

Einlagerung von regenerativ erzeugter elektrischer Energie in Form von Druckluft in still- gelegten Salzbergwerken – Symbiose von Energiespeicherung und Langzeitsicherung

11. Symposium Energieinnovation vom 10. bis 12. Februar 2010 in Graz

Dr. Andreas Dengel

11.2.2010



EVONIK
INDUSTRIES

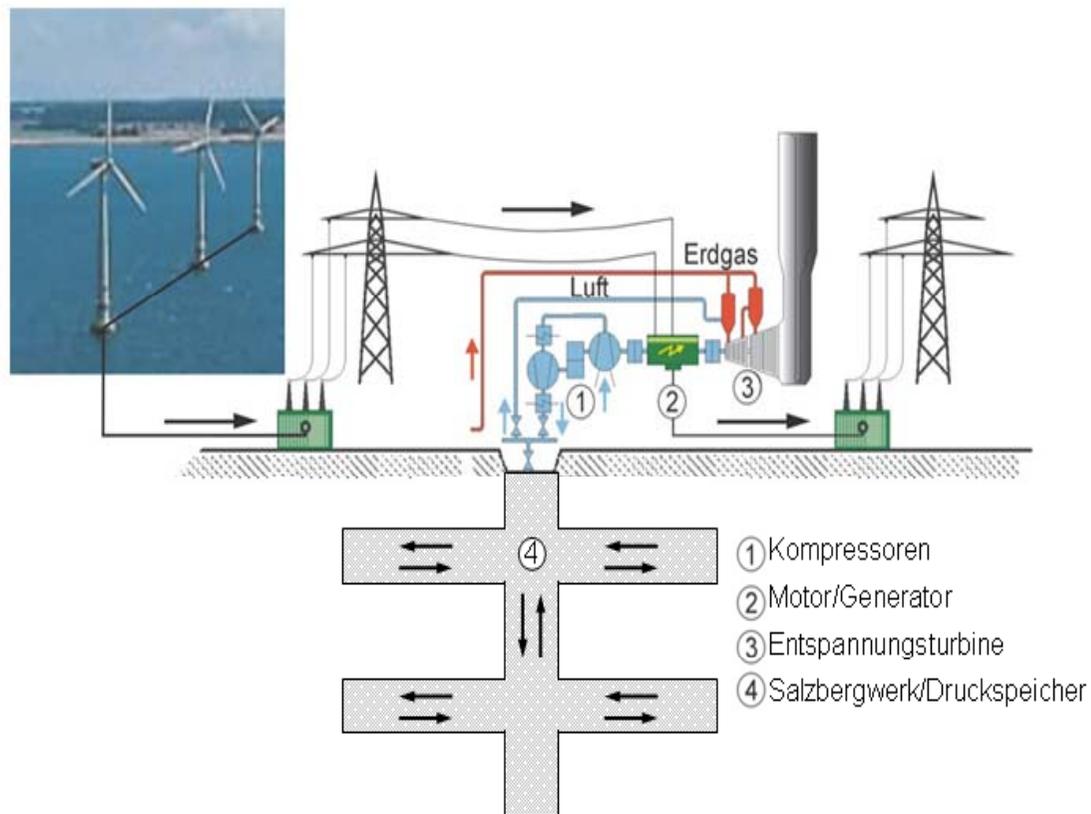
- 1. Stillgelegtes Salzbergwerk als Speicher**
- 2. Wirtschaftliche Optimierung der Entspannungstechnologie**
- 3. Preisermittlung**
- 4. Standortbezogene Wirtschaftlichkeitsrechnung**
- 5. Exkurs: Pilotanlage**

Die Ergebnisse stammen aus dem vom BMU geförderten Vorhaben mit dem Förderkennzeichen: 0327637A

Verbundpartner:

K-UTEC AG Salt Technologies und im Unterauftrag TU BA Freiberg

1. Stillgelegtes Salzbergwerk als Speicher – die Vision

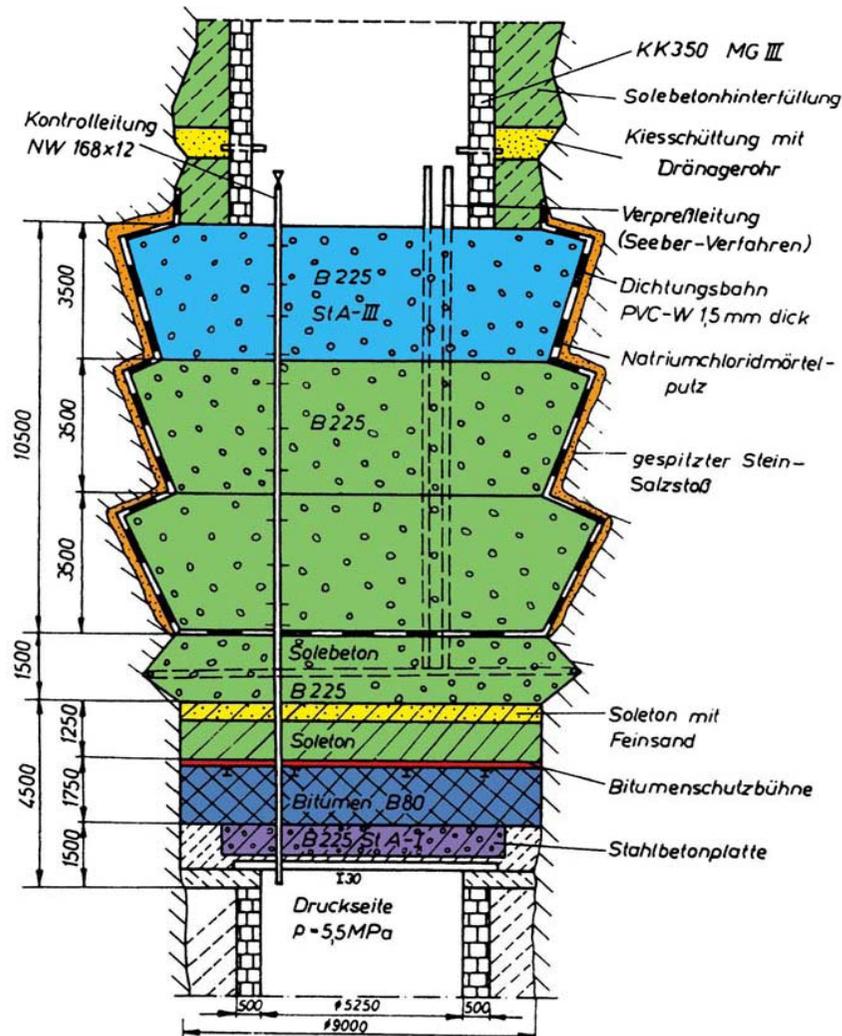


Nach Crotogino

Einbau von Trockenversatz mittels Fahrerlader in einer abgeworfenen Kaligrube



Schachtverschlusskonzept für den Schacht Bernterode I



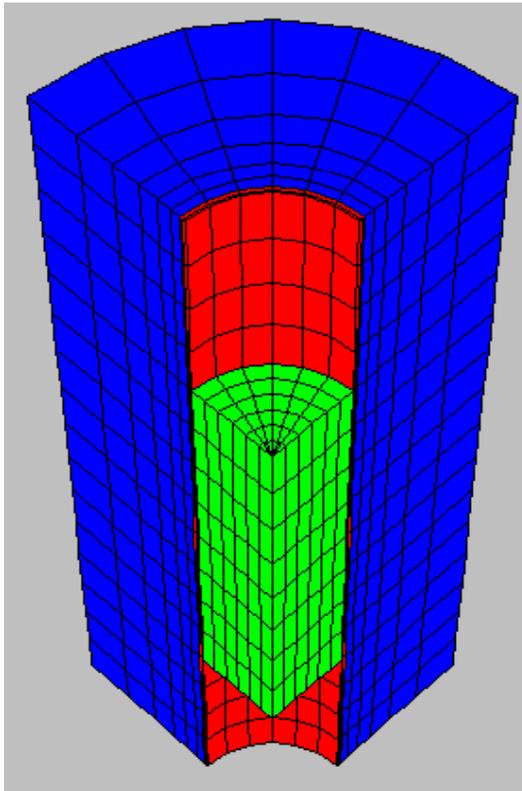
Quelle: T. Oellers und P. Sitz 1985

Einbau einer Dichtungskonstruktion in den Schacht Bernterode



Anwendung einer speziellen Widerlagergeometrie sowie einer PVC-Folie zur Schonung der Gebirgskonturen

Modell vertikale Schachtabdichtung



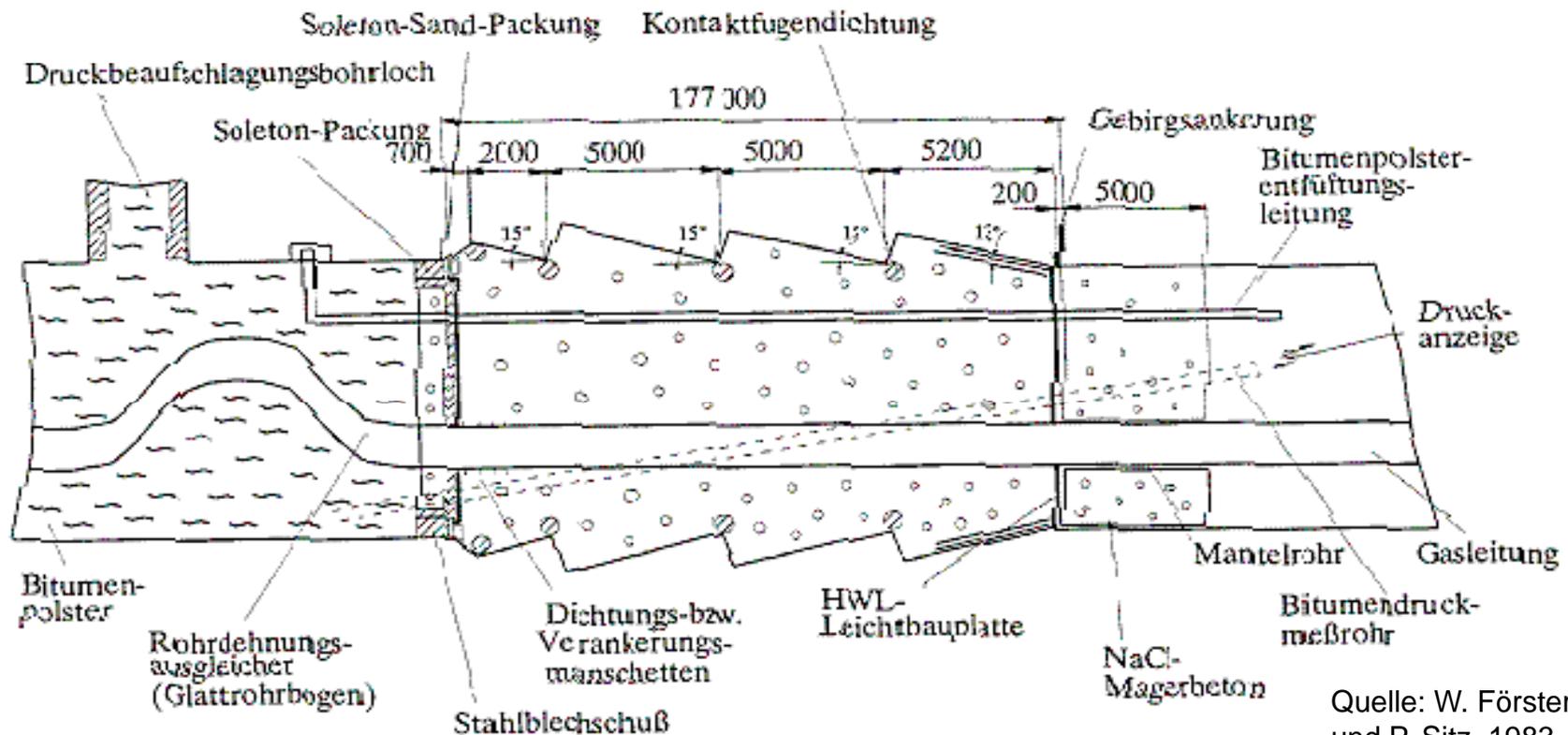
Modellabmessungen:
Modellhöhe: 40,0 m
Länge Dichtelement (Pfropfen): 21,0 m
Horizontale (radiale) Modellerstreckung:
10,0 m
Pfropfenradius: 3,5 m

 gebirge
edz
pfropfen

Berechnungen der
TU BA Freiberg

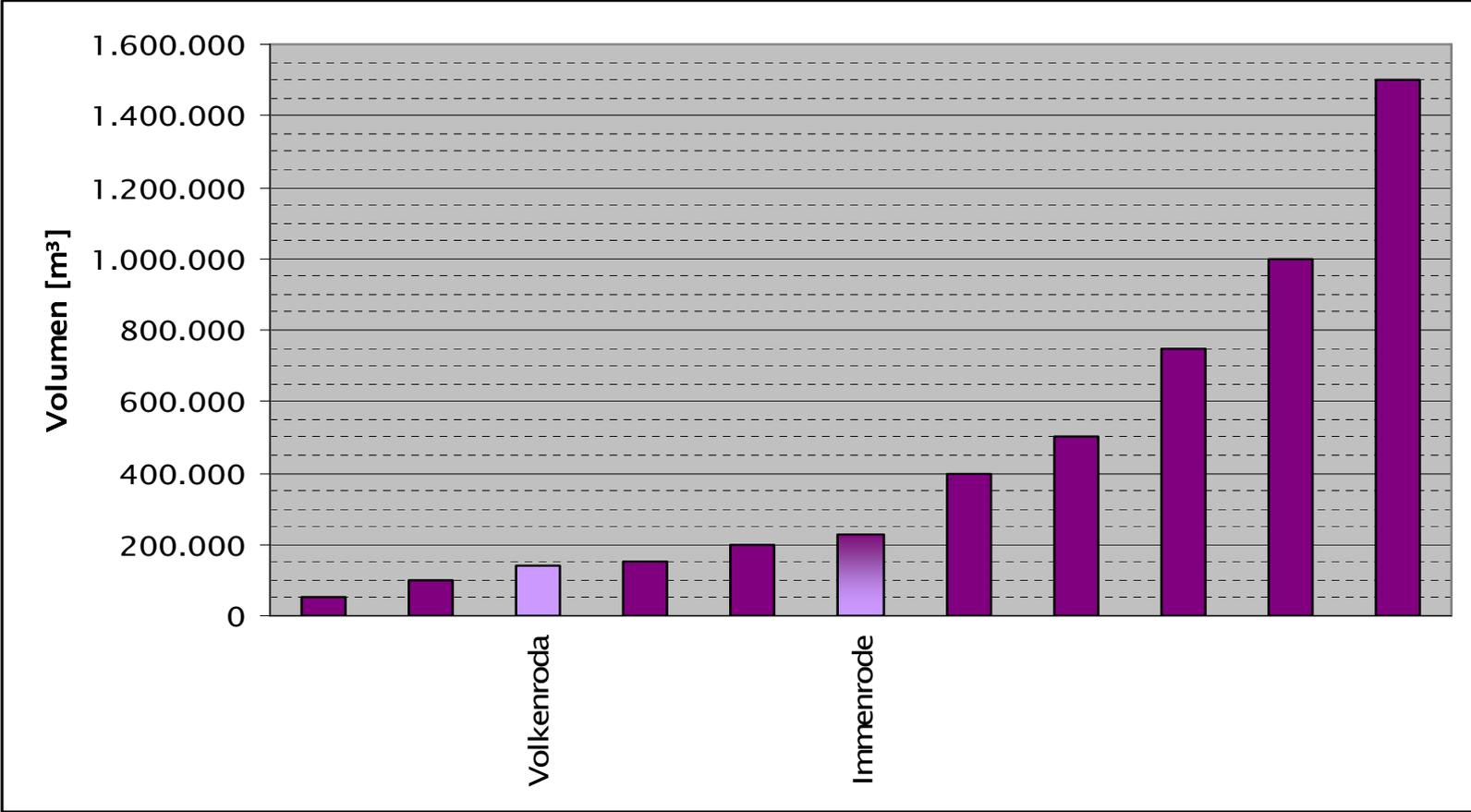
3D – Berechnungsmodell einer vertikalen Schachtabdichtung mit den Bereichen Gebirge, Auflockerungszone (EDZ) und Schachtpfropfen (idealisiert als Zylinder)

Gasdichter Streckenverschluss



Gasdichter Streckenverschluss mit druckseitiger Bitumenkammer und mehrfach gleitfähig verzahntem Widerlager (das Druckbeaufschlagungsbohrloch dient zur Generierung eines Überdruckes im Dichtelement)

Definition unterschiedlicher Hohlräume

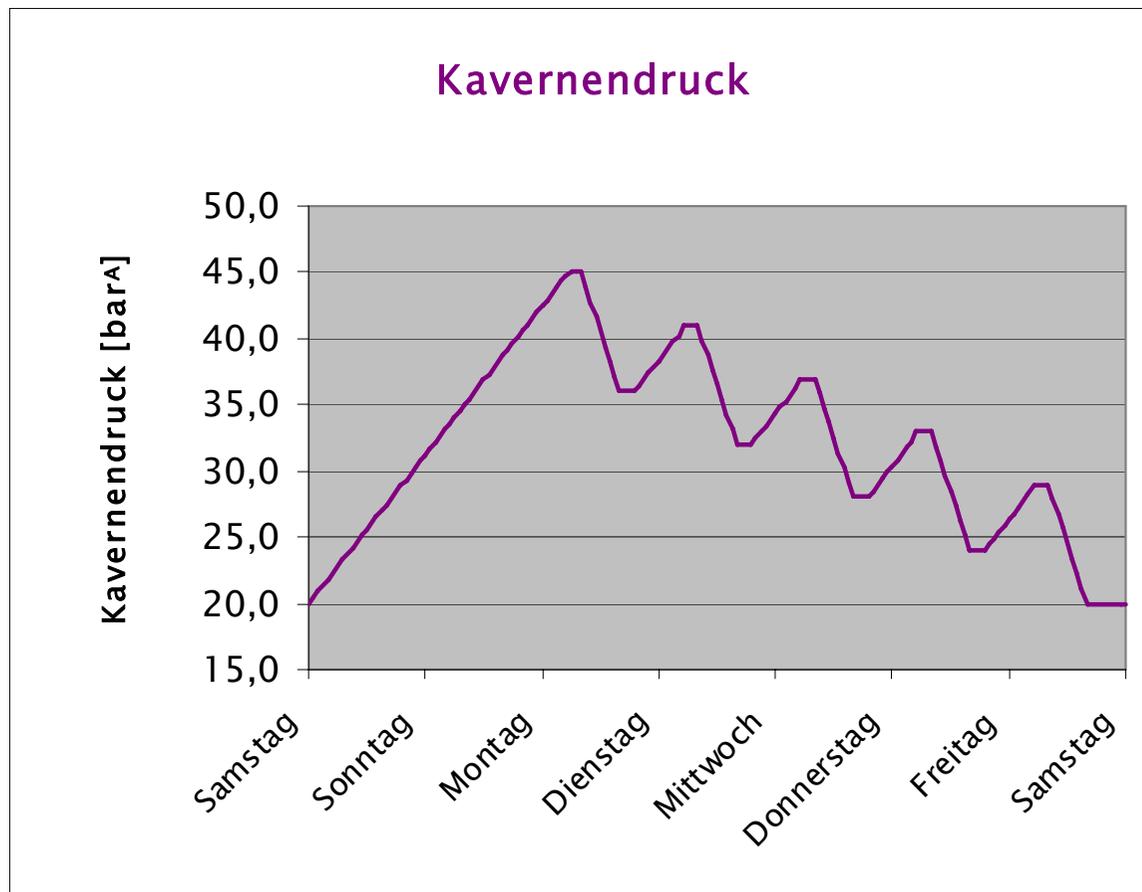


- untersuchte Volumina
- standortbezogene Volumina

Betriebsweise – Kavernendruck



Be- und Entladezyklen über eine Betriebswoche



- Beladen übers Wochenende mit einem Verdichter, ca. 54 Stunden (Leistung: 35 kg/s)
- Entladen während der Woche von 08:00-16:00 Uhr (Leistung: ~ 69 MW)
- Zwischenbeladung von Montag bis Donnerstag, ca. 10 Stunden/Tag (Leistung: 35 kg/s)

2. Wirtschaftliche Optimierung der Entspannungstechnologie



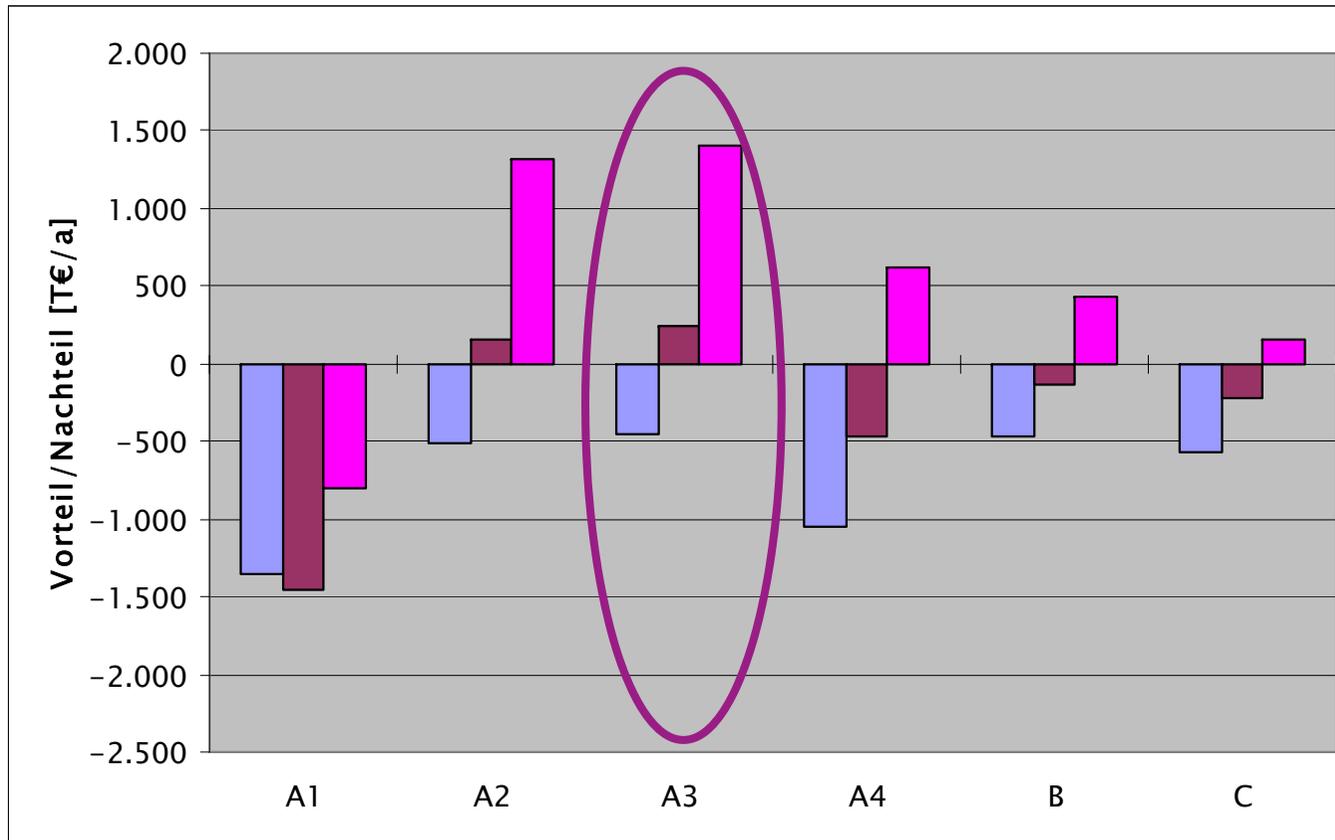
- Entspannungstechnologien
- technische Konzeption der einzelnen Varianten
- Leistungskennzahlen der einzelnen Varianten
- Investitionen für die Entspannungstechnologien
- Entspannung - Energiebilanz
- Variantenentscheidung

- A) Gasturbine
 - A.1) modifizierte Gasturbine
 - A.2) modifizierte Gasturbine mit Rekuperator
 - A.3) modifizierte Gasturbine mit Rekuperator und Wärmespeicher
 - A.4) modifizierte Gasturbine mit ORC-Prozess

- B) Expansionsturbine

- C) Druckluftmotor

Variantenentscheidung



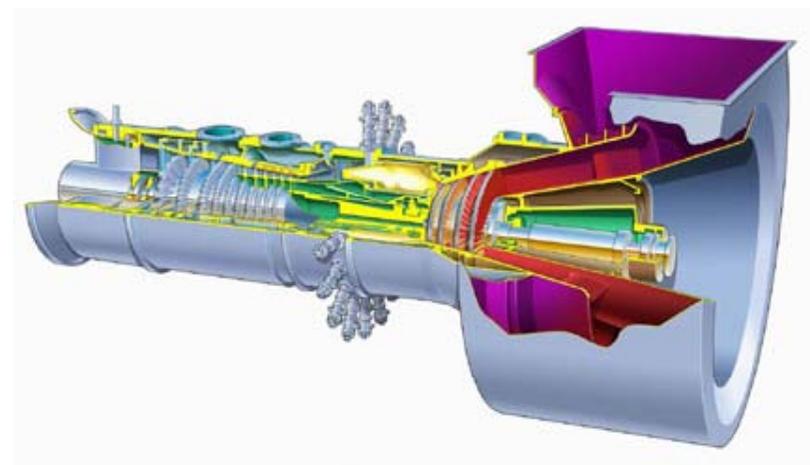
Strompreis- (Verkauf) / Gaspreis inkl. NNE, Steuern und Abgaben:

Strom: ■ 66 €/MWh ■ 82 €/MWh ■ 96 €/MWh
 Gas: ■ 27 €/MWh_{HS} ■ 35 €/MWh_{HS} ■ 40 €/MWh_{HS}

Eingesetzte Arbeitsmaschine - Gasturbine



- Siemens-Gasturbine (SGT600)
- zweiwellige Ausführung von Verdichter und Gasturbine (über eine Kupplung verbunden → Grundvoraussetzung für Aufteilung der Gasturbine)
- elektrische Leistung im Verbund Verdichter/Turbine: ~ 24 MW
- berechnete elektrische Leistung der Turbine: ~ 69 MW
- Investitionen für komplette Gasturbine: ~ 9 Mio. €
- Investitionen für Turbine ohne Verdichter sind vergleichbar mit den Kosten für komplette Gasturbine, da die Umbaumaßnahmen zusätzliche Kosten verursachen



Abwärmekonzept



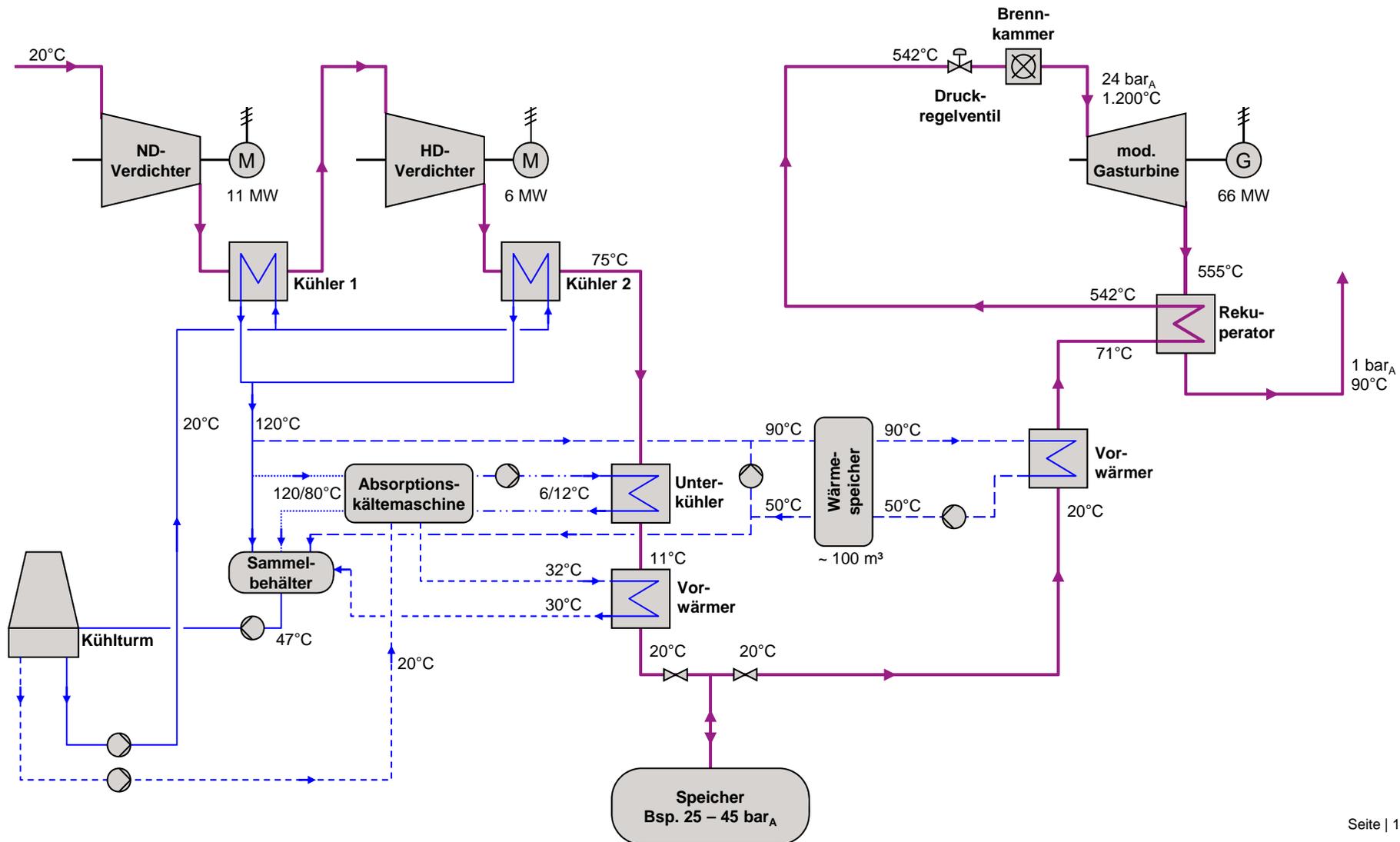
- Abwärme Turbine: ~ 50 MW
 - Abwärme wird im jetzigen Konzept vollständig für die Vorwärmung der Luft für den Gasturbinenprozess eingesetzt (20 → 540 °C)
 - Einsatz eines Rekuperators bewirkt eine Minderung des Erdgasbedarfs um ca. 70 %
 - Rauchgastemperatur von 90 °C sollte nicht unterschritten werden
 - Taupunktunterschreitung → Kondensation von Wasser im Rauchgasweg
- Abwärme Verdichter: ~ 15 MW
- Abwärme kann nicht vollständig für Heizzwecke eingesetzt werden (Temperaturspanne zu groß) → Apparate zur Kühlung auf 20 °C werden benötigt

Abwärmenutzung - Wärmespeicher



- **Idee:**
Speichern der Abwärme aus Verdichtungsprozess in einem Wärmespeicher. Die gespeicherte Wärme kann zur Luftvorwärmung für den Entspannungsprozess genutzt werden.
- Wärmespeicher muss sich gegen vermiedenen Brennstoffkosten rechnen!!!
- **Problem:**
Luft wird durch Rekuperator auf höchst mögliche Temperatur vorgewärmt.
→ es kann nicht mehr Brennstoff eingespart werden
→ separate Wirtschaftlichkeit des Speichers ist nicht darstellbar!!!!

A.3) modifizierte Gasturbine mit Rekuperator u. Wärmespeicher



3. Preisermittlung



- Basis standortbezogene Wirtschaftlichkeitsrechnung
- Strompreishistorie EEX-Spot
- EEX - Terminmarkt Strom
- Strompreisprognose
- EEX – Terminmarkt Gas
- Gaspreisentwicklung
- Ölpreisentwicklung
- Standorte von Salzbergwerken
- Netzentgelte der einzelnen Standorte

4. Standortbezogene Wirtschaftlichkeitsrechnung



Annahmen:

- Strompreis EEX Entladung: 50 [€/MWh] (Verkaufspreis)
- Strompreis EEX Beladung: 28 [€/MWh] (Einkaufspreis)
- Netznutzung: 9 [€/MWh] (Einkaufspreis)
- Verm. Netznutzung: 16 [€/MWh] (Verkaufspreis)
- Steuern und Abgaben: 11 [€/MWh] (Einkaufspreis)
- Gaspreis: 27 [€/MWh] (Einkaufspreis)
- Minutenreserve: 700 [T€/a] (Verkaufspreis)

(Datenbasis: 2007)

Gesamtinvestitionen für einen Standort mit 230.000 m³



		A1	A2	A3	A4	B	C
Verdichter	T€	9.200	9.200	9.200	9.200	9.200	9.200
Turbine	T€	10.000	10.000	10.000	10.000	7.000	-
Druckluftmotor	T€	-	-	-	-	-	6.000
ORC-Prozess	T€	-	-	-	1.000	-	-
Rekuperator	T€	-	10.000	10.000	10.000	1.200	-
Wärmespeicher	T€	-	-	200	-	-	-
sonst. M-Teil	T€	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600
E-Teil	T€	2.900	2.900	2.900	2.900	2.200	1.900
B-Teil	T€	2.000	2.500	2.500	2.800	2.000	2.200
sonst. Kosten ¹⁾	T€	3.400	4.900	4.900	5.000	3.000	2.800
Investitionen	T€	29.100	41.100	41.300	42.500	26.200	23.700

1) Genehmigungen, Ingenieurhonorar, Unvorhergesehenes,...

Wirtschaftlichkeitsrechnung



Erlöse			Kosten		
Stromverkauf	130.540 MWh/a x 66,0 €/MWh	8.620 T€/a	Kapitaldienst & Gewinn		5.600 T€/a
Minutenreserve		700 T€/a	Betriebskosten		
			Personal		540 T€/a
			R&W		1.350 T€/a
			Sonstiges ¹⁾		300 T€/a
			var. Kosten		
			Brennstoff	161.010 MWh/a x 27,0 €/MWh	4.260 T€/a
			Strombezug	78.280 MWh/a x 48,0 €/MWh	3.760 T€/a
			sonst. var. Kosten		50 T€/a
Summe:		9.320 T€/a	Summe:		15.860 T€/a

1) Versicherung, Verwaltung,

→ Unterdeckung in Höhe von: 6.540 T€/a für diesen Standort!

5. Exkurs: Pilotanlage



Aufgaben der EVONIK:

- Anschaffung eines Verdichters angepasst auf den Hohlraum
- Anschaffung einer Absorptionskältemaschine zur Druckluftunterkühlung
- Betrieb der oberirdischen Aggregate

Ziele der Pilotanlage für die EVONIK:

- Überprüfung der Dichtigkeit des Druckluftspeichers
- Überprüfung der Technologie „Druckluftunterkühlung“ zur Realisierung der maximalen relativen Luftfeuchtigkeit
- Stoffanalyse der entnommenen Druckluft

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



EVONIK
INDUSTRIES

Dr. Ing. Andreas J. Dengel

Leiter Technische Innovation

Telefon +49 681 9494-1600

Telefax +49 681 9494-064 1600

andreas.dengel@evonik.com

Evonik New Energies GmbH

St. Johanner Straße 101-105

66115 Saarbrücken

<http://www.evonik.de/new-energies>

Dr.-Ing Thomas Fliß

Abteilung Geomechanik und Bergbau

Telefon: +49 3632 610-186

Telefax: +49 3632 610-105

thomas.fliss@kutec.de

K-UTEC AG Salt Technologies

Am Petersenschacht 7

99706 Sondershausen

<http://www.kutec.de>