

PWI VORTRAG



**REVIVAL PUMPSPEICHERUNG
AUS SICHT EINES INGENIEURBÜROS**

R. FRITZER, 17. JÄNNER 2024



INHALT

- VORSTELLUNG ILF
- STROMSPEICHER UND EINSATZ VON PSW
- PLANUNGSSCHRITTE UND AUSLEGUNG
- AUSGEWÄHLTE BEISPIELE
- FRAGEN UND DISKUSSION



ILF AT A GLANCE



10,500+
PROJECTS
SUCCESSFULLY EXECUTED

150+
COUNTRIES IN WHICH ILF HAS
BEEN SUCCESSFUL

45+
OFFICE LOCATIONS
ACROSS FIVE CONTINENTS

2,600+
EMPLOYEES
WORLDWIDE

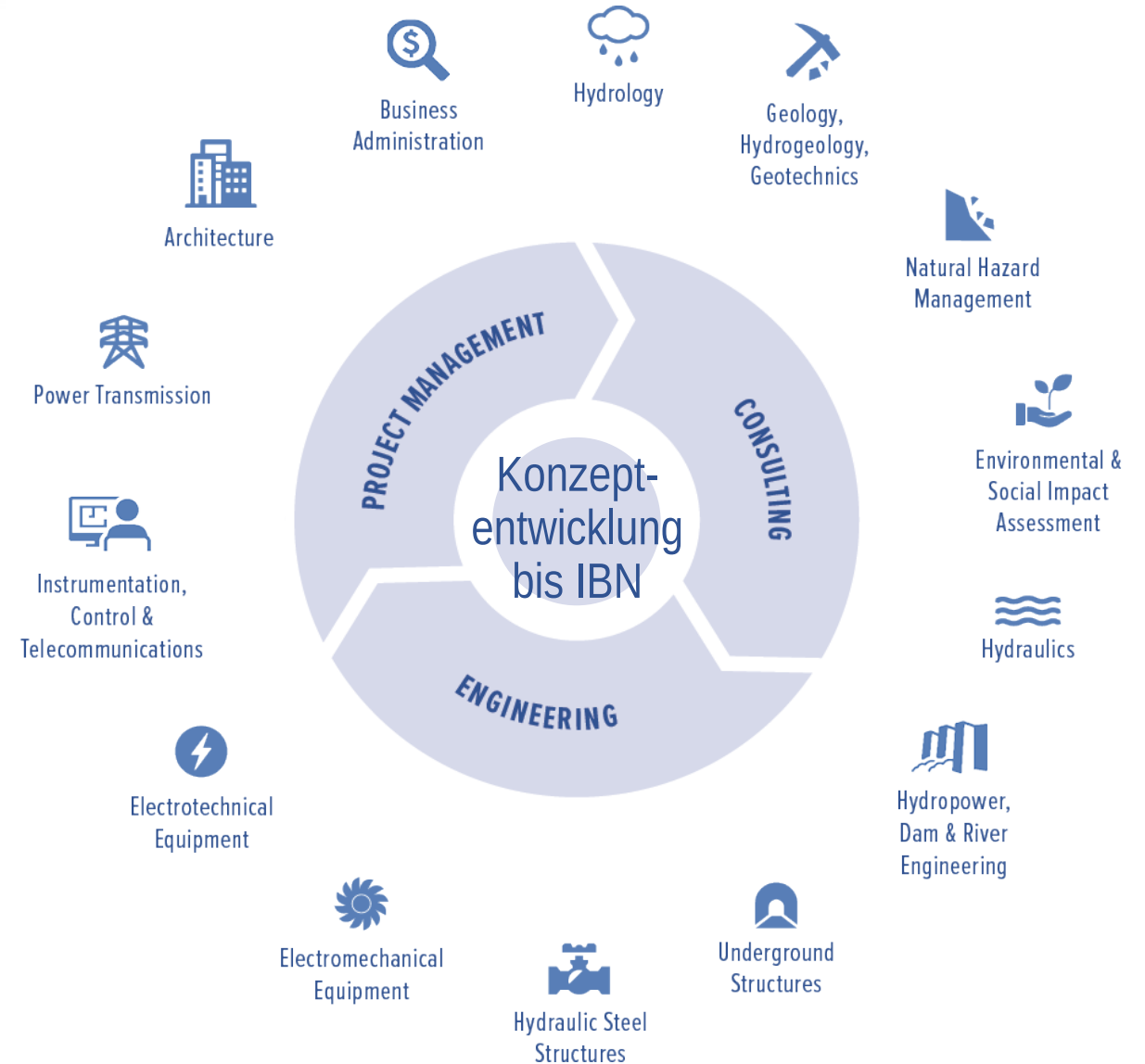
262+
MILLION €
REVENUE

55+
YEARS OF
EXPERIENCE



Tailored interdisciplinary engineering, consulting and project management services for complex industrial and infrastructure projects

LEISTUNGEN AUS EINER HAND



MEILENSTEINE PSW

- **PSW Atdorf (1.400 MW)**
eines der größten PSW – Anlagen in Europa
- **KW Limmern (1.000 MW)**
eines der größten PSW in der Schweiz
- **PSW Limberg II (480 MW)**
Teil einer der größten Wasserkraft- / PSW Gruppen Österreichs
- **PSW Vianden, 11. Maschine (200 MW) in Luxemburg**
- **ES Riedl (300 MW) in Deutschland**
- **Rehabilitation and Erweiterung von PSW**
Niederwartha, Erzhausen II, Wehr, Säckingen, Hohenwarthe, Goldistha, Porabka Zar
- **PSW Anlagen in Australien, UK und Canada**
Kidston, Cultana, Snowy 2.0, Cethana, Coire Glas, Glenmuckloch, Loch Kemp

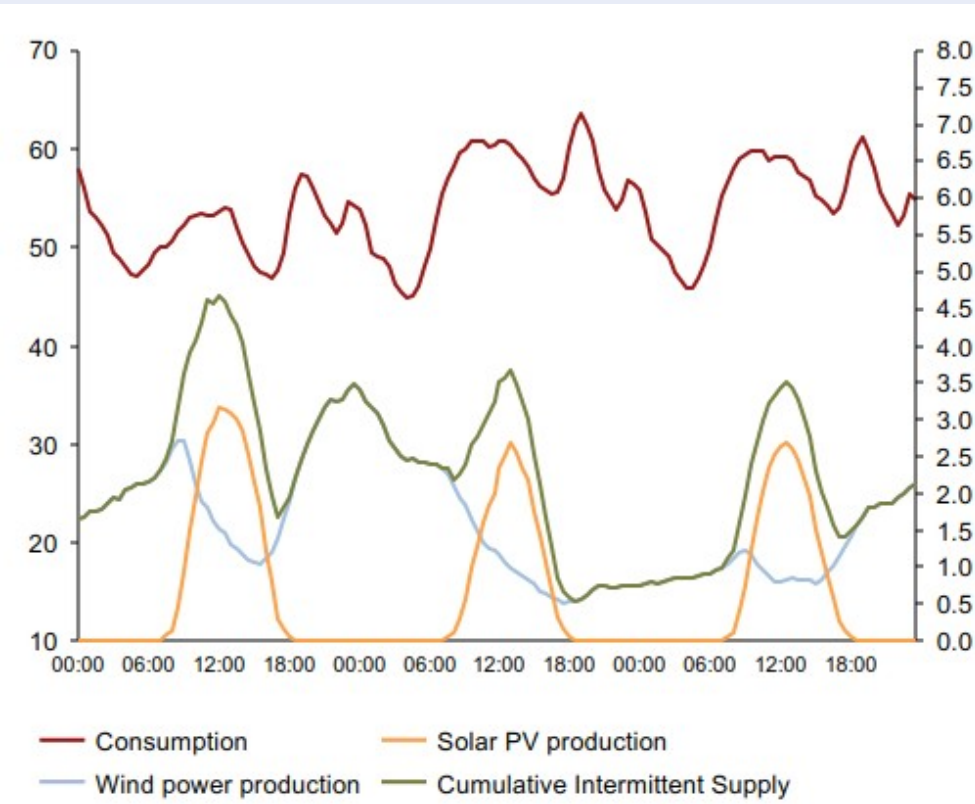


INHALT

- VORSTELLUNG ILF
- **STROMSPEICHER UND EINSATZ VON PSW**
- PLANUNGSSCHRITTE UND AUSLEGUNG
- AUSGEWÄHLTE BEISPIELE
- FRAGEN UND DISKUSSION



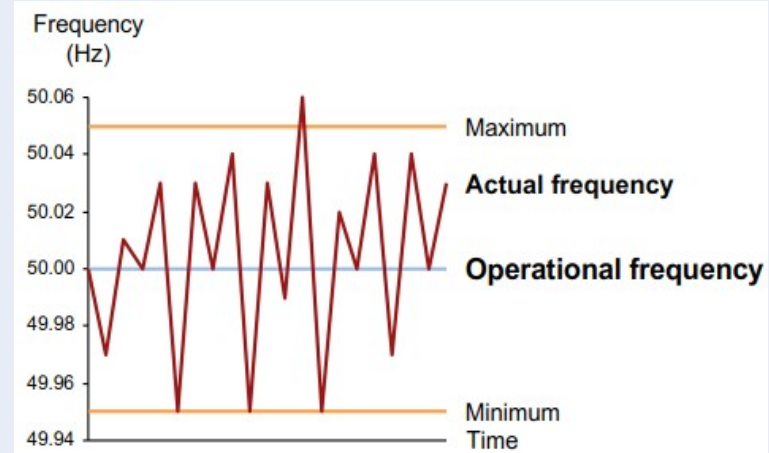
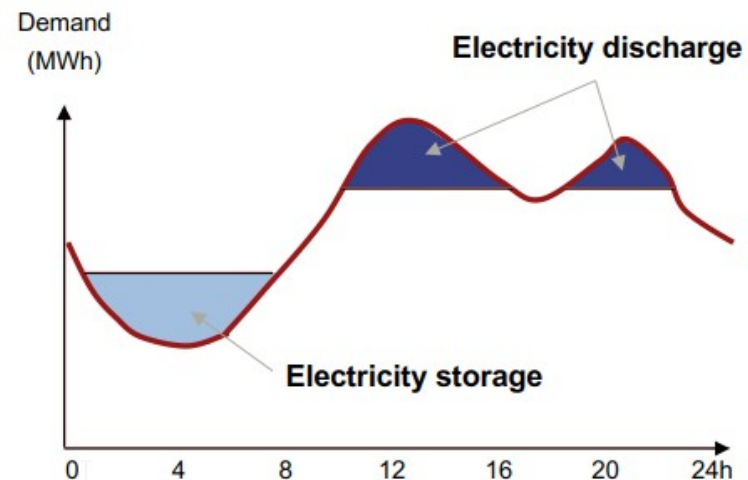
STROMSPEICHERUNG ALLGEMEIN



Quelle: A.T. Kearney Energy Transition Institute analysis based on RTE eco2mix (accessed 2017), "Production d'électricité par filière"

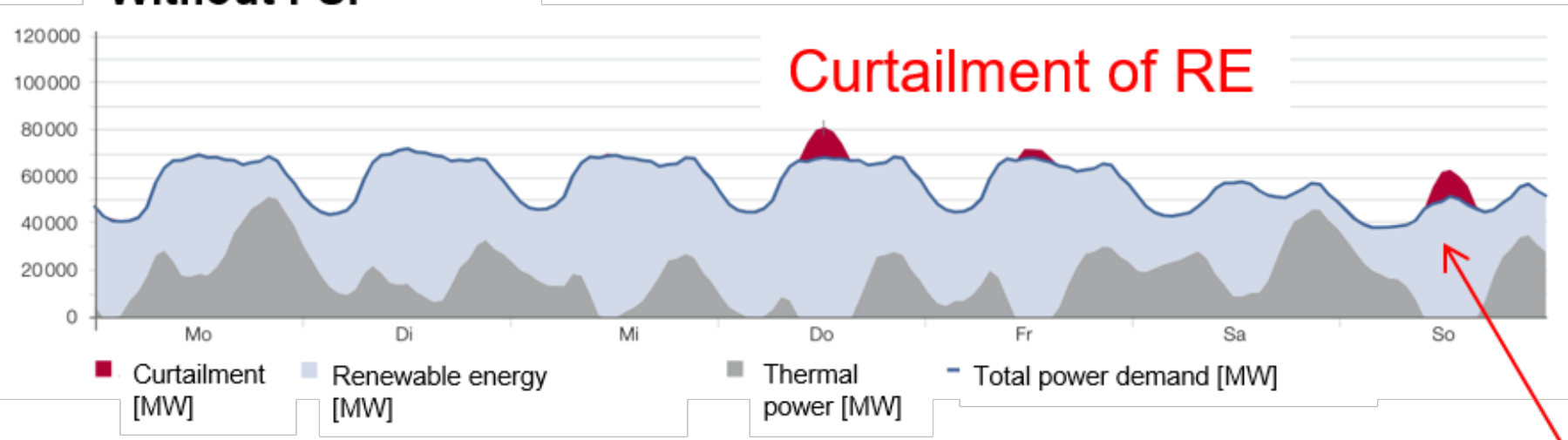
ENERGIEWENDE MIT ERNEUERBAREN (WIND & SOLAR)

- Die schwankende Leistung von Wind- und Solarenergie
 - erhöht den Bedarf an Speichern
 - und den Bedarf an Netzstabilisierung

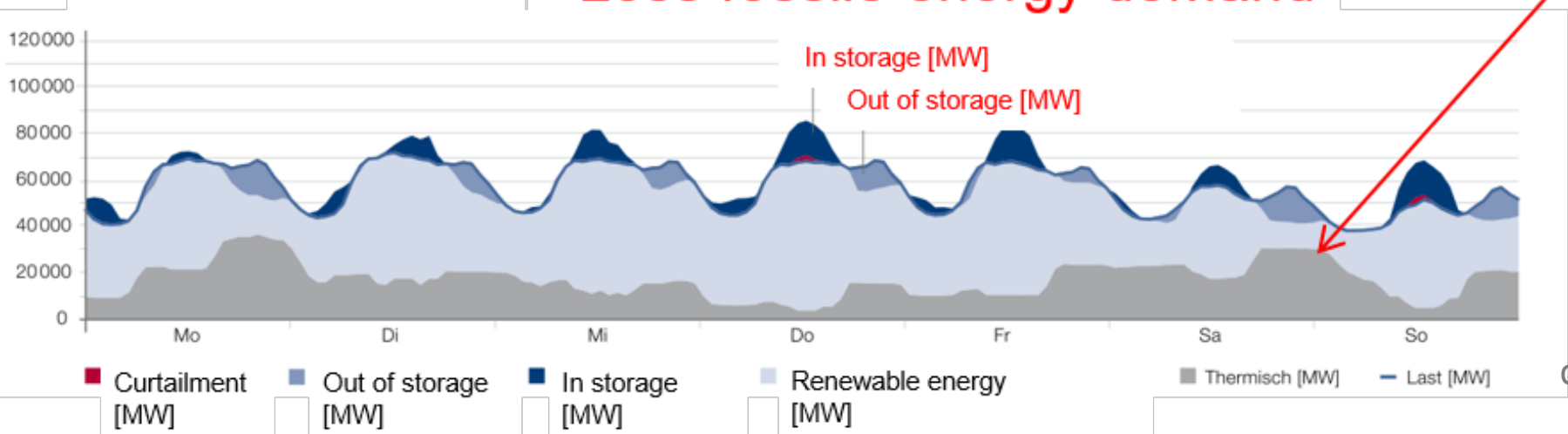


STROMSPEICHERUNG ALLGEMEIN

Without PSP



With PSP

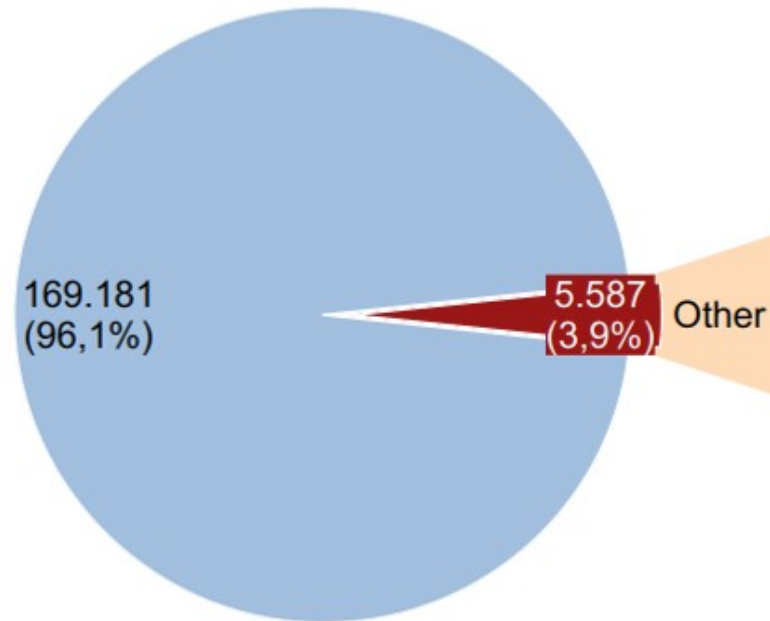


Higher effectivity of renewable power sources

Approx. 70 % of the excess electricity can be used

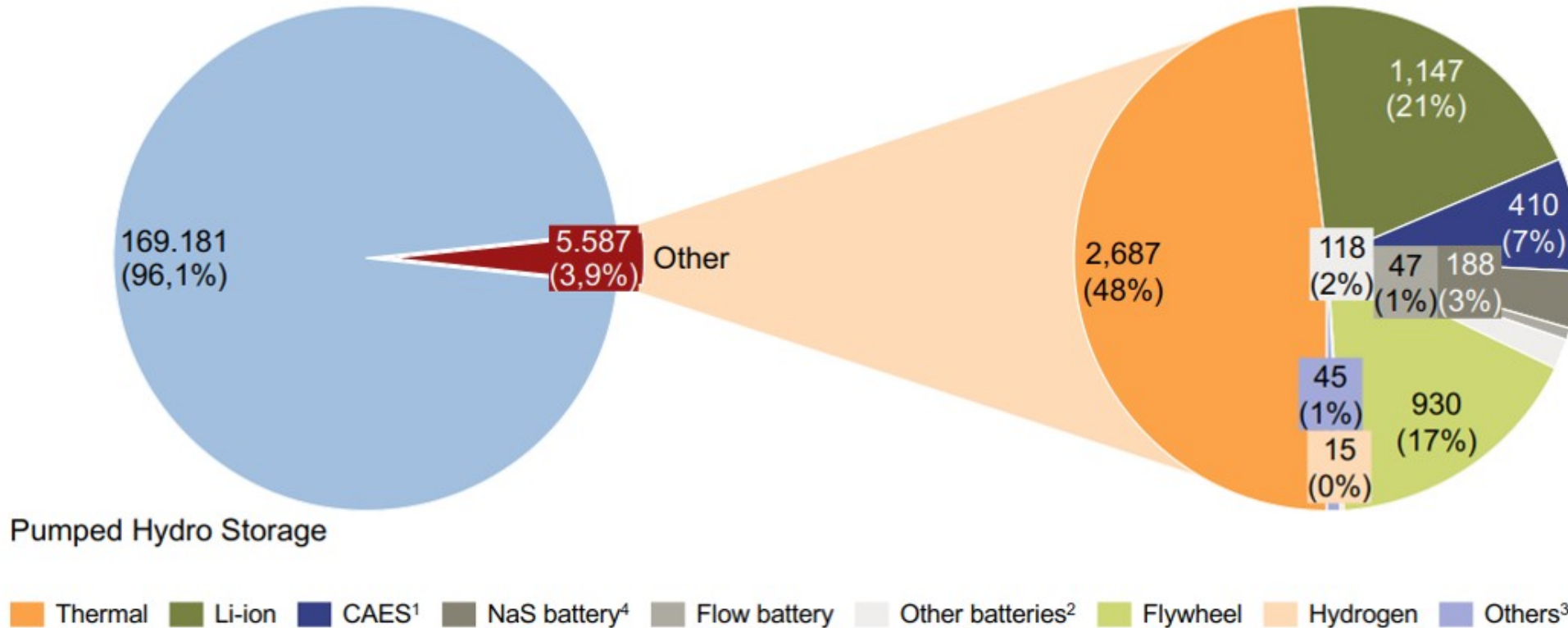
STROMSPEICHERUNG - OPTIONEN

Operational worldwide storage capacity
MW and %, November 2017



Pumped Hydro Storage

Operational non-pumped hydro storage capacity
MW and %, November 2017

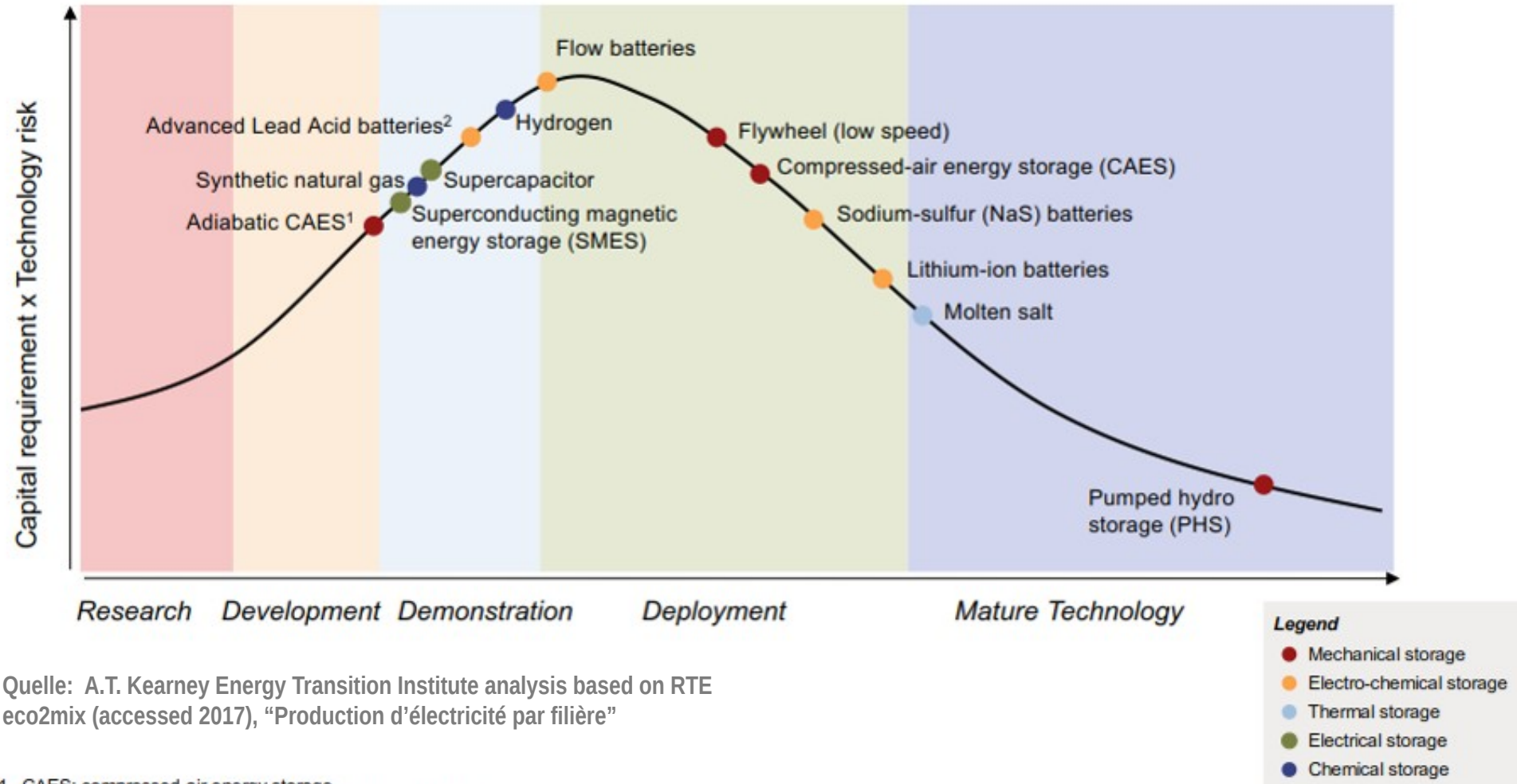


▪ Mehr als 96% aller Stromspeicher sind Pumpspeicher

Quelle: A.T. Kearney Energy Transition Institute analysis based on RTE eco2mix (accessed 2017), "Production d'électricité par filière"

STROMSPEICHERUNG - OPTIONEN

Reifegrad der Technologien



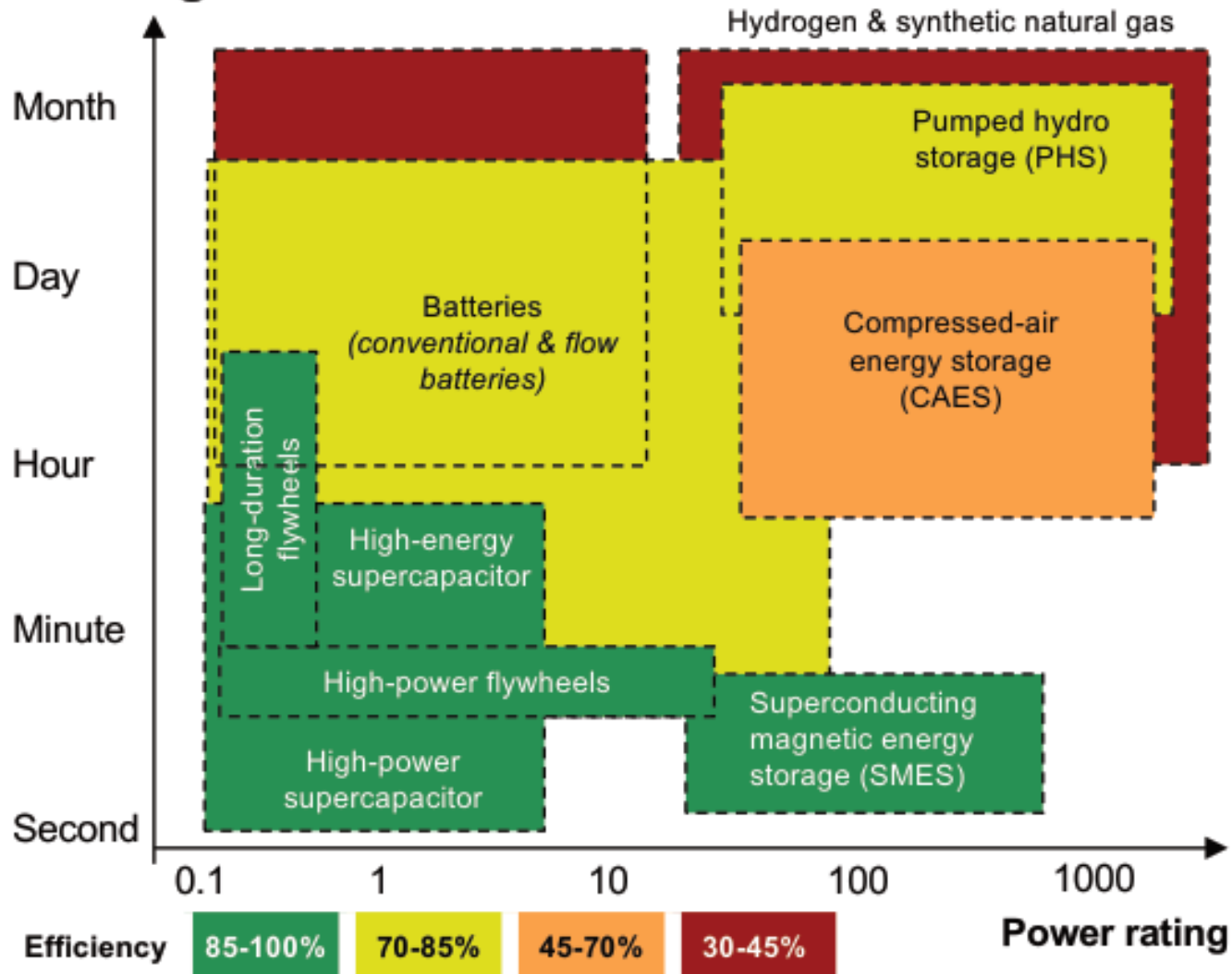
- **Langzeit-Erfahrung mit Pumpspeicher – Technologie**
- **Lebensdauer von PSW bis zu 100 Jahren und mehr**

Quelle: A.T. Kearney Energy Transition Institute analysis based on RTE eco2mix (accessed 2017), "Production d'électricité par filière"

1. CAES: compressed-air energy storage
 2. Valve regulated Lead Acid batteries is a mature technology
 Source: A.T. Kearney Energy Transition Institute analysis

STROMSPEICHERUNG - OPTIONEN

Discharge Time



- Pumpspeicher haben einen sehr hohen Wirkungsgrad (70-80%)
- Pumpspeicher sind eine hervorragende Alternative für hohe Leistung für mittlere bis lange Ladezyklen
- Es wird künftig einen Mix verschiedener Speichermedien geben müssen, um die Energiewende zu meistern

INHALT

- VORSTELLUNG ILF
- STROMSPEICHER UND EINSATZ VON PSW
- **PLANUNGSSCHRITTE UND AUSLEGUNG**
- AUSGEWÄHLTE BEISPIELE
- FRAGEN UND DISKUSSION



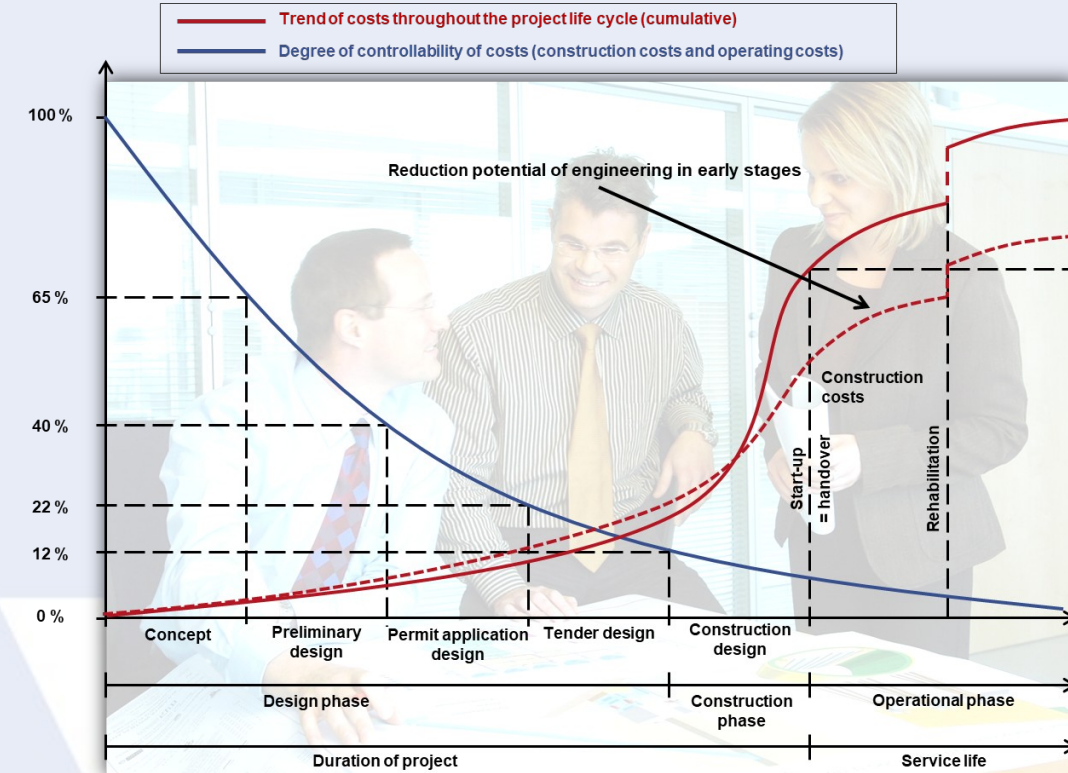
PLANUNGSSCHRITTE

PROJEKTVORBEREITUNG UND PLANUNGSSCHRITTE

- Klärung Zweck der Anlage, Netz- und Kundenanforderungen, Vermarktungsmodell
- Studie Energienutzung, Netzstudie, Netzanschlussklärungen
- Strombedarfs – und -preisprognosen
- Standortsuche mit GIS, Bewertung von Alternativen (MCA)
- Konzeptplanung

Später:

- Baugrunduntersuchung, Umweltuntersuchung
- Beschaffungsstrategie, Loseinteilung



Der Einfluss auf das Projekt ist bei Projektbeginn am größten, die Kosten dafür gering: es zahlt sich aus, zu Beginn die beste Lösung zu suchen

AUSLEGUNG VON PSW

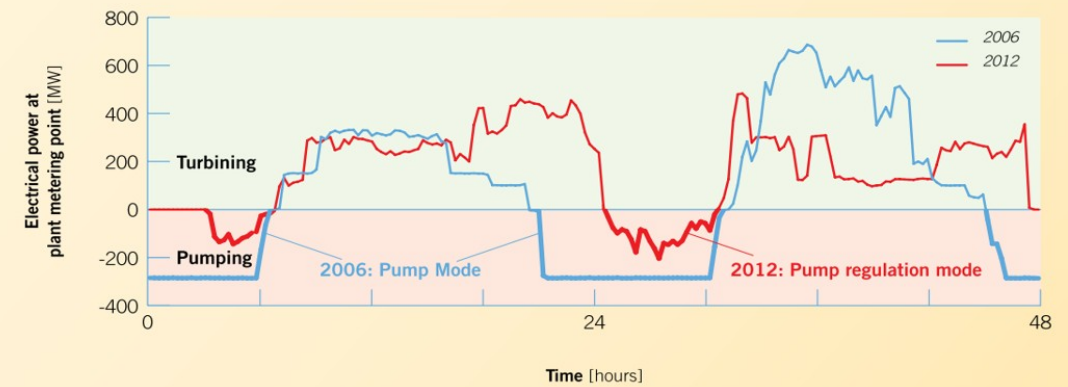
ZWECK DER ANLAGE

- **Wirkleistungsbetrieb (Batterie):**
 - Energieerzeugung und –speicherung, Leistung,
 - Anzahl Volllaststunden, Teillastverhalten
 - Hoher Wirkungsgrad

- **Netzstabilisierung**
 - Anforderungen gemäß Grid Codes
 - Frequenzregelung, Spannungsregelung, Blindleistung
 - Schwarzstartfähigkeit und Wiederaufbau des Netzes
 - Inselbetrieb: Betrieb ohne übergeordnetes Stromnetz
 - Schnelle Umschaltzeiten

- **Technische Konzeption und Beschaffungsstrategie basieren auf Einsatzzweck**

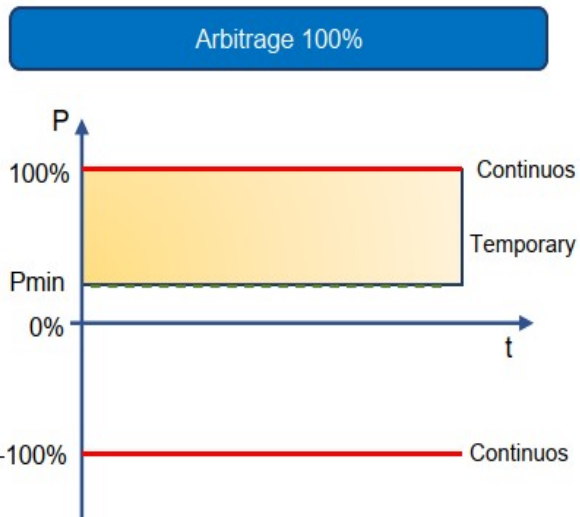
Comparison of the operation of a PSP in Austria in 2006 and 2012 (27-28 June)



AUSLEGUNG VON PSW

MACHINENAUSWAHL

- Marktanforderungen bestimmen die Anforderungen an die elektromechanische Ausrüstung



Arbitrage load

- turbine mode: + 100%
- pump mode: - 100 %

Continuous operation:

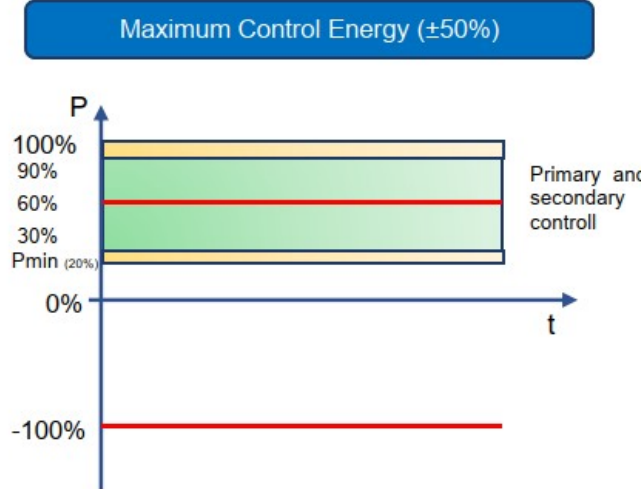
- turbine mode: +100 %
- pump mode: -100%

Temporary operation

- Pmin ... +100 %

Design target for hydraulic design:

- Max. cycle efficiency (turbine and pump)
- Pmin and part load efficiency subordinate



Nominal load

- turbine mode: + 60%
- pump mode: - 100 %

Continuous operation:

- turbine mode: +20% ... +90 %
- pump mode: -100%
- (retrivial of complete regulation range unlikely)

Temporary operation

- + turbine operation: Pmin ... +20%, +90% ... +100%

Design target for hydraulic design:

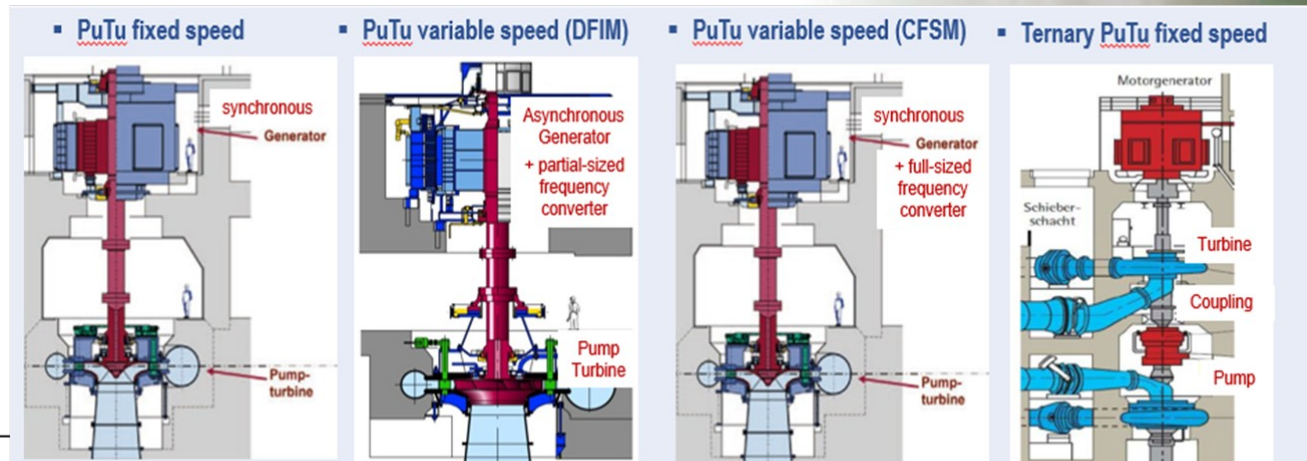
- low Pmin (max. load range for control market)
- good part load efficiency
- peak efficiency subordinate

AUSLEGUNG VON PSW

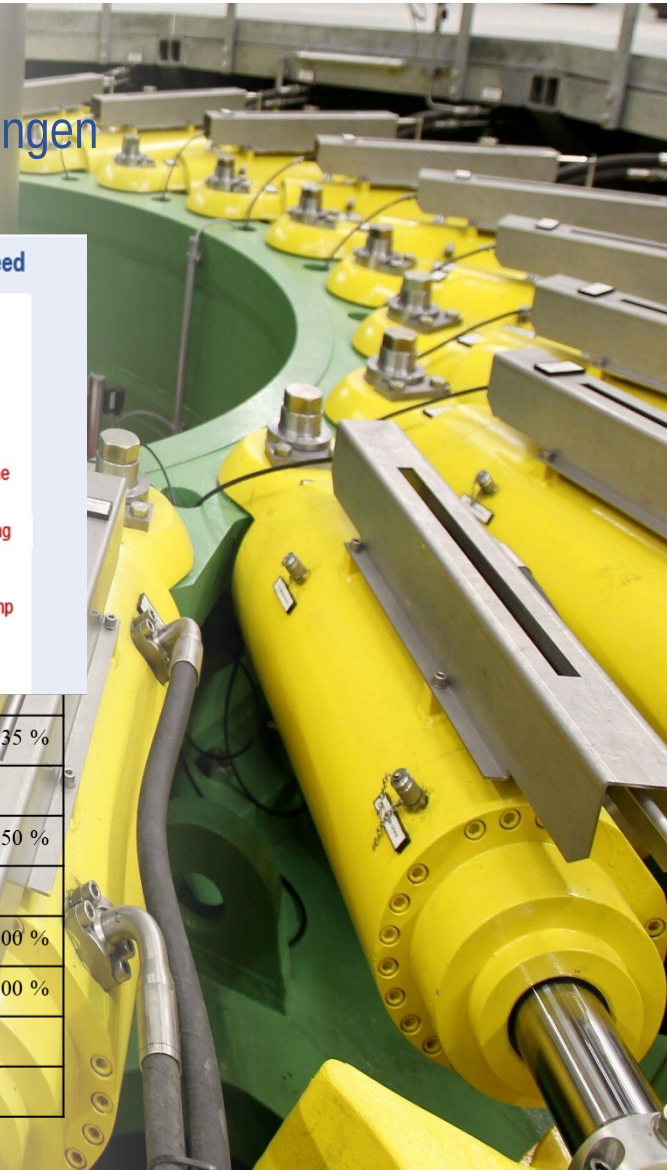
AUSWAHL DER MASCHINEN

» Auswahl der Art und Anzahl nach Zweck der Anlage, Netz- und Kundenanforderungen

UNITS OPTIMIZATION



COSTS						
CAPEX	●	100 %	●	120 %	●	135 %
Maintenance	●		●		●	
Required space	●	100 %	●	120 %	●	150 %
FLEXIBILITY						
Part load turbine mode	●	40...100 %	●	20...100 %	●	(0-30)...100 %
Part load pump mode	●	-100%	●	-60...-100 %	●	HSC -100 %
Part load efficiency turbine	●		●		●	
Switch-over times	●		●		●	



AUSLEGUNG VON PSW

AUSWAHL DER MASCHINEN

▪ Erhöhung der Flexibilität des PSW

» Erhöhung der Anzahl der Maschinen

- Höheres Leistungsband im Pumpbetrieb (mit fester Leistung)
- Weniger Teillastbetrieb der Turbine

»Hydraulischer Kurzschluss (HSC)

- Nutzung von Turbinenbetrieb und Pumpenbetrieb „gleichzeitig“ zur Schließung von Leistungsbereichslücken
- HSC an einer Druckleitung oder zwischen zwei Druckleitungen (Verluste)

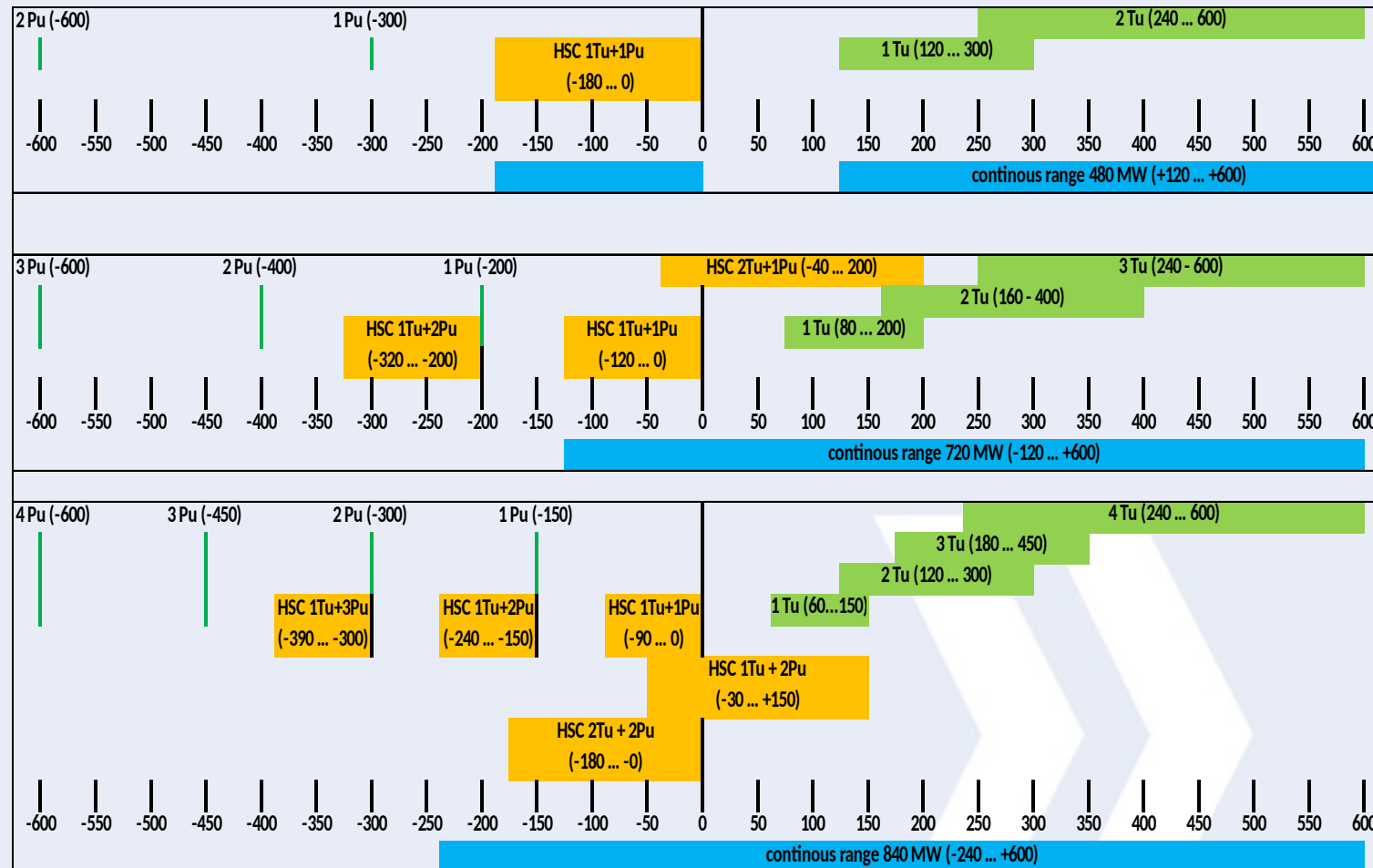
»Optionen mit variabler Drehzahl (DFIM, FSC)

- Höheres kontinuierliches Regelband
- Geringere Umschaltzeiten für Betriebsmodi
- Besserer Teillastwirkungsgrad im Turbinenbetrieb



AUSLEGUNG VON PSW

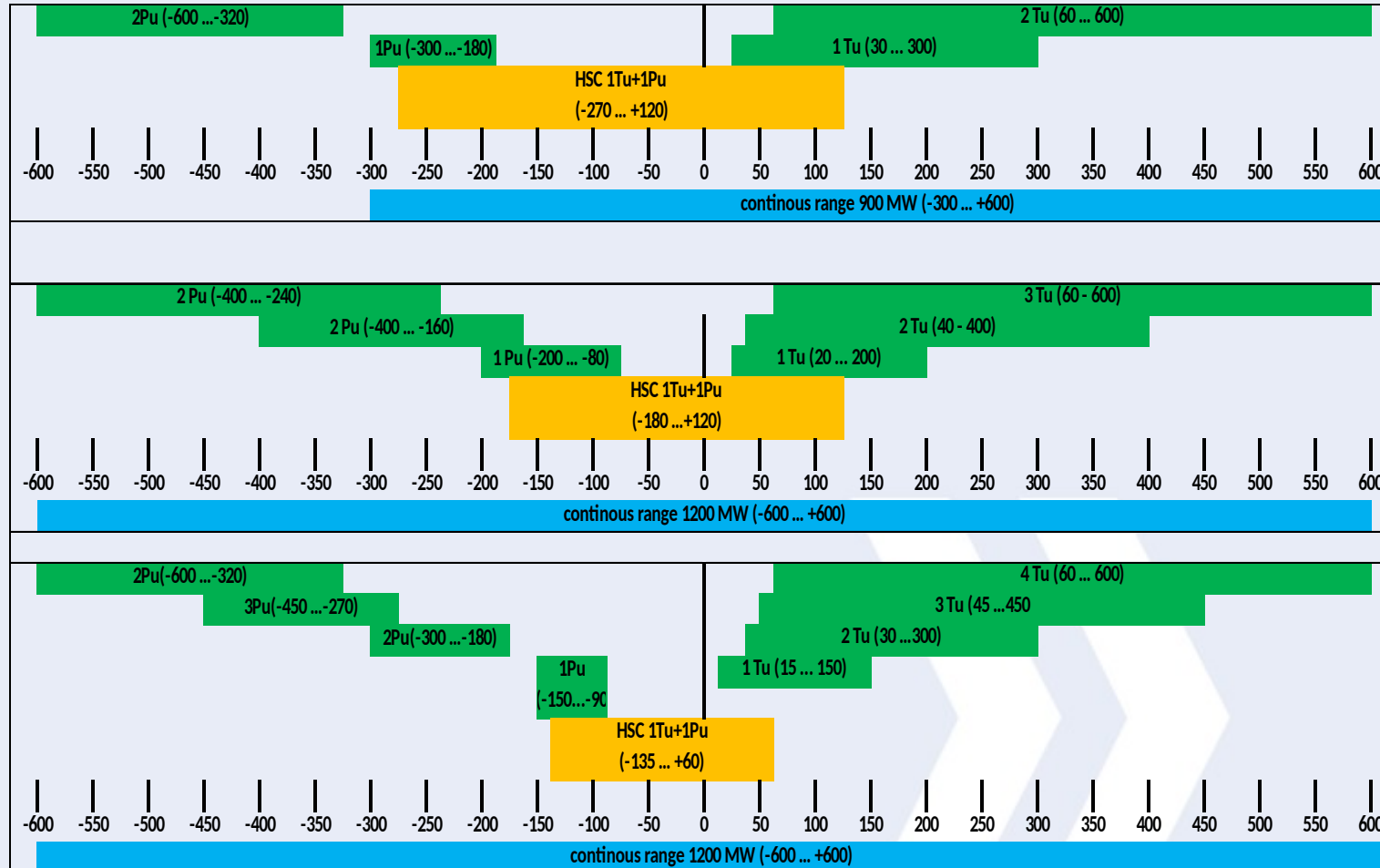
LESITUNGSBAND MIT MASCHINEN FESTER DREHZAHL



CAPEX and OPEX

AUSLEGUNG VON PSW

LESITUNGSBAND MIT MASCHINEN VARIABLER DREHZAHL



CAPEX and OPEX

VERTRAGLICHES

BESCHAFFUNGSSTRATEGIE

- **Diskussion und Definition der Beschaffungsstrategie möglichst zu Beginn eines Projektes**
 - Vertragsart (Construction, DB, EPC, BO(O)T, O&M etc.)
 - Vertragsmuster: z.B. FIDIC (red, yellow, emerald, silver, gold)
 - ECI (early contractor involvement)
 - Loseinteilung, Split of Work, Scope of Work
- **Risikoanalyse der unterschiedlichen Vertragsmodelle empfohlen!**
- **Erstellung der Ausschreibungsunterlagen erst nach Entscheidung der Vertragsart sinnvoll!**

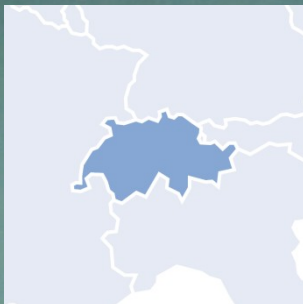
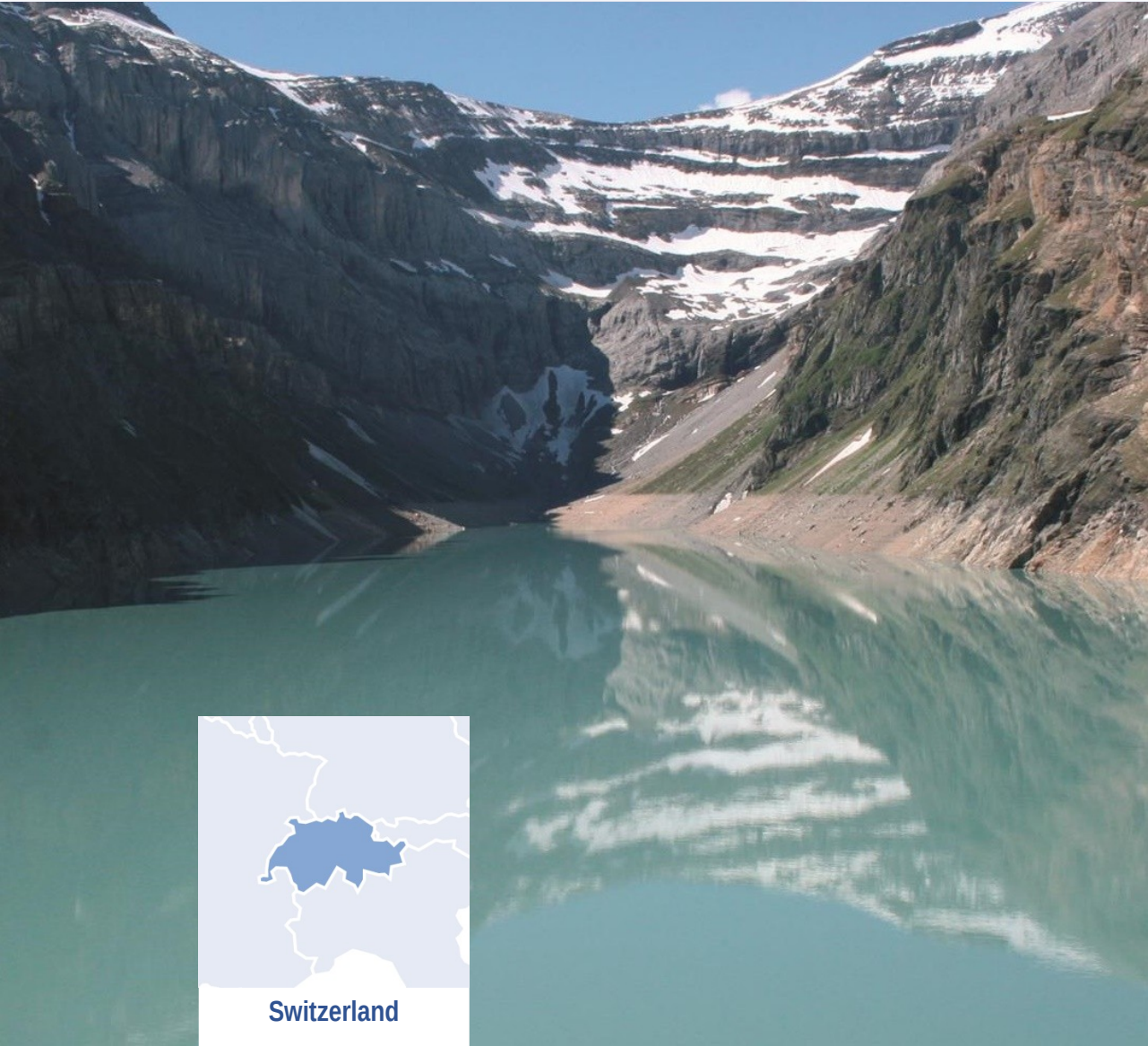


INHALT

- VORSTELLUNG ILF
- STROMSPEICHER UND EINSATZ VON PSW
- PLANUNGSSCHRITTE UND AUSLEGUNG
- **AUSGEWÄHLTE BEISPIELE**
- FRAGEN UND DISKUSSION



KW LIMMERN, SCHWEIZ



Switzerland

KUNDE Kraftwerke Linth-Limmern AG

ZEITRAHMEN 2007 – 2017

DATEN Leistung: 1.000 MW,
Ausbaudurchfluss T: 146 m³/s
Bruttofallhöhe: i.M. 630 m
Muttsee als Oberspeicher
Limmernsee als Unterspeicher

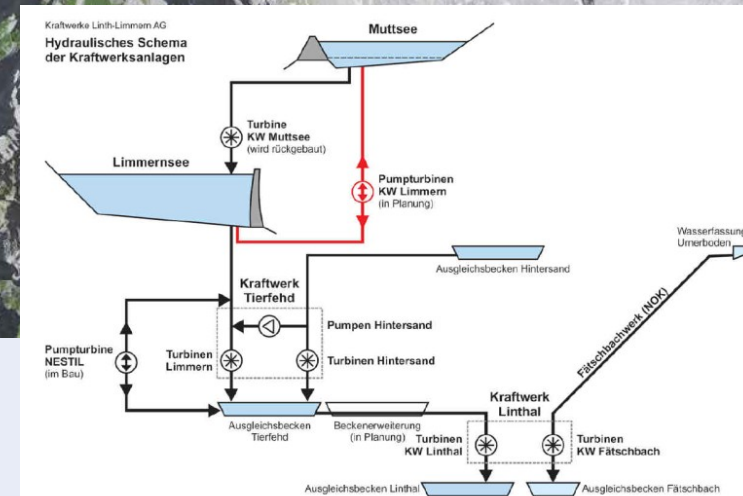
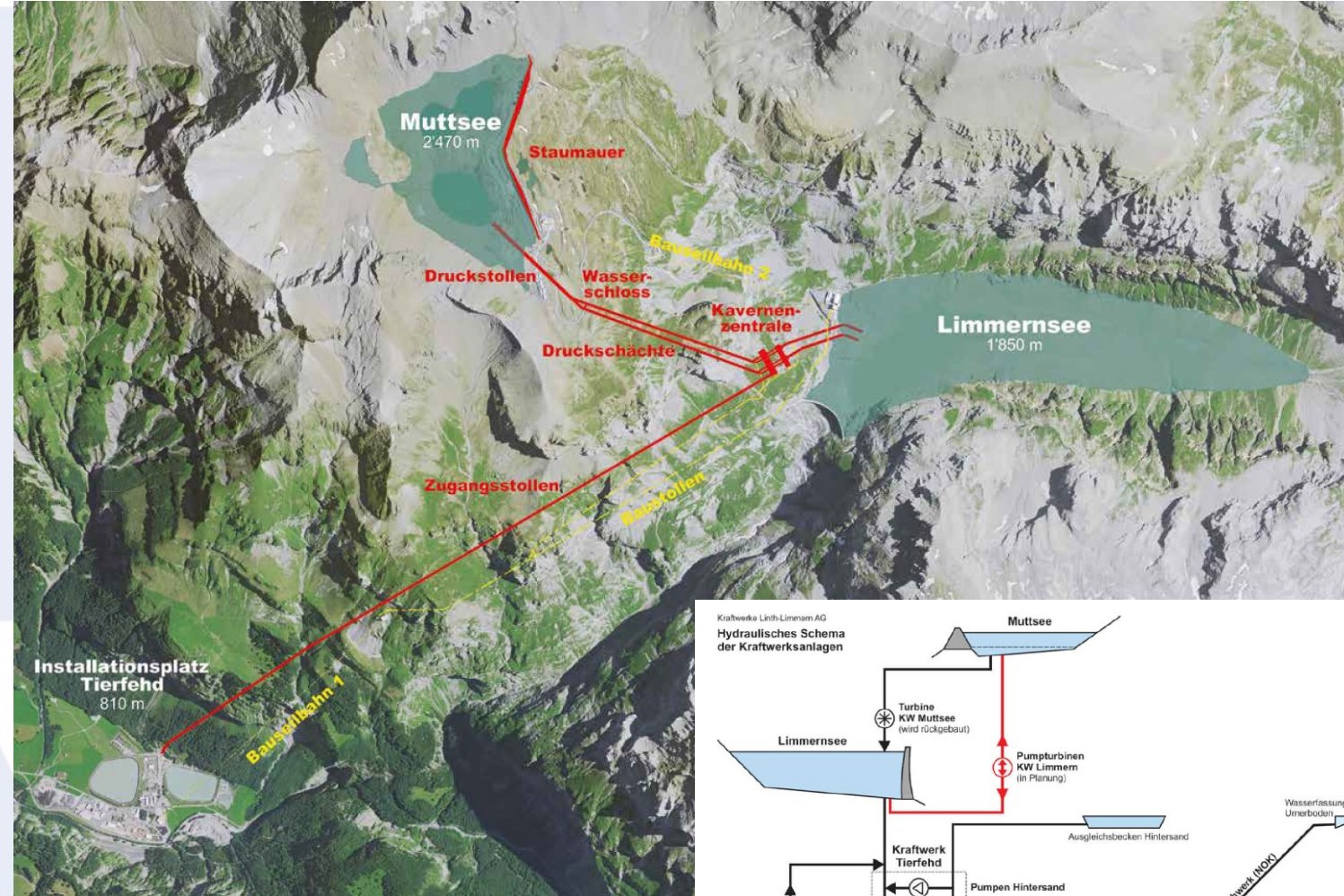
SERVICES

- Alternativenstudien, Konzept
- Entwurfs- und Genehmigungsplanung
- Ausschreibungsplanung
- Ausführungsplanung
- Bauüberwachung
(passive Vorspannung der Stollen des
Triebwasserweges)
- Dokumentation

KW LIMMERN

BESONDERHEITEN

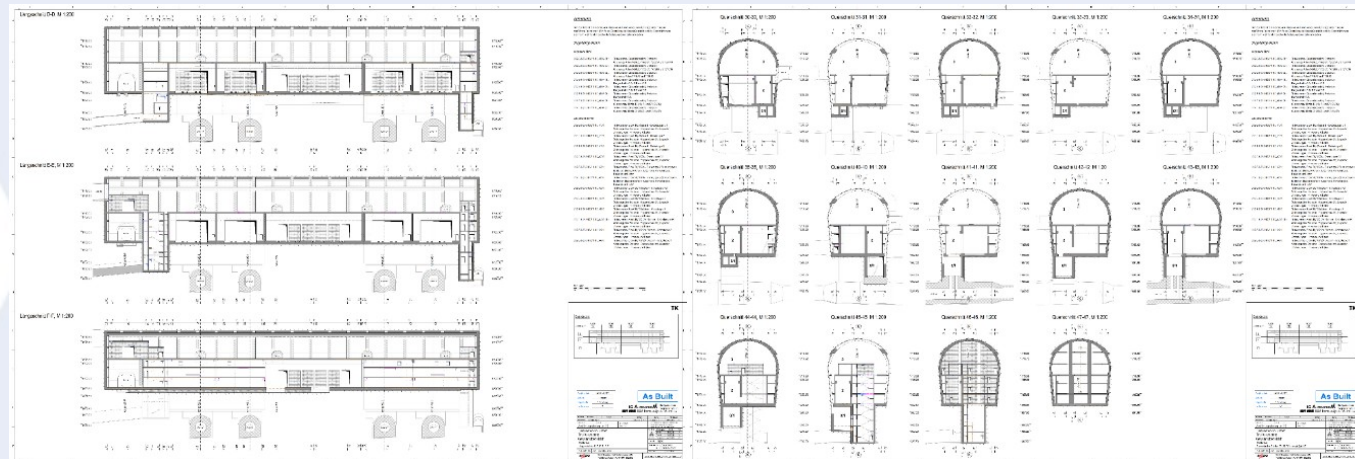
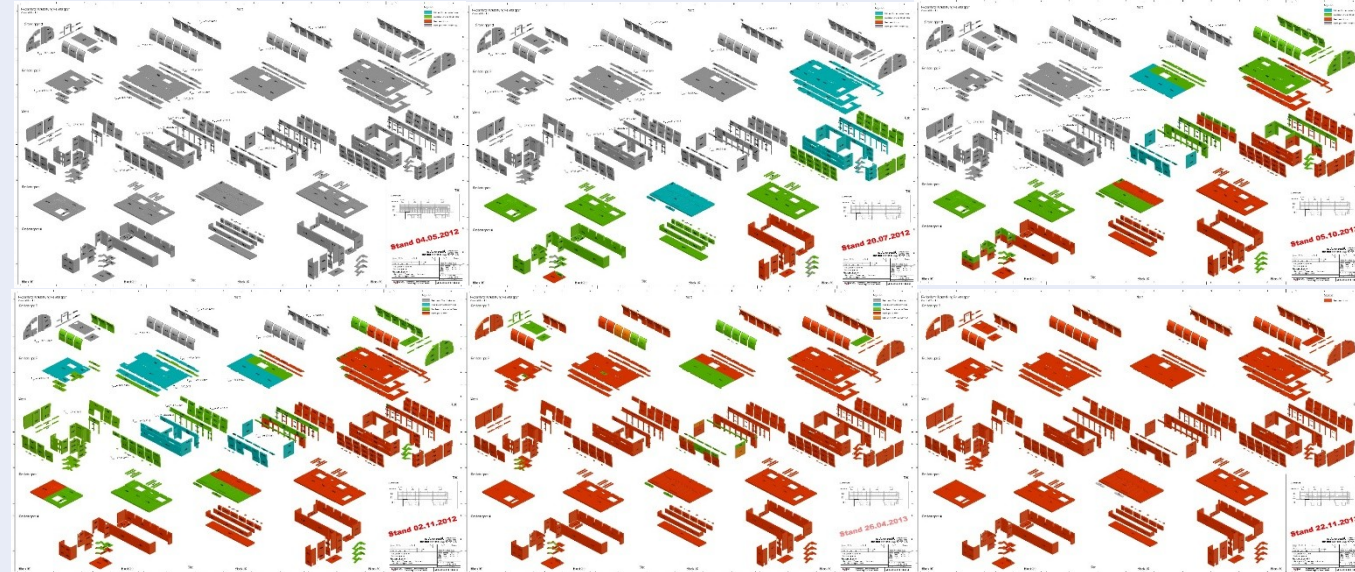
- Das PSW liegt zwischen 1.770 bis 2.400m in einer klimatisch extremen Umgebung
- Naturgefahren (Lawinen, Steinschlag etc.)
- ökologisch sensible Umgebung
- bis auf die Stauseen alle Anlagen unterirdisch
- verschiedene Zugangsstollen mit einer Länge von bis zu 3,7km
- Maschinenkaverne: 150 x 30 x 53m
- Trafokaverne: 132 x 25 x 32m
- Logistik, für den Großteil des Projekts nur über 2 Seilbahnen mit strengen Fahrplänen erreichbar
- Standseilbahn für Kraftwerk, Generatoren, Transformatoren etc.



KW LIMMERN

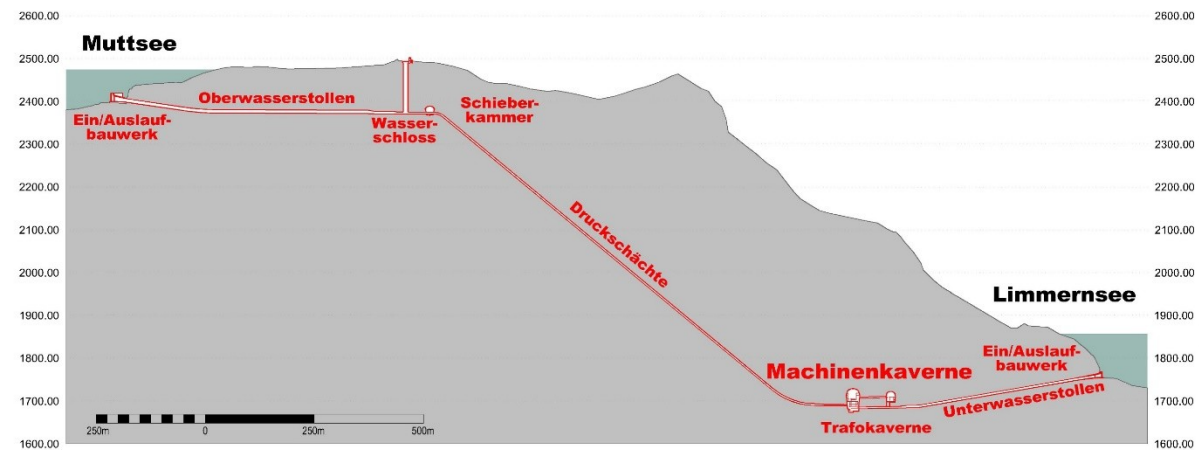
BESONDERHEITEN FÜR DIE PLANUNG

- Genehmigung (mit UVP) erfolgte sehr rasch (< 1 Jahr), während der Ausschreibungsphase.
- Projektbüro in der Nähe des Kunden in frühem Projektstadium eingerichtet und betrieben
- Sehr konstruktive und partnerschaftliche Zusammenarbeit im Plaungs-ARGE (5 Büros)
- Erschwerend war der restriktive und erschwerte Zugang zur Baustelle in der Ausführungsphase.
- Erfahrener Koordinator für Abstimmung und Optimierung der Planungsabläufe zwischen beteiligten Unternehmen



AUSGEWÄHLTE BEISPIELE

KW LIMMERN - EINDRÜCKE



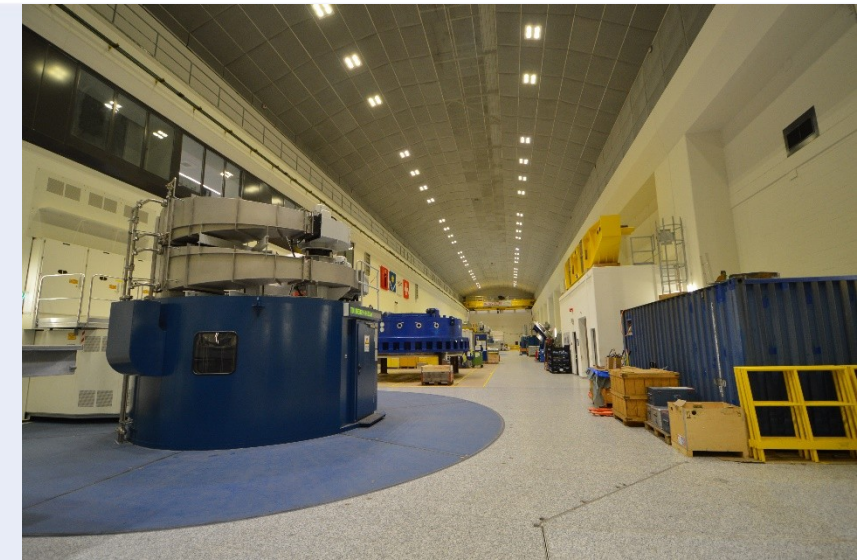
AUSGEWÄHLTE BEISPIELE

KW LIMMERN - EINDRÜCKE



AUSGEWÄHLTE BEISPIELE

KW LIMMERN - EINDRÜCKE



KIDSTON PHES - AUSTRALIEN

KUNDE Energy Australia / Jemena

ZEITRAHMEN 2018 -2019 / 2020 - 2021

DATEN

- Leistung: 250 MW
- Energieinhalt: 1,500MWh, 6 FLH
- Bruttofallhöhe: i.M. 220m
- Nutzvolumen Speicher: 4.85mcm

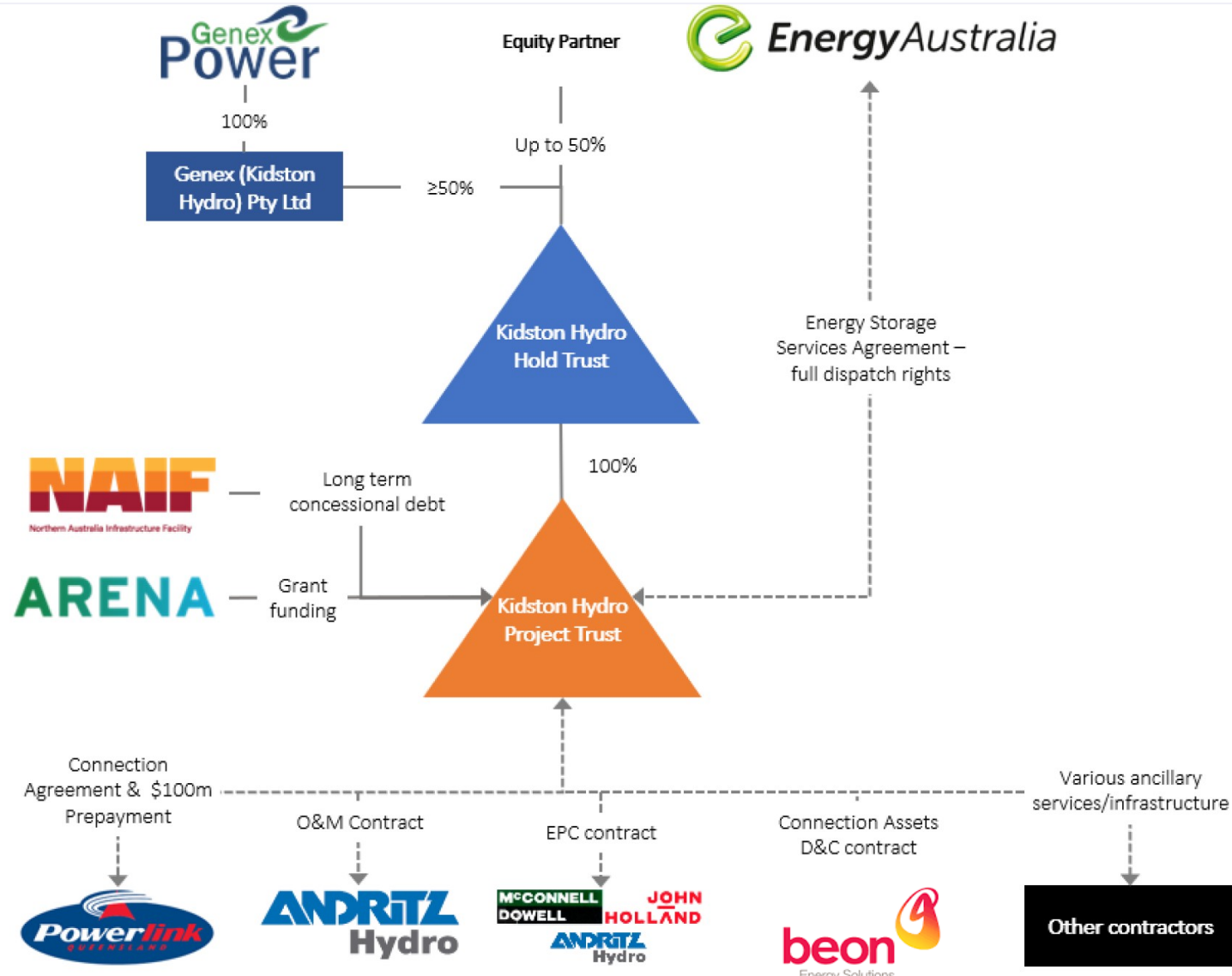
Aufgelassene Goldminen, die als Ober- und Unterspeicher dienen; alle Anlagen unterirdisch

LEISTUNGEN Independent Verifier Services,
Technische Due Diligence,
Probabilistische Risikoanalyse,
Beratung in der ECI Phase bis zu den
Vergaben



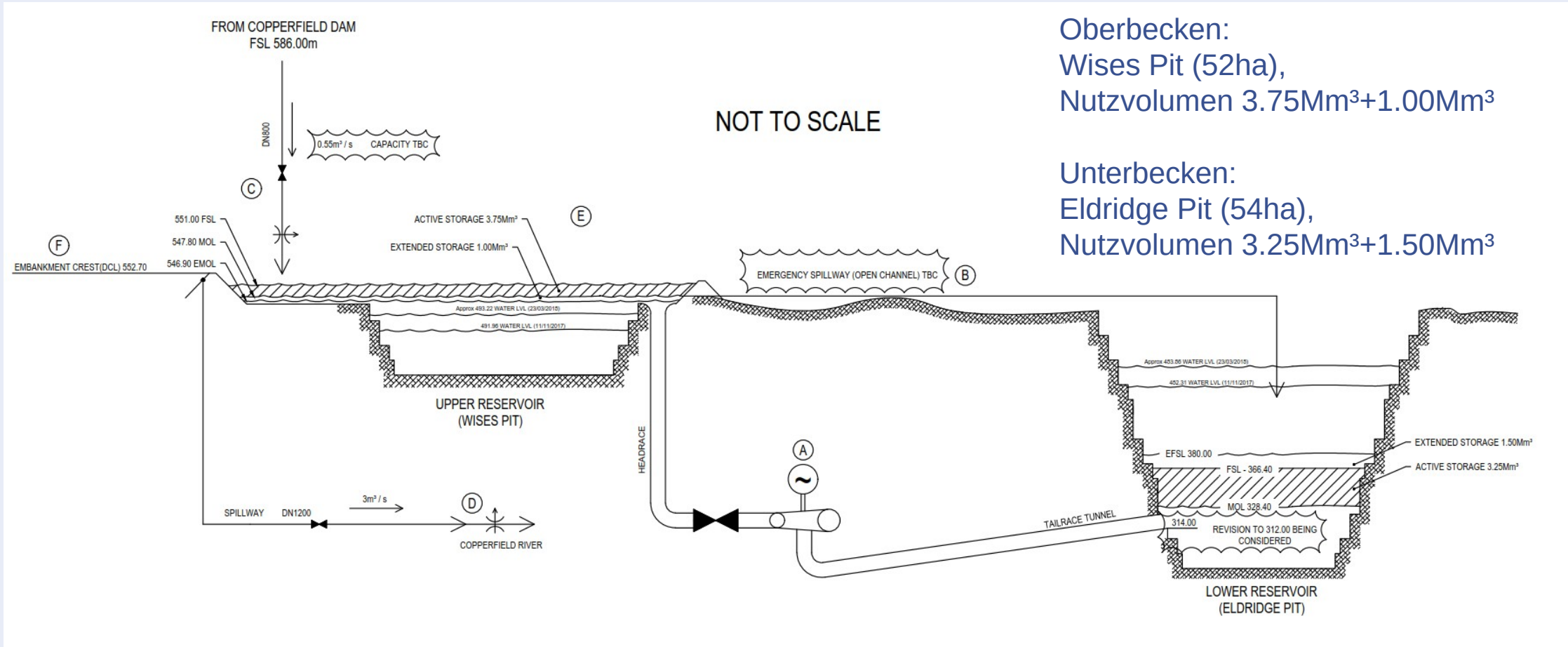
Australia

KIDSTON PHES



Overview project structure and key contracts, source: Jemena

KIDSTON PHES

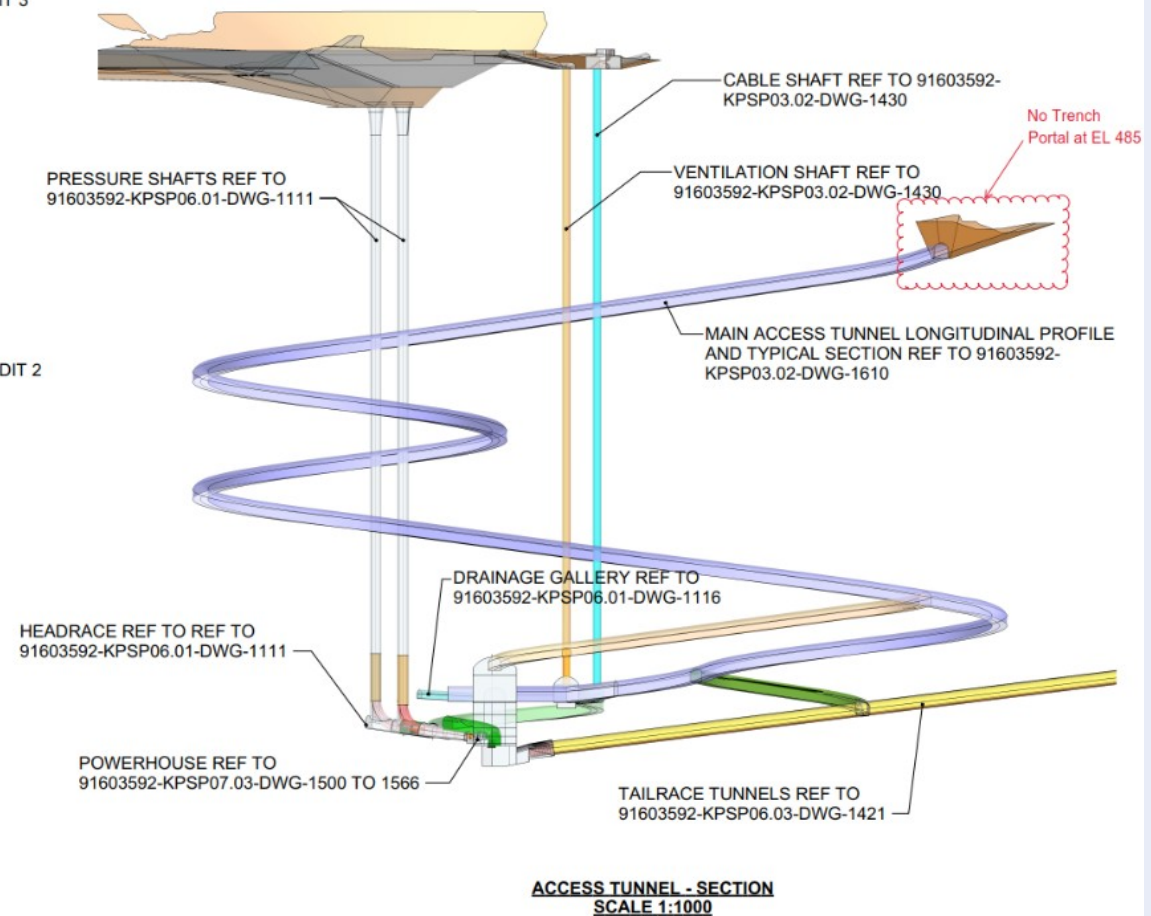
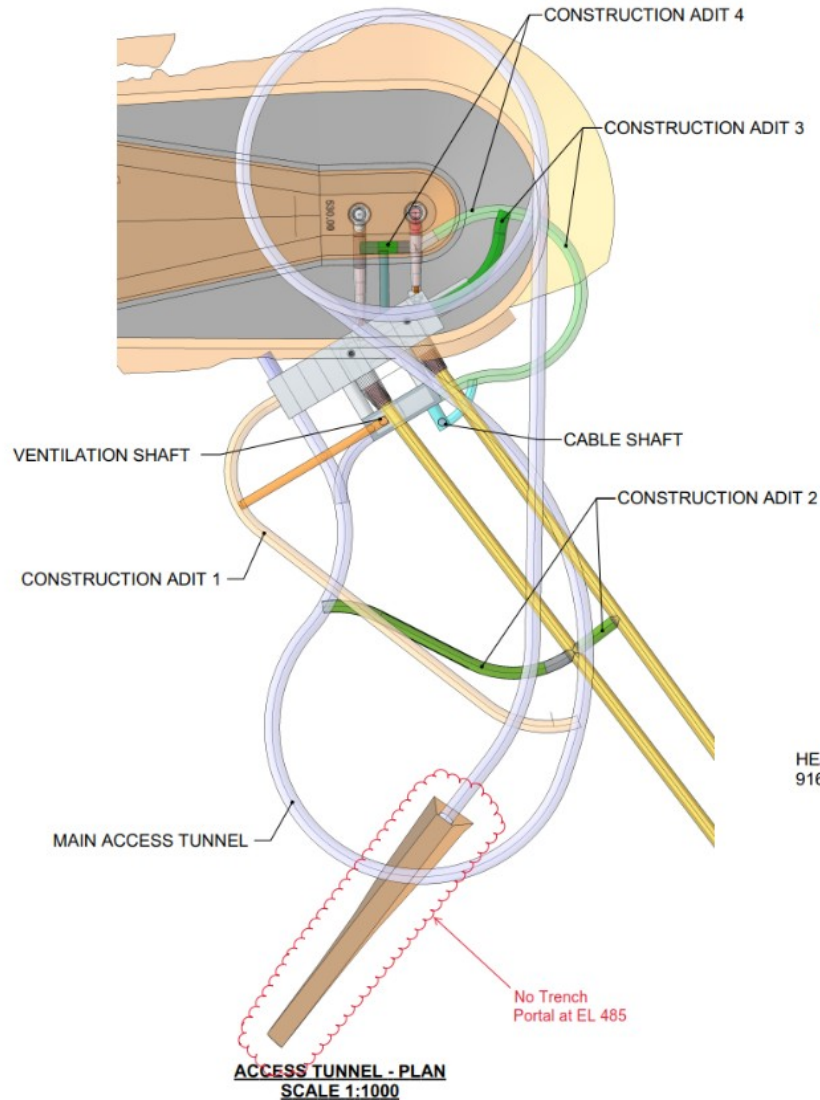


Oberbecken:
Wises Pit (52ha),
Nutzvolumen 3.75Mm³+1.00Mm³

Unterbecken:
Eldridge Pit (54ha),
Nutzvolumen 3.25Mm³+1.50Mm³

KIDSTON PHES

Overview about general arrangement of underground structures, source: MDJHJV

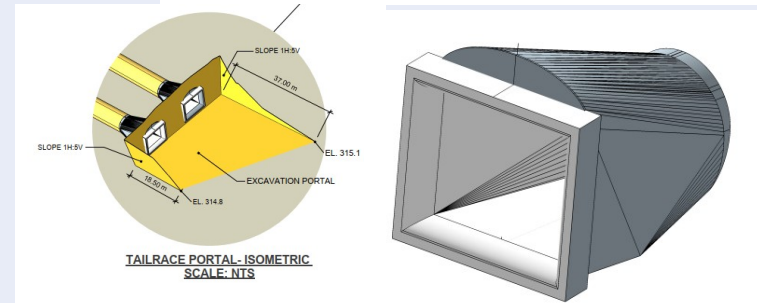
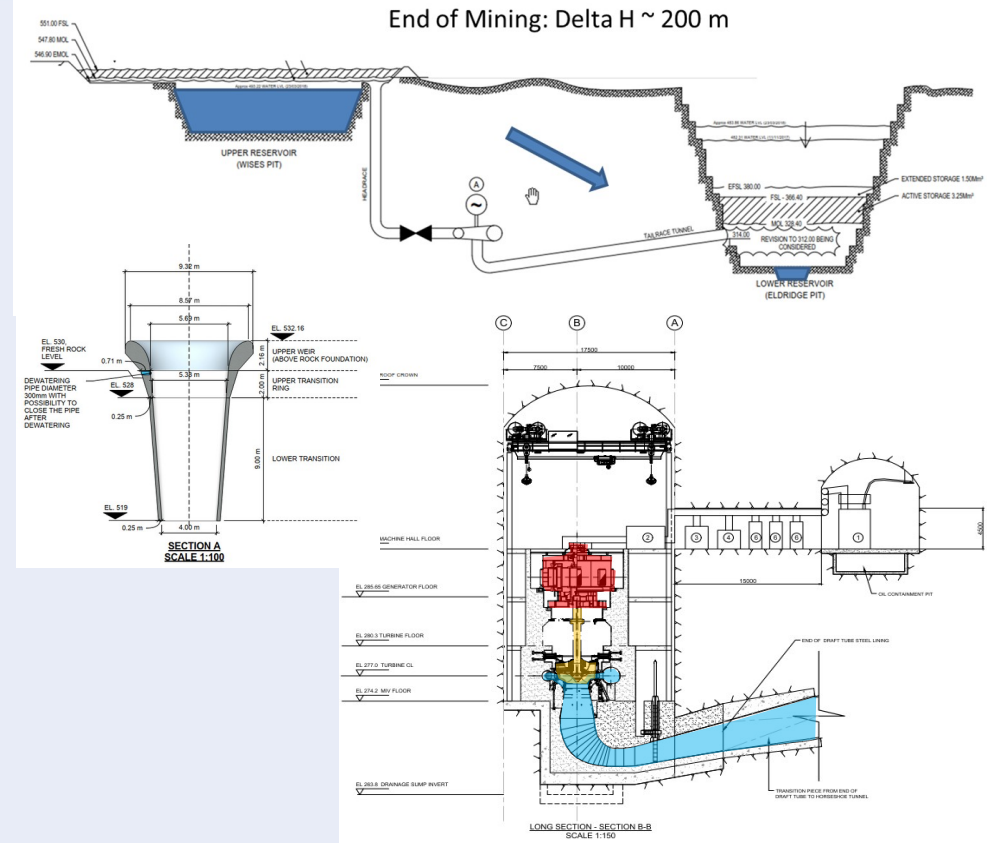


Quelle: MDJHJV = McConnell Dowell – John Holland Joint Venture

KIDSTON PHES

ÜBERSICHT IDENTIFIZIERTE RISIKEN

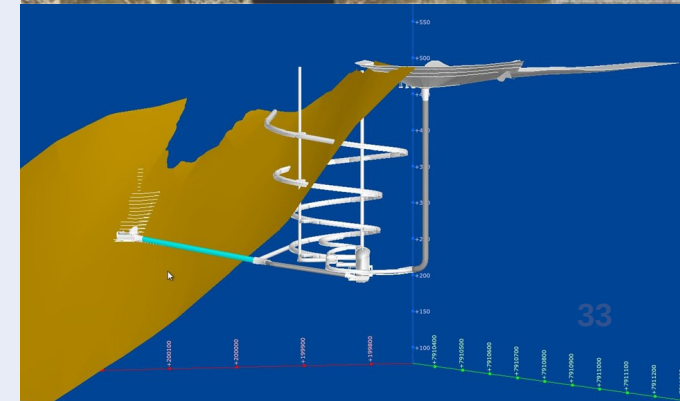
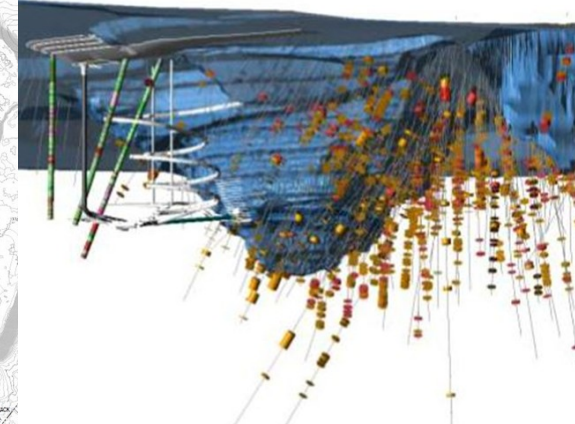
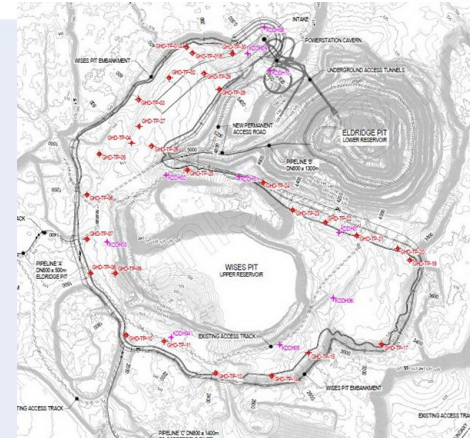
- Geologie, Hydro-Geologie; insbesondere Risiko der Wasserwegigkeit zwischen Ober- und Unterbecken
- Wasserweg Design (nicht abgedichtete UW - Stollen)
- Stahlwasserbau: keine Rechen, Schützen, Dammbalken
- Kavernen: Geotechnik, Ausbau z.T. mit Fertigteilen
- Schachterstellung (Ausbruch und Sicherung mit Raiseboring)
- Oberbecken: Design der partiellen Dichtung
- Waterqualität
- Anzahl der SFC



KIDSTON PHES

GEOLOGIE UND HYDROGEOLOGIE

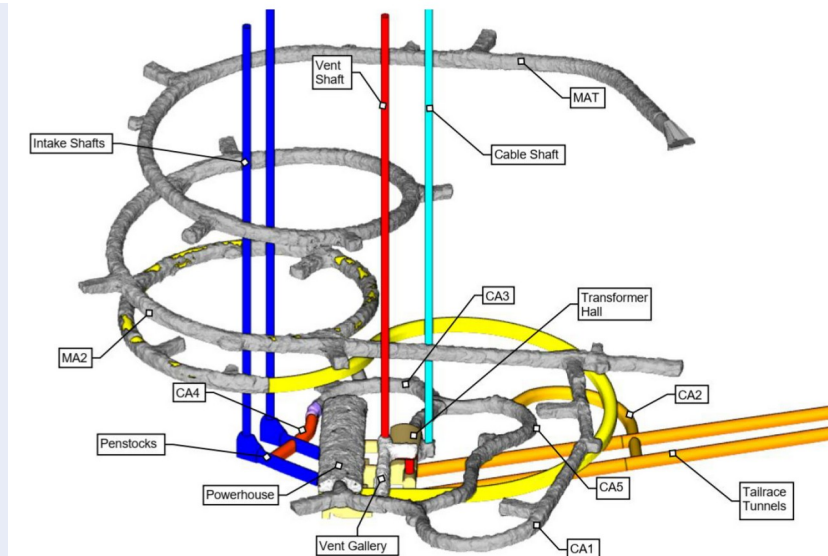
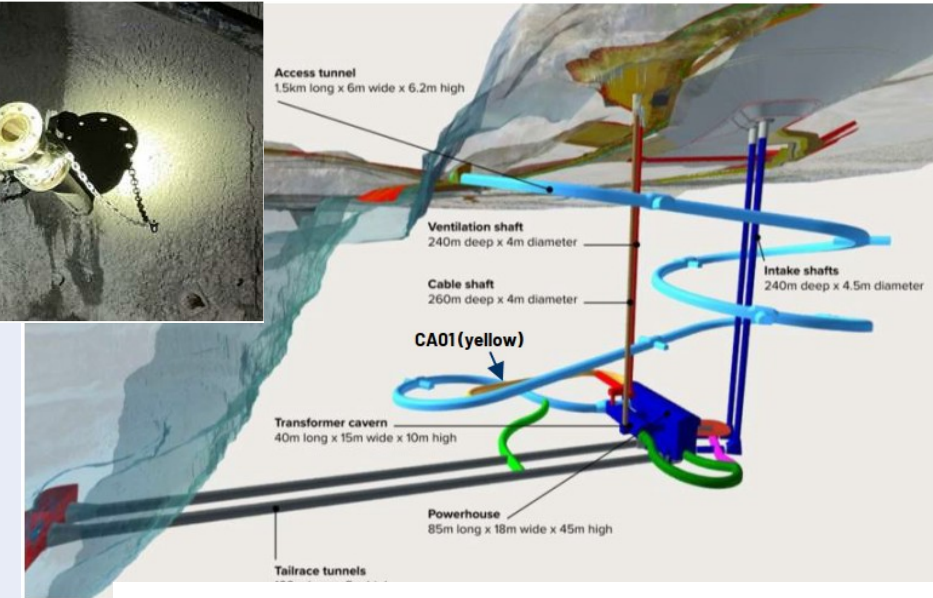
- Es erfolgten 3 Erkundungsphasen:
 - »Bohrungen im Zuge der Erschließung der Minen
 - »Mapping, Bohrungen, Geophysik und Tests durch Entura 2015, 2016
 - »Mapping (z.T. mit Drohnen), Geophysik durch GHD, 2020
- Die Erkenntnisse flossen in ein Leapfrog – Modell ein.
- ILF hat zusätzliche Erkundungen vorgeschlagen (Bohrungen und Tests zur Analyse Wasserwegigkeit und Qualität der Störzonen), die nur z.T., sehr spät durch JP als Anteilseigentümer erfolgten.
- Das Risiko wasserführender Störungen wurde dadurch zwar gesenkt, aber nicht ausgeschlossen.
- Risikoaufschlag (z.B. für Injektionen)



KIDSTON PHES

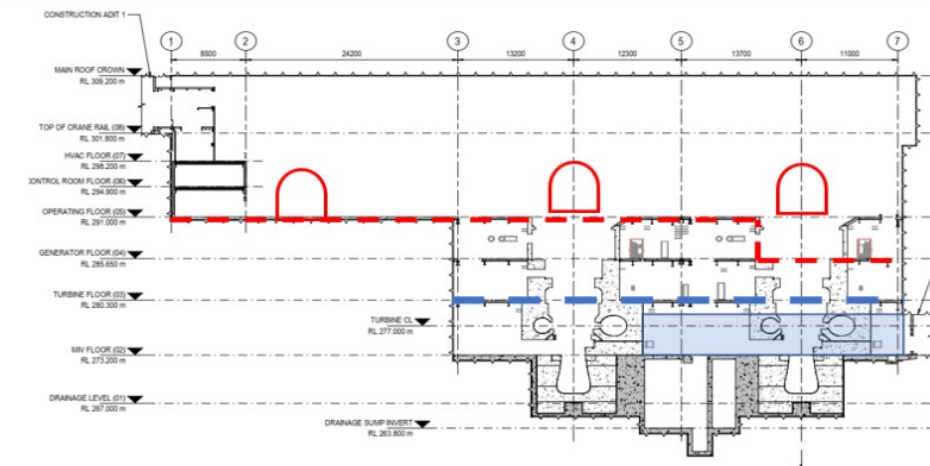
ERKENNTNISSE VOM BAUABLAUF

- Baubeschluss und Baubeginn: Mai 2021
- Baustart Untertagearbeiten: Dezember 2021 (MAT)
- Wassereinbruch in MAT: September 2022
- -> Massive Abdichtungsmaßnahmen (Injektionen über Preventer), weitere Erkundungen und eine Umplanung der Zufahrtsstollen zu den Kavernen
- Der weitere Vortrieb der Stollen war erfolgreich, mittlerweile ist ein Teil der Kaverne ausgebrochen und die Schächte (Ventilation und Kabelschacht) sind erstellt.
- Trotz dieser Schwierigkeiten (Verzug, Mehrkosten) erscheint eine IBN 2024 noch möglich.



KIDSTON PHES - AUSTRALIEN

ZWISCHENSTAND NOVEMBER 2023



KIDSTON PHES - AUSTRALIEN

RESÜMEE

- Mit ECI-Modell (Early Contractor Involvement) wurde die Verantwortung der Planung in früher Phase auf die ausführenden Firmen verschoben.
- Seitens der Baufirma wurde eine sehr einfache und äußerst kostenoptimierte Lösung entwickelt, die den Ansprüchen im DACH-Bereich wohl nicht genügen würde.
- Für ILF war es schwierig, den Entwickler davon zu überzeugen, Verbesserungsmöglichkeiten umzusetzen. Kostendruck und Position der Baufirma waren zu stark.
- ILF gelang es aber, die TVB soweit zu verbessern, dass ein akzeptables Mindestmaß der Qualität des Betriebes gesichert scheint.
- Weder EA noch Jemena sind aufgrund zu großer Risiken für Bau und Betrieb in das Projekt eingestiegen.
- Andritz als Ausrüster hat eine sehr qualitätsvolle und gute Arbeit in der Planung geleistet.

MUJIB PHES IN JORDANIEN

KUNDE GIZ (mit NEPCO, JVA, WAJ, MoW, MoF)

ZEITRAHMEN 11/2020 – 8/2022

DATEN Leistung: 450MW
Ausbaudurchfluss T: 90m³/s
Bruttofallhöhe: ca. 550m
Neues PSW, closed loop

LEISTUNGEN Studie Energienutzung
Netzstudie
Alternativenstudie
Baugrund- und Umweltuntersuchung
Machbarkeitsstudie
Wirtschaftlichkeitsuntersuchung
Analyse für Festlegung Vertragsmodell



Jordan

MUJIB PHES

STUDIE ENERGIENUTZUNG (EUA) UND NETZSTUDIE

▪ Ausgangslage

- » Jordanien plant den Ausbau der EE und die Reduktion der fossil betriebenen Kraftwerke.
- » Der zunehmende Anteil EE (Wind- und Solar) ist eine Herausforderung für das jordanische Netz.

▪ Methodik:

- » In Jordanien gibt es keinen Strommarkt, zur Analyse der optimalen Anlagegröße eines PSW wurde daher eine Energienutzungsstudie (EUA) mit PLEXOS durchgeführt.
- » Mit DigSILENT PowerFactory wurde eine umfassende Netzanalyse durchgeführt.



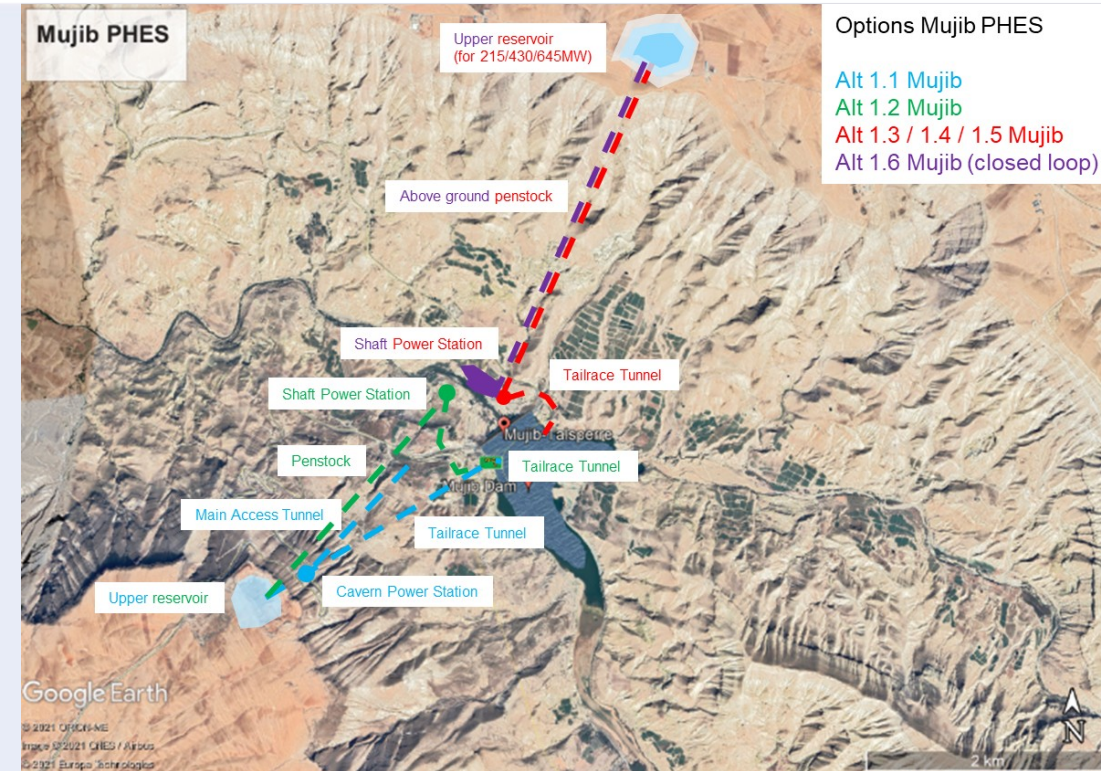
▪ Ergebnisse:

- » Laut EUA liegt die optimale mittelfristige Anlagengröße zwischen 225MW - 675MW und 6 – 12 Volllaststunden.
- » Für das Netz sind PHES von Vorteil, da es zu Primär- und Sekundärregelfähigkeit, Bereitstellung von Blindleistung und Schwarzstartfähigkeiten beiträgt.
- » Maschinen mit großer Trägheit (inertia) sind für das Netz ideal.

MUJIB PHES

ALTERNATIVENSTUDIE

- **Untersuchte Standorte**
 - » Mujib, Wadi Nukheila, King Talal, Wadi Al-Arab
- **Untersuchte Varianten**
 - » Ca. 40 verschiedene Konfigurationen mit Leistung zwischen 75MW und 675MW, und 6-18 Vollaststunden wurden untersucht und mit MCA bewertet
- **Ergebnisse:**
 - » Mujib mit 450MW und 7h Vollast ist Vorzugslösung.
 - » Nach intensiven Diskussionen über die Wasserverfügbarkeit wurde entschieden, ein PSW als „closed loop“ mit eigenem Unterbecken vorzusehen.



MUJIB PHES

BAUGRUNDUNTERSUCHUNG

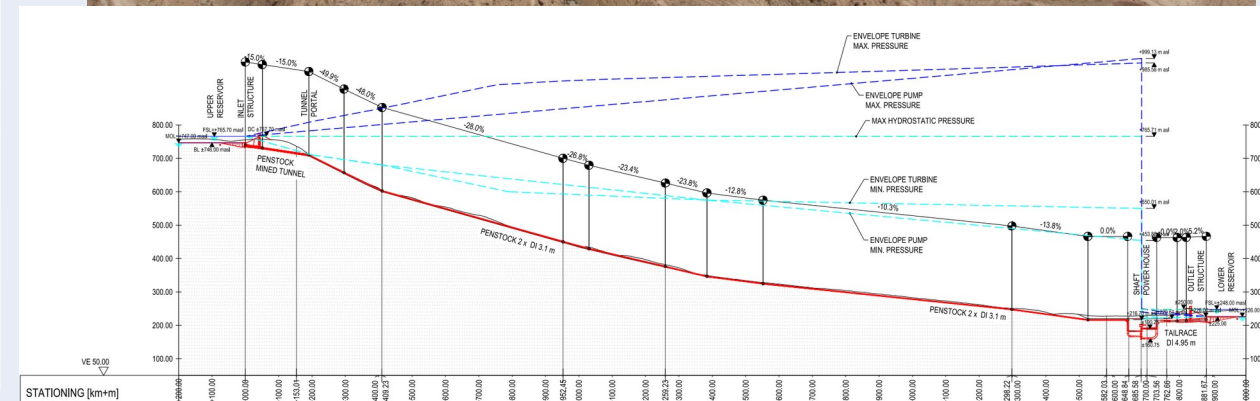
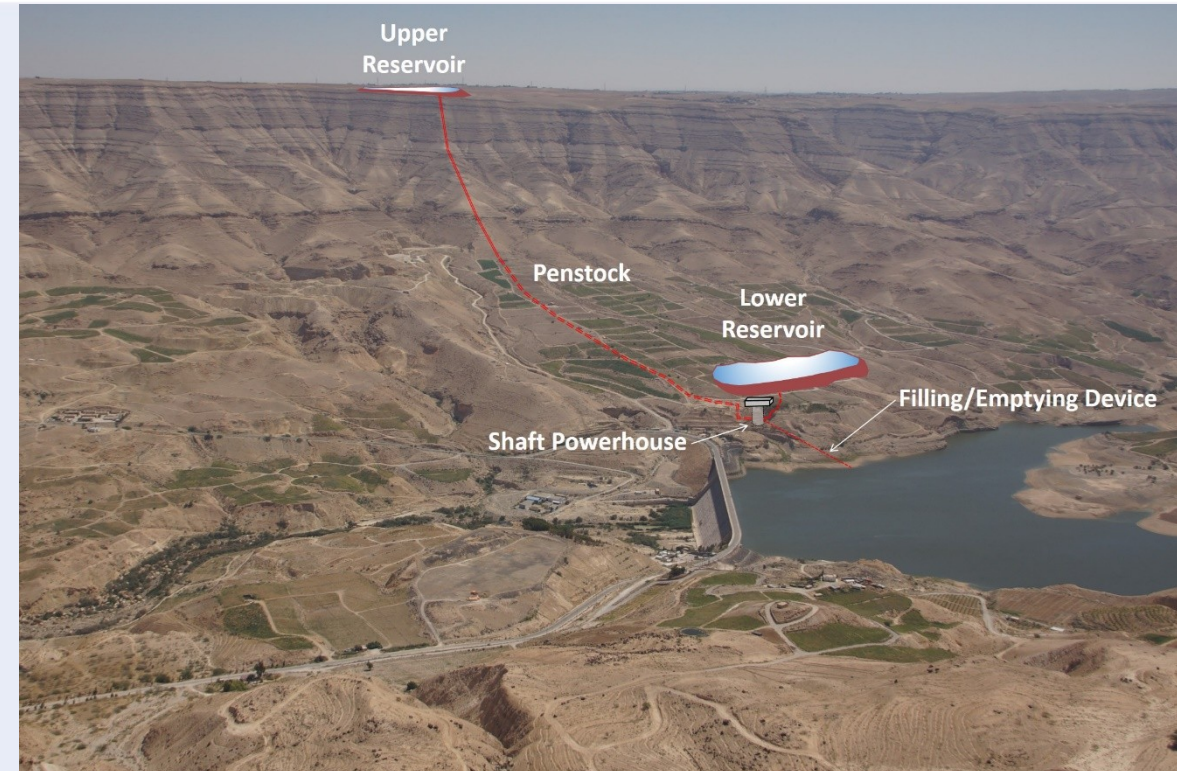
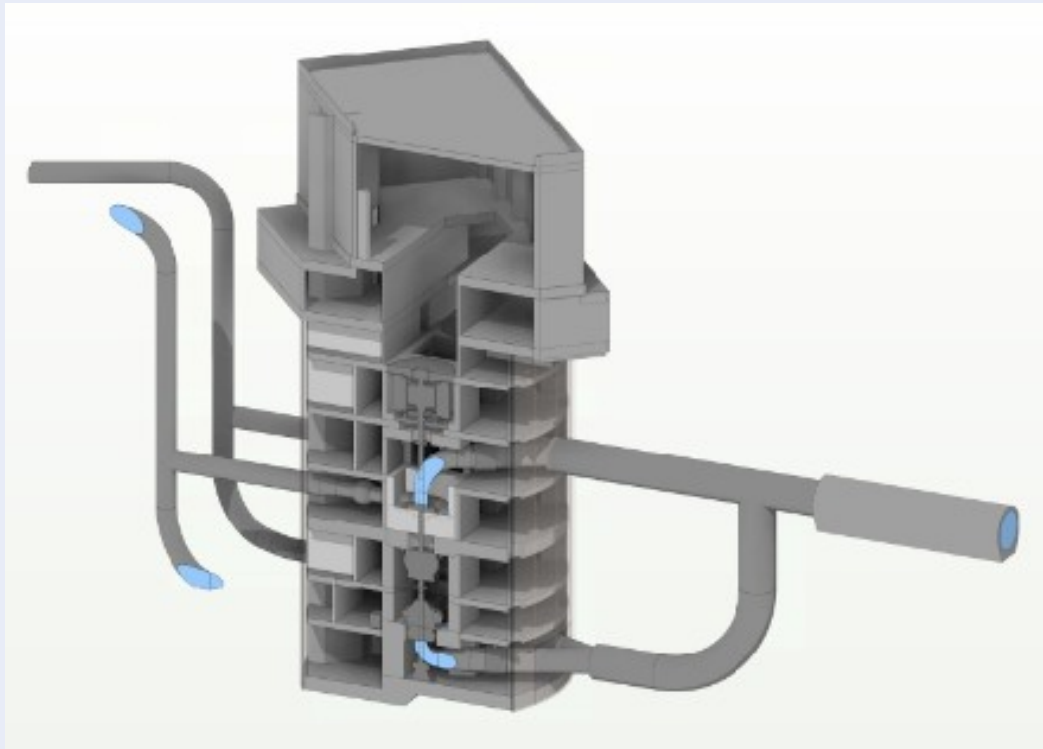
- Vor-Ort Begehung des Projektgebietes durch Geologen
- InSAR-Untersuchungen und Bohrungen mit Tests (in-situ + Labor):
 - » zeigten ungünstige geologische und hydrogeologische Bedingungen des ursprünglichen Beckenstandorts stromabwärts des Mujib-Staudamms.
 - » bestätigten machbare Verhältnisse für das Gebiet des neuen Unterbeckens oberhalb des Mujib Dammes sowie für die anderen Teile des Projekts



MUJIB PHES

KONZEPT:

- 2 neue Becken mit je 2.6 mcm Nutzininhalt
- 2 DRL DI 3.1m
- Schachtkraftwerk, mit 2 ternären Sätzen



MUJIB PHES

BESONDERHEITEN FÜR DIE PLANUNG

- Die Zusammenarbeit mit GIZ als Hauptkunden war äußerst konstruktiv und angenehm.
- Die Zusammenarbeit mit den staatlichen Betrieben (NEPCO, JVA, WAJ, MoF, MoW) war herausfordernd.
 - »Es gibt viele Interessenskonflikte innerhalb der beteiligten Institutionen.
 - »Die Entscheidungsfindung ist sehr träge.
 - »Die Entscheidungen sind nicht immer nachvollziehbar, und mehr politisch als technisch motiviert.
- Zur Koordination der vielen Beteiligten war ein hoher Vor-Ort –Einsatz notwendig.

KONTAKT



ILF Consulting Engineers
Reinhard Fritzer@ilf.com
T +43 699 1453 0050

WWW.ILF.COM

