



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



Institut für
Wasserbau und
Technische Hydromechanik



48. Dresdner Wasserbaukolloquium 2025

„Konstruktiver Wasserbau - Innovationen, Planungen, Technologien“

Modellierung einer 70 m tiefen Schlitzwand an der Talsperre Arkun zur Rissvorhersage beim Ersteinstau

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner

IBW – Ingenieurbüro für Wasserbau und Wasserwirtschaft GmbH, Koblenz/Deutschland

E-Mail: Ronald.Haselsteiner@ib-wasserbau.de

Inhalt

Das Projekt

Problemstellung

Materialanforderungen und Laborversuche

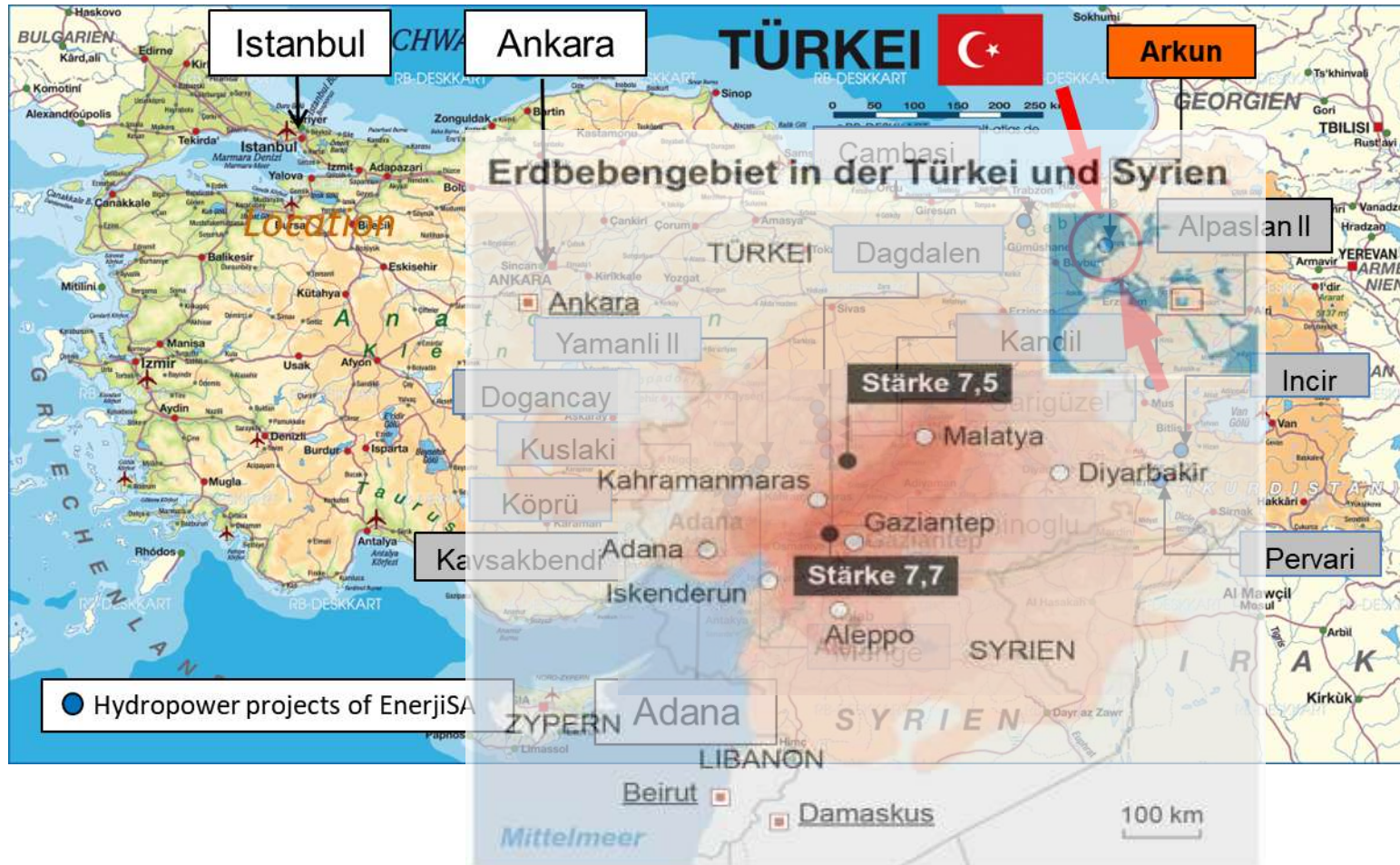
Modellierung und Ergebnisse

Resümee

Das Projekt

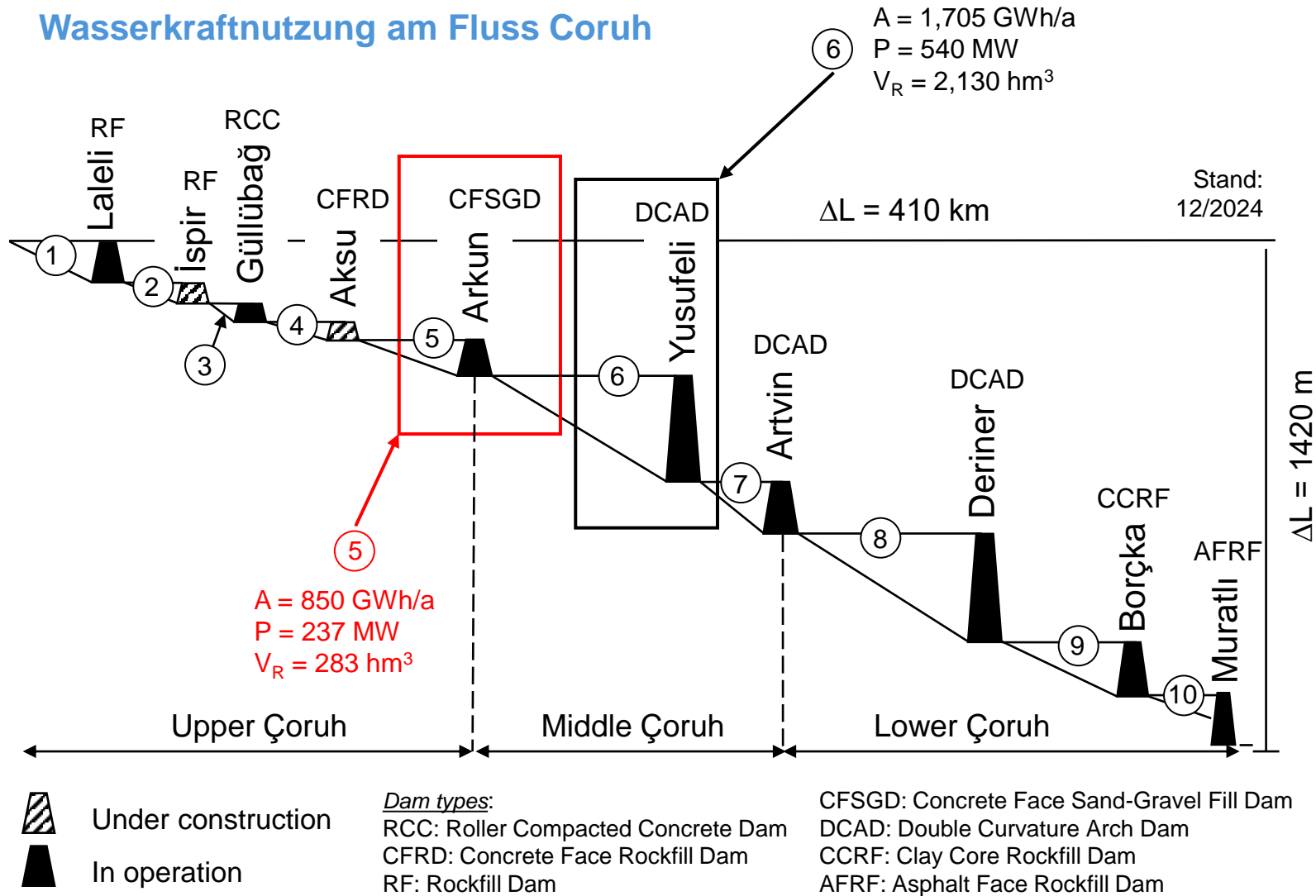
Arkun – Wasserkraft am Fluss Coruh

Erdbeben am 06.02.2023 in der Türkei



Das Projekt

Wasserkraftnutzung am Fluss Coruh



Das Projekt

Technischen Kenndaten

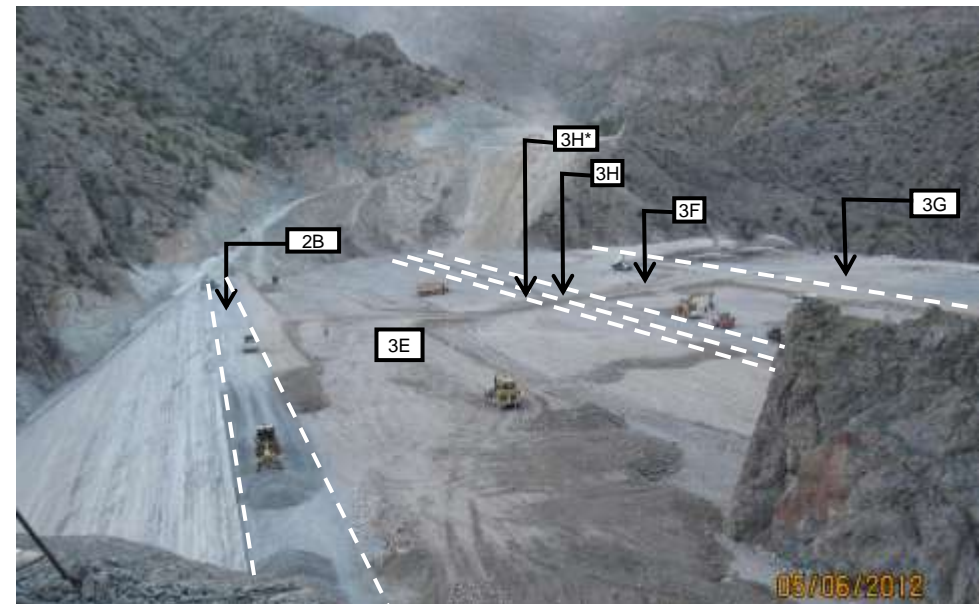
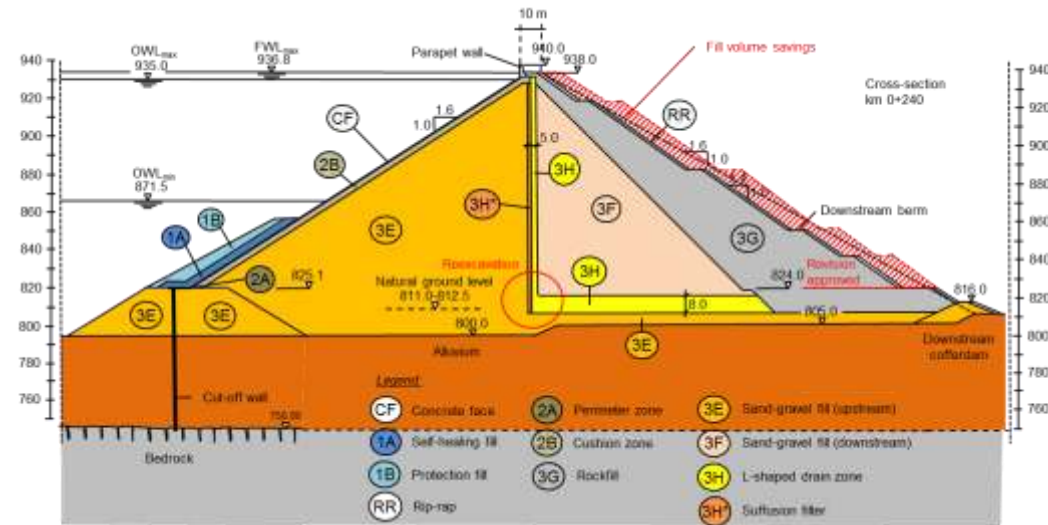
- Nutzen
 - Wasserkraftgewinnung
 - Niedrigwasseraufhöhung
 - Bewässerung
 - Hochwasserschutz
- Absperrbauwerk
 - Höhe → 140 m
 - Typ → Sand-Kies-Damm mit einer Betonoberflächendichtung
- Druckausleitungsstollen → Länge 13 km
- Installierte Leistung
 - Haupt-Kraftwerk 1 → $P_{WKA1} = 225 \text{ MW}$
 - Öko-Kraftwerk 2 → $P_{WKA2} = 12 \text{ MW}$
- Energieerzeugung ca. bis 800 GWh/a



Das Projekt

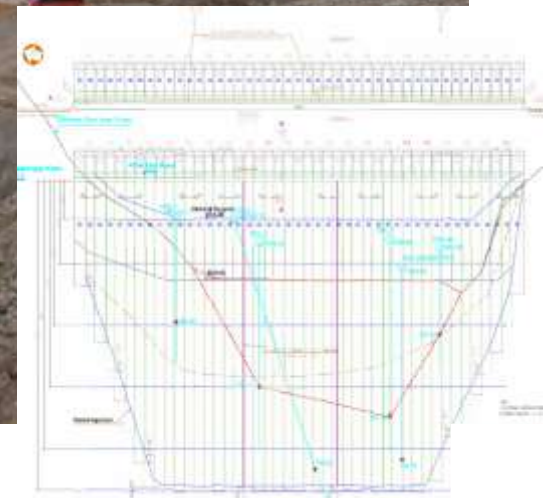
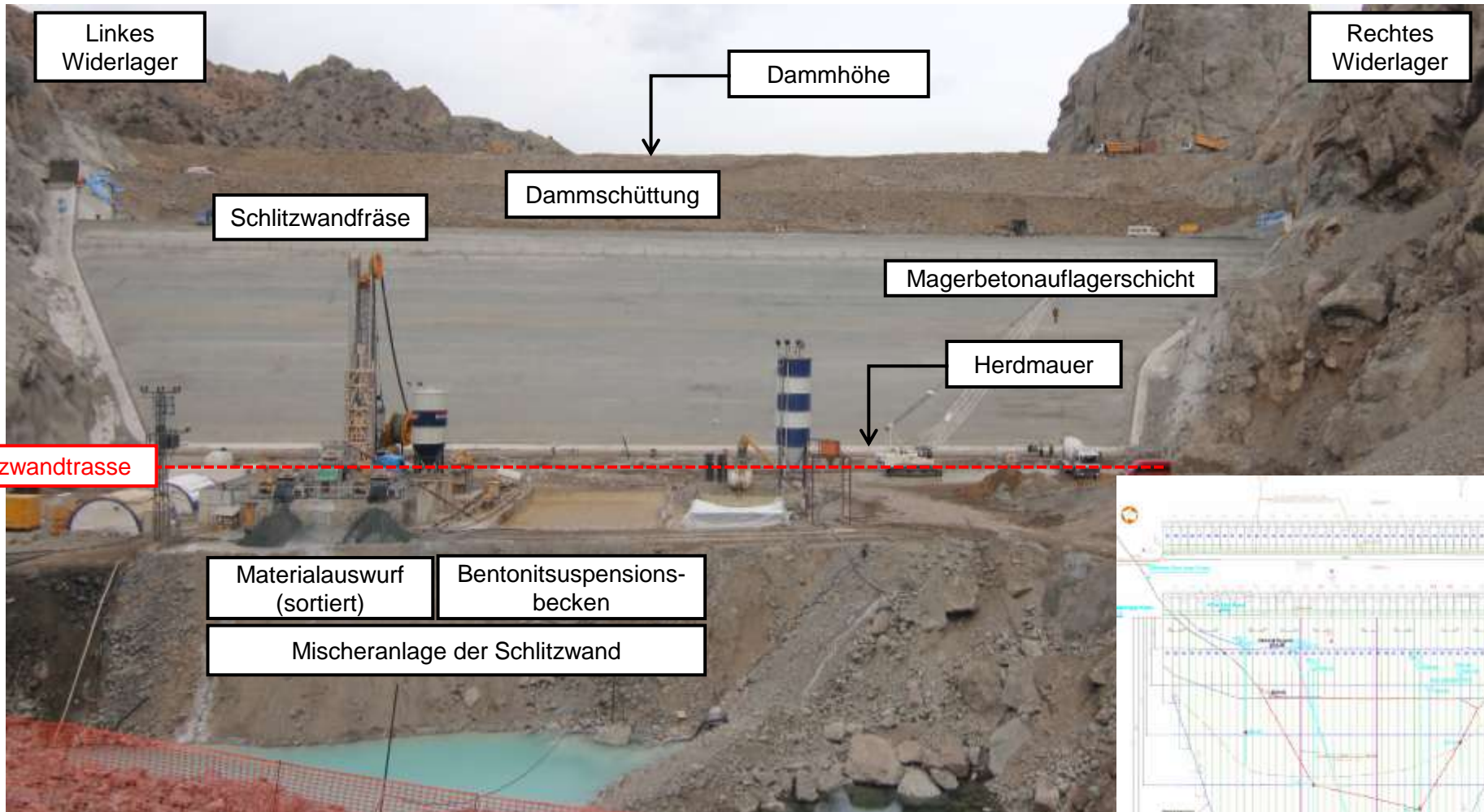
Absperrbauwerk

- Stützkörper
 - Sand-Kies-Schüttung (3E, 3F) → Hauptbestandteil des Dammes
 - Steinschüttung (3G) → Im Unterwasserbereich zur Stabilisierung
- Dichtung und Schutz
 - Betonoberflächendichtung
 - Selbstheilungsschicht (1A) → Erodierbares Sandmaterial
 - Schutzschichten (1B, 2A, 2B) → Gröberes Material schützt die feine Sand-Schicht (1A) vor Erosion
- Drainage und Filter
 - L-förmige Drainage-/Filterschicht (3H) → Leitet Sickerwasser ab
 - Suffusionsfilter (3H*) → Schutzschicht
- Oberflächenschutz → Steinwurf (Riprap, RR)



Das Projekt

Oberwasseransicht – Dichtwandebene und Absperrdamm



Inhalt

Das Projekt

Problemstellung

Materialanforderungen und Laborversuche

Modellierung und Ergebnisse

Resümee

Problemstellung

Ersteinstau der Stauanlage – Herausforderungen

- Vorgeschichte - Ersteinstau der RCC Mauer Köprü (Februar 2012)
 - Erstellung projektspezifischer Einstaukonzepte
 - Identifikation von mehreren ungünstigen Randbedingungen/Schwachpunkten
 - Ersteinstau muss innerhalb von 20 bis 60 Tagen stattfinden; keine Möglichkeit der Steuerung/Stauspiegelsenkung
 - Zufällige Auffindung/Prüfung von entsorgten Probekörpern der Schlitzwand → Zweifel an der Druckfestigkeit der Prüfkörper
- Zu steifer Beton/Dichtwand
- Rissbildung beim Ersteinstau
- Erstellung/Nutzung eines FE-Modells zur Prognose des Spannungs-Verformungs-Verhaltens der Schlitzwand



Inhalt

Das Projekt

Problemstellung

Materialanforderungen und Laborversuche

Modellierung und Ergebnisse

Resümee

Materialanforderungen und Laborversuche

Materialanforderungen

- Ziel**
 Nachbildung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens des Untergrunds (Alluvium) zur Vermeidung von Rissen und Setzungen der Schlitzwand
 $q_u = 0,5$ bis $1,0$ MPa
 $E \approx 200$ bis 500 MPa (100 bis 200 MPa)
- Spezifikationen**
 Beton mit Bentonit (siehe Tabelle) für günstiges Verformungsverhalten
- Rezeptur**
 Beton der Schlitzwand enthielt nur ca. 1/10 der erforderlichen Bentonitmenge
- Laborversuche**
 Tatsächliche Werte
 $q_u > 4,0$ MPa
 $E > 5.000$ MPa
 ($E = 800/1.200/1.800$ MPa im Modell)

Tabelle mit Materialanforderungen und TechSpecs

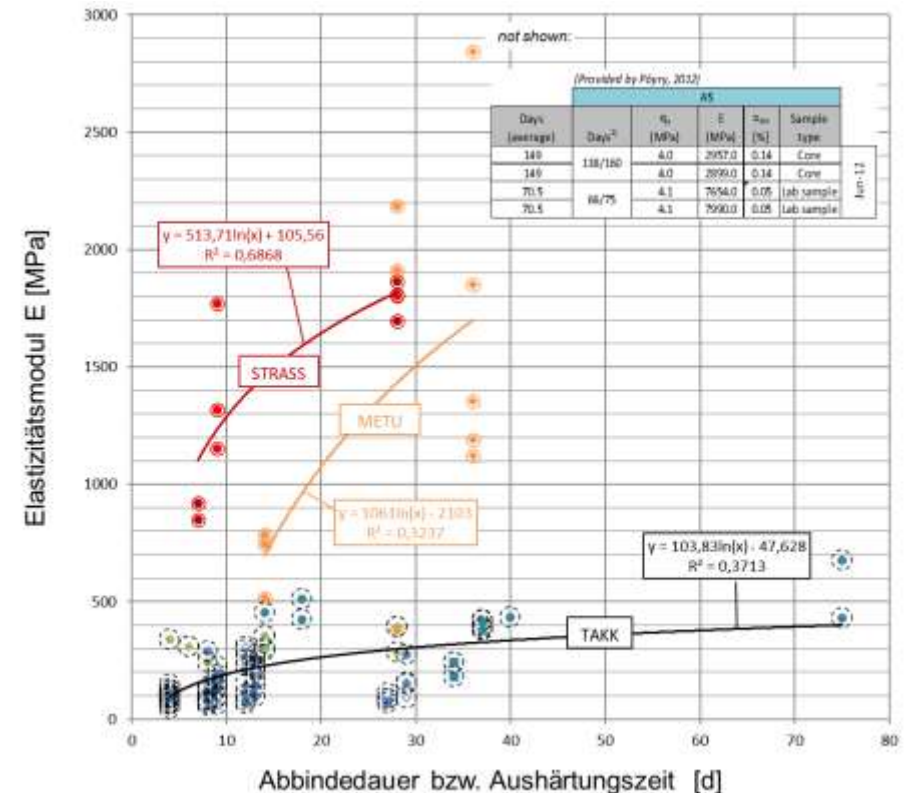
Bestandteil	Gewicht [g/cm³]	Triantafyllidis (2025)			Arkun COW Zusammensetzung			
		Gewicht [kg]	Beispiel		TechSpez		Baustelle	
			Gewicht [kg]	Volumen [l]	Gewicht [kg]	Volumen [l]	Gewicht [kg]	Volumen [l]
Zement	3,10	170 - 300	220	71	220	71	248	80
Bentonit	2,55	0 - 30	30	11,8	4,5	1,8	5,1	2,0
Zuschlag Sand	2,60	600 - 950	900	346	950	366	1070	412
Zuschlag Kies	2,65	300 - 500	300	113	238	90	268	101
Tonmehl	2,60	0 - 160	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Steinmehl	2,65	0 - 200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Wasser	1,00	350 - 500	460	460	360	360	406	406
Σ			1910	1002	1773	888	1997	1000
	[g/cm³]			1,91		2,00		2,00



Materialanforderungen und Laborversuche

Laborversuche

- **Beteiligte Labore/Prüfstellen**
 - Baustellenlabor (Bauunternehmer)
 - Türkisches Prüflabor (TAKK)
 - Türk. Universität METU (Türkei)
 - Prüflabor in Pöyry (Strass, Österreich)
- **Unterschiedliche Ergebnisse**
 - Baustellenlabor/TAKK
 $q_u = 1,0$ bis $1,5$ MPa (gemäß Spezifikation)
 $E < 500$ MPa
 - Unabhängige Labore (METU, Pöyry)
 $q_u = 2,9$ bis $4,1$ MPa (deutlich höher)
 $E > 1.000$ MPa
- **Resümee**
 - Große Abweichungen bei Druckfestigkeit und Verformungsmodul
 - Ursache → Falsche Betonrezeptur mit zu wenig Bentonit → Anstelle 60 kg Bentonit wurde 60 l Bentonitsuspension verwendet
 - Ermittlung der Auswirkungen auf die Schlitzwand und das Gesamtbauwerk



Inhalt

Das Projekt

Problemstellung

Materialanforderungen und Laborversuche

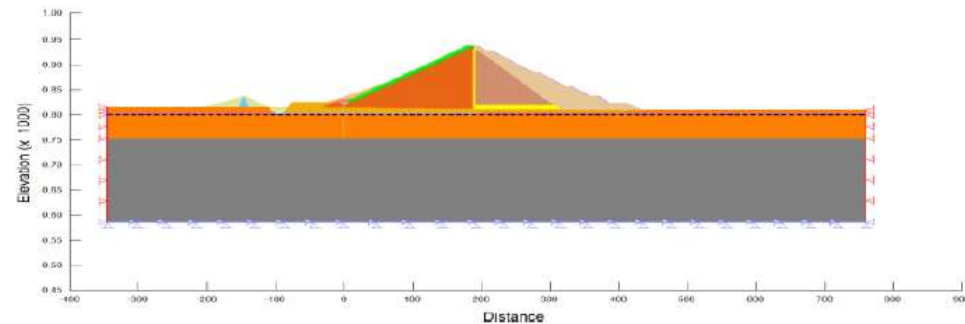
Modellierung und Ergebnisse

Resümee

Modellierung

Modellerstellung und Materialparameter

- Bewertung der Rissgefahr der Dichtwand beim Ersteinstau
- Modellierung
 - 2D-Spannungs-Dehnungs-Modell → Sigma/W (Geoslope-Software)
 - Großzügige Modellabgrenzung im Oberwasser und Unterwasser des Absperrdammes
 - Wasserstand → GOK angesetzt → Wasserdrücke im Untergrund manuell als Punktlasten eingetragen
 - Ersteinstau bis → $OWL_{max} = 935 \text{ m NN}$
- Materialparameter
 - E-Modul (Schlitzwand) → 800 - 1.800 MPa (zeitliche Entwicklung berücksichtigt)
 - Schüttmaterialien → Modifiziertes Mohr-Coulomb-Modell
 - Zementgebundene Bauteile (Beton, Schlitzwand, Fels) → Linear-elastisch

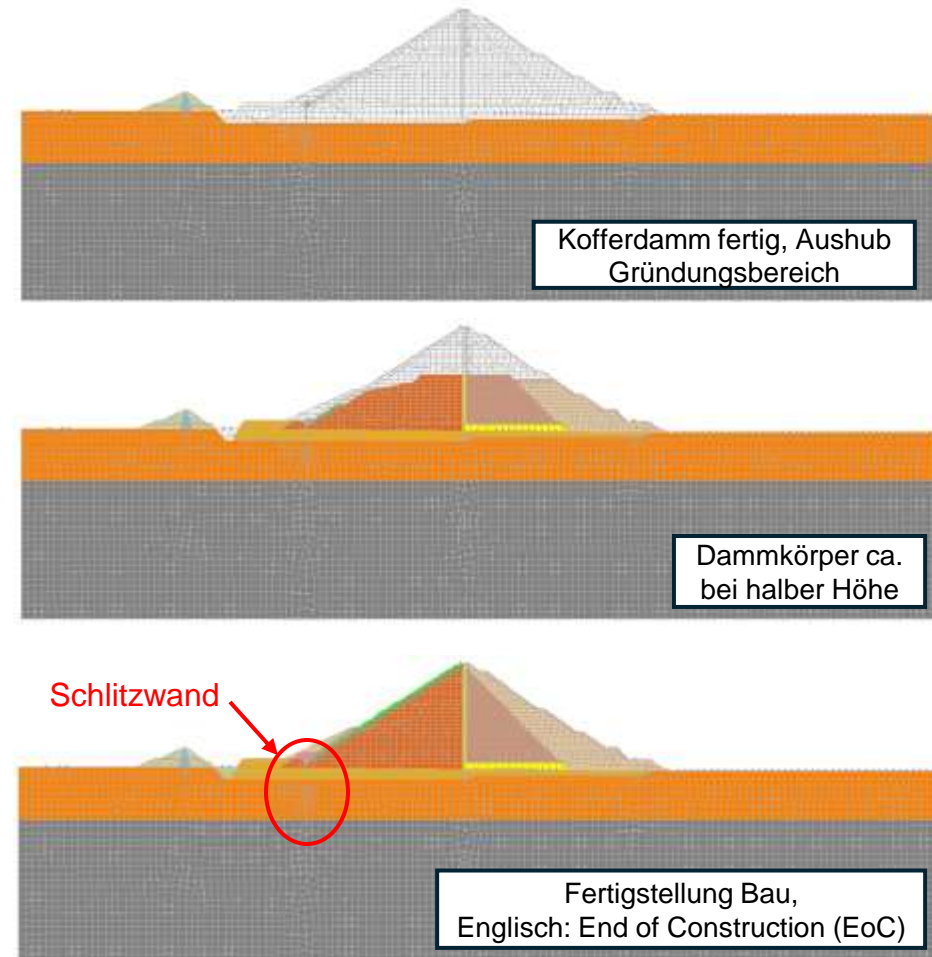


No.	Material	Linear-elastic (Entwurf)			Elastic-plastic (Mohr-Coulomb) + Linear-elastisch				
		E [MPa]	ν [-]	γ [kN/m ³]	E [MPa]	ν [-]	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	ψ [°]
1	1A	20	0,35	19	20	0,35	19	30	0
2	1B	80	0,33	21	80	0,33	21	35	4
3	2A	300	0,3	21	300	0,3	21	38	10
4	2B	250	0,3	21	250	0,3	21	40	10
5	3E	220	0,33	24	220	0,33	24	38	12
6	3F	220	0,33	24	220	0,33	24	38	12
7	3G	80	0,28	22	80	0,28	22	45	15
8	3H	100	0,3	19	100	0,3	19	38	4
9	3H*	100	0,3	19	100	0,3	19	38	4
10	Alluvium	150	0,33	19	150	0,33	19	35	8
11	Fels	20000	0,25	27	0,25	0,25	26	linear-elastisch	
12	Beton	20000	0,2	25	0,2	0,2	25	linear-elastisch	
13	Alluvium (Auffüllung)	200	0,33	24	200	0,33	24	38	10
14	RR	60	0,35	24	60	0,35	24	linear-elastisch	
15	Schlitzwand	800	0,27	23	800-1800	0,26	24	linear-elastisch	

Modellierung

Kalibrierung

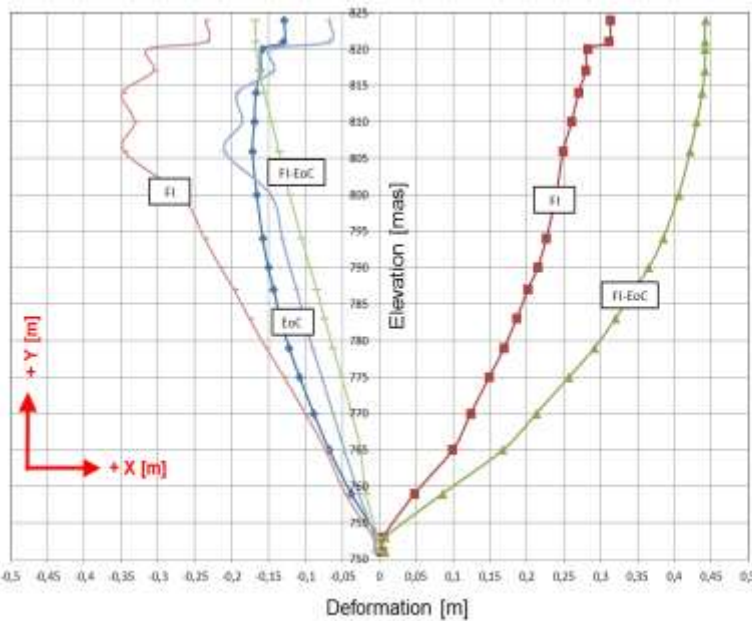
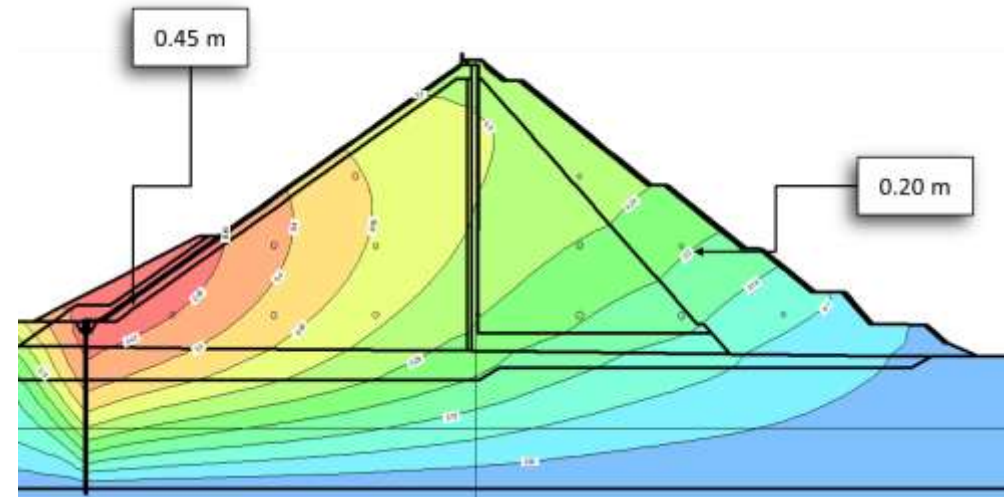
- Schichtweiser Modellaufbau
- Kalibrierung anhand von Messdaten während des Baus
- 50 Modellschritte
 - 34 Schritte für die Hauptdammschüttung (ca. 4 m Schichten bei 140 m Höhe)
- Modellfortschreibung → parallel zum realen Bauablauf
- Unterschiedliche Schüttgeschwindigkeiten zwischen Wasser- und Landseite
- Messinstrumente → Setzungspegel, Extensometer, Inklinometer → Nachrüstung
- Modellierte Verformungen → Kalibrierung → Abweichung nur wenige Zentimeter von den Messwerten



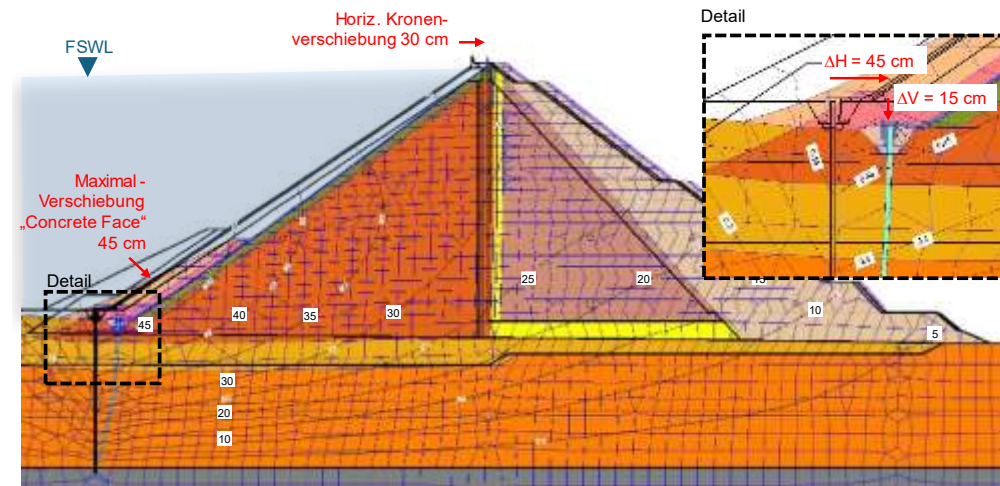
Ergebnisse

Verformungen

- Prognose für Ersteinstau
 - Horizontalverformung Dammkrone 30 cm
 - Verformung Schlitzwandkopf Horizontal 45 cm / Vertikal 15 cm
 - Schlitzwand zieht Spannungen und Verformungen an



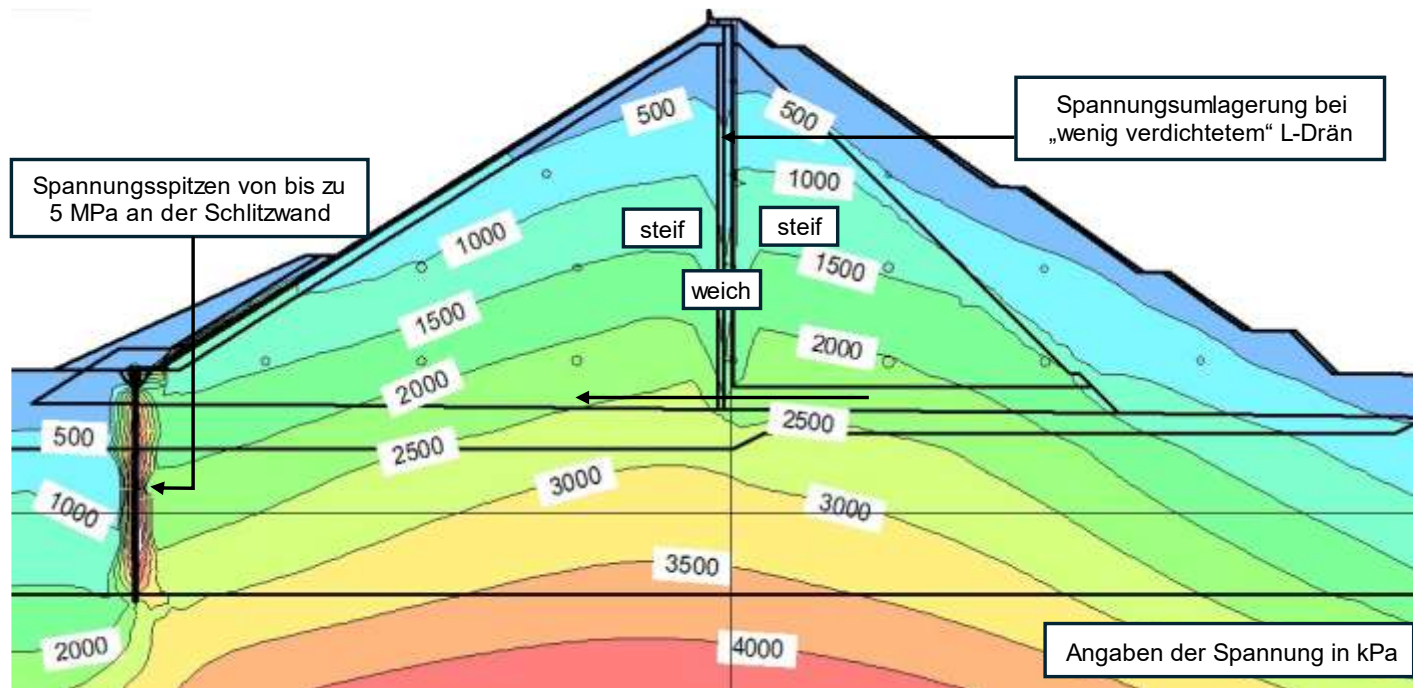
- X_DS EoC
- X_DS FI
- X_DS FI-EoC
- Y_DS EoC
- Y_DS FI
- Y_DS FI-EoC



Ergebnisse

Spannungen

- Das „weiche“ Filtermaterial (L-Filter) hängt sich am Stützkörper auf
- „Steife“ Schlitzwand zieht aufgrund ihrer Steifigkeit Spannungen an → Das Alluvium hängt sich auf der Schlitzwand auf
- Druckfestigkeit der Schlitzwand überschritten ($\sigma > 5 \text{ MPa}$)
- Bruchdehnung ($\varepsilon_{\text{CU}} < 0,2 - 0,3 \%$) um ein Vielfaches überschritten



Inhalt

Das Projekt

Problemstellung

Materialanforderungen und Laborversuche

Modellierung und Ergebnisse

Resümee

Resümee

Design as you go...

- Schlitzwand zeigt beim Ersteinbau unzulässige Verformungen und zu hohe Spannung(skonzentrationen)
- Hohe Wahrscheinlichkeit für Rissbildung in der Dichtwand (!)
- Bewertung der Auswirkungen der Rissbildung
 - Erhöhung der Durchströmungsmengen (2D-Durchströmungsmodell → Unwesentlich + natürlicher Clogging-Effekt)
 - Veränderung der Porenwasserdruckverteilung (2D-Durchströmungsmodell + Gleitflächenbetrachtung + hydraulische Gradienten → kein Problem)



→ Kein Neubau und keine Sanierung der Schlitzwand



Quelle: www.wikipedia.de

*„Yurtta sulh, cihanda sulh.“
„Frieden in der Heimat, Frieden in der Welt.“
„Peace at home, peace in the world.“*

Mustafa Kemal Atatürk (1881-1938)

48. Dresdner Wasserbaukolloquium 2025

„Konstruktiver Wasserbau - Innovationen, Planungen, Technologien“

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner

IBW – Ingenieurbüro für Wasserbau und Wasserwirtschaft GmbH, Koblenz/Deutschland

E-Mail: Ronald.Haselsteiner@ib-wasserbau.de

ENDE