

# Das Potenzial der Innovationen im Energiesektor

Forschung für eine nachhaltige Lösung der grossen Zukunftsprobleme

nuclea08, 6. November 2008

Prof. Dr. Ralph Eichler, Präsident ETH Zürich



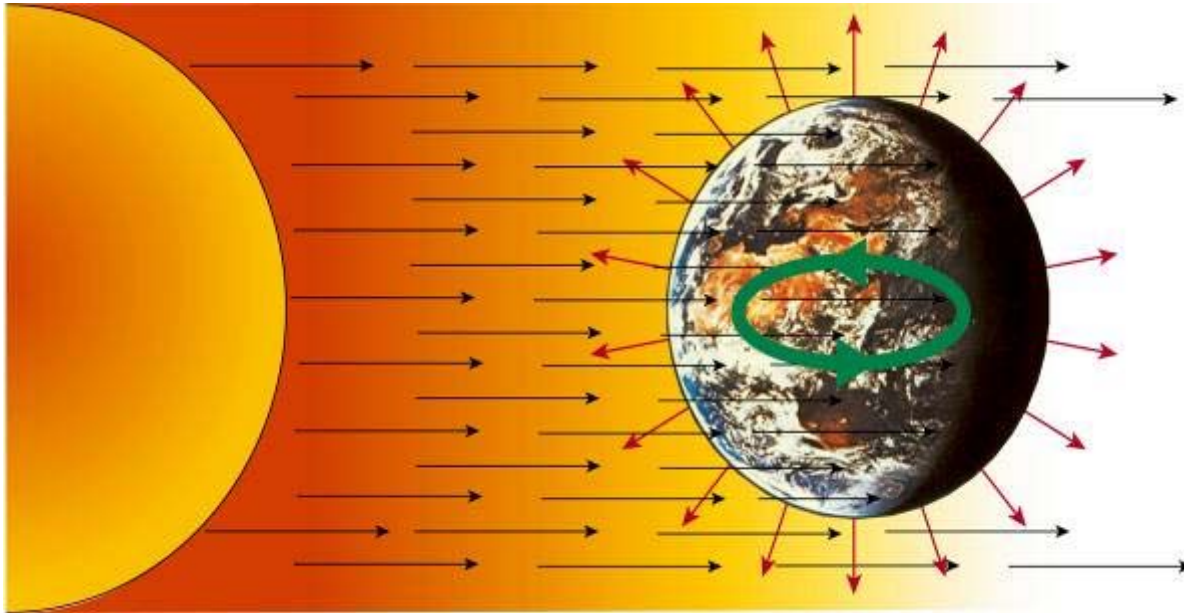
# Zur Einleitung ein paar klärende Worte

- Mit Slogans lässt sich das Klima- und Energieproblem nicht lösen; es ist viel zu komplex und erfordert differenzierte Betrachtungsweisen.
- Die ETH Zürich ist an umfassenden und nachhaltigen Lösungen interessiert. Dafür setzt sie ihre vielseitigen Kompetenzen in interdisziplinären Teams ein.
- Die 2000-Watt-Gesellschaft und die 1-Tonne-CO<sub>2</sub>-Gesellschaft sind als Metaphern aufzufassen und in den nächsten Jahrzehnten keine gegensätzlichen Pfade, langfristig haben sie jedoch einen andern Fokus.

# Inhalt des Referats

- Energie und Materialflüsse – die Problemverursacher
- Ziele und Bedürfnisse in Energiefragen – die globale Dimension
- Potenziale von Energieträgern – auch eine Kostenfrage
- Forschungsbeispiel “Effizientere Schiffsmotoren für die Weltmeere”
- Neuere Schweizer Projekte zur Entkarbonisierung der Mobilität
- Elektrizität als Rückgrat des zukünftigen Energiesystems
- Vorausschauende Kernenergieforschung
- Eindämmung des Klimawandels mit Ziel: 1 t CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr
- Eckpfeiler der 3E-Strategie der ETH Zürich
- Umweltverträgliches Handeln an der ETH – in Gebäuden und beim Transport
- Ausblick: die Vision eines nachhaltigen Energieflusses

# Energie und Materialflüsse



Der Energieverbrauch auf der Erde ist nur ein Bruchteil der Sonneneinstrahlung ( $10^{-4}$ ) und stört daher nicht die globale Energiebalance.

Die **Materialflüsse** verursachen die folgenden Probleme:

- ⇒ Abbau von nicht erneuerbaren Energieträgern
- ⇒ Emission von Treibhaus-Gasen
- ⇒ Ausstoss und Lagerung von Abfall

# Ziele und Bedürfnisse in Energiefragen weltweit

- Sicherstellung einer ausreichenden und bezahlbaren Energieversorgung
- Verringerung der Auslandabhängigkeit
- Reduktion von Treibhausgasen wegen Weltklima; CO<sub>2</sub> bei 500 ppm stabilisieren (IPCC)
- Bedarf an ausgebildeten Ingenieuren sowohl mit Hochschul- als auch Fachhochschulabschluss decken
- Erneuerung der Energieinfrastruktur in den Industrienationen (z.T. 50 Jahre alt) und Aufbau derselben in den Schwellenländern

Die Zeitkonstanten der Erneuerungen sind gross.  
Der Markt spielt eine zu langsame Rolle!

# Lebenszyklen für energierelevante Technologien und Infrastrukturen

Jahre (Grössenordnung)

Kraftwerke		Fahrzeuge		Benzin und Strasseninfrastruktur	Heizungen		Gebäude
fossil	40	Autos	10	50-100	Brenner	15	Renovation
nuklear	60	Schiffe	30		Wärmepumpen	25	Neubauten
Wasser	100	LKWs	20				

Lebensdauer von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre: ~100-150 Jahre!

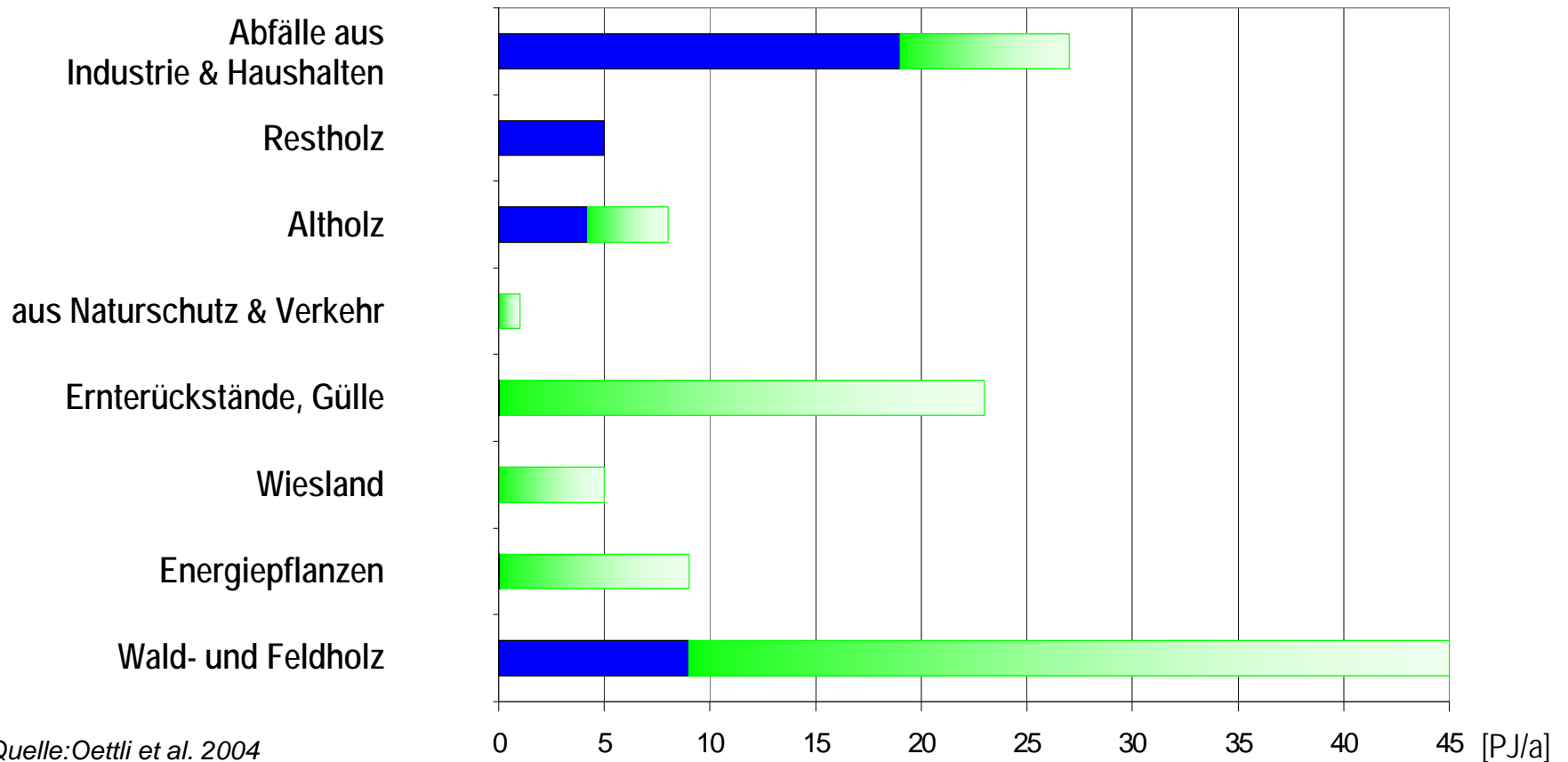
# Potenzialbegriffe

- **Theoretisches Potenzial:** das gesamte physikalische Angebot eines erneuerbaren Energieträgers im betrachteten Untersuchungsgebiet.
- **Technisches Potenzial:** beschreibt den Anteil des theoretischen Potenzials, der unter gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist.
- **Ökologisches Potenzial:** keine irreversible Beeinträchtigung des Lebensraumes.
- **Wirtschaftliches Potenzial:** die Gesamtkosten liegen (mittelfristig) in der Bandbreite konkurrierender Systeme. Systemzusammenhänge zwischen Energieverbrauch, Arbeitsplätzen, Kaufkraft/Wohlstand beachten.
- **Optimistisch-realistisches Potenzial:** geschätzte realisierbare Potenziale.

# Potenzial Biomasse, 2040

■ heute genutzt: 38 PJ/a  
■ zusätzliches ökolog. Potenzial: 59 - 88 PJ/a

} Insgesamt: 97 – 126 PJ/a Primärenergie

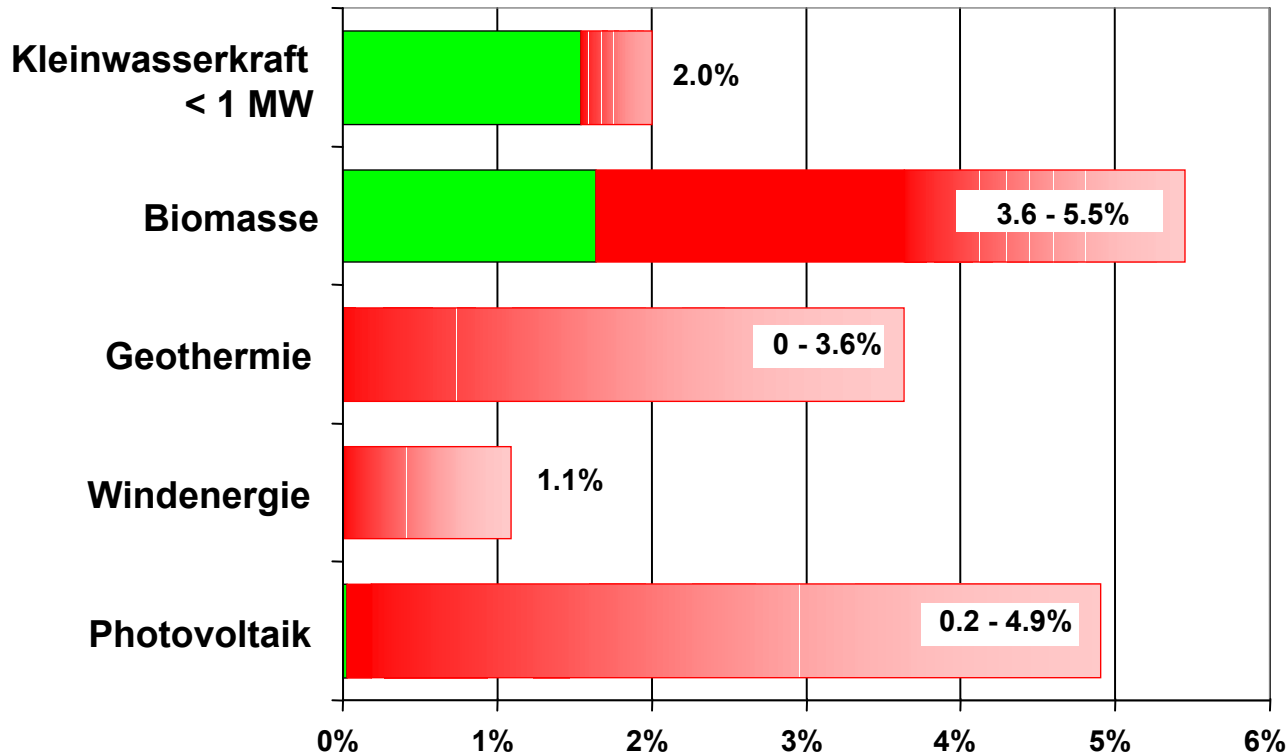


Quelle: Oetli et al. 2004

# Strom aus Neuen Erneuerbaren: Potenzial & Kosten

Anteil am Gesamtstromverbrauch

■ 2004  
■ 2035



Kosten [Rp./kWh]

2000	2035
5-25	4-20
20-40	10-30
Keine Anlage in Betrieb	7-15
12-25	12-15
50-90	22-42

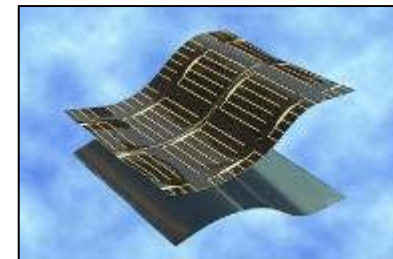
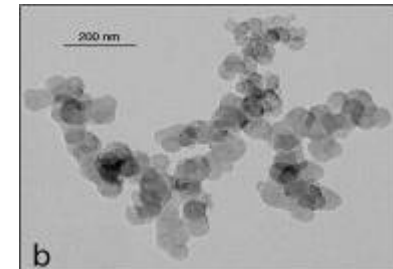
PSI-GaBE/BFE Energieperspektiven; Hirschberg et al. 2005

# Zusammenfassung (Neue Erneuerbare)

- Heutiger Beitrag von Neuen Erneuerbaren zur Stromproduktion der Schweiz liegt auf einem bescheidenen Niveau von 1,4 % (ohne Kleinwasserkraft).
- Entwicklungsgrad der einzelnen Optionen ist sehr verschieden:
  - **Kleinwasserkraft** und **Holz-WKK** sind ausgereifte Technologien.
  - **Windkraft** ist technologisch etabliert – Potenzial für Verbesserungen vorhanden.
  - **Alternative Biomasse, PV, Solar- und Geothermie** sind aufkommende Technologien, die ein deutliches Verbesserungspotenzial aufweisen.
- Technische Potenziale für KWK, Wind und Biomasse in CH sind relativ robust. Zukünftige (2030) Kosten im Bereich von 4 - 20 Rp. / kWh für KWK, 12 - 15 Rp. / kWh für Wind und 10 - 30 Rp. / kWh für Biomasse.
- Zukünftige Verfügbarkeit von Windstromimporten ist fraglich.

# Energie und Klima: Die Energieträger

- CO<sub>2</sub>-freie oder CO<sub>2</sub>-neutrale Treibstoffe (Biogas, solarer Wasserstoff)
- CO<sub>2</sub>-freier Strom (Wasser, Nuklear, Solar, Wind)
- Reduktion von Luftschadstoffen (Aerosole, Feinstaub ...)
- Steigerung des Wirkungsgrads bei Energieumwandlungen und Kostensenkungen (Dünnschichtsolarzellen ...)

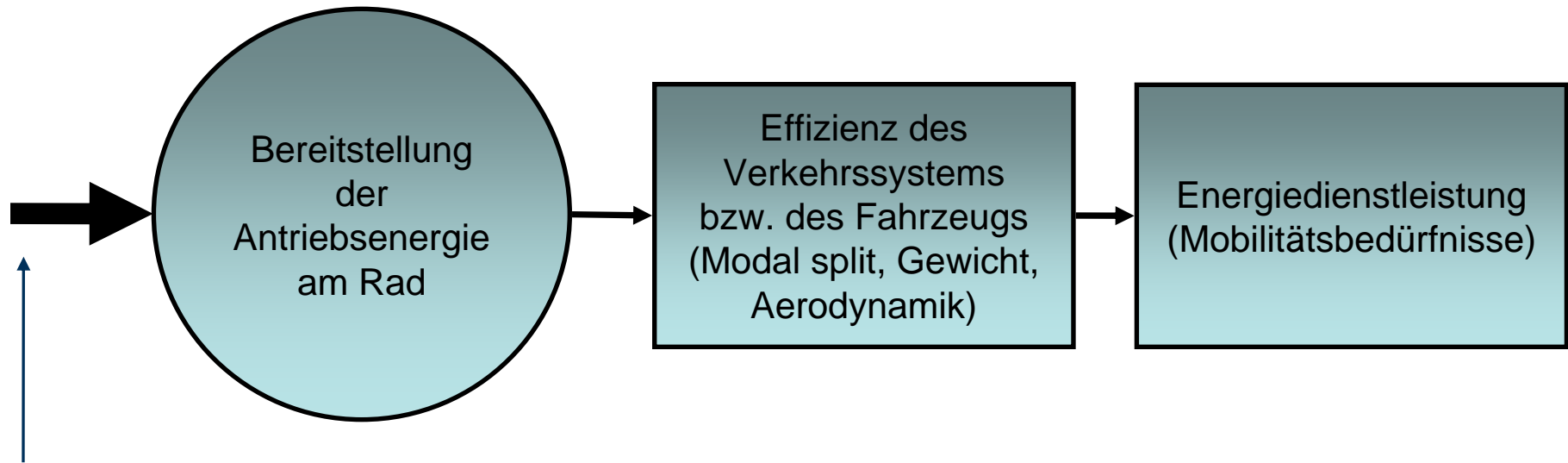


# Energie und Klima: Mobilität, Gebäude, Materialien

- Fahrzeuge für eine **nachhaltige Mobilität** (reduzierter Treibstoffverbrauch, Brennstoffzellen, Batterien, Leichtbauweise, elektronische Steuerung ...)
- Technologie für **Zukunftsstädte** (Gebäudetechnik, (Heizung / Kühlung), Verkehrs- und Raumplanung, Erholungsgebiete ...)
- Verbindende Elemente (Materialien, intelligente Elektronik und Informationstechnologien...)



# Entkarbonisierung der individuellen Mobilität



Langfristig der richtige Weg: vom herkömmlichen (Hybrid-)Motor über „Plug-In“-Hybride zum vollelektrischen Fahrzeug

Welche Energiequelle gewinnt: Brennstoffzelle oder Batterie?

Um 400 km weit mit gleichmässig 100 km/h zu fahren, braucht ein Leichtwagen  
 $25 \text{ kW} \text{ mal } 4 \text{ h} = 100 \text{ kWh}$ .

Um diese in 6 Minuten aufzuladen (tanken), braucht es 1 MW Anschlussleistung.

# Brennstoffzellenauto Hy-Light (2004)

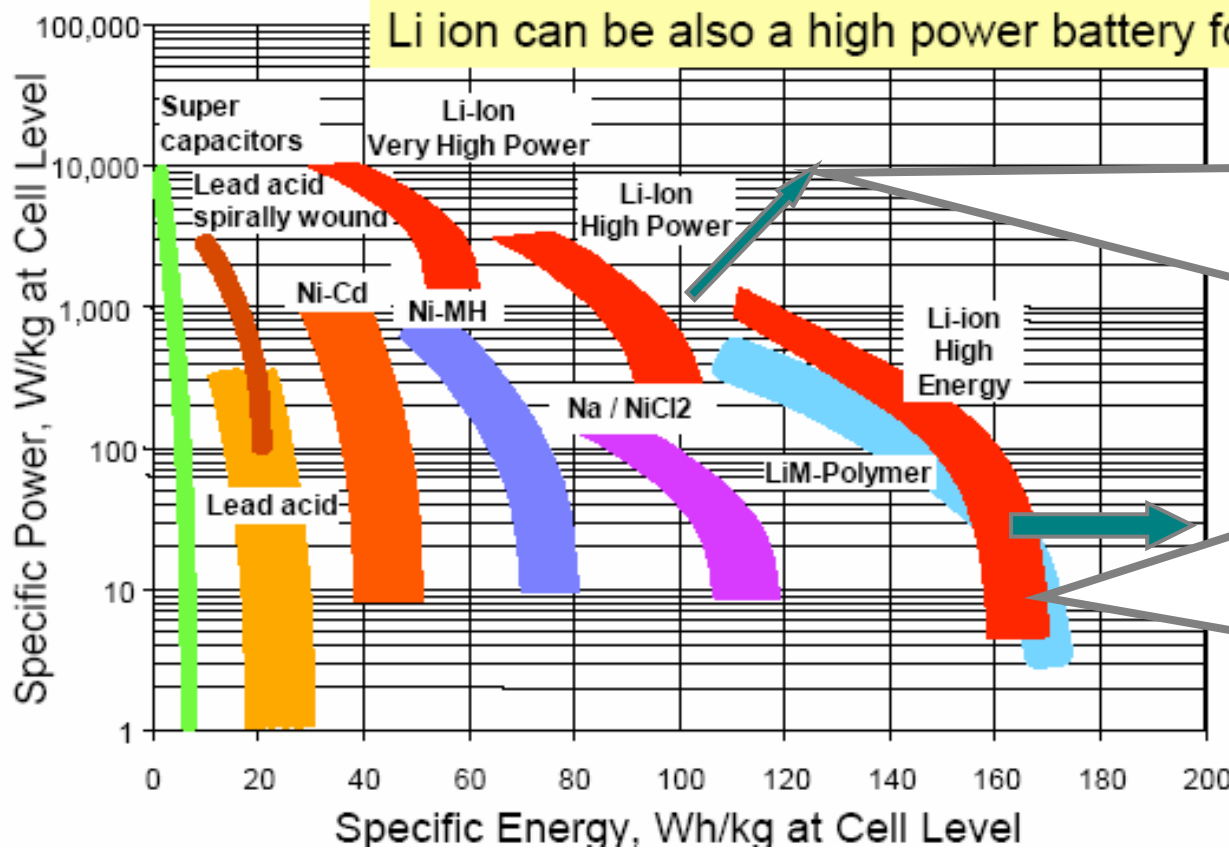
- Hy-Light: Hydrogen (Wasserstoff) und Leichtbauweise (Light)
- Auslegung auf einen rein elektrischen Antriebsstrang und auf Leichtbauweise
- Als Elektrizitätserzeuger dient die Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle (PEFC): Wasserstoff und Sauerstoff
- Superkondensatoren: Beim Bremsen Speicherung von umgewandelter Bewegungsenergie: Leistungssteigerung kurzfristig von 30 Kilowatt (41 PS) auf 75 Kilowatt (102 PS)

Neu: Firma Belenos von Hayek mit dem Ziel, Zulieferfirma zur Automobilindustrie, H<sub>2</sub>-Erzeugung durch Solarenergie



<http://archiv.ethlife.ethz.ch/articles/tages/hylight.html>

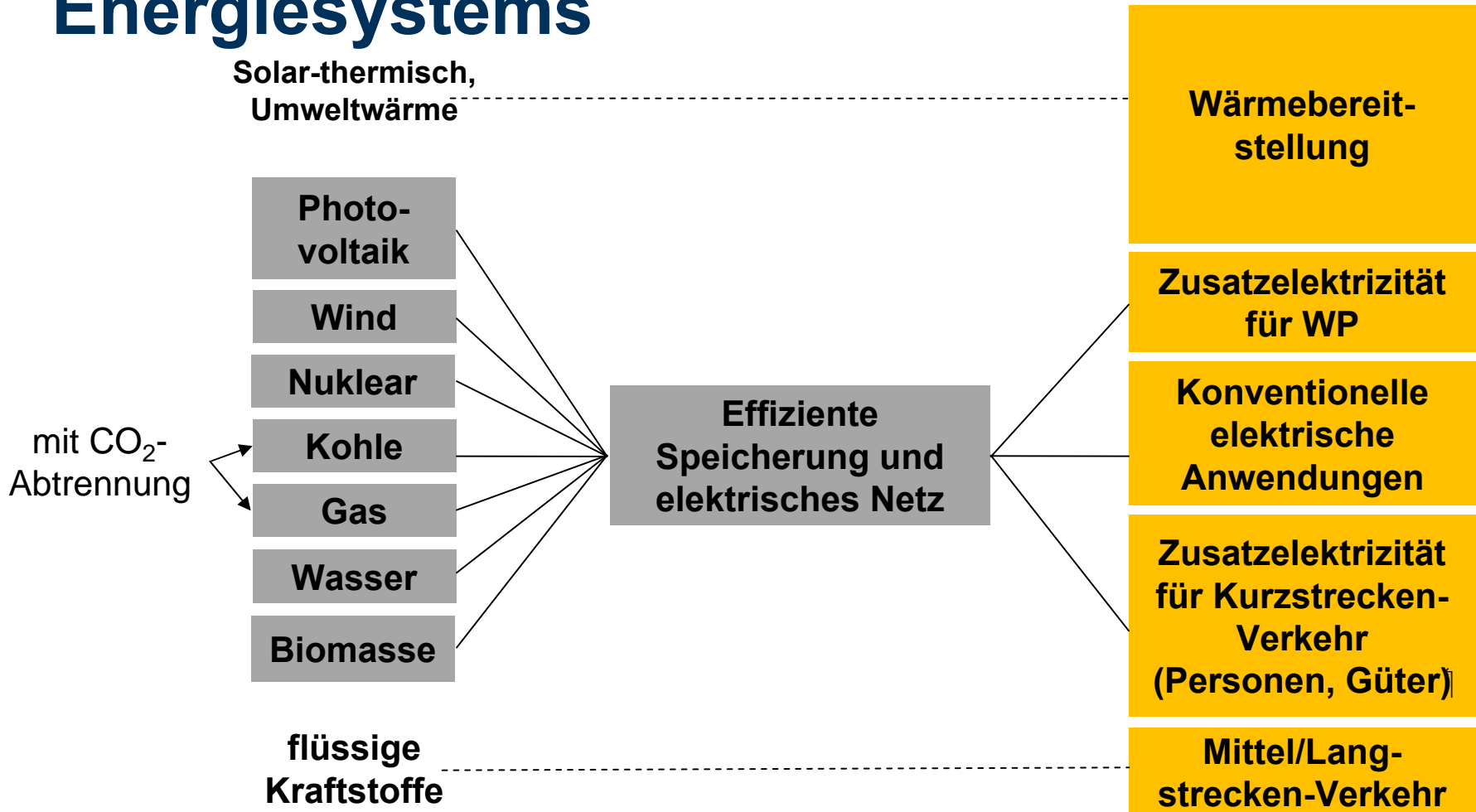
# Elektrochemische Energiespeicherung



Benzin: 13,1 kWh/kg  
Batterie: 0,1 kWh/kg (Limite 1,3 kWh/kg)

Michael Broussley, Saft, 2005

# Elektrizität als Rückgrat des zukünftigen Energiesystems



**4 - 6 kW/Kopf Primärenergie** **2 – 2,5 kW/Kopf Endenergie**

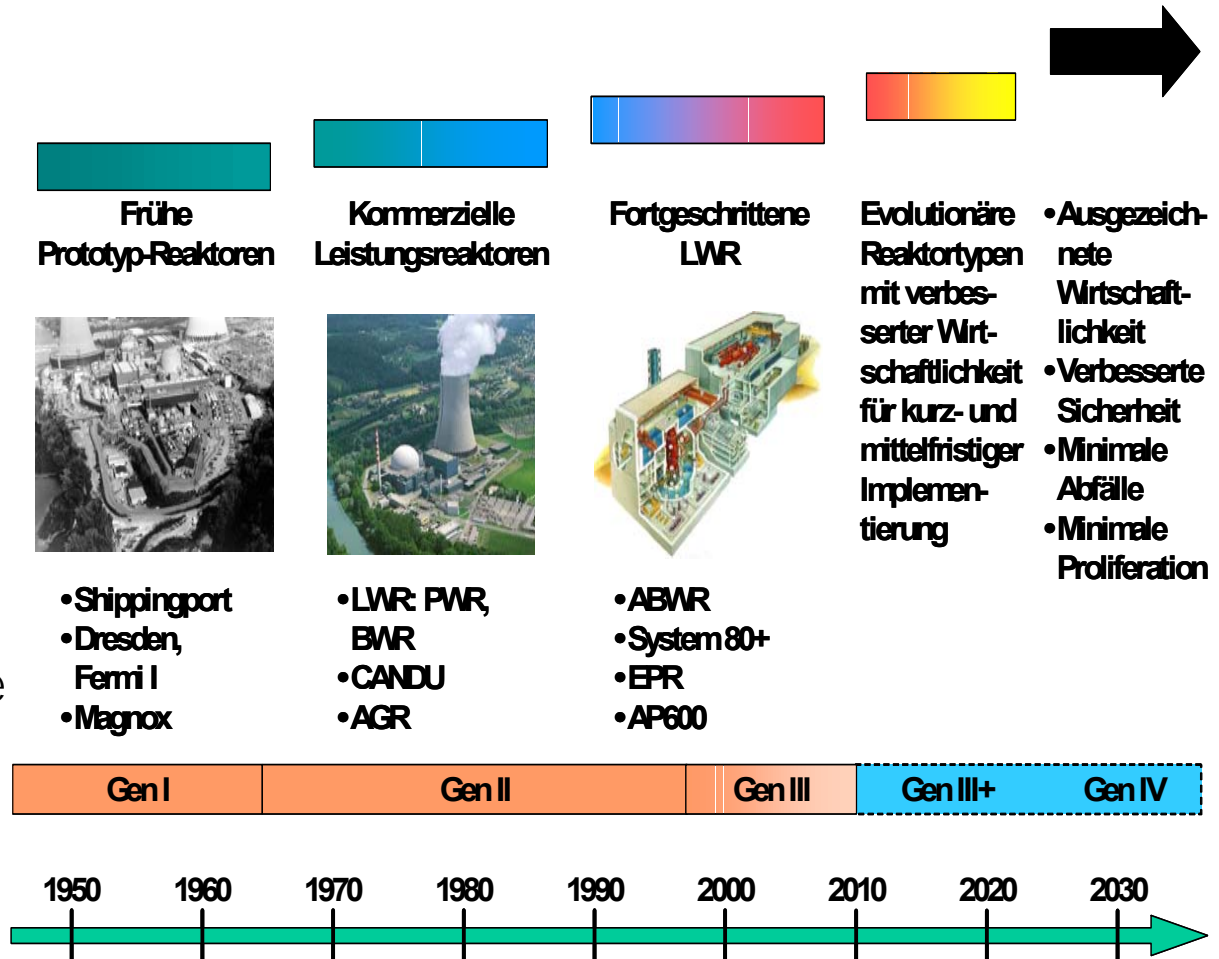
# Auswahlkriterien für vorausschauende Kernenergie-Forschung

## Ziele

- Nachhaltigkeit
- Sicherheit und Zuverlässigkeit
- Wirtschaftlichkeit
- Nicht-Proliferation / Robustheit gegen Terrorismus

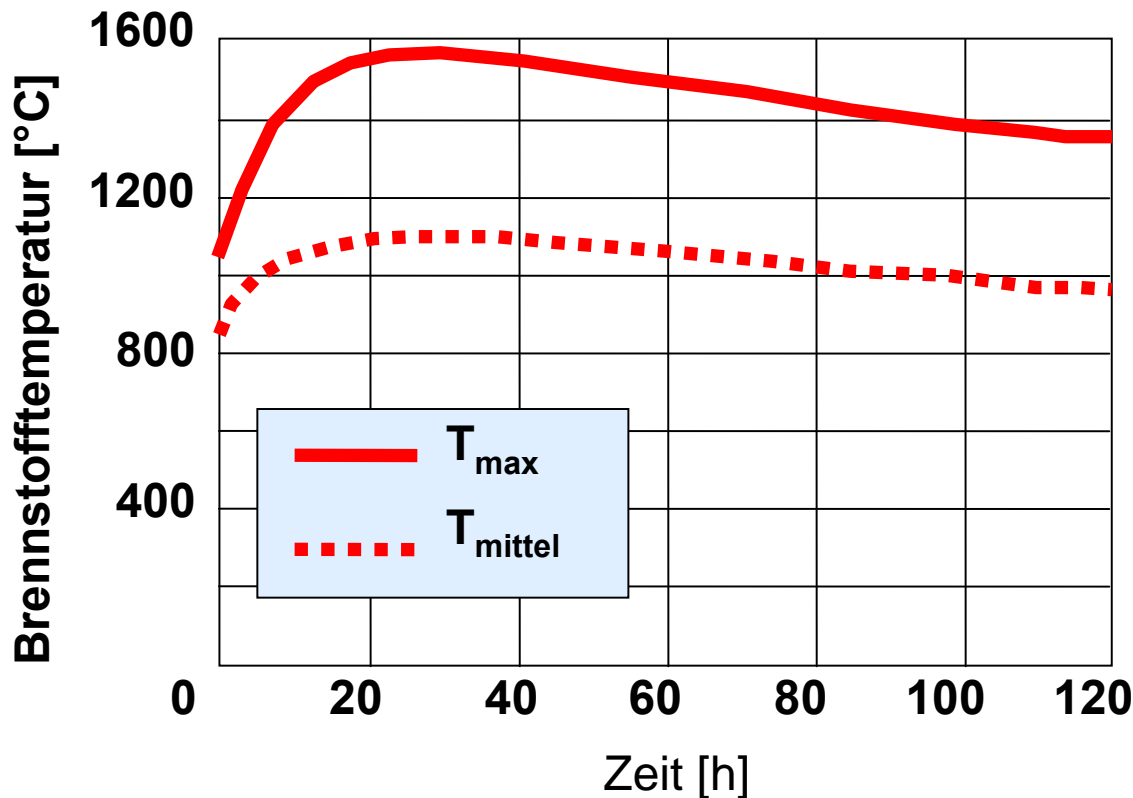
## Missionen

- Stromerzeugung
- Wasserstoffproduktion, Hochtemperatur-Prozesswärme
- Actiniden-Bewirtschaftung



# Kernverhalten bei Unfällen bei GEN-IV-Kraftwerken

(Beispiel: Totaler Verlust von Kühlmitteln, aktiver Nachwärmeabfuhr und 1. Abschaltssystem (PBMR) in einem ringförmigen Kern von 300 MWth)



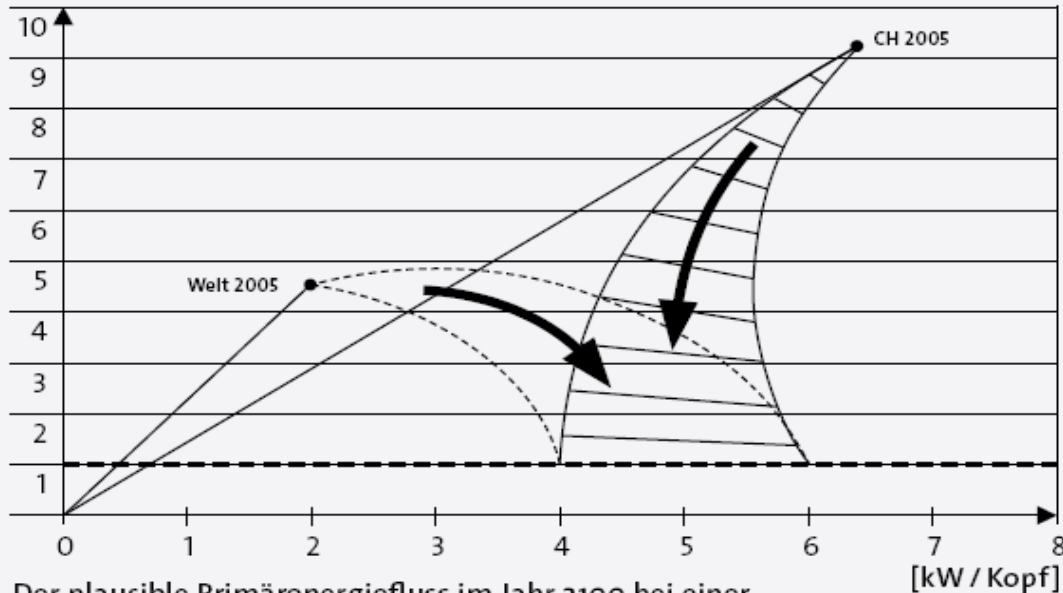
## Konsequenzen:

- Kern kann nie schmelzen.
- maximale Brennstofftemperatur  $< 1600$  °C
- die meisten Brennelemente bleiben bei noch tieferen Temperaturen.
- Spaltproduktfreisetzung begrenzt auf  $< 10^{-7}$  des Inventars.

Quelle: Kugeler, 2005

# Ziel: 1-Tonne CO<sub>2</sub>-Verbrauch pro Kopf der Weltbevölkerung

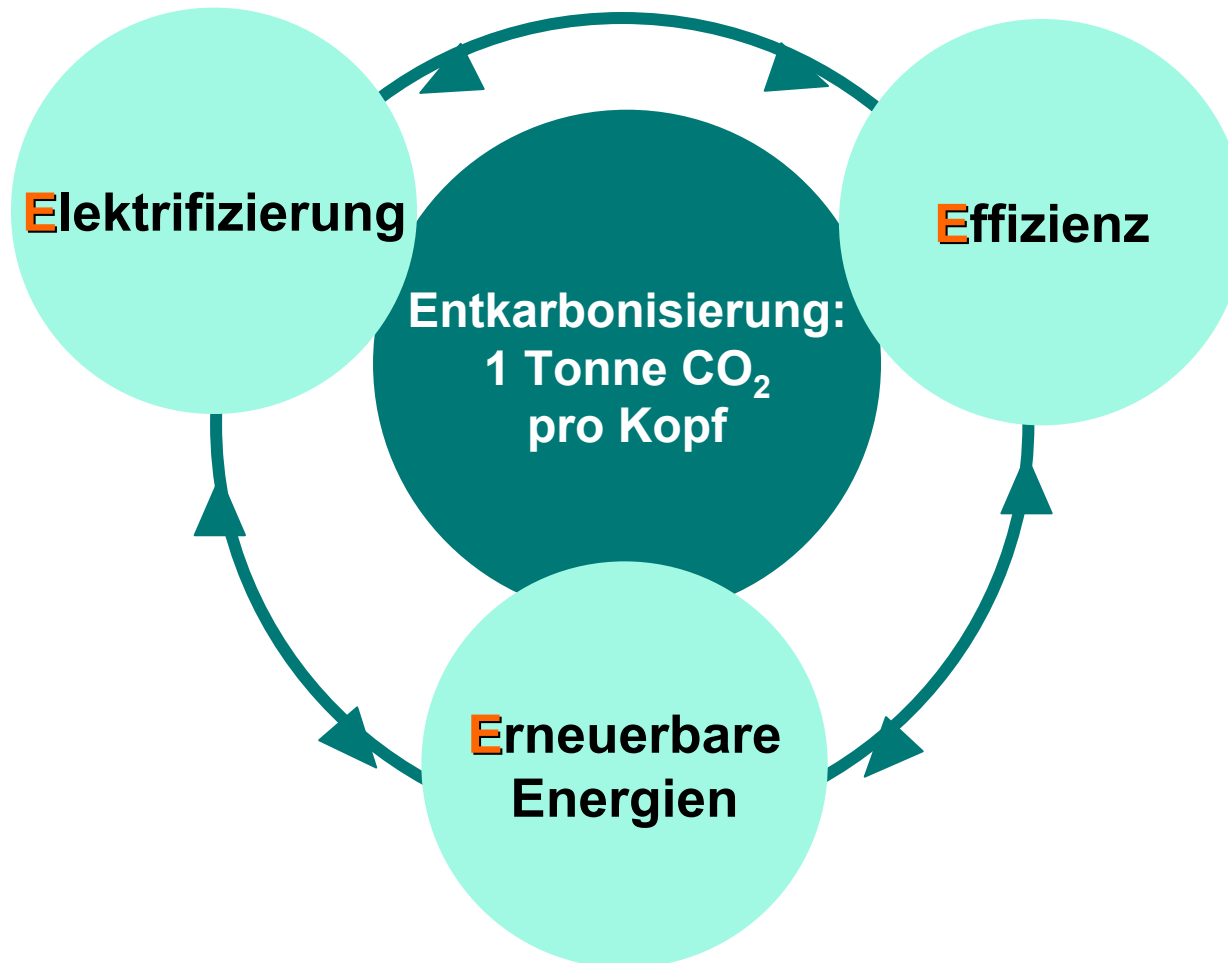
CO<sub>2</sub> Emissionen [t CO<sub>2</sub> / Kopf]



Der plausible Primärenergiefluss im Jahr 2100 bei einer Emission von 1 Tonne CO<sub>2</sub>/Kopf, in Abhängigkeit des Elektrizitätserzeugungsmix (fossil / nuklear / solar / Wind / Wasserkraft)

- Die Emissionsgrenze von 1t CO<sub>2</sub> / Kopf lässt sich gegen Ende des 21. Jahrhunderts in der Schweiz und weltweit realisieren.
- Effizienzpotenziale ausschöpfen
- Alle Energiesektoren weitgehend entkarbonisieren
- Weltbevölkerung stabilisieren

# Eckpfeiler der 3E-Strategie der ETH Zürich



# Schlussfolgerungen

- Offensive **Effizienz- und Technologie-orientierte** Strategien sind nötig. Zur klimafreundlichen Bedarfsdeckung werden Erneuerbare und Kernenergie gebraucht.
- Das Ziel eines **Beitrags von 10%** am Stromverbrauch um das Jahr 2030 aus Neuen Erneuerbaren erscheint **technisch machbar**. Das wirtschaftliche Potenzial von Strom- und Wärmeeinsparungen ist grösser als das mittelfristige Potenzial neuer erneuerbarer Energien.
- **GEN-III-Reaktoren** können an bestehenden Standorten **ökonomisch wettbewerbsfähig** Strom erzeugen. Abhängig von der **öffentlichen Akzeptanz** kann die Kernenergie konstant gehalten oder ausgebaut werden. **GEN-IV** – eine technologische Antwort auf die Akzeptanzfrage.
- **Kostenwahrheit** ist anzustreben. Die Internalisierung der externen Kosten würde die Wettbewerbsfähigkeit der Kernenergie, Wasserkraft und einiger neuer erneuerbarer Energiequellen signifikant verbessern.

# End- und Primärenergiefluss – heute und Vision im Jahr 2100

