

voith.com

VOITH

HP3+ Mehrdüsig Horizontale Pelton Turbine

Praktikerkonferenz 2023 – Graz - 2023-09-12



HP3+ - Mehrdüsig Horizontale Pelton Turbine

VOITH

Inhalt

1. Motivation
2. Entwicklungsgeschichte
3. Gerlos
4. Schlussfolgerungen



Krafthäuser mit horizontalen Pelton Turbinen sind generell:

- *einfacher* in der Baustruktur und Installation als vertikale Krafthäuser
- *angenehmer* bezüglich Wartung, da in der Krafthausumgebung gearbeitet wird
- *geradliniger* in der Wartung da alle Arbeiten auf einem Stockwerk stattfinden

Bis ca. 1950 wurde vorwiegend Krafthäuser mit horizontalen Turbinen aufgrund Ihrer Einfachheit gebaut.

Da horizontale Einheiten allerdings auf maximal 2-3 Düsen begrenzt waren, bauten diese größer als vertikale Maschinen die aufgrund der größeren Düsenanzahl höhere Drehzahlen ermöglichen.

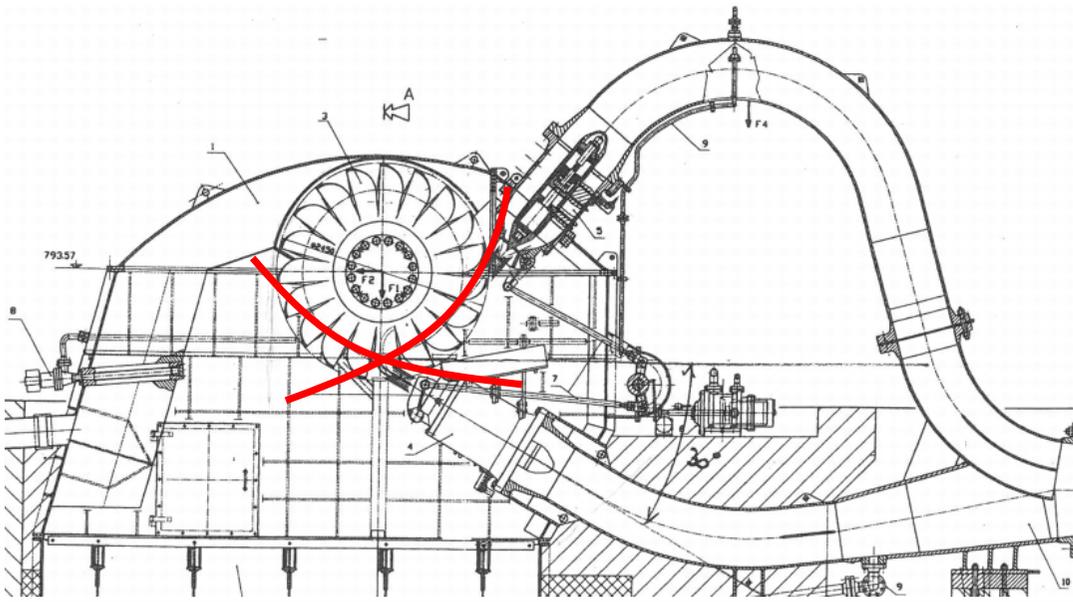
Ab 1950 lag der Fokus auf immer größeren Einheitsleistungen, die eine Fixierung des Stators in der Gebäudestruktur verlangte. Diese Tendenz begünstigte die vertikale Anordnung mit eingebettetem Stator.

→ **Ziel: Kombination der Vorteile von horizontaler Krafthausstruktur und höherer Leistungsdichte.**

Entwicklungsgeschichte

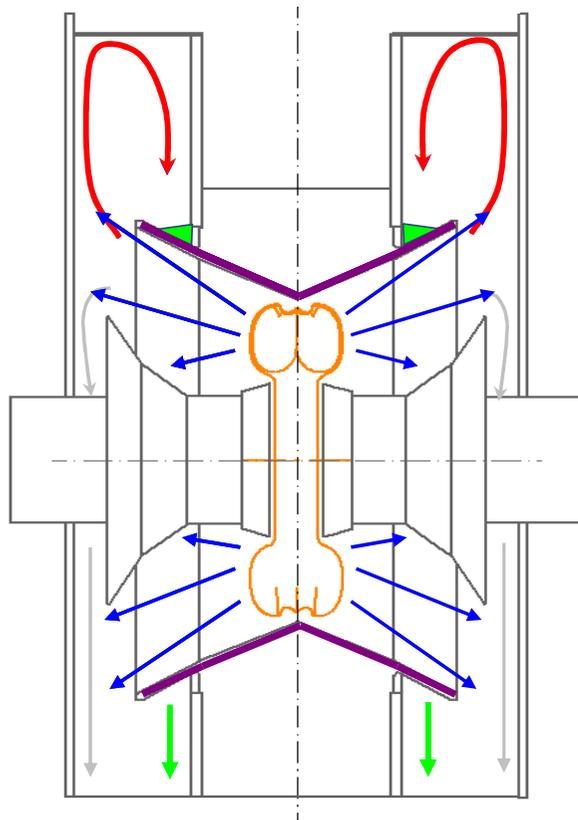
Grundproblem

Zu beiden Seiten des Laufrades muss das aus den Becher austretende Wasser so geführt werden, dass ein Rückspritzen auf das Laufrad verhindert wird. Bei konventionellen 2 düsigen Maschinen findet die Entwässerung in unkritischen Bereichen bezüglich Rückströmung statt.



Entwicklungsgeschichte

Grundidee



Die Grundidee der HP3+ Entwicklung verhindert die Rückströmung auf das Laufrad durch einen konischen oder polygonalen Führungsring (magenta) der integraler Bestandteil des Gehäuses ist.

Er dient auf der einen Seite als Führungsblech für das aus den Bechern austretende Wasser (blau).

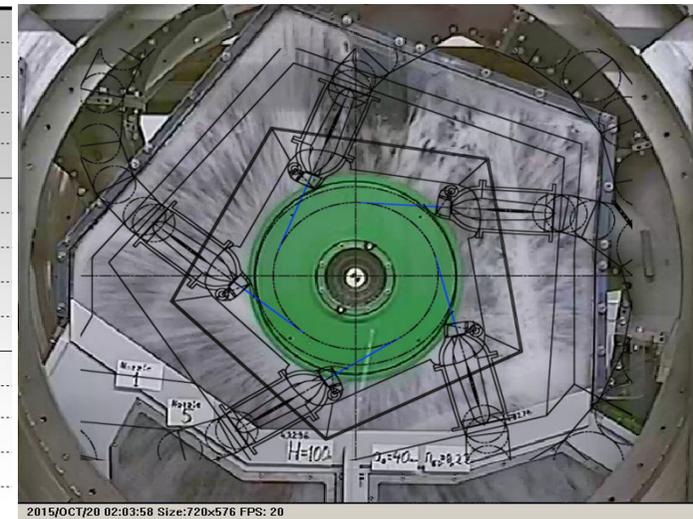
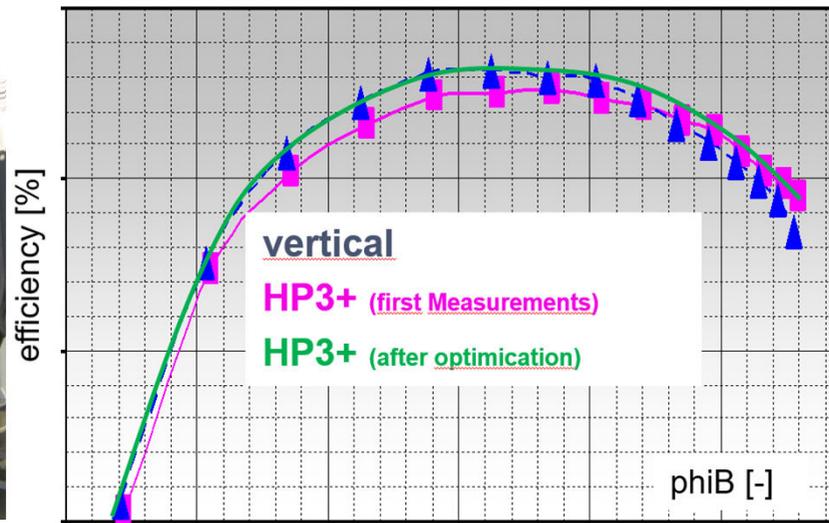
Zum anderen sammelt dieser Ring das an der Gehäuseaussenwand nach oben steigende Wasser (rot) oberhalb des Laufrades (grün) und leitet dieses um das Laufrad herum ab.

Verteilleitung, Düse und Laufrad sind im wesentlichen unverändert gegenüber bisherigen Ausführungen.

Entwicklungsgeschichte Modellversuche

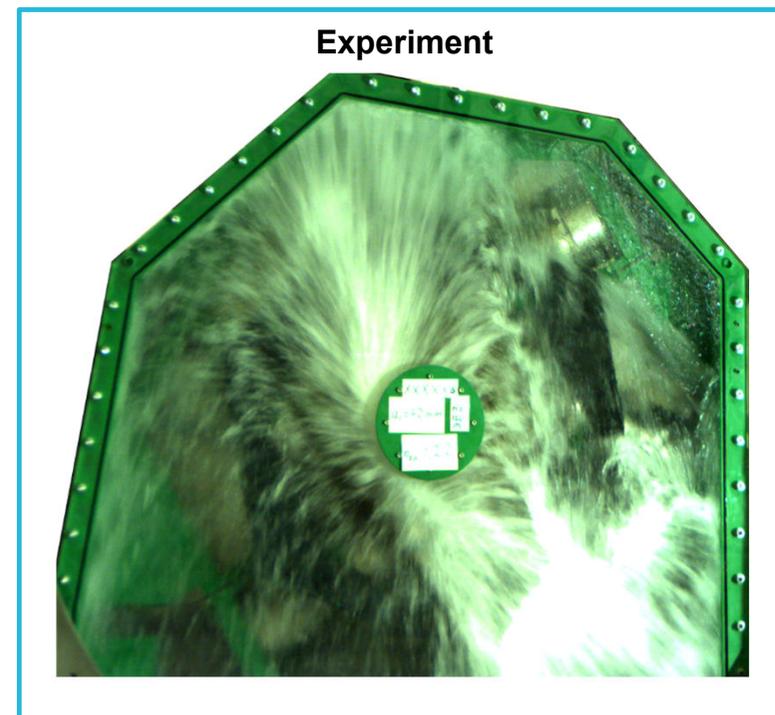
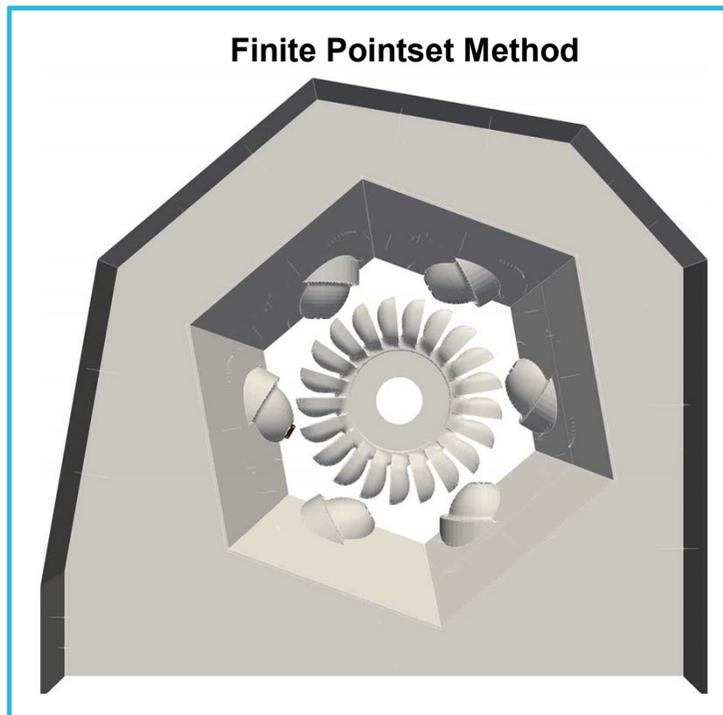
Die ersten vergleichenden Versuche zu diesem neuen Konzept wurden 2007 an der HTA Luzern und im Hydraulischen Labor von VOITH Hydro durchgeführt.

Dabei zeigten sich ähnliche Wirkungsgrade wie vertikale Maschinen mit gleichen Laufrad und druckführend Komponenten. Nach Optimierung konnte der Vollastbereich verbessert werden.



Entwicklungsgeschichte Strömungssimulation

Zur Unterstützung des Gehäuseentwurfs wurden numerische Strömungssimulationen eingesetzt.

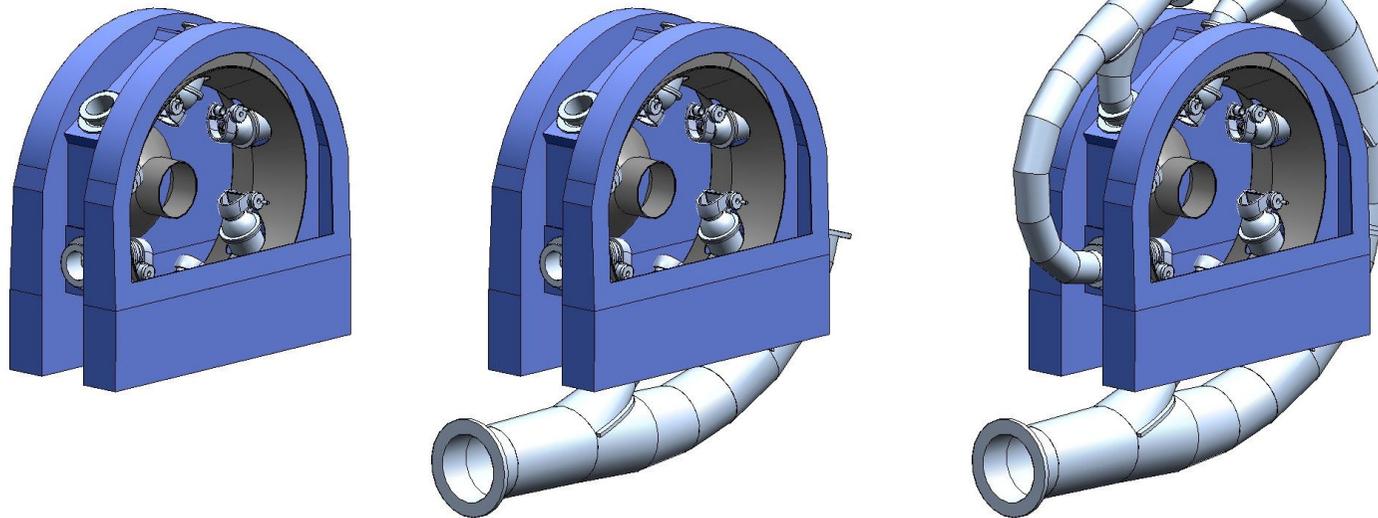


Entwicklungsgeschichte

Mechanische Konstruktion

Abhängig von der Größe der Turbine wurden unterschiedliche Konzepte für die mechanische Gestaltung entwickelt. Zentrale Fragestellung ist dabei das Montagekonzept für die Düsen.

Bei kleinen Anlagen können diese von aussen montiert werden, große Maschinen hingegen erlauben die Einbringung über das Gehäuse.



Gerlos Originalbestand

VOITH



$Q = 3,75 \text{ m}^3/\text{s}$

$n = 600 \text{ rpm}$

$P = 18,75 \text{ MW}$

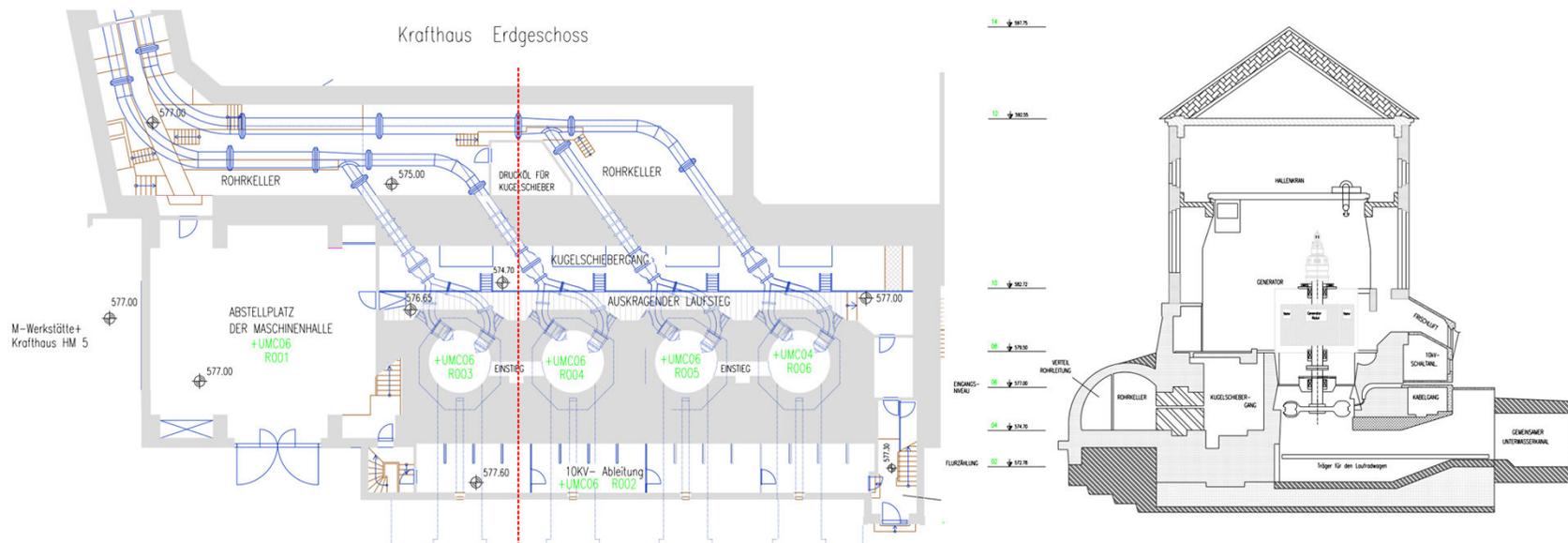
Jets: 2

$H = 575 - 644 \text{ m}$

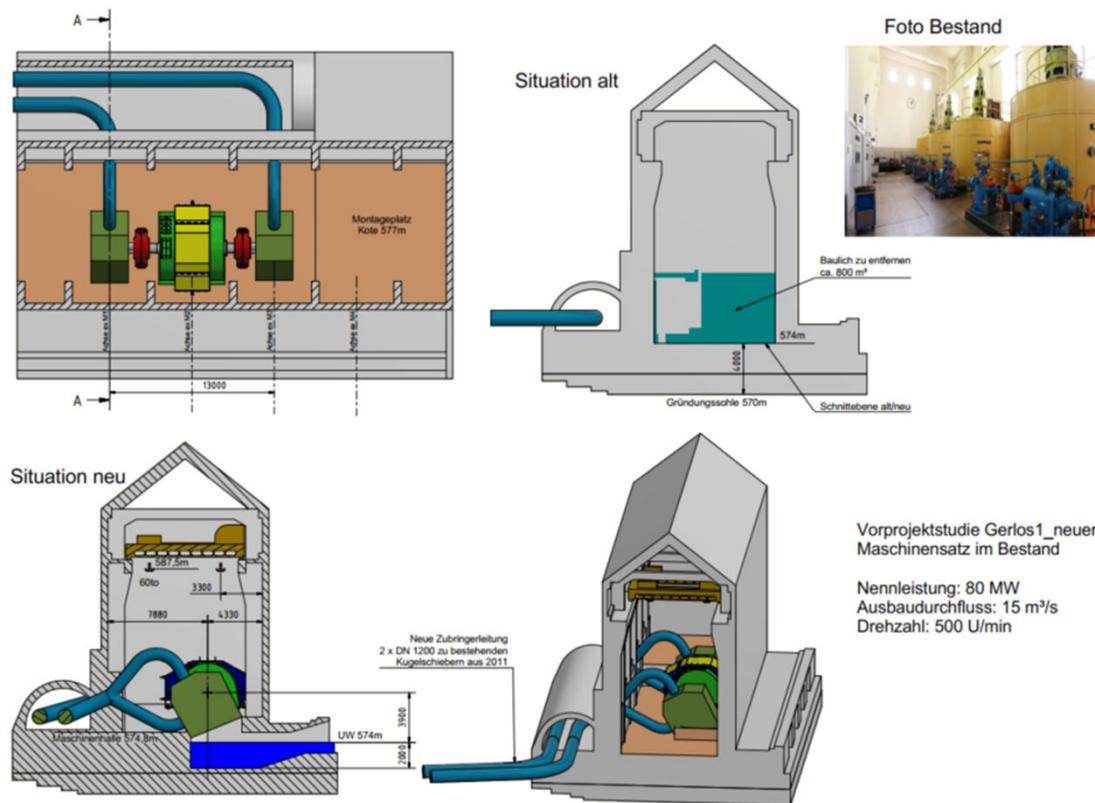
Units: 4

Gerlos Originalbestand

Die Originalturbinen waren 2 düsiger, vertikal, asymmetrisch angeströmt. Original Lieferant war VOITH St. Pölten. Jeweils 2 Turbinen wurden von einer Druckrohrleitung bedient. Der Grund für die Modernisierung war eine Leistungserhöhung und Maschinenzahlreduktion.



Gerlos Spezifikation für Modernisierung



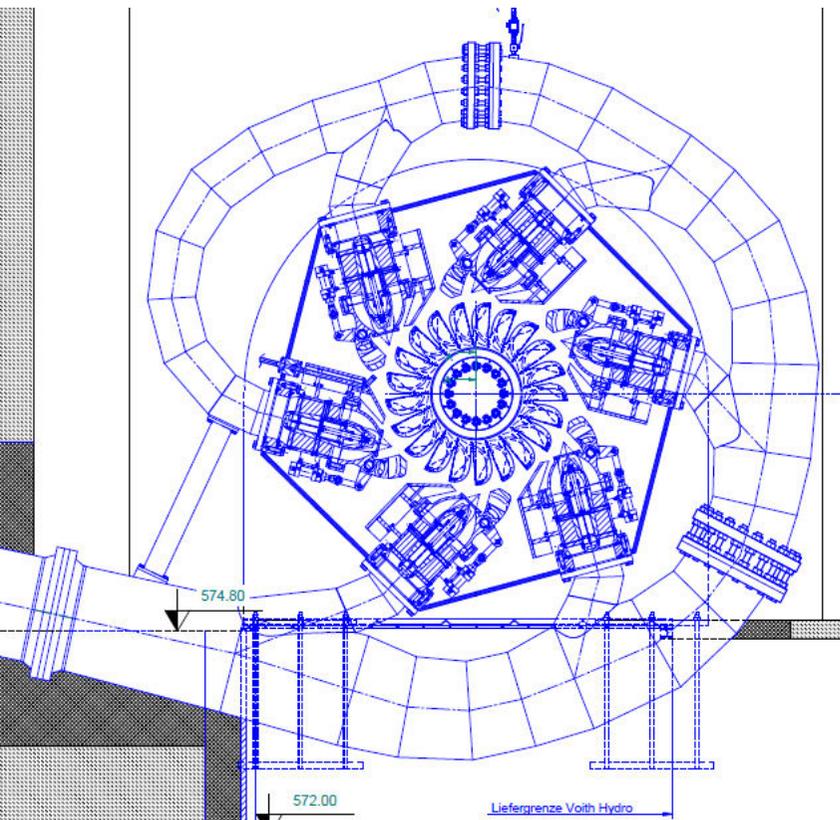
Ursprünglich war für die Modernisierung eine Zwillingsmaschine vorgesehen.

Der zur Verfügung stehende Platz hätte allerdings nur mit hydraulischen Kompromissen genutzt werden können.

Die Realisierung mit 500 rpm hätte ein mechanisch sehr hoch belastetes Laufrad notwendig gemacht.

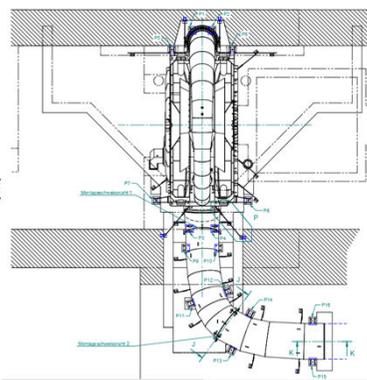
Gerlos HP3+ Angebot

VOITH



Die von VOITH angebotene HP3+ Lösung konnte die geforderten 80 MW Leistung bei einer Drehzahl von 500 rpm mit Hilfe einer sechsdüsigen Maschine bereitstellen.

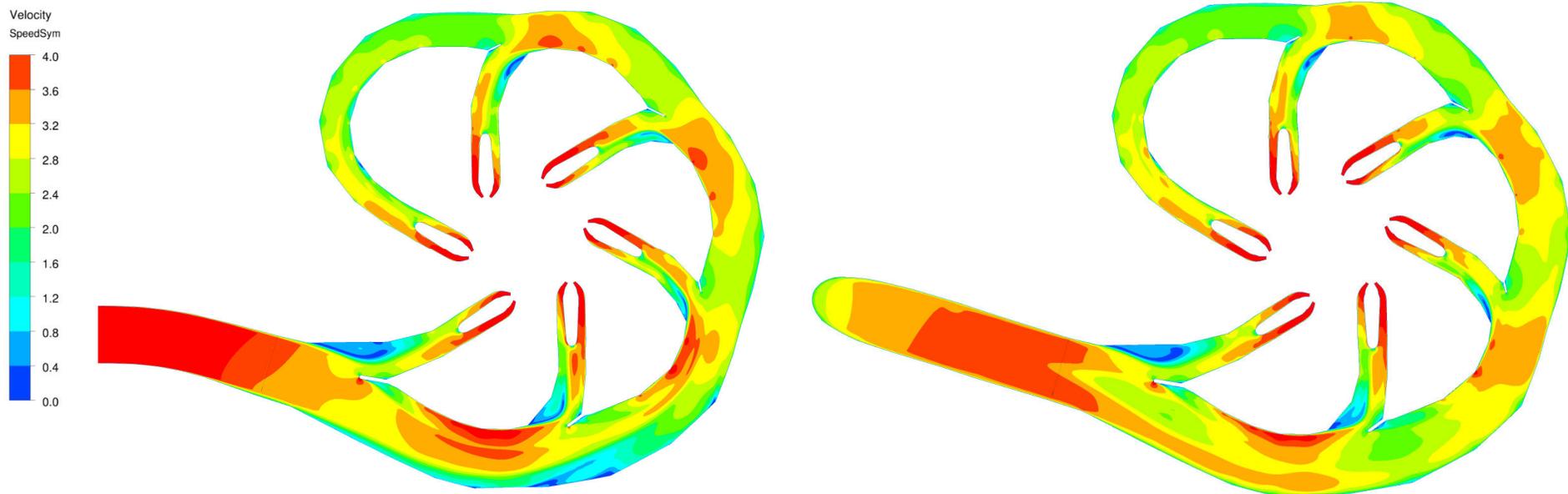
Die mechanische Stabilität des Laufrades und die Teillastwirkungsgrade konnten durch die Erhöhung auf 6 Düsen deutlich verbessert werden.



Die Zuströmung der Verteilleitung konnte durch eine stromabwärts gelegene Vereinigung der beiden Druckrohrleitungen und einen Beschleunigungskrümmmer vor der Maschine realisiert werden.

Gerlos Verteilleitung

Der hydraulische Entwurf zur Verteilleitung und des Beschleunigungskrümmers wurde mit CFD unterstützt. Der Vergleich zum symmetrischen Zulauf zeigt vergleichbare Geschwindigkeitsverhältnisse in der Verteilleitung.



Gerlos Modellversuch

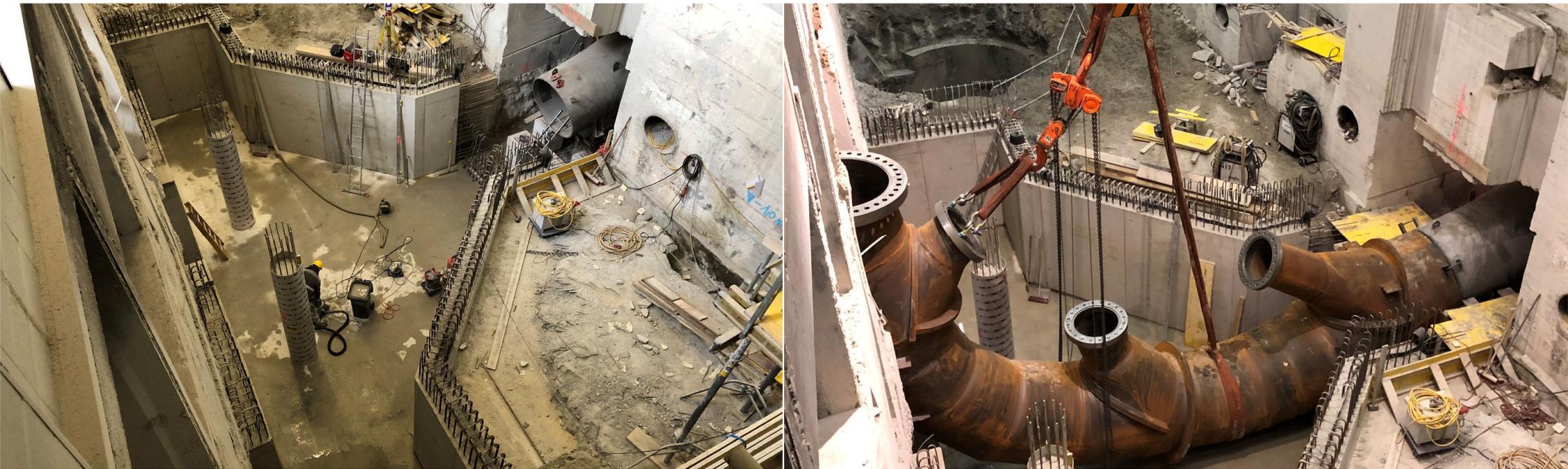
Zur Optimierung des Gehäuses wurden Modellversuche in 2020 durchgeführt. Neben der Variation im Gehäuse wurde auch der Einfluss der Einlaufkrümmers untersucht. Erste Untersuchungen zur Gehäusebelüftung und zur Turbinenabströmung wurden an einem nicht homologen Unterwasserkanal durchgeführt. Der Modellabnahmeversuch wurde im Dezember 2020 durchgeführt.



Gerlos Neuinstallation

VOITH

Die Deinstallation der existierenden Turbinen begann im Herbst 2021, im Januar 2022 wurden dann mit den Fundamente und der Aufstellung der Turbine begonnen. Die Montage lag bei VHP.



Gerlos Erfahrung

Wirkungsgradmessungen zeigen eine gute Übereinstimmung zu den Modellversuchsergebnissen für Teillast und Optimum.

Die Wirkungsgrade bei Volllast sind stark abhängig von der Belüftung.

Druckmessungen im Gehäuse zeigen eine sehr starke Variation bei Volllast, bei Optimum ist der Gehäuseinnendruck nahezu konstant.

Die Lärmemission am Turbinengehäuse ist akzeptabel, über den Unterwasserkanal sind jedoch sehr starke Emissionen vorhanden, insbesondere bei Teillast.

Zum Aufwand für die Wartung ist derzeit noch nicht genügend Erfahrung gemacht worden.

Schlussfolgerung

Vorteile für Modernisierungen

Der Aufwand für die Gebäudemodifikation ist sehr gering

Die Ausfallzeiten des Kraftwerks können deutlich reduziert werden.

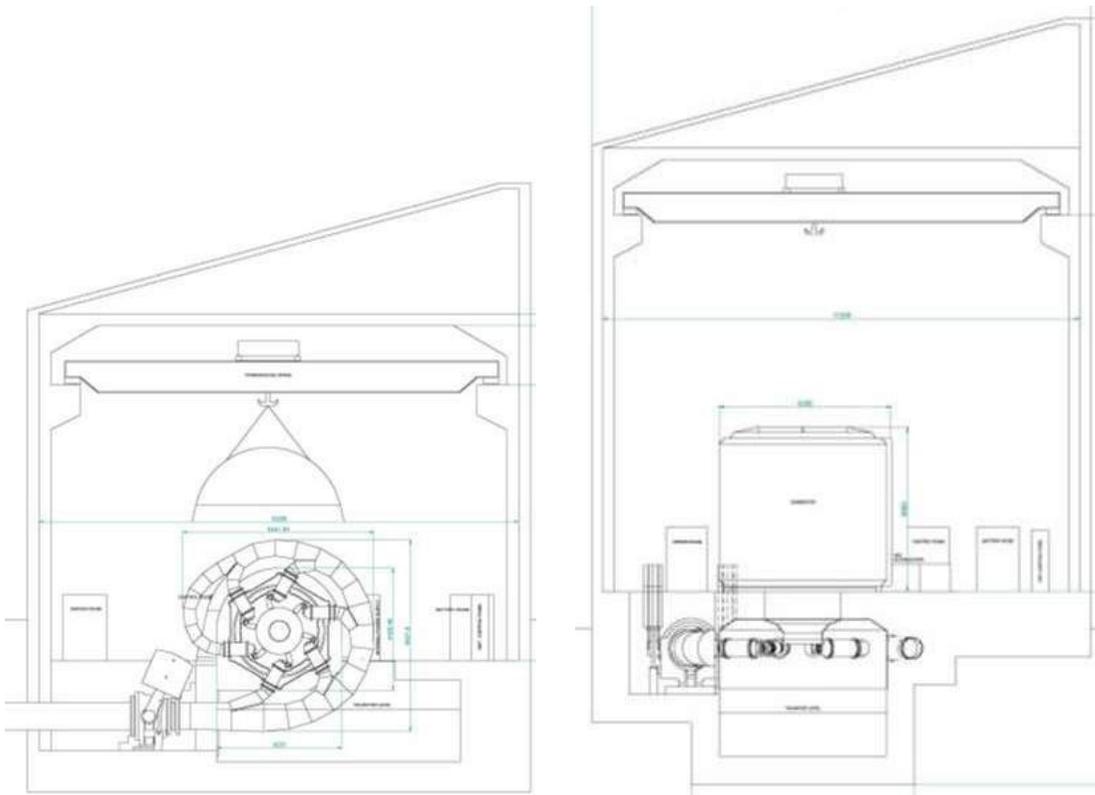
Reduktion der Turbinenanzahl führt zu:

- Reduziertem Aufwand zur Ersetzung von Turbine, Generator, Leistungsschalter und Transformator
- Reduziertem Aufwand für die Wartung, da weniger Leistungseinheiten gewartet werden müssen.

Sehr oft kann der existierende Krafthauskran weiterverwendet werden und damit sind keine Änderungen am Gebäude bezüglich Statik notwendig.

Schlussfolgerung

Vorteile für Neubauten



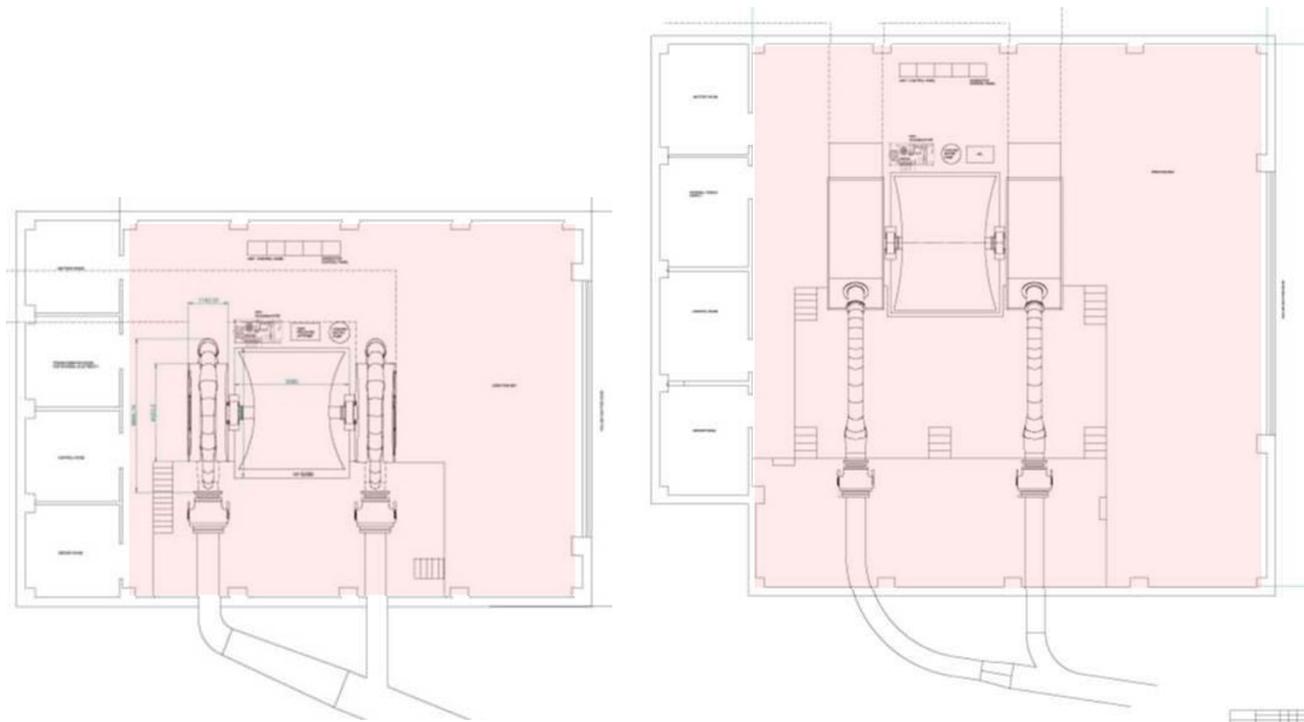
Für den Fall das eine HP3+ als Alternative zu einer vertikalen Turbine steht kann mit ca. 30% weniger Gebäudehöhe gerechnet werden.

Speziell bei Kavernenkraftwerken sollte dieser Umstand deutliche Einsparungen bedeuten.

Die Installationszeit wird ebenfalls geringer sein, da parallel an Turbine und Generator gearbeitet werden kann.

Die Kosten für die HP3+ sind jedoch höher, da das Gehäuse komplexer ist.

Schlussfolgerung Vorteile für Neubauten



Für den Fall, daß die HP3+ als Alternative zu einer konventionellen zweidüsigen Turbine steht kann von einer 30 - 40% geringeren Krafthausfläche ausgegangen werden.

Die Krafthaushöhe wird ähnlich sein, ebenso der Aufwand für die Wartung.

Als Konsequenz der größeren Drehzahl bei gleicher Leistung wird die HP3+ günstiger in der Investition sein.

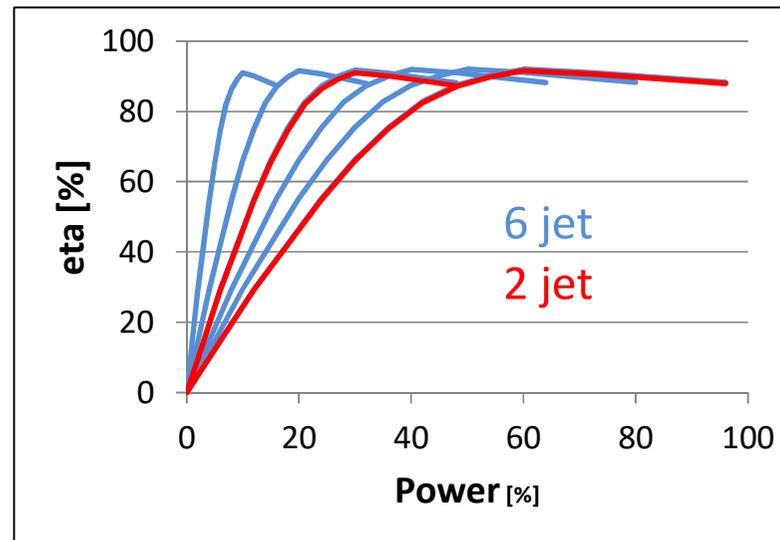
Schlussfolgerung

Vorteile für Neubauten

Gewichtsanalyse einer HP3+ zu einer Standard 2jet maschine.

- Kleinere Turbine, größere Drehzahl, bis zu 20% Einsparung
- Besseres Teillastverhalten aufgrund der höheren Anzahl Düsen.

P = 5.1 MW, H = 450 m			
	2jet	5jet	savings
Generator	750 rpm	1000 rpm	17%
Turbine distributor	4210 kg	3995 kg	5%
Turbine nozzles	2992 kg	2268 kg	30%
Turbine runner	1283 kg	400 kg	50%
Turbine housing	6390 kg	4800 kg	33%



Schlussfolgerungen

Welche Vorteile ergeben sich für die HP3+ insgesamt?

	standard horizontale Pelton turbine	vertikale Pelton turbine	HP3+
Leistungsdichte	-	+	+
Krafthausgröße	-	0	+
Installationszeit	0	-	+
Eingriff ins Bauwerk	+	-	+
Wartung	++	-	+
Teillast	-	+	+

VOITH