

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Ancieta, Cesar Adolfo Alvarado; Shakya, Mohan; Basanta, Shrestha**  
**Überblick der Entwurf und Ausführungsplanung der 265 m hoch Steinschüttdamm mit Betonoberflächendichtung der 835 MW Dudhkoshi Speicherwasserkraftanlage in Nepal**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:  
**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107049>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Ancieta, Cesar Adolfo Alvarado; Shakya, Mohan; Basanta, Shrestha (2020): Überblick der Entwurf und Ausführungsplanung der 265 m hoch Steinschüttdamm mit Betonoberflächendichtung der 835 MW Dudhkoshi Speicherwasserkraftanlage in Nepal. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Interdisziplinärer Wasserbau im digitalen Wandel. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 63. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 51-62.

**Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# **Überblick der Entwurf und Ausführungsplanung der 265 m hoch Steinschüttdamm mit Betonoberflächendichtung der 835 MW Dudhkoshi Speicherwasserkraftanlage in Nepal**

Cesar Adolfo Alvarado Ancieta  
Mohan Shakya - Shrestha Basanta

Dieser Beitrag beschreibt die Herausforderung bei dem Entwurf und Ausführungsplanung der 265 m hoch Stein-Schüttdamm mit Betonoberflächendichtung (Concrete Faced Rockfill Dam - CFRD) des Dudhkoshi-Projektes in der östlichen Entwicklungsregion Nepals. Die wichtigsten Konstruktionsmerkmale sind: Konventioneller Sockel auf einer 25 m hohen Walzbeton-Zehenwand (RCC), die auf einer 40 m tiefen Schwemmschicht auf dem Hauptflussbett bis zum rechten und linken Flussufer als Oberwasser Hauptdammfundamentmaßnahme, und damit bis zu einer tiefen Scherzone, nicht aktiven geologischer Bruch. Unterhalb der RCC-Zehenwand wurde eine Drainage- und Injektionsgalerie für Verfestigung und Injektion angeordnet, und auch eine Sekanten-Spundwand. Zusätzlich optimierte Oberwasser- und Unterwasser Dammneigungen von 1:1,45 und 1:1,8 jeweils ausgewählt wurden, basiert auf einer Dammsicherheitsanalyse nach einer Charakterisierung des Dammmaterials und geomechanischen Eigenschaften des Quarzitgesteins -innere Reibungswinkelwerte  $43^\circ$  bis  $45^\circ$  für Zonenmaterialien 3B, 3C und 3D, T und 4. Der Scherwinkel nimmt mit zunehmender Maximalgröße des gestrahlten Quarzit-Steinschüttungsmaterials ab. Gemäß der Bewertung des anisotropen Verhaltens der Quarzit-Steinschüttung wurden maximale Materialdurchmesser von 300, 450 und 600 mm ausgewählt, was bedeutet, dass die Verformung der Unterwasser-Steinschüttung einen wichtigen Einfluss auf den Spannungszustand der Betonoberflächendichtung hat. Kofferdämme und Stabilisierungsböcken-Zonen sind in den Dammkörper integriert. Der gesamte Dammvolumenkörper beträgt 30 Mio. m<sup>3</sup>.

Stichworte: Stein-Schüttdamm, Betonoberflächendichtung,  
Damm-Materialanalysen, Steinreibungswinkel

## 1 Einführung und Hauptdammdetail

Das Dudhkoshi Speicherwasserkraftanlage Projekt befindet sich am Dudhkoshi-Fluss zwischen den Grenzen der Distrikte Okhaldhunga und Khotang in der östlichen Entwicklungsregion Nepals. Das WKA umfasst einen 265 m hoch Stein-Schüttdamm mit Betonoberflächen-dichtung (CFRD) am Dudhkoshifluss. Das Projekt verfügt zwei unterirdische Kraftwerke -600 und 200 MW Leistung-, zwei Druckstollen -13.3 km und 1 km Länge- und ein Oberflächenkraftwerk mit 35 MW Leistung am Dammfuß. Die installierte Gesamtleistung ist 835 MW. Die wichtigsten Konstruktionsmerkmale betreffen die spezielle Behandlung des Dammfundaments, das einen konventionellen Sockel auf einer 25 m hohen Walzbeton-Fußwand (RCC) umfasst, die auf einer ausgehobenen, 40 m tiefen Schwemmschicht auf dem Hauptflussbett bis zum rechten und linken Flussufer verlegt wird. Dies ist die Hauptmaßnahme zur Gründung des Dammes flussaufwärts und damit bis zu einer tiefen Scherzone. Unterhalb der RCC-Fußwand wird eine Drainage- und Injektionsgalerie für die Verfestigung und den Injektionsverguss angeordnet. Die Anordnung des Galeries bedeutet die Forderung nach einer festen Zahnbetonstruktur auf der teilweise ausgehobenen Scherzone. Dieser Zahnbeton wird auf einer Betonstopfenschicht bereitgestellt, die auf den Bereich der nicht ausgehobenen Scherzone gelegt wird. Der Sockel des Zahnbetons dient als Basis für die Anordnung einer Betonleitwand in der Sohle des Galeriumsumpfes, von der eine 60 m tiefe Betonspundwand bis zum Sohlgestein realisiert wird. Durch die Betonspundwände - Sekanten-Spundwand entlang der Hauptflussbettbreite und Widerlager, am stromaufwärts gelegenen Sockel, wo der Sockel angeordnet werden muss - wird eine Vorhang Injektion durchgeführt, Abbildung 1 und 2. Die Drainage-Injektionsgalerie wird durch zwei Galerien mit den rechten und linken Widerlagern verbunden, um die Abdichtung des Dammes während Bau- und Betriebsphase zu ermöglichen. Die Konsolidierungsverpressung ist unterhalb des Galeries, in der Scherzone geplant.

## 2 Bedingungen für geotechnische Dammgründung

Das Gebiet der Staustufe liegt in der Seti-Formation des unteren Himalayas. Hauptlithotypen sind Phyllite - duktil und neigen dazu, sich zu falten und zu

trennen -, und Quarzite - steifere Gesteine und dazu neigen, zu brechen. Am Dammstandort sind Quarzite und Phyllite ent-

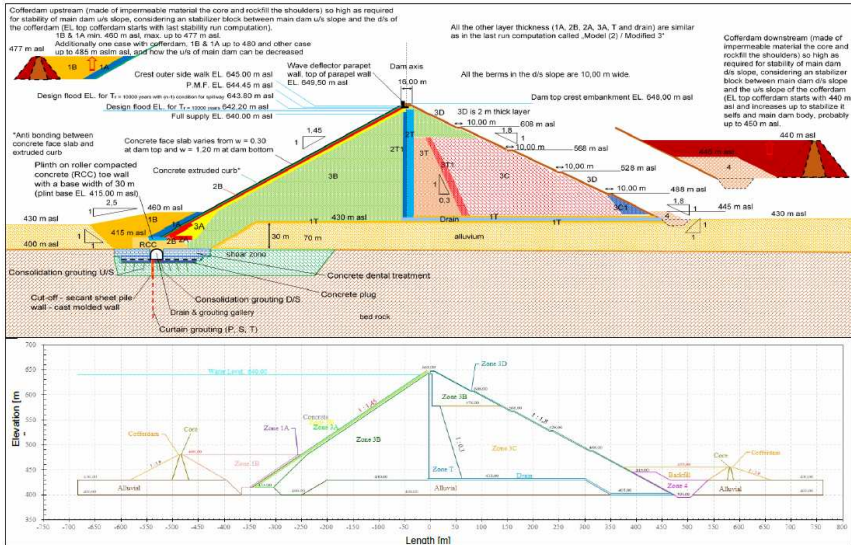


Abbildung 1: Querschnitt des Dudhkoshi-Dammkörpers, Hauptautor.

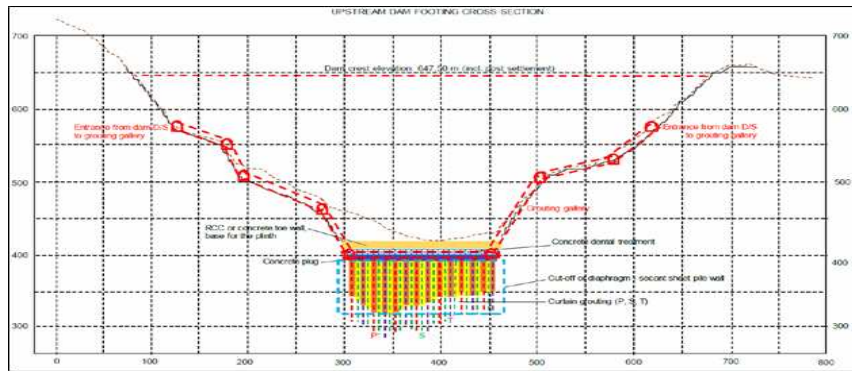
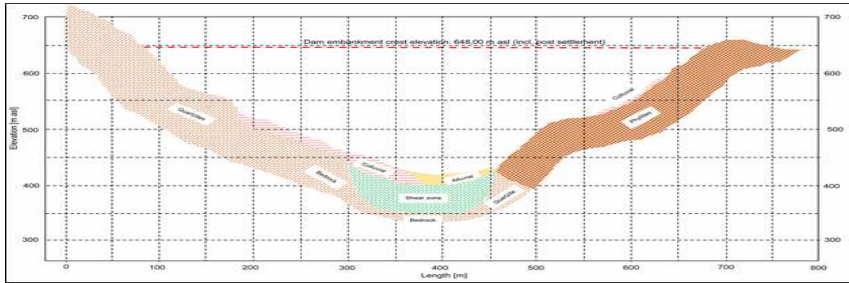


Abbildung 2: Behandlung der Dudhkoshi-Dammgründung, Hauptautor.

lang des linken und rechten Talwiderlagers vorhanden sind jeweils. Bohrun-  
 gen-Kerndaten bestätigen in der Talsohle das Vorhandensein einer Scherzonen - nicht aktive Störungszone -, siehe Abbildung 3.

### 3 Natürliche Baustoffe - Das Quarzit-Stein-Schüttmaterial



**Abbildung 3:** Querschnitt des Dammtals am oberen Dammfuß, Hauptautor.

Eine Umfangskampagne zur Beschaffung aller Informationen über natürliche Baustoffe für Auswahl der Dammsteinschüttmaterial wurde durchgeführt, siehe Tabelle 1 und Abbildung 5. Phyllit ist stark gefaltet und verformt, während Quarzit aufgrund seiner höheren Festigkeit weniger betroffen ist. Quarzitaufschlüsse sind stark gegliedert. Die Felsfugen sind parallel, rechteckig und mit kurzen Abständen. Die In-situ-Inspektion auf den oberirdischen Steinbruchzonen und Erkundungsstollen, Abbildung 4, um die Gesteinseigenschaften zu erkennen,



**Abbildung 4:** Quarzitaufschluss und Fugenformation innerhalb der Erkundungsstollen, Hauptautor.

sowie die durch Sprengungen erhaltene Gesteinsgröße, kommt zu dem Schluss, dass die Steinbruchbereiche keine Gesteine mit großen Abmessungen liefern werden, wie z.B. für Basalt, Sandstein und Kalkstein,  $D_{\max}$ -Größe für die 3B- und 3C-Materialien 1000, 600 bzw. 700 mm beträgt. Die  $D_{\max}$ -Größe von 300 bis 450 mm für die Materialien 3B und 3C definiert wurde, und unter Berücksichtigung des Verdichtungsprozesses und des Bruchindex liegen. Ein ähnlicher Fall wurde für Pakal Dul CFRD, Indien, untersucht, maximale Größe der Quarzit liegt gleich.

#### **4 Staudamm-Zonierung, sowie Dammfundament und Dammmaterial Eigenschaften / Parameter**

Eine geeignete Zonierung, Parameter und Abstufungskurve wurde auf der Grundlage von Testergebnissen, ICOLD-Empfehlungen und ähnlichen Erfahrungen angewendet, siehe Tabelle 2, 3 und Abbildung 5.

#### **5 Damm-Material Charakterisierung: Bruchindex - Scherfestigkeit - interner Reibungswinkel / Dammstabilität**

Die gewonnenen Erkenntnisse über das Verhalten des Quarzit-Steinschüttmaterials in CFRDs auf hoch seismischen Gebieten wie Pakal Dul in Pakistan, Honkanadavar (2011), Rao (2011), und triaxialen Versuchen Daten, Leps (1970), KIT (2013), Fu (2018), Vasistha (2013), für die Definition des Scherwiderstandes in einer Dammkonzeptionsphase wurden angewendet. Groß angelegte Triaxial-Versuche im Labor sollten immer die erste Wahl sein, für die Bewertung der Parameter des Materials in verschiedenen Belastungszuständen zu testen. Vier Modellierungstechniken werden verwendet, um die Größe der Gesteinsschüttungen zu reduzieren. Die Technik der parallelen Gradierung als die besten geeignete angesehen (Ramamurthy, T. und Gupta, K.K., 1986), die für das Quarzit-Füllmaterial Pakal Dul angewandt wurde, wurden die maximalen Korngrößen für die Füllmaterialzonen 3B, 3C und 3D für den Dudhkoshi-Damm definiert. Außerdem spielt der Partikelbruch während der Prüfung eine wichtige Rolle für das Festigkeits-Verformungsverhalten von Stein-Schüttmaterial, Marsal, R.J. (1967). Steinbrüche wurden gesprengt, um geeignetes Steinmaterial für den Dudhkoshi-Damm zu erhalten. Die maximalen Korngrößen von 300, 450 und 600 mm des Prototypenmaterials für die Zonen 3B, 3C und 3D wurden für geeignet befunden und für den Einsatz im Dammkörper empfohlen. Die Werte des

Scherwiderstandswinkels des Pakal Dul getesteten Materials für diese Serien (25 mm, 50 mm und 80 mm maximale Korngrößen) betragen  $41,50^\circ$ ,  $41,03^\circ$  und  $40,12^\circ$ , was eindeutig darauf hinweist, dass der Scherwiderstandswinkel mit zunehmender maximaler Korngröße des gesprengten Gesteinsmaterials abnimmt. Der Winkel des Scherwiderstandes des Prototypmaterials Pakal Dul (maximale Größe 600 mm), basierend auf parallelen Gradierung- und Extrapolationstechniken für gesprengtes Gesteinsmaterial, wurde mit  $37,6^\circ$  ermittelt. Ebenso wurde der Winkel des Scherwiderstandes des Dudhkoshi-Prototypenmaterials (maximale Größe 300 mm) mit  $39^\circ$  festgestellt, Abbildung 7 und 8. Der Winkel des Scherwiderstandes nimmt mit zunehmender Maximalgröße des gesprengten Verfüllmaterials sowie mit dem Anstieg des Einschließungsdrucks ab. Zusammenfassend, der Bruchfaktor sowohl mit der Zunahme der maximalen Partikelgröße als auch mit dem Anstieg des Einschließungsdrucks zunimmt. Mit zunehmender Korngröße wird bei gleichem Spannungsniveau und steigendem Reibungswinkel eine größere Verzahnung erreicht. Andererseits nimmt mit zunehmender Partikelgröße die Bruchwirkung zu und der Reibungswinkel ab. Außerdem nimmt mit zunehmendem Schließdruck der Bruch zu und der Reibungswinkel wird kleiner. Der Bruchfaktor wurde für die maximale Partikelgröße von Pakal Dul 600 mm mit 21,90% und für Dudhkoshi 300 mm mit 18,60% ermittelt, Abbildung 9. Eine Empfindlichkeitsanalyse ist in Abbildung 10 dargestellt, und gibt die Basis des Bereichs des Quarzit inneren Reibungswinkels zwischen  $39^\circ$  und  $44^\circ$ , Analyse 1 an. Die Stabilitätsanalysen wurden für verschiedene Lastfälle durchgeführt und endlich Dammneigungen optimiert.

Tabelle 1: Analyse geomechanische Eigenschaften, die bei der Dammuntersuchungskampagne ermittelt wurden, Hauptautor.

Sample Core	Type sample	Place	Sample	Borehole	Depth of core length [m]	Material description	Unit weight of particle $\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Density of particle $\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Void ratio $e$	Com. ratio $c$	Optimum water pre-contraction $H$	Dry unit weight $\gamma_{d, max}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Dry density $\rho_{d, max}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Shrinkage weight $w_{sh}$ [%]	Use weight for construction $\gamma_{u, max}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Sample for unconfined compressive strength UCS	Unconfined strength UCS [kN/m <sup>2</sup> ]	Unconfined strength UCS [kN/m <sup>2</sup> ]	Rock permeability [cm/s]	Young modulus (GPa)	Poisson ratio	Quartz [%]	
BH-03	borehole		core	60,00	rock	quartzite	25,74	2,62	0,198	0,85	0,24	20,63	2,10	22,87	21,98	81,00	112,60	620,30	60,30				84,20
BH-04	borehole	dam left	core	60,00	rock	quartzite	25,70	2,62	0,198	0,85	0,25	20,60	2,10	22,84	21,98	81,00	112,60	620,30	60,30			0,21	86,00
BH-05	borehole	dam left	core	118,00	rock	schist	27,09	2,79	0,198	0,85	0,26	21,77	2,25	23,92	23,14	81,00	112,60	620,30	60,30			0,21	29,00
BH-07	borehole		core	60,00	rock	quartzite	25,77	2,63	0,198	0,85	0,25	20,66	2,11	22,81	22,02	82,00	112,60	620,30	60,30			0,20	21,40
BH-08	borehole		core	10,00	rock	quartzite	25,83	2,63	0,198	0,85	0,25	20,71	2,11	22,82	22,07	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	27,50
BH-14.1	borehole	dam left	core	14,00	rock	quartzite	25,96	2,65	0,198	0,85	0,25	20,81	2,12	22,76	22,17	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	84,00
BH-14.2	borehole	dam left	core	41,00	rock	quartzite	25,68	2,62	0,198	0,85	0,24	20,59	2,10	22,83	21,95	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	84,00
BH-17	borehole	dam right	core	42,50	rock	phyllite	26,44	2,69	0,198	0,85	0,24	21,19	2,16	23,14	22,95	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	26,00
BH-18	borehole	dam right	core	47,00	rock	quartzite	26,86	2,84	0,198	0,85	0,24	20,73	2,11	22,87	22,29	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	31,00
BH-09	borehole	dam right	core	47,00	rock	quartzite	26,93	2,65	0,198	0,85	0,24	20,80	2,10	22,79	22,16	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	31,00
BH-10	borehole	dam right	core	75,00	rock	phyllite-quartzite	26,68	2,62	0,198	0,85	0,24	20,59	2,10	22,83	21,95	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	44,10
BH-16	borehole	dam right	core	77,00	rock	quartzite	26,98	2,65	0,198	0,85	0,24	20,82	2,11	22,78	22,19	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	33,50
A1-2-10.1	soil	dam left	rock sample	10,00	rock	quartzite	26,04	2,65	0,198	0,85	0,25	20,87	2,13	22,82	22,23	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	31,00
A1-2-10.2	soil	dam left	rock sample	10,00	rock	quartzite	26,04	2,65	0,198	0,85	0,25	20,87	2,13	22,82	22,23	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	31,00
A1-2-10.4	soil	dam left	rock sample	10,00	rock	quartzite	26,04	2,65	0,198	0,85	0,25	20,87	2,13	22,82	22,23	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	31,00
A1-2-10.1	soil	dam left	rock sample	10,00	rock	quartzite	26,04	2,65	0,198	0,85	0,25	20,87	2,13	22,82	22,23	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	31,00
A1-2-10.4	soil	dam left	rock sample	10,00	rock	quartzite	26,04	2,65	0,198	0,85	0,25	20,87	2,13	22,82	22,23	81,00	112,60	620,30	60,30			0,20	31,00

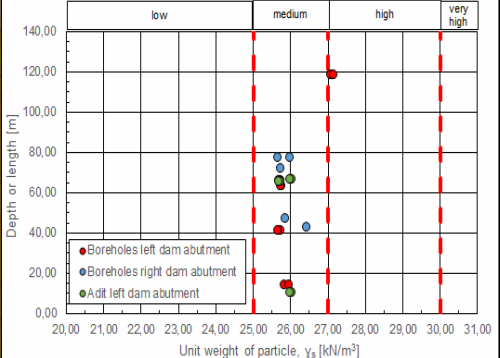
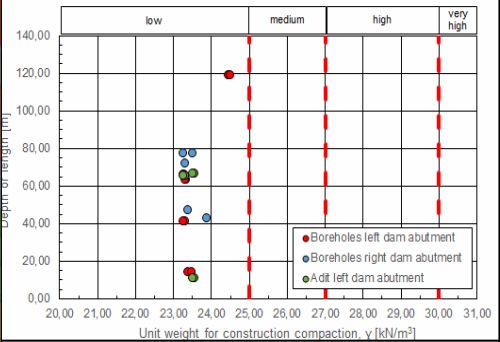
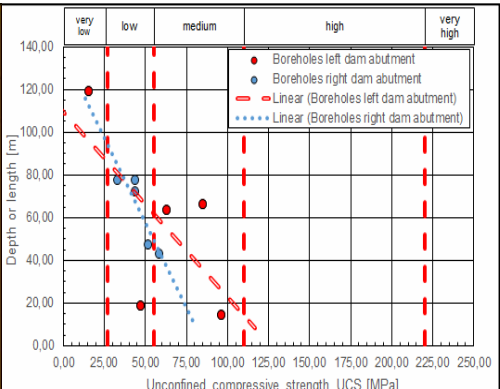




Tabelle 2: Dammfundamente und Materialzone Parameter, Hauptautor.

Material	Zone	Dry bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Saturated bulk density [kg/m <sup>3</sup> ]	Unit weight of particle [kN/m <sup>3</sup> ]	Pore ratio, n [%]	Compaction rate, c [%]	Void ratio, e [-]	Saturated unit weight, γ [kN/m <sup>3</sup> ]	Ocellum water content for construction, w [%]	Dry unit weight, γ <sub>d</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	Saturated unit weight, γ <sub>sat</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	Unit weight for construction, γ <sub>c</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	Internal friction angle, φ [°]		Internal friction angle after construction, φ' [°]		Cohesion, c [kN/m <sup>2</sup> ] or [kPa]		Cohesion, c [kN/m <sup>2</sup> ] applied for modeling	Modulus of elasticity (Young's modulus), E [MPa]	Modulus of elasticity (Other materials), E [GPa]	Permeability, k [cm/s]		
													Residual	Peak	Residual	Peak	Residual	Peak					Residual	Peak
Alluvium	Dam foundation	2100.00	2110.00	20.80	0.01	0.85	0.25	0.97	0.11	16.51	18.46	18.40	35.00	43.00	26.25	32.25	65.00	83.00	0.00	0.00	83.00	5.00	1.00E-03	
Impervious soils	1A	2000.00	2010.00	19.62	0.01	0.85	0.25	0.97	0.12	15.73	17.67	17.61	33.00	35.00	32.50	26.25	20.00	40.00	0.00	0.00	20.00	8.50	1.00E-03	
	1B	2000.00	2010.00	19.62	0.01	0.85	0.25	0.97	0.12	15.73	17.67	17.61	28.00	32.00	21.00	24.00	20.00	80.00	0.00	0.00	40.00	8.50	1.00E-03	
Filter	2A	2100.00	2110.00	20.80	0.01	0.85	0.25	0.97	0.11	16.51	18.46	18.40	29.00	34.00	21.00	25.50	20.00	22.00	0.00	0.00	20.00	1.50	1.00E-02	
Transition from filter to gravels	2B	2100.00	2110.00	20.80	0.01	0.85	0.25	0.97	0.11	16.51	18.46	18.40	35.00	40.00	28.25	30.00	0.00	20.00	0.00	0.00	40.00	20.00	1.00E-03	
Transition of rockfill and gravels	3A	2800.00	2810.00	25.51	0.01	0.85	0.25	0.97	0.09	20.44	22.36	22.33	44.00	45.00	44.00	45.00	10.00	12.00	0.00	0.00	45.00	22.00	1.00E-02	
Rockfill and gravels	3B	2700.00	2700.00	27.17	0.01	0.85	0.25	0.97	0.09	21.78	23.73	23.67	44.00	45.00	44.00	45.00	9.50	11.50	0.00	0.00	45.00	21.50	1.00E-02	
Rockfill and gravels	3C	2700.00	2710.00	25.49	0.01	0.85	0.25	0.97	0.09	21.23	23.18	23.12	43.00	45.00	44.00	45.00	6.00	11.00	0.00	0.00	45.00	21.00	1.00E-02	
Rockfill	3D	2900.00	2900.00	28.00	0.01	0.85	0.25	0.97	0.09	20.84	22.78	22.73	42.00	45.00	43.00	45.00	8.50	10.50	0.00	0.00	75.00	20.50	1.00E-02	
Rockfill and gravels	T & drain	3900.00	3910.00	25.51	0.01	0.85	0.25	0.97	0.09	20.44	22.33	22.33	43.00	45.00	44.00	45.00	0.00	0.00	0.00	0.00	75.00	21.00	1.00E-03	
Rockfill	4, 3D	3000.00	3000.00	28.00	0.01	0.85	0.25	0.97	0.09	20.84	22.78	22.73	42.00	45.00	43.00	45.00	8.50	10.50	0.00	0.00	75.00	20.50	1.00E-03	
Impervious	Core zone of coffer-dams	2080.00	2090.00	20.40	0.01	0.85	0.25	0.96	0.11	16.36	18.30	18.20	38.00	43.00	28.25	32.25	65.00	83.00	0.00	0.00	20.00	5.00	1.00E-03	
Reinforced concrete	Concrete slab	2400.00	2400.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44.00	41.00	-	-	958.00	4898.00	320.00	120.00	-
Concrete	Concrete in surf	2000.00	2000.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44.00	41.00	-	-	958.00	4898.00	320.00	108.00	-

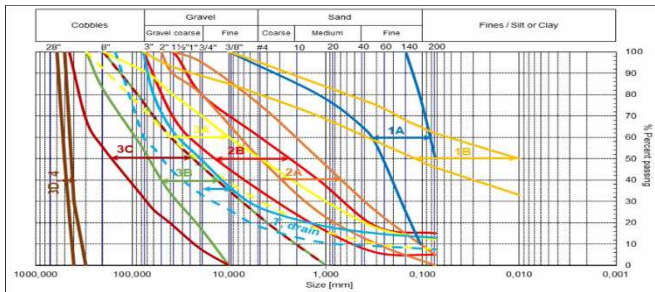


Abbildung 5: Entwurf von Materialabstufungskurven für die Materialzonen 1a, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 3C, 3D, 4, T und Drain, Hauptautor.

Zone	Material type	Maximum grain or rockfill size [mm]		Layer thickness [mm]		Number of passes		% water	Compaction	Expected modulus of elasticity (Young's modulus) after compaction, E [MPa]
		u/s	d/s	u/s	d/s	u/s	d/s			
1A	Silt or a cohesion less fine grained fill	10	10	200	200	-	-	-	Construction equipment (dumped)	-
1B	Random filler	100	100	200	200	-	-	-	Construction equipment (dumped)	-
2A	Sand	36	36	200	200	4	4	-	12 t vibratory roller	60
2B	Sand gravel	75	75	200	200	4	4	-	12 t vibratory roller	60
3A	Quartzite sound rockfill	300	300	300	300	6	6	15	12 t vibratory roller	80
3B	Quartzite sound rockfill	300	300	300	600	6	8	15	12 t vibratory roller	75
3C	Quartzite sound rockfill	450	450	450	600	8	8	10	12 t vibratory roller	70
3D	Quartzite sound rockfill	300	600	300	600	-	-	-	-	-
T & drain	Quartzite sound rockfill, crushed	150	150	200	200	2	2	-	12 t vibratory roller	60
4	Quartzite sound rockfill	300	600	300	600	-	-	-	-	-

\*) u/s:upstream side specified zone, d/s: downstream side specified zone.

\*\*) %water, compaction and E modulus are proposed values to be confirmed by trial fill, compaction and quality testing.

Tabelle 3: Tabelle der Materialzonen-Spezifikation, Hauptautor.

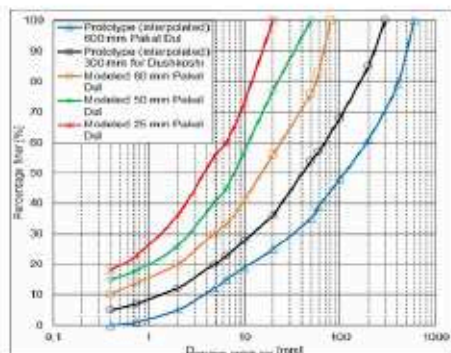


Abbildung 6: Pakal Dul und Dudhkoshi Quarzit-Prototypen Korngrößenverteilungskurven, Hauptautor.

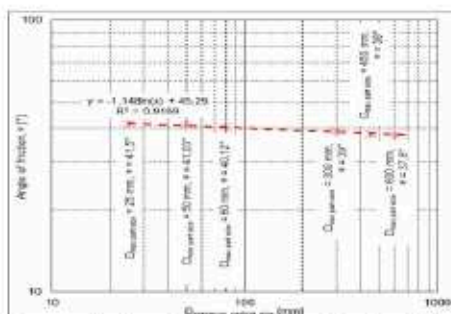


Abbildung 7: Beziehung zwischen der maximalen Partikelgröße ( $D_{max}$ ) und dem Reibungswinkel ( $\varphi$ ) für Pakal Dul und Dudhkoshi Quarzit, Hauptautor.

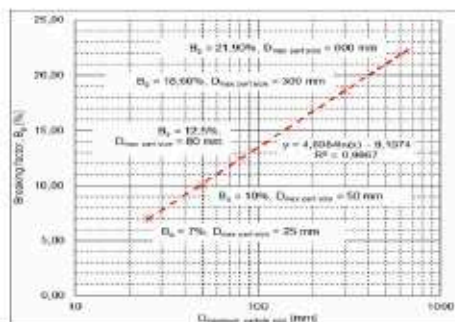


Abbildung 8: Verhältnis zwischen maximaler Partikelgröße ( $D_{max}$ ) und Bruchfaktor ( $B_f$ ) für Pakal Dul und Dudhkoshi Quarzit, Hauptautor.

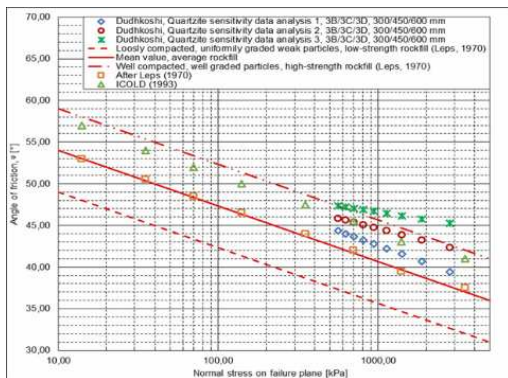


Abbildung 9: Datenzusammenstellung zur Spitzenanteilsfestigkeit von Dudhkoshi Quarzit, Sensitivitätsanalyse für 3B und 3C. Hauptautor.

## 6 Anisotropes Verhalten von Steinschüttungen - Planung und Konstruktion der Betonoberflächendichtung

Der Damm befindet sich in einem engen, steilen V-förmigen Tal. Die Betonplatte hat eine Fläche von  $143.150 \text{ m}^2$  und der Talformfaktor beträgt 2,7. Unter Berücksichtigung dieses Talformfaktors sind erhöhte Bewegungen der Betonplatten zum Flussbett hin und daraus resultierende horizontale Spannungen in die zentrale Betonoberflächendichtung zu erwarten. Das Verhalten von Betonplatte steht in direktem Zusammenhang mit der Stützzone und der Verformbarkeit der Steinschüttung. Die aktualisierte Abbildung 12 des Hauptautors nach Marquez und Pinto (2005), muss als kurzer Hinweis auf potenziell ungünstige Situationen bezüglich übermäßiger Druckspannungen der Betonoberfläche verwendet werden. Abbildung 12 zeigt die Notwendigkeit eines hohen Verformungsmoduls für sehr hohe CFRD-Dämme, insbesondere in engen Tälern. Für den Fall, dass ein hohes Verformungsmodul nicht erreicht werden kann, sollten bei der Konstruktion besondere Maßnahmen getroffen werden, um hohe Druckprobleme zu vermeiden, d.h. zunehmende Längs- und Querverstärkungen, zweimalige Verstärkung der Arbeitsfugen (Antiabplatzung), zunehmende vertikale Arbeitsfugen, wie es bei Dudhkoshi CFRD berücksichtigt wurde, Abbildung 13, wo die Bauphase detailliert ist.

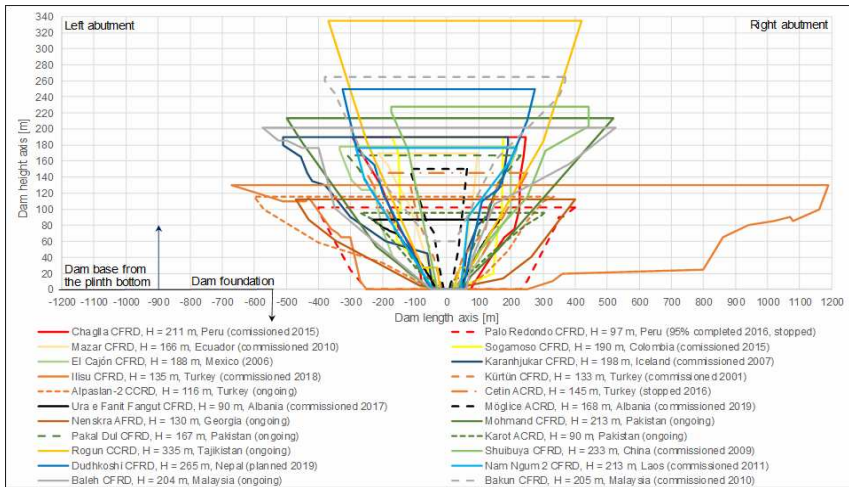


Abbildung 10: Formtalachse-vertikale Projektion für Steinschüttdämme (CFRD/ACRD/CCRD) letzten 10 Jahre, inkl. Dudhkoshi CFRD, Hauptautor.

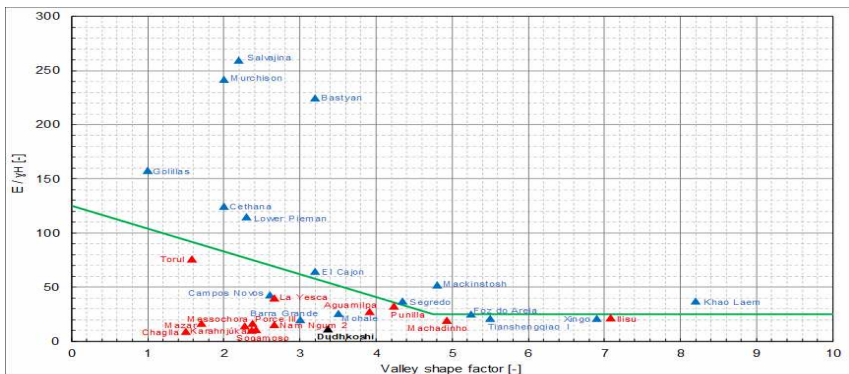


Abbildung 11: Verformungsmodul vs. Talformfaktor (nach Pinto und Marquez, 1998), aktualisiert vom Hauptautor, Daten in roter Farbe.

