

Vorlesung „Talsperren“

Prof. Dr.-Ing. Peter Reißler

Hochwasserentlastungsanlagen



Hochwasserentlastungsanlage Itaipu, Brasilien/Paraguay

Bemessungshochwasser

Für Staubauwerke allgemein maßgebend ist DIN 19700 Teil 10 (2004)

Hochwasserbemessungsfälle:

Hochwasserbemessungsfall 1: Bemessung der Hochwasserentlastungsanlage

Es ist ein Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1 für die Bemessung der Hochwasserentlastungsanlage festzulegen. Bis zur Größe des BHQ_1 sind die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit der Stauanlage ohne Einschränkungen sicherzustellen.

Hochwasserbemessungsfall 2: Nachweis der Stauanlagensicherheit bei Extremhochwasser

Es ist ein Bemessungshochwasserzufluss BHQ_2 zu bestimmen, dessen jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit geringer ist als beim Hochwasserbemessungsfall 1 und der demzufolge größer als der Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1 ist. Den Bemessungshochwasserfall BHQ_2 muss die Stauanlage ohne globales Versagen überstehen. ...

Bemessungshochwasser

noch DIN 19700 Teil 10 (2004)

Im Hinblick auf den durch die Stauanlage zu bietenden Hochwasserschutz für das Unterliegergebiet gilt folgender dritter Hochwasserbemessungsfall:

Hochwasserbemessungsfall 3: Bemessung des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraums

Hochwasserbemessungsfall 3 findet nur Beachtung, wenn mit der Stauanlage Hochwasserschutzaufgaben zu erfüllen sind. ...

Speziell für Talsperren gilt DIN 19700 Teil 11 und hier insbesondere Tabelle 1 (s. nächste Seite).

Für Hochwasserrückhaltebecken gilt DIN 19700 Teil 12. Hinweise für deren Hochwasserbemessung sind dort zu finden.

Bemessungshochwasser

DIN 19700 Teil 11, Tabelle 1

Die im Text verwendeten Kapitelangaben beziehen sich auf DIN 19700 Teil 11. Sie sollten dort eingesehen werden.

[2] DVWK-Merkblatt 216:
Betrachtungen zur (n-1)-
Bedingung an Wehren –
Wehrbau - Bemessung

Tabelle 1 — Einwirkungskombination für die Hochwasserbemessung

Einwirkungen Anfangs-/Randbedingungen	Hochwasserbemessungsfall 1	Hochwasserbemessungsfall 2
Bemessungshochwasserzufluss	BHQ ₁	BHQ ₂
Retentionswirkung	Ist in der Regel zu berücksichtigen.	
Stauinhalt zu Beginn des Hochwasserereignisses	Entspricht in der Regel dem Stauinhalt bei Stauziel Z _s (siehe Bild 1); jahreszeitlich unterschiedlich festgelegte Stauziele Z _s sind gegebenenfalls zu berücksichtigen.	
Freibord (siehe auch DIN 19700-10:2004-07, 6.4)	Einhaltung des Freibordes f ₁ oberhalb des Hochwasserstauzieles 1 (Z _{H1}) nach den Maßgaben in 4.4. e)	Einhaltung des Freibordes f ₂ oberhalb des Hochwasserstauzieles 2 (Z _{H2}) nach den Maßgaben in 4.4. e)
Vorentlastung (vor Erreichen des Vollstaus Z _V , siehe Bild 1); in der Regel ab Einstau in den gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum	Ist über Grundablässe bei Einhaltung der (n-1)-Regel ^a und über Hochwasserentlastungsanlagen nach 8.2 b) und 8.2 d) bei Einhaltung der (n-1)- bzw. (n-a)-Regel ^a zulässig. Bei Berücksichtigung einer Vorentlastung ist nachzuweisen, dass im Unterlauf der gemäß Betriebsplan (siehe 9.1.2.3) zulässige Abfluss nicht überschritten wird.	Ist über alle Grundablässe und Hochwasserentlastungsanlagen nach 8.2 b) und 8.2 d) zulässig. Betriebsauslässe dürfen, soweit geeignet und verfügbar, berücksichtigt werden. Bei Berücksichtigung einer Vorentlastung ist nachzuweisen, dass im Unterlauf der gemäß Betriebsplan (siehe 9.1.2.3) zulässige Abfluss nicht überschritten wird.
Parallelentlastung (ab Vollstau Z _V)	Ist über Grundablässe bei Einhaltung der (n-1)-Regel ^a und über Hochwasserentlastungsanlagen nach 8.2 b) und 8.2 d) bei Einhaltung der (n-1)- bzw. (n-a)-Regel ^a zulässig.	Ist über alle Grundablässe und Hochwasserentlastungsanlagen nach 8.2 b) und 8.2 d) zulässig. Betriebsauslässe dürfen, soweit geeignet und verfügbar, berücksichtigt werden.
Hochwasserentlastung	Hochwasserentlastungsanlage nach 8.2 a) bis e) wirksam. Bei Hochwasserentlastungsanlagen mit mehreren beweglichen Verschlüssen, die ständig eingestaut sind, gilt die (n-1)- bzw. (n-a)-Regel ^a .	Hochwasserentlastungsanlage nach 8.2 a) bis e) ohne Einschränkungen wirksam.
Notentlastung	Notentlastung nach 8.2 f) darf nicht berücksichtigt werden.	Notentlastung nach 8.2 f) darf nach den Maßgaben in 8.2 als wirksam berücksichtigt werden, falls vorhanden
Resultierender Stauspiegel	Hochwasserstauziel 1 (Z _{H1})	Hochwasserstauziel 2 (Z _{H2})

^a Siehe auch [2].

Bemessungshochwasser

Merke:

Wie bei allen Naturereignissen kein absoluter Schutz gegen Überschreitung, sondern lediglich hinreichend kleine Wahrscheinlichkeit und zwar gestaffelt je nach Gefährdungspotential ¹⁾

Problem: Bestimmung der Jährlichkeiten. In Deutschland HW-Aufzeichnungen ca. 100 Jahre, in anderen Ländern vielfach sehr viel kürzer.

Festlegung der Abflusssspende daher letztlich Definitionssache, in der Praxis bei uns gewöhnlich einvernehmlich zwischen Behörde, Fachgutachter und Planer. Hilfestellung aus DVWK-Merkblatt 209/1989 ²⁾

1) siehe auch: Reißler, P: Dimensioning of the design flood as part of a reservoir safety concept – Hydropower & Dams, Issue Four, 2001

2) DVWK-Merkblatt 209: Wahl des Bemessungshochwassers, Entscheidungswege zur Festlegung des Schutz- und Sicherheitsgrades

Bemessungshochwasser

Beispiele für Abflussspenden:

NRW vielfach:

für Einzugsgebiete von wenigen km²: 2.500 l/s.km²

für Einzugsgebiete von 50 km² und größer 1.200 l/s.km²

In Baden-Württemberg wurde bisweilen und hilfsweise das 1000-jährliche Hochwasser definiert als das 1,6-fache des 100-jährlichen Hochwassers.

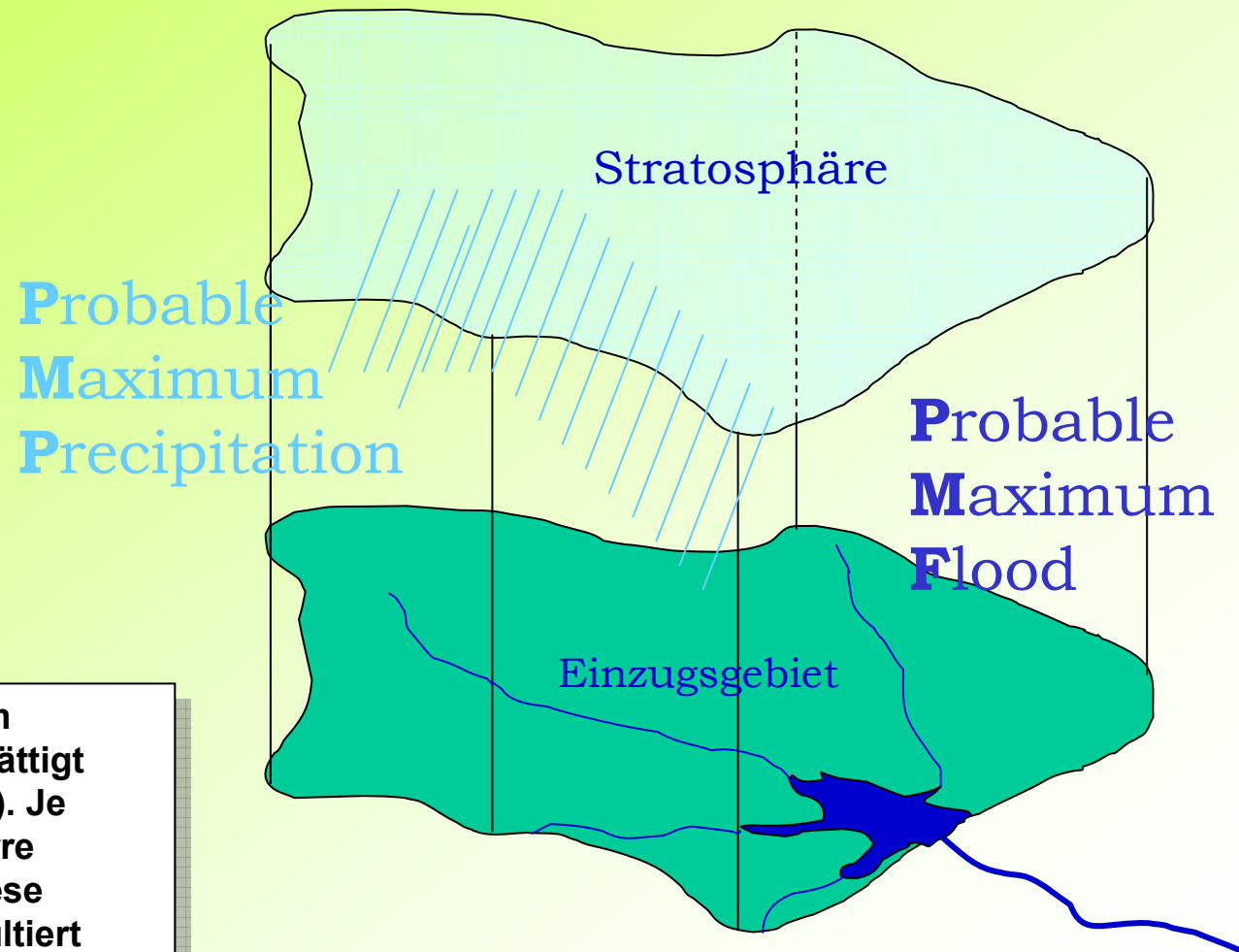
PMP und PMF:

PMP: Probable maximum precipitation

PMF: Probable maximum flood

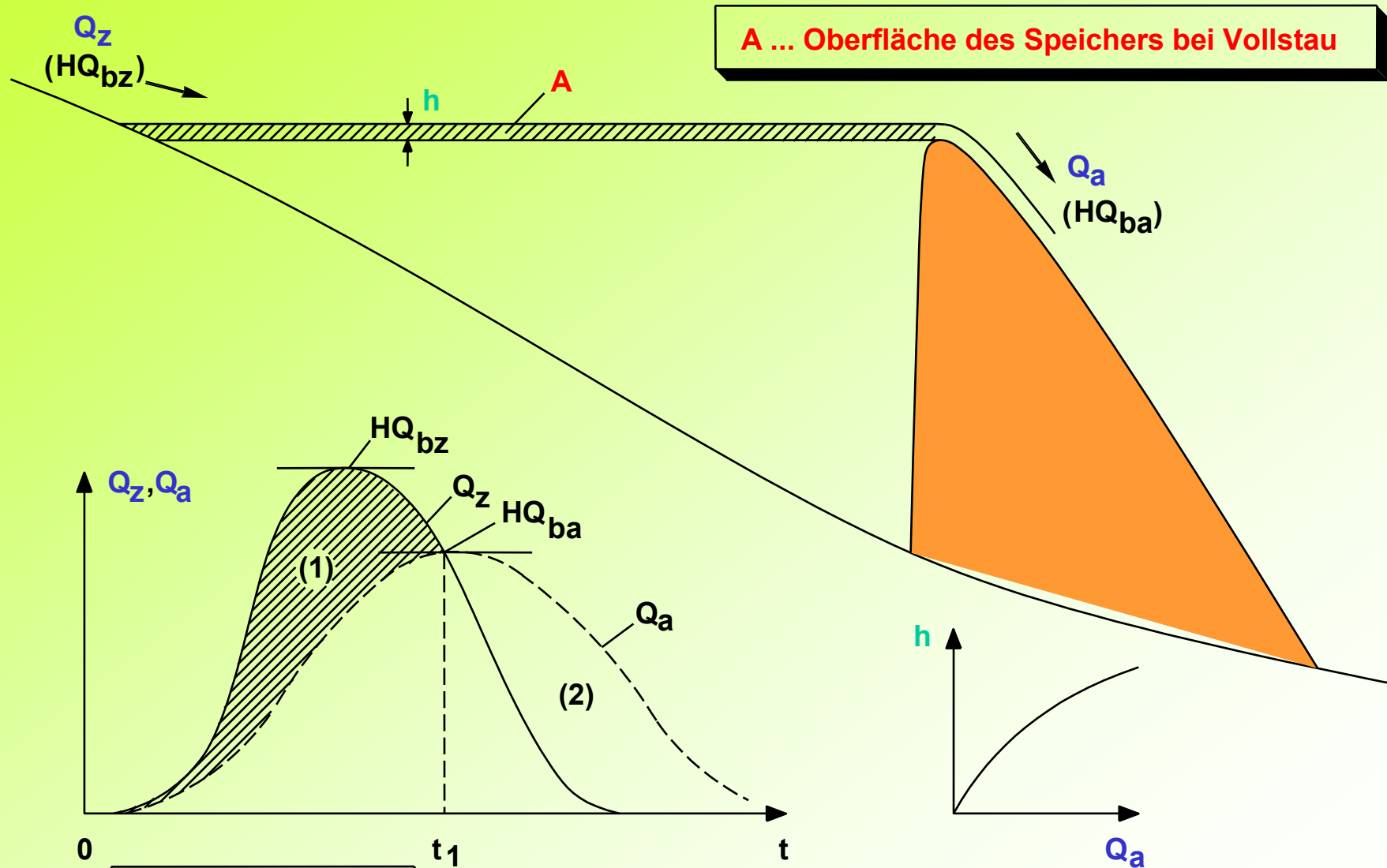
Bemessungshochwasser

Was ist PMF?



Gesamter Luftraum über dem Einzugsgebiet ist wassergesättigt und regnet spontan ab (PMP). Je nach Laufzeit bis zur Talsperre erreicht der Niederschlag diese zeitlich versetzt. Daraus resultiert eine spezielle Hochwasserwelle, das PMF.

Zur Erläuterung der Retentionswirkung



A ... Oberfläche des Speichers bei Vollstau

$$\int_0^{t_1} (Q_z - Q_a) dt = A \cdot h$$

HQ_{bz} } sind die Scheitelzu-
 HQ_{ba} } bzw. abflüsse

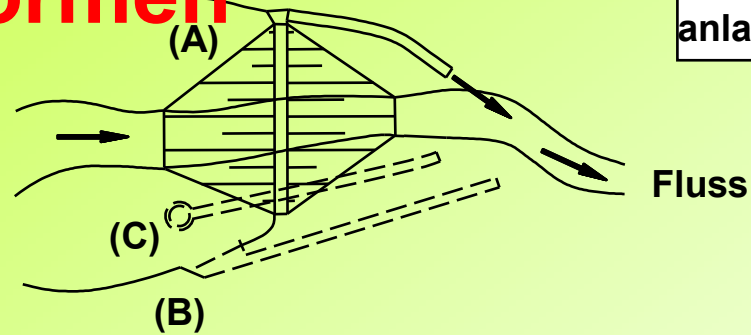
Hochwasserentlastungsanlagen

Systematik:

Funktion	Einlaufbauwerk	Transportbauwerk	Energie- Umwandlungs- anlage
Konstruk- tive Ausbildung	Wehr fest/beweglich Frontal/seitlich angeströmt Überlauftrichter*) Heberwehr	Offene Schussrinne Überdeckte Schussrinne Freispiegelstollen*) Druckstollen*) Kaskade Rauhgerinne	Tosbecken in Betonbauweise Tosbecken als Kolksee Kaskade Rauhgerinne

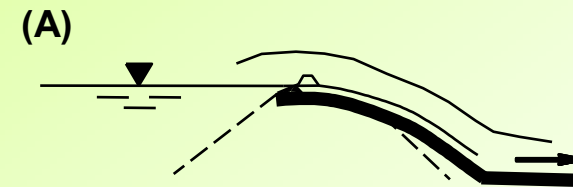
*) Überlauftrichter nur in Verbindung mit Freispiegel-/Druckstollen

Häufige Grundformen

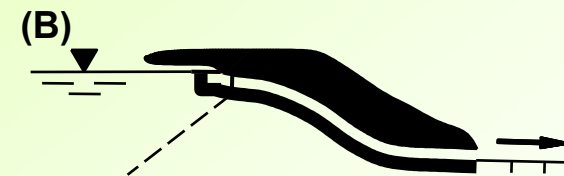


Energieumwandlungs-
anlagen nicht dargestellt

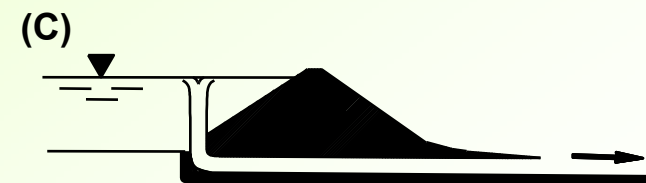
Einlaufschwelle,
offene Schusssrinne



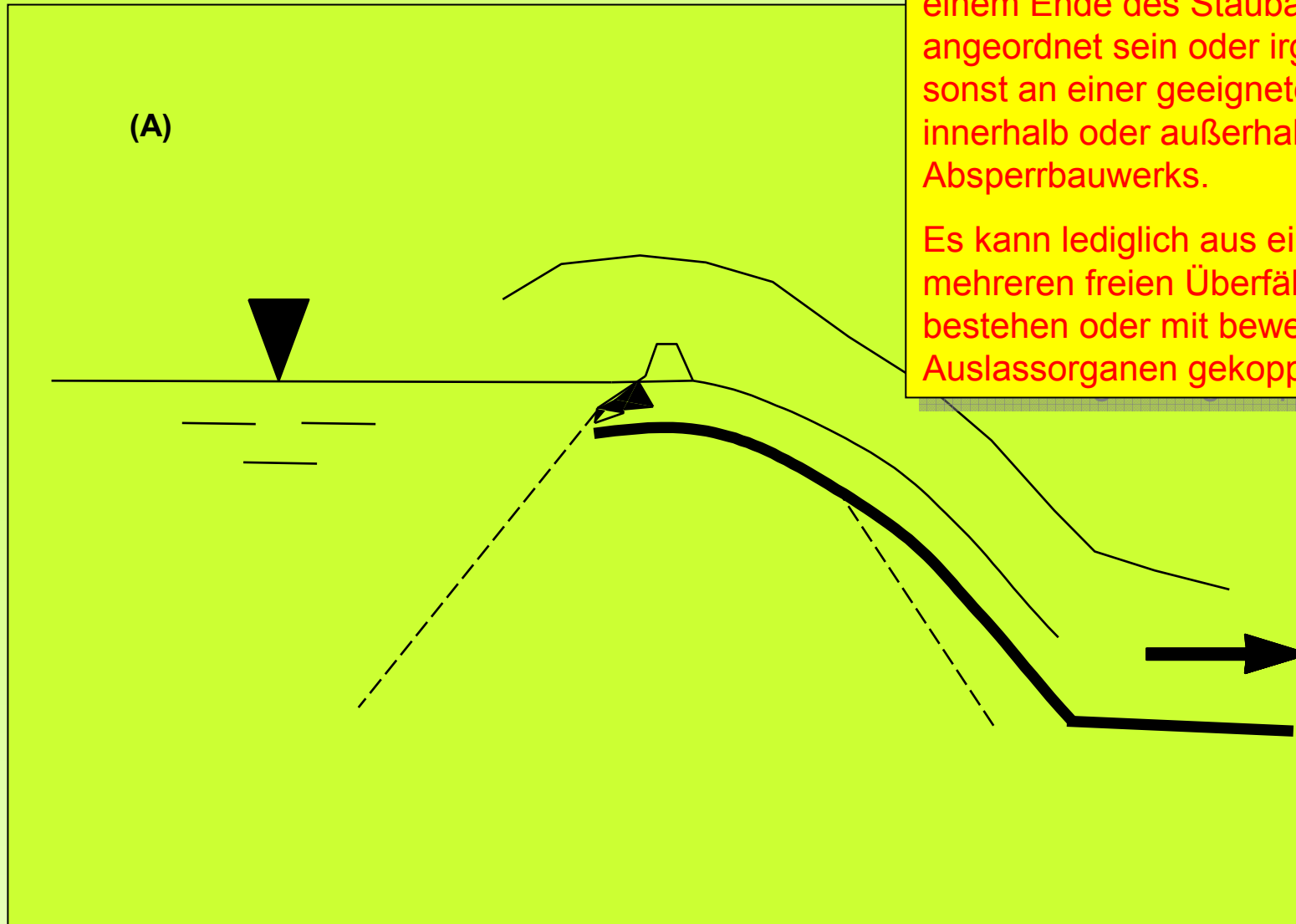
Hangkanaleinlauf und Stollen



Überlauftrichter und Stollen



Einlaufschwelle, offene Schussrinne

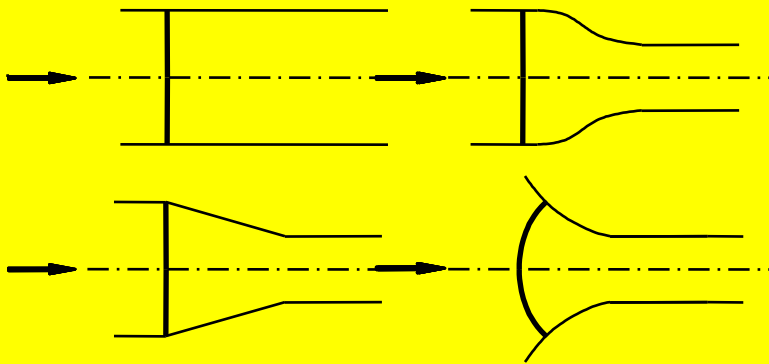


Das Einlaufbauwerk kann an einem Ende des Staubauwerks angeordnet sein oder irgendwo sonst an einer geeigneten Stelle innerhalb oder außerhalb des Absperrbauwerks.

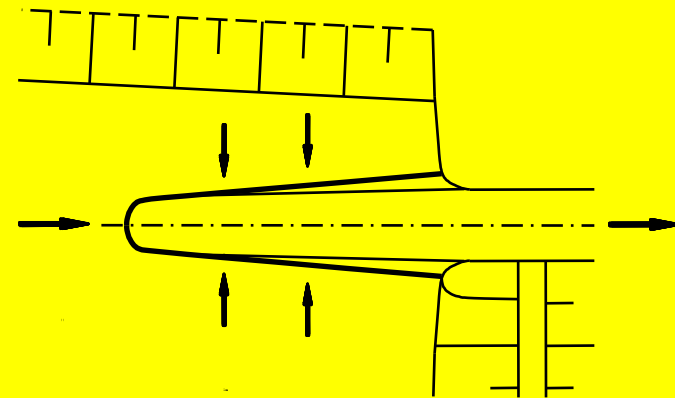
Es kann lediglich aus einem oder mehreren freien Überfällen bestehen oder mit beweglichen Auslassorganen gekoppelt sein.

Grundformen für Einlaufbauwerke für Schussrinnen und Stollen

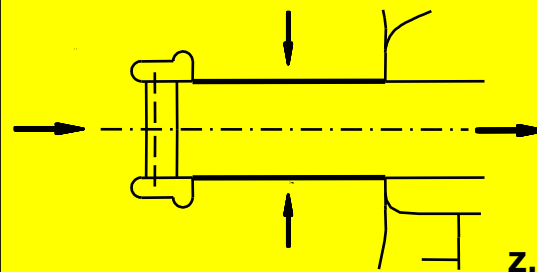
a) frontal angeströmte Überlaufwehre



b) seitlich angeströmte Überlaufwehre



Hangkanalentlastung (ein- oder zweiseitig
[sog. Entenschnabelüberläufe])



z. T. gesteuert,
z. B. mit Stauklappe

Frontal angeströmtes Überfallbauwerk

Die Edermauer besitzt zusätzlich in halber Mauerhöhe sog. Zwischen-
auslässe, welche bei Extremhochwässern
zusätzlich zur Entlastung
herangezogen werden
können.

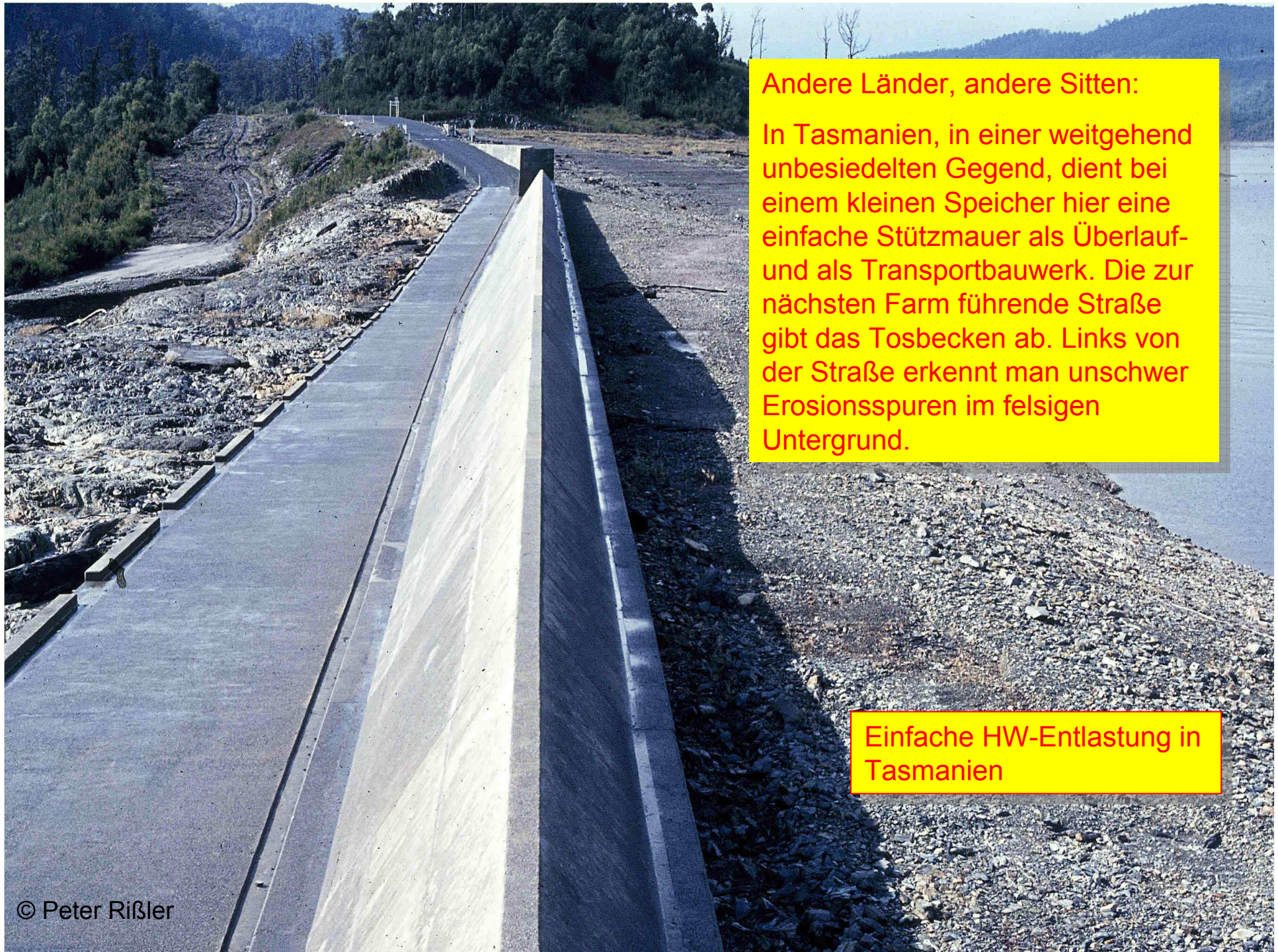
Edertalsperre:

Ähnliche
Konstruktion
wie bei der
Möhnemauer

Frontal angeströmtes Überfallbauwerk

Edertalsperre
neue Einläufe an der HW-
Entlastung

Die Edermauer ist in
den achtziger Jahren
des 20. Jahrhunderts
sanziert worden. Bei
dieser Gelegenheit
wurden auch die
Einläufe erneuert.

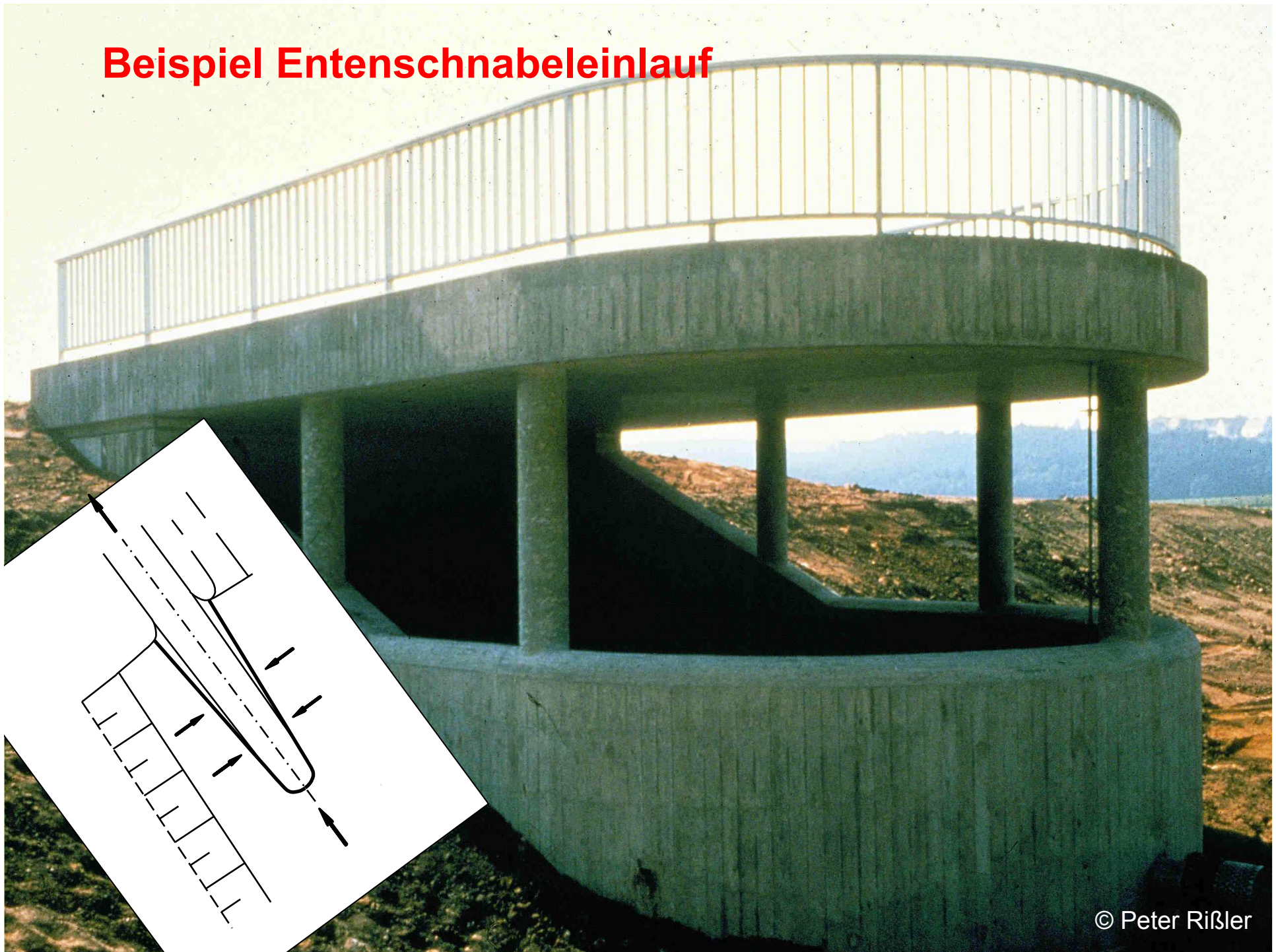


Andere Länder, andere Sitten:

In Tasmanien, in einer weitgehend unbesiedelten Gegend, dient bei einem kleinen Speicher hier eine einfache Stützmauer als Überlauf- und als Transportbauwerk. Die zur nächsten Farm führende Straße gibt das Tosbecken ab. Links von der Straße erkennt man unschwer Erosionsspuren im felsigen Untergrund.

Einfache HW-Entlastung in Tasmanien

Beispiel Entenschnabeleinlauf



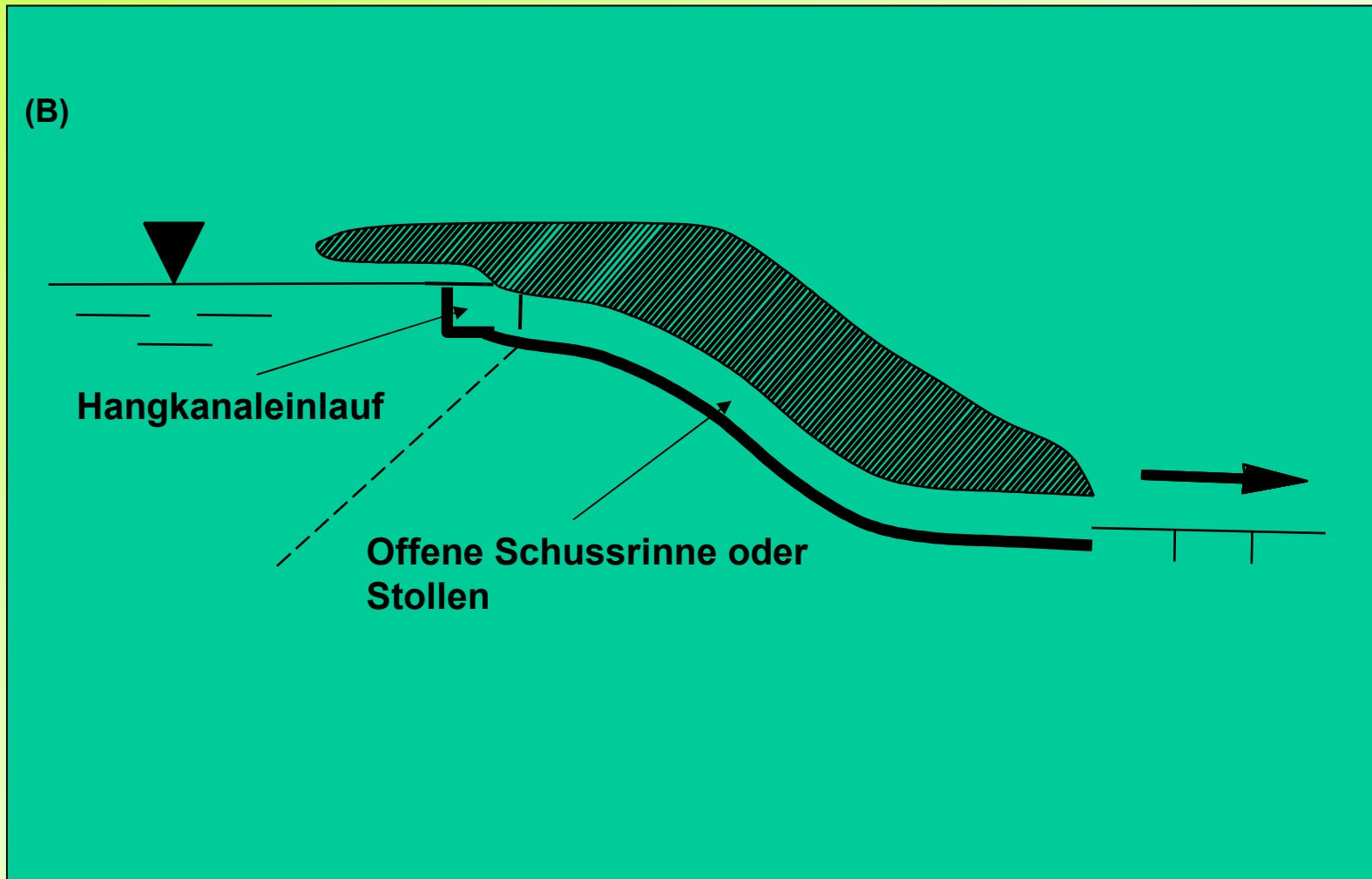
Frontal angeströmtes Überfallbauwerk



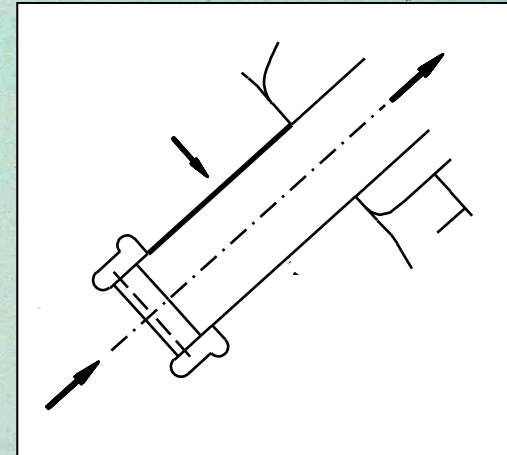
**Frontales Überlaufwehr
am Doroodzan Dam,
Fars/Iran**



Hangkanaleinlauf und offene Schussrinne oder Stollen



Beispiel Hennetalsperre



Hangkanaleinlauf

Zusätzlich an der Stirn eine bewegliche Absperrklappe

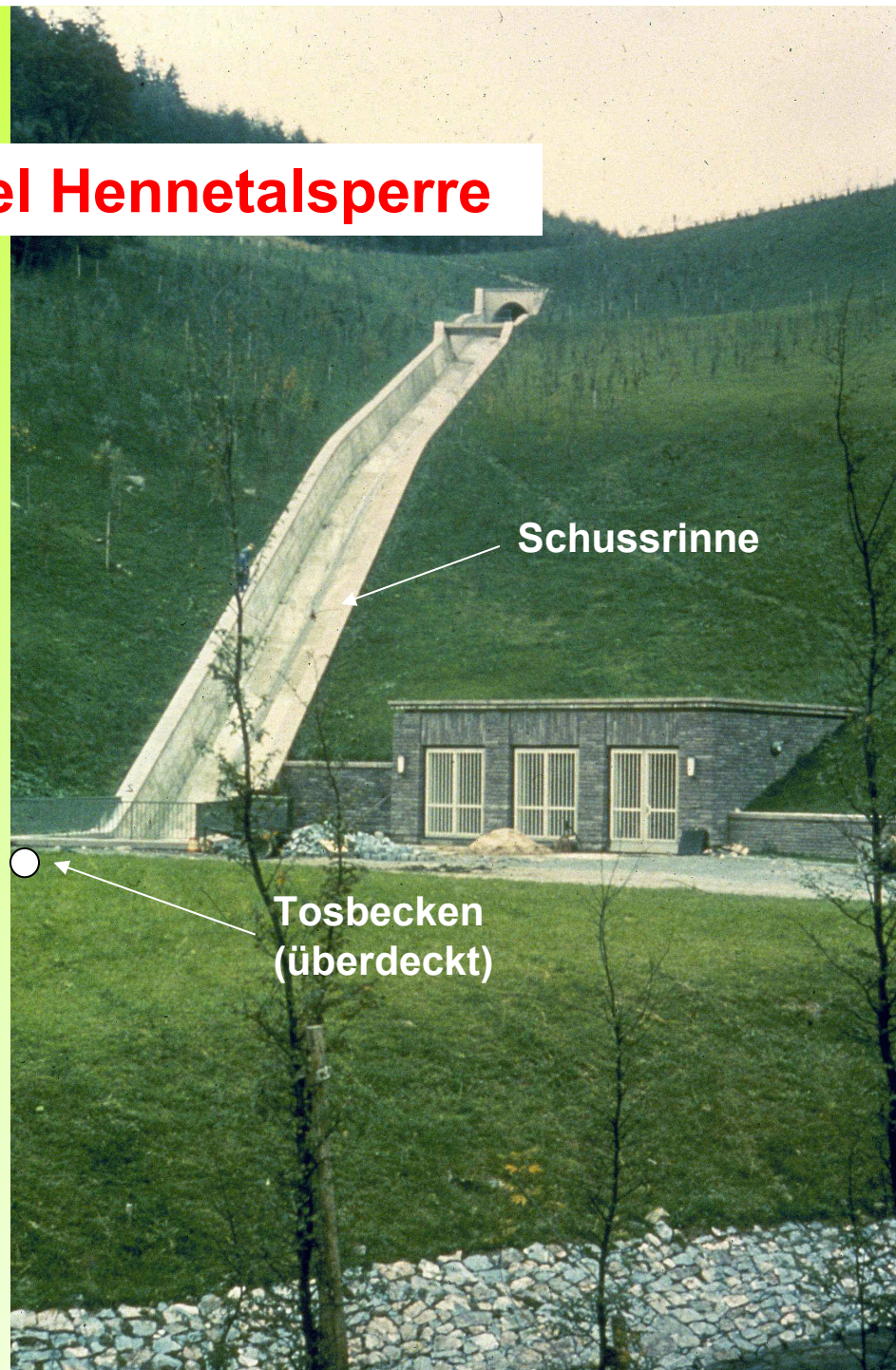
Beispiel Hennetalsperre

Einlaufbauwerk

Schussrinne

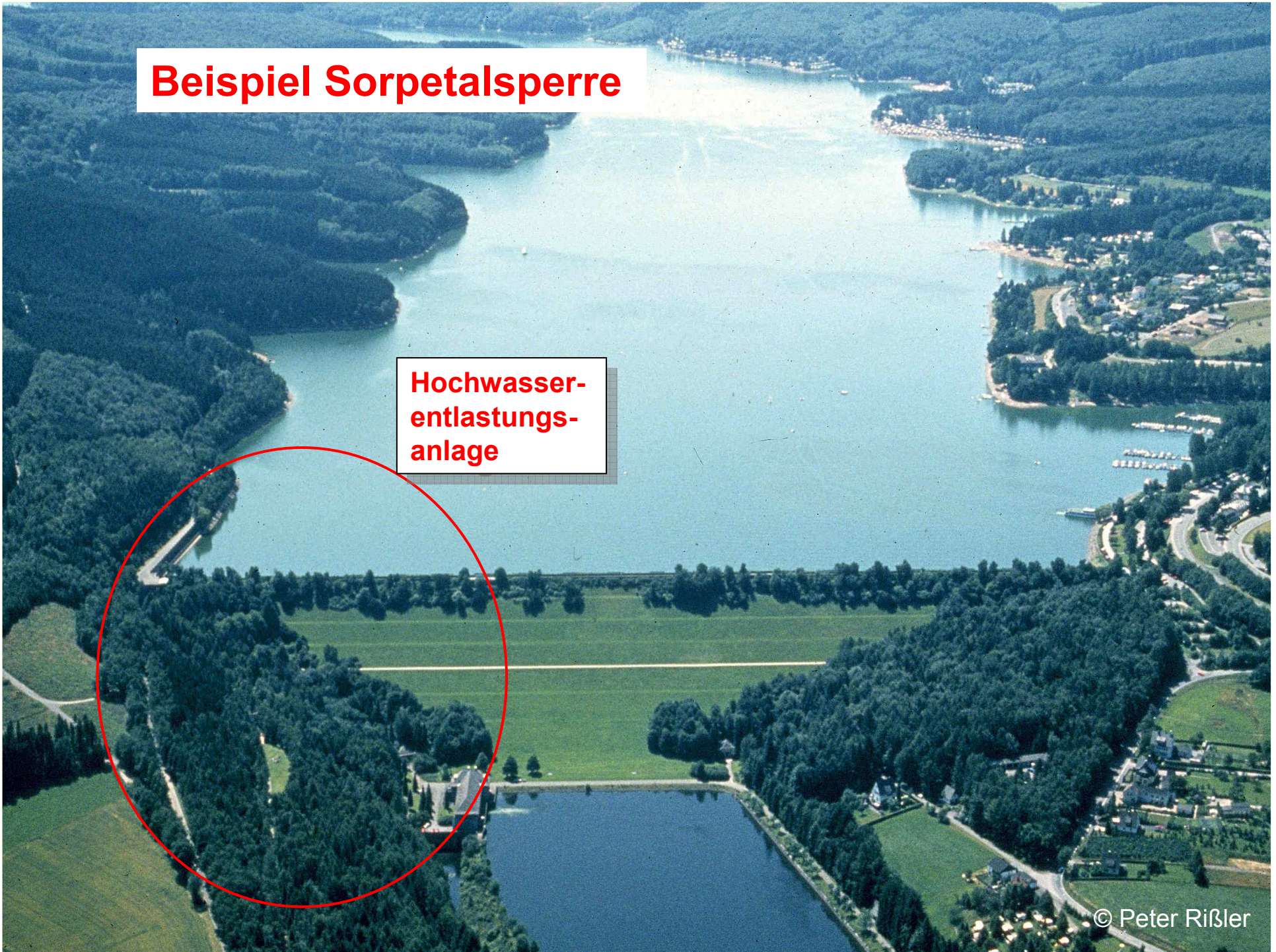
Tosbecken

Beispiel Hennetalsperre

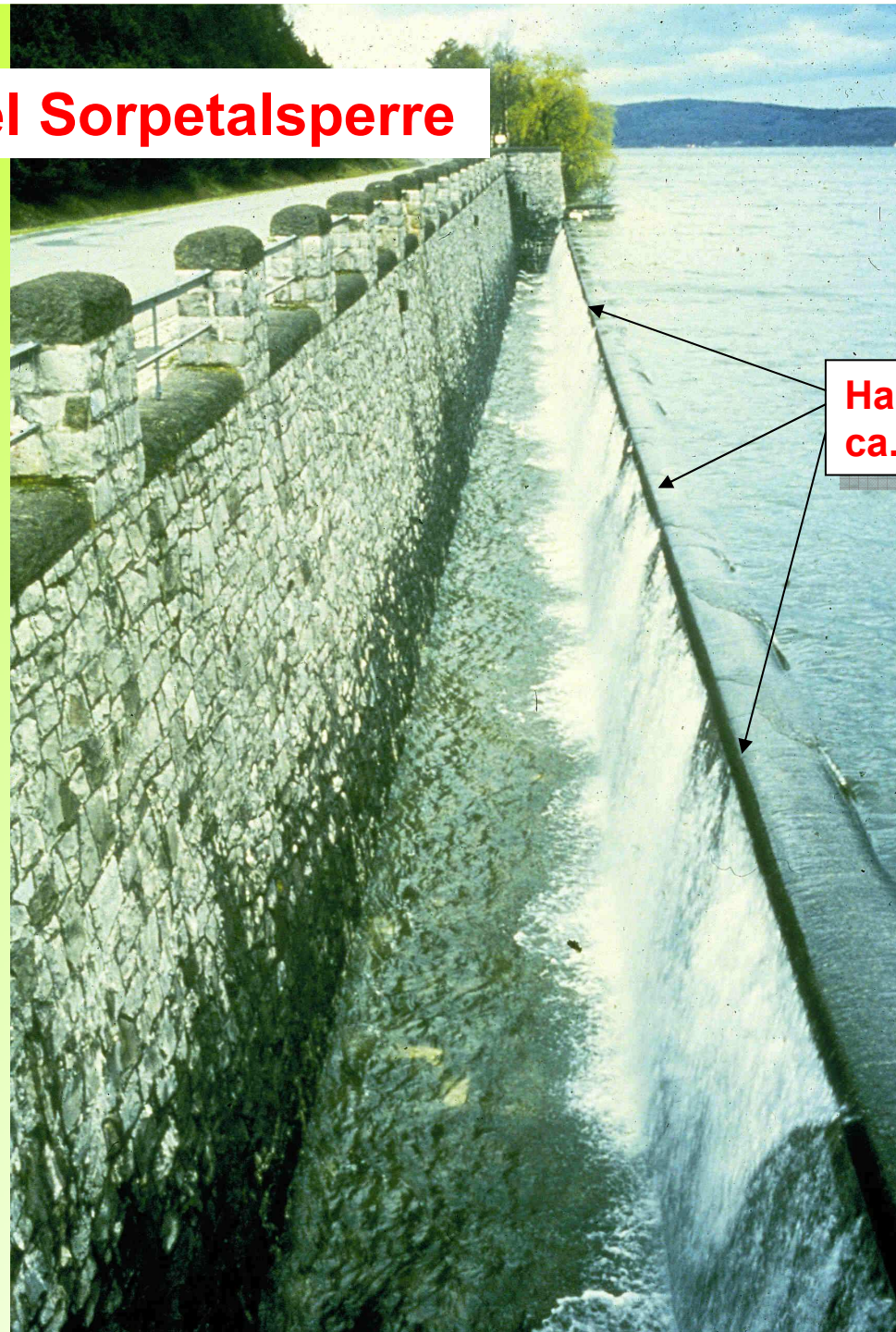


Beispiel Sorpetalsperre

Hochwasser-
entlastungs-
anlage



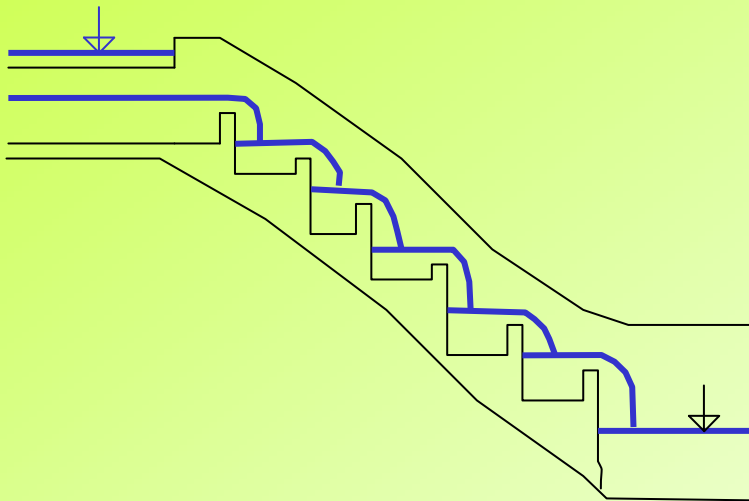
Beispiel Sorpetalsperre



Hangeinlauf,
ca. 100 m lang

Beispiel Sorpetalsperre

Kaskade



Beispiel Sorpetalsperre

Kaskade



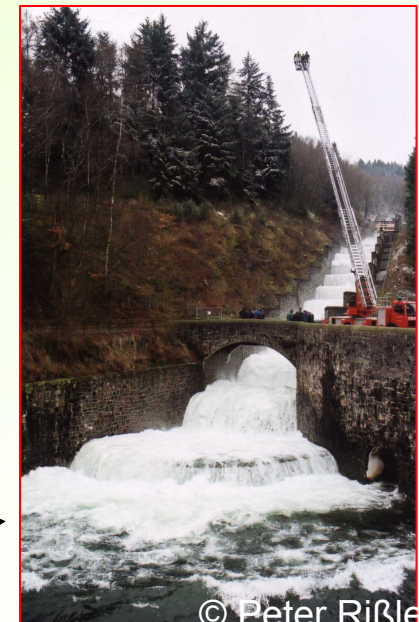
Interessantes Phänomen:

Die HWE der Sorpetalsperre ist für 24 m^3/s ausgelegt. Die Talsperre ist ein Überjahresspeicher. Die HWE springt daher nur selten an.

Kurz nach 2000 wurde bei einem Überlauf von ca. 6 m^3/s festgestellt, dass im Verlauf der Kaskade pulsierende Wellen entstanden (mit Maxima etwa viermal je Minute), die teilweise sogar die Seitenbegrenzungen überspülten.

Der Eigentümer ließ das Phänomen daraufhin an einer deutschen Technischen Hochschule untersuchen. Ergebnis: Das Phänomen tritt nur in einem Fenster zwischen 6 und 12 m^3/s auf und ist insofern ungefährlich.

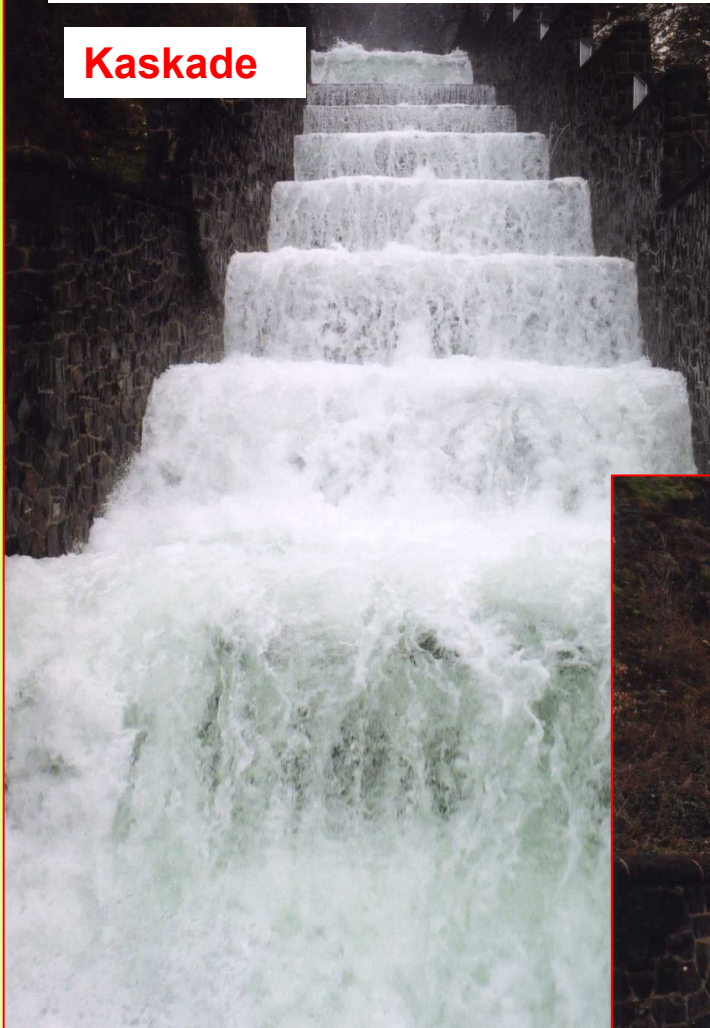
Bestandsaufnahme des Phänomens



© Peter Riße

Beispiel Sorpetalsperre

Kaskade

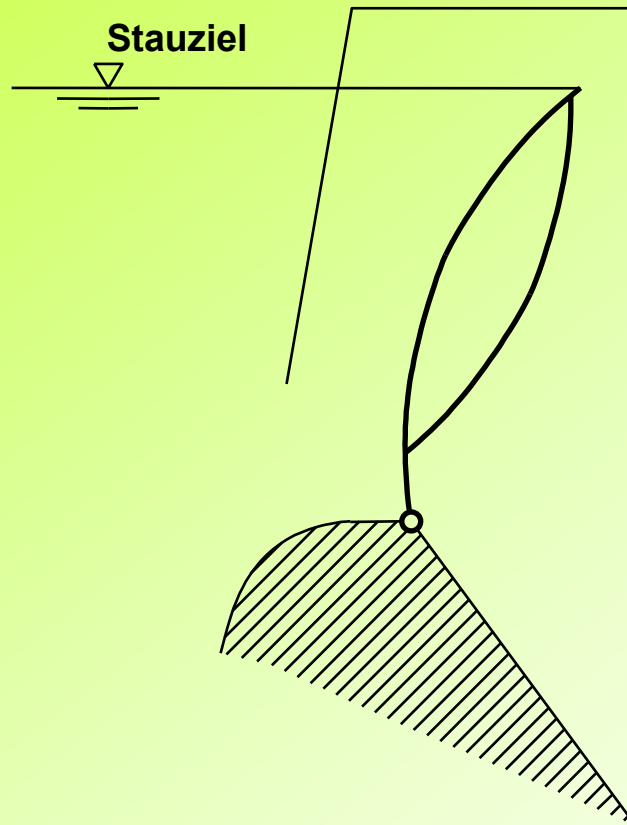


Pulsierende Welle



Bewegliche Verschlüsse bei HWE

Stauklappe

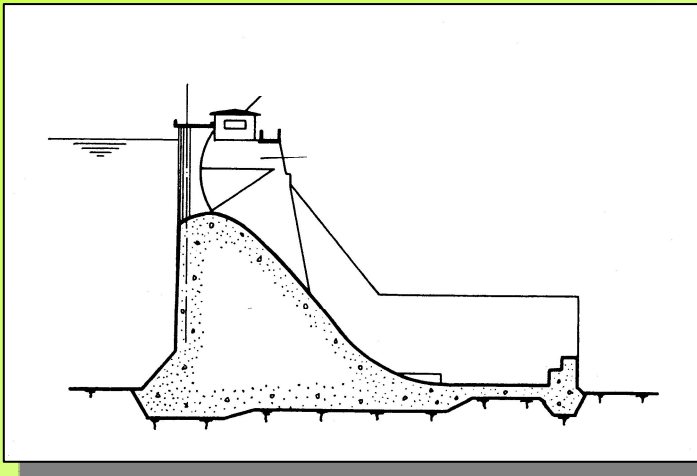


Vorteil:

Stauklappe fällt auch ohne Motorantrieb in den sicheren Zustand („fail safe“).

Bewegliche Verschlüsse bei HWE

Drucksegment



Drucksegmente benötigen Fremdenergie zum Öffnen.

Aufgrund ihrer Eigensteifigkeit sind sie auch für große Höhen geeignet.



Drucksegment am Einlauf einer HW-Entlastung (Oymapinar, Türkei)



**HW-Entlastung an der
Talsperre Iznajar
(Andalusien) mit 8
Drucksegmenten**

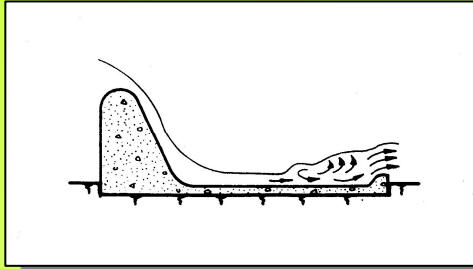


**Hochwasserentlastung
Itaipu, Brasilien/Paraguay**

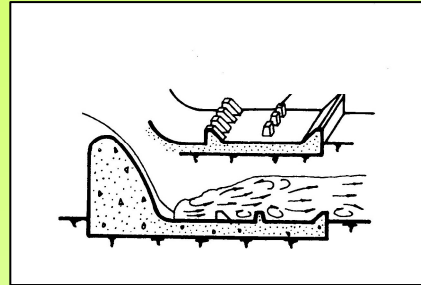
Abmessungen:

$h=21,6\text{ m}$, $b=20\text{ m}$

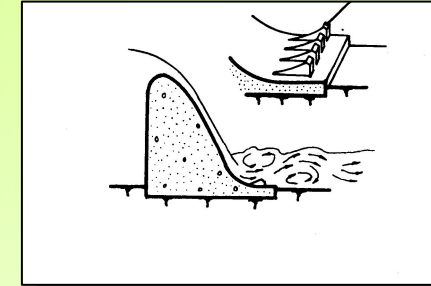
Energieumwandlungsanlagen



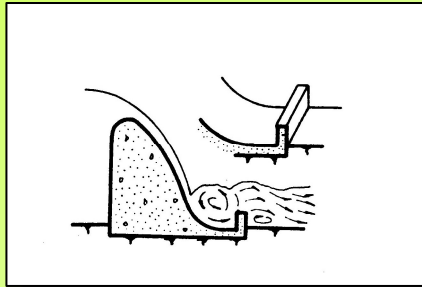
Wechselsprungtosbecken



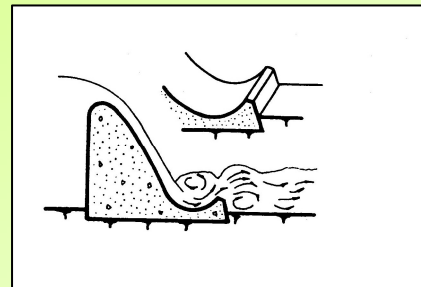
Tosbecken mit Störkörpern



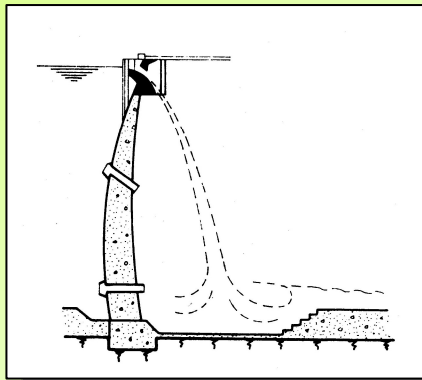
Tosbecken mit
zahnförmigen Störkörpern



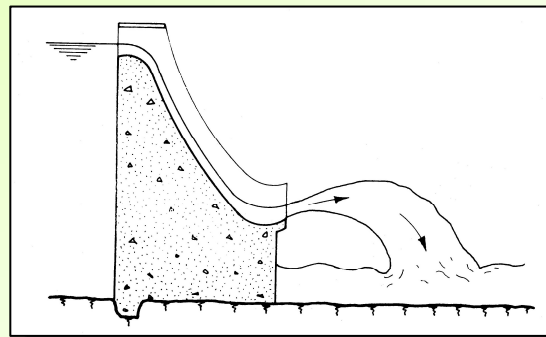
Tosbecken mit Schwelle



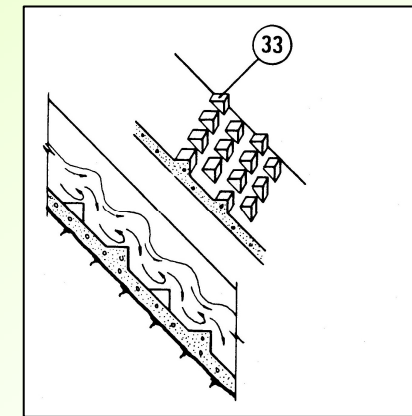
Tosbecken mit Walzenbildung



Tosbecken für freien Strahl



Sprungschanze



Störkörper in Schuss-
rinne (gleiche Wirkung
wie „Bossen“ an der
Möhnemauer)

© Peter Reißler

Energieumwandlungsanlagen



**Zayandeh Rood Dam
Isfahan/Iran -
offene Schussrinne
und Sprungschanze**



© Peter Rißler

Energieumwandlungsanlagen



**Offene Schusssrinne und
Sprungschanze am Amir
Kabir Dam in Nordiran**

Energieumwandlungsanlagen

**Staudamm Canales,
Andalusien,
Offene Schussrinne
und Sprungschanze**

Energieumwandlungsanlagen

**Staudamm Canales,
Andalusien,
Offene Schussrinne
und Sprungschanze**

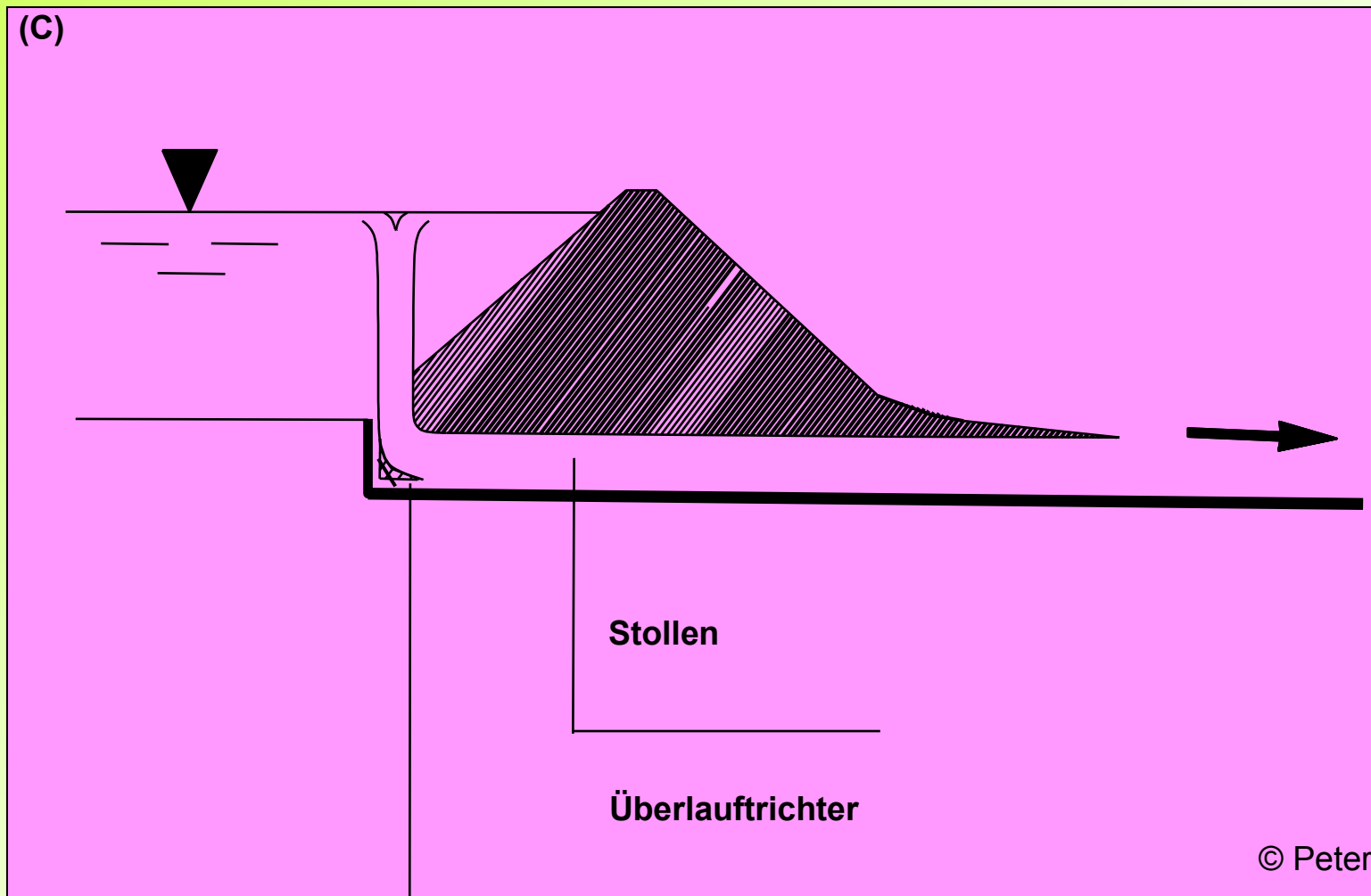
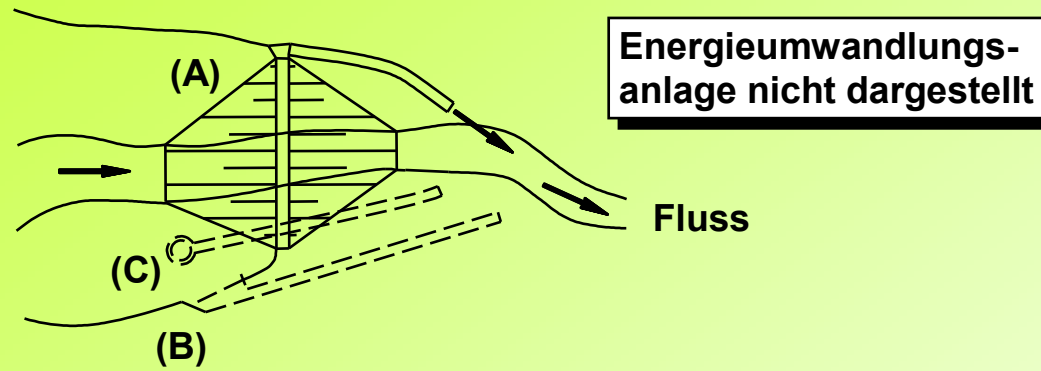
Energieumwandlungsanlagen

**HW-Entlastung
Talsperre Quentar
Sierra Nevada
Andalusien,
Sprungschanze**

© Peter Rißler

Energieumwandlungsanlagen

Tosbecken mit
Störkörpern
Talsperre Mauthaus
Oberfranken





**HW-Entlastungsturm
Aabachtalsperre
Ostwestfalen**



**HW-Entlastungsturm
Aabachtalsperre
Ostwestfalen**

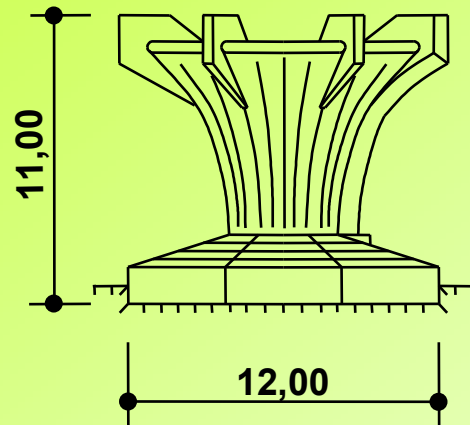
**HW-
Entlastungsturm
Frauenautalsperre,
Böhmerwald,
Oberpfalz**

**dahinter
Entnahmeturm
für Rohwasser**

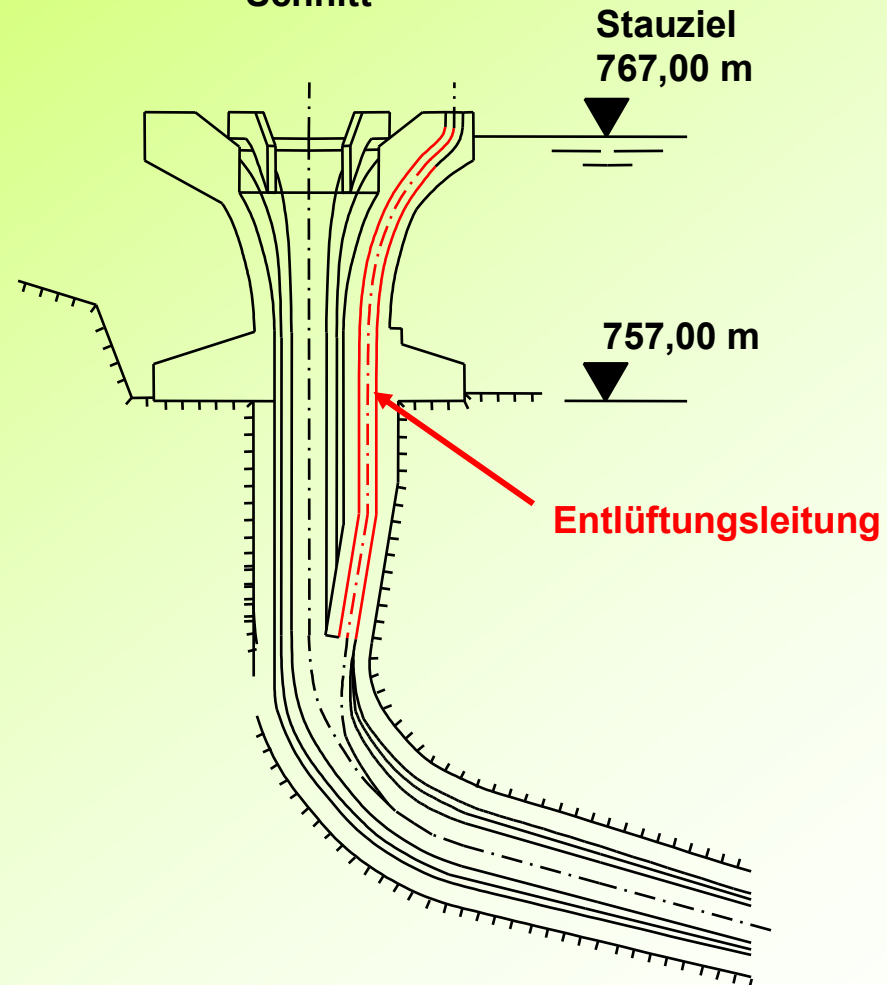


Hochwasserentlastungsturm der Frauenautalsperre

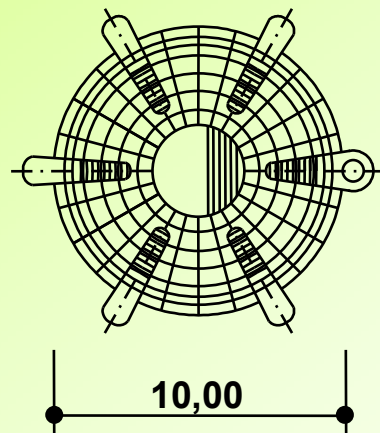
Ansicht



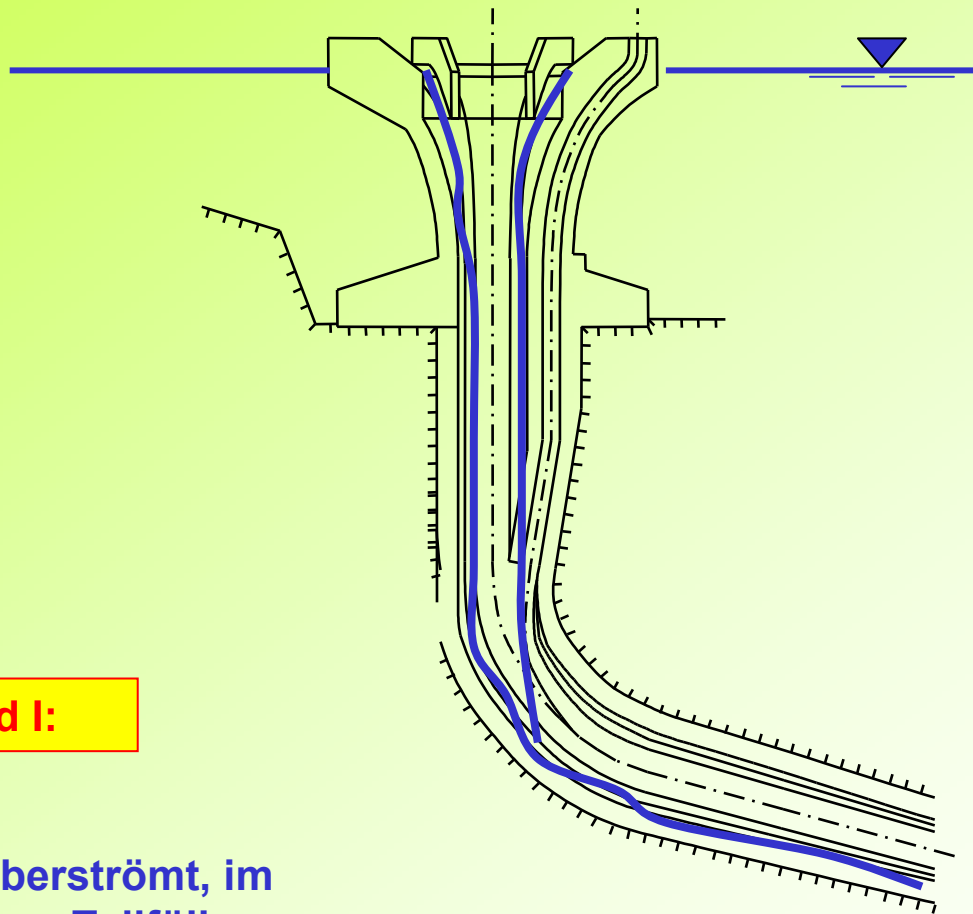
Schnitt



Draufsicht



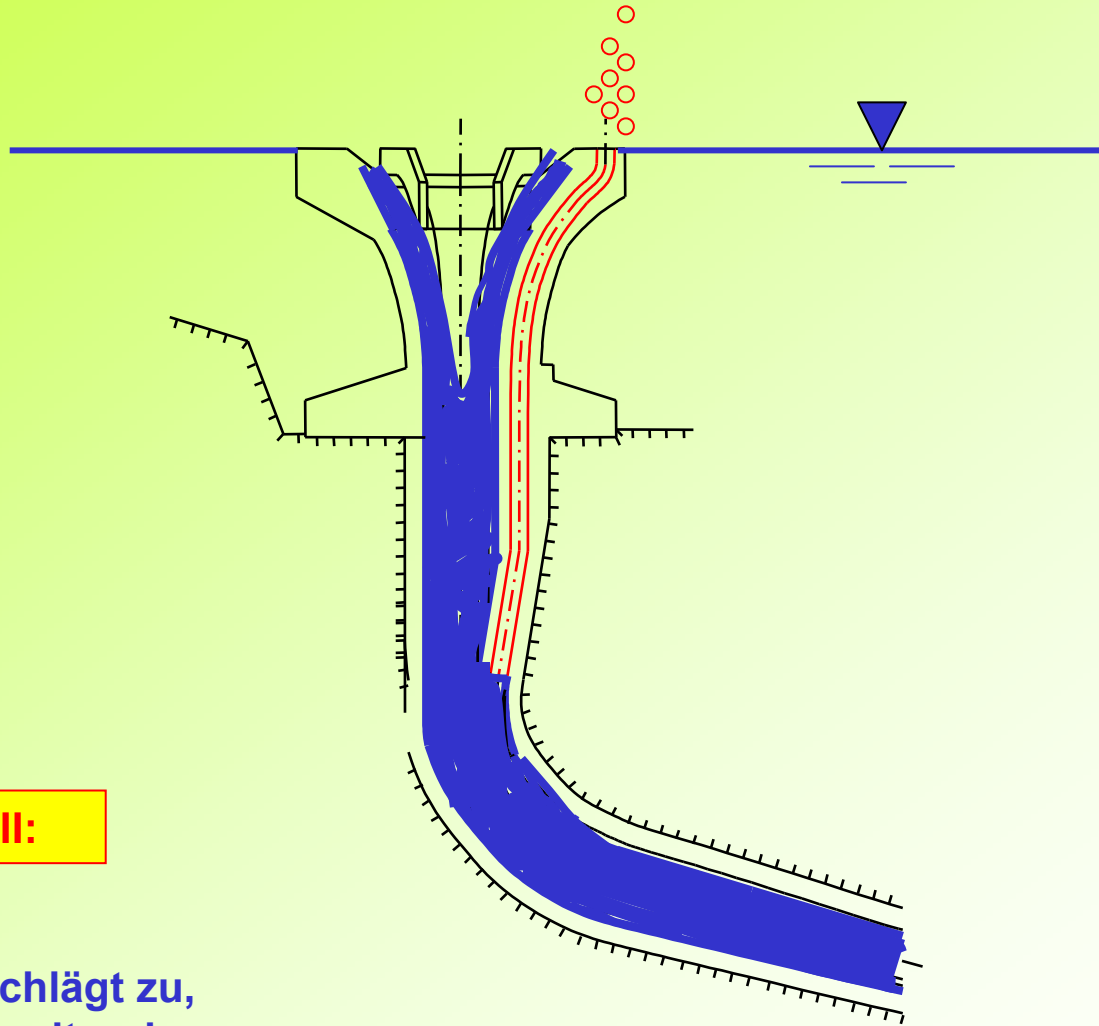
Drei unterschiedliche Betriebszustände:



Zustand I:

knapp überströmt, im
Stollen nur Teilfüllung

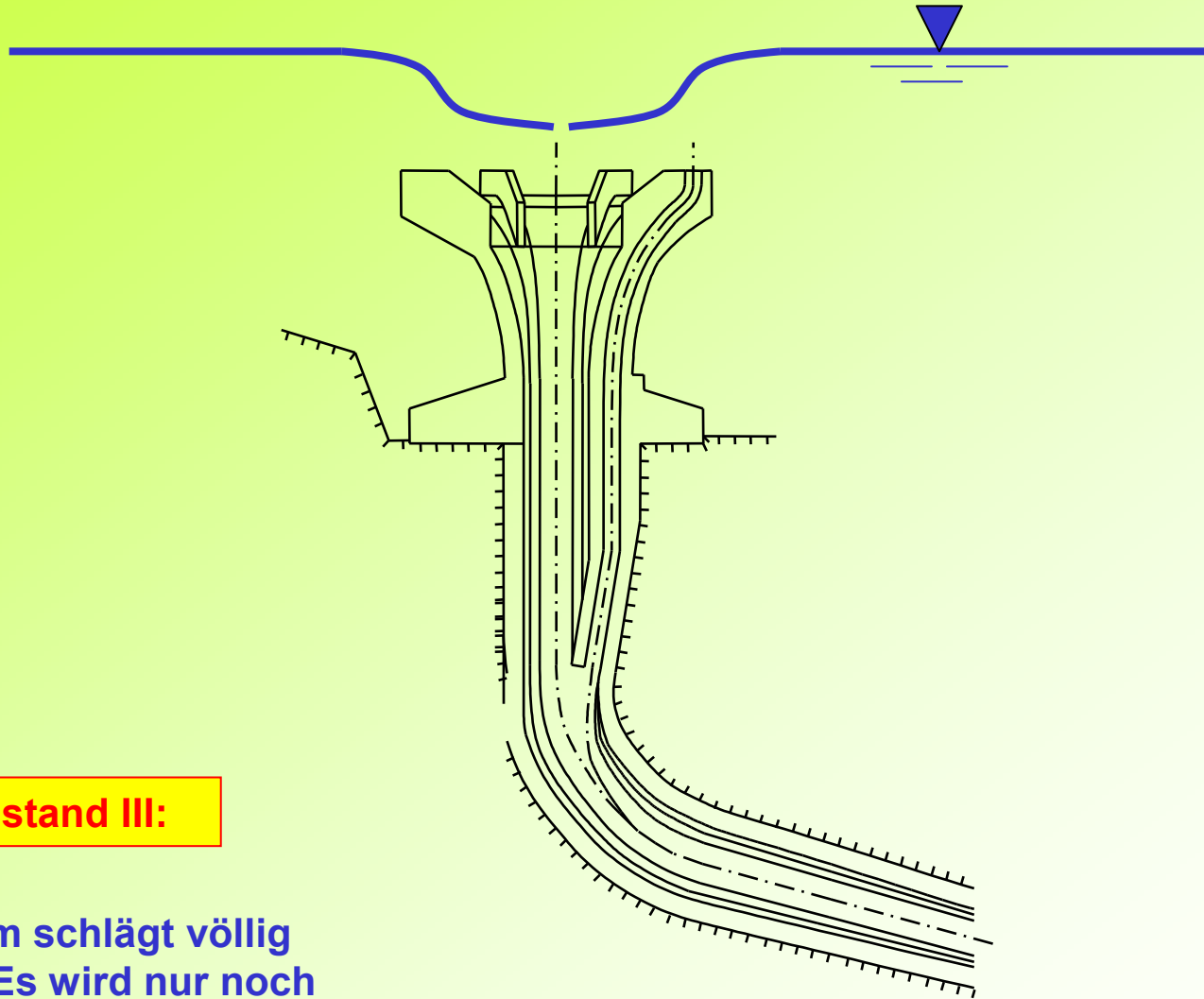
Drei unterschiedliche Betriebszustände:



Zustand II:

Stollen schlägt zu,
Luft wird mitgerissen

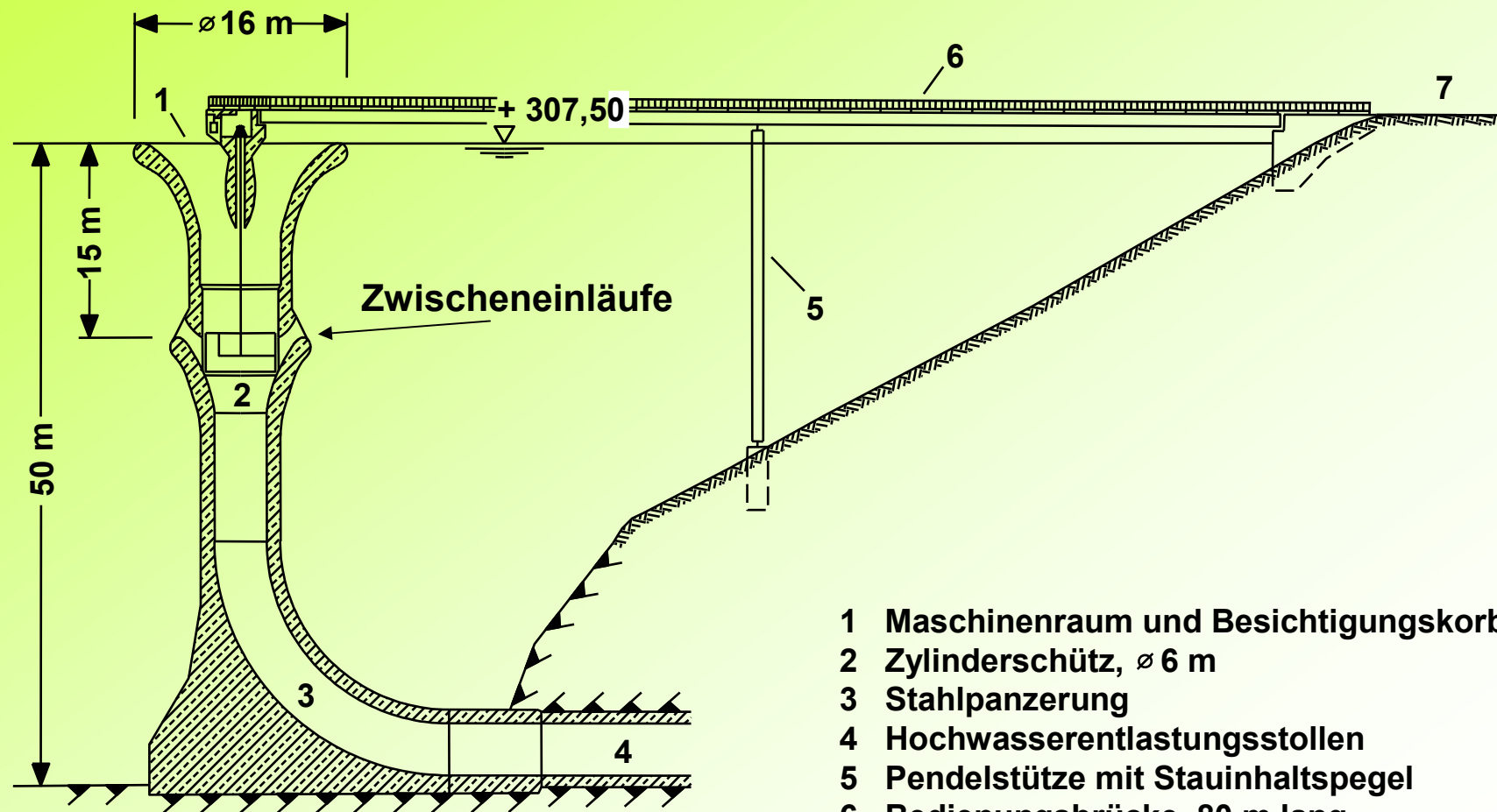
Drei unterschiedliche Betriebszustände:



Zustand III:

Turm schlägt völlig
zu. Es wird nur noch
wenig Luft
eingetragen

Hochwasserentlastungsturm der Biggetalsperre



- 1 Maschinenraum und Besichtigungskorb
- 2 Zylinderschütz, $\varnothing$ 6 m
- 3 Stahlpanzerung
- 4 Hochwasserentlastungsstollen
- 5 Pendelstütze mit Stauinhaltspegel
- 6 Bedienungsbrücke, 80 m lang
- 7 Randweg

Hochwasserentlastungsturm der Biggetalsperre



Hochwasserentlastungsturm der Biggetalsperre



Hochwasserentlastungsturm der Biggetalsperre

Reparatur von
Betonschäden



Hochwasserentlastungsturm der Biggetalsperre

**Zwischeneinläufe
15 m unter Stauziel**

Die Biggetalsperre wurde zwischen 1955 und 1965 gebaut.

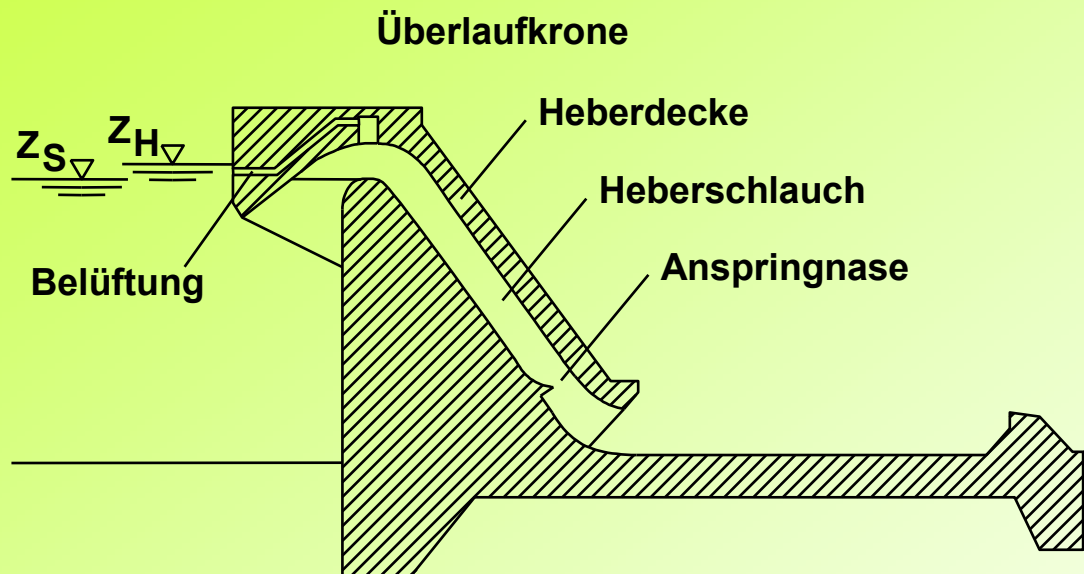
Damals bestand aus militärischer Sicht die Forderung, die Biggetalsperre innerhalb von wenigen Tagen um 15 m absenken zu können. Hierzu wurden in dieser Höhe zusätzliche Auslassöffnungen eingebaut, welche im normalen Betriebszustand durch ein Zylinderschütz verschlossen sind (siehe vier Seiten zuvor).



Hochwasserentlastungsturm der Biggetalsperre



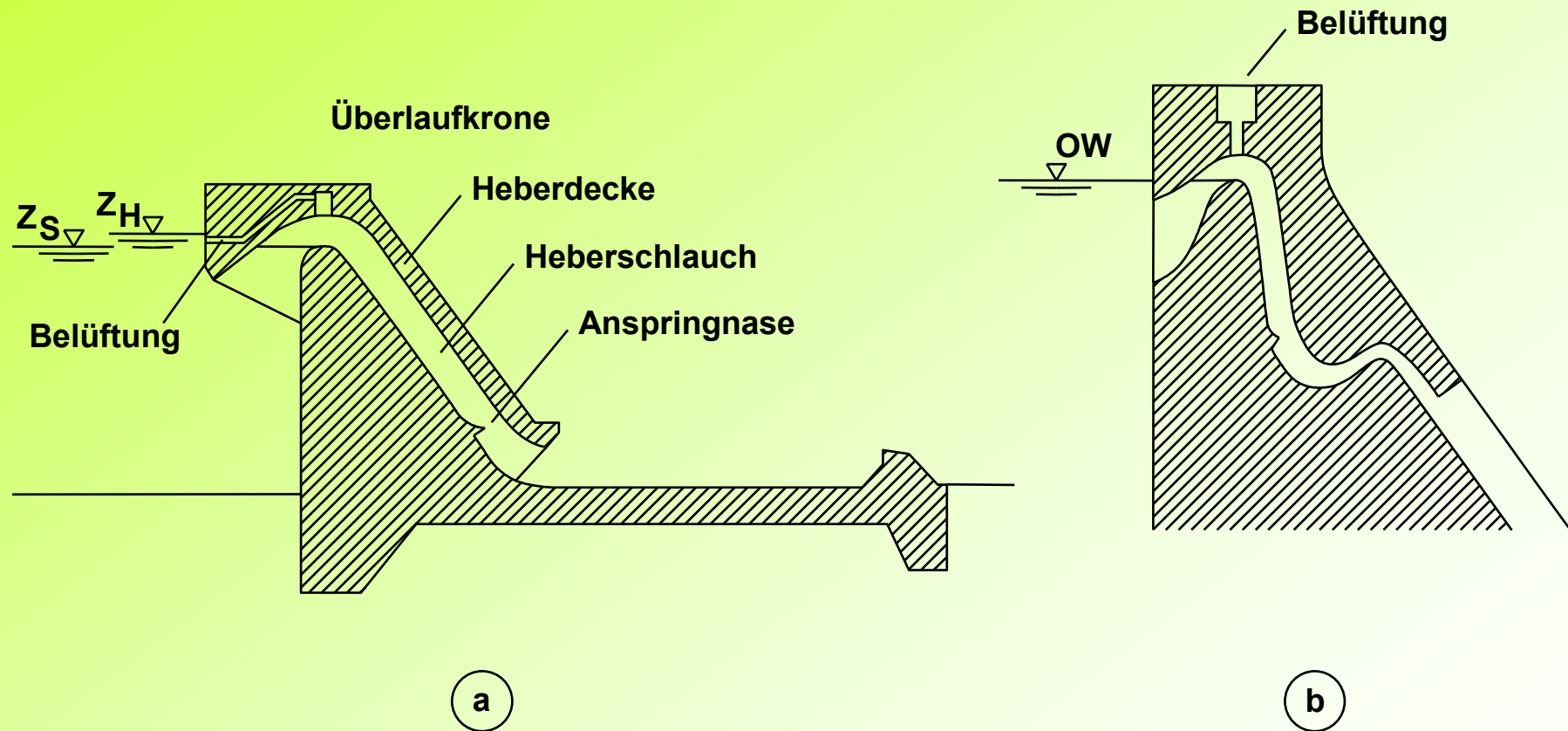
Heber als HW-Entlastung



Funktion:

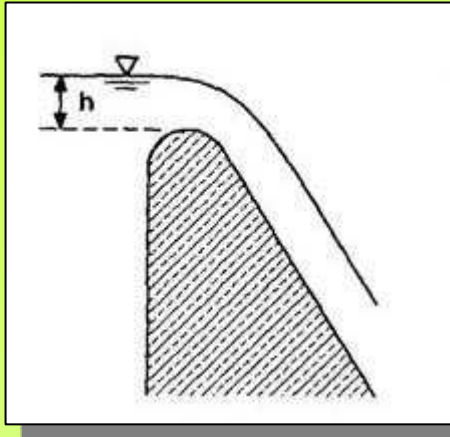
Im luftdichten Heberschlauch mit Heberdecke bewirkt die Anspringnase, bereits bei einem nur wenige Zentimeter dicken Überfallstrahl, zunehmende Luftverdünnung und Füllung des Heberschlauchs bis zur Volllastung. Die Luft wird vom Wasser nach unten herausgesaugt. Durch Belüftungsventile oder durch eine konstruktiv vorgesehene Belüftung kann der Heber geregelt und stillgelegt werden.

Heber als HW-Entlastung

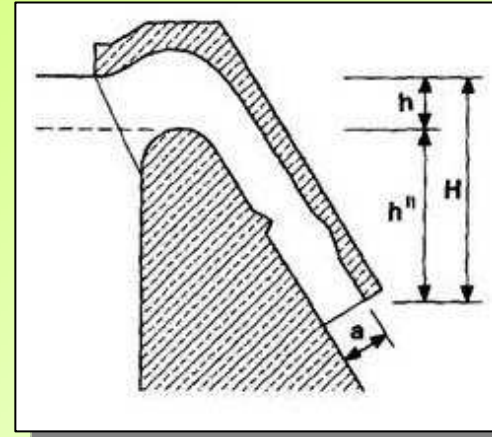


Heberwehr (a) und Heberanordnung bei einer Gewichtsstaumauer (b)

Heber als HW-Entlastung



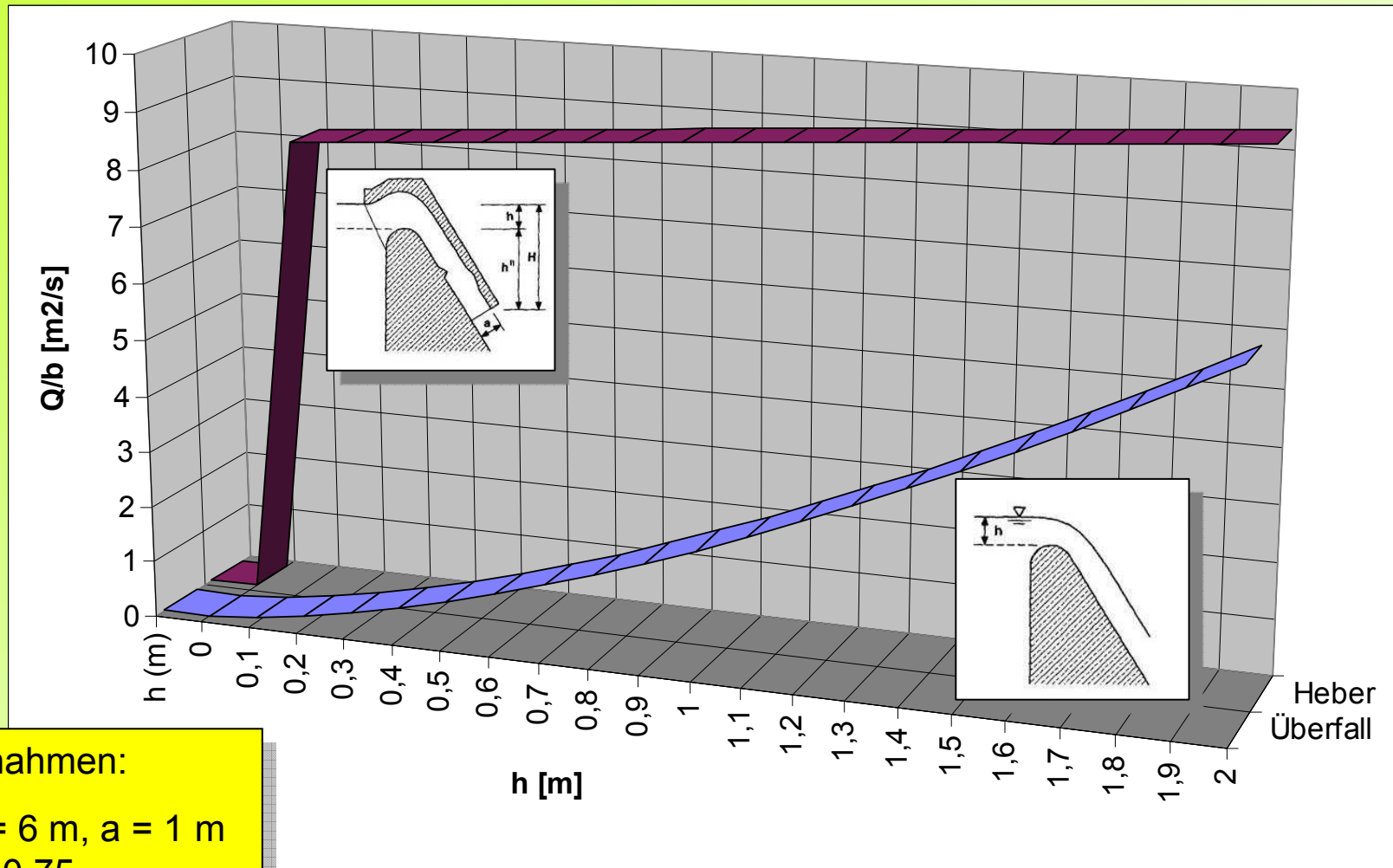
$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b * \sqrt{2g} * h^{\frac{3}{2}}$$



$$Q = \mu * a * b * \sqrt{2g} * \sqrt{h'' + h}$$

Vergleich der Leistungen von festem Überfall und Heber

Heber als HW-Entlastung



Annahmen:

$h'' = 6$ m, $a = 1$ m

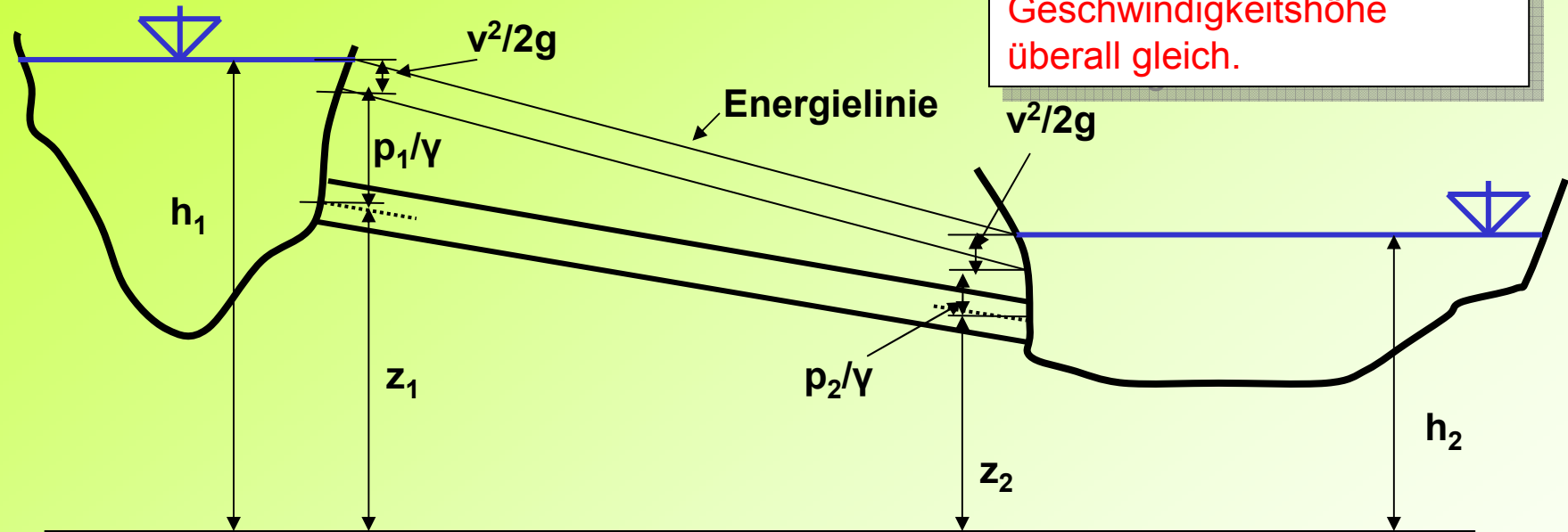
$\mu = 0,75$

Vergleich der Leistungen von festem Überfall und Heber

Heber als HW-Entlastung

Heberbatterie am Speicher
Roßhaupten,
Bayerisches Schwaben

Druckverlauf im HWE-Stollen



Bei konstantem Querschnitt innerhalb des Stollens ist die Geschwindigkeitshöhe überall gleich.

Bernoulli-Gleichung:

$$h = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

H	Energiehöhe
z	geodätische Höhe
p/γ	Druckhöhe
v²/2g	Geschwindigkeitshöhe

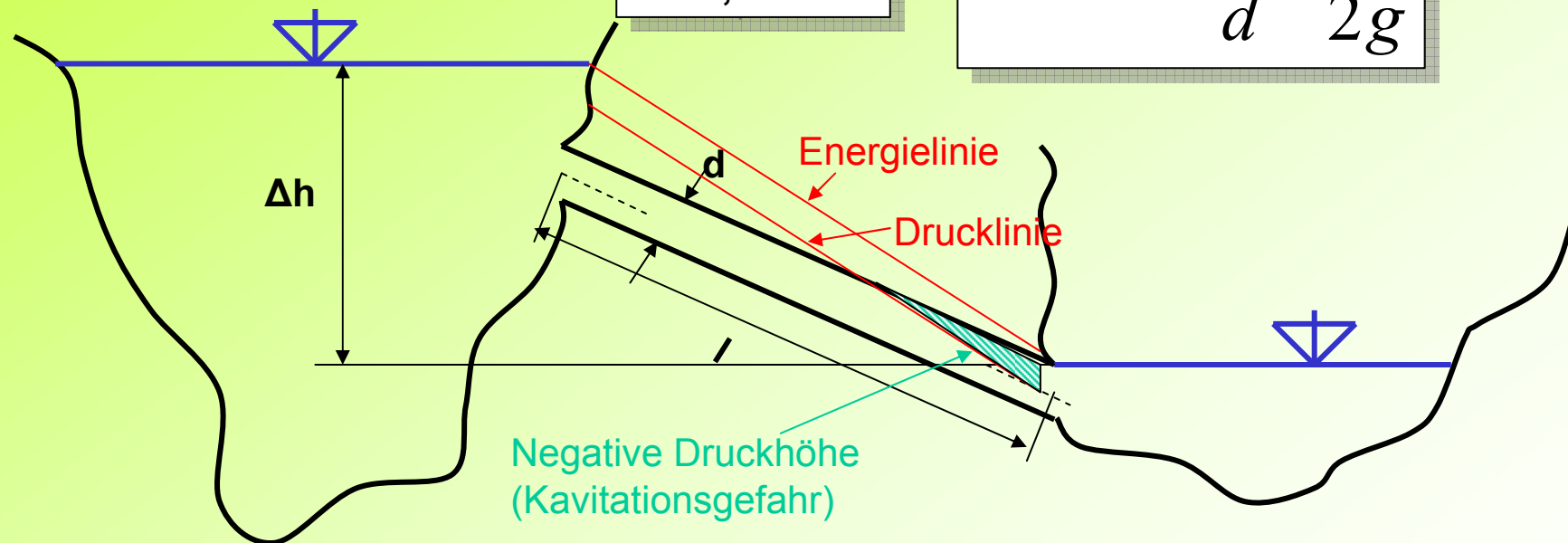
Druckverlauf im HWE-Stollen

Was passiert jedoch, wenn der Stollenauslauf nur unwesentlich unter dem Unterwasserspiegel oder gar darüber liegt (z.B. weil das untere Becken sehr flach ist)?

Beispiel:

$$\begin{aligned}\Delta h &= 50 \text{ m} \\ l &= 200 \text{ m} \\ \lambda &= 4,5 \cdot 10^{-1}\end{aligned}$$

$$\Delta h = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

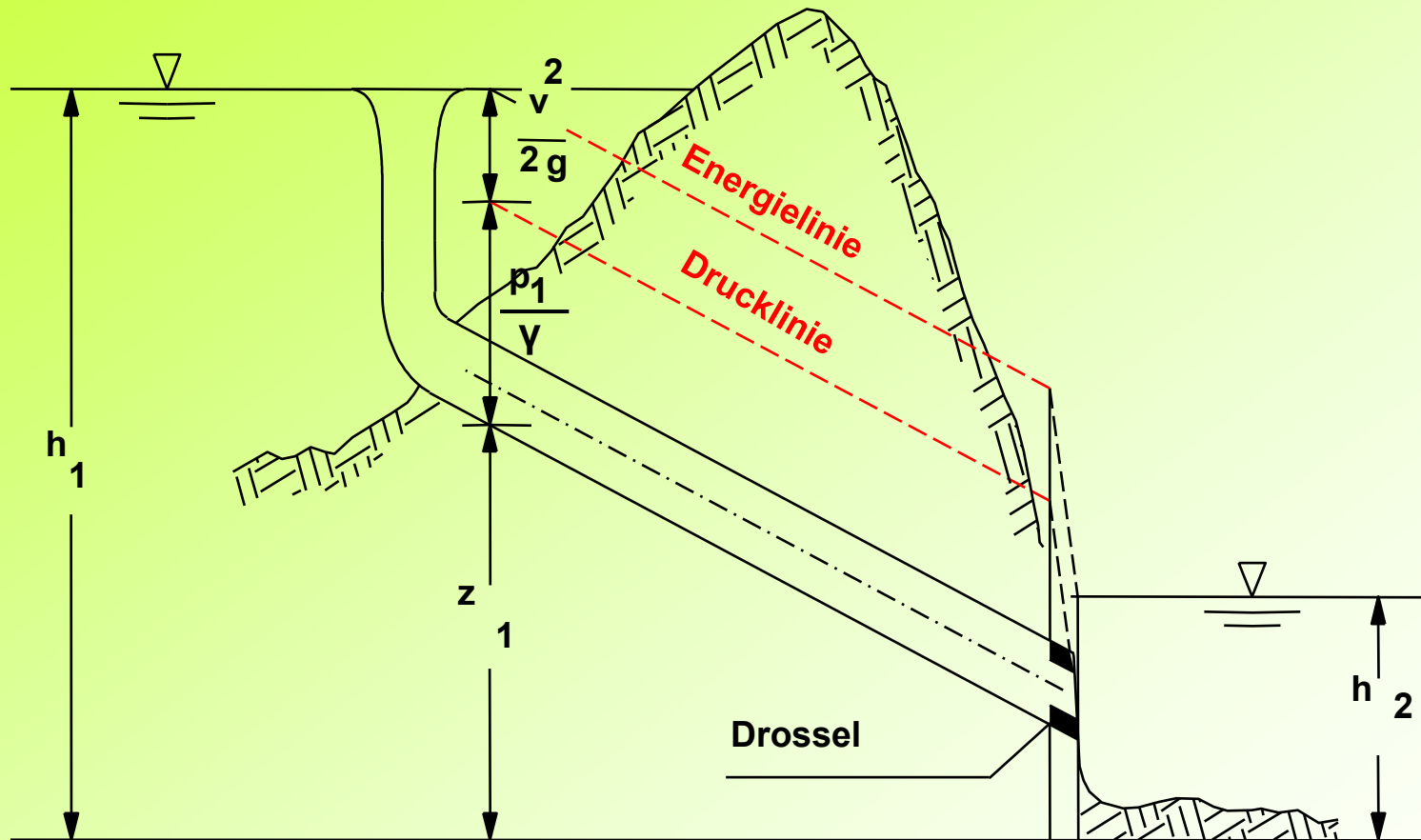


Geschwindigkeitshöhe: $\frac{v^2}{2g} = 2,22 \text{ m}$

Abhilfe: Stollenprofil vergrößern und am Ende eine kurze Drossel einbauen. Dann bleibt die Drucklinie bis zur Drossel im positiven Bereich (s. nächste Seite)

Druckverlauf im HWE-Stollen

Druckverlauf im HWE-Stollen der Biggetalsperre



2 Betonkeile als Drossel im Fließquerschnitt