

DEGREEN – Dielektrische Elastomergeneratoren für regenerative Energien

Dr. Bernhard Brunner

Energie-Symposium der Fraunhofer-Institute IISB, IIS und ISC:
Energietechnik im Wandel: bayerische Energieforschungsprojekte



©electriceye - fotolia.com, Fraunhofer ISC

Übersicht

- **Wirtschaftliche und technische Motivation**
- **Projektziele DEGREEN**
- **Funktionsprinzip Dielektrischer Elastomer Generatoren (DEG)**
- **Mechanische Anregungskonzepte**
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Wirtschaftliche und technische Motivation

- Bayern ist ein traditionelles Wasserkraftland.
- In den letzten 10 Jahren wurden in Bayern jährlich rund 12,5 Mrd. kWh aus Wasserkraft gewonnen und damit rund 3,7 Millionen Haushalte versorgt.

Das entspricht einem Anteil von 14 % an der Bruttostromerzeugung.

- **Somit ist das Wasser immer noch der bedeutendste (40%) erneuerbare Energieträger Bayerns.**
- Bis auf abflussbedingte Schwankungen ist das Stromangebot aus Wasserkraft relativ konstant und stellt damit im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien einen hohen Anteil gesicherter Leistung zur Verfügung.

Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung 2014, Leipziger Institut für Energie GmbH, 2013, Berechnungen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt

Wirtschaftliche und technische Motivation

Zukunft:

- Steigerung der jährlichen wasserkraft-erzeugten elektr. Energie von 12,5 Mrd. kWh auf 14,5 Mrd. kWh bis 2021 (Energiekonzept der Bayer. Staatsregierung „Energie innovativ“, Mai 2011)
- Realisierung durch Neubau von Großkraftwerken und Modernisierung bestehender Anlagen sowie natur- und umweltverträgliche Neubauten an bestehenden Querbauten
- Fischschutz und Hochwasserschutz erfordern aufwändige Zusatzbauten



Informationsquelle:

Wirtschaftliche und technische Motivation

Größenverteilung der Wasserkraftwerke in Bayern

Die große Anzahl an Kleinstwasserkraftwerken (80% der Gesamtanlagen) mit weniger als 100 kW Leistung, meist an Gewässern 2. und 3. Ordnung (mehr als 92.000 km in Bayern) liefern nur 3% der Strommenge.

Die kleinen Erzeuger können dennoch lokal bedeutende Stromlieferanten sein und bieten eine sichere Einnahmequelle für kleine und mittelständige Unternehmen.

Private Wassermühle an der Wern mit Generator (5 kW)



© Fraunhofer ISC

Wirtschaftliche und technische Motivation

Größenverteilung der Wasserkraftwerke in Bayern

Groß – Wasserkraftwerke (mehr als 1 Megawatt) an Gewässern 1. Ordnung (Bundeswasserstrassen) mit einem Anteil von ca. 5 % aller Anlagen erbringen dabei rund 92% der Jahresarbeit.

Diese Kraftwerke befinden sich bis auf wenige Ausnahmen im Besitz großer Energiekonzerne.



© Fraunhofer ISC

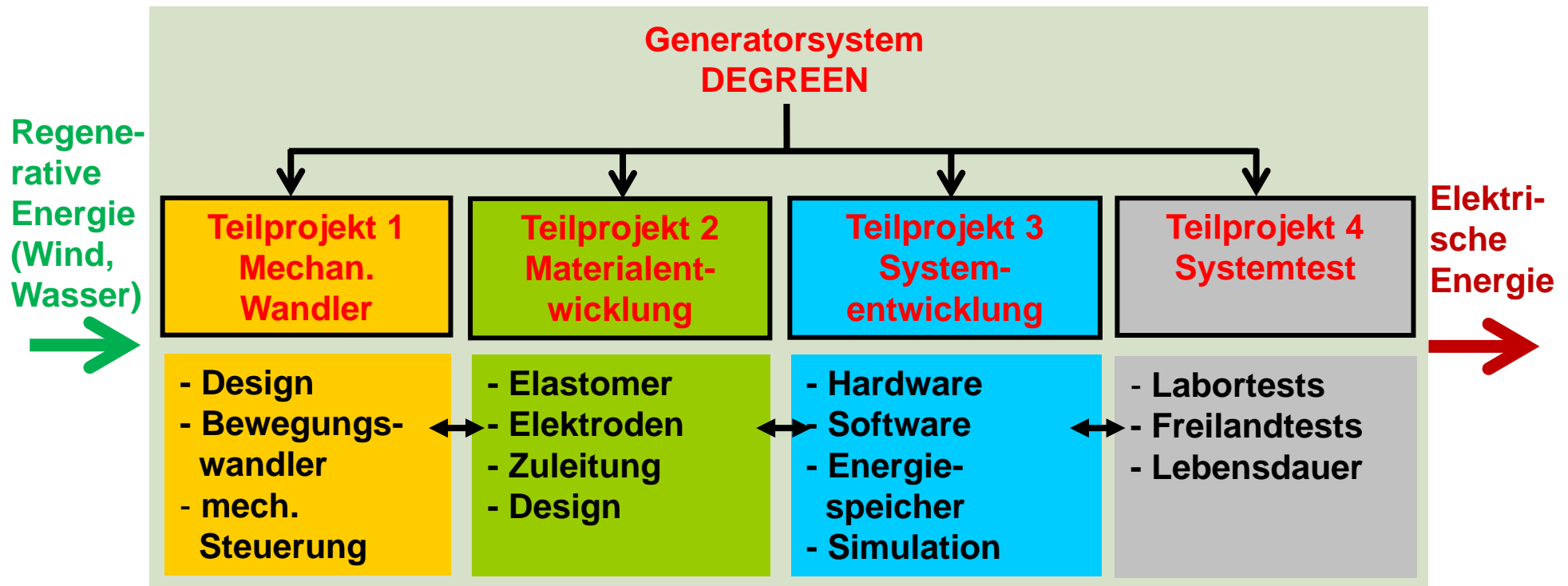
Mainschleuse Erlabrunn bei Würzburg mit 2,9 MW Wasserkraftwerk (Fallhöhe 4 m, E.ON Bayern)

Projektziele DEGREEN

- **Zusätzliche umweltschonende regenerative Energiequellen** sollen ergänzend zu heutigen großtechnischen Anlagen erschlossen werden.
- **Mit neuartigen Elastomermaterialien** soll die mechanische Energie von Windströmungen in Bodennähe, von Aufwinden oder Wasserströmung in kleinen Flüssen direkt in elektrische Energie umgewandelt werden.
- Die elektrische Energie soll zur nachhaltigen **dezentralen Stromversorgung** z.B. von Campingplätzen, abgelegenen Siedlungen oder zum Laden von Elektrofahrzeugen in ländlichen Regionen eingesetzt werden.
- Eine **Beeinflussung des Landschaftsbildes**, der Strömungssituation in Flüssen, Beeinträchtigungen von Flora und Fauna und Lärmbelästigung wird weitestgehend **vermieden**.

DEGREEN: Projektdaten / Projektstruktur

- Laufzeit: 1.5.2012 – 30.4.2017
- Budget: 10 Mio. €, Fördersumme 8 Mio. € durch das bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie



DEGREEN: Vorteile der dielektrischen Elastomer Generatoren

- **Autonomes System**: integrierte Sensorik, adaptive Regelung (Strömungsverhältnisse), elektrischer Ausgang anpassbar an Batterien oder an Netzanschluss
- **Nutzung geringer Wassergeschwindigkeiten** (ab 0,5 m/s), geringe Wassertiefen (0,5 m) auch ohne (anstauende) Querbauwerke, womit deutlich mehr Standorte als bei konventionellen Kleinstwasserkraftwerken möglich werden
- **Einsatzmöglichkeiten an bisherigen Kleinwasserkraftwerken, Nutzung von Restwasser, Kühlwasserkanälen, Aufbau von Kraftwerksschwärmen**
- **Umweltverträglich**: geringste Änderungen der Strömungsverhältnisse, inhärenter Fischschutz, geräuschlos
- **Einsparung von Ressourcen** (z.B. Seltene Erden, Metalle), die in konventionellen Elektrogeneratoren verwendet werden

DEGREEN: Herausforderungen

■ Materialverbund:

- Extreme Belastungen des Elastomers und der Elektroden durch hohe mechanische Wechseldehnung und gleichzeitig hohen elektrischen Feldstärken
- Elektrische Kapazitätserhöhung durch Folienpackungen, geringere Folien-dicken und größere Dielektrizitätszahl

■ Elektronik:

Adaptive elektronische Regelung zur Anpassung an Anregungsveränderungen

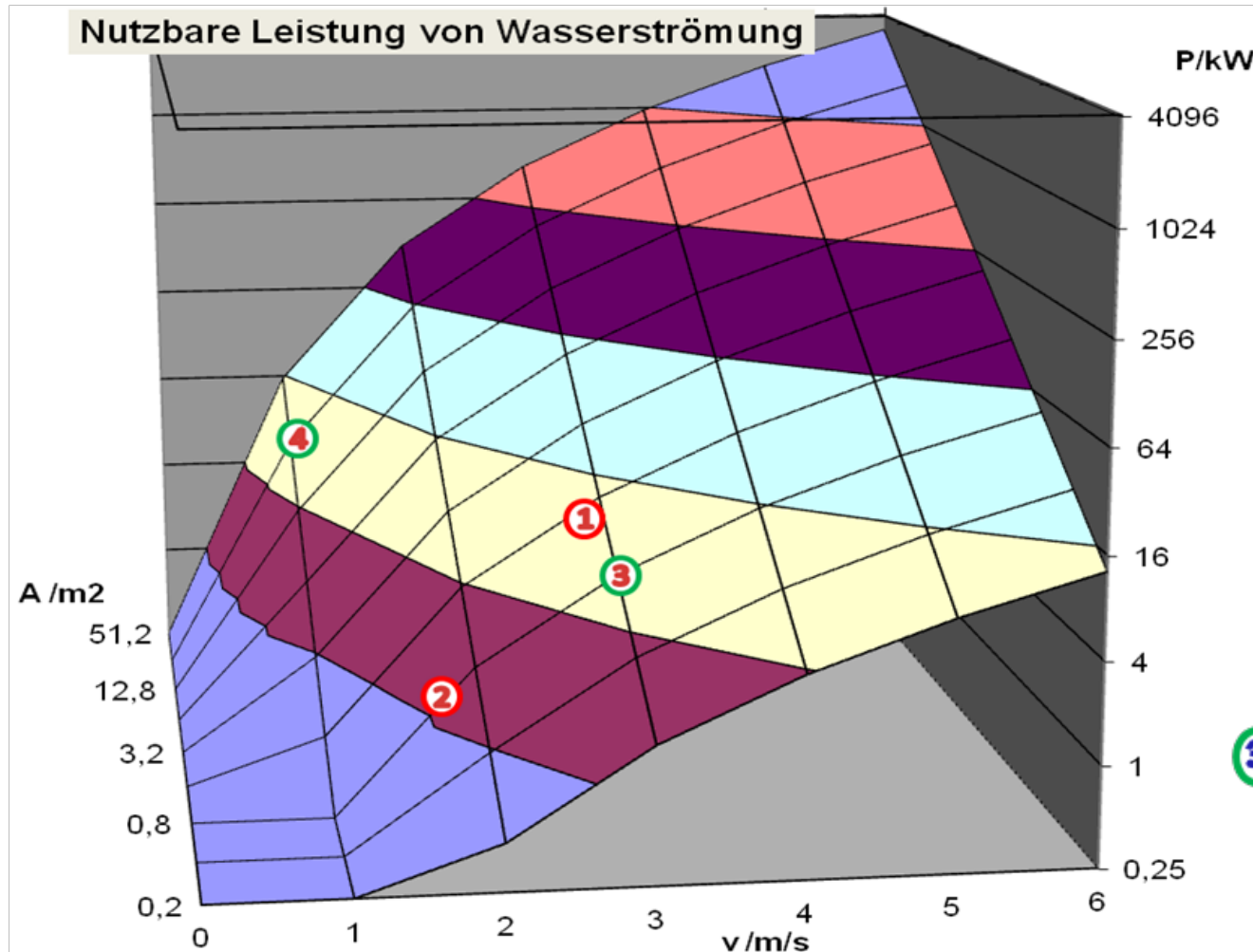
■ Mechanik:

Anpassbares und langlebiges Design

■ Wirtschaftlichkeit:

Investitionskosten ~ 3000 EURO / kW, vergleichbar mit Kleinstwasserkraftwerken, Solar- / Windkraftanlagen; Jahresproduktion 8 MWh

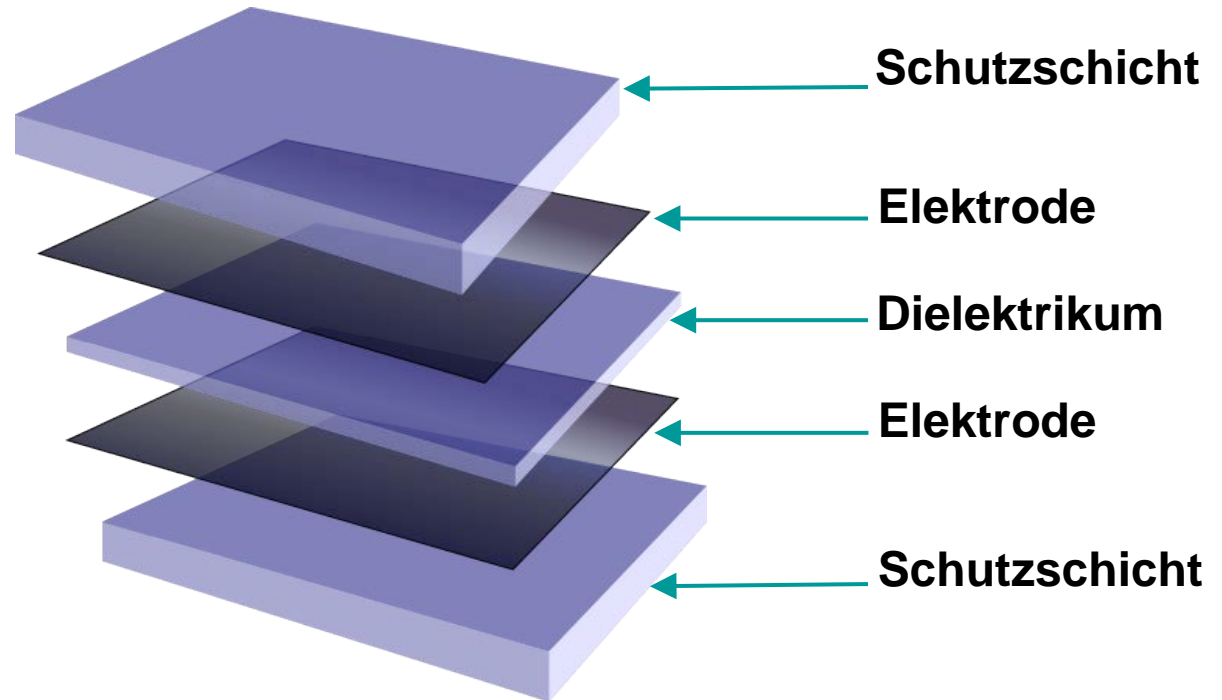
DEGREEN: Benchmark Wassergeneratoren



- ① H2O Future MF-K (konventionelles Wasserrad):
10 kW; $\eta \approx 75\%$;
ca. 90 T€
- ② Smart Hydro Power (schwimmender Floßaufbau):
1kW; $\eta \approx 80\%$
(Entwicklung)
- ③ ④ mögliche DEGREEN-Anlage:
1 kW; $\eta \approx 10\%$ (angenommen)

Aufbau dielektrischer Elastomere

- Dielektrische Elastomere (DE) bestehen aus einer stark dehnbaren Elastomerfolie (Silicon, Acryl, Polyurethane, Naturkautschuk), die beidseitig mit hochflexiblen Elektroden (Leitruß, Graphit) beschichtet wird
- extrem dehnbar ($\approx 100\%$) und flexibel
- großflächig als Bänder (0,5 m breit, 250 m lang) herstellbar
- besonders geeignet zur Integration in flexible, dehnbare oder bewegliche Strukturen



Funktionsprinzip dielektrischer Elastomer Generatoren

Beschreibung des Kreisprozesses:

0 → 1 : mechanische Vorspannung

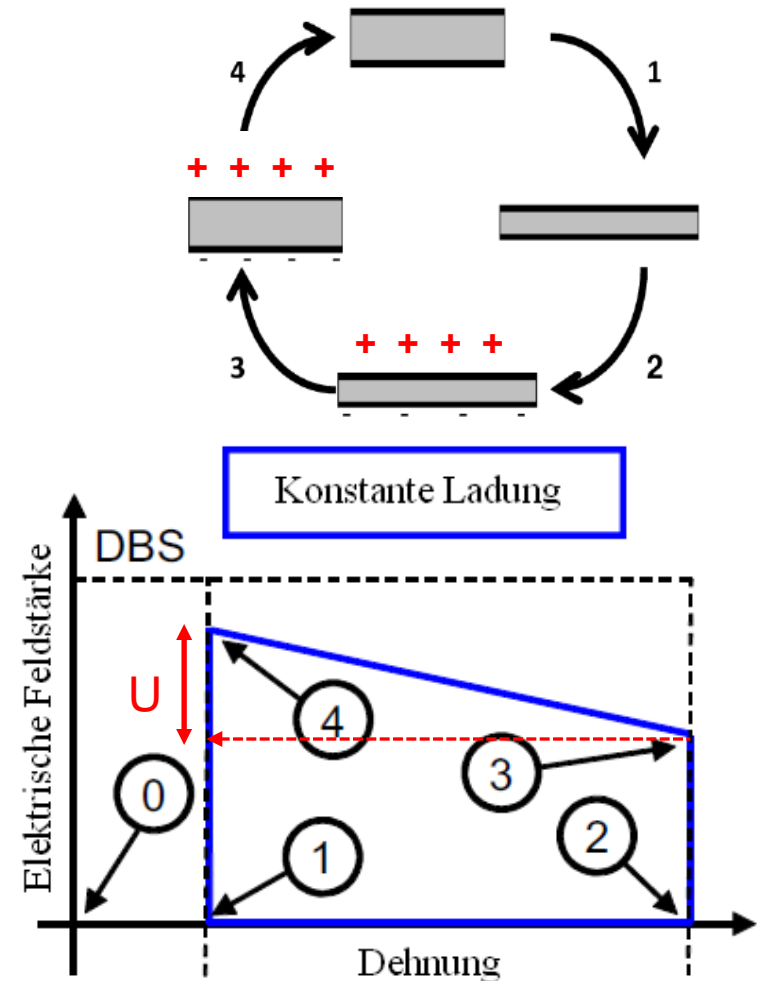
1 → 2 : Dehnung

2 → 3 : Laden durch Anlegen einer elektrischen Spannung

3 → 4 : mechanisches Entspannen, elektr. Spannungserhöhung

4 → 1 : Entladen auf ein definiertes Ausgangspotential

$$W = \frac{1}{2} \times C \times U^2$$



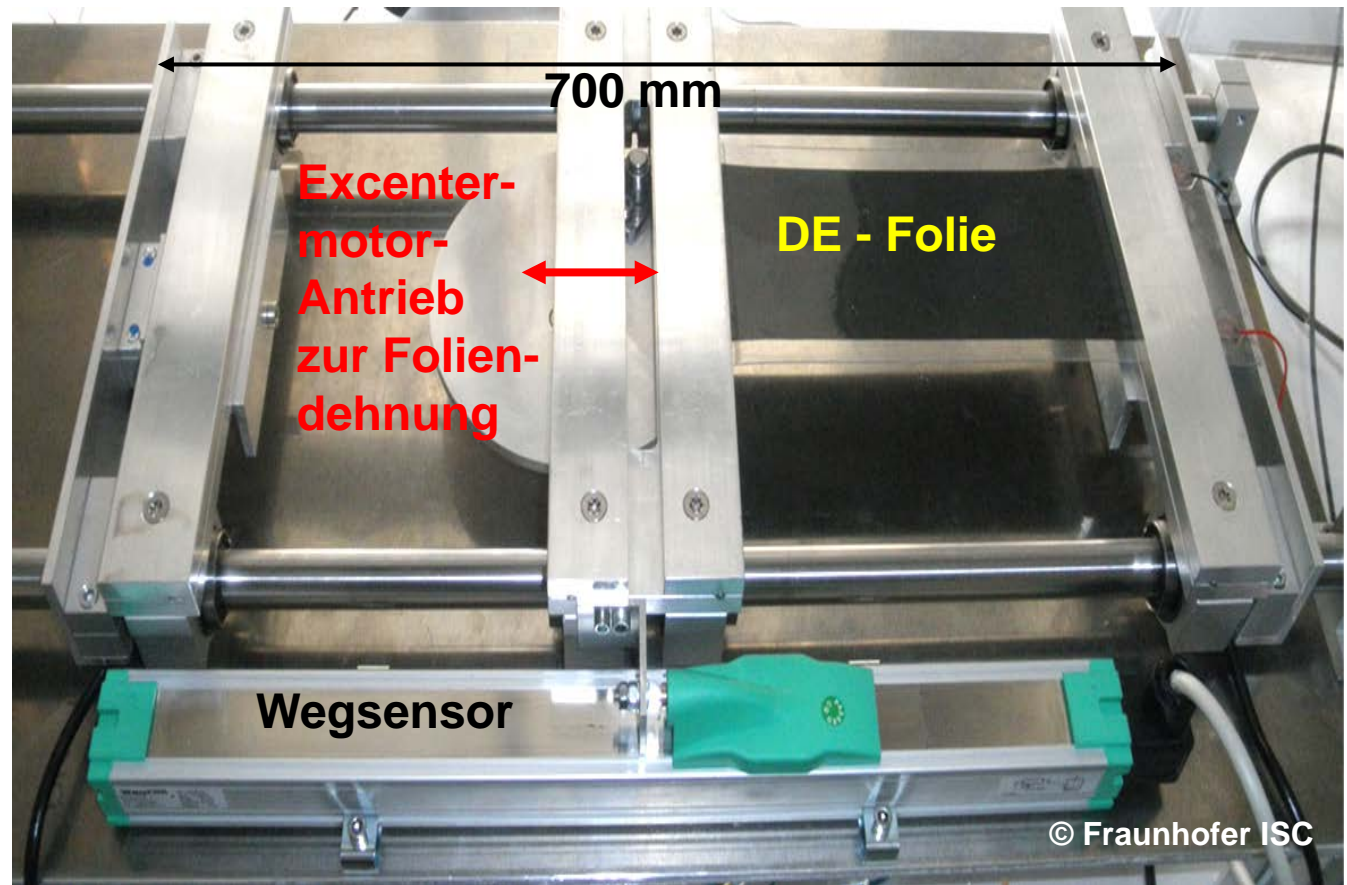
Funktionsprinzip dielektrischer Elastomer Generatoren

Labor -Teststand für Generatoren am Fraunhofer ISC:

Excenterantrieb zur
wechselseitigen
Dehnung und
Entspannung von
2 – 4 Elastomerfolien

⇒ Evaluierung einer
integrierten (DES-)
Sensorik zur Deh-
nungsmessung

⇒ Entwicklung des
komplexen und
adaptiven Power-
managements

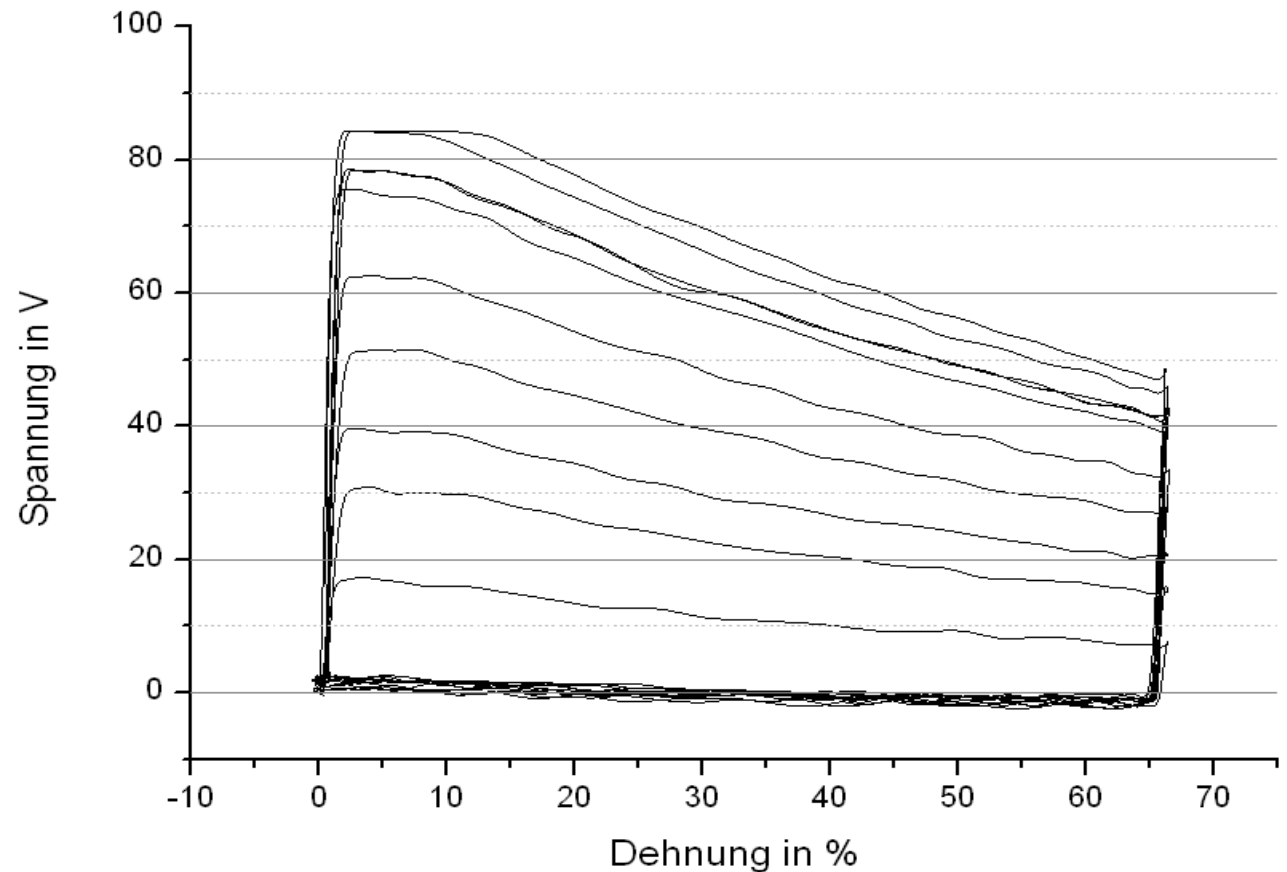


Funktionsprinzip dielektrischer Elastomer Generatoren

Labor -Teststand für Generatoren am Fraunhofer ISC:

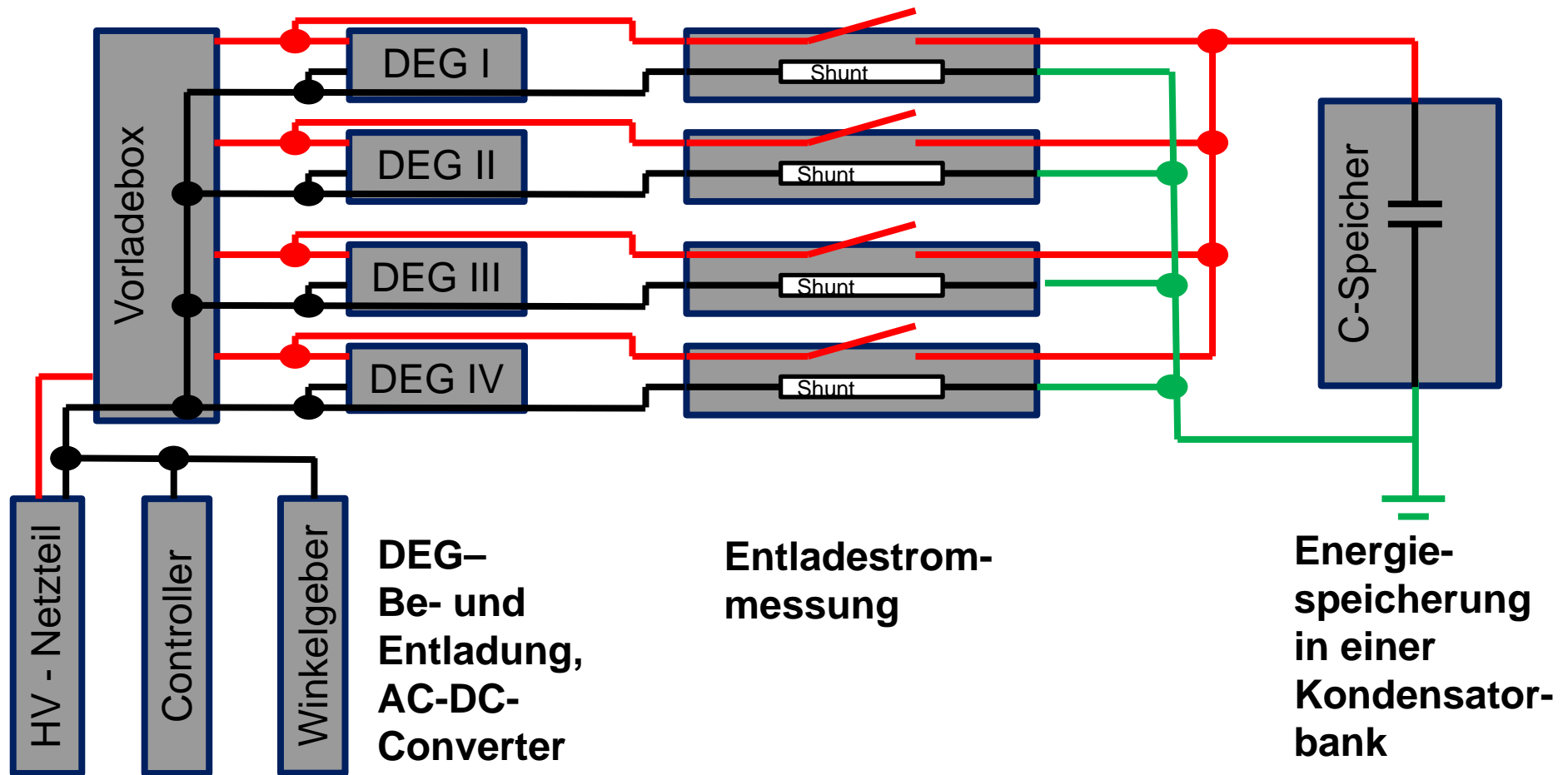
⇒ **Leistungsausbeute**
10 mW bei 70%
Dehnung einer
DE-Folien bei einem
Spannungshub
50 → 85 V

⇒ **Spannungshub und**
damit elektr. Energie-
gewinn steigt mit an-
gelegter elektrischer
Ladespannung und
steigender Dehnung



Funktionsprinzip dielektrischer Elastomer Generatoren

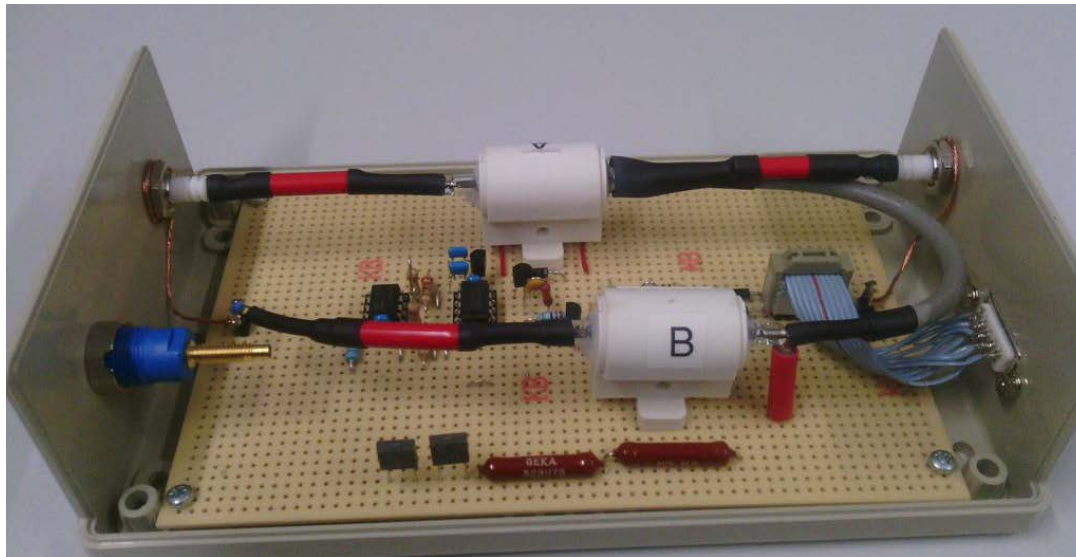
Abstrahiertes Blockschaltbild der Leistungselektronik



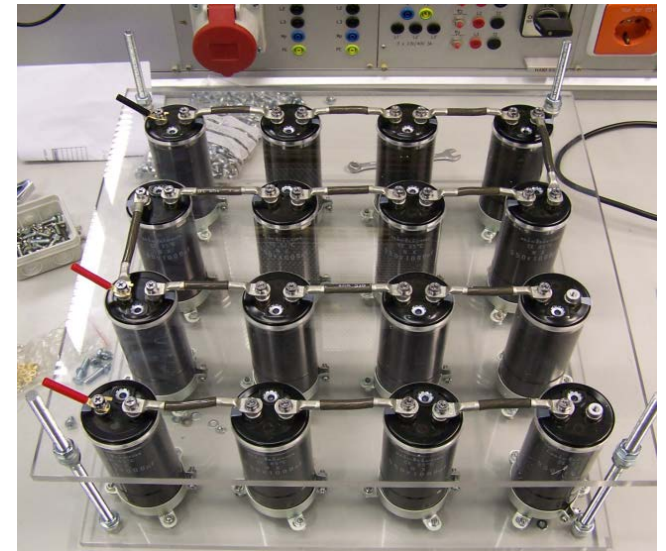
Funktionsprinzip dielektrischer Elastomer Generatoren

Aufbau der Leistungselektronik

- Aufbau der Vorladeschaltung und der Energietransferschaltung über Hochspannungsrelais (isolationstfest bis 11 kV), da Halbleiter noch zu große Verluste aufweisen
- DEG wird direkt auf Zwischenkreis (Kondensatorbank mit 63 μF) entladen



Energietransferschaltung (DEG I)



Kondensatorbank 2 kW

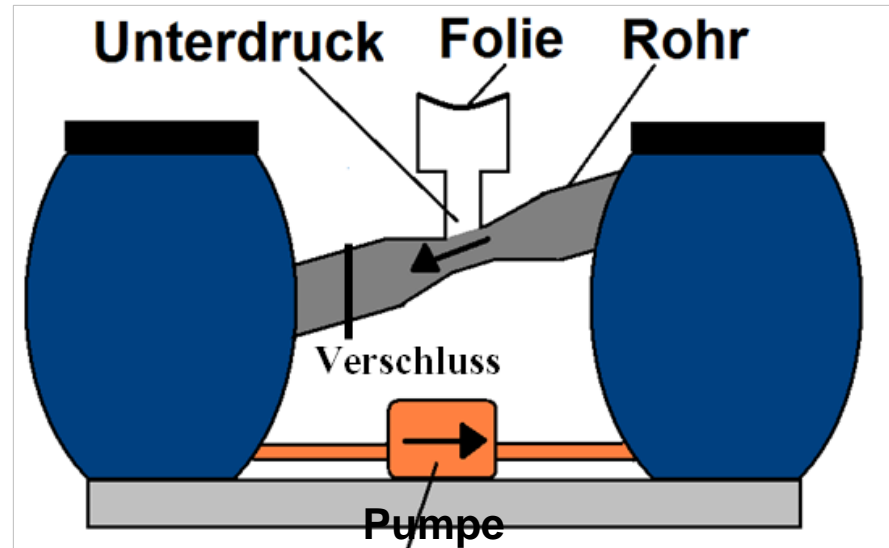
Mechanische Anregungskonzepte

Funktion der Druckrohranregung

Strömt das Wasser durch eine Venturi-Düse, entsteht ein Unterdruck im Steigrohr.

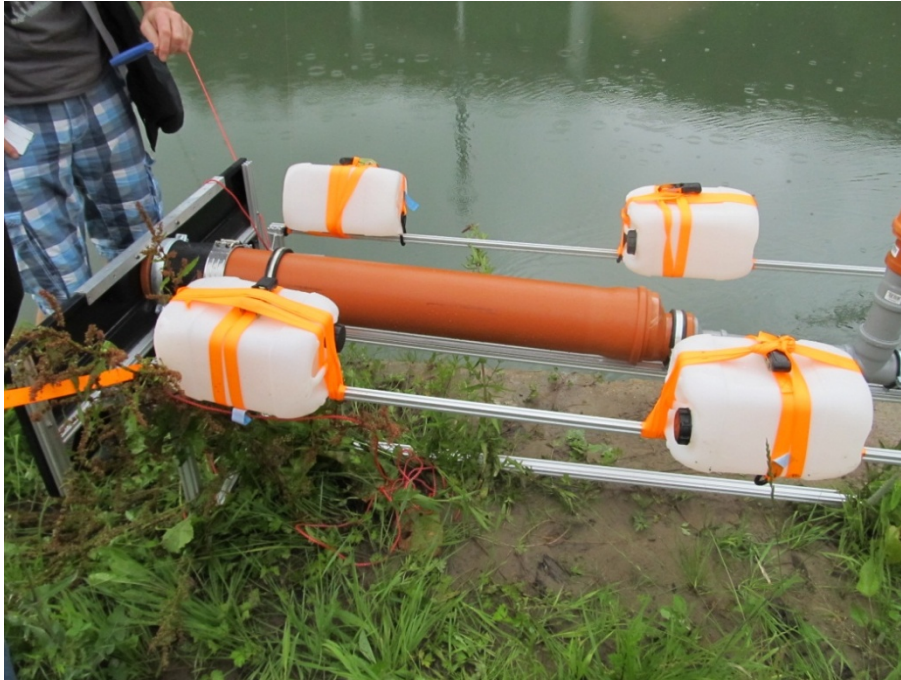
Durch diesen Unterdruck wölbt sich die Folie nach innen.

Wird der Verschluss geschlossen fällt der Unterdruck durch Öffnen eines Belüftungsventiles ab, wodurch die Folie wieder in den ungedehnten Zustand zurückgeht.



Mechanische Anregungskonzepte

Erste Funktionstests an der Tauber: Nutzung Druckrohranregung in natürlicher Wasserströmung

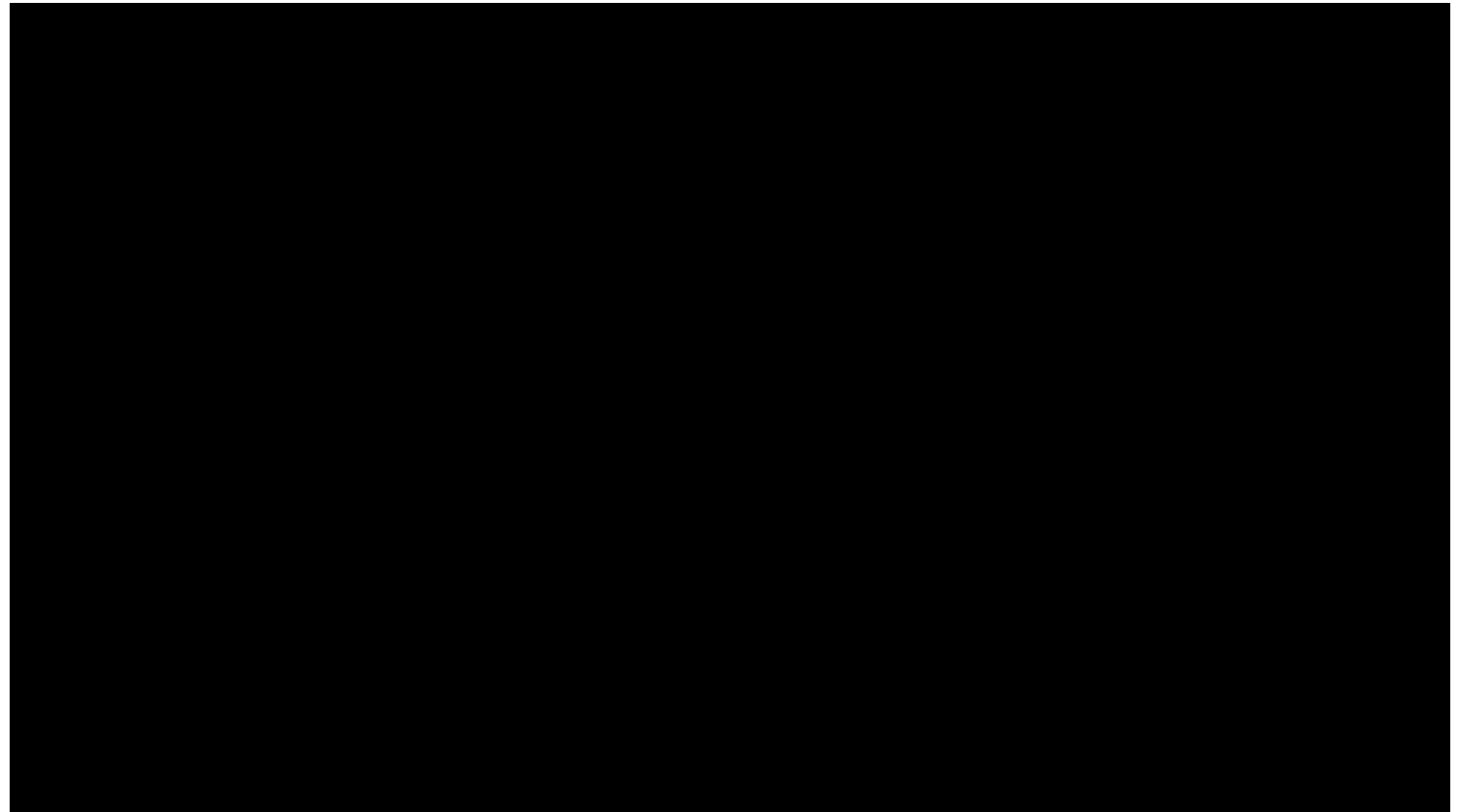


**mobiler, schwimmfähiger Aufbau, aber auch versenkbar, billige Baumaterialien
Druckanpassung durch Änderung des DE- Foliendurchmessers → Skalierbarkeit
Ausbau mit weiteren Druckdosen möglich → modularer Aufbau**

Mechanische Anregungskonzepte

Erste Funktionstests an der Tauber: Nutzung Druckstöße in natürlicher Wasserströmung

ca. 60% Oberflächenvergrößerung der Elastomerfolien bei ca. 0,7 m/s Wasserströmungsgeschwindigkeit



Mechanische Anregungskonzepte

Testmöglichkeiten am Aufbau eines neuen Wehres mit konventionellem Kleinstwasserkraftwerk oder am Fisch-aufstieg am Seitenarm der Tauber an der Fraunhofer ISC – Außenstelle in Bronnbach bei Wertheim



Zusammenfassung und Ausblick

- **Erstes Anregungsprinzip in der Testphase, weitere Konzepte in Evaluierung**
- **Bisherige Leistungsausbeute im Laborteststand einige W**
- **Ansteuerelektronik bis 10 W im Labor einsatzfähig, 100 W Leistungselektronik für Freilandtests 2015 in Vorbereitung**
- **Noch unzureichende Dauerbelastbarkeit der dielektrischen Elastomerfolien wird durch Geometrie- und Materialoptimierung verbessert**
- **Großflächige Herstellung der DE-Folien wird noch weiter ausgebaut**
- **Aufbau von Versuchsgeneratoren an Fischaufstiegen und Querbauwerken an der Tauber und Wern 2015**

Vielen Dank für die Förderung durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie



und
Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Bernhard Brunner
Fraunhofer ISC
Neunerplatz 2
97082 Würzburg

Tel.: 0931 4100 - 416
bernhard.brunner@isc.fraunhofer.de
www.isc.fraunhofer.de