

## 12. Symposium Energieinnovation TU-Graz



**PÖYRY**

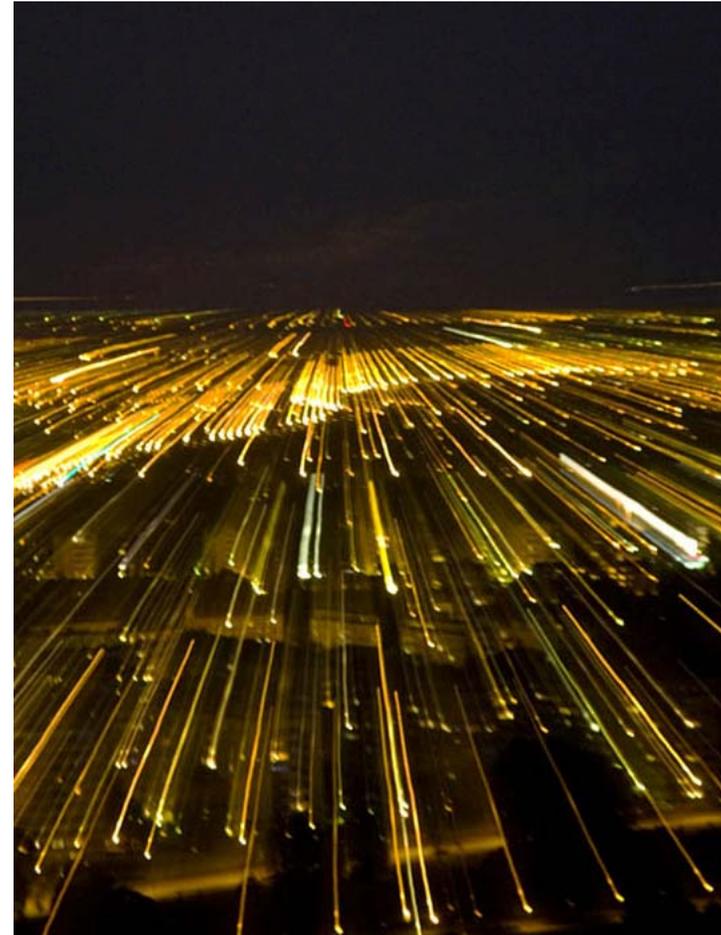
**Entwicklung technischer Möglichkeiten für die  
Energiespeicherung und Netzregelung mit  
Pumpspeicherwerken in Europa**

**Paul Oberleitner, PÖYRY Energy GmbH Salzburg**

---

## Einleitung

- Strukturwandel im Energiemarkt in Europa
- Realisierung erneuerbarer Energieformen verändern Einsatz bestehenden KW Parks
- Anforderungen an Netze steigen
- PSW können Energie speichern und Systemdienstleistungen bereitstellen
- Standort abhängig von Netzkonfiguration und Topografie
- Neue Lösungen werden gesucht



---

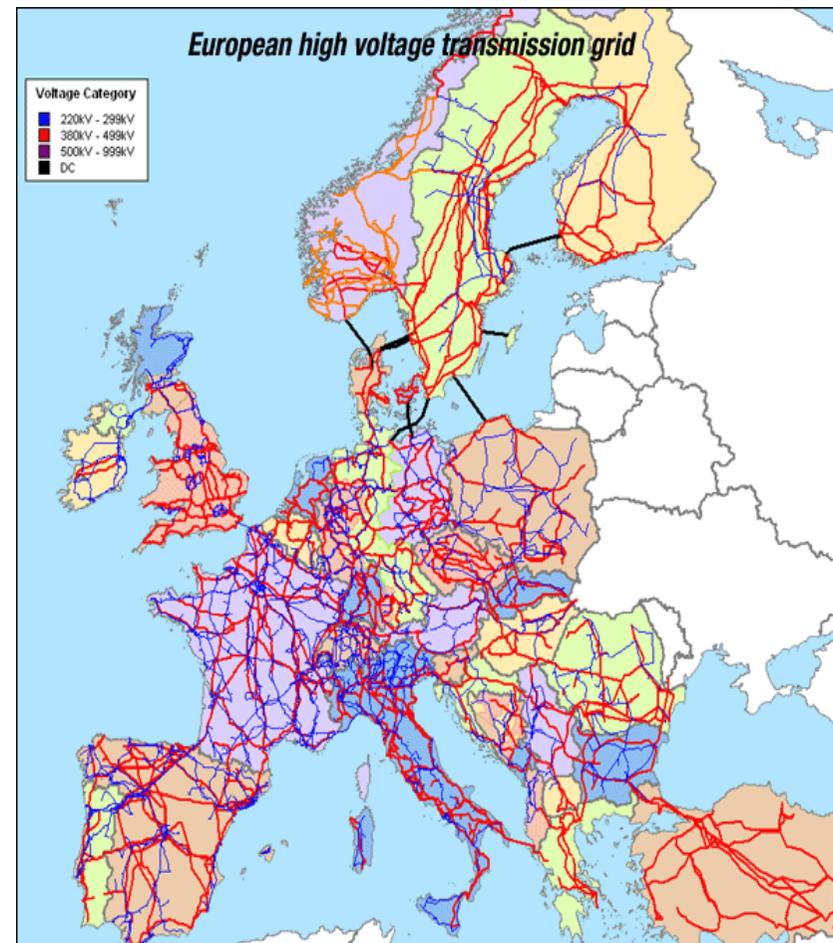
## Pumpspeicherung – Batterie für erneuerbare Energien

- Windkraft im Norden und Mittelmeerraum
- Solarenergie im Süden und Nordafrika
- Wind- und Solarenergie – starke tageszeitliche Schwankungen in der Erzeugung
- Pumpspeicher in den Alpenregionen liegen in den Stromkorridoren zwischen Nord und Süd
- Energiemarkt in Europa wird in Zukunft verstärkt Regelenergie und Energiespeicherung benötigen
- Pumpspeicherwerke können großtechnisch die Anforderungen erfüllen
- Idealerweise in Kombination mit bestehenden KW Anlagen
- Vorhandenes Unterbecken oder Oberbecken
- Größenordnung 150 bis 1000 MW
- 6 bis 10 Stunden Turbinen Vollastbetrieb



# Pumpspeicherwerke - Übertragungsnetze

- Übertragungsnetze werden zusätzlich durch schwankende Einspeisungen beansprucht
- Verbraucherprofil ändert sich
- Energieflüsse verändern sich
- Künftiger Netzausbau erforderlich
- Neue Netzkonzepte gefragt
- Pumpspeicherstandorte sind an Netzeinbindung gebunden
- Strategischer Netzausbau mit Einbezug von Pumpspeicherwerken



---

# Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

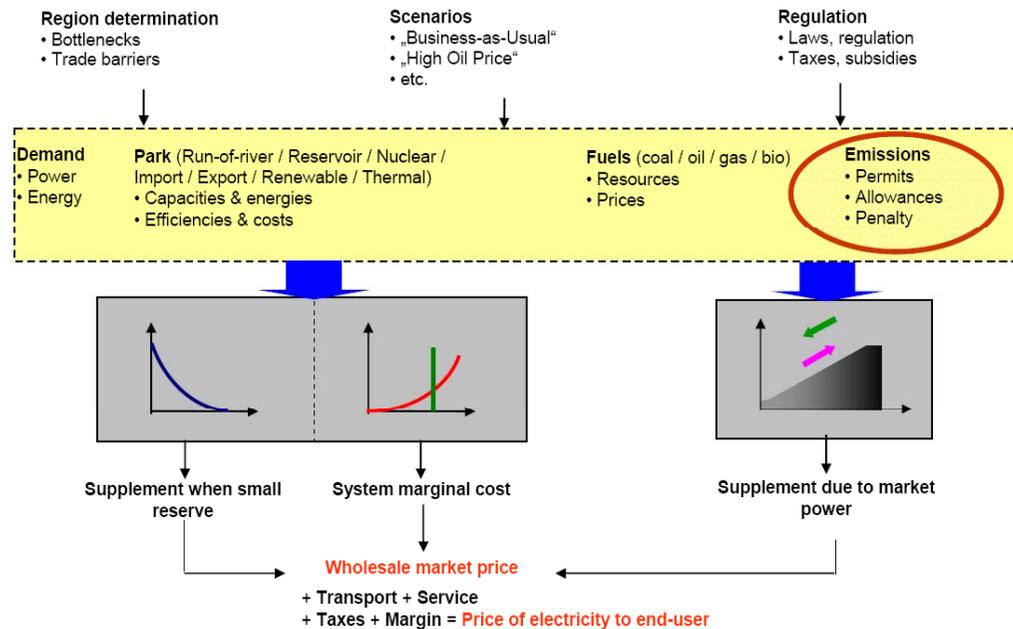
## Anforderungen

- Umlagerung Grundlast – Spitzenlast = Energiespeicherung
- Systemdienstleistungen – Primärregelung, Sekundärregelung, Frequenzregelung
- Reservedienstleistungen
  
- Auslegung von PSW beruht auf mehrdimensionaler Entscheidungsstruktur
- Stufenweise Projektentwicklung vom Entwurf, Optimierung bis zum Ausführungsprojekt
- Stufenausbau der Anlagenleistung entsprechend Anforderungen Strommarkt
  
- Erlöse aus Tarifen des Energiemarktes oder Marktmodell
- Wirtschaftlichkeitsanalyse mit den selben Kriterien wie im industriellen Anlagenbau

# Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

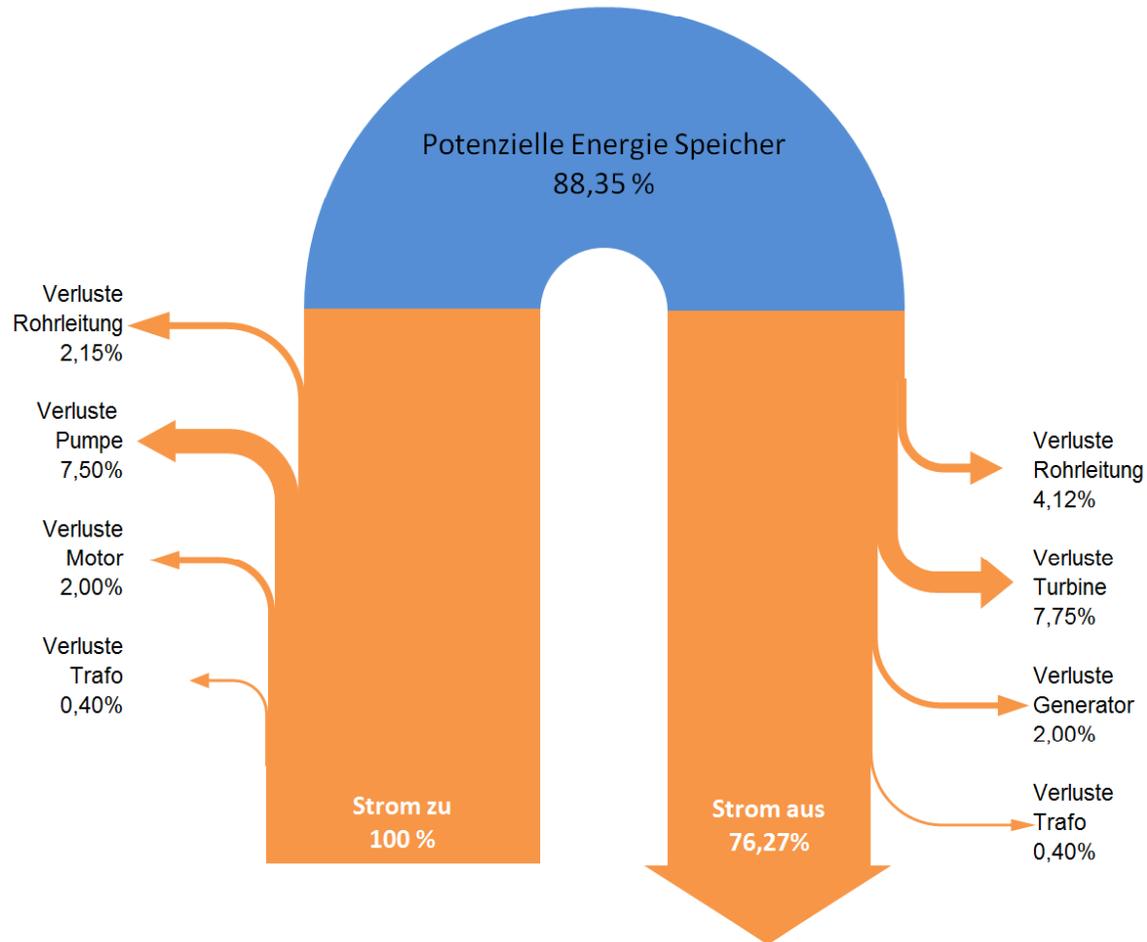
## Marktmodell

- Auswahl eines Marktgebietes und Erstellung eines Marktmodelles
- Thermische Kraftwerke und Wasserkraftwerke, sowie erneuerbare Energien
- Eingabedaten Erzeugungskapazitäten
- Simulation des Bedarfes und Angebot verfügbarer Pumpenergie
- Ergebnis ist mögliche Einsatzzeit bzw. Regelelement im Netz



# Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

## Wirkungsgrad eines Pumpspeicherwerkes

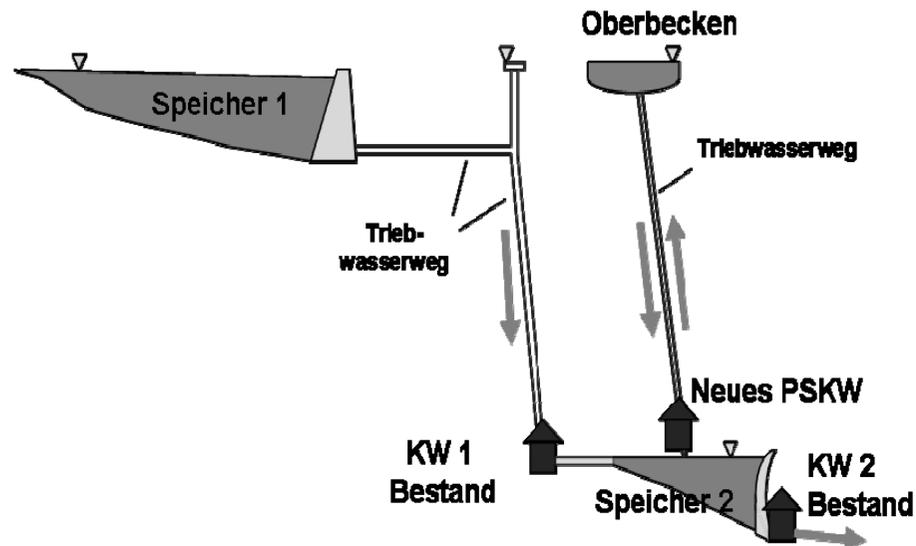




# Entwurf der Anlagen

## Dimensionierung

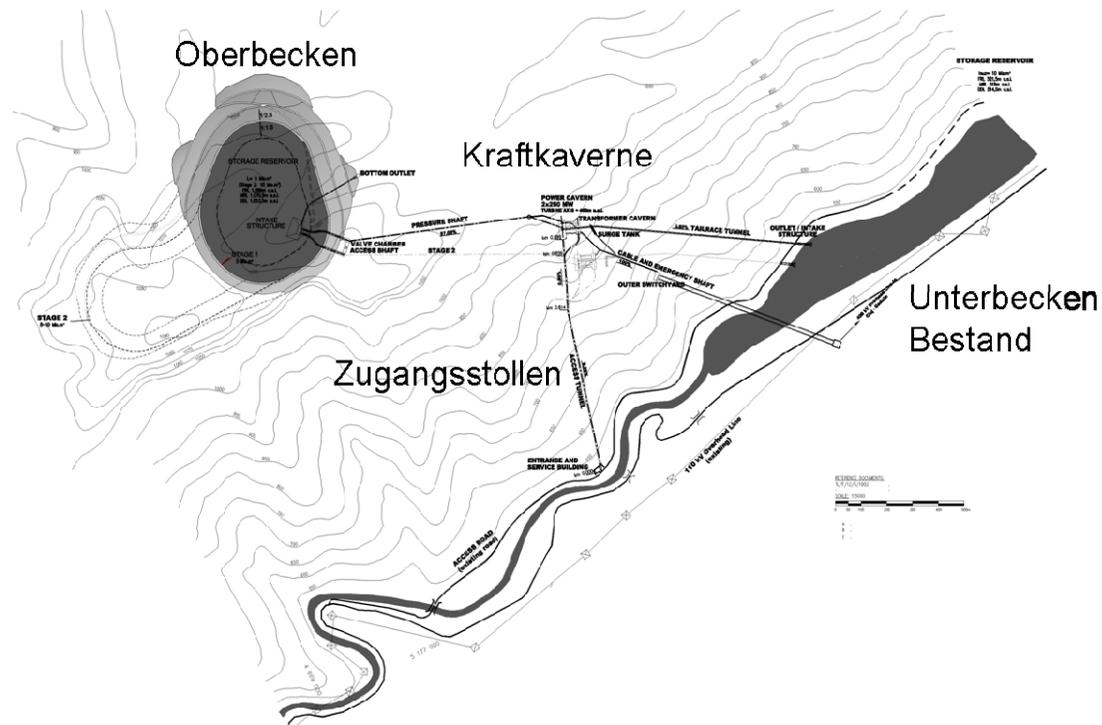
- Analyse des bestehenden Kraftwerkssystem ist Ausgangsbasis (z.B. KW Kette)
- Leistungsvorgaben aus dem Marktmodell
- Dimensionierung mit Hilfe eines wasserwirtschaftlichen Modells
- Ergebnis ist die Größe des neu zu errichtenden Beckens
- Rücksicht auf zukünftige Entwicklungen - Stufenausbau
- Erweiterungen sollten später möglich sein



# Entwurf der Anlagen

## Grundsätze

- Topografie für mögliche Becken
- Höhendifferenz von mind. 300 m erforderlich
- Art und Dauer des Betriebs bestimmen die Anlagengröße
- Ausbau eines bestehenden Beckens ist anzustreben



---

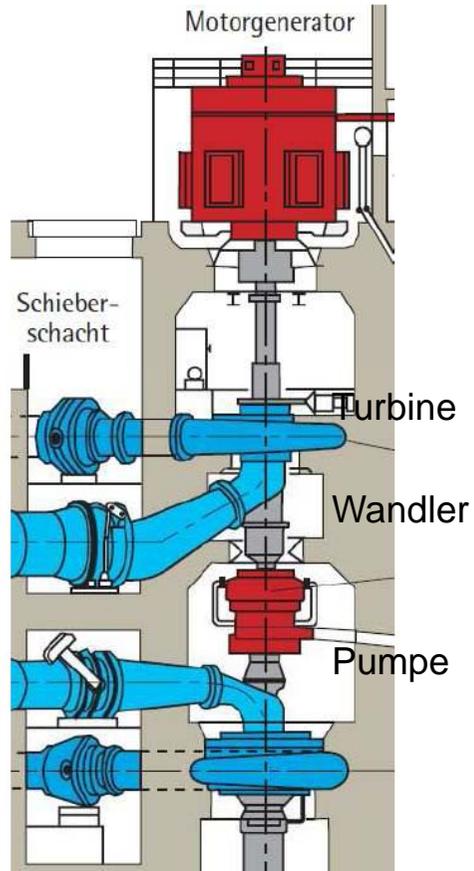
## Entwurf der Anlagen

### Maschinelle Ausrüstung und Steuerung

- Anzahl der Maschinen hängt von wirtschaftlicher Auslegung ab
- Stufenausbau der Kraftwerksleistung ist zu berücksichtigen
- Zwei praxiserprobte Maschinentypen:
  - Reversible Pumpturbine – 2 Maschinensatz
  - Turbine und Pumpe mit Wandler getrennt – 3 Maschinensatz
- Drehzahlgeregelte Motorgeneratoren oder Leistungsregelung mit hydraulischem Kurzschluss
  
- 2 Maschinensatz für Energiespeicherung meist eine wirtschaftliche Lösung
- Leittechnische Einbindung in bestehendes Kraftwerk anzustreben
- Steuerung mit Berücksichtigung der Randbedingungen aus bestehendem Betrieb
  
- Pumpspeicherwerk wird in der Regel ferngesteuert betrieben

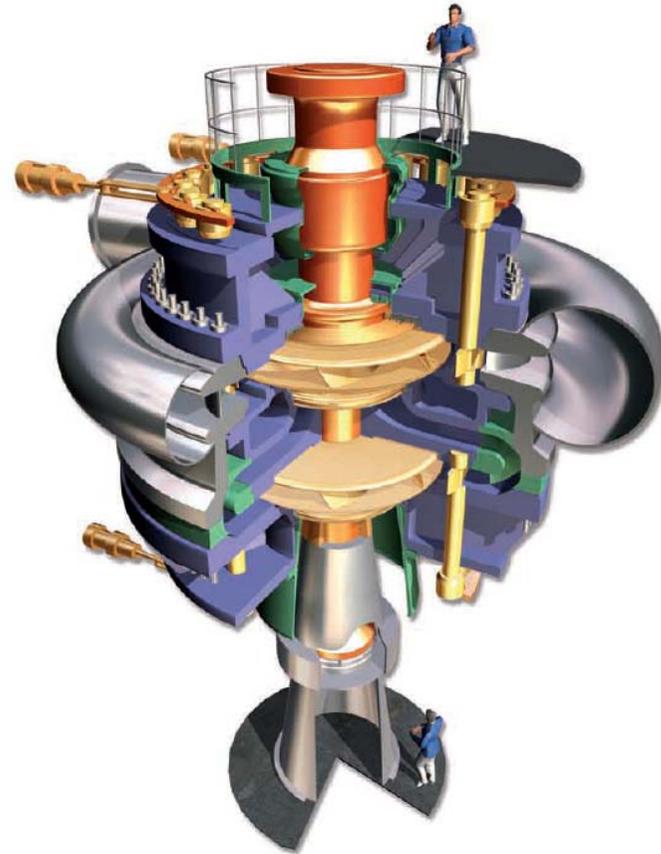
# Entwurf der Anlagen

## Konventioneller Maschinensatz



3 Maschinensatz

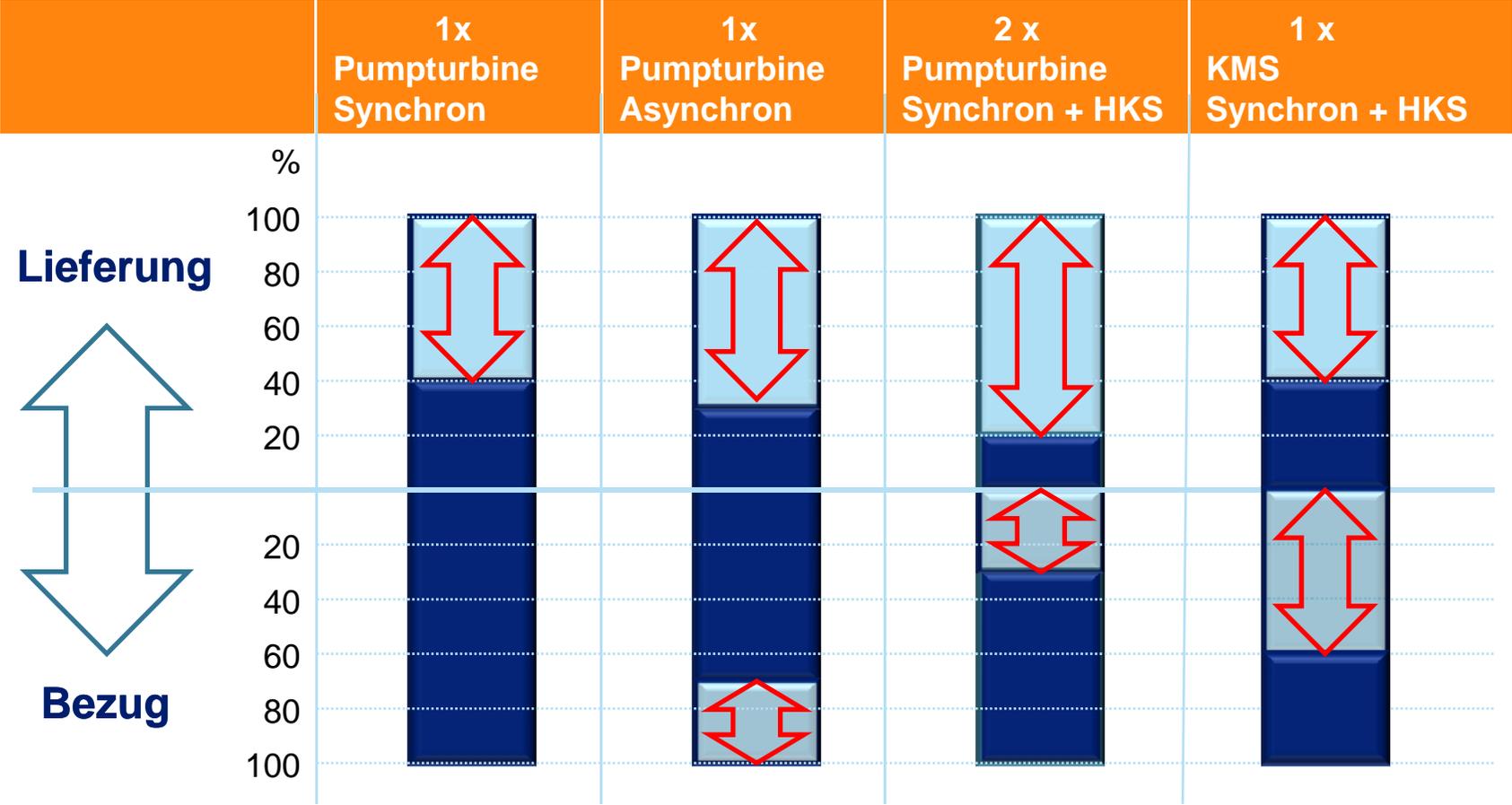
## Reversible Pump turbine



2 Maschinensatz

# Entwurf der Anlagen

## Flexibilität von Maschinensätzen zur Pumpspeicherung



KMS... konventioneller Maschinensatz Francis  
HKS ... hydraulischer Kurzschluss

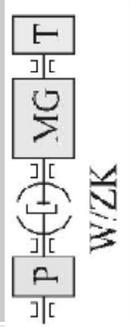
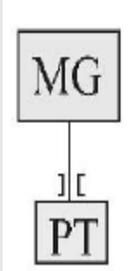
## Entwurf der Anlagen Maschinelle Ausrüstung und Steuerung

	Pumpturbine Synchron + HKS	Pumpturbine Asynchron	KMS Synchron + HKS
Kosten Maschinensatz	100 %	105 -115%	140 -150%
Leistung Turbinenbetrieb	70 - 320 MW od. 0-160 MW*	70 - 320 MW	0 - 320 MW
Leistung Pumpbetrieb	320 MW fix 0-160 MW*	130 - 160 MW 260 - 320 MW	0 - 320 MW
Umschaltzeiten	langsam	langsam	<b>schnell</b>
Drehzahl	konstant	<b>variabel</b>	konstant

\*HKS.... Hydraulischer Kurzschluss  
KMS.... Konventioneller Maschinensatz

# Entwurf der Anlagen

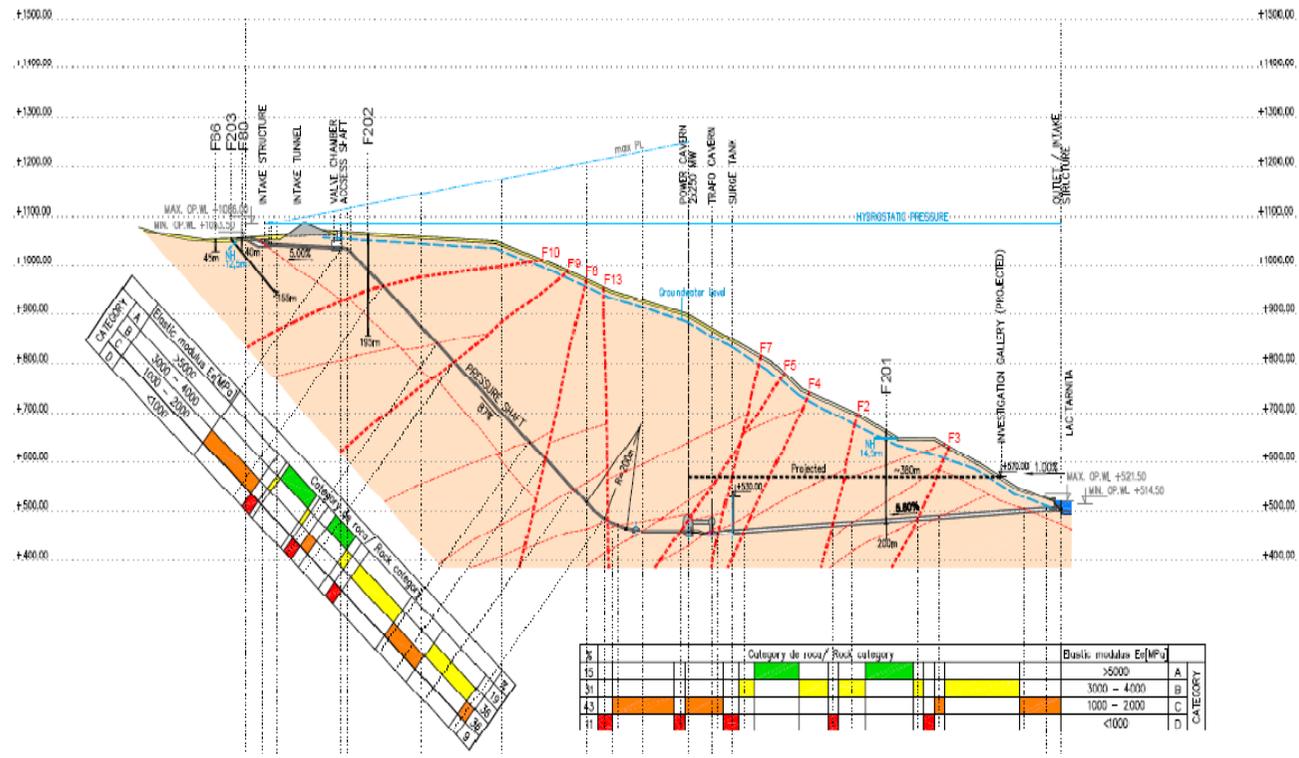
## Umschaltzeiten von Pumpspeicherkraftwerken

Kraftwerk	Konfiguration	0→TU [s]	0→PU [s]	TU→PU [s]	PU→TU [s]
Konventioneller Pumpspeichersatz <i>Rosshag 4x60 MW</i> <i>Häusling 2x180 MW</i> <i>Kops II 3x150 MW</i>		60-90	80-110	80-110	40-120
Reversible Pumpturbine <i>Limberg II 2x240 MW</i> <i>Reisseck II 2x215 MW</i>		100-150	250-400	450-700	75-100

# Entwurf der baulichen Anlagen

## Entwurfsplanung und Erkundungskonzept

- Gründungs- und Dichtungskonzept des Oberbeckens
- Geologisch- Geotechnische Verhältnisse Triebwasserweg und Kraftkavernenbereich
- Gründungsverhältnisse für das Auslaufbauwerk und des Unterbeckens

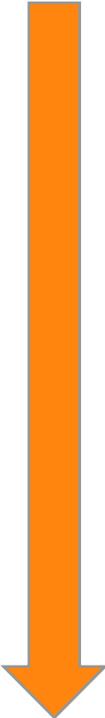


---

# Entwurf der baulichen Anlagen

## Entwurfsplanung und Erkundungskonzept

Etappenplan zur Risiko-Minimierung



**Vorstudie:**

Begehung des Projektgebietes durch Geologen und Geotechniker,  
Grobkartierung des Projektgebietes

**Machbarkeitsstudie:**

Bohrungen in den Beckenbereichen, Geophysik, Detail Kartierung zur  
Erfassung des Trennflächengefüges, Einschätzung der hydrogeologischen  
Verhältnisse

**Einreichprojekt:**

Tiefenbohrung im Kavernenbereich, zusätzliches Bohrprogramm und Versuche,  
Untersuchungen Baumaterialien, Grundwasserbeobachtung,  
Quellbeweissicherung

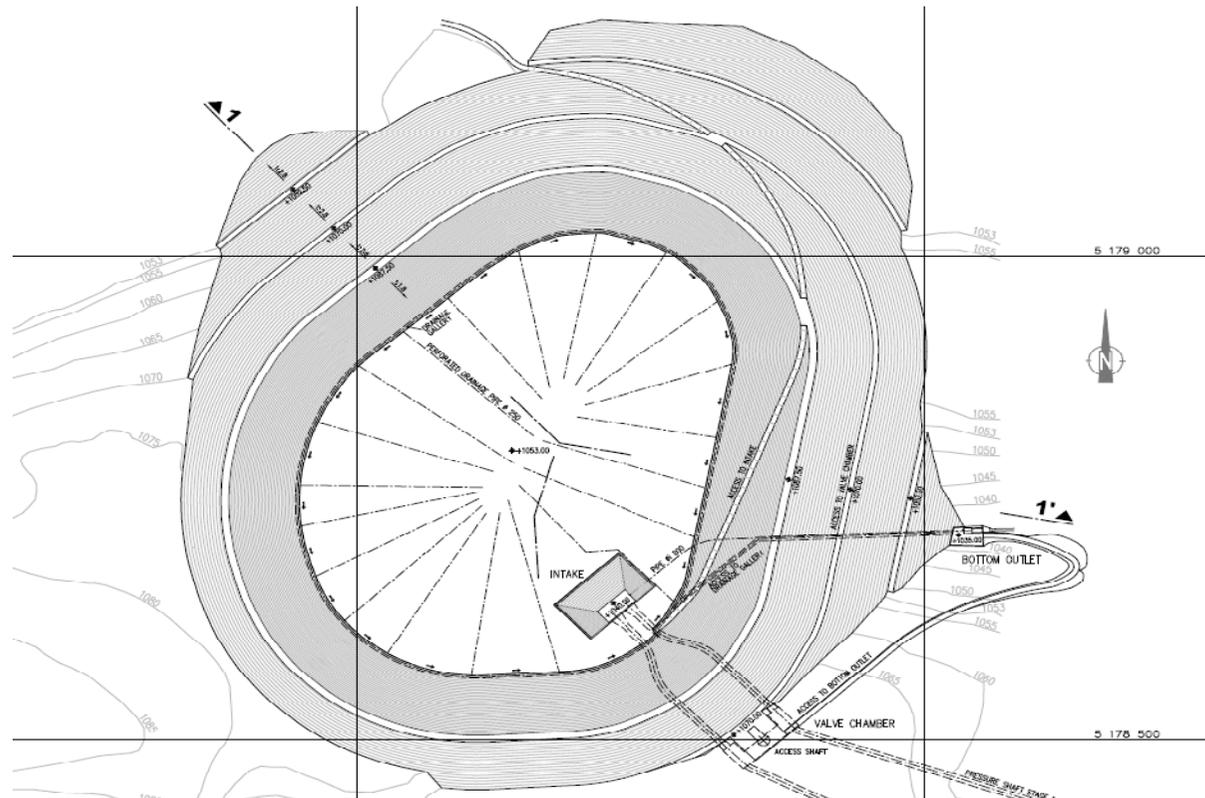
**Ausschreibungsprojekt:**

Untersuchungsprogramm gemäß geotechnischer Richtlinien für  
Untertagebauwerke für Tunnel und Kaverne

# Entwurf der baulichen Anlagen

## Oberbecken

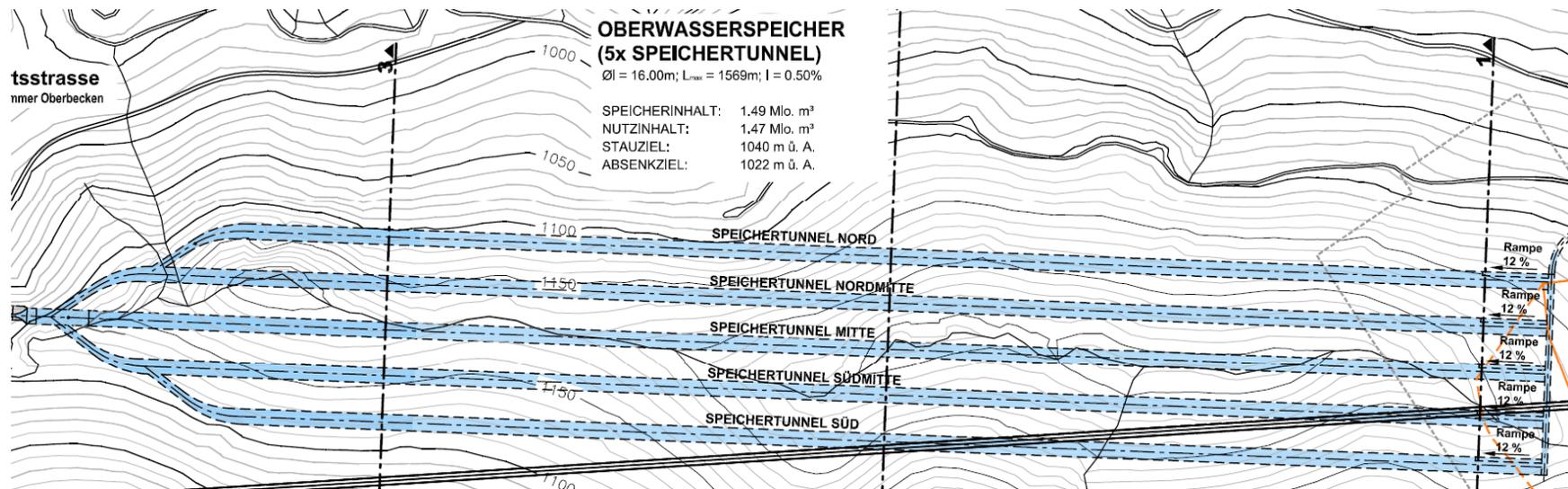
- Oberbecken mit meist mit Ringdamm und Oberflächendichtung
- Massenausgleich zwischen Abtrag und Dammschüttung
- Dichtungskonzept wesentlich für Wirtschaftlichkeit



# Entwurf der baulichen Anlagen

## Oberbecken

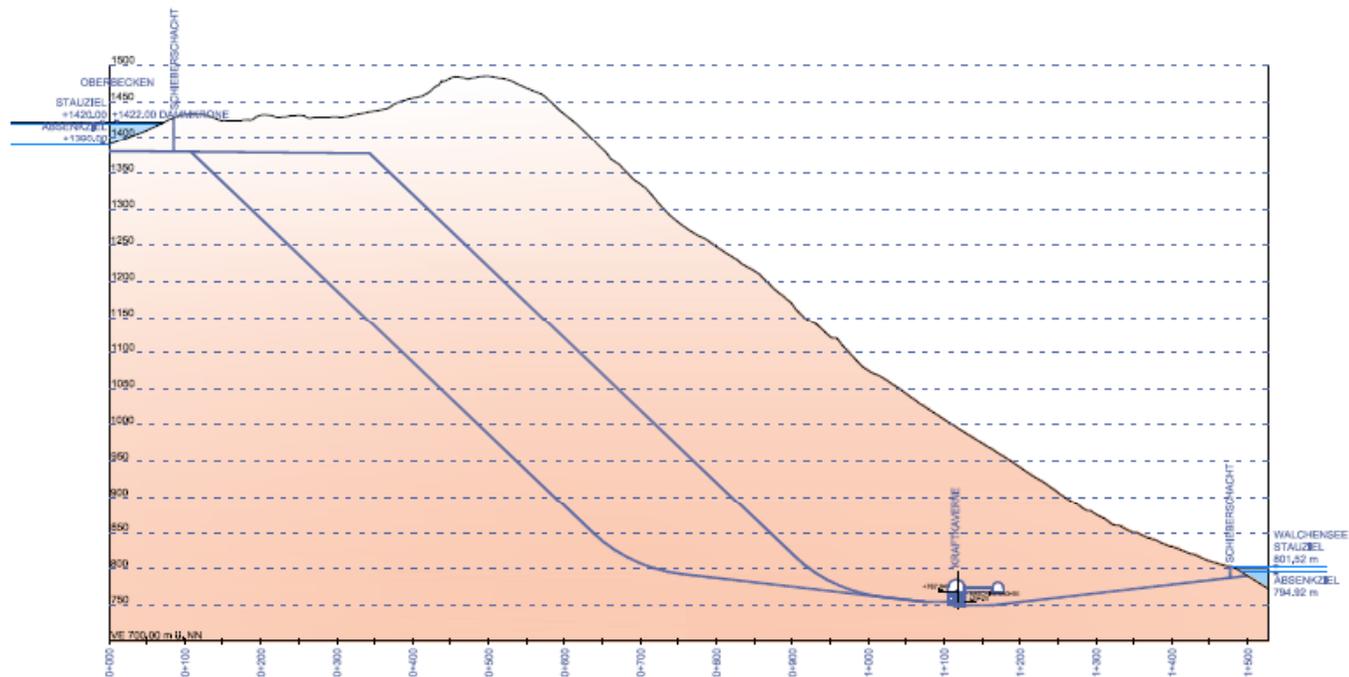
- Oberbecken als unterirdisches Kavernensystem (Sonderfall)



# Entwurf der baulichen Anlagen

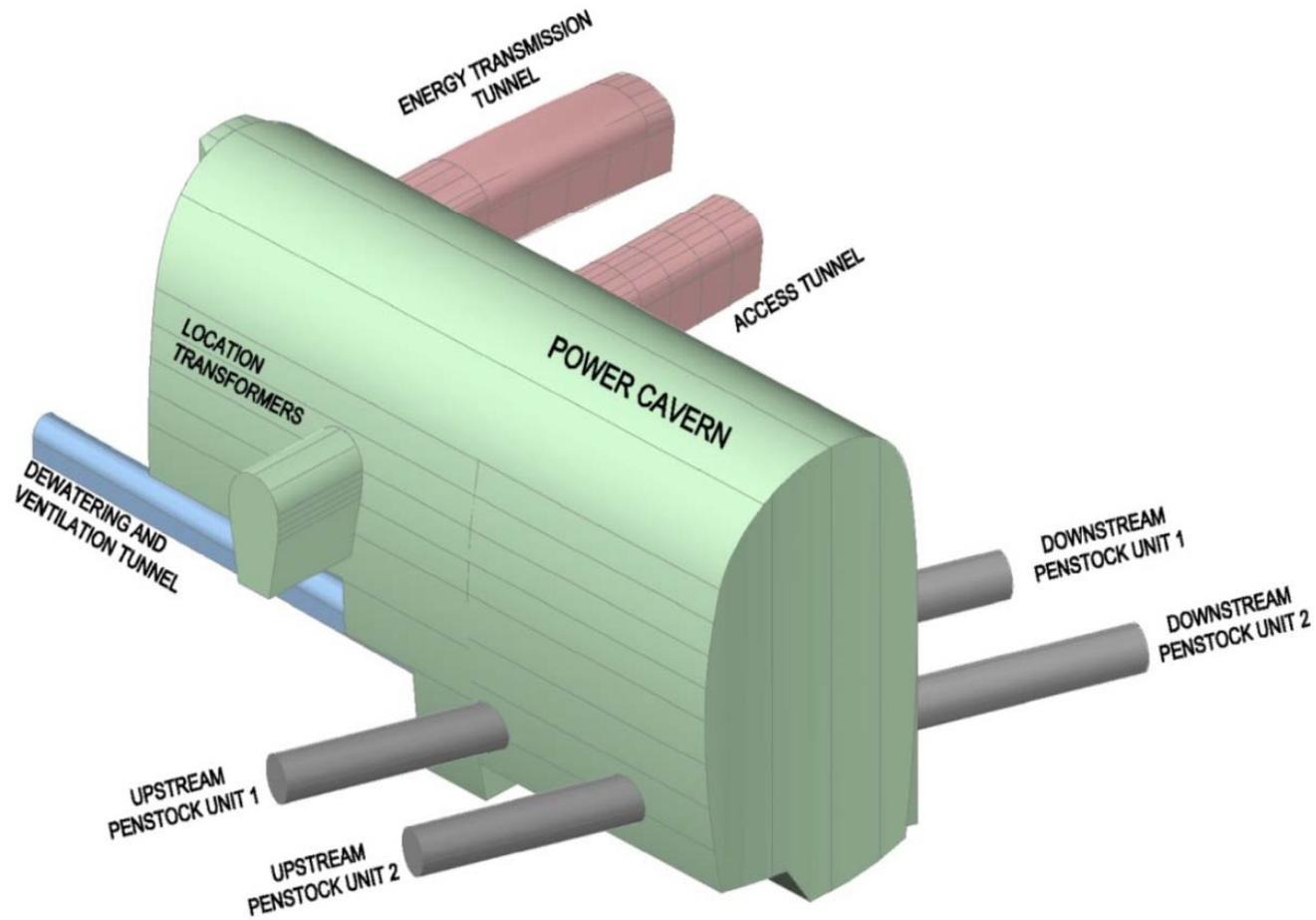
## Triebwasserweg

- Kürzeste Verbindung von Oberbecken zu Unterbecken
- Schrägschacht oder Lotschachtlösung abhängig von geologisch- geotechnischen Verhältnissen
- Auskleidungskonzept wesentlich für Wirtschaftlichkeit



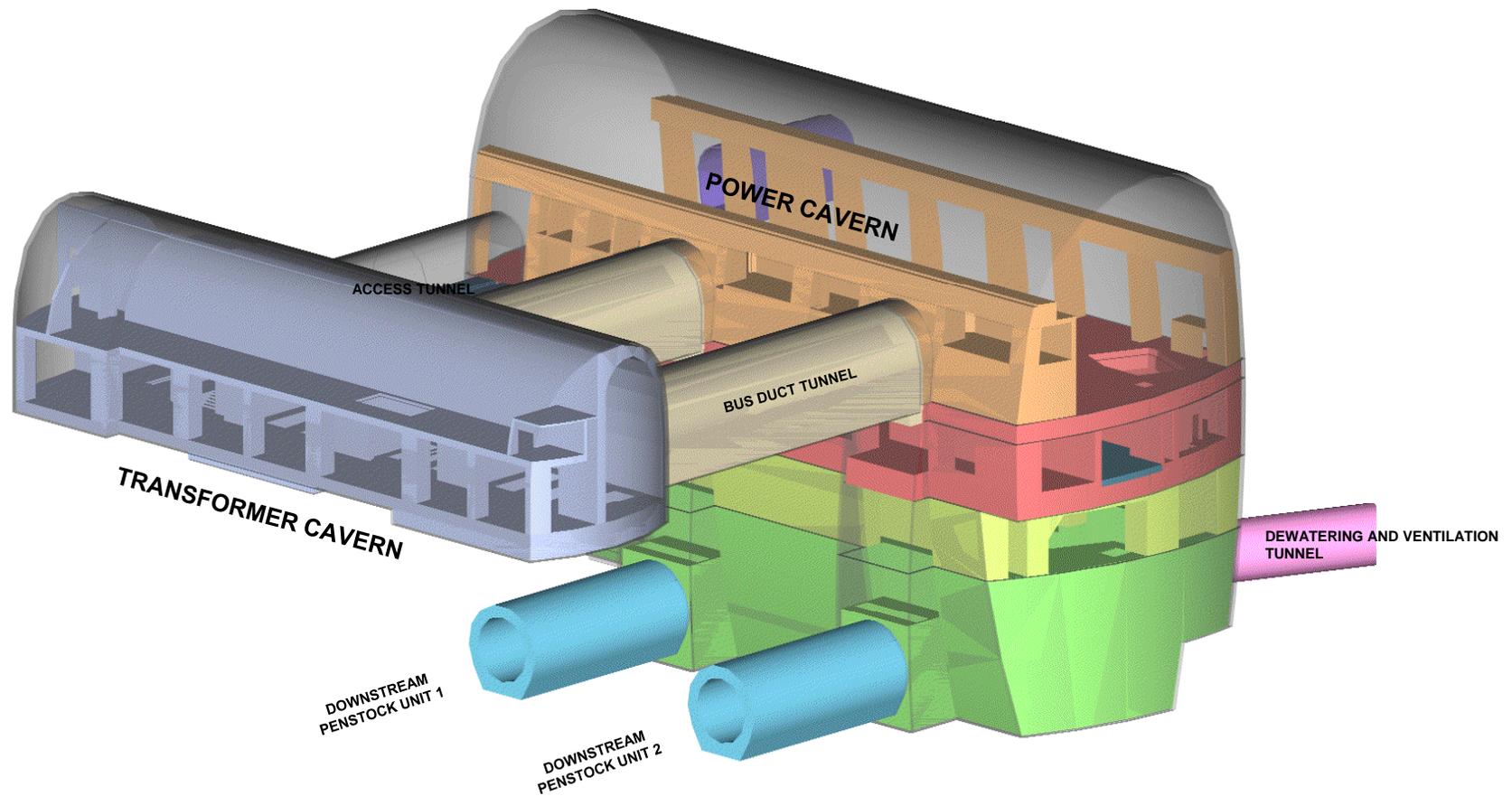
# Entwurf der baulichen Anlagen

## Kraftzentrale in einer Kaverne



# Entwurf der baulichen Anlagen

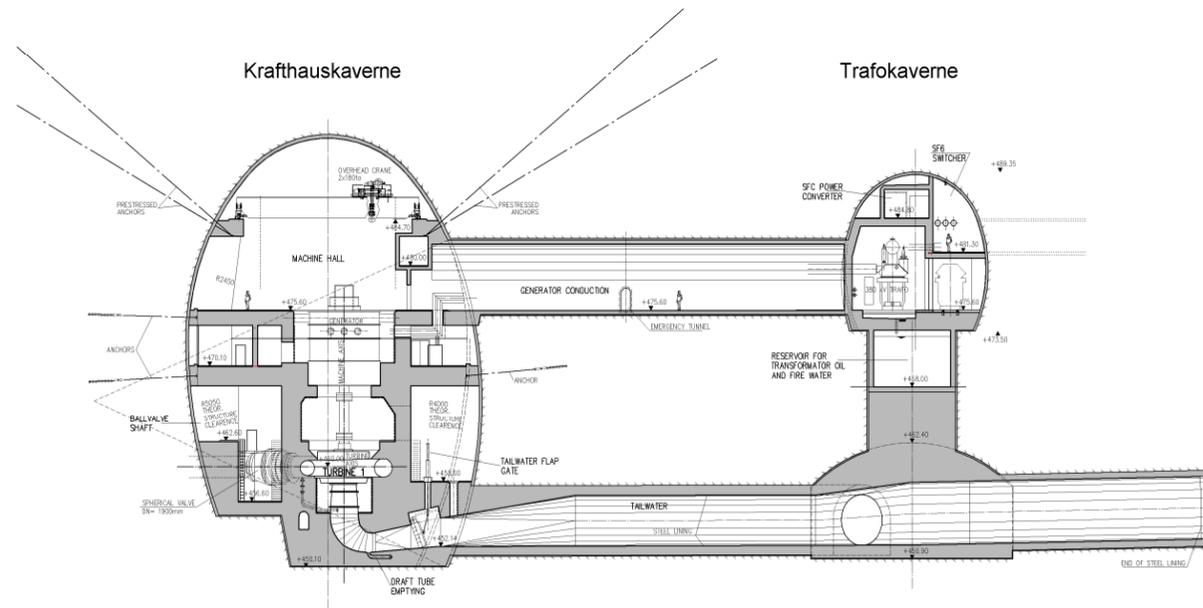
## Kraftzentrale in zwei Kavernen



# Entwurf der baulichen Anlagen

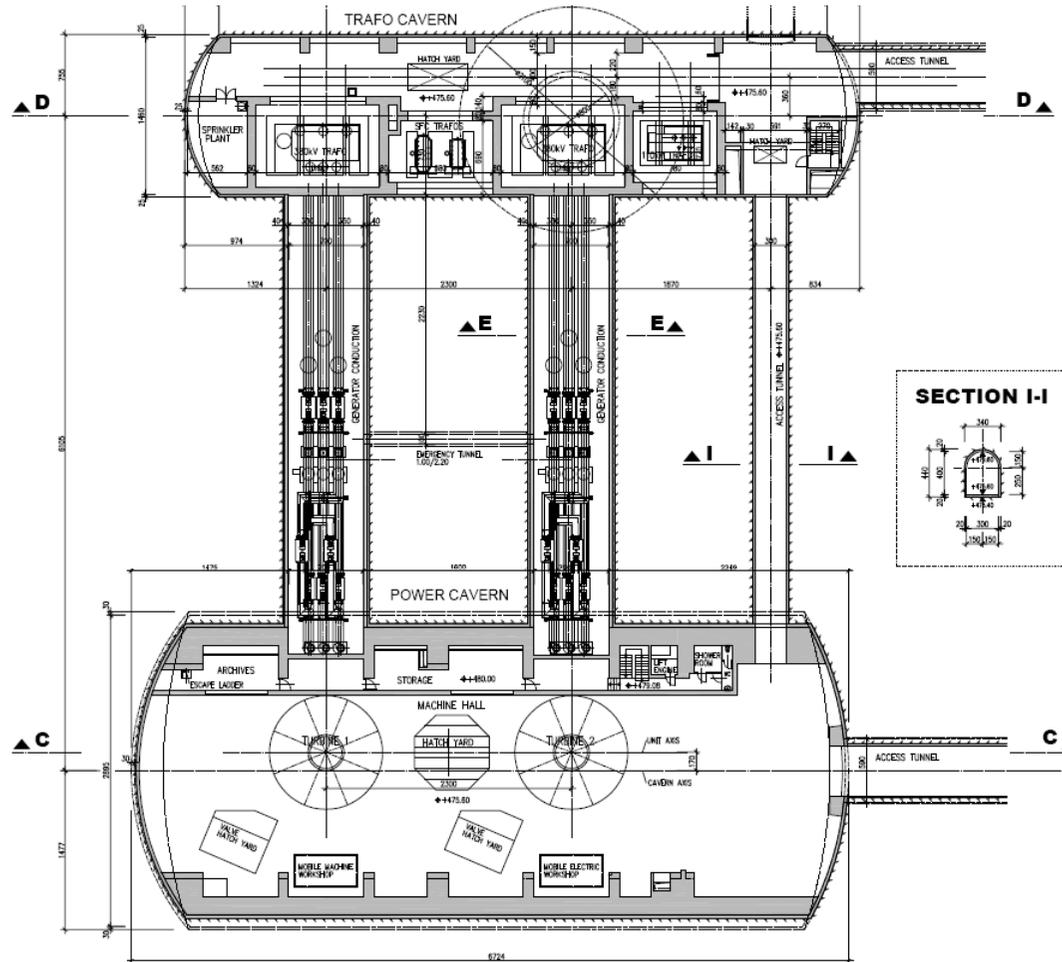
## Auslegung der Kraftzentrale

- Elektromaschinelles Konzept und Lage der Verschlüsse bestimmt die Größen
- Lage in geotechnisch optimalen Verhältnissen angestrebt (Hinweis auf Erkundungen)
- Optimierte Kaverne mit kleinstem möglichem Raum
- Baukonzept bestimmt Anordnung der Verbindungsstollen
- Planung des Ausbruchskonzeptes steht im Mittelpunkt



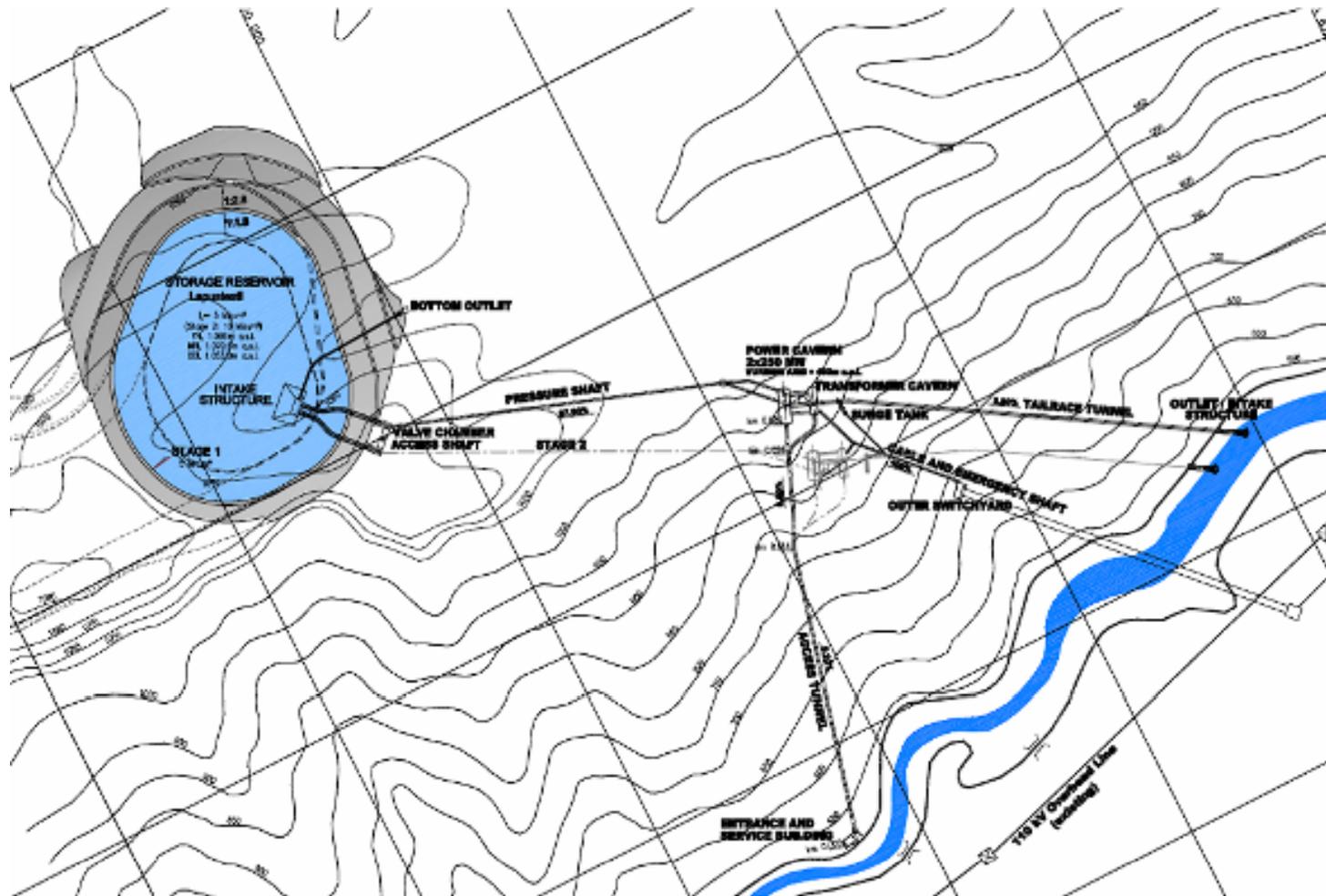
# Entwurf der baulichen Anlagen

## Auslegung der Kraftzentrale



# Entwurf der baulichen Anlagen

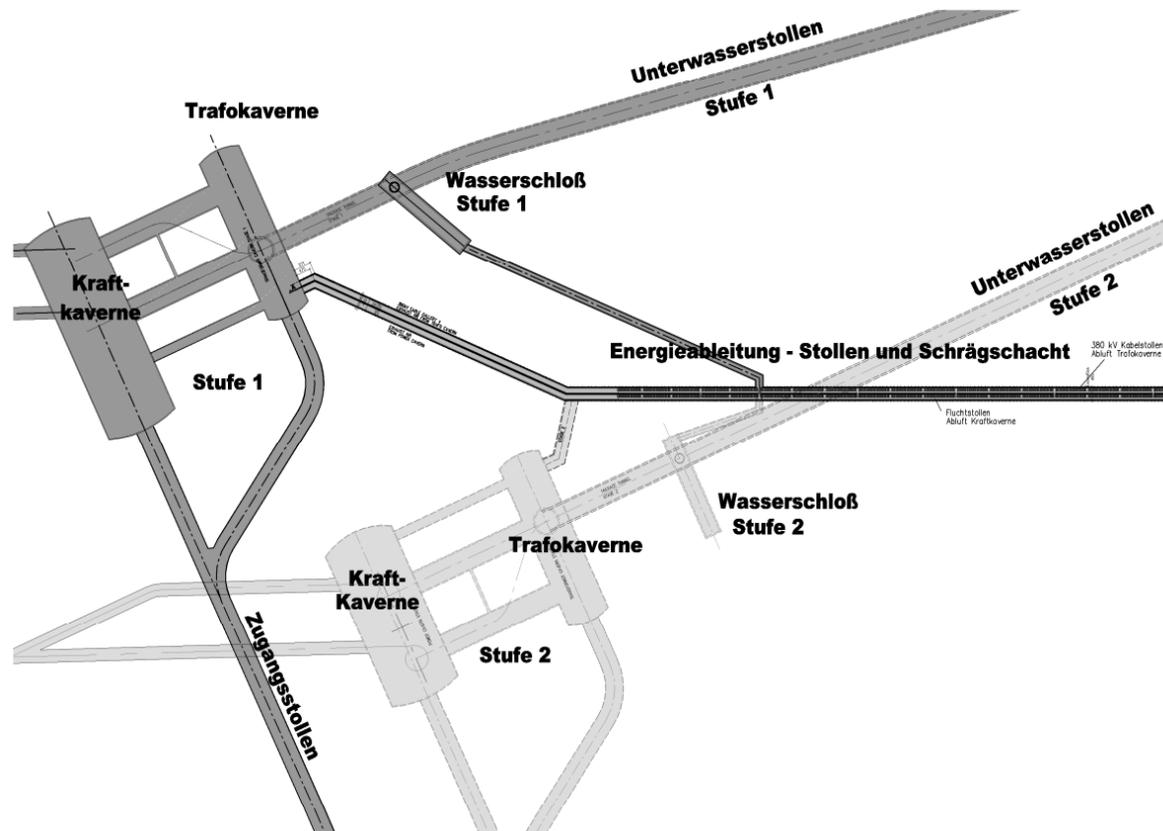
## Kraftzentrale – Zufahrtsstollen – Energieableitung



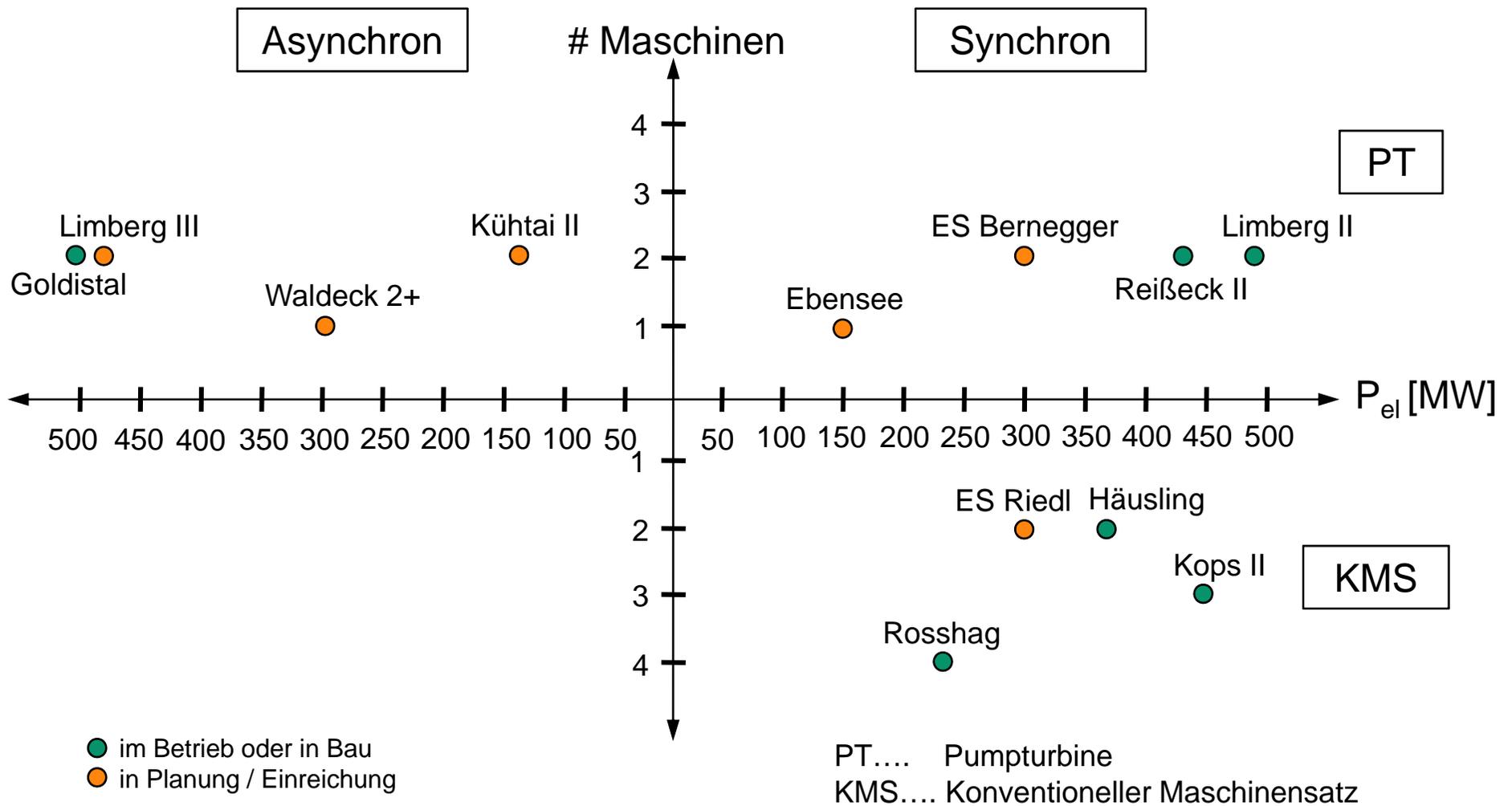
# Entwurf der baulichen Anlagen

## Unterwasserstollen

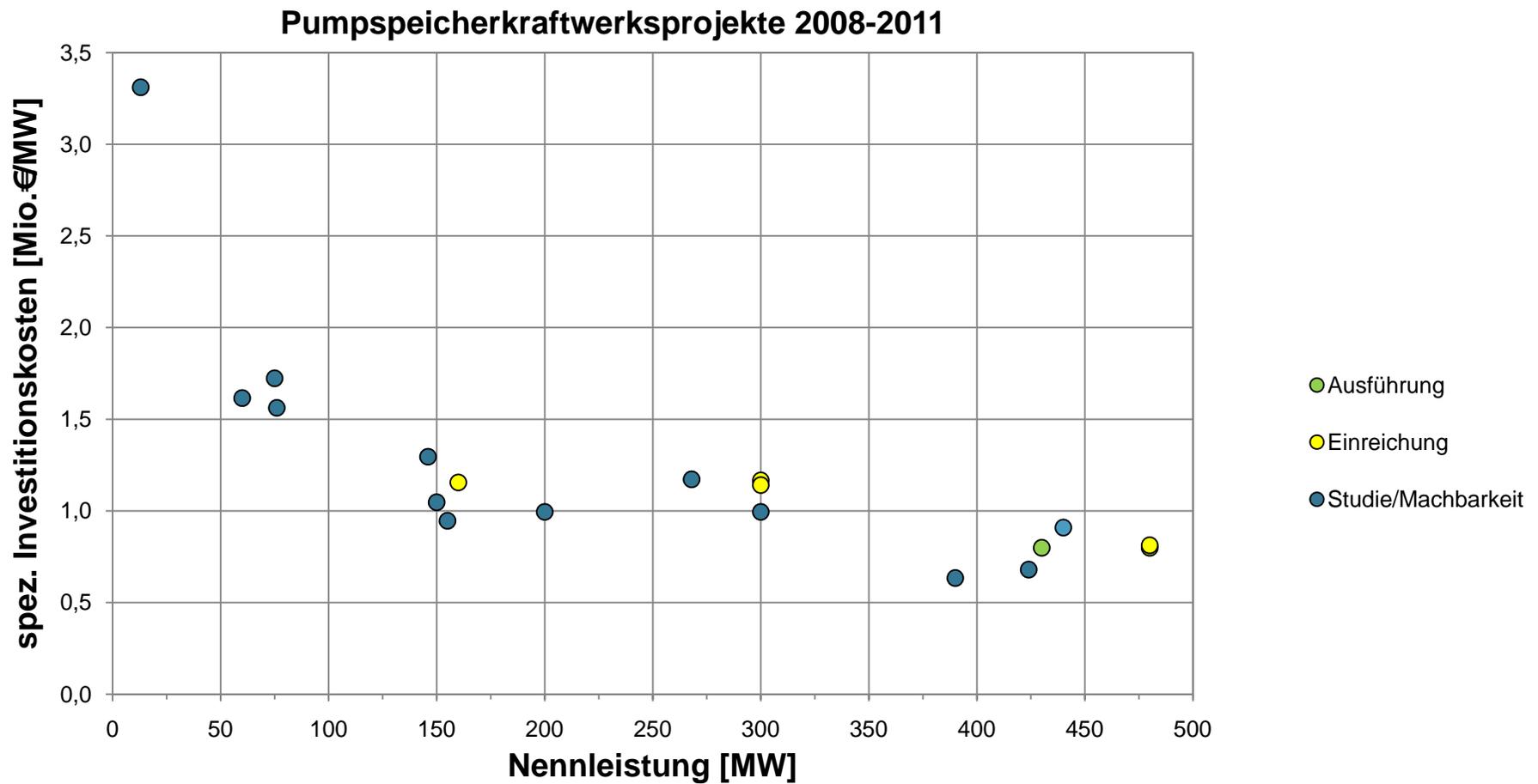
- Verbindung Kraftkaverne mit Unterbecken
- Je nach Länge ist ein Wasserschloß erforderlich



# Vergleichsprojekte in Österreich / Deutschland



# Vergleichsprojekte in Österreich / Deutschland



---

## Zusammenfassung

- Pumpspeicherwerke können einen wesentlichen Beitrag zum Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie leisten
- Sie können die zum Betrieb von Hochspannungsnetzen benötigten Systemdienstleistungen bereitstellen
- Pumpspeicherwerke können Voraussetzungen schaffen, dass verstärkt erneuerbare Energieformen in die Netze eingespeist werden können
- Neue Projekte in veränderten Märkten erfordern Wirtschaftlichkeitsanalysen unter Marktbedingungen
- Eingangsdaten sind so genau wie möglich zu ermitteln da sie Grundlage für die Entscheidung der Projektentwickler sind
- Stufenausbau der Ausbaugröße ermöglicht eine Anpassung an geänderte Marktbedingungen
- Die Planung hat darauf Bedacht zu nehmen dass Investition in Vorleistungen gering gehalten werden
- Projektumsetzung in rasch sich veränderten Wirtschaftswelt erfordert engagierte Zusammenarbeit der Kraftwerks- und Netzbetreiber mit den Ingenieuren und Wirtschaftsfachleuten sowie der Bewilligungsbehörden.

