

HYDRAULISCHE, ÖKONOMISCHE UND NACHHALTIGE OPTIMIERUNG VON TRIEBWASSERWEGEN FÜR HOCHDRUCK- WASSERKRAFTWERKE

Wolfgang RICHTER¹, Kaspar VEREIDE², Josef SCHNEIDER¹, Gerald ZENZ¹

¹Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Stremayrgasse 10/2, A-8010 Graz,
Austria,

²Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU, S. P. Andersens veg 5, N-7491 Trondheim,
Norway

Inhalt

- Ziel – optimierte Hochdruckleitung PSKW
- Historische Beispiele Druckrohrleitung - Wasserleitung
- Hochdruckwasserkraftleitungen in Norwegen
- Entwicklung der Druckluftwasserschlässe (DWS) in Norwegen
- DWS in Österreich
- Vorteile vs. Herausforderungen DWS
- Aktuelle Forschungsfragen

Optimierung von Hochdruckwasserkraftleitungen für PSKW



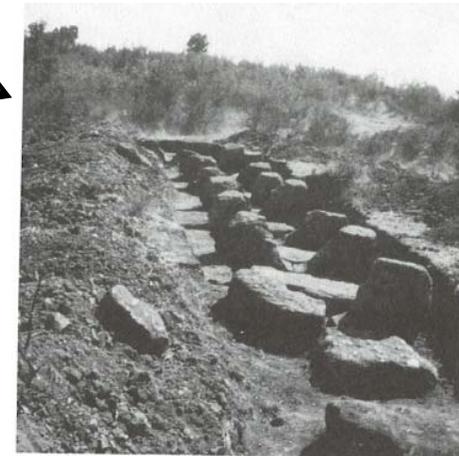
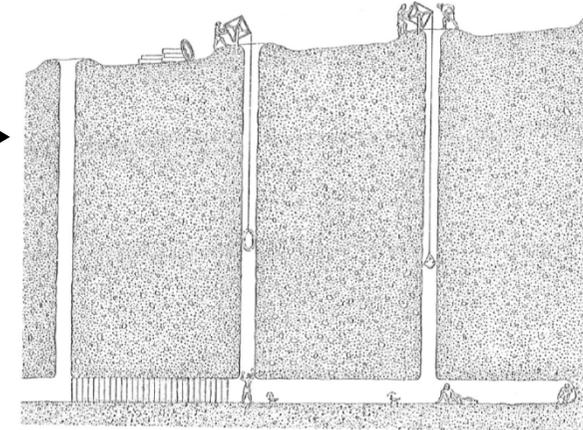
Historische Untertage-Wasserleitungen

- ca. 1000 v. Chr. Entwicklung der Kanaten
 - Antik 40.000-50.000 – heute ca. ½ noch in Betrieb

- ca. 200 v. Chr. Bau der Druckrohleitung von Pergamon
 - Bleirohre hielten 175 mWS stand
 - Betriebsdauer mind. 380 Jahre

- Ca. 550 v. Chr Bau des Eupalinostunnels auf Samos
 - Länge 1036 m
 - Betriebsdauer mind. 1200 Jahre

- ab. 312 v. Chr. Beginn des römischen Aquäduktbaus
 - Druckrohleitungen in Syphonstrecken über Aquädukte
 - Ableitung des Worts Castellum - Wasserschloss



Quelle: Garbrecht G. *Meisterwerke antiker Hydrotechnik*, Verlag Teubner Zürich 1995

Hochdruckwasserkraftleitungen in Norwegen

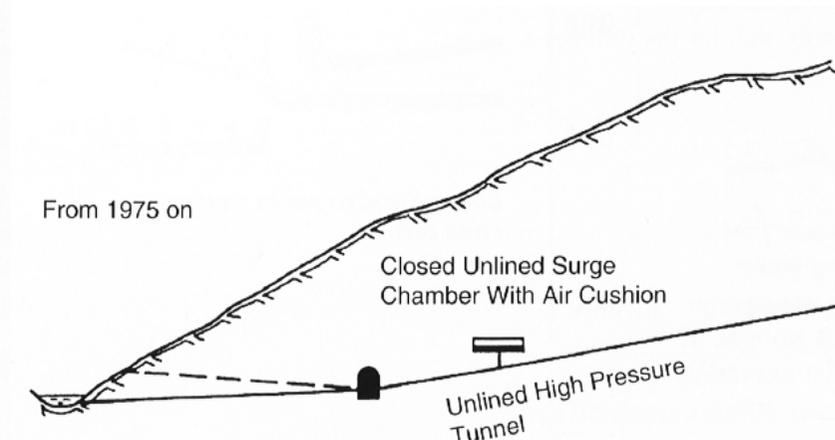
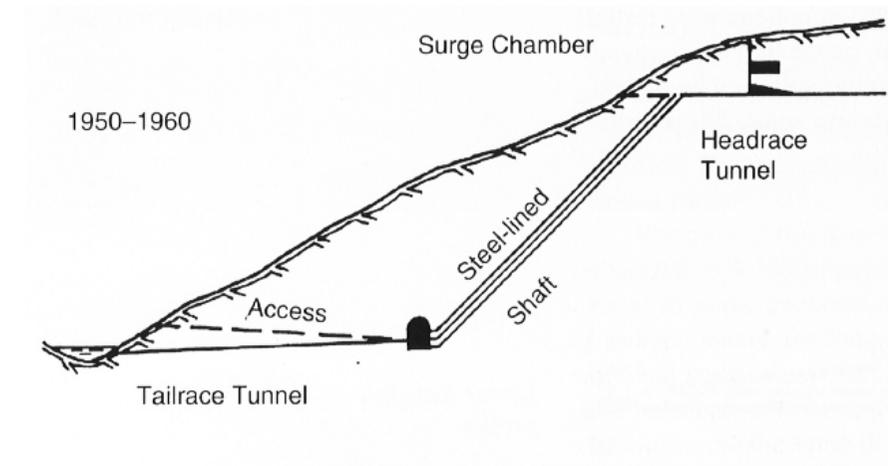
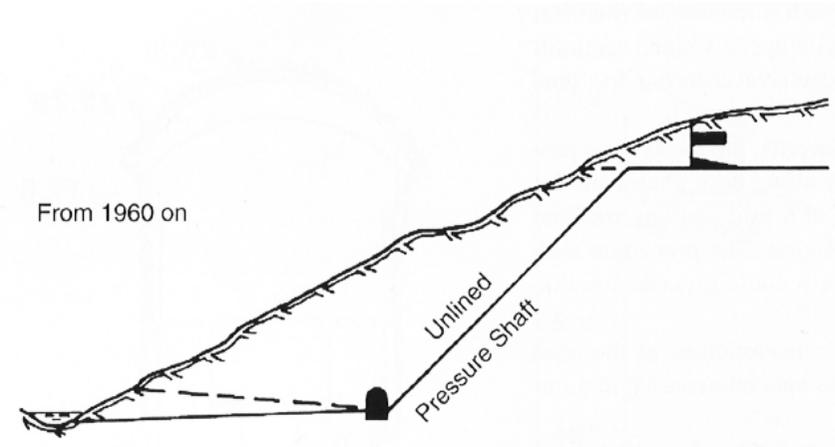
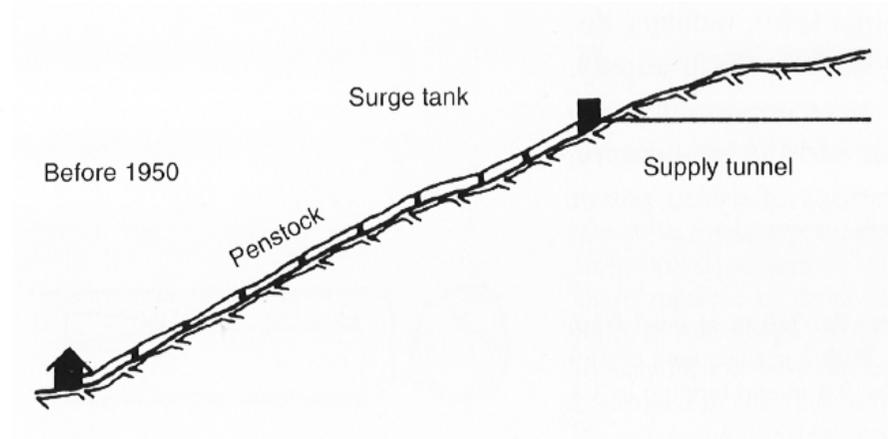
- Norwegen 98 % des Stromverbrauchs aus Wasserkraft
- Stromverbrauch pro Capita 25.000 kWh (Ö: 8.300 kWh)
 - Kraftwerkskomplex Ulla-Førre
 - Installierte Leistung 2040 MW
 - Kraftwerk Kvilldal 1204 MW
 - Energieinhalt Blåsjø 7,8 TWh, 3,1 Mrd. m³
 - ~ 21.4 Mio Schwerarbeitermannjahre



Quelle: <http://arcus.nve.no>

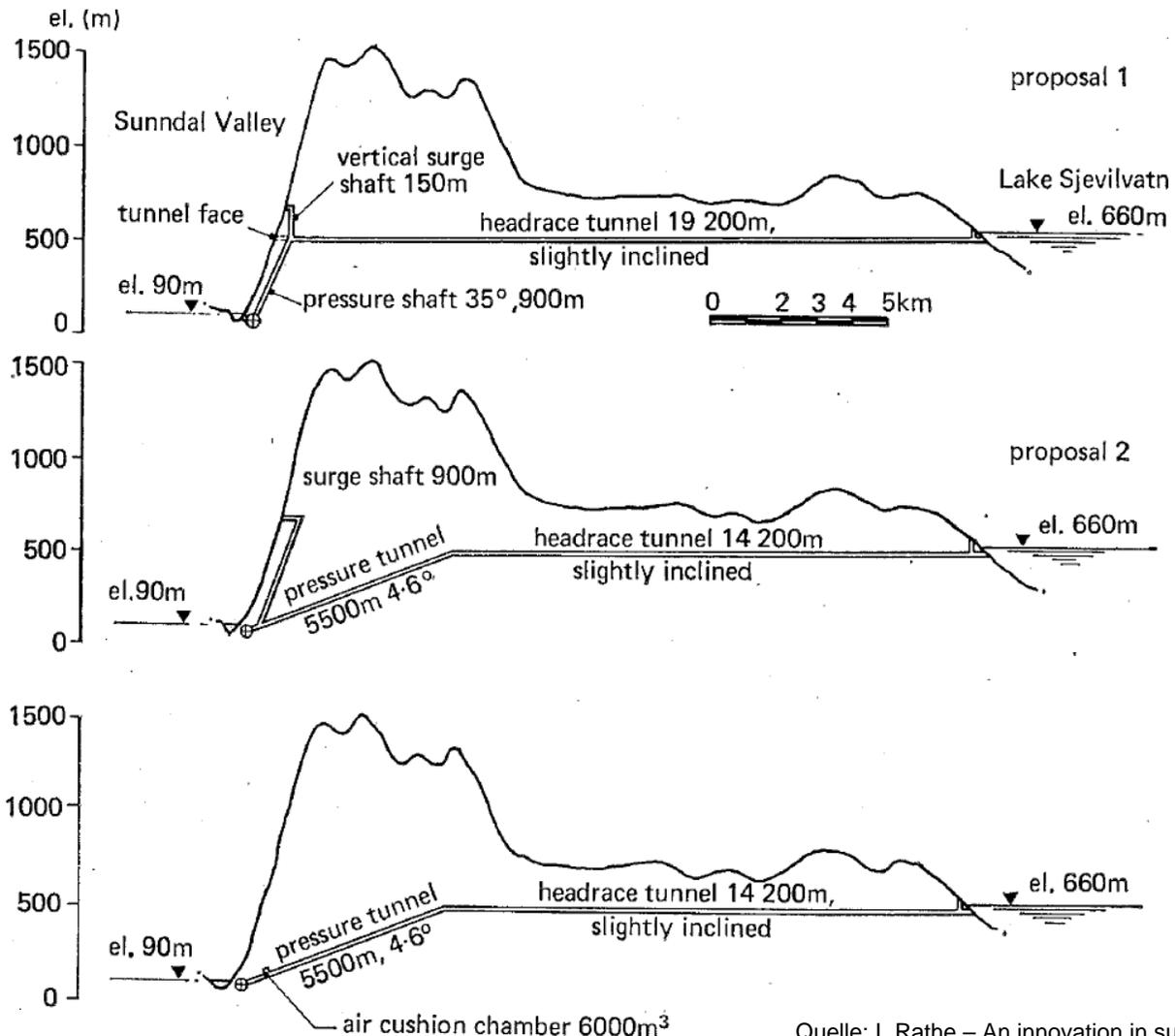
Quelle: <http://www.statkraft.com>

Entwicklung von Hochdruckanlagen in Norwegen



Quelle: Vidkunn Hveding Hydropower Development in Norway, 1992

KW Driva $Q_a=30 \text{ m}^3/\text{s}$



Problem:

- Baustellen Zugang
- Stabilitätsproblem 900 m hohes Wasserschloss

Lösung:

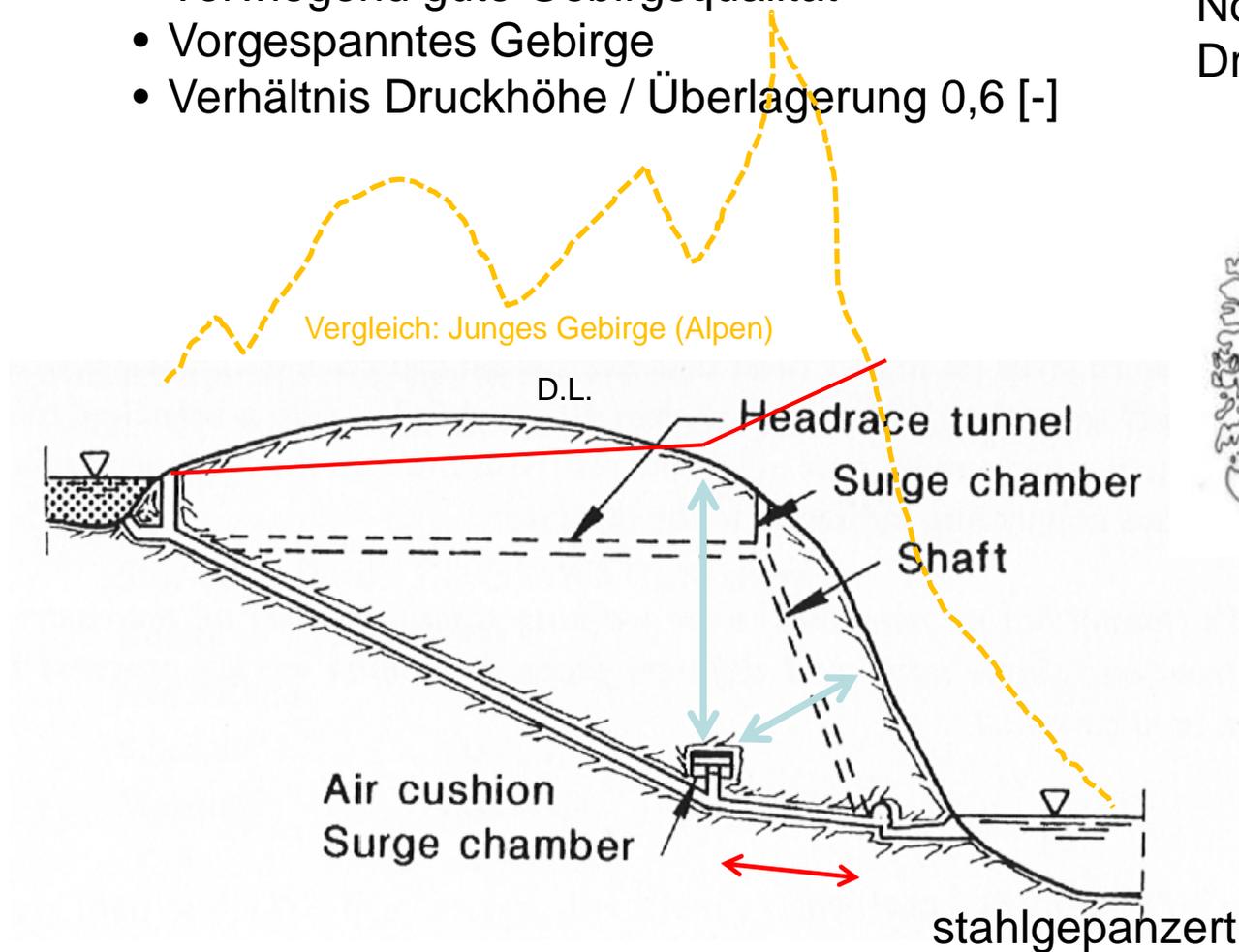
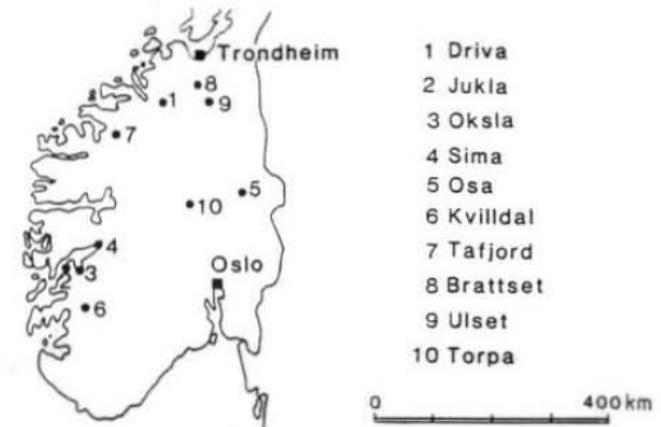
Druckluftwasserschloss

Quelle: L.Rathe – An innovation in surge chamber design, Water Power & Dam 1975

Vorteile norwegischer Geologie

- Vorwiegend gute Gebirgsqualität
- Vorgespanntes Gebirge
- Verhältnis Druckhöhe / Überlagerung 0,6 [-]

Norwegische Druckluftwasserschläsler



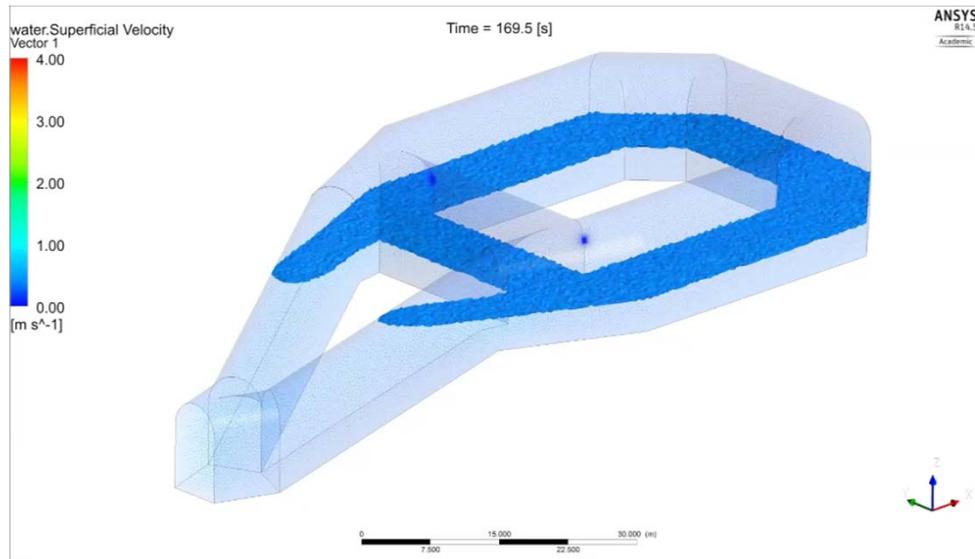
Quelle: Vidkunn Hveding Hydropower Development in Norway, 1992

Norwegische DWS

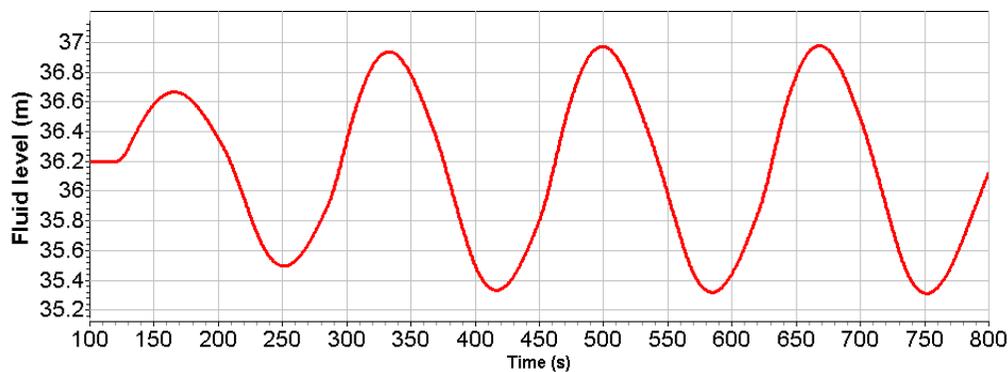
Projekt	Gebirgsart	Volumen m ³	Erfahrung
Driva	Banded gneiss	6600	Kein Luftverlust
Jukla	Granitic gneiss	6200	Kein Luftverlust
Oksla	Granitic gneiss	18100	Luftverlust <5Nm ³ /h
Sima	Granitic gneiss	10500	Luftverlust <2Nm ³ /h
Osa	Gneissic granite	12000	Intensive Injektionen
Kvilldal	Migmatitic gneiss	120000	Druckwasser-abdichtung notwendig
Tafjord +)	Banded gneiss	2000	Druckwasser-abdichtung notwendig
Brattset	Phyllite	9000	Luftverlust 11 Nm ³ /h
Ulset	Mica gneiss	4800	Kein Luftverlust
Torpa	Meta siltstone	14000	Druckwasser-abdichtung notwendig

Quelle: Kjørholt, H. (1991). Gas Tightness of Unlined Hard Rock Caverns. Dissertation NTH Trondheim

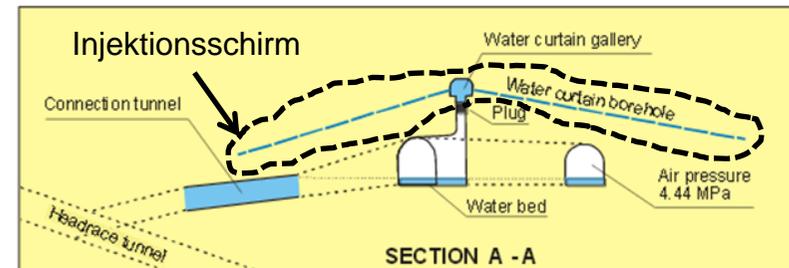
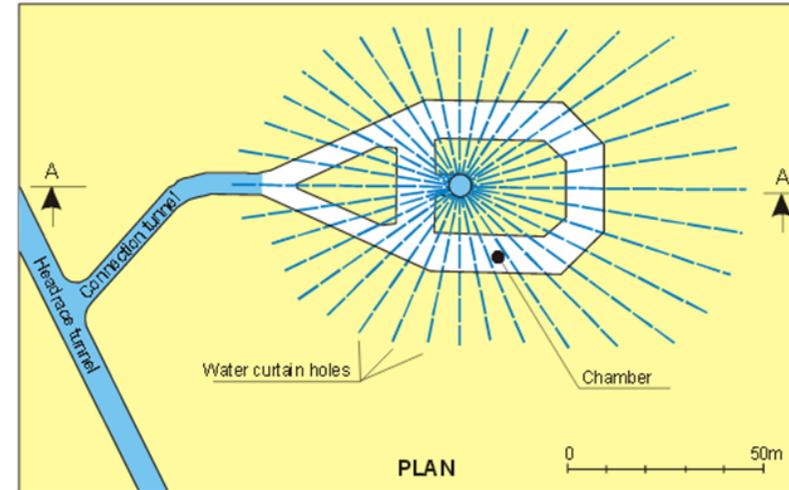
DWS Torpa



Resonanzschaltfall $Q_a = 35,5 \text{ m}^3/\text{s}$



— Wasserspiegel DWS Torpa

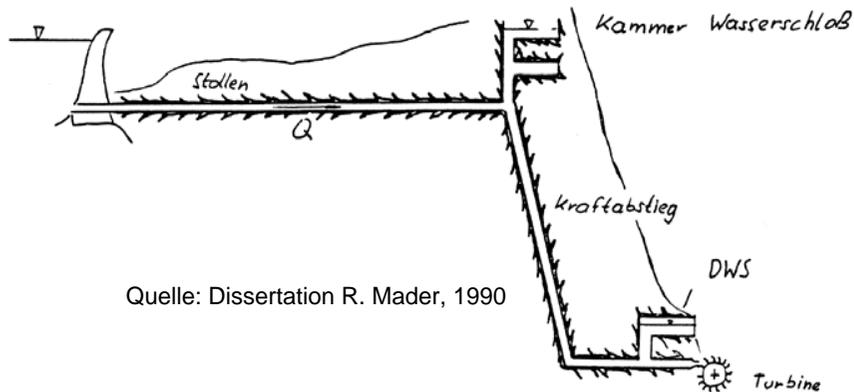


Wasserdruck im Wasserschirm ~ 20 mWs über dem statischen Innendruck im DWS

Quelle: Palmström A. *AIR CUSHION SURGE CHAMBER a cost-effective solution in hydropower design*, www.rockmass.net, 2008

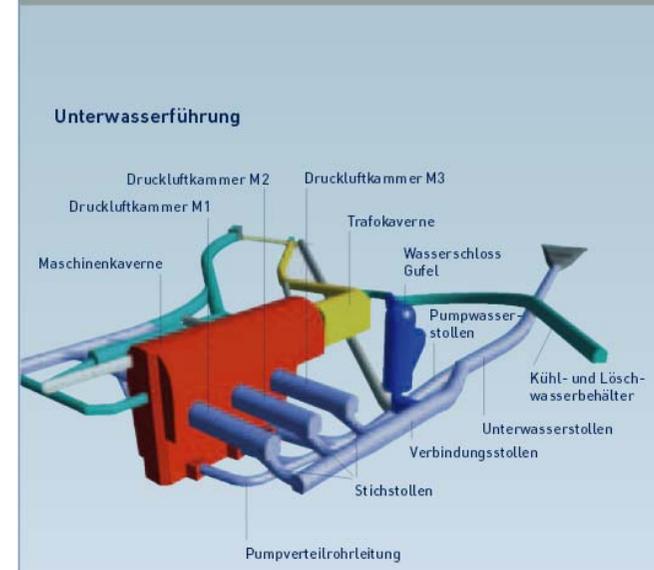
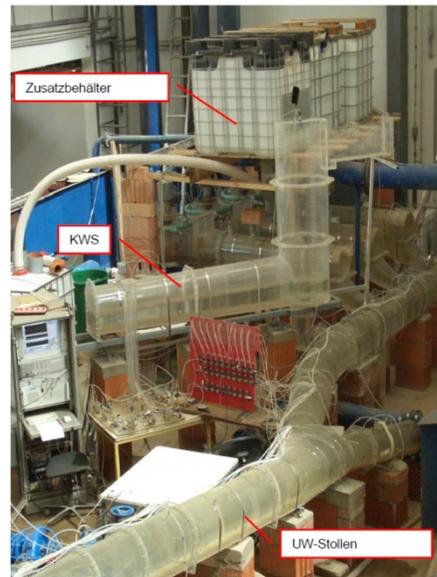
Limit für nötiges Grouting + Wasserschirm		
$\kappa =$	1E-14	[m ²]
$k_f =$	7,55E-08	[m/s]

DWS Österreich – PSKW Kops 2



Quelle: Dissertation R. Mader, 1990

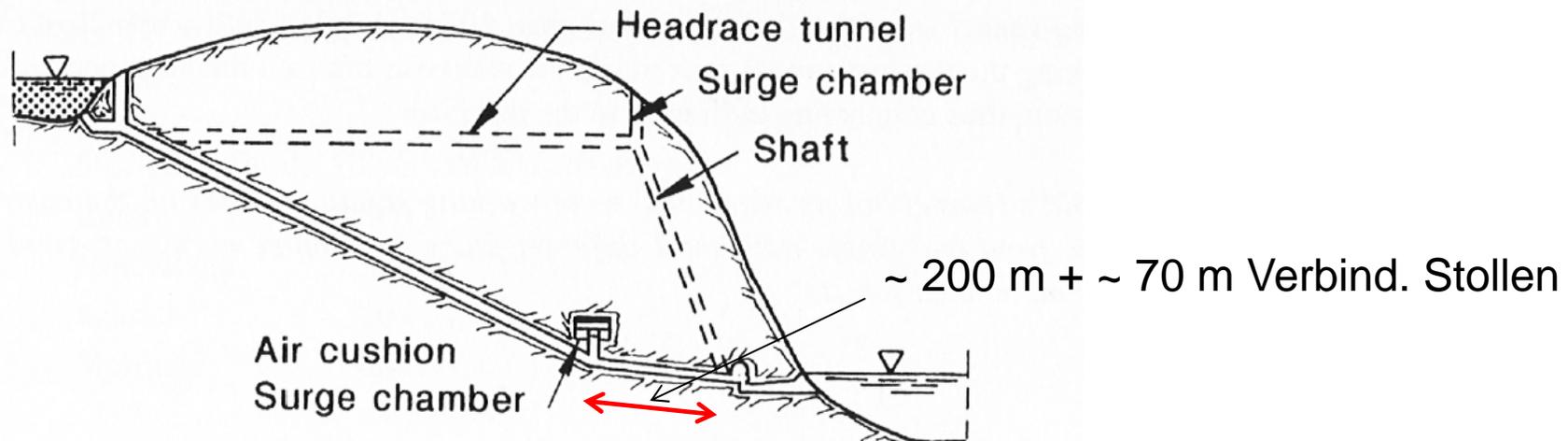
Modellversuch Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft TU Graz



Quelle: <http://www.kopswerk2.at>

Vorteile DWS

- Direkten Stollenverbindung
- Geringere hydraulische Verluste
- Minimierung des gepanzerten Druckschachtes
- Kurze hydraulische Distanz DWS - Maschinen – erhöht Stabilität
- Kein zusätzlicher Zugang für für Wasserschlosses
- Der tiefliegende Druckstollen - erhöhte Sicherheit – längere Lebensdauer
- Höhere Gebirgsüberdeckung - Vorteil bei Auskleidung – evt. längere Strecken unausgekleidet
- Eine geringe Massenträgheit gedrungenen Druckkammer - schnelle Druckstoßreflektion des DWS – sehr geringer Druckstoß



Herausforderung DWS

Die wichtigsten Randbedingungen für ein DWS sind:

- minimale Gebirgsspannungen $>$ max. Luftdruck
- Dichtes Gebirges

Zusätzliche Einrichtungen für den Betrieb eines DWS sind:

- Luftversorgungsleitungen, Kompressoren
- Evt. Wasserschild + Grouting
- Zugangsstollen Kaverne

Betriebserfordernisse:

- Luftentleerung im Revisionsfall
- Beträchtliche Luftbefüllzeiten

Forschungsanstrengungen

- Untersuchungen des gesamten Triebwasserwegs im Labor an - NTNU
- Auswertung von unveröffentlichten Messungen zur Beurteilung der Thermodynamik in einer Druckluftkammer - NTNU
- Einsatz von Drosseln in DWS – Stabilität und upgrade - NTNU
- Anwendungsmöglichkeiten für alpine Anlagen
 - Anforderungen an Gebirge
 - Platzierung der Kaverne
 - Ökonomische Komponente
- Verwendung von Absperrorganen im Revisionsfall
- Verschließen der Maschinen innerhalb von wenigen Sekunden

Danke für die Forschungszusammenarbeit mit NTNU



Internationalisierung



Lifelong
Learning
Programme



NTNU – Trondheim
Norwegian University of
Science and Technology

Prof. Leif Lia
Prof. Einar Broch
Dr. Halvor Kjørholt

CEDREN

Centre for Environmental Design of Renewable Energy

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

