

Dezentrale Versorgung mit erneuerbarer Energie

Energie im Unterricht, Module für Bauberufe: Modul 7

1 Einführung: Worum geht es ?

2 Lernziele

3 Vorschläge für den Unterricht

4 Fachinformation

- Grundsätzliches zur dezentralen Energieversorgung
- Energiebilanz - Aspekte eines Versorgungssystems
- Dezentrale Versorgung mit erneuerbarer Energie von A bis Z
- Schritte zu einer dezentralen Versorgungsanlage
- Prioritäten der Energieversorgung
- Kleines Glossar zu diesem Modul

5 Aufgaben, Lösungsvorschläge

6 Weiterführende Literatur

7 Bild- und Textnachweis

8 Vorlagen



1 Einführung: Worum geht es ?

Die für den Menschen notwendige Energiegewinnung ist mit Eingriffen in die Natur und Auswirkungen auf die Lebensgrundlagen verbunden. Trotz eines bedeutenden technologischen Fortschrittes steigt der Energiebedarf kontinuierlich an und mit ihm die Umweltbelastungen.

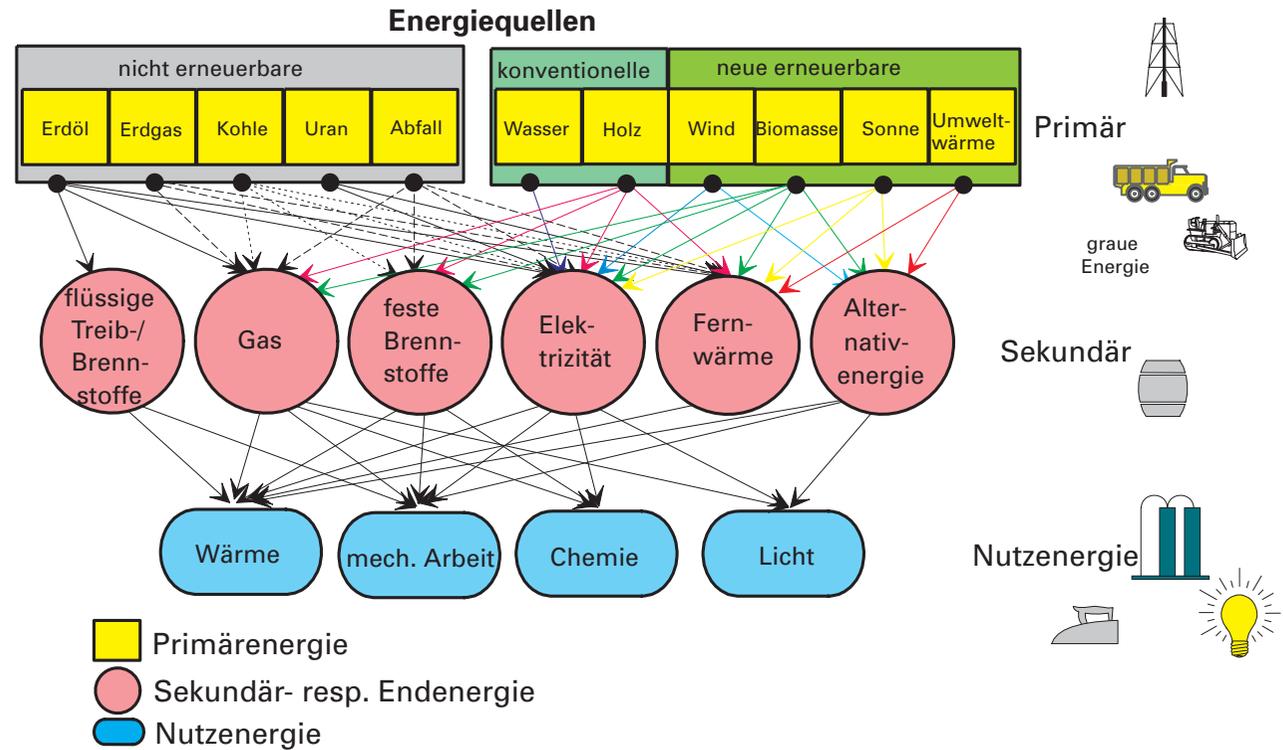
Die Versorgung mit Energie wird im neuen Jahrtausend somit vorwiegend unter dem Aspekt der Ressourcen- und Umweltschonung betrachtet werden müssen. Für die Industrieländer bedeutet dies, dass die bestehende Versorgung nach und nach durch die dezentrale Versorgung mit erneuerbaren Energien ergänzt und ersetzt wird. Hingegen decken in Entwicklungs- und den sogenannten Schwellenländern dezentrale Energieversorgungssysteme bereits heute vor allem den Grundbedarf der ländlichen Bevölkerung aus lokal vorhandener Primärenergie, wie beispielsweise Wind, Wasser oder Biomasse (Holz usw.). Dort wird die zunehmende Verstädterung und Industrialisierung nach Grossanlagen rufen.

Blenden wir einige Jahrzehnte zurück, so erkennen wir, dass damals die Versorgungsstruktur einem weitestgehend dezentralen Verbrauch entsprach. Erst mit dem überregionalen Wandel zu grosstechnologischen Energieversorgungszentren verschwand das Interesse an der dezentralen Versorgung. Kleinwasserkraftwerke wurden abgestellt und sich selbst überlassen, Holzfeuerungen durch ölbefeuerte Zentralheizungssysteme ersetzt. Eine Drehung am Schal-

ter, und es wurde warm. Mit dieser durch die Zentralisierung erreichten Komfortsteigerung verschwand das Bewusstsein für die Umstände der Energieerzeugung. Die heute etablierte zentrale Energieversorgung führte uns aber auch nach und nach ihre Risiken vor Augen.

Bei der Errichtung von Neuanlagen wie auch der Sanierung von Altanlagen für die dezentrale Versorgung mit Energie, insbesondere mit erneuerbarer Energie, ergeben sich für Eigentümer, Betreiber und Nutzer viele Aufgaben.

Ziel dieses Moduls ist es, für die Lernenden die Vorteile der dezentralen Versorgung mit erneuerbarer Energie aufzuzeigen und anhand von Kriterien, Darstellungen und Erläuterungen für die verschiedenen Systeme Einsatzmöglichkeiten, Anwendungsbereiche und deren Grenzen einander gegenüberzustellen.



Die Vielzahl bekannter Primärenergieträger bietet uns eine ausgezeichnete Variantenvielfalt, um unseren Nutzenergiebedarf in Zukunft mittels eines raffinierten, vernetzenden Gesamt-Energieversorgungssystems abzudecken.

2 Lernziele

Die Lernenden ...

- nennen Vor- und Nachteile von zentraler und dezentraler Energieversorgung
- zeigen Faktoren auf für die Prüfung von Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der verschiedenen dezentralen Energiegewinnungsarten
- erklären die Funktionsprinzipien der einzelnen Anlagen und Komponenten
- legen die Bedeutung und Vorteile lokaler Abwärmequellen (KVA und ARA) für Fernwärmenetze dar.

Stichworte zu möglichen Antworten

- Sich der Energieprobleme zu wenig bewusst sein bei zentraler Versorgung
- Energiebilanz eines Versorgungssystems (zentral/dezentral)
- Nachhaltigkeit und Umweltproblematik eines Versorgungssystems (zentral/dezentral)
- Saisonale, lokale und regionale Gegebenheiten berücksichtigen
- Technische Fragestellungen wie Realisierbarkeit, Zuverlässigkeit, Unterhalt, Rückzahldauer und weitere Effekte beachten
- Argument der Wirtschaftlichkeit
- Inselanlagen/netzgekoppelte Anlagen
- Energiequelle/Konverter/Wandler/Speicher/Übertragungstrecke/Verbraucher
- Energietransport über unisolierte Leitungen auf einem niedrigen Temperaturniveau in Verbindung mit Wärmepumpen möglich
- Teure Infrastrukturkosten entfallen vorerst, werden vom Abnehmer übernommen

3 Vorschläge für den Unterricht

Besichtigungen

von dezentralen Energieversorgungsanlagen aus erneuerbaren Energiequellen

Allgemein

- ADEV Aarau Arbeitsgemeinschaft für dezentrale Energieversorgung, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Tel. 062 834 03 00, Fax 062 834 03 23
- SKAT Fachstelle der Schweizerischen Entwicklungszusammenarbeit für Technologie-Management, Vadianstr. 42, 9000 St. Gallen, Tel. 071 228 54 54, Fax 071 228 54 55
- Appenzellische Vereinigung zur Förderung umweltfreundlicher Energien, Postfach 1013, 9102 Herisau 2, Tel. 071 353 64 70
- AEE Schweiz. Agentur für erneuerbare Energien, Seefeldstr. 5a, 8008 Zürich, Tel. 01 250 88 30, Fax 01 250 88 22, E-Mail: contact@aee-aser.ch

Biomasse

- Kompogas-Anlage, Kasernenstr. 233, 8184 Bachenbülach ZH, Tel. 01 862 11 70
- Kompogas AG, Rohrstrasse 36, 8152 Glattbrugg ZH, Tel. 01 809 71 00, Fax 01 809 71 10, E-Mail: info@kompogas.ch
- Kompogas Otelfingen AG, Grüngutverwertung Region Limmattal, Libernstrasse 16, 8112 Otelfingen ZH, Tel. 01 844 08 00, Fax 01 844 08 02
- Kompogas-Anlage, Wildbachstrasse 1, 8153 Rümlang ZH, Tel. 01 817 10 56

- Kompogas Samstagern AG, Bruggetenstrasse 3, 8833 Samstagern ZH, Tel. 01 785 09 53, Fax 01 785 09 77

Holz

- VHe Schweizerische Vereinigung für Holzenergie, Seefeldstrasse 5a, 8008 Zürich, Tel 01 250 88 11, Fax 01 250 88 22, E-Mail: info@vhe.ch

Wasserkraft

- Schwank Paul, Ing. Büro, Hard 4, 8408 Winterthur

Windkraft

- Elwind AG, Windkraft- u. Solaranlagen, Obergasse 40, 8400 Winterthur ZH, Tel. 052 212 34 34

Internetadressen, Internetrecherchen

Als Einstieg eignen sich folgende Internetadressen für Recherchen in Gruppen zu verschiedenen Themen der dezentralen Energieversorgung:

- Energie Linkverzeichnis: www.energie.ch/dp/link.html
- Energie – Naturwissenschaft und Technik (Forum): [www.yahoo.de/Naturwissenschaft_und Technik/Energie/](http://www.yahoo.de/Naturwissenschaft_und_Technik/Energie/)
- Energieabgaben-Kalkulator: www.gruene.ch/zh/enerabgcac.htm
- Energieberatung: www.forumenergie.ch/energieberatung/

- Marktplatz Energie:
www.energie.ch/dp/markt.html
- Simulationsprogramme für thermische Solaranlagen, um das Verhalten von Solaranlagen durchspielen zu können:
www.datenwerk.at/arge_ee/verz/simul.html#download
- Solarenergie:
www.sses.ch/thermisch.html
- Stromtabellen:
www.strom-tabelle.de/info/info3.html

Videos

Als Einstieg eignen sich folgende Videos:

- Beitrag Indonesien Nr. 5, Format NZZ, Neue Zürcher Zeitung, Fernsehredaktion, Postfach, 8021 Zürich
- Erneuerbare Energien: Möglichkeiten und Grenzen, Zbinden Film AG, Film und Audiovision, 3008 Bern

Entstehung einer Holzfeuerung

- EcoStar-Fotodokumentation zur dezentralen Energieversorgung «Wie entsteht eine Holzfeuerung?», zu beziehen bei:
Roland Bamert, Im Weihertal, Rumstalstrasse 10, 8408 Winterthur
E-mail: ecostar@bluemail.ch

Versuch

Speckstein ist bekannt für sein einzigartiges Wärmespeichervermögen. Ein einfacher Test untermauert

dies. Der Versuch: Ein handgrosses Speckstein-Stück, während zwei Minuten in kochendem Wasser erhitzt, ist 40 Minuten nach der Entnahme immer noch nicht anfassbar. Erst nach einer Stunde kann der Stein mit der Hand gehalten werden. Speckstein ist sehr gut geeignet zur Speicherung der Wärme eines Ofens. Doch Achtung: Der Abbau des Specksteins und seine langen Transportwege lassen aus ökologischer Sicht die Verwendung nicht unbedenklich erscheinen.

Fragebogen

Um an Informationen zu gelangen, kann eine Umfrage gestartet werden. Mit einem selbst erstellten Fragebogen soll herausgefunden werden, wie viele Leute bereit wären, sich für den Einsatz einer dezentralen Energieversorgung zu engagieren. Es könnten dadurch gewisse Vorurteile erkannt werden. Der Fragebogen ist in Gruppen zu erarbeiten.

Energie-Logbuch

Anhand einer Checkliste kann zum Beispiel das Schulgebäude nach augenfällig verschwendeter Energie abgesucht werden. Am einfachsten ist es, wenn alle einen Teilbereich der Checkliste übernehmen. Wichtig: Vereinbarung regelmässiger Reviews/Gespräche, um die gewonnenen Erkenntnisse auszutauschen und die nächsten Schritte vorzubereiten. Fragestellung: Was bedeuten die gewonnenen Erkenntnisse für den allfälligen Einsatz einer dezentralen Energieversorgung?

Energietheater

Es könnte ein witziges kurzes Theaterstück zum Thema Energie aufgeführt werden. Im Energietheater besteht die Möglichkeit, Rollenspiele einzubeziehen, welche die Auseinandersetzung mit verschiedenen Energieformen vertiefen können. Es ist aber nicht primär als Publikumstheater gedacht. Bei den Rollenspielen könnte den Mitspielern eine Karte mit Angaben verteilt werden.

Beispiele:

1. Spiel einer improvisierten Diskussionsrunde (die z.B. anlässlich einer Veranstaltung von einer Partei organisiert wurde). Auf einer Karte steht der Name, die Funktion und die Stellungnahme zum Thema.
2. Spannender wird es, wenn nur ein Teil einer Klasse an diesem «Meeting» teilnimmt und in einem so genannten Fischkreis in der Mitte des Raumes die Debatte führt. Die anderen sind Zuschauer, können aber, wenn sie ein neues Argument haben, in den Fischkreis hineingehen (es gibt immer einen leeren Stuhl), oder sie können einen Redner auswechseln (vom Leiter festzulegende Regel!).
3. Möglich ist auch ein Rollenspiel an einem Familientisch. Anlass zur Diskussion gibt eine Zeitungsnotiz mit der Meldung, dass bei einem Greenpeaceprotest ein Mensch verletzt wurde (es darf unklar bleiben, ob es ein Greenpeacemitglied war oder nicht). Der Vater arbeitet als Forscher im KKW-Bereich, die Tochter ist aktives

Greenpeacemitglied und der Sohn hat absolut kein Interesse an irgendeiner Auseinandersetzung mit dem Thema.

4. In einer Gemeinde sollen Sonnenkollektoren aufgestellt werden, und der Heimatschutz sträubt sich dagegen aus Ortsbild-Gründen. Das Gespräch findet z.B. im Gemeinderat statt (Chargen und Parteizugehörigkeit werden vom Leiter bestimmt).

Infotisch

Die Lernenden bauen einen originellen Infotisch auf mit diversen Büchern, Dokumenten und Kits zum Thema der dezentralen Energieversorgung mit erneuerbarer Energie.

Geeignetes Broschüren- und Informationsmaterial:

- Kollektorenanlage; gemeinsam gebaut und genutzt
- Thermische Solaranlagen im Selbstbau
- Wärmepumpe und Holzfeuerung: das starke Doppel
- Fotovoltaik: Strom aus der Sonne
- Sonnenkollektoren für Warmwasser und Heizung
- Landwirtschaftliche Biogasanlagen
- Solarzellen – Inselanlagen
- Solarzellen – Netzverbundanlagen
- Wintergarten – Eine Möglichkeit der passiven Sonnenenergienutzung
- Solararchitektur

Sämtliche Materialien können bezogen werden bei den **INFOENERGIE-Beratungszentralen:**

- Nordwestschweiz,
c/o Nova Energie GmbH, Schachenallee 29,
5000 Aarau
- Zentralschweiz,
c/o Georg Furler, Weissenbrunnenstr. 41, 8903
Birmensdorf
- Ostschweiz,
c/o Nova Energie GmbH, 8356 Tänikon

4 Fachinformation

4.1 Grundsätzliches zur dezentralen Energieversorgung

Energienutzung bedeutet Ressourcennutzung. Ist unser Umgang mit Energie nachhaltig? Unsere Energienutzung basiert fast vollständig auf nicht erneuerbaren Ressourcen. Das aktuelle Energiesystem ist daher als hochgradig nicht nachhaltig zu bezeichnen. Die Frage, wie sich natürliche Ressourcen nachhaltig nutzen lassen, ist eigentlich der Grundgedanke innerhalb der Versorgung mit erneuerbarer Energie. Dabei sind räumliche Einheiten nicht als eine fixe Größe zu verstehen. Sie können beispielsweise den einzelnen Haushalt, das Nutzungsgebiet eines Dorfes, die regionale Abgeschlossenheit eines Tales oder das Einzugsgebiet eines Flusses umfassen.

Eigenheiten der dezentralen Energieversorgung
Bei der Betrachtungsweise einer dezentralen Versorgung mit erneuerbarer Energie ist ein Einbezug der Raumdimension grundlegend für das Verständnis. Mit dezentral wird genauso eine gewisse Autonomie, losgelöst von bestehenden Energieversorgungsstrukturen, angesprochen.

Wenn wir uns die Natur zum Vorbild nehmen, lässt sich ausgezeichnet beobachten, wie Energie und Materie dezentral umgesetzt werden. So wird mit Sonnenenergie in den Zellen der Pflanzen dezentral Biomasse aufgebaut, welche dezentral von Konsumenten genutzt, d.h. wieder abgebaut wird.

Keine der Techniken vermag die komplexen Anforderungen eines nachhaltigen Energiebereitstellungssystems allein zu erfüllen. Es macht daher Sinn, mittels Vernetzung der verschiedenen Techniken eine benutzergerechte Bedarfsdeckung zu erlangen. Dabei sind die zur Erbringung einer bestimmten Energiedienstleistung qualitativ und quantitativ jeweils am besten geeigneten Techniken zu nutzen.

Mit dezentral ist nicht auch lokal gemeint. Beziehen wir uns auf das europäische Verbundnetz der Elektrizitätswerke, ist eine zentrale Energieversorgung angesprochen, obwohl das europäische Netz viele dezentral installierte Anlagen umfasst. Nehmen wir dagegen den Holzofen, versorgt mit Brennholz aus dem umliegenden Wald, so wird eine sehr dezentrale und lokal begrenzte Energieversorgung damit bezeichnet.

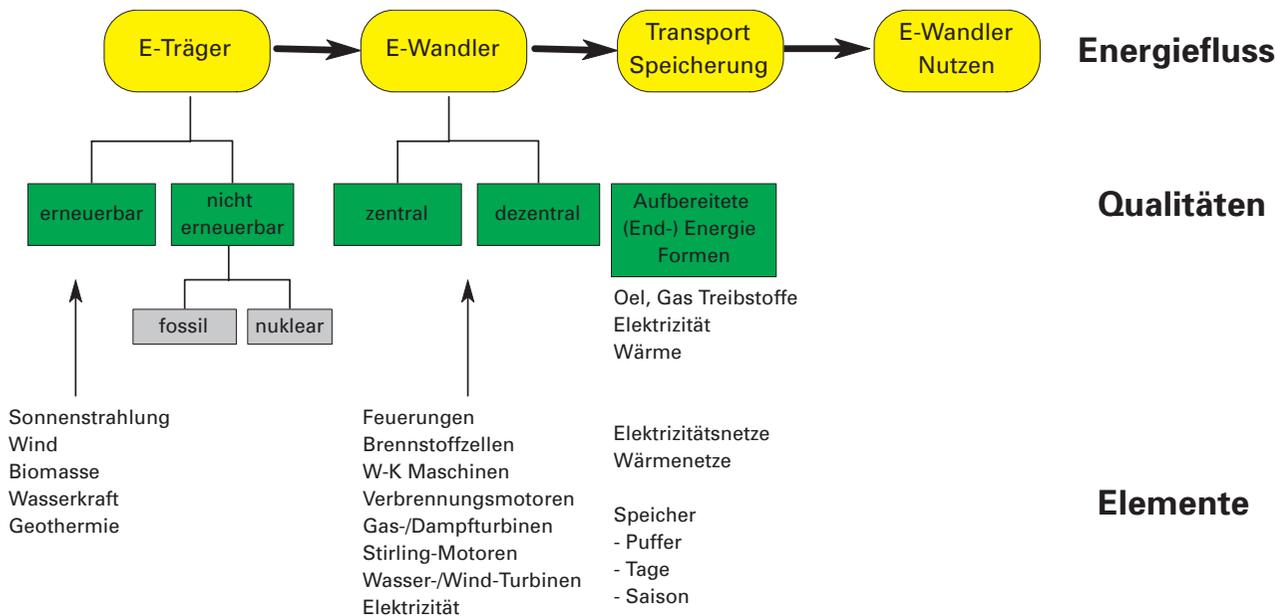


Abb. 1 Systematik der Energieversorgung

Warum eine dezentrale Energieversorgung?

Dank der technologischen Entwicklung sind viele erneuerbare Energieträger einsatzfähig geworden. Wenn es um die Versorgung von verstreuten ländlichen Siedlungsgebieten geht, sind oft dezentral erneuerbare Energieträger die wirtschaftlichste und umweltverträglichste Lösung der Energieversorgung. Demgegenüber besteht der Nachteil der zentralen Energieversorgung darin, dass ein beträchtlicher Anteil Energie sprichwörtlich auf der Strecke bleibt. Die Konsequenz: Durch eine ganzheitliche Dezentralisierung, unter Berücksichtigung energetischer Aspekte, entstehen weniger Abfall, Abwasser, Abluft und Übertragungsverluste beim Energietransport, weniger Transportkapazitäten werden benötigt, und generell besteht eine geringere Abhängigkeit.

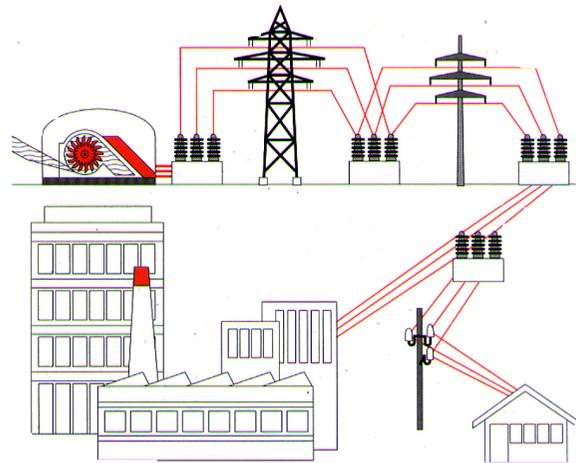


Abb. 2 Die schweizerische Stromversorgung – zentrale Energieversorgung im Netzverbund

System- und Betriebsarten einer dezentralen Energieversorgung

Generell ist das Herz einer dezentralen Anlage der Energiespeicher. Da Angebot und Nachfrage bezüglich Energiebedarf selten zeitlich übereinstimmen, muss die Energie gespeichert werden.

Unterschiedliche System- und Betriebsarten bei der dezentralen Stromerzeugung

Inselanlagen

Ganz wesentlich für ein Energieversorgungssystem, z.B. ein Kraftwerk, ist, ob es als einziges Versorgungssystem ein abgegrenztes, kleines Versorgungsnetz beliefern muss, welches mit keinem bestehenden grösseren Netz verbunden ist. Diese Betriebsart bezeichnen wir als Inselbetrieb. Autonome- oder Inselanlagen erzeugen Energie für einen Verbraucher ohne Anschluss an ein öffentliches Netz, zum Beispiel das Stromversorgungsnetz. In der Schweiz befinden sich viele Inselanlagen in abgelegenen Regionen wie den Alpen. Eine autonome Anlage enthält als wesentliches Merkmal einen Speicher für die Betriebspausen der Erzeugungsanlage.

Netzgekoppelte Anlagen

Speist ein Energieversorgungssystem wie beispielsweise ein Kraftwerk, die erzeugte Elektrizität in einen grösseren Netzverbund, wo Spannung und Frequenz vorgegeben sind, so sprechen wir vom Netzbetrieb. Netzgekoppelte Anlagen sind an das öffentliche Netz gekoppelt. Überschüssige Energie

wird in der produktiven Betriebsphase einer Anlage in das Netz eingespeisen, das Netz wirkt dabei wie ein Energiespeicher. Betrachten wir beispielsweise das Elektrizitätsnetz, so ist gerade die netzgekoppelte photovoltaische Stromerzeugung sehr sinnvoll, weil der Stromverbrauch im Netz tagsüber besonders hoch ist.

Netzverbundene dezentrale Anlagen sind in der Schweiz eine technisch optimale Lösung für die Erzeugung von Solarstrom, weil die Netzinfrastruktur bereits vorhanden ist. Der Wechselrichter übernimmt die Anpassung, den erzeugten Gleichstrom in den netzkonformen Wechselstrom (230V, 50 Hz sinus) zu wandeln und bei einem Bedarfsüberschuss ins öffentliche Netz einzuspeisen. Das Elektrizitätswerk regelt bedarfsgerecht den Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage. Ein entsprechender Speicher entfällt.

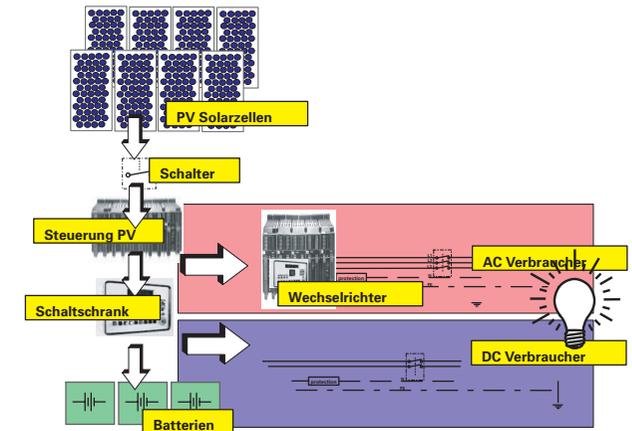


Abb. 3 Inselanlage

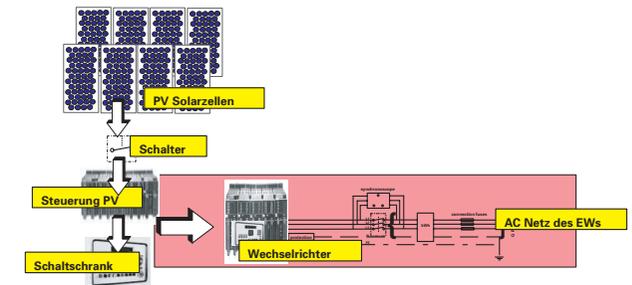


Abb. 4 Netzgekoppelte Anlage

4.2 Energiebilanz - Aspekte eines Versorgungssystems

Energetische Betrachtung

Die energetische Beurteilung einer Energieversorgungsanlage setzt eine umfassende Energiebetrachtung **über den gesamten Lebenszyklus** voraus. Die eingesetzten energetischen Aufwendungen für Herstellung, Betrieb und Entsorgung werden als **kumulierter Energieaufwand** während ihrer Lebensdauer bezeichnet.

Der Begriff der **grauen Energie** berücksichtigt die für die Gewinnung der Rohstoffe, die Herstellung der Materialien und die dazwischenliegenden Transporte aufgewendete Primärenergie.

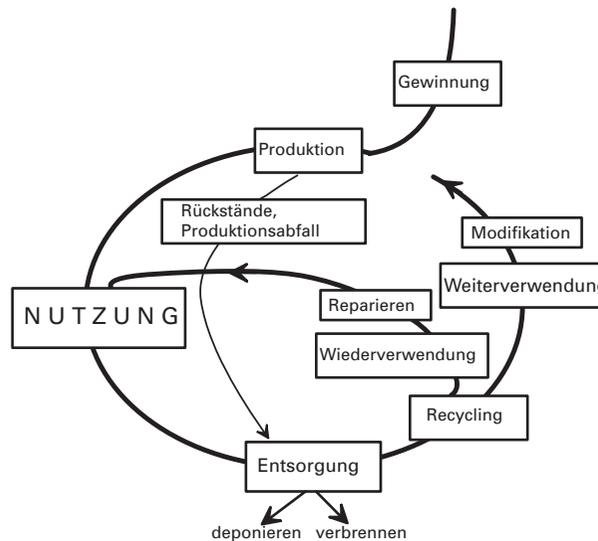


Abb. 5 Berücksichtigung der Lebensphasen einer Energieversorgungsanlage

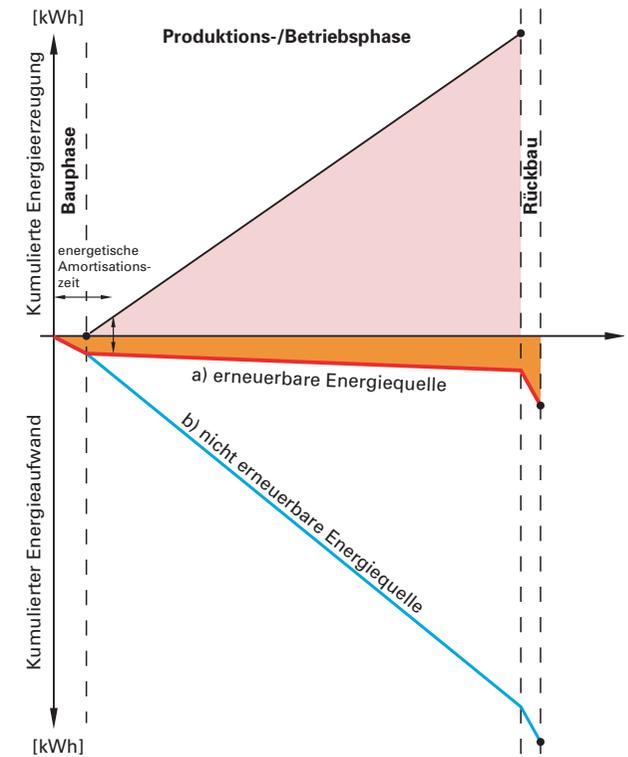


Abb. 6 Kumulierte Energieerzeugung und kumulierter Energieaufwand über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage mit einer a) erneuerbaren bzw. b) nicht erneuerbaren Energiequelle

Kumulierter Energieaufwand KEA

Kenngröße für die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines ökonomischen Gutes (Dienstleistung oder Produkt) verursacht wird, beziehungsweise diesem ursächlich zugewiesen werden kann.

Letztlich bedeutet diese Betrachtungsweise das konsequente Aufsummieren der aufgewendeten Energie, welche sich in der ganzen Prozesskette der Energie-Umwandlung versteckt, d.h. alle Lebensphasen einer Anlage berücksichtigt.

- Der kumulierte Energieaufwand für beispielsweise **Windkraftanlagen** kann mit etwa 5'000 kWh/kW veranschlagt werden.

Während der Nutzung der Anlage besteht der Energieaufwand aus zwei Komponenten: Betriebsenergie (die Hauptquelle, welche in Nutzenergie umgewandelt wird) und Hilfsenergie (meistens Elektrizität, welche für Steuerung, Pumpen, etc. nötig ist). Ist die Betriebsenergie von einer erneuerbaren Energiequelle geliefert, wird sie im kumulierten Energieaufwand nicht berücksichtigt. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass dieser erneuerbare Energieverbrauch keinen Einfluss auf die gesamte Energiebilanz der Umwelt hat. Wäre diese Energie nicht durch den Menschen nutzbar gemacht worden, wäre sie ohnehin als Abwärme an die Umwelt gelangt. Und nach der menschlichen Nutzung gelangt sie ebenfalls als Abwärme an die Umwelt.

Dieses Argument ist mit der CO₂-Neutralität der Biomasse vergleichbar (Kap. 4.3). In Abb. 6 umfasst Kurve a) in der Betriebsphase nur die kumulierte Hilfsenergie, Kurve b) hingegen zusätzlich auch noch die kumulierte Betriebsenergie.

Energetische Amortisationszeit

Bei Energieerzeugungsanlagen stellt die energetische Amortisationszeit ein sehr anschauliches Mass dar für das Verhältnis zwischen Energieaufwand zu ihrer Herstellung und ihrer möglichen Energieerzeugung während der ganzen Betriebszeit.

Energetische Amortisationszeit für die Herstellung AZ_H

auch Energierückflusszeit genannt, bezeichnet diejenige Betriebsdauer einer energieerzeugenden Anlage, die notwendig ist, bis ihre kumulierte, auf Stufe Primärenergie bewertete Nettoerzeugung genauso gross geworden ist wie der kumulierte Energieaufwand KEA_H , der zu ihrer Herstellung notwendig gewesen ist.

Hinweis:

- Die Amortisationszeit von Energieversorgungsanlagen aus erneuerbarer Energie ist immer viel kürzer als die zu erwartende Lebensdauer der Anlage.
- Eine mit nicht erneuerbarer Energie betriebene Energieerzeugungsanlage amortisiert sich energetisch nie. Der kumulierte Energieaufwand übersteigt immer die kumulierte Energieerzeugung (Kurve b), Abb. 6).

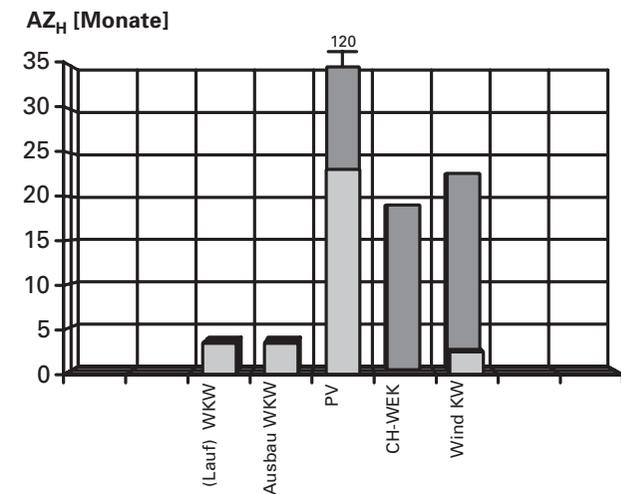


Abb. 7 Energetische Amortisationsfristen AZ_H von Stromerzeugungsanlagen im Vergleich

Legende:

- **Minimale (hell im Vordergrund) und maximale Werte (dunkel im Hintergrund)**, basierend auf der Bandbreite von Literatur- oder Prozentangaben, wurden in Form von zwei übereinander gelegten Säulendiagrammen abgebildet. Die Bandbreite zeigt auf, dass unterschiedliche Gesichtspunkte und Aspekte zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Der typische Wert wird in aller Regel zwischen den beiden Extremauschlägen liegen.
- **(Lauf) WKW:** Laufwasserkraftwerk, Flusskraftwerk
- **Ausbau WKW:** Ausbau bestehender und Neuerstellung weiterer Wasserkraftwerke
- **PV:** Fotovoltaik
- **CH-WEK:** Windkraftanlage (WEK = Windenergiekonverter), speziell auf die schweizerischen Verhältnisse bezogen, Binnenland
- **Wind KW:** Windkraftanlagen generell, weltweit, z.B. an Küstenregionen.

Wärme erzeugt mit

Energieform	Holz	Sonne	Gas	Öl	Kohle
Erntefaktoren	7,1	4,0	0,7	0,7	0,5

Strom erzeugt mit

Energieform	Sonne (PV)	UCPTE-Mix	CH-Mix
Erntefaktoren	1,6	0,2	0,35

Abb. 8 Zusammenstellung von Erntefaktoren bei unterschiedlich erzeugter Wärme und bei Strom

Legende:

Angegeben sind typische Werte gemäss Schweizer Energiefachbuch, Ausgabe 1997, S. 99.

- **UCPTE-Mix** = gemischte Erzeugung aus europäischer Sicht der Union pour la coordination de la production et du transport d'électricité
- **CH-Mix** = der in der Schweiz bezogene Strom ab Netz, er setzt sich aus ca. 60% Wasserkraft, 37% Kernkraft und 3% in weiteren Anlagen erzeugter Energie zusammen.

Erntefaktor

Der Erntefaktor ist das Verhältnis der kumulierten Energieerzeugung zum kumulierten Energieaufwand während der gesamten Lebensdauer einer energieerzeugenden Anlage. Er wurde eingeführt, um die effektive Entlastung der nicht erneuerbaren Energiebilanz eines Landes bzw. der ganzen Welt durch die Einführung einer erneuerbaren Energietechnologie zu bewerten. Denn eine neue Technologie dieser Art macht nur Sinn, wenn dadurch mehr Energie erzeugt wird als für Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Anlagen verbraucht wird. Die exakte Definition des Erntefaktors ist von Autor zu Autor unterschiedlich.

Hinweise:

- In Bezug auf die geringe Energiedichte der regenerativen Energiequellen ist die Herstellung entsprechender Systeme mit einem relativ hohen energetischen Aufwand verbunden.
- Trotzdem können dezentrale Anlagen mit erneuerbarer Energie, verglichen mit konventionellen Anlagen, an einem sorgfältig gewählten Standort hohe Werte für die Erntefaktoren bzw. kurze energetischen Amortisationszeiten erzielen.
- **Achtung, richtig unterscheiden:** Eine Anlage, welche nicht erneuerbare Energie verbraucht, hat immer einen Erntefaktor zwischen 0 und 1; d.h. $0 < EF < 1$. Eine Anlage, welche erneuerbare Energie gewinnt, liegt typischerweise höher als 1; d.h. $EF > 1$.

Wirkungsgrad

Kenngrosse gebildet aus dem Verhältnis der nutzbaren abgegebenen Leistung und der zugeführten Leistung. Der Wirkungsgrad ist jeweils nur für stationäre Betriebszustände bestimmbar.

Nutzungsgrad

Verhältnis aus der in einem bestimmten Zeitraum nutzbar abgegebenen Energie und der gesamten zugeführten Energie. Die betrachteten Zeiträume können Pause-, Leerlauf-, Anfahr- und Abschaltzeiten einschliessen.

Ökologische Betrachtung

Die Beurteilung der Reduktion wesentlicher Emissionen, welche von Energieversorgungsanlagen ausgehen, ist aus ökologischer Sichtweise sehr interessant.

Insbesondere die Emission des Treibhausgases CO_2 von Systemen kann heute als ökologischer Qualitätsfaktor definiert werden. Der so genannte CO_2 -Reduktionsfaktor bezeichnet dabei die Zahl, die angibt, wievielfach weniger CO_2 eine bestimmte Versorgungsanlage während ihrer Lebensdauer freisetzt, gegenüber einer konventionellen z.B. mit Öl betriebenen.

Akzeptanzprobleme: Landschaftsbild, Materialintensität, Risiko

Mit Akzeptanzproblemen ist vorwiegend aus Gründen des Naturschutzes und der ästhetischen Sicht zu rechnen. Für Anlagen zur dezentralen Energieversorgung liegen die in Frage kommenden Standorte meist in nicht überbauten Zonen und somit oft in Naturschutz-, Landschaftsschutz- oder Schongebieten. Entscheide sollten daher unter rechtzeitigem Einbezug aller beteiligten Organisationen und Schutzverbände aufgrund einer Interessensabwägung gefällt werden. Bei grösseren Anlagen sind Umweltverträglichkeitsprüfungen obligatorisch. Dabei ist eine gute Informationspolitik von grosser Bedeutung.

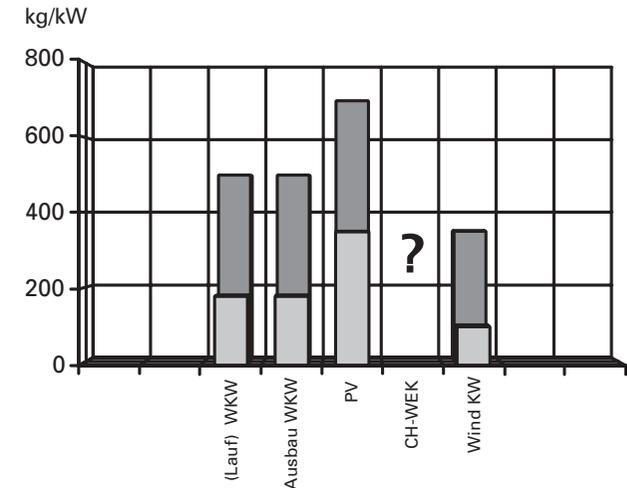


Abb. 9 Materialintensität in kg/kW von Stromproduktionsanlagen

Legende:

- **Minimale** (hell im Vordergrund) und **maximale Werte** (dunkel im Hintergrund), basierend auf der Bandbreite von Literatur- oder Prozentangaben, wurden in Form von zwei übereinander gelegten Säulendiagrammen abgebildet. Die Bandbreite zeigt auf, dass unterschiedliche Gesichtspunkte und Aspekte zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Der typische Wert wird in aller Regel zwischen den beiden Extremausschlägen liegen. Es kann vorkommen, dass Angaben aufgrund von fehlendem Datenmaterial nicht in die Betrachtungsweise einbezogen werden konnten, dies wurde mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

- **(Lauf) WKW:** Laufwasserkraftwerk, Flusskraftwerk
- **Ausbau WKW:** Ausbau bestehender und Neuerstellung weiterer Wasserkraftwerke
- **PV:** Fotovoltaik
- **CH-WEK:** Windkraftanlage (WEK = Windenergiekonverter), speziell auf die schweizerischen Verhältnisse bezogen, Binnenland
- **Wind KW:** Windkraftanlagen generell, weltweit, z.B. an Küstenregionen.

Flächenbedarf

Der Flächenbedarf von Energieversorgungsanlagen kann als entscheidendes Kriterium für deren Einsatz zu Buche schlagen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen einer neuen Beanspruchung und der Nutzung von bereits bestehenden Flächen, z.B. von Dächern.

Arbeitsplatzintensität

Bei einem stärkeren Engagement könnten im Exportbereich der Schweiz weitere Arbeitsplätze geschaffen werden. Das vorhandene Know-how bietet dafür eine gute Voraussetzung.

4.3 Dezentrale Versorgung mit erneuerbarer Energie von A bis Z

Wasserkraft

Die seit mehr als hundert Jahren traditionell eingesetzten Wasserkraft-Laufkraftwerke, oft auch als Flusskraftwerke bezeichnet, decken den **Grundbedarf an Strom** und sind ohne Unterbruch in Betrieb (Bandenergie). Demgegenüber werden Speicherkraftwerke zur Abdeckung des **Spitzenbedarfs** mit tags und im Winter eingesetzt. Sie nutzen das in Stauseen gespeicherte Wasser und können innert weniger Minuten in Betrieb gesetzt werden. Die Speicherseen werden während des Sommers mit Schmelzwasser gefüllt. Pumpspeicherwerke dienen dem Energiemanagement und sind als Spezialfall der Speicherkraftwerke nicht zu den konventionell erneuerbaren Energieträgern zu zählen! Je nach Witterungsverhältnissen schwankt die jährliche Produktion der Wasserkraftwerke gewaltig.



Abb. 10 Strom aus Wasserkraft: Kleinwasserkraftwerke nutzen das in einem Bach oder Fluss an einem Wehr gestaute Wasser zum Antrieb ihrer Turbinen.

Eine Wasserkraftwerkanlage dient der Nutzbarmachung der potenziellen Energie des Wassers. D.h. die im Gefälle des strömenden Wassers enthaltene Energie wird in elektrische Energie umgewandelt. Von dieser Strömungsenergie können bis 90 Prozent nutzbar gemacht werden. Der Wirkungsgrad von Kleinanlagen ist deutlich geringer, vergleiche Abbildung 11.

Nach ihrer Fallhöhe unterschieden, werden Wasserkraftwerkanlagen in Niederdruck-, Mitteldruck- oder Hochdruckanlagen eingeteilt.

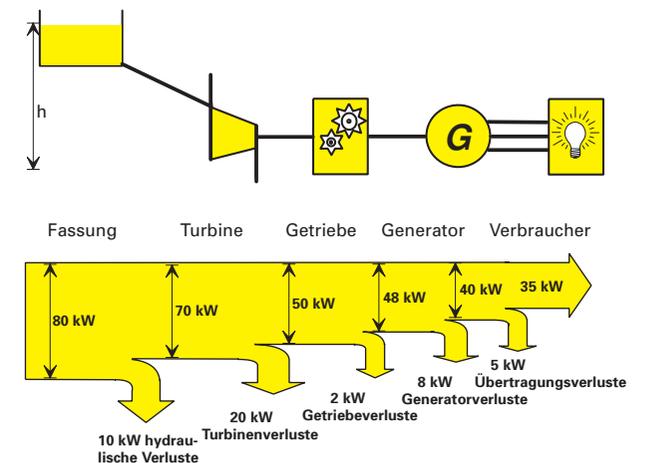


Abb. 11 Leistungsfluss eines Kleinwasserkraftwerkes von der hydraulischen Bruttoleistung bis zum Verbraucher

Die Leistung der Anlage ergibt sich aus der Turbinenleistung. Die verfügbare elektrische Leistung bei den Verbrauchern ist wegen den Umwandlungs- und Übertragungsverlusten kleiner (im Beispiel von Abb. 11 noch 44%) als die hydraulische Bruttoleistung.

Die hydraulische Bruttoleistung eines Wasserkraftwerkes errechnet sich aus:

$$\text{Leistung [W]} = h \cdot m \cdot g = m \cdot g \cdot h$$

$$\text{Höhe [m]} \cdot \text{Wassermenge [kg/s]} \cdot g [9,81 \text{ m/s}^2]$$

Beispiel:

Eine Höhe von 80 m und eine Wassermenge von 20 kg/s (l/s) ergeben eine Bruttoleistung von 15.7 kW.

Um im Inselbetrieb eine konstante Spannung des Generators zu erhalten, muss die Drehzahl durch eine Wassermengenregelung (Ventil) konstant gehalten werden. Eine unterschiedliche Wassermenge entspricht bei fester Drehzahl einer variablen Leistung der Turbine. Die Nennleistung des Kleinwasserkraftwerkes wird anhand der geordneten Jahreskurve der Wassermenge (Summenhäufigkeitsdiagramm) bestimmt.

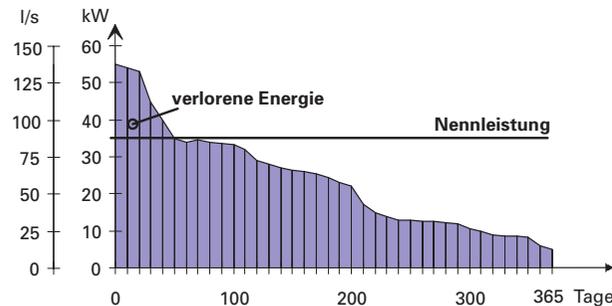


Abb. 12 Bestimmung der optimalen Nennleistung anhand der Jahreskurve

Wasserkraft gilt als die grösste kommerziell genutzte regenerative Energiequelle der Welt. So werden zirka 18 Prozent der Stromproduktion weltweit mittels Wasserkraftanlagen erzeugt. Das bislang grösste Wasserkraftwerk der Welt steht an der Grenze zwischen Brasilien und Paraguay mit einer installierten Leistung von 10,5 Mio. kW_{el}.

Wasserkraft ist zwar eine erneuerbare Energie, ihre Nutzung ist jedoch nicht immer unbedenklich. So werden durch grosse Stauanlagen besonders wertvolle Landschaften unter Wasser gesetzt. Zudem wird die Restwassermenge für das Überleben der Fischbestände oft zu einem Problem. Die grosstechnische Umwandlung von Wasserkraft in elektrische Energie ist eng mit sozialen und ökologischen Problemen verknüpft. Gerade in Bezug auf das gezielte Bewusstsein dieser Risiken und Probleme gewinnt die Nutzung der Wasserkraft in kleinen Anlagen wieder an Bedeutung. Vor 30 bis 40 Jahren wurden viele der Kraftwerke aus wirtschaftlichen Gründen abgeschaltet. Die Revitalisierung dieser in Vergessenheit geratenen Klein- und Kleinstwasserkraftwerke würde es jedoch ermöglichen, eine bereits bestehende Infrastruktur wieder zu nutzen.



Abb. 13 Kleinstwasserkraftwerk, Antriebswelle

Kleinstwasserkraft pro und kontra

Pro	Kontra
<i>energetische Ertragssituation</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> Die zur Stromerzeugung nutzbaren natürlichen Zuflüsse fallen im Mittel zu etwa 75% im Sommerhalbjahr und zu 25% im Winter an.
<i>Wirtschaftlichkeit</i>	
<ul style="list-style-type: none"> dezentrale Energieversorgung spart Infrastrukturkosten 	<ul style="list-style-type: none"> relativ hoher Wartungs- und Unterhaltsaufwand hoher Anlagenaufwand aktuelle Stromgestehungskosten: 20 bis 30 Rappen pro kWh
<i>energetische Betrachtung</i>	
<ul style="list-style-type: none"> traditionelle, wiederentdeckte erneuerbare Energie minimaler nicht erneuerbarer Primärenergieverbrauch geringe Verteilverluste kurze energetische Amortisationszeit gute Erntefaktoren 	<ul style="list-style-type: none"> unregelmässige Verfügbarkeit
<i>technische Daten</i>	
<ul style="list-style-type: none"> hoher Gesamtwirkungsgrad: typ. 80% eher geringer Flächenbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> schwierige Standortwahl
<i>weitere Effekte</i>	
<ul style="list-style-type: none"> neue Arbeitsplätze 	<ul style="list-style-type: none"> Beeinträchtigung von Lebensräumen/intakten Fließgewässern Restwassermengenproblematik

Sonnenstrahlung

Überraschend vielfältig sind die Möglichkeiten zur Nutzung der Sonnenenergie. Sie reichen von der Energieversorgung über die Hochtemperaturchemie bis zur Kochkiste.

Die schwerpunktmässigen Anwendungsbereiche erstrecken sich auf die Erzeugung von

- Warmwasser
- Raumwärme
- Licht
- Elektrizität

Im Bereich der Architektur ist eine umfassende Nutzung der Sonnenenergie durch entsprechende Projektbestandteile in **passiver und aktiver Form**, d.h. durch die Bauweise wie auch durch Kollektoren usw. realisierbar. Die direkte, aktive oder passive Sonnenenergienutzung gilt als eine der umweltfreundlichsten Energiegewinnungsarten.

Solarthermische Wärmenutzung

Die solarthermische Wärmenutzung umfasst sämtliche Energiesysteme, welche durch die solare Strahlungsenergie Nieder-, Mittel- oder Hochtemperaturwärme bereitstellen. Eine solarthermische Anlage besteht aus einem Kollektor sowie einem flüssigen oder gasförmigen Wärmeträgermedium, Leitungen für Wärmetransport und einem Speicher. Es werden konzentrierende und nicht konzentrierende Systeme unterschieden. Bei konzentrierenden solarthermischen Anlagen werden Sonnenstrahlen beispielsweise mit Parabolspiegeln auf einen Absorber

gebündelt, sodass Prozesstemperaturen von bis zu 1'000 °C erreicht werden können. Demgegenüber wird bei den nichtkonzentrierenden Systemen die Sonnenstrahlung direkt vom Absorber in Wärme umgewandelt. Diese Sonnenkollektoren eignen sich für den Niedertemperaturbereich bis 100° C. Heute angebotene Anlagen wandeln 35 bis 45% der eingestrahlten Energie in nutzbare Energie um.

Die thermische Nutzung der Sonne mittels Kollektoren geschieht durch ein technisch ausgereiftes System und ist in grösseren Anlagen wirtschaftlich einsetzbar. Dezentral eingesetzte Sonnenkollektoranlagen eignen sich vor allem zur Brauchwassererwärmung in Mehr- und Einfamilienhäusern, Sportanlagen, Hotels und Industrie. Mit Kosten ab etwa 15 Rappen pro kWh ist ein wirtschaftlicher Betrieb bereits heute möglich.

Je nach Wärmenutzungsart stehen verschiedene Kollektortypen zur Verfügung. Entscheidende Kriterien für die Wahl des Kollektors sind der Nutzungsschwerpunkt und das Temperaturniveau.

Der **Flachkollektor** gilt als der meist verbreitete Kollektortyp. Er besteht im Wesentlichen aus vier Teilen: Abdeckglas, Absorber, Wärmedämmung und Rahmen. Das Schlüsselement ist der Absorber, ein schwarz beschichteter und mit Röhren durchzogener Metallkörper. Im Absorber zirkuliert der Wärmeträger (meist Wasser und Frostschutz), welcher die Wärme zum Speicher und an die Verteilstelle liefert.

Verglaste Flachkollektoren sind idealerweise für Anwendungen im Temperaturbereich zwischen 30°C und 60°C zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung geeignet.

Beim **Vakuum-Röhrenkollektor** ist der Absorber in eine evakuierte Glasröhre eingeschlossen. Dieses Verfahren erzielt einen guten Wirkungsgrad auch bei höheren Nutzttemperaturen.

Ein Quadratmeter Kollektorfläche produziert einen Wärmeertrag von 200 bis 600 kWh/Jahr und substituiert 20 bis 60 Liter Heizöl.

Passive Nutzung (Solararchitektur, transparente Wärmedämmung)

Das Prinzip der passiven Nutzung von Sonnenenergie zählen wir nicht direkt zu den dezentralen Versorgungssystemen. Da aber die neuen Elemente zur Solararchitektur ausserordentlich interessante Möglichkeiten für die energetische Optimierung bieten, sollen sie der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

Eine intelligente, ökologisch orientierte Planung moderner Gebäude bewirkt auch einen markant geringeren Energiebedarf. Klassische Beispiele sind: Südfenster, Wintergärten, der verglaste Balkon. Moderne Elemente wie etwa die **transparente Wärmedämmung TWD** sind sehr erfolgversprechend. Als Fassadenelement funktioniert die TWD wie ein Warmluftkollektor. Kleine strahlungsdurch-

lässige und wärmeisolierende Röhrchen bedecken die Absorberfläche. Das Ganze wird abgedeckt mit einer Glasplatte. Durch diese Mikrowabenkonstruktion wird die einfallende Sonnenstrahlung durch die TWD auf die Absorberfläche geleitet und von dieser weiter an die Hauswand. Eine so aufgebaute Fassade gibt die Wärme zeitlich verzögert an die Innenräume ab und ist eigentlich als solare Wandheizung zu bezeichnen.

Fotovoltaische Stromerzeugung

Eine weitere Form der direkten Nutzung solarer Strahlungsenergie stellt die Fotovoltaik dar. Zentrale Bauelemente einer Fotovoltaikanlage sind die Solarzellen. Derzeit sind drei Typen im Handel erhältlich (den grundsätzlichen Aufbau einer Solarzelle, bestehend aus p-leitendem Basismaterial und einer n-leitenden Schicht auf der Oberseite, ersehen Sie im Modul 2 «Solartechnik» für die Elektroberufe):

- **monokristalline** Zellen, benötigen ein aufwändiges Produktionsverfahren, weisen jedoch einen Wirkungsgrad von bis zu 16% auf.
- **polykristalline** Zellen, weisen einen Wirkungsgrad von zirka 11 bis 14% auf.
- **amorphe / Dünnschicht**-Zellen. Das Halbleitermaterial wird auf das Trägermaterial aufgedampft. Diese Zellen sind wesentlich kostengünstiger in der Herstellung, ihr Wirkungsgrad liegt jedoch tiefer, d.h. bei 5 bis 6%.

Für die Herstellung von Solarzellen wird hochreines Silizium benötigt; der Reinigungsprozess ist sehr aufwändig und treibt die Kosten in die Höhe.

Oft wird in der öffentlichen Diskussion die Frage gestellt, ob eine Fotovoltaikanlage in ihrer Lebenszeit soviel Energie zu erzeugen vermag, wie zu ihrer Produktion investiert werden muss. Detaillierte Studien zum Material- und Energiebedarf (Erntefaktoren) von fotovoltaischen Anlagen über ihren ganzen Lebenszyklus belegen, dass an mitteleuropäischen Standorten innerhalb von 6 bis 10 Jahren die aufgewendete Energie wieder zurückgewonnen wird. Falls eine Anlage 30 Jahre lang in Betrieb ist, bedeutet dies, dass das 3 bis 5fache der investierten Energie produziert wird.

Die Skalierbarkeit ist ein entscheidender Vorteil der Fotovoltaiktechnologie. Modular aufgebaut, sind Fotovoltaikanlagen mit praktisch beliebiger Leistung installierbar.

Die dezentrale Stromversorgung von abgelegenen Objekten ist heute wirtschaftlich möglich und sinnvoll. In Gebieten mit bereits vorhandenen Elektrizitätsversorgungssystemen kommen hauptsächlich netzgekoppelte Fotovoltaikanlagen zum Einsatz.

Solarenergie pro und kontra

(Für jedes beschriebene System müsste eigentlich ein anlagenspezifischer Vergleich erstellt werden. Der Übersichtlichkeit halber wird an dieser Stelle darauf verzichtet)

Pro	Kontra
<i>energetische Ertragsituation</i>	
• Primärenergie ist gratis	• Ertrag von Jahreszeit abhängig
<i>Wirtschaftlichkeit</i>	
• geringer Wartungs- und Unterhaltsaufwand	• PV in Bezug auf Stromlieferung ab Netz noch zu teuer • Solarthermik in günstigen Fällen wirtschaftlich
<i>energetische Betrachtung</i>	
• technologisch neu erschlossene erneuerbare Energie • gute Erntefaktoren, v.a. bei thermischer Nutzung	• unregelmässige Verfügbarkeit, fällt vor allem im Sommerhalbjahr an
<i>technische Daten</i>	
	• hoher Flächenbedarf • Exposition und Standort bedeutsam
<i>weitere Effekte</i>	
• minimale Schadstoffemissionen • neue Arbeitsplätze • geringe externe Folgen • reduziert die Probleme der konventionellen Energieversorgung	• an exponierter Lage: Akzeptanzprobleme (Orts- und Landschaftsbild)

Windenergie

Die in strömenden Luftmassen enthaltene kinetische Energie kann mit Hilfe von Windenergiekonvertern WEK nutzbar gemacht werden. Bereits vor 3000 Jahren wurde die Windkraft mit Windmühlen genutzt. Moderne Windenergiekonverter wandeln die kinetische Energie der bewegten Luft in mechanische Kraft und über einen Generator in Elektrizität um. Ein Rotor dreht sich entweder um eine waagrechte oder um eine senkrechte Achse.

Die im Wind enthaltene Energie ist keine konstante Grösse, sondern hängt von der Geschwindigkeit des Windes ab. Entsprechend der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit nimmt die Energie zu. Daher ist die Standortwahl einer Windkraftanlage von entscheidender Bedeutung. Je nach WEK-Bauart liegen die Anlaufgeschwindigkeiten im Bereich zwischen 3 und 5 m/s und die maximale Generatorleistung zwischen 10 und 14 m/s. Als Schutz gegen Sturmschäden werden die Rotorblätter bei höheren Windgeschwindigkeiten so umgestellt, dass die Generatorleistung auf den zulässigen Wert beschränkt bleibt.

Die Nutzung der Windenergie steckt in der Schweiz noch einen Dornröschenschlaf. Vor allem auf den unbewaldeten Kreten, Höhenzügen oder Passübergängen im Jura und in den Alpen würden sich zahlreiche Standorte anbieten für Windenergieanlagen (grosszügige Westwindsituation an exponierten Höhenlagen). Energiewirtschaftlich interessant ist an

der Windkraftnutzung, dass die Produktion eher im windstarken Winterhalbjahr anfällt und dementsprechend einen Beitrag zur Deckung der Belastungsspitzen unserer Stromversorgung leisten könnte. Das technisch erschliessbare Windenergiepotenzial der Schweiz wird auf 2 bis 4% des Strombedarfes geschätzt.

Windkraftanlagen sind an einem geeigneten Standort im Vergleich zur Fotovoltaik kostengünstig. In einem Binnenland wie der Schweiz kommen Windgeneratoren meist auf den Bergkuppen zum Einsatz, und dies führt oft zu Akzeptanzproblemen mit dem Argument der «Verschandelung der Landschaft».



Abb. 14 Dezentrale Energieversorgung mit Windenergie

Windenergie pro und kontra

Pro	Kontra
<i>energetische Ertragssituation</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • der Hauptanteil Energie kann im Winterhalbjahr produziert werden, bei erhöhter Nachfrage 	
<i>Wirtschaftlichkeit</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Stromgestehungskosten bei guten Standorten in der Nähe der Wirtschaftlichkeit 	
<i>energetische Betrachtung</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • traditionelle, wiederentdeckte erneuerbare Energie • minimaler Primärenergieverbrauch • kurze energetische Amortisationszeit • gute Erntefaktoren 	<ul style="list-style-type: none"> • stochastische Verfügbarkeit
<i>technische Daten</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • eher geringer Flächenbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • schwierige Standortwahl
<i>weitere Effekte</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • neue Arbeitsplätze • minimale Schadstoffemissionen • geringe externe Folgen 	<ul style="list-style-type: none"> • an exponierter Lage: Landschaftsbeeinträchtigung • Bedrohung für Vogelzüge • Lärmemissionen

Biomasse

Die Gesamtheit der durch Lebewesen, insbesondere Pflanzen, gebildeten Substanzen wird als Biomasse bezeichnet. Durch fotosynthetisch-biologische Vorgänge wird in den Pflanzen **Sonnenenergie gespeichert**. Aus Biomasse wiederum kann auf vielfältige Art Energie gewonnen werden. So entsteht bei der Zersetzung von organischen Substanzen, wie beispielsweise Pflanzenmaterial, Siedlungsabfällen, Abwässern und anderem mehr, Biogas. Dieses kann auf unterschiedliche Weise zur Energieerzeugung genutzt werden.

Entscheidender Faktor einer regenerativen Biomassennutzung ist der Kohlenstoffkreislauf. Regenerierbar bedeutet in Bezug auf die Biomassenanwendung, dass sich der Kohlenstoffkreislauf von der Bindung bis zur Freisetzung und bis zu einer erneuten Bindung in für den Menschen überschaubaren Zeiträumen schliesst. Das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ haben die Pflanzen beim Wachstum der Atmosphäre entnommen. Dies unterscheidet die Biomasse grundsätzlich von den fossilen Energieträgern, in denen der Kohlenstoff vor mehreren Jahr-millionen gebunden wurde. Biomasse als erneuerbaren Energieträger zu nutzen, bedeutet, dass nur so viel verbraucht werden darf wie gleichzeitig in der Region zur Nutzung nachwächst.

Biomasse weist einen bedeutenden Vorzug gegenüber anderen regenerativen Energieträgern auf: Biomasse ist eine speicherbare und transportierbare Ressource, zudem ist sie steuerbar nach Bedarf, unabhängig von tages- und jahreszeitlichen Schwankungen.

Biomasse vermag, in vielfältigen Erscheinungsformen genutzt, die unterschiedlichsten Bedürfnisse zu erfüllen. In der Schweiz ist Brennholz bisher die bedeutendste energetische Biomasse-Nutzung. Als billige Biomassequellen gelten vor allem Reststoffe oder Beiprodukte (Stroh, Holzabfälle und feuchte Pflanzenmassen oder tierischen Abfälle). Für die wesentlichsten Einsatzbereiche der genannten Produkte existieren technisch gut ausgereifte Feuerungsanlagen zur Wärme-gewinnung.

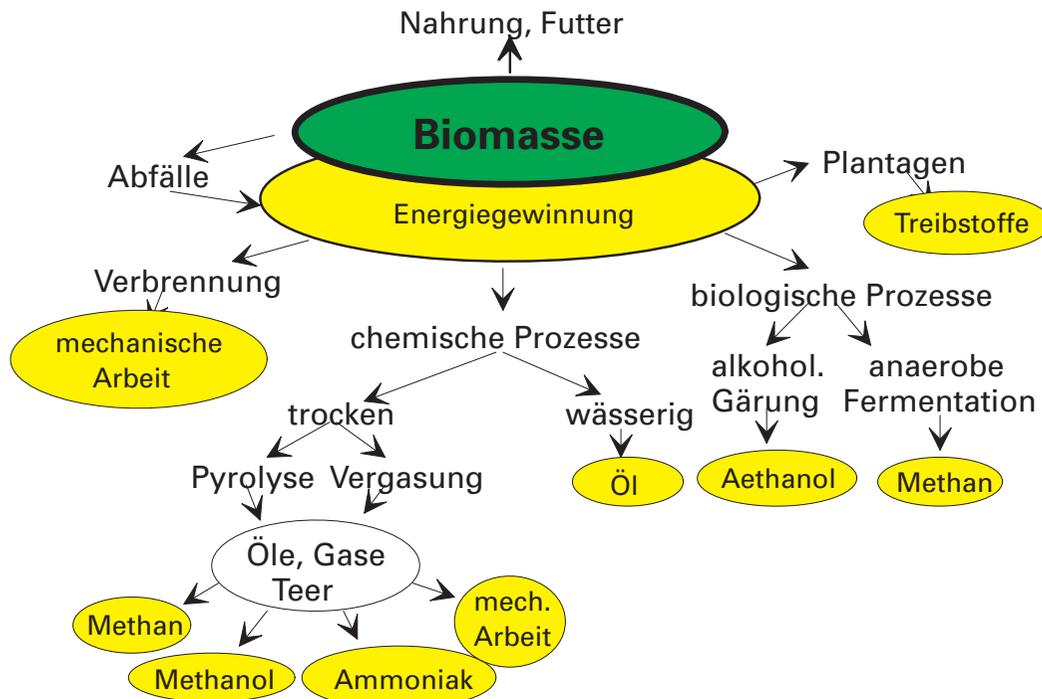


Abb. 15 Energiegewinnung aus Biomasse: die verschiedenen Prozesse

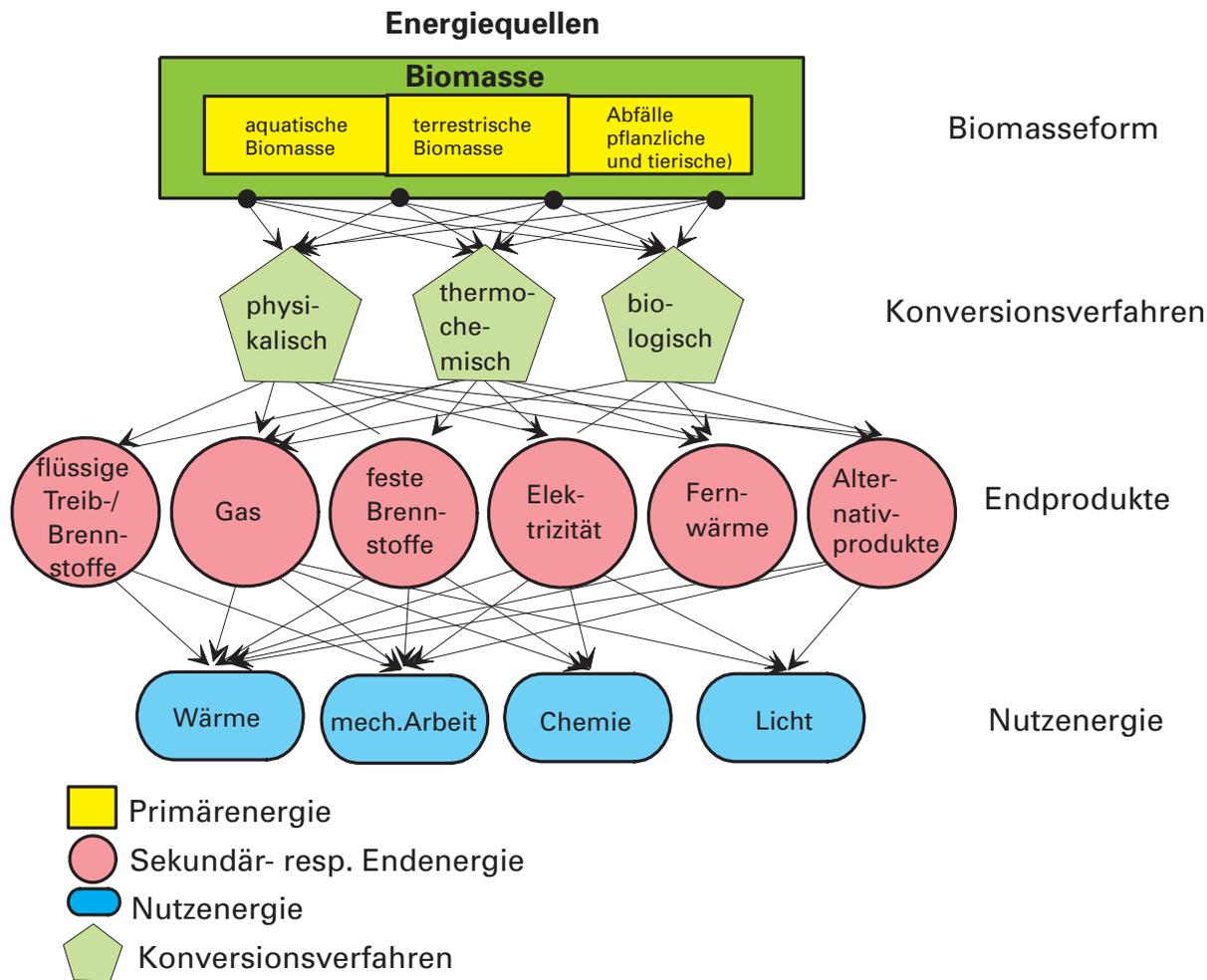


Abb. 16 Energiegewinnung aus Biomasse: von der Biomasse zur Nutzenergie

Wie Abbildung 16 zeigt, können die vier Biomassenformen durch drei grundlegende Umwandlungstechnologien in nutzbare Energie übergeführt werden.

Holz

Als fester Brennstoff stellt Holz neben der Wasserkraft den bedeutendsten einheimischen Energieträger dar. Die Holz-Heizungstechnologie wurde in den letzten Jahren weiterentwickelt. Heutige Anlagen arbeiten mit Pellets, Holzschnitzeln oder Stückholz und sind bezüglich Luftreinhaltung vorschrittskonform.

Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, der in der Schweiz mehr als ausreichend für die energetische Nutzung vorhanden ist. Von sämtlichen Alternativen an erneuerbaren Energieträgern ist Holz der Energieträger mit dem grössten auch kurzfristig nutzbaren Potenzial. Der Brennstoff Holz braucht keine langen Transportwege bis zum Verbraucher. Zudem ist er umweltfreundlich und ein CO₂-neutraler Energieträger. Holz als Biomasse leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Verminderung der Treibhausgasemissionen. Etwa drei Kilogramm Brennholz ersetzen ein Kilogramm Heizöl. Zudem macht Holz unabhängig von fernen Produzenten. Eine Holzfeuerung ist somit für die Schweiz die traditionellste und sympathischste dezentrale Energieversorgung. «Energieholz» stammt entweder direkt aus dem Wald oder aus der Holzverarbeitenden Industrie als Restholz. Pellets, kleine zylindrische Stäbchen aus gepresstem Sägemehl, eignen sich vorzüglich zur automatischen Holzfeuerung.

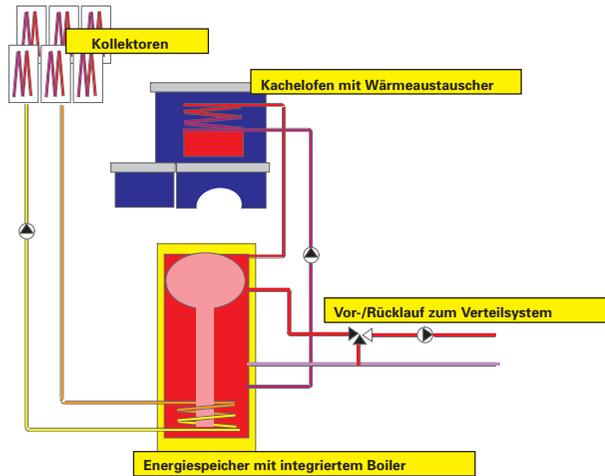


Abb. 17 Dezentrale Versorgung mittels Sonnenkollektoren und modernem Kachelofen als Zentralheizungssystem

Biogas

Energie aus Vergärung ist eine sinnvolle Ergänzung und, wirtschaftlich gesehen, eine interessante Lösung im Vergleich zu konventionellen Abwasserreinigungs- und Abfallverwertungsverfahren. In anaeroben Vergärungsanlagen kann so hochwertiges Biogas gewonnen werden. Dieses wird z.B. zur Gewinnung von Strom und Wärme in Wärmekopplungsanlagen verwendet. Die Umwandlung in elektrische Energie bringt dieselben Verluste wie bei anderen thermischen Kraftwerken. Biogasanlagen auf Bauernhöfen oder grösseren in Abwasserreinigungsanlagen dienen der Wärmeerzeugung und Stromproduktion.

Biomassenutzung pro und kontra

Pro	Kontra
<i>energetische Ertragssituation</i>	
<ul style="list-style-type: none"> theoretisches Potenzial mind. 6% des schweizerischen Energieverbrauches 	
<i>Wirtschaftlichkeit</i>	
<ul style="list-style-type: none"> Strom aus Biogas-Wärmekraftkopplung in Abwasserreinigungsanlagen mit ca. 15Rp/kWh wirtschaftlich tragbar 	<ul style="list-style-type: none"> in Bezug auf Stromlieferung ab Netz noch zu teuer relativ hoher Wartungs- und Unterhaltsaufwand
<i>energetische Betrachtung</i>	
<ul style="list-style-type: none"> neue erneuerbare Energie minimaler Primärenergieverbrauch kurze energetische Amortisationszeit gute Erntefaktoren 	<ul style="list-style-type: none"> Verfügbarkeit meist nach Bedarf, da Biomasse speicherbar
<i>technische Daten</i>	
<ul style="list-style-type: none"> enorme Fortschritte bei der Luftreinigung/Verbrennungstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> aufwändige Einrichtungen zur Brennstoffversorgung
<i>weitere Effekte</i>	
<ul style="list-style-type: none"> bei thermischer Nutzung von pflanzlicher Biomasse als Brennstoff CO₂-saldoneutral reduziert die Probleme der konventionellen Energieversorgung 	<ul style="list-style-type: none"> Widerspruch zu einem wirksamen Biotop- und Artenschutz bei intensivem Anbau von Biomasse bei Intensivkulturen Gefahr der Belastung von Boden- und Grundwasser durch Düngung, Pestizid- und Herbizideinsatz

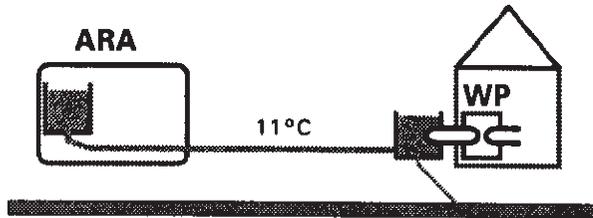
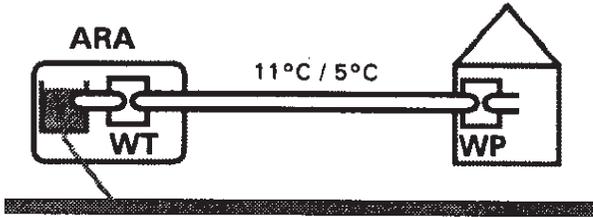
Offener Kreislauf**Geschlossener Kreislauf**

Abb. 18 Kalte Fernwärme aus der ARA im offenen/
geschlossenen Kreislauf
WP = Wärmepumpe
WT = Wärmeaustauscher

Umweltwärme

Über verschiedenste Systeme besteht heute die Möglichkeit, der Umgebung Wärme zu entziehen. Als Wärmequellen können die Umgebungsluft, das Grund- und Oberflächenwasser oder das Erdreich und die Geothermie dienen. Um die Umgebungswärme auf eine höhere Temperatur zu bringen, bedient man sich einer Wärmepumpe (weitere und detailliertere Informationen siehe Modul 3, Wärmepumpen, für die Elektroberufe). Unter Einsatz von einem Fünftel bis einem Drittel mechanischer bzw. elektrischer Energie lässt sich Wärme von Luft, Boden oder Gewässern nutzen.

Die im Erdinnern vorhandene Wärmemenge, genannt Geothermie, ist gigantisch. Die technologische Nutzung ist jedoch sehr aufwändig. Die Geothermie empfiehlt sich als dezentrale Versorgungsmöglichkeit an besonders geeigneten geologischen Standorten. Mit dem Bau der Röhren für die Alpentransversalen der NEAT wird viel geothermische Wärme freigesetzt, mit dem grossen Nachteil, dass diese Abwärme leider am falschen Ort zur Verfügung steht, da, wo eigentlich nur ein geringer Bedarf gedeckt werden muss.

Wärme-Kraft-Kopplung

Werden gleichzeitig Wärme und Strom in einer Anlage erzeugt, so wird von einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage WKK gesprochen. Ein Diesel-, Gas- oder Biogasmotor treibt einen Generator an. Die in den Abgasen und dem Kühlwasser enthaltene

Wärme wird für Heizzwecke genutzt. Dieses Prinzip liegt auch den Blockheizkraftwerken BHKW und Total-Energie-Anlagen Totems zu Grunde (weitere und detailliertere Informationen siehe Modul 4, Thermische Maschinen, für die Elektroberufe).

Fernwärme-/Nahwärmeversorgung

Unter einer dezentralen Fernwärmenutzung oder Nahwärmeversorgung wird die Heizung von Gebäuden über ein Verteilnetz mit zentraler Wärmeerzeugung verstanden. Als Wärmelieferanten in grossem Stil kommen vor allem thermische Anlagen in Frage: Kehrlichtverbrennungsanlagen KVA, thermische Kraftwerke, aber auch Produktionsprozessanlagen. In Form des Wärmegehaltes des Abwassers kann heute auch ab Abwasserreinigungsanlagen ARA sog. «kalte Fernwärme» angeboten werden. Das bedeutendste Merkmal kalter Fernwärmenetze besteht darin, dass über unisolierte Leitungen auf einem niedrigen Temperaturniveau die Wärme von der Abwasserreinigungsanlage zum Verbraucher transportiert wird. Erst beim Wärmebezüger wird mittels einer Wärmepumpe dem zugeführten Fernwärmewasser die benötigte Wärme entzogen und auf die gewünschte Heiztemperatur gebracht. Gegenüber warmer Fernwärme aus einer KVA liegt der Hauptvorteil darin, dass die teuren Wärmepumpen erst erstellt werden müssen, wenn die Abnehmer vorhanden sind.

4.4 Schritte zu einer dezentralen Versorgungsanlage

Die Wahl der richtigen Konzeption, die fachliche Beratung sowie die Planung einer Anlage sind Bestandteile eines Gesamtsystems. Zusätzlich entstehen durch die Entscheidung, die Investitionsplanung, das Bewilligungsverfahren sowie die Berücksichtigung der ökologischen und technischen Aspekte der zu realisierenden Versorgungsanlage weitere Anforderungen, welche die Komplexität der Planung erhöhen. Das Bewusstsein hierfür hat auf allen daran beteiligten Arbeits- und Wissensgebieten zu einem Problemlösungszyklus geführt.

Grundlage für die Projektierung einer dezentralen Versorgungsanlage mit erneuerbarer Energie ist ein Energiekonzept. Dieses Energiekonzept umfasst eine gesamtheitliche Untersuchung aller Aspekte der mit Energie zu versorgenden Bereiche. Besonders wichtige Bestandteile sind die Ermittlung des Leistungsbedarfs und die Art der Energieproduktion. Charakterisiert durch eine Bedarfs- und Angebotsanalyse in Form von Summenhäufigkeitsdiagrammen, bilden die messtechnisch erfassten Betriebsdaten die Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Energiekonzept.

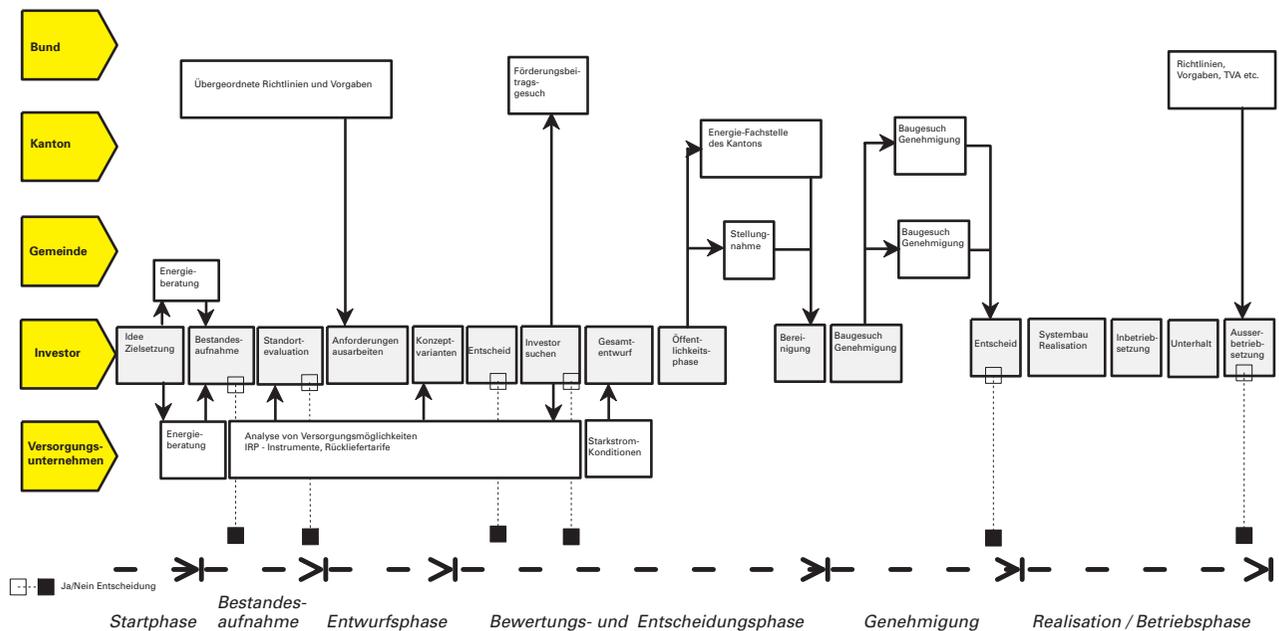


Abb. 19 Stufen der Anlagenplanung und Aufgaben der Beteiligten

4.5 Prioritäten der Energieversorgung

Zeitliche Realisierbarkeit der nachhaltigen Energieversorgung

Mit Blick in die Zukunft lässt sich erkennen, welche zeitlichen Realisierbarkeitspotenziale die verschiedenen Energieversorgungssysteme aufweisen. Die Berücksichtigung dieser Potenziale wird es erlauben, in der Schweiz in den nächsten Jahren den Weg in Richtung einer nachhaltigen Energieversorgung zu beschreiten.

- **Heute** bereits von Bedeutung sind Wärmepumpen, Sonnenkollektoren, Solararchitektur, Holz, Biogas, Klärgas, Deponiegas und WKK als Wandler.
- **Mittelfristige Bedeutsamkeit** darf von der Biomasse, der Geothermie und der Windkraft erwartet werden.
- **Längerfristige Bedeutsamkeit** ist der Fotovoltaik, möglicherweise dem Wasserstoff als Energiespeicher und der Brennstoffzelle als dezentralem Wandler zuzuordnen.

Für den anzustrebenden bedarfsgerechten Energiemix aus einer dezentralen Versorgung mit erneuerbarer Energie ist es nicht notwendig, das gesamte Potenzial der jeweiligen erneuerbaren Energie auszuschöpfen. Mit ein Grund dafür ist die Technologieentwicklung, welche noch am Anfang steht und erhebliche zusätzliche Leistungssteigerungen erwarten lässt.

Dezentrale Versorgung mit erneuerbarer Energie auch im Ausland

Seit ein paar Jahren wird zunehmend deutlich, dass Umweltprobleme sich nicht nur lokal und regional bemerkbar machen, sondern in beängstigender Weise global wirken. In fast allen Bereichen nimmt die Umweltqualität weltweit gesehen ab. Die Schweiz verfolgt im Vergleich mit vielen Ländern der internationalen Staatengemeinschaft eine fortschrittliche Umweltpolitik. Ihre verhältnismässig guten Umweltstandards sind Ausdruck recht hohen Umweltbewusstseins.

Die Verbesserung der Lebensqualität in den Entwicklungsländern ist zwingend und macht Technologietransfer notwendig. Ein angepasster Transfer ist sowohl auf Projektziele wie auf die soziale und natürliche Umgebung abgestimmt. Zudem gilt es zu überlegen, wo wir am effizientesten unser Geld investieren. Das Energieproblem ist dafür ein hervorragendes Beispiel. Wir wären heute technologisch fähig, bei uns $\frac{1}{3}$ des Gesamtenergiebedarfs einzusparen trotz Beibehaltung des Lebensstandards. Wir könnten dieselbe Technologieentwicklung in Entwicklungsländern einsetzen, es gäbe viele Lösungsmöglichkeiten dafür; diese scheitern jedoch sehr oft an sozialen und politischen Widerständen.

In den Entwicklungsländern unsere Energieversorgungsstruktur einfach zu kopieren, wäre dagegen verfehlt. Einen Lösungsansatz bei kleinmasstäbli-

chen Siedlungsstrukturen könnten beispielsweise auch weit verstreute, kleine, dezentrale Anlagen für die Energieversorgung von einzelnen Haushalten und Dorfgemeinschaften darstellen.

Man könnte eine provokante Frage stellen: Warum stets nur Geld für die Lösung der Umweltprobleme in der Schweiz einsetzen, wo doch die Franken, die wir hier investieren, nur einen sehr kleinen Beitrag zu einer Besserung leisten, die gleiche Geldsumme aber, in ein Kohlekraftwerk in China investiert, global gesehen eine weit grössere Wirkung erzielen würde?

4.6 Kleines Glossar zu diesem Modul

End-of-Pipe

Als End-of-Pipe-Lösungen werden Umweltschutzmassnahmen bezeichnet, die dem Produktions- oder Konsumationsprozess nachgeschaltet werden, ohne diesen technologisch zu verändern.

Energiedienstleistungsunternehmen

sind Werke, welche nebst dem Verkauf von Energieträgern ihren Kunden auch Dienstleistungen zur rationellen Verwendung von Energie anbieten. Betriebsintern werden Energie-Sparmassnahmen genauso wie Investitionen als Kapazitätserweiterungen auf der Produktionsseite betrachtet und gerechnet.

Erntefaktor

Bezeichnung für das Verhältnis zwischen der aus einer Anlage gewonnenen Energie und der für Erstellung, Unterhalt und Betrieb der Energiegewinnungsanlage benötigten Energie.

Graue Energie

Energie, die in der Herstellung eines Produktes oder dem Bau eines Gebäudes «versteckt» ist, d.h. die für dessen Bereitstellung verwendete Energie.

Integrierte Umwelttechnologie

Problemlösung, bei der durch geeignete Planung und Prozessführung die Entstehung umweltbelastender Stoffe oder der Ressourcenverschleiss vermieden wird (Clean technology).

Knappheit

Sammelbegriff für die Verfügbarkeit eines Gutes; umfasst Aspekte wie Rohstoffvorrat, Abbaumöglichkeit, Eingriffe bei der Gewinnung, Energieeinsatz für Gewinnung und Transport, Emissionen, usw.

Lastfaktor

oder Kapazitätsfaktor C, gibt an, mit welchem Prozentsatz die Kapazität der Anlage im Jahresdurchschnitt genutzt, resp. wie viele Stunden im Jahr die volle Leistung erbracht wird (Volllaststunden).

Materialintensität

betrifft den Umgang mit Rohstoffen im weitesten Sinne. Der Anteil von neu aus Lagerstätten gewonnenen Rohstoffen soll so weit wie möglich reduziert werden, und ihre Gewinnung mit einem Minimum an ökologischen Auswirkungen erfolgen. Abfälle sollen als Werkstoffe behandelt und möglichst wieder in die Produktionsprozesse zurückgeführt werden.

Nachhaltigkeit

bedeutet, dass Rohstoffe/Ressourcen in dem Mass genutzt werden, wie sie unter natürlichen Bedingungen nachwachsen resp. regeneriert werden. Für nicht regenerierbare Rohstoffe muss der Begriff ausgeweitet werden. Dabei müssen für die Beurteilung Kriterien wie Knappheit beachtet werden.

Negawatt

kann als eine noch nicht entdeckte Energiequelle betrachtet werden. Durch den Einsatz effizienter Technologien werden vorhandene Kraftwerkskapazitäten frei. Negawatts sind gesparte Energie.

Ökobilanz

Verfahren zur Ermittlung der Auswirkungen von Prozessen oder Systemen auf die Umwelt. Im engeren Sinn sind Ökobilanzen Vergleiche zwischen verschiedenen Prozessen hinsichtlich ihrer Energie- und Ressourcenverbräuche sowie der erzeugten Emissionen. Wichtige Elemente der Ökobilanzierung sind die Definition der Systemgrenze, die Erfassung aller Stoff- und Energieflüsse, die Kenntnisse der betroffenen Ökosysteme und die Bewertungskriterien.

5 Aufgaben, Lösungsvorschläge

Lernauftrag 1 Graue Energie – Wie viel Energie benötigt Energie?

Als graue Energie bezeichnen wir die Energie, welche insgesamt aufgewendet werden muss, um einen Gegenstand herzustellen. Graue Energie ist Energie, die in der Herstellung eines Produktes oder dem Bau eines Gebäudes «versteckt» ist, d.h. die für die Bereitstellung verwendete Energie. Der Begriff der grauen Energie berücksichtigt die für die Gewinnung der Rohstoffe, die Herstellung der Materialien und die dazwischen liegenden Transporte aufgewendete Primärenergie. Letztlich bedeutet diese Betrachtungsweise das konsequente Aufsummieren der aufgewendeten Energie, welche sich in der ganzen Prozesskette der Energie-Umwandlung versteckt, d.h. alle Lebensphasen einer Anlage beinhaltet.

Auftrag:

Versuchen Sie, anhand einer Gegenüberstellung einer Sonnenkollektoranlage und einer Ölheizanlage (vorgegebenes Beispiel) über den gesamten Lebenszyklus zu ermitteln, wo überall graue Energie im Spiel ist.

Als Gedankenstütze dienen Ihnen die beiden folgenden Grafiken.

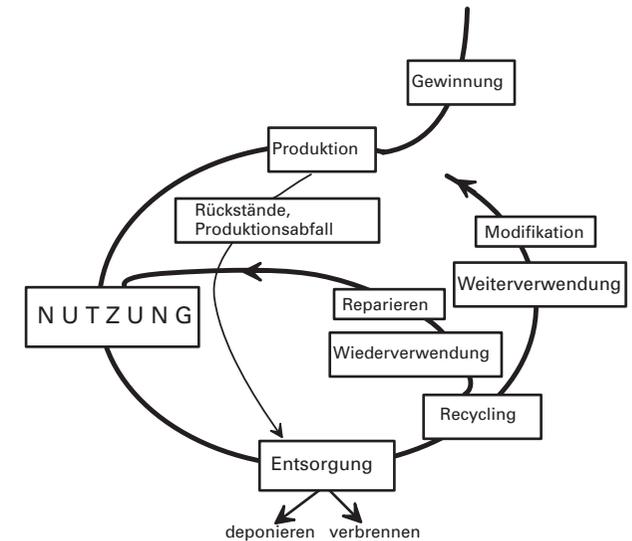


Abb. 20 Die Lebensphasen einer Produktionsanlage

Intensität	Vermeidung Minimierung	Materialintensität Energie, Rohstoffe
Lebensdauer	Reparierbarkeit Modifizierbarkeit Modularer Aufbau	
Verwertbarkeit	Trennung in sortenreine Wertstoffe Demontage, Sekundärrohstoffmarkt	
Produkte-Kreislauf-konzept	Rückflusskonzept Demontage- und Sammelkonzept Qualitäts- und Prüfkonzent Fraktionen-Verteilkonzept an Dritte Organisationskonzept	

Abb. 21 Ökologische Anforderungen an eine Produktionsanlage

Vorlage: «versteckte» Energie einer Sonnenkollektoranlage

Phasen/Kriterien	Detailbeschreibung

Kommentar:

Auch die Herstellung von Baustoffen, der Bau von Elektrizitätswerken und von Transportschiffen, LKW und vielem mehr beinhaltet graue Energie, die zusätzlich zum tatsächlichen Heizölverbrauch aufgewendet wird und anteilmässig dem betrachteten Heizsystem angelastet werden muss.

Weitere Ideen:

Siehe auch «Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit», Schülerheft, Seite 32 ff.

Beispiel: «versteckte» Energie einer Ölheizanlage

Phasen/Kriterien	Detailbeschreibung
Brennstoffbereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> • Rohstofferschliessung • Rohstoffförderung • Transport • Raffination • Entschwefelung • Anlieferung • Lagerung/Speicherung
Erstellung der Heizanlage	<ul style="list-style-type: none"> • Herstellung Heizkessel • Herstellung von Radiatoren und Heizwasserleitungen • Transport und Montage
Bereitstellung der Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Herstellung von Kamin und Öltankanlage • Transport von Kamin und Öltankanlage
Betrieb des Heizungssystems	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung elektrischer Energie für Brenner und Pumpenbetrieb
Unterhalt des Heizsystems	<ul style="list-style-type: none"> • Herstellen von Ersatzteilen • Betrieb von Service- und Unterhaltswerkstätten • Kaminfeger und amtl. Rauchgaskontrolle • Transport
Rückbau und Entsorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Abfälle • Transport

Lernauftrag 2 Windenergiepotenzial

Fragestellung:

Mit welchem Angebot an produzierter Energie [kWh] darf an einem Standort gerechnet werden?

Die Frage nach der nutzbaren Energie eines Windkraftwerkes ist nicht einfach zu beantworten. Wind-Messdaten bilden für die Angebotsabschätzung eines Standortes sowie für die Leistungsdaten der künftigen Windmaschinen die Voraussetzung zur Potenzialbeurteilung.

Annahme:

Für den Standort Winterthur auf einem nahen Hügelzug sind die Windgeschwindigkeit mit der zugehörigen Anzahl Stunden pro Jahr erhoben worden. Das nachfolgende Histogramm zeigt die gemessenen Winddaten:

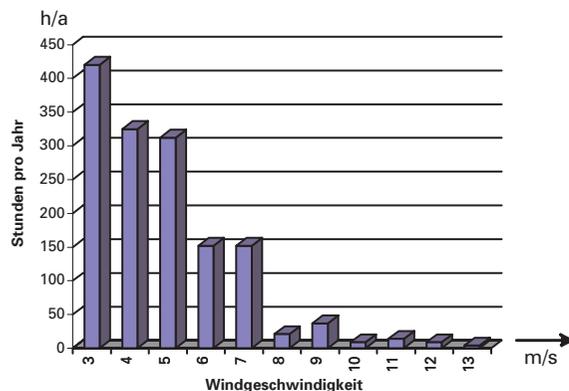


Abb. 22 Histogramm der gemessenen Windgeschwindigkeiten

Auftrag:

In einem Excelarbeitsblatt ist nun aus der Grafik in Abb. 22 die Potenzialabschätzung vorzunehmen.

Bereiche klassifiziert Windgeschwindigkeiten [m/s]	Bereiche		Anzahl Stunden pro Jahr [h]
	von [m/s]	bis [m/s]	
3	3	4	420
4	4	5	325
5	5	6	312
6	6	7	152
7	7	8	152
8	8	9	21
9	9	10	37
10	10	11	9
11	11	12	14
12	12	13	9
13	13	14	4

Der Generatorhersteller liefert für das kleine Windenergiekraftwerk mit 3m Propellerdurchmesser folgende technische Leistungsangaben:

Windgeschwindigkeiten [m/s]	Generatorleistung [kW]
3-4	0,07
4-5	0,13
5-6	0,22
6-7	0,37
7-8	0,56
8-9	0,79
9-10	1,11
10-11	1,65
11-12	1,98
12-13	2,01
13-14	2,02

Lösung:

Bereiche klassifiziert Windgeschwindigkeiten [m/s]	Bereiche		Anzahl Std. pro Jahr [h]	Generatorleistung [kW]	Energie produziert [kWh]
	von [m/s]	bis [m/s]			
3	3	4	420	0,07	29,40
4	4	5	325	0,13	42,25
5	5	6	312	0,22	68,64
6	6	7	152	0,37	56,24
7	7	8	152	0,56	85,12
8	8	9	21	0,79	16,59
9	9	10	37	1,11	41,07
10	10	11	9	1,65	14,85
11	11	12	14	1,98	27,72
12	12	13	9	2,01	18,09
13	13	14	4	2,02	8,08

Potenzial: Jährlich produzierte Energie [kWh]	408,05
--	---------------

Kommentar:

Die Berechnung zeigt, dass die vorliegende Anlage am gegebenen Standort typischerweise 400 kWh Energie pro Jahr in Form von Elektrizität gewinnen kann.

Lernauftrag 3 Auslegung und Dimensionierung eines Kleinwasserkraftwerkes

Diese Dokumentation ist eine einfache Anleitung für die Auswahl und den Kauf von Generatoren für Kleinwasserkraftwerke (1 bis 100 kW).

Hydraulische Bruttoleistung

Die Leistung des Generators ergibt sich aus der Turbinenleistung. Die verfügbare elektrische Leistung bei den Verbrauchern ist wegen den Umwandlungs- und Übertragungsverlusten kleiner als die hydraulische Bruttoleistung.

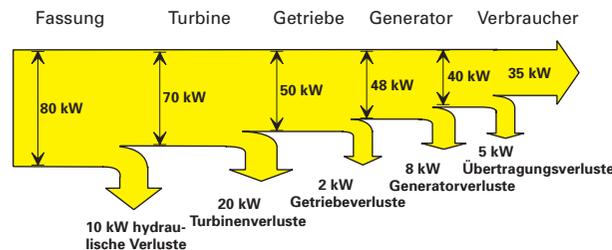
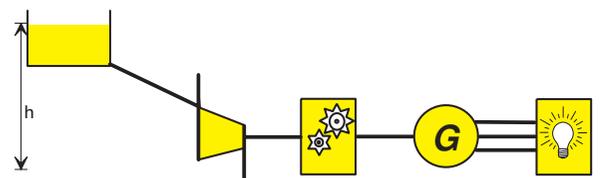


Abb. 23 Leistungsfluss von der hydraulischen Bruttoleistung zum Verbraucher

Die hydraulische Bruttoleistung eines Wasserkraftwerkes errechnet sich aus:

$$\text{Leistung [W]} = \text{Höhe [m]} \cdot \text{Wassermenge [kg/s]} \cdot g [9.81 \text{ m/s}^2]$$

Beispiel:
Eine Druckhöhe von 80 m und eine Wassermenge von 20 kg/s (l/s) ergibt eine Bruttoleistung von 15.7 kW.

Nennleistung und Verluste

Um im Inselbetrieb eine konstante Spannung des Generators zu erhalten, muss die Drehzahl durch eine Wassermengenregelung (Ventil) konstant gehalten werden. Eine unterschiedliche Wassermenge entspricht bei fester Drehzahl einer variablen Leistung der Turbine. Die **Nennleistung** des Kleinwasserkraftwerkes wird anhand der Jahreskurve (Summenhäufigkeit der Wassermenge) bestimmt.

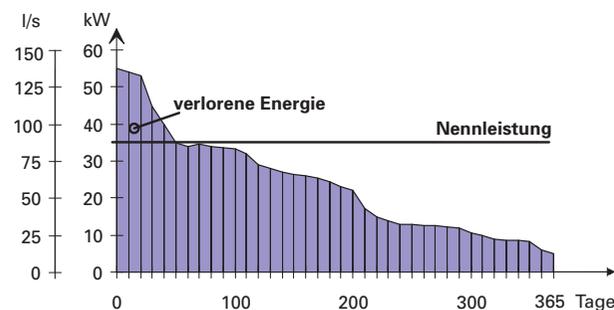


Abb. 24 Bestimmung der optimalen Nennleistung anhand der Jahreskurve

Die **hydraulischen Leistungsverluste** nehmen mit der Leitungslänge, der Fließgeschwindigkeit und der Rohrrauigkeit zu. Sie betragen 2 bis 20 % der hydraulischen Bruttoleistung.

Die **Turbinenverluste** hängen von der Turbinenart, der Turbinenqualität, der Turbinengröße und der Turbinenauslastung (Leistung zu Nennleistung) ab. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über durchschnittliche Wirkungsgrade:

Turbinenart	für 10 kW	für 50 kW	für 100 kW
Pelton	70 %	85 %	90 %
Crossflow	50 %	60 %	70 %
Francis	70 %	80 %	90 %
Propeller/Kaplan	60 %	70 %	85 %
Reversed Pumps	40 %	60 %	75 %

Abb. 25 Nennwirkungsgrade von Turbinen

Die **Getriebeverluste** (Anpassung der Turbinendrehzahl an die Generator-drehzahl) sind im Allgemeinen gering. Für eine Riemenübersetzung oder ein Zahnradgetriebe (Übersetzung 1 bis 4) kann mit einem Wirkungsgrad von 95 % gerechnet werden. Jedoch liegt bei einem Schneckengetriebe der Wirkungsgrad bei 60 %.

Die Generator-Nennleistung sollte auf die **Abgabeleistung der Turbine** abgestimmt sein. Wenn eine 30 kW-Turbine durch die hydraulischen Verhältnisse maximal 20 kW abgeben kann, so ist ein 20 kW

Generator zu wählen. Eine geschickte Auswahl des Generators ist aus verschiedenen Gründen wichtig: Die Leistung bestimmt die Grösse und somit den Preis des Generators. Ein Generator mit einer zu grossen Nennleistung (zum Beispiel 55 kW statt 40 kW) hat meistens einen schlechteren Wirkungsgrad als der gerade richtig dimensionierte, weil die fixen Verluste (Erregung und Kühlung) bei einer Unterbelastung stärker ins Gewicht fallen. Ein zu kleiner Generator wird zu heiss, und die Isolation seiner Wicklungen wird zerstört. Eine zeitweilige Überlastung von 10 % übersteht der Generator unbeschadet.

Für ein Kleinwasserkraftwerk berechnet sich die **Generatorabgabeleistung** anhand folgender Formel:

$$\frac{\text{elektrische Leistung [kW]} = \text{Turbinenleistung [kW]} \cdot \text{Übersetzung eff [\%]} \cdot \text{Generator eff [\%]}}{10'000}$$

Beispiel:

Für eine Turbine mit 48 kW Leistung, einer Riemenübersetzung von 1 zu 2.4 (Wirkungsgrad 95%) und einem Generatorwirkungsgrad von 90% ergibt sich eine elektrische Generatorleistung von 41 kW. Es kann ein Generator mit 40 kW Nennleistung gewählt werden.

Beim Synchrongenerator wird als Abgabeleistung die Scheinleistung angegeben. Die Scheinleistung (kVA) setzt sich aus der Wirkleistung (kW) und der Blindleistung (kVar) zusammen, welche geometrisch

zusammengezählt werden. Bei Synchrongeneratoren in der Leistungsklasse 1 bis 100 kW ist der Leistungsfaktor $\cos(\phi)$ etwa 0.8. Das heisst, die Wirkleistung beträgt 80 % und die Blindleistung 60 % der Scheinleistung.

Bei der Verwendung eines Motors als Generator kann die angegebene Nennleistung des Motors als die elektrische Abgabeleistung angenommen werden. Die entsprechende Antriebsleistung (Turbinenleistung) ist um die Verluste höher (bei einem 3 kW Motor etwa 4 kW, bei 10 kW etwa 11 kW und bei 100 kW etwa 105 kW).

Die **Generatorverluste** entsprechen bei Leistungen ab 30 kW einem Wirkungsgrad bei Nennleistung von etwa 90 %. Grössere Generatoren haben Wirkungsgrade von über 95 %. Im Teillastbereich (bis 25 % Nennleistung) fällt der Wirkungsgrad auf etwa 70 % zusammen.

Kleine Asynchronmotoren (unter 5 kW) als Generatoren haben einen schlechten Wirkungsgrad (unter 60 %) und sind schwierig zu regeln. Bei dieser Leistungsklasse ist zu überlegen, ob für den Inselbetrieb nicht ein mit Permanentmagneten erregter Synchrongenerator eingesetzt werden soll. Es könnten versuchsweise auch unterschiedliche Asynchronmotoren an der Anlage ausprobiert werden.

Die **elektrischen Leitungsverluste (Übertragungsverluste)** sind von der Leiterlänge und dem Leiterquerschnitt abhängig. Sie betragen im Durchschnitt etwa

10 % der übertragenen Leistung. Wenn die Verbraucher weit (einige Kilometer) vom Kraftwerk entfernt sind, besteht die Möglichkeit, die Energie mit einer höheren Spannung (zum Beispiel 1000 V) zu übertragen. Dafür wird am besten ein Generator ausgewählt, welcher direkt diese Spannung erzeugt. Die Netz-Spannung bei den Verbrauchern wird mit einem Transformator (zum Beispiel 1000/400 V) realisiert. Die Transformation ist oft günstiger als die sonst benötigten grösseren Leiterquerschnitte.

Montage

Wenn keine Übersetzung notwendig ist, so kann die Generatorwelle über eine Kupplung direkt an die Achse der Turbine montiert werden. Damit keine übermässige Lagerbeanspruchung erfolgt, ist auf eine sorgfältige Achsfluchtung zu achten und eine flexible Kupplung einzusetzen. Folgende Abbildung zeigt eine mögliche Anordnung:

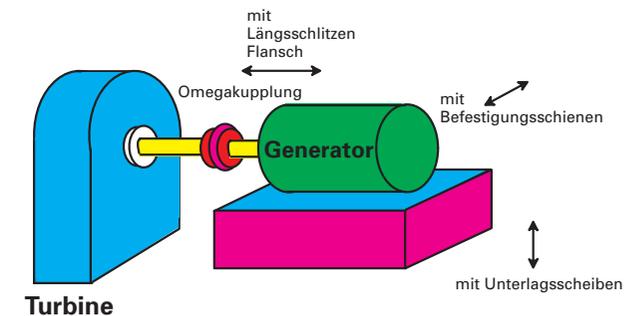


Abb. 26 Beispiel einer Montageanordnung

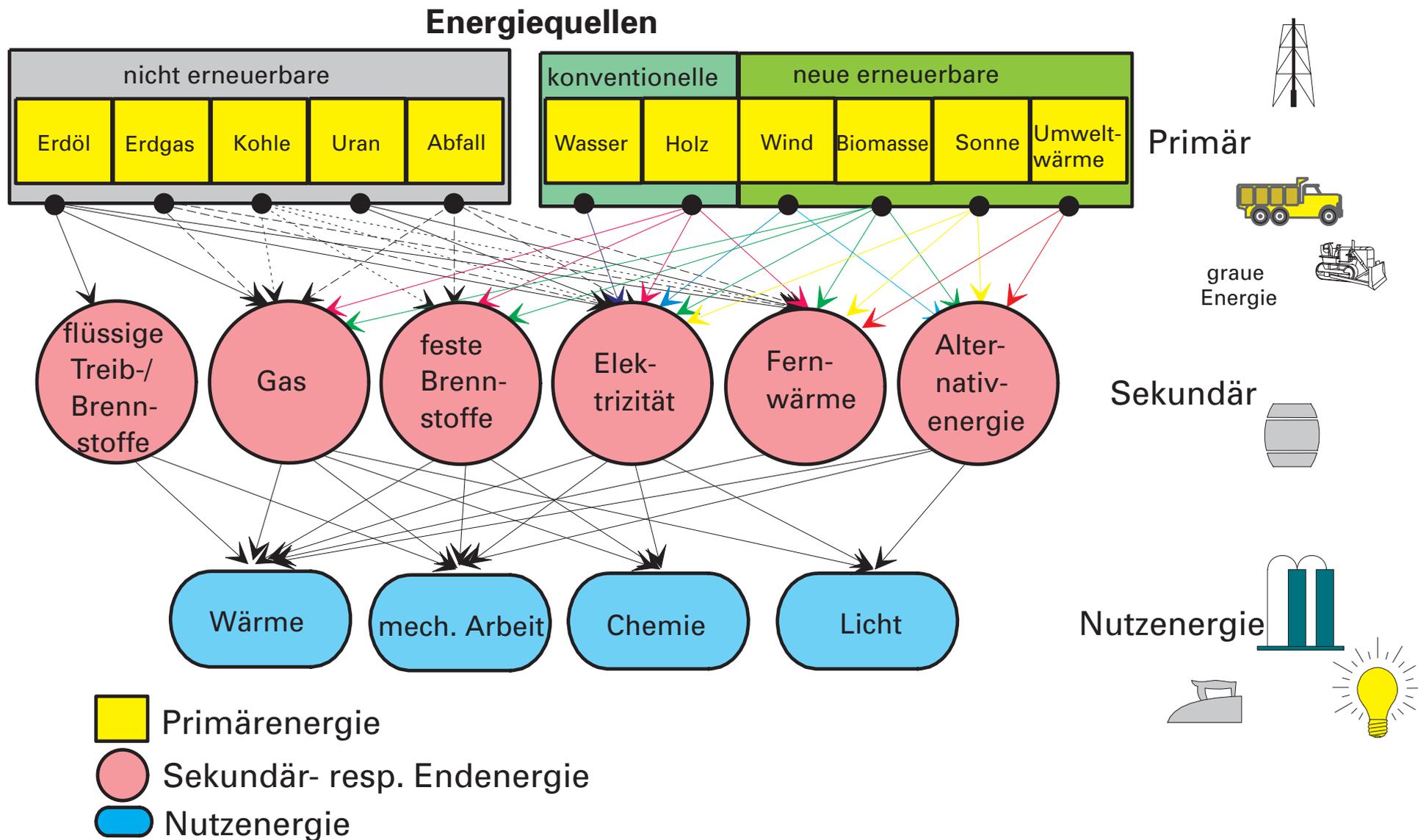
6 Weiterführende Literatur

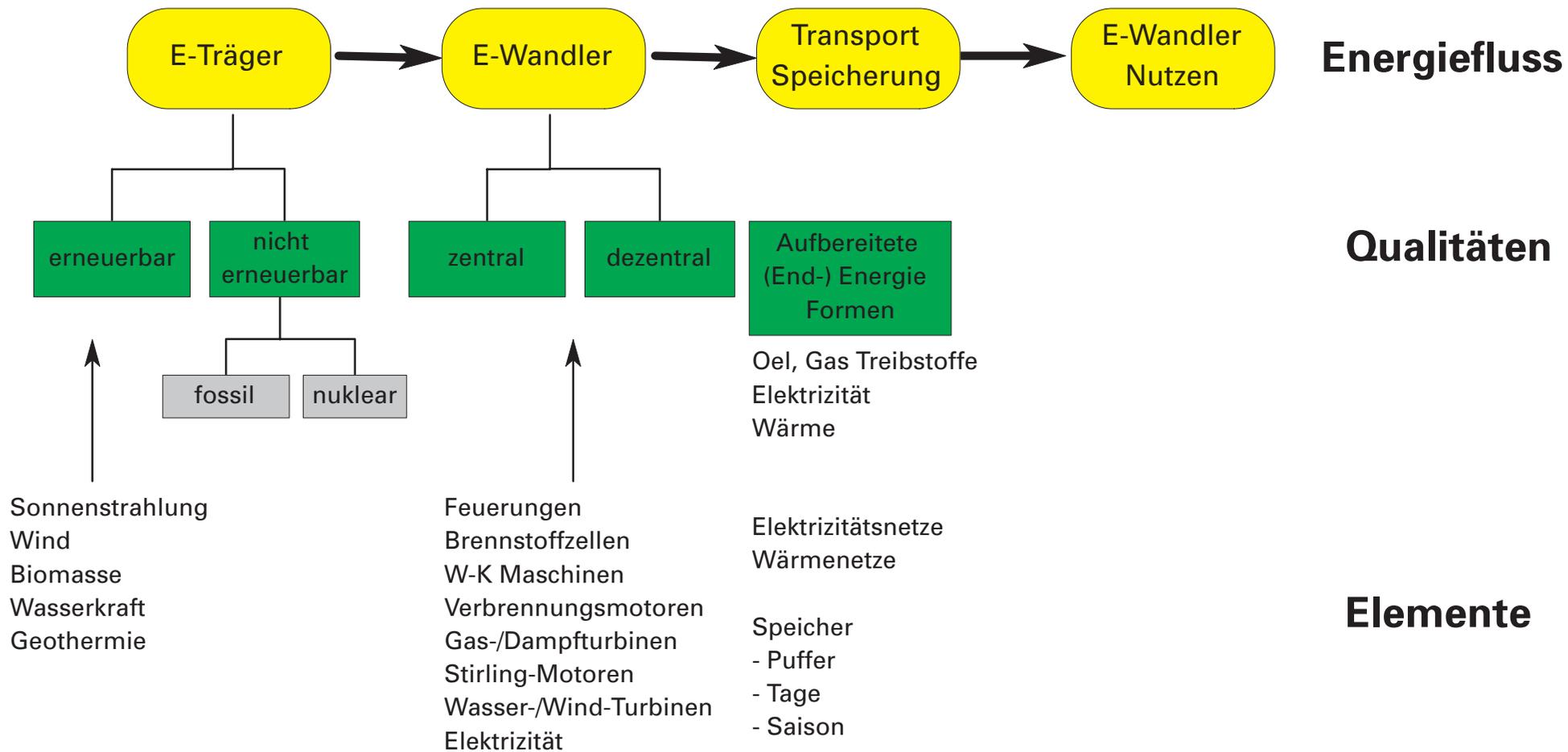
- Additive oder alternative Energiequellen? Basiswissen zum Thema «Unerschöpfliche Energien», Energie-Verlag GmbH, Blumenstrasse 13, D-16900 Heidelberg 1
- Bundesamt für Konjunkturfragen, Walter Ott, Klaus P. Masuhr, Externe Kosten und kalkulatorische Energiepreiszuschläge im Strom- und Wärmebereich, PACER, EDMZ Bern, 1994, Best. Nr. 724.270.7 d
- Bundesamt für Konjunkturfragen, Kleinwasserkraftwerke – Erneuerbare Energien, PACER, EDMZ Bern, 1993, Best. Nr. 724.244 d, ISBN 3-905232-17-0
- Peter Schlegel, Das Energieproblem im Bewusstsein der Menschen, Eigenverlag, Güeterstalstrasse 15, 8133 Esslingen
- Beat Rothweiler, Schweizer Energiefachbuch – Wieviel Energie braucht Energie?, 1997
- Maja Messmer, Walter Gille, Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit, Schülerheft, Sauerländer, 1997, Bezug: Walter Gille, Zürichbergstrasse 46a, 8044 Zürich
- Walter Gille, Maja Messmer, Jürg Nipkow, Bernhard Liechti, Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit, Lehrerband, Sauerländer, 1999, Bezug: Walter Gille, Zürichbergstrasse 46a, 8044 Zürich
- Roland Bamert, Windenergie Schweiz – Entscheidungsgrundlagen, Aspekte, Politik, Eigenverlag, Rumstalstrasse 10, 8404 Winterthur, 1994

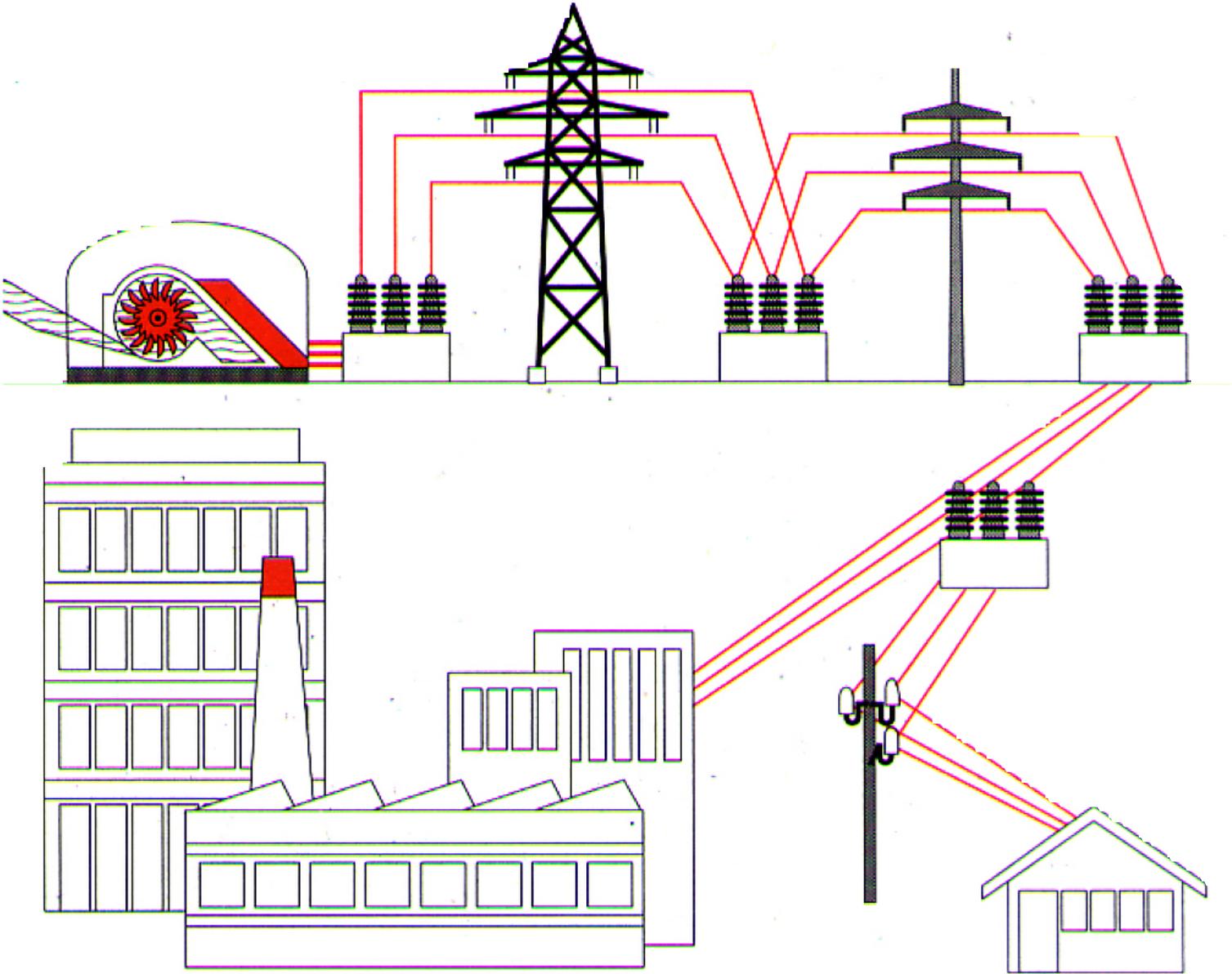
7 Bild- und Textnachweis

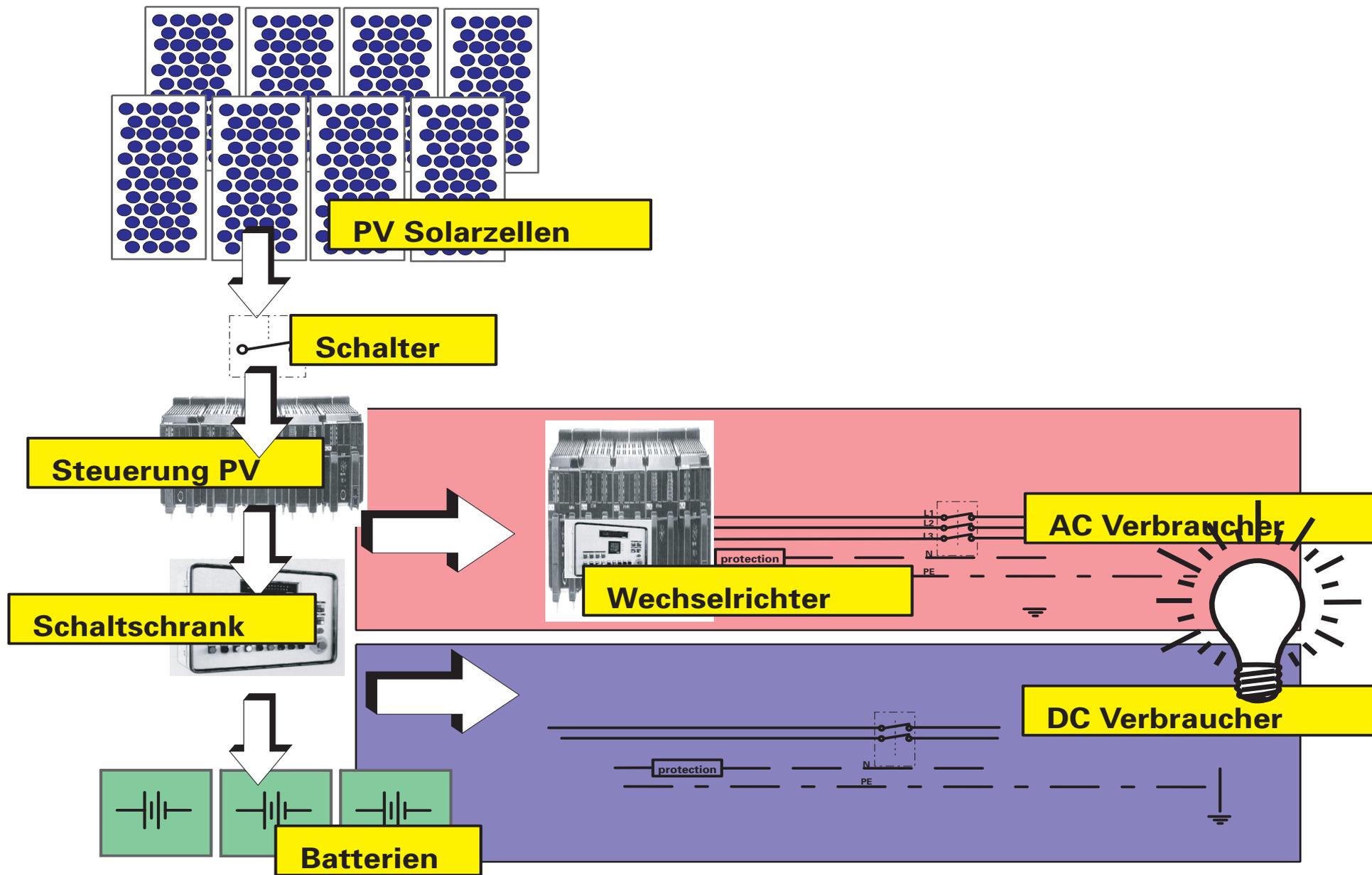
Alle Abbildungen stammen vom Autor und basieren, wie die Texte, teilweise auf den unter «Weiterführende Literatur» zitierten Werken.

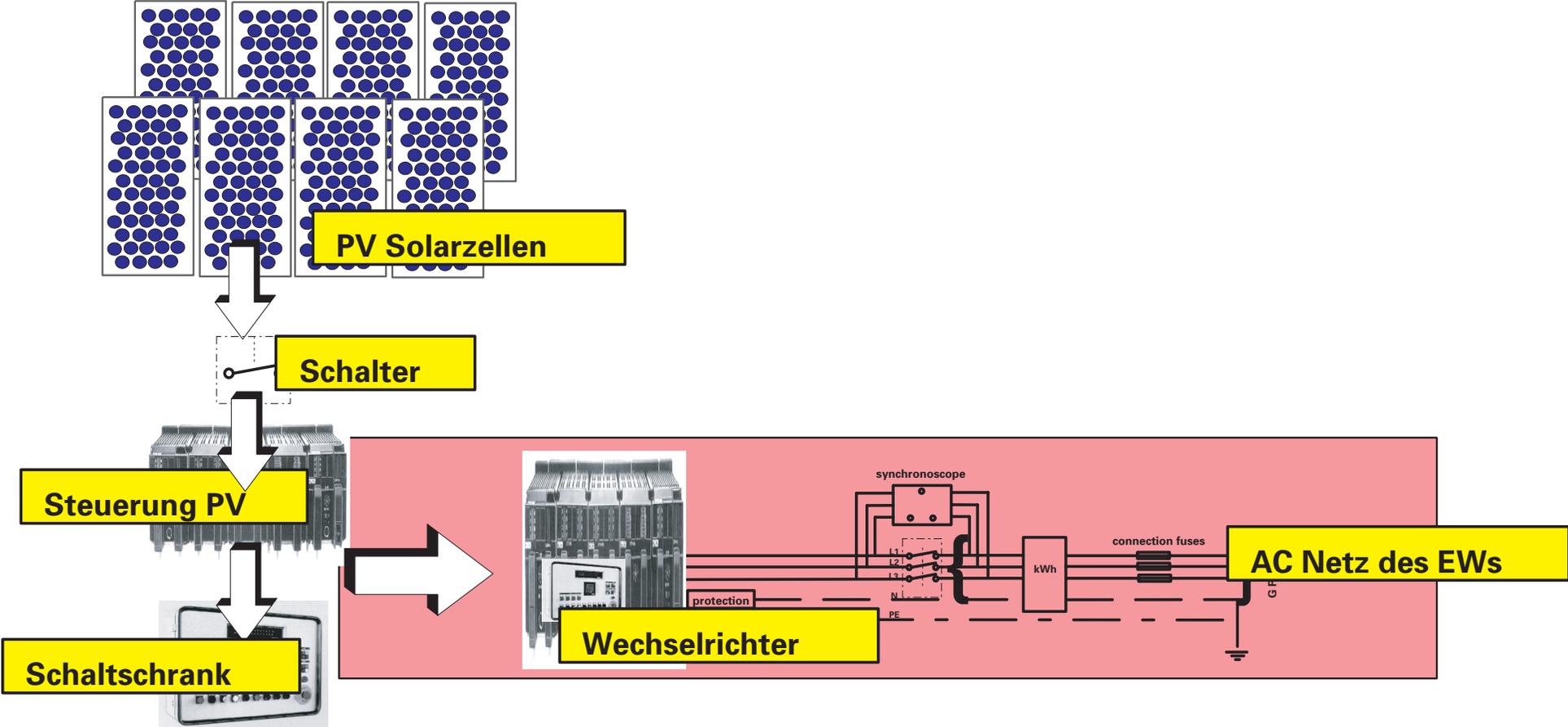
8. Vorlagen

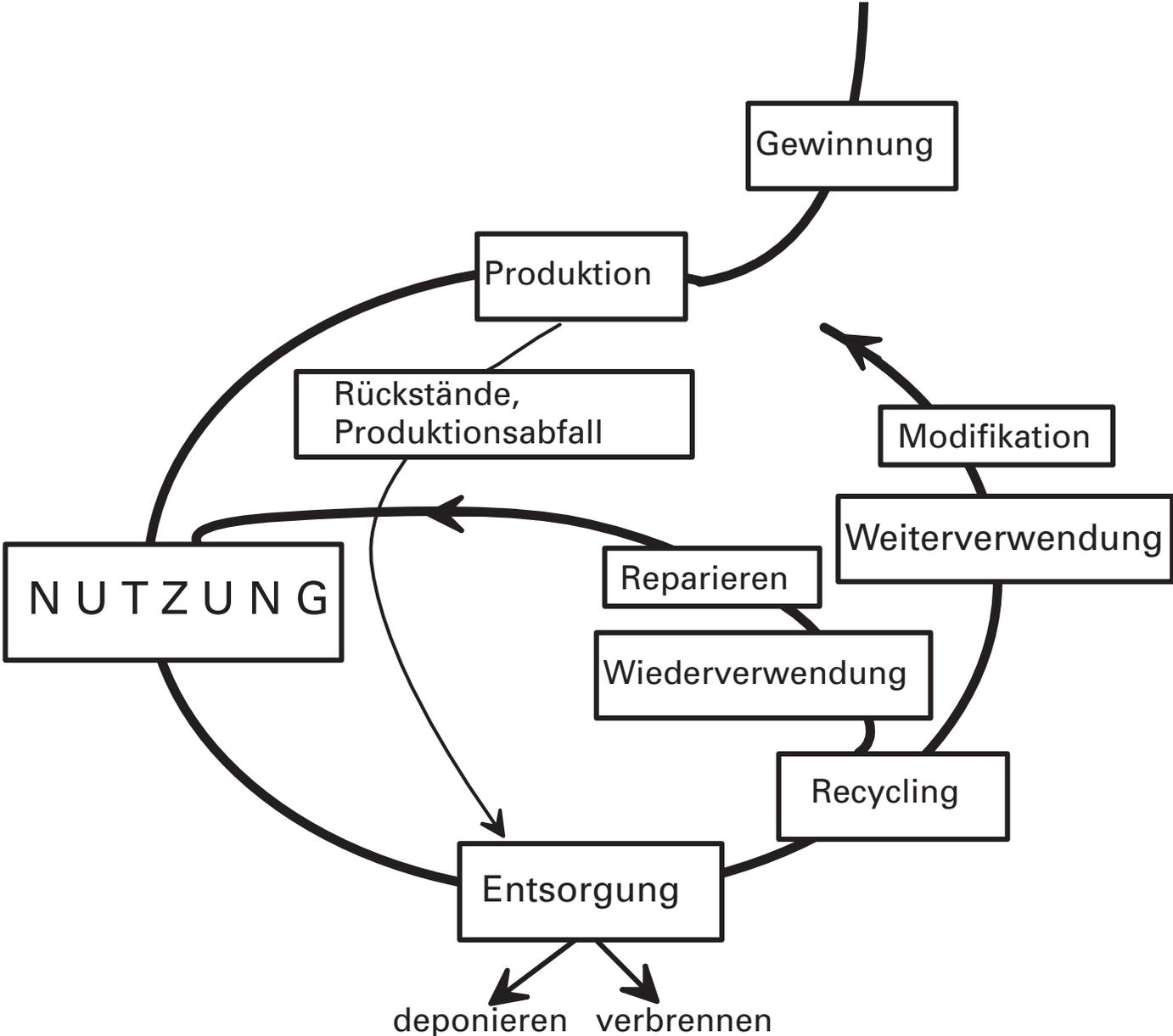


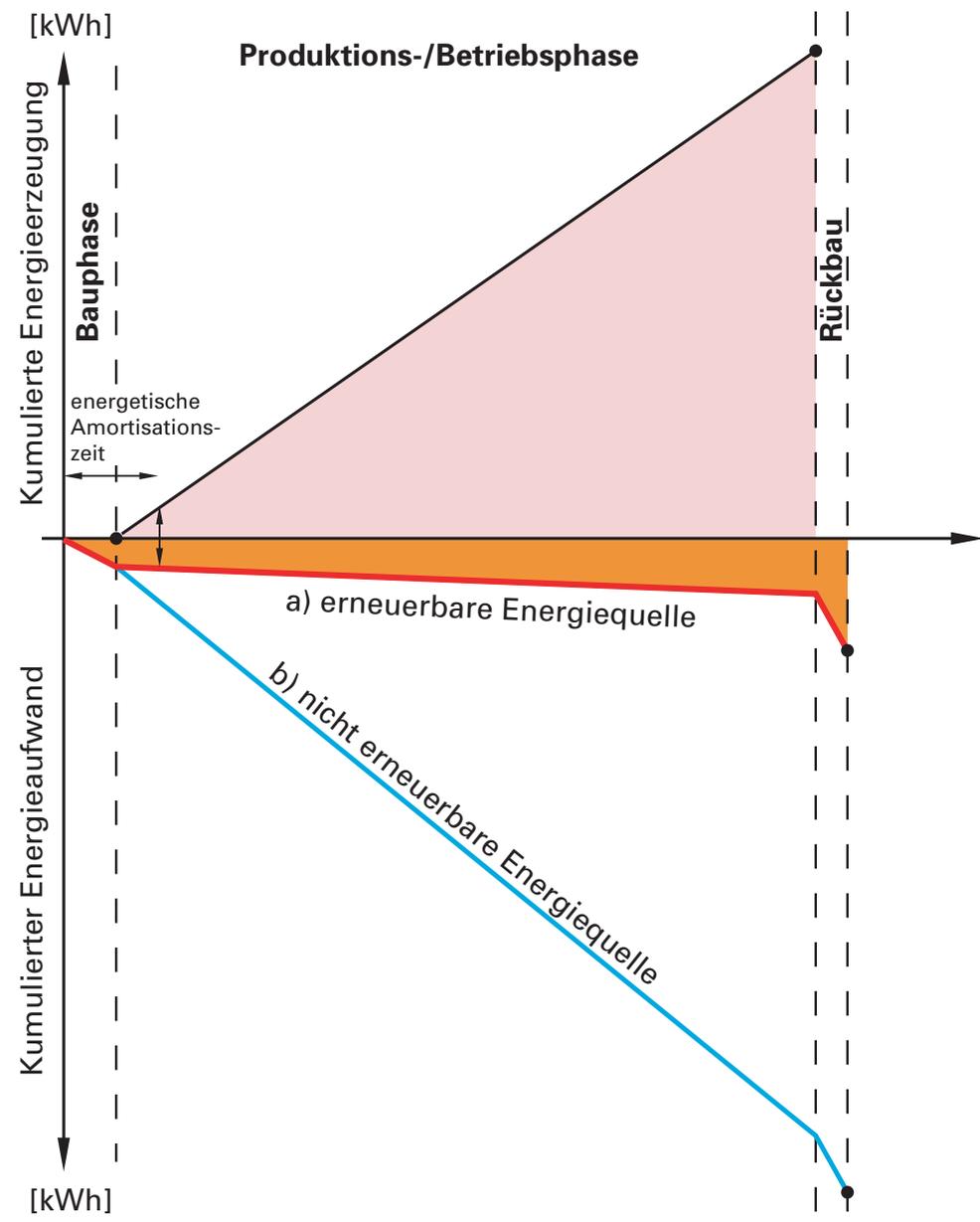




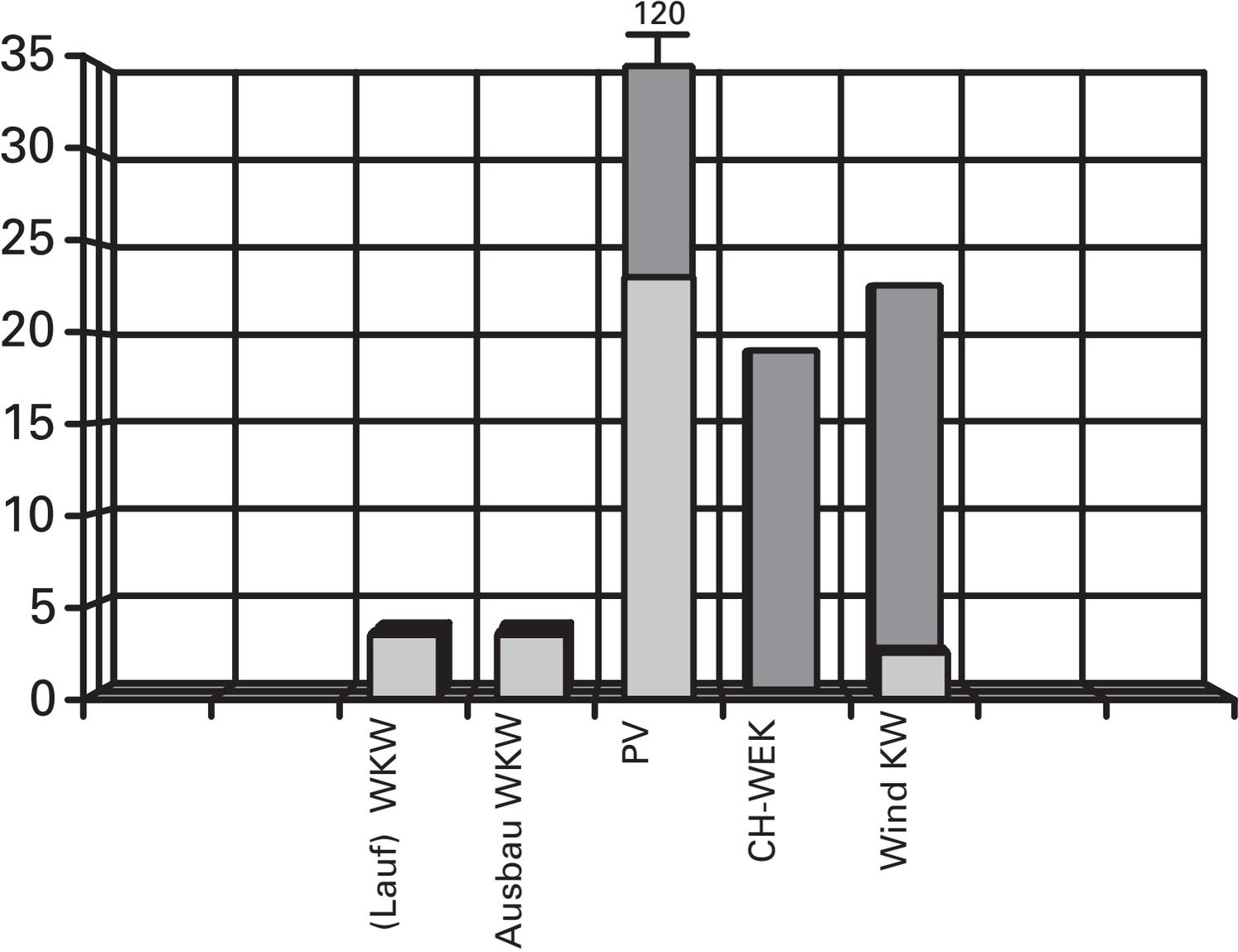








AZ_H [Monate]

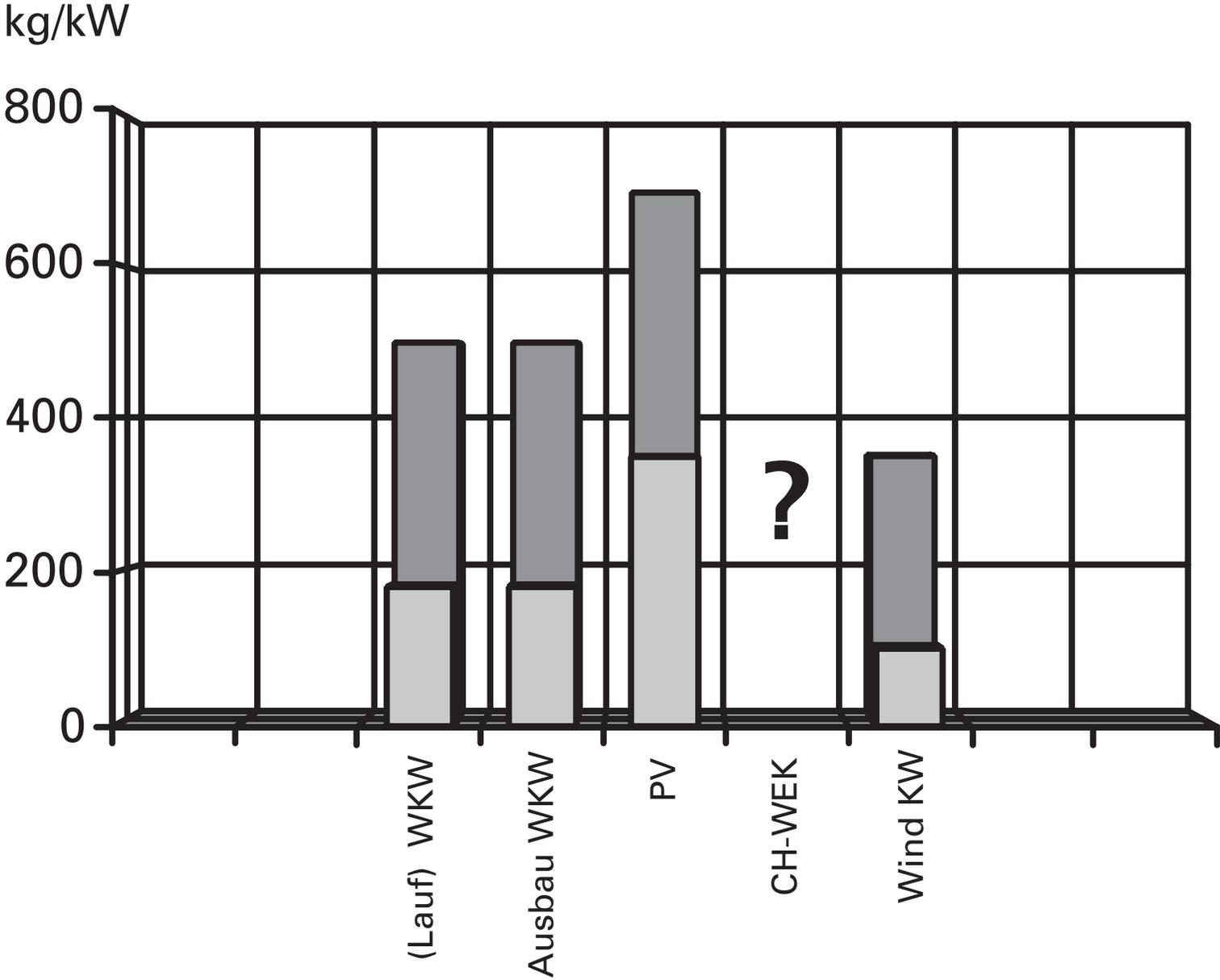


Wärme erzeugt mit

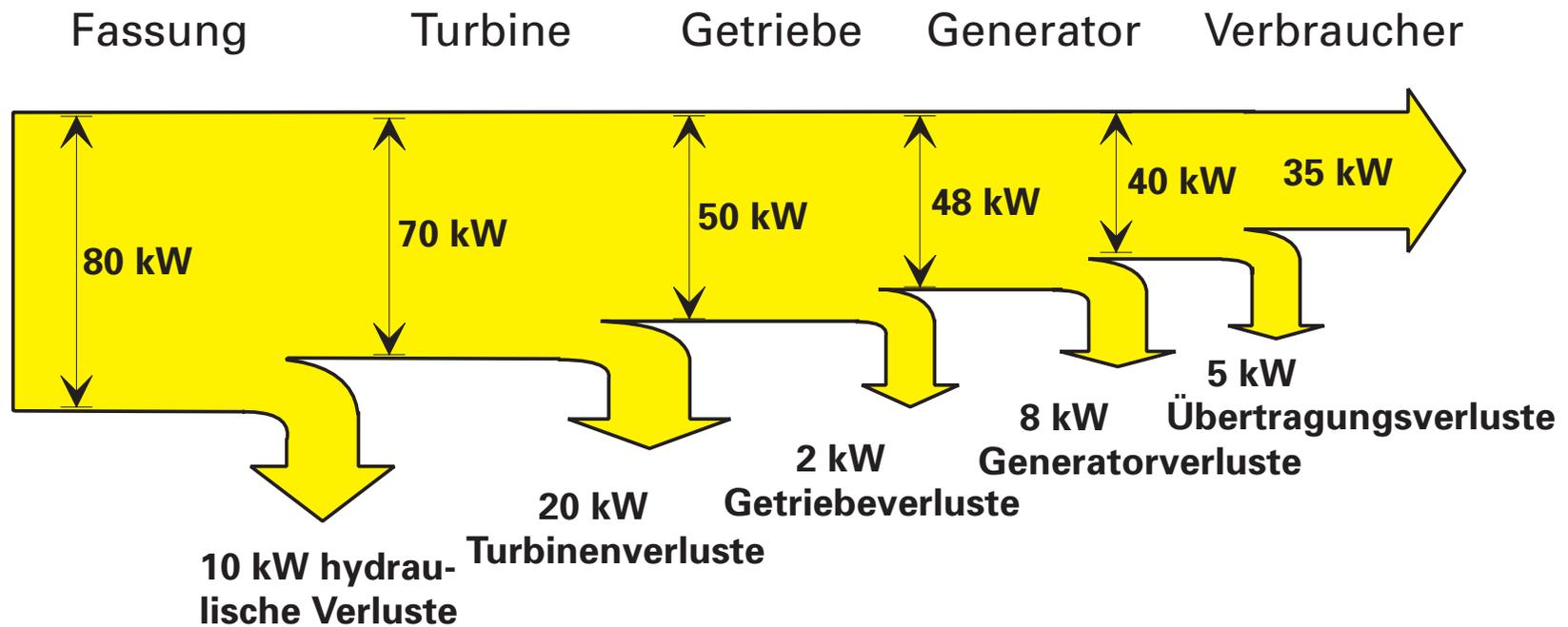
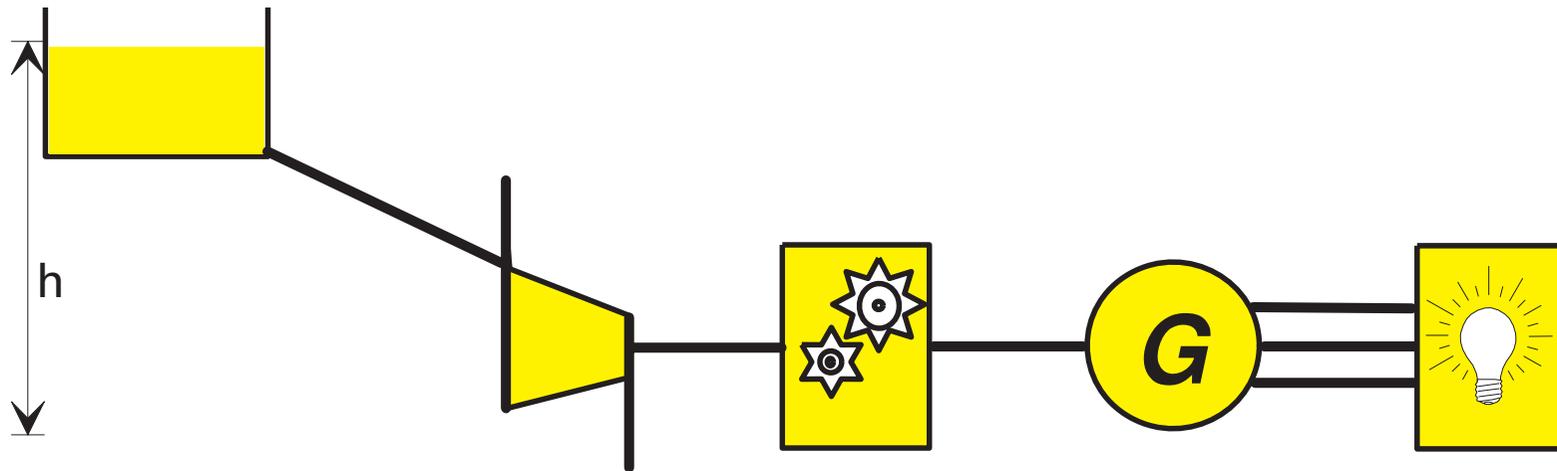
Energieform	Holz	Sonne	Gas	Öl	Kohle
Erntefaktoren	7,1	4,0	0,7	0,7	0,5

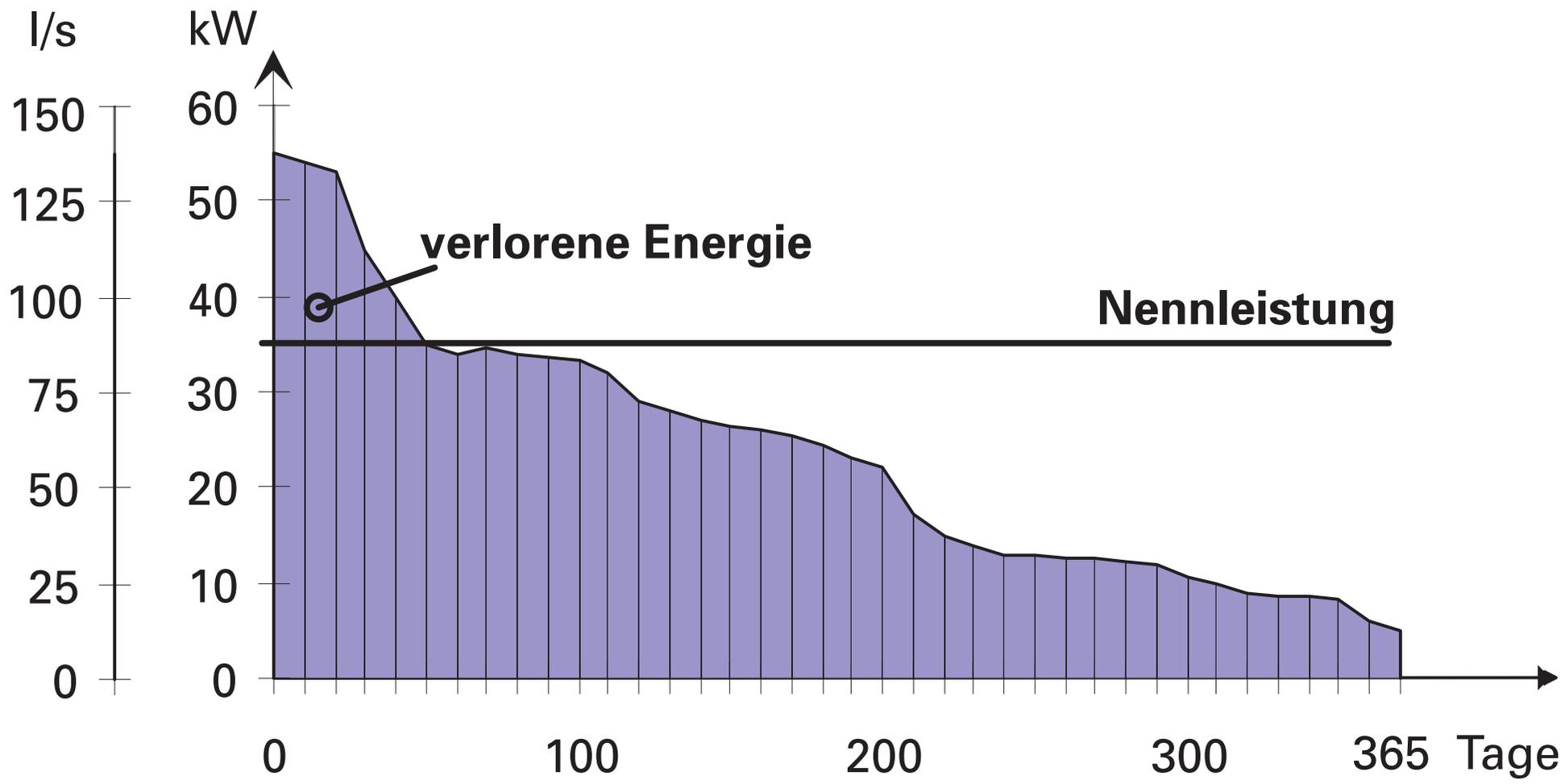
Strom erzeugt mit

Energieform	Sonne (PV)	UCPTE-Mix	CH-Mix
Erntefaktoren	1,6	0,2	0,35



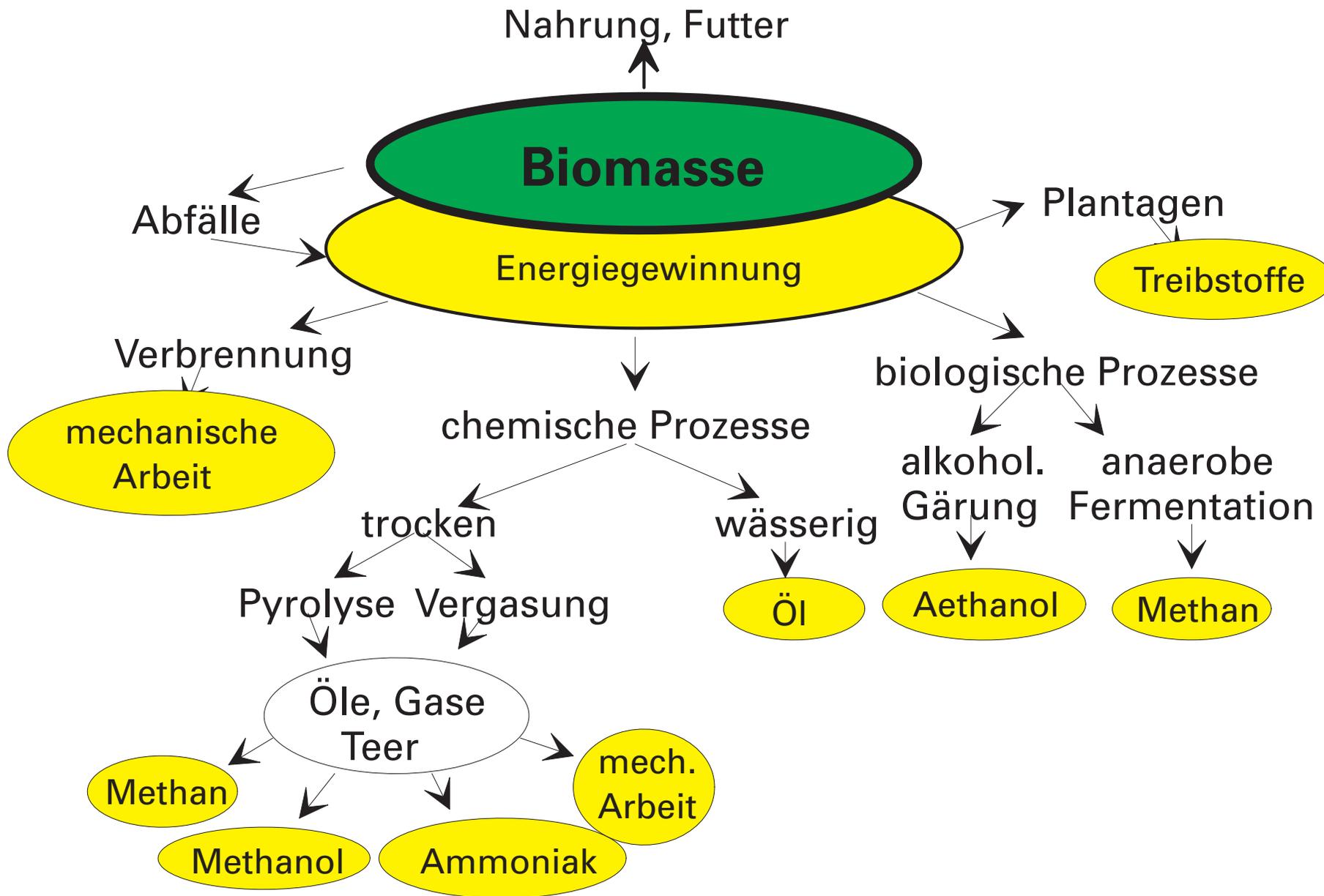




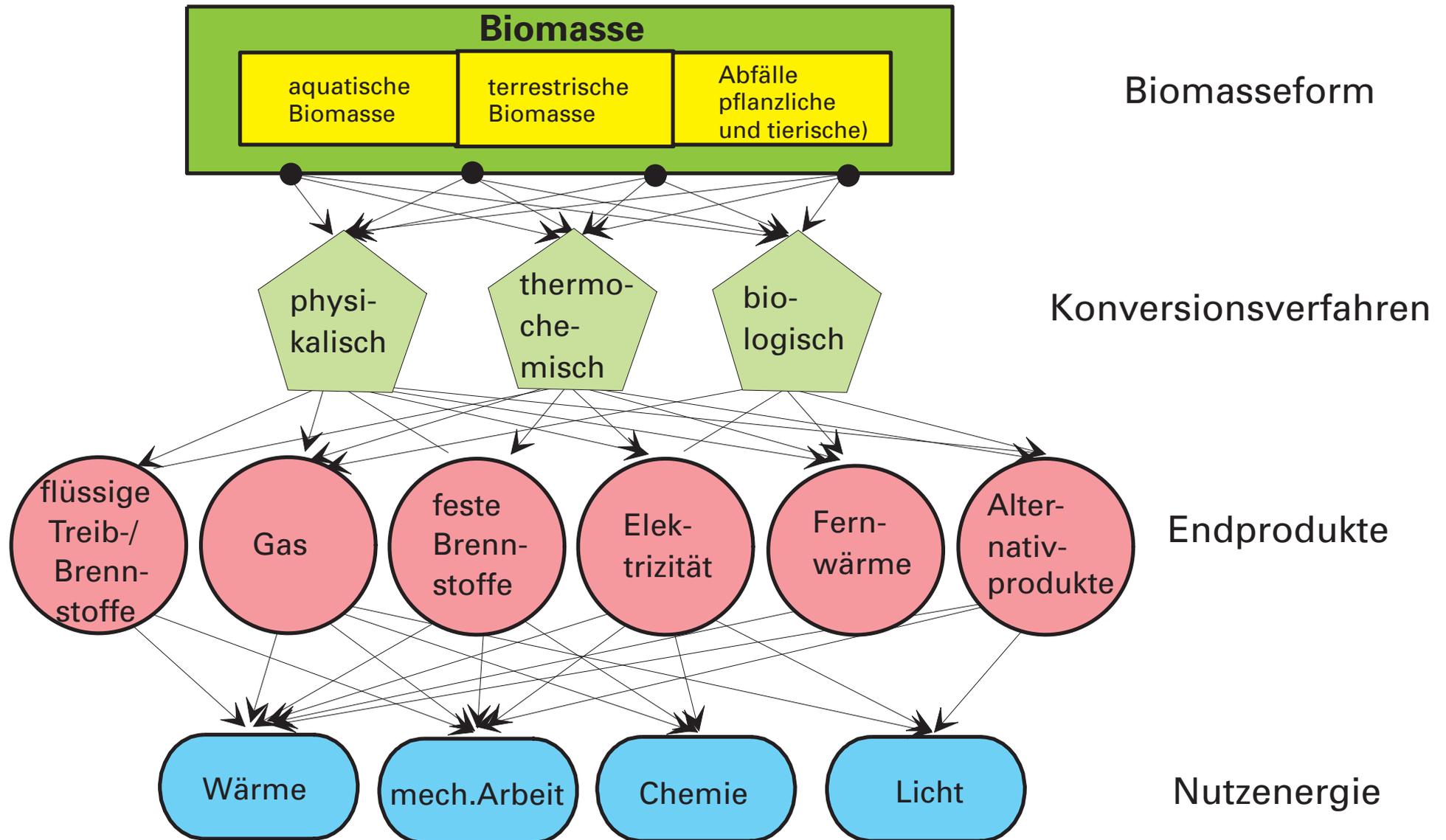


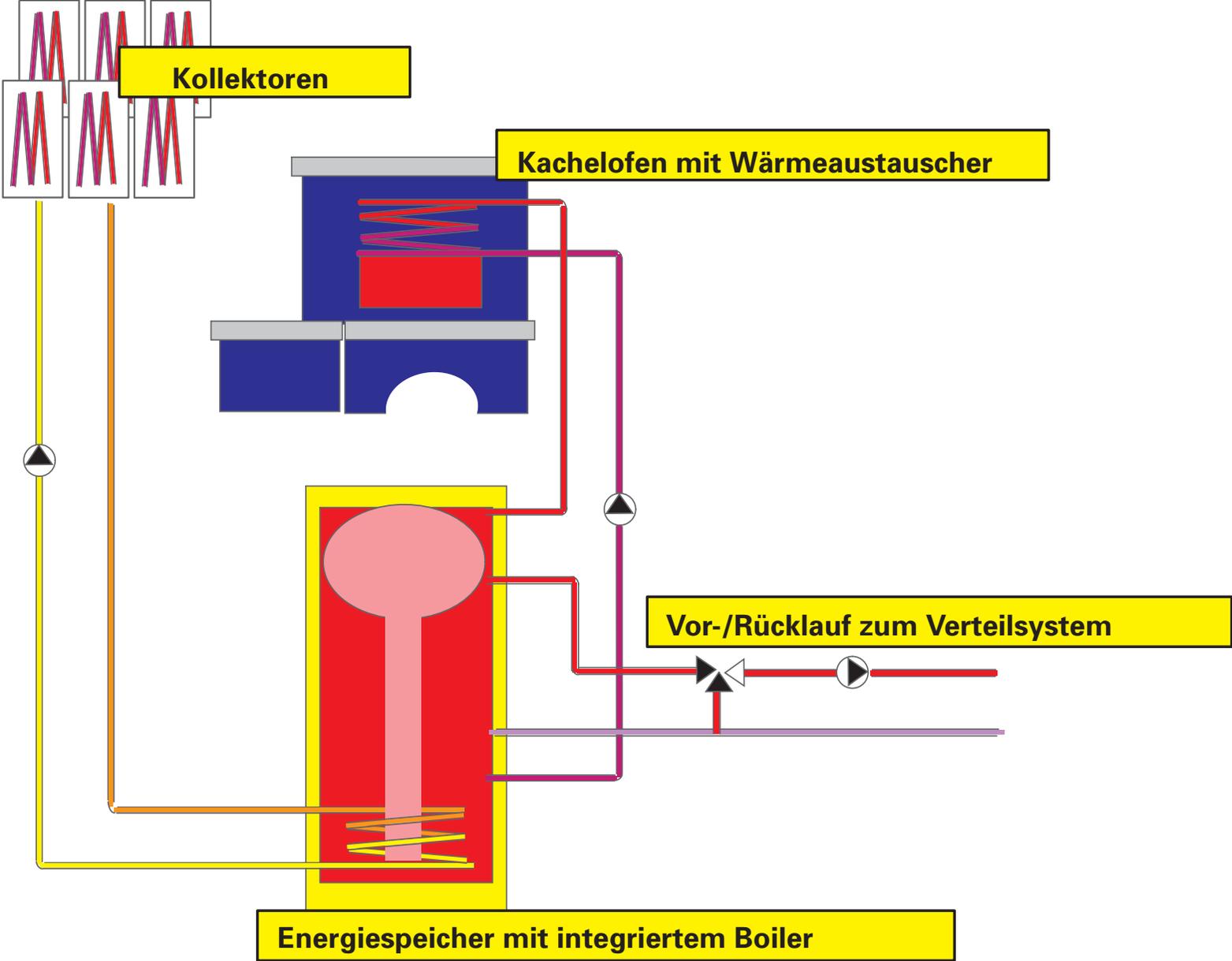




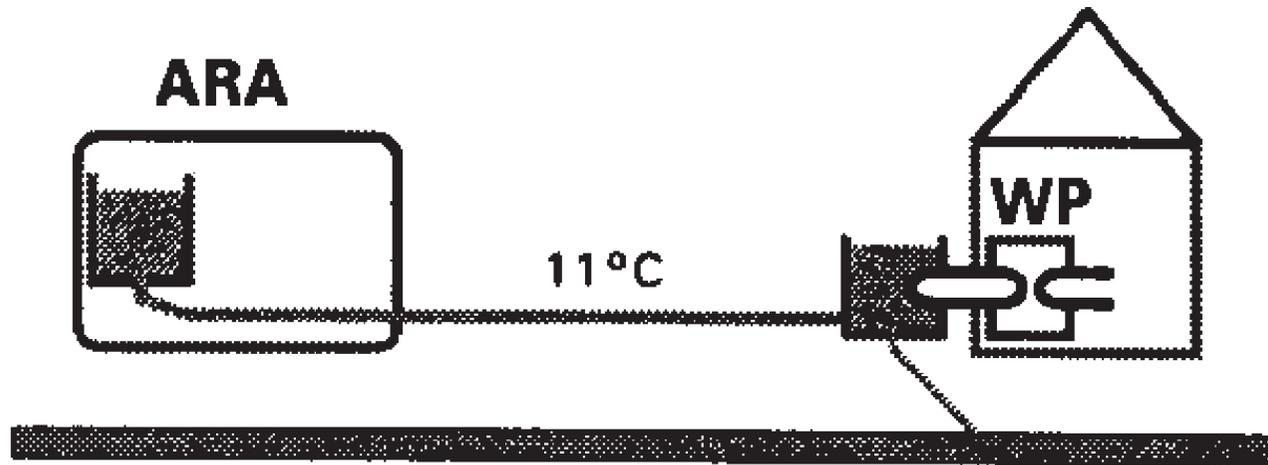


Energiequellen

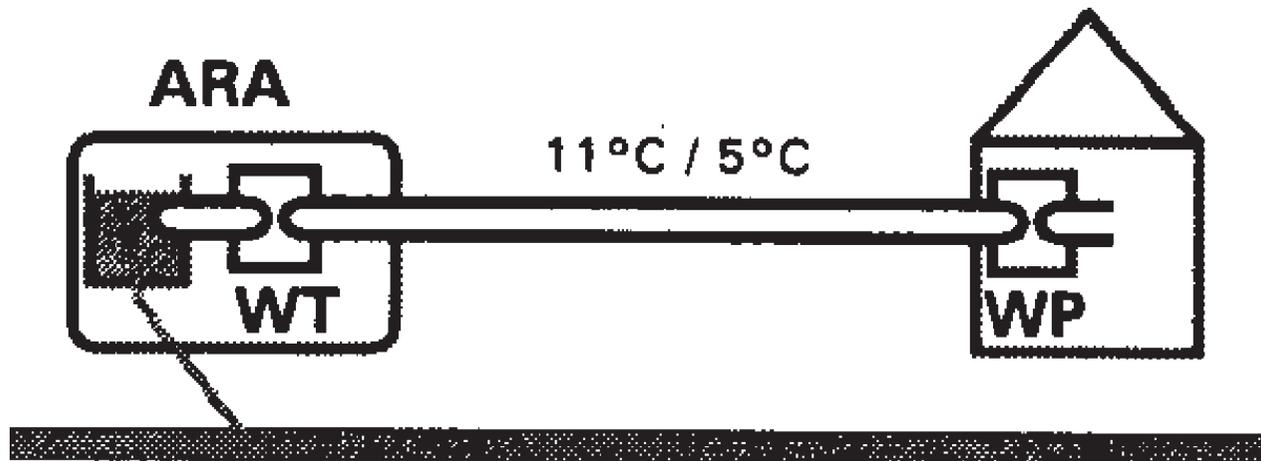


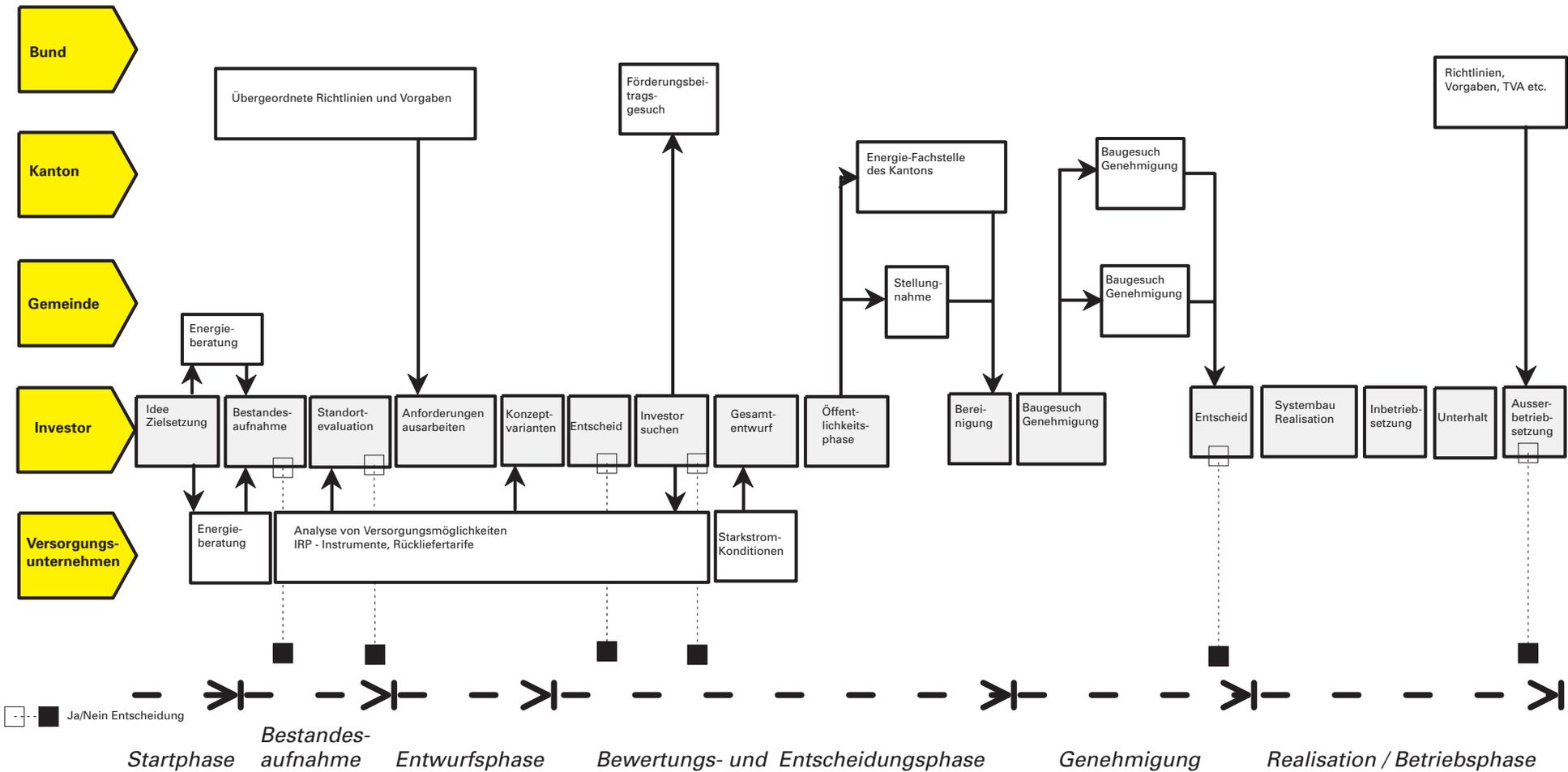


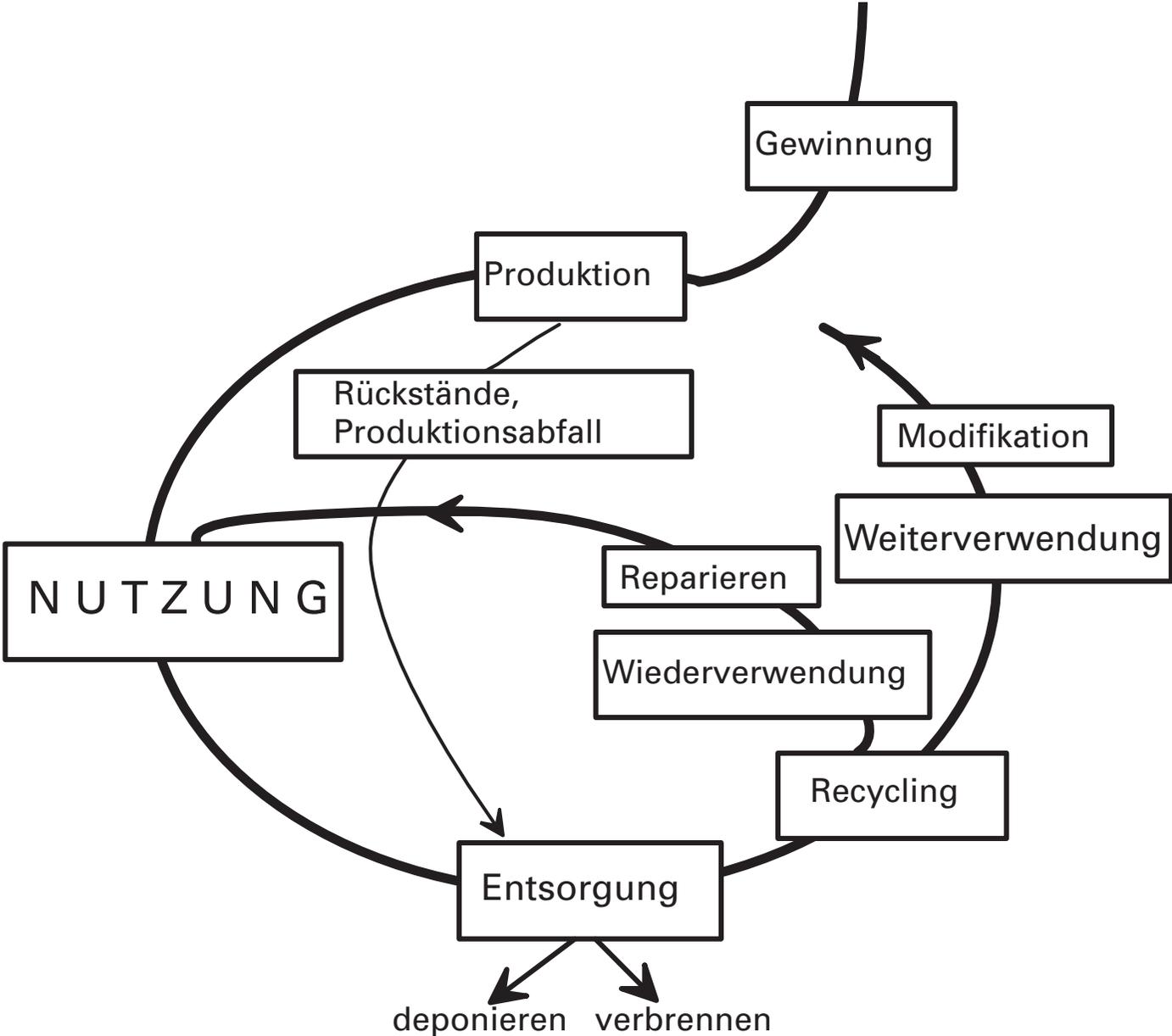
Offener Kreislauf



Geschlossener Kreislauf







Intensität

Vermeidung
Minimierung

Materialintensität
Energie, Rohstoffe

Lebens- dauer

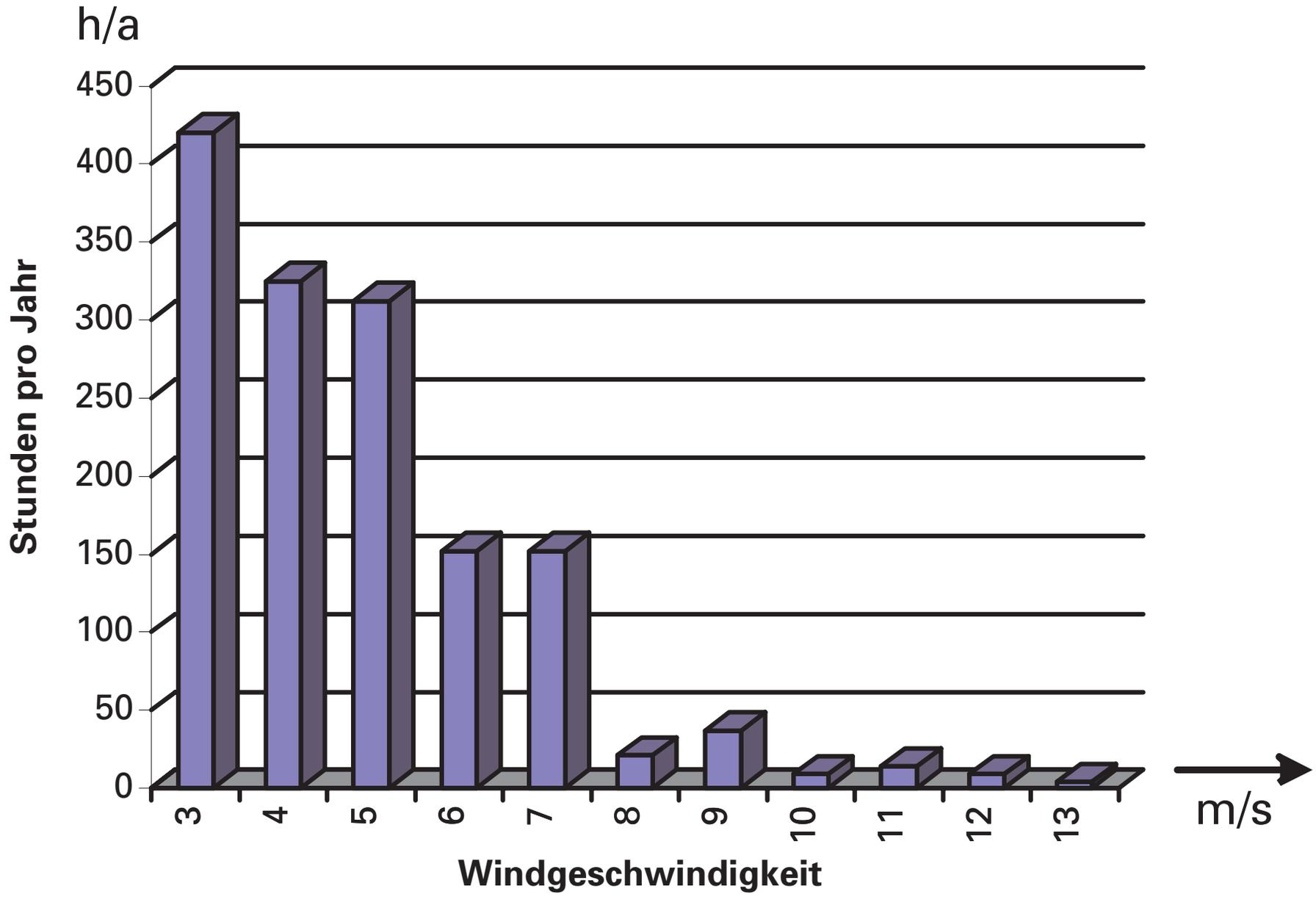
Reparierbarkeit
Modifizierbarkeit
Modularer Aufbau

Verwert- barkeit

Trennung in sortenreine Wertstoffe
Demontage, Sekundärrohstoffmarkt

Produkte- Kreislauf- konzept

Rückflusskonzept
Demontage- und Sammelkonzept
Qualitäts- und Prüfkonzep
Fraktionen-Verteilkonzept an Dritte
Organisationskonzept



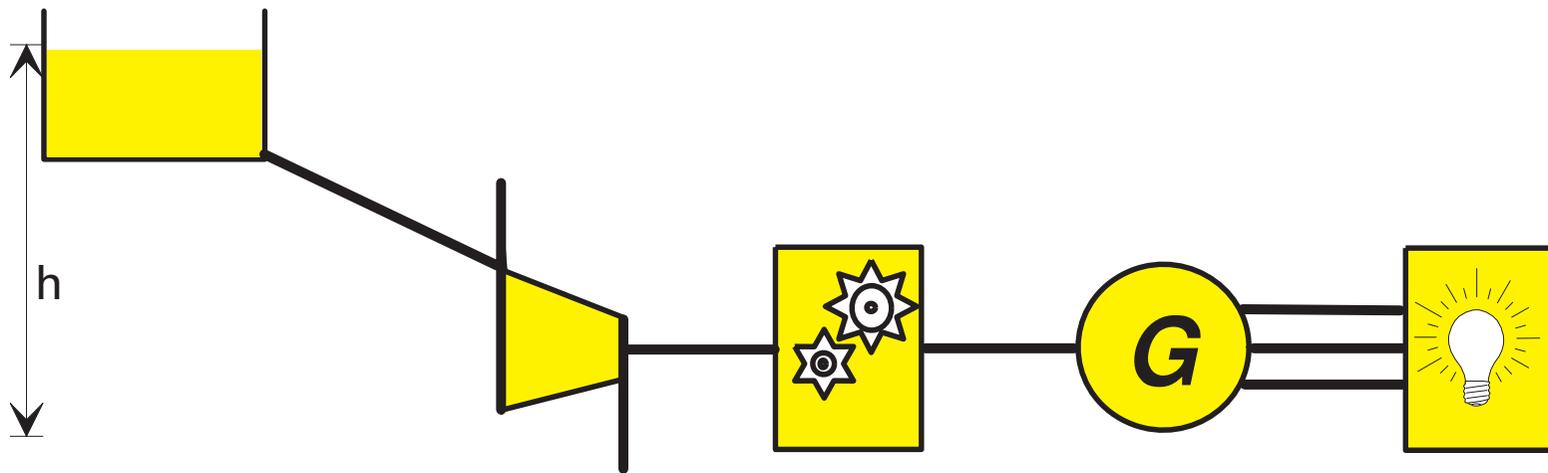
Bereiche klassifiziert Windge- schwindigkeiten [m/s]	Bereiche		Anzahl Stunden pro Jahr [h]
	von [m/s]	bis [m/s]	
3	3	4	420
4	4	5	325
5	5	6	312
6	6	7	152
7	7	8	152
8	8	9	21
9	9	10	37
10	10	11	9
11	11	12	14
12	12	13	9
13	13	14	4

Windschwindigkeiten [m/s]	Generatorleistung [kW]
3–4	0,07
4–5	0,13
5–6	0,22
6–7	0,37
7–8	0,56
8–9	0,79
9–10	1,11
10–11	1,65
11–11	1,98
12–13	2,01
13–14	2,02

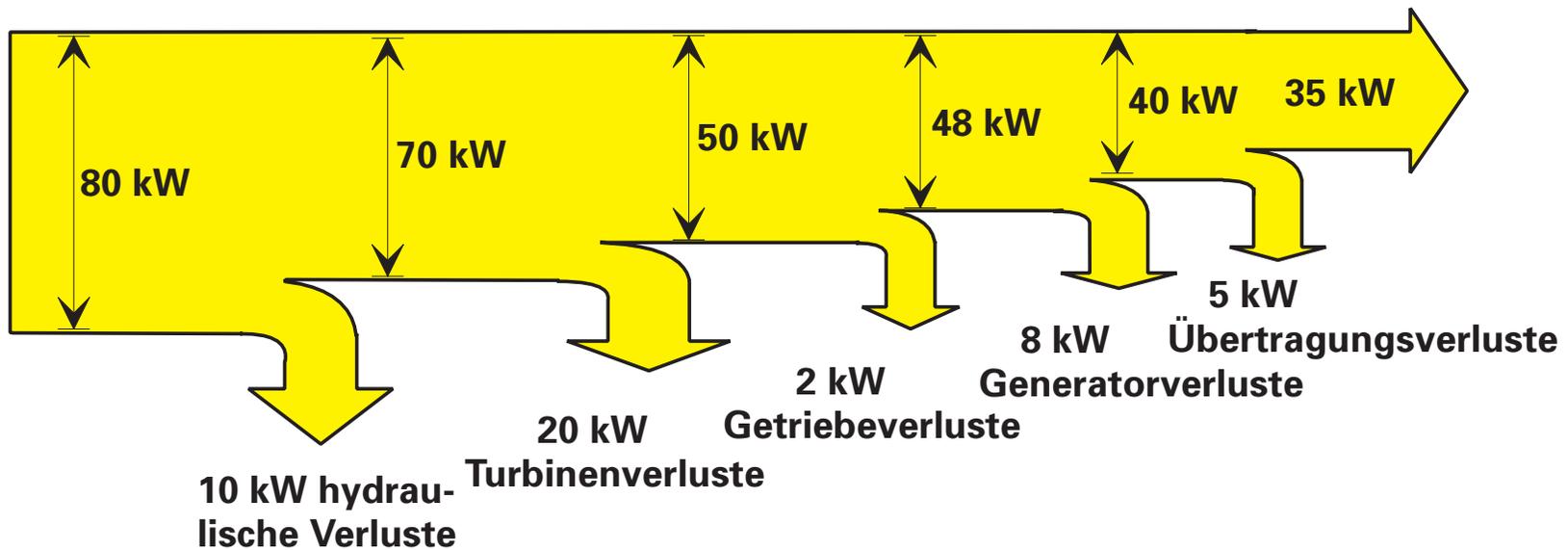
Bereiche klassifiziert Windge- schwindig- keiten [m/s]	Bereiche		Anzahl Std. pro Jahr [h]	Gene- rator Leis- tung [kW]	Energie produziert [kWh]
	von [m/s]	bis [m/s]			
3	3	4	420	0,07	29,40
4	4	5	325	0,13	42,25
5	5	6	312	0,22	68,64
6	6	7	152	0,37	56,24
7	7	8	152	0,56	85,12
8	8	9	21	0,79	16,59
9	9	10	37	1,11	41,07
10	10	11	9	1,65	14,85
11	11	12	14	1,98	27,72
12	12	13	9	2,01	18,09
13	13	14	4	2,02	8,08

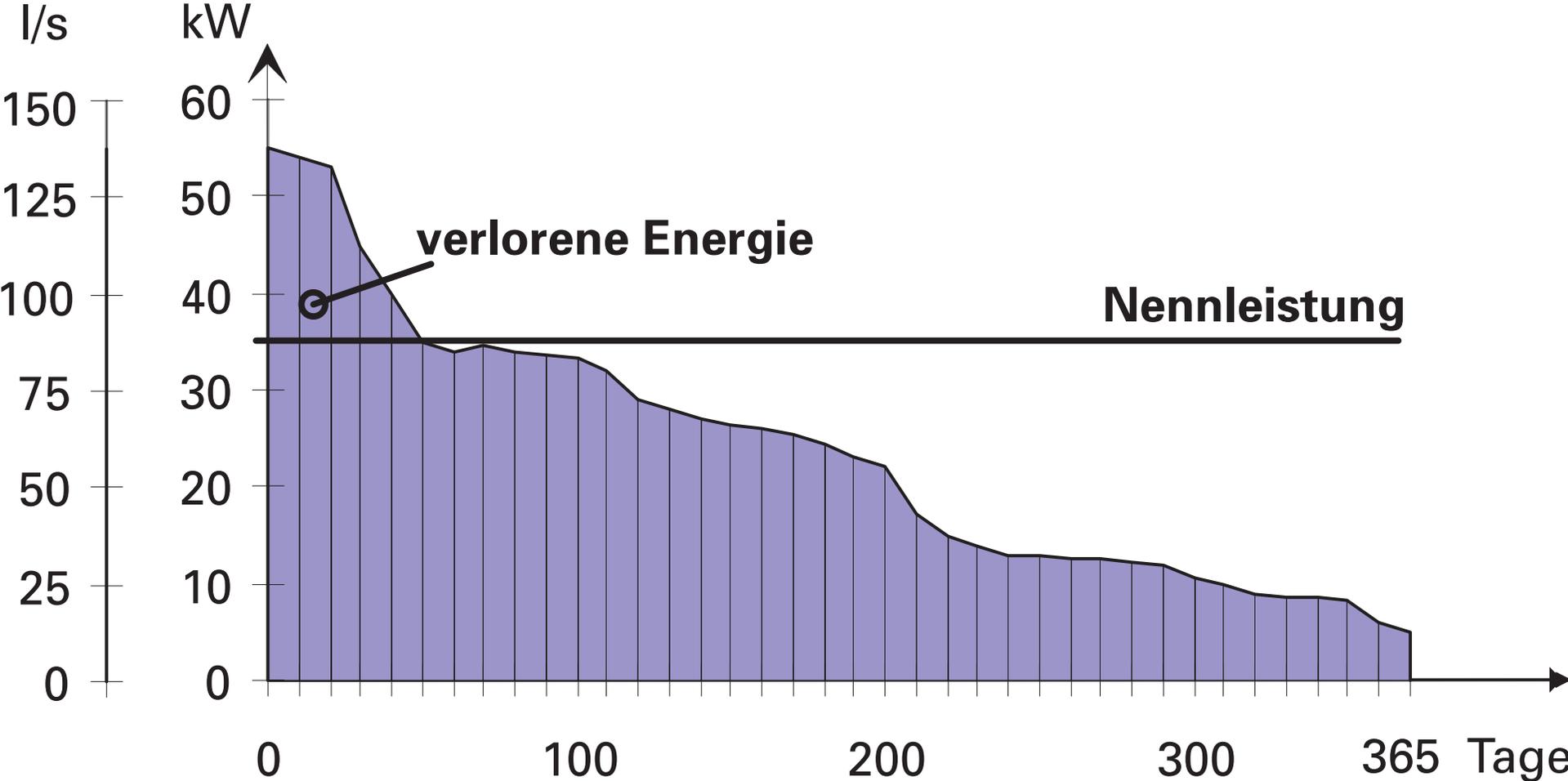
Potenzial:
Jährlich produzierte Energie [kWh]

408,05



Fassung Turbine Getriebe Generator Verbraucher





Turbinenart	für 10 kW	für 50 kW	für 100 kW
Pelton	70 %	85 %	90 %
Crossflow	50 %	60 %	70 %
Francis	70 %	80 %	90 %
Propeller/Kaplan	60 %	70 %	85 %
Reversed Pumps	40 %	60 %	75 %

