



Erneuerbare Energien nachhaltig nutzen - Naturkautschuk als Generator?

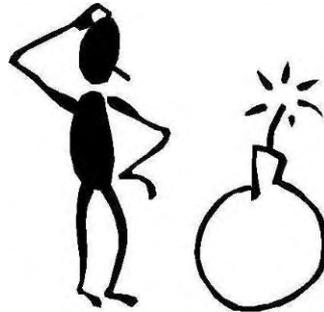
Begrenztheit fossiler Energieträger



Image: Salvatore Vuono / FreeDigitalPhotos.net



Image: Idea go / FreeDigitalPhotos.net



Klimawandel



Image: ponsulak / FreeDigitalPhotos.net



CO₂



Image: Danilo Rizzuti / FreeDigitalPhotos.net

Umweltverschmutzung



Image: think4photon / FreeDigitalPhotos.net

effizientere Energienutzung



Image: digitalart /
FreeDigitalPhotos.net



erneuerbare Energien



Image: xedos4 /
FreeDigitalPhotos.net

Elektroautos



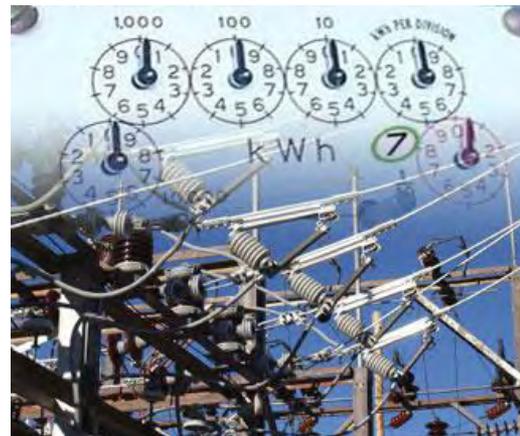
Image: Paul Martin Eldridge /
FreeDigitalPhotos.net

Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit



Image: nuttakit /
FreeDigitalPhotos.net

smart grids



HVDC



Erneuerbare Energien und Nachhaltigkeit



Images: Pixomar / FreeDigitalPhotos.net

- erneuerbare Energien sind allgegenwärtig
- Nutzung von verschiedensten Quellen technisch realisierbar
- Notwendigkeit der wirtschaftlichen Nutzbarkeit
- CO₂ Bilanz
- Verfügbarkeit – schwankendes Angebot
- Entfernung zum Verbraucher



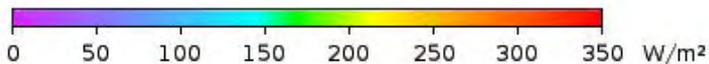
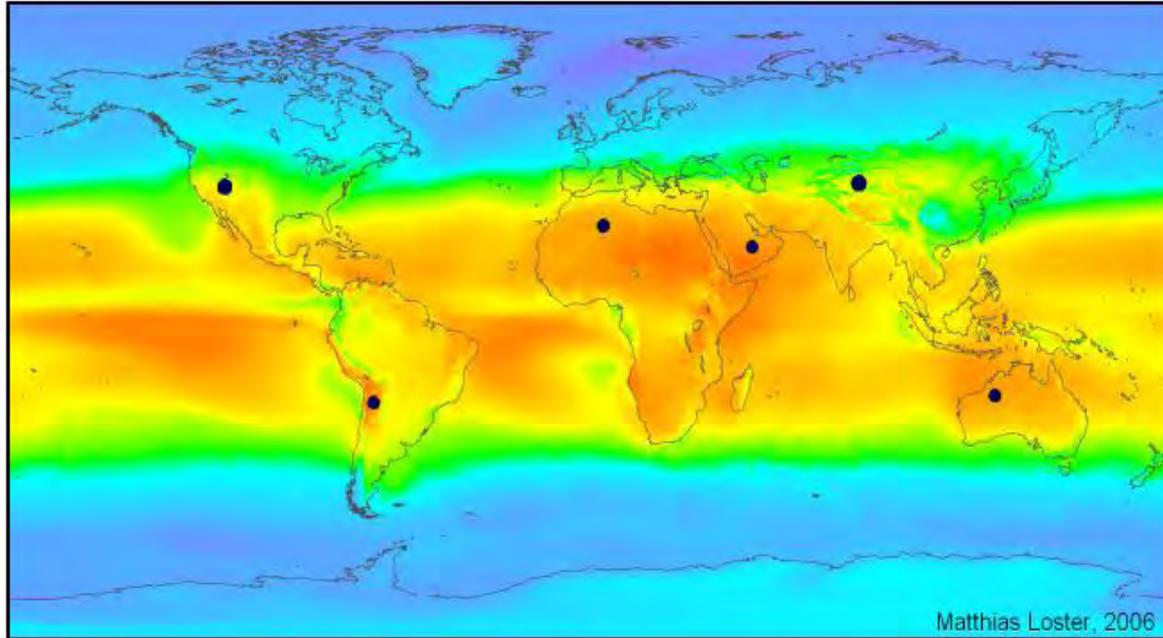
=?

wie konzentriert liegt die Energie vor
wie einfach nutzbar

=?



Sonne - primäre Energiequelle! – beste?



$\Sigma \bullet = 18 \text{ TWe}$

- Wirkungsgrad von Solarzellen ~ 15%
- Sonnenwärmekraftwerke: etwas höherer Wirkungsgrad
höhere Wartungskosten
- hoher Energieaufwand zur Herstellung von Siliziumzellen und Spiegeln

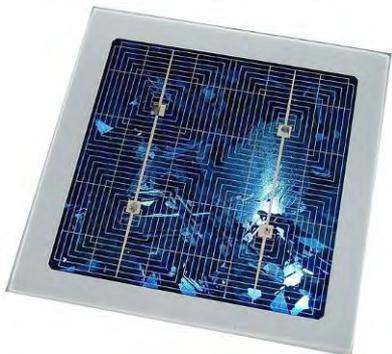


Photo-
voltaik

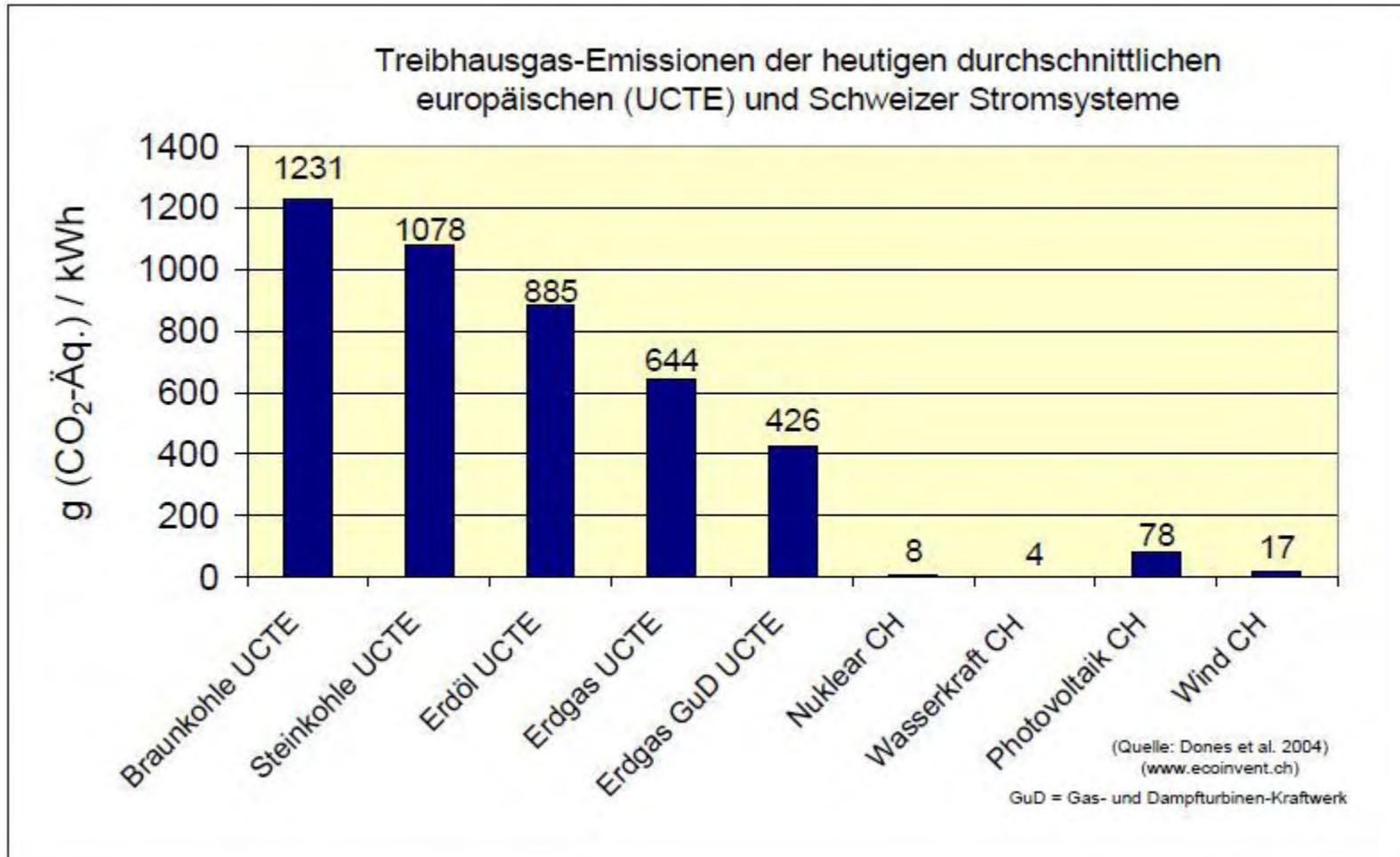


Sonnenwärmekraftwerk

Sonne - primäre Energiequelle! – beste?

relativ niedrige „Konzentration“ (Strahlungsleistung pro Flächeneinheit)

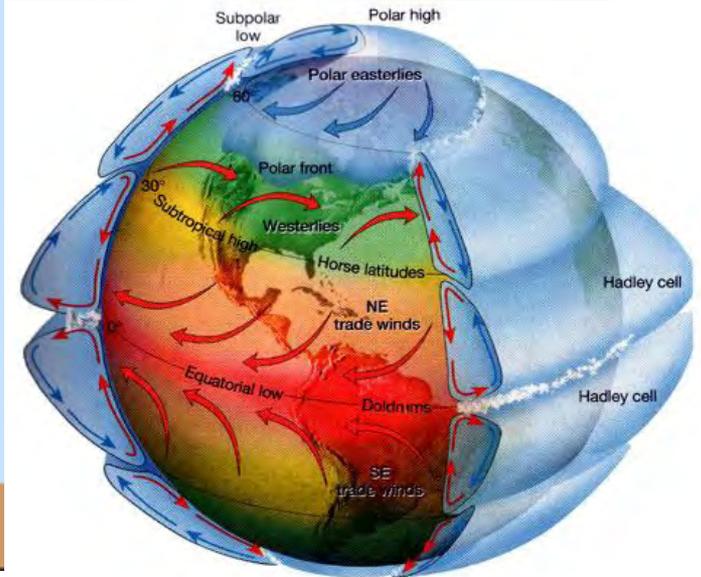
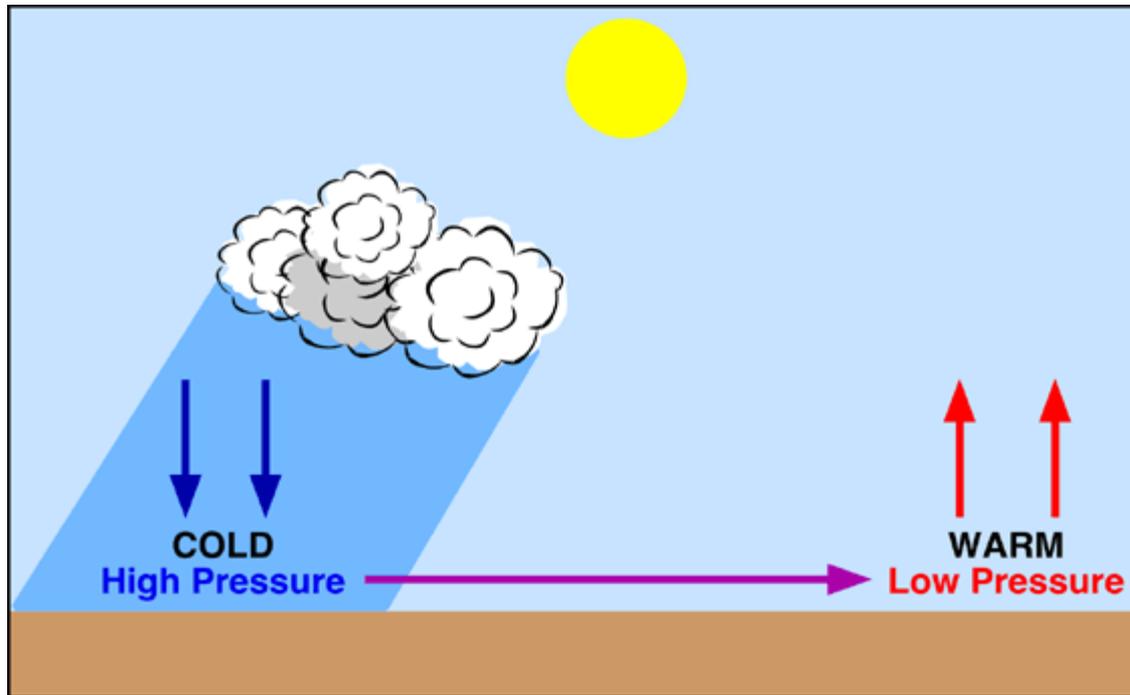
→ große Flächen notwendig + hoher Energiebedarf zur Fertigung → schlechte CO₂ Bilanz:



Wind – nächste Stufe der „Energiekonzentration“

Unterschiedliche Erwärmung durch Sonne
→ Temperaturdifferenz → Druckgradient → Wind

Wind als „konzentrierte“ Sonnenenergie

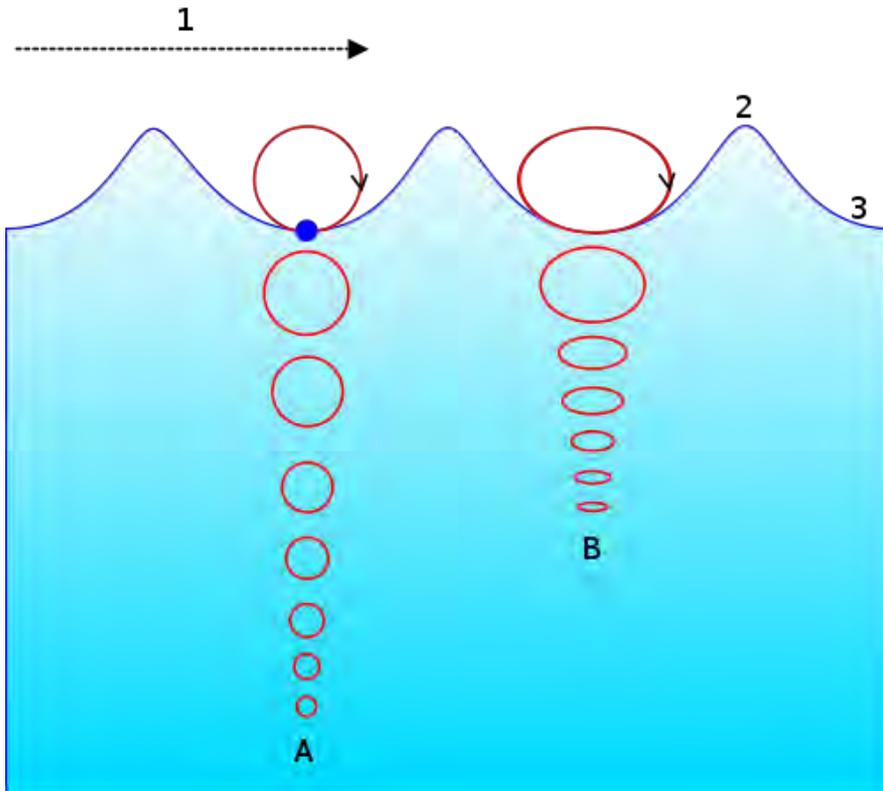


Wellen – hoch „konzentrierte“ Windenergie

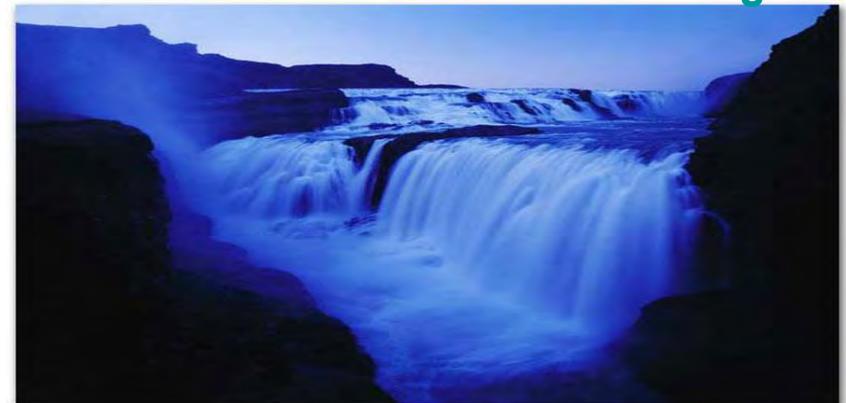
Wasserteilchen werden durch Wind bewegt

→ Wasser: 1000-fache Dichte von Luft

→ sehr hohe Energiedichte

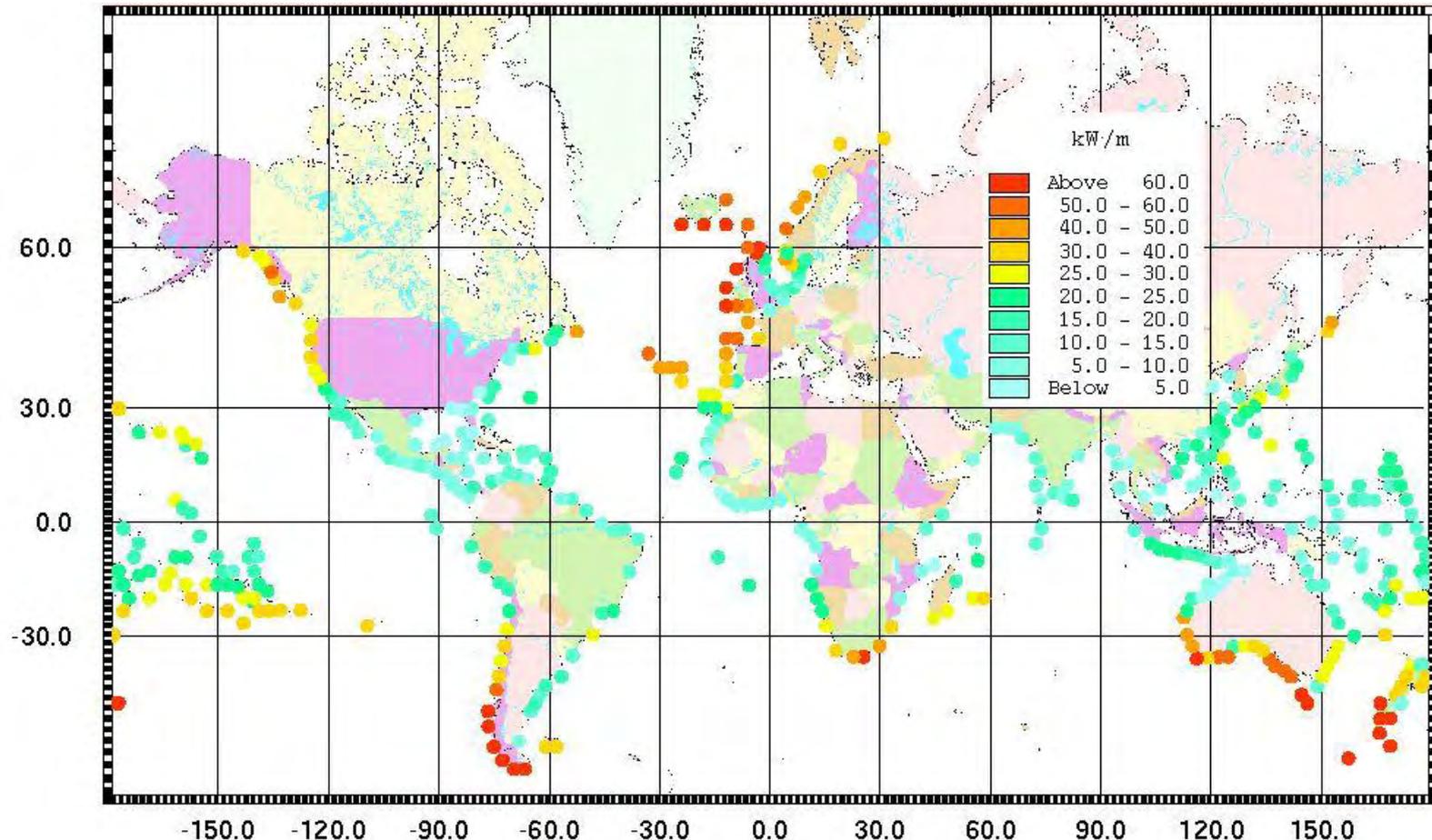


Wasserkraft – konzentrierte Energie



Wellenenergie – bisher unterschätzte Ressource

→ stark „konzentrierte“ Energie → auch in der Nacht verfügbar → Potential für Europa sehr hoch



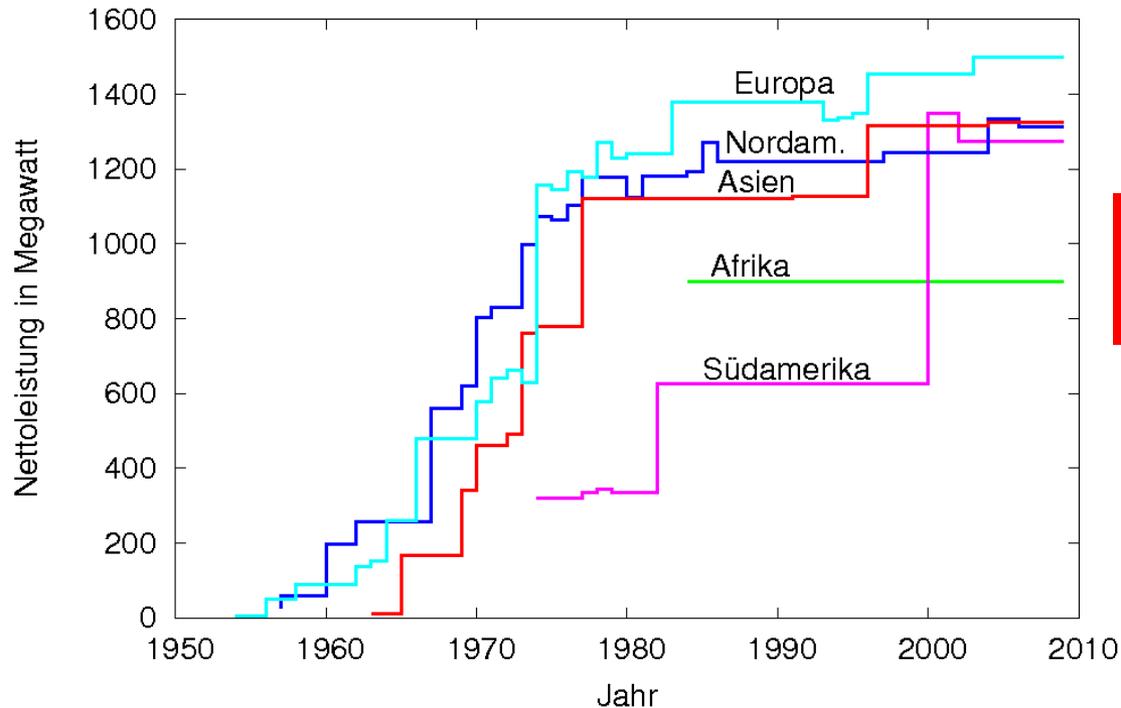
Global wave energy estimates from Barstow et al., 1998

Wellenenergie im Vergleich

- Wellenleistung von über 100 000 Watt pro Meter Strand an gut geeigneten Stellen
- Sonne in Europa 100 bis 200 Watt pro Quadratmeter
- Leistungstärkste Kernreaktoren weltweit:



Leistungsentwicklung von Kernreaktoren weltweit



$$\frac{1500\,000\,000\text{ Watt}}{100\,000\text{ Watt/Meter}} = 15\,000\text{ Meter}$$

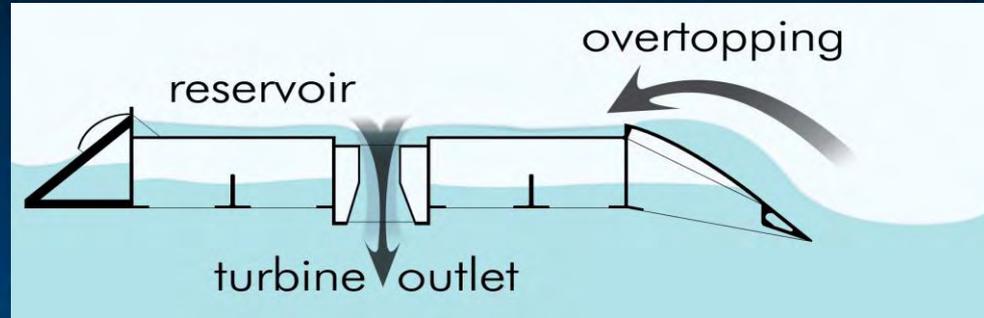
→ Wellenleistung auf 15 km Strand
entspricht dem leistungsstärksten
Kernreaktor der Welt!

Bestehende Konzepte für Wellenkraftwerke

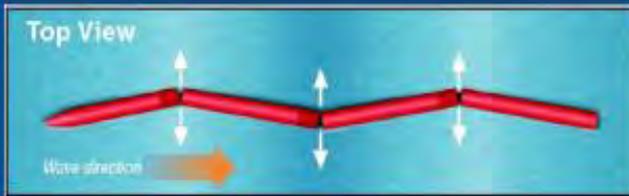
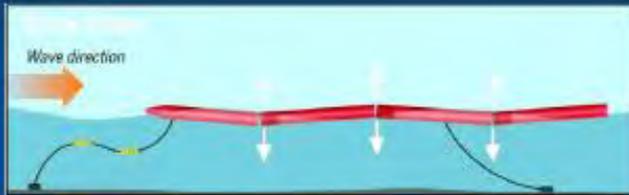
Point Absorber



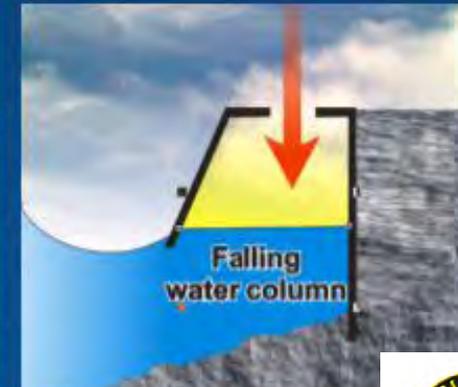
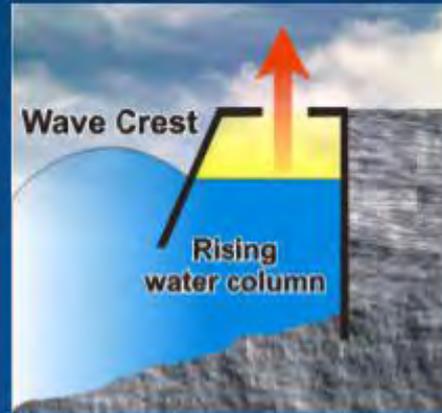
Overtopping



Attenuator



Terminator OWC



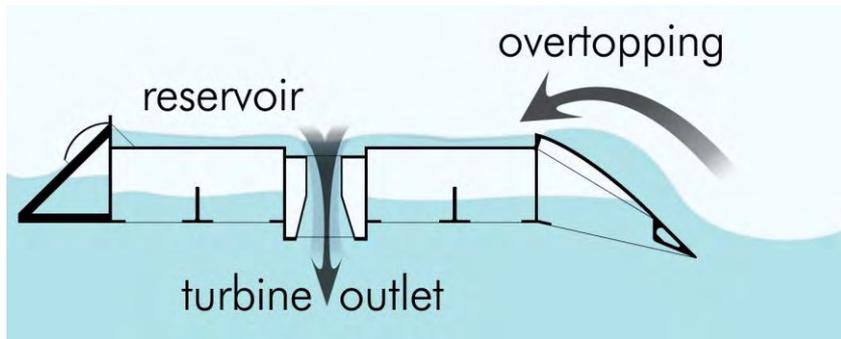
Bestehende Konzepte für Wellenkraftwerke



Bestehende Konzepte für Wellenkraftwerke

Wave Dragon

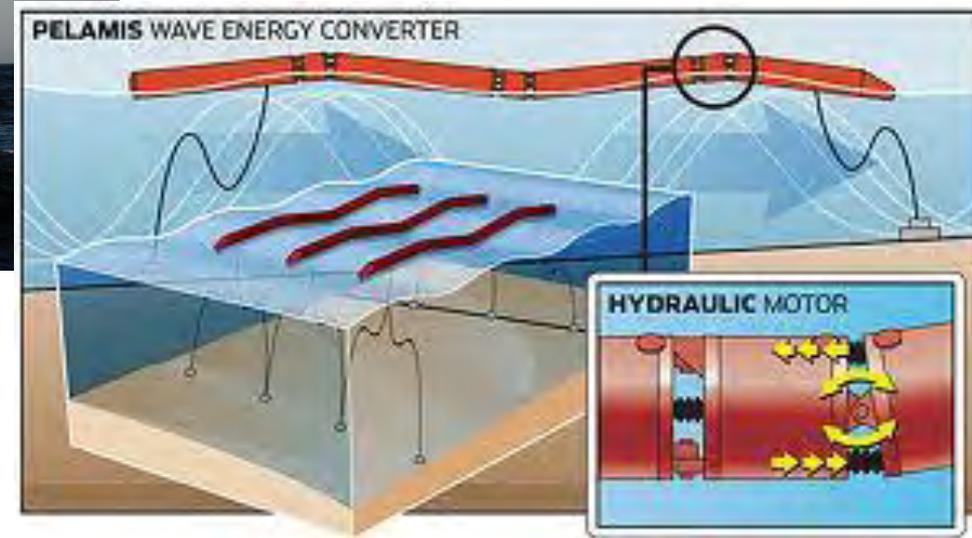
... for a better future



Bestehende Konzepte für Wellenkraftwerke



pelamis
WAVE POWER 



State of the Art

→ Bisherige Konzepte relativ nahe an der Wirtschaftlichkeitsgrenze:

7,5 US cents / kWh (Versuchsanlage UK)

4,5 US cents / kWh (Geschätzte Kostenreduktion durch „economy of scale“)

→ vergleichbar mit Windkraftwerken; nur 2,6 US cents / kWh für Kohlekraftwerke

→ Kostenintensive Wartung: Metallische Komponenten ↔ Salzwasser

→ Vergleichsweise schlechte Energieausbeute:

herkömmliche Generatoren nur bedingt geeignet für periodische Wellenenergie
(schlechtes „impedance matching“: Energieübertrag von der Welle problematisch)

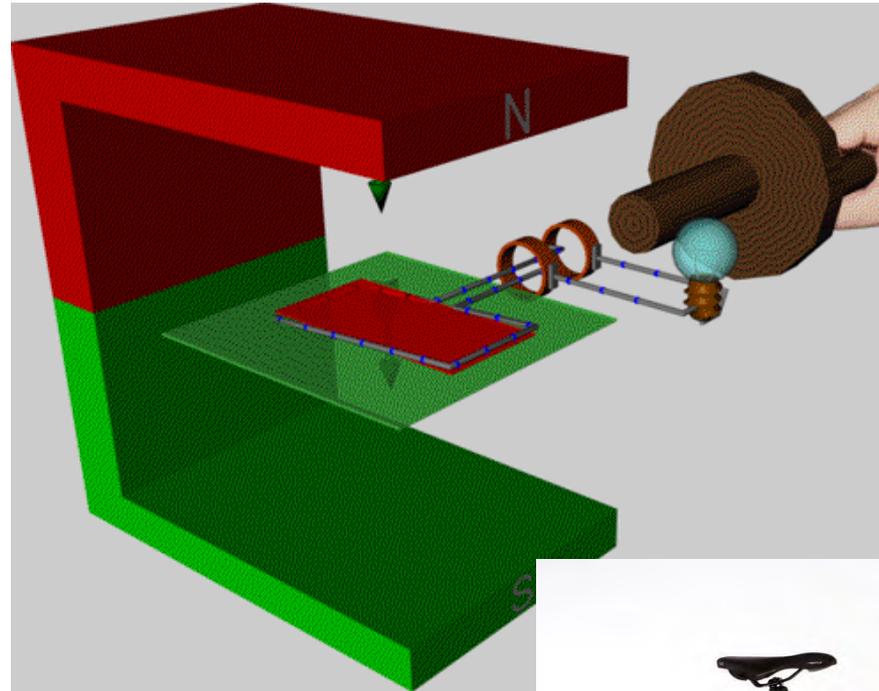
Generator – elektromagnetische Induktion

→ Generator als

elektromechanischer Wandler:

mechanische Energie →

elektrische Energie



→ Elektromotor als Umkehrung:

elektrische Energie →

mechanische Energie



Das Röntgen Experiment – alternative elektromechanische Wandlung

sation; richtigeren wurde.

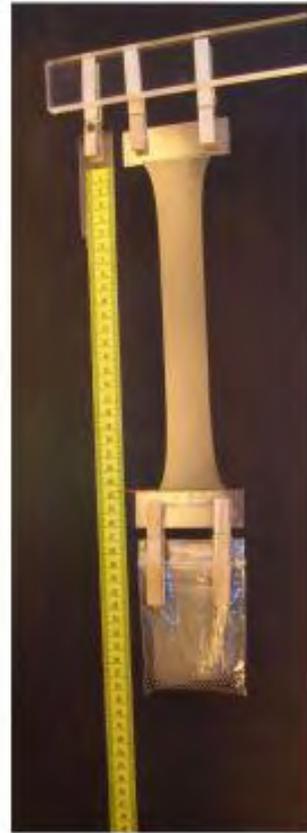
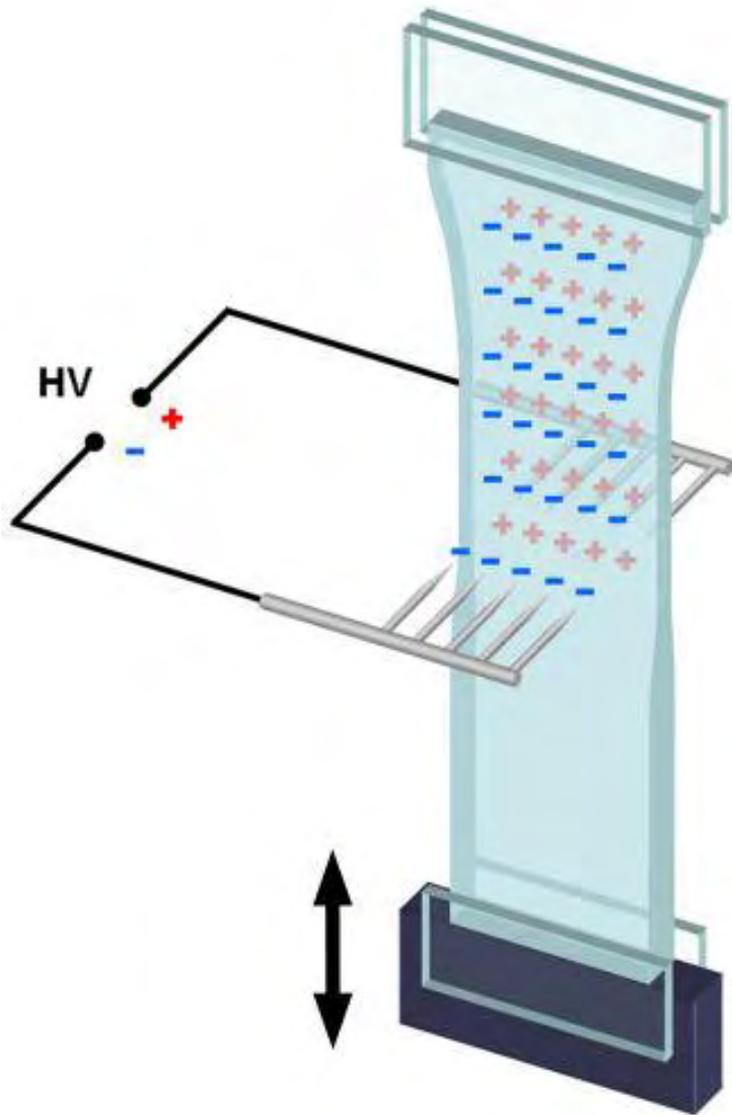
Lemberg, im September 1880.

III. *Ueber die durch Electricität bewirkten Form- und Volumenänderungen von dielectrischen Körpern; von W. C. Röntgen;*

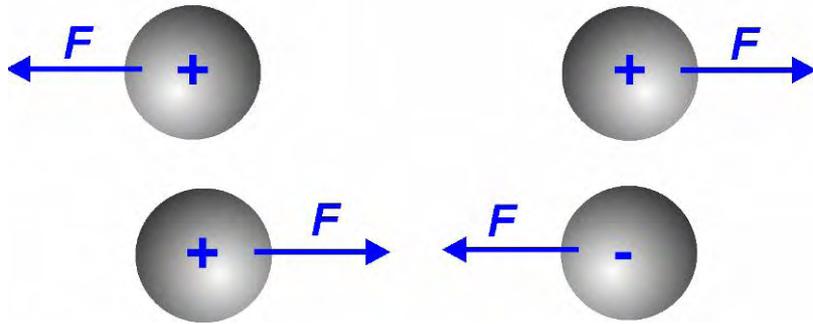
(Aus den Ber. d. Oberhess. Gesellsch. f. Natur- u. Heilk. 20.
mitgetheilt vom Herrn Verfasser.)

Die Literatur über die sogenannte „electrische Ausdehnung“¹⁾ ist in der letzten Zeit durch eine sehr umfangreiche und ausführliche Abhandlung des Hrn. Quincke²⁾ vermehrt

Das Röntgen Experiment

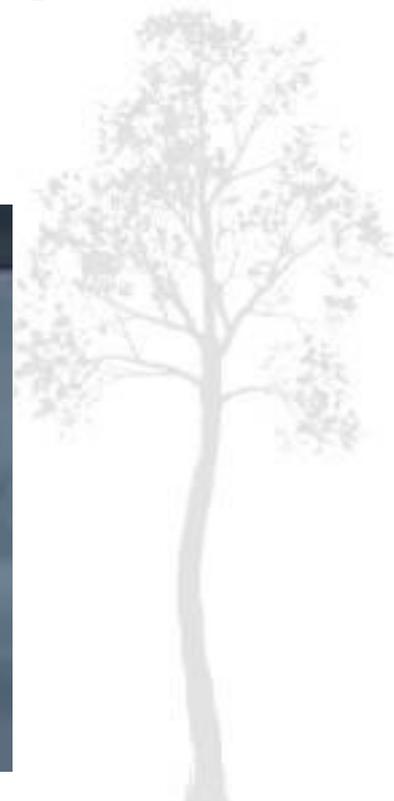


Coulomb-Kraft

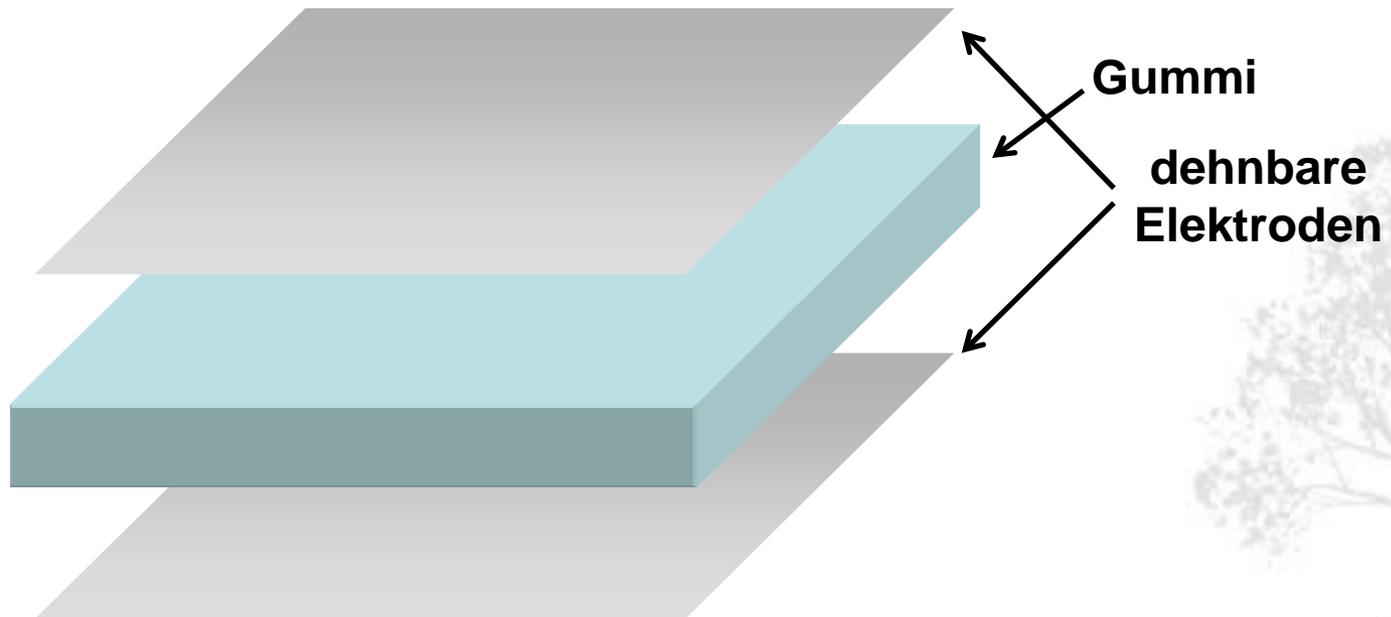


$$\vec{F}_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \vec{e}_r$$

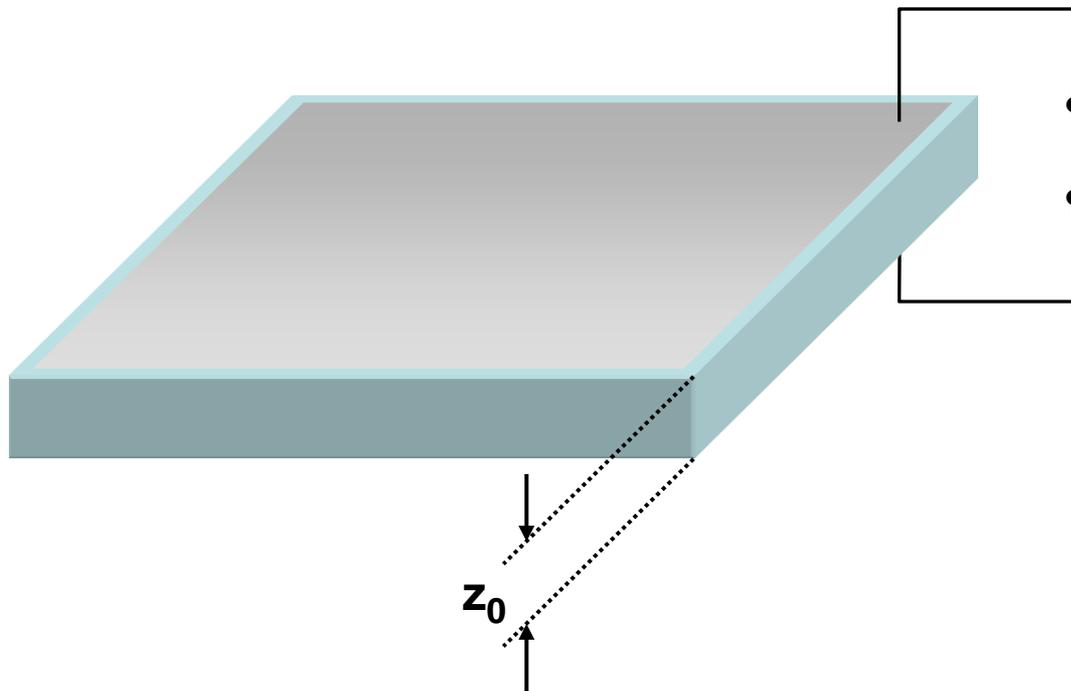
Inkompressibilität



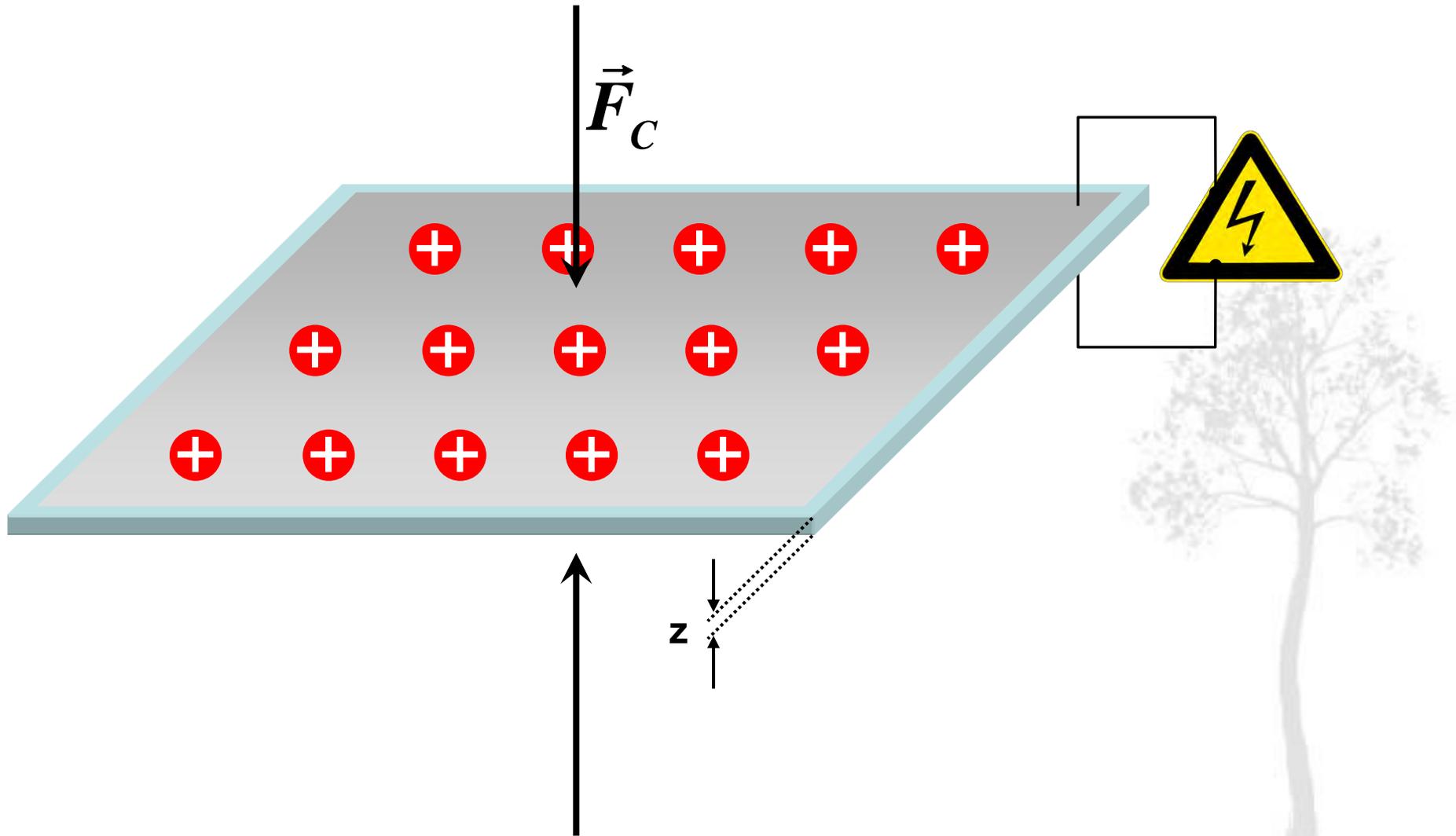
Elastomer Aktuatoren mit dehnbaren Elektroden



Elastomer Aktuatoren mit dehnbaren Elektroden



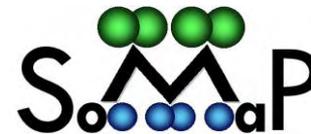
Elastomer Aktuatoren mit dehnbaren Elektroden



Elastomer Aktuatoren

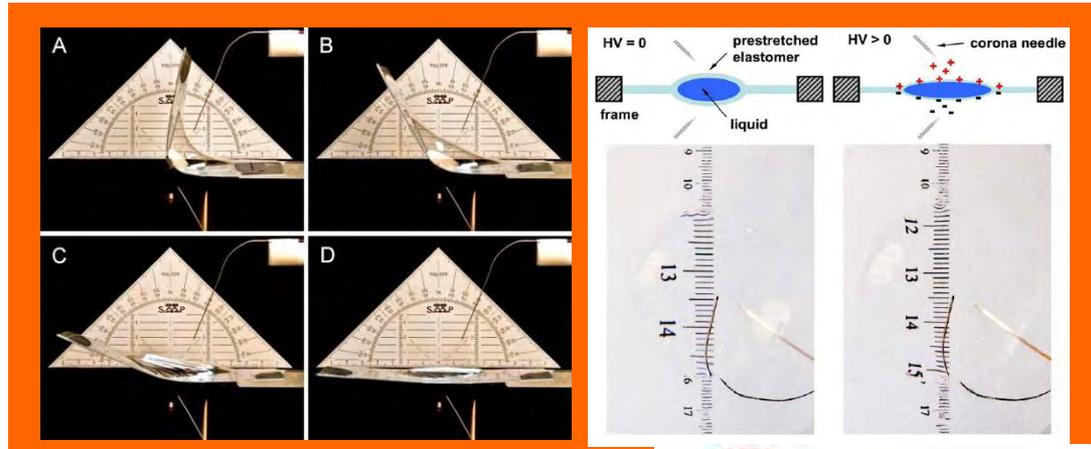
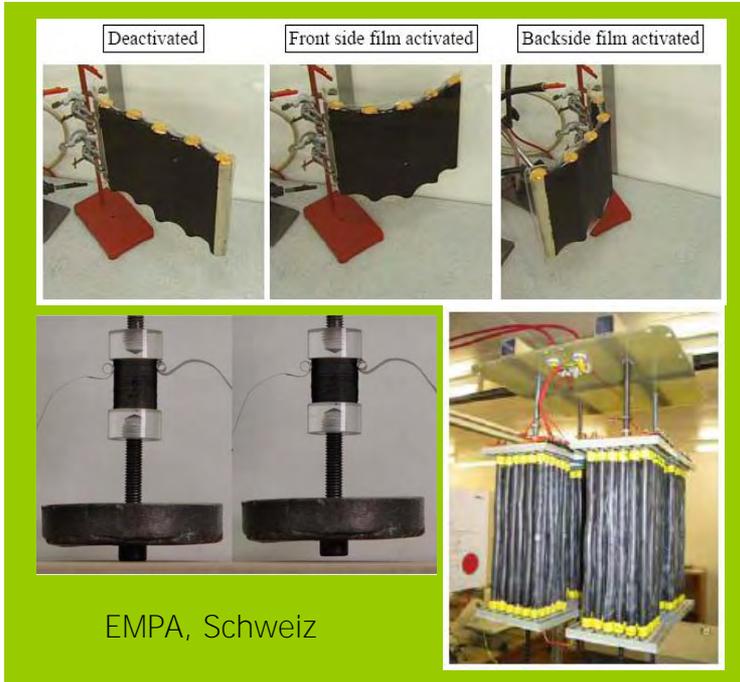


Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology

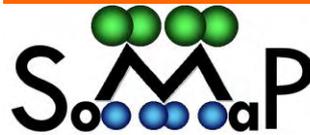


JOHANNES KEPLER
UNIVERSITÄT LINZ
Netzwerk für Forschung, Lehre und Praxis

Elastomer Aktuatoren



Keplinger et. al.,
PNAS 107, 4505, 2010

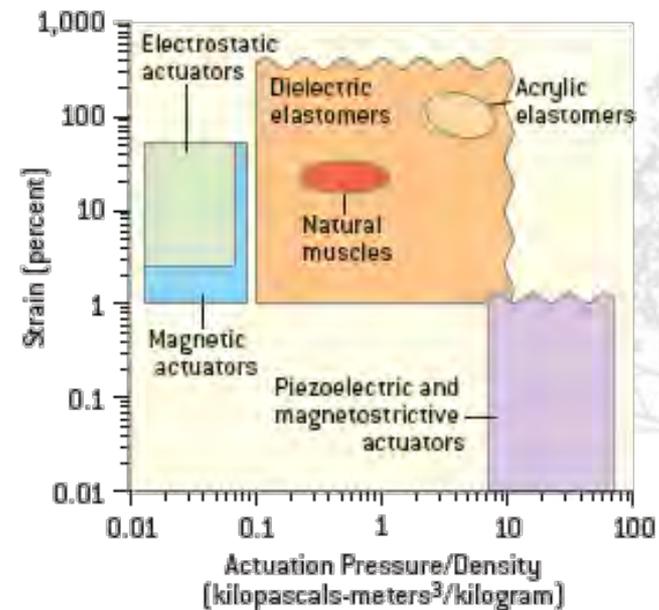


Warum ist diese Technologie so interessant?

→ hohe Energiedichte, um Größenordnungen höher als parallele Technologien

→ große Kräfte bei geringem Stromverbrauch

→ leicht, portabel, dehnbar,...



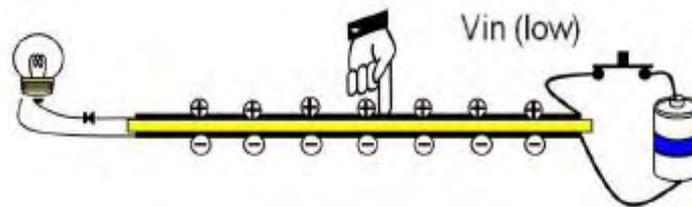
R. Pelrine et. al. (2001), *Proc. SPIE* **4329**, 148;

S. Ashley (2003), *Scientific American* **289**, 52

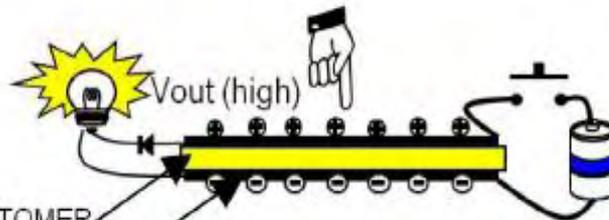
Umgekehrter Verwendungsmodus: Dielektrischer Elastomer Generator

→ Dielektrischer Elastomer Generator als Alternative zum gewohnten Induktionsgenerator
mechanische Energie → elektrische Energie

STRETCHED

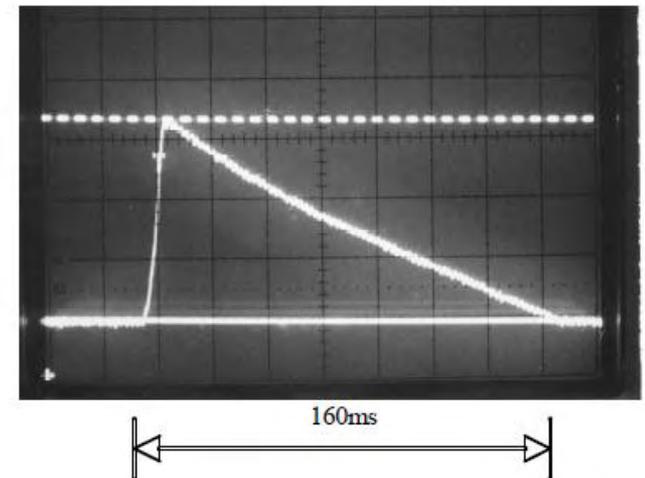


RELAXED



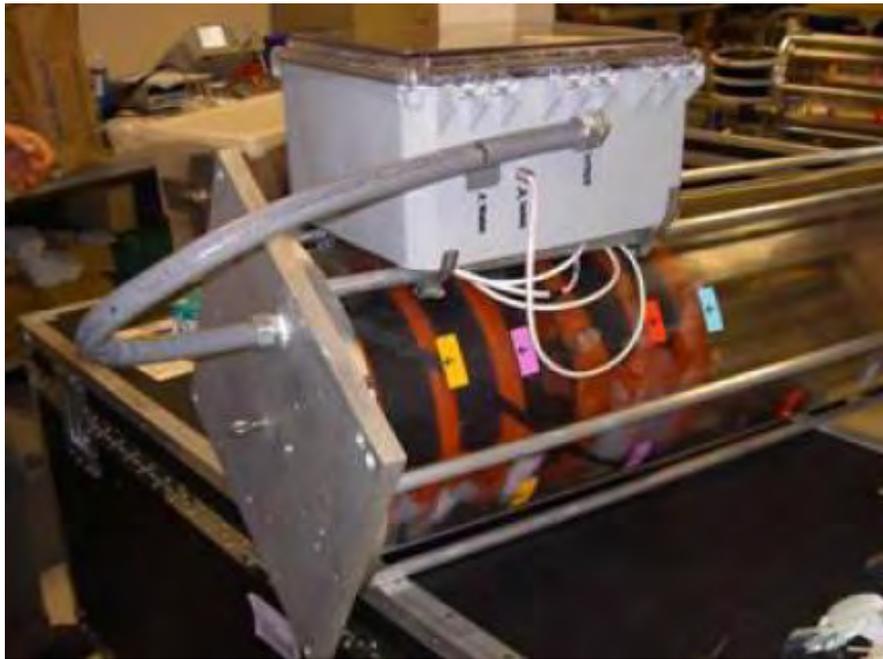
DIELECTRIC ELASTOMER
COMPLIANT ELECTRODES

2kV



Umgekehrter Verwendungsmodus: Dielektrischer Elastomer Generator

→ Anwendung im Megawatt-Bereich: Erneuerbare Energien wie Wind, Wellen,...



Umgekehrter Verwendungsmodus: Dielektrischer Elastomer Generator

→ Anwendung im Watt-Bereich: Laden von mobilen Elektrogeräten



Photos courtesy SRI, International

Umgekehrter Verwendungsmodus: Dielektrischer Elastomer Generator

- hervorragend geeignet für **periodische Energiesignale**,
„impedance matching“ gut bei vielen erneuerbaren Energieressourcen (z.B. Wellen)
- **HVDC** als Output: weniger Energieverlust in Stromleitungen, Gleichrichtung nicht notwendig
- Verwendung von Elastomeren: gute Verträglichkeit mit Salzwasser (rosten nicht),
dadurch **geringere Instandhaltungskosten**
- **erste Firmen**, die sich mit der Thematik beschäftigen:
- **höhere spezifische Energiedichte** als parallele Techniken:

experimentell bestätigt: 0,4 Joule pro Gramm^a
vgl.: 0,13 J / g: advanced single crystal ceramics^a
vgl.: 0,04 J / g: Spitzenwert für Induktionsgenerator^a

Danfoss

Danfoss PolyPower A/S



A Bayer MaterialScience Company

^aR. Pelrine et. al. (2001),

Proc. SPIE 4329, 148

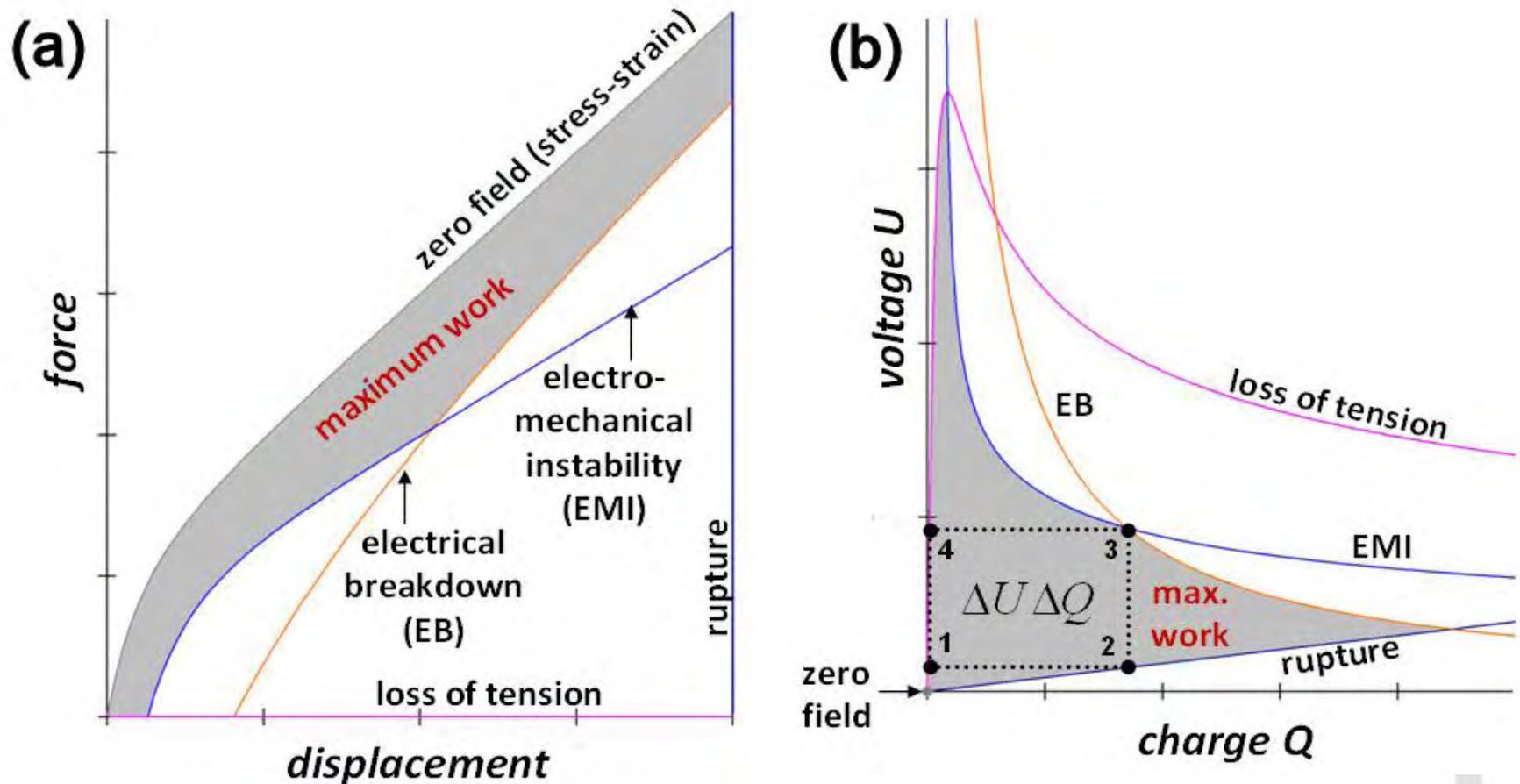
Wo sind die theoretischen Grenzen?

- Optimierung Energiedichte / Wirkungsgrad
- Definition von idealen Materialeigenschaften für verwendete Elastomere
- Auffinden von kostengünstigen und umweltfreundlichen Materialien
- Forschungsprojekt der JKU Linz (SoMaP) in Kooperation mit der Harvard University



Dielectric Elastomer Generators: How Much Energy Can Be Converted?

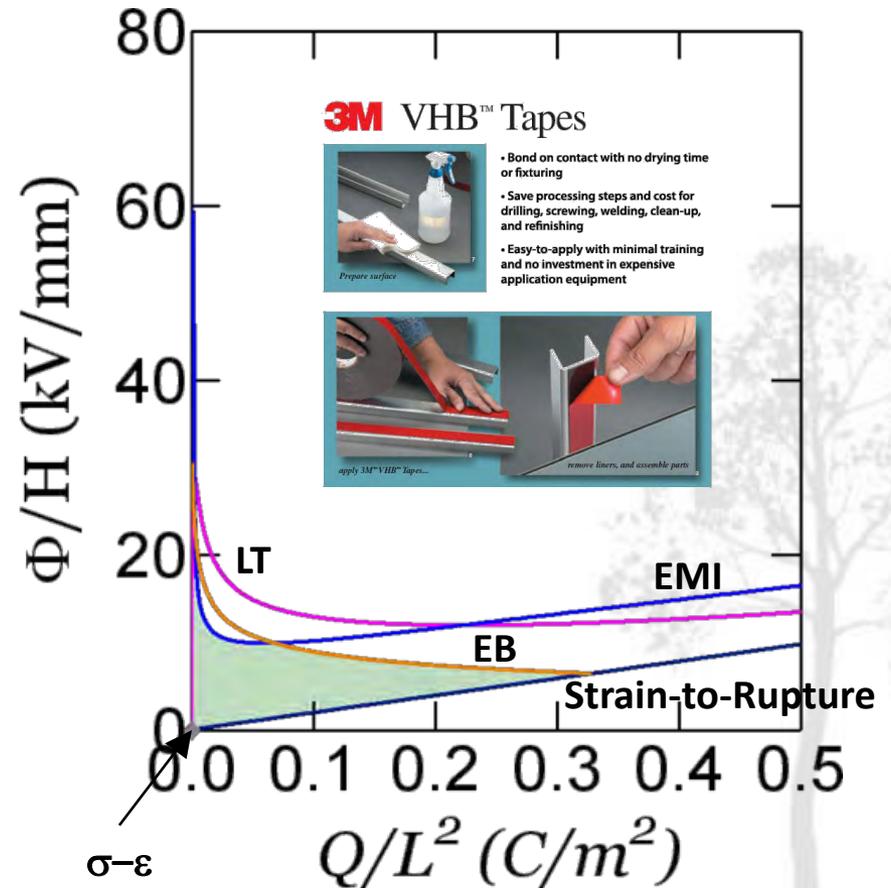
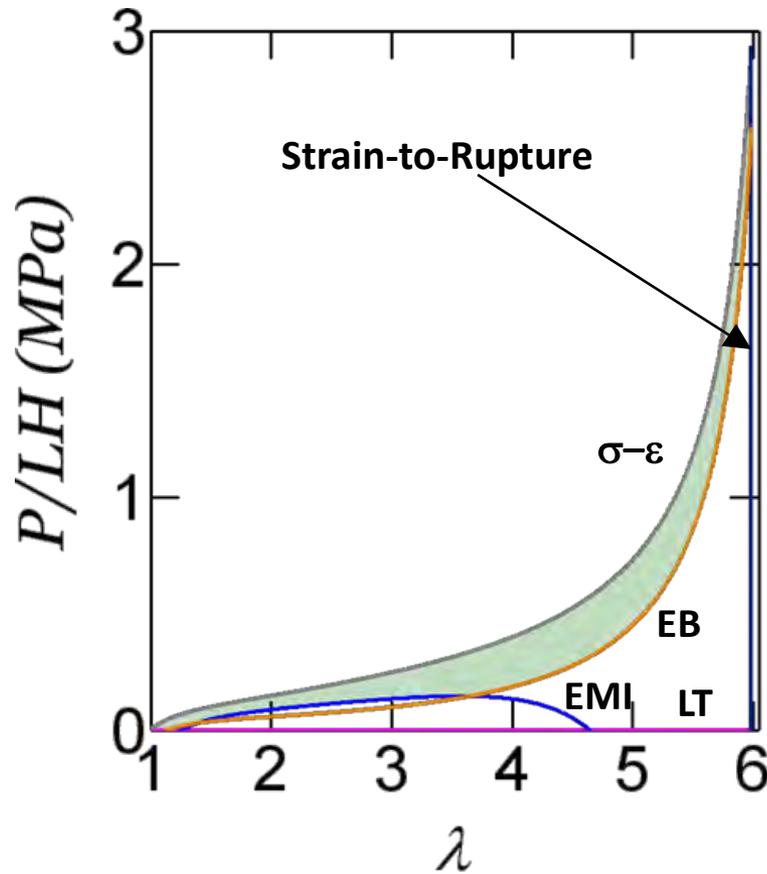
Energy conversion maps in work-conjugate planes with failure-mode curves



Bisheriger Rekordhalter im Experiment:

3M VHB™ Tapes

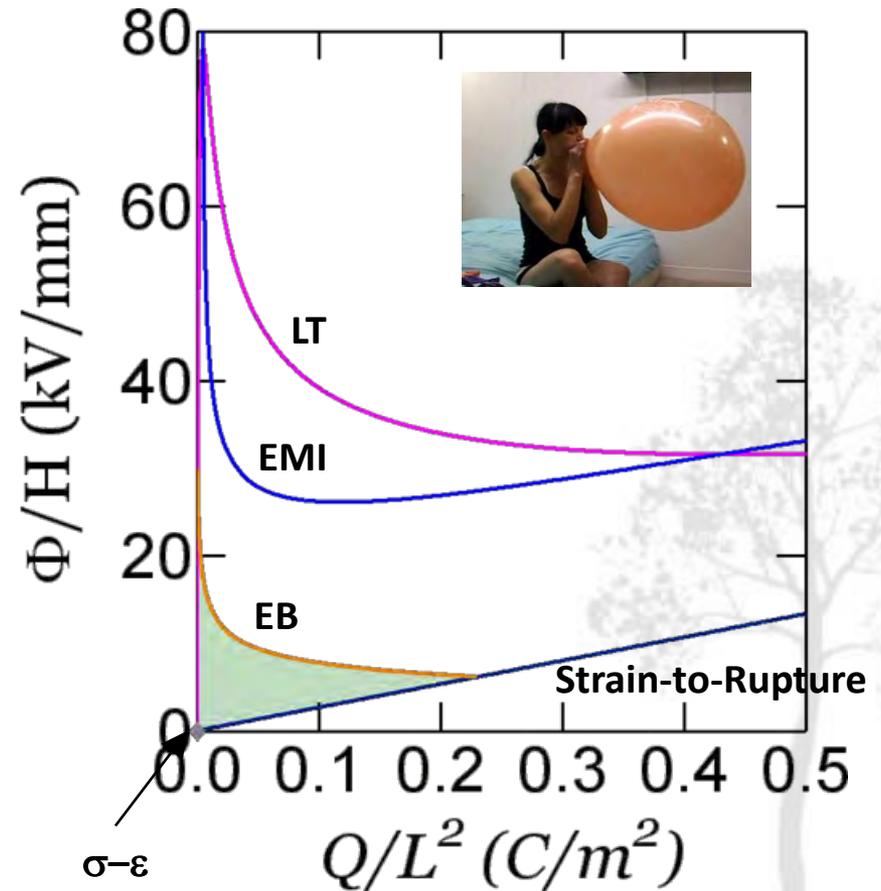
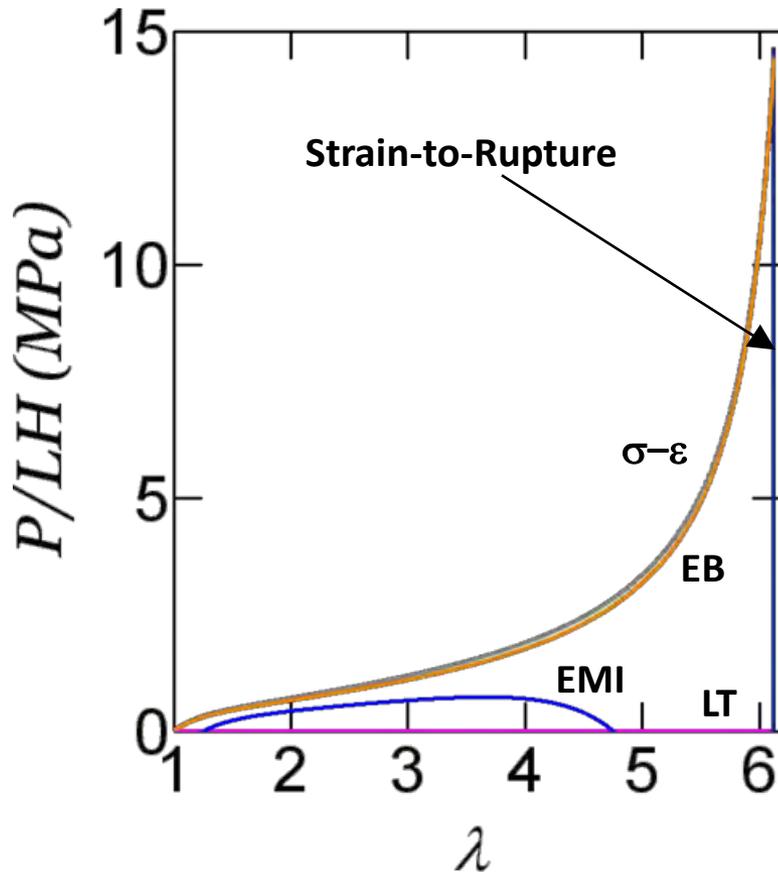
3M™ VHB™ 4910 acrylic elastomer tape



S. J. A. Koh et al., IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 16, 33 (2011)

Maximale Energieumwandlung pro Zyklus = 1.7 J/g

!!! Naturkautschuk !!!



S. J. A. Koh et al., IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 16, 33 (2011)

Maximale Energieumwandlung pro Zyklus = 1.3 J/g

Naturkautschuk – nachhaltig und billig !

→ **Verträglichkeit von**

Naturkautschuk und Salzwasser:
erstes transatlantisches Unterseekabel
mit Naturkautschuk isoliert

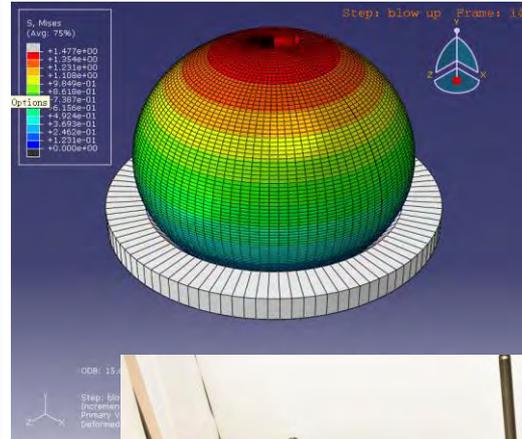
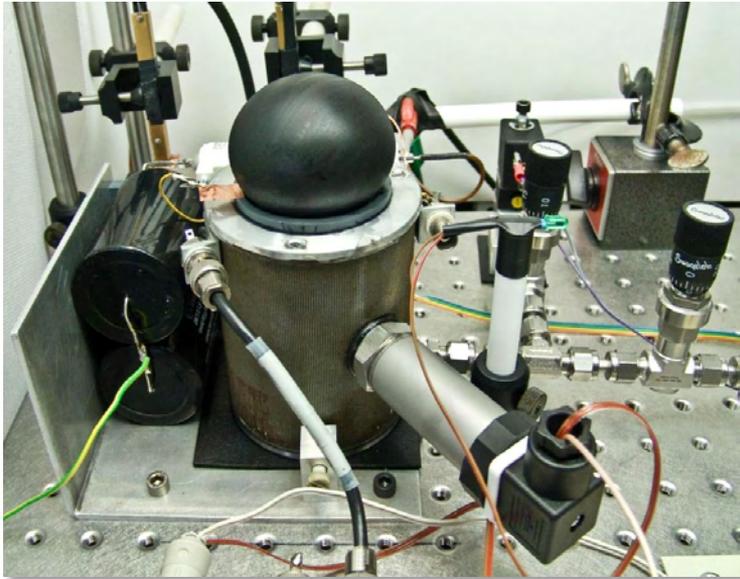


$$Y_{\max} = 2 \int_1^{\lambda_0} F(\lambda) d\lambda + 2\varepsilon E_{\text{EB}}^2 \log \left(\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_0} \right), \quad \text{for } R = 0 \quad (19a)$$

$$Y_{\max} = 2 \int_1^{\lambda_0} F(\lambda) d\lambda + \varepsilon [E_{\text{EB}} (1)]^2 \left(\frac{\lambda_{\max}^{2R} - \lambda_0^{2R}}{R} \right), \quad \text{for } R \neq 0. \quad (19b)$$

→ **Formel zur Evaluierung von neuen Materialien, „Optimierung“ von Naturkautschuk (z.B. Vulkanisationsgrad,..)**

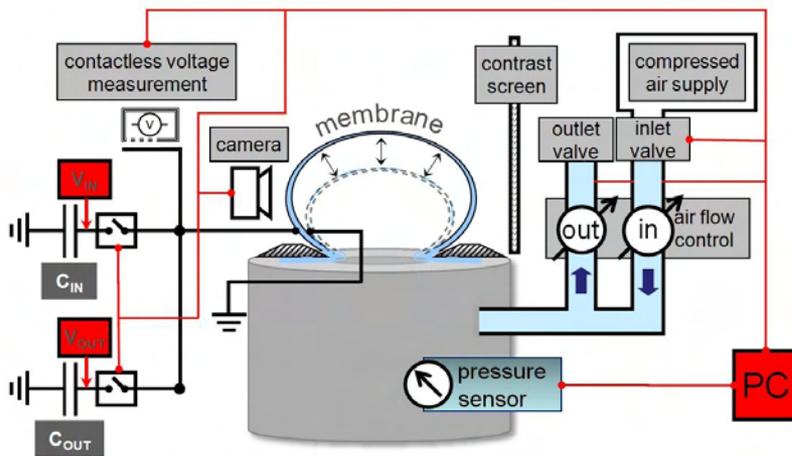
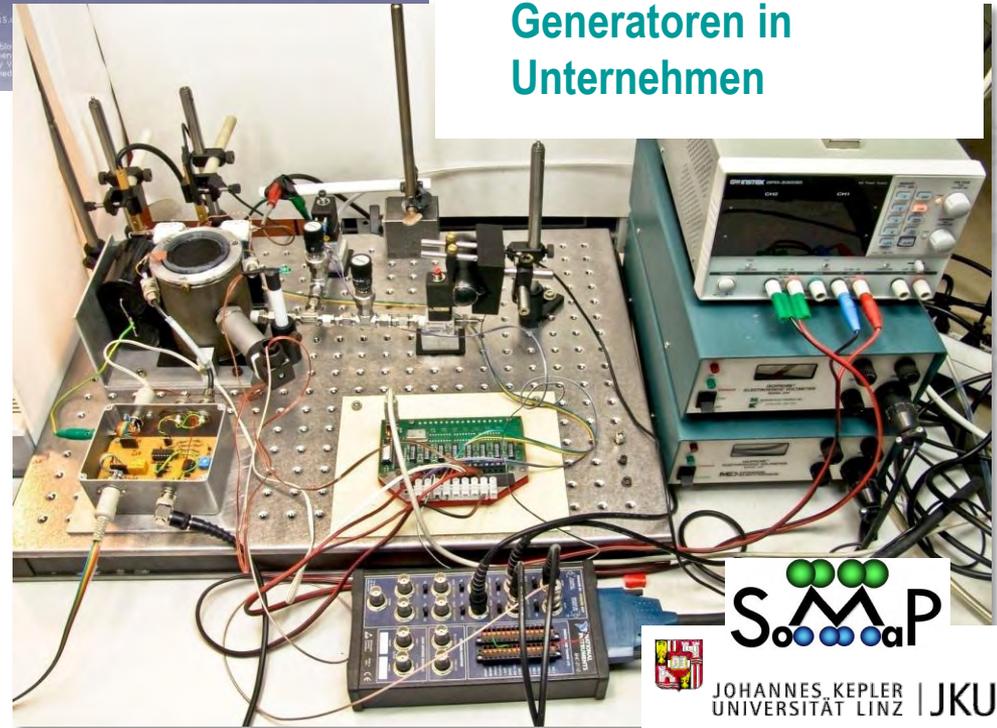
Wie geht es weiter?



→ exp. Charakterisierung
geeigneter Materialien

→ Prototypen

→ Optimierung von
Generatoren in
Unternehmen



Conclusio

- **Wellenenergie**: bisher unterschätzt, vielversprechende Quelle erneuerbarer Energie
- **Dielektrische Elastomer Generatoren**: hohes Anwendungspotential; oft besser geeignet als Induktionsgeneratoren; **Naturkautschuk**: nachhaltig, billig, geeignete Eigenschaften
- Forschungsstand bei erneuerbaren Energien: **große Lücken** bei wichtigen Fragen
- **FTI als Schlüssel** für eine sichere und nachhaltige Energieversorgung Österreichs, Europas und der Welt
- **Österreich als Exporteur von grüner Energietechnologie** – Motor für heimische Wirtschaft
- **Notwendigkeit von erweiterten Investitionen in den Wissenschaftsstandort Österreich**:
 - **Akkumulation von Know-how, Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit, erstklassige Ausbildungsstätten für zukünftige Forscher**

Team



Univ. Prof. Dr. Siegfried Bauer
sbauer@jku.at
www.somap.jku.at/



Professor Dr. Zhigang Suo
suo@seas.harvard.edu
www.seas.harvard.edu/suo/