

GENERALERNEUERUNG VERMUNTWERK REDUKTION VON 5 AUF 2 MASCHINEN

**Praktikerkonferenz Wasserkraft
Graz, 14. und 15. September 2021**

Dr. Alexander Rocks



Gliederung

- (1) Vorstellung Vermuntwerk und angrenzende Anlagen
- (2) Ausgangslage für das Projekt
- (3) Mögliche Maschinenkonzepte
- (4) Diskussion zu Strahlablenkern
- (5) Generator – Auslegung bzgl. Netzanschlussbedingungen
- (6) Zeitplan
- (7) Zusammenfassung und Schlussfolgerung

(1) Vorstellung Vermuntwerk

Außenansicht



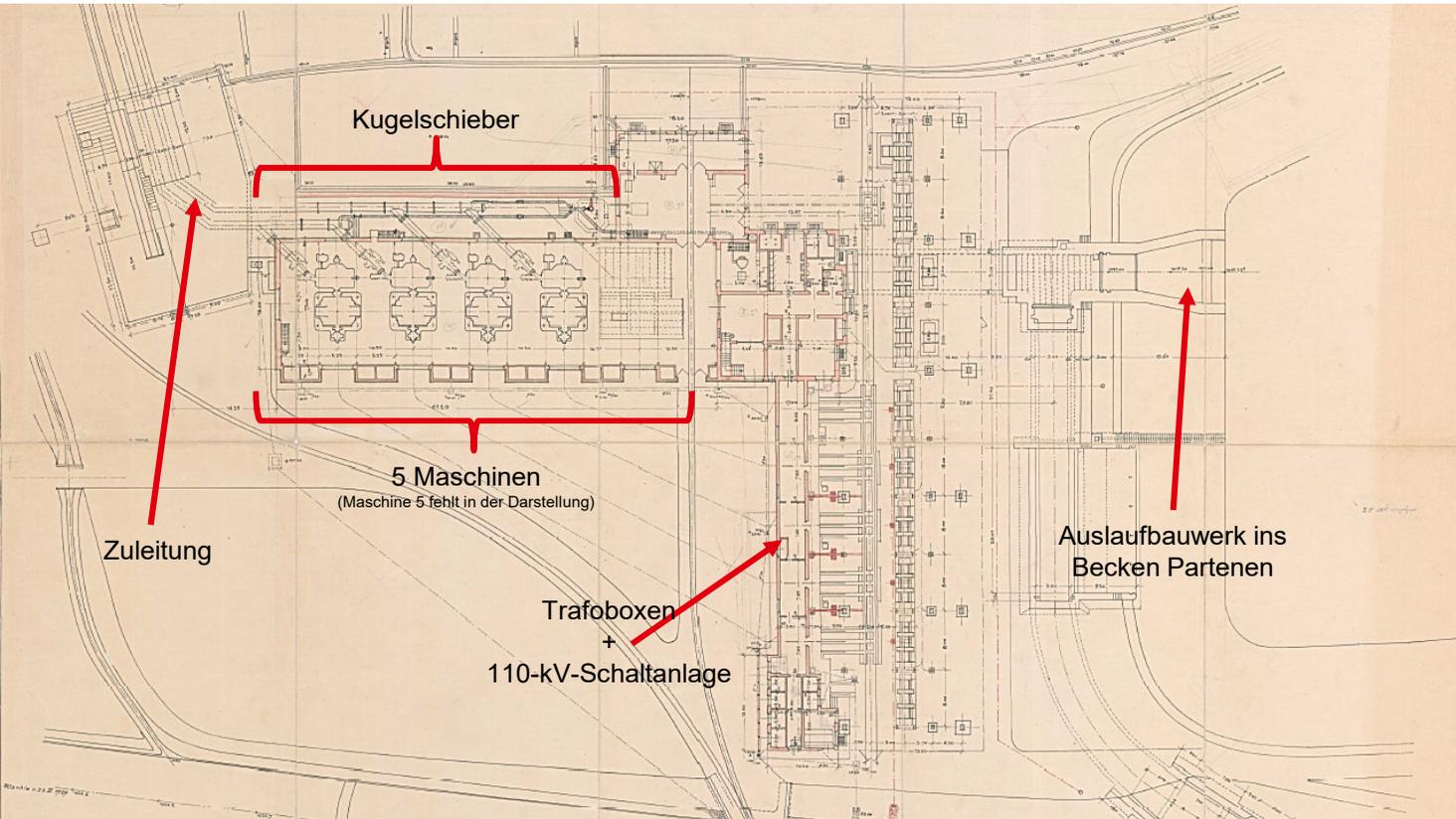
(1) Vorstellung Vermuntwerk

Blick ins Krafthaus



(1) Vorstellung Vermuntwerk

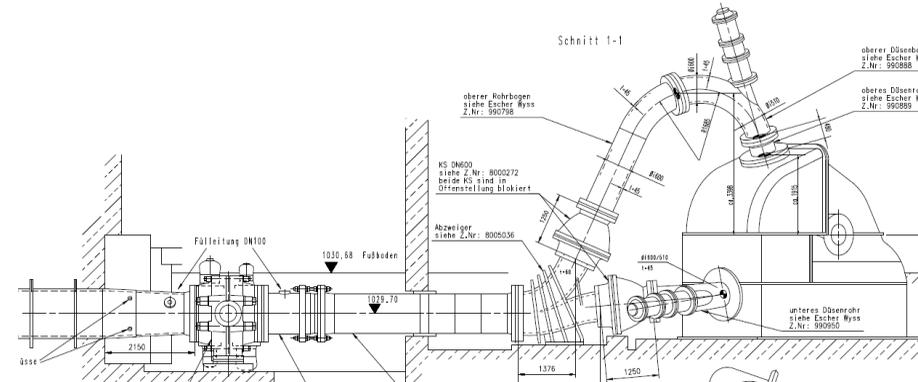
Grundrissplan



(1) Vorstellung Vermuntwerk

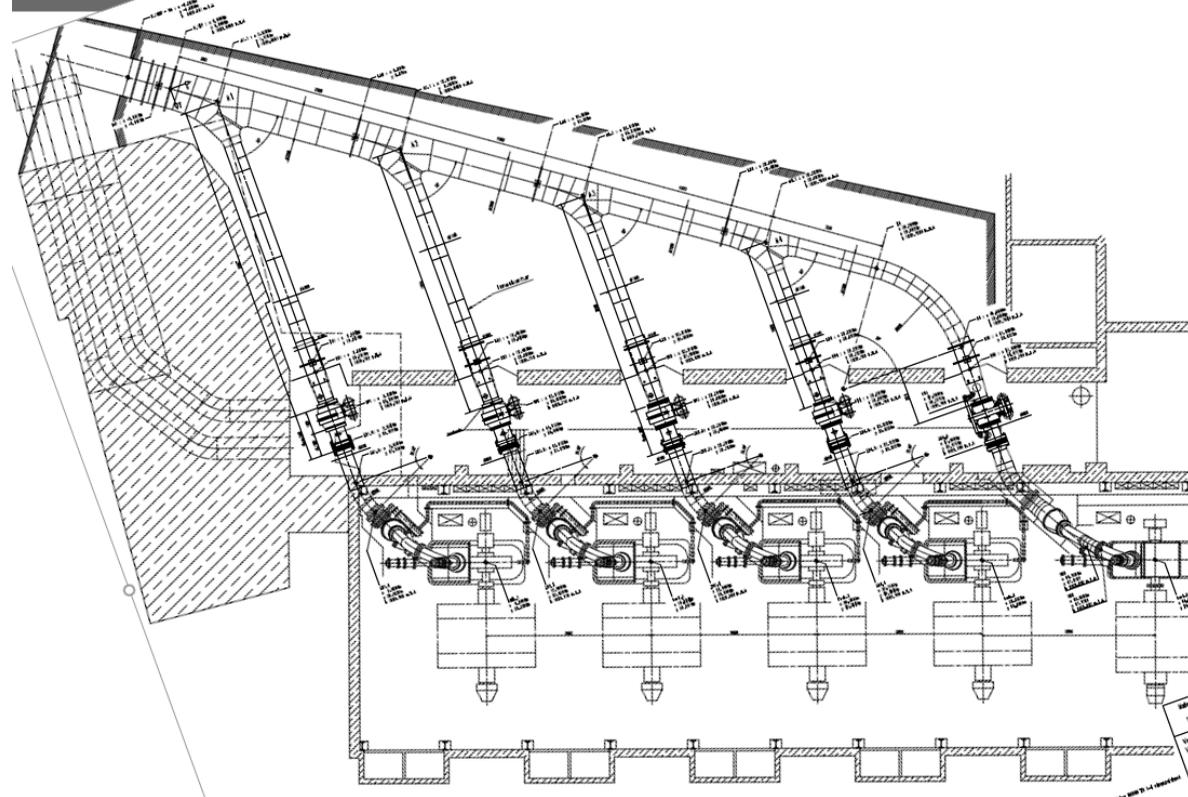
Aktuelles Anlagenkonzept

- **5 Maschinensätze**
 2-düsige Pelton turbinen und Generator, horizontal
 12-polig, 500 U/min
 2 x 30 MW; 30 MVA
 2 x 33 MW; 33 MVA
 1 x 37 MW; 39 MVA
 Summe Einzelmaschinen 165 MW
 Summe Kraftwerksleistung 157 MW
- Jahresarbeitsvermögen ca. 270 GWh
- Kraftwerksleistung ist begrenzt durch den Unterwasserkanal und durch das Wasserschloss
- Aktuell Leistungsbeschränkung
 - (Durchflussbegrenzung) bei hohen Pegelständen im Becken Partenen (Unterwasserkanal)
 - bei niedrigen Pegelständen (ab 1737müAP) im Speicher Vermunt (Leersaugen Wasserschloss).



(1) Vorstellung Vermuntwerk

Grundriss Maschinenhalle mit Maschinen und Verteilrohrleitung



(2) Ausgangslage

Wasserrechtliche Wiederverleihung, Anlagenzustand, GÜ-Serie

- Wasserrechtliche Wiederverleihung, Bescheid im Haus
- Herstellung Stand der Technik im gesamten Krafthaus und an den umliegenden Anlagenteilen (Speicher, Oberwasserführung, Unterwasserführung)
- Viele Anlagenteile sind in die Jahre gekommen; u.a.
 - Leittechnik
 - Generatoren, Transformatoren
 - Turbinenlaufräder, -zuläufe und –gehäuse
- Sedimentansammlung im Speicher Vermunt
Ausbringen der sich jährlich zusätzlich absetzenden Sedimente
„Einmalaktion“ mit mehreren Zehntausend Kubikmetern
In weiterer Folge: Erhaltung des Status Quo

→ Umfangreiche Arbeiten im Anlagenbereich Vermuntwerk inkl. Speicher bis 2026

(3) Mögliche Maschinenkonzepte

Vorstellung der Möglichkeiten

Grundsätzliches

- Randbedingung: $Q_{\text{ges}} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$ ist gesetzt!
- Leistungserhöhung durch Wirkungsgradsteigerung
aktuelle Werte:
 $\eta_{\text{Turbinen}} \approx 88 \%$
 $\eta_{\text{Generatoren}} \approx 98 \%$
 $\eta_{\text{Transformatoren}} \approx 97 \%$ (geschätzt)

Vertikale Maschinensätze

- Baulich im Bestand sehr aufwändig
- Verlust von Fallhöhe
- Im Prinzip kompletter Neubau
- Wirtschaftlich sehr schwer darstellbar
- Dieser Ansatz wurde nicht weiter verfolgt.

Neue Maschinensätze mit Pumpfunktion

- Wirtschaftlich aufgrund des Volumens vom Unterwasser-Becken uninteressant

Horizontale Maschinensätze

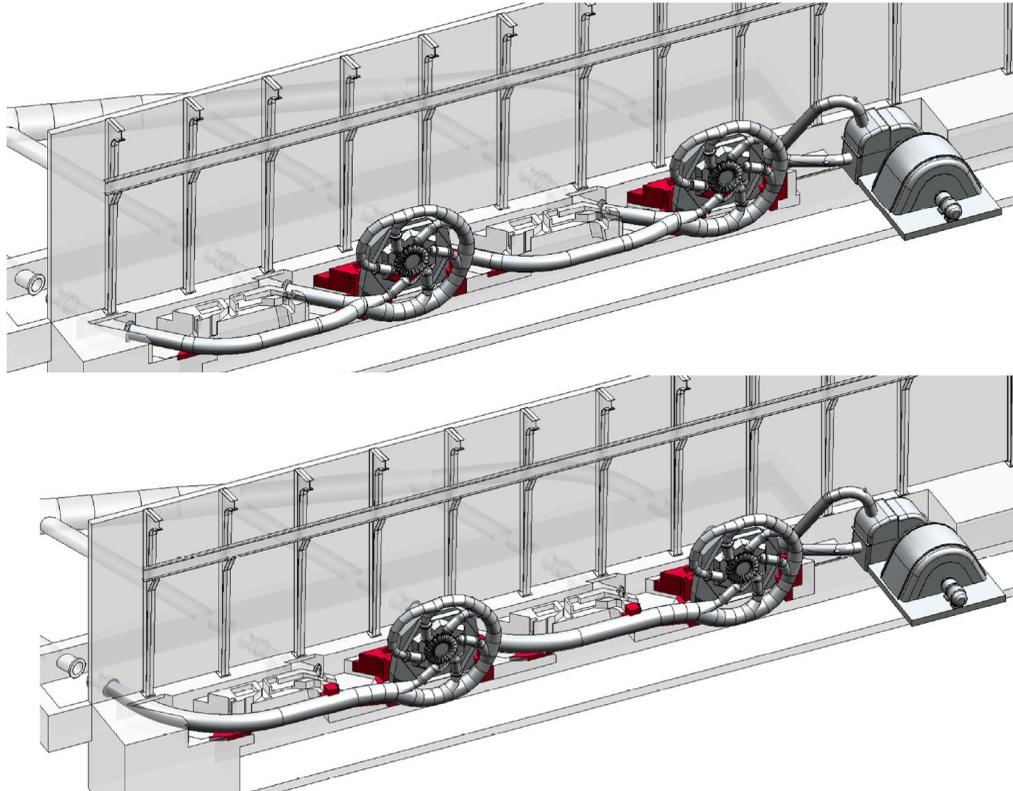
- Baulich gut umsetzbar wegen der Erhaltung der Bestandskonzeption
- 5 Maschinen mit Summenleistung $\sim 160 \text{ MW}$
 → Hoher Wartungsaufwand
 → Wenig bauliche Adaptionen nötig
- Reduktion der Maschinen auf 1 bis 4 Units mit Summenleistung $\sim 160 \text{ MW}$
 → Weniger Wartungsaufwand
 → Zuleitungen „passen“ nicht mehr (5 Zuleitungen auf 1 bis 4 Maschinen)
 → Flexibilität in der Vermarktung wird kleiner
 → Variante mit 1 Unit wurde aufgrund der Schwarz-Start-Aufgaben ausgeschieden
 → Doppelpelton aufgrund von Platz nicht möglich

→ Wie können mit einem Laufrad in horizontaler Lage Leistungen $> 50 \text{ MW}$ erreicht werden?

→ Konzept der „viel-düsigen horizontalen Peltonturbine“

(3) Mögliche Maschinenkonzepte

3-Maschinen-Konzept

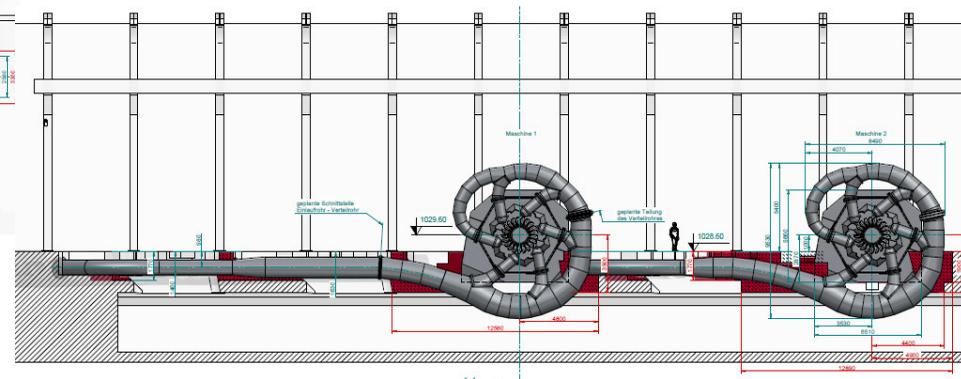
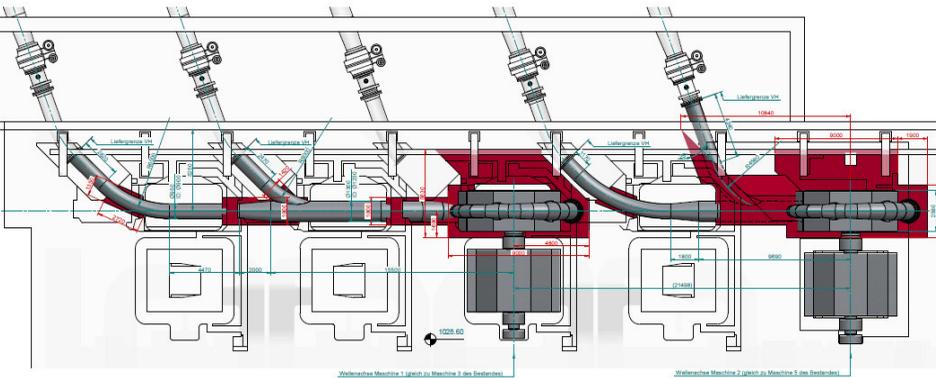
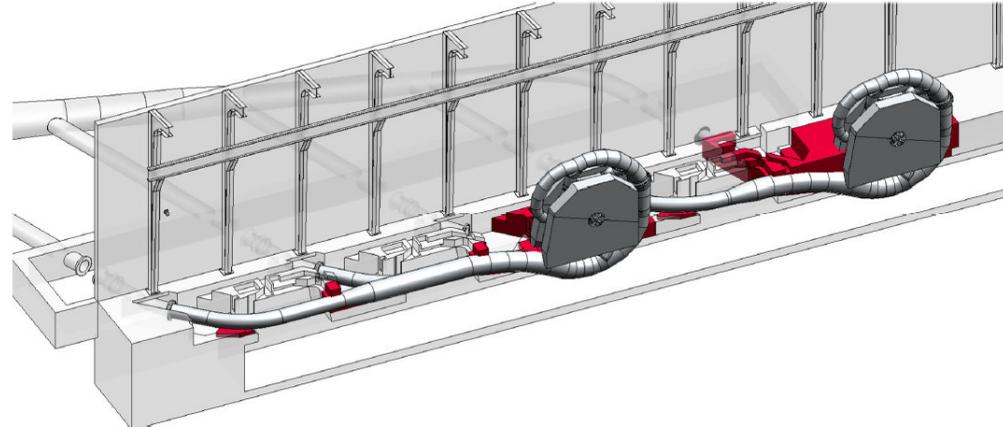


- Maschine 5 (37 MW) bleibt bestehen
Maschine ist aufgrund des Baujahres noch zuverlässig betreibbar
- 2 neue Maschinen mit jeweils ca. 63 MW
6-düsige horizontale Peltonturbinen
- Unterschiedliche Zulaufvarianten
 - 1 Zulauf je Maschine
 - höhere Rohrverluste
 - höherer Durchfluss je Kugelschieber
 - langer gerader Zulauf, weniger Kavitationsrisiko
 - 2 Zuläufe je Maschine
 - geringere Rohrverluste (ca. Faktor 2)
 - Kugelschieber können weiterverwendet werden
 - ungünstigere Anströmung

(3) Mögliche Maschinenkonzepte

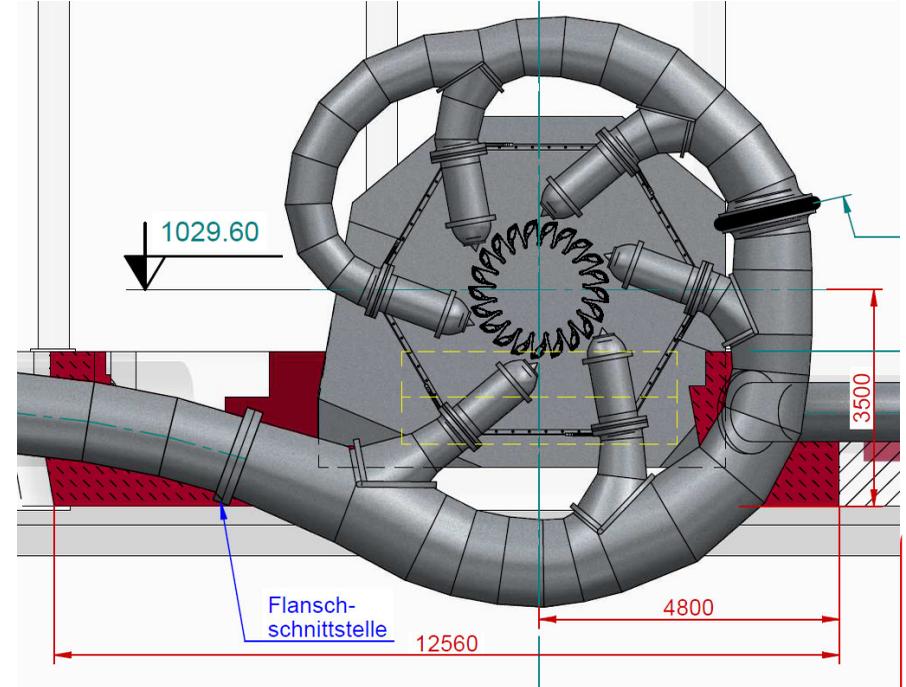
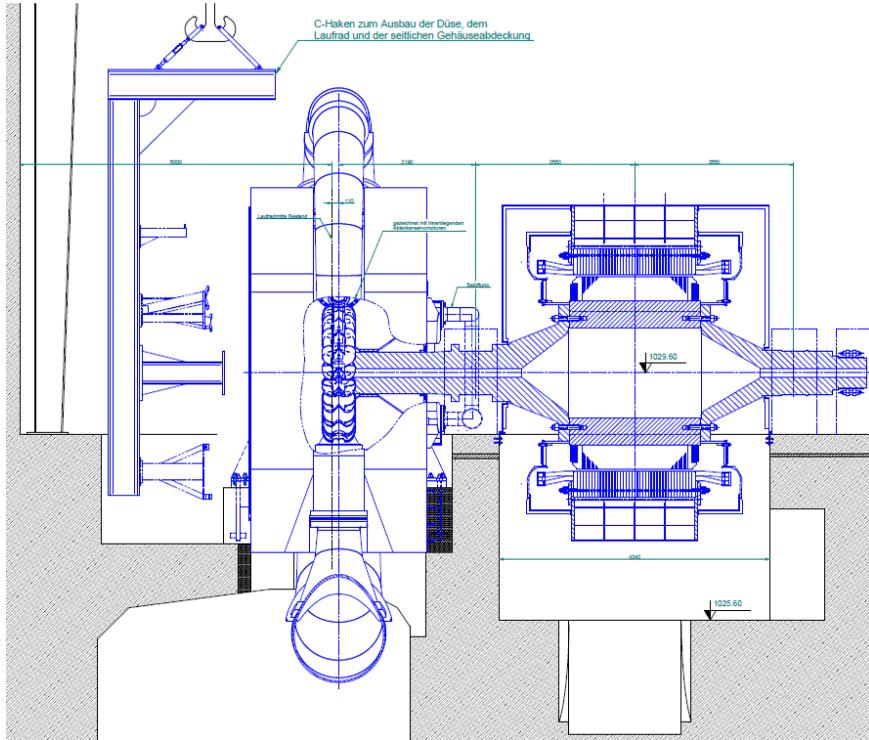
2-Maschinen-Konzept

- 2 Maschinen an den Stellen M3 und M5 mit jeweils ca. 80 MW, 100 MVA
- Zuläufe von Maschine 1 und 2 werden auf Maschine 3 zusammengelegt
- Zuläufe von Maschine 4 und 5 werden auf Maschine 5 zusammengelegt
- Zulauf von Maschine 3 wird per Blindstopfen stillgelegt



(3) Mögliche Maschinenkonzepte

Detailansicht Maschine



(3) Mögliche Maschinenkonzepte

Wirtschaftlicher Vergleich

	Variante 5 Maschinen	Varianten 3 Maschinen	Variante 2 Maschinen
Turbine inkl Modellversuch	M1, M2, M3, M4, M5 reduziert	M1, M2, M5 reduziert	M1, M2
Kugelschieber	M5	-	-
Generator	M1, M2, M5, Rotoren M3+M4	M1, M2, M5	M1, M2
Generatoreableitung	M1 bis M5	M1, M2, M5	M1, M2
Transformatoren	M4, M5	M1, M2, M5	M1, M2
110-kV-Schaltanlage	Adaption an 8 Feldern	Adaption an 6 Feldern	Adaption an 5 Feldern
Leittechnik, Schutz, Schwingungsüberwachung	M1 bis M5	M1, M2, M5	M1, M2
Arbeiten ab 2035	2 Statoren, 3 Trafos	-	-
Summe Anlagenkosten	100 %	80 %	71 %
Energiewirtschaftliche Vor- und Nachteile, Wirkungsgrade, Sperrzeiten Betriebs- und Wartungskosten, Erneuerungskosten Nutzungsdauer 50 Jahre	100 %	70 %	46 %

(3) Mögliche Maschinenkonzepte

Entscheidung

- Zur Ausführung kommt die Variante mit 2 Maschinen und 2 Zuleitungen je Maschine.
- Das Kavitationsrisiko bei 2 Zuleitungen wird als beherrschbar angesehen.
- Die Wirkungsgradvorteile und der nicht notwendige Kugelschiebertausch geben den Ausschlag für die Lösung mit 2 Zuleitungen.
- Die generellen wirtschaftlichen Vorteile geben den Ausschlag für die 2 Maschinen-Variante.
- Erhöhung des Regelarbeitsvermögen um ca. 12 GWh pro Jahr

(4) Diskussion zu Strahlablekern

Besondere Versorgungsaufgaben des Vermuntwerks

- Bei Ausfall der 110-kV-Einspeisung versorgt das Vermuntwerk das innere Montafon sowie Teile des Paznauntals
- Das Vermuntwerk spielt beim Netzwiederaufbau von Vorarlberg eine entscheidende Rolle



Quelle: www.tagesspiegel.de/politik/deutschland-ohne-strom-der-grosse-blackout/11173270.html

(4) Diskussion zu Strahlablenkern

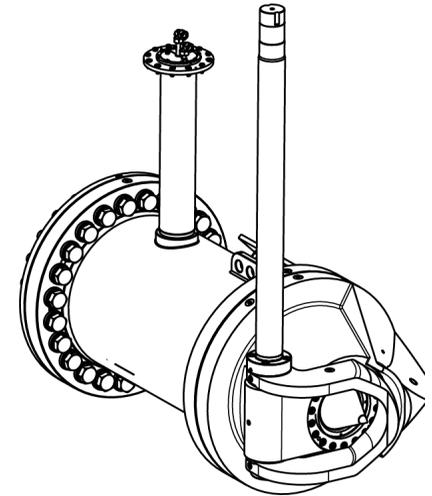
Wirtschaftlicher Vergleich

Problem bei abruptem Leistungsabfall:

- Maschine geht in Überdrehzahl
- Schließen der Düse mittels Düsennadel dauert einige Sekunden
→ Beschleunigung kann nicht verhindert werden
- Auslaufen der Maschine aus der Überdrehzahl bis zur synchronen Drehzahl dauert einige Minuten

Lösung bei Peltonturbinen

- Ein Strahlablenker entnimmt dem Laufrad unmittelbar nach dem Leistungsabfall an der Welle die zugeführte Energie
- Überdrehzahl wird begrenzt auf beispielsweise 52 Hz bis 55 Hz

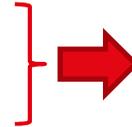


(4) Diskussion zu Strahlablenkern

Verschiedene Betriebsszenarien

„Normalbetrieb“ mit Leistungsvorgabe

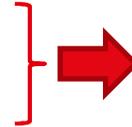
- Netzfrequenz beträgt 50 Hz, Turbinenregler stellt die vorgegebene Leistung ein



Strahlablenker hat keine Funktion und bringt keine Vorteile

Frequenzbetrieb

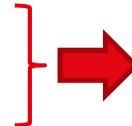
- Wird bei schnellen Frequenzänderungen aktiviert, Turbinenregler regelt die Maschine auf die vorgegebene Frequenz



Strahlablenker könnte bei starken Frequenzsprüngen ein „Davonlaufen“ der Maschine verhindern

Schutzauslösung (nicht Maschinenschutz)

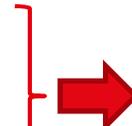
- Maschine geht in Frequenzregelung
- Welle wird leistungsmäßig entlastet



Strahlablenker verhindert eine lange Überdrehzahlfahrt
→ Maschine bleibt einsatzbereit

Ferner Leistungsschalterfall

- Maschine wird in Frequenzbetrieb gehen
- Sofern möglich, hält die Maschine die sich einstellende Insel am Leben
- Lastsprünge in der Insel führen zu Frequenzänderungen



Je nach Abweichung zwischen Last und Erzeugung in der Insel geht die Maschine in Über- oder Unterdrehzahl
→ Strahlablenker verhindert die Überdrehzahlfahrt
→ Lastsprünge „nach unten“ werden durch den Strahlablenker abgefedert

Maschinen werden mit Strahlablenkern ausgeführt!

(5) Generator

Auslegung bzgl. Netzanschlussbedingungen

- Netzanschluss auf 220-kV-Ebene
- Anzuwenden sind die *TAR Höchstspannung, VDE-Verlag, 2018*
- Netzanschlussbedingungen sind von einem Generator im Alleinbetrieb bei Nennwirkleistung zu erbringen
- Anwendung findet Variante 1

Quelle: TAR Höchstspannung, VDE 4130, VDE-Verlag Frankfurt Main, 2018

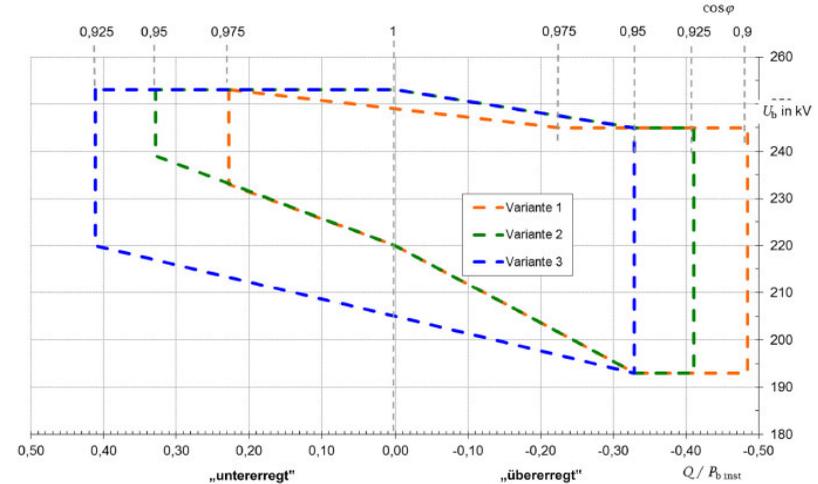
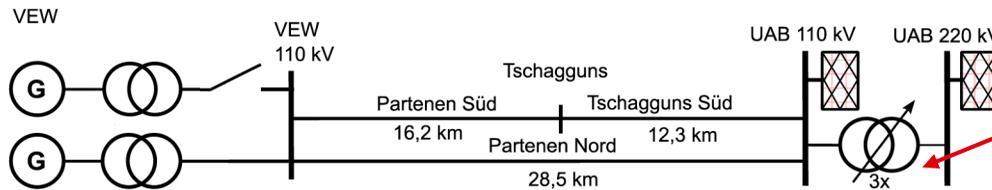


Bild 5 – Varianten der Anforderungen an Erzeugungsanlagen an die Blindleistungsbereitstellung am Netzanschlusspunkt für die 220-kV- und 380-kV-Ebene

Angewendetes Netzmodell für die Simulationen



- 110/220-kV-Trafos mit Stufenstellern
- Spannung auf 110-kV-Ebene wurde konstant zu 114,5 kV angenommen

(5) Generator

Auslegung bzgl. Netzanschlussbedingungen

Konsequenzen für die Generatorauslegung gemäß Simulation

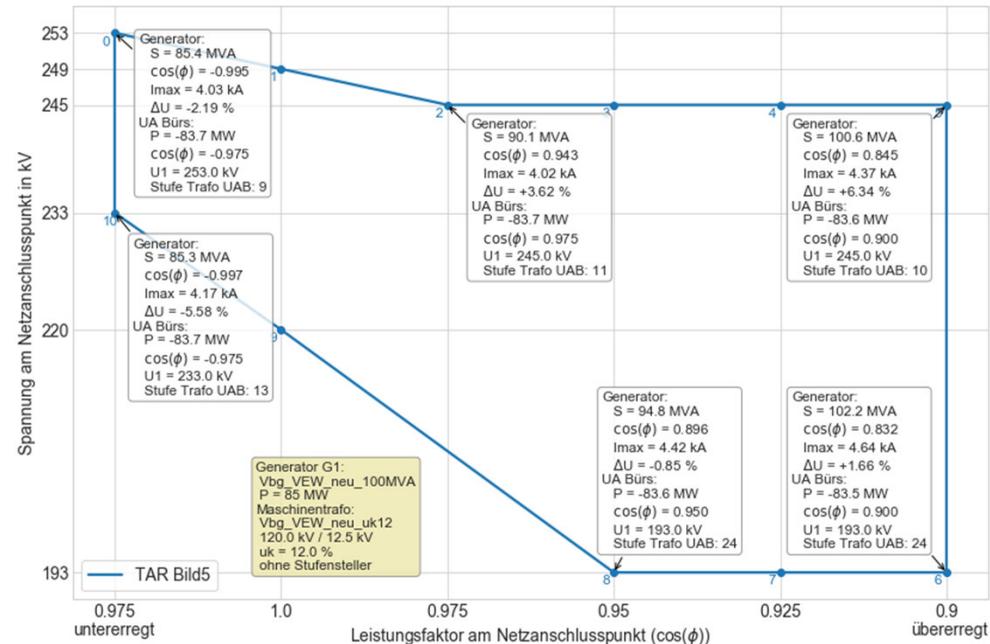
- $S_{\text{generator}} = 102,2 \text{ MVA}$
 $\cos \phi = -0,975 \dots 0,832$
 $\Delta U = (-5,58 \% \dots 6,34 \%) \cdot U_N$

Tatsächliche Auslegung

- Nenn-Scheinleistung: $S_N = 100 \text{ MVA}$ in **Wärmeklasse B**
- Wirkleistung $P = 85 \text{ MW}$
- $\cos \phi = 0,85$ übererregt...untererregt
- Spannungsbereich: $U_{N,\text{gen}} \pm 8\%$
- Bemessungsbetriebspunkt in Wärmeklasse B**
- Scheinleistung: $S_r = 105 \text{ MVA}$
- Wirkleistung $P = 85 \text{ MW}$
- $\cos \phi = 0,8$ übererregt...untererregt
- Spannungsbereich: $U_{N,\text{gen}} \pm 8\%$
- Bemessungsscheinleistung $S_r = 105 \text{ MVA}$ in Wärmeklasse F**
- Wirkleistung $P = 85 \text{ MW}$
- $\cos \phi = 0,8$ übererregt...untererregt
- Spannungsbereich: $U_{N,\text{gen}} \pm 8\%$

TAR Bild 5 Variante 1

EPT/ber
2021-01-05



(6) Zeitplan

Highlights und Meilensteine

Q4 2020: Genehmigung Budget für die Gesamtmaßnahme bis 2026

Q1 2021:

Q2 2021: Einreichung Behördenverfahren für Speicher Vermunt und Krafthaus

Q3 2021

Q4 2021: Vergabe Maschinensätze

Q1 2022: Abschluss Behördenverfahren

Q2 2022:

Q3 2022: Ergebnis Modellversuch Maschinensätze

Q4 2022

Q1 2023 Detailengineering Krafthaus,
Speicher, restliche Anlagenteile

Q2 2023 Detailplanung, Ausschreibung,

Q3 2023 Vergabe Maßnahmen Krafthaus,

Q4 2023 Speicher restliche Anlagenteile

Q1 2024

Q2 2024

Q3 2024: **Juli Werksperre Vermuntwerk mit Speicherabsenkung**, Beginn Demontage Maschinen, Maßnahmen im Speicher

Q4 2024: Dezember Speicher VEW wieder befüllt

Q1 2025: Inbetriebsetzung M2 neu, **Probetrieb M2 neu**

Q2 2025

Q3 2025: Inbetriebsetzung M1 neu, **Probetrieb M1 neu**

Q4 2025: **Alle Bescheidaufgaben für die wasserrechtliche Wiederverleihung Vermuntwerk erfüllt**

(7) Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Entscheidung

- ☺ Heute werden Anlagen anders gebaut als 1920 ☺
 - Reduktion der Maschinenanzahl aus wirtschaftlichen Gründen
 - Neben Investitionskosten haben auch die Betriebs- und Wartungskosten einen großen Anteil am Kostenvorteil weniger größerer Einheiten
 - Energiewirtschaftlicher Nachteil in Folge geringerer Flexibilität mit größeren Einheiten wird aufgehoben durch Kostenvorteil
- Mehrdüsig horizontale Pelton turbine ist ein innovatives und gleichzeitig vielversprechendes Konzept für Refurbishment
 - Wirkungsgrade sind keine Einschränkung ggü. anderen Konzepten
 - Bestandskonzeption kann erhalten bleiben
 - Konzept kann auch im Neubau interessant sein
 - Gute Erreichbarkeit der Komponenten für Wartungszwecke
 - Gleichzeitige Montage der Komponenten im Neubau möglich
 - Höhe des Krafthauses gering verglichen mit vertikalen Units
- Strahlableiter
 - zur Beherrschung von Lastsprüngen im Inselbetrieb unverzichtbar
- Generatorauslegung
 - Bemessung in verschiedenen Wärmeklassen bietet Flexibilität in der Auslegung und spart Geld (und Platz)
 - Auslegung erfolgt mit Leistungsreserven für die Zukunft



Faszinierend. Sicher. Voller Energie.

Geschäftsfeld Wasserkraft