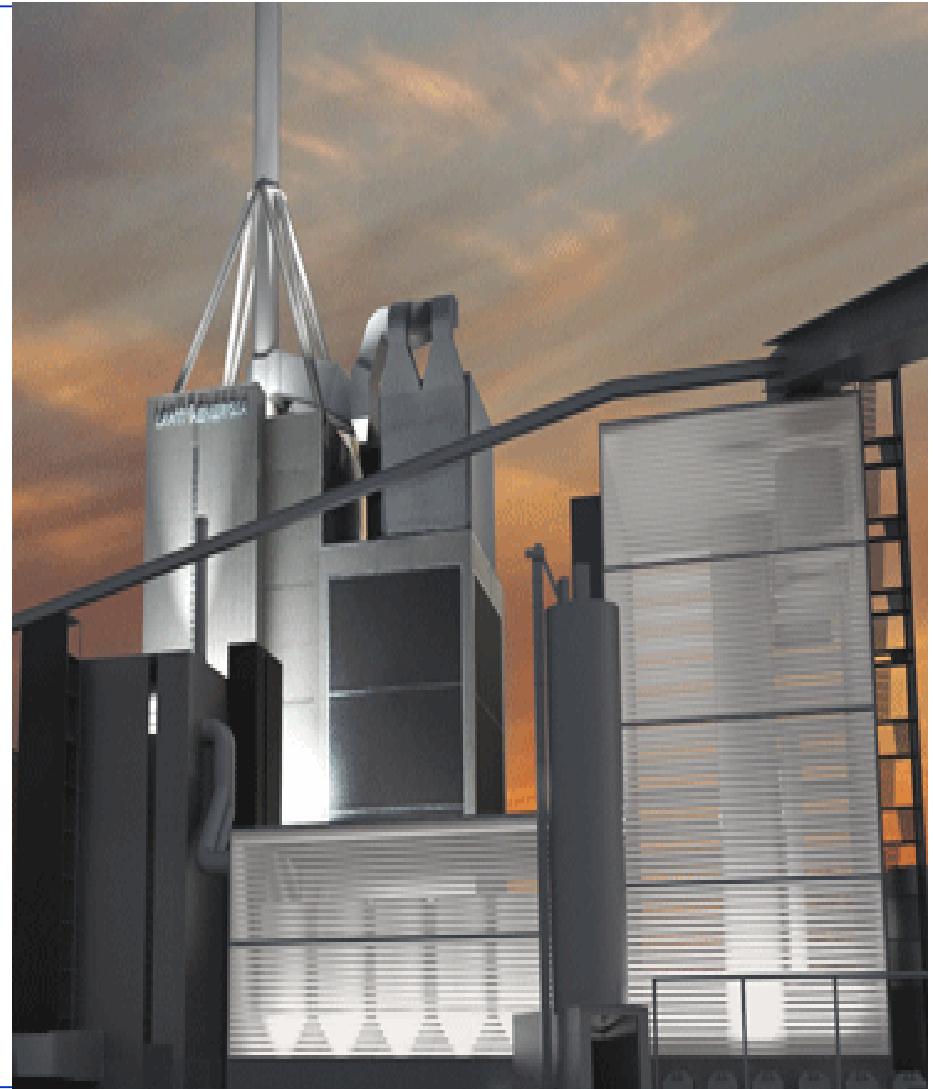


M2

Energieformen – Energiewandlung – Marktausblick



Inhalt

1. // Energieformen

- 1.1. Definitionen und Umrechnung
- 1.2. Typische Brennstoffeigenschaften

2. // Energiewandlung

- 2.1. Übliche Methoden der Energiewandlung
- 2.2. Dampf- und Wasserkessel
- 2.3. Dampfturbine mit KWK
- 2.4. Gasturbine mit KWK
- 2.5. Gasmotor-KWK-Anlage
- 2.6. Kombinierte Gas-und-Dampf-KWK-Anlage
- 2.7. KWK-Vergleich
- 2.8. Wärmepumpen
- 2.9. Solarenergie
- 2.10 Energie aus Müll

3. // Energiemarkt-Ausblick

- 3.1. Primärenergiebedarf
- 3.2. Ölreserven
- 3.3. Erdgasreserven
- 3.4. Zusammenfassung

1. Energieformen

1.1. Definitionen und Umrechnung

- "Energie" bezieht sich immer auf eine bestimmte Zeitperiode, eine Stunde, eine Woche, ein Jahr, etc.
- "Leistung" ist ein momentaner Ausdruck der Fähigkeit zu produzieren, zu übertragen oder zu verbrauchen. Sie ist die Rate, mit der Energie verbraucht wird
- Energie = Leistung mal Zeit
- 1 MWh = 1000 kWh = 1000 000 Wh

Zeit:

- 1h = 3600 s

Energie:

- 1 Wh = 3600 J = 3,6 kJ

Leistung:

- 1 W = 3,6 kJ/h = 1 J/s
- 1 MW = 3,6 GJ/h

Vielfache von Tausend:

- 1
- 1000 = Kilo (k)
- 1000 k = Mega (M)
- 1000 M = Giga (G)
- 1000 G = Tera (T)
- 1000 T = Peta (P)

Quelle:

UP-RES Projektgruppe/Aalto University

1. Energieformen

1.2. Typische Brennstoffeigenschaften

Brennstoff	Unterer Heizwert		CO ₂ - Emissionen	SO ₂ - Emissionen
	MJ/kg	MJ/m ³	g/MJ	g/MJ
Erdgas	36	56	0	
Kohle	26	91	0,4	
Erdöl	41	76	?	
Torf	22	106	0	
Holzabfälle	20	0	0	

Auf Basis der oberen Tabelle:

- 1 kg Öl enthält mehr Energie als 1 kg Kohle, hier 58% mehr.
- 1 MJ Kohle setzt fast doppelt so hohe CO₂-Emissionen frei wie Erdgas
- Mit Kohle und schwerem Heizöl befeuerte Kraftwerke brauchen eine Entschwefelung, um SO₂-Emissionen zu reduzieren, die für die anderen Kraftwerke keine Rolle spielen.
- Entschwefelung ist teuer und wird nur bei großen Grundlastkraftwerken angewendet.

Quelle:
UP-RES Projektgruppe/Aalto University

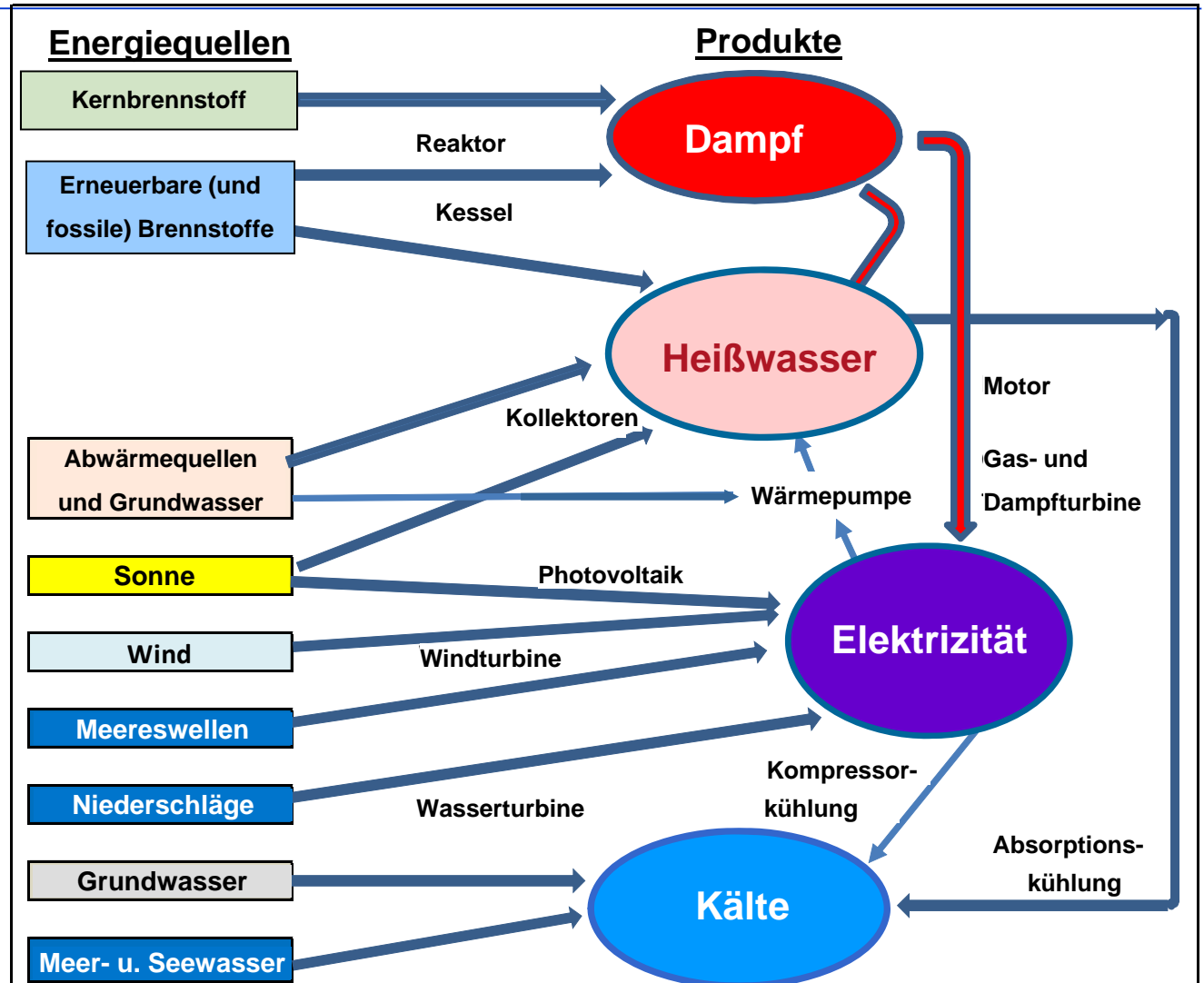
2. Energiewandlung

2.1. Übliche Methoden der Energiewandlung

Von Energiequellen zu Produkten

Umwandlungseffizienz ist von Fall zu Fall unterschiedlich

„Elektrizität“ umfasst hier sowohl elektrische, als auch mechanische Energie

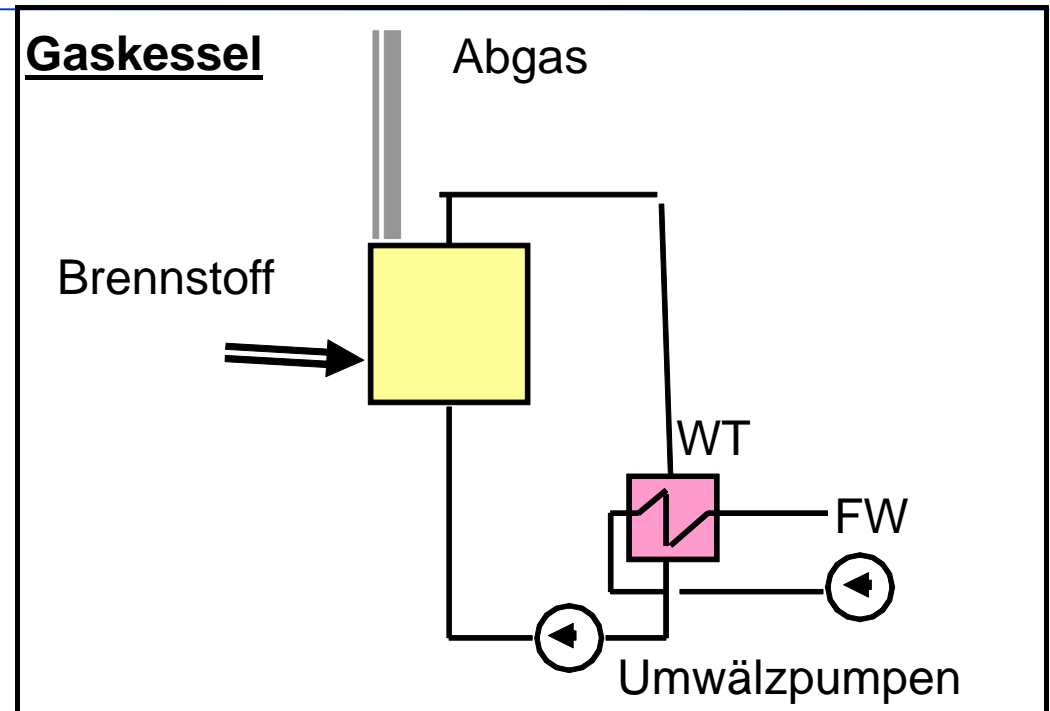


Quelle:
UP-RES Projektgruppe/Aalto University

2. Energiewandlung

2.2. Dampf- und Wasserkessel

- Gasbefeuerter Wasserkessel als Beispiel
- Typische Wirkungsgrade (= Nutzwärme/Brennstoffeinsatz):
 - Gas: 94 – 97%
 - Öl: 91 – 93%
 - Kohle: 87 – 93%
 - Biomasse: 86 – 92%
- Dampfkessel werden zur Stromerzeugung und bei Industrieprozessen genutzt, Wasserkessel nur in Fernwärmeanwendungen.



WT: Wärmetauscher
FW: Fernwärme

Quelle:
UP-RES Projektgruppe/Aalto University

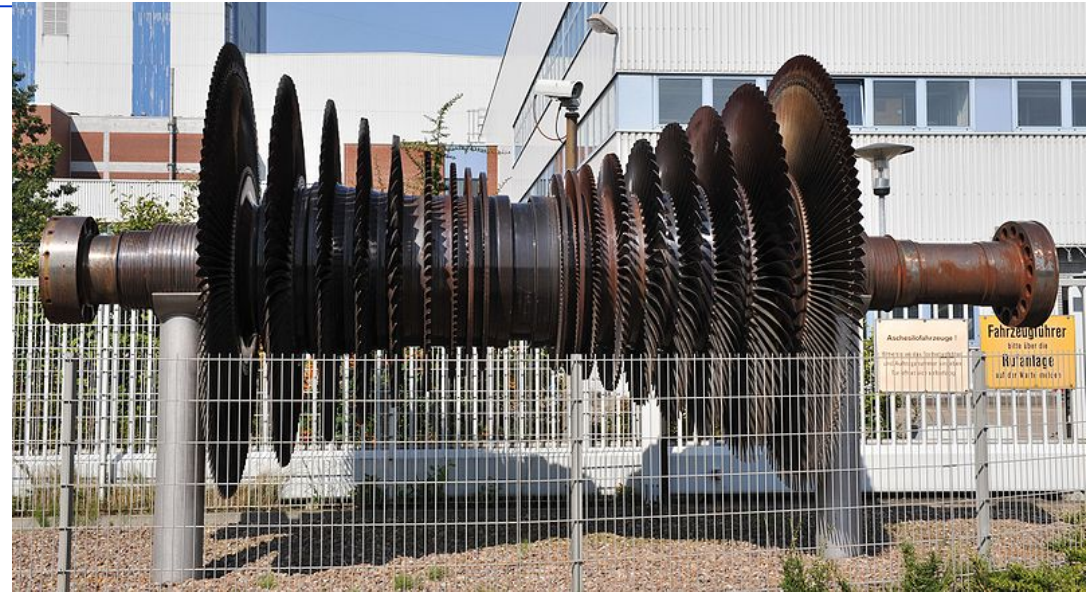
2. Energiewandlung

2.3. Dampfturbine mit KWK (1)

Der Dampf strömt durch die Rotorstufen und versetzt das Laufrad in Drehung.

Das Laufrad treibt den Generator an, der elektrische Energie für das Stromnetz produziert.

Nach Verlassen der Turbine wird der Dampf wieder zu Wasser kondensiert und zum Kessel gebracht zur erneuten Erhitzung und Verdampfung.



Doppelflutiger Turbinenrotor. Der Dampf wird an der Mitte der Welle zugeführt und tritt an beiden Enden aus, wodurch die Axialkräfte in der Turbine ausgeglichen werden.

KWK – Kraft-Wärme-Kopplung

Quelle: www.wikipedia.org

2. Energiewandlung

2.3. Dampfturbine mit KWK (2)

Der Frischdampfdruck liegt
gewöhnlich zwischen 50 und 150
bar.

Die Frischdampftemperaturen liegen
typischerweise bei 500-550 °C.



Schaufeln eines
Dampfturbinenrotors bei der
Wartung

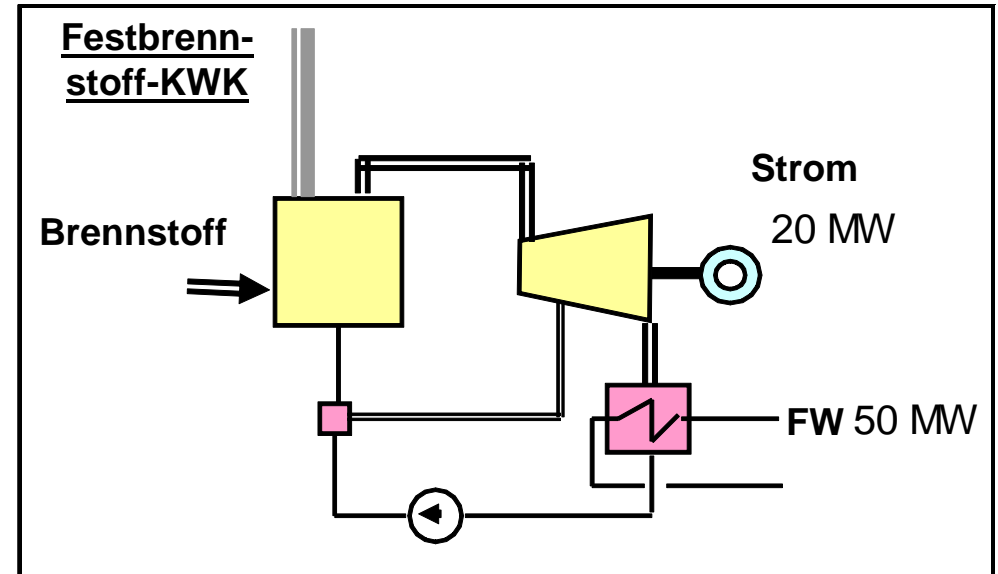
Quelle: www.wikipedia.org

2. Energiewandlung

2.3. Dampfturbine mit KWK (3)

Ein Dampfkraftwerk auf der Basis von Festbrennstoffen funktioniert in den folgenden Schritten:

1. Brennstoff und Luft kommen zur Verbrennung in Dampferzeuger.
2. Dampf wird zur Dampfturbine geliefert, wo das drehende Laufrad den Generator antreibt.
3. Abwärme wird an der Turbinenanzapfung oder am Turbinenaustritt für Fernwärme entnommen.
4. Das Kondensat wird über Speisewasserpumpen und –tank wieder zum Kessel gebracht.
5. Ohne Fernwärmeauskopplung würde die Wärme hauptsächlich in die Atmosphäre (Kühlturm) oder ins Meeres- oder Seewasser (Wärmetauscher) entweichen.



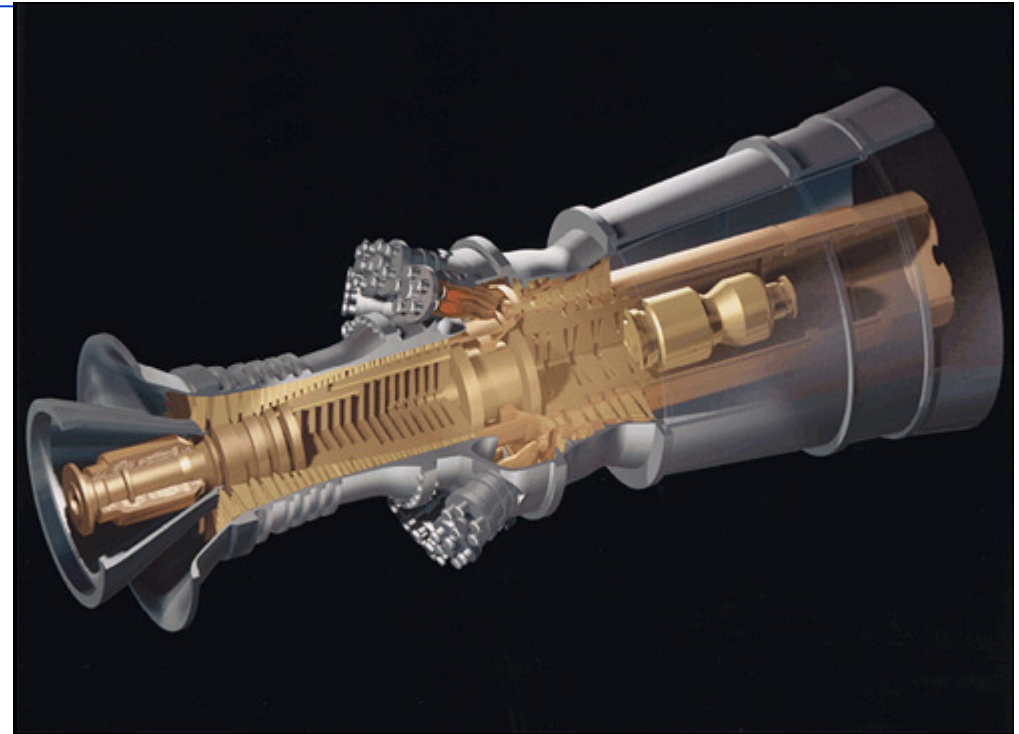
Quelle:
UP-RES Projektgruppe/Aalto University

2. Energiewandlung

2.4. Gasturbine mit KWK (1)

Gasturbinen arbeiten sowohl mit Erdgas, als auch mit leichtem Heizöl.

Bei Energieerzeugung sollte die Gasturbine hohe Abgas-temperaturen haben, um eine Erzeugung von Fernwärme oder Dampf zusätzlich zur elektrischen Energie zu ermöglichen.



Große Gasturbine von 480 MW zur Stromerzeugung. Auf der linken Seite ist der Verdichter am Lufteintritt, in der Mitte die Brennkammer mit Gaseintritt und auf der rechten der Gasturbinenteil (Hersteller: GE)

Quelle: www.wikipedia.org

2. Energiewandlung

2.4. Gasturbine mit KWK (2)

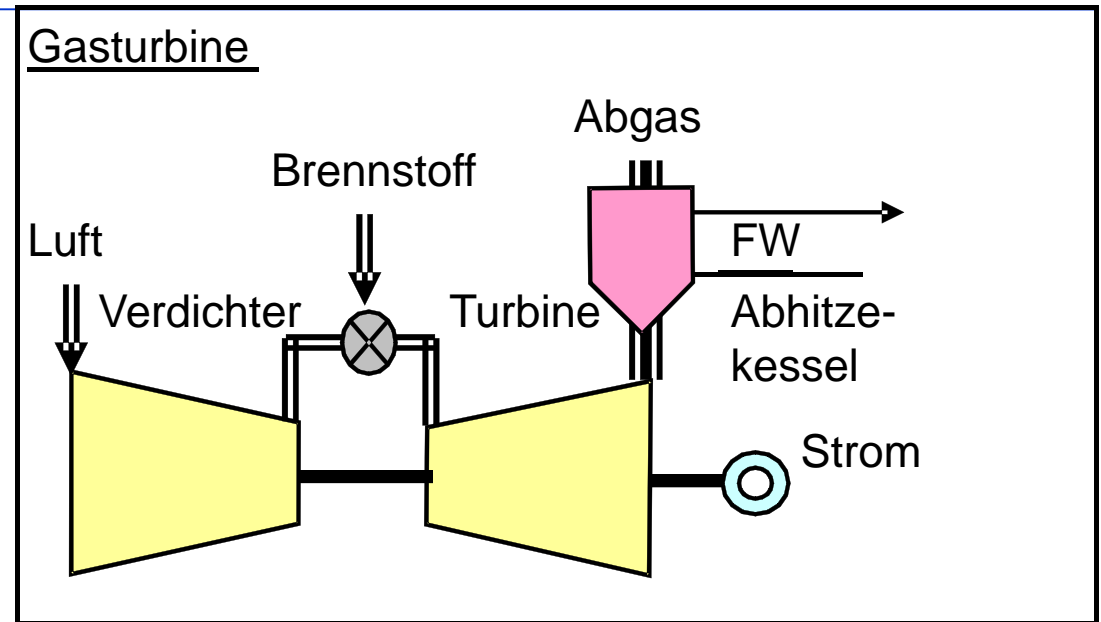
Der Verdichter, die Gasturbine und der Generator befinden sich im selben Container.

Brennstoff verbrennt mit Luft bei hohem Druck in der Brennkammer.

Das Abgas versetzt den Gasturbinenrotor unter hohem Druck in Drehung und treibt so den Verdichter, wie den Generator, an.

Der Abhitzekeessel kühlt das Rauchgas und die gewonnene Wärme wird in das FW-Netz eingespeist.

Quelle: UP-RES Projektgruppe/Aalto University



Abhitzekeessel nutzt die Wärme der Abgase und speist sie in das FW-Netz ein.

2. Energiewandlung

2.5. Gasmotor-KWK-Anlage

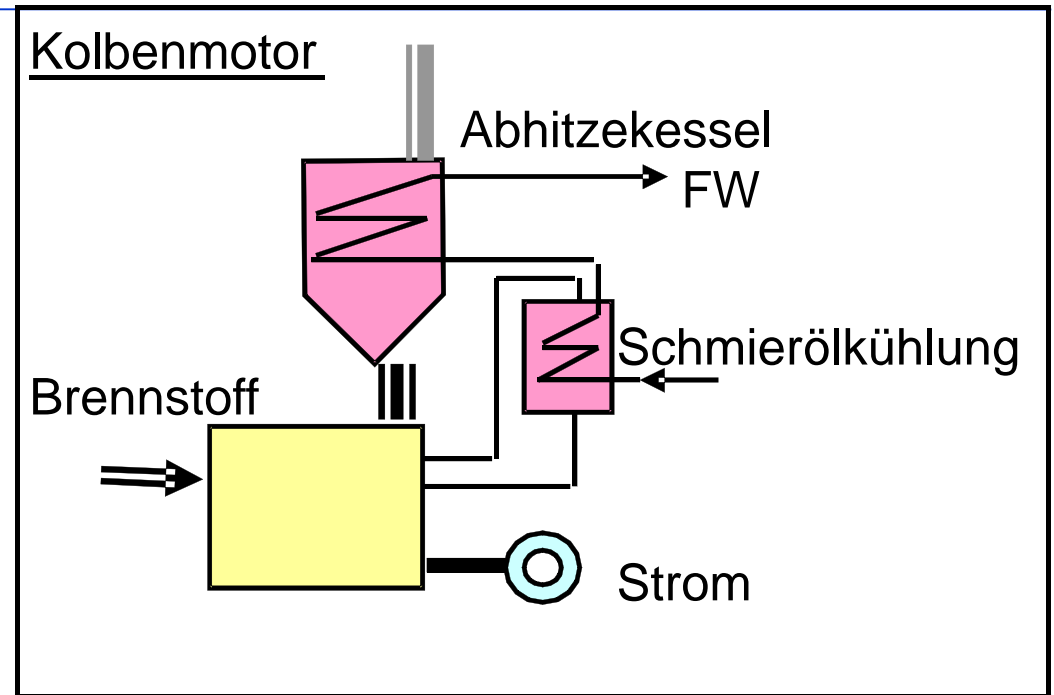
Der Motor entspricht grundsätzlich einem beliebigen Automotor, ist jedoch deutlich größer.

Die Verbrennung des Brennstoff-Luft-Gemischs treibt den Motor an und erzeugt mechanische Leistung, die im Generator in Strom umgewandelt wird.

Wärme kann an zwei Stellen gewonnen werden:

- Kühlung des Schmieröls
- Kühlung des Abgases.

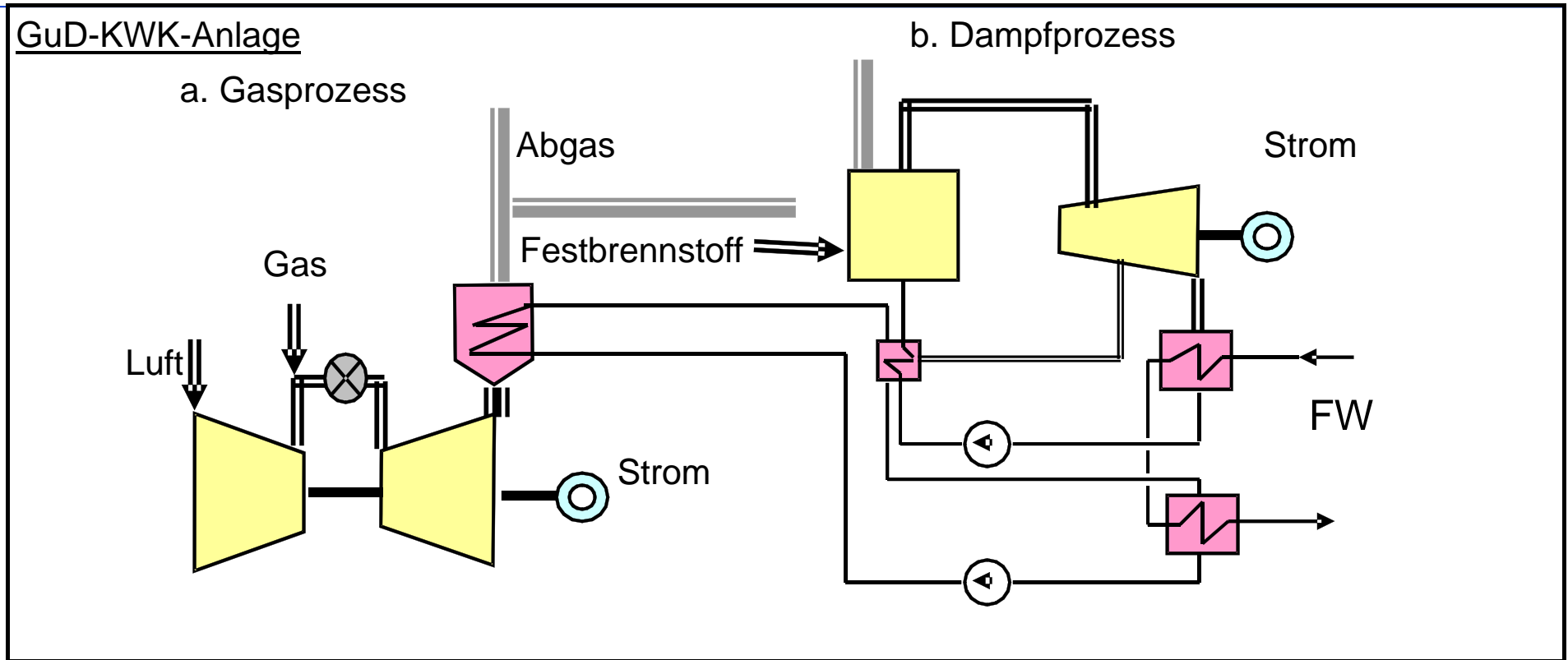
Die Vorteile eines KWK-Motors sind der fast konstante Wirkungsgrad und das Verhältnis Strom/Wärme über die gesamte Leistungsbreite, jedoch ist der Wartungsaufwand hoch.



Quelle: UP-RES Projektgruppe/Aalto University

2. Energiewandlung

2.6. Kombinierte Gas-und-Dampf-KWK-Anlage (1)



Eine große GuD-Anlage vereint den Dampf- und den Gasturbinenprozess mit einem hohen Wirkungsgrad und einem hohen Strom/Wärme-Verhältnis.

Quelle: UP-RES Projektgruppe/Aalto University

2. Energy Transformation

2.6. Kombinierte Gas-und-Dampf-KWK-Anlage (2)

Auf der letzten Folie wurden zwei Brennstoffarten kombiniert: Gas und Festbrennstoff. Dies erlaubt flexiblen Betrieb.

Der Nutzungsort des Festbrennstoffs kann ein altes Kraftwerk sein, mit dem die neue Gasturbine nachgerüstet werden kann. Auf diese Weise kann die Kombination mehr Strom erzeugen als die Gasturbine oder das Festbrennstoffkraftwerk allein. Die Synergie aus der Kombination dieser beiden Prozesse erhöht die Stromerzeugung um etwa 5% und steigert so den Gesamtwirkungsgrad.

Eine kombinierte GuD-Anlage kann auch so gebaut werden, dass eine oder zwei große Gasturbinen in Parallelschaltung mit einer kleinen Dampfturbine verbunden werden.

Quelle: UP-RES Projektgruppe/Aalto University

2. Energiewandlung

2.7. KWK-Vergleich

Typische Wirkungsgrade und Strom/Wärme-Verhältnisse verschiedener KWK-Anlagen und einem Gaskessel.

Gasturbinen und Motoren allein können klein sein, von 2 bis 60 MW, aber eine Multiplikation kann große Kraftwerke erzeugen.

Eine GuD-Anlage umfasst gewöhnlich mindestens zwei Gasturbinen und eine Dampfturbine mit einer Leistung von mehr als 100 MW.

Festbrennstoffkraftwerke profitieren ebenfalls vom Skaleneffekt: große sind effizienter als kleine.

Typische Werte		Gesamtwirkungsgrad	Strom/Wärme-Verhältnis
Festbrennstoff	klein	85 %	0,4
	groß	88 %	0,6
Gasturbine		91 %	0,4
Kolbenmotor		89 %	1,0
GuD		94 %	1,1
Gaskessel		95 %	

Quelle: UP-RES Projektgruppe/Aalto University

2. Energiewandlung

2.8. Wärmepumpen

Verdichter-Wärmepumpen

a) Heizung:

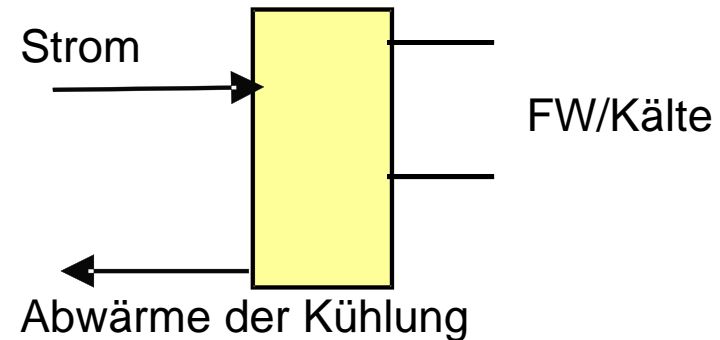
Eine Wärmepumpe kann 3-4 Einheiten **Wärme** erzeugen, indem sie 1 Einheit elektrische Energie verbraucht.

Damit ist der Nutzungsgrad ("coefficient of performance", COP) ebenfalls 3-4.

Die Quelle, von der Wärme (mit einem Verdichter) auf ein höheres Temperaturniveau gepumpt wird, kann Umgebungsluft, Grundwasser, Abwasser, etc. sein.

Quelle: UP-RES Projektgruppe/Aalto University

Wärmepumpe/ Kühlschrank



b) Kühlung:

Die Wärmepumpe kann **kaltes** Wasser und **kalte** Luft erzeugen, genauso wie ein gewöhnlicher Kühlschrank.

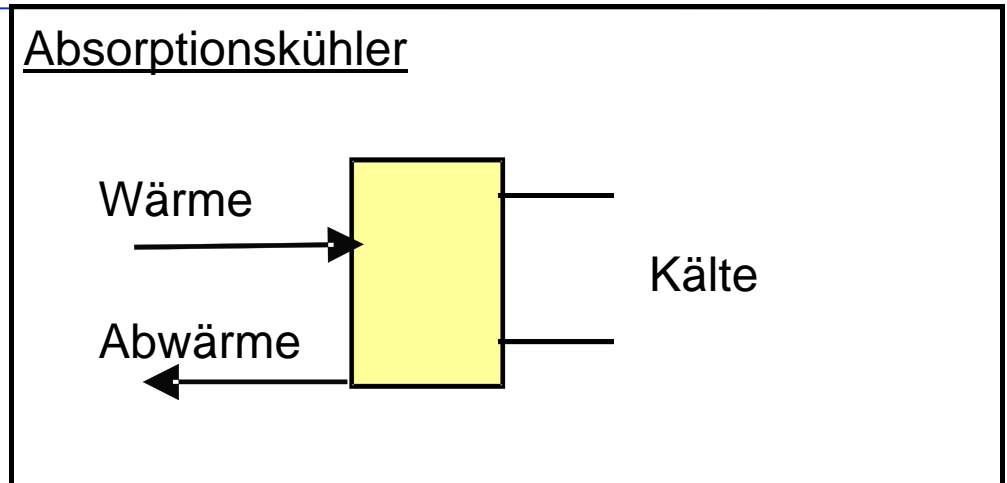
Bei der Kälteerzeugung kann die Abwärme entweder über die Lüftung abgeführt oder über ein FW-System (anderswo) genutzt werden.

2. Energiewandlung

2.8. Wärmepumpen

Absorptionswärmepumpen

- Der Absorptionskühler ist eine chemische Wärmepumpe, die Wärme statt Strom als treibende Kraft nutzt.
- Sie ist relativ teuer, aber in der Lage, Fernwärme (Abwärme im Sommer) zur Kühlung von Gebäuden zu nutzen.
- Abwärme wird weggekühlt, da sie im Sommer nicht gebraucht wird.



Quelle: www.wikipedia.org

2. Energiewandlung

2.9. Solarenergie

Solarkollektor für Warmwasser

Ein Sonnenkollektor wandelt Sonnenstrahlung in heißes Wasser um.

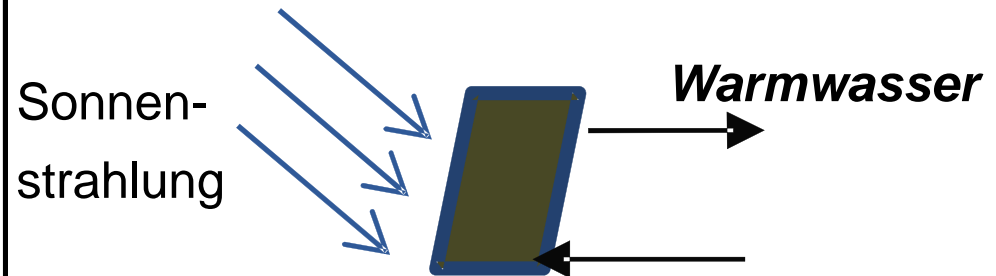
Im Sommer kann zu viel Sonnenstrahlung zu einer Überhitzung des Kollektors führen.

Zu anderen Jahreszeiten ist die Sonnenstrahlung geringer und der Winkel zur Sonne muss näher am Optimum sein als im Sommer.

Deshalb sind die Kollektoren in einem Winkel zwischen der Vertikalen und der Horizontalen angestellt.

Quelle: www.wikipedia.org

Solarkollektor



2. Energiewandlung

2.9. Solarenergie

Solarmodule für Strom – Photovoltaik (PV)

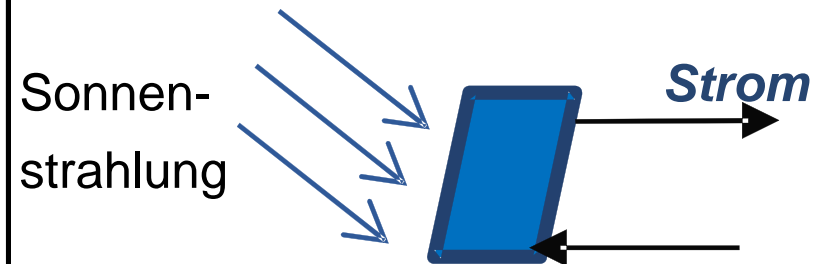
Ein PV-Modul wandelt Sonnenstrahlung in elektrische Energie um.

Im Sommer kann zu viel Sonnenenergie das Solarmodul überhitzen.

Zu anderen Jahreszeiten steht die Sonne niedriger und der Winkel muss näher am Optimum sein.

Deshalb sind die Module für gewöhnlich in einem Winkel zwischen der Vertikalen und der Horizontalen angestellt.

Solarmodul - Photovoltaik



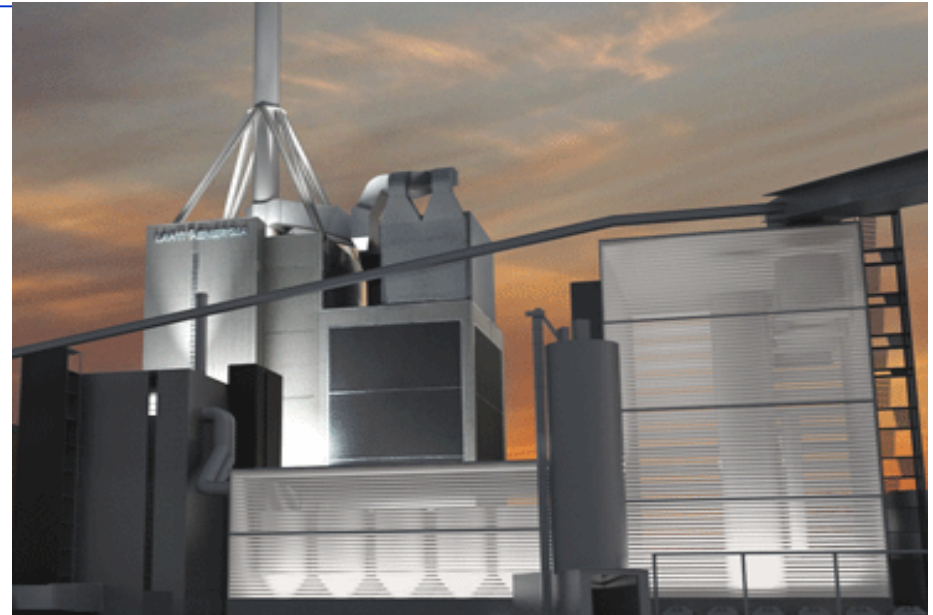
Quelle: www.wikipedia.org

2. Energiewandlung

2.10. Energie aus Müll (1/2)

Vorteile:

- Verringert den Bedarf für Deponieerweiterungen
- Ersetzt die Nutzung von fossilen Brennstoffen und eventuelle Brennstoffimporte
- Schafft neue Jobs in der Brennstofflogistik
- Reduziert CO₂-Emissionen
- Minimiert alle anderen Emissionen durch ein aufwendiges (und teures) Abgasreinigungssystem
- Erhöht die nationale und lokale Versorgungssicherheit
- Praktisch keine Brennstoffkosten, stattdessen Gebührenerhebung am Tor
- Bietet Erlöse aus dem Verkauf von Wärme und Strom.



- Eine große moderne kommunale KWK-Anlage mit Müllvergasung zur Produktion von 50MW Strom und 90 MW Fernwärme aus 250.000 t Müll pro Jahr, 2012 in der Stadt Lahti (Finnland) in Betrieb genommen.

Quelle: www.lahtienergia.fi

2. Energiewandlung

2.10. Energie aus Müll (2/2)

Erfordernisse:

- Hohe Kapitalkosten von etwa €200 Mio. mit einer Müllverbrennungskapazität von 300.000 t.
- Skaleneffekt: Die Anlage muss relativ groß sein (ca. 200.000 t Müll/Jahr)
- Die Wärmenennleistung der Anlage sollte nicht höher als 60% der Lastspitze des angeschlossenen Fernwärmenetzes und der industriellen Wärmelast zusammen genommen sein.



- Die neue kommunale KWK-Anlage mit Müllvergasung und die bestehende KWK-Anlage im Betrieb in Lahti, Finnland.

Quelle: www.lahtienergia.fi

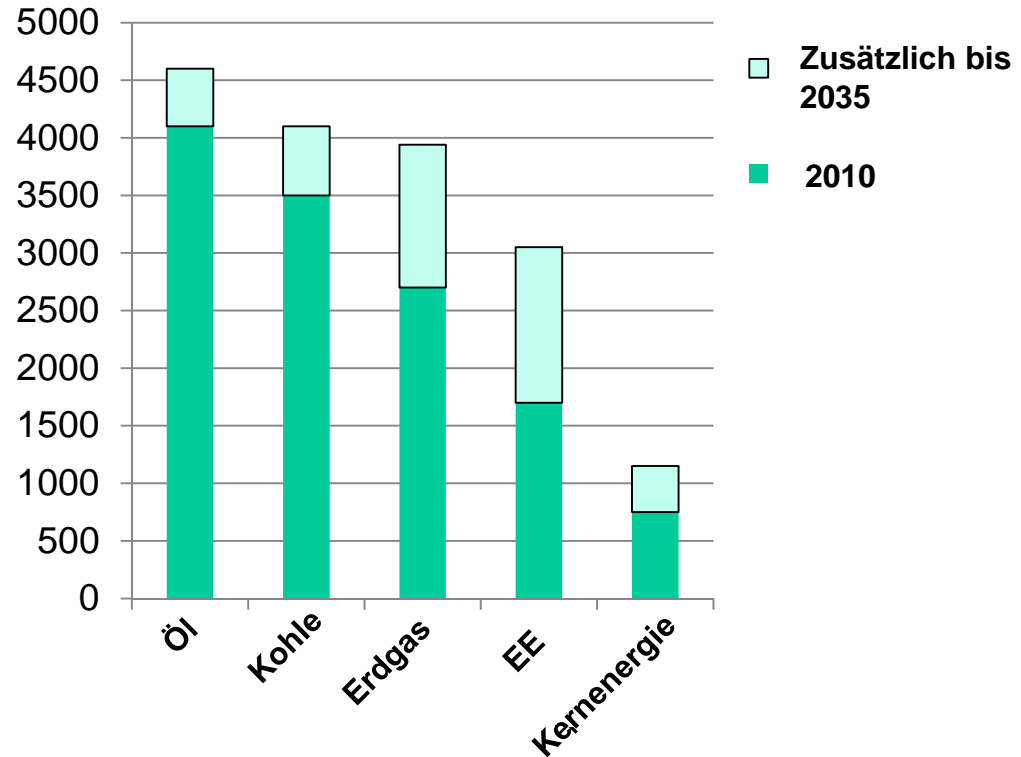
3. Energiemarkt-Ausblick

3.1. Primärenergiebedarf (Mtoe)

Öl und Kohle immer noch dominierend, jedoch:

Erdgas und erneuerbare Energien (EE) werden immer wichtiger.

EE und Erdgas sorgen zusammen für zwei Drittel des Nachfrageanstiegs zwischen 2010 und 2035.



Mtoe: Mio. Tonnen Öläquivalent

Quelle:

Internationale Energie Agentur – World Energy Outlook 2011 – Präsentation für die Presse, Nov 2011, www.iea.org

3. Energiemarkt-Ausblick

3.2. Ölreserven

- Ölreserven in Europa: Russland, Norwegen, GB
- Ölschieferreserven sind riesig, besonders in Nordamerika. Doch der Chemikalienbedarf für ihre Förderung stellt ein ökologisches Risiko dar.

Kontinent	Konv. Öl		Ölschiefer	
	Mtoe		Mtoe	
Afrika	17 719	11 %	23 317	3 %
Europa	12 519	8 %	52 845	8 %
Nordamerika	8 275	5 %	539 123	78 %
Südamerika	16 762	10 %	11 794	2 %
Asien	9 382	6 %	51 872	8 %
Naher Osten	98 093	60 %	5 792	1 %
Ozeanien	284	0 %	4 534	1 %
Gesamt	163 034	100 %	689 277	100 %

Quelle:

Internationale Energie Agentur – World Energy Outlook 2011 – Präsentation für die Presse, Nov 2011, www.iea.org

3. Energiemarkt-Ausblick

3.3. Erdgasreserven

- Bedeutende Gasreserven bleiben in Europa, hauptsächlich in Russland, aber auch in Norwegen und GB

Kontinent	Erdgas
	Mtoe
Afrika	14 613 8 %
Europa	50 095 27 %
Nordamerika	9 688 5 %
Südamerika	6 851 4 %
Asien	27 322 15 %
Naher Osten	75 668 41 %
Ozeanien	1 307 1 %
Gesamt	185 544 100 %

Quelle:

Internationale Energie Agentur – World Energy Outlook 2011 – Präsentation für die Presse, Nov 2011, www.iea.org

3. Energiemarkt-Ausblick

3.4. Zusammenfassung

- Es gibt genug Brennstoffreserven auf der Welt
- Doch auch die Steinzeit ist nicht an einem Mangel von Steinen zu Ende gegangen!

Das UP-RES-Konsortium

Kontakt-Institution für dieses Modul: **Aalto University**



- **Finnland : Aalto University School of science and technology**
www.aalto.fi/en/school/technology/



- **Spanien : SaAS Sabaté associats Arquitectura i Sostenibilitat**
www.saas.cat



- **GB: BRE Building Research Establishment Ltd.** www.bre.co.uk



- **Deutschland :**

AGFW – Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft www.agfw.de



UA - Universität Augsburg www.uni-augsburg.de/en



TUM - Technische Universität München <http://portal.mytum.de>

- **Hungary : UD University Debrecen**
www.unideb.hu/portal/en

