



Erfahrung im Betrieb und bei Revisionen von älteren Maschinenbauteilen

Thomas Gaal, Leiter Engineering Kraftwerkstechnik



Agenda

- 1. Entwicklung Wasserkraft in der Schweiz, Bauformen**
- 2. Einflussgrößen auf die Bauteile**
- 3. Kritische und unkritische Einflussgrößen**
- 4. Praxisbeispiele Rotoren**
- 5. Praxisbeispiele weiter Komponenten und Bauteile**
- 6. Fragestellung «Revision oder Neubeschaffung»**
- 7. Zusammenfassung**

1. Entwicklung Wasserkraft in der Schweiz, Bauformen
2. Einflussgrößen auf Betrieb und Instandhaltung
3. Kritische und unkritische Einflussgrößen
4. Praxisbeispiele Rotoren
5. Praxisbeispiele weitere Komponenten und Bauteile
6. Fragestellung «Revision oder Neubeschaffung»
7. Zusammenfassung

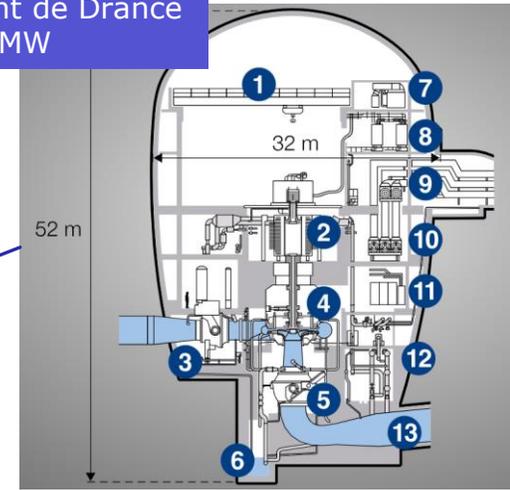
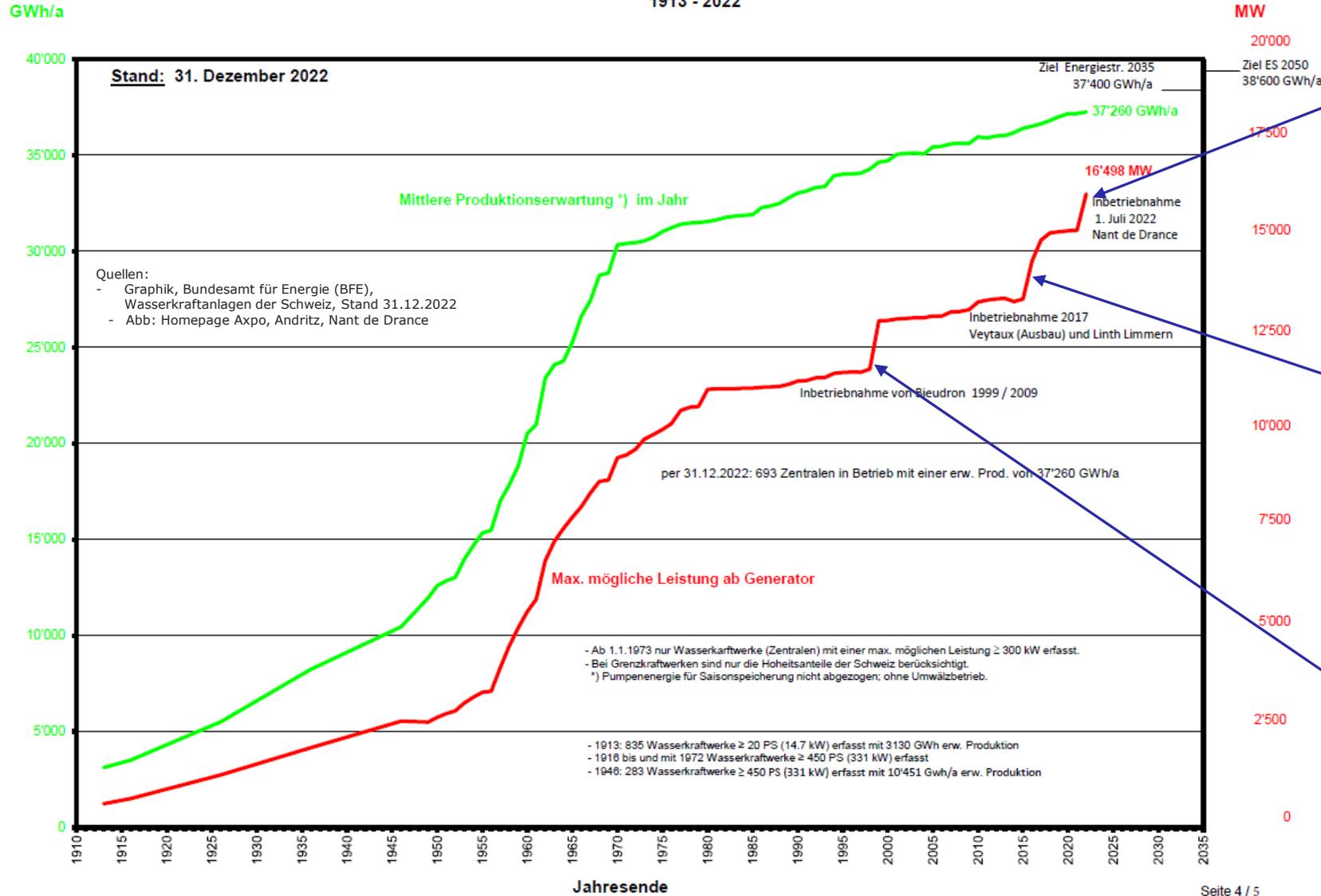


Installierte Leistung Wasserkraft CH

PSW Nant de Drance
6 x 150 MW



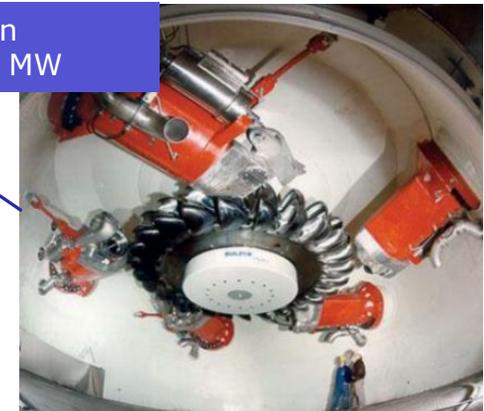
Wasserkraftanlagen (Zentralen) der Schweiz
Entwicklung der Leistung und der mittleren Produktionserwartung *)
1913 - 2022



PSW Limmern
4 x 250 MW



Bieudron
3 x 423 MW

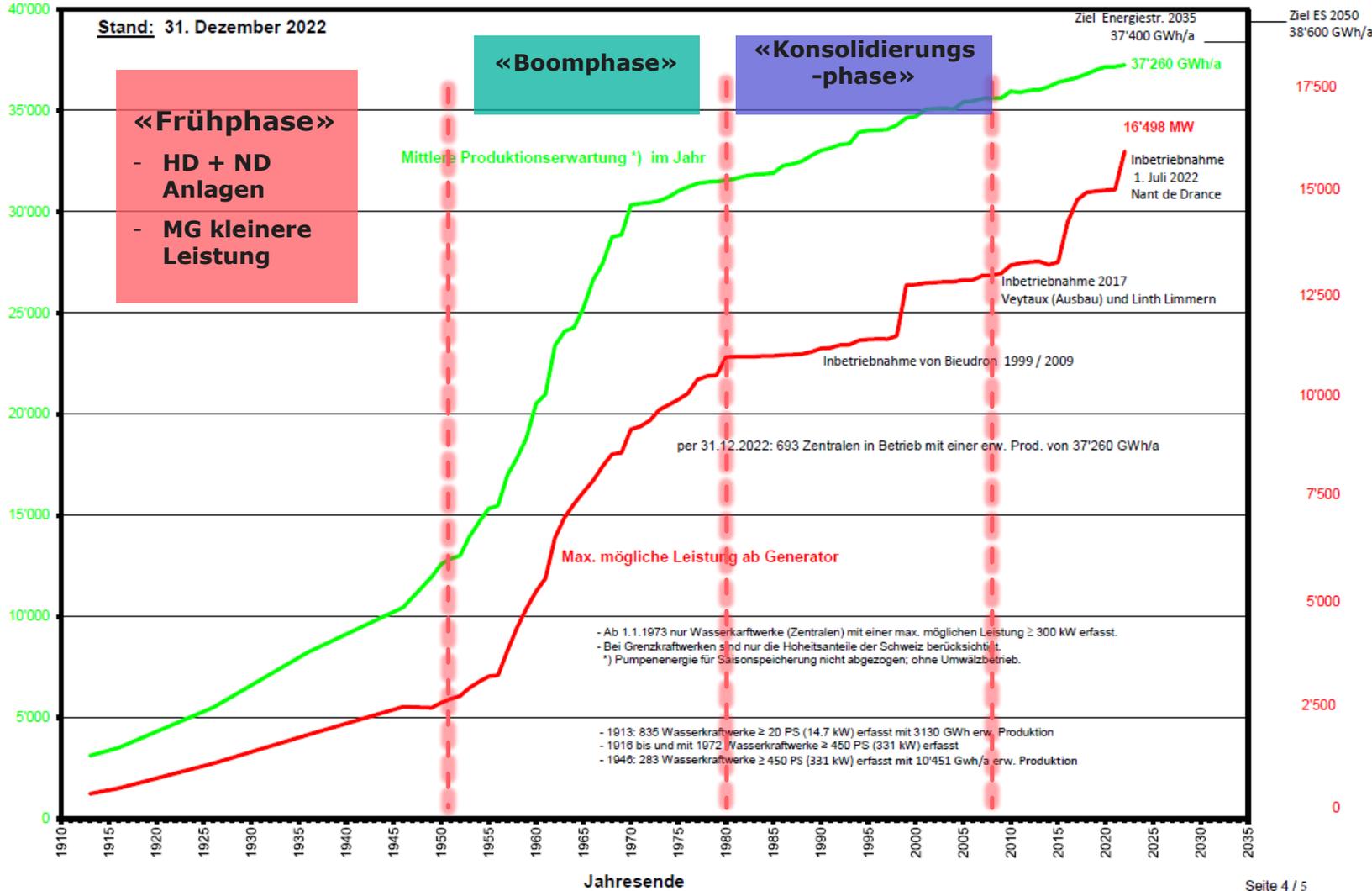


Installierte Leistung Wasserkraft CH



Wasserkraftanlagen (Zentralen) der Schweiz
Entwicklung der Leistung und der mittleren Produktionserwartung *)
1913 - 2022

GWh/a



MW

Quellen:
- Graphik, Bundesamt für Energie (BFE), Wasserkraftanlagen der Schweiz, Stand 31.12.2022

Definition:
- HD = Pelton und Francis
- ND = Kaplan
- PSW = Pumpspeicherkraftwerk
- MG = Maschinengruppen

«Boomphase» (8.5 GW in 30 Jahren)

- HD und ND Anlagen
- Erste PSW Anlagen
- MG bis max. 100 MW

«Konsolidierungsphase»

- Wenige Neubauten (rund 2 GW in 25 Jahren)
- Alle Arten von Anlagen inkl. PSW

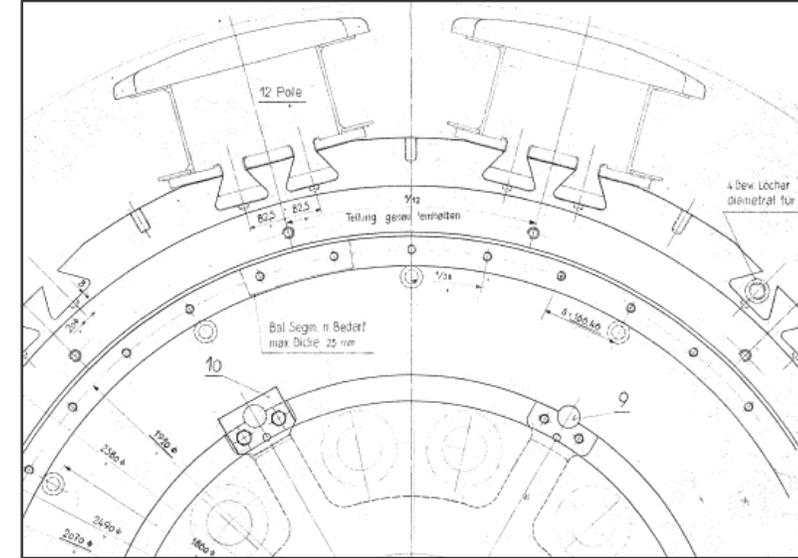
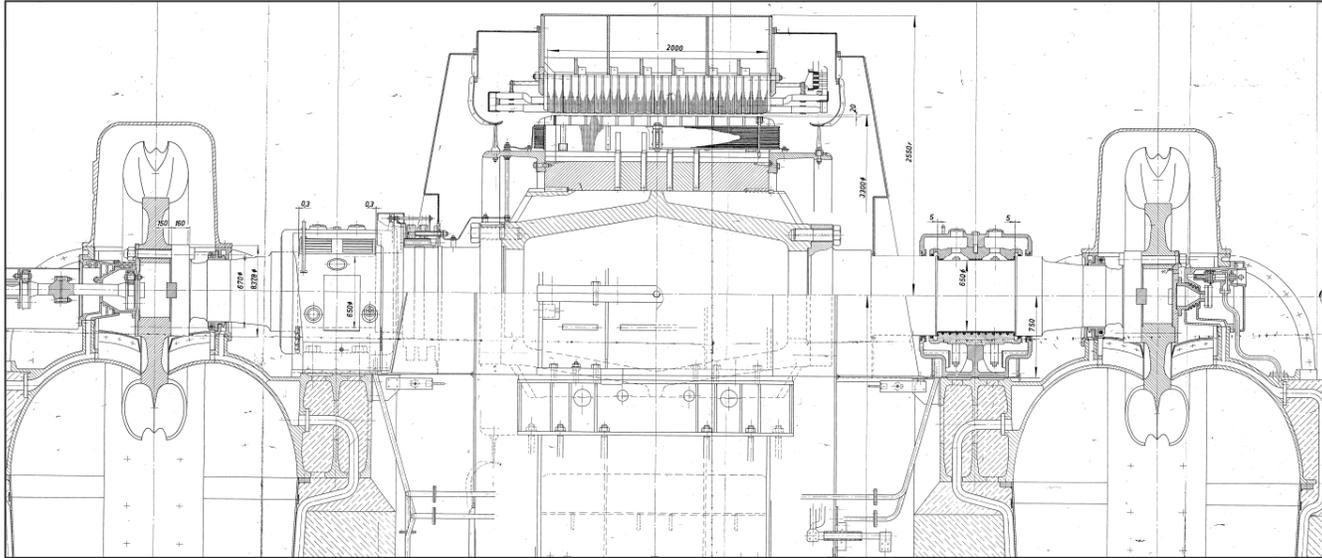
- Ab ca. 2007 wiedererstarben der Neu- und Ausbautätigkeit

- Ab 2007 viele Revisions- und Erneuerungsprojekte, der in der «Boomphase» gebauten Anlagen

- PSW Limmern und Nant de Drance werden 2009/2008 initialisiert.

- Ab ca. 2012 erneute «Durststrecke» in der Wasserkraft (PSW im Bau)

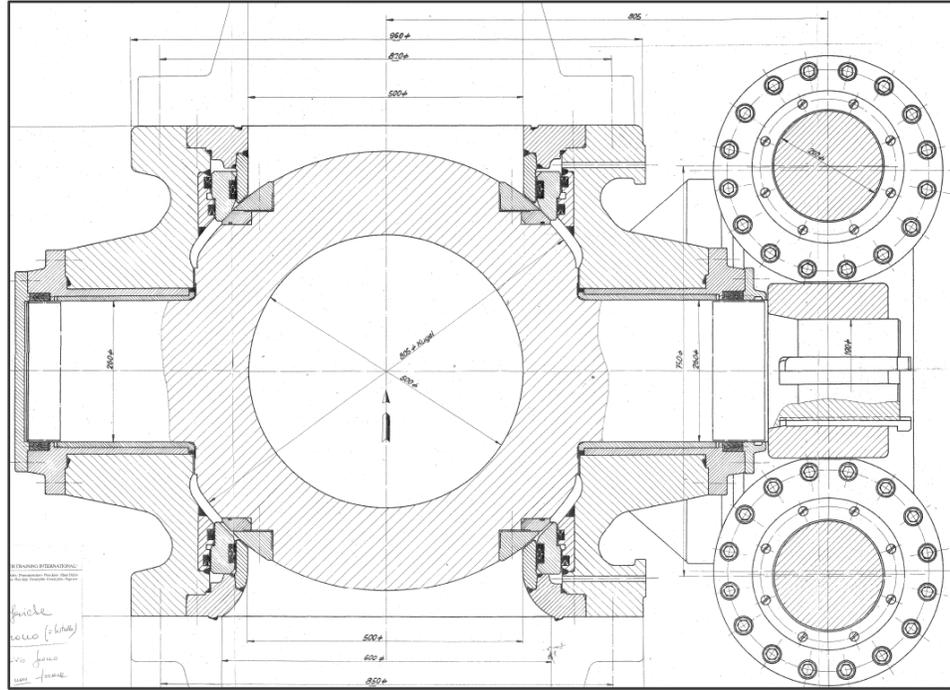
Peltonturbinen - häufige Bauformen 1955 - 1980



- **Horizontale Turbinenwelle, Turbinenlaufrad «fliegend»**
- **Doppel- oder Einfach-Peltonturbinen, mit ein bis zwei Düsen pro Laufrad**
- **Leistung meist im Bereich von 30 bis 60 MW**
- **Drehzahlen meist zwischen 333.3 und 600 min⁻¹**
- **Mehrere grosse Hersteller in der Schweiz (Bell, Escher-Wyss, Charmilles, Vevey)**

- **Synchrongeneratoren, Leistung und Drehzahl abgestimmt auf die Turbinen**
- **Rotor bestehend aus Rotornabe (meist Stahlguss), geschmiedeten und geschrumpften Ringen, den Polen und Flanschwellen**
- **Polbefestigung mit Hammerkopf oder Schwalbenschwanz Verbindung**
- **Praktisch alle Generatoren von den zwei grossen Herstellern (BBC und MFO)**

Kugelschieber - häufige Bauformen 1955-1980



- **Klassischer Kugelschieber mit Betriebs- und Revisionsdichtung**
- **Antrieb vielfach mittels eines Ringkolbens**
- **Durchmesser meist im Bereich von 400 – 1200 mm**
- **Druckstufe 40 – 100 bar**
- **Bauteile mehrheitlich aus unlegiertem Stahlguss**
- **Wenige grosse Hersteller (Von Roll, Hydro-Progress, Vevey)**

1. Entwicklung Wasserkraft in der Schweiz, Bauformen
2. Einflussgrößen auf die Bauteile
3. Kritische und unkritische Einflussgrößen
4. Praxisbeispiele Rotoren
5. Praxisbeispiele weiter Komponenten und Bauteile
6. Fragestellung «Revision oder Neubeschaffung»
7. Zusammenfassung



Herstellungsverfahren – Stahlguss

- Häufiges Herstellungsverfahren von Bauteilen in älteren Maschinengruppen
- Bauteile meist stark überdimensioniert, i.d.R. wurden Bauteile statisch ausgelegt
- Häufig Gussfehler vorhanden (Lunker, Erkaltungsrisse, Kaltverschweissungen, Inhomogenitäten usw.), jedes Stahlgussbauteil ist «unique»
- Prüfberichte und Prüfverfahren der 40 bis 60 Jahren alten Bauteile meist unbekannt
- Vielfach heute nicht mehr gebräuchliche Werkstoffe, keine Qualitätsdokumentation der Herstellung mehr auffindbar



(Quelle: Bilder Axpo, Befundaufnahme)

Abb: Gehäuse eines Druckregler einer Francisturbine, div. Rissanzeigen bei Magnetpulverprüfung (MT), vermutlich Erkaltungsrisse aus Fertigungsprozess, weitere Erläuterung Praxisbeispiel

Ungünstige Geometrie

- Grosse «Sprünge» bei Durchmessern oder Wandstärken von Bauteilen
- Bei Rotoren oft keine optimale Geometrie (z.B. kleine Radien, Dicke der Flansche ungenügend)
- Hohe Oberflächenrauigkeit bei kritischen Bereichen
- Wellenmaterial häufig nicht oder nur «unter erschwerten Bedingungen» schweisssbar

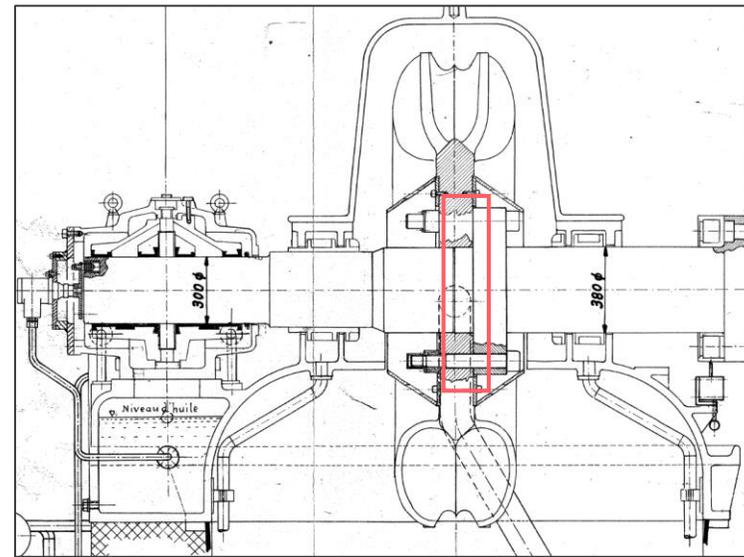
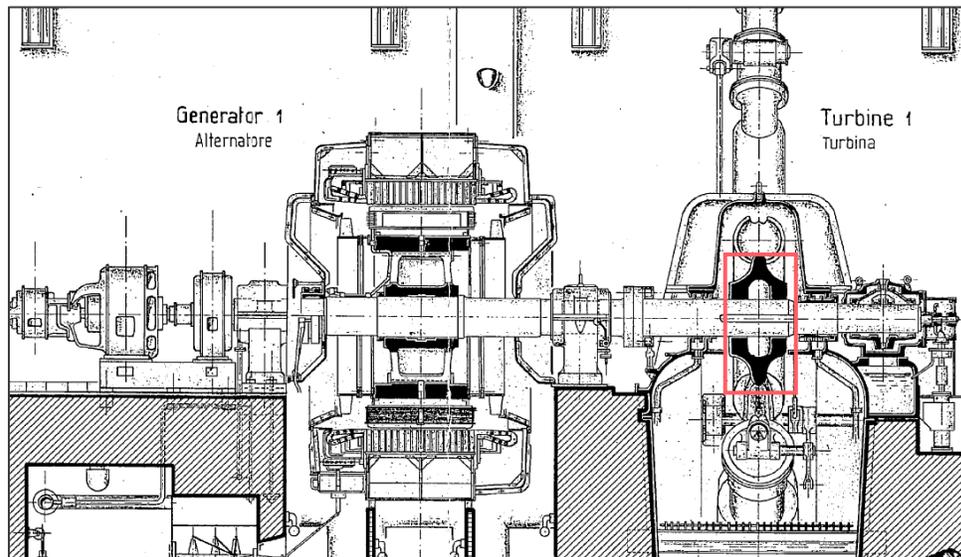


Abb: Rissanzeigen bei Übergang Welle – Flansch, weitere Erläuterung Praxisbeispiel

(Quelle: Betriebsdokumentation, MT-Prüfung Wellenkupplung)

Lastwechsel/Materialermüdung/Dauerfestigkeit

- Quellen:
- Nachrechnung Festigkeit Peltonlaufrad, Andritz Hydro
 - Typische Wöhlerlinie, Quelle Internet
 - MPA Untersuchungsbericht, Abb. Peltonbecher vor Probeentnahme

- Aufgrund der langen Betriebszeit hohe Lastwechselzahlen, Ermüdung des Materials
- **Turbine und Generator**, Start/Stopp (alle Arten von Maschinengruppen)
 $50 \text{ Jahre} * 5 \text{ Start/Stopp pro Tag} * 250 \text{ Tage Betrieb pro Jahr} = 62'500 \text{ Zyklen} (6.25 * 10^4)$
- **Horizontale Welle**, Umlaufbiegebelastung (horizontale Maschinengruppe, HD Speicher):
 $40 \text{ Jahre} * 3'000 \text{ Betriebsstunden pro Jahr} * 500 \text{ Umdrehung pro Min.} = 3.9 * 10^9$
- **Peltonlaufrad**, Wechselbelastung Strahlkraft (HD Laufkraftwerk, 2-düsig, 500 min-1)
 $30 \text{ Jahre} * 4'000 \text{ Betriebsstunden pro Jahr} * 500 \text{ Umdrehung pro Min.} = 2.7 * 10^9$
- **Zyklenzahl** vielfach deutlich $> 10^8$, für die Materialdaten nicht bzw. kaum abgesichert sind

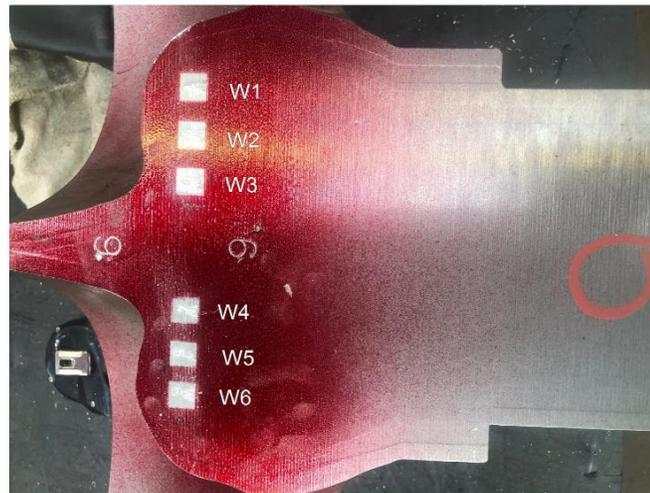
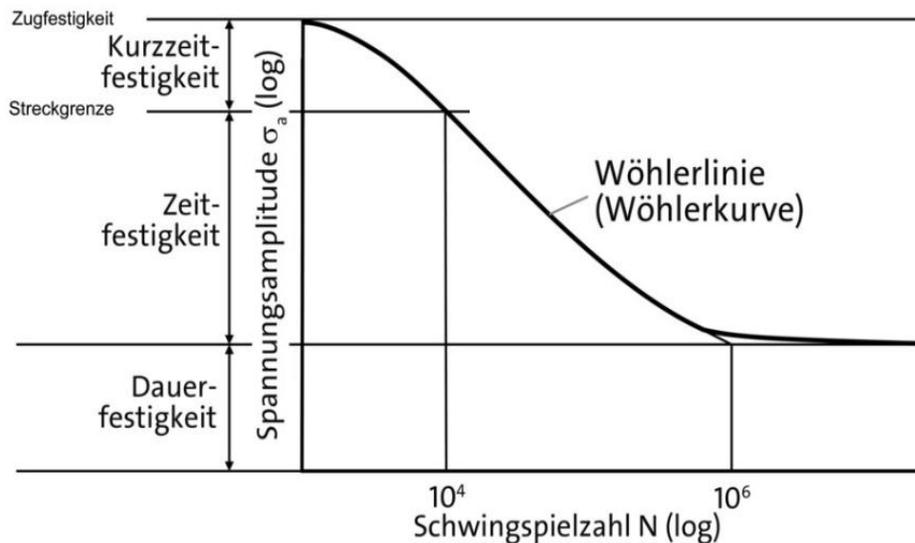
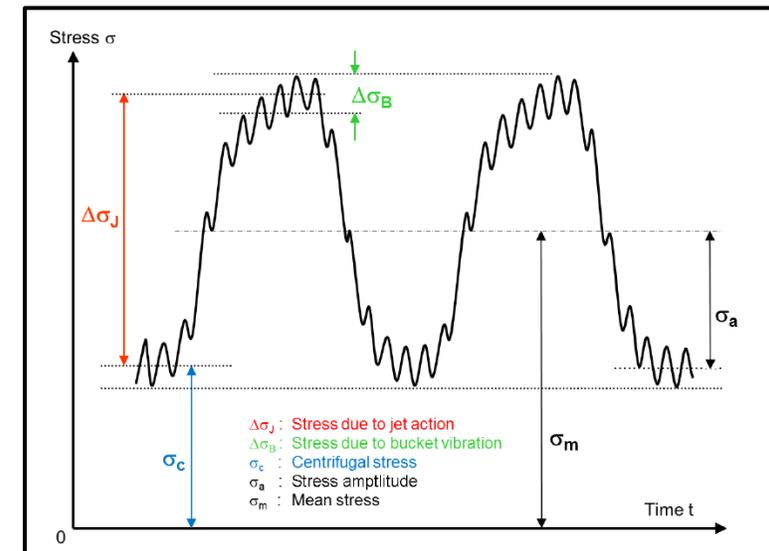


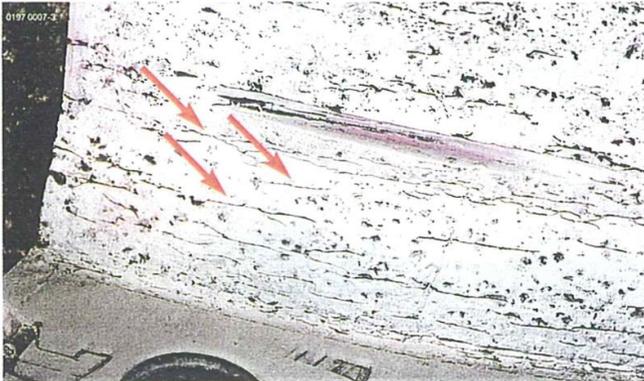
Bild 5: Lage der ISO-V-Proben W1 bis W6 in der Wurzel von Peltonbecher Nr. 9



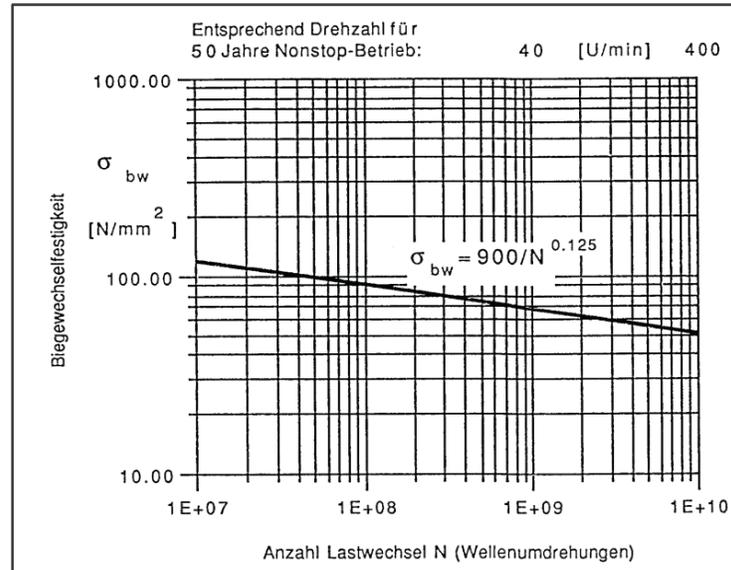
Korrosion, korrosive Umgebung

- Negative Beeinflussung der Qualität der Materialoberfläche, höhere Oberflächenrauigkeit bei kritischen Stellen bewirkt eine Reduktion der Dauerfestigkeit des Bauteils
- Die Dauerfestigkeit (zulässiges Spannungsniveau) eines Stahls wird bei einer korrosiven (nassen) Umgebung wesentlich reduziert

4^m The fine cracks in this turbine shaft were caused by corrosion fatigue. Partly to blame was the permanent wetting of the shaft with water.



44 SULZER TECHNICAL REVIEW 2/97



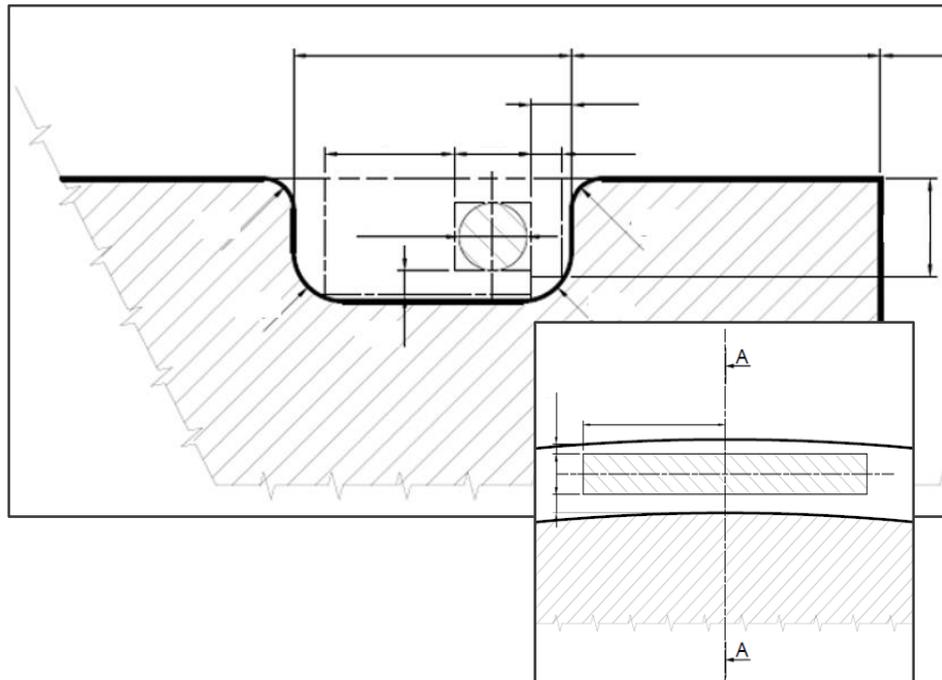
Quellen:

- Sulzer Technical Review 1997
- Sulzer Hydro AG, M.H. Staehle, Hydropower & Dams, 1997
- AEW Energie AG, Korrosion unterhalb der Wellenschonbüchse der Wellendichtung einer horizontalachsigen Rohrturbine

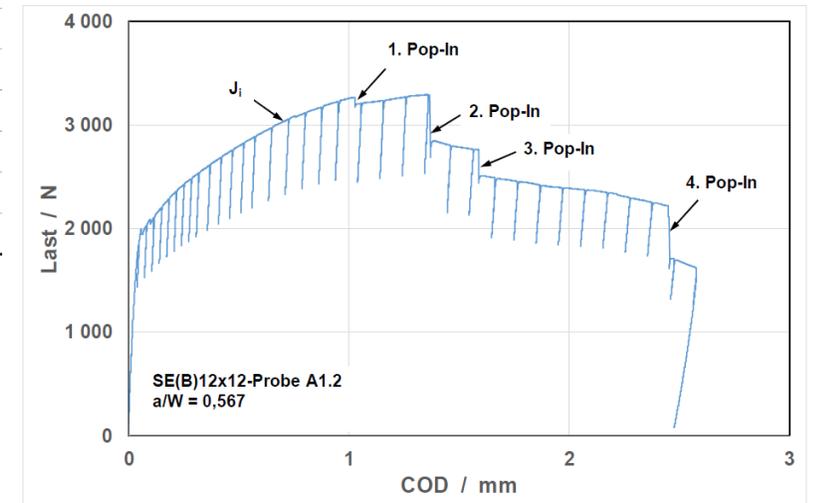
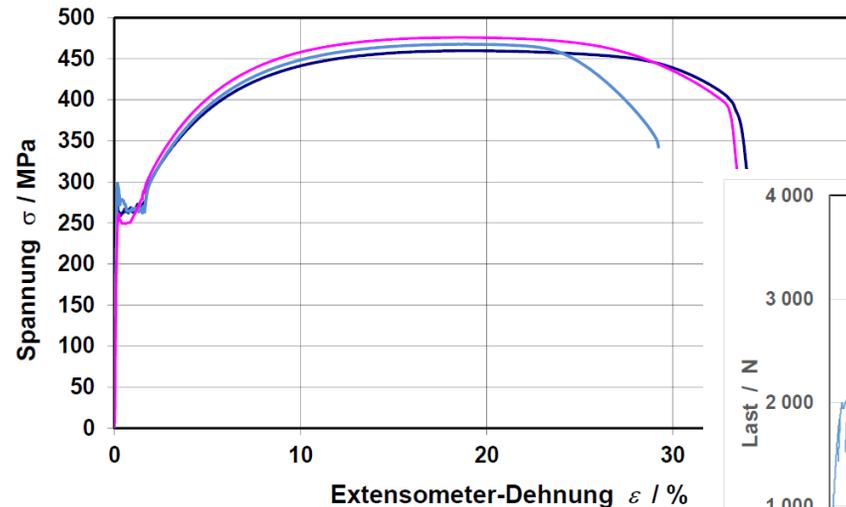
Generelle Schwierigkeit bei Beurteilungen

- Werkstoffe heute vielfach nicht mehr gebräuchlich. Q-Dokumente der Fertigung der Bauteile nicht vorhanden/nicht mehr auffindbar (z.B. Werkstoffzusammensetzung, Wärmebehandlung).
- Bruchmechanische Kennwerte nicht bekannt (z.B. Bruchzähigkeitswert K_{Jc} , m/C-Kennwerte für Rissausbreitung)
- Korrektheit der Bestandszeichnung, insbesondere bei den kritischen Bereichen

Bsp. Probeentnahme am Flansch einer Generatorwelle



Zugversuch (DIN EN 10002-1), Bestimmung Kennwerte Bruchmechanik (ASTM E 1820) der am Rotor entnommen Proben



- Quellen:
- Ausschnitt Zeichnung Probeentnahme GE
 - MPA Stuttgart, Prüfbericht Materialuntersuchung

Bild 1: F-COD-Diagramm der SE(B)-Probe A1.2

1. Entwicklung Wasserkraft in der Schweiz, Bauformen
2. Einflussgrößen auf Betrieb und Instandhaltung
3. Kritische und unkritische Einflussgrößen
4. Praxisbeispiele Rotoren
5. Praxisbeispiele weitere Komponenten und Bauteile
6. Fragestellung «Revision oder Neubeschaffung»
7. Zusammenfassung



Wellen/Rotoren – Grob beurteilung bzgl. Einflussgrößen

Wellenlage

- vertikal
- horizontal

Korrosive Umgebung

- trocken
- nass

Geometrie (z.B. Kerbfaktoren)

- günstig
- ungünstig

Weitere Einflussgrößen

- Hohe Fertigungsqualität, wenig Lastzyklen
- Unbekannte Fertigungsqualität, viele Lastzyklen

vielfach keine
Probleme

«Vorsicht»



Statische Bauteile - Grobbeurteilung bzgl. Einflussgrößen

Geometrie (z.B. Wandstärkenänderungen)

- günstig
- ungünstig

Korrosive Umgebung

- trocken
- nass

Weitere Einflussgrößen

- Fertigungsverfahren (Guss- oder Schmiedeteil)
- Alter, Lastzyklen usw.

Grobbeurteilung schwieriger:

- **Gussbauteile i.d.R. kritischer als Schmiedebauteile.**
- **Gussbauteilen mit grossen Wanddickenänderungen und wenig Bearbeitung können heute Probleme bereiten.**
- **häufig Herstellungsschädigungen-/fehler (z.B. Abkühlungsrisse), die dazumal akzeptiert wurden.**
- **Korrosive Umgebung und Lastzyklen meist nicht der entscheidende Faktor.**

1. Entwicklung Wasserkraft in der Schweiz, Bauformen
2. Einflussgrößen auf die Bauteile
3. Kritische und unkritische Einflussgrößen
4. Praxisbeispiele Rotoren
5. Praxisbeispiele weiter Komponenten und Bauteile
6. Fragestellung «Revision oder Neubeschaffung»
7. Zusammenfassung

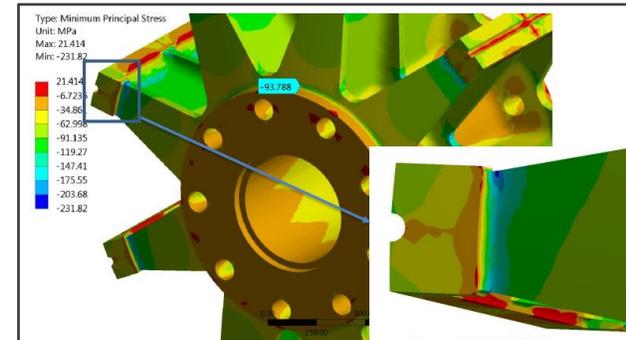


Beispiele Rotoren

1. Generatorwelle – Rissanzeigen aufgrund Materialermüdung



2. Generatorwelle – Rissanzeigen, vermutlich aufgrund Fertigungsfehlern



3. Turbinenwelle – Rissanzeigen aufgrund Ermüdung in Kombination mit korrosiver Umgebung - Trockenlegung

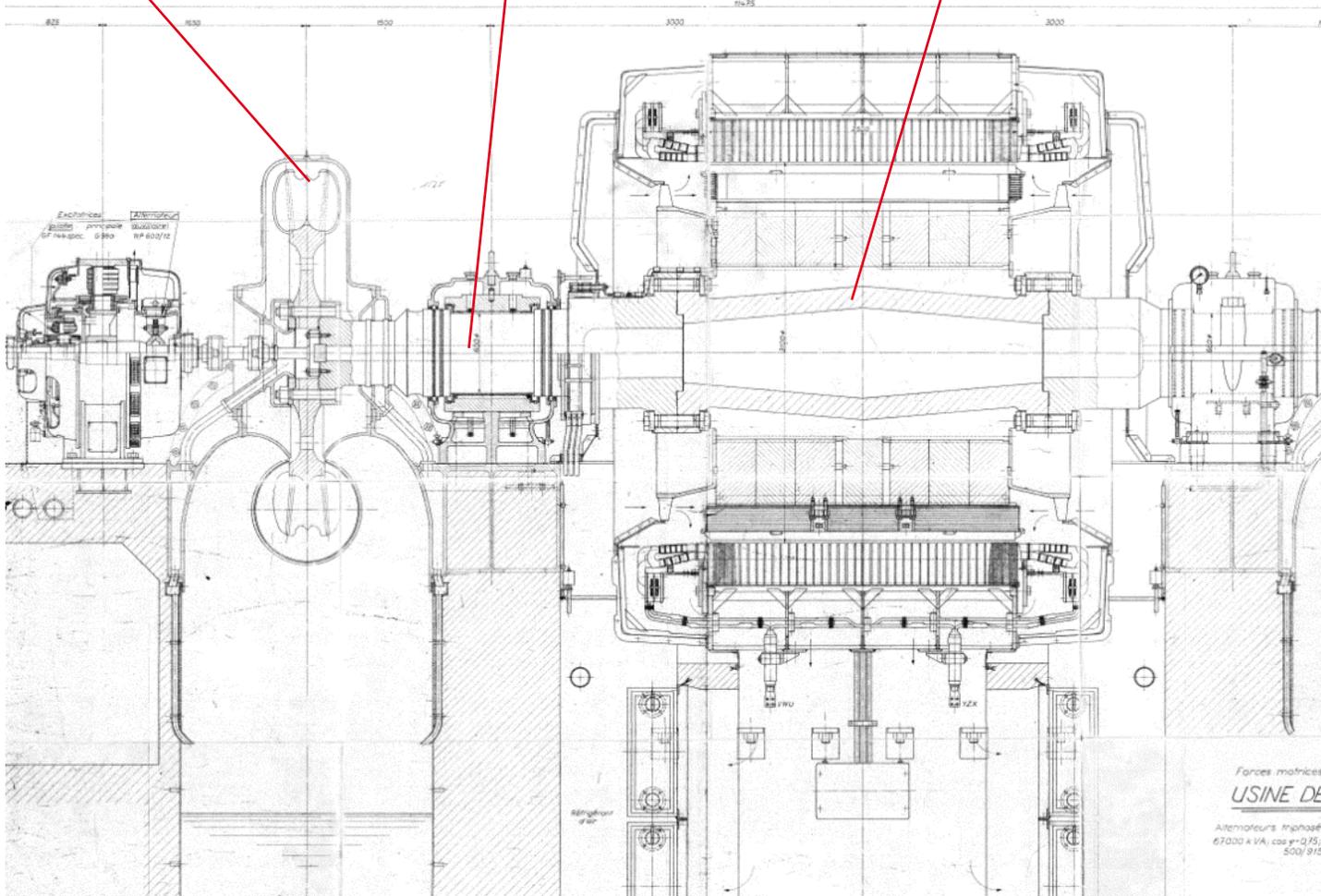


1. Beispiel - Ermüdung Generatorwelle

Turbinenlaufrad

Flanschwellen

Rotorzentalkörper



Beschreibung

Wert

Typ

Generator horizontal
Doppel-Pelton turbine

Baujahr

1955

Hersteller

BBC

Leistung

67 MVA

Drehzahl

500 min⁻¹

Rotorgewicht

128'000 kg

Ermüdung einer Generatorwelle

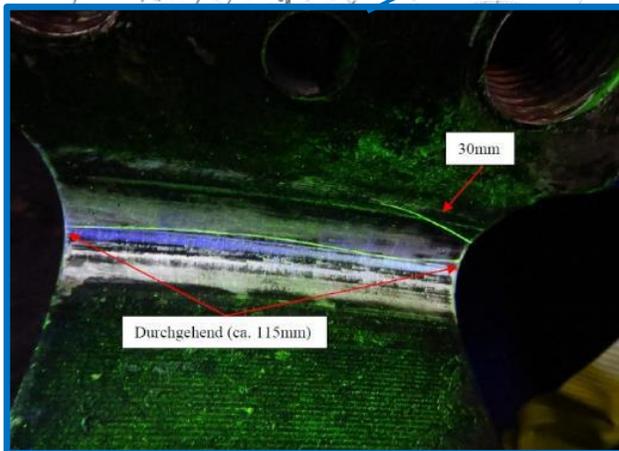
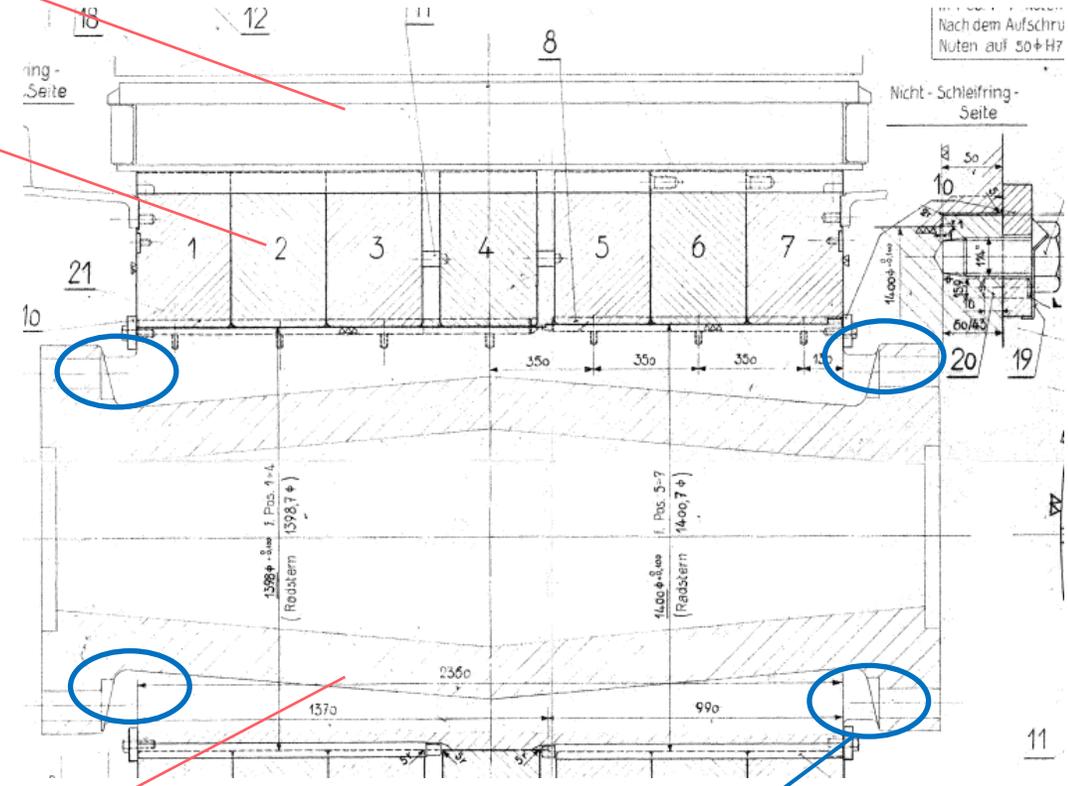
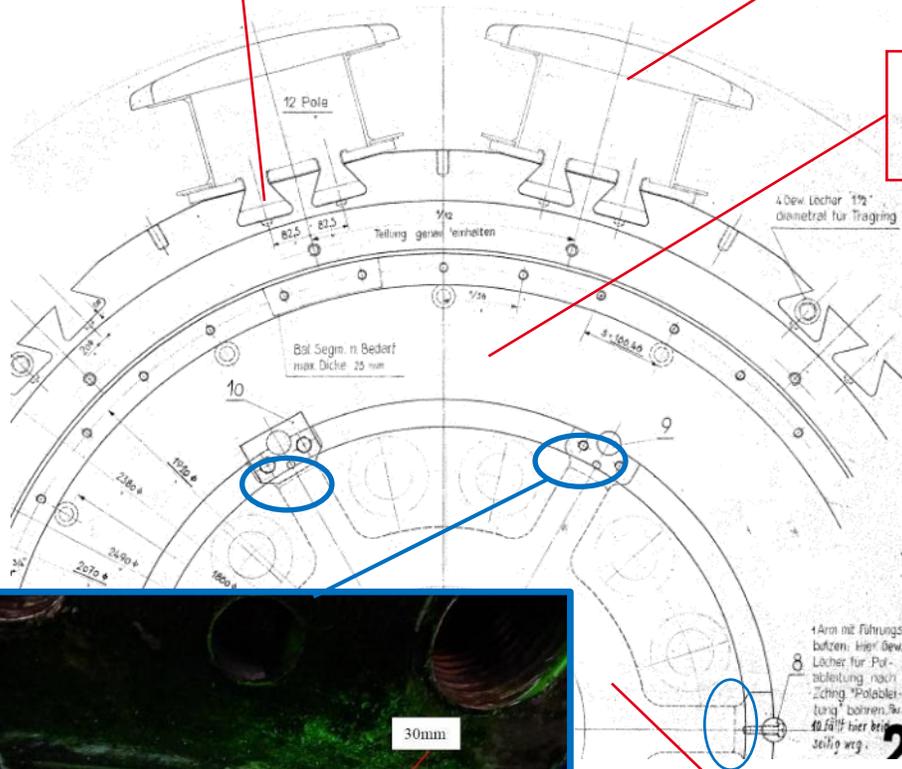
Hochbelastete Verbindung
Zentralkörper - Pole

Rotorpole

Geschmiedete Ringe,
geschumpft auf Rotornabe

Rotornabe (Stahlguss)

Bereiche mit Rissanzeigen



Herausforderungen und Randbedingungen

Beschreibung	Wert	Beurteilung
Material	Stahlguss BB-Stg. 25	<ul style="list-style-type: none">- Nicht mehr gebräuchliches Material- keine Materialzertifikate der Fertigung vorhanden- keine Probematerial für Probestücke vorhanden- Unterschiede zwischen den fünf Rotoren möglich
Design und Alter der Anlage	Horizontal Wechselbiegung	<ul style="list-style-type: none">- 14'000 Start/Stopps (Anfang 2020)- 3'600 Betriebsstunden/Jahr, total rund 230'000 h- Biegewechselbelastung rund $7 * 10^9$ Zyklen
Korrektheit der Ausführung	Schrumpf Rotorringe	<ul style="list-style-type: none">- Keine Protokolle, ob Schrumpf gemäss Zeichnung ausgeführt wurde
Korrosion	Generator	<ul style="list-style-type: none">- Keine korrosive Umgebung
«Geschichte»	Problemverständnis	<ul style="list-style-type: none">- Risse zufällig bei Revision einer MG entdeckt- Keine Langzeiterfahrung vorhanden- kein Verständnis bzgl. Entstehungsmechanismus (Start/Stop und/oder Umlaufbiegung)
Risse	Prüfung	<ul style="list-style-type: none">- Risse nur mit MT feststellbar (PT keine Anzeigen)- Risstiefe aufgrund der Rotorgeometrie nicht feststellbar

Berechnungen

- Die hochbelastete Verbindung Rotorzentalkörper-Pole wurde bereits vor Jahren nachgerechnet und ist nicht kritisch.
- **Aufgrund der Wichtigkeit der Anlage wurden mehrere Lieferanten und Institute mit der Nachrechnung beauftragt (statischer Festigkeitsnachweis, Ermüdungsfestigkeitsberechnungen und zusätzlich bruchmechanischer Festigkeitsnachweis nach FKM).**
- **Aufgrund fehlender Grundlagen mussten viele Annahmen getroffen werden.**
- **Die Resultate der Berechnungen streuen aufgrund der Annahmen wesentlich - von wenigen Tagen Betrieb bis praktisch dauerhaft ...**

Zitate aus den Berichten:

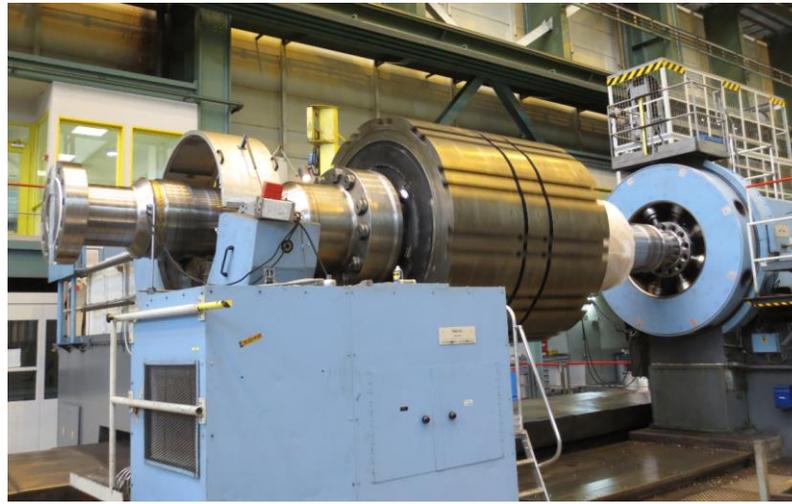
Ein Riss mit Anfangsrisstiefe von 1.9 mm wächst innerhalb von $2 \cdot 10^6$ Zyklen auf eine Risstiefe von 20 mm. Dies entspricht ca. 3.5 Tagen Dauerbetrieb.

Die grosse Anzahl Betriebsstunden und die sich daraus ergebende Anzahl Rotationszyklen ($> 10^8$, HCF), Informationen über die Risse und der Belastung geben weitere Hinweise, dass ein Risswachstum stattgefunden hat und daher auch weiter fortschreitet.

Gemäss Tabelle 13 bis 16 sollte es theoretisch kein Risswachstum geben. Trotz der Bedingung $\Delta K < \Delta K_{th}$ muss angenommen werden, dass ein Riss wachsen kann. Mit dieser Vorgabe wird die Anzahl der Zyklen berechnet.

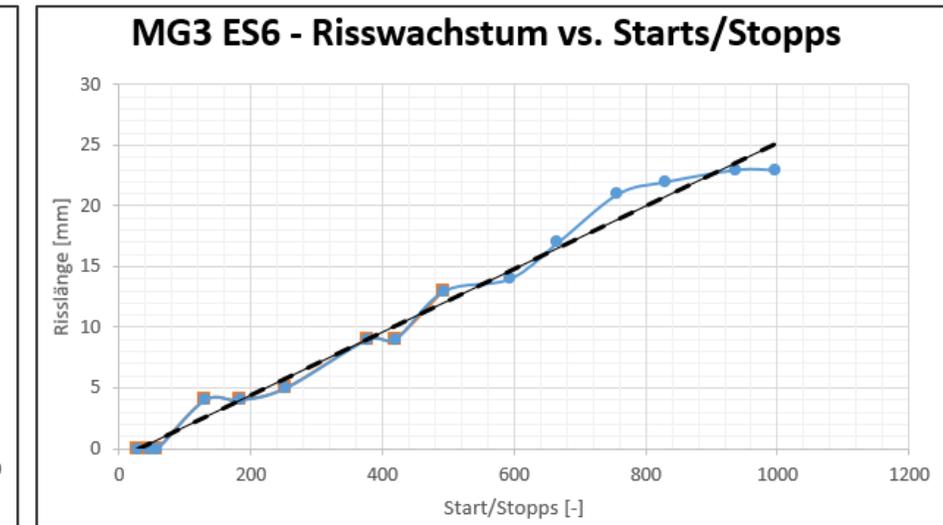
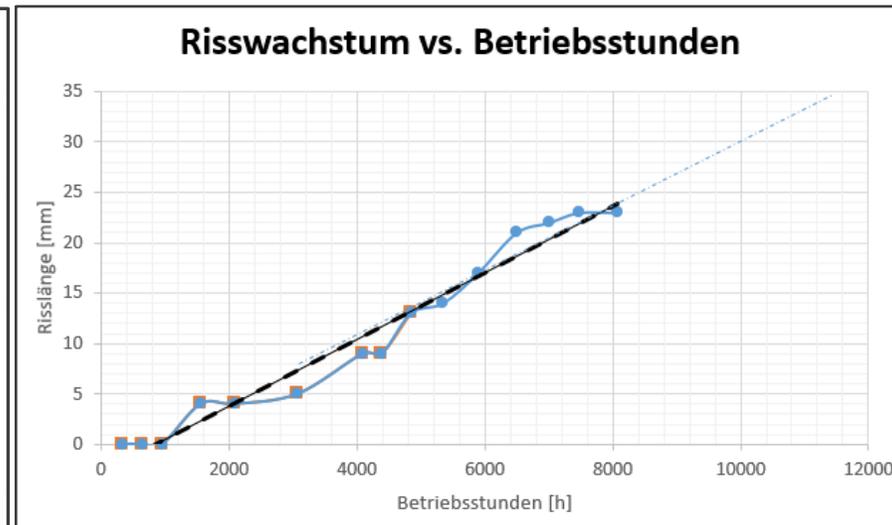
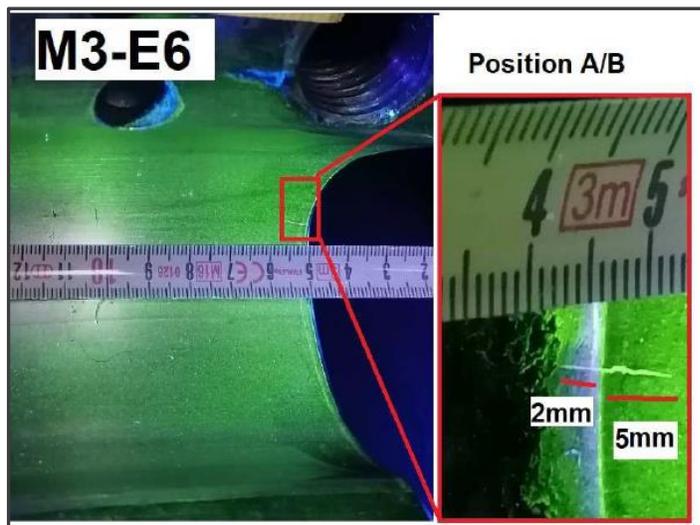
Vorgehen mit der demontieren Maschinengruppe

- MG war für eine Revision demontiert, als Rissanzeigen festgestellt wurden, grösste Rissanzeigen aller Maschinengruppen (z.T. ganze Breite der Stege).
- Klar war, dass Rotor ohne Massnahmen nicht eingebaut wird.
- Nacharbeit zur Entfernung der Rissanzeigen auf Drehbank mit einer bzgl. Ermüdungsfestigkeit optimalen Kontur.
- Gleichzeitig mit der Nacharbeit wurden Materialproben an der Stirnseite der Wellenflansche entnommen (siehe Folie 13).



Wiederinbetriebnahme der Maschinengruppe

- Regelmässige MT Prüfungen der kritischen Stelle nach der Nacharbeit, erst mit kurzen und danach verlängerten Betriebsintervallen.
- Bei 1 von total 12 Stegen der modifizierten Rotorwelle nach rund 1'000 Betriebsstunden bzw. ca. 50 Start/Stopps erneut eine Rissanzeige sichtbar – obwohl ein Risswachstum rechnerisch nicht nachvollzogen werden kann – dieser wächst weiter.
- Verschiedene Reparatur- und Erneuerungsvarianten untersucht.
- Aus Kosten-Risiken-Überlegungen Entscheid zum Ersatz aller Rotoren gefällt.

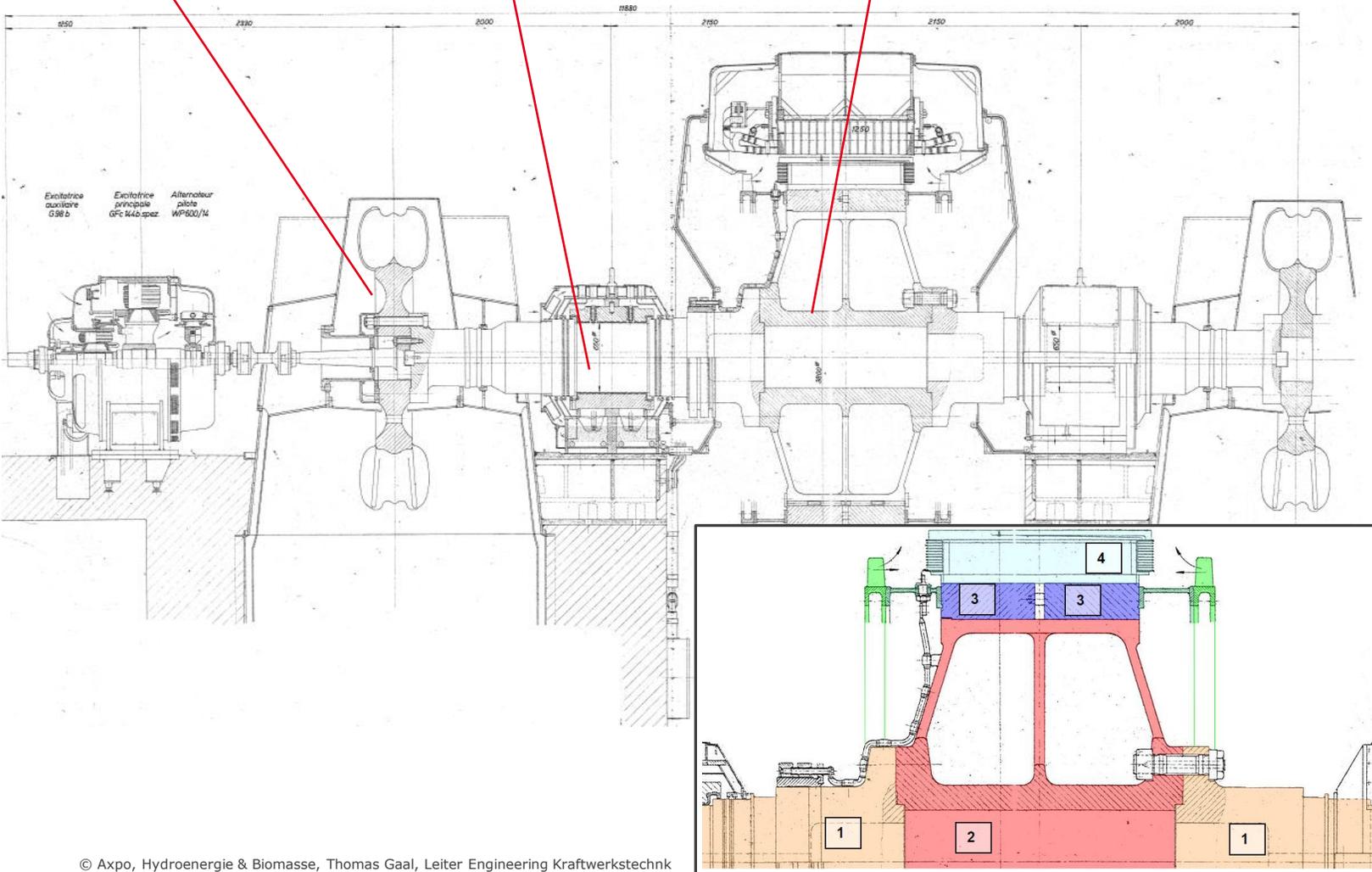


2. Beispiel – Generatorwelle, Fertigungsfehler

Turbinenlaufrad

Flanschwellen

Rotorzentalkörper



Beschreibung	Wert
Typ	Generator horizontal Doppel-Pelton turbine
Baujahr	1964
Hersteller	BBC
Leistung	37.5 MVA
Drehzahl	333.3 min ⁻¹
Rotorgewicht	75'000 kg

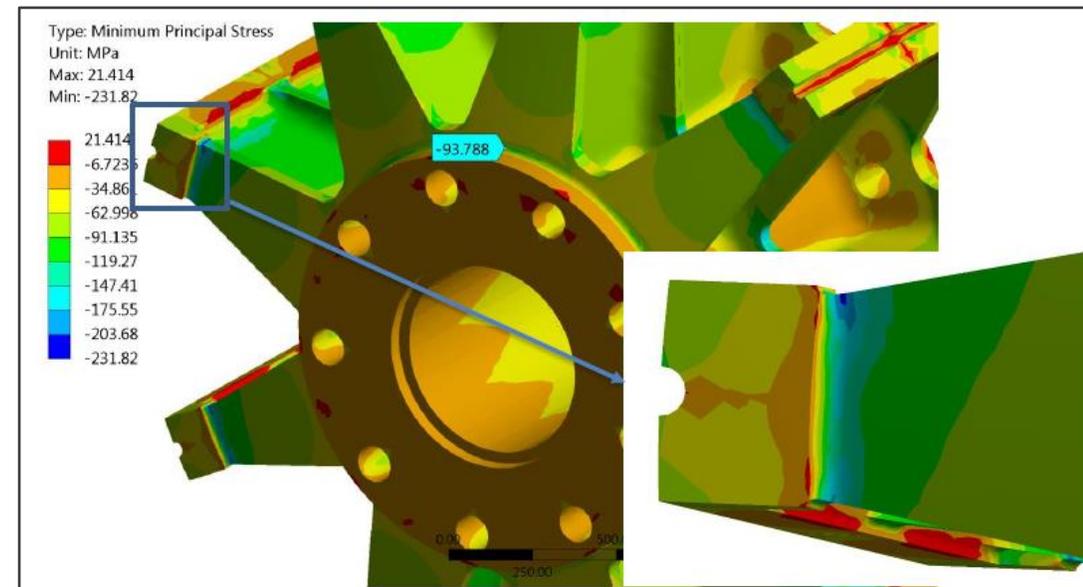
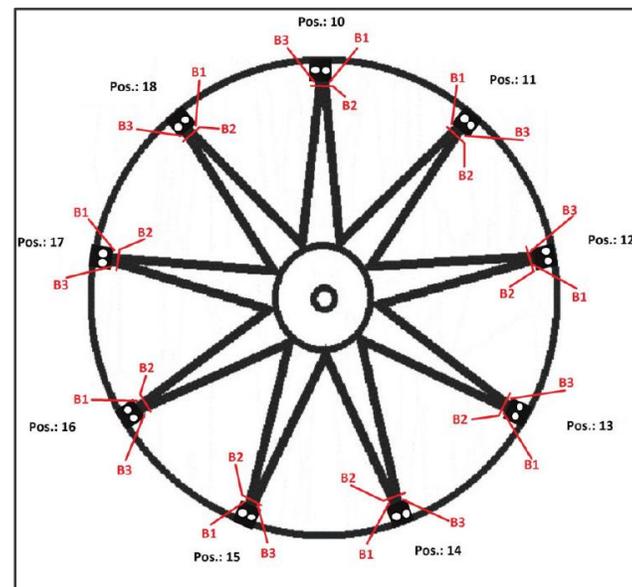
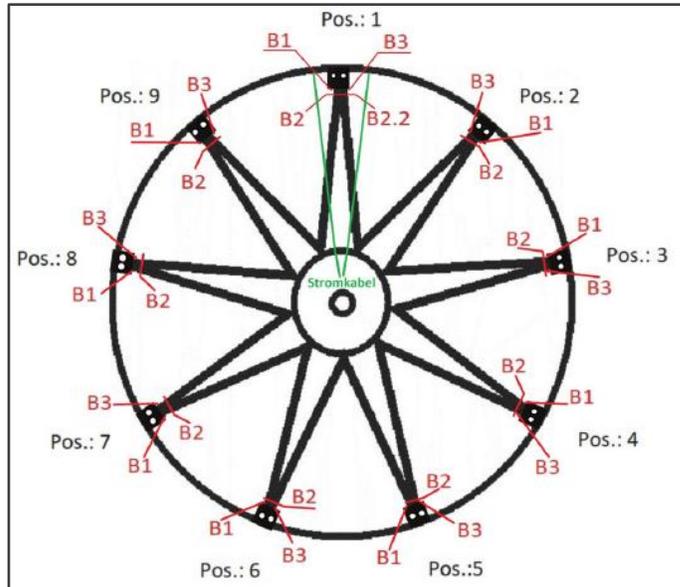
1. Flanschwellen
2. Rotorstern/Rotornabe
3. Rotorringe (geschrumpft)
4. Pole

Abwägung, Vorgehen

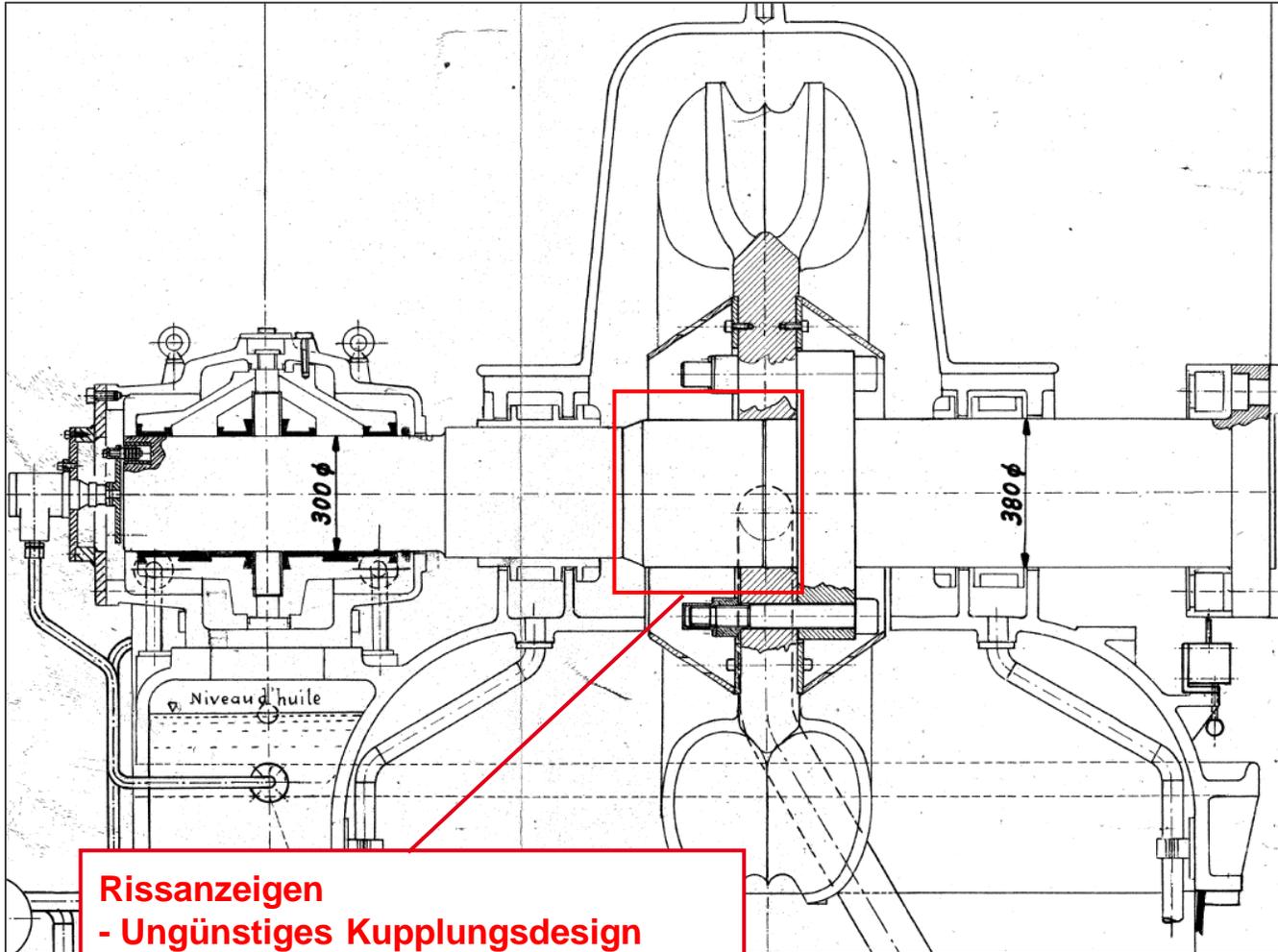
Quellen:

- Nachrechnung Festigkeit Generatorwelle, GE
- Bericht MT Prüfung, Qualitech

- Rotorstern Stahlgussbauteil (BB-Stg. 25), Werkstoff «unter erschwerten Bedingungen» schweisbar.
- Stelle mit Rissanzeigen rechnerisch aufgrund der geschrumpften Ringe («Druckfeld») unkritisch.
- Rissanzeigen stammen, u.a. aufgrund des «gezackten Verlaufs», mit hoher Wahrscheinlichkeit aus der Fertigung.
- «Nachweis der Unbedenklichkeit» sehr schwierig aufgrund der vielen Anzeigen.
- Der Rotor wird aufgrund von Kosten-Risiko-Überlegungen ersetzt.



3. Beispiel – Turbinenwelle



Rissanzeigen
- Ungünstiges Kupplungsdesign
- Kupplungsbereich „nass“

Beschreibung	Wert
Typ	Einfachpeltonturbine
Baujahr	1952
Leistung	11 MW
Drehzahl	500 min ⁻¹
Betriebsstunden	4'500 h pro Jahr
Hersteller	Vevey

1. Geschmiedete Turbinenwellen zeigten im Kupplungsbereich der Laufräder seit 1980 immer wieder Rissanzeigen, die jeweils ausgeschliffen wurden
2. Rotorwellen wurden im Zuge einer Turbinen-Teilerneuerung im 2012 und 2013 ersetzt
3. Das Kupplungsdesign wurde modifiziert, die Kupplung wurde trockengelegt

Grobbeurteilung bzgl. Einflussgrößen

Wellenlage

- vertikal
- horizontal

Korrosive Umgebung

- trocken
- nass

Geometrie (z.B. Kerbfaktoren)

- günstig
- ungünstig

Weitere Einflussgrößen

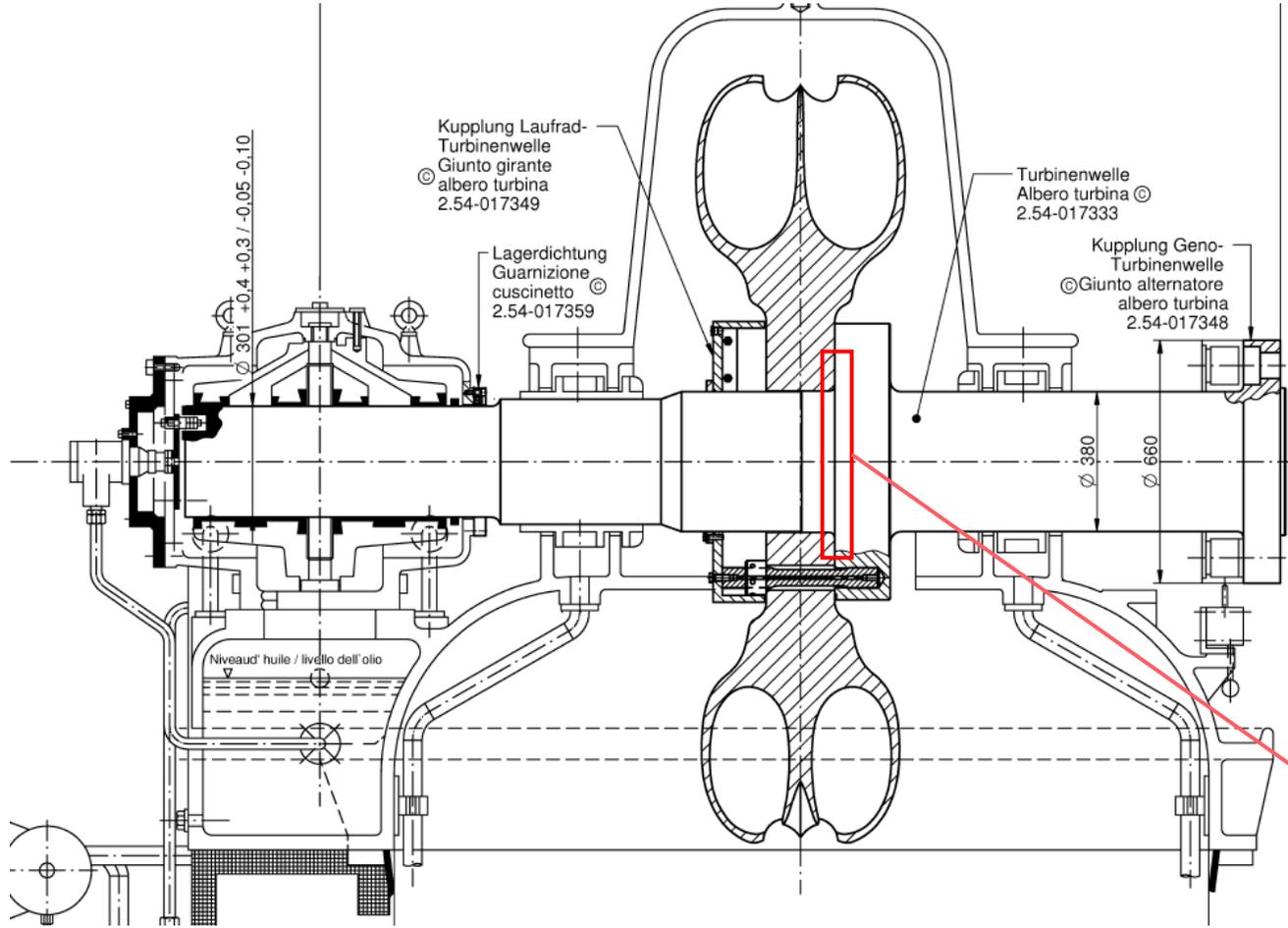
- Hohe Fertigungsqualität, wenig Lastzyklen
- Unbekannte Fertigungsqualität, viele Lastzyklen usw.

«Vorsicht»

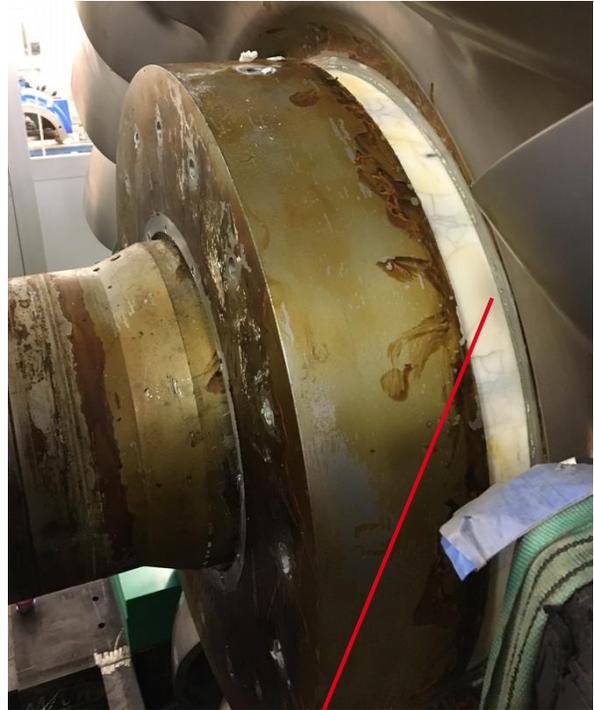


Neudesign Turbinenwelle, Trockenlegung

Inspektion und MT Prüfung nach 4.5 Jahren Betrieb und 22'000 Betriebsstunden



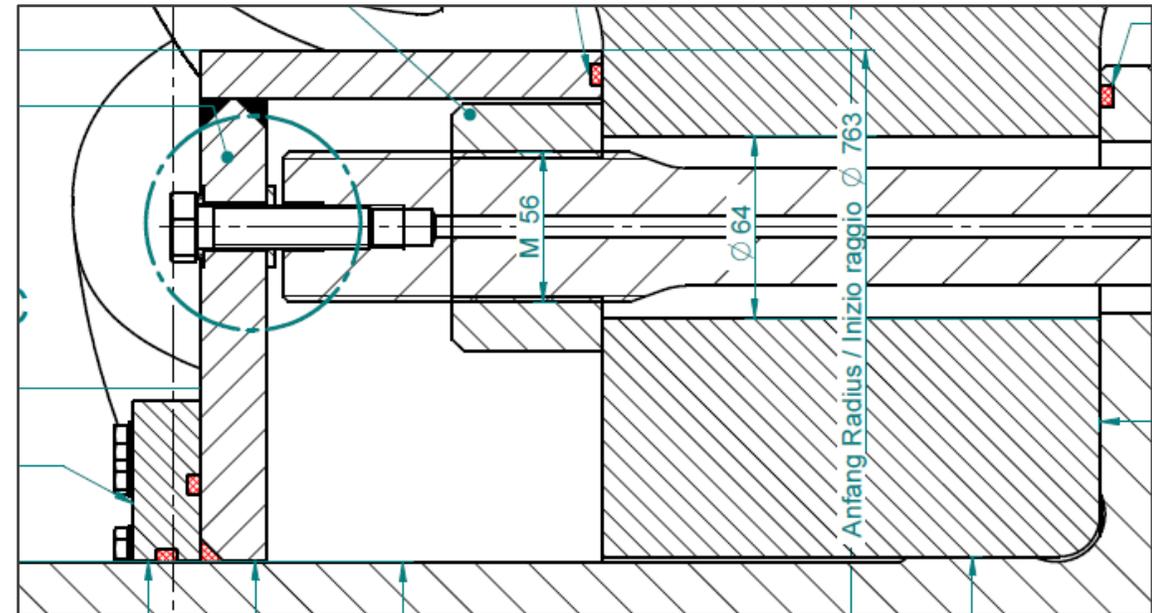
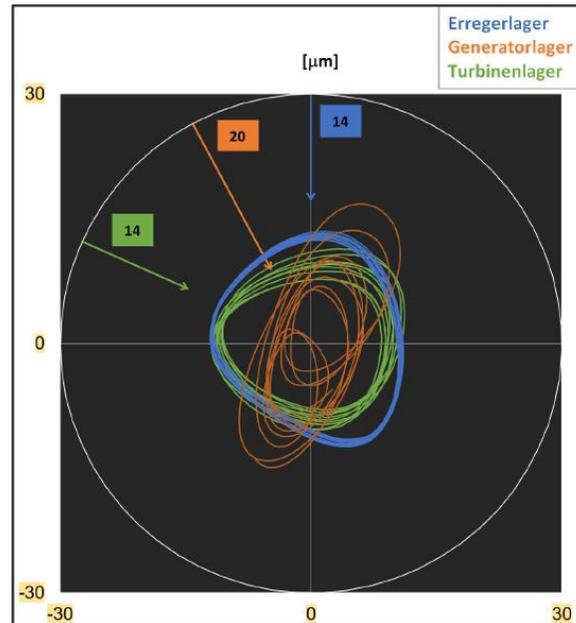
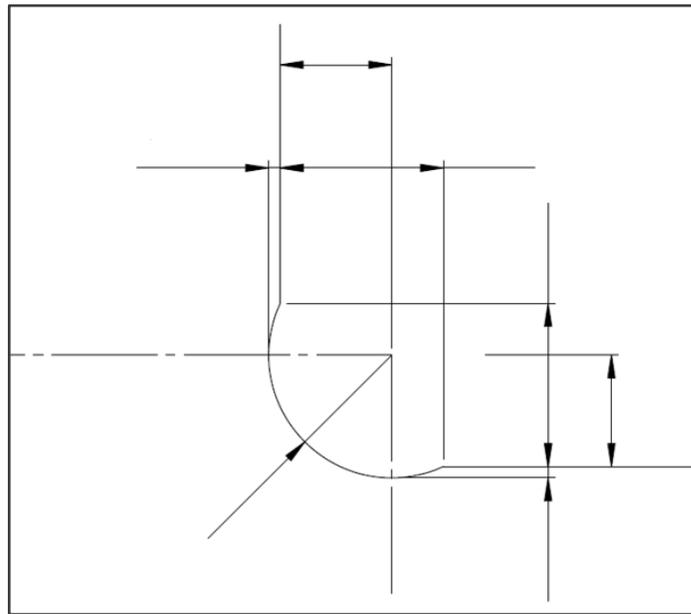
Rissanzeigen Turbinenwelle



Trockenlegung gefüllt mit Talg

Abklärungen, Verbesserung der Trockenlegung

- Die Rissanzeigen wurden auf einer Drehbank entfernt und MT geprüft.
- Eine der beiden Maschinengruppen zeigte trotz nicht funktionierender Trockenlegung keine Rissanzeigen im Flanschbereich, die andere hingegen schon.
- Umfangreiche Untersuchungen wurden initiiert mit Schwingungsmessung, Analysen der Unterschiede der Maschinengruppen, Aufnahme der Wellenlinie usw.
- Trockenlegung wurde modifiziert. Neu wurde der Kupplungsbereich mit Stickstoff gefüllt und ermöglicht eine Überprüfung der korrekten Funktion der Trockenlegung (Dichtheit).



1. Entwicklung Wasserkraft in der Schweiz, Bauformen
2. Einflussgrößen auf die Bauteile
3. Kritische und unkritische Einflussgrößen
4. Praxisbeispiele Rotoren
5. Praxisbeispiele weiter Komponenten und Bauteile
6. Fragestellung «Revision oder Neubeschaffung»
7. Zusammenfassung



Beispiele weiterer Bauteile

1. Kugelschieber – Rissanzeigen Drehkörper, vermutlich Fertigungsfehler



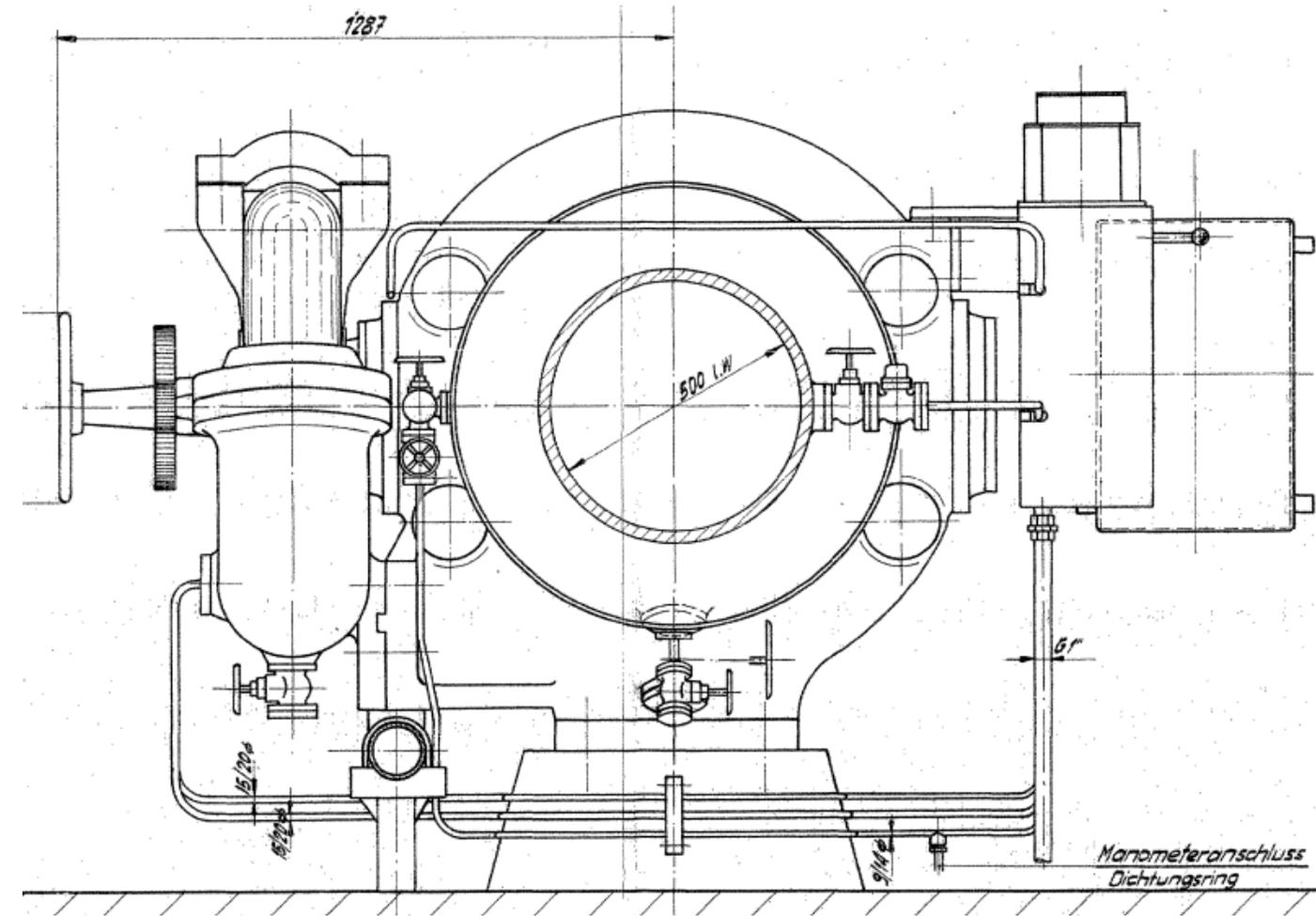
2. Druckregler – Rissanzeigen und Reparatur, Fertigungsfehler



3. Sicherheitsdrosselklappe – «unglückliches Design», hydraulische Anregung und Rissanzeigen



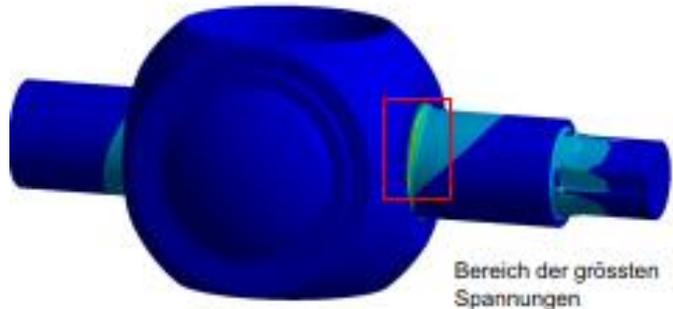
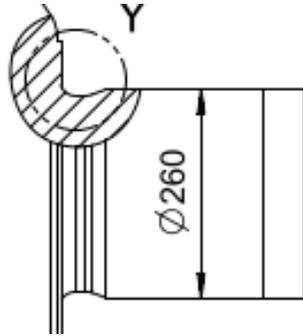
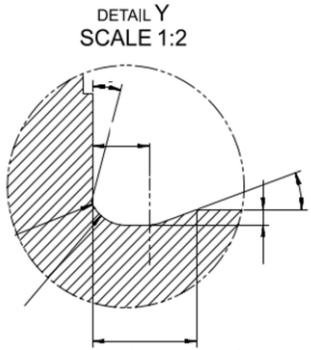
1. Beispiel – Kugelschieber Drehkörper



Beschreibung	Wert
Typ	Kugelschieber
Baujahr	1965
Hersteller	Von Roll
Nenn Durchmesser	500 mm
Nenn Druck	56 bar
Drehkörper	Stahlguss

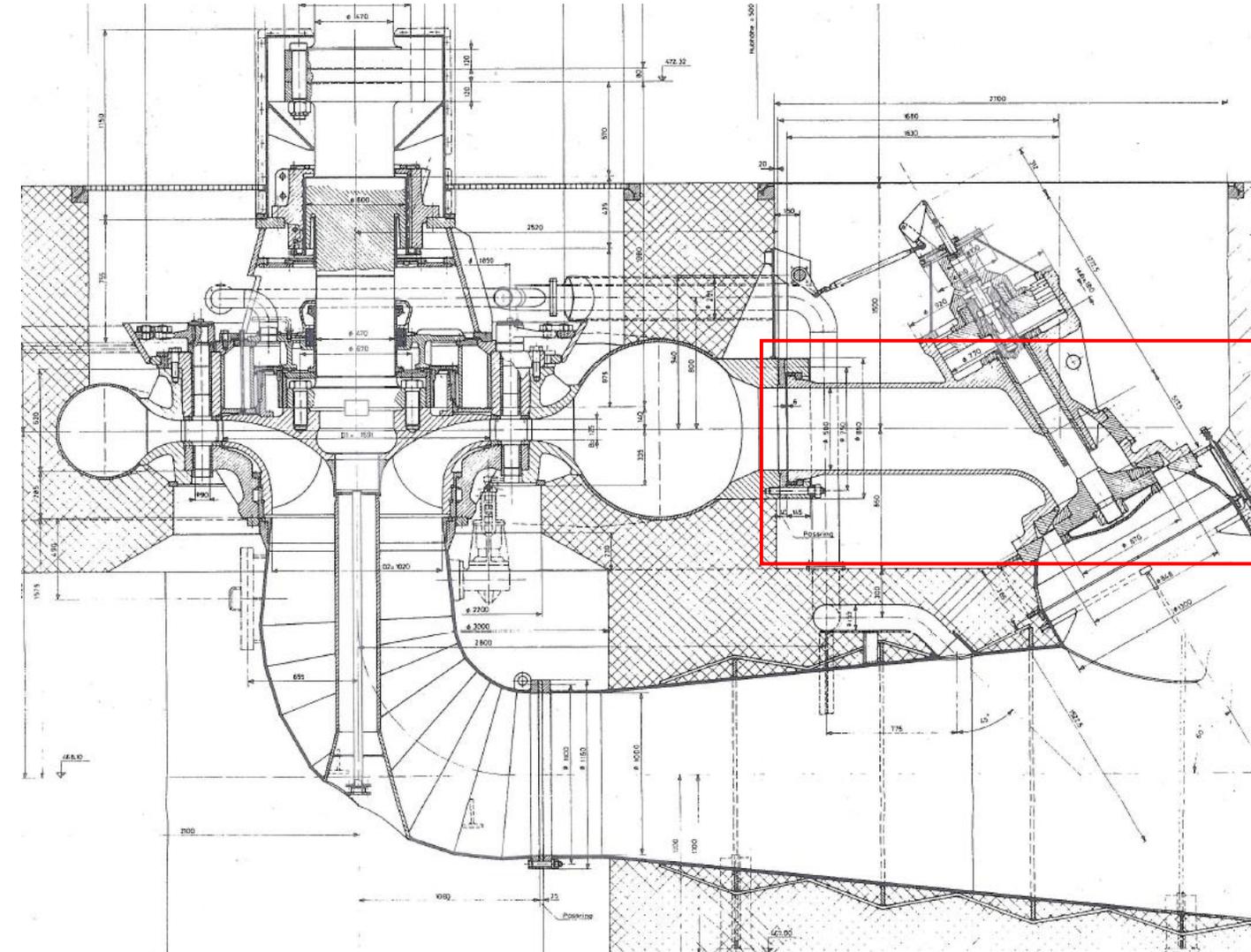
1. KW wurde von Axpo Anfang der 2000 Jahre erworben.
2. Kaum Informationen der zwischen 1985 – 1994 durchgeführten Revisionen.
3. Revision aller fünf Kugelschieber in den letzten Jahren

Kugelschieber Drehkörper



1. Drehkörper aus Stahlguss mit angegossenen Zapfen, grosse Querschnittsübergänge Drehkörper-Zapfen
 2. Rissanzeigen Übergang Drehkörper-Zapfen, nicht-antriebsseitig
 3. Versuch Auszuschleifen bis rund 3 mm nicht erfolgreich, Versuch mit Ausdrehen ebenfalls ohne Erfolg
 4. Risstiefe nicht bestimmbar, aufgrund «gezackten Verlauf» vermutlich Fertigungsris, aber in der hoch-belasteten Zone und theoretisch «wachstumsfähig»
 5. Günstige Form bzgl. Kerbwirkung mittels FEM festgelegt und Zapfen mittels Drehen nachbearbeitet
- Neubeschaffung Drehkörper initiiert, mit dem Ziel den bestehenden Drehkörper innert Jahresfrist zu ersetzen – was inzwischen erfolgt ist.

2. Beispiel – Druckregler

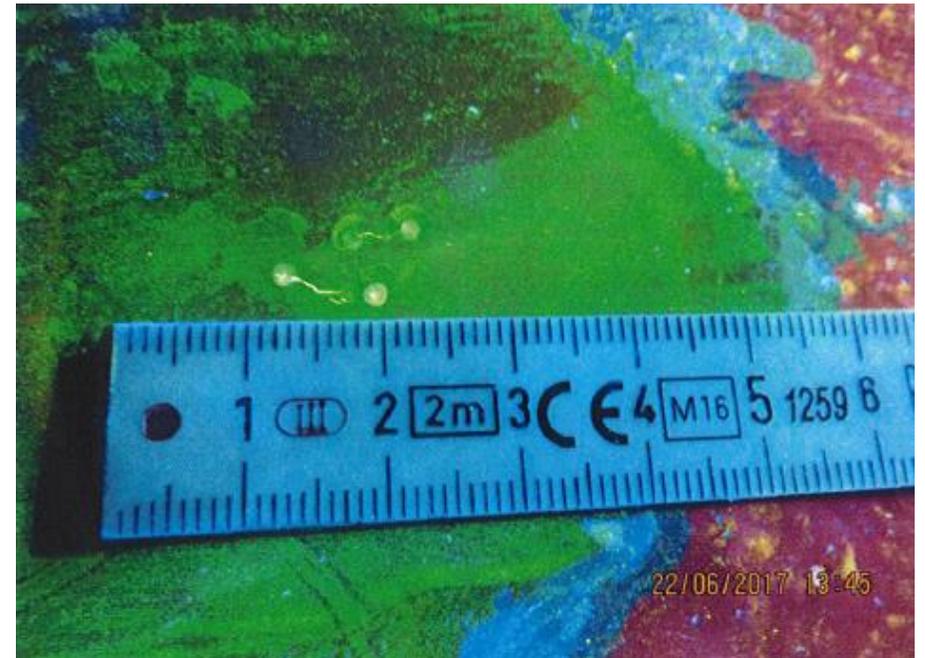


Beschreibung	Wert
Typ	Druckregler Francisturbine
Baujahr	1973
Hersteller	Bell Maschinenfabrik
Leistung	40.4 MW
Fallhöhe	360 m
Material	Stg. 45.97

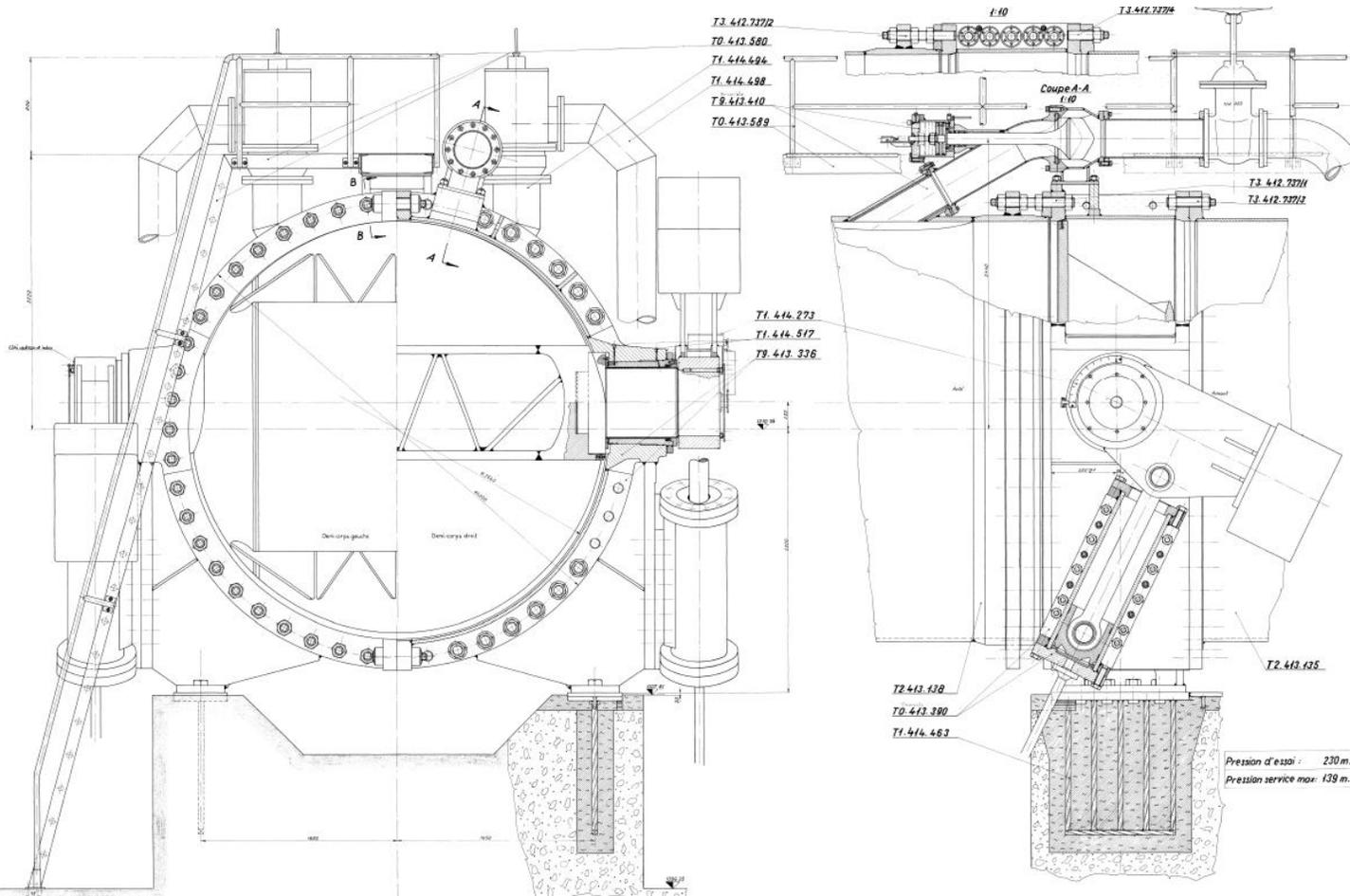
1. Erneuerung hydraulischer Turbinenregler, Revision Druckregler
2. Gehäuse Druckregler, Stahlguss schweissbar
3. Rissanzeigen Gehäuse bei der Revision festgestellt, vermutlich aus der Fertigung

Druckregler, Gussfehler Gehäuse

- Versuch Auszuschleifen bis zu einer Tiefe von max. 1/3 der Wandstärke (10 ... 20 mm) – nur teilweise erfolgreich.
- Schweissen; Pufferlage, danach Schweisslagen, Verschleifen und MT-Prüfungen zwischen den Schweisslagen.
- Montage und regelmässige MT-Prüfungen nach Einbau (in gestaffelten Intervallen).
- Rissanzeige nach Einbau aufgetaucht – aber kein Wachsen der Anzeige



3. Beispiel – Drosselklappe

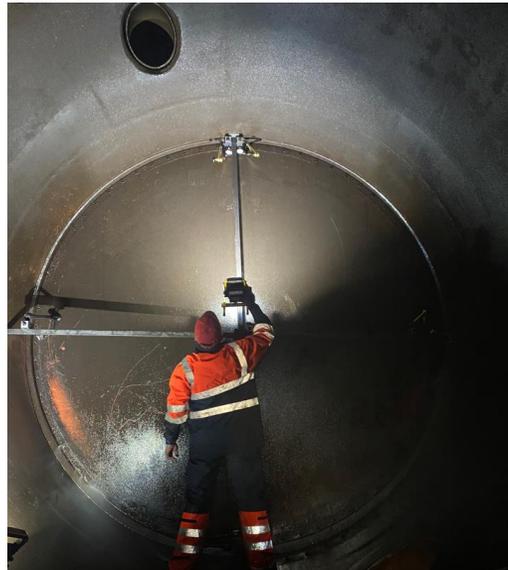
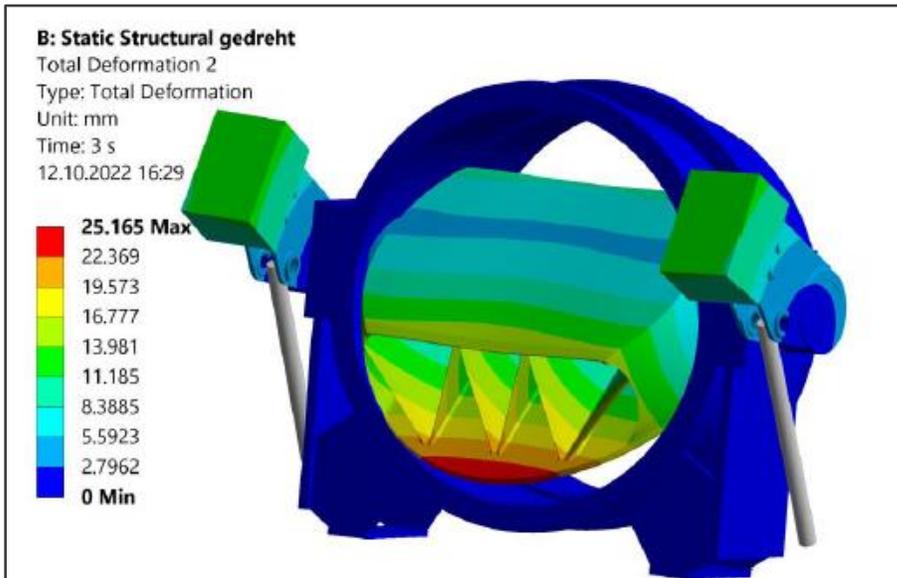


Beschreibung	Wert
Typ	«Doppeldecker» Drosselklappen (3 Stk.)
Baujahr	1974
Hersteller	Vevey
Durchmesser	3'500 mm
Durchfluss	85 m ³ /s (Nennbetrieb)
H max. stat.	91 m

1. Im 1978 Rissanzeigen erstmalig aufgetaucht, die repariert wurden.
2. Danach Prüfungen ohne Befund, letzte Prüfung aber >10 Jahre her.
3. Erstmalige Revisionen der drei DK nach rund 40 Jahren Betrieb geplant.

Drosselklappe – Auslegung/Design

- Bereits in der ersten Betriebsphase Risse an den Rippen aufgrund Strömungsanregungen.
- Weitere «Zweifel» an der Auslegung/dem Design bei der Klärung des Revisionsumfangs. Detaillierte Nachrechnungen und Designanalyse aufgrund der Wichtigkeit der Kraftwerksanlage mit mehreren Lieferanten und Spezialisten durchgeführt.
 - Schweissnähte der Rippen des Tellers sind ungünstig und nicht zerstörungsfrei prüfbar
 - Klappenteller zeigt starke Verformung aufgrund geringer Steifigkeit, Dichtungsdesign diesbezüglich nicht optimal. Spannungsspitzen an ungünstigen Radien der Lagerzapfen.
- Aus Kosten-Risiko-Transport-Überlegungen werden bei 2 Klappen die Teller ersetzt.
- Die Sicherheitsdrosselklappe im Wasserschloss wird komplett ersetzt.

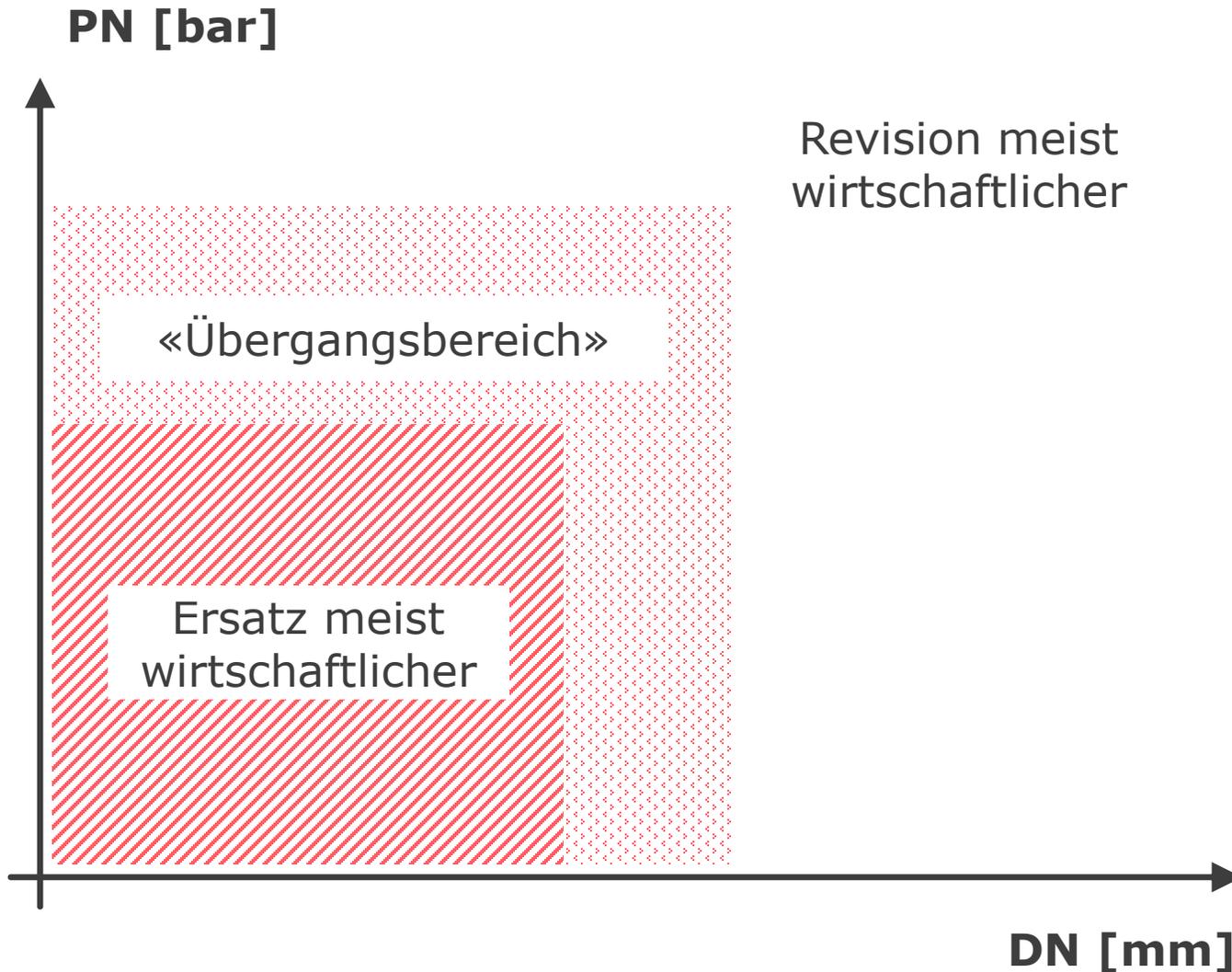


Quellen:
- 3D FE Berechnung Andritz
- Foto Nachmessung Axpo
- Foto KW Bitsch, Hydro Exploitation

1. Entwicklung Wasserkraft in der Schweiz, Bauformen
2. Einflussgrößen auf die Bauteile
3. Kritische und unkritische Einflussgrößen
4. Praxisbeispiele Rotoren
5. Praxisbeispiele weitere Komponenten und Bauteile
6. Fragestellung «Revision oder Neubeschaffung»
7. Zusammenfassung

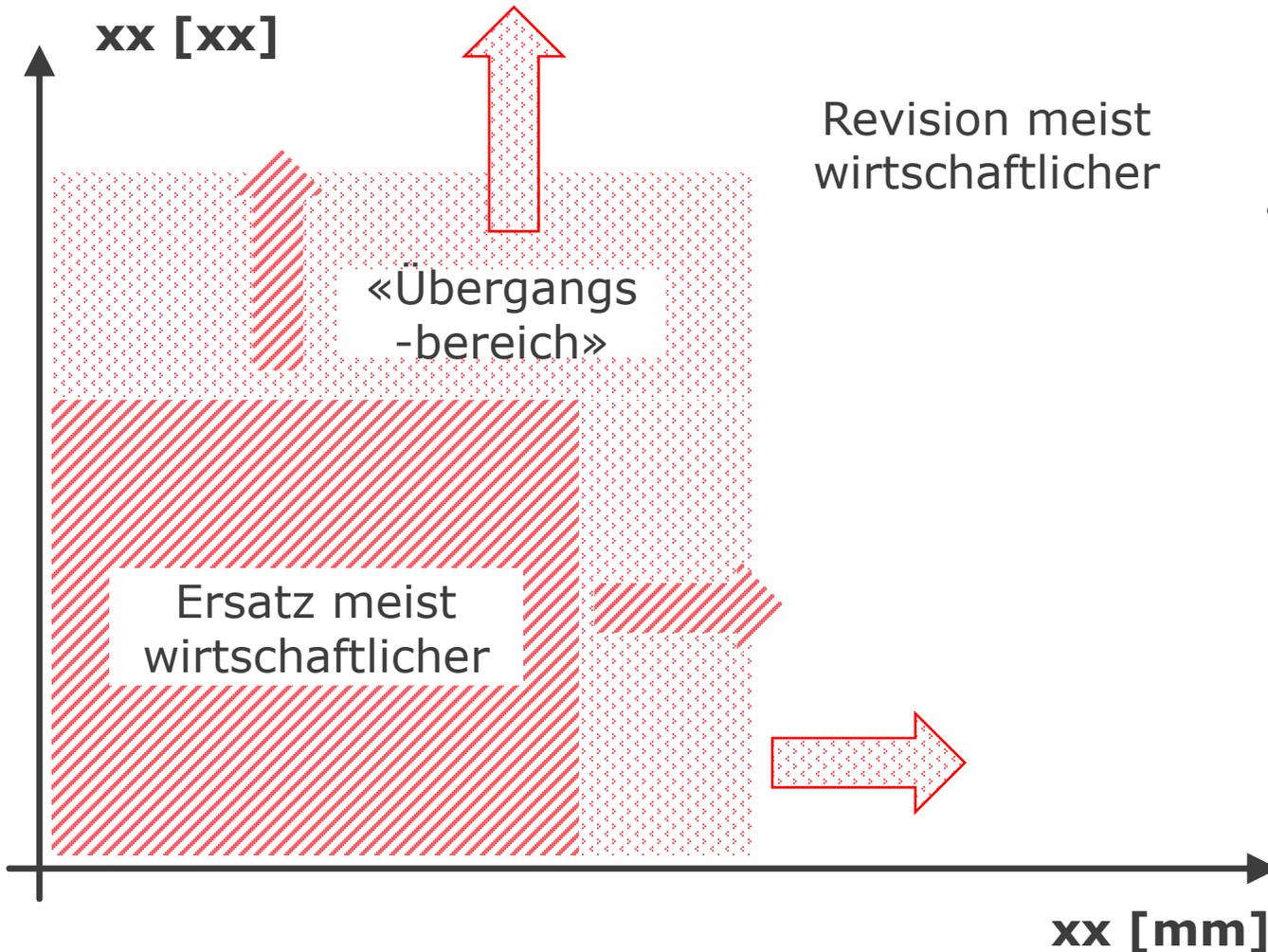


Kugelschieber – Revision oder Neubeschaffung



- Eine Revision älterer Komponenten beinhaltet immer Risiken
- Bei grossen Komponenten ist Neubeschaffung teurer verglichen mit einer Revision.
- **Spezifisch für Kugelschieber:** Ohne Stillstandskosten (Opportunitätskosten) und Risikobetrachtung ist unsere Erfahrung wie folgt:
 - < DN500: Neubeschaffung meist wirtschaftlich interessanter
 - DN500 - DN700, hier sind die beiden Varianten zu vergleichen
 - > DN700 ist eine Revision meist wirtschaftlicher

In Analogie - weitere Bauteile/Komponenten



- **Gleiche Überlegungen gelten auch für:**
 - **Düsen von Peltonturbinen**
 - **Turbinenlaufrädern**
 - **usw.**
- **Mit effizienteren Fertigungsmethoden verschiebt sich der wirtschaftliche Bereich für eine Neubeschaffung hin zu grösseren Bauteilen.**

Gutes Beispiel ist die Neufertigung von Peltonlaufrädern. Diese können heute auch für grosse Durchmesser effizient aus einer Schmiedescheibe mittels 5-Achsenbearbeitungsmaschinen gefertigt werden.

1. Entwicklung Wasserkraft in der Schweiz, Bauformen
2. Einflussgrößen auf die Bauteile
3. Kritische und unkritische Einflussgrößen
4. Praxisbeispiele Rotoren
5. Praxisbeispiele weitere Komponenten und Bauteile
6. Fragestellung «Revision oder Neubeschaffung»
7. Zusammenfassung



Zusammenfassung

- In der Schweiz wurden eine Vielzahl von Wasserkraftwerken zwischen 1955 und 1980 gebaut.
- Die Anlagen weisen mehrheitlich ein zu ihrer Bauzeit charakteristisches Design auf.
- Materialien sind meist heute nicht mehr üblich, die Dokumentation ist unvollständig ggf. sind Zeichnungen fehlerhaft.
- Unter Anwendung heutiger Kriterien für die Werkstoffprüfung, sind viele Bauteile fehlerhaft, müssen repariert oder ersetzt werden.
- Ein Entscheid ist anspruchsvoll und muss vielfach auf Basis unvollständigen Grundlagen erfolgen – oft auch unter grossem Zeitdruck.
- Im Vorfeld eines Projektes lohnt es sich, sich vertiefte Gedanken zu der geschilderten Thematik zu machen und Handlungsoptionen zu vergleichen.

Letztlich liegt der finale Entscheid mit allen Konsequenzen und Verantwortung immer beim Betreiber!

a x p o