Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

Vortrag anlässlich der 2. Pumpspeichertagung des EFZN, 20. & 21. November 2014, Goslar

Dipl.-Ing. Stephan Hloucal

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

Ausgangslage

Von der Idee zum Projekt

Bergbauliche Situation

Das PSWu-Pilotprojekt

Elektrische Eigenschaften

Vergleich mit anderen untertägigen Pumpspeicher-Konzepten

Wirtschaftliche Aspekte

Rechtliche Aspekte

Zukunftsaspekte

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

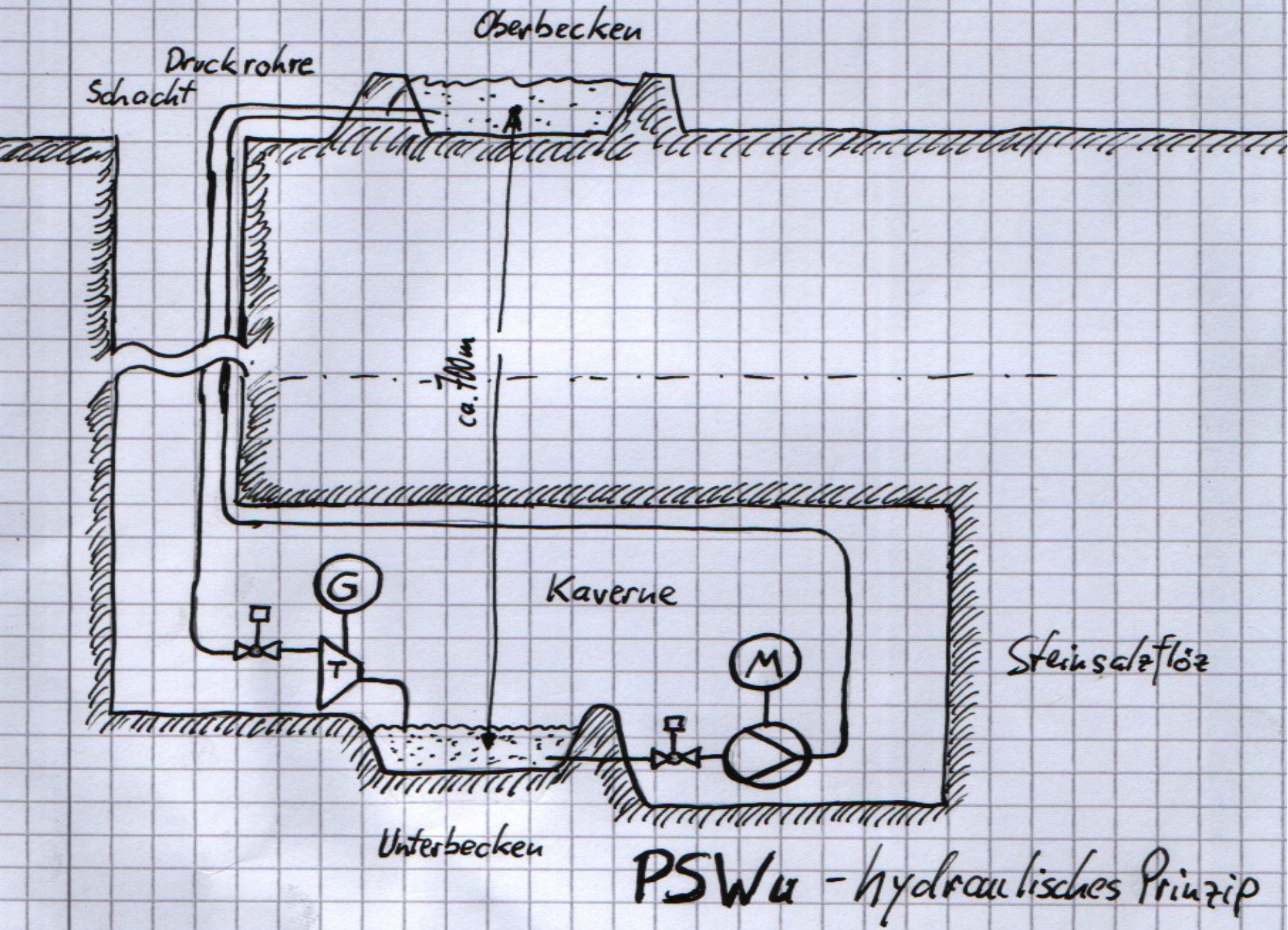
Ausgangslage

- Transformation der Energiewirtschaft zu 100 % Erneuerbaren Energien: **ENERGIEWENDE**
- Lokale Netzengpässe bei Überangebot von Sonnen- und Windstrom
- Vorhandene Pumpspeicherkapazitäten sind nicht zukunftsfähig
- Neue Speichersysteme noch in Entwicklung, noch unwirtschaftlich oder schlechter Wirkungsgrad
- Neue konventionelle Pumpspeicherkraftwerke sind aus Naturschutzgründen schwer realisierbar.
- Systemdienstleistungen werden aktuell von konventionellen Kraftwerken bereitgestellt.
- Erneuerbare Energien müssen zukünftig allein Systemdienstleistungen erbringen.
- Speicher sind künftig zur zeitlichen Lastverschiebung, zur Erbringung von Systemdienstleistungen und zur Optimierung des Netzausbaus erforderlich.
- Mit Abschaltung der AKW´s, fossiler Großkraftwerke und Zunahme dezentraler EE-Einspeiser (Wechsel-, Umrichter), fehlen rotierende Massen im Netz.
- PSWu mit Synchronmaschinen stellen dem Energiesystem rotierende Massen zur Verfügung und sind **schwarzstartfähig.**

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

Von der Idee zum Projekt

- Gebrauchsmuster DE202010000744U1
- Adaption der konventionellen PSW-Technik an den Kali- bzw. Salzbergbau
- Nutzung untertägiger Grubenräume und der großen Höhendifferenz/Teufe (500 m -1.500 m) zur Tagesoberfläche
- Untertägige Pumpspeicherkraftwerke sind weltweit noch nicht realisiert, obwohl seit 1972 in den USA Mt. Hope - Projekt mit 2.000 MW geplant war.
- Einbringung von Druckrohrleitungen in vorhandenen Schacht
- Betrieb von Pumpe und Turbine am Unterbecken untertage
- Turbinenleistung zwischen 1 MW und 100 MW möglich
- **Gesättigte Salzlauge als Antriebsmedium!**
- Realisierung in aktiven bzw. Nachnutzung von außer Betrieb gehenden Kalischächten
- Übertragbarkeit auf Kali- und Salzschächte in Deutschland, Europa und weltweit



PSWu - hydraulisches Prinzip

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbare Energien Kraftwerken

Bergbauliche Situation

- Schachtanlagen dienen ausschließlich der Gewinnung von Kali- und Steinsalz. Nach Betriebseinstellung erfolgen Versatz, Flutung und Verfüllung der Schächte.
- An den Rückstandshalden sind zur Aufnahme salzhaltiger Niederschlagswässer meist Sammelbecken vorhanden.
- In Versatzbergwerken sind Pumpen und Druckrohrleitungen vorhanden, die hydraulischen Versatz nach untertage und gesättigte Salzlauge nach übertage befördern.
- Hohlräume für unteres Speicherbecken und Maschinenkaverne untertage in ausreichenden Dimensionen vorhanden, bzw. leicht auffahrbar.
- In aktiven Schachtanlagen sind erforderliche technische und personelle Infrastruktur (Befahrung, Bewetterung, Netzanschluss, Personaleinsatz, Bergsicherheit ...) vorhanden.
- Bergbauexperten bestätigen die grundsätzliche Machbarkeit eines PSWu.
- Es sind große Höhenunterschiede (Teufen) bis über 1.500 m anzutreffen.
- Mittelspannungsanschlüsse vorhanden, internes Grubennetz nutzbar

Kalischacht mit Fördergerüst und Rückstandshalde

Haldenbecken für Salzlauge

Rasenhängebank

Salzlaugen-Druckrohre Aufhängung über Tage

Salzlaugen-Druckrohre 700 m unter Tage
am Füllort

Salzlaugen-Druckrohre 700 m unter Tage
am Füllort

Salzlaugenbecken 700 m unter Tage

Salzlaugenbecken 700 m unter Tage

Pumpenkammer
Durchhieb
2,5m breit
3,0m hoch
Speicherbecken für
Rückführlaugen
Schacht V
Pumpenwerkstatt
Schaltraum, h=3,5m
Bohrung
(ø 150mm)
ca.4000m³
Grenze
Schachtsicher-
heitspfeiler
lt.Verfügung der
vom 15.02.1957
R=225m
Rösche
Kleingerätewerkstatt
Absetzbecken 2 für
Rückführlaugen
ca.2000m³
Absetzbecken 1 für
Rückführlaugen
ca.2000m³
Überlauf-
Bohrung
(2 x ø 500mm)
Legende
Laugenbecken
Großbohrloch / Schlitz
Rösche
Fahrbahnbau
AUSFÜHRUNGSPLANUNG

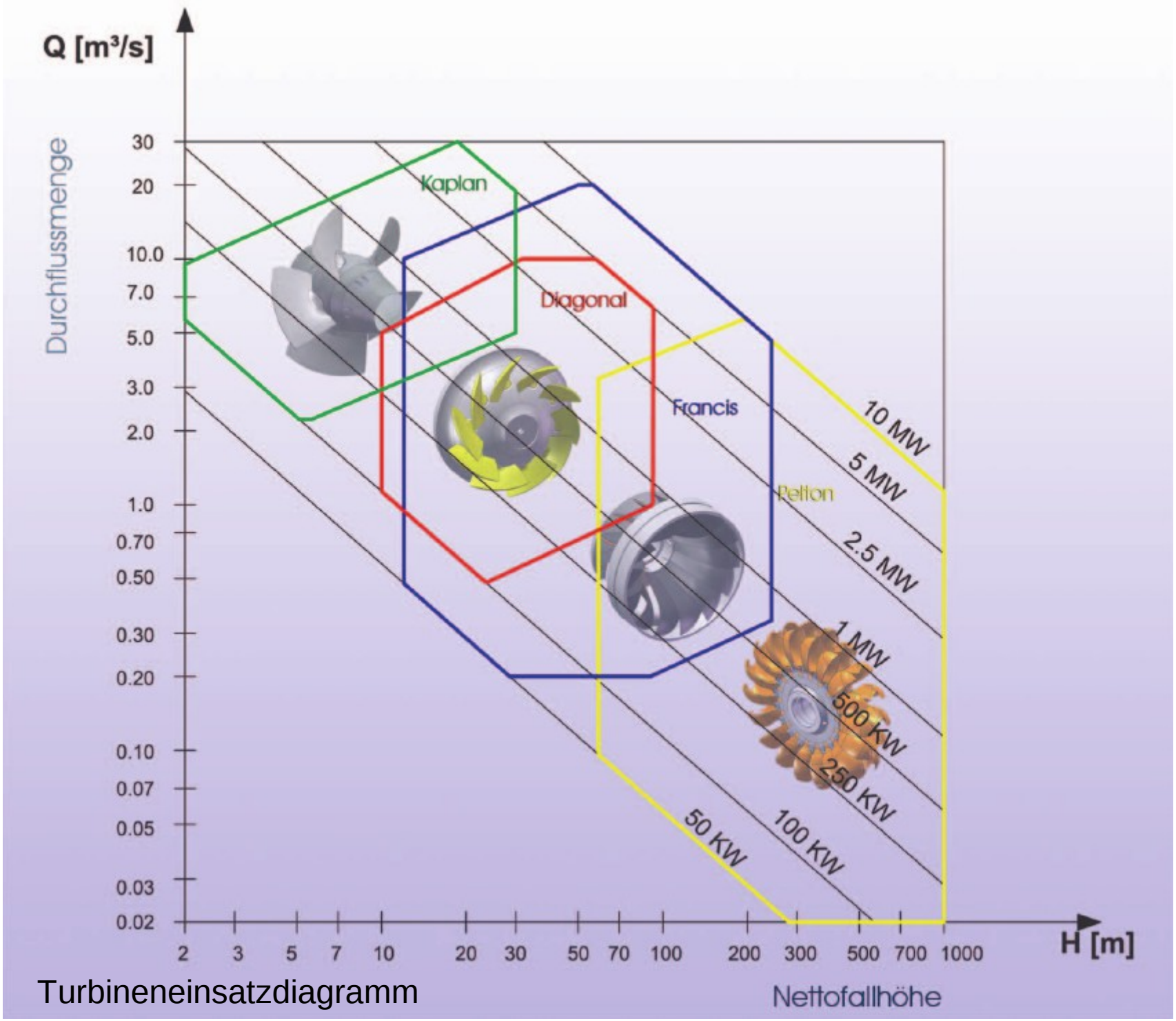
Hauptbecken	**4.000 m³**
Absatzbecken 1	**2.000 m³**
Absatzbecken 2	**2.000 m³**

Pumpenkaverne 700 m unter Tage

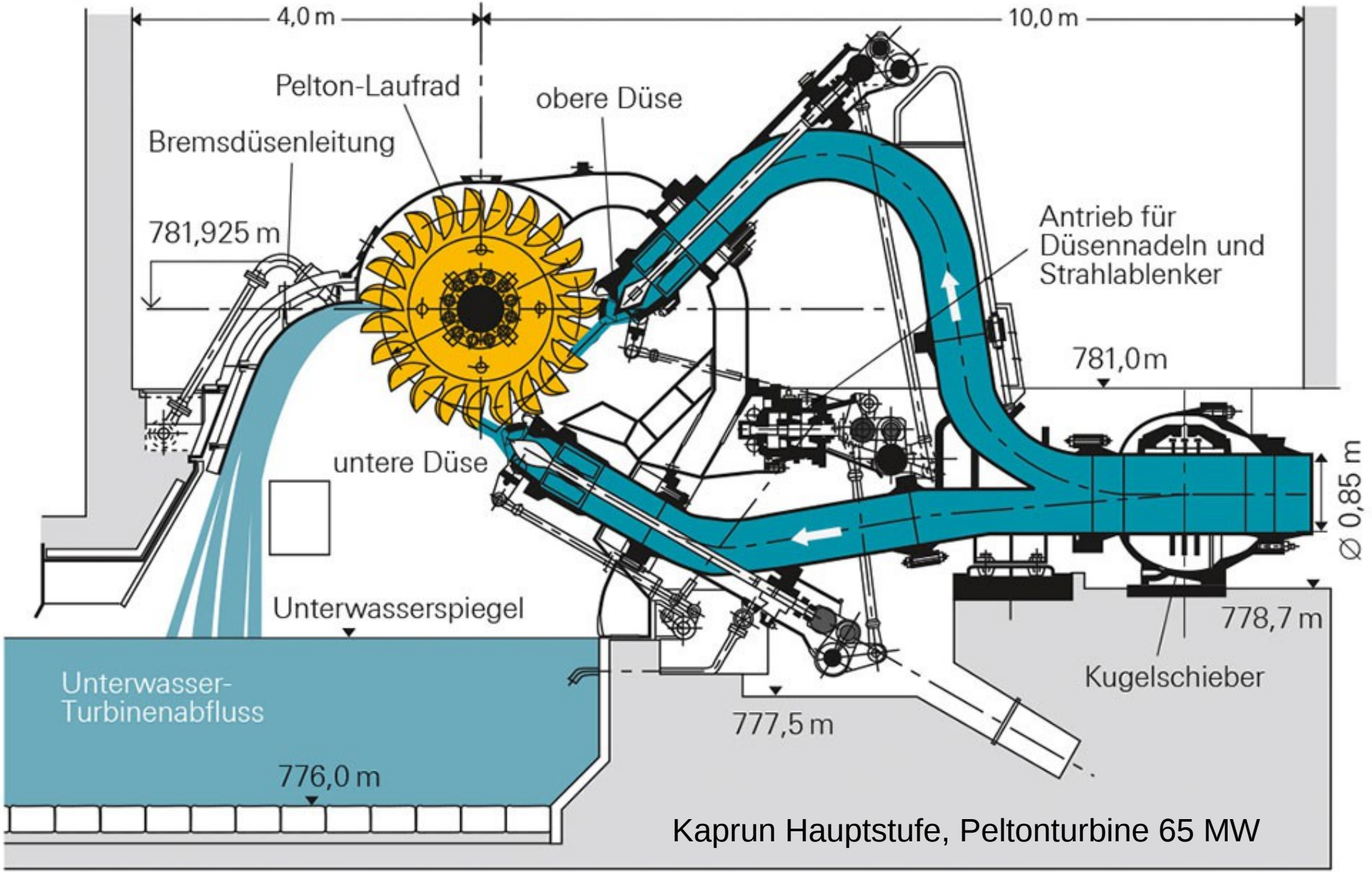
APOLLO

Mittelspannungsanlage 700 m unter Tage

Fördergerüst Schacht V



Turbineneinsatzdiagramm



Bildquelle: Verbund AG

Zweidüsige Peltonturbine ca. 200 kW

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

Das PSWu-Pilotprojekt

- Keine Beeinträchtigung des normalen Bergwerksbetriebes (Förderung, Versatz)
- Mitnutzung des Haldenbeckens, bzw. Anlegen eines neues Oberbeckens oder Installation von Laugentanks übertage
- Einbringung neuer separater Druckrohrleitungen (API-Standard) in den Schacht
- Nutzung vorhandener schachtnaher Kavernen für Speicherbecken und Maschinenkaverne bzw. Auffahrung separater Kavernen
- Antriebsmedium ist **gesättigte Natriumchloridlauge (NaCl)**, **spez. Dichte: 1,2 g/cm³**
- Fallhöhe ca. 500 m bis 1.500 m
- Getrennte Maschinensätze: Peltonturbine mit Synchronmaschine und Hochdruckpumpe sorgen für höchste Flexibilität
- Zyklenzeiten: min. 8 h Pumpbetrieb, min. 8 h Turbinenbetrieb
- Speicherkapazität: ca. 10 bis 15 MWh

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

Das PSWu-Pilotprojekt

- Turbinenspezialisten von Kössler/Voith-Hydro und Andritz-Hydro sehen keine materialtechnischen Probleme beim Einsatz gesättigter NaCl-Lauge in Pelton-Turbinen.
- Untersuchung des materialtechnischen Verhaltens hoch beanspruchter Turbinenbauteilen, wie Laufrad, Düsen und Verschlussorganen bei gesättigter Salzlauge, sowie die Bewältigung möglicher Auskristallisationen im System.
- Messung geotechnischer Parameter im Grubengebäude.
- Vollautomatischer, ferngesteuerter Betrieb
- Abschätzung der Höherskalierbarkeit von Turbinen und Pumpen anhand von Schachtgeometrie, Unter- und Oberbecken, Fallhöhe/Teufe.
- Prüfung der Nutzung von Material- und Wetterschächten.
- Festlegung der für die alleinige Nachnutzung erforderlichen technischen und personellen Mindestanforderungen an den PSWu-Betrieb.

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

Das PSWu-Pilotprojekt

Konfigurationsbeispiel

Fallhöhe:	ca. 700 m
Oberbecken übertage:	ca. 10.000 m^3
Unterbecken untertage:	ca. 10.000 m^3
Druckrohre im Schacht:	maximal 4 x DN 200 neu
Betriebsmedium:	NaCl-Lauge, gesättigt, 1,2 g/cm^3
Durchfluss:	ca. 250 l/s
Turbinenleistung:	ca. 1,5 MVA
Pumpleistung:	ca. 1,8 MW
Speicherkapazität:	ca. 10 – 15 MWh
Zykluszeiten:	8 bis 10 h laden, 8 bis 10 h entladen

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

Elektrische Eigenschaften

- Synchronmaschine mit schneller Steuerung für höchste Flexibilität
- Getrennte Maschinensätze für Pumpe und Turbine
- Zeitliche Lastverschiebung im Verbund mit Wind- und Solarkraftwerken
- Vorrangig Erbringung von Systemdienstleistungen im Netz
- Bereitstellung rotierender Masse im Turbinenbetrieb
- Schwarzstartfähigkeit
- Regelenergie in virtuellen Kraftwerken (grünes Regelkraftwerk)
- Ausgleich von steilen Lastgradienten im Netz durch Wind- und Solarenergie
- Speicher in energieautarken Regionen

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

Vergleich mit anderen untertägigen Pumpspeicher-Konzepten

- Keine Probleme mit Abdichtung und Größe der Kavernen im Steinsalz.
- Keine aufwändige Reaktivierung, wie bei stillgelegten Erzbergwerken (Schächte öffnen, Sümpfung, Umweltprobleme z.B. Blei- oder Uranerz, Auffahren von Maschinenkavernen und geeigneten Speicherräumen, neue Aufhaldungen, mangelhaft Standsicherheit, poröses Gesteine oder zerklüftete Gebirge ...)
- In zu reaktivierenden Bergwerken muss gesamte technische und personelle Infrastruktur neu geschaffen werden (Befahrung, Bewetterung, Personal, Bergsicherheit, Netzanbindung ...)
- Rechtslage, Bergwerkseigentum, Umwelt- und Naturschutz bei Reaktivierung und neuer Aufhaldung, Immissionsschutz?
- Vergleichsweise geringe Investitionskosten
- Keine erkennbar unüberwindlichen technische, rechtliche und bergbauliche Risiken oder Hemmnisse beim PSWu.

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

Wirtschaftliche Aspekte

- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in einer Machbarkeitsstudie
- Vergleichsweise geringe Investitionskosten
- Platzierung des PSWu auf dem Regelenergiemarkt
- Ziel sind Speicherkosten, die denen konventioneller PSW vergleichbar oder günstiger sind. ~ 4 €Ct/kWh
- Zum Vergleich: Speicherkosten auf Basis Lithium-Systeme aktuell > 50 €Ct/kWh
- Vorteil gegenüber anderen (neuen, unkonventionellen) Speichertechnologien ist die Anwendung der seit 100 Jahren technisch ausgereiften Pumpspeichertechnologie mit Wirkungsgrad > 80 %.

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

Rechtliche Aspekte

- Genehmigung nach Bergrecht, sofern sich PSWu auf Betriebsgelände befindet
- Nutzungsvertrag mit Bergwerkseigentümer
- Energiewirtschaftsrecht

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien

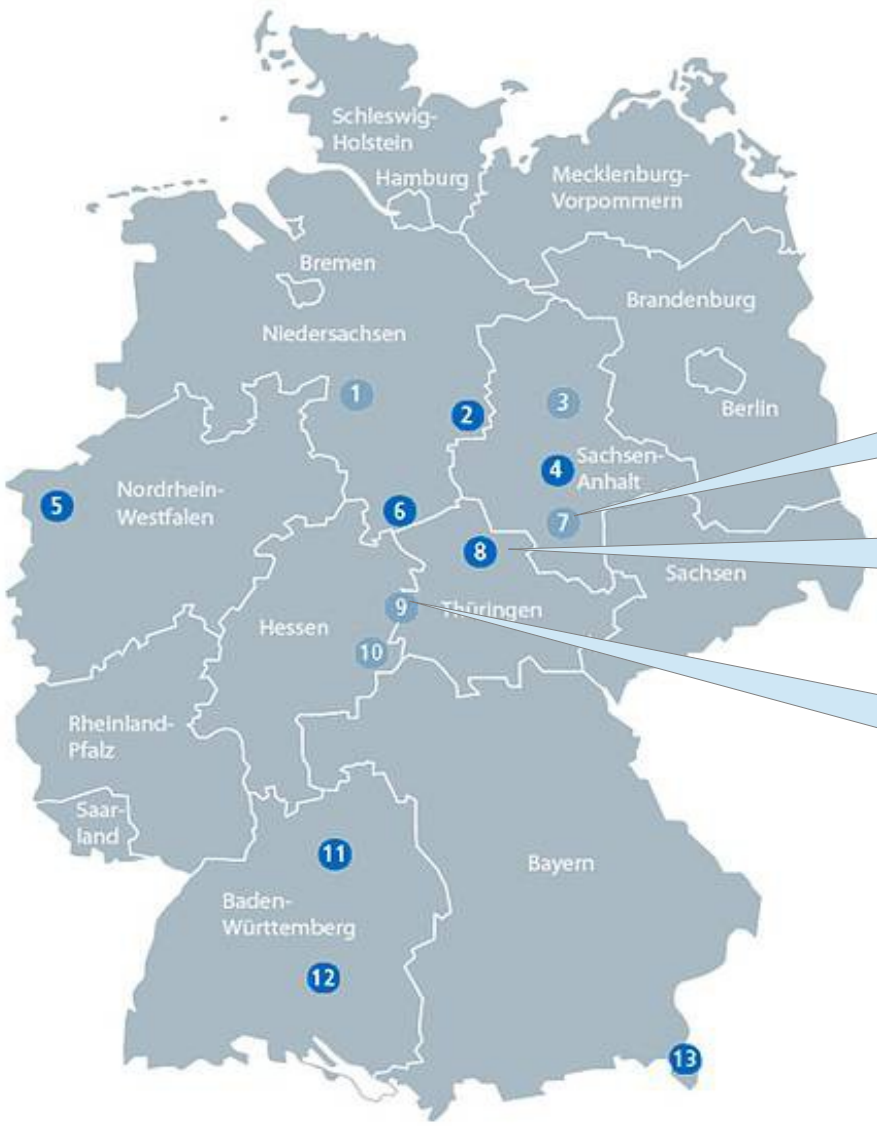
Zukunftsaspekte

- Im Rahmen des EU-Programms HORIZONT-2020, KMU-Instrument, Beantragung der Förderung von:

  1. Machbarkeitsstudie, 2. Pilotprojekt, 3. Vermarktung

- PSWu Pilotprojekt in Thüringen
- PSWu Pilotprojekt alternativ im Offenhaltungsbetrieb des Schachtes Gorleben
- Up-Scaling, standortabhängig, Fallhöhe/Teufe, Oberbecken, Schachtsituation
- Weltweite Erschließung neuer Kali-Lagerstätten auf Basis von EE mit Speicher im eigenen Schacht (Inselnetz) in entlegenen Regionen oder in Ländern mit fragiler Stromversorgung
- PSWu in energieautarken Regionen

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien



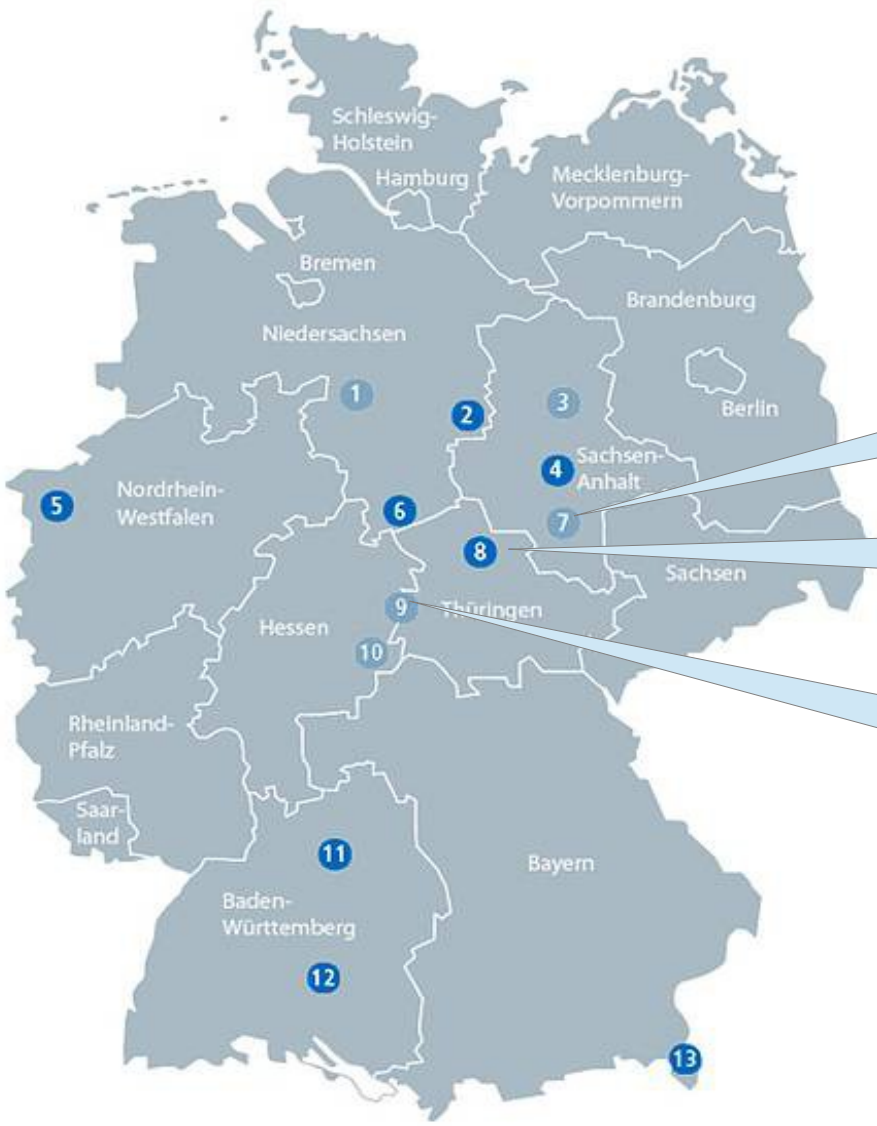
- Aktiver Kali- und Salzbergbau
- Mögliche Standorte für ein Pilot-PSWu

Grube Teutschenthal, Untertagedeponie

Grube Sondershausen, Salz, Untertagedeponie

Bergwerk Werra, Salz, Untertagedeponie

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke (PSWu) im Kali- bzw. Salzbergbau zur Verbesserung der Netzintegration von Erneuerbaren Energien



- Aktiver Kali- und Salzbergbau
- Mögliche Standorte für ein Pilot-PSWu

Grube Teutschenthal, Untertagedeponie

Grube Sondershausen, Salz, Untertagedeponie

Bergwerk Werra, Salz, Untertagedeponie

Vorrang für Erneuerbare Energien!
Über Tage und unter Tage!

Glückauf