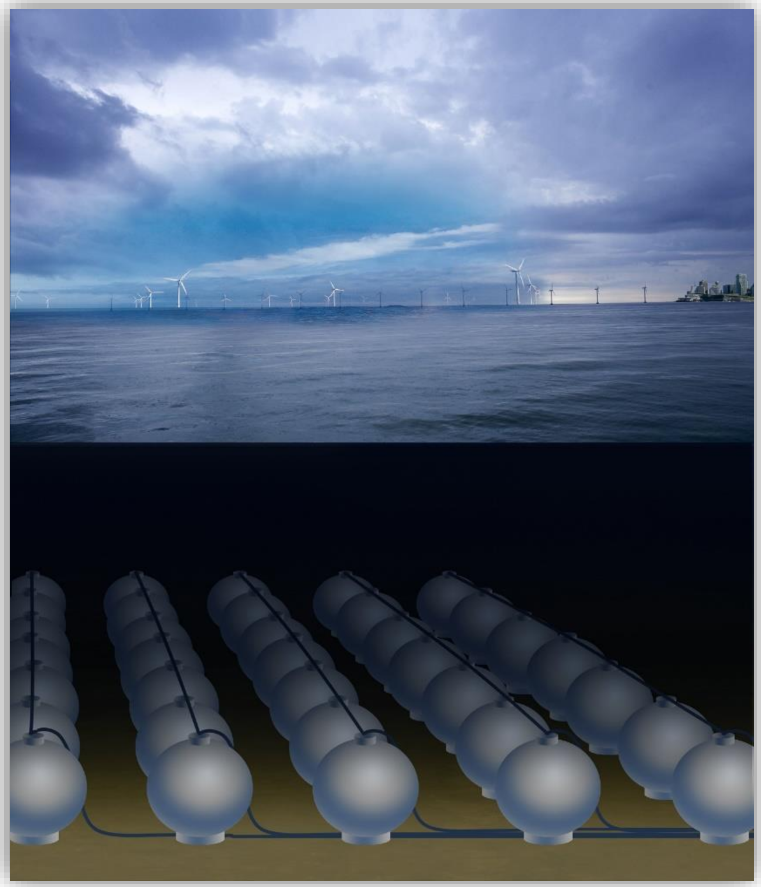
Spheric Under Water Energy Reservoirs


Source: 5)

Introduction:

The Role of Energy Storage

Ongoing Research:

The StEnSea Project

Outlook:

Offshore Energy Storage

Conclusion

Introduction: The Transition to Renewable Energy and the Relevance of Energy Storage

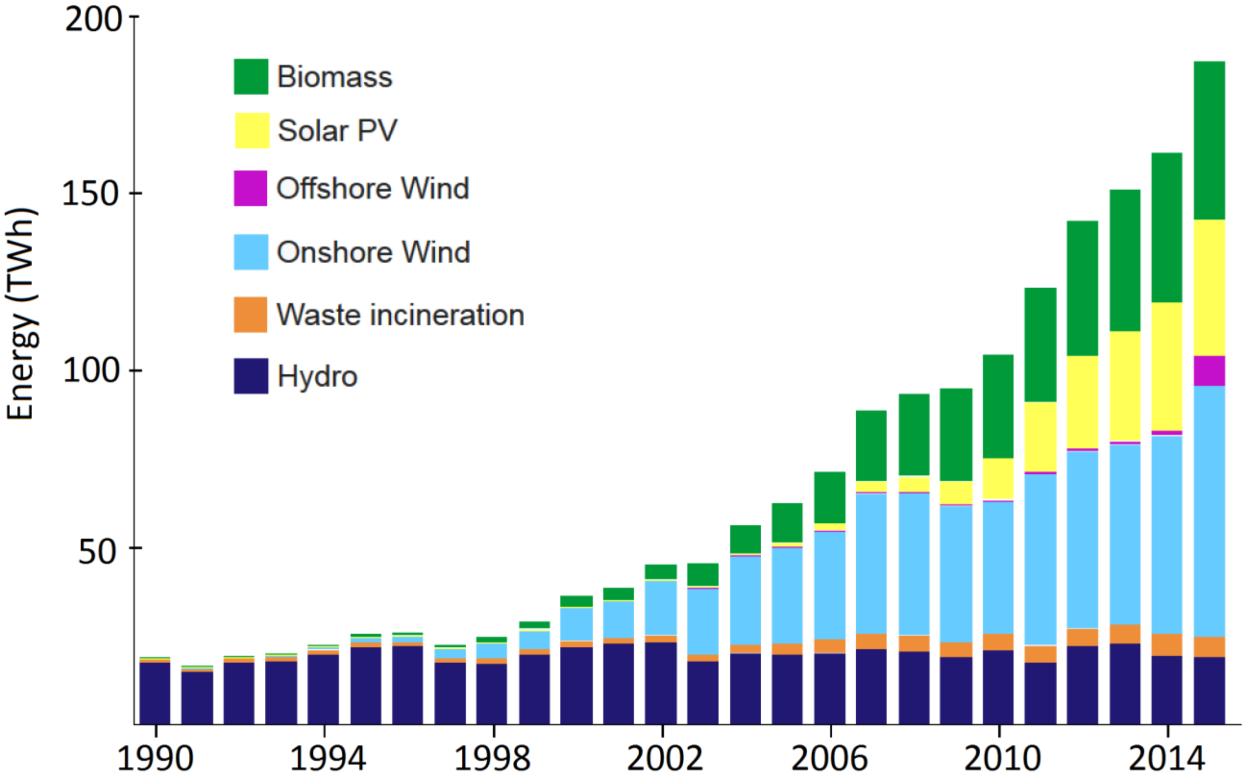
The EU's Renewable energy directive:

20% from renewable energy sources by 2020
27% from renewable energy sources by 2030

Source: http://www.eqmagpro.com/trudeau-walks-a-thin-tightrope-between-fossil-fuels-renewables/ (2017)

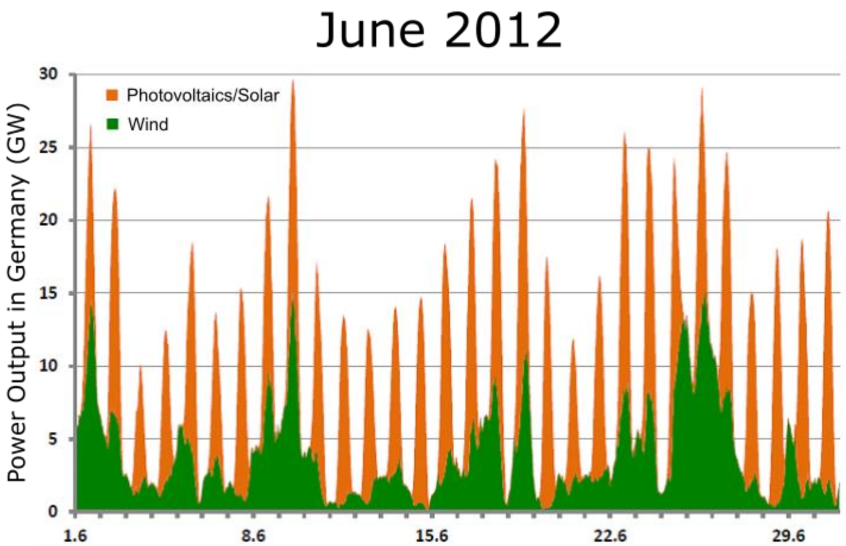
Introduction: The Transition to Renewable Energy and the Relevance of Energy Storage

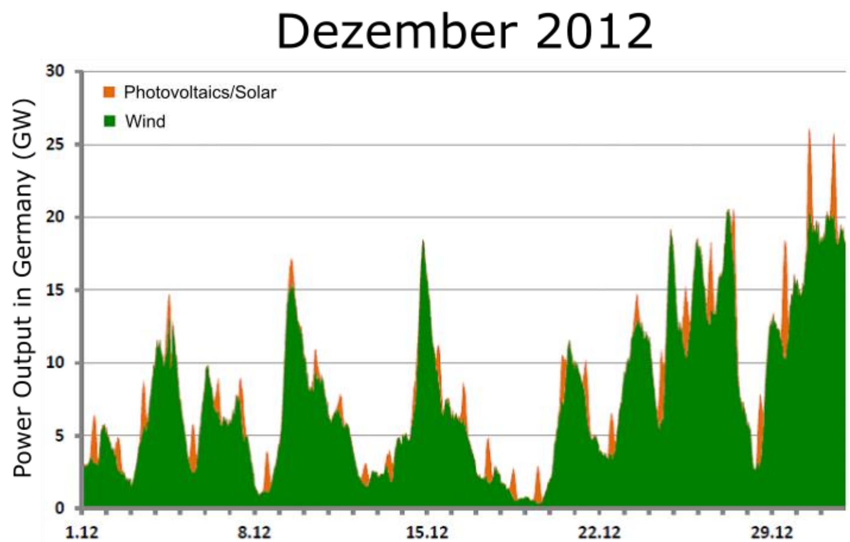
Electrical generation from renewables in Germany



Source: http://www.erneuerbare-energien.de (2016)

Introduction: The Transition to Renewable Energy and the Relevance of Energy Storage





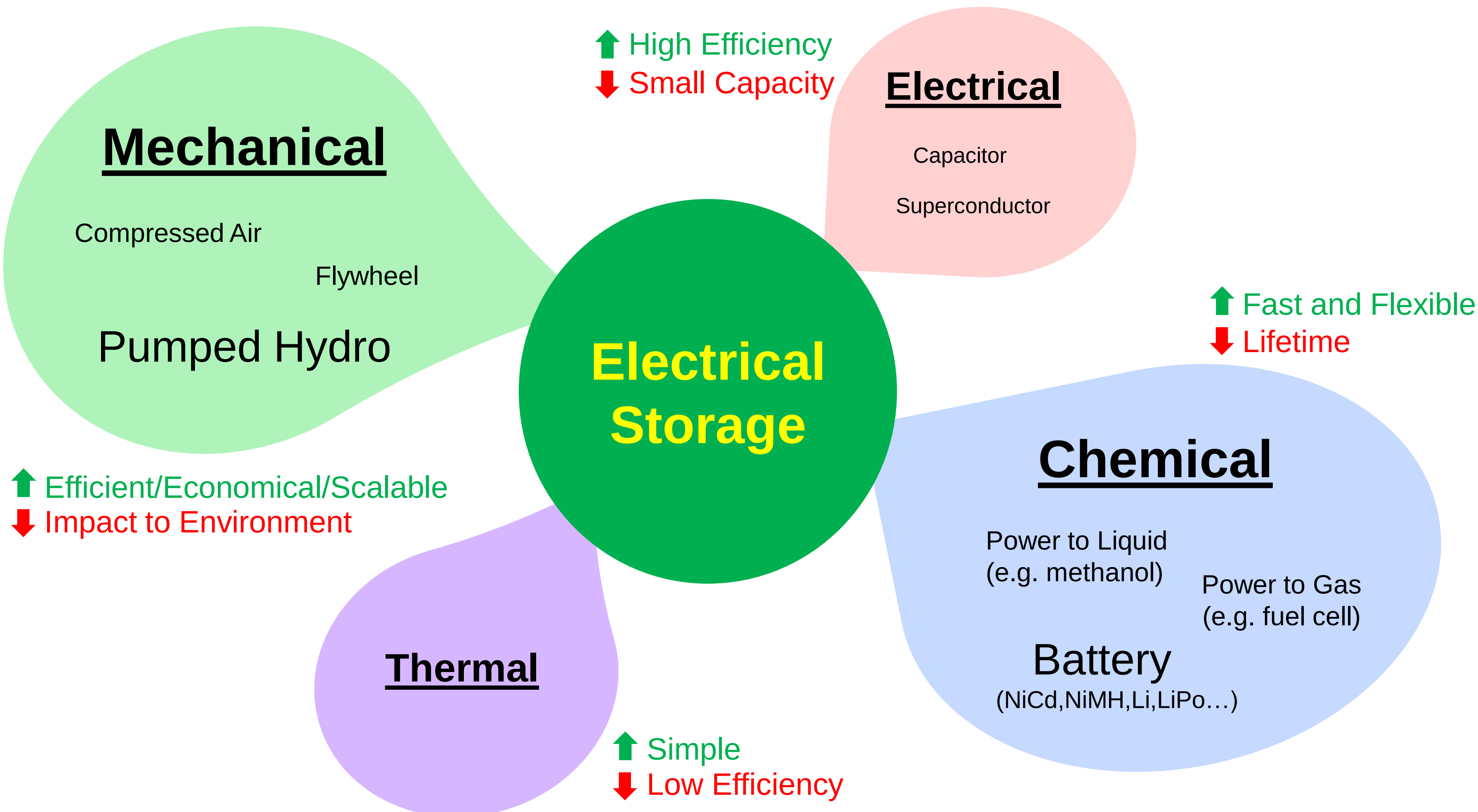
Source: Physik konkret, Konrad Kleinknecht, Helmut Alt, 18 (2013)

Fluctuations from Solar & Wind Energy: ➡ Demand for Stabilization:

- Season
- Daytime
- Weather

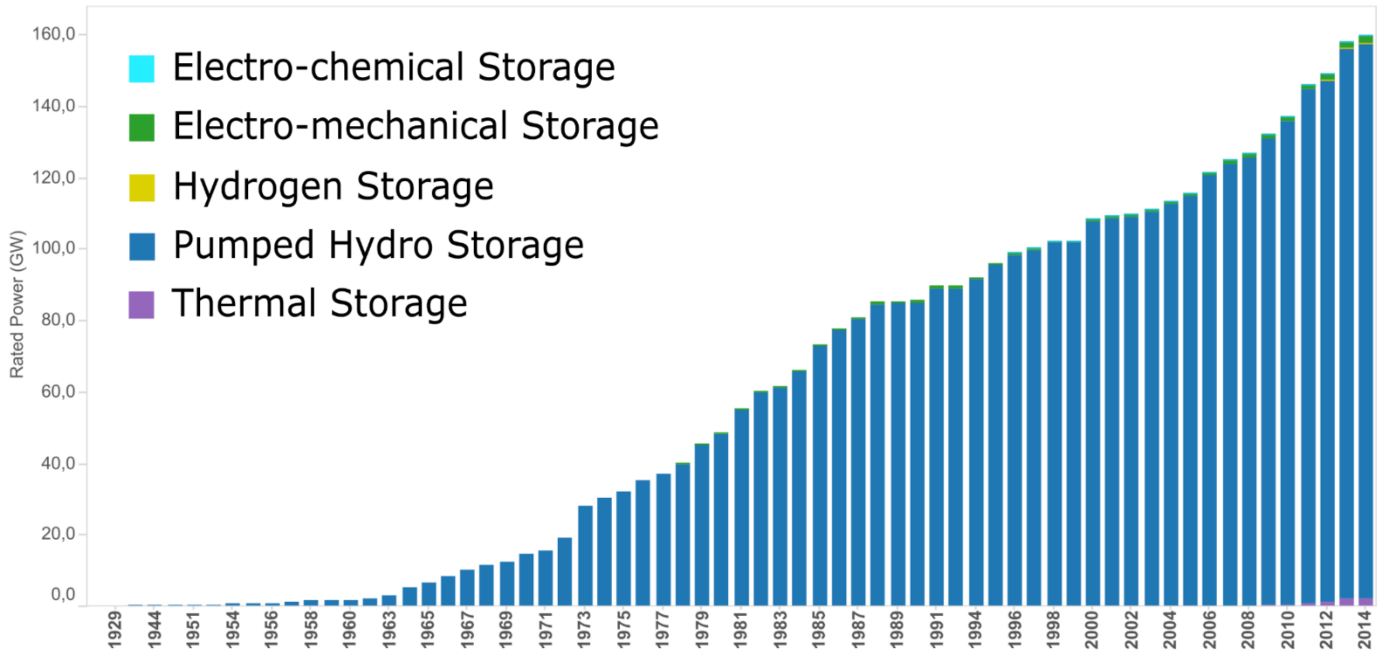
- Grid Expansion
- Computational Grid Optimization
- **Energy Storage**

Introduction: The Transition to Renewable Energy and the Relevance of Energy Storage



Introduction: The Transition to Renewable Energy and the Relevance of Energy Storage

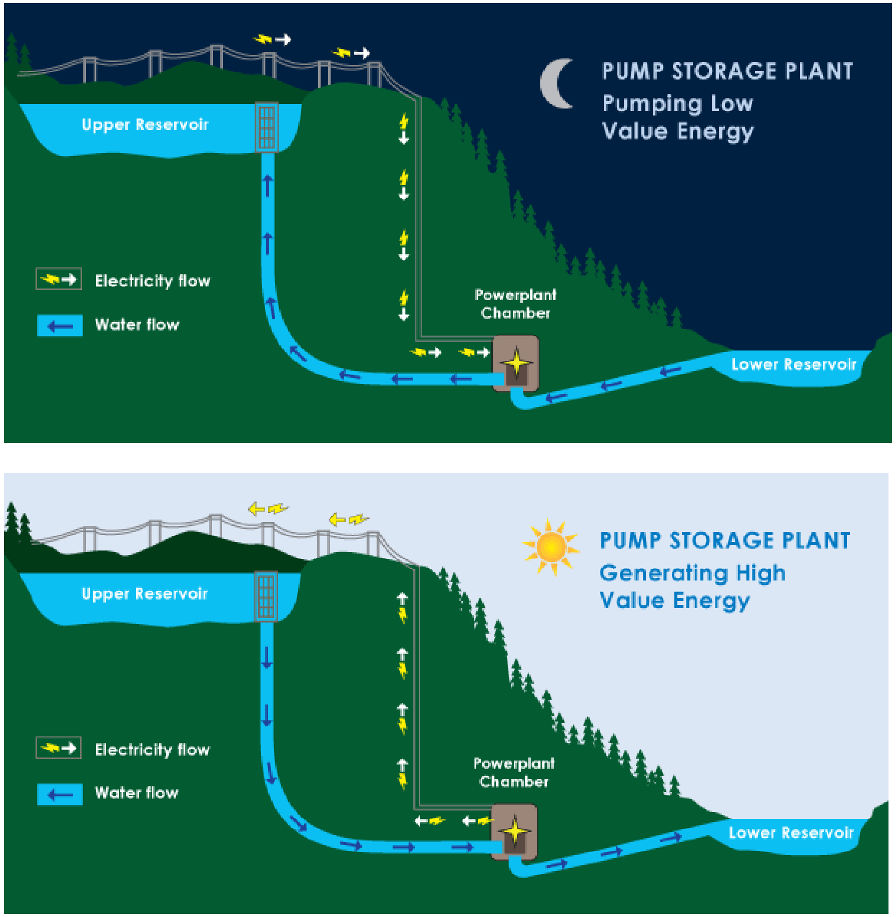
Worldwide Installed Electrical Grid Power Storages



➡ 99%
from
PHS

Source: DOE Global Energy Storage Database (2017)

Introduction: The Transition to Renewable Energy and the Relevance of Energy Storage



Source: http://www.powerelectronicsnews.com/uncategorized/the-search-for-large-scale-energy-storage-solutions

$$E_{el}(\text{surplus})$$

⬇

$$E_{pot} = V \cdot \rho \cdot \Delta h \cdot g$$

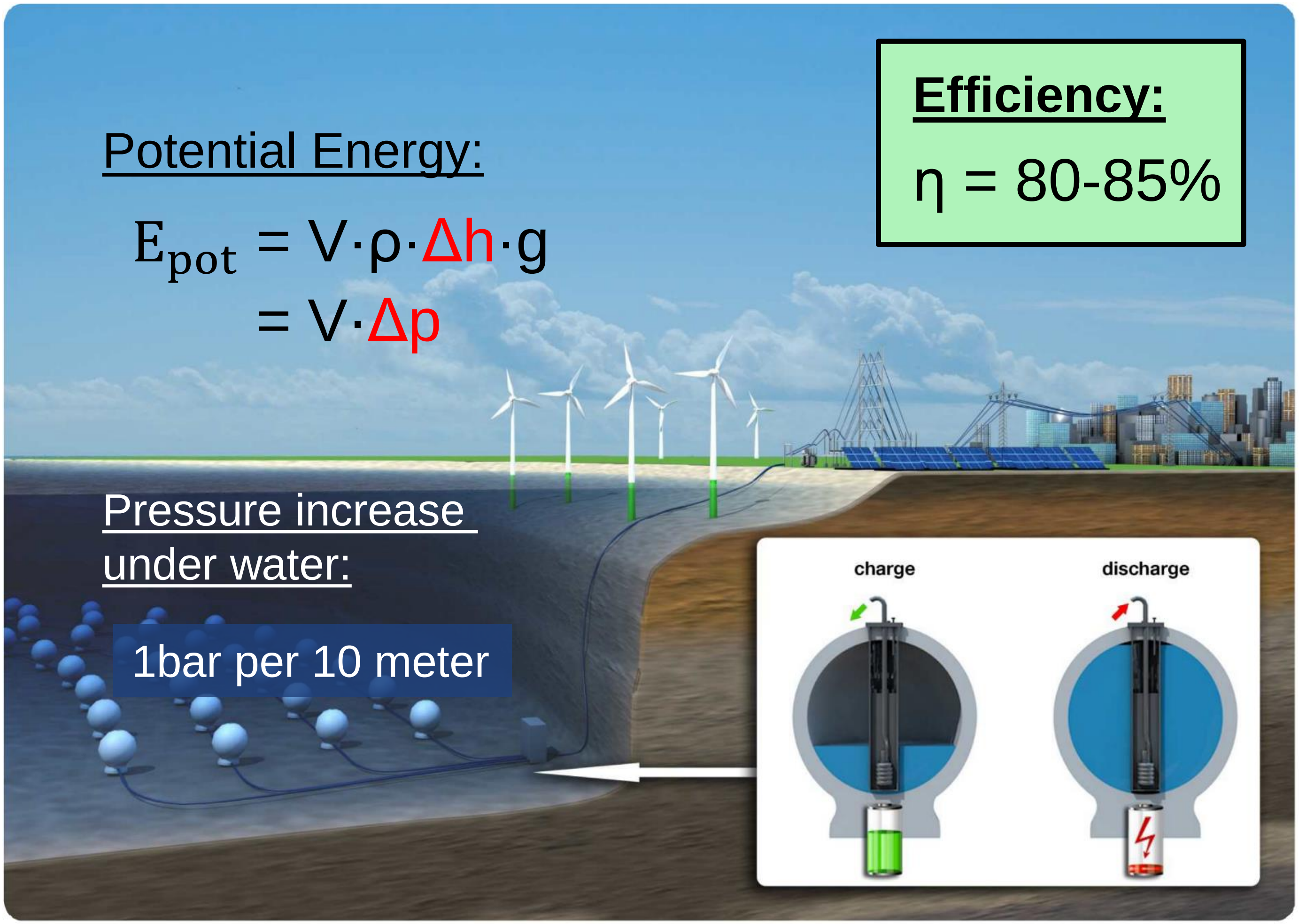
⬇

$$E_{el}(\text{required})$$

Efficiency:

$$\boxed{\frac{E_{el}(\text{required})}{E_{el}(\text{surplus})} = 80\text{-}85\%}$$

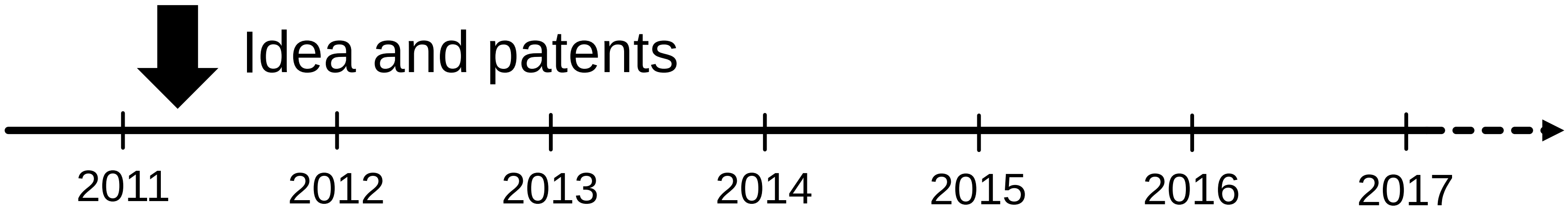
The StEnSea (Stored Energy in the Sea) Project

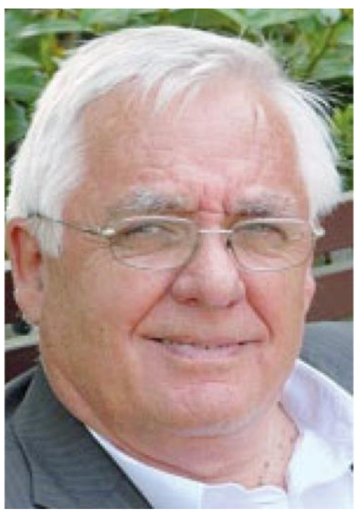


Source: 1)

ETH zürich

The StEnSea Project





Prof. Schmidt-Böcking
(Frankfurt, Germany)

Dr. Gerhard Luther
(Saarbrücken, Germany)

DOI: 10.1002/piuz.201301330

Speicherung elektrischer Energie am Meeresboden

Das Meer-Ei

Horst Schmidt-Böcking | Gerhard Luther | Christoph Lay | Jochen Bard

Der wachsende Anteil schwankender erneuerbarer Energiequellen im Netz erfordert mehr Stromspeicherkapazität. Ausgereift sind bislang nur Pumpspeicherkraftwerke. Eine neue Speichertechnologie wäre für Offshore-Windparks besonders geeignet: Das „Meer-Ei" nutzt den hohen Druck im tieferen Wasser als „Reservoir". Erste Pilotprojekte sind in Vorbereitung.

Der völlige Umstieg von unseren herkömmlichen Energieträgern für die Stromerzeugung, fossilen Brennstoffen und Kernenergie, auf erneuerbare Energiequellen wie Wind und Sonne kann nur gelingen, wenn man Wege findet, elektrischen Strom in großen Mengen und hinreichend lange zu speichern. Wind und Sonnenlicht stehen in praktisch unbegrenzter Menge zur Verfügung, aber leider nicht zu jeder Zeit.

In Deutschland bringt es die Photovoltaik jährlich auf rund 1000 Volllaststunden, ist jedoch starken täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Beim Wind sind die zeitlichen Schwankungen geringer ausgeprägt, es können aber längere Flauten auftreten. Insgesamt kommen Windenergieanlagen in Deutschland an Land auf etwa 1700 und auf See (Offshore) auf durchschnittlich 3800 Volllaststunden pro Jahr. Eine industrielle Gesellschaft wie Deutschland kann Windkraft und Sonnenstrahlung daher nur dann als verlässliche Energiequelle verwenden, wenn man die so erzeugte elektrische Energie in ausreichendem Maße über den Zeitraum von einigen Tagen oder Wochen speichern kann.

Zurzeit werden verschiedene Wege der Speicherung diskutiert und erprobt. Neben Wärmespeichern sind dies vor allem elektrochemische Stromspeicher, also wieder aufladbare Akkumulatoren, Erzeugung von Wasserstoff (H_2) durch Elektrolyse, eventuell mit nachfolgender Umwandlung in Methan, sowie Druckluftspeicher. Schon lange bewährt sind Pumpspeicherkraftwerke. Diese können nicht nur riesige Mengen an Energie speichern, sondern arbeiten auch sehr wirtschaftlich, mit einem hohen Wirkungsgrad von etwa 80 % in der Wiedergewinnung der gespeicherten elektrischen Energie.

Herkömmliche Pumpspeicherkraftwerke bestehen grundsätzlich aus zwei Wasserreservoiren auf unterschiedlicher Höhe. Beim Speichern der elektrischen Energie wird über eine Rohrleitung Wasser aus einem unteren Becken in ein oberes Becken gepumpt, und bei der Rückgewinnung aus dem oberen Becken über eine Turbine wieder in das untere Becken abgelassen. Der über die Turbine abfallende Wasserdruck bestimmt die auf die Turbine wirkende Kraft. Das Produkt aus dieser Druckdifferenz mal der pro Sekunde durchströmenden Wassermenge bestimmt die elektrische Leistung der Turbine.

Solche Pumpspeicherkraftwerke sind an geographische Bedingungen geknüpft, die in Deutschland nur an wenigen Stellen in den Alpen und Mittelgebirgen passen. Unter anderem wegen des Landschaftsschutzes stehen jedoch Flächen für neue Kraftwerke kaum mehr zur Verfügung. In Norwegen mit seiner Fjordlandschaft könnte diese Speichertechnologie jedoch noch stark ausgebaut werden.

Es gibt bisher wenige Vorschläge, den geographischen Engpass bei Pumpspeicherkraftwerken aufzulösen. Ein Vorschlag besteht darin, in ebenen Landschaften künstliche Strukturen herzustellen. Diese sogenannten Ringwallspeicher bestehen aus einem künstlichen Hügel mit dem oberen Wasserspeicher. Beim Aufschütten wird um ihn eine ringförmige Vertiefung ausgehoben, die dann als unteres Wasserreservoir dient [1]. Dieser mutige Vorschlag setzt allerdings die Verfügbarkeit großer Landflächen voraus, von den Baukosten ganz zu schweigen.

Ein weitere Idee besteht darin, alte Bergwerke als unterirdische Pumpspeicherkraftwerke auszubauen, das im Jahre 2012 stillgelegte Bergwerk Saar beispielsweise besitzt immerhin eine maximale Teufe von 1800 m. Als untere Wasserspeicher ließen sich entweder bereits bestehende, bergmännisch erschlossene Hohlräume nutzen, oder man baut dafür neue Blindschächte. Die enormen Höhenunterschiede erlauben schon bei relativ kleinen Reservoirs eine vergleichsweise hohe Speicherkapazität [2].

Als Druckluftspeicher sind leergespülte Salzstöcke eine interessante Option. Man könnte damit im Prinzip auch Pumpspeicherkraftwerke unter dem Nordseeboden errichten, da dort viele Salzstöcke liegen und das obere „Speicherbecken" in Form der Nordsee schon in technisch unbegrenzter Größe vorhanden wäre.

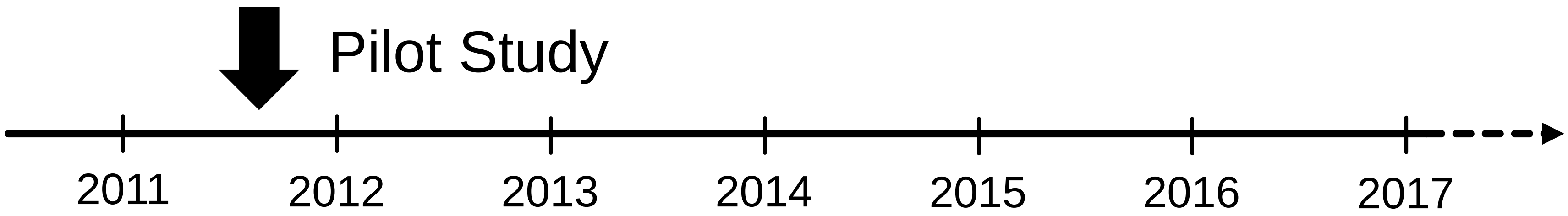
Das Meeres-Druckspeicherkraftwerk

Wir wollen hier eine weitere visionäre Idee vorstellen, die zwar eine enorme Herausforderung darstellt, technisch jedoch realisierbar ist: Das Meeres-Druckspeicherkraftwerk in der Tiefe von Meeren oder großen Seen nutzt ein dem Pumpspeicherkraftwerk ähnliches Prinzip, das die Kon-

194 | Phys. Unserer Zeit | 4/2013 (44)   Online-Ausgabe unter: wileyonlinelibrary.com   © 2013 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Source: 2)

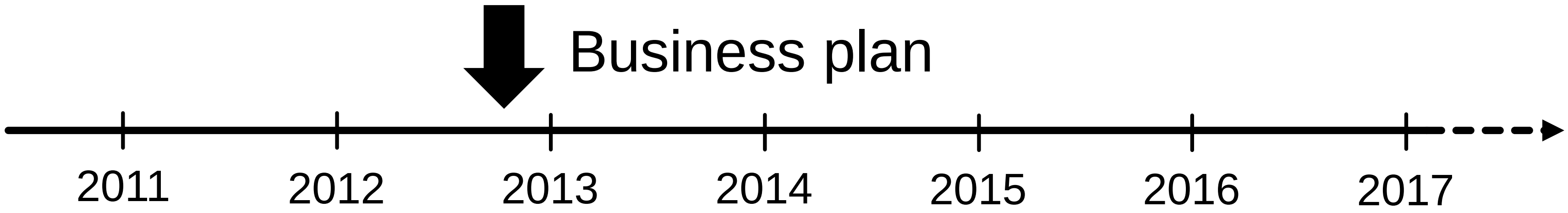
The StEnSea Project



concrete structure specialist

ocean energy and storage specialist from Kassel

The StEnSea Project



Assuming a sphere with a diameter of 30m lying at an ocean-depth of 700m

	€/unit	€/kW
Building materials (Concrete, framework and strengthener)	2,065 Mio	413
Installation	1,5 Mio	300
Pump turbine with electro mechanics	2,625 Mio	525
Target costs per installed kW		**1238**

Costs for common pumped hydro power stations: **1300-1600 €/kW**

Source: 3)

The StEnSea Project

Foundation of StEnSea

2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017

Finances

HOCHTIEF SOLUTIONS AG

Project Leader

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Project Funding

Researcher

Fraunhofer IWES

Project Developer

Dip.-Ing.
Matthias Puchta

Executive Project Leader

Collaborators

Universität Stuttgart

Pump-turbine Technologie

GOETHE UNIVERSITÄT FRANKFURT AM MAIN

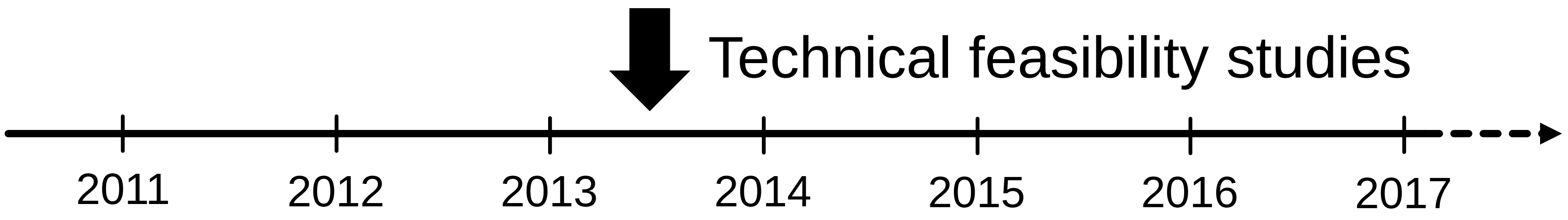
Prof. Dr. Horst Schmidt-Böcking

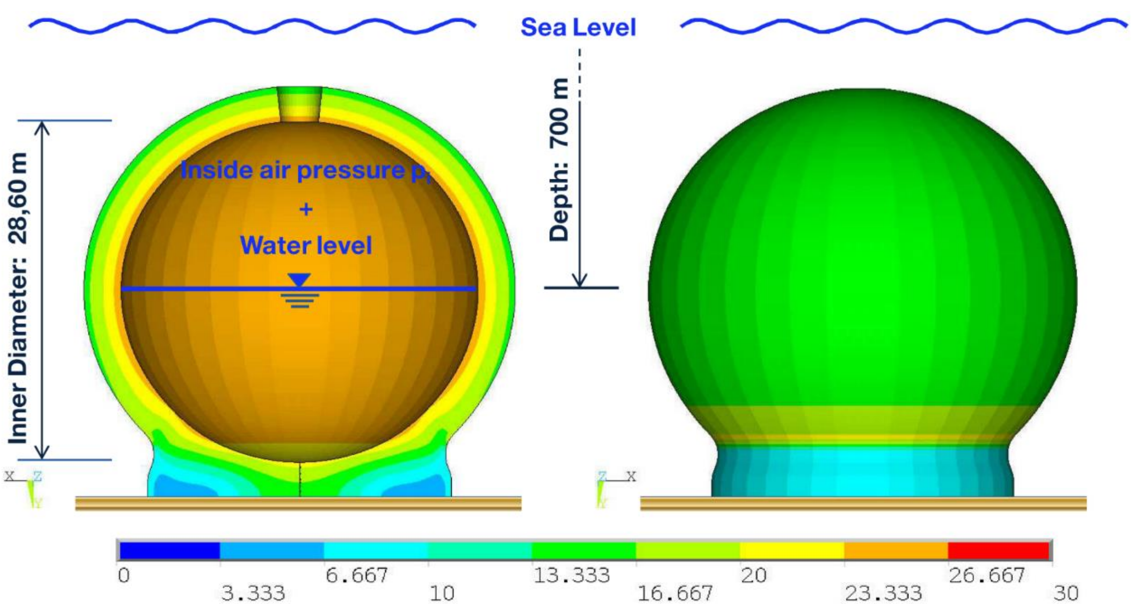
UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

Dr. rer. nat. Gerhard Luther

Consultant
(Idea and Patent Application)

The StEnSea Project



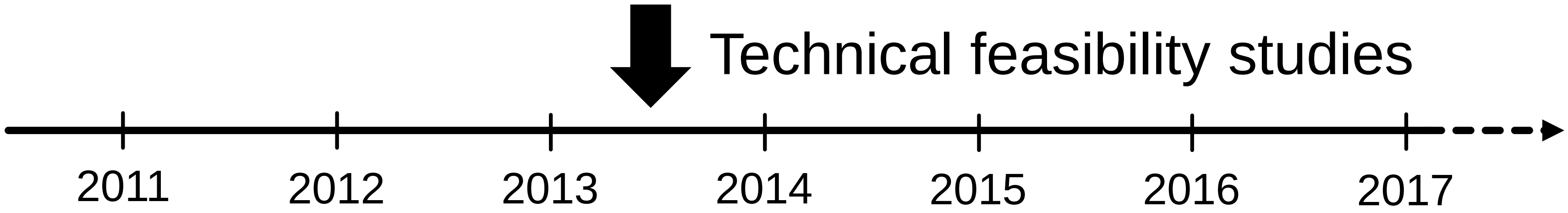


Mises-Strains in MN/m² (10MN=100bar)

Source: 1)

• Material:	Concrete
• Turbine:	5 MW
• Discharge Time :	4 h
• Capacity:	20 MWh
• Efficiency:	80-85 %
• Diameter:	30 m
• Shell thickness:	2.70 m
• Storage Volume:	12,000 m³
• Min. water depth :	700 m
• Pressure:	70 bar

The StEnSea Project



Optimizations

Operation Depth (700m):

- suitable for present pumping technologies
- comparable to conventional pumped hydro

Turbine (5MW):

- comparable with typical offshore wind turbine

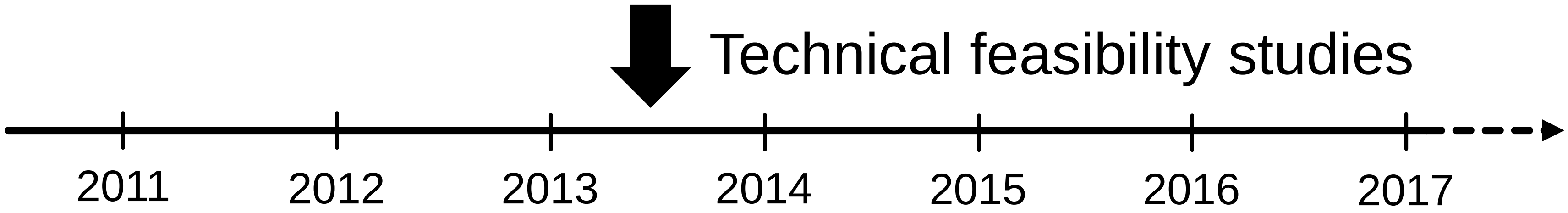
Design (Spherical):

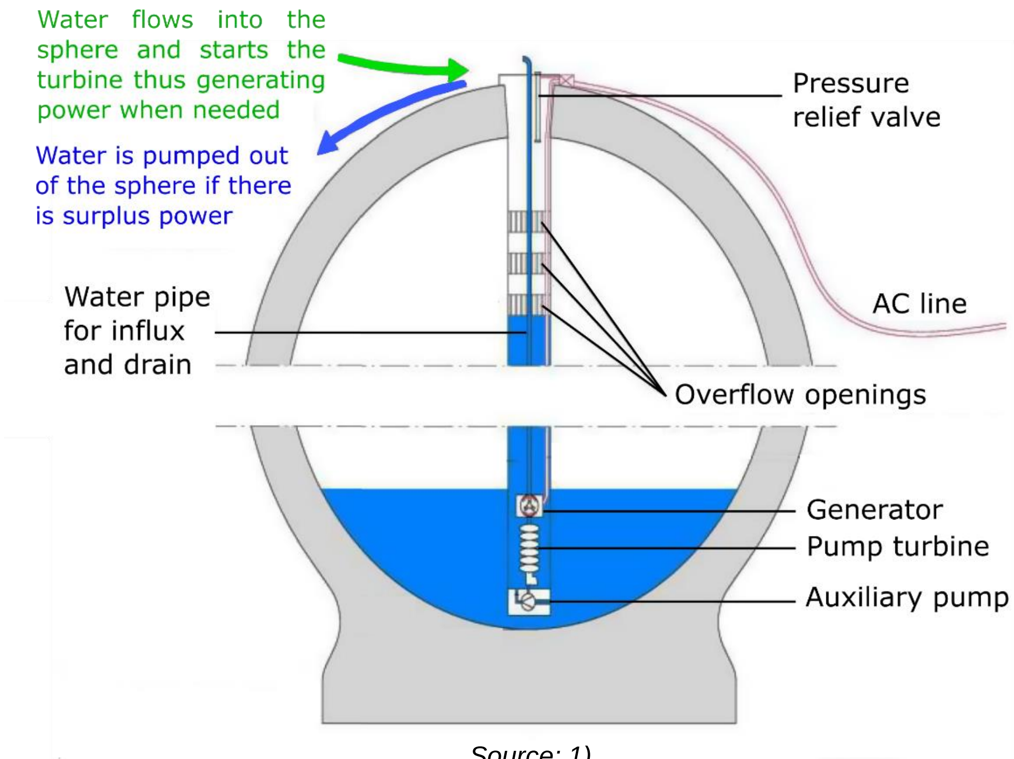
- optimal pressure distribution

Sphere Size / Shell Thickness (30m/3m):

- weight always higher than uplift
- volume suitable for daytime energy storage

The StEnSea Project





Source: 1)

1) All mechanical gear is inside the cylinder which can be retrieved with a remotely operated vehicle.
2) Reduced corrosion because of low O_2 concentration and low temperatures at 700m ocean depth

➡ **Easy, few and cheap maintenance**

To get a power of 5MW the water pipe need to have a diameter of only 10cm

➡ **Compact cylinder design**

Protective grid + diffuser for flux reduction

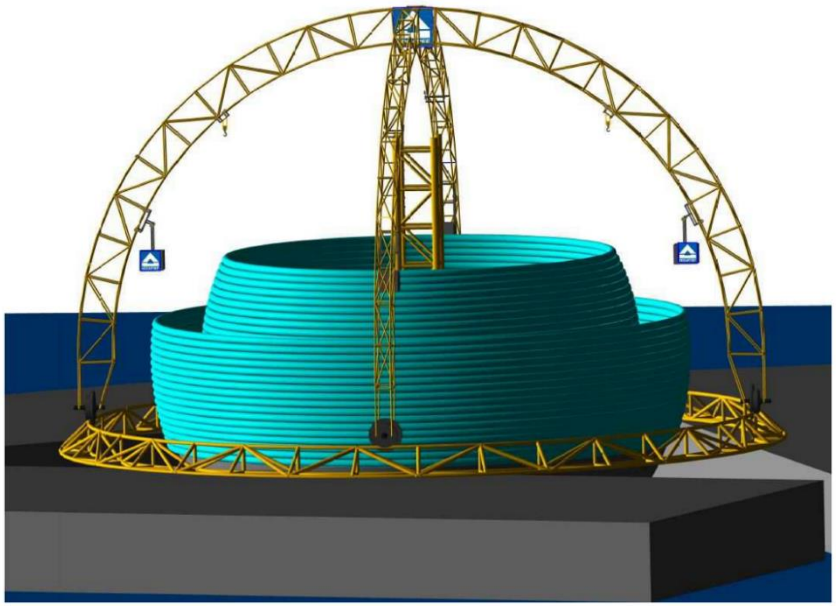
➡ **Animal protection**

The StEnSea Project

Technical feasibility studies

2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017

Double cladding construction design. Inner cladding with composite fabric

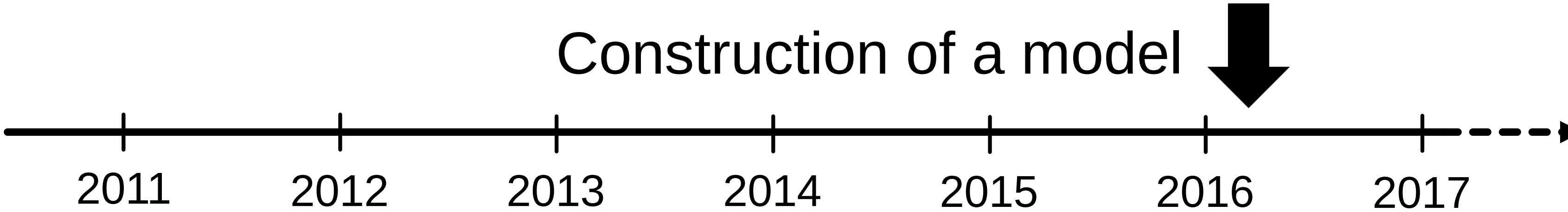


Source: 1)

Big scale spherical construction technologies do already exist

Source: https://solidbau.at/a/rsb-baut-welt-kugelgebaeude-in-saudi-arabien (2013)

The StEnSea Project



Sacle: 1:10
Diameter: 3m
Weight: 21,4t
Shell thickness: 30cm

Construction by contractor Hochtief near Frankfurt

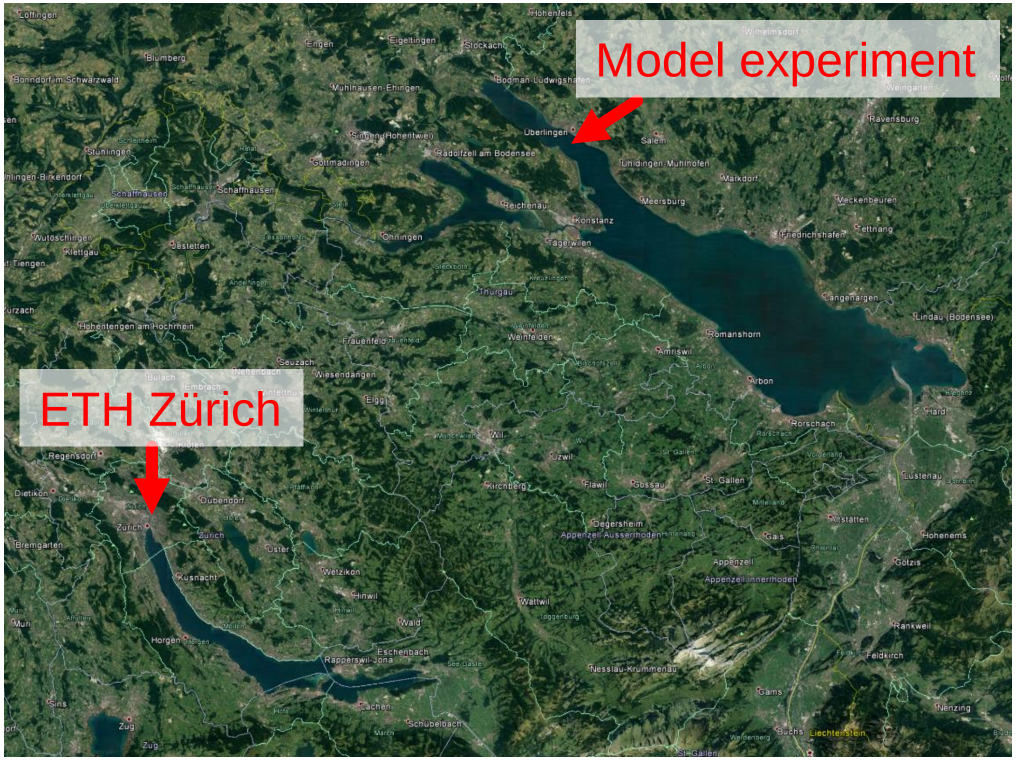
First function tests in Bad Hersfeld

Source: 4)

The StEnSea Project

Model experiment at the Bodensee

2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017



Source: Google Earth

08.11.2016:

Model sphere was set into the water at the harbor of Konstanz

09.11.2016:

Model was sunk to 100m water depth - 200m away from the lakeshore of Überlingen

03.03.2017:

Model got retrieved

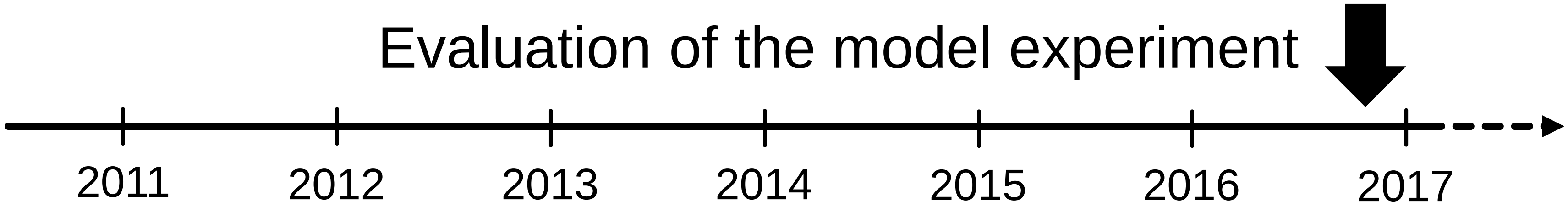
The StEnSea Project

Model experiment at the Bodensee

2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017

Source: 5)

The StEnSea Project



First results from the model experiment:

- Transport, installation and construction ✓
- The impact of different pressure conditions on the turbine pump ✓
- “proof of concept” ✓

Further Analysis:

- Improve theoretical sphere simulations with gained data

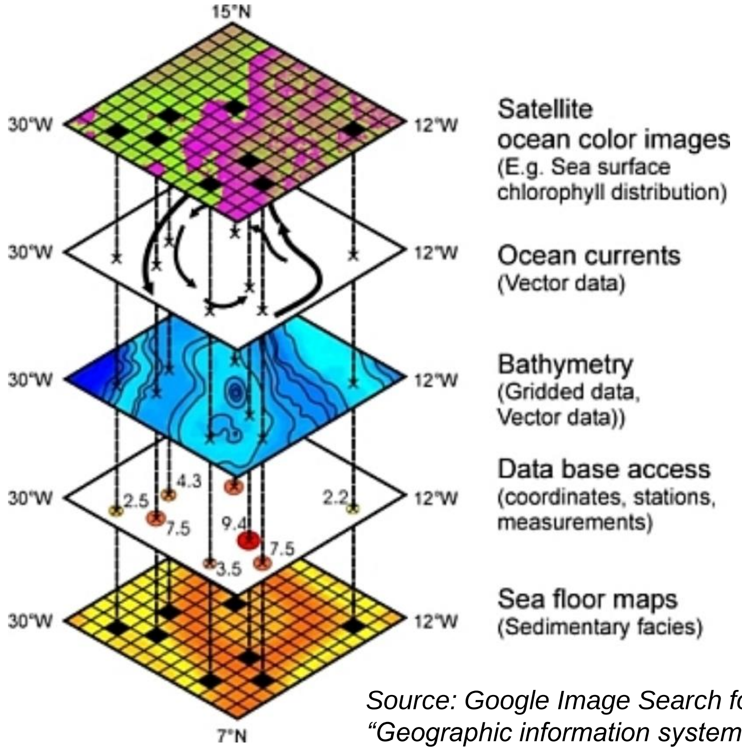
Outlook: Offshore Energy Storage

<u>What`s happening next?</u>

- Geographic information system of seas in Europe (inclination, sediment,…)
- Infrastructure (distance to coast, grid connection)
- Construction scaling

<u>Most Promising:</u>

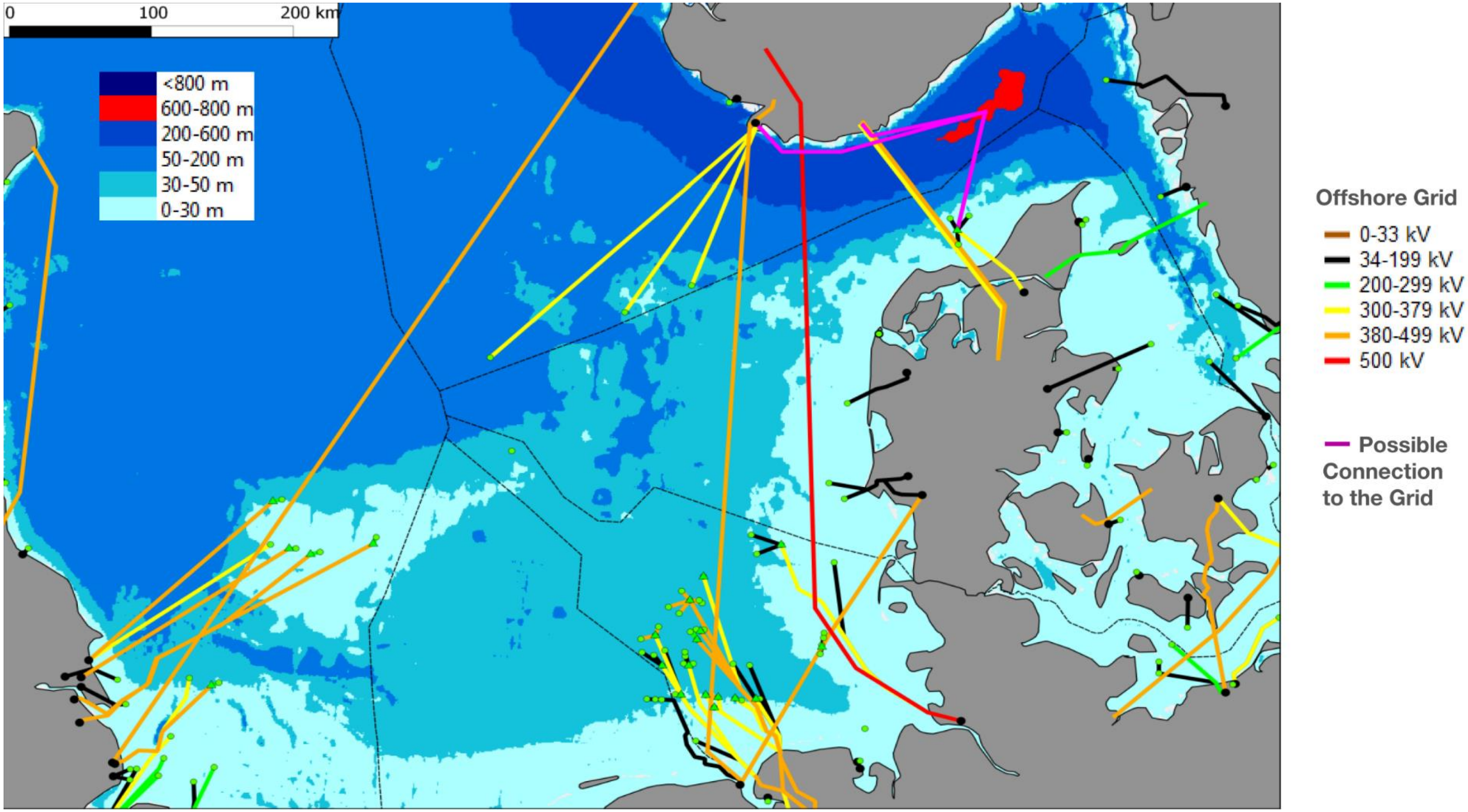
- Norwegian trench
- Spanish Sea



Source: Google Image Search for "Geographic information system"

Goal: Realizing a 30m pilot project in Europe in 3-5 years

Outlook: Offshore Energy Storage



Source: 6)

Conclusion

➡ The concept of pumped hydro is efficient, scalable and economical.

➡ The demand for energy storage will progressively increase.

➡ Energy production from offshore wind parks will strongly increase.

“80% of the people live closer than 100km to a sea”
(2010, United Nations Environment Program)

That means: Energy storage close to a sea can be beneficial.

➡ In contrast to conventional pumped hydro, StEnSea has big advantages in terms of: “Impact to people and environment.”

➡ Global potential for 30m StEnSea spheres in 700m water depth: 893GWh

➡ Bigger spheres and deeper ocean depth are in principle possible.

Sources

1) STENSEA – Stored energy in the Sea, Jochen Bard, 7th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition, Poster (2012).

2) Das Meer Ei, H. Schmidt-Böcking, G. Luther, C. Lay, J. Bard, Phys. Unserer Zeit (2013).

3) STENSEA – Stored energy in the Sea, Jochen Bard, Wissensforum VDI, Presentation (2013).

4) Development and testing of a novel offshore pumped storage concept for storing energy at sea, M. Puchta, et al., OSES 2016, Presentation (2016).

5) https://www.energiesystemtechnik.iwes.fraunhofer.de/de/projekte/suche/laufende/stensea-storing-energy-at-sea.html (2017).

6) STENSEA – Stored energy in the Sea, Dr. Andreas Garg, Christoph Lay, and Robert Füllmann, 7th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition, Presentation (2012.