

Das Talsperrenprojekt Diamer Basha in Pakistan



PLATTFORM WASSERBAU INNSBRUCK 30.01.2025
MARCO CONRAD – AFRY SCHWEIZ AG



1. Diemer Basha Dam Project

2. Moderne Walzbeton (RCC)
Technologie

3. Gedanken zur Nachhaltigkeit von
Talsperren

4. Überlegungen zu
Treibhausgasabdrücken von
Betonsperrern



GHG
(CO₂e)





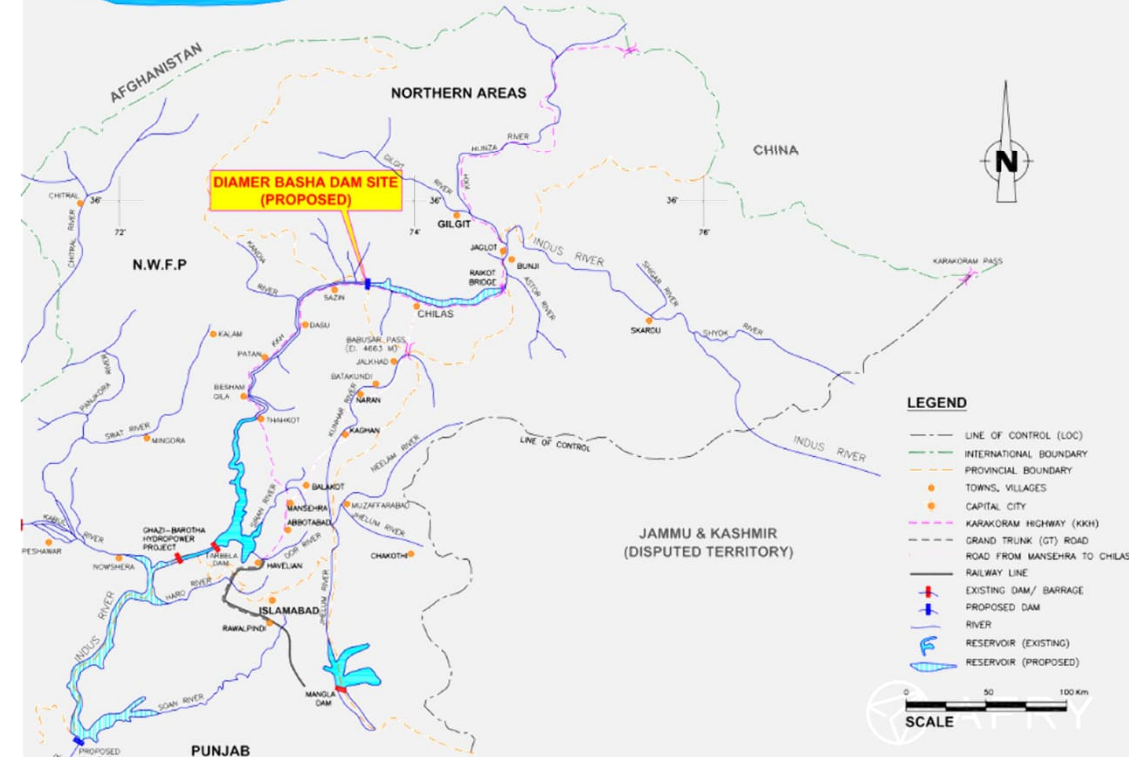
Diamer Basha Dam Project

Standort & Projektzweck

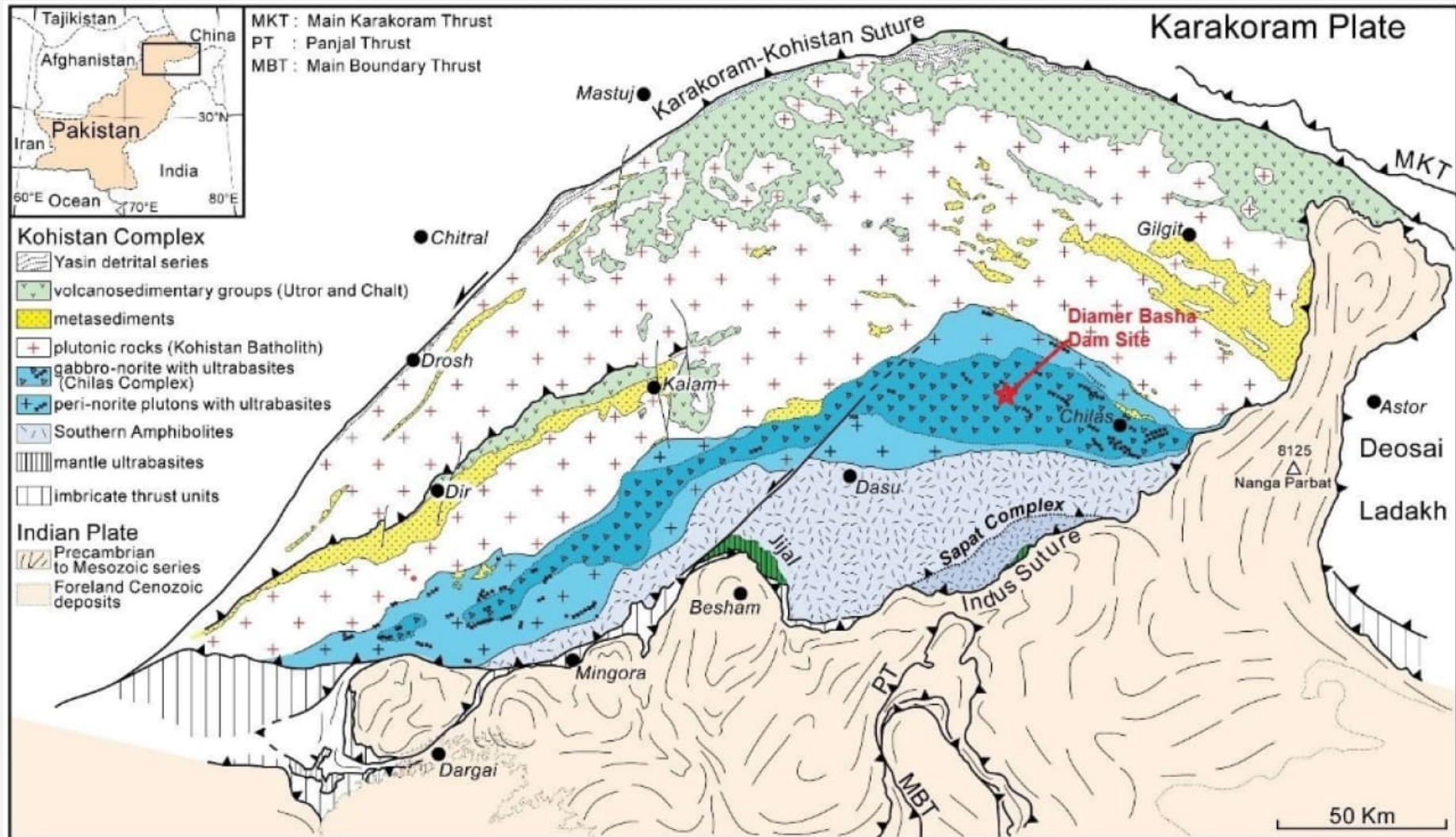
- Diamer Basha Dam Project am Hauptstrom des Indus in Pakistan
- Provinzen Khyber Pakhtunkhwa & Gilgit-Baltistan (Northern Areas)
- ca. 315 km stromaufwärts des Tarbela Staudamms & 40 km stromabwärts der Ortschaft Chilas
- Bauherr: Water and Power Development Authority of Pakistan (WAPDA)
- Mehrzweckprojekt: Bewässerung (nutzbares Speichervolumen 7.9 Mrd. m³), Wasserkraft (4'500 MW), (Sedimentmanagement)



upload.wikimedia.org/wiki/pedia/commons/b/bc/Pakistan_on_the_globe_%28claimed_hat ched%29_%28Afro-Eurasia_centered%29.s







from: Petterson, M.G. (2018). The plutonic crust of Kohistan and volcanic crust of Kohistan-Ladakh, north Pakistan/India: Lesson learned for deep and shallow arc process, Geological Society of London

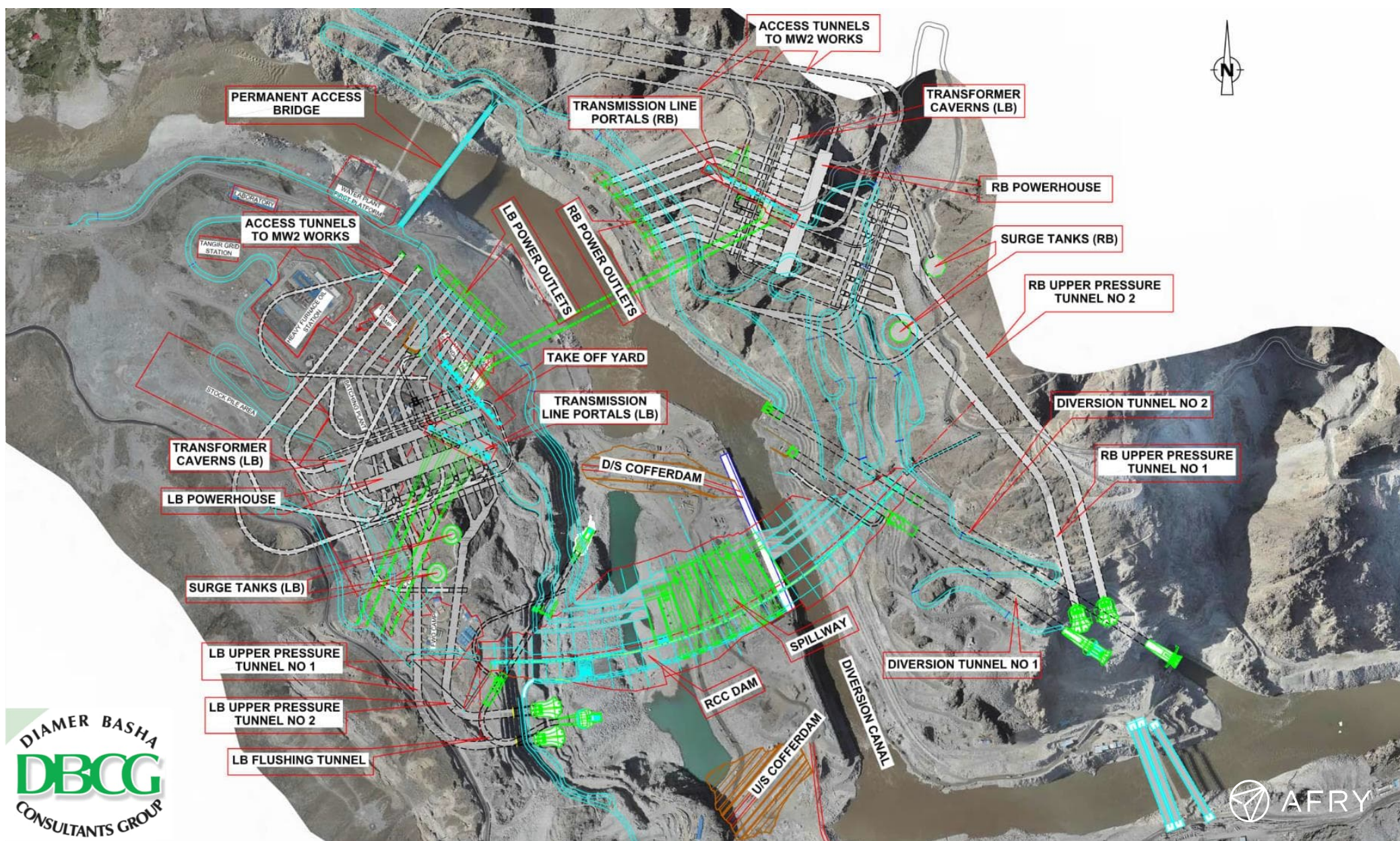


Gabbro-Norit

Ultramafisch



Planungsstand & Herausforderungen



Einige Kennzahlen...

— Reservoir

- Stauziel 1'160 masl – Absenkziel 1'060 masl
- Inhalt bei Stauziel 10'000 Mio.m³ – Länge 102 km
- Nutzvolumen 7'889 Mio.m³

— Bemessungshochwasser & Sediment

- Flussumleitung HQ₁₀₀ ~15'000 m³/s
- Bemessungshochwasser HQ_{10'000} ~21'500 m³/s
- Sicherheitshochwasser PMF(CC) ~42'000 m³/s
- Sedimentfracht ~200 Mio.t/a

— Wasserkraft

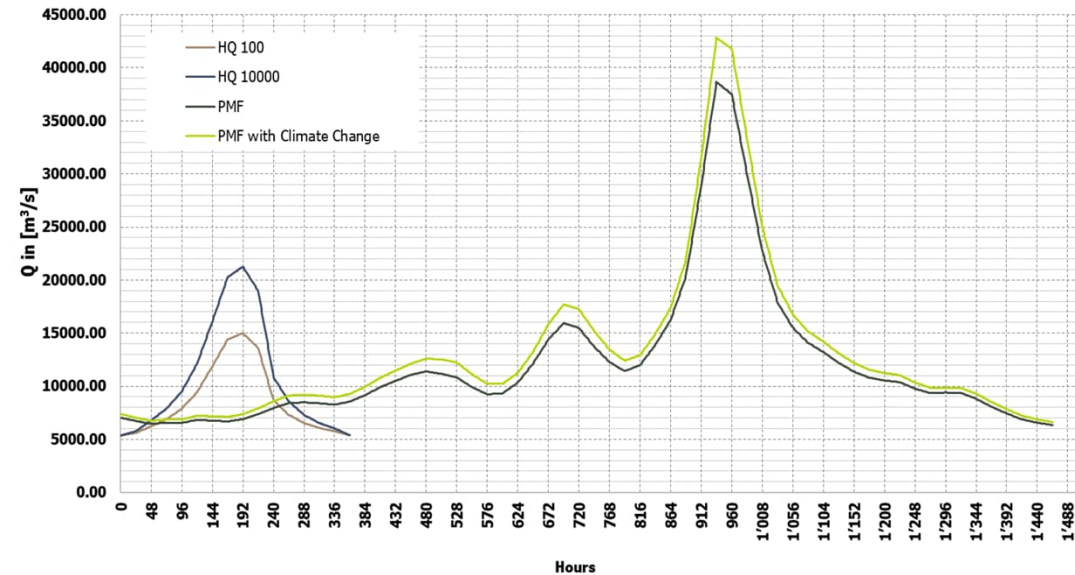
- Installierte Leistung 4'500 MW – 18'097 GWh/a
- 2 Maschinenkavernen, je 6 Francis
- Kavernendimensionen L 265 m / B 30.5 m / H 66.5 m

— RCC Talsperre

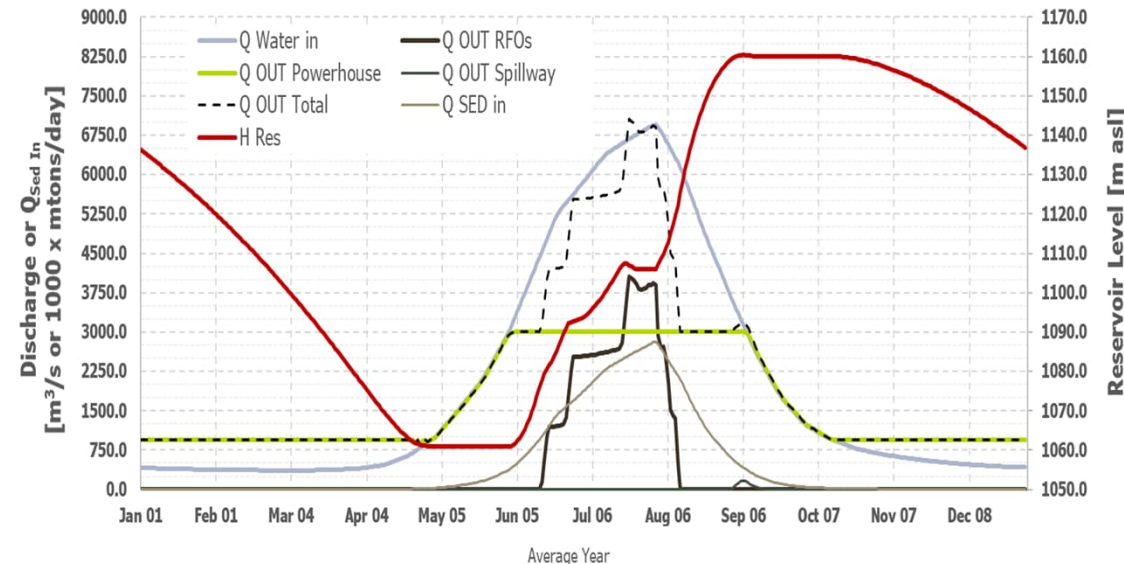
- Gewichtsstaumauer mit gekrümmter Achse
- Sperrenhöhe 272 m – Kronenlänge ~1'010 m
- RCC-Volumen ~18 Mio.m³

— Geschätzte Projektkosten 14 Mrd.USD

Inflow Hydrograph during Flood Event [m³/s]

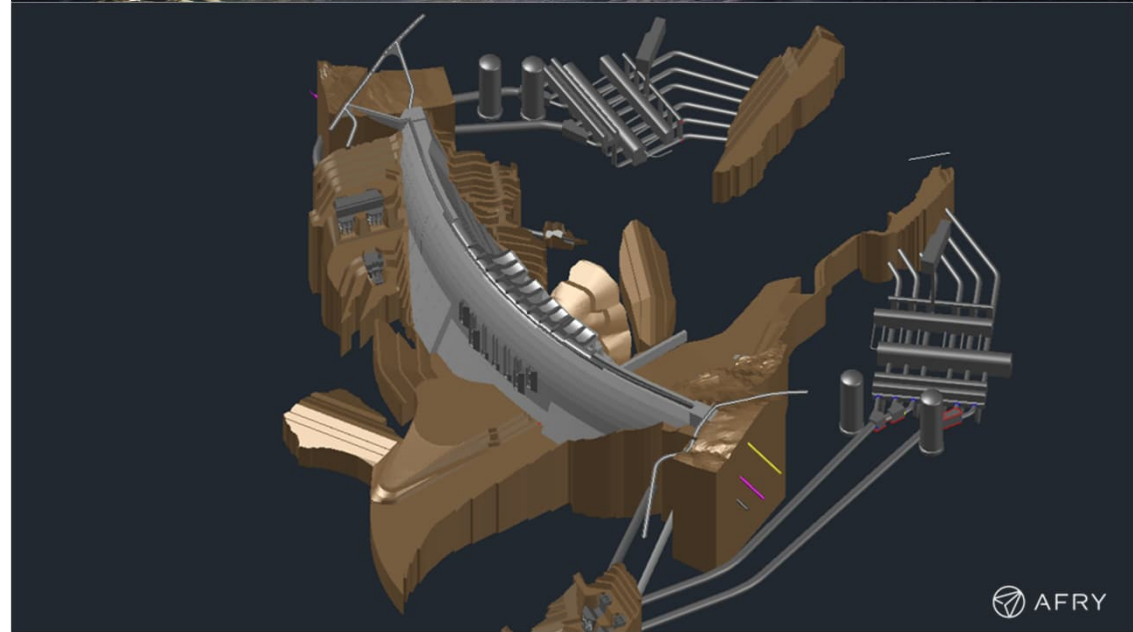


Res. Operation Average Year & 2022 Design Arrangement (5 RFOs @ 990, 4 RFOs @ 1025, 2 RFOs @ 1060 masl)



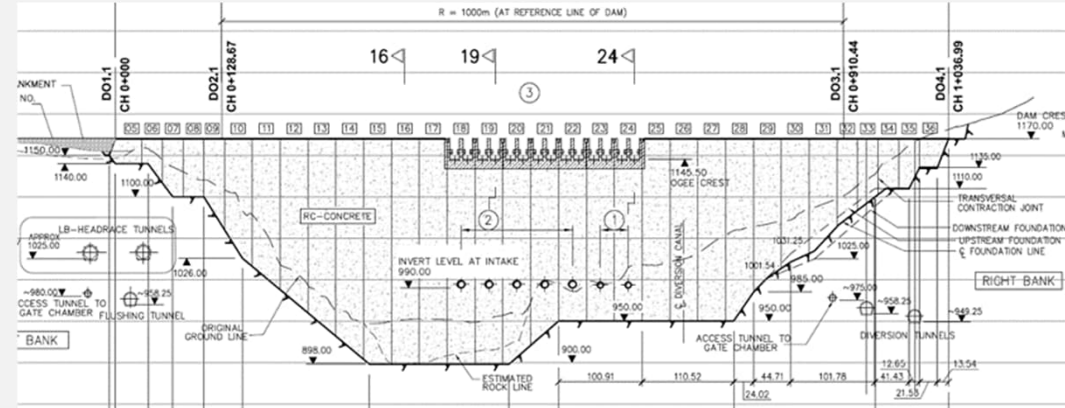
Ausführungsplanung & Bauüberwachung

- Ausschreibungsplanung & Ausschreibungsdokumente von 2008
- Ausschreibung in 2019 & Vergabe der Bauleistungen MW-1 (u.a. Talsperre) ohne vorherige Planungsprüfung in 05/2020
- Ingenieurmandat startete in 06/2020 mit dem Auftrag einer Überprüfung der Planungsgrundlagen & Konzepte
- Die Planungsprüfung ergab erhebliche Anpassungen bei Hydrologie (Neubewertung GLOFs & PMF), Seismik ($PGA_{SEE} + 50\%$), geotechnischen/felsmechanischen Parametern, Sedimentdynamik & Bedarfe zur Anpassung von Konzepten und Projektkomponenten
- Simultane Planung während Ausführung

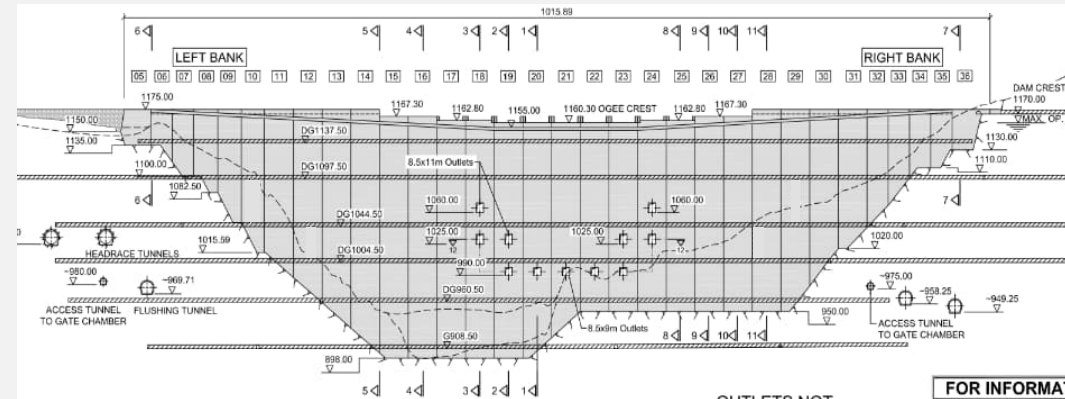


Einige Änderungen

- Änderung von einer gesteuerten zu einer ungesteuerten Hochwasserentlastung auf der Mauerkrone [Machbarkeit Seismik]
- Änderung des Auslasskonzepts [Machbarkeit & Betrieb Schütze; Sedimentmanagement]



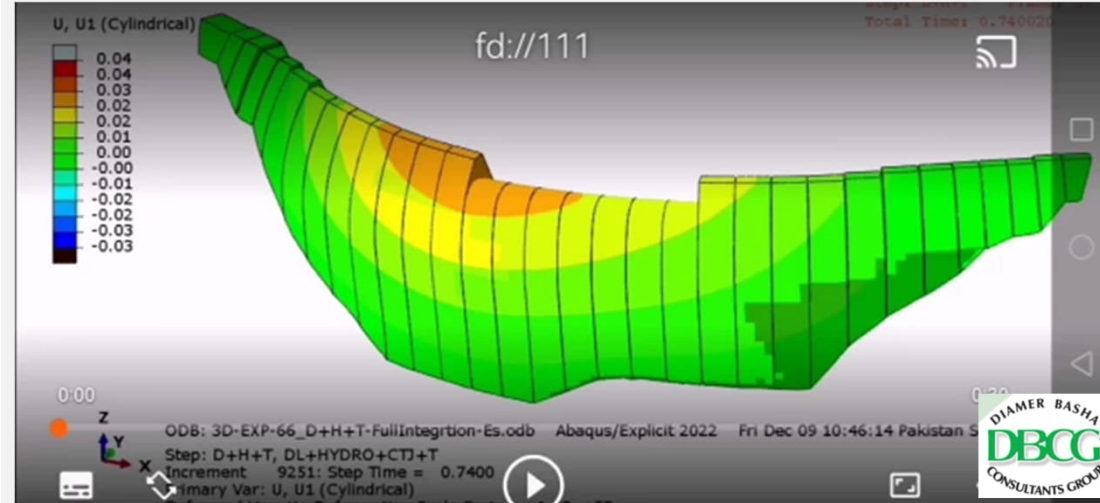
Ausschreibungsplanung



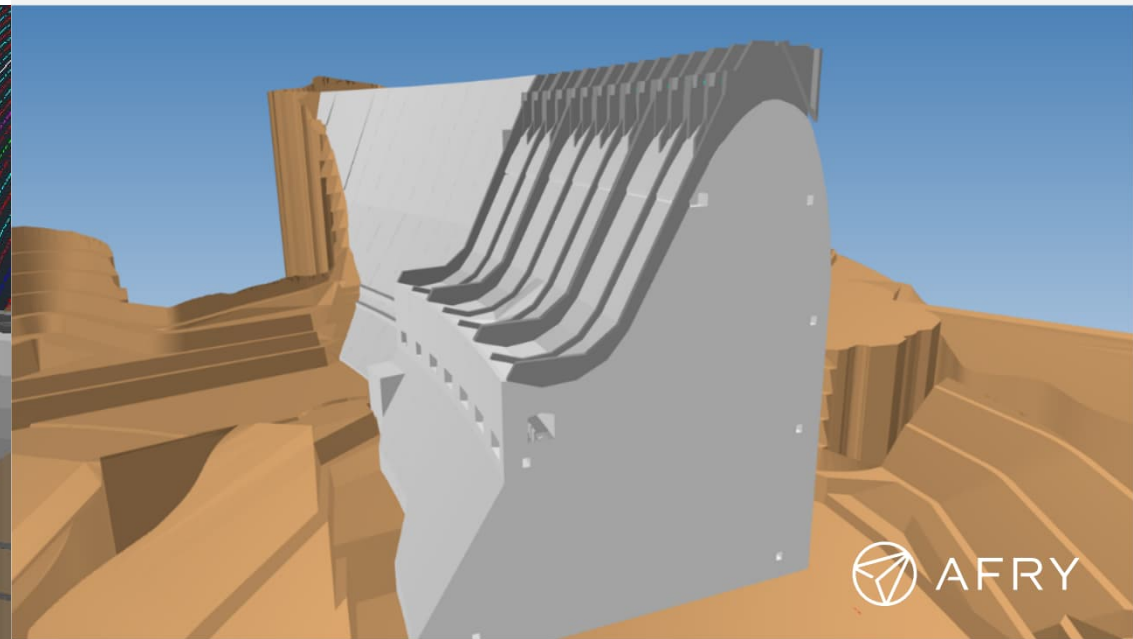
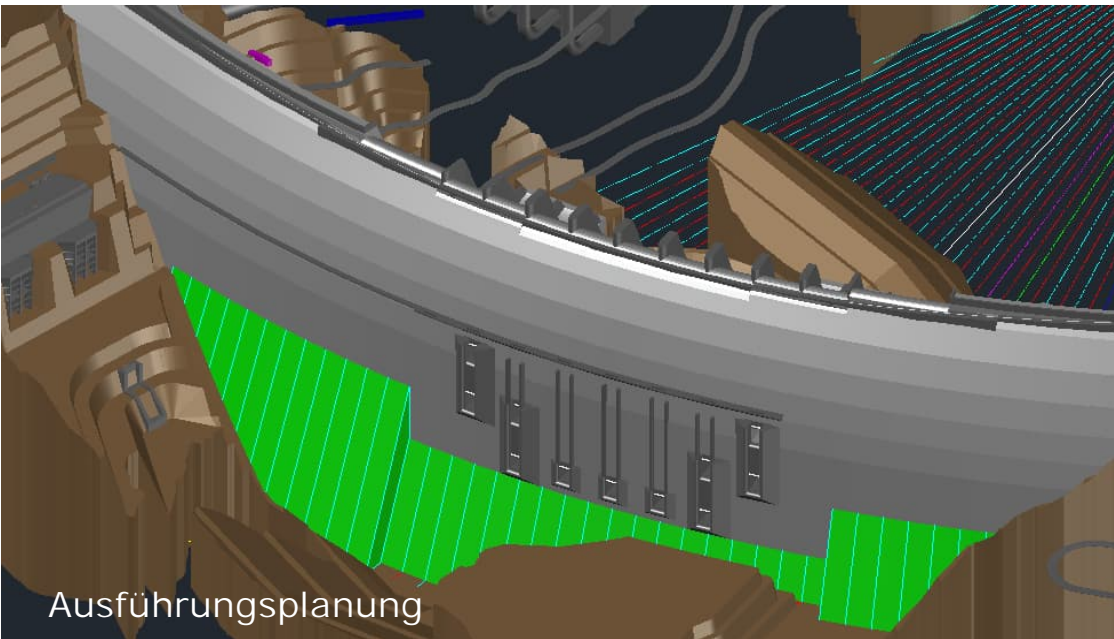
Ausführungsplanung

Einige Änderungen

- Anpassung Sperrenquerschnitt [Seismik; Felsparameter; bleibende Sperrenverschiebung im SEE- & Nachbebenfall]

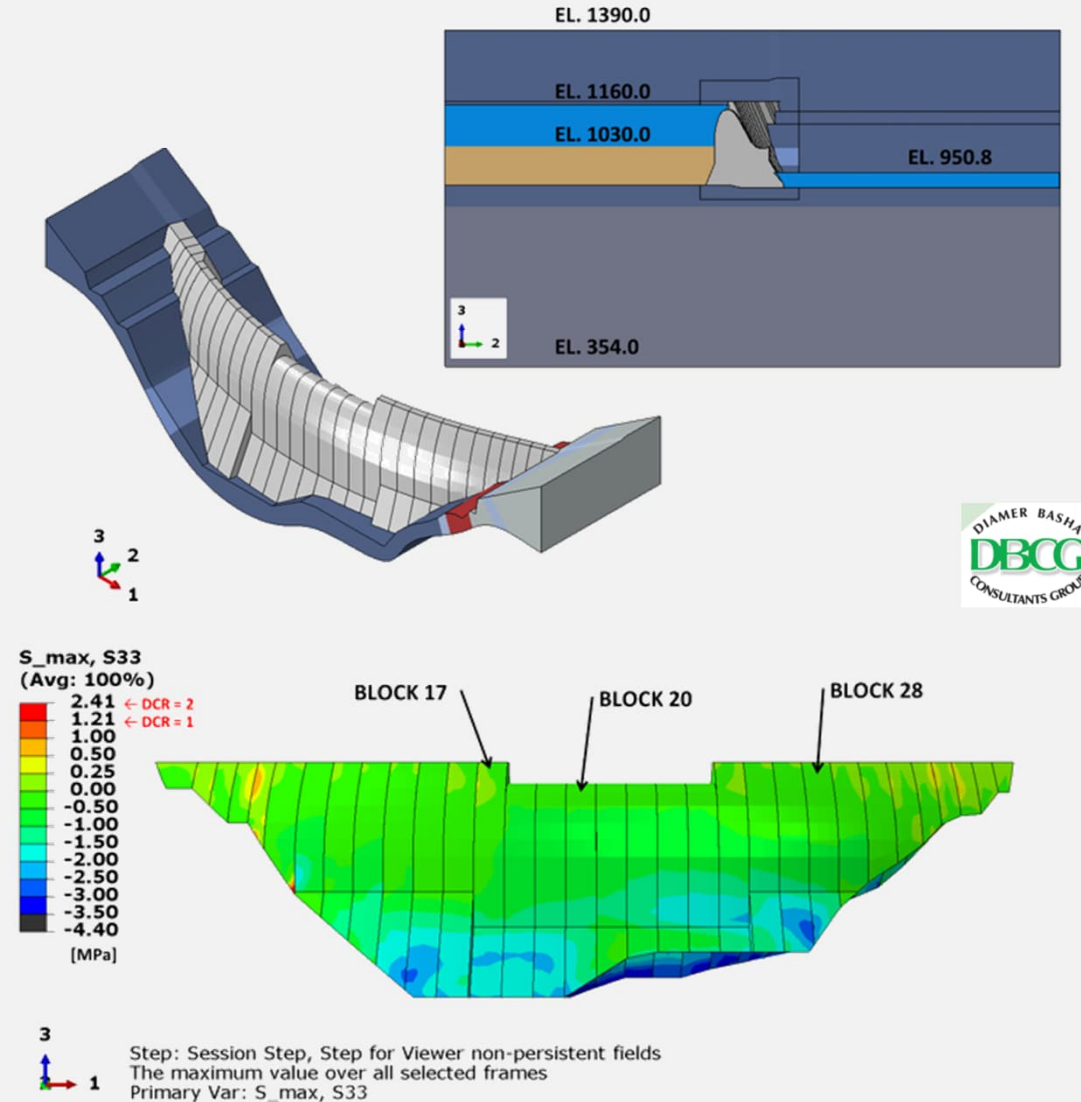


Ausschreibungsplanung

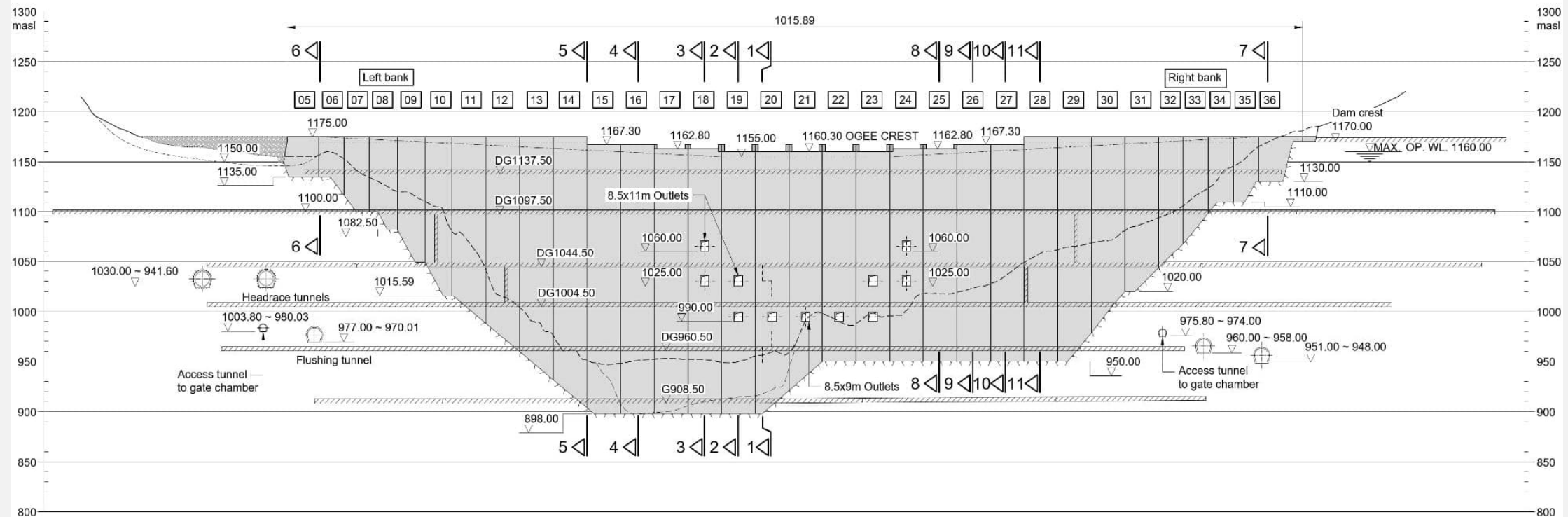
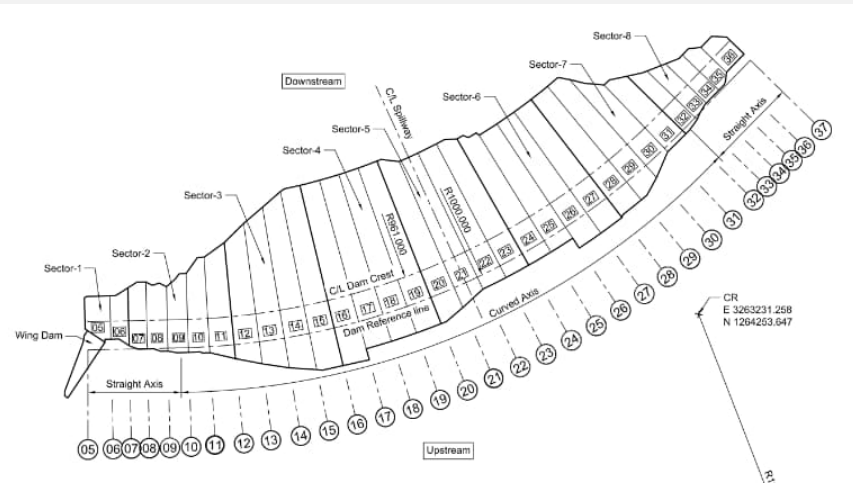


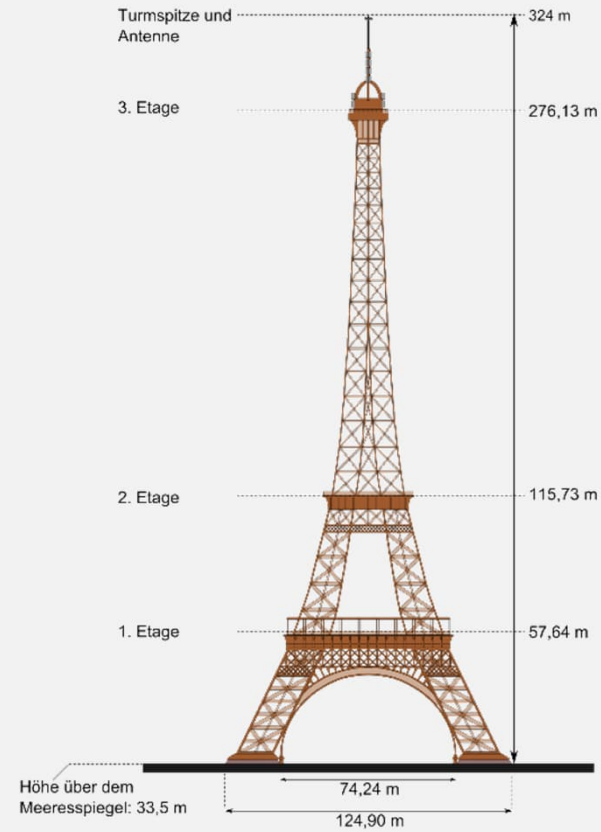
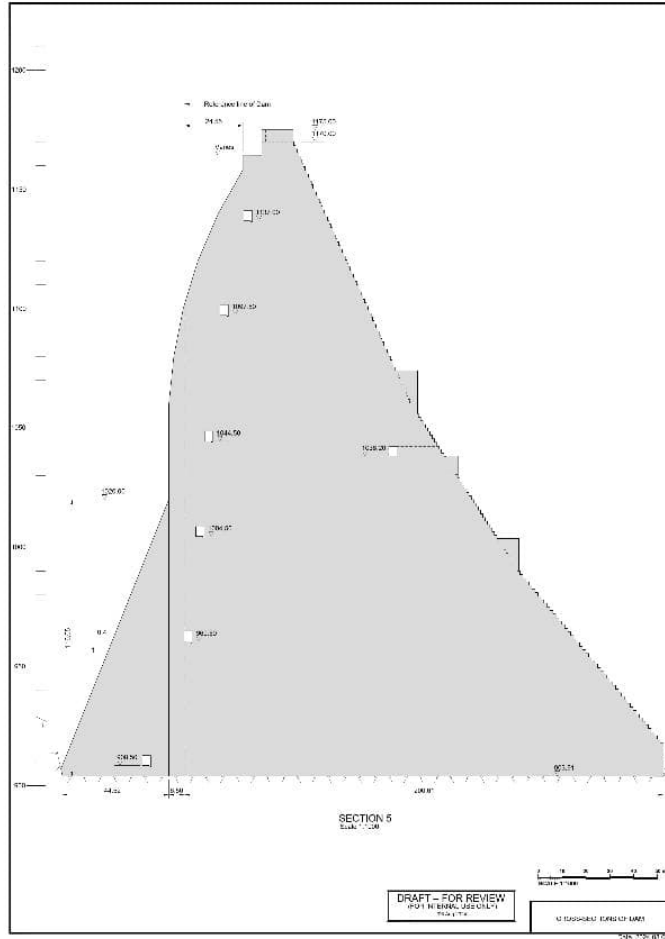
Einige Änderungen

- Sperrenverhalten muss 3D-Nichtlinear(NL) modelliert werden, um Talsperren-Reservoir-Fundations-Interaktion & die bzgl. Talsperrensicherheit relevanten möglichen Versagensmechanismen (Potential Failure Modes) abbilden zu können
- 3D-NL zur wirtschaftlichen Auslegung unter erhöhter Erdbeben- & Sedimentlast sowie steiferer Felsgründung

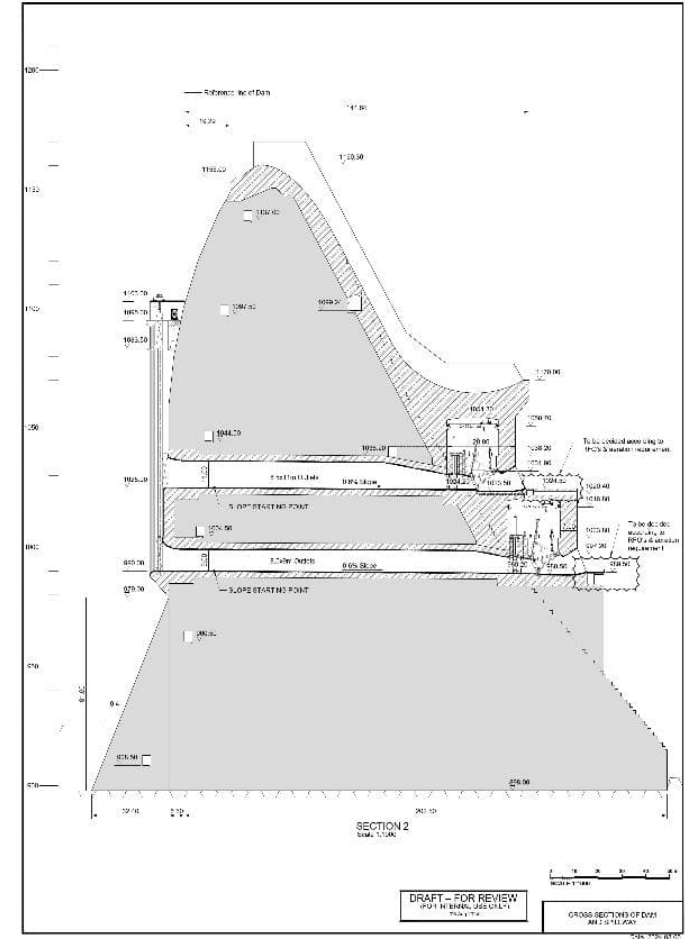


RCC Staumauer & Baustelle





https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Skizze_Eiffelturm_-_technische_Daten.png#filelinks



Was ist Walzbeton (RCC)?

- Roller Compacted Concrete = Beton & Bauprozess, welcher die wirtschaftlichen und schnellen Einbauverfahren für Schüttdämme mit der Festigkeit und Widerstandsfähigkeit von Beton kombiniert
- Lagenweises Einbauen, Verteilen & Verdichten des RCC mit Erdbaumaschinen (je Lage typischerweise 30cm)
- Beton sehr steifer Konsistenz ("no-slump"), auf welchem schweres Gerät operieren kann
- RCC kann in gleicher Qualität wie konventioneller Massenkongress (CVC) hergestellt werden, jedoch i.d.R. viel effizienter und wirtschaftlicher





Arten von RCC

Philosophie	Low-Cementitious	Medium-Cementitious	RCD	High-Cementitious
Totaler Bindemittelgehalt (Zem+Puzz)	< 100 kg/m ³	100-150 kg/m ³	120-130 kg/m ³	> 150 kg/m ³
Durchschnitt Zementgehalt	72 kg/m ³	80 kg/m ³	87 kg/m ³	87 kg/m ³
Durchschnitt Puzzolangehalt	9 kg/m ³	37 kg/m ³	35 kg/m ³	108 kg/m ³
Durchschnittlicher Wassergehalt	122 kg/m ³	116 kg/m ³	96 kg/m ³	111 kg/m ³
Wasser / Bindemittel	1.51	0.99	0.79	0.57
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> RCC selbst wasserdurchlässiger Wasserseitige dichte Barriere notwendig Geringere Zugfestigkeit & Kohäsion über die Arbeitsfugen (systematische Bettungsschicht) Geringere Festigkeit & Elastizitätsmodul Grösserer Blockfugenabstand möglich 		<ul style="list-style-type: none"> Exklusive Anwendung in Japan Einige Meter dicke CVC Aussenzone & RCC Kernzone Verdichtung in Lifts anstatt Einzellagen Typischerweise 30% Puzzolangehalt & ähnliche Durchlässigkeit wie CVC 	<ul style="list-style-type: none"> Arbeitsfugen & RCC selbst wasserundurchlässig (keine systematische Bettungsschicht) Eigenschaften ähnlich CVC Hoher Puzzolangehalt zur Minderung der Hydratationswärme



RCC Konzept für Diamer Basha

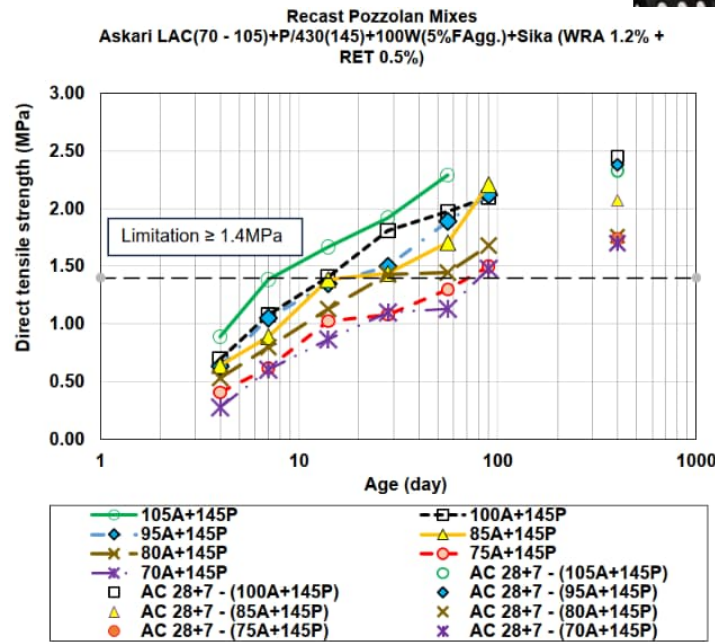
- Verbund zwischen einzelnen RCC Schüttilagen als Schlüsselparameter im RCC Mischungsentwurf & bei der Wahl der Baumethodologien (Effizienz) → Zugfestigkeit, Kohäsion über Arbeitsfugen, undurchlässiger RCC Körper.
- Anwendung des High Cementitious Content Konzepts
 - Phase I (aktuelle Arbeiten, Beginn 04/2022) – RCC Versuchsmischungen & Auswahl der in der Sperrenzonierung zu verwendenden Mischungen (6 Festigkeitsklassen, 3 davon gehen in Phase II & III)
 - Phase II (gerade angelaufen) – Spezialversuche zu thermodyn. Eigenschaften & Hydratationswärme, Scherfestigkeit in Arbeitsfugen, Kriechen, Zugdehnungsgrenze
 - Phase III – Versuchsfeld (Full Scale Trials) – kleinere Versuchsfelder zur Optimierung spezifischer Methoden (z.B. GE-RCC/GEVR, Geräte zur Arbeitsfugenvorbereitung) & Hauptversuchsfelder

Item	Design class (MPa)	Design age (day)	MSA (mm)	Setting time (h)		Unit weight (kg/m ³)
				Initial	Final	
1	13.6	365	63	≥18	≥28	≥2670
2	14.9					
3	16.6					
4	18.9					
5	23.5					
6	28.0					



RCC Konzept für Diemer Basha

- Insgesamt ca. 500 Mischungen, (2) Zemente, (2) Puzzolane (Natürliches Puzzolan, Flugasche), (1) Abbindeverzögerer



Weg zur erfolgreichen RCC Mauer

- Walzbetoneinbau ist prinzipiell einfach und es gibt ausreichend "Lessons learned" aus fertiggestellten Projekten
- Erfahrungsgemäss sind allerdings eine ganze Reihe von Faktoren zu berücksichtigen, um eine RCC Sperre erfolgreich implementieren zu können – insgesamt ist RCC ein komplexeres System
- Schlüsselement ist die erreichbare Schüttgeschwindigkeit – es gilt für Walzbeton Speed = Qualität = Wirtschaftlichkeit



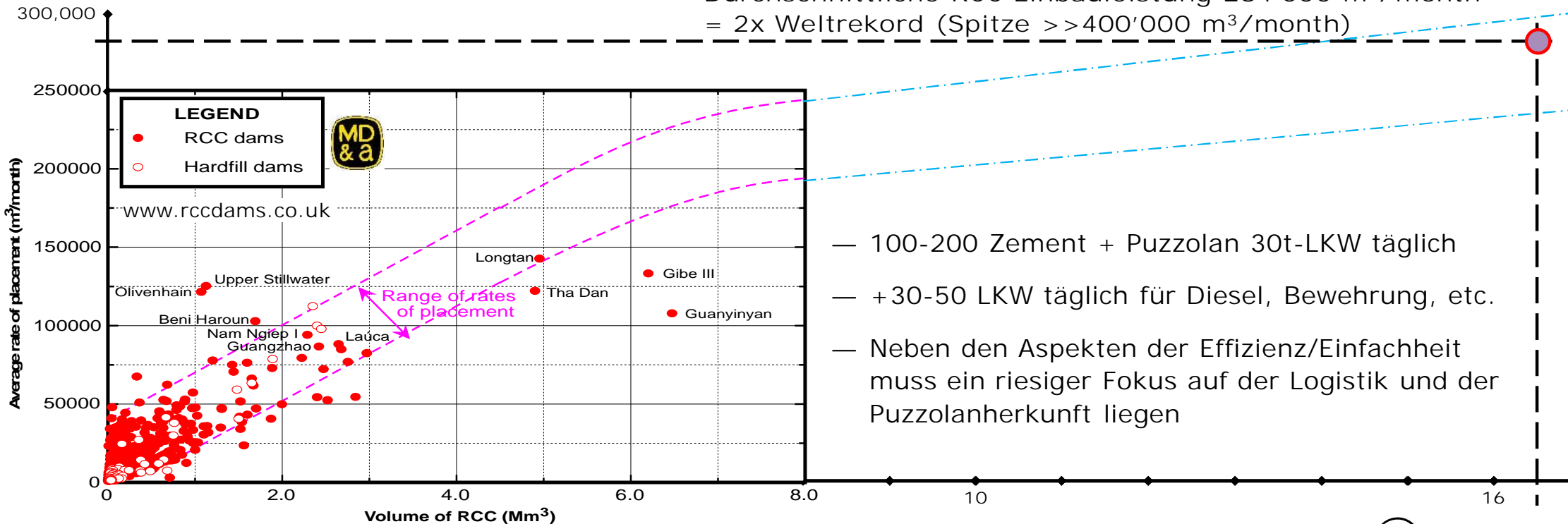
Weg zur erfolgreichen RCC Mauer

- Der erste Gesichtspunkt und Grundsatz für alle RCC Sperren sollte die Planung für Einfachheit des Walzbetonbaus sein, d.h. Minimierung von Störungen und komplizierten Bauprozessen & Maximierung von Einfachheit und Effizienz
- Planung & Entwurfsphasen mit längerer Vorlaufzeit bis zur Anfertigung von Ausschreibungsunterlagen/Spezifikationen und bis zum Baubeginn
- Etwas Extrainvestition in Anlagen, Materialien, etc. zum Erreichen einer früheren Inbetriebnahme oder der Entschärfung des Risikos verspäteter Fertigstellung ist es wert

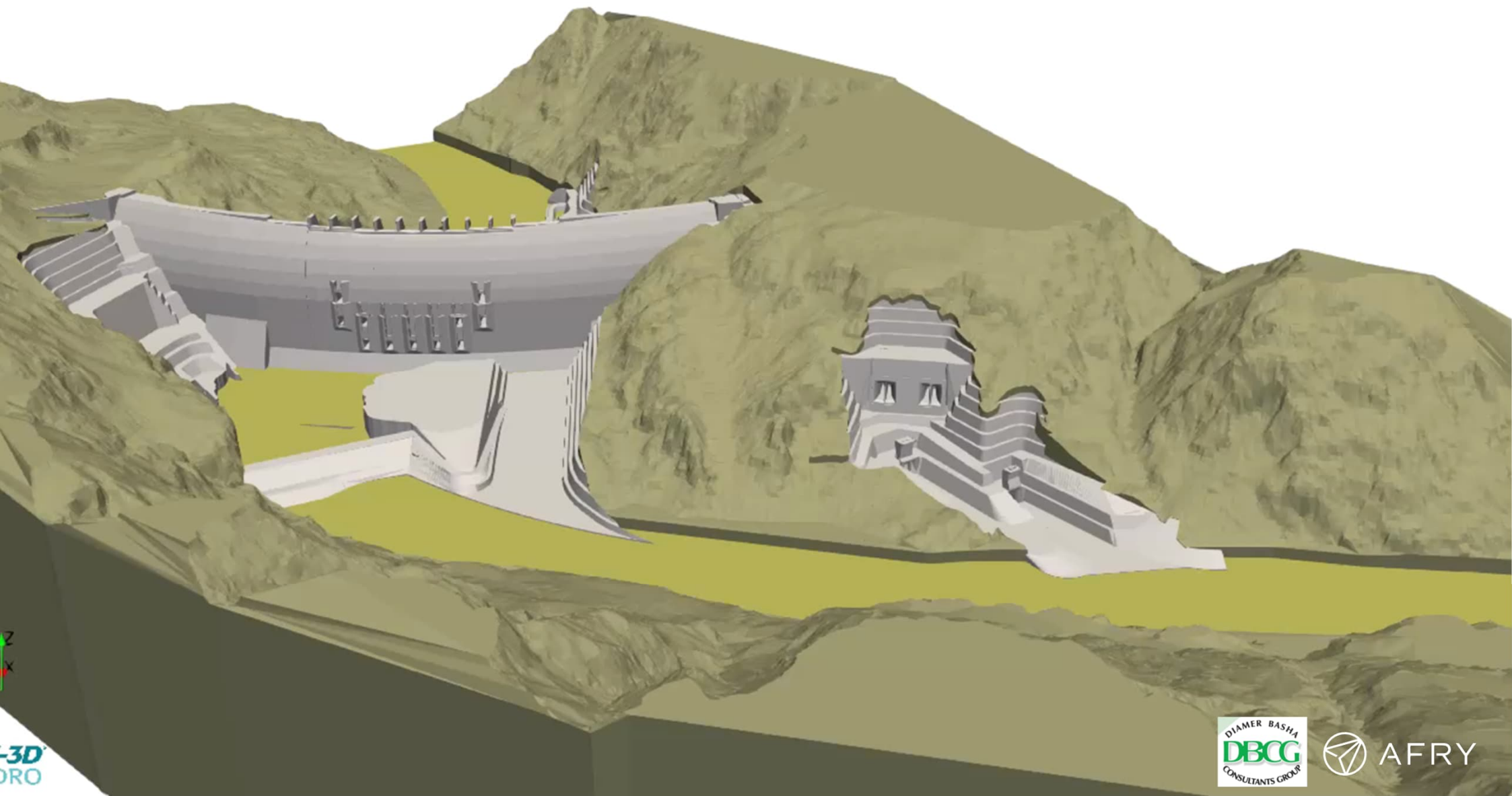


Diemer Basha i.Vgl. mit bis heute fertiggestellten RCC Sperren

Durchschnittliche RCC Einbauleistung 284'000 m³/month
= 2x Weltrekord (Spitze >>400'000 m³/month)



- 100-200 Zement + Puzzolan 30t-LKW täglich
- +30-50 LKW täglich für Diesel, Bewehrung, etc.
- Neben den Aspekten der Effizienz/Einfachheit muss ein riesiger Fokus auf der Logistik und der Puzzolanherkunft liegen



Z
Y
X

3D
ORO

DIAMER BASHA
DBCG
CONSULTANTS GROUP

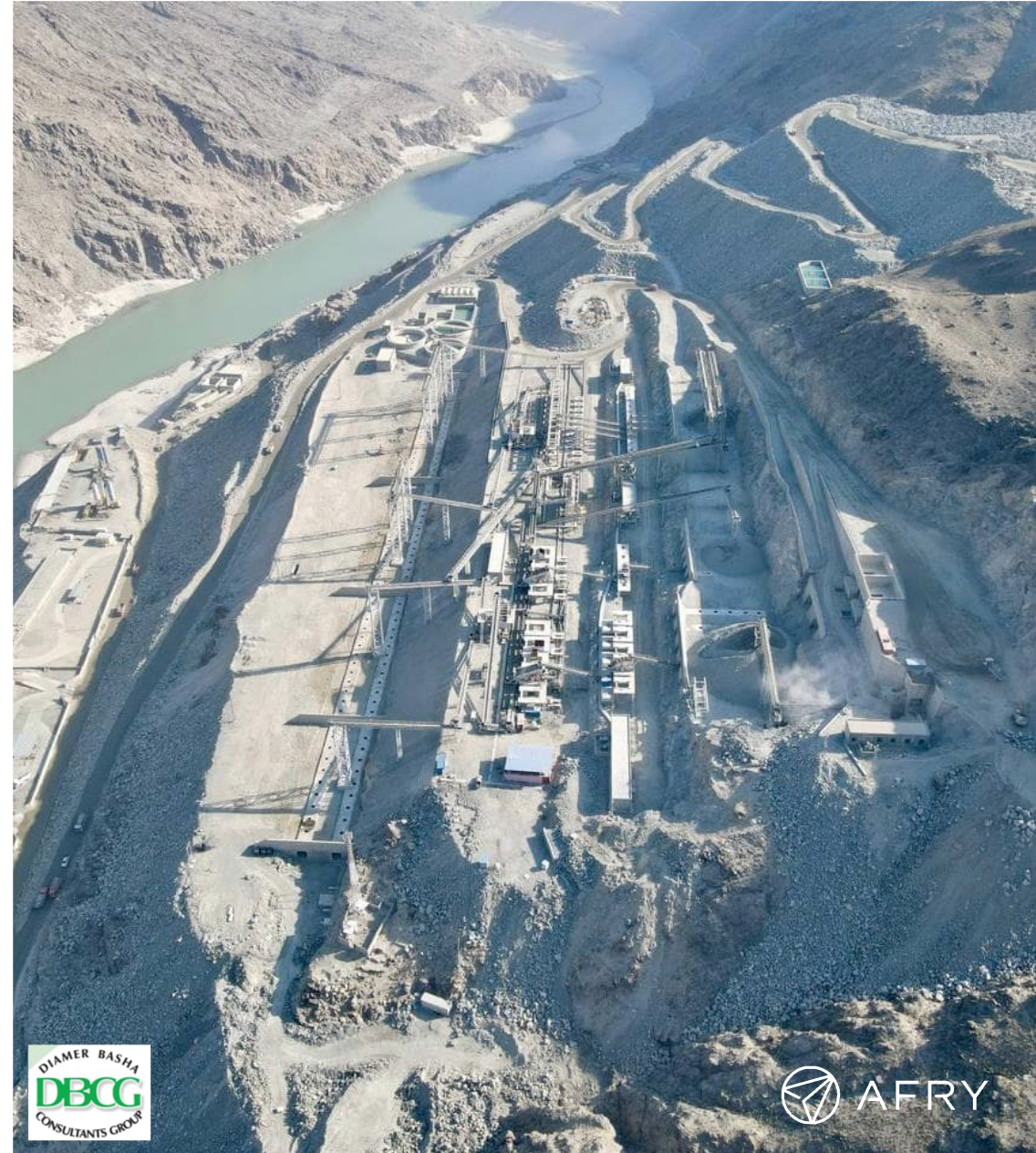
 **AFRY**





Brechanlage für RCC Zuschläge

- Anlagenleistung
 - Input: 3'213 t/h
 - Output: 2'600 t/h
- Lagerhalde: ~450'000 m³
(3 Gruppen Grobzuschlag 63-38, 38-19, 19-4.75 + Sand 4.75-0)
- Transferstollen und Förderband zur RCC
Mischanlage



RCC Mischanlage

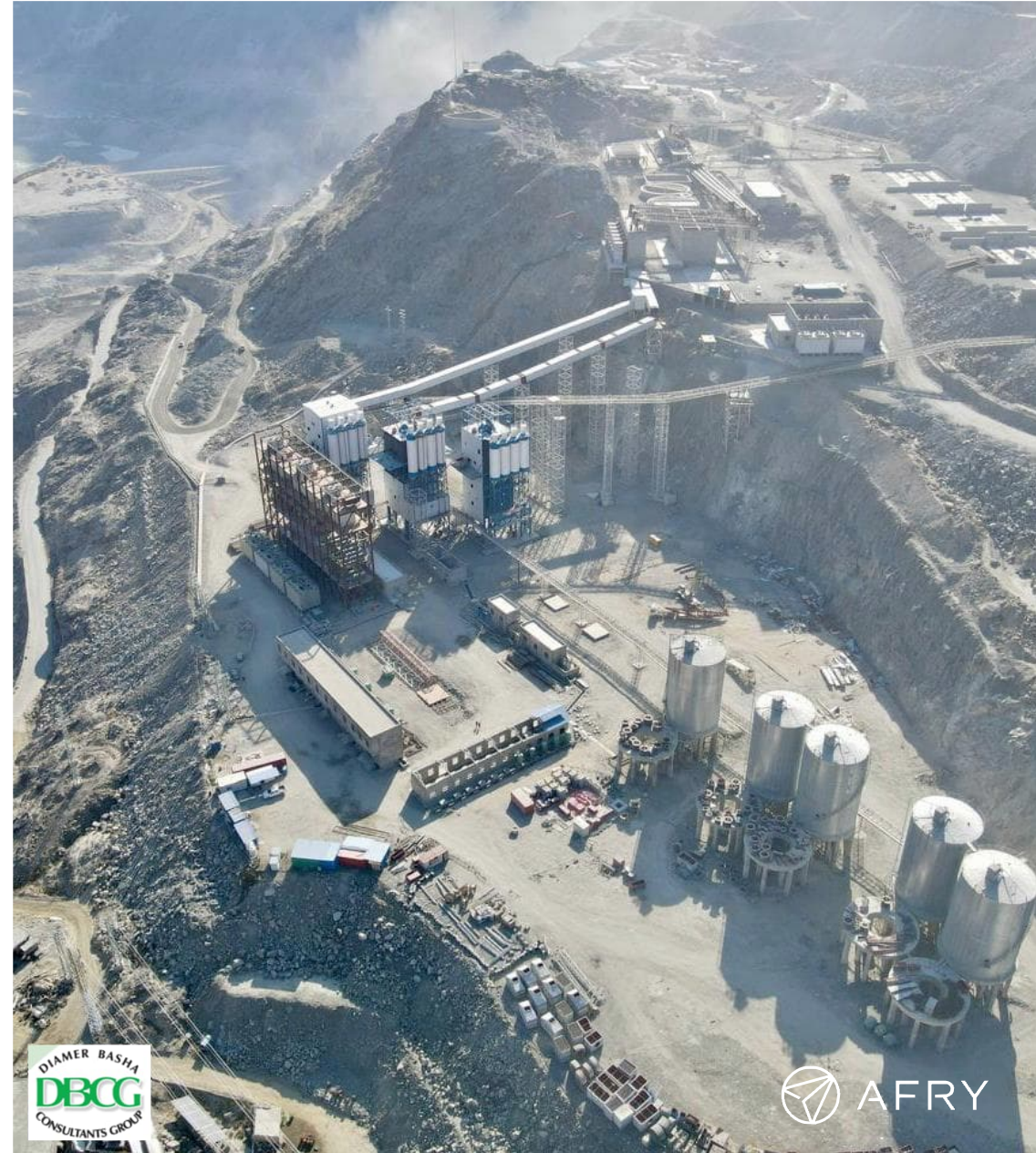
— Anlagenleistung

- Produktion Frischbeton: 2'080 m³/h (Spitze)
- 2 Anlagenlinien, die jeweils ein Betonförderband bedienen
- Je Linie: 2 Mixeranlagen x 360 + 1 Mixeranlage x 320 = 1'040 m³/h

— Silokapazität (Zement, Puzzolan): 24 x 3'000 t = 72'000 t

— Kapazität Zuschlagshalde: 76'800 t

— System beinhaltet eine Betonkühlanlage: Eiswasser, Scherbeneis & Kaltluftkühlung für Zuschläge) – RCC Einbautemperatur bis ca. 14°C

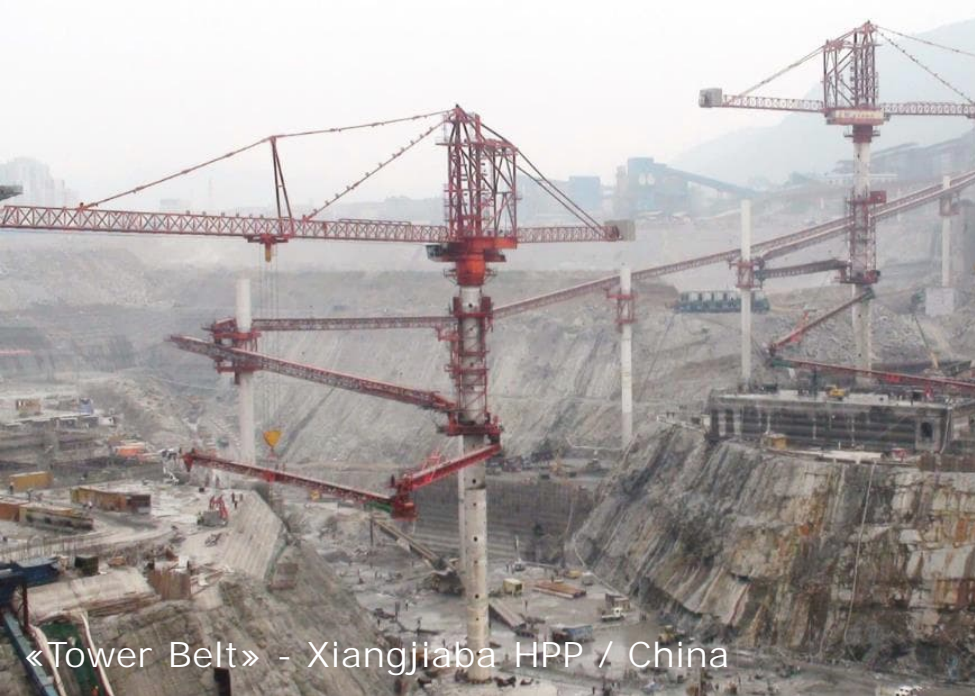


Betonförderbänder

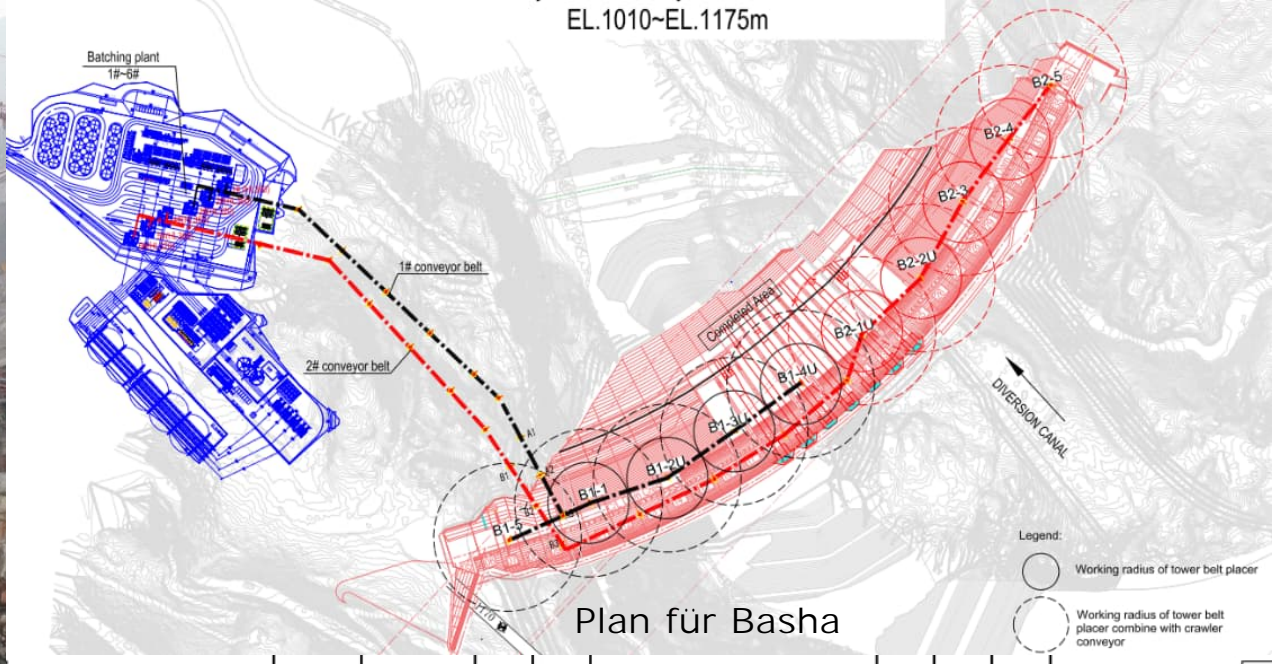
- 2 Förderbänder mit je 1'000 m³/h RCC Förderkapazität (~2'600 t/h)
[Förderbandbreite 1'000 mm & 3-4 m/s]
- Förderbandlängen ~1 & 1.5 km
- In Kombination mit Kranauslegern und "Crawler Placer" [~100% Abdeckung der Betonierfläche].



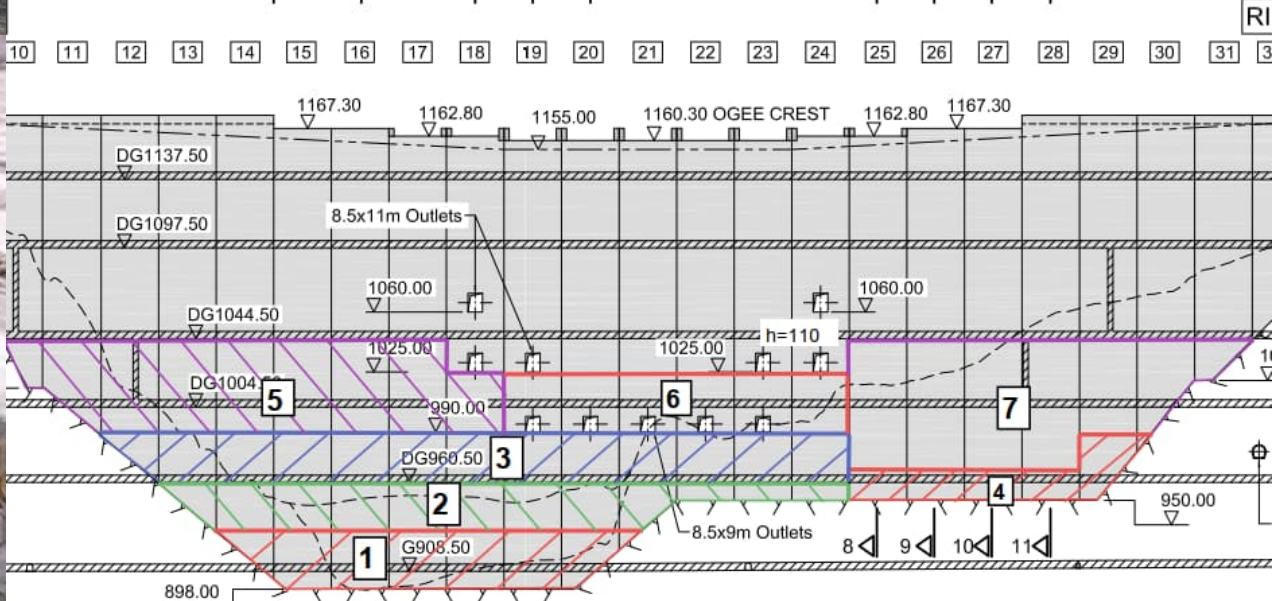
Longtan RCC Dam / China



«Tower Belt» - Xiangjiaba HPP / China



«Crawler Placer» - ROTEC Inc.



Baustellenstrom

- Heavy Fuel Oil Anlage (HFO, Schweres Heizöl)
 - Total installed capacity: 55.2 MW

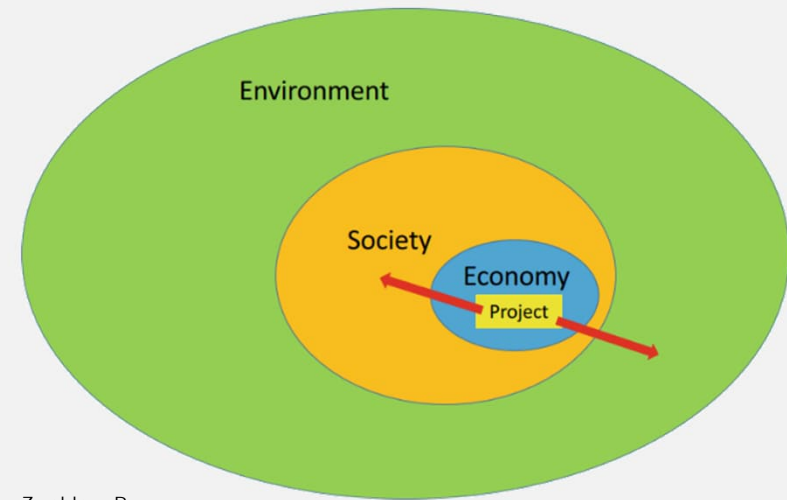




Gedanken zur Nachhaltigkeit & CO₂ Fussabdruck

Nachhaltige (Talsperren) Projekte

- “Brundtland Report” (1987):
“Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.”
- Sustainable Hydropower Protocol (2020):
“Sustainable development calls for considering synergies and trade-offs amongst economic, social and environmental values. This balance should be achieved and ensured in a transparent and accountable manner, taking advantage of expanding knowledge, multiple perspectives, and innovation.”



Zwahlen, R.
 Assessing the Environmental Impacts of Hydropower Projects
 Environmental Earth Sciences, ISBN 978-3-030-91185-0, Springer Cham, 2022
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-91185-0>

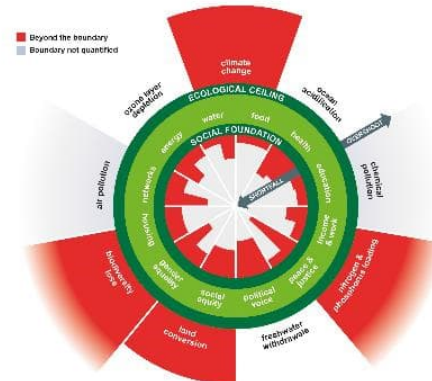
SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



<https://www.un.org/sustainabledevelopment>

The content of this publication has not been approved by the United Nations and does not reflect the views of the United Nations or its officials or Member States.

Meisch, Simon & Schmidt, J.J.. (2022).
 20. Debating planetary boundaries. 138-144. 10.3920/978-90-8686-939-8_20.



Was bedeutet das für eine Talsperre?

- Langfristiges Denken über die typischerweise 100 Jahre geplante Lebensdauer hinaus
- In der Planung Optionen für zukünftige Generationen mitdenken
- Betrachtung aller Nachhaltigkeitsdomänen
- Betrachtung des gesamten Lebenszyklus inkl. der Lebensendphase
- Mehrzweckprojekt & Mehrnutzen
- Zügige Inbetriebnahme & Dauerhaftigkeit
- ...mehr in Zukunft aus der ICOLD-Initiative «Dams and Sustainability» [Webinar#1 <https://www.youtube.com/watch?v=h0Jwd6c9Z7E>]

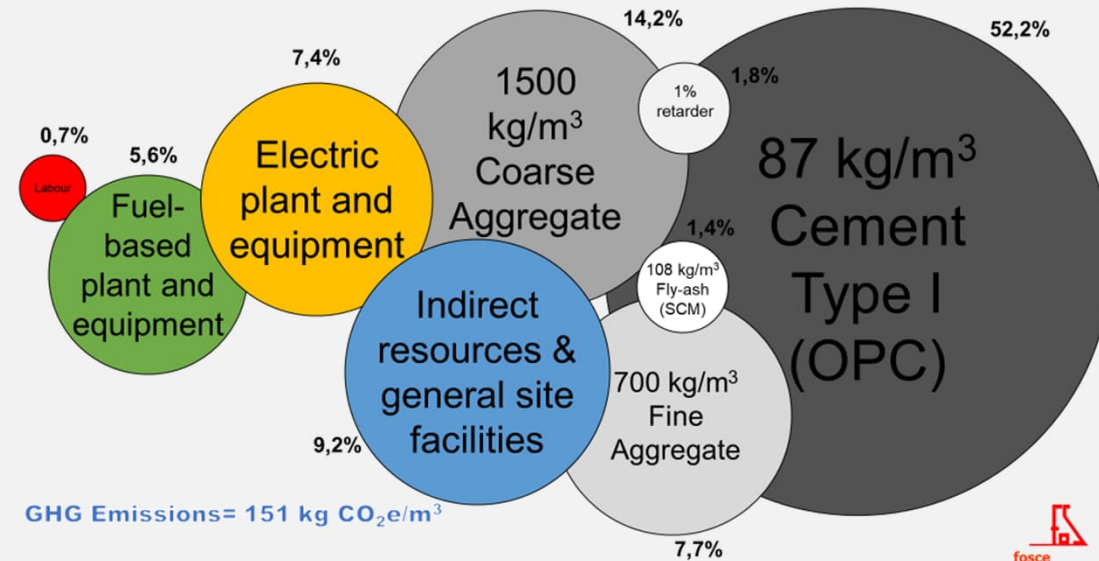


-

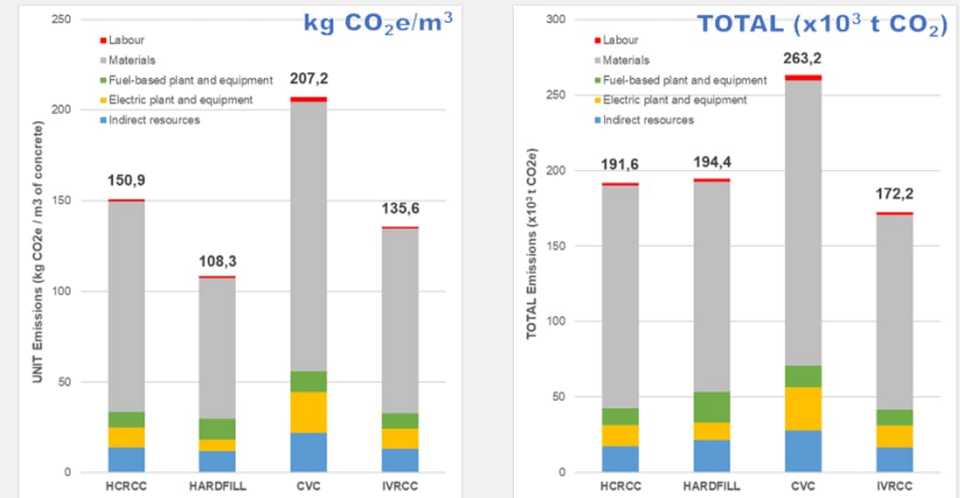
Zum CO₂e Abdruck von Betonsperren

- Derzeit in Bearbeitung im ICOLD Arbeitsgruppe «Betonsperren» – Betrachtung der Bauphase & des gesamten Lebenszyklus
- Haupttreiber für Treibhausgasemissionen während der Bauphase:
 - Zementgehalt & Betonvolumen
 - (Selbst-)verursachte Ineffizienzen & Zeitausfall
 - Emissionen aus Treibstoffverbrennung und Elektrizitätsverbrauch
- Vergleich der Bauphasen verschiedener Betonsperrentypen (alles Gewichtsstaumauern) zeigt:
 - Planung für RCC bringt CO₂e Einsparung ggü. anderen Betonbauweisen
 - Schlüssel ist der geringere Zementverbrauch bei hohem Anteil wirksamer Puzzolane, optimierte Zuschläge & kürzere Bauzeiten (d.h. Planung!)

APPLICATION TO AN EXAMPLE CONCRETE DAM PROJECT



APPLICATION TO AN EXAMPLE CONCRETE DAM PROJECT - Summary All Options -

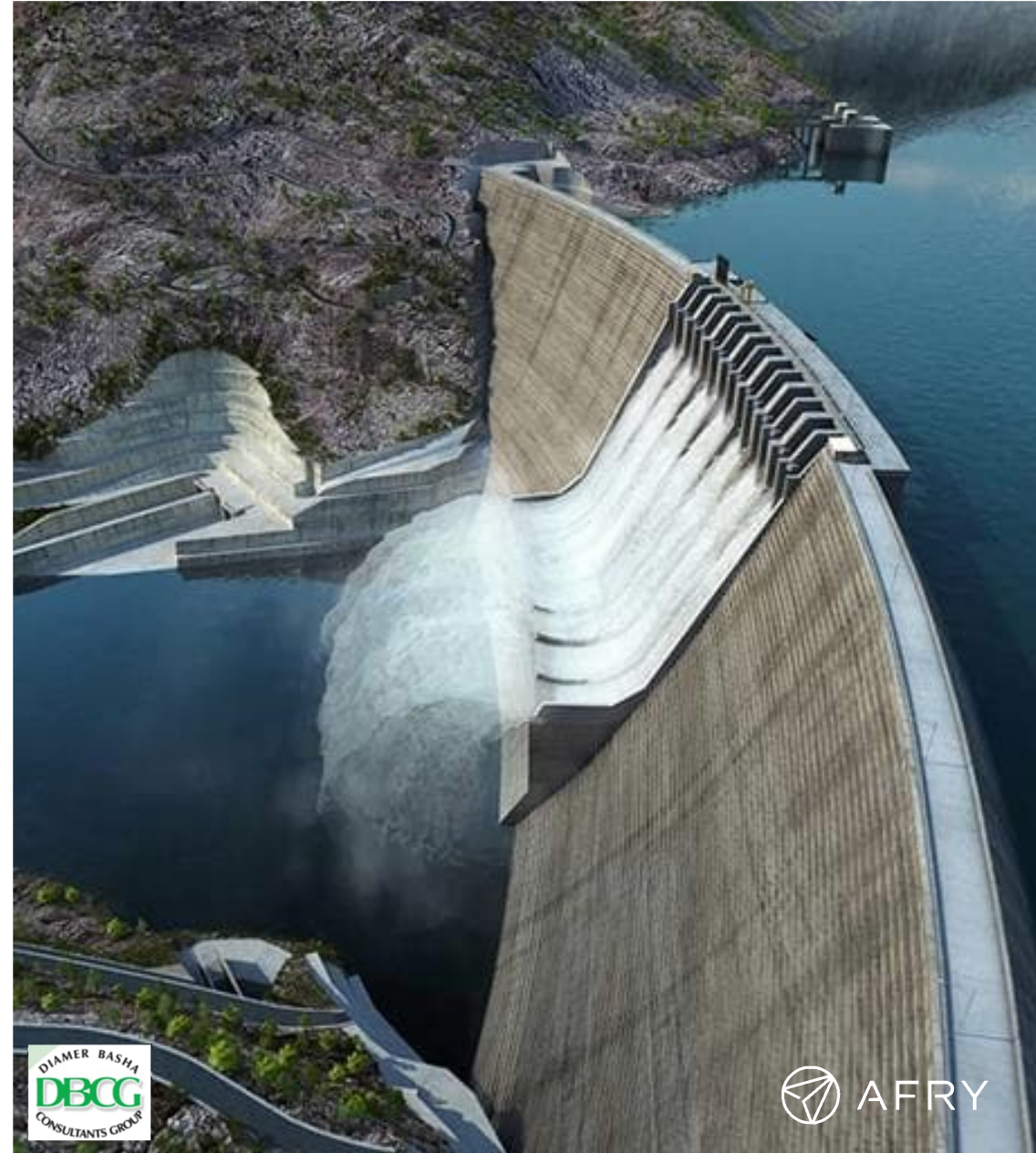


Taken from Francisco Ortega Santos, "Determination of GHG Emissions in the Design & Construction of Concrete Dams - An update on the new ICOLD Bulletin, Volume 2 -", Presentation at HYDRO2024, Session 9 Sustainable Dams, Graz, November 2024. Prepared for ICOLD Technical Committee on Concrete Dams.

Zum CO₂e Abdruck von Basha Dam

- Für Basha wurden solche spezifischen Berechnungen noch nicht angefertigt
- Alleine aus dem verbrauchten Zement für die Sperre ergeben sich 1.3 Mio.t CO₂e (ohne Transport & Bau) – gesamt sind aus der Bauphase des Talsperrenkörpers ~3.5-4 Mio.t CO₂e erwartbar)*
- Dies ergäbe ~3.2 – 2.2 g CO₂e/kWh bei einer Betriebslebensdauer 70 & 100 Jahren
- Relation: Pakistan Energieproduktion aus Kohle 30'000 GWh/a (40 Mio.t CO₂e/a) – Basha produziert 18'000 GWh/a Wasserkraft

)* ohne Gewähr. Basis: 18 Mio.m³ RCC, 85 kg/m³ Zementgehalt, 850 kgCO₂e/t Zement, Anteil Zement an gesamtem CO₂ Abdruck des Sperrenbaus (ohne Durchlässe etc.) 50%; Faktor 1.5 für anderen Beton, Transport Baumaterialien, Durchlässe etc.

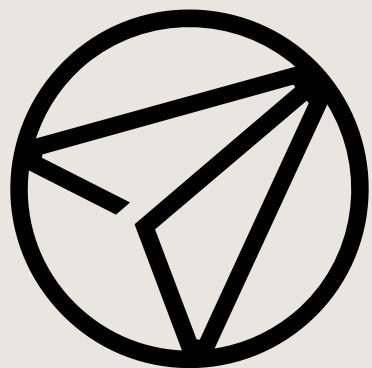


Das Talsperrenprojekt Diamer Basha in Pakistan



PLATTFORM WASSERBAU INNSBRUCK 30.01.2025
MARCO CONRAD – AFRY SCHWEIZ AG





AFRY