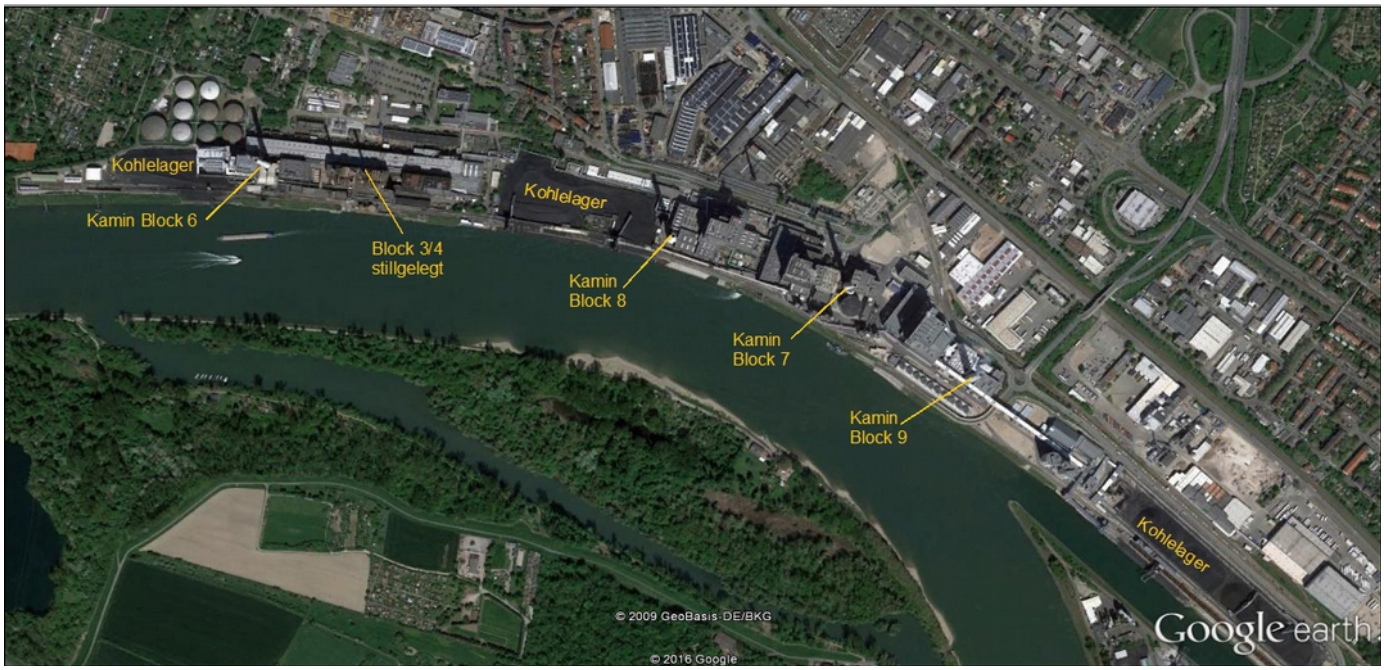
Berechnungen zur Energiewende (Teil 9) – Energiedichte

Größen- und Leistungsvergleich von Kraftwerken und Windrädern



Das Gelände des Großkraftwerkes Mannheim (GKM) erstreckt sich über eine Länge von etwa 3km und eine Breite von 200m.

Auf dieser Fläche könnte man maximal 10 Windräder aufstellen.
Da die Kamine ca.180m … 200m hoch sind, ergibt sich in etwa die gleiche Raumforderung wie bei den Windrädern.

Das GKM hat eine maximale thermische Leistung von **2500 MW** (Megawatt). Da Block7 nur noch als Kaltreserve zur Verfügung steht, beträgt die offizielle Leistung **2150 MW.**

Im Vergleich dazu hätten10 Windräder mit einer Nennleistung von 3 MW eine maximale mittlere * Jahresleistung von
10 x 3 MW x 0,18 = **5,4 MW**

* **mittlere Jahresleistung:**
da der Wind nicht immer konstant weht, ergibt sich in Deutschland ein reduzierter Ertragsfaktor von 18% → (0,18)

Damit die Windströmung nicht zu stark gehemmt wird, müssen abhängig von der Hauptwindrichtung bestimmte Mindestabstände eingehalten werden.

Das GKM erzeugt Fernwärme mit einem Wirkungsgrad von über 90% oder Strom mit einem Gesamtwirkungsgrad von über 40%. Im Mischbetrieb wird ein Wirkungsgrad von etwa 70% erreicht. Da man aufgrund aufgrund fehlender Speicher bei der Energiewende auch beabsichtigt, mit Windstrom zu heizen, muss man hier nicht differenzieren. Um die Leistung dieses Kraftwerkes mit Windrädern zu erzeugen, benötigen wir über 3200 große Windräder mit je 3 MW, wobei zu berücksichtigen ist, dass im Gegensatz zum Kraftwerk Windenergie nicht nach Bedarf zur Verfügung steht. Windenergie ist nicht grundlastfähig.

Berechnungen zur Energiewende (Teil 9) – Energiedichte

Dieses Isländische Wasserkraftwerk hat eine Leistung von **3 MW**
Es staut den Fjord auf eine Breite von 75m auf. Die Fallhöhe des Wassers beträgt 15m.

Ein Windrad mit einer Nennleistung von 3 MW ist etwa 200m hoch und hat einen Rotordurchmesser von 120m.
Die mittlere Jahresleistung dieses Windrades beträgt in Island bei einem angenommenen * Ertragsfaktor von ca. 25% nur **0,75 MW.** Rein rechnerisch müssten anstelle des Wasserkraftwerkes 4 Windräder gebaut werden.

In Deutschland müssten aufgrund des schlechteren Ertragsfaktors von unter 18% im Binnenland etwa 6 Windräder gebaut werden.

Das Wasserkraftwerk hat gegenüber Windrädern den Vorteil, dass es nicht benötigte Energie speichern kann. Daher ist es grundlastfähig. Der Fjord wird dann über die gesamte Länge aufgestaut. Der Wasserspiegel steigt.
Ein Windrad muss die Windenergie nutzen wenn sie ansteht. Es ist nicht grundlastfähig. Es kann Windenergie nicht speichern, um sie am nachfolgenden Tag zu nutzen.

Mit dem Energieertrag des Wasserkraftwerkes könnte man in Deutschland etwa 7000 Haushalte mit Strom versorgen – besser als mit Windrädern. In Island wären das fast 1% der Bevölkerung (300.000 Einwohner). In Deutschland ist es nichts.

Tatsächlich sind es auch in Island weniger Haushalte, die dieses Wasserkraftwerk versorgt. Weil in Island auch mit Strom geheizt wird, ist der Stromverbrauch pro Haushalt höher als in Deutschland.

* Von Island ist kein offizieller Ertragsfaktor bekannt. Deshalb wird der Ertragsfaktor von Dänemark angenommen. Der Ertragsfaktor unterliegt jährlichen Schwankungen.

Berechnungen zur Energiewende (Teil 9) – Energiedichte

Das Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal in Thüringen ist das größte in Deutschland.
Leistung : ca.1000 MW
Fallhöhe : 302 m
Kapazität : 8 Stunden bei Vollast.

Ein Biotop ist es nicht.

http://www.goldisthal.de/

Das Pumpspeicherkraftwerk kann 8 Stunden lang die Leistung von etwa 2000 Windrädern mit einer Leistung von je 3 MW erbringen. Der Vorteil von Pumpspeicherkraftwerken ist dass das Medium Wasser ausreichend zur Verfügung steht. Im Laufe dieses Aufsatzes wird sich herausstellen, dass potentielle Energie ein schlechter Energiespeicher ist. Deshalb sind Laufwasser- und Pumpspeicherkraftwerke nicht geeignet, weder unser Energieproblem, noch das damit verbundene Speicherproblem zu lösen. Zur Speicherung würden wir tausende Pumpspeicherkraftwerke benötigen. Die Landschaft gibt das nicht her.

Potentielle Energie (Lageenergie)
Ein Medium - in diesem Fall Wasser - verändert seine Lage von einem höher gelegenen auf einen niedrig gelegenen Ort und gibt dabei potentielle Energie ab. Die dabei treibende Kraft ist die Schwerkraft (Gravitation)

die potentielle Energie errechnet sich aus:

$$Q_{pot} = m \times g \times h \qquad (g = 9{,}81\ m/s^2)$$

$$= \text{Masse} \times \text{Erdbeschleunigung} \times \text{Fallhöhe}$$

Berechnungen zur Energiewende (Teil 9) – Energiedichte

Wir fahren Auto und betreiben Kraftwerke, weil man mit diesen Maschinen und Anlagen große Energiemengen auf kleinem Raum umsetzen kann.

Unter der **Energiedichte** versteht man die in Brennstoffen und Speichern enthaltene Energiemenge bezogen auf deren Masse oder Volumen.
Unter der **Leistungsdichte** versteht man die Leistung von Anlagen und Maschinen bezogen auf deren Masse, Volumen oder Fläche.
Maschinen und Anlagen mit geringer Energie- oder Leistungsdichte sind wesentlich größer und schwerer und benötigen mehr Platz als solche mit hoher Energie- oder Leistungsdichte.

Bei Verkehrsmitteln spielt sowohl die volumen-, als auch die massenbezogene Energie- bzw. Leistungsdichte eine Rolle.

Mit Wasser kann man sowohl potentielle Energie speichern (Wasser- und Pumpspeicher-kraftwerke) **als auch Wärmeenergie** (Warmwasserspeicher).

Energiedichte verschiedener Medien

- Lithium-Ionen-Akku → 0,65 MJ / kg
- Druckluft → 0,45 MJ / kg
- Bleiakku → 0,11 MJ / kg

Quelle:
Wikipedia https://de.wikipedia.org/wiki/Energiedichte

potentielle und thermischen Energiedichte von Wasser

- Wasser (potentiell 100 m) → 0,981 MJ / Tonne * Wasser-/ Pumpspeicherkraftwerk
- Wasser (thermisch 80°C) → 0,335 MJ / kg bei Erwärmung um 80 ° C

überkritischer Wasserdampf bei Dampfturbinen (290 bar / 600°C)

- Dampf (Enthalpie) → 3,46 MJ / kg

Energiedichte (Energiegehalt) verschiedener Brennstoffe und Kraftstoffe (Werte ca.)

Benzin	→	41,5	MJ / kg	→	11,5	kWh / kg	
Diesel	→	42,5	MJ / kg	→	11,8	kWh / kg	
Biodiesel	→	37	MJ / kg	→	10,3	kWh / kg	
Kerosin	→	43	MJ / kg	→	11,9	kWh / kg	(Flugzeugkraftstoff)
Braunkohle	→	21	MJ / kg	→	5,8	kWh / kg	
Steinkohle	→	28	MJ / kg	→	7,7	kWh / kg	
Erdgas	→	40	MJ / kg	→	40	MJ / m³	(Normkubikmeter)
Methan	→	50	MJ / kg	→	40	MJ / m³	(Normkubikmeter)
Uran Brennstäbe	→	4320	MJ / kg	→	1200	MWh / kg	(4% Uran)

Quellen:
https://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert
http://www.alt.fh-aachen.de/downloads/Hilfsblaetter/2006/Hilfsb%2074,%20Heizwert%20Steinkohle,Braunkohle,Oel,Gas,Uran,Bio-Brennstoffe.pdf

Berechnungen zur Energiewende (Teil 9) – Energiedichte

Die potentielle Energiedichte von Wasser

(zur Speicherung von potentieller Energie muss man das Wasser in eine bestimmte Höhenlage bringen)
Wie hoch ist die Energiedichte eines Kubikmeters (1 Tonne) Wasser bei einem Pumpspeicherkraftwerk mit 100m Fallhöhe ?

$Q_{pot} = m \times g \times h$

Q = potentielle Energie ≙ Arbeit
m = Masse
g = Erdbeschleunigung = 9,81 m/s²
h = Fallhöhe (Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterbecken)
t = pro Tonne

$Q_{pot} / t = 1000\ kg / t \times 9{,}81\ m/s^2 \times 100m \rightarrow 1kg \times \frac{m}{s^2} = 1$ Newton

$Q_{pot} / t = 981\ 000\ Nm / t$ (Newtonmeter pro Tonne)

$Q_{pot} / t = 981\ 000\ J / t$ (Joule pro Tonne)

$Q_{pot} / t = 981\ kJ / t$ (KiloJoule pro Tonne)

$Q_{pot} / t = 0{,}981\ MJ / t$ **Megajoule pro Tonne** *

*Die Berechnung zeigt, dass Wasser zur Speicherung potentieller Energie erst in Tonnen eine brauchbare Rechengröße ergibt.
Die potentielle Speicherkapazität hängt von der Fallhöhe ab. Bei der doppelten Fallhöhe des Pumpspeicherkraftwerkes verdoppelt sich auch die Energiedichte.

Die thermische Energiedichte von Wasser

Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt

$$c = 4{,}19 \frac{kJ}{kg \times °C}$$

Die Speicherkapazität des Wassers hängt vom Temperaturunterschied zwischen Anfangs- und Endtemperatur ab. Geht man von einem Arbeitsbereich zwischen 20°C … 100°C aus, dann ist die Speicherkapazität 80 mal so hoch.

$$Q_{80} = 80°C \times 4{,}19 \frac{kJ}{kg \times °C}$$

$$Q_{80} = 335 \frac{kJ}{kg}$$

$Q_{80} = 0{,}335\ MJ / kg$ = 335 MJ / Tonne

Das bedeutet:
Wasser hat eine wesentlich höhere Speicherkapazität, wenn man es als thermischen Energiespeicher benutzt. Jedoch kann man diese thermische Energie am ehesten zum Heizen verwenden, während man die potentielle Energie in einem Wasserkraftwerk über die Stromerzeugung in fast alle anderen Energieformen umwandeln kann. **Deshalb ist elektrische Energie als hochwertige Energieform anzusehen.**

Berechnungen zur Energiewende (Teil 9) – Energiedichte

Die Energiedichte von Wasserdampf

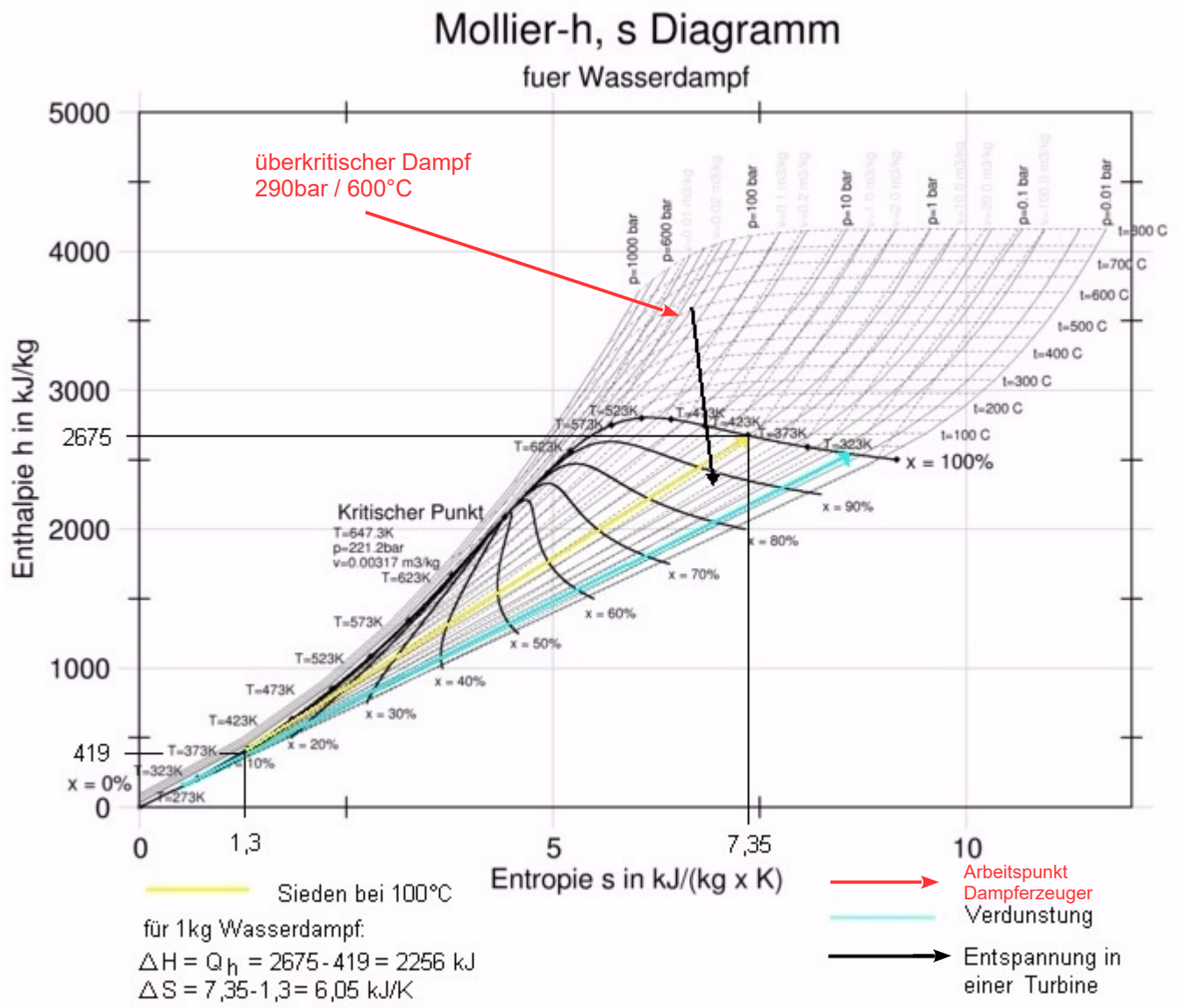
Der Energiegehalt von Dampf ist um ein Vielfaches höher, als der von Wasser. Bei der Stromerzeugung kommen deshalb Dampfturbinen zum Einsatz, um Generatoren anzutreiben. Um die Ausmaße von Kraftwerksanlagen zu begrenzen, geht es um Energieumsetzung auf möglichst kleinem Raum.

Bei der Umwandlung von Wasser mit 100°C in Dampf mit 100°C findet ein Energiesprung statt. Dazu muss eine Energie von 2256 kJ / kg zugeführt werden. Es ändert sich lediglich der Aggregatzustand von flüssig in gasförmig. Der Vorgang ist umkehrbar, so dass bei der Kondensation von Dampf zu Wasser diese Energie wieder abgegeben wird.

Wird dem Dampf weitere Energie zugeführt, dann steigen Druck und Temperatur. Das Volumen kann sich vor der Turbine nicht vergrößern, da es in vorgegebenen Rohrleitungen eingeschlossen ist. Die Wasser-Dampf-Tafel (Mollier-Diagramm) zeigt uns den Energiegehalt (Enthalpie) von überkritischem Dampf (290 bar / 600°C) wie er in Kraftwerken benutzt wird.

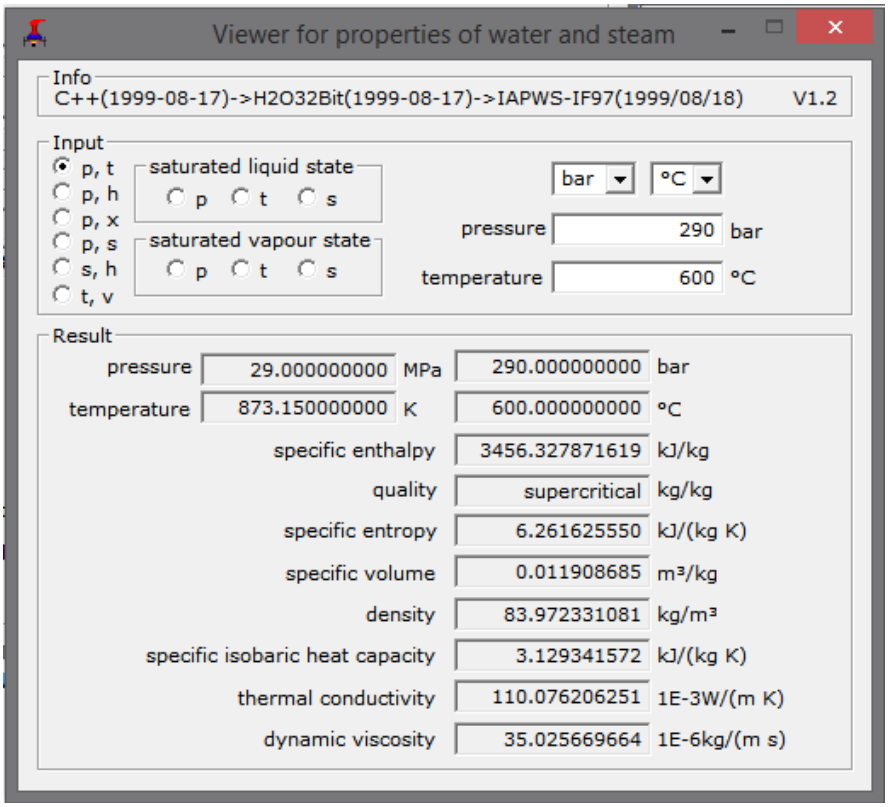
Enthalpie : h = 3,46 MJ / kg

Wikipedia https://de.wikipedia.org/wiki/Enthalpie
Molliér - Diagramm



Berechnungen zur Energiewende (Teil 9) – Energiedichte

Wasser-Dampf-Viewer



Brennstoffe / Kraftstoffe

- Braunkohle → 18..20 MJ / kg
- Steinkohle → 25..28 MJ / kg
- Erdgas → 39 MJ / kg
- Kerosin (Flugzeugkraftstoff) → 43 MJ / kg
- Heizöl / Diesel → 38..45 MJ / kg

Quellen:
Wikipedia https://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert
Heizung direkt http://www.heizung-direkt.de/UEBERSHO/brennwert.htm

Fazit:

1) Pumpspeicherkraftwerke sind offenbar nicht geeignet Energie in den Mengen zu speichern, wie wir sie benötigen. Da die Energiedichte von Wasser zur Speicherung potentieller Energie um den Faktor 1000 geringer ist, als die anderer Medien ist es offensichtlich, dass der Platzbedarf für Pumpspeicherkraftwerke gewaltig ist und mit ihm die Landschaftszerstörung.

2) Zwischen der Energiedichte eines Akkus und der eines vollen Tanks mit Kraftstoffen besteht der Faktor 100. Da hilft auch der bessere Wirkungsgrad von E-Mobilen gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren nicht weiter.