Das zur Zeit wichtigste Thema in der BRD ist:

Klimaschutz durch Energiewende

Konzepte für eine nachhaltigen Bewahrung der wichtigen Ressourcen der Natur als Grundlage allen Lebens

Horst Schmidt-Böcking

Wiesbaden, den 19.8.2019

Alle Reden eigentlich nur,
aber die notwendigen Schritte zur Einleitung der Energiewende werden nicht vollzogen!

Was heißt Energiewende?

Weg von der Nutzung fossiler Energien,
die die Natur in Millionen von Jahren erzeugt hat
wie Kohle, Erdgas, Erdöl etc.

Zur Nutzung so genannter regenerativer Energien,
die die Natur,
d.h. Sonne,
uns jeden Tag im Überfluss liefert

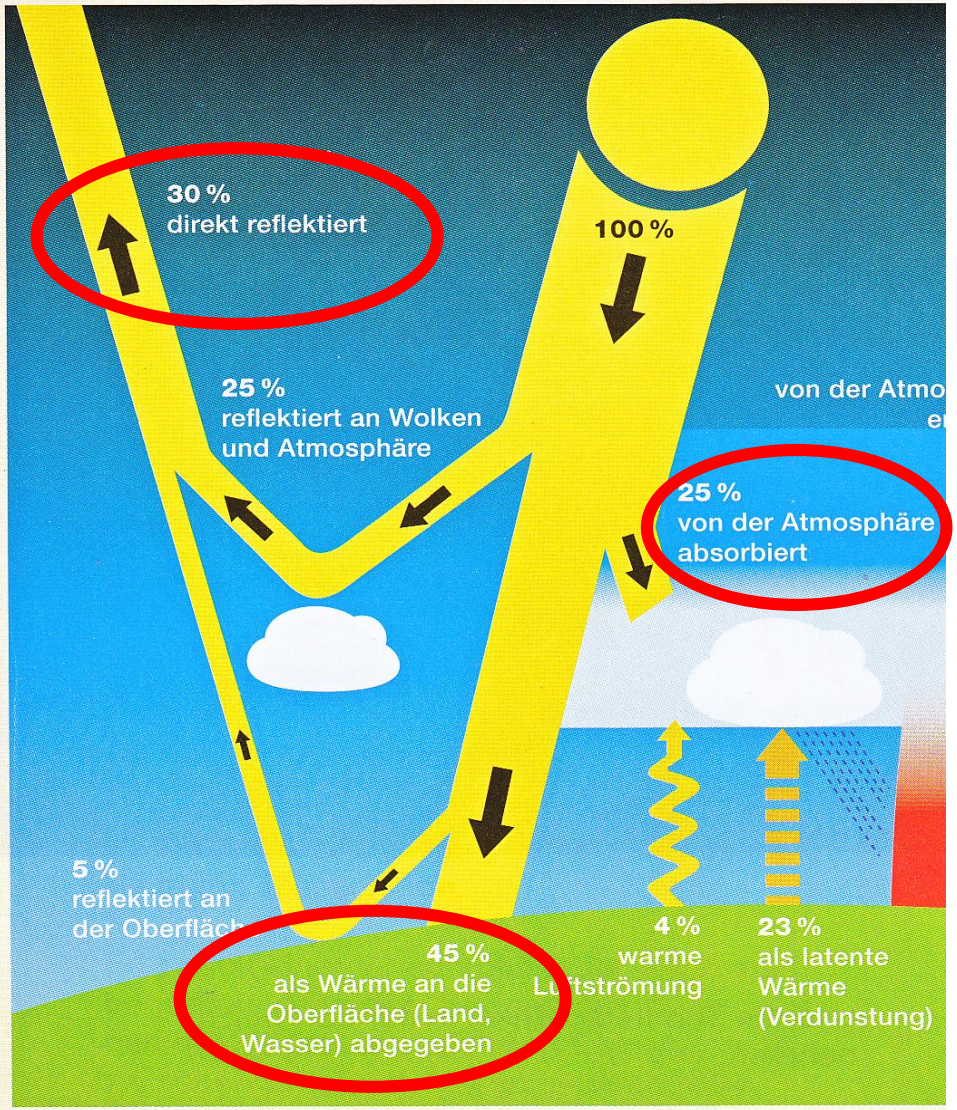
Regenerative Energie ist primär:

das Sonnenlicht,

das vom Fusionsreaktor Sonne

in perfekter Konstanz geliefert wird.

DIE ENERGIEBILANZ DER ERDE IM WELTALL (GLOBALE MITTELWERTE)



Das Sonnenspektrum enthält viele Wellenlängen *Wärmestrahlung*

0,005% Energieverbrauch des Menschen

0,1% Photo-synthese

Ca. 30% werden in der Atmosphäre und in den Meeren gespeichert. Verdunstung, Konvektion, Wind, Meeresströmung

Quelle: Schönwiesee, Uni-Frankfurt

Die daraus entstehenden optimalen Ressourcen sind:

Wind => Windräder
Licht => Voltaik

(Wärme=> Thermie)

Ein Wind mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h hat einen Schub (Energieleistung) von
2 kW/m^2,

d.h. bei ca. 50% Energieumwandlungseffizienz
(kinetische Energie des Windes in elektrische Energie)
liefert ein Windrad von 1m^2 Fläche 1kW Stromleistung

Im Vergleich hat das Sonnenlicht nur eine Energieleistung von 1 kW/m^2.
Bei einer Umwandlungseffizienz der Solarmodule von 20% werden nur
200 Watt/m^2 erzeugt.

Wind- geschwindigkeit m/sec - km/h	Windenergie 50m Radius Kilo Watt	erzeugter Strom Kilo Watt
3,6	5	2,5
14,4	333	160
36	5.200	2.500
72	41.600	20.000
Solarvoltaik	8.000	1.600

Hauptproblem bei Nutzung der regenerativen Energien Wind und Licht:

Zeitliche Schwankungen

=>

Hauptproblem bei erzeugtem Strom:

Er muss sofort verbraucht werden
oder

Man muss ihn durch Umwandlung in eine andere Energieform speichern können!

Schwankungen der RE - Quellen in Deutschland:

Die PV- Leistung:

-ist stark angewachsen

- ist fluktuierend

- lässt sich regional gut prognostizieren.

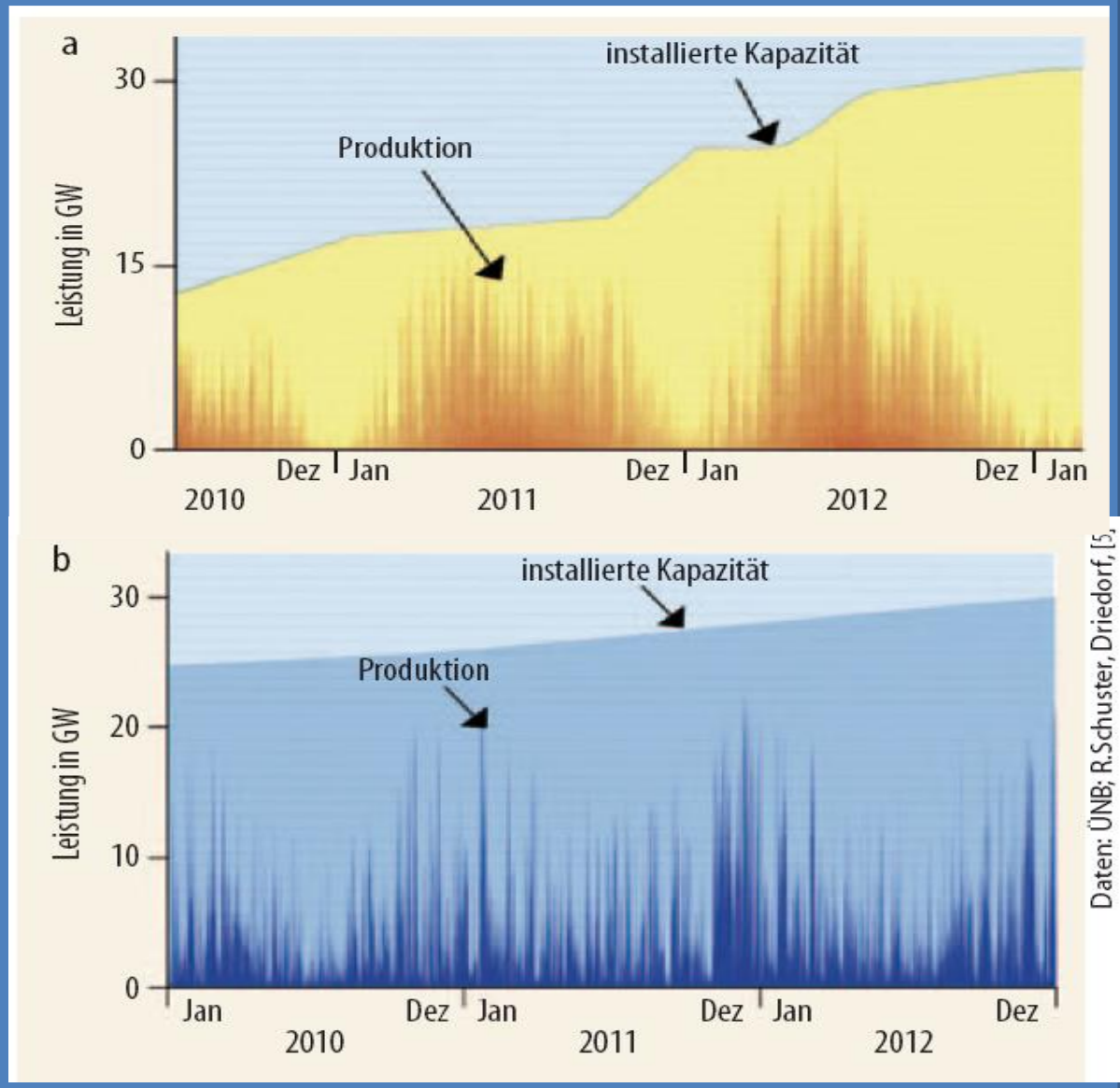
- Maxima liegen in den wärmeren Monaten

Die Windleistung:

- ist stochastisch,

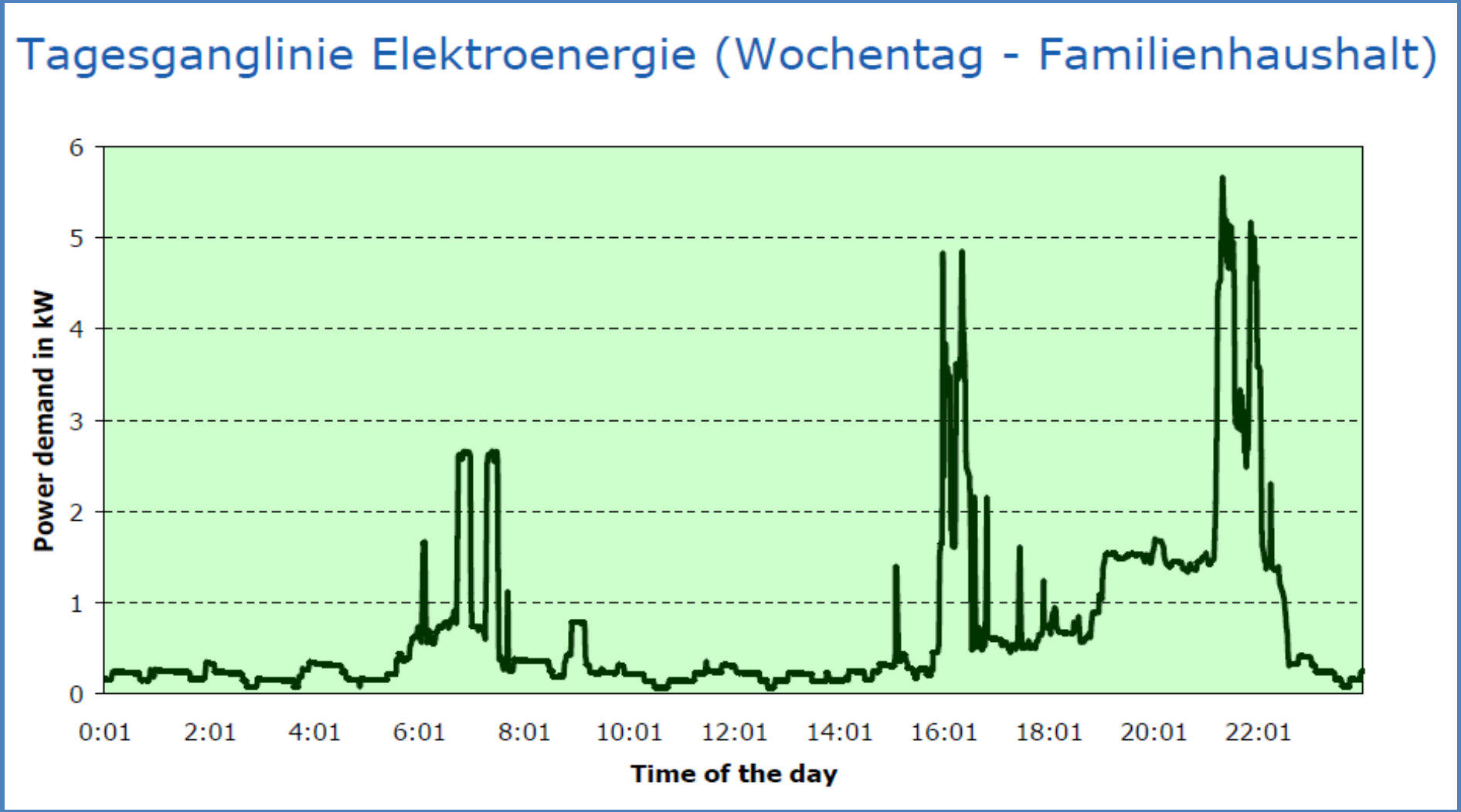
- lässt sich gut prognostizieren.

- Maxima liegen in den kalten Monaten



Quelle: Bachem-Buchal2013.12_ Energiewende-Quo vadis_PhysikJournal **12 (2013),** Heft 12, p.33-39, Abb.2

Schwankungen im täglichen Stromverbrauch



Quelle: A. Dittmann, TU-Dresden/ Friedrich Balck/TU-Clausthal

Speicherziel,
um Energiewende möglich zu machen

Im Falle 100%iger Erzeugung von Strom aus regenerativen Quellen (Wind und Solarvoltaik)

=>

Auf der Basis gemessener Daten für 2011 und 2012 (Deutschland: Gesamtverbrauch von ca. 600 Milliarden kWh)

1. Ca. 30% (180 Milliarden kWh) müssen in Kurzzeitspeichern gespeichert werden.

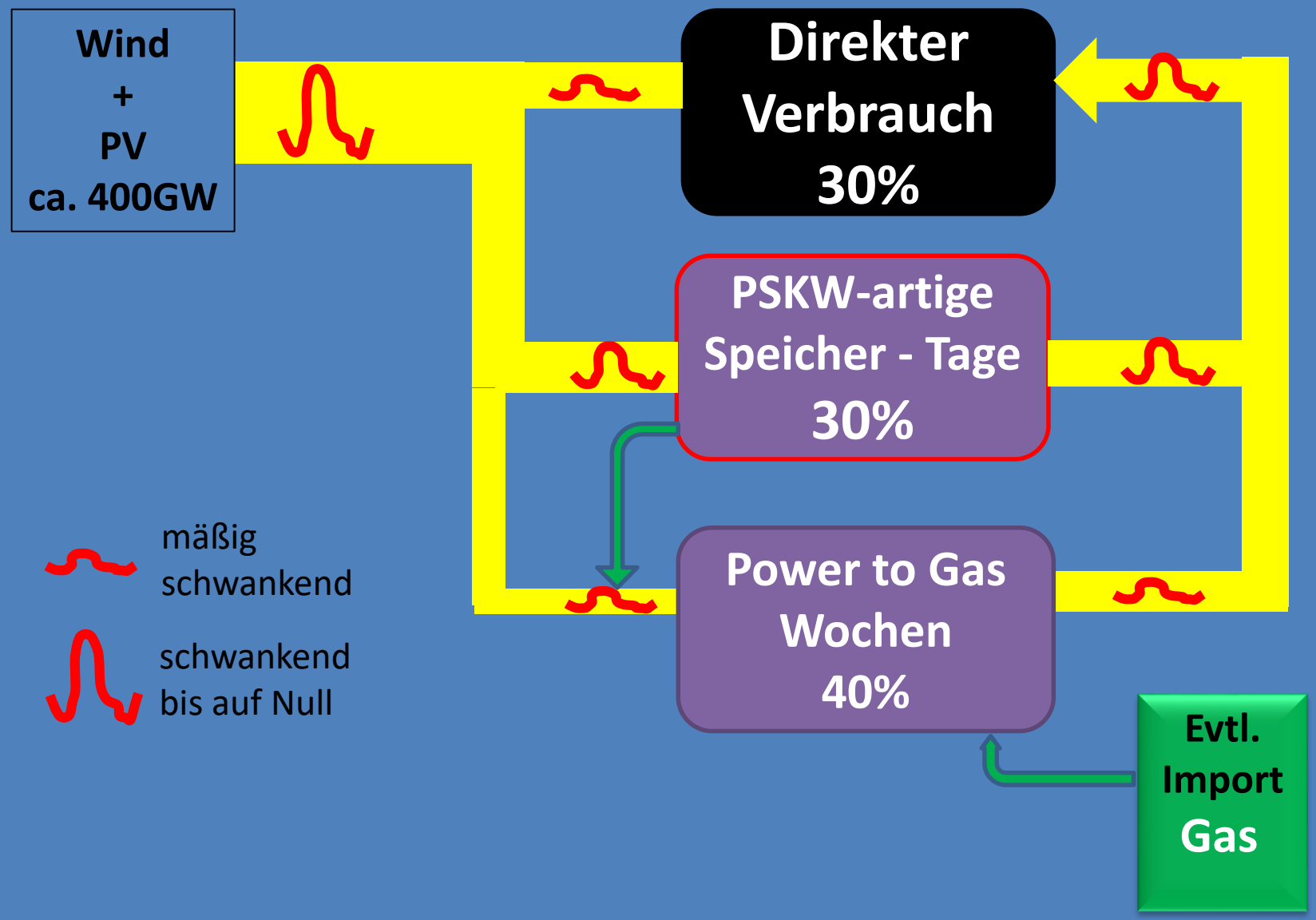
⇒ Wasserpumpspeicherwerke

⇒ d.h. ca. 20 mal soviel, wie z.Z. in Deutschland vorhanden sind.

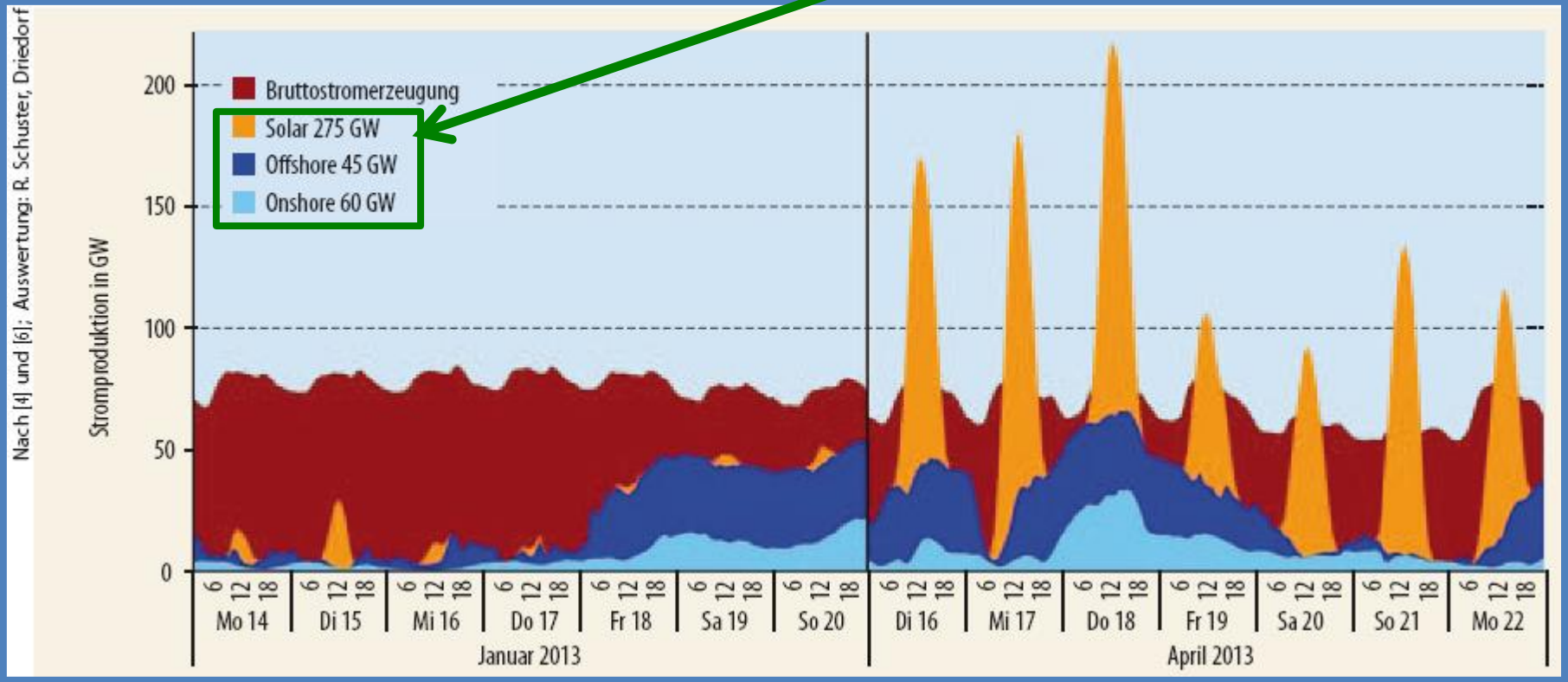
2. Ca. 40% (240 Milliarden kWh) Langzeitspeicher (Gas, Power to Gas)

3. ca. 30% (180 Milliarden kWh) können immer direkt verbraucht werden

Potential der Stromleistungs-Flüsse:
100% des Strombedarfs werden aus Wind und PV gedeckt (Max 130GW)



Zwei Wochen in 2013 AD
skaliert auf RE-Szenario 2050 AD



Szenario einer 2050 weitgehend ausgebauten RE-Stromproduktion, in Relation zu 2013

Bei einer <u>dunklen, windschwachen</u> Wetterlage (wie 14. bis 20. Januar 2013) müsste dann trotzdem fast der gesamte Bedarf konventionelle (rot) gedeckt werden.

Bei **<u>sonnig-windigem</u> Aprilwetter (wie 16. bis 22. April 2013)** hätte die Ökostromproduktion zeitweise bei einem **Mehrfachen des Bedarfs** gelegen.

Quelle: Bachem-Buchal2013.12_ Energiewende-Quo vadis_PhysikJournal **12 (2013),** Heft 12, p.33-39, Abb. 5

Energiewende nur machbar

=>

Wenn wir 10 bis 100 mal mehr Kurzzeitspeicherkapazität haben als bisher (35 GigaWh)

=>

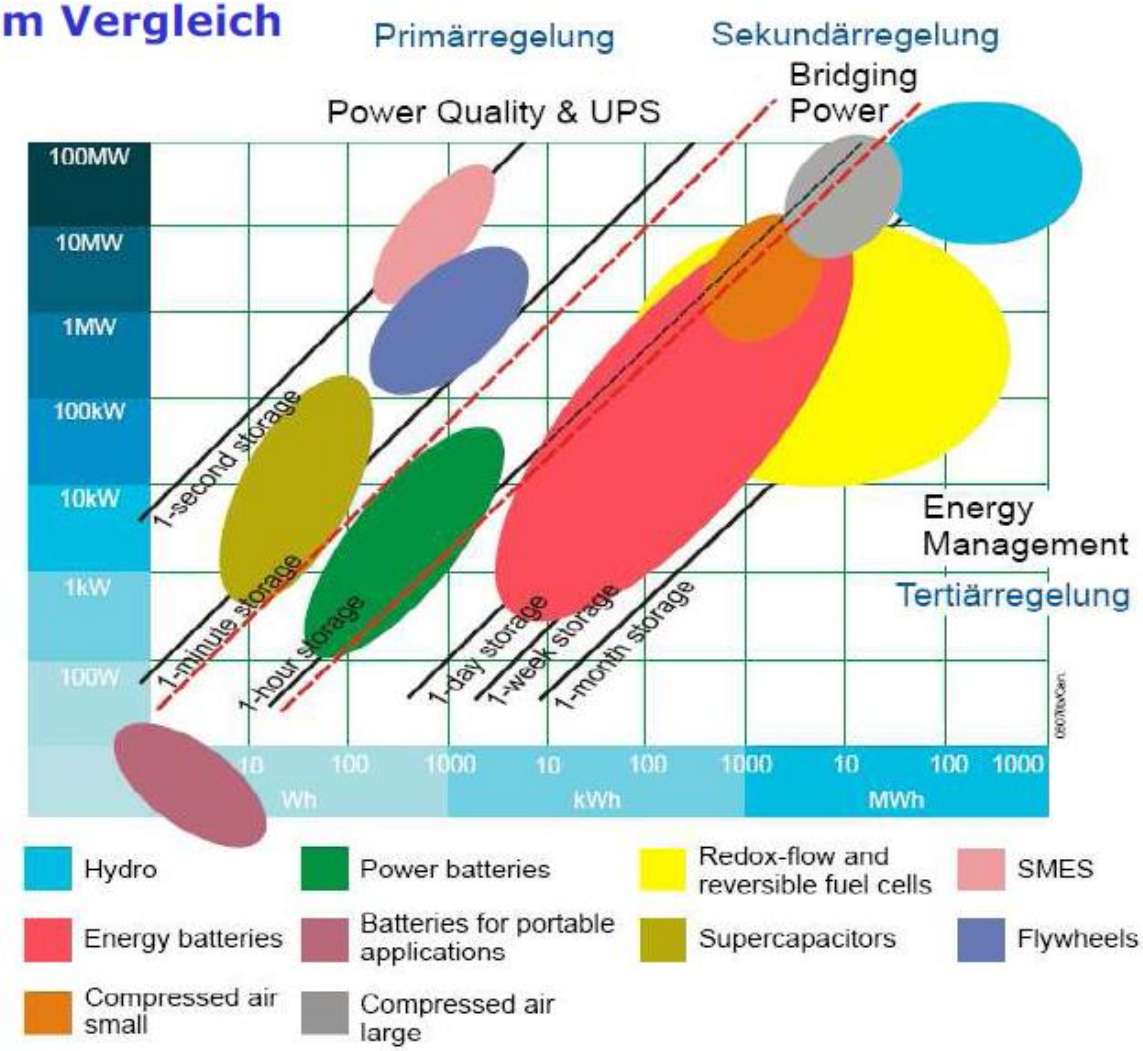
300 bis 3000 GigaWh

Mittelfristig: auch Langzeitspeicher

Wie kann man Elektrische Energie im großen Maße preiswert speichern?

Speichertechnologien im Vergleich

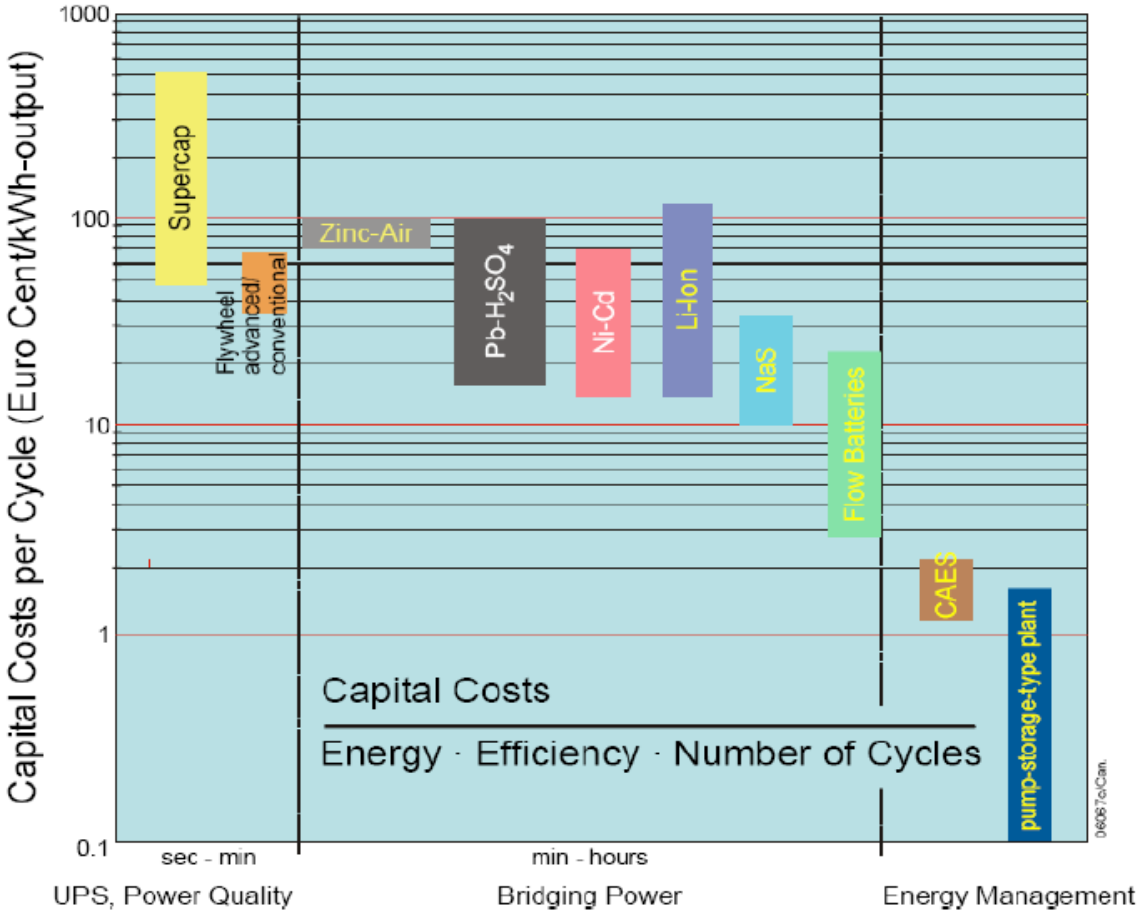
Energieinhalt und Leistung im Vergleich



IMAB Institute for Electrical Machines, Traction and Drives
Technical University of Braunschweig

Hydraulische Speichermedien sind die besten: Hohe Effizienz und große Mengen

Energiespezifische Investitionskosten bei Berücksichtigung von Wirkungsgrad und Lebensdauer



Pumpspeicherkraftwerke

Prinzip Einsatz von Strom → Wasser wird von einem tief gelegenen Wasserbecken in ein möglichst hoch gelegenes Wasserbecken gepumpt, aus dem dann im Bedarfsfall über Turbinen und Generatoren wieder Strom erzeugt werden kann.

Stand Bekanntestes und mit Abstand am häufigsten eingesetztes Verfahren
Pumpspeicher-Kraftwerke sind technisch ausgereift. Der sog. Umwälzwirkungsgrad beträgt bei ihnen etwa 75 ... 80 Prozent

Technische Vorteile:

- Beliebig lange Vorhaltezeit, da *kein Speicherverlust*
- Schnelle Ein- und Umschaltzeiten (45 ... 72 s)
- Augenblicksreserve

Zukünftige Entwicklung

- In **Deutschland** kaum noch freie Geländekapazitäten, nur Modernisierung ⇒ Ausbaumöglichkeiten weitgehend erschöpft!
- Weltweit weiterer Neubau, wo *Kapital und Gelände* gegeben

Probleme

- *Ökologische Probleme* beim Neubau durch Stauwehr und neu angelegte Becken
- *Akzeptanzprobleme* in der Bevölkerung

Wasserpumpspeicherwerk Goldisthal/Thüringen
1Giga W Leistung

Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper").

STENSEA – Die bauliche Konzeption eines Tiefsee-Energiespeichers

A. Garg, S. Glowienka, J. Meyer

HochTief/Frankfurt und C.Lay HochTief/Essen

Zeitschrift, :Bauingenieur, Organ des VDI für Bautechnik, Springer Verlag, Bd 88, Juli/August 2013

J.Bard IWES Fraunhofer Institut Kassel
plus Uni-Stuttgart-Voith / Turbinen

GERMAN RENEWABLES
2017 AWARD
TECHNOLOGY | SYSTEMS | MARKET

Deutsches
Patent- und Markenamt

Die Präsidentin

Fraunhofer IEE
Eing.: 18. JAN. 2018

Herrn
Dipl.-Ing. Matthias Puchta
Abteilungsleiter Energiespeicher
Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES
Königstor 59
34119 Kassel

München, den 15. Januar 2018

Deutscher Zukunftspreis 2018 - Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation

Sehr geehrter Herr Puchta,

vielen Dank für Ihre Bewerbung um den Deutschen Zukunftspreis 2018.

Als Mitglied des Kuratoriums des Deutschen Zukunftspreises bin ich berechtigt, bis zu drei Vorschläge für diese Auszeichnung einzureichen. Diese Vorschläge werden im Rahmen eines umfangreichen Prüfungs- und Auswahlverfahrens ermittelt. Auch Ihre Bewerbung wurde in dieses Auswahlverfahren einbezogen.

Ich freue mich, Ihnen mitteilen zu können, dass das Deutsche Patent- und Markenamt Ihr Projekt „Unterwasser-Pumpspeicherkraftwerk: Erneuerbare Energien in Betonhohlkugeln offshore speichern" ausgewählt hat und der Jury für den Deutschen Zukunftspreis 2018 vorgeschlagen wird.

Ich wünsche Ihrem Projekt weiterhin viel Erfolg und verbleibe mit freundlichen Grüßen

Cornelia Rudloff-Schäffer

Deutsches Patent- und Markenamt
Zweibrückenstraße 12
80331 München

TEL +49 89 2195-2300
FAX +49 89 2195-3270
www.dpma.de

POSTANSCHRIFT
Deutsches Patent- und Markenamt
80297 München

Für mehr Zusammenhalt in der Gesellschaft: Fraunhofer IEE in Kassel als »Ausgezeichneter Ort« 2018 prämiert

4.6.2018

Das Projekt StEnSea - Stored Energy in the Sea des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE in Kassel zählt zu den 100 innovativen Preisträgern des Wettbewerbs „Ausgezeichnete Orte im Land der Ideen" 2018. Zum Jahresmotto „Welten verbinden – Zusammenhalt stärken" zeigt das Projekt, wie durch Experimentierfreude, Neugier und Mut zum Umdenken zukunftsweisende Innovationen im Bereich Energiespeicherung entstehen können. Die Initiative „Deutschland – Land der Ideen" und die Deutsche Bank richten den Innovationswettbewerb seit 13 Jahren gemeinsam aus.

Stensea-Projektleiter Matthias Puchta

Stensea-Projektleiter Matthias Puchta

© HOCHTIEF Engineering Consult IKS | Stepan Fromknecht, Abdruck honorarfrei, Beleg erbeten

Betonspeicherkugel im Modellmaßstab 1:10 für Offshore-Pumpsspeicherkraftwerk

© Fraunhofer IEE, Abdruck honorarfrei, Beleg erbeten

Test des Offshore-Pumpsspeicherkraftwerks im Modellmaßstab 1:10 im Bodensee

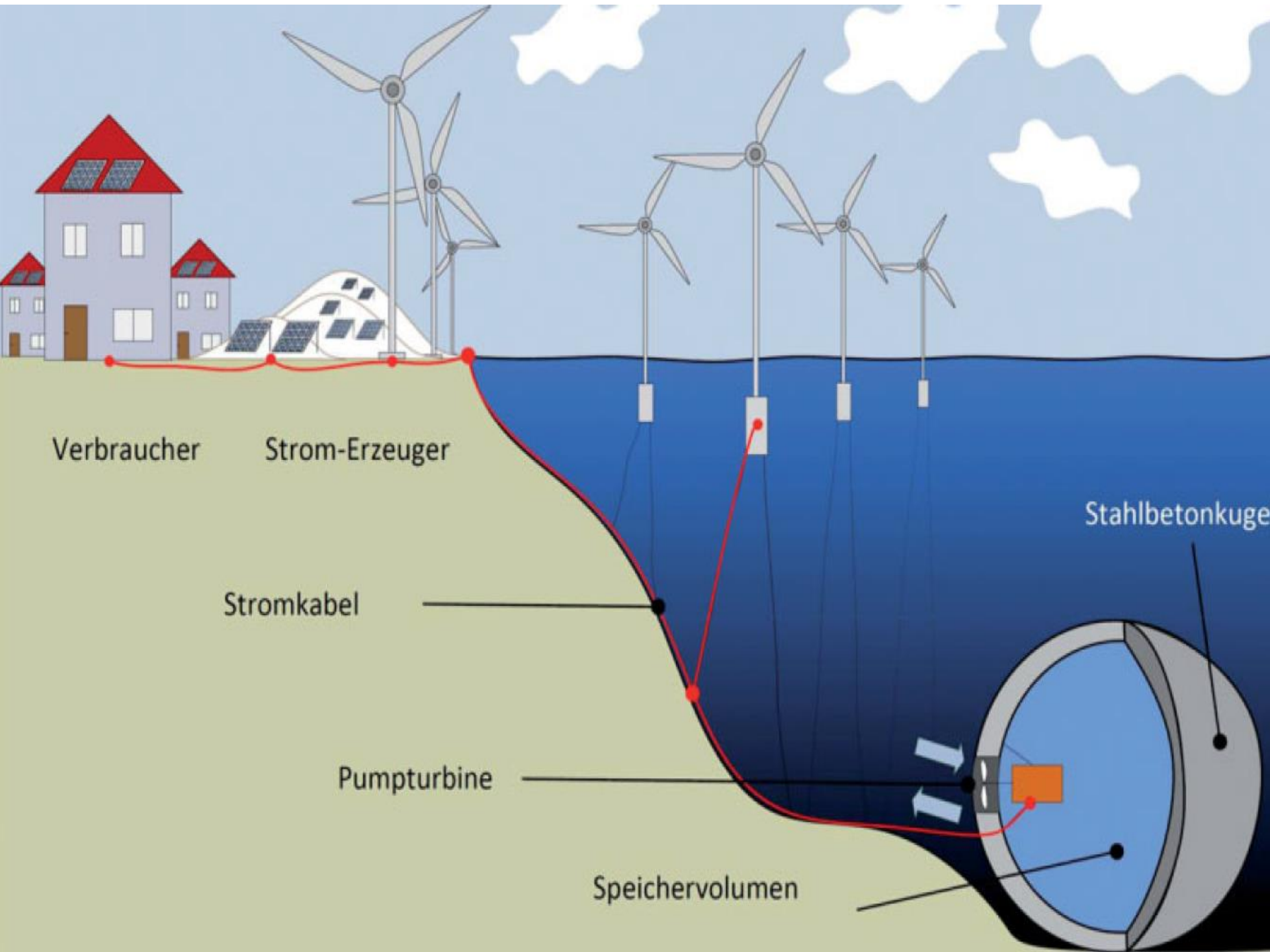
Eine unabhängige Jury wählte StEnSea - Stored Energy in the Sea unter knapp 1.500 eingereichten Bewerbungen aus. »Im Projekt Stensea haben wir für ein Offshore-Pump-Speicher-Kraftwerk ein Funktionsmodell im Modellmaßstab 1:10 entwickelt und erfolgreich im Bodensee getestet. Die wirtschaftliche Anwendung für solche Speichersysteme liegt in Meerestiefen von 600 bis 800 Metern. Mögliche Standorte liegen insbesondere vor den Küsten Europas, Japans und den USA. Das von uns ermittelte Potential liegt bei rund dem 1.000-fachen der heute weltweit installierten Pumpspeicherleistung - das ist ein wichtiger Beitrag zur internationalen Energiewende«, erläutert Matthias Puchta, Projektleiter am Fraunhofer IEE in Kassel.

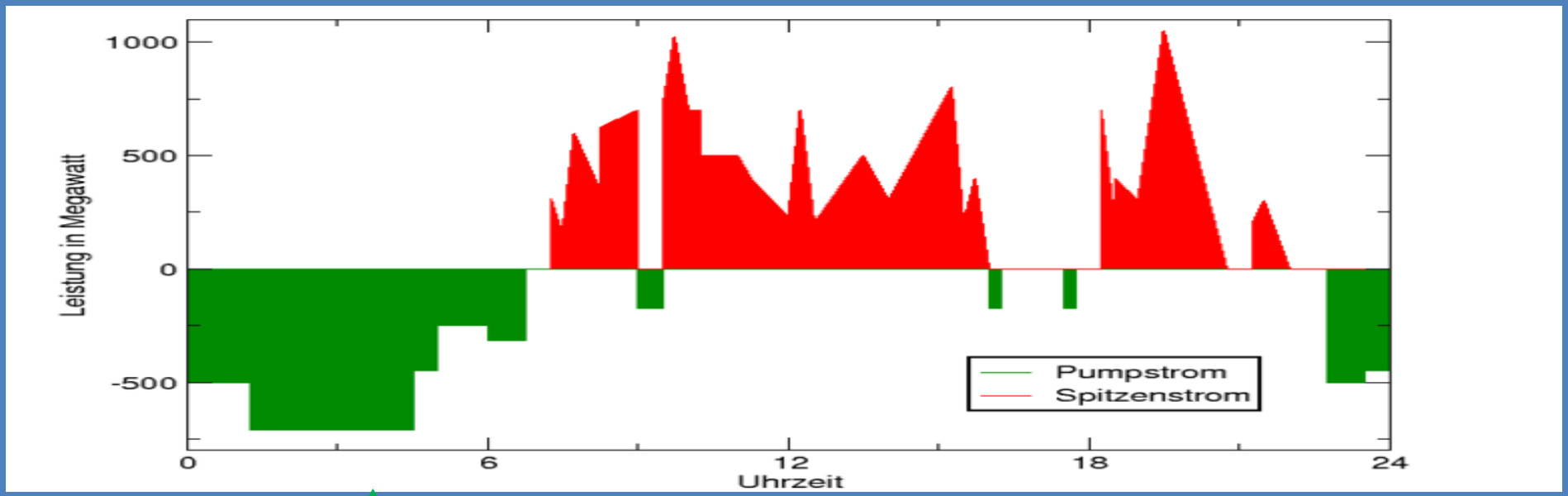
Die Erfindung von Prof. Dr. Horst Schmidt-Böcking (Goethe-Universität Frankfurt) und seines Kollegen Dr. Gerhard Luther (Universität Saarbrücken) bildet die Basis für ein neuartiges Meeres-Pump-Speicher-System. »Auf dem Meeresboden installierte Pumpspeicherkraftwerke können in großen Wassertiefen den hohen Wasserdruck nutzen, um mit Hilfe von Hohlkörpern Stromenergie speichern zu können«, erläutert Horst Schmidt-Böcking, emeritierter Professor der Universität in Frankfurt. Damit ließen sich enorme Mengen durch Offshore-Windkraft erzeugten Stroms bereits vor Ort im Meer zwischenspeichern. In Küstennähe mit großen Meerestiefen könnten Offshore-Pumpspeicherkraftwerke auch zum Stromnetzausgleich an Land beitragen.

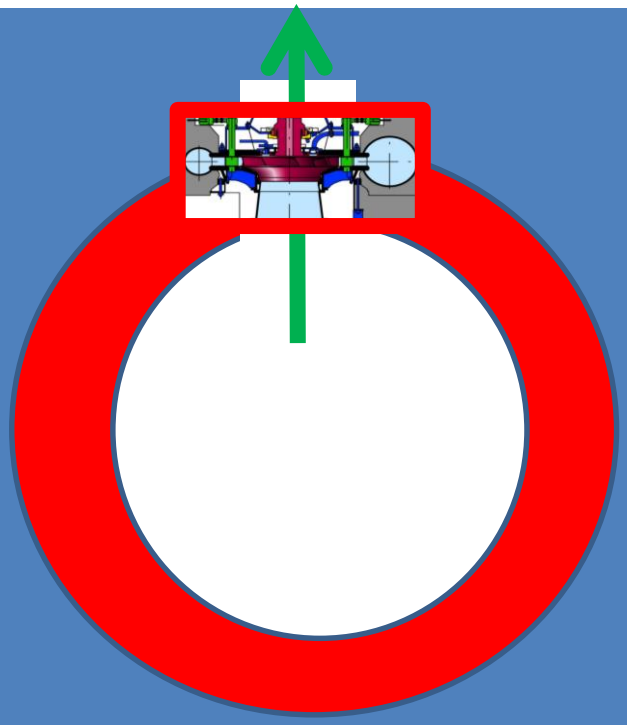
Fachleute des Baukonzerns HOCHTIEF erkannten die in dieser Idee verborgenen Möglichkeiten. Innerhalb weniger Wochen konnte mit HOCHTIEF und den Meeresenergie- und Speicherspezialisten des Kasseler Fraunhofer-Instituts ein Konsortium für eine erste Machbarkeitsstudie gebildet werden.

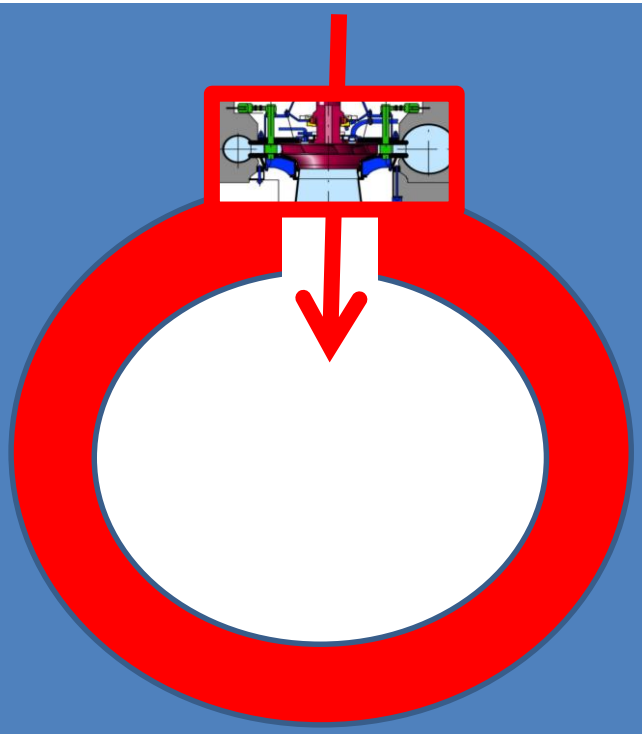
Anschließend förderte das BMWi das Projekt Stensea zur Entwicklung und Erprobung dieses neuartigen Pumpspeicherkonzepts im Modellmaßstab (Förderkennzeichen: 0325584A, 0325584B). »Auf Basis der Vorstudie haben wir eine detaillierte Systemanalyse mit Konstruktion, Bau- und Logistikkonzept des Druckbehälters durchgeführt, eine Pump-Turbinen-Einheit entwickelt, die Einbindung in das Stromnetz untersucht, Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt und eine Roadmap für die technische Umsetzung entwickelt« fasst Projektleiter Matthias Puchta vom Fraunhofer IEE die bisherigen erfolgreichen Arbeiten zusammen.

Die HOCHTIEF Engineering Consult IKS in Frankfurt/Main hat für Fraunhofer die Speicherkugel des Modellversuchs konstruiert und gebaut. Dafür hat das Unternehmen spezielle Schalungskonzepte zur Fertigung des Betonholkörpers und auch für die entsprechende Logistik entwickelt. »Die


Verbraucher
Strom-Erzeuger
Stahlbetonkuge
Stromkabel
Pumpturbine
Speichervolumen

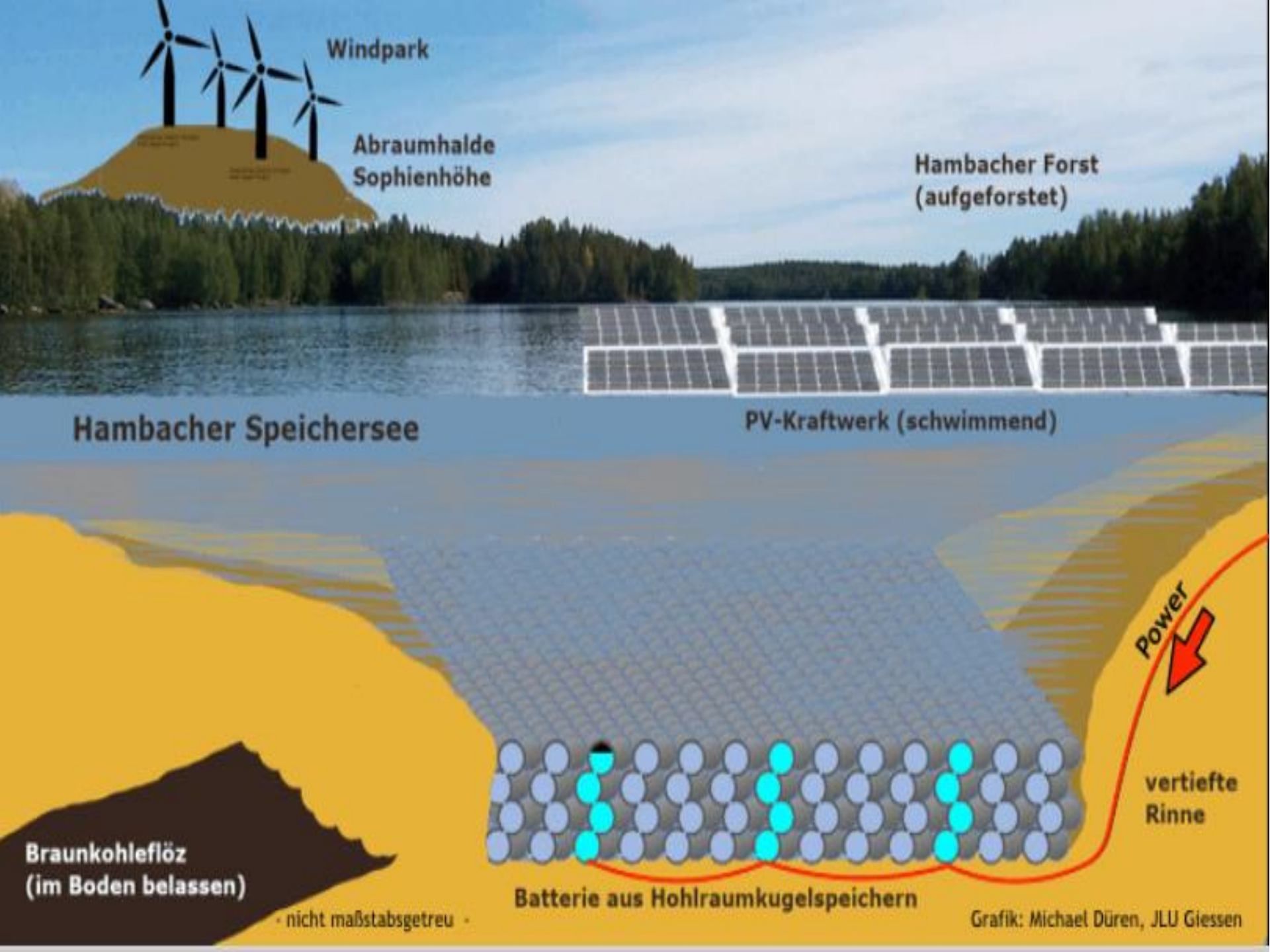

1000
500
0
-500
Leistung in Megawatt
0
6
12
18
24
Uhrzeit
Pumpstrom
Spitzenstrom

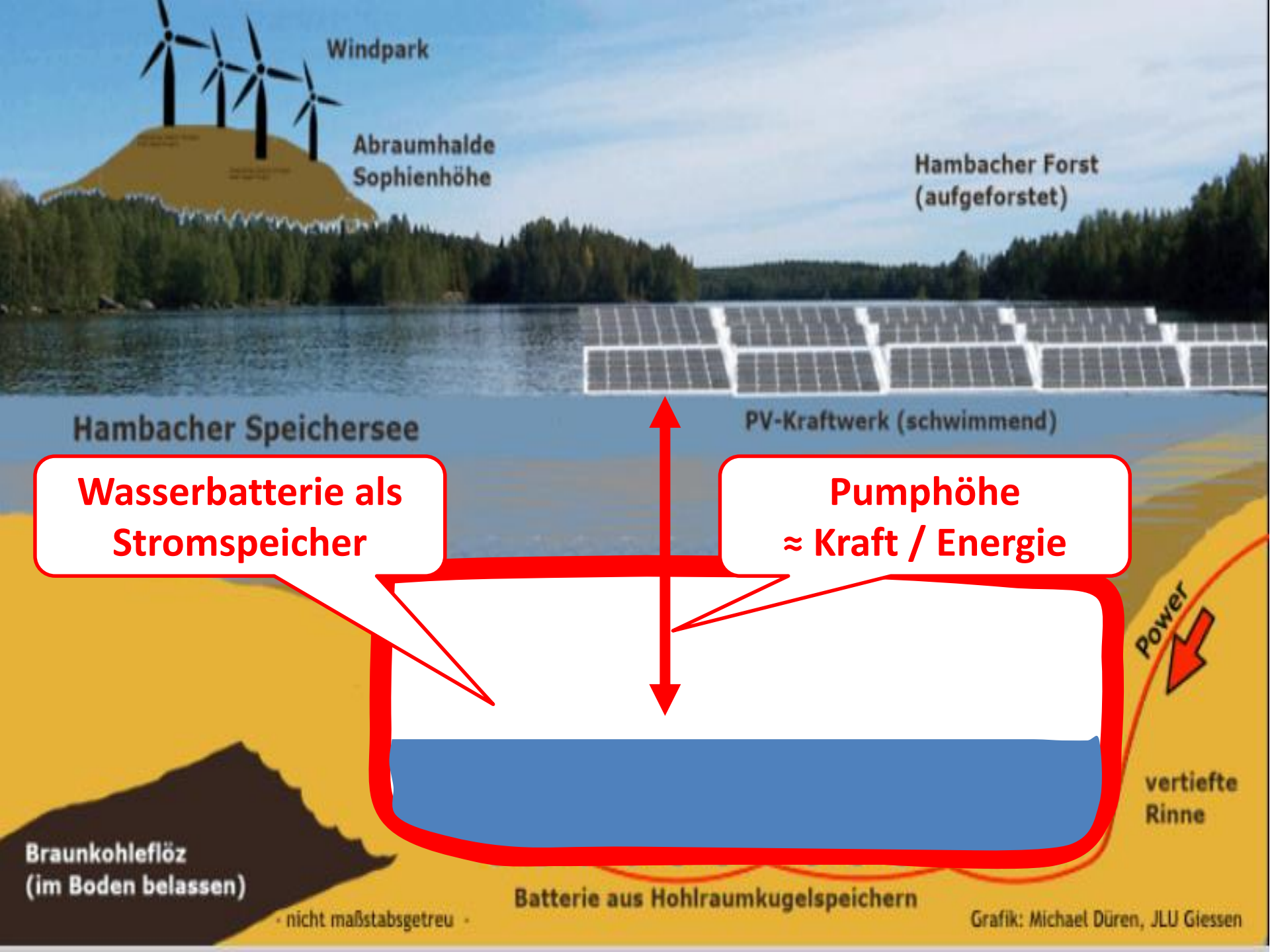




Zukunftsvision Hambacher Loch

Elsdorf
Sohle
2 km
2 km
1 km
x
z
ETZWEILER
Hambacher For


Windpark
Abraumhalde
Sophienhöhe
Hambacher Forst
(aufgeforstet)
Hambacher Speichersee
PV-Kraftwerk (schwimmend)
Power
vertiefte
Rinne
Braunkohleflöz
(im Boden belassen)
Batterie aus Hohlraumkugelspeichern
- nicht maßstabsgetreu -
Grafik: Michael Düren, JLU Giessen


Windpark
Abraumhalde
Sophienhöhe
Hambacher Forst
(aufgeforstet)
Hambacher Speichersee
PV-Kraftwerk (schwimmend)
Wasserbatterie als
Stromspeicher
Pumphöhe
≈ Kraft / Energie
Power
vertiefte
Rinne
Braunkohleflöz
(im Boden belassen)
Batterie aus Hohlraumkugelspeichern
· nicht maßstabsgetreu ·
Grafik: Michael Düren, JLU Giessen

Gigantische Energiespeicherkapazität

Hambacher Loch ist 450 m tief
ca. 4 km^2 Fläche (Sohle des Loches)
ca. 100 m hohes Hohlkörpersystem
ca. 300 Millionen m^3 Speicherraum

bei 400 m Tiefe beträgt die potentielle Energie von 1 m^3 Wasser ca. 1 kWh
Hohlraum (300 Millionen m^3) => ca. 300 Millionen kWh

=> ein Zyklus speichert mehr als 270 GigaWh an elektrischer Energie
Dies sind ca. 10 mal soviel, wie in der Summe alle bisher in ganz Deutschland vorhandenen Wasserpumpspeicherwerke speichern können.

Bei hundert Füllzyklen/Jahr (mittlere Speicherzeit ca. 4 Tage) im Jahr würde die Anlage ca. 30 Milliarden kWh an elektrischer Energie speichern und abgeben können, das sind ca. 50 % der jetzt dort durch Braunkohleverbrennung erzeugten Energie.

Würde man die aus Beton hergestellten Hohlräume 200 m hoch machen, würde die Speicherkapazität ca. 480 GigaWh betragen. Die "Wasserbatterie" im Hambacher Loch würde also in der kleinsten Ausbaustufe (ohne dass das jetzige Loch noch verbreitert und vertieft wird) die CO_2 Emission um mehr als 30 bis 50 Millionen Tonnen (ca. 10% der gesamten CO_2 Emission in Deutschland) reduzieren.

Zukunfstvision: Energiespeicherkapazität

Da die wesentliche Arbeit im Hambacher Braunkohletagebau die Erdarbeiten sind, stellt sich die berechtigte Frage, ob man durch Verbreiterung oder Vertiefung der jetzigen Sohle die Kapazität für die Energiespeicherung noch erhöhen kann und wie sich dabei die Wirtschaftlichkeit verhält.

Würde man das Loch auf 1000 m vertiefen, die Breite der Sohle auf 2 km erhöhen und die Hohlkörper 300 m hoch machen, dann könnte man die Speicherkapazität auf ca. 4000 GigaWh erweitern.

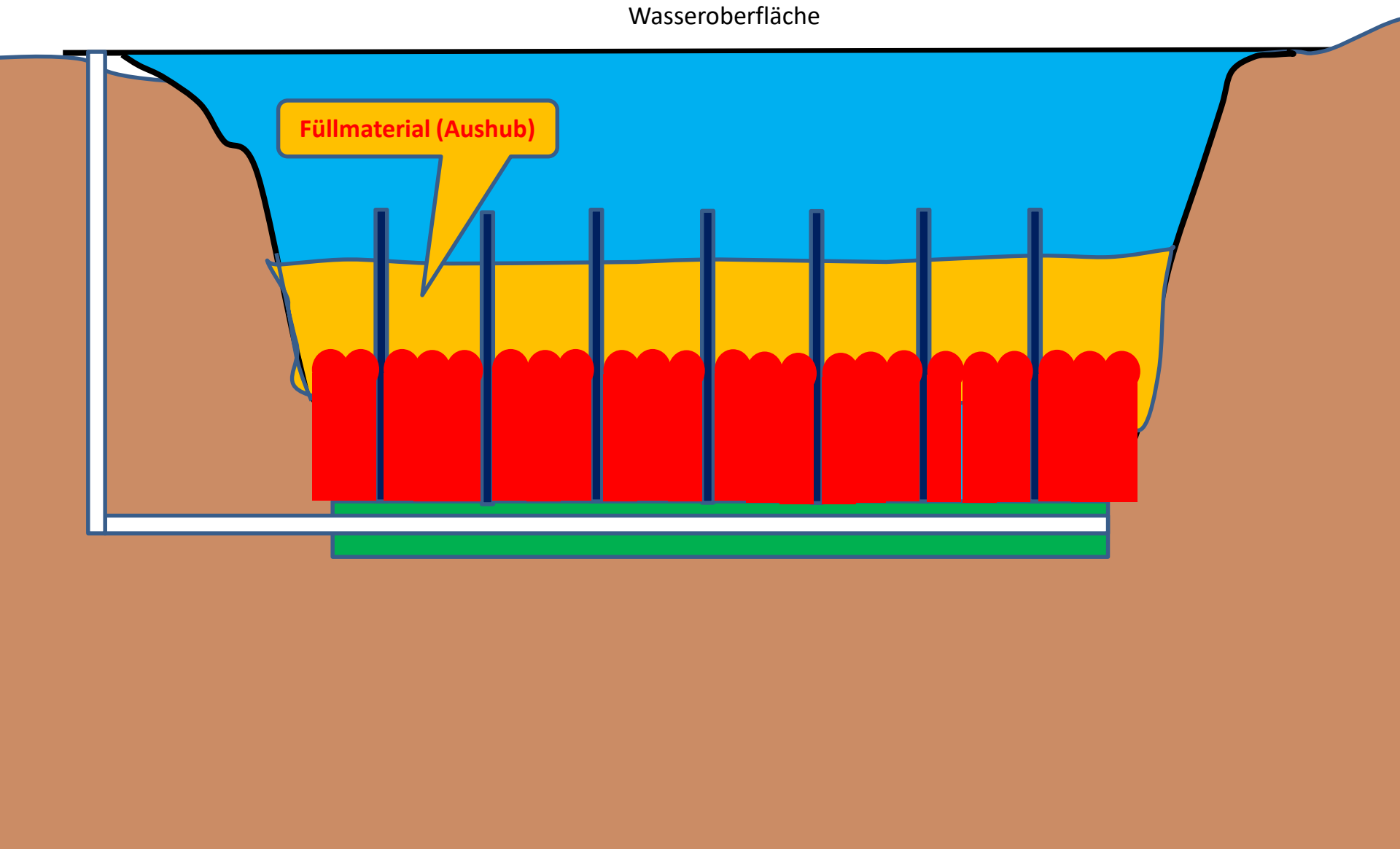
Für 100 Füllzyklen/Jahr würde man eine Energiemenge von ca. 400 Milliarden kWh speichern können, was die sechsfache Menge der jetzigen Stromproduktion durch Braunkohleverbrennung in Hambach entspricht und ca. 60% des gesamten deutschen Stromverbrauchs/Jahr.

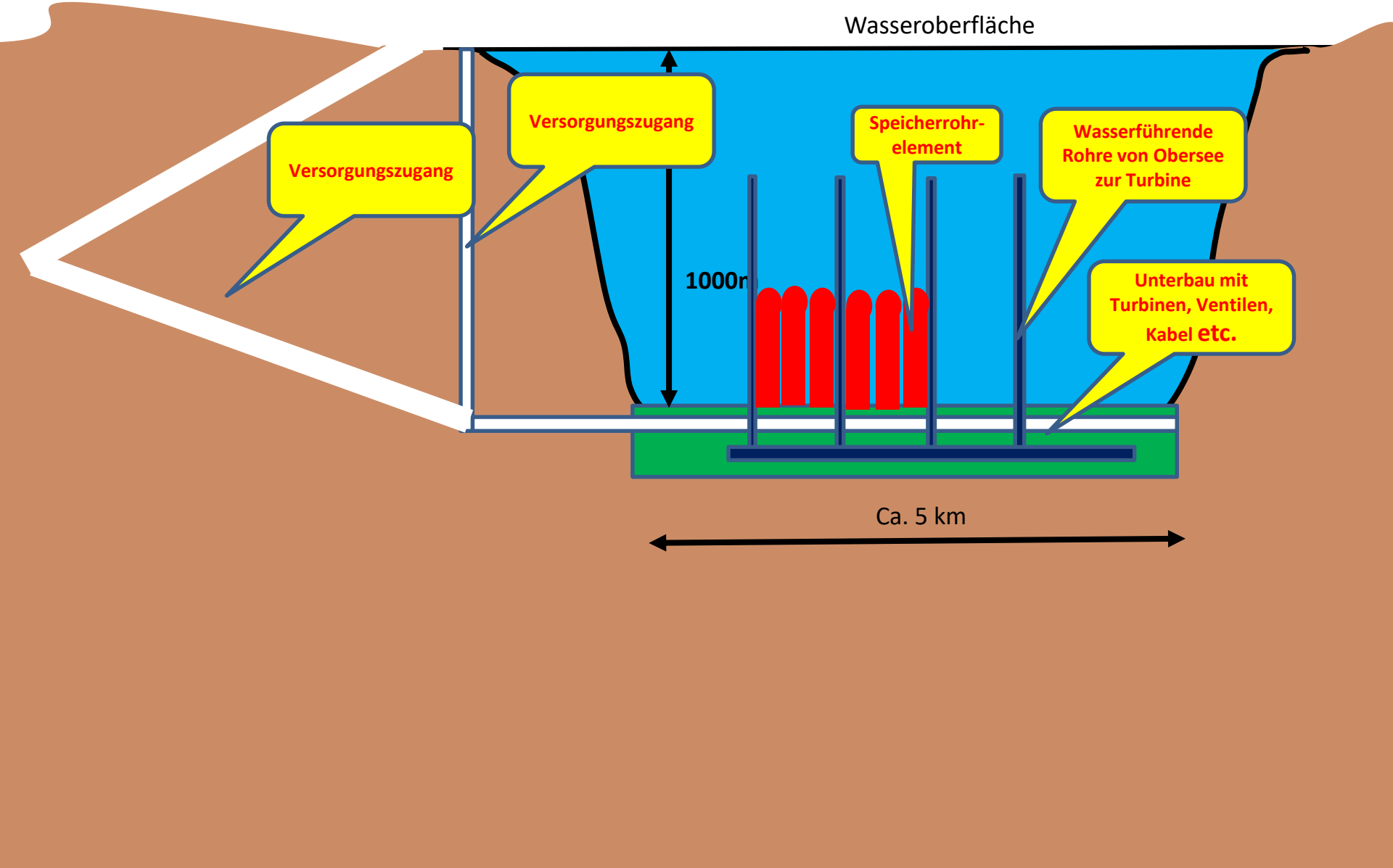
Die CO_2 Emission in Deutschland würde um mehr als 20 % sinken.

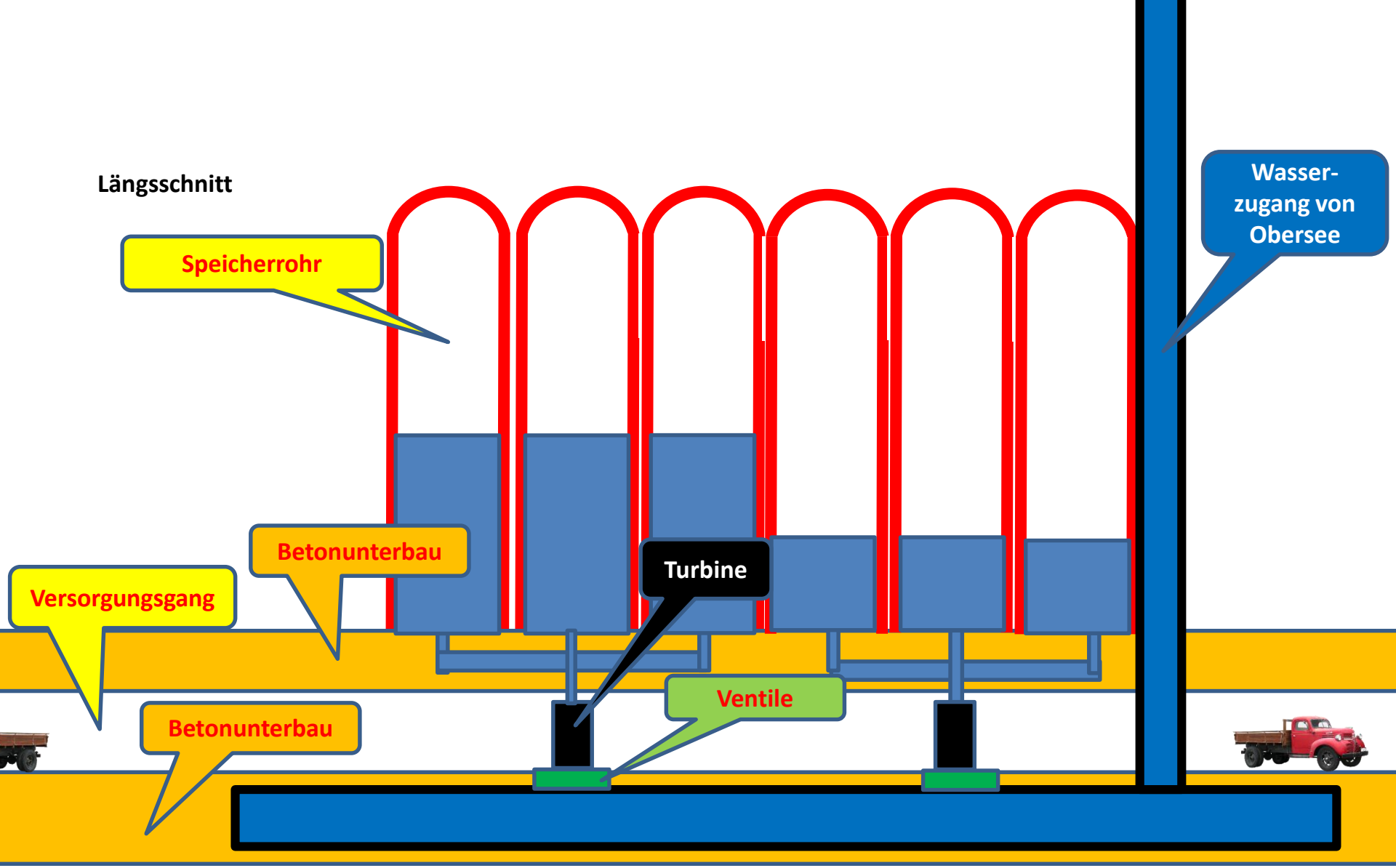
Abschreibung 50 Jahre:

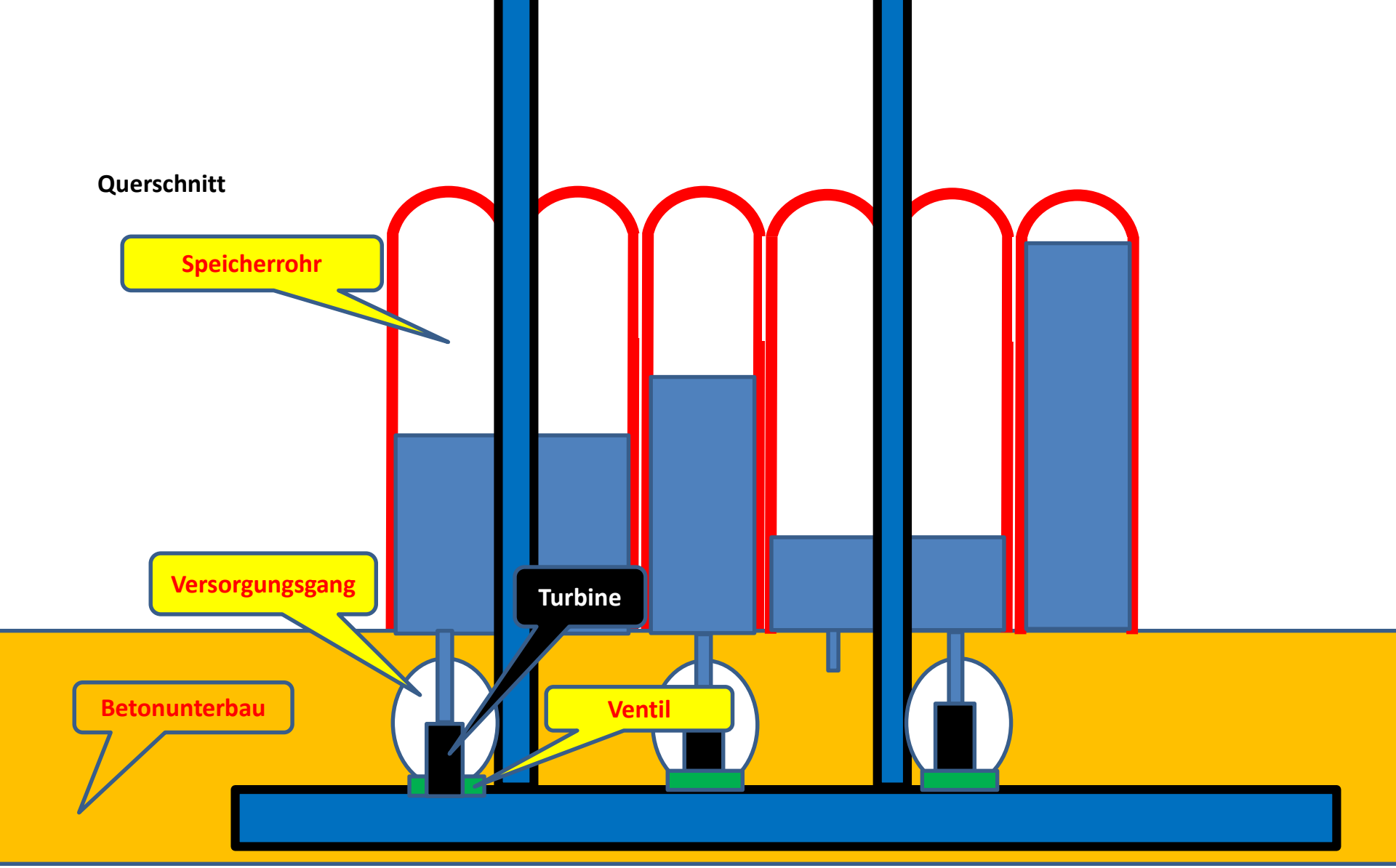
Kosten der Energiespeicherung pro kWh

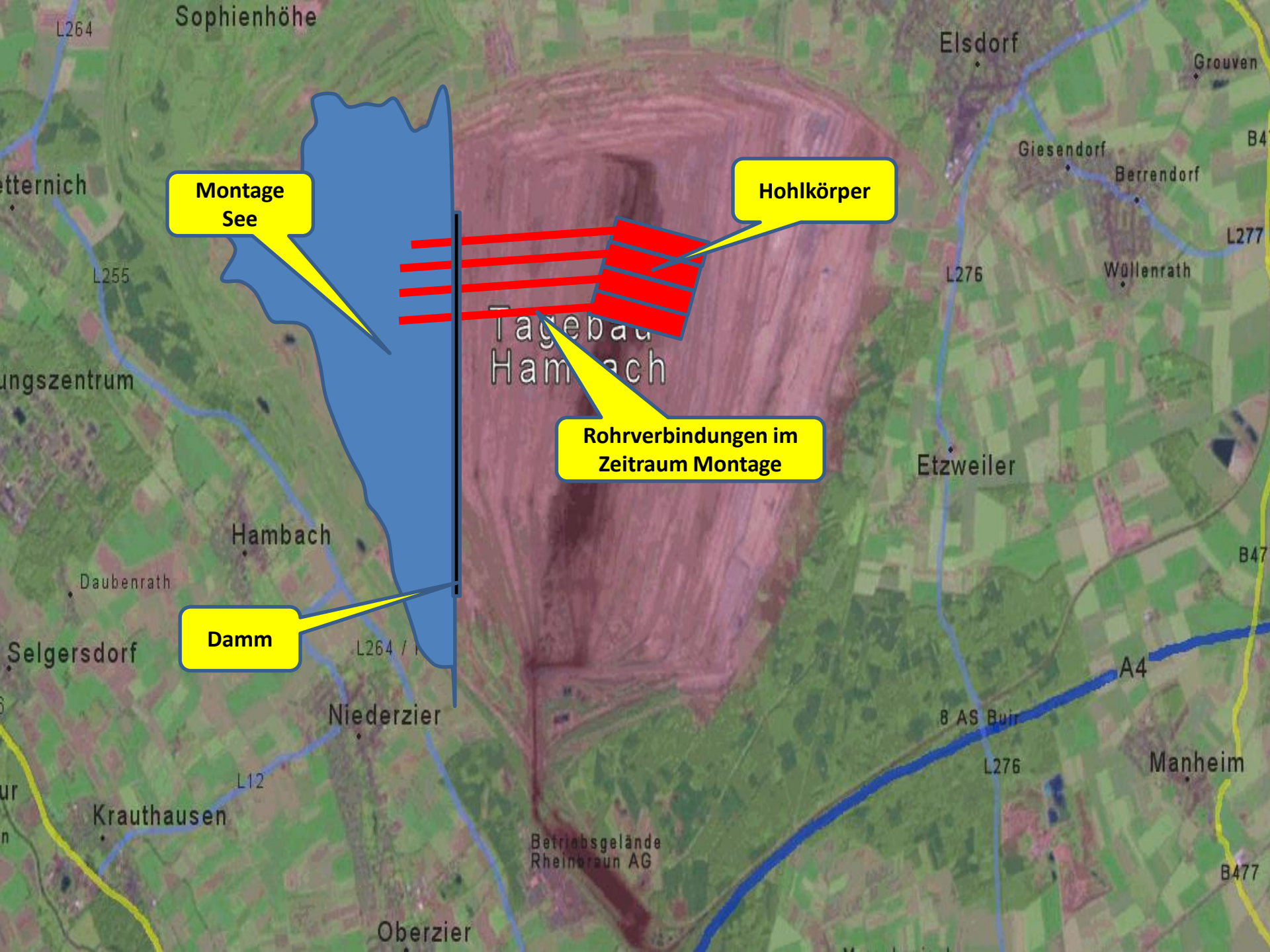
Ca. 1 Cent/kWh


Wasseroberfläche
Füllmaterial (Aushub)


Wasseroberfläche
Versorgungszugang
Versorgungszugang
Speicherrohr-element
Wasserführende Rohre von Obersee zur Turbine
1000m
Unterbau mit Turbinen, Ventilen, Kabel etc.
Ca. 5 km


Längsschnitt
Speicherrohr
Wasser-
zugang von
Obersee
Betonunterbau
Turbine
Versorgungsgang
Ventile
Betonunterbau


Querschnitt
Speicherrohr
Versorgungsgang
Turbine
Betonunterbau
Ventil


Montage See
Hohlkörper
Rohrverbindungen im Zeitraum Montage
Damm
Sophienhöhe
Elsdorf
Grouven
Giesendorf
Berrendorf
Wüllenrath
Etzweiler
Hambach
Daubenrath
Selgersdorf
Niederzier
Krauthausen
Oberzier
Manheim
A4
L264
L255
L276
L277
L12
B477
Betriebsgelände Rheinbraun AG

Schleusse
Damm, der See in zwei Teile teilt.
Aüsserer See: Freizeitbereich mit sehr kleiner Ebbe-Flut-Bewegung (<5m).
Innerer See: Grosse Ebbe-Flut-Bewegung bis 40 m)
Sophienhöhe
L264
Elsdorf
Grouven
Giesendorf
Berrendorf
L277
L276
Wüllenrath
L255
Hambach
Daubenrath
Selgersdorf
L264 / K
Niederzier
L12
Krauthausen
Betriebsgelände
Rheinbraun AG
Oberzier
Manheim
B477