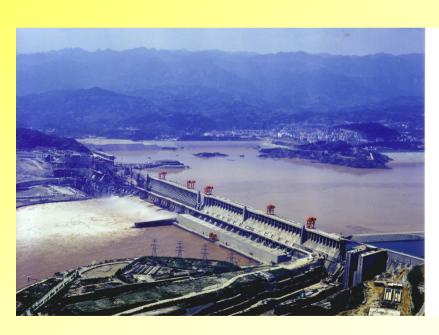
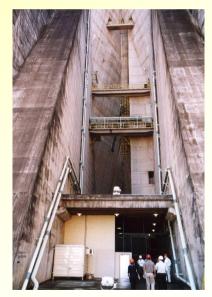
Vorlesung "Talsperren"

Prof. Dr.-Ing. Peter Rißler

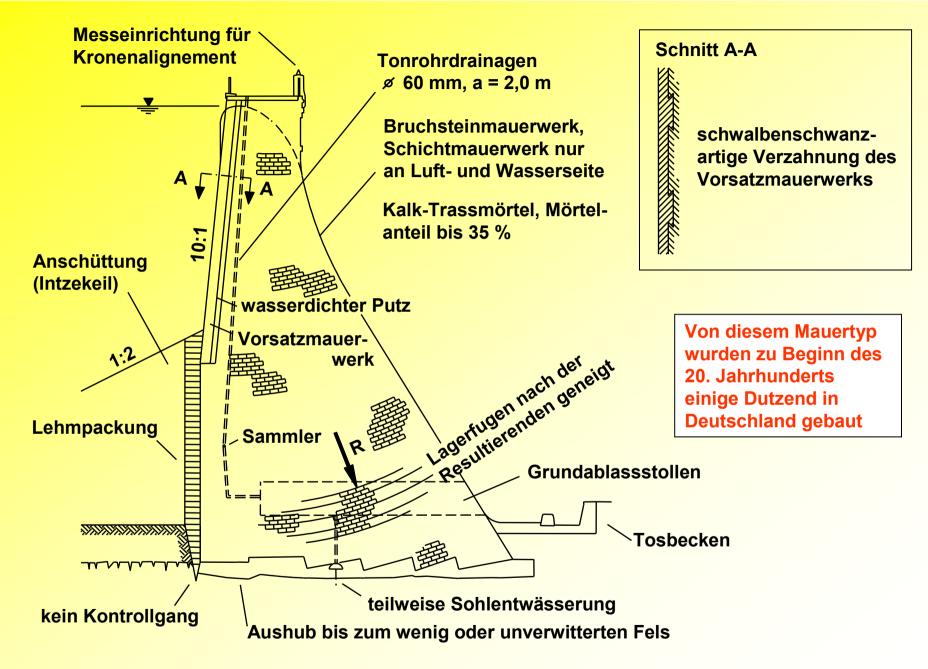
4. Staumauern - Konstruktive Details



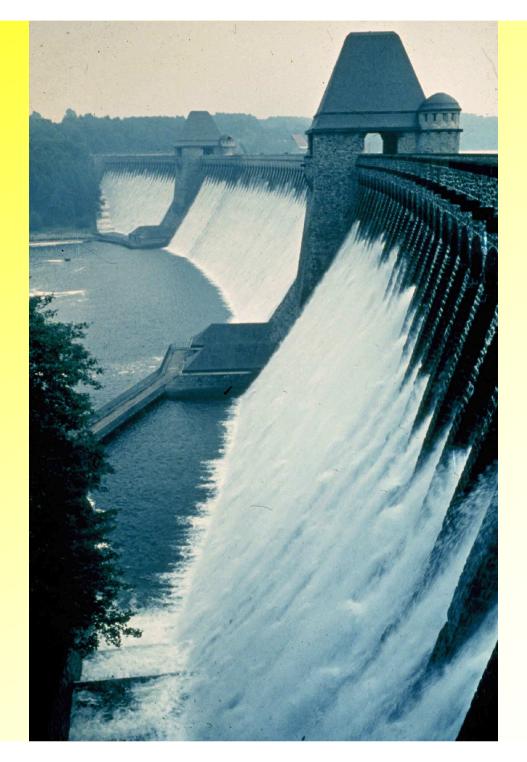
Drei Schluchten Projekt (TGP = Three Gorge Project), Yangtze, China



Itaipu, Brasilien/Paraguay



Querschnitt einer Gewichtsstaumauer aus Bruchsteinen



Beispiel Möhnemauer, (Gewichtsstaumauer), gebaut 1907-1913, 650 m lang, ca. 40 m hoch

Gewichtsstaumauer aus Beton

Beispiel:

"Drei Schluchten Project" am

Yangtze

Kronenhöhe 185 müNN

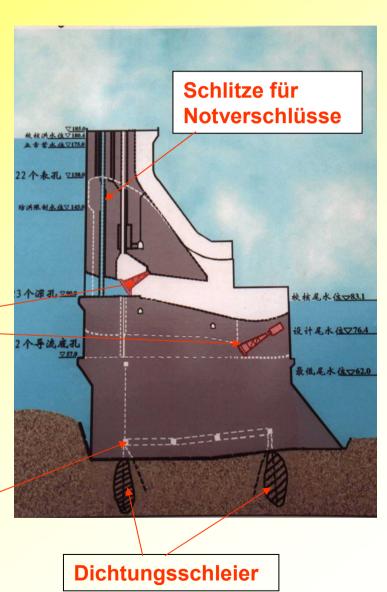
Gründungssohle

10 müNN

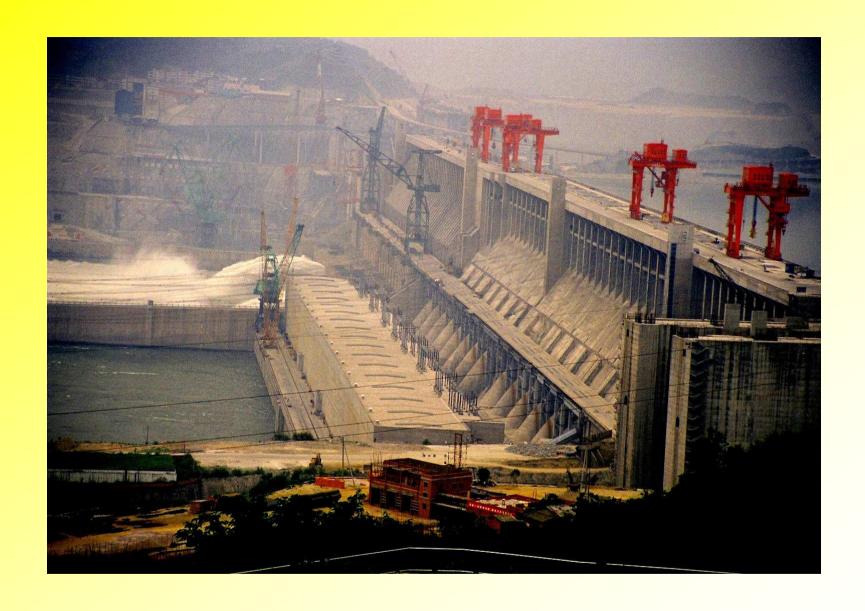
Länge 2309 m

Grundablässe

Kontrollgänge, teilweise als Drainagestollen ausgebildet



© Peter Rißler



Gewichtsstaumauer und Kraftwerk des "Drei Schluchten Projekts" TGP "Three Gorge Project" am Yangtze, Situation Mitte 2004

Temperatureinflüsse bei Gewichtsstaumauern

Merke:

Betonmauern sind empfindlich gegen Temperatureinflüsse, Bruchsteinmauern kaum.

Gewichtsstaumauern aus Beton müssen Dehnungsfugen aufweisen, Bruchsteinmauern nicht.

Innere Kräfte infolge Temperatureinwirkungen:

$$\sigma_t = \varepsilon_t \cdot E \cdot Z \cdot (t_e + t_{st} - t_d)$$

 $\sigma_t = Temperaturspannung (Soll < 1,5 MN/m²)$

 ε_t = Wärmedehnzahl des Betons, ε_t = 0,00012 (für 1 ° C)

E = Elastizitätsmodul des Betons, E = 14 - 21000 MN/m²

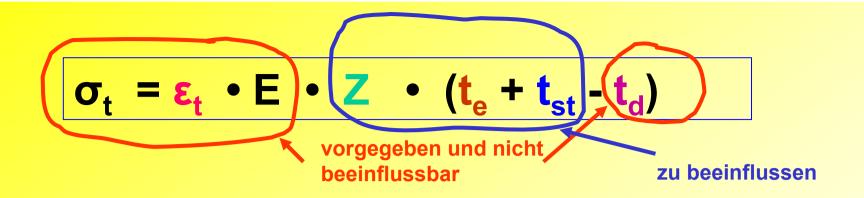
Z = Zwängungsfaktor

Z = 1, dort wo die Temperaturdehnungen völlig verhindert werden, z.B. in der Fundamentebene

Z = 0.5 in 0.15 der Blockhöhe

Z = 0 in 0,5 der Blockhöhe

symbolisch zu verstehen



t_e = Einbringtemperatur des Betons, t_e = 5 bis 25 ° C

t_{st} = Temperatursteigerung des Betons beim Abbinden, z.B. 20 K bei 1,5 m Lagenhöhe und 3 Tagen Betonierpause

t_d = Dauertemperatur

= 5 bis 10 ° C an der Wasserseite und

= 15 bis 20 ° C an der Luftseite

$$\sigma_{t} = \varepsilon_{t} \cdot E \cdot Z \cdot (t_{e} + t_{st} - t_{d})$$

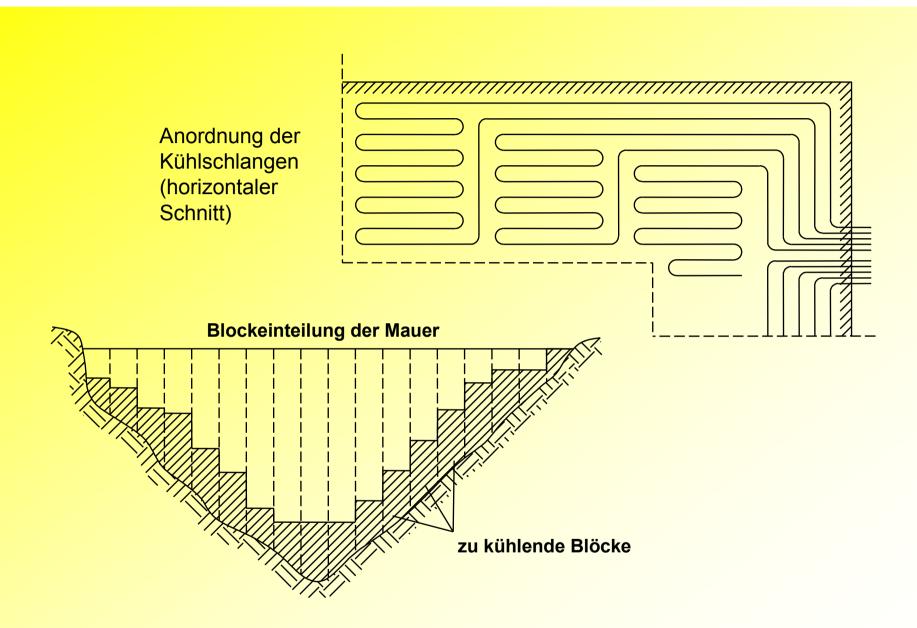
zu beeinflussen:

t_e (Einbringtemperatur): Kühlung des Anmachwassers und der Zuschlagstoffe

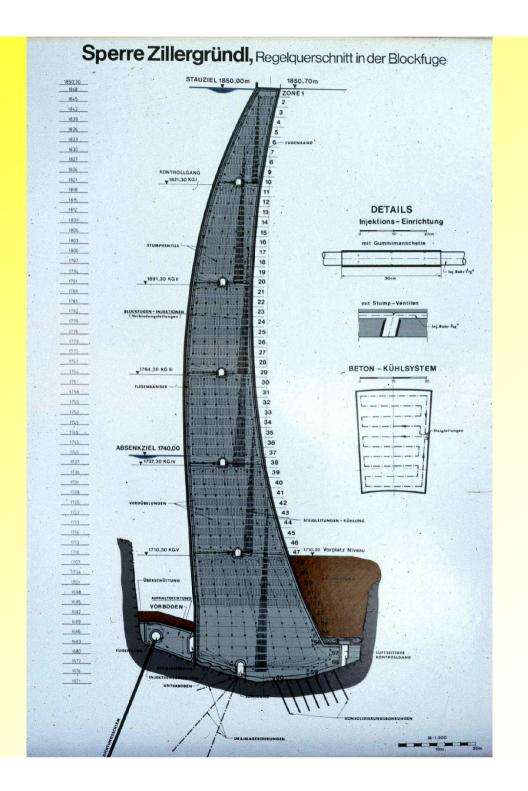
Bei der Staumauer Zillergründl (mittlerer Baufortschritt 0,45 m/d) wurde Scherbeneis zugegeben.

t_{st} (Temperaturanstieg beim Abbinden):

- geringer Zementgehalt oder Spezialzemente
- genügend Zeit zwischen den Betonierabschnitten
- geringe Lagenhöhe beim Betonieren
- Kühlung des fertigen Betons



Wasserinnenkühlung



$$\sigma_t = \varepsilon_t \cdot E \cdot Z \cdot (t_e + t_{st} + t_d)$$

Wärmeentwicklungen in Zementen

Bindemittel	Hydratationswärme in J/g			
	1 Tag	3 Tage	7 Tage	28 Tage
Zemente nach DIN 1164:				
Z 25	60 bis 170	125 bis 250	150 bis 300	210 bis 380
Z 35 L				
Z 35 F	125 bis 210	210 bis 340	275 bis 380	300 bis 420
Z 45 L				
Z 45 F	210 bis 275	300 bis 360	340 bis 380	380 bis 420
Z 55				
Zement NW			max. 270	
(niedrige Wärmetönung)				
Staumauerprojekte:				
Zillergründl				263
(33 % Flugasche)				
Schlegeis				251
(HOZ, ca. 170 Kg/m ³)				

 $\sigma_{t} = \varepsilon_{t} \cdot E \cdot Z \cdot (t_{e} + t_{st} + t_{d})$

Z (Zwängungsfaktor):

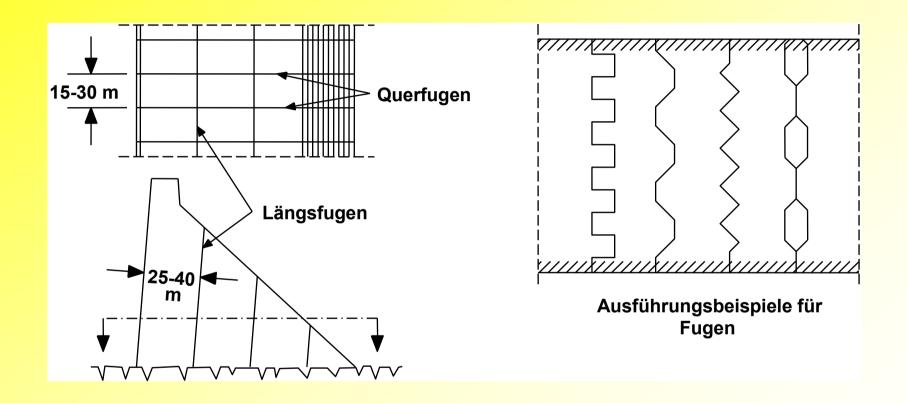
Anordnung von Dehnfugen:

Querfugen: üblich im Abstand von 15 - 30 m

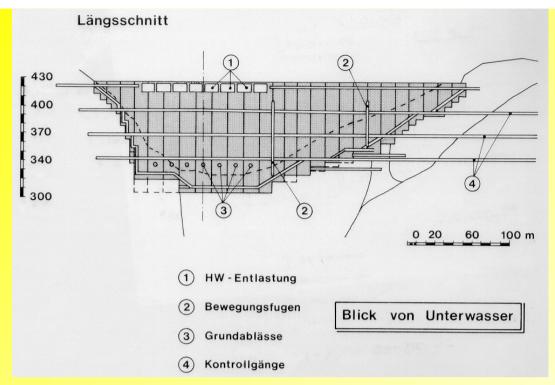
Längsfugen: nur bei großen Bauwerken, Abstand

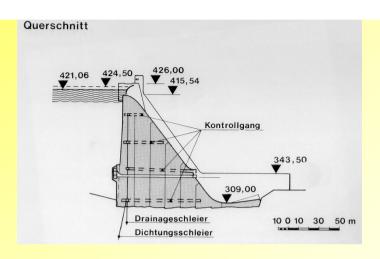
25 - 40 m, Ausbildung normal zu den

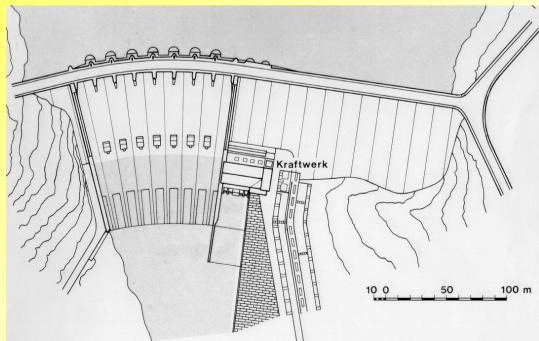
Hauptspannungstrajektorien



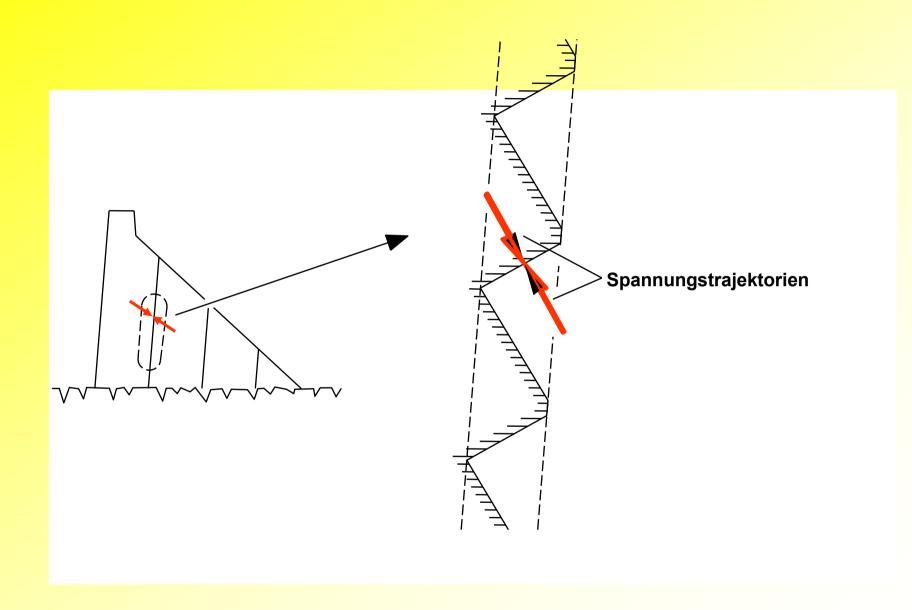
Prinzipskizze für die Anordnung von Längs- und Querfugen



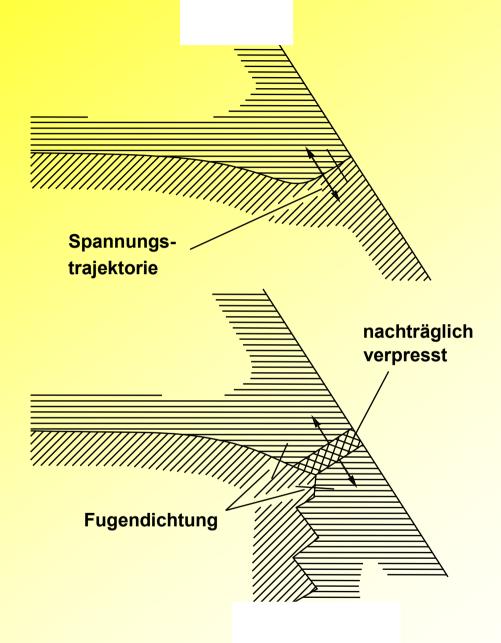




Gewichtsstaumauer Iznájar (Andalusien)-Draufsicht, Quer- und Längsschnitt

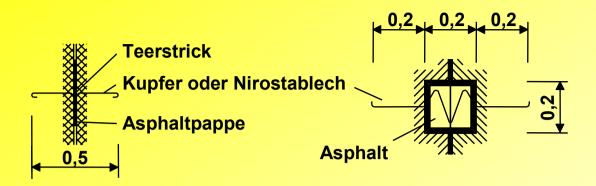


Ausbildung der Längsfugen

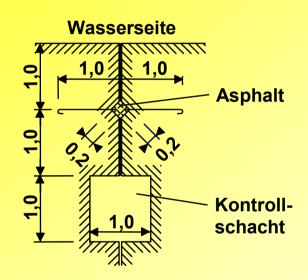


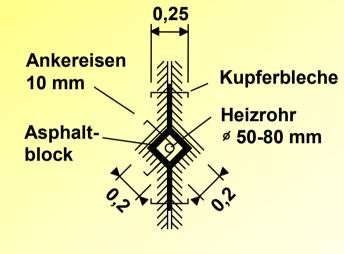
Ausbildung von horizontalen Arbeitsfugen an der Luftseite

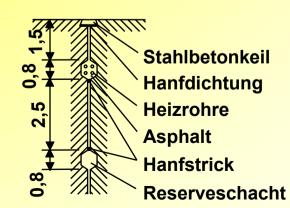
© Peter Rißler

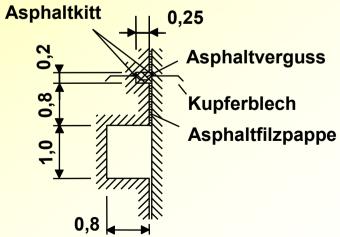


Beispiele für Querfugen-konstruktionen (I)





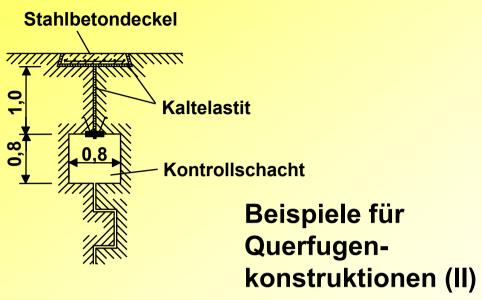


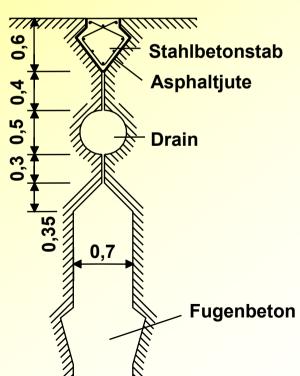


Wasserseite Stahlbetonkeil 3-fache Bitumenpappe Kupferblech Kontrollschacht 8,0 Kontrollschacht 9,7 0,5 Notverschluss 0,3 (Asphaltguss) **Gummiplatte**

Kontrollschacht

ø 1,0





Beispiel: Vertikalspannungen unter der Mauer bei Vollstau

vereinfacht: in Wirklichkeit je

nach Steifigkeitsverhältnis

E Mauer /E Fels

geradlinige

Spannungs-

verteilung

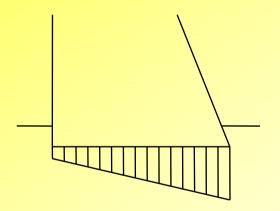
bei

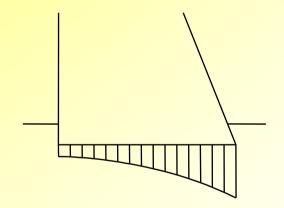
bei

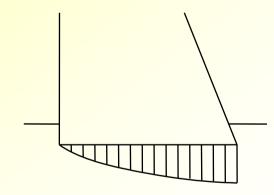
E Mauer /E Fels = ?

E Mauer /E Fels > 1

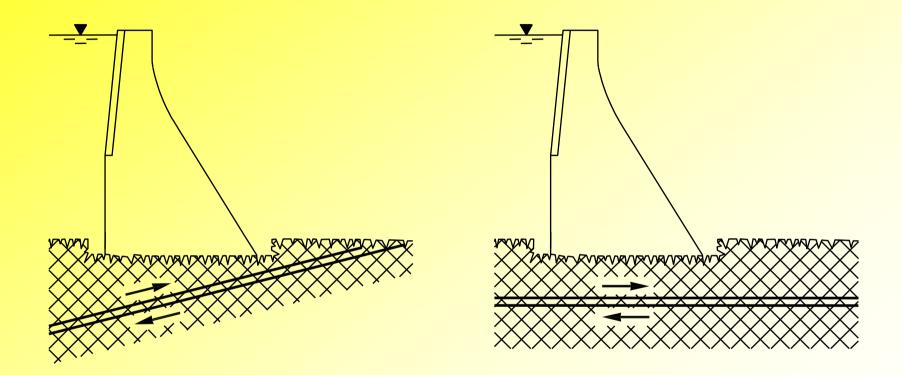
E Mauer /E Fels < 1







Verteilung der Vertikalspannungen in der Sohlfläche einer Gewichtsstaumauer



Schräge oder tief liegende Gleitflächen unter der Mauer

Das Phänomen "Sohlenwasserdruck" bzw. "Auftrieb"

Grundgedanke:

An der Sohlfläche einer Gewichtsstaumauer herrscht an der Wasserseite der Wasserdruck des Speichers, also bei 40 m Wassertiefe 4 bar.

An der Luftseite herrscht der Druck "Null".

Geht man davon aus, dass die Mauersohle dicht ist, so drückt das Sickerwasser von unten gegen die Mauer, an der Wasserseite mit 4 bar, an der Luftseite mit "Null", dazwischen linear abnehmend. Dies wird als Auftrieb bezeichnet.

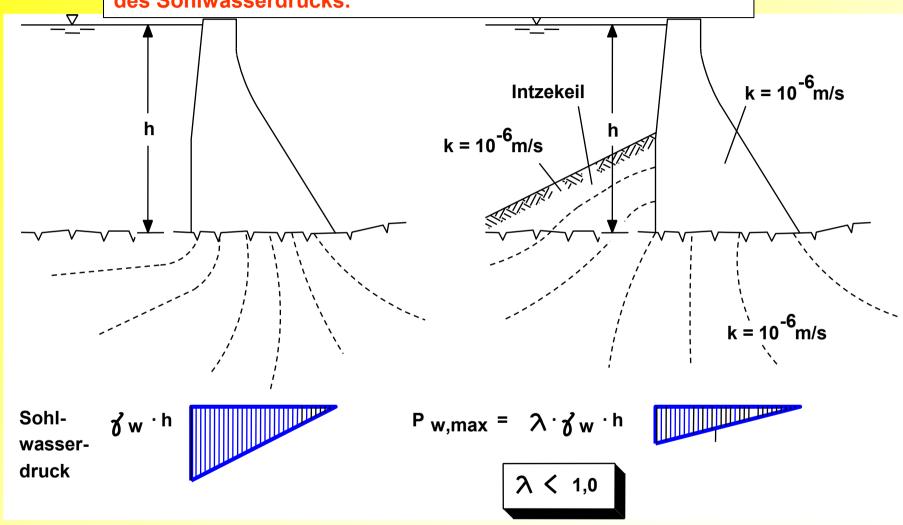
Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war diese Anschauung noch nicht entwickelt. Deshalb sind die meisten der damals errichteten Gewichtsstaumauern ohne Berücksichtigung des Auftriebs errichtet worden.

Da der Auftrieb etwa 40 % des Gesamtgewichts der Mauer entspricht, hätten eigentlich bei all diesen Mauern schwerwiegende Schäden entstanden sein müssen. Dies ist jedoch nicht der Fall, weswegen davon auszugehen ist, dass die oben skizzierte Lastannahme ungünstig ist.

Gleichwohl liegt sie auf der sicheren Seite, weswegen heute allgemein die Berücksichtigung des Auftriebs gefordert wird.

Entsprechen alte Mauern nicht diesen Forderungen, so sind sie zeitnah anzupassen.

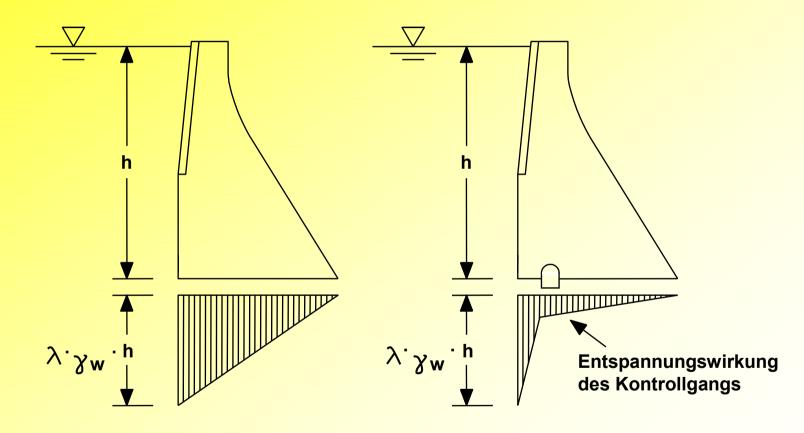
Intze hat zwar den Auftrieb nicht breücksichtigt. Er hat jedoch den sog. Intzekeil erfunden, eine Vorschüttung zum Abbau des Sohlwasserdrucks.



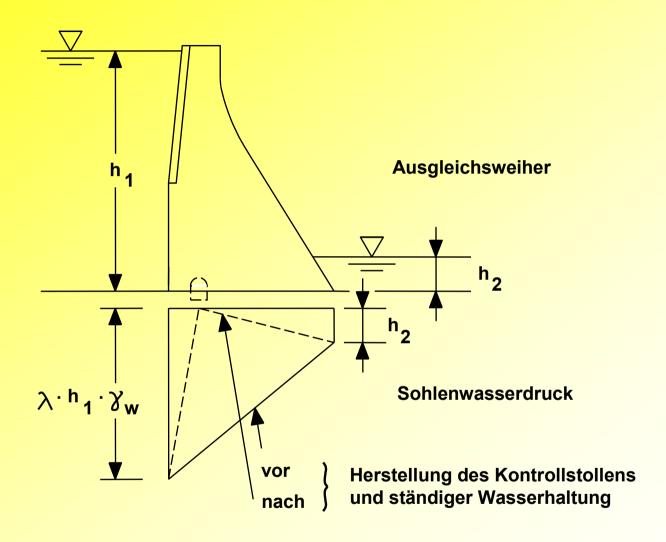
Wirkung eines hinreichend abdichtenden Intzekeils auf den Sohlwasserdruck

Sohlenwasserdruckverteilung

ohne Kontrollgang mit Kontrollgang



Wirkung eines Kontrollgangs auf die Sohlenwasserdruckverteilung

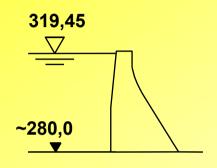


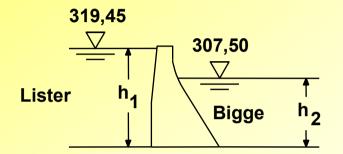
Sonderfall Kontrollgang und Ausgleichsweiher (z. B. Möhnemauer)

Sonderfall Listermauer (von der Luftseite her planmäßig hoch eingestaut)

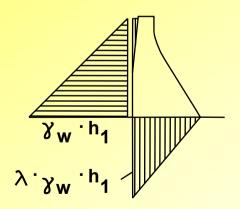
Situation vor Einstau der Biggetalsperre

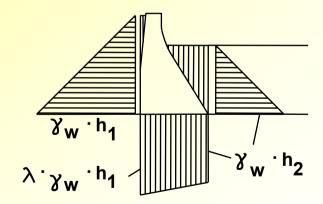
Situation nach Einstau der Biggetalsperre



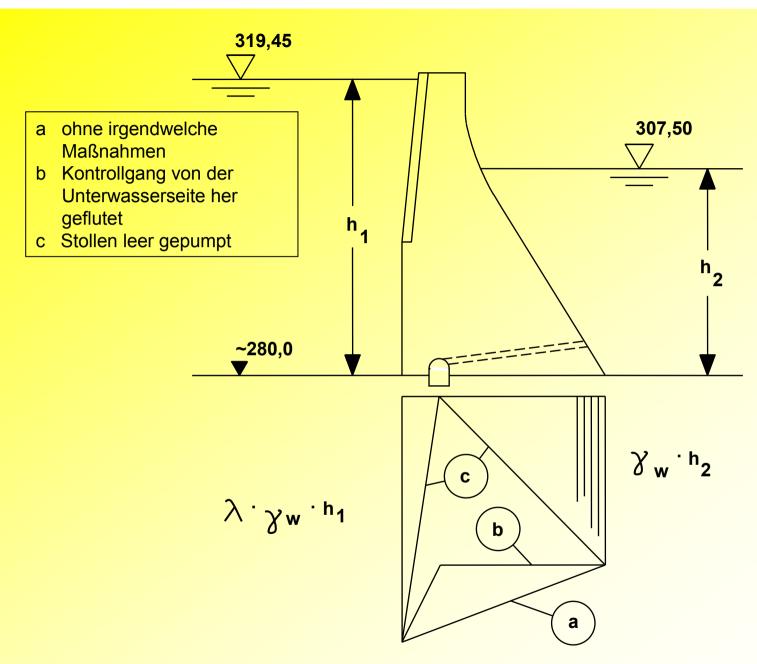


Wasser- und Sohlenwasserdruckverteilung





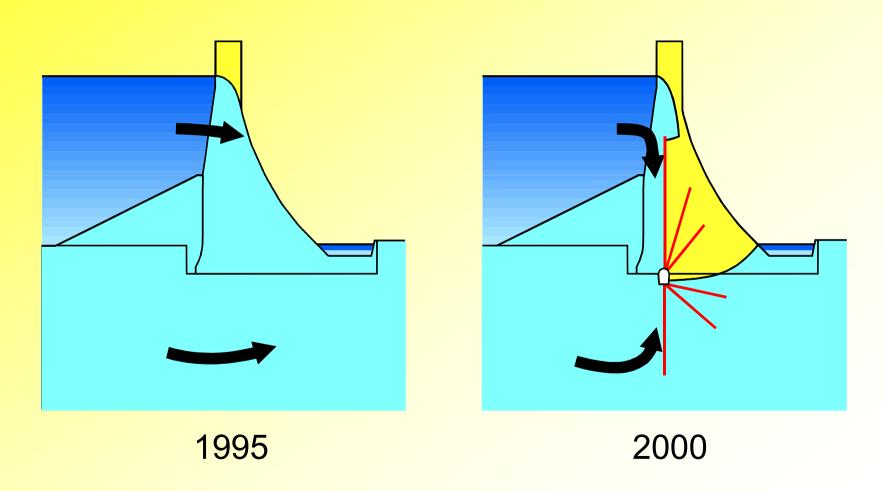
Wasser- und Sohlenwasserdruckverteilung bei der Listermauer vor und nach dem Einstau der Biggetalsperre © Peter Rißler

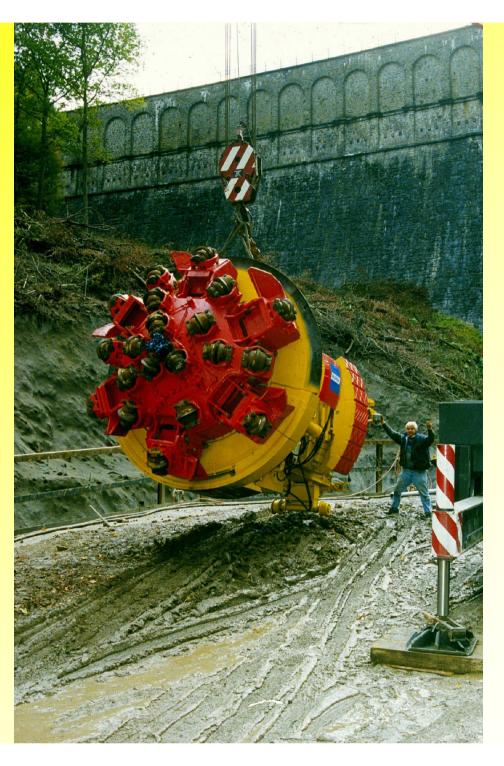


Beeinflussbarkeit des Sohlenwasserdruckes unter der Listermauer



Konzept Sanierung der Ennepetalsperre





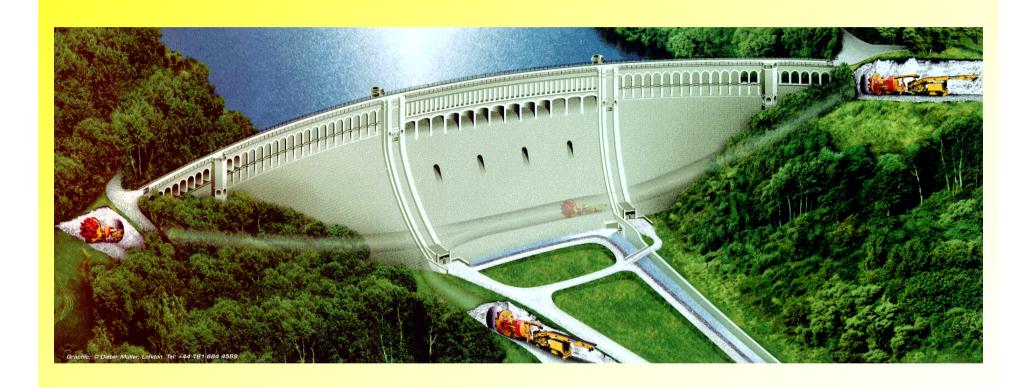
Stollen wurde mittels Vollschnitttunnelbohrmaschine aufgefahren

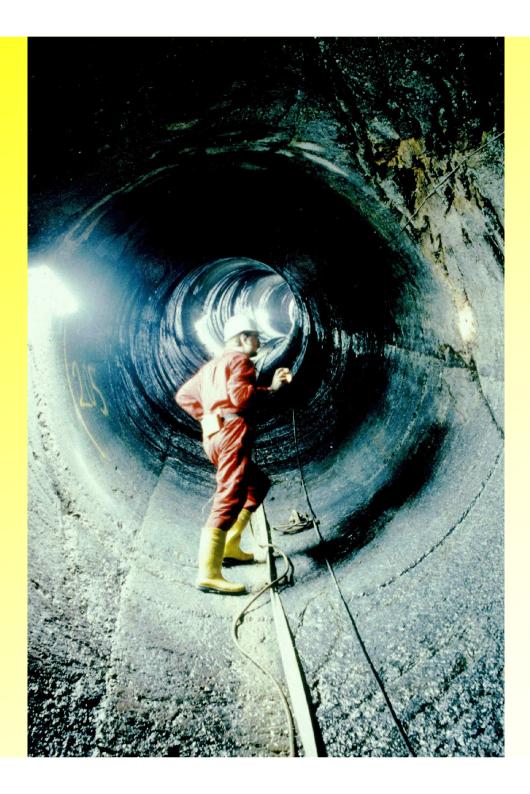
Da die Talsperre nicht entleert werden konnte, Vortrieb bei vollem Wasserdruck im Speicher (ca. 4 bar in Höhe des Stollens) – TBM ca. 4 m von der Wasserseite entfernt



Bohrkopf der Maschine

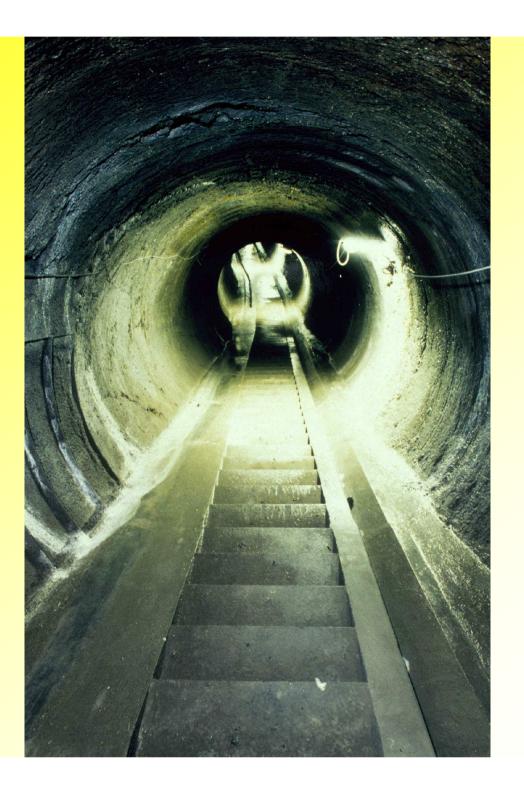




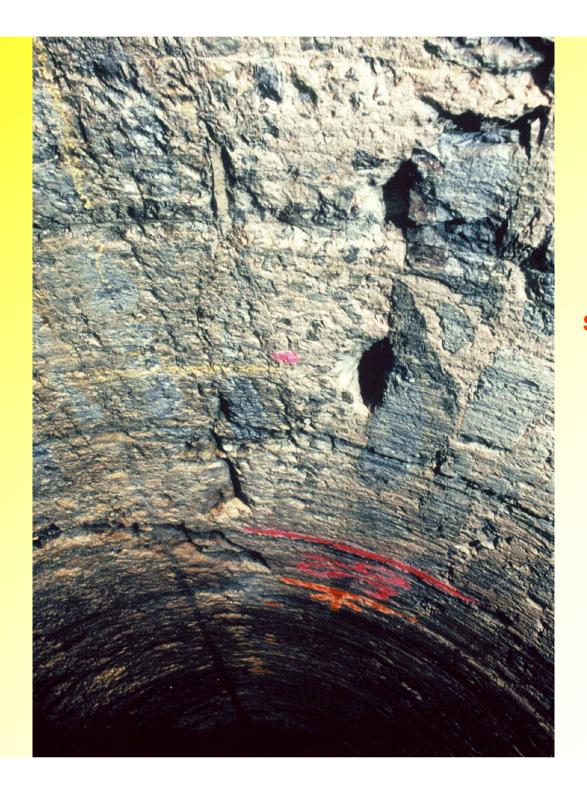


Fertiger Drainagestollen

 Der Stollen blieb ohne Sicherung und Auskleidung.

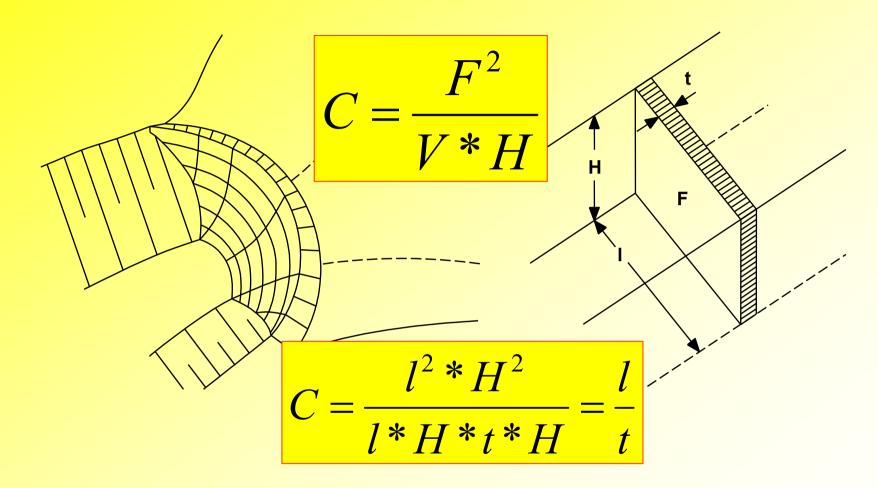


Stollen im Hangbereich

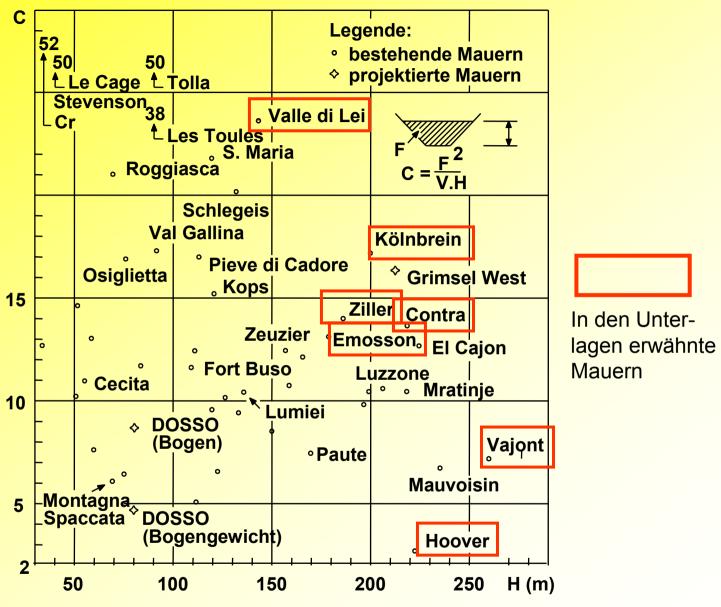


Stollenfirste

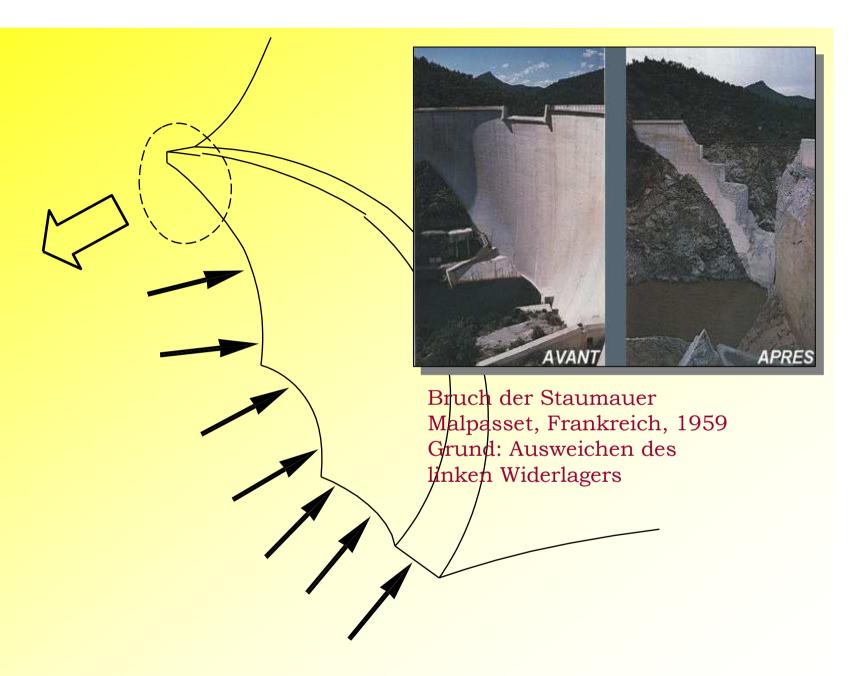
Bogenstaumauern



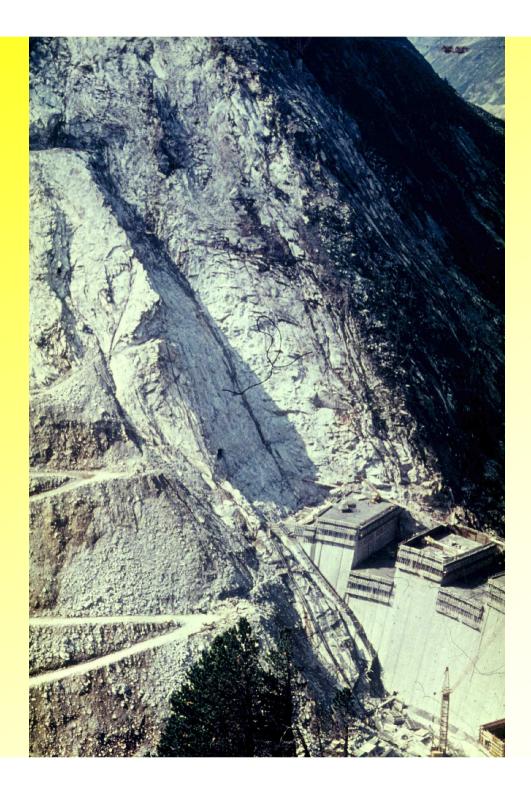
Zur Erläuterung des Schlankheitskoeffizienten



Schlankheitskoeffizient C und Höhe bekannter Bogenstaumauern (nach Lombardi)

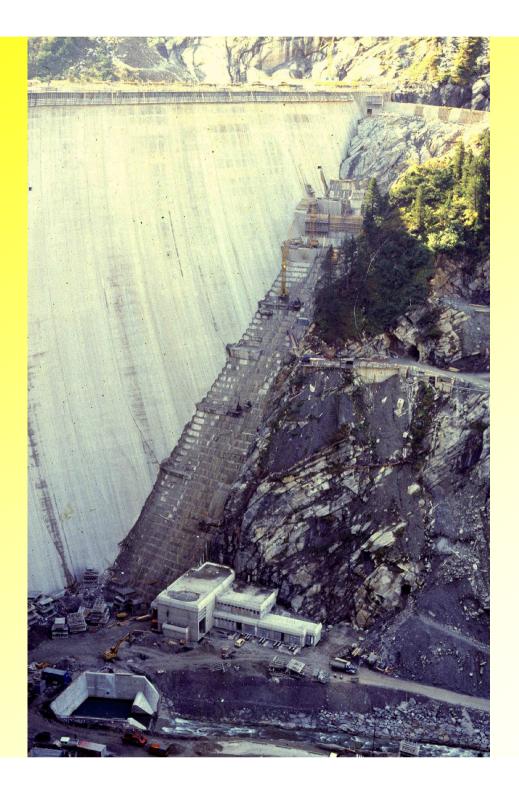


Bruch der Sperre durch Bruch des seitlichen Widerlagers

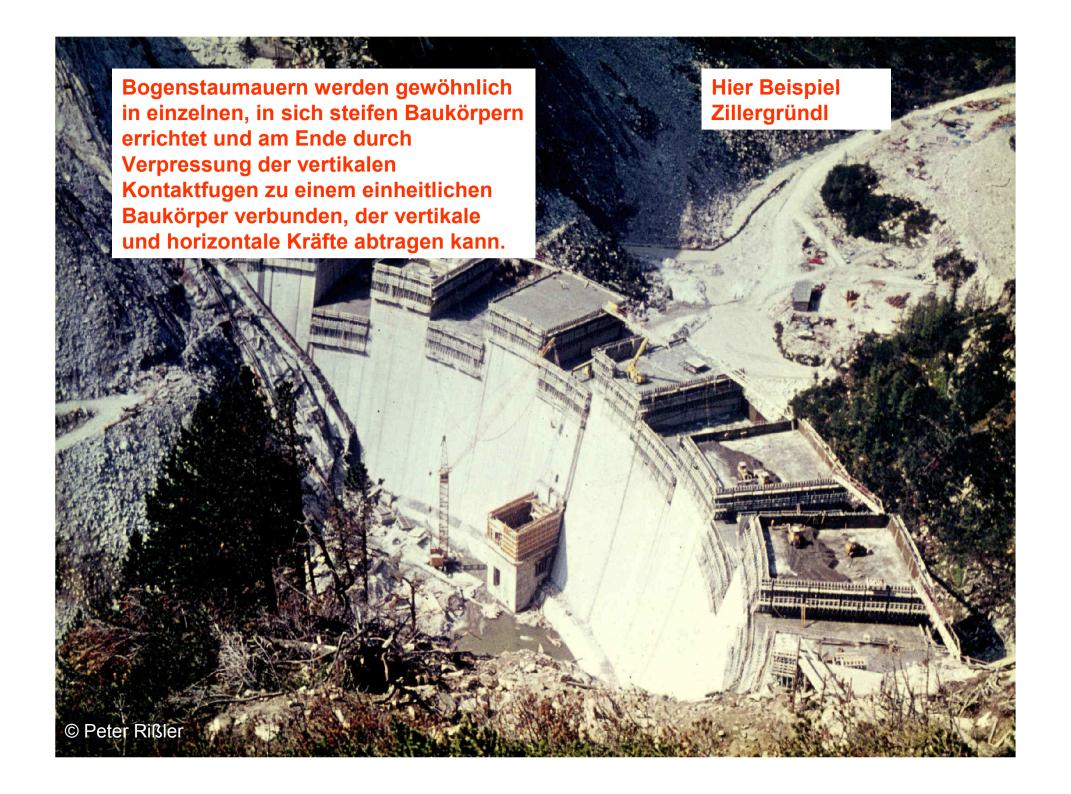


Daher:

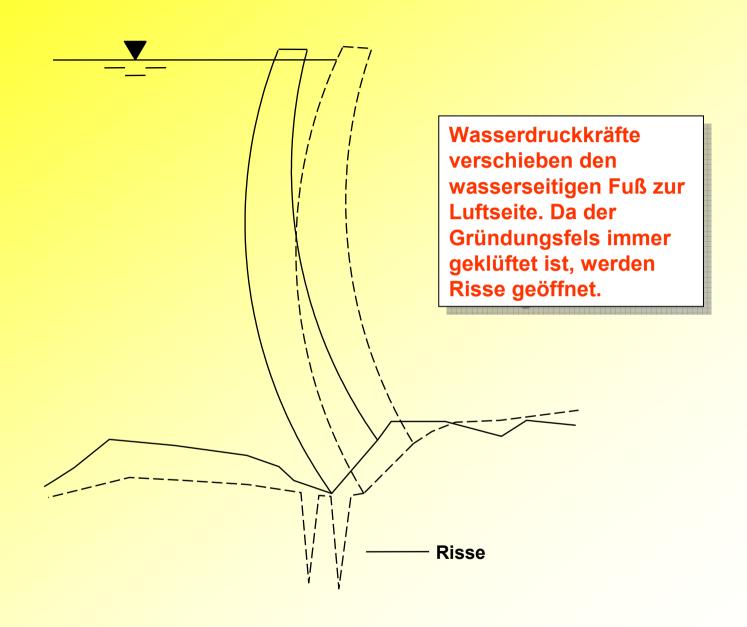
Besondere Sorgfalt bei der Vorbereitung der Widerlager (hier bei Zillergründl, Tirol)



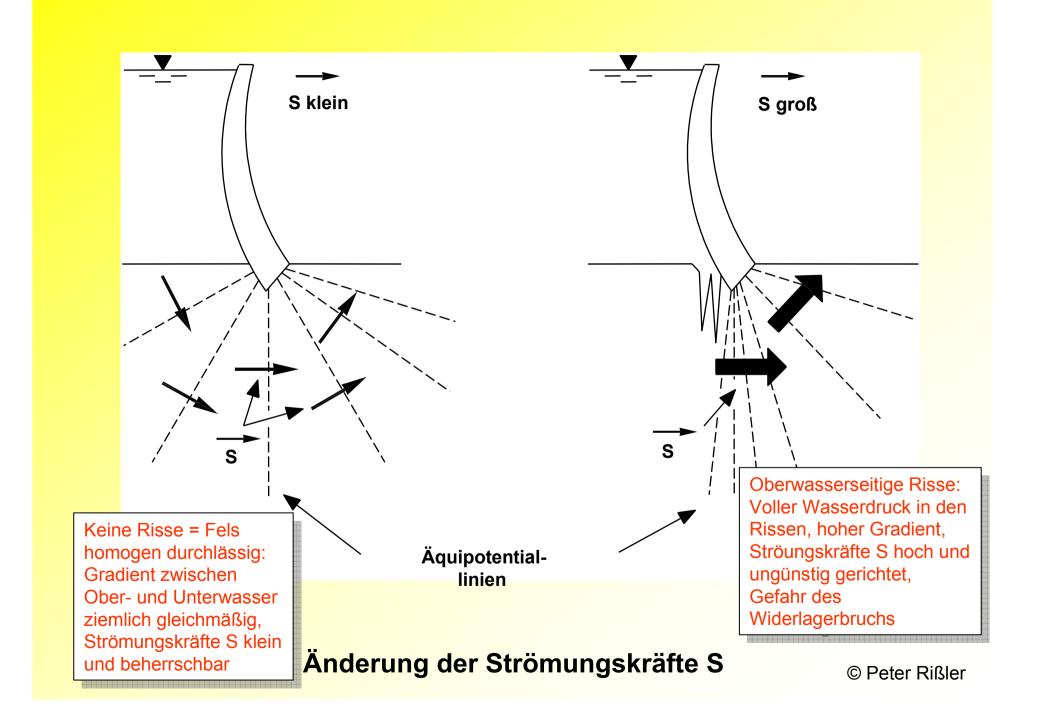
Bei Zillergründl musste zusätzlich vor dem ersten Einstau eine Schwächezone am luftseitigen linken Widerlager verbessert werden.

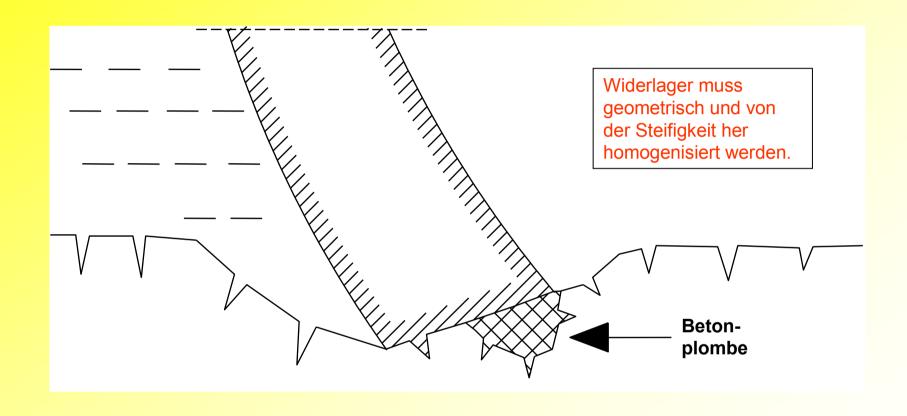






Risse am wasserseitigen Fuß

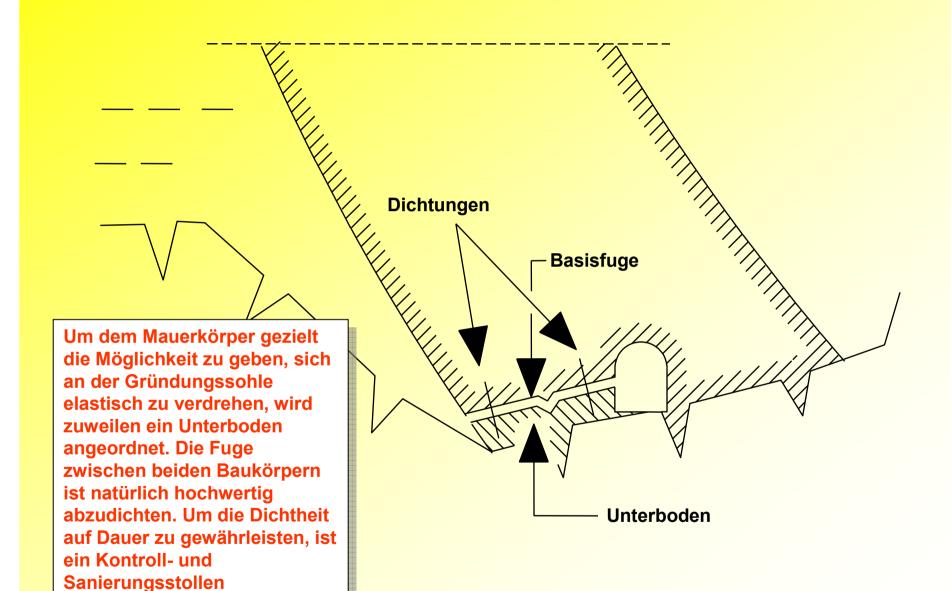




Direkt auf Fels betonierte Mauer

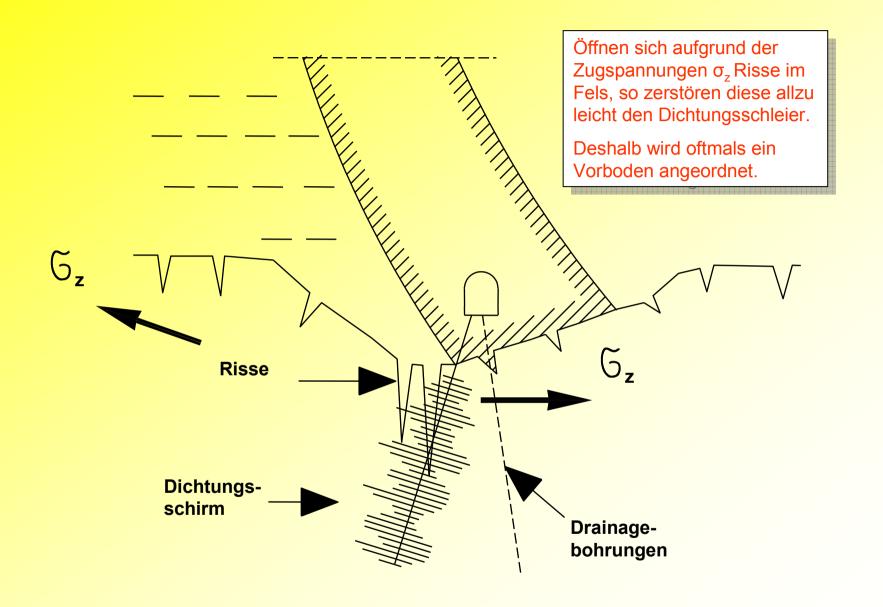


Mauer mit Pulvino

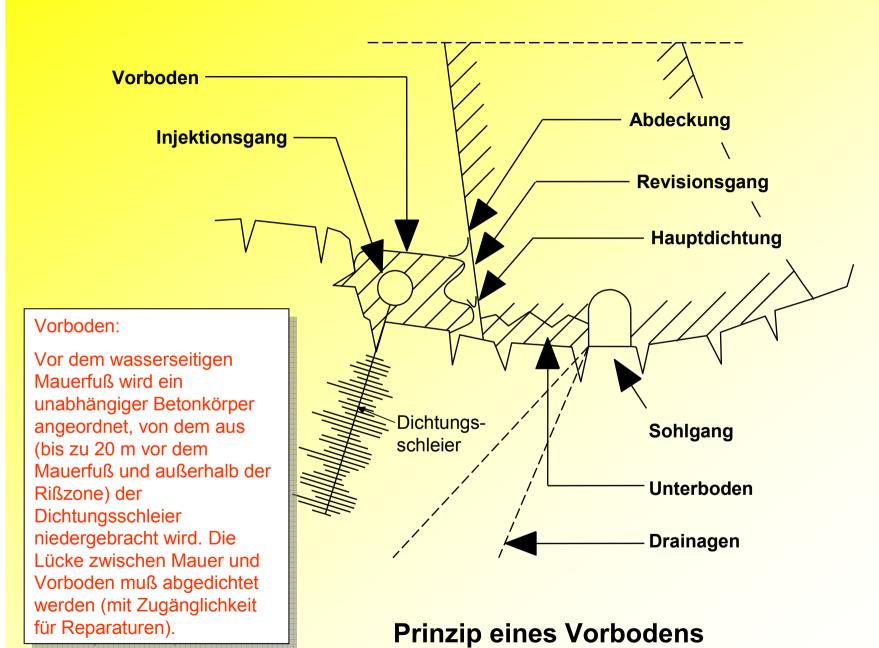


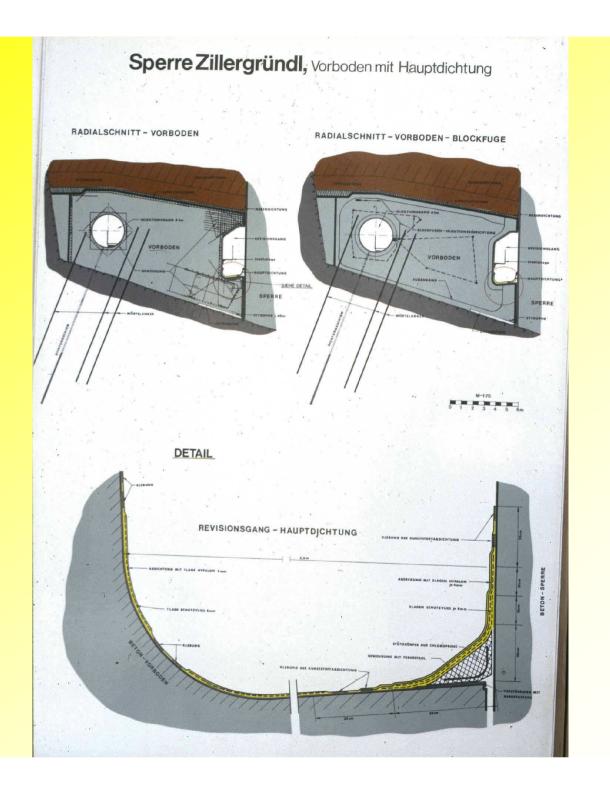
Mauer mit Basisfuge

unverzichtbar.



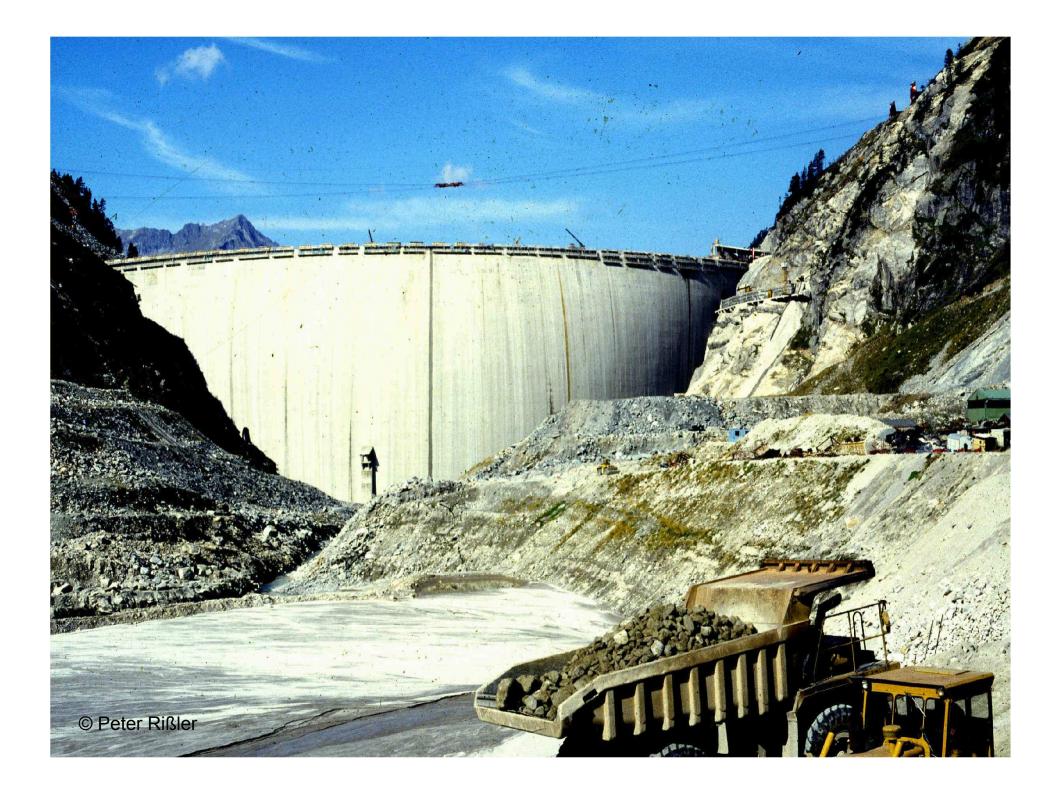
Zugspannungen zerreißen Dichtungsschleier





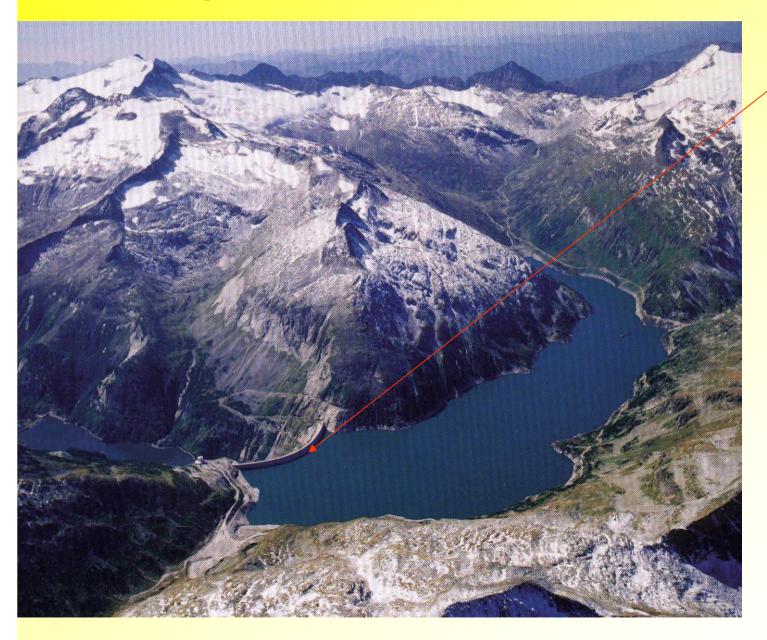
Beispiel:

Vorboden Zillergründl





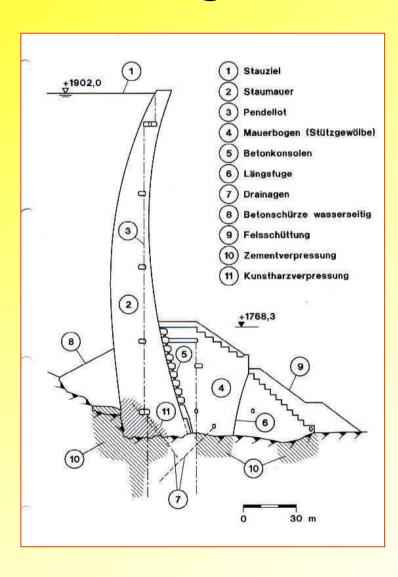
Sanierung der Kölnbreinsperre



Kölnbreinsperre



Sanierung der Kölnbreinsperre



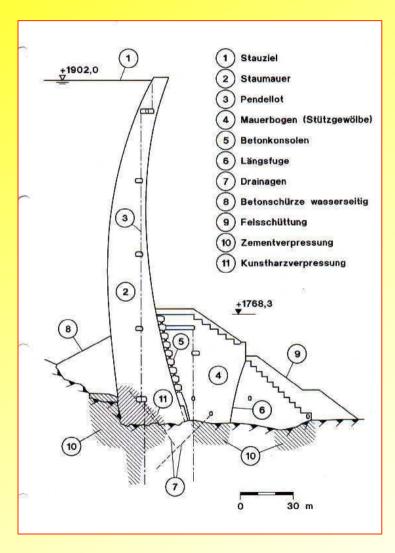
1971 bis 1979 erbaut

198 m hoch - 626 m lang

Dicke an der Krone 7,6 m an der Basis 41,0 m

(weltweit eine der schlanksten Mauern)

Sanierung der Kölnbreinsperre



Nach einigen Betriebsjahren wurden am wasserseitigen Fuß zunächst Durchfeuchtungen, später auch anwachsende Wasseraustritte festgestellt.

Zunächst versuchte man dem Problem mit Verpressungen (Zement und Kunstharz) beizukommen. Als dies keine zufriedenstellenden Ergebnisse zeitigte, wurde eine große Lösung entwickelt und ausgeführt.

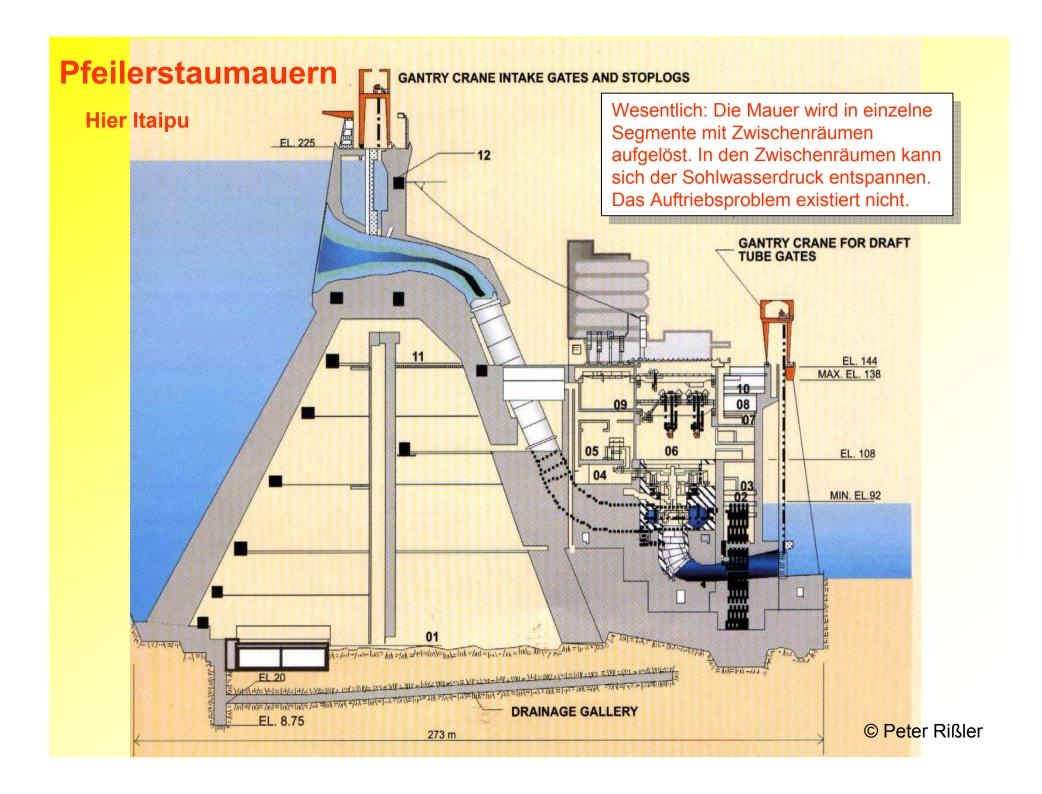
Man betonierte ein gewaltiges Stützgewölbe, ca. 60 m hoch, quasi eine eigene Bogengewichtsstaumauer, gegen den luftseitigen Mauerfuß. An der Berrührungsfläche zwischen Mauer und Stützgewölbe wurden in neun Horizonten, von eigenen Stollen aus, keilförmige Stützkörper aus Stahl eingebaut und justiert.

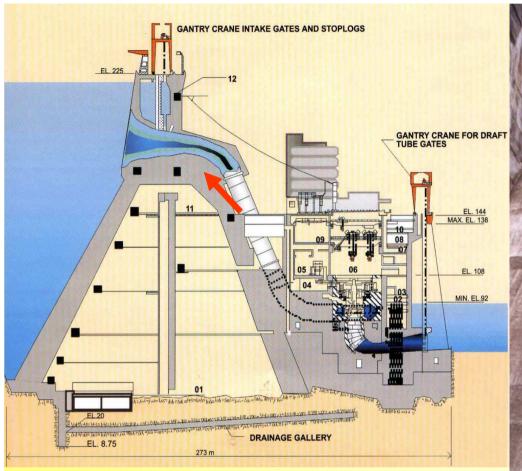
Ihre Aufgabe besteht darin, je nach unterschiedlichem Füllungsstand des Speichers einen passenden Gegendruck auf die Mauer aufzubauen, welcher verhindert, dass in der Mauer, insbesondere im Fußbereich, unzulässige Zugspannungen und Risse entstehen.



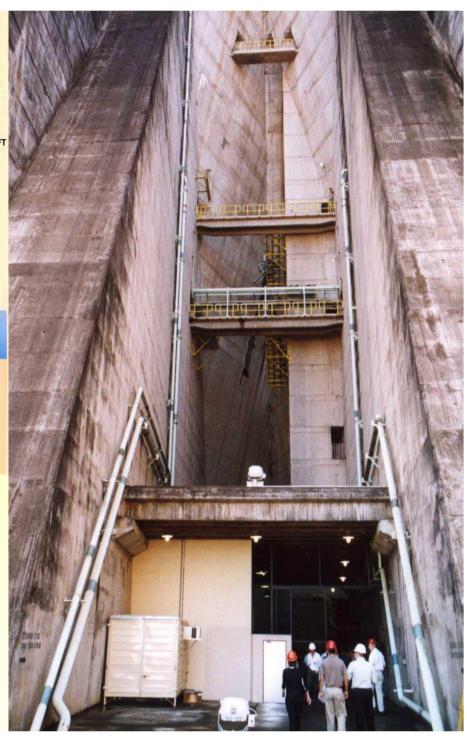


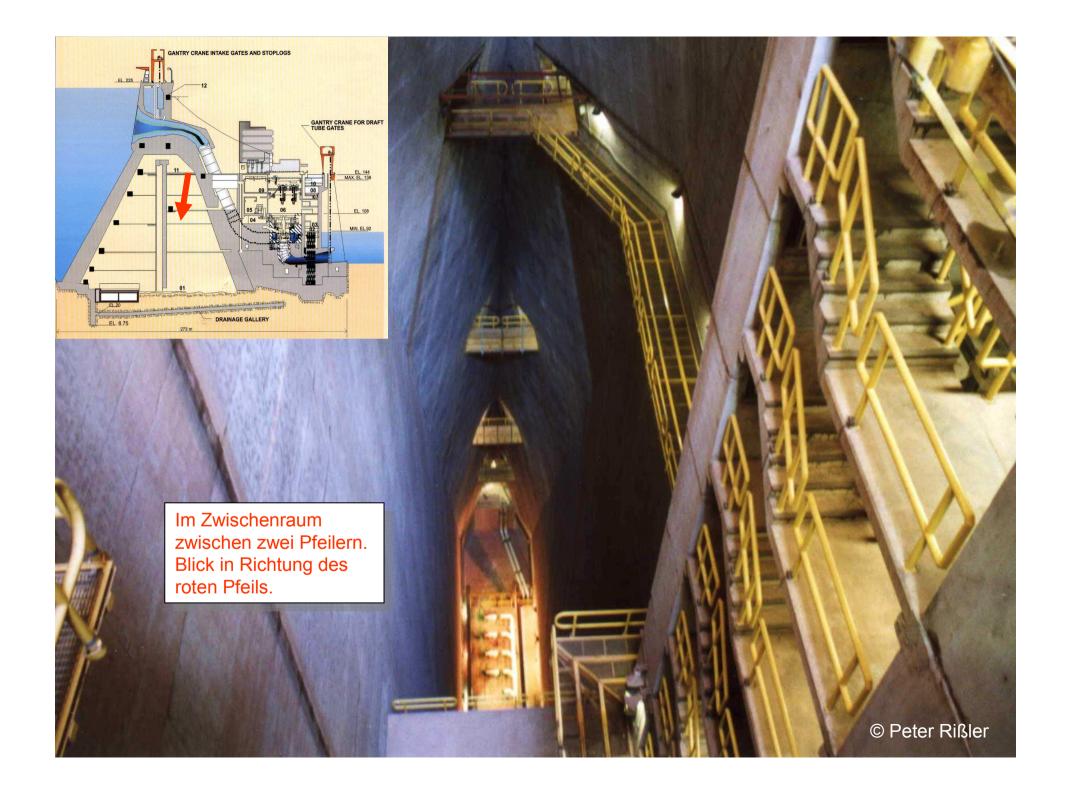
Stützkörper, bestehend aus zwei flachen, gegeneinander verschiebbaren und dadurch justierbaren Stahlkeilen von je ca. 1 m² Fläche

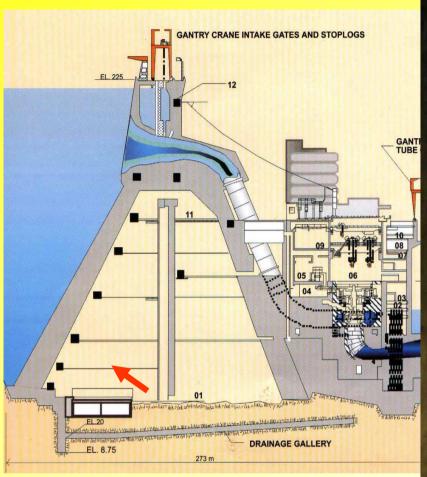




Itaipu: Zwischenraum zwischen den Pfeilern. Der rote Pfeil zeigt die Blickrichtung.







Blick vom Sohlbereich nach oben. Hier unten entspannt sich der Sohlenwasserdruck.

