

Rio-Impuls Energie - Apéro

26. Februar 2008

Der Weg in eine nachhaltig gestaltete Energiezukunft

Ulf Bossel

Dipl. Ing. ETH
Ph.D. (UC Berkeley)

European Fuel Cell Forum

Morgenacherstrasse 2F
CH-5452 Oberrohrdorf / Schweiz
Tel.: +41-56-496-7292, Fax: - 4412
forum@efcf.com, www.efcf.com

Physik statt Wunschenken!

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Das bin ich:

Ulf Bossel

Dipl. Masch. Ing. ETH (1961)

Maschinenbau: Aerodynamik, Thermodynamik

Ph.D., University of California, Berkeley (1968)

Raumfahrt-aerodynamik, Molekularstrahlen

Assistant Professor, Syracuse University (1968-1970)

Mechanical and Aerospace Engineering

Gruppenleiter, DFVLR, Göttingen (1970-1986)

Freimolekulare Strömungen

Mitbegründer, Präsident der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (1975)

Gründer und Manager der SOLENTEC Gesellschaft für solare und

energiesparende Technologien mbH (1978)

Brennstoffzellen-Projektmanager, ABB Baden, Schweiz (1986-1990)

Manager der ABB Brennstoffzellen-Aktivitäten weltweit

Innovationsberater und Brennstoffzellen-Entwickler (seit 1990)

Siemens, Mitsubishi, Statoil, Eniricerche, EPRI, Novem

European Fuel Cell Forum (seit 1994)

Internationale Brennstoffzellen-Tagungen in Luzern

Europaforum für eine nachhaltige Energiezukunft im KKL (3. Juli 2007)

www.efcf.com

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Klima und Energie

Beim Verbrennen fossiler Brennstoffe entsteht CO₂

unabhängig von der verwendeten Technologie:

Heizkessel, Verbrennungsmotor, Gasturbine, offenes Feuer

CO₂-Menge hängt vom Kohlenstoffgehalt des Energieträgers ab:

Steinkohle: ca. 940 kg C / Tonne

Heizöl/Diesel: ca. 870 kg C / Tonne

Benzin: ca. 840 kg C / Tonne

Erdgas: ca. 740 kg C / Tonne

CO₂-Reduktion durch Abgaben auf den fossilen Kohlenstoff

Lenkungsabgaben auf den Kohlenstoffgehalt aller fossilen Energieträger
statt

Energiesteuer (auch auf Wasser- oder Windkraft),

CO₂-Steuer auf Kraftstoffe (auch auf Biofuels),

CO₂-Steuer auf Autos (CO₂ per 100 km)

Klimaproblem = Energieproblem

Physikalische Grundlage aller Energieüberlegungen

Erster Satz der Thermodynamik:

„Energie kann nicht erzeugt werden.

... weder durch Politiker, Parlamentsbeschlüsse, politische Parteien,
Bürgerinitiativen, Forschungsprogramme, Investitionen
noch durch Kraftwerke, Energieversorger oder Ölgesellschaften usw.

Man kann sie lediglich von einer in eine andere Form umwandeln.“

Zweiter Satz der Thermodynamik:

„Alle Energiewandlungen sind mit Energieverlusten verbunden.“

Politische Konsequenzen aus diesen physikalischen Grundgesetzen

**Politik kann keine Energie herbeizaubern!
Bitte aufhören mit falschen Versprechungen!**

Regierungen können aber Lösungswege aufzeigen, verordnen und fördern

Energieversorgung ist kein Grundrecht!
**Energieverbraucher muss seinen Energiehaushalt
an seine Möglichkeiten anpassen**

Energiesparen: Vermeidung von unnötigem Energieverbrauch

Energieeffizienz: Investitionen in energiesparende Geräte, Minergie usw.

Energiegewinnung: Solaranlagen, Beteiligung an Windkraftanlagen, usw.

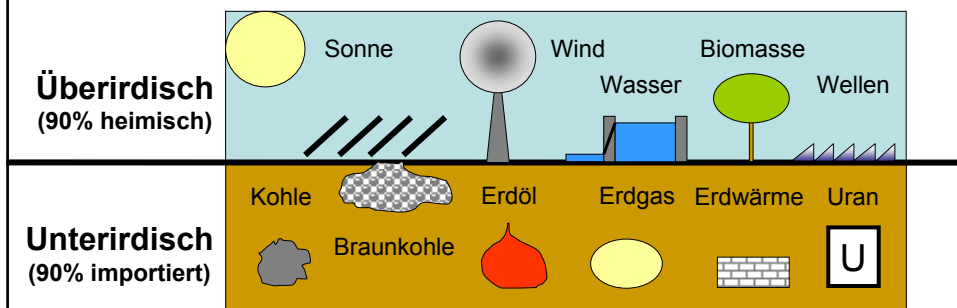
Jede Region muss die regionalen Energiequellen erschliessen

Akzeptanz von Anlagen zur Gewinnung von Umweltenergie

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Energetische Konsequenzen aus diesen physikalischen Grundgesetzen

Woher kommt die Energie?



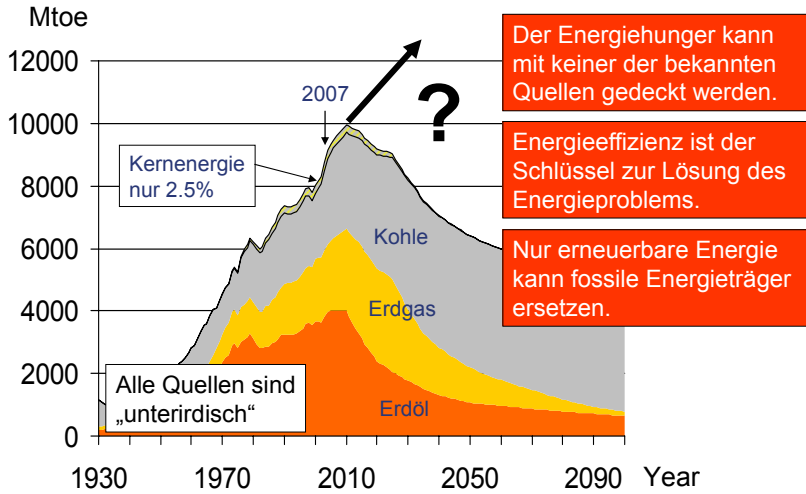
Aus physikalischen Gründen: „unterirdisch“ und „überirdisch“

**Unterirdisch: endlich, schmutzig, Energieaufwand für Gewinnung
Überirdisch: unendlich, sauber, keine Energieaufwand für Gewinnung**

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Primärenergie-Angebot weltweit

Daten der Internationalen Energieagentur IEA

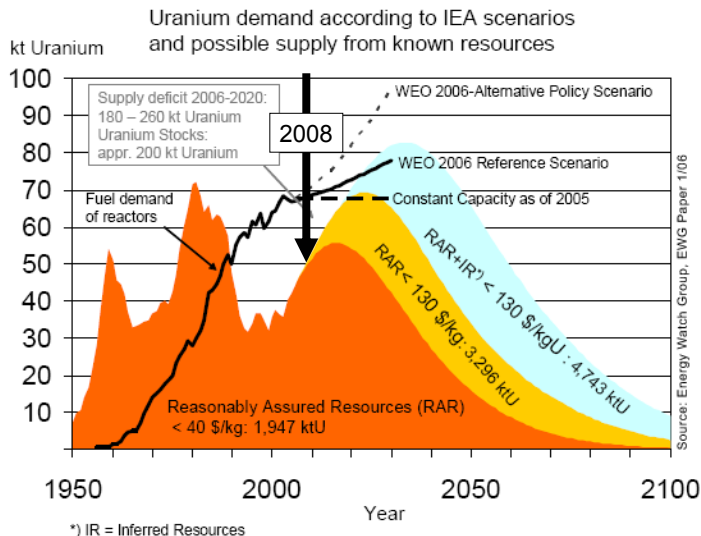


Datenquelle: Oil, Gas, Colin Campbell/ASPO 2005
Coal-, Nuclear Scenario, LBST 2005

Modifiziertes Original von Werner Zittel. LBST
SES-Präsentation, Zürich, 2. Juni 2006

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Uran (unterirdisch): Förderung und Verbrauch

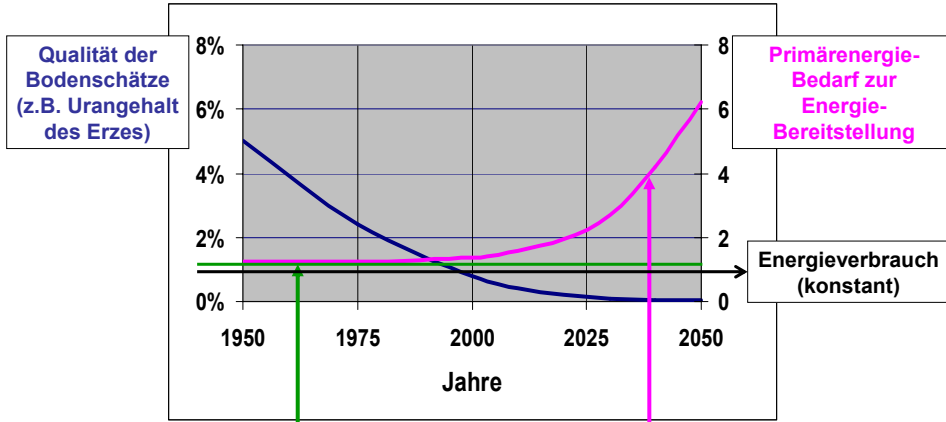


Energy Watch Group (EWG), "URANIUM RESOURCES AND NUCLEAR ENERGY"
Background paper prepared by the Energy Watch Group", Paper 1/06 [pdf, 500 kB]

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Energiebedarf für Energiebereitstellung

Infolge abnehmender Qualität der „unterirdischen“ Energiequellen steigt der Primärenergiebedarf auch bei konstantem Energieverbrauch!
(Dies ist eine physikalisch bedingte Entwicklung)



Überirdische Quellen:
gleich bleibender PE-Bedarf

Unterirdische Quellen:
exponentiell wachsender PE-Bedarf

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Wasserstoff?

Nachhaltige
Energie-
zukunft

???

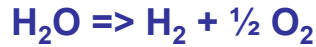
Sie betreten das
Wasserstoff-Land

Sie verlassen das
Erdöl-Land

“Erzeugung” von “Wasserstoff-Energie” (1)

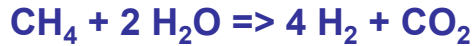
Atombilanz = Phänomen

H₂ von Wasser durch Elektrolyse



2 Wasserstoffatome = 2 Wasserstoffatome
1 Sauerstoffatom = 1 Sauerstoffatom

H₂ von Erdgas durch Reformierung



1 Kohlenstoffatom = 1 Kohlenstoffatom
8 Wasserstoffatome = 8 Wasserstoffatome
2 Sauerstoffatome = 2 Sauerstoffatome

Einfache Gleichungen, bekannte Elemente H, O und C
Wasserstoff-Befürworter sind zufrieden
Politiker können diesen Gleichungen folgen und starten Wasserstoffprogramme

Ulf Bossel – 080226 Luzern

“Erzeugung” von “Wasserstoff-Energie” (2)

Massenbilanz = R&D

H₂ von Wasser durch Elektrolyse



9 kg H₂O = 1 kg H₂ + 8 kg O₂

H₂ von Erdgas durch Reformierung



2 kg CH₄ + 4.5 kg H₂O = 1 kg H₂ + 5.5 kg CO₂

1 kg Wasserstoff ersetzt etwa 4 Liter Benzin

Verfügbarkeit von sauberem Wasser begrenzt Wasserstoffherzeugung.
Handhabung und Transport von Wasser, Wasserstoff, Erdgas nicht trivial.
CO₂-Abscheidung und Verklappung nicht machbar!

Ulf Bossel – 080226 Luzern

“Erzeugung” von “Wasserstoff-Energie” (3)

Energiebilanz = Problemlösung

H₂ von Wasser durch Elektrolyse



elektrische Energie = chemische Wasserstoff-Energie

Realität: 1.3 kWh Energiezufuhr = 1 kWh H₂-Energie + 0.3 kWh Verluste

H₂ von Erdgas durch Reformierung



chemische Methan-Energie + Wärme = chemische Wasserstoff-Energie

Realität: 1.2 kWh Energiezufuhr = 1 kWh H₂-Energie + 0.2 kWh Verluste

Plus 60% für Verpackung und Verteilung von Wasserstoff

Woher kommt die Energie zur Erzeugung und Verteilung von Wasserstoff?
Wir müssen ein **Energieproblem**, kein **Chemieproblem** lösen!

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Fakten zum Wasserstoff

Wasserstoff ist keine neue Energiequelle, sondern nur ein anderer Energieträger
1 kg Wasserstoff hat den Energieinhalt von etwa 4 Litern Benzin

In der Natur gibt es Wasserstoff nur in chemischen Verbindungen.
Mit Hilfe von Energie wird Wasserstoff aus diesen Verbindungen „befreit“

Der Energiegehalt von Wasserstoff ist immer kleiner als die „Befreiungsenergie“

Energieaufwand für Verpackung und Transport erheblich
Kompression auf 350 bar: 12%, Verflüssigung bei minus 253°C: 40%

Wasserbedarf erheblich. Zur Gewinnung von 1 kg Wasserstoff werden benötigt:

Elektrolyse:	9.0 kg H ₂ O + 65 kWh Strom
mit Erdgas:	4.5 kg H ₂ O + 2 kg CH ₄ + Wärme (es entstehen 5.5 kg CO ₂)
mit Biomasse:	6.0 kg H ₂ O + 2,33 kg CH ₂ + Wärme (es entstehen 7.33 kg CO ₂)

Speicherdichte von Wasserstoff (wegen dessen geringer Dichte) zu niedrig

Gasförmig:	Gleiches Volumen, gleicher Druck: CH ₄ : H ₂ = 3.5 : 1
Flüssig:	Gleiches Volumen: Holzpellets : H ₂ = 1.2 : 1

Wasserstoff ist ein unpraktischer Energieträger

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Dimension des Energieproblems

Frankfurter Flughafen (2004)

520 Starts pro Tag, 50 Jumbo Jets (Boeing 747)

50 Jumbo Jets pro Tag

jeder betankt mit

50 t Flüssig-Wasserstoff (statt heute 130 t Flugbenzin)

2,500 t LH₂ oder 36,000 m³ LH₂/Tag

Benötigen 22,500 m³ Wasser pro Tag plus

**kontinuierliche Stromproduktion von acht 1 GW Kraftwerken
für Elektrolyse, Verflüssigung, Transport und Umfüllung von LH₂!**

Für die Betankung aller Flugzeuge mit LH₂ wird benötigt:

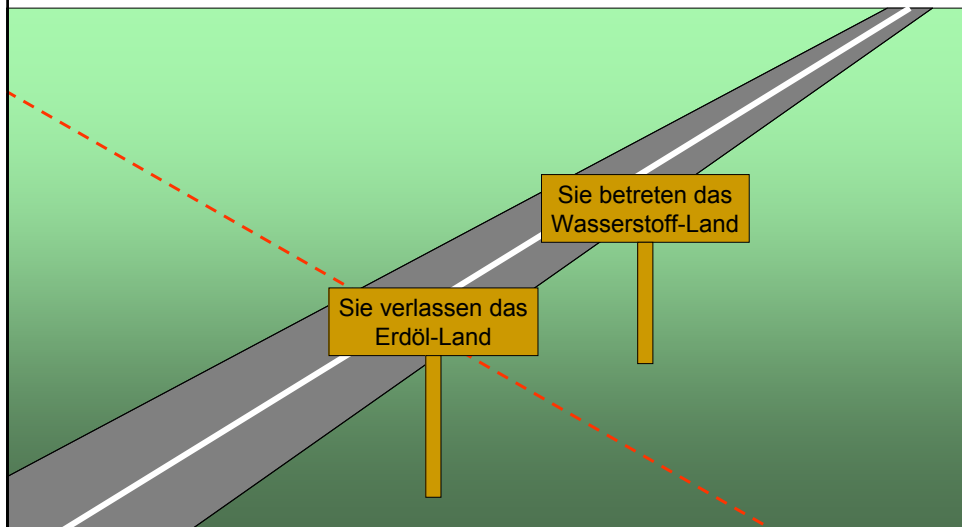
Gesamte Wasserverbrauch der Stadt Frankfurt plus

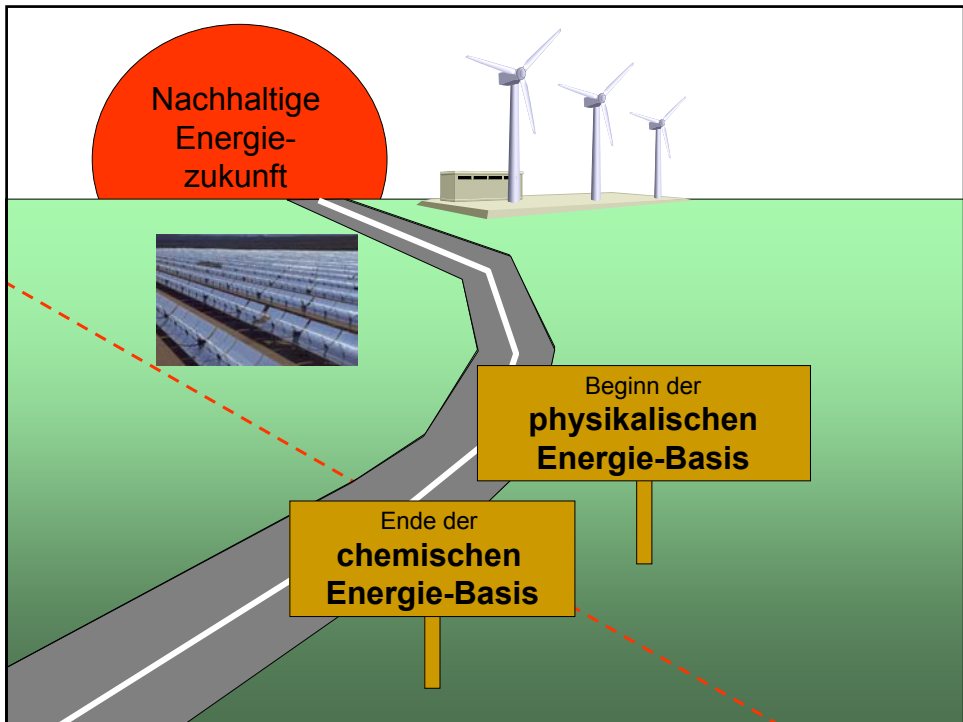
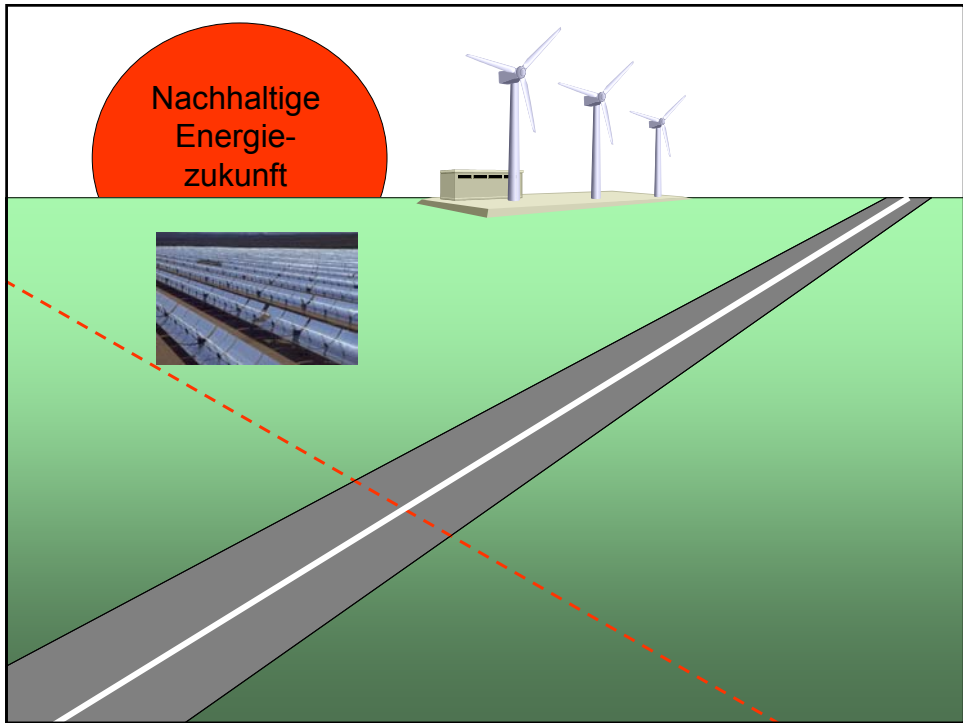
Dauerleistung von mindestens 25 Kernkraftwerken!

Wasserstoff löst keine Energieprobleme

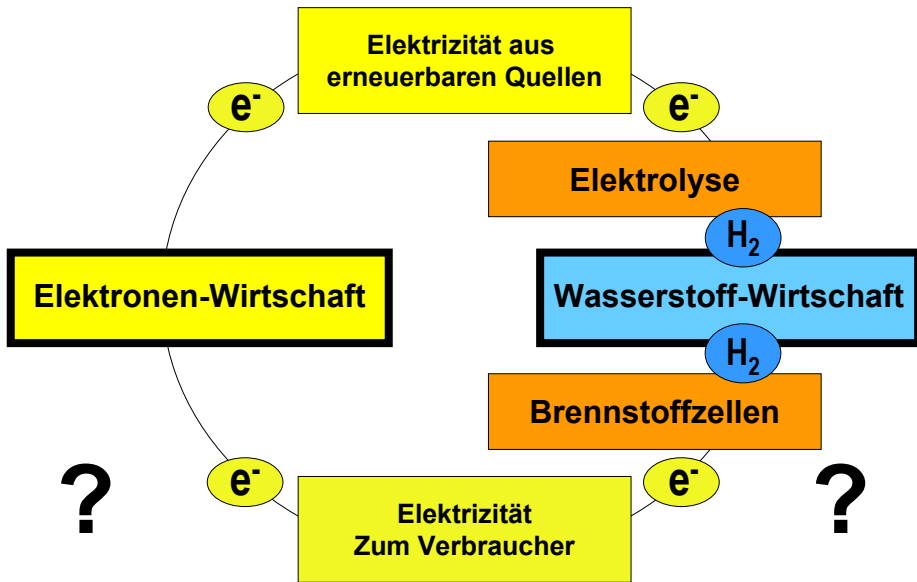
Ulf Bossel – 080226 Luzern

**Primärenergiebedarf wächst weiter
mehr Kohle (solange Vorrat reicht) und CO₂
mehr Kernenergie und radioaktive Abfälle
Vergeudung von Zeit, Geist und Geld
Globale Katastrophe vorprogrammiert**





“Erneuerbarer” Strom zum Verbraucher

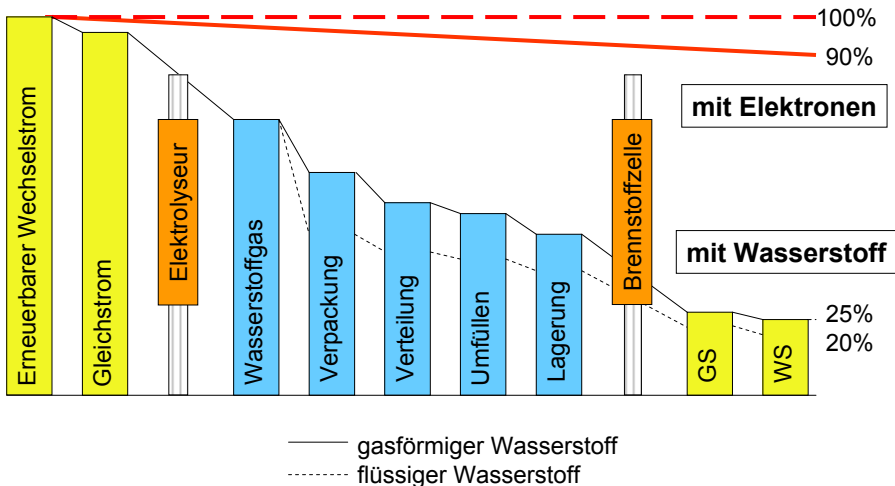


Ulf Bossel – 080226 Luzern

Elektrizitäts-Transport

Erneuerbare Energiequellen

Verbraucher



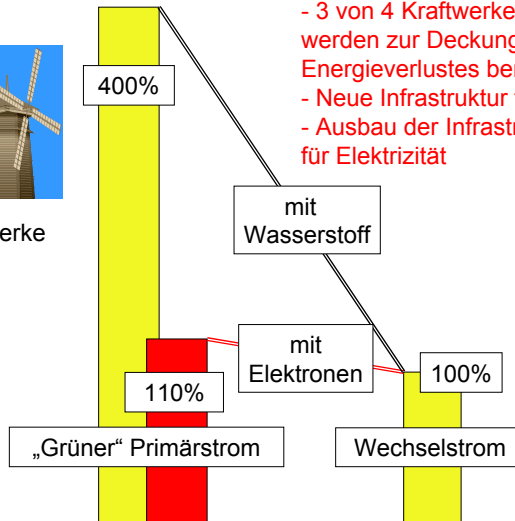
Ulf Bossel – 080226 Luzern

Kraftwerksbedarf

für Energietransport mit Elektronen oder Wasserstoff



Wesentlich mehr Kraftwerke für Energietransport mit Wasserstoff



- 3 von 4 Kraftwerken werden zur Deckung der Energieverlustes benötigt.
- Neue Infrastruktur für H₂
- Ausbau der Infrastruktur für Elektrizität

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Wasserstoffwirtschaft

Eine freie Wasserstoffwirtschaft wird es nie geben!

- Wasserstoff muss immer aus anderen oder mit Hilfe anderer Energieträger erzeugt werden, mit denen der Energiebedarf auch direkt gut befriedigt werden könnte.
- Wegen der hohen Verluste und des grossen Energiebedarfs einer Wasserstoffwirtschaft ist die Originalenergie immer wesentlich billiger als die daraus erzeugte „Wasserstoff-Energie“.
- Wer wird also seinen Strom mit Brennstoffzellen aus Wasserstoff erzeugen, wenn der direkt gelieferte Strom wesentlich billiger ist?
- Wer wird in eine Wasserstoff-Infrastruktur investieren, wenn aus Kostengründen Batterie-Elektroautos und keine Brennstoffzellenautos gekauft und gefahren werden?

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Lösung des Energieproblems:

1. Herausforderung

Deckung von Angebot und Nachfrage mit physikalischer Energie

Mit Ausnahme von Essen und Trinken

brauchen Menschen physikalische Energie

Transport, Heizen, Kühlen, Kochen, Kommunikation, Beleuchtung
Industrielle Prozesse usw.

Mit Ausnahme von Biomasse

liefert die Natur physikalische Energie

Kinetische Energie (Wind, Wasser, Wellen)
Solarstrahlung, Geothermie

**Die Herausforderung ist ein direkter Transfer
physikalischer Energie von der Quelle zur Nutzung**

Lösung des Energieproblems:

2. Randbedingungen

**Schaffung einer nachhaltig organisierten
Energie-Zukunft erfordert einschneidende Massnahmen**

Aber nur zwei Bedingungen müssen erfüllt werden:

1. Nachhaltigkeit

Energiequellen, Energienutzung, Energiemüll

2. Effizienz

Gewinnung, Verteilung, Speicherung, Verwendung

**Weitere Forderungen (z.B. Wirtschaftlichkeit zum heutigen Zeitpunkt)
führen zu überbestimmten Gleichungen:**

Jeder kann die ihm genehme Lösung wählen!

Lösung des Energieproblems:

3. Nachhaltige Energiequellen

Unterirdische Energiequellen wie Erdöl, Erdgas, Kohle oder Kernenergie können nicht nachhaltig genutzt werden

Nachhaltig Nutzung der überirdischen Energiequellen:

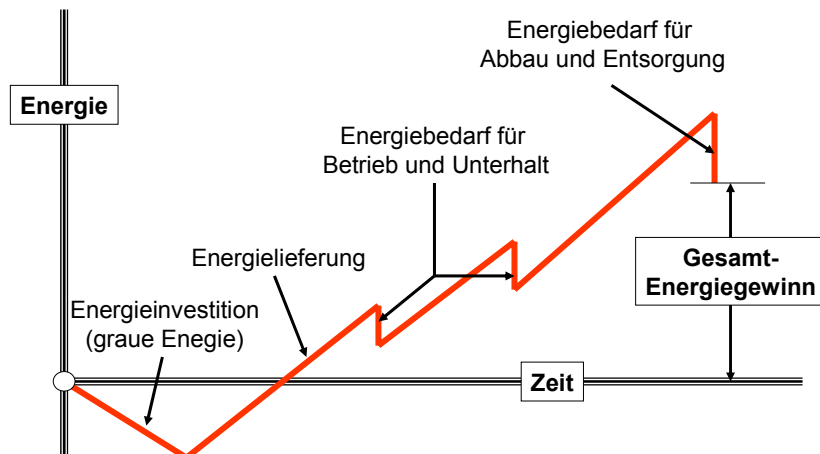
Sonnenenergie	Photovoltaik	= - Elektrizität
	Photothermie	≈ - Elektrizität , Warmwasser, Heizung usw.
Windenergie		≈ - Elektrizität
Wasserkraft		≈ - Elektrizität
Meeresenergie	Wellen, Tidenhub	≈ - Elektrizität
Geothermie	Wärme	≈ - Elektrizität , Warmwasser, Heizung usw.
Biomasse, organische Abfälle	Wärme	≈ - Elektrizität , Warmwasser, Heizung usw.
		Wärme, Biogas, synthetische Kraftstoffe
		≈ - Elektrizität , Warmwasser, Heizung usw.

Überirdische Energie vorwiegend als Elektrizität geerntet

Nachhaltige Energiewirtschaft => „Elektronenwirtschaft“

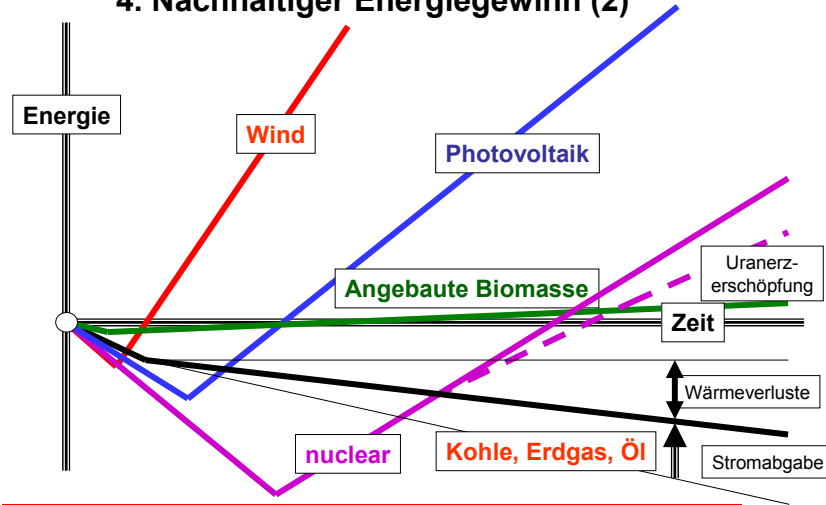
Lösung des Energieproblems:

4. Nachhaltiger Energiegewinn (1)



Energieprobleme können nur mit Energietechnologien gelöst werden, die eine positive Gesamtbilanz aufweisen.

Lösung des Energieproblems: 4. Nachhaltiger Energiegewinn (2)



Wichtigste Energiequellen für eine nachhaltige Zukunft: Wind und Sonne.

Ulf Bossel – 080226 Luzern

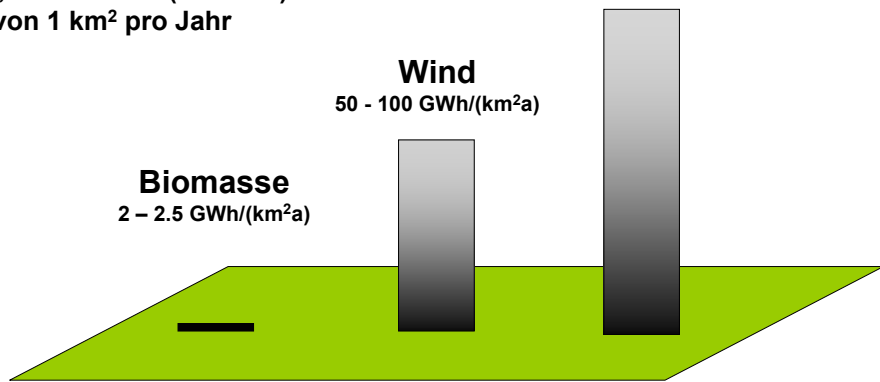
Überirdische Energie = Landnutzung Aber wie?

Auch Landfläche ist knapp!
„Stromernte“ (220 Volt)
von 1 km² pro Jahr

Photovoltaik
170 – 300 GWh/(km²a)

Wind
50 - 100 GWh/(km²a)

Biomasse
2 – 2.5 GWh/(km²a)



PV und Wind bringen viel mehr als Biomasse

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Nachhaltige Energielösungen

Ziel: Besser leben mit weniger Energie

Das Energieproblem kann nicht gelöst werden durch
Manipulation fossiler Energieträger
(z.B. Wasserstoff aus Erdgas, CO₂-freie Kohlekraftwerke)

Effizienz erfordert physikalische Energieträger
(kompatibel mit Energie aus erneuerbaren Quellen)

**Gleiche Energiedienstleistungen mit
wesentlich weniger Energie:**

mit nur 15%
(Gebäude)

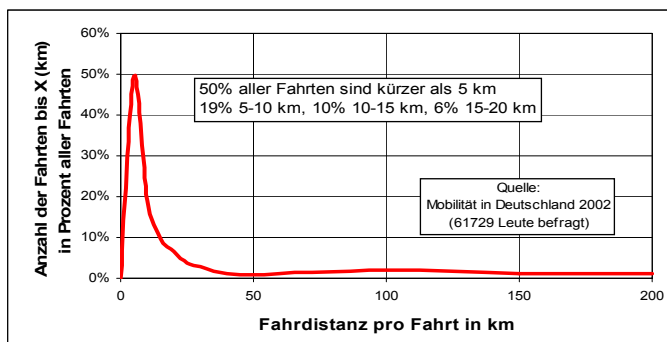
mit nur 30%
(Industrie)

mit nur 30%
(Transport)

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Transportsektor

Optimale Lösungen für tatsächlichen Transportbedarf



65% des gesamten Benzinverbrauchs für Fahrten unter 50 km

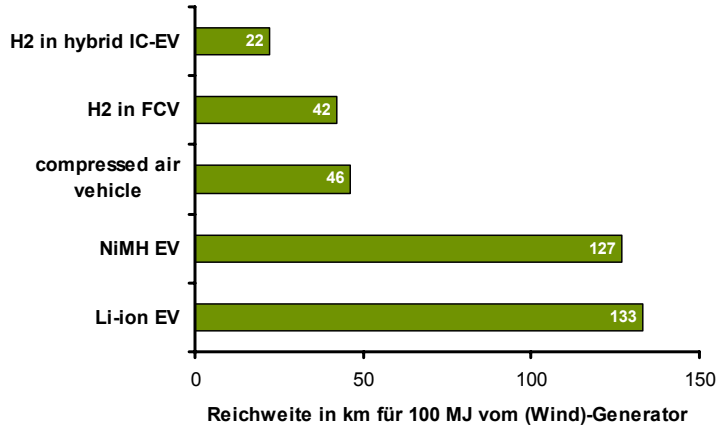
Lösungen gesucht für Nahverkehr, nicht für Ferienreisen!

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Ulf Bossel 2004

Transport mit 100 MJ oder 28 kWh Strom

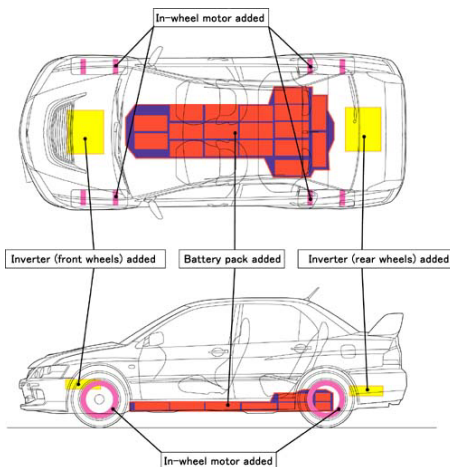
Wind-to-Wheel Energy Assessment
 von Patrick Mazza und Roel Hammerschlag
 (Lucerne Fuel Cell Forum 2005, berichtigt)



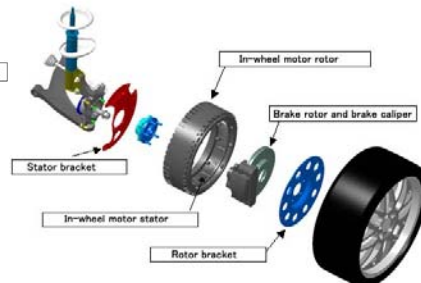
Ulf Bossel – 080226 Luzern

Elektro-Mobile vor der Einführung

Mitsubishi Lancer Evolution MIEV:



Länge	4490 mm
Breite	1770 mm
Leergewicht	1590 kg (+ 80 kg)
Sitzplätze	5
Leistung	4 x 50 = 200 kW
Höchstgeschwindigkeit	180 km/h
Reichweite: 2006 (2010)	250 km (500 km)
Lithium-Ionen Batterie	90Ah at 14.8 V
Anzahl Batterien	24
Gespeicherte Energie	32 kWh
Benzin-Äquivalent	3 Liters
äquivalenter Verbrauch	1.2 L/100 km



Quelle: Mitsubishi Corporate Press. Pressemitteilung vom 24. August 2005

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Nachhaltige Lösungen für den Transportbereich

Effiziente Elektrofahrzeuge oder "Plug-in Hybrids" für lokale Fahrten
(**"Wind-Rad"-Effizienz 70%**)

Kein Notwendigkeit für Wasserstoff-Luxus mit Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen
(**"Wind-Rad"-Effizienz 20%**)

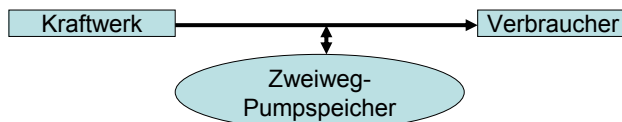
Langstrecken- und Schwerverkehr zu Land, Wasser und Luft mit "dem letzten Tropfen" Öl oder Biokraftstoffen
(**Batterie und Wasserstoff gleichermassen ungeeignet**)

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Benötigen Stromspeicher

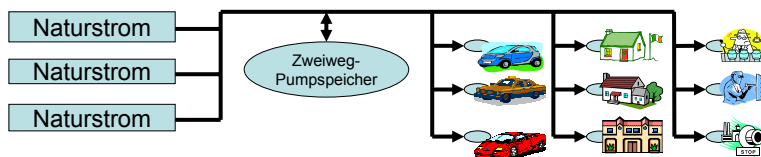
Heute:

Zweiweg-Speicher: Wenige Gross-Speicher gekoppelt mit Kraftwerken



Zukunft:

Einweg-Speicher: Ergänzung der zentralen Zweiweg-Speicher durch Energiespeicherung in der Form der späteren Nutzung



In einer nachhaltige gestalteten Zukunft: viele „Einweg-Speicher“ ohne Rückspeisung ins Netz und einige grosse „Zweiweg-Speicher“

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Keine Frage des Geldes

**Krieg im Irak: Kosten 2005 bereits 300 Milliarden US\$.
Wie viel Windkraft hätte man damit schaffen können?**

Annahmen:

1 Mio\$/MW_{Spitze} or 3 Mio\$ per MW_{Dauer} für moderne Windkraftanlagen
2 Mio\$ /MW_{Dauer} von privaten Investoren
1 Mio\$/MW_{Dauer} Zuschuss von der Regierung

**1 Million \$ Zuschuss schafft 1 MW Dauerleistung.
300 Milliarden \$ schaffen 300 GW Dauerleistung.**

**Mit dem erzeugten Strom (2.6×10^{15} Wh) könnte man jährlich
260 Million Mittelklasse-Elektrofahrzeuge je 30,000 km weit fahren.**

Für immer!

**Platzbedarf: nur 0.65% der Landfläche der Vereinigten Staaten
Landwirtschaft und Viehzucht unter den Windkraftanlagen weiterhin möglich**

Ulf Bossel – 080226 Luzern

Erkenntnisse

**Lösung des Klimaproblems verlangt sofortige
Umsetzung einer nachhaltig orientierten Energiepolitik**

nachhaltig = erneuerbar und effizient

**Sofortiger Einsatz bewährter Energietechnik hier
(Wind, Solar, Kompogas, Wasserkraft usw.)**

**Schluss mit Spekulation auf unausgereifte „Patentlösungen“
(Kernfusion, neue Reaktorlinien, Tiefengeothermie, CO₂-Abscheidung,
Solarchemie, Solarkraftwerke in Afrika, neue Energieträger usw.)**

**Brauchen politische Entscheidungen mit Weitblick
z.B. Einspeisevergütungen zur Schaffung stabiler Märkte
("alle Optionen offen halten" ist keine Energiepolitik)**

Ulf Bossel – 080226 Luzern