



HOCHSCHULE LANDSHUT
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

Energiespeicher I

Vorlesung

für den Masterstudiengang
Automobil- und Nutzfahrzeugtechnik
WS 2014/2015

Prof. Dr. Karl-Heinz Pettinger



Hinweise zur Nutzung der Präsentation

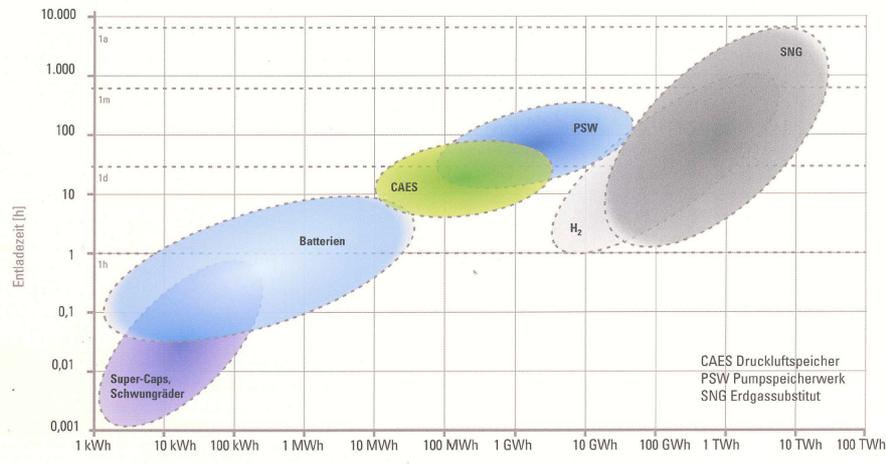
- Diese Unterlagen zum Seminar Energiespeicherung sind ausschließlich als Unterstützung zur Vorlesung vorgesehen. Die Grafiken werden teilweise im Unterricht erarbeitet und sind daher in der vorliegenden Form nicht vollständig.
- Diese Unterlagen zum Seminar Energiespeicherung dürfen nur im Rahmen des Studiums an der Hochschule Landshut verwendet werden.
- Diese Unterlagen zum Seminar Energiespeicherung dürfen nicht vervielfältigt werden.
- Diese Unterlagen zum Seminar Energiespeicherung dürfen nicht – auch nicht auszugsweise – ohne die Genehmigung des Autors veröffentlicht werden.
- Einige Quellenangaben sind noch nicht vervollständigt. Dies wird bei der nächsten Überarbeitung nachgeholt.
- Für Anregungen, Verbesserungsvorschläge, Kritik oder Hinweise auf Errata ist der Autor dankbar.

▪ **Empfohlene Literatur:**

- Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen, A. Jossen, W. Weydanz, Reichardt Verlag-
- George A. Olah, Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy, Wiley Verlag Chemie



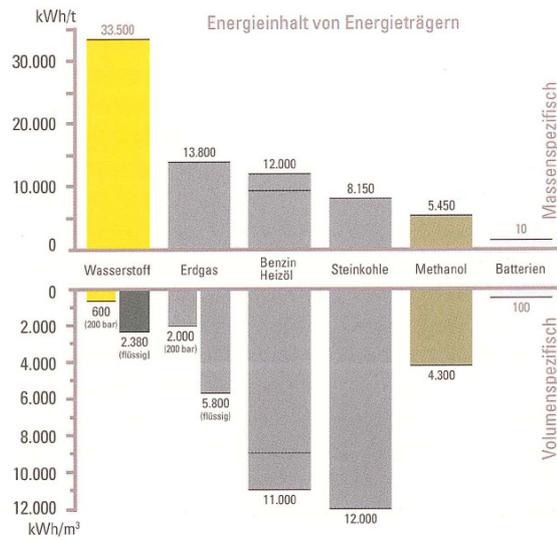
Einführung



Quelle: Energieträger der Zukunft, e-mobil BW GmbH



Einführung



Quelle: Energieträger der Zukunft, e-mobil BW GmbH



Einführung

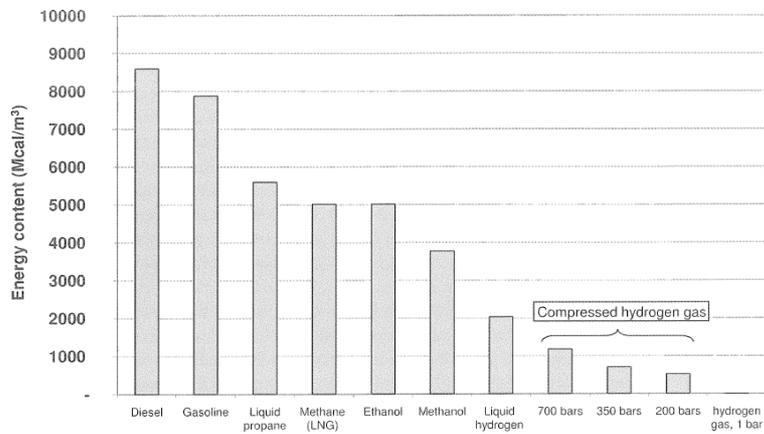


Figure 9.8 Volumetric energy content of hydrogen compared to other fuels.

Quelle: Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy, George A. Olah, Wiley-VCH



Erdöl



Erdöl - Verarbeitung und Produkte

- Bestandteile:** Lipophiles Stoffgemisch, das hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffen (Alkane, Alkene, Cycloalkane, Aromaten) besteht, mit Anteilen an stickstoff-, sauerstoff- und schwefelhaltigen organischen Verbindungen
- Entstehung:** Anaerobe Zersetzung von tierischen und pflanzlichen Organismen bei hohem Druck und hoher Temperatur
- Bedeutung:** weltweit wichtigster Rohstoff der Industriegesellschaft zur Energieerzeugung und zur Herstellung von Grundchemikalien
- Jahresproduktion weltweit:** 3.608 Mio. t (2003)
- Nachgewiesene Reserven:** 171,7 Mrd. t
- Einfuhr Deutschland 2008:** 105 Mio. t



Bildquelle:
http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Petroleum_cm05.jpg&filetimestamp=20051213113836

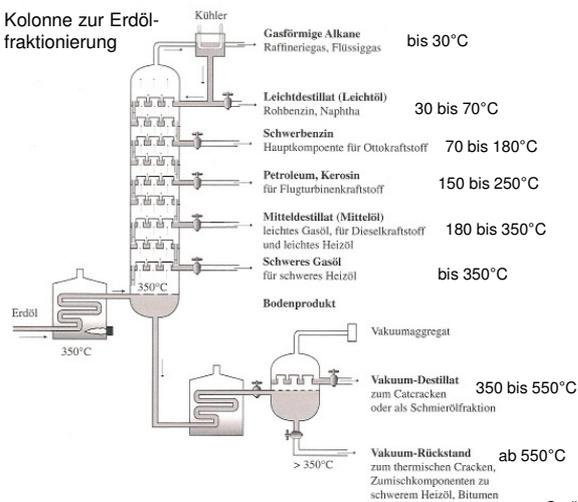
Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

7



Kolonne zur Erdölfractionierung



Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

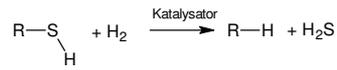
8



Erdölraffinationsprozesse (1)

Crack-Prozess: ab C₄₀ → etwa C₅ bis C₁₈
 Vakuum-Rückstand Leicht- und Mitteldestillate
 Thermisch (500 - 800°C), Katalytisch oder Hydrocracken

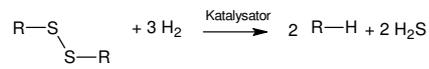
Entschwefeln:



Mercaptan

Alkan

Entschwefelungsgrad:
98- 99%



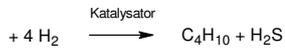
Disulfid

Alkan

Weiterverarbeitung des
Schwefelwasserstoffs
mit Claus-Anlage zu
Schwefel



Thiophen



Butan

Quelle: T. Gerthsen, Chemie für den Maschinenbau 2

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

9



Erdölraffinationsprozesse (2)

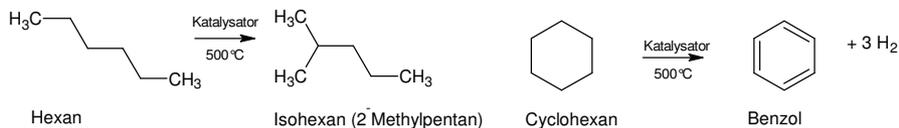
Katalytisches Reforming (Isomerisierung + Cyclisierung):

Zweck: Verbesserung der Klopfestigkeit von Schwerbenzin (70-180°C)

Klopfestigkeit nimmt zu:

Geradkettige Alkane → Cycloalkane → verzweigte Alkane → Alkene → Aromatische KW

Beispiele von ablaufenden Reaktionen:

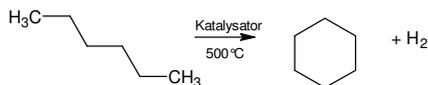


Hexan

Isohexan (2-Methylpentan)

Cyclohexan

Benzol



Hexan

Cyclohexan

Quelle: T. Gerthsen, Chemie für den Maschinenbau 2

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

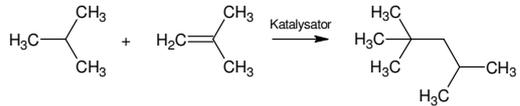
10



Erdölraffinationsprozesse (3)

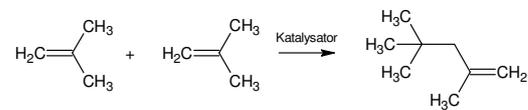
Alkylierung und Dimerisierung kurzkettiger Kohlenwasserstoffe (Beispiele)

Alkylierung



Isobutan Isobuten 2,2,4-Trimethylpentan
2-Methylpropan 2-Methylpropen Isooctan

Dimerisierung



2,2,4-Trimethylpenten
Isooctan

Quelle: T. Gerthsen, Chemie für den Maschinenbau 2

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

11



Octanzahl (OZ)

Maß für die Klopfestigkeit von Ottokraftstoff (Benzin)

Geradkettige Alkane sind sehr zündfreudig, daher geringer Zündverzögerung, neigen daher zum Klopfen, da die daraus bei der Verbrennung entstehenden Radikale sehr instabil sind.

Zündtemperatur des Ottokraftstoffs abhängig von dessen Zusammensetzung

Zündtemperaturen: n-Hexan: 220°C Benzol: 560°C

bei zündwilligen Verbindungen lokale Selbstzündungen im noch unverbrannten Kraftstoff-Luft-Gemisch

- zu rasche und explosionsartige Verbrennung
- Druck erreicht drei- bis vierfachen Wert einer normalen Verbrennung
- Druckstöße (Klopfen bzw. Klingeln beim Fahren)
- unregelmäßige Temperatur- und Druckverhältnisse bedingen Motor- und Kolbensschäden

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

12



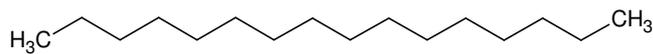
Cetanzahl

Maßzahl für die Zündwilligkeit von Dieselmotorkraftstoff

Kraftstoff muss im Gegensatz zu Ottokraftstoff zündwillig sein

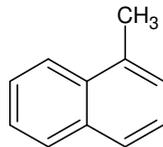
Je höher die Cetanzahl, desto größer die Zündwilligkeit des Dieselmotorkraftstoffs

Vergleichssubstanzen:



Cetan, Hexadekan $C_{16}H_{34}$

Cetanzahl CZ 100



1-Methylnaphtalin

Cetanzahl CZ 0

CZ 50:

50 Vol-% Cetan

50 Vol-% 1-Methylnaphtalin

Dieselmotorkraftstoff nach EN 580:

CZ > 45

CZ optimal bei 50

Quelle: T. Gerthsen, Chemie für den Maschinenbau 2

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

13



Beispiele Oktanzahl

Tabelle 2.2 Octanzahlen OZ

	OZ nach ROZ
Butan	94
Pentan	62
Hexan	25
Heptan	0
„Isooktan“ (2,2,4-Trimethylpentan)	100
Cyclohexan	83
1-Hexen	76
2-Methyl-1-penten	94
Normalbenzin	91
Super	95
Super plus	98

ROZ: Es ist die Bezeichnung eines Verfahrens, nach der die OZ bestimmt

Quelle: T. Gerthsen, Chemie für den Maschinenbau 2

Nach DIN 51756:

Angabe des Isooctan-Anteils in Volumenprozent

z.B. Superbenzin:

95 Vol-% Isooktan

5 Vol-% Heptan

Erhöhung der Oktanzahl durch Zugabe von MTBE oder ETBE möglich:

MTBE: Methyl-tertiär-butyl-ether

ETBE: Ethyl-tertiär-butyl-ether

Bildung beständiger Radikale

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

14



Kraftstoffzusätze

Ottokraftstoff:

- Klopfbremsen MTBE, ETBE
- Rückstandsumwandler
- Korrosionsschutzstoffe, wie z. B. polare Fettsäurederivate
- Detergentien zur Verhinderung von Ablagerungen im Einlasssystemen

Diesekraftstoff:

- Zündbeschleuniger-Additive, verbessertes Verbrennungsverhalten und weniger Russmissionen, z.B. reaktionsfähige Nitrite $-\text{NO}_2$ und Nitrate $-\text{NO}_3$
- Filtrierbarkeitsverbesserer beeinflussen Kälteverhalten



Ottokraftstoffe

Sammelbezeichnung für ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffen (C_5 bis C_{12})

Bestehend aus Alkanen, Cycloalkanen (Naphtene) und wechselnden Mengen aus Alkenen, Aromaten und Additiven

Zündtemperatur: Normalbenzin: 300°C Superbenzin: 400°C

Siedebereich: $70 - 180^\circ\text{C}$ Dichte: $0,63$ bis $0,83 \text{ g/cm}^3$

Leicht verdunstende, feuergefährliche, brennbare Flüssigkeit

Einstufung in höchste Gefahrenklasse 1 für feuergefährliche Stoffe

Flammpunkt: -20°C

Mindestkriterien gemäß EN 228



Dieselmkraftstoffe

Sammelbezeichnung für ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffen (C_{12} bis C_{20})

Bestehend aus Alkanen, Cycloalkanen (Naphtene) und wechselnden Mengen aus Alkenen, Aromaten und Additiven

Zündtemperatur: 250°C

Siedebereich: 180°-350°C Dichte: 0,83 bis 0,88 g/cm³

Leicht verdunstende, feuergefährliche, brennbare Flüssigkeit

Einstufung in Gefahrenklasse 5 für feuergefährliche Stoffe

Flammpunkt: > 55°C (70 – 100°C)

Qualität hängt vom Kälteverhalten ab (Abscheidung von Paraffinen)

Filterierbarkeit als Kriterium:reiner Dieselmkraftstoff bis -16°C

+ 20% Petroleum bis – 18°C

Mindestkriterien gemäß EN 580



Mechanische Stromspeicher

- **Pumpspeicherwasserkraftwerke**
- **Druckluftspeicherkraftwerke**
- **Schwungmassenspeicher**



Pumpspeicher

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

19



Pumpspeicherwasserkraftwerke

Prinzip: Höhenunterschied von zwei Wasserspeichern wird genutzt, um elektrische Energie in Spitzenlastzeiten abzurufen und in Schwachlastzeiten zu speichern. In Schwachlastzeiten wird Wasser auf das höhere Niveau gepumpt

Beispiel: Kraftwerk Goldisthal, Thüringen
1060 MW Leistung, Reaktionszeit: wenige Sekunden, 8h Vollast möglich



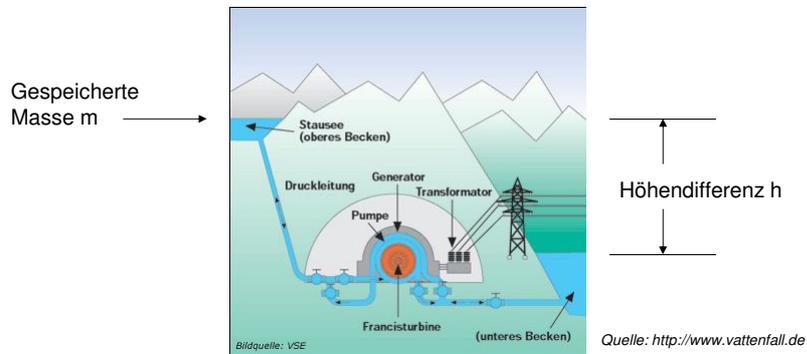
Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

20



Pumpspeicherwasserkraftwerke



$$E_{\text{Pot}} = m \cdot g \cdot h = E_{\text{El}} \cdot \eta$$

Betriebszustände:

Statisch: $E_{\text{El}} = 0$

Entladen: E_{El} wird gewonnen

Laden: E_{El} wird eingesetzt

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

21



Pumpspeicherwasserkraftwerke



Unterwasser:

Speicher Längenthal 1900
m ü. N.N.

Volumen 3 Mio³



Pumpleistung:

66 m³ / s

Speicher Kühltai, Tirol



Oberwasser:

Speicher Finstertal Lage
2322 m ü. N.N.

Bildquellen:
Mitte www.tiwag.com
Seitlich: Eigene Aufnahmen

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

22



Pumpspeicherwasserkraftwerke



Pumpleistung:

66 m³ / s

Gespeicherte Energie bei 1 x
Hochpumpen des Unterwassers:

3,4 TWh (= 3,4 · 10⁹ Wh)

= Versorgung von 850 Haushalten für
1 Jahr (durchschn. Verbrauch eines 4-
Personenhaushaltes: ca. 4000 kWh/a)

Quelle: <http://www.vattenfall.de>

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

23

Kraftwerk Kühtai

Zwei vertikalachsige, reversible
Maschinensätze, bestehend aus Francis-
Spiralturbine (als Pumpspeicherturbine
ausgeführt) und Motorgenerator mit
Anfahrmotor

Turbinenbetrieb	max. 289 MW
Pumpbetrieb	max. 250 MW
Nenn Drehzahl des Maschinensatzes	600 U/min



Druckluft

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

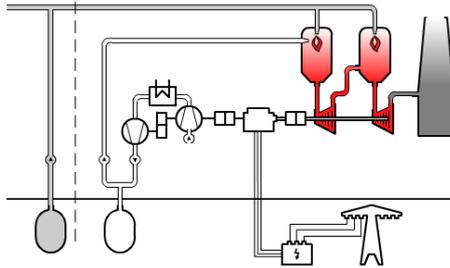
24



Druckluftspeicherkraftwerk

Prinzip: Bei Schwachlastzeiten wird aus Strom Druckluft erzeugt und in Spitzenlastzeiten über eine Turbine wieder in elektrischen Strom umgewandelt.

Beispiel: Kraftwerk Huntorf, Niedersachsen
290 MW Leistung, Reaktionszeit: wenige Sekunden, 2h Vollast möglich



Quelle: <http://www.eon-kraftwerke.com>

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

25



Druckluftspeicherkraftwerk

Allgemeine Zustandsgleichung für ideale Gase: $p \cdot V / T = \text{const.}$

Adiabatischer Fall: $p_1 \cdot V_1 / T_1 = p_2 \cdot V_2 / T_2$

p, V und T verhalten sich variabel !

Energetischer Effekt bei realen Gasen:

Joule Thomson-Effekt:

Gase kühlen bei Ausdehnung ab, erwärmen sich bei Kompression

z.B. bei Kompression von Luft in einer Luftpumpe

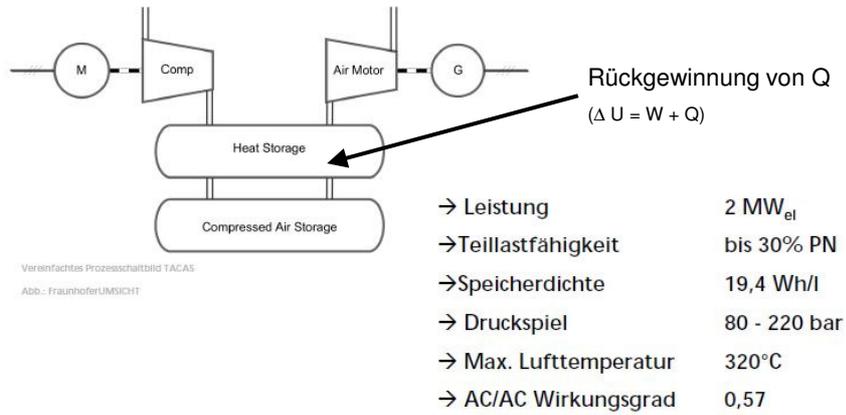
Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

26



Druckluftspeicherkraftwerk



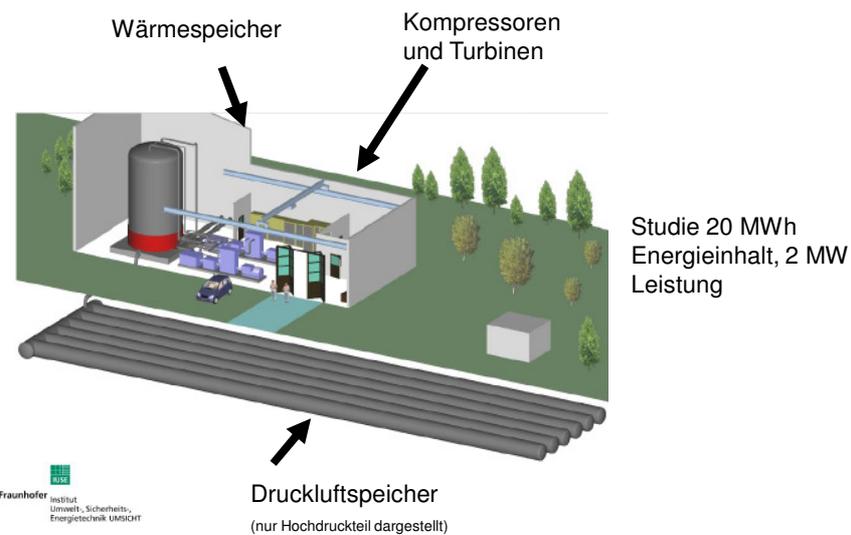
Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

27



Druckluftspeicherkraftwerk



Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

28



Schwungmassen- speicher

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

29



Schwungmassenspeicher

Prinzip: Bei Schwachlastzeiten wird mittels eines Motors eine Schwungmasse in Rotation gebracht. In Spitzenlastzeiten kann diese Rotation wieder in elektrischen Strom umgewandelt werden.

Beispiel: Enercon Schwungrad
5 kWh Speicherkapazität, 200 kW Leistung über 90 Sekunden

Kosten: ca. 60.000 €



Quelle: <http://wohnen.pege.org/2006-hannover/schwungmassenspeicher.htm>

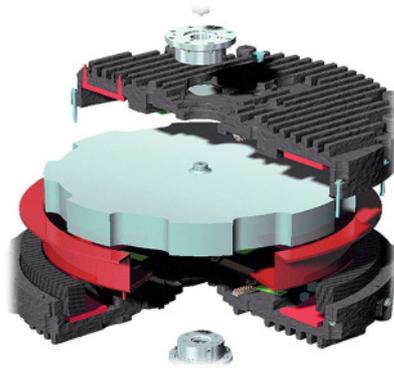
Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

30



Schwungmassenspeicher



Gehäuse
Schwungkörper
Lagerung

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

31



Schwungmassenspeicher

Physikalisches Prinzip

Speicherung von Energie in Form von Rotationsenergie

E: Rotationsenergie
J: Massenträgheitsmoment
 ω : Winkelgeschwindigkeit

$$E = 1/2 J \times \omega^2$$

Problem:

Hohe Leerlaufverluste

(z.B. 10 kW Leerlaufverluste bei Leistung 1650 kW und 16,5 MWs (= 4,6 kWh !!))

→ typische Kurzzeitspeicher (etwa max. 1 Minute)

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

32



Schwungmassenspeicher

Anwendung im Automobil

Williams Hybrid Power Flywheel



Entwicklung für die Formel 1 - KERS

Bisher Batterie – Tausch nach jedem Rennen
(hohe Belastung durch starke Bremsmanöver)

Rotor aus Verbundwerkstoff
Magnetische Lagerung
Gehäuse aus Aluminium 45kg
40.000 U/min
0,2 kWh nutzbarer Energieinhalt

Ca. 80 PS mehr für 6 Sekunden

Prof. Pettinger

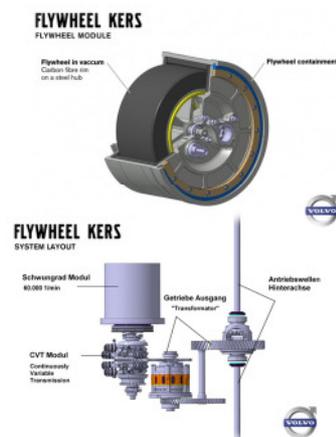
AuN Master WS 2014/2015

33



Schwungmassenspeicher

Anwendung im Automobil



Volvo Projekt für Serienfertigung
Vorentwicklungsphase, Konzeptfahrzeuge

CFK + Stahlkern, Vakuum
60.000U/min
6kg
mechanische Energie wird ohne Umwandlung
an die Antriebsachse übertragen

zusätzliche Leistung von 80 PS (59 kW)
Kraftstoffverbrauch -20%
Beschleunigungsverhalten +10%
4-Zylinder + Flywheel KERS = 6-Zylinder

Geplanter Start: 2013

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

34



Wasserstoff

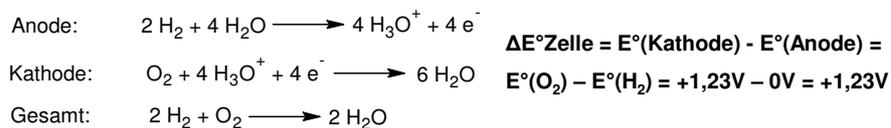


Energiewandler Brennstoffzelle

Kennzeichen:

Im Gegensatz zu Akkumulatoren, wo Substanzen während des Entladens aufgebracht werden, werden bei der Stromentnahme aus Brennstoffzellen die Edukte laufend zugeführt. Brennstoffzellen sind somit reine Energiewandler.

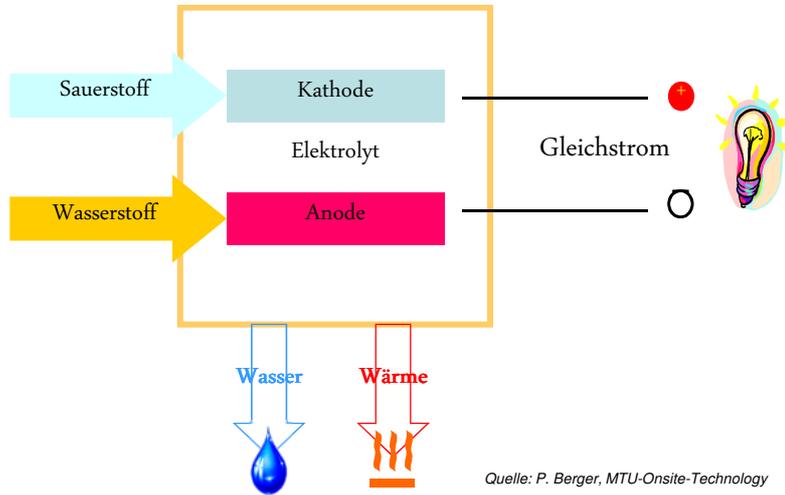
Beispiel: Proton-Exchange-Membran-Fuel-Cell (PEM-Brennstoffzellen)



Zellspannung: 0,5 bis 1 V (durch Spannungsverluste)



Brennstoffzellen im Überblick



Quelle: P. Berger, MTU-Onsite-Technology

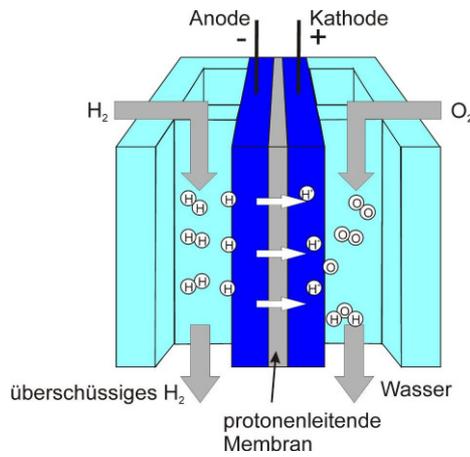
Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

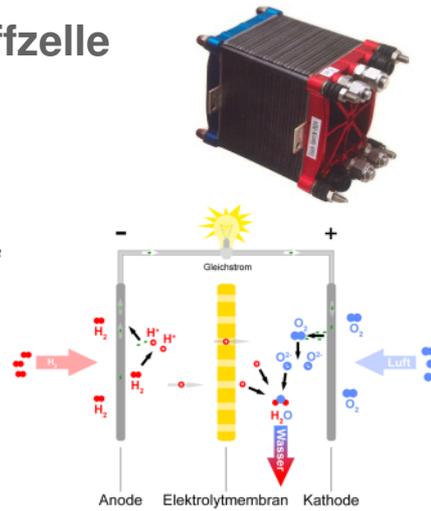
37



PEM-Brennstoffzelle



Bildquelle: G. Kickelbick, Chemie für Ingenieure



Bildquelle: www.wikipedia.de

Quelle: Energieträger der Zukunft, e-mobil BW GmbH

Prof. Pettinger

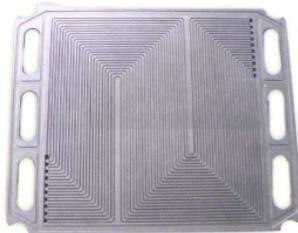
AuN Master WS 2014/2015

38



Techn. Aufbau PEM Brennstoffzelle

Herzstück ist die MEA, ein Verbund aus protonenleitender Membran und edelmetallbeimten Elektroden, daran angesetzt sind die Gasverteilungskanäle



Prof. Pettinger

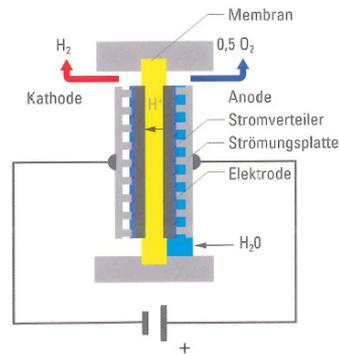


Abbildung 3.8: Vereinfachter Aufbau und Funktionsweise einer PEM-Elektrolysezelle. Eigene Darstellung nach [Smolinka 2008].

Quelle: Energieträger der Zukunft, e-mobil BW GmbH

AuN Master WS 2014/2015

39



Brennstoffzellentypen

Typ	Elektrolyt	Betriebstemperatur	Brennstoffe	Leistungsbereich (pro Modul)
AFC	Alkalisch	60 - 130°C	H ₂ (Wasserstoff)	< 20 kW
PEMFC	Polymerelektrolytmembran	60 - 90°C	H ₂ , gereinigtes Reformat	1 W - 250 kW
DMFC	Polymerelektrolytmembran	60 - 130°C	CH ₃ OH (Methanol)	< 500 W
HT-PEMFC	Phosphorsäure (in Nafion®- oder PBI-Membran)	120 - 180°C	Reformat	< 20 kW
PAFC	Phosphorsäure	120 - 220°C	H ₂ , Reformat	50 - 600 kW
MCFC	Karbonatschmelzen	600 - 700°C	Erdgas, Kohlegas, Biogas	MW-Bereich
SOFC	Oxidkeramik	750 - 1.000°C	Erdgas, Propan, Kohlegas, Biogas	1 W - 250 kW

Quelle: Energieträger der Zukunft, e-mobil BW GmbH

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

40

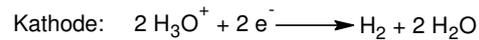


Elektrolyse von Wasser

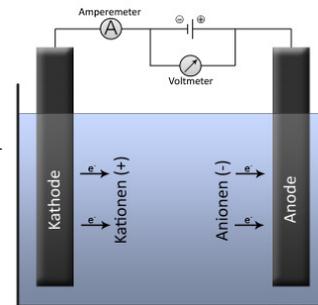
Kennzeichen:

Im Gegensatz zu den spontan ablaufenden elektrochemischen Reaktionen stellt die Elektrolyse einen Prozess dar, bei dem elektrische Energie dazu genutzt wird, eine nicht spontan ablaufende chemische Reaktion zu erzwingen.

Beispiel: Elektrolyse von Wasser:



Allgemeines Funktionsschema:



Quelle: www.wikipedia.de

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

41



Elektrolyse von Wasser

Möglichkeit zur Speicherung von elektrischem Strom in Form von chemischer Energie (Erzeugung von H_2). Besonders für Strom aus unsten erneuerbaren Energiequellen (Windenergie, Solarenergie) geeignet.

Wirkungsgrad: bis 90%, wegen Überspannung und Wärmeentwicklung
neue Katalysatoren in Entwicklung für höhere Ausbeute



MTU-Hochleistungselektrolyseur
an der H_2 -Tankstelle am Flughafen München:

Elektrische Anschlussleistung: 450 kW
Betriebsdruck: 30 bar
80 - 90% Wirkungsgrad
4,8 kWh Strom ergeben $1 \text{m}^3 \text{H}_2$ und $0,5 \text{m}^3 \text{O}_2$
→ $94 \text{m}^3 \text{H}_2/\text{Stunde}$
(entspricht $258,5 \text{kWh} \sim 25,8 \text{l Heizöl}$)

Bildquelle: <http://www.diebstoffzelle.de/h2projekte/mobil/images/elektrolyseur.jpg>

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

42



Elektrolyse von Wasser



Quelle: Energieträger der Zukunft, e-mobil BW GmbH

Abbildung 4.1: 111 kW atmosphärischer alkalischer Wasserelektrolyseur (links) und alkalische Druckelektrolyseanlagen nach dem Lurgi-Prinzip (rechts). Eigene Darstellung und ²⁰.

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

43



Elektrolyse von Wasser, Investitionskosten

Aufbau einer Wasserstoffherstellungsanlage am Aufstellungsort aus vorgefertigten Subsystemen

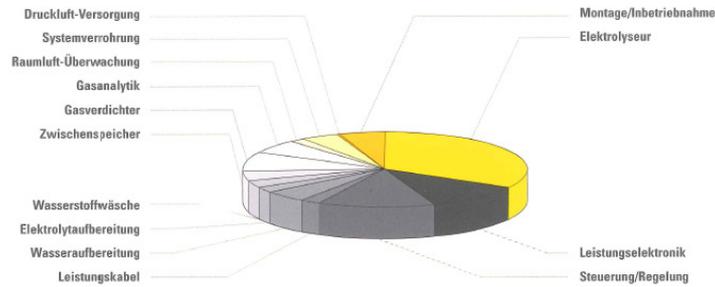


Abbildung 4.8: Kostenstruktur mit Vorfabrikation wichtiger Teilsysteme. Eigene Darstellung.

Quelle: Energieträger der Zukunft, e-mobil BW GmbH

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

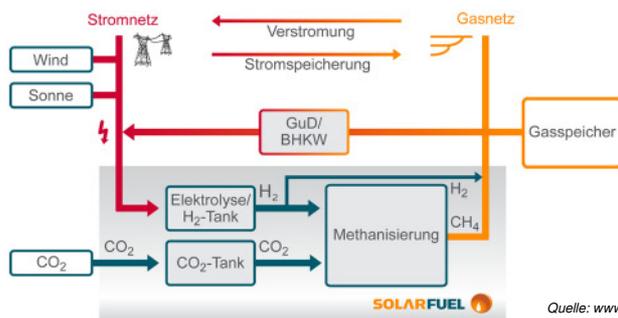
44



Methan aus Strom?

Das Solarfuel-Verfahren:

Prinzip: Herstellung von Methan (CH₄) aus Kohlendioxid und regenerativ erzeugtem Wasserstoff (Sabatier-Prozess)



Quelle: www.solar-fuel.net



Methan aus Strom?

24.12.18 31.04.2012 WIRTSCHAFT

Neue Speichertechnik soll bei Energiewende helfen

Solarstrom in normalen Autos nutzen – Weltweit größte Power-to-Gas-Anlage in Stuttgart eingeweiht

Stuttgart. (dpa) Die sogenannte Power-to-Gas-Technik soll in Deutschland den Weg zum Markt finden. Eine Technologie zur Umwandlung von Strom in Solarstrom soll in Stuttgart eingesetzt werden. „Es ist ein wichtiger Meilenstein“, erklärte das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW) am Dienstag.

Der süddeutschen Energie- und Umweltminister Franz Untersteiner (Grüne) sprach von einer „erfolgreichen Schritt zur Erhöhung der neuen Technik“. Durch die Methode bis zu 100.000 Kilowattstunden Strom zu speichern. Bei der Power-to-Gas-Anlage wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Der Wasserstoff wird anschließend in Methan umgewandelt und kann im Erdgasnetz gespeichert werden.

„Ingenieurarbeit, aber auch der Leiter der ZSW-Forschung für Windenergie und Energiesystemtechnik und stellvertretender Geschäftsführer, spricht der Technologie eine zentrale Rolle bei der Energiewende zu. Gerade im Winter und Winter gibt es Zeiten, wo weder Sonne noch Wind. „Was wäre“, sagte er, „dann? Lass sie sich wieder mit mini-großen Netzen nach und nach speichere.“

„Das geht nur noch mit chemischen Speichern“, sagte er. „Noch steckt die Technologie in den Kinderschuhen. Bisher gibt es nur Exportanlagen“.

Die Anlage ist mit einer Leistung von 200 Kilowatt nach einem Jahr. Die Anlage ist mit einer Leistung von 200 Kilowatt nach einem Jahr. Die Anlage ist mit einer Leistung von 200 Kilowatt nach einem Jahr.

In Power-to-Gas-Anlage wird mit Strom Wasser in seine Bestandteile zerlegt. Zusammen mit Kohlendioxid aus industriellen Anlagen wird daraus Methan, das als Erdgas in Haushalten oder Autos Einsatz findet und problemlos gespeichert werden kann.

Die Anlage ist mit einer Leistung von 200 Kilowatt nach einem Jahr. Die Anlage ist mit einer Leistung von 200 Kilowatt nach einem Jahr. Die Anlage ist mit einer Leistung von 200 Kilowatt nach einem Jahr.



Methan aus Strom?

Vorstufe für die industrielle Anwendung ist erreicht

ZSW nimmt weltweit größte Power-to-Gas-Anlage in Betrieb

Eine weitere Hürde auf dem Weg zur Marktfähigkeit der Power-to-Gas-Technologie ist überwunden: Am 30. Oktober 2012 hat das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) eine Forschungsanlage mit einer elektrischen Anschlussleistung von 250 Kilowatt eingeweiht.

Meldung vom 14.11.2011

Prof. Pottinger

AuN Master WS 2014/2015

47



Methan aus Strom?



© ZSW
Die SolarFuel GmbH aus Stuttgart entwickelt Power-to-Gas-Anlagen zur Speicherung von Ökostromüberschüssen in Wasserstoff und Methan. Das Gas wird in das bestehende Erdgasnetz eingespeichert und kann überall in Deutschland und jederzeit in effizienten BHKW zur Rückverstromung, in der Industrie oder in der Mobilität eingesetzt werden.

Stroms." Ein weiterer Vorteil für die Anwendung: Die Steuerungs- und Regelungstechnik entspricht der Technik künftiger industrieller Großanlagen.

Die vom Bundesumweltministerium geförderte Anlage wandelt Ökostrom in Wasserstoff und Methan um. Mit einer möglichen Methanproduktion von bis zu 300 Kubikmetern pro Tag ist sie die größte Anlage ihrer Art weltweit und zehnmal leistungsstärker als die drei Jahre zuvor am ZSW entstandene Versuchsanlage. Damit rücken die Wissenschaftler aus Stuttgart unmittelbar an die industrielle Anwendung der neuen Stromspeichertechnologie heran.

Während des Betriebs wollen die ZSW-Forscher mit ihren Kollegen vom Fraunhofer IWES und der Firma SolarFuel die Technologie weiter optimieren. Das Hochskalieren künftiger Power-to-Gas-Anlagen im erdgaswirtschaftlich relevanten Bereich von 1 bis 20 Megawatt soll dadurch erleichtert werden. Eine Bewertung des künftigen Speicherbedarfs ist ebenfalls Gegenstand der FuE-Arbeiten.

Die 250-Kilowatt-Anlage besteht aus einem alkalischen Druckelektrolyseur, einer Methanisierungseinheit sowie dem Prozessleitsystem für die Steuerung und Regelung. "Unsere Forschungsanlage arbeitet dynamisch und intermittierend. Im Gegensatz zur ersten Anlage kann sie flexibel auf das rasch wechselnde Stromangebot aus Wind und Sonne und auf plötzliche Unterbrechungen reagieren", erklärt Dr. Michael Specht, Leiter des ZSW-Fachgebiets Regenerative Energietechnik und Verfahren und einer der Väter der neuen Technologie. "Das ist eine Bedingung künftiger Energiesysteme mit einem hohen Anteil erneuerbaren

Der baden-württembergische Umweltminister Franz Untersteller lobt den Fortschritt in der Power-to-Gas-Technologie: "Um die Herausforderungen der Energiewende zu meistern, brauchen wir Innovation und neue Technologien. Dazu gehört bei einem stetig wachsenden Anteil erneuerbaren Stroms auch die Erforschung und Nutzung von Speichergas. Die 250-Kilowatt-Forschungsanlage ist ein erfolgreicher Schritt zur Etablierung der neuen Technik." Vor allem das Automobil-Land Baden-Württemberg könne künftig von Power-to-Gas profitieren, weil das Verfahren auch Alternativen für die künftige Mobilität biete, so Untersteller weiter.

Das nächste Kapitel der Power-to-Gas-Erfolgsgeschichte soll 2013 im niedersächsischen Verne aufgeschlagen werden. SolarFuel errichtet dort im Auftrag der Audi AG eine 6-Megawatt-Anlage, mit der die Stufe der industriellen Anwendung avisiert wird. Die Erfahrungen aus der 250er-Forschungsanlage des ZSW werden auch in das "e-gas-Projekt" des Ingolstädter Konzerns einfließen.

Der Ökostromanteil im deutschen Stromnetz wächst enorm. Das stellt das Energiesystem vor neue Aufgaben: Bei einem hohen Anteil von Wind- und Sonnenenergie schwankt die Strommenge je nach Wetterlage stark. Schon heute kann in manchen Regionen überschüssiger Ökostrom nicht mehr in das Stromnetz eingespeist werden. Zwischen 2020 und 2030 sind deutschlandweit in bestimmten Jahreszeiten überschüssige Stromleistungen im Gigawattbereich zu erwarten.

Ohne Langfristspeicher mit hohen Kapazitäten, die bis dahin aufgebaut werden müssen, können die künftigen Überschüsse dem Verbraucher für Zeiten ohne Wind und Sonne nicht zur Verfügung gestellt werden. Eine Speicherung über lange Zeit und mit großem Volumen bieten die chemischen Speichermedien Wasserstoff und Methan. Nur sie sind lange ohne Verluste lagerfähig und können in das große, gut ausgebaute deutsche Erdgasnetz eingespeist werden. Blockheizkraftwerke, Erdgasautos und die Industrie können das erneuerbare Gas nutzen.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an der Anlage werden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) finanziell gefördert (Förderkennzeichen 0325275A-C).

Meldung vom 14.11.2011

Prof. Pottinger

AuN Master WS 2014/2015

48



Speicherkapazitäten für Methan

Angabe in Mrd. m³

Gesamt: 62,7 Mrd. m³



Quelle: IGU 2006
Quelle: www.erdgas.ch

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

49



Flüssigkraftstoff Methanol aus Strom?

Das Siliconfire-Verfahren (www.siliconfire.com)

Prinzip: Herstellung von Methanol (CH₃OH) aus Kohlendioxid und regenerativ erzeugtem Wasserstoff



- Vorteile:**
- flüssiger Energieträger, gut dezentral lagerfähig
 - saubere Verbrennung in Ottomotor oder Direktmethanolbrennstoffzelle
 - hohe Energiedichte: 4,8 kWh/l (ca. 50% von Heizöl)
 - biologisch gut abbaubar
- Nachteile:**
- giftig

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

50

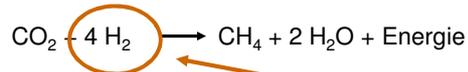


Methan oder Methanol aus Strom?

(ausgewählte Verfahren)

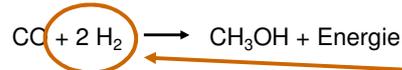
Das Solarfuel-Verfahren

Prinzip: Herstellung von Methan aus Kohlendioxid und regenerativ erzeugtem Wasserstoff (Sabatier-Prozeß)



Das Synthese-Gas-Verfahren:

Prinzip: Herstellung von Methanol aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff



Das Siliconfire-Verfahren

Prinzip: Herstellung von Methanol (CH_3OH) aus Kohlendioxid und regenerativ erzeugtem Wasserstoff



Verfahren
benötigen
Wasserstoff

H_2 ist die
energieintensive
Komponente

Prof. Pettinger

AuN Master WS 2014/2015

51



HOCHSCHULE LANDSHUT

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

Prof. Dr. Karl-Heinz Pettinger
Hochschule Landshut
Technologiezentrum Energie
Wiesenweg 1 · D-94099 Ruhstorf a. d. Rott

Tel.: +49 (0)8531 – 914044 0
Fax: +49 (0)8531 - 914044 90
karl-heinz.pettinger@haw-landshut.de
www.haw-landshut.de
www.tz-energie.de

