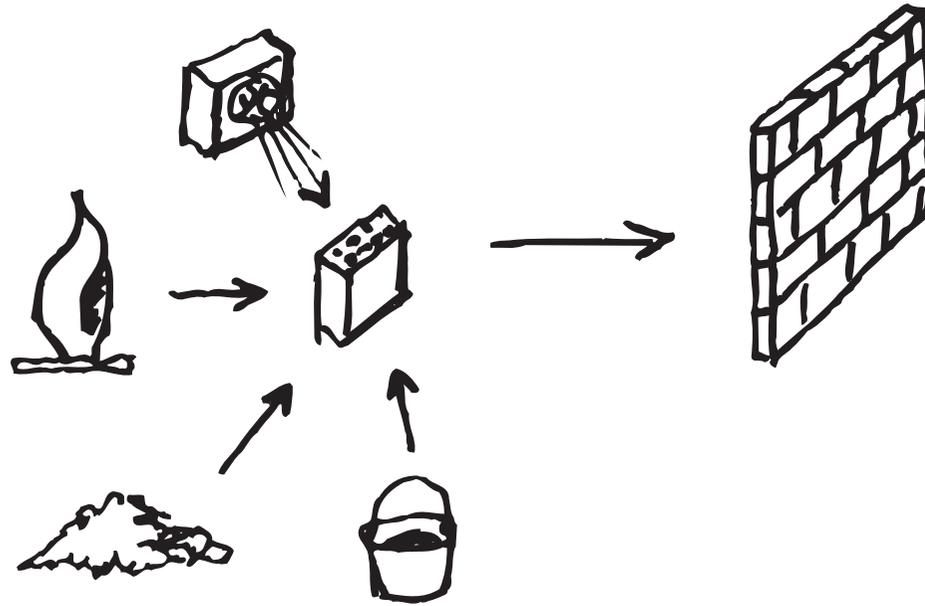
8 Vorlagen

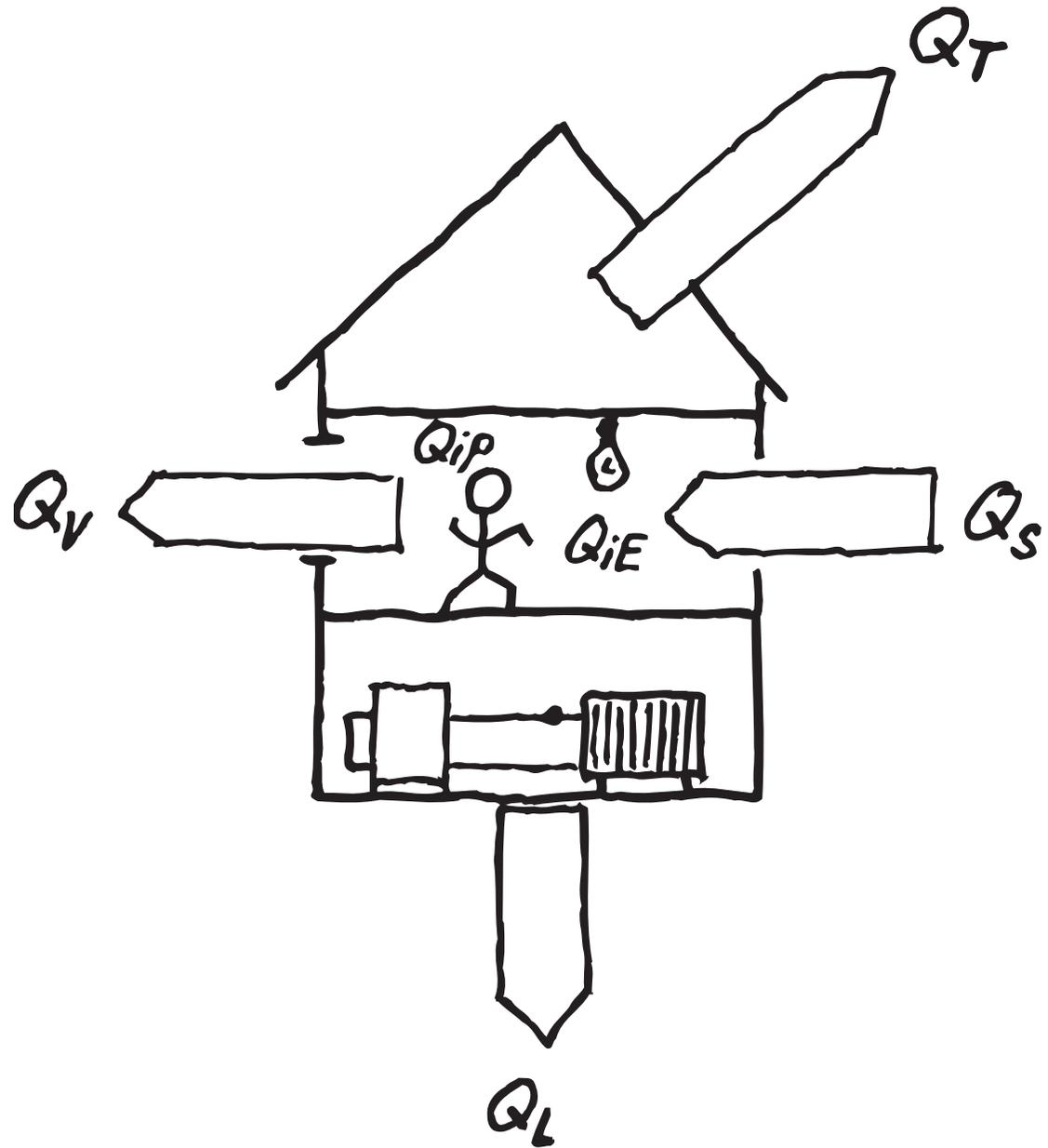


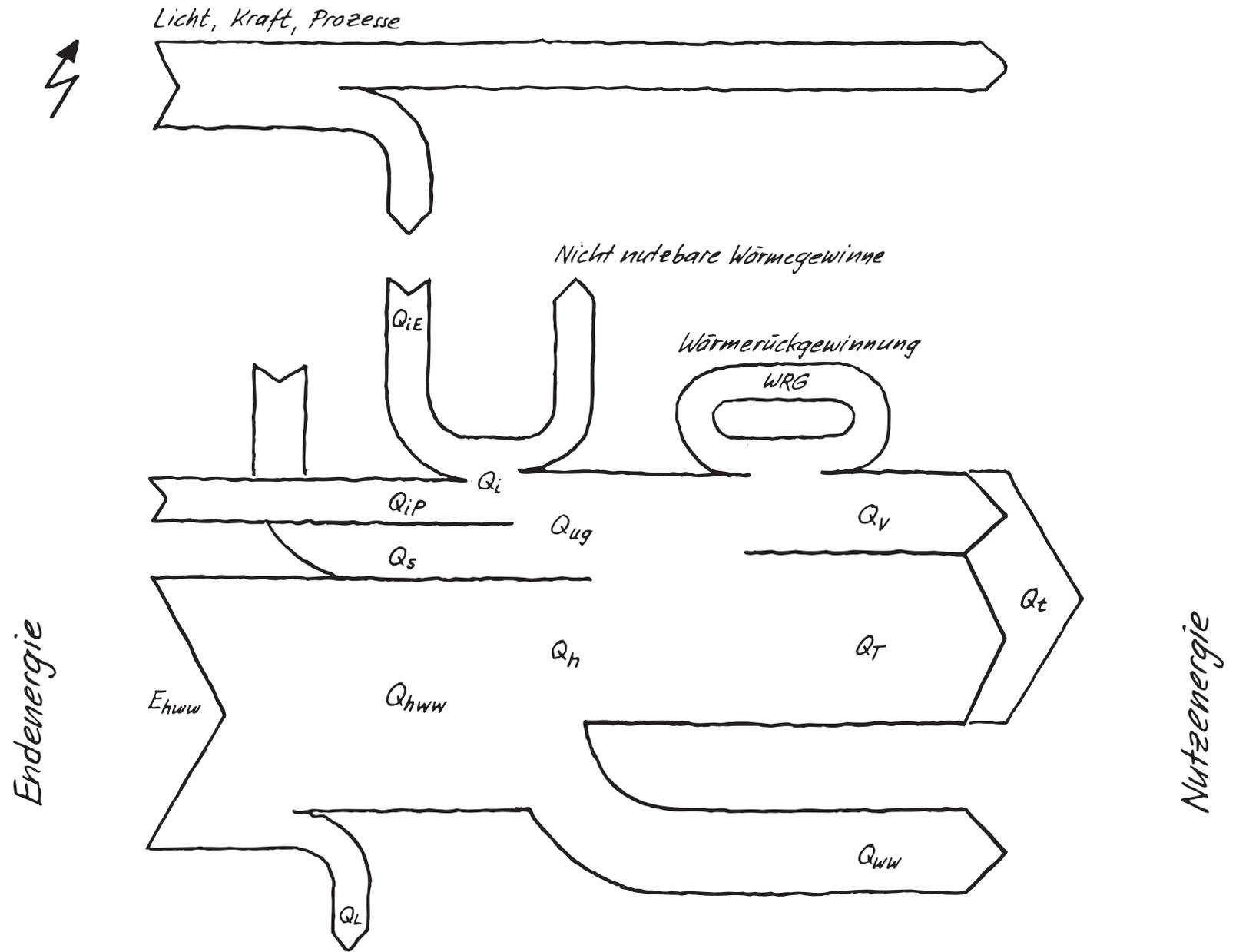


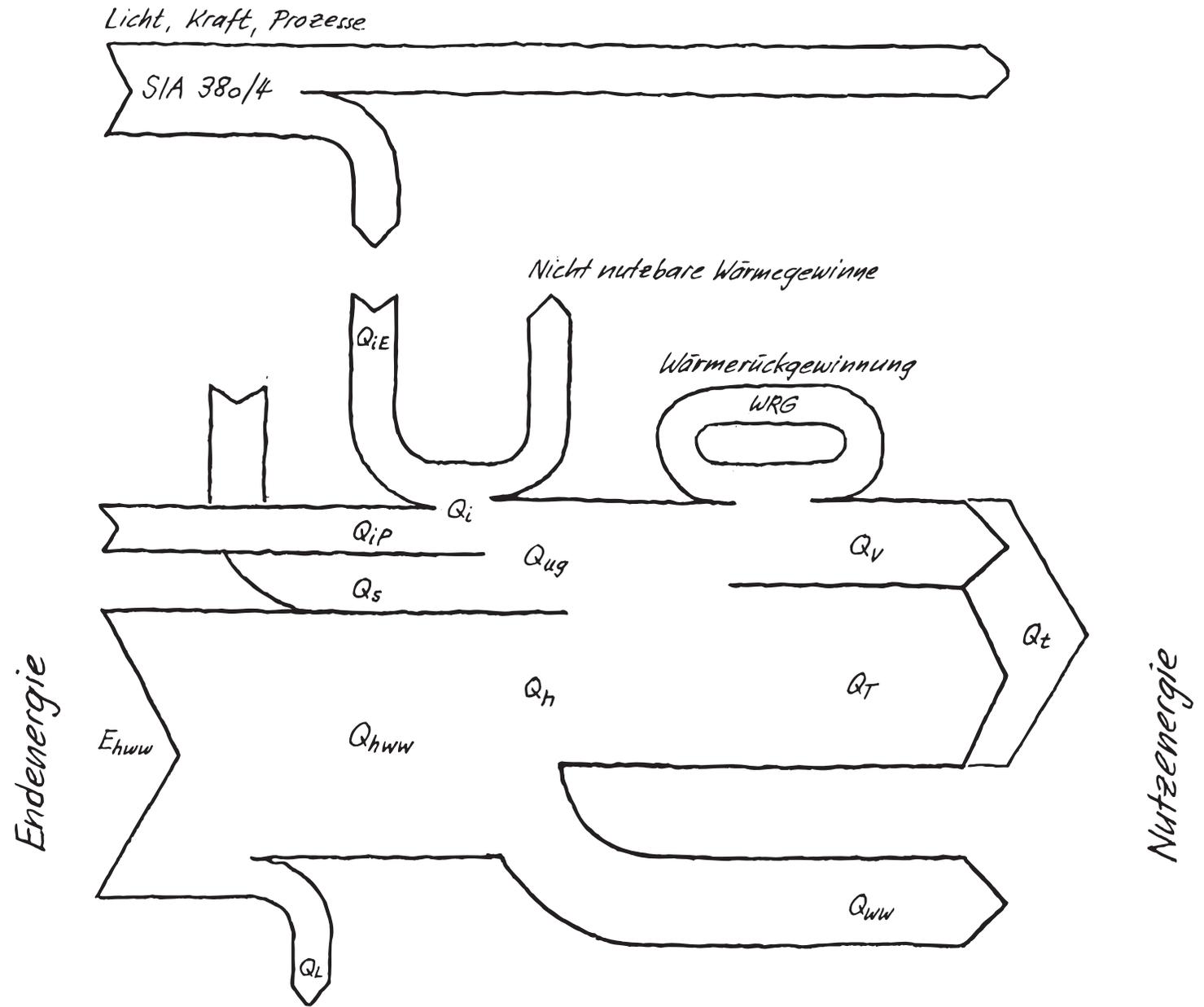


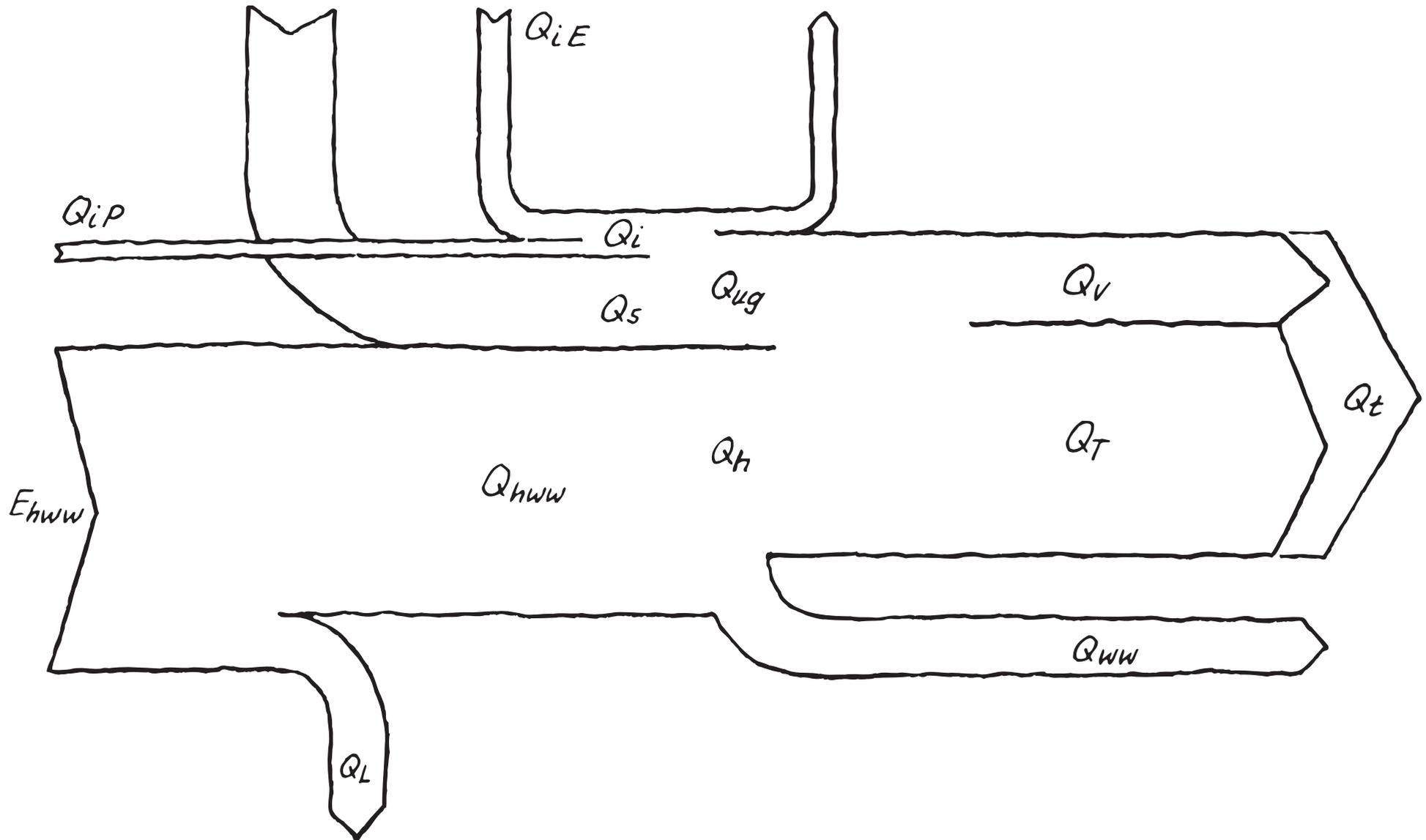


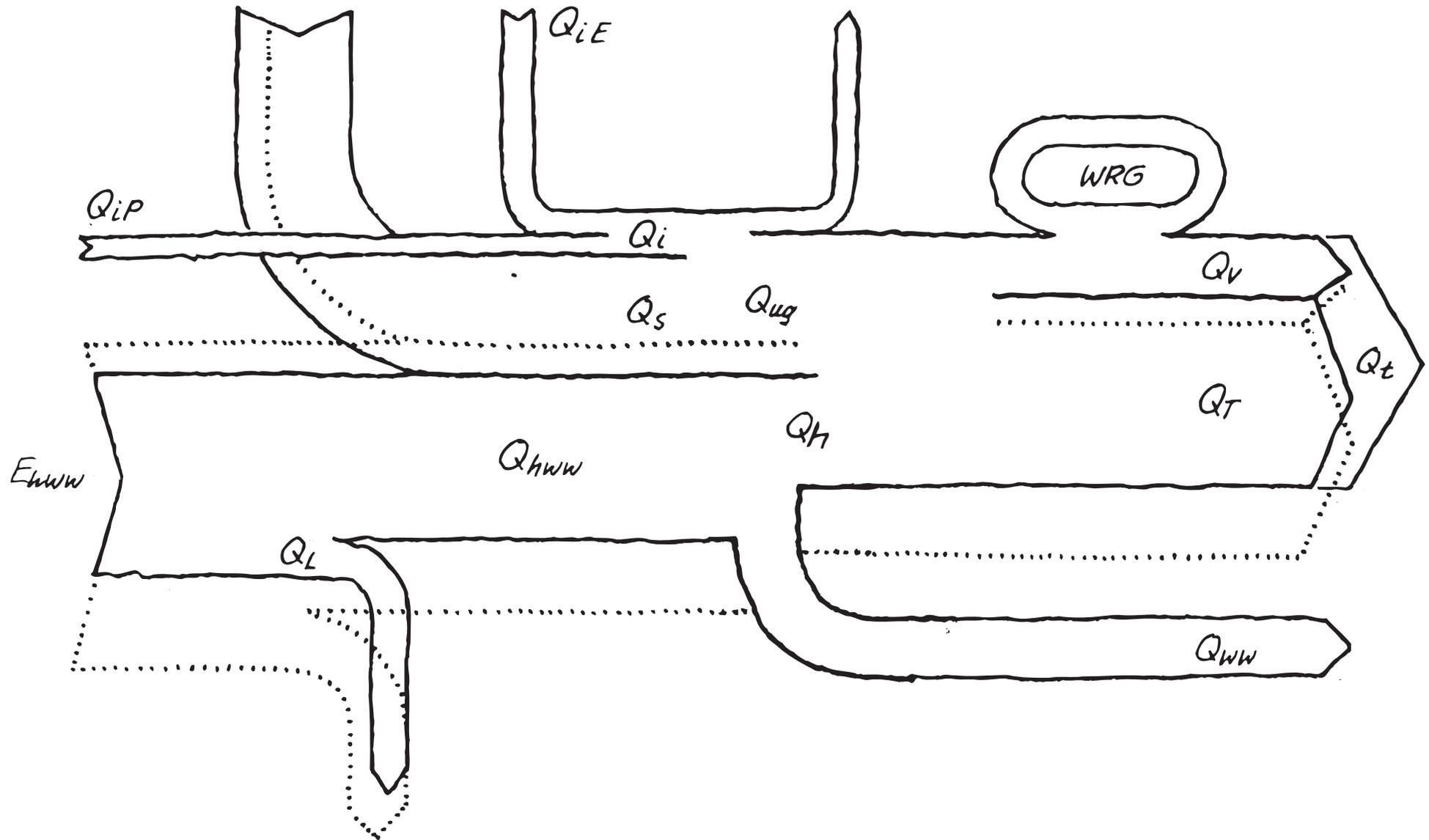


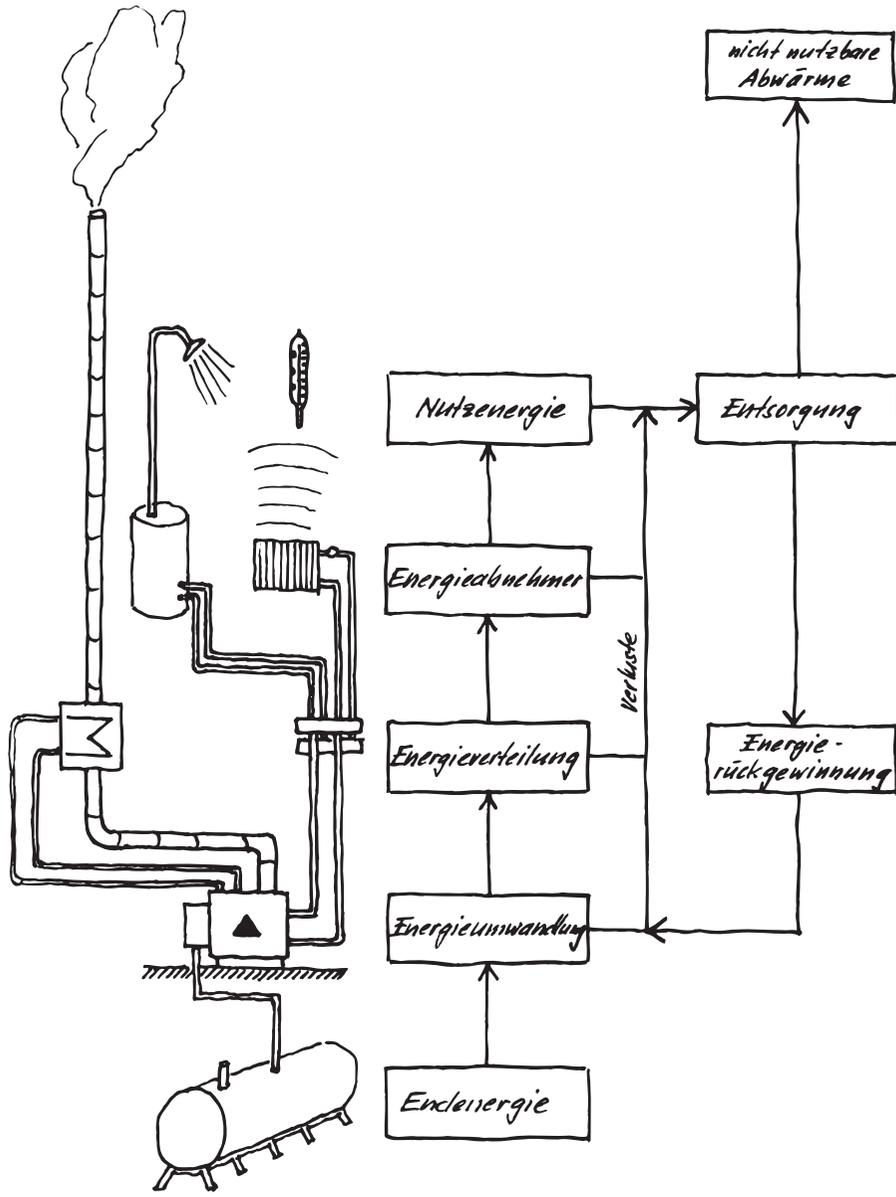






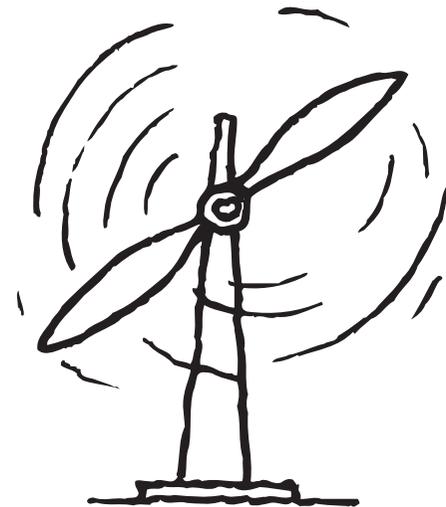
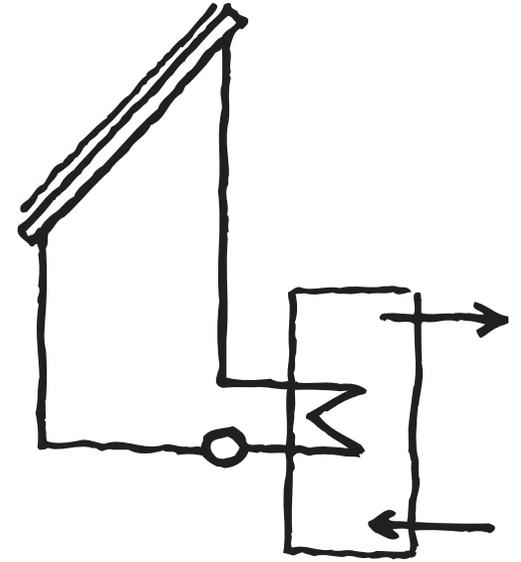
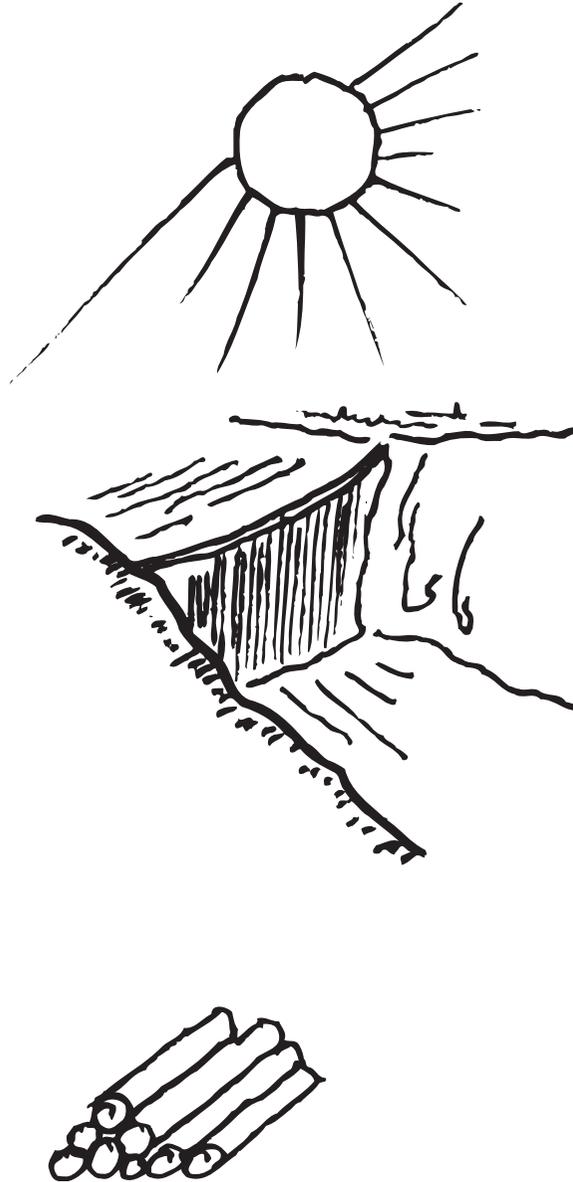


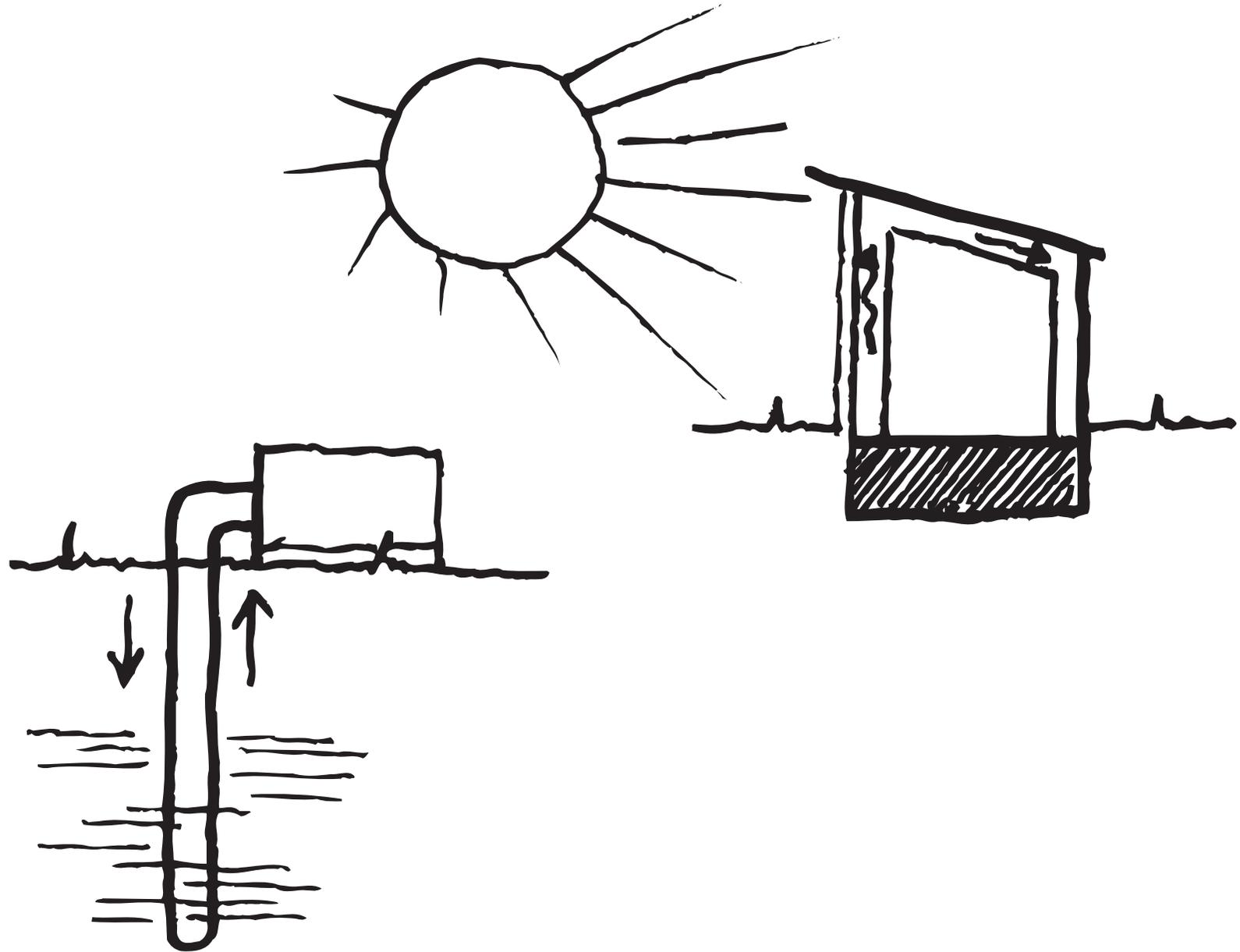


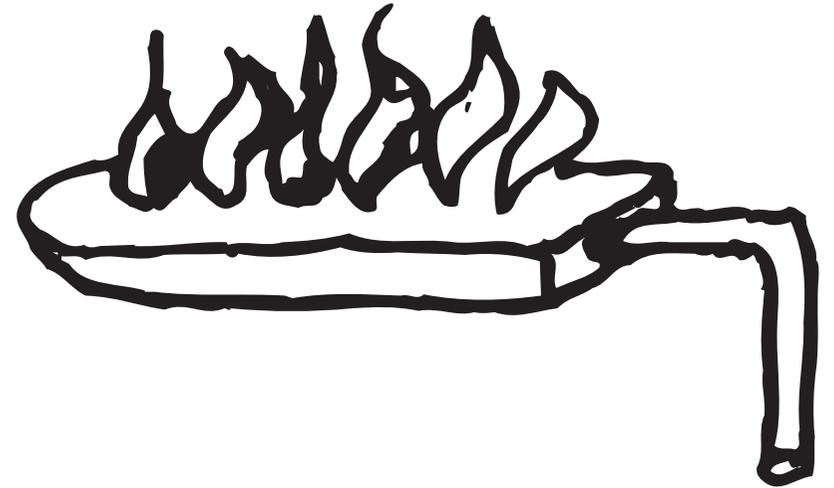
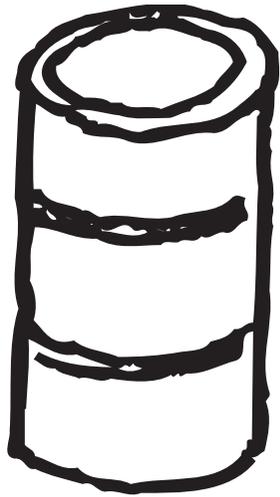


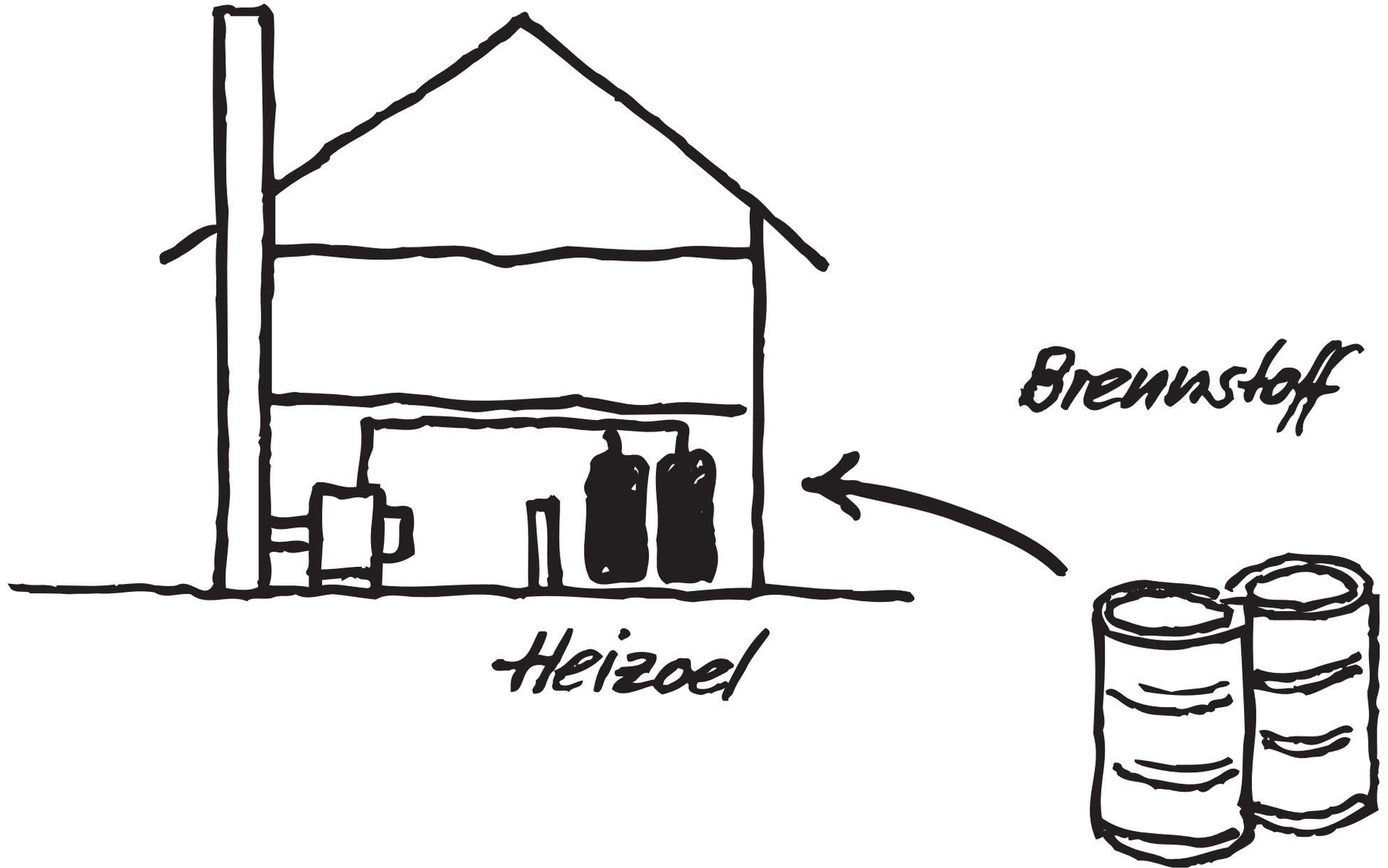


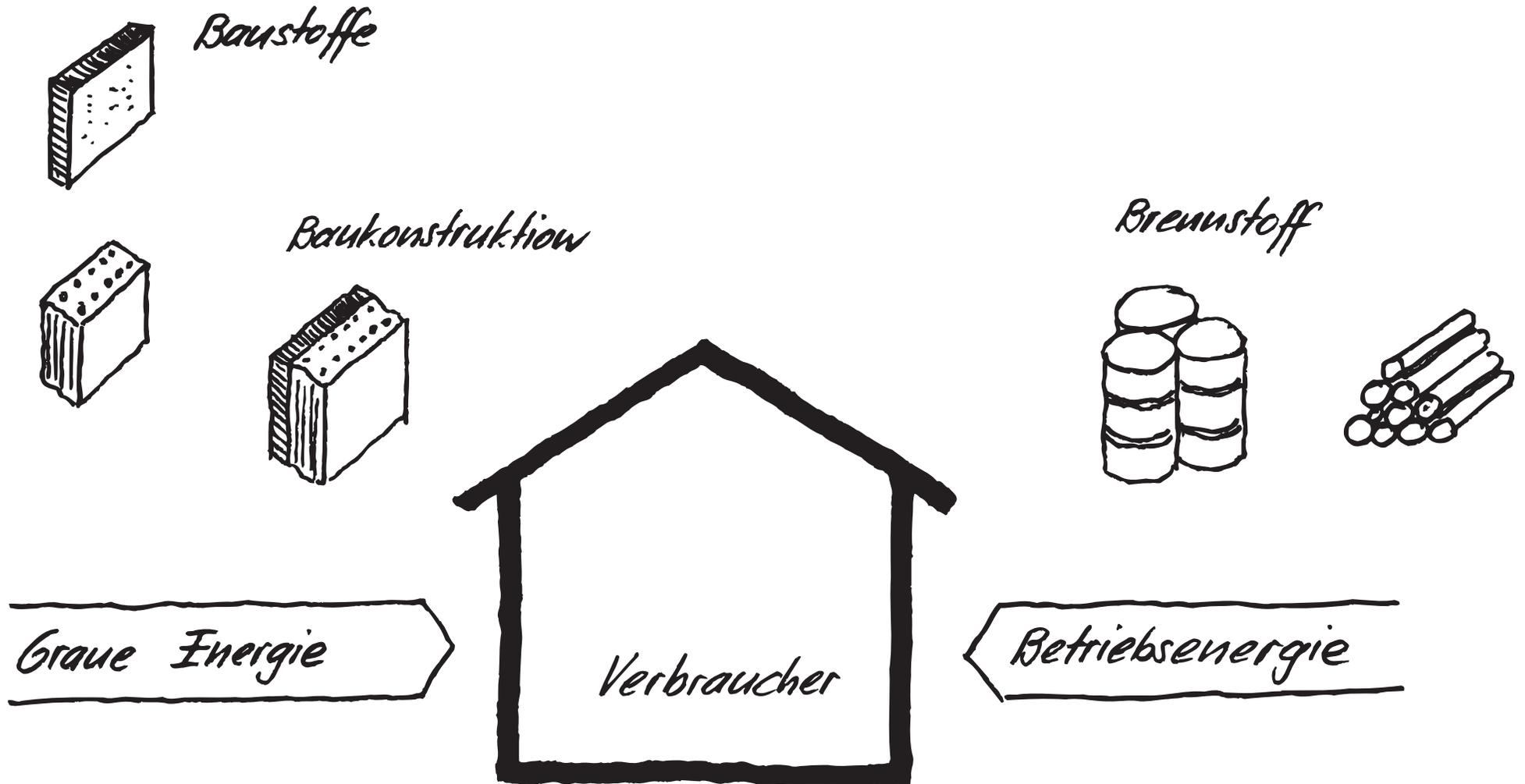
1930	↘	130'860 TJ	= 100%
1940		128'520 TJ	
1950	↗	168'120 TJ	
1960		295'000 TJ	
1970		586'790 TJ	
1973		673'750 TJ	
1974	↘	623'550 TJ	
1980	↗	683'870 TJ	
1985		724'110 TJ	
1990		786'140 TJ	
1995		811'090 TJ	
1996	↘	829'960 TJ	
1997		824'980 TJ	
1998	↗	847'100 TJ	
1999		861'770 TJ	
2000	↘	855'290 TJ	= 653%

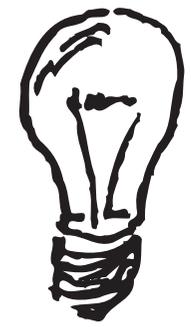
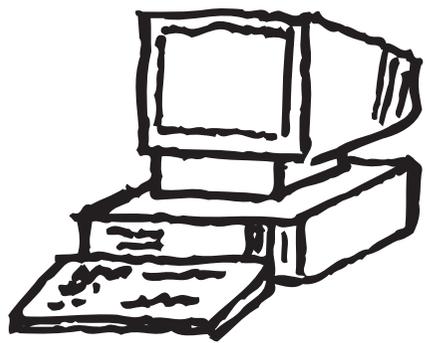
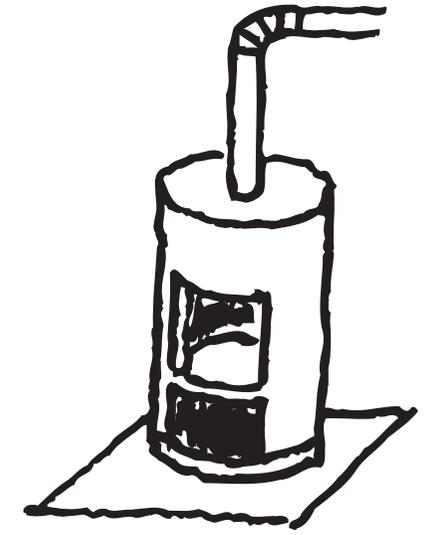


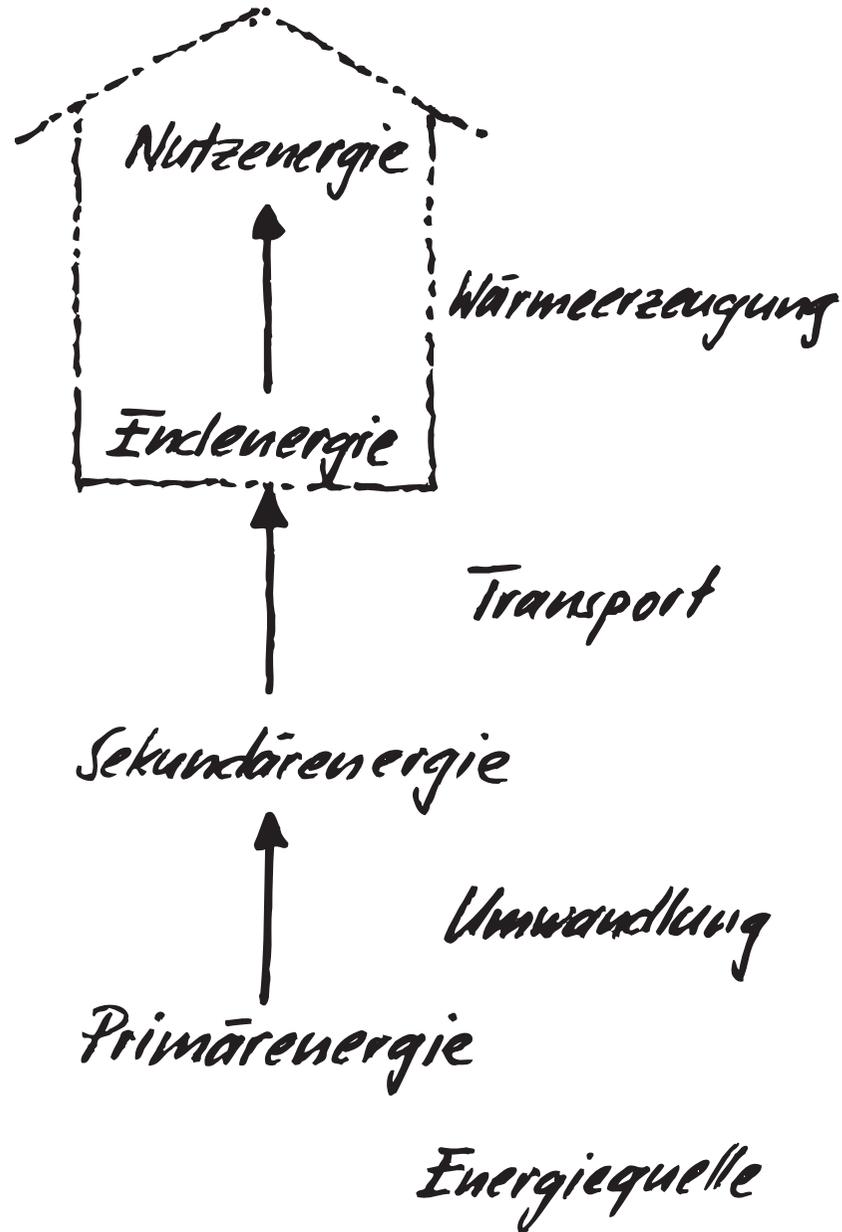


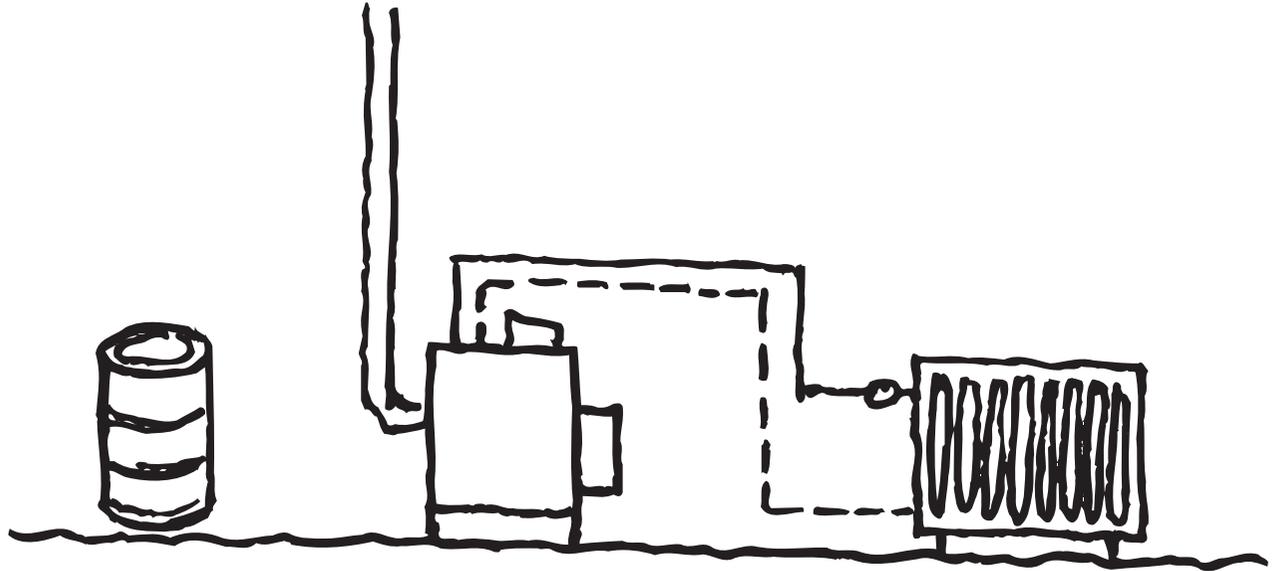












Endenergie

Wärmeerzeugung

Wärmeverteilung

Nutzenergie

