

# Energietechnik

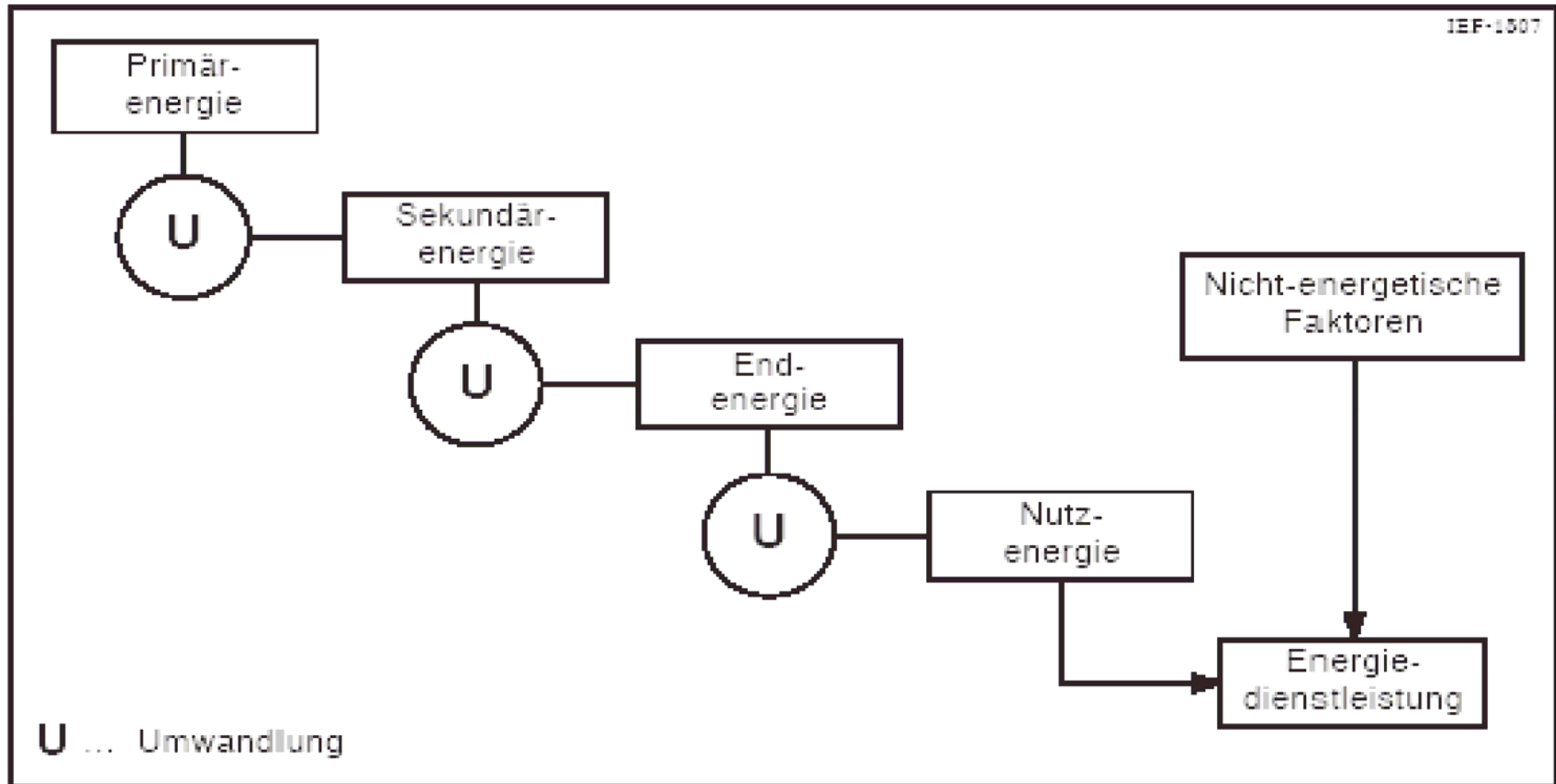
Energieumwandlung, Bilanzierung,  
Wirkungsgrad

**Unter **Energieumwandlung****  
**versteht man die Umwandlung von**  
**einer Energieart in eine andere oder**  
**innerhalb einer Energieart**

## Energieformen:

- Mechanische Energie - Krafteinwirkung
- Lageenergie / potentielle Energie
- Bewegungsenergie / kinetische Energie
- Wärme / thermische Energie
- magnetische Energie
- Ruhemassenenergie -  $E = m \cdot c^2$
- elektrische Energie
- Strahlungsenergie
- chemische Energie

# Umwandlungskette



## Primärenergie

Die Primärenergie stellt jene Energieform dar, die am Ausgangspunkt der Energienutzungskette steht; sie ist an Energieträger gebunden, die in drei Gruppen eingeteilt werden können:

- Fossile Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle)
- Erneuerbare Energieträger (Wasserkraft, Biomasse, Sonnenstrahlung, u.a.)
- Kernenergieträger (Uran, Thorium, Deuterium, u.a.)

## **Sekundärenergie** (in der zentralen Umwandlungseinheit)

Die Sekundärenergie ist das Produkt von Umwandlungsprozessen in zentralen Umwandlungsanlagen. Sie steht an den Standorten der Umwandlungsanlagen (Kraftwerke, Heizwerke, Raffinerien, Kokereien) zur weiteren Verteilung an die Endverbraucher zur Verfügung.

## Endenergie (beim Verbraucher)

Die Endenergie ist jene Energieform, die von den Endverbrauchern in den Sektoren Kleinabnehmer, Industrie und Verkehr nach Umwandlung der Primärenergie in Sekundärenergie und Verteilung (Stromnetz, Tankstellen, Brennstoffhandel, Fernwärmenetz, Gasnetz) eingesetzt wird. Endenergieträger sind:

- Feste, flüssige und gasförmige Brenn- und Treibstoffe
- Elektrischer Strom
- Fernwärme

**Endenergie = Sekundärenergie - Transportverluste**

## Nutzenergie

Die Nutzenergie ist jene Energieform, die beim Endverbraucher in verschiedenen Umwandlungsanlagen aus den Endenergieträgern in Form von Wärme, Kraft und Licht bereitgestellt wird. Sie wird in den folgenden fünf Verwendungsarten eingesetzt:

- Raumwärme: Heizen, Kochen und Warmwasserbereitung
- Prozeßwärme: Thermische Produktionsprozesse in Industrie- und Dienstleistungsbetrieben
- Mechanische Arbeit: Ortsfeste Antriebe
- Mobilität: Transportwesen
- Beleuchtung und Datenverarbeitung: Licht und Signalübertragung

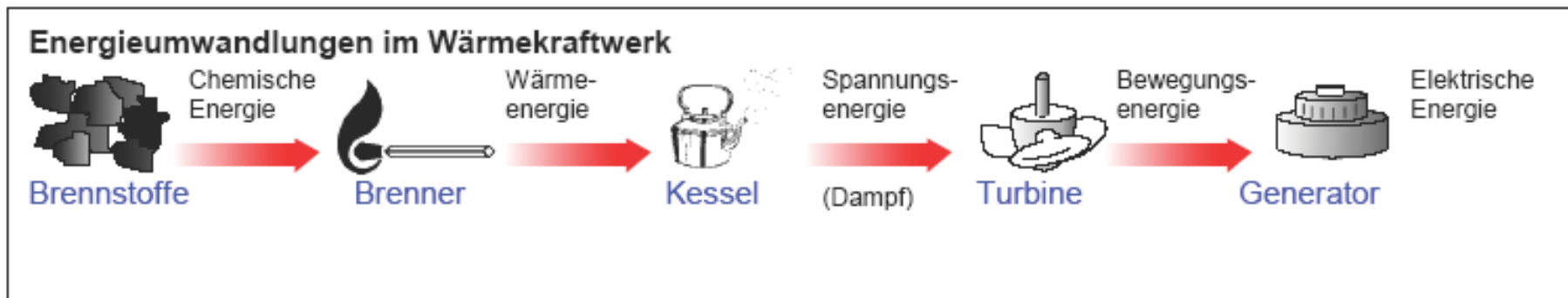
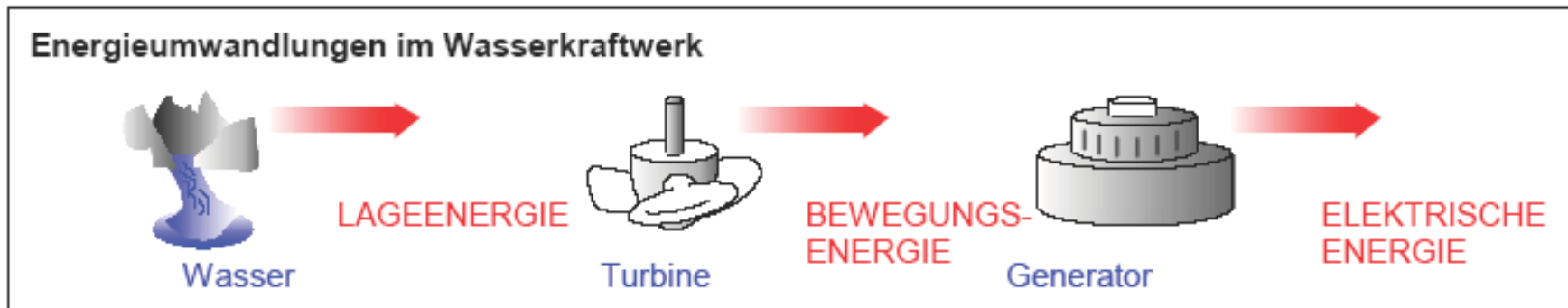


# Beispiele:

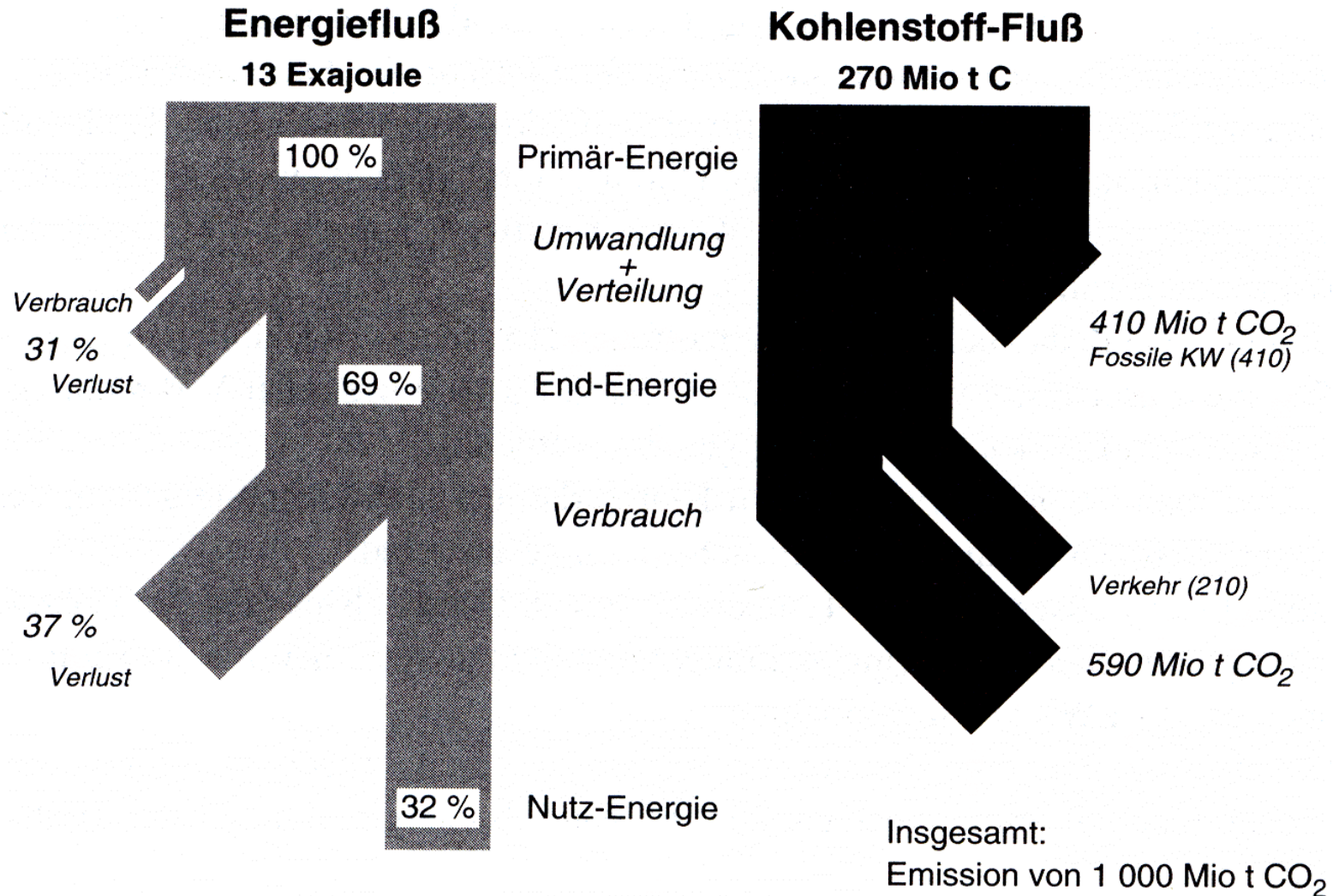
Rohenergie, Primärenergie	Endenergie, Sekundärenergie	Nutzenergie, Tertiärenergie
fossile Brennstoffe nukleare Brennstoffe Sonnenstrahlung Biomasse Wasserkräfte Wind Meereswellen Meeresströmungen Meereswärme (T Oberfläche zu Tiefe) Gezeiten Erdwärme	Holz, Torf, Braunkohle Braunkohlebriketts Braunkohlestaub Steinkohle, Koks Steinkohlebriketts Biomasse Heizöl Erdgas, Flüssiggas, Biogas Benzin, Dieselöl Elektroenergie Dampf, Heißwasser Pressluft Fernwärme, Wasserstoff	Licht Wärme Kälte mechanische Energie elektromagnetische Wellen (Röntgenstrahlen) Schallwellen Elektroenergie (Elektrolyse, Antrieb von Rechnertechnik und Telekommunikation)

	Mechanische Energie	Thermische Energie	Lichtenergie	Elektrische Energie	Chemische Energie
Mechanische Energie	Turbine	Stirling-Motor	Triboluminiszenz-Kristalle	Generator (90)	chem. Reaktion unter Druck
Thermische Energie	Stirling-Motor (20) Dampfmaschine	Wärmepumpe	Glühende Körper	Thermoelement	endotherme chem. Reaktion
Lichtenergie	Radiometer (Lichtmühle)	Sonnenkollektor	Luminiszenz-Kristalle	Solarzelle (15)	Photosynthese (2)
Elektrische Energie	Elektromotor (90)	Tauchsieder (98)	Glühlampe (5)	Akkumulator	Elektrolyse (80)
Chemische Energie	Ottomotor (30)	exotherme chem. Reaktion	Kerzenflamme Leuchtkäfer	Batterie Brennstoffzelle (50)	chem. Reaktion

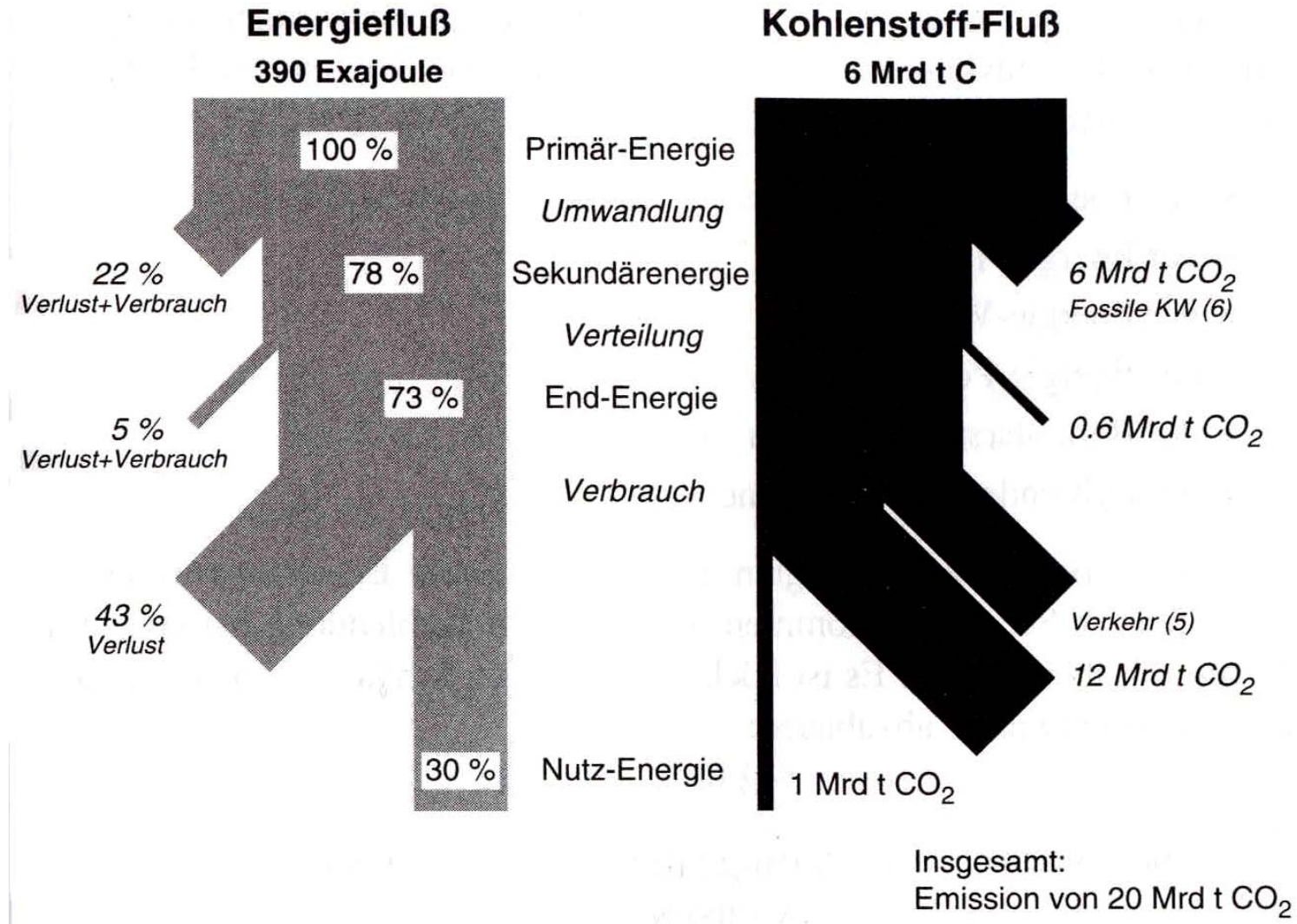
Die Zahlen in Klammern geben typische Wirkungsgrade in % an.



# Jährliche Flüsse von Energie und Kohlenstoff in Deutschland

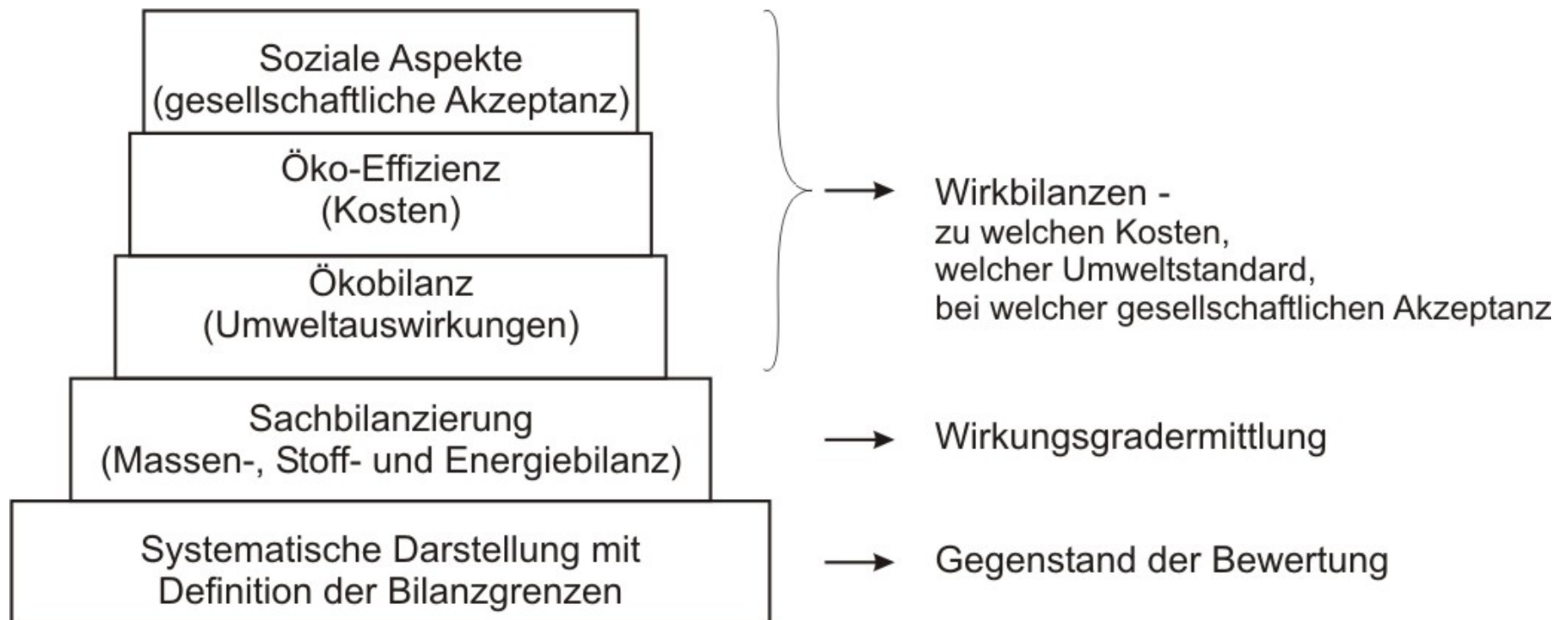


# Jährliche Flüsse von Energie und Kohlenstoff – weltweit -



# - Energetische Bilanzierung -

# Grundbausteine für die Bewertung von Verfahren und Verfahrensketten



**Grundlage der Sachbilanzierung sind der **Energieerhaltungssatz** (1. Hauptsatz der Thermodynamik) und der **Satz von der Erhaltung der Masse**.**

**Das Vorgehen richtet sich beispielsweise nach der VDI 3460.**



## Definitionen:

Ströme: zeitbezogene Größen (mit Punkt z.B.:  $\dot{E}$ )

Feuerungswärmeleistung: der Energiestrom, der der Feuerung mit den Brennstoffströmen zugeführt wird.

Einsatzenergie: In den Bilanzkreis eintretende zu bilanzierende Energie

Zusatzenergie: wird zusätzlich zum Hauptstrom (z. B. Brennstoff) in den Bilanzkreis eingetragen

Fremdenergie: Zusatzenergie von außerhalb des Bilanzkreises

Eigenenergie: Zusatzenergie aus Rückführung

Zielenergie: nach außen abgegebene nutzbare Energie

Netto-Zielenergie: Zielenergie minus Zusatzenergie von extern

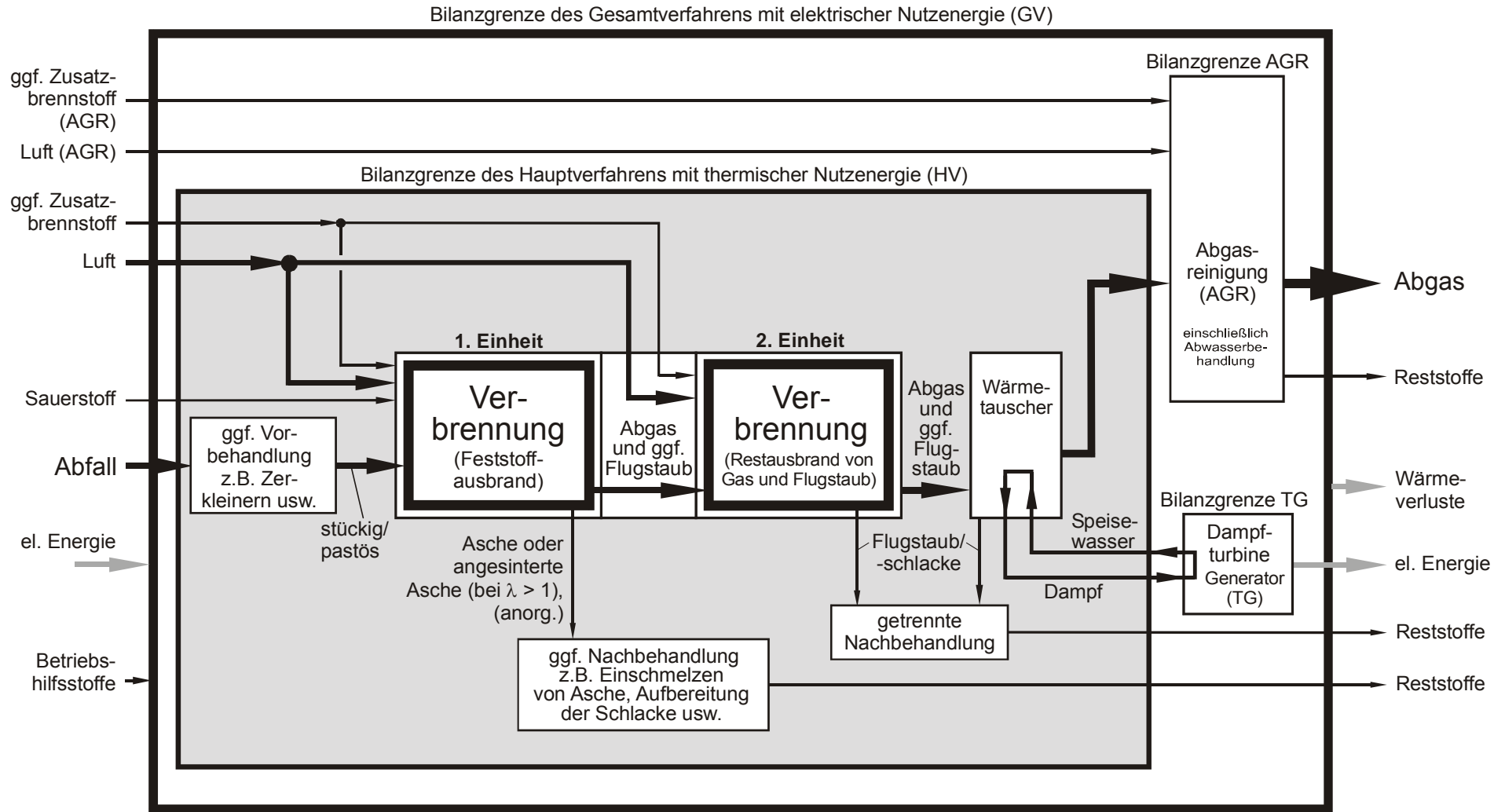
Verlust: alle abgegebenen nicht genutzten Energieströme

## **Bilanzgrenzen und Ströme (Energie-, Stoff-, Massen-) Grundlagen:**

- Grundlage ist ein Bilanzschema in Anlehnung an das Fließbild mit den wesentlichen Stoff- und Energieströmen
- Das Bilanzschema enthält Bilanzgrenzen, die je nach Erfordernis Bilanzkreise (A, B, ...) bilden.
- Die einzelnen Ströme sind ganz formal bei Überschreiten der Bilanzgrenze zu nummerieren und entsprechend dem zugehörigen Bilanzkreis zu bezeichnen (z.B. Q5 – Zusatzenergie elektrisch:  $E_{Q,5}$ ).

- An jeden Strom werden Massenstrom, Energiestrom und gegebenenfalls benötigte spezifische Stoffströme angetragen (z.B. bei der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung der in jedem Massenstrom enthaltene Massenstrom des Stoffes Kohlenstoff
- Grundsätzlich ist für die Bilanzierung ein einheitlicher Bezugszustand festzulegen (z.B. Normzustand 273,15 K, 101325 Pa). Dieser Bezugszustand muss bei allen ein- und austretenden Strömen berücksichtigt werden.

# Blockfließbild einer klassischen Hausmüllverbrennung



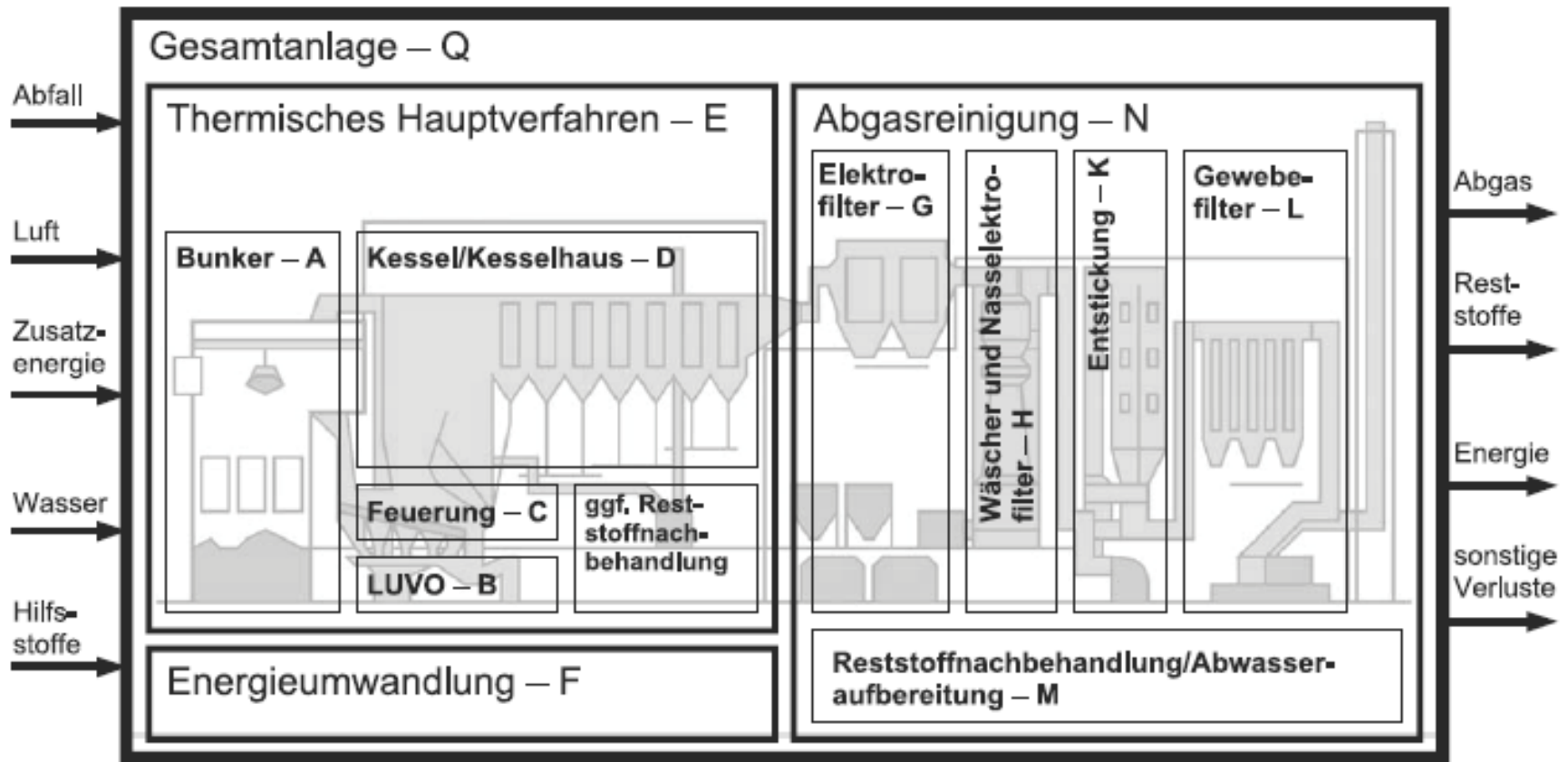
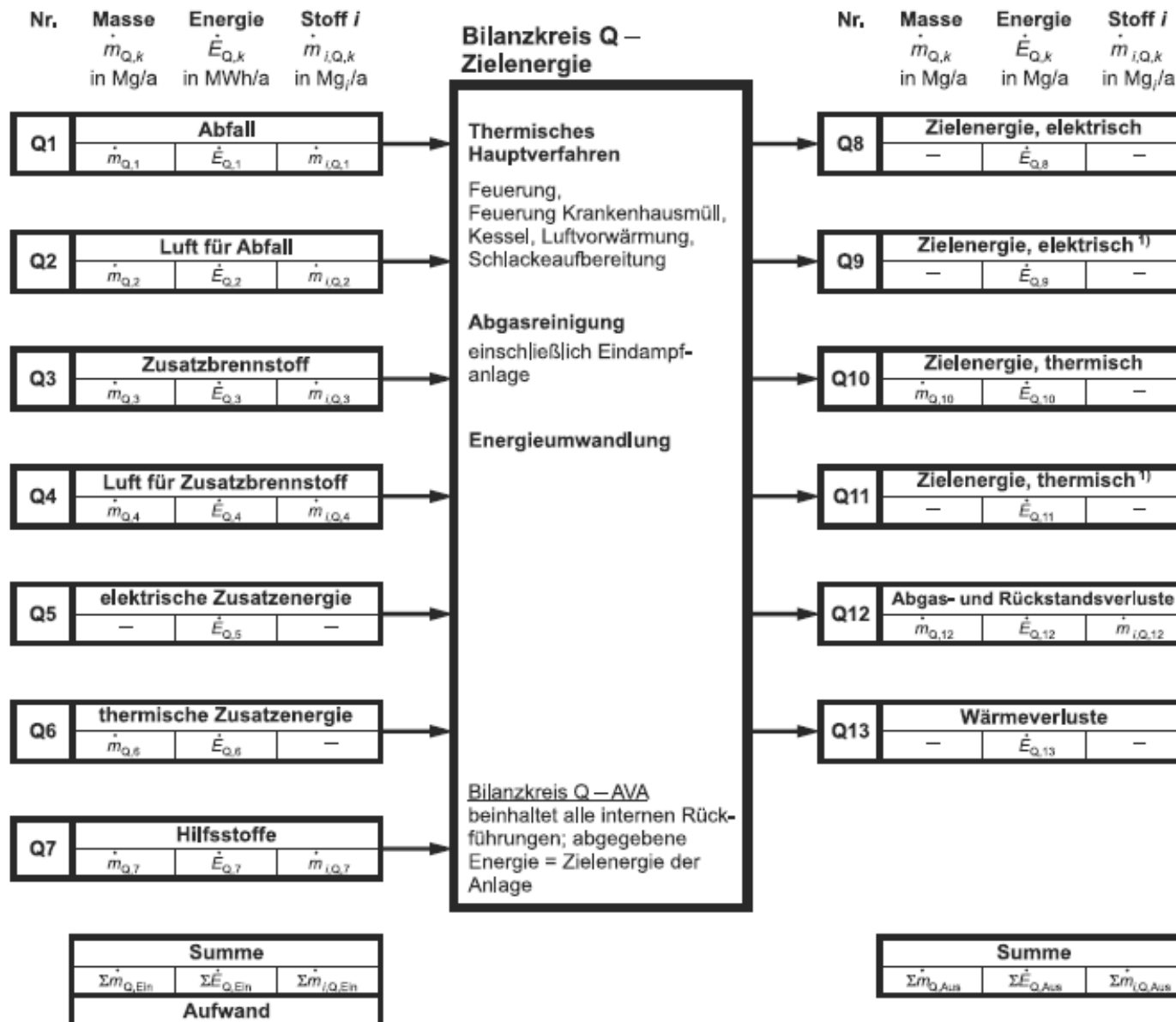


Bild 4. Bilanzkreise für die Bilanzierung einer Abfallverbrennungsanlage (Beispiel AVA Augsburg, z. B. Bilanzkreise: Bunker – A, Luftvorwärmung (LUVU) – B, Feuerung – C usw. bis Bilanzkreis Gesamtanlage – Q); Darstellung der wesentlichen Massen- und Energieströme



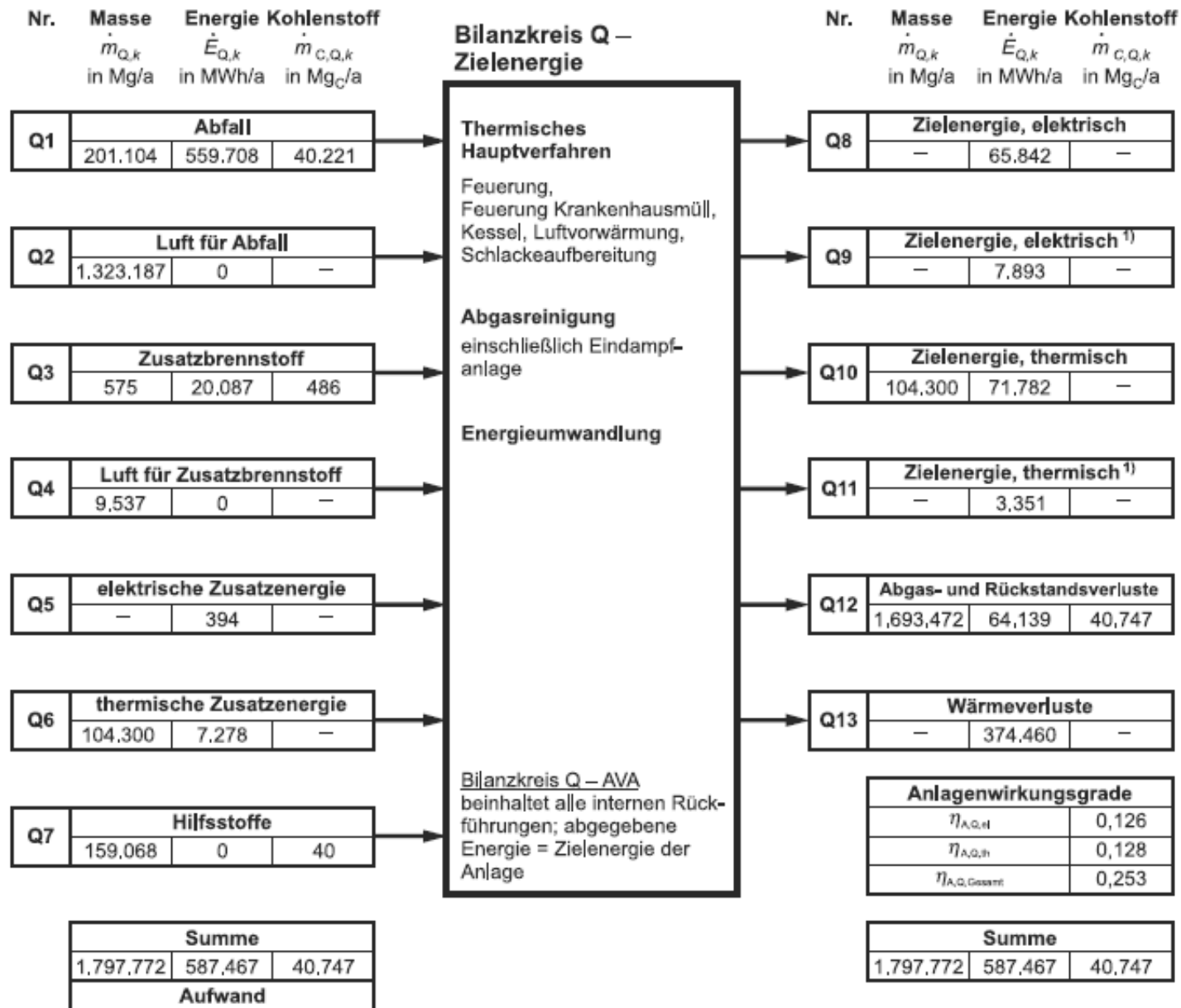
<sup>1)</sup> Aufteilung der Zielenergie hier entsprechend den Angaben des Betreibers in Zielenergie, die an die Stadtwerke (Q8 und Q10), und Zielenergie, die an benachbarte Abnehmer auf dem Gelände (für Kompostierung, Sortierung usw., Q9 und Q11) abgegeben wird

Bild 5. Prinzipielle Darstellung eines Bilanzschemas (hier Bilanzkreis Q) mit den zugehörigen Strömen für die Massen-, Energie- und Stoffbilanz (hier Kohlenstoffbilanz)

# Bilanzieren

**Als nächster Schritt muss eine Massen-, Stoff- und Energiebilanz erstellt werden.**

**Dann wird geprüft, ob die Bilanzen „aufgehen“, das heißt, ob die Summe der eintretenden gleich der Summe der austretenden Ströme ist. Die Summe der eintretenden Ströme ist der Aufwand.**



<sup>1)</sup> Aufteilung der Zielenergie hier entsprechend der Angaben des Betreibers in Zielenergie, die an die Stadtwerke (Q8 und Q10), und Zielenergie, die an benachbarte Abnehmer auf dem Gelände (für Kompostierung, Sortierung usw., Q9 und Q11) abgegeben wird

Bild 6. Beispielhafte Darstellung eines Bilanzschemas (hier Bilanzkreis Q) mit den zugehörigen Werten für die Massen-, Energie- und Stoffbilanz für CO<sub>2</sub>-Emissionsbetrachtungen, möglich auch z. B. für Bleibilanz; siehe [14]



# - Wirkungsgrad -

Allgemein versteht man unter dem **Wirkungsgrad**

$$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$$

beziehungsweise

$$\eta = 1 - \frac{\text{Verlust}}{\text{Aufwand}}$$

**Je nachdem, was als „Nutzen“,  
„Aufwand“ oder „Verlust“ angesehen  
wird ergeben sich unterschiedliche  
Wirkungsgrade**

# Anlagenwirkungsgrad

Anlagenwirkungsgrad, elektrisch

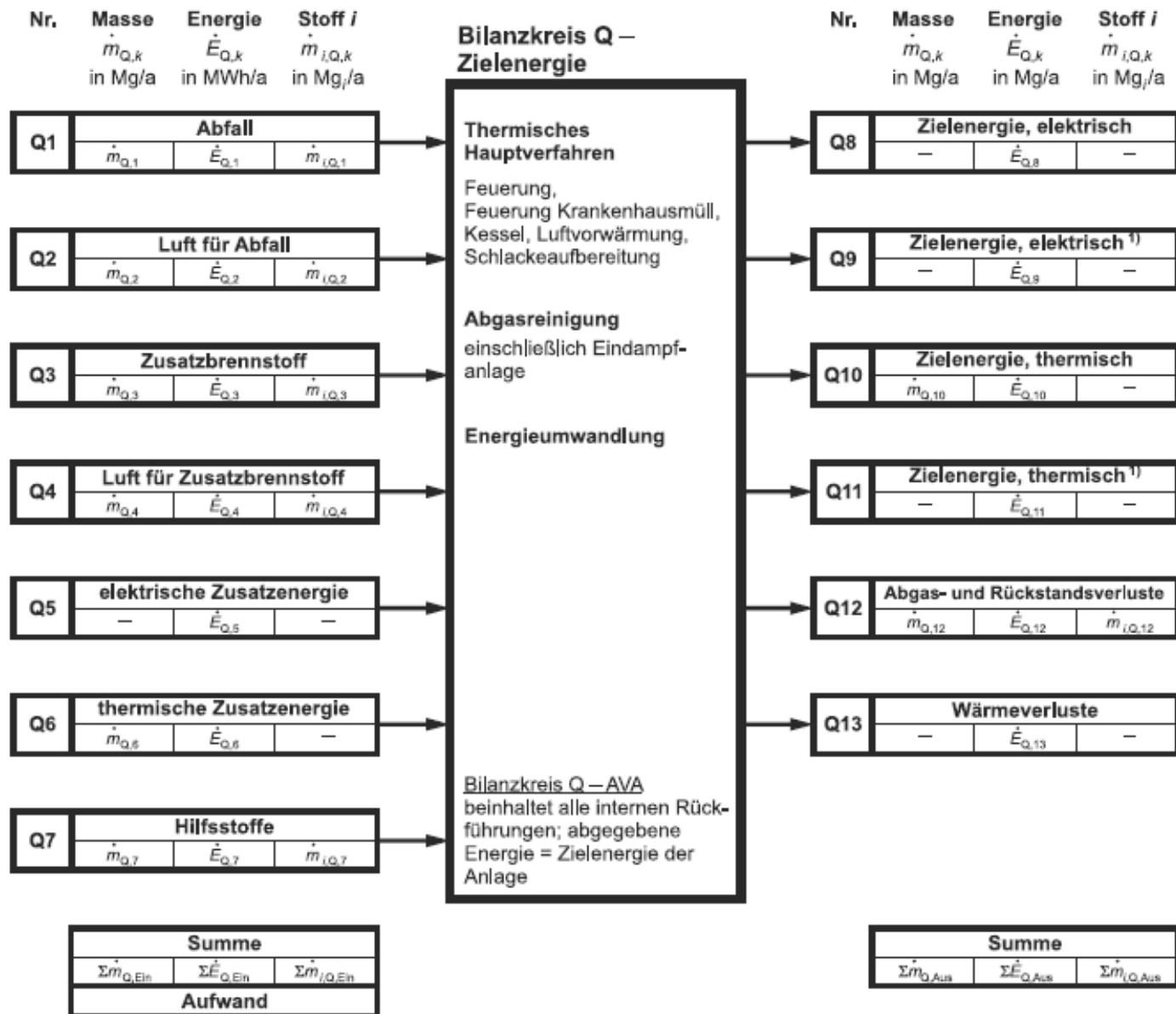
$$\eta_{A,Q,el} = \frac{\dot{E}_{Q,8} + \dot{E}_{Q,9}}{\sum \dot{E}_{Q,Ein}}$$

Anlagenwirkungsgrad, thermisch

$$\eta_{A,Q,th} = \frac{\dot{E}_{Q,10} + \dot{E}_{Q,11}}{\sum \dot{E}_{Q,Ein}}$$

Gesamtanlagenwirkungsgrad

$$\eta_{A,Q,gesamt} = \frac{\dot{E}_{Q,8} + \dot{E}_{Q,9} + \dot{E}_{Q,10} + \dot{E}_{Q,11}}{\sum \dot{E}_{Q,Ein}}$$

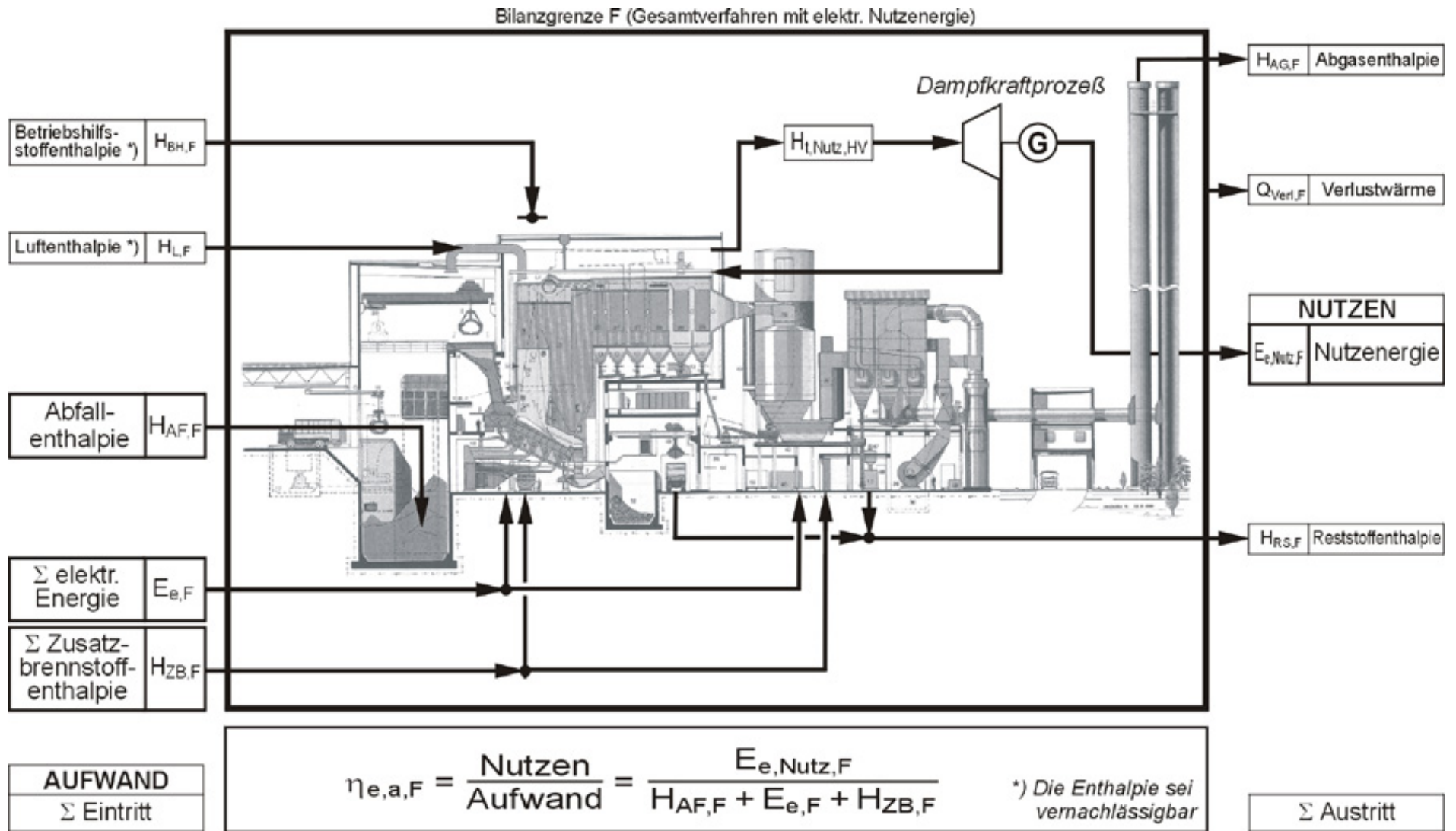


<sup>1)</sup> Aufteilung der Zielenergie hier entsprechend den Angaben des Betreibers in Zielenergie, die an die Stadtwerke (Q8 und Q10), und Zielenergie, die an benachbarte Abnehmer auf dem Gelände (für Kompostierung, Sortierung usw., Q9 und Q11) abgegeben wird

Bild 5. Prinzipielle Darstellung eines Bilanzschemas (hier Bilanzkreis Q) mit den zugehörigen Strömen für die Massen-, Energie- und Stoffbilanz (hier Kohlenstoffbilanz)

# Beispiel zum elektrischen Anlagenwirkungsgrad

Energietechnik



[Scholz, Beckmann, Schulenburg: Abfallbehandlung in thermischen Verfahren. B.G. Teubner-Verlag, Stuttgart u.a. 2001.

**Man kann Wirkungsgrade für die verschiedensten Bilanzkreise definieren. Wichtig sind auch Wirkungsgrade für Teilprozesse, z.B.:**

- **Kesselwirkungsgrad**
- **Wirkungsgrad des thermodyn. Kreisprozesses**
- **Turbinenwirkungsgrad**
- **Generatorwirkungsgrad**
- **Rohrleitungswirkungsgrad**
- **mechanischer Wirkungsgrad**

**Diese können im Regelfall noch weiter heruntergebrochen werden (Getriebewirkungsgrad, Wirkungsgrad einer Schaufelreihe...)**

# Gütegrad

**gibt an, wie weit ein Prozess an den theoretischen (idealen, reversiblen) Vergleichsprozess (z. B. Carnot-Prozess, isentroper Entspannung in Turbine) angenähert ist.**

$$\eta_{is} = \frac{P_{\text{real}}}{P_{\text{theor}}} = \frac{\eta_{\text{real}}}{\eta_{\text{vergleich}}}$$

Beispielsweise bewegt sich der Gütegrad von heutigen (stationären, großen) Verbrennungsmotoren im Bereich von 80 %, während der Wirkungsgrad ca. 45 % beträgt.



## Wirkungsgrade für die Umwandlung von Primär- in Endenergie

Energieumwandlung	$\eta$
Elektroenergieerzeugung	
- in Braunkohlekraftwerken	0,25 – 0,4
- in Steinkohlekraftwerken	0,3 – 0,43
- mit Gasturbinen	0,2 – 0,38
- in GuD-Kraftwerken	0,45 – 0,58
- in Wasserkraftwerken	0,8 – 0,92
- mit Windenergiekonvertern	0,3 – 0,5
- mit Solarzellen (Serienproduktion)	0,06 – 0,12
Heizkraftwerke	0,7 – 0,93
Dampferzeugung	0,8 – 0,95
Warmwasserbereitung mit Sonnenkollektor	0,2 – 0,7
Stadtgaserzeugung	0,83
Brikettierung von Braunkohle	0,93
Produktion von Biomasse	0,001 – 0,01

## Wirkungsgrade für die Umwandlung von End- in Nutzenergie

Umwandlungsanlage oder -gerät	$\eta$
Tauchsieder, Elektroheizung, Elektroofen	0,9 – 1,0
kleiner Elektromotor	0,6 – 0,75
großer Elektromotor	0,9 – 0,96
Ottomotor	0,25 – 0,3
Dieselmotor	0,40 – 0,46
Blockheizkraftwerk (BHKW)	0,8 – 0,95
Glühlampe	0,05 – 0,07
Leuchtstofflampe	0,2 – 0,25
Kohleofen	0,4 – 0,8
Gaskessel	0,7 – 1,05*
Brennstoffzelle	0,3 – 0,6

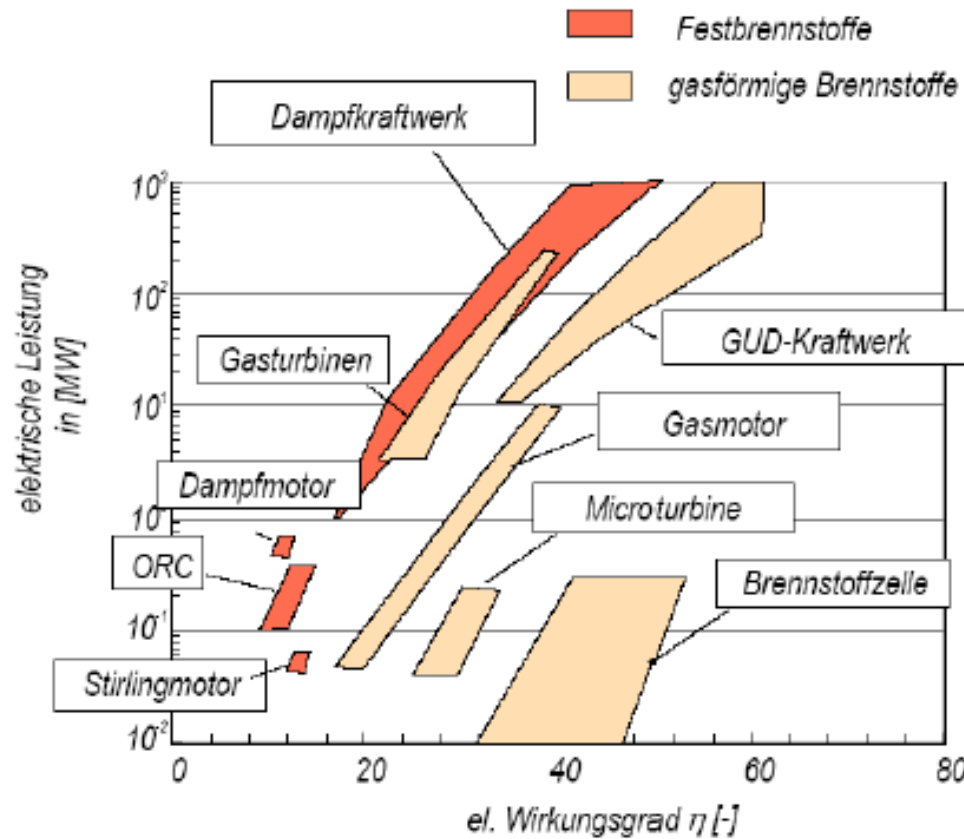
\* Werte über 100% sind nur durch Brennwertnutzung erreichbar

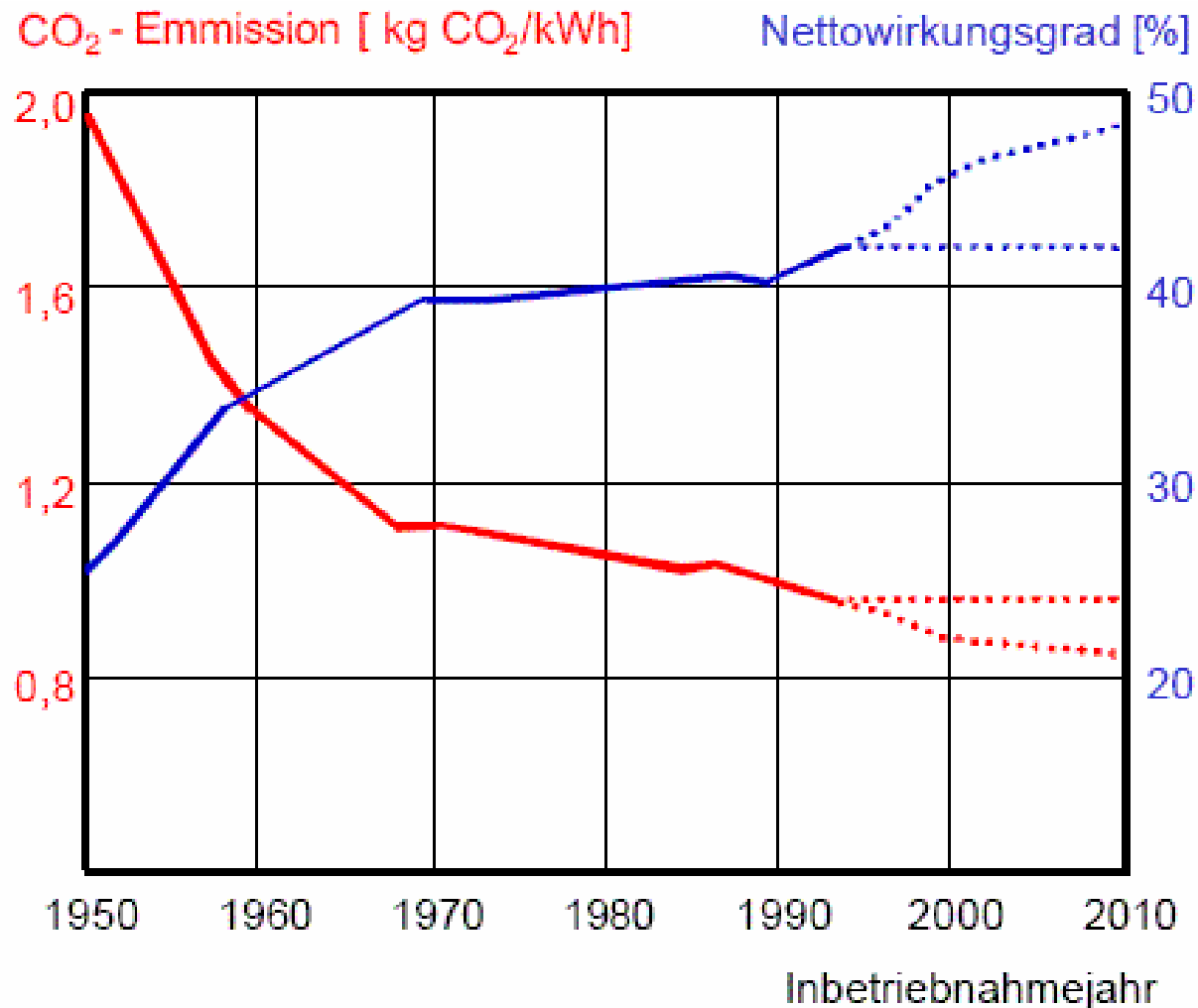
Kraftwerkstyp	Wirkungsgrad in %	(Arbeits-) Verfügbarkeit in %	Kraftwerkseinsatz zeitlich planbar
Steinkohle	47	95	Ja
Braunkohle	45	95	Ja
Erdgas GuD*	58	95	Ja
Wasserkraft	85	50	Bedingt
Wind	40	20	Nein
Sonne Fotovoltaik	15	10	Nein
Solarthermisches Kraftwerk	30	10	Nein
Kernkraftwerk LWR**	35	95	Ja
Auto Benzin	20		
Auto Diesel	25		
E-Motor	95		

\* GuD = Gas- und Dampfturbine

\*\* LWR = Leichtwasserreaktor

# Leistungsbereiche und Wirkungsgrade von Arbeitsmaschinen für die Stromerzeugung





## Zusammenhang Wirkungsgrad - Emissionen

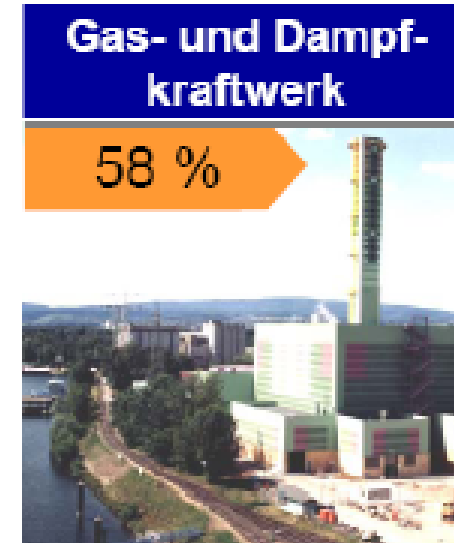
## Entwicklung der Wirkungsgrade bei fossilbefeuerten Kraftwerken



Niederaußem  
965 MW



Referenz-DKW  
600 MW



Mainz-Wiesbaden  
400 MW

### Entwicklung des Wirkungsgrades

1992:	36 %*
2005:	43 %
Ziel 2020:	> 50 %

1992:	43 %
2005:	47 %
Ziel 2020:	> 53 %

1992:	52 %
2005:	58 %
Ziel 2020:	> 60 %

# Wirkungsgradentwicklung von Kohlekraftwerken

