

Simulation des Wasserhaushalts in Erddämmen und Deichen als Basis für Stabilitätsuntersuchungen mit dem Programm PCSiWaPro®

Dresden, 3. Mai 2012

Issa Hasan
Martin Meyer
Jinxing Guo
Peter-Wolfgang Gräber

- Problemstellung und Zielsetzung
- Material und Methoden
 - I. Beschreibung des Programms PCSiWaPro®
 - II. Anwendungsbereich des Programms
 - III. Theoretischer Hintergrund des Programms
- 1. Anwendungsbeispiel
 - Durchführung und Ergebnisse der Simulation
- 2. Anwendungsbeispiel
 - Durchführung und Ergebnisse der Simulation
- Schlussfolgerung und Diskussion

- Deiche als wirksame Hochwasserschutzanlagen
- >500 km Deichlänge allein in Sachsen
- Konstruktion, Materialien und Wasserhaushalt ausschlaggebend für Stabilität des Dammes
- Simulation notwendig, insbesondere bei Prognoserechnung für Dämme und Deiche

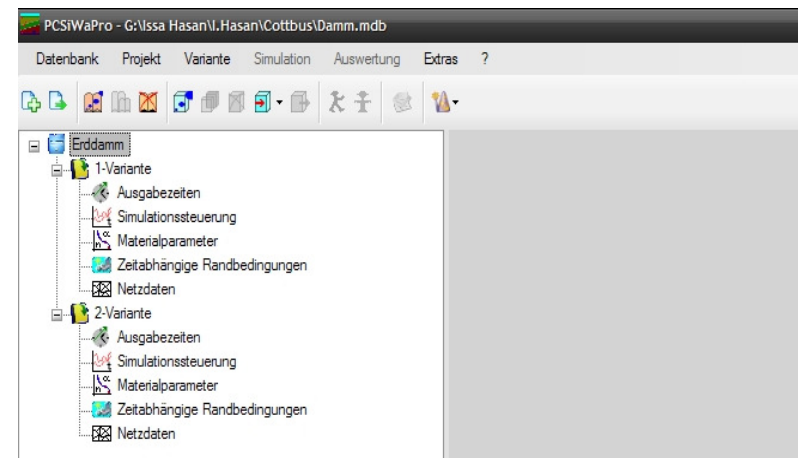


[Quelle: André Künzelmann/ UFZ Hochwasser der Elbe August 2002]



[Quelle: Webseite TU Dresden]

- Strömung-, Stoff- und Wärmetransport in dem ungesättigten Bereich von Dämmen und Deichen
- Berücksichtigung stationärer und instationärer Randbedingungen
- Atmosphärische Randbedingungen (Niederschlag, Verdunstung bzw. Evapotranspiration)
- Wettergenerator für synthetische Zeitreihen beliebiger Länge
- Netzgenerator für unstrukturierte Dreiecksnetze
- Wasser- und Schadstoffaufnahme durch Pflanzenwurzeln
- Integrierte Datenbanken für Boden- und Stofftransport- Parameter (DIN 4220 ...)
- Schnittstellen zu GMSH, GeODin



- Das Strömungsmodell der **gesättigten Bodenzone** ist durch die Darcy-Gleichung gegeben:

$$S_0 \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_f \frac{\partial h}{\partial x_i} \right) - S$$

t - Zeit
 x_i (x₁=x, x₂=z) - Raumkoordinaten
 K_f - Durchlässigkeitsbeiwert [L/T]
 h - Druckhöhe
 S - Quellen-/Senkenterm
 S₀ - Speicherkoeffizient

- Das Strömungsmodell der **ungesättigten Bodenzone** ist durch die Richards-Gleichung (PDGL) gegeben:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[K \left(K_{ij}^A \frac{\partial h}{\partial x_j} + K_{iz}^A \right) \right] - S$$

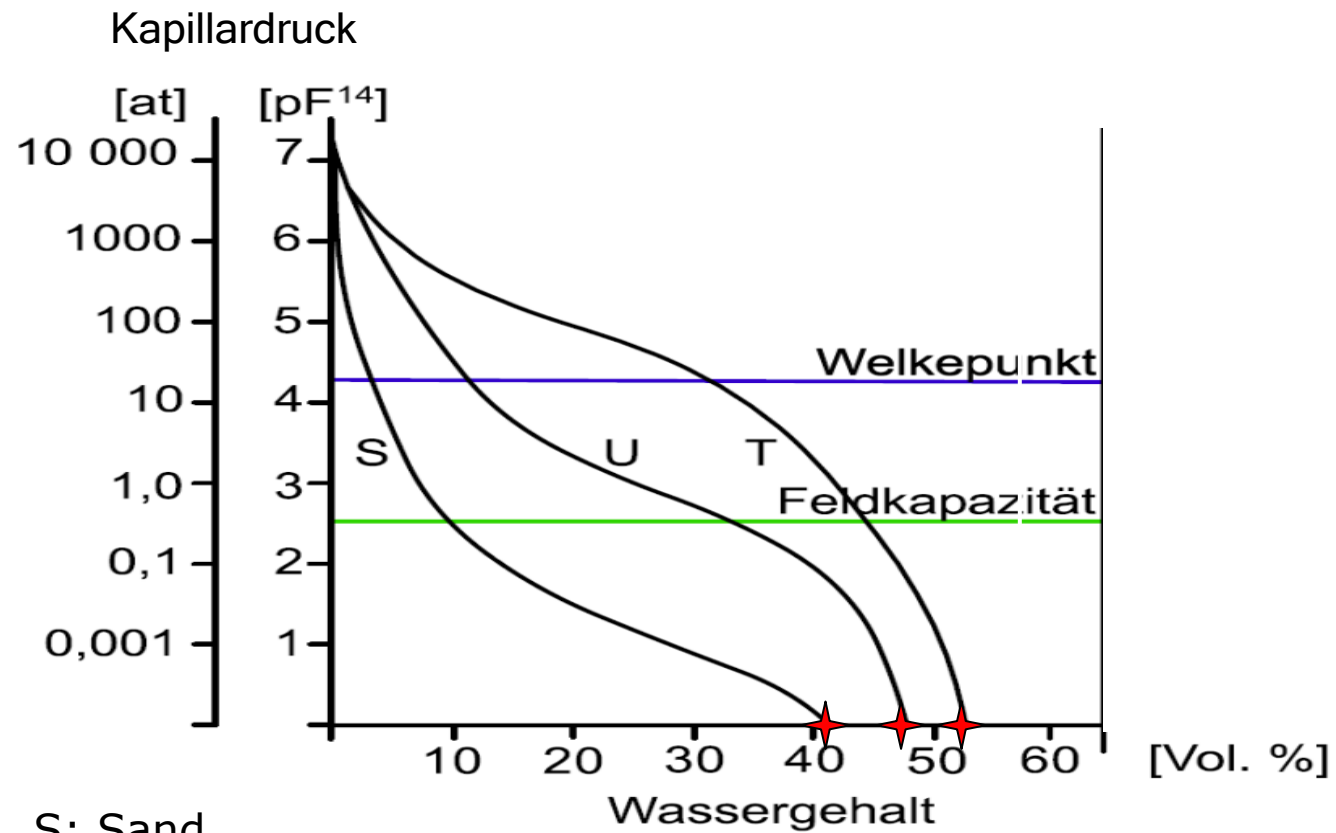
θ - volumetrischer Wassergehalt
 t - Zeit
 x_i (x₁=x, x₂=z) - Raumkoordinaten
 K - hydraulische Leitfähigkeit
 h - Druckhöhe
 S - Quellen-/Senkenterm

$$\theta = \theta_{r,W} + \frac{\phi - \theta_{r,W} - \theta_{r,L}}{\left[1 + (\alpha \cdot h_c)^n \right]^{\frac{1}{n}}}$$

φ - Porosität
 θ_{r,w} - Restwassergehalt
 θ_{r,L} - Restluftgehalt
 α - Skalierungsfaktor
 n - Anstiegsfaktor
 h_c - Kapillardruckhöhe

- Die abhängigen Variablen sind die Druckhöhe und der volumetrische Wassergehalt,
- Die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit k ist abhängig vom Wassergehalt im Boden, K = K(θ).

Wasserströmung in der ungesättigten Bodenzone

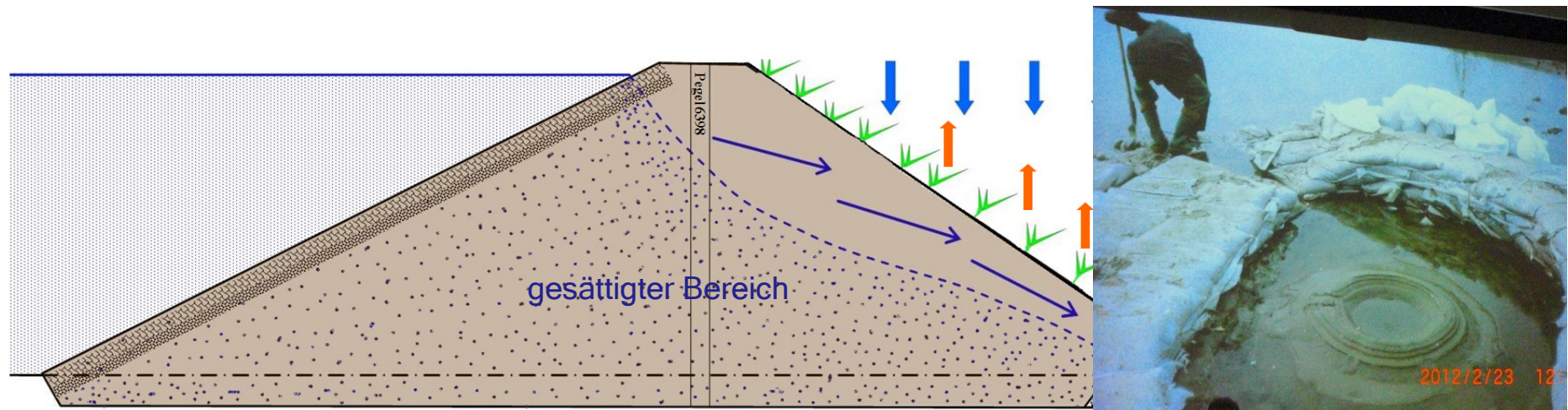


S: Sand
 U: Schluff
 T: Ton

Quelle: nach Scheffer & Schachtschabel (2002):
 Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg.

Wasserhaushalt bei Hochwassereinstau

→ Wie schnell wird der ungesättigte Bereich durchfeuchtet bis zur Instabilität (Rutschung)?



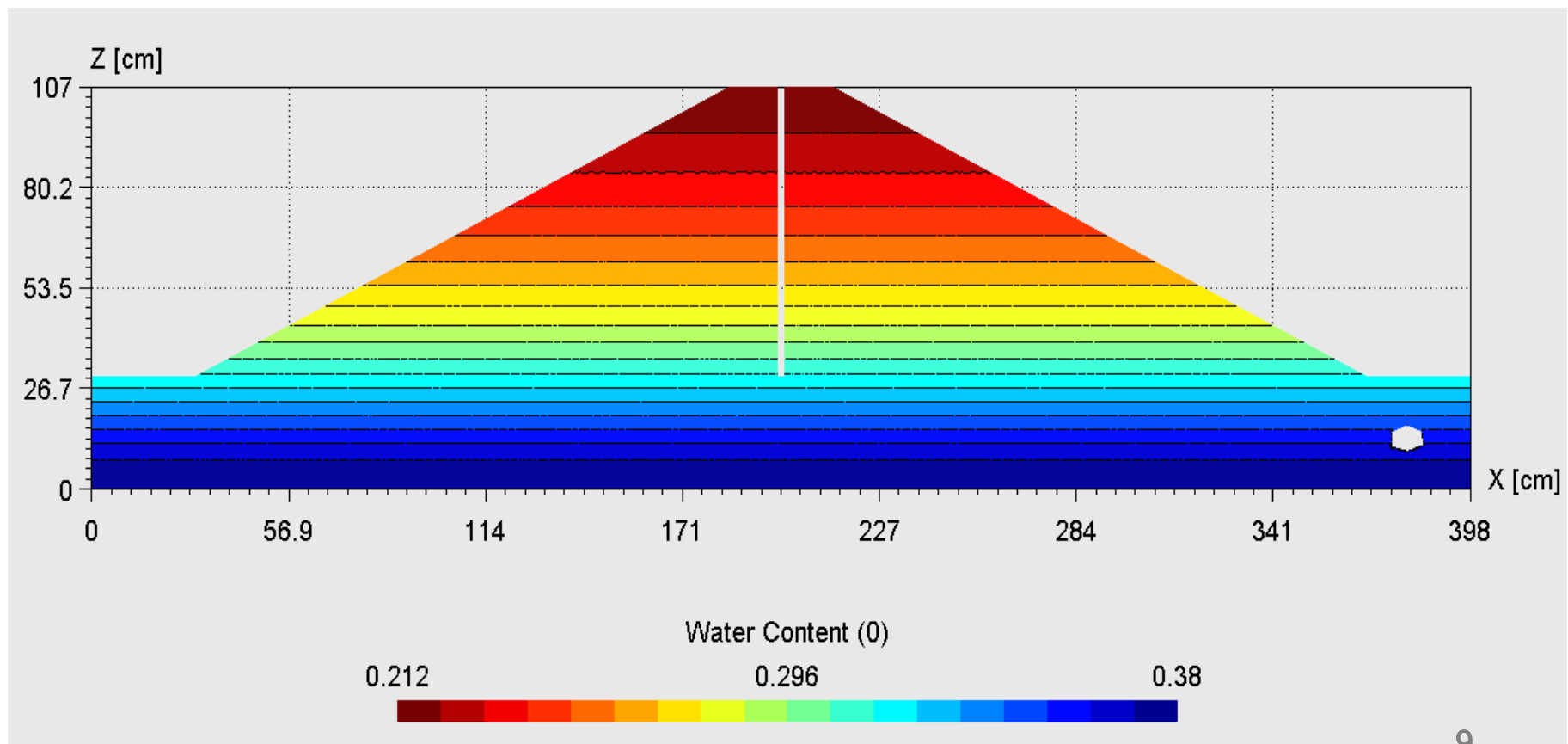
Ergebnis aus einem physikalischen Modellversuch am IWD
der TU Dresden



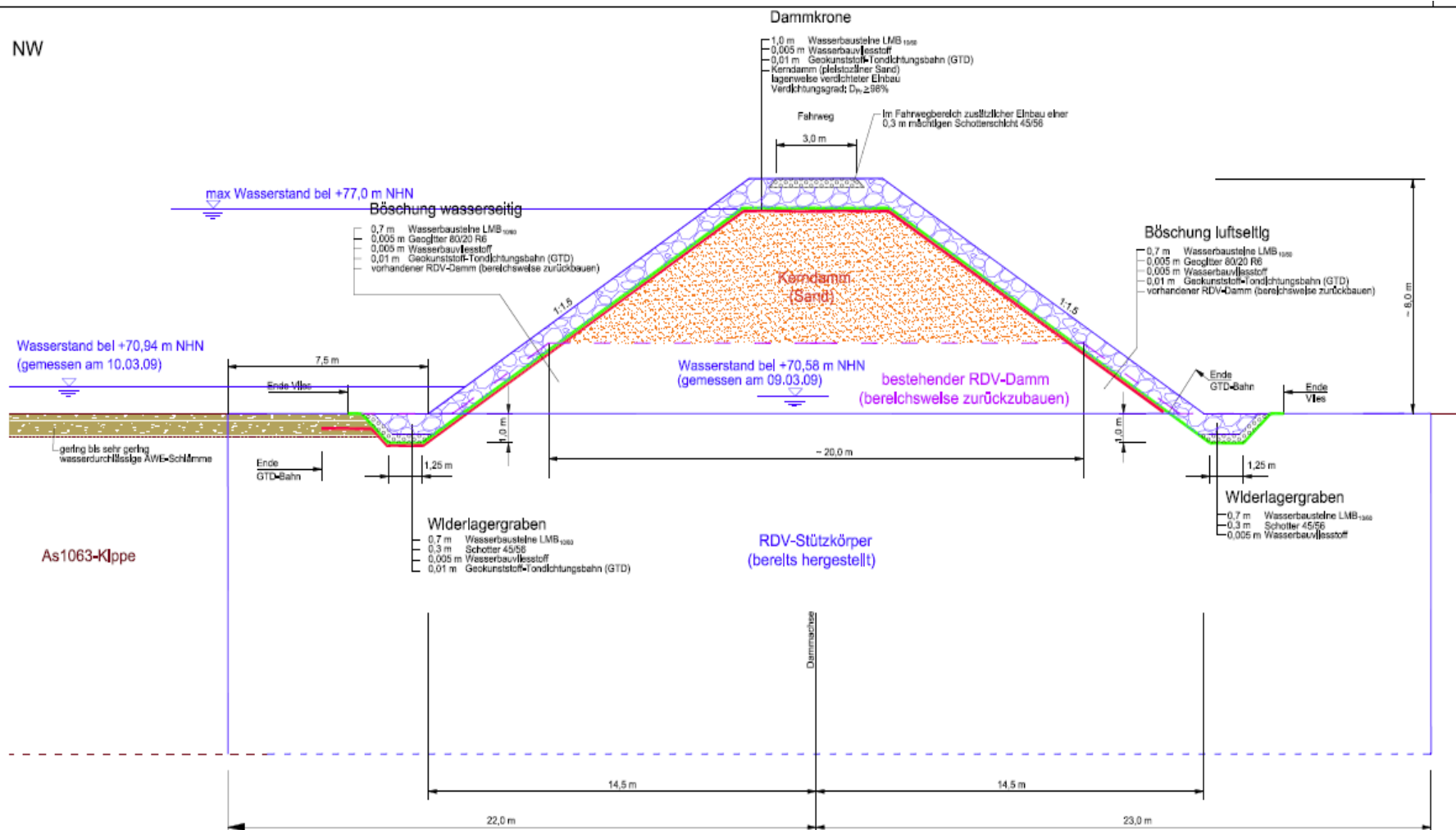
[Quelle: Aigner, 2004]

→ Rutschung bereits im teilgesättigten Bereich möglich!

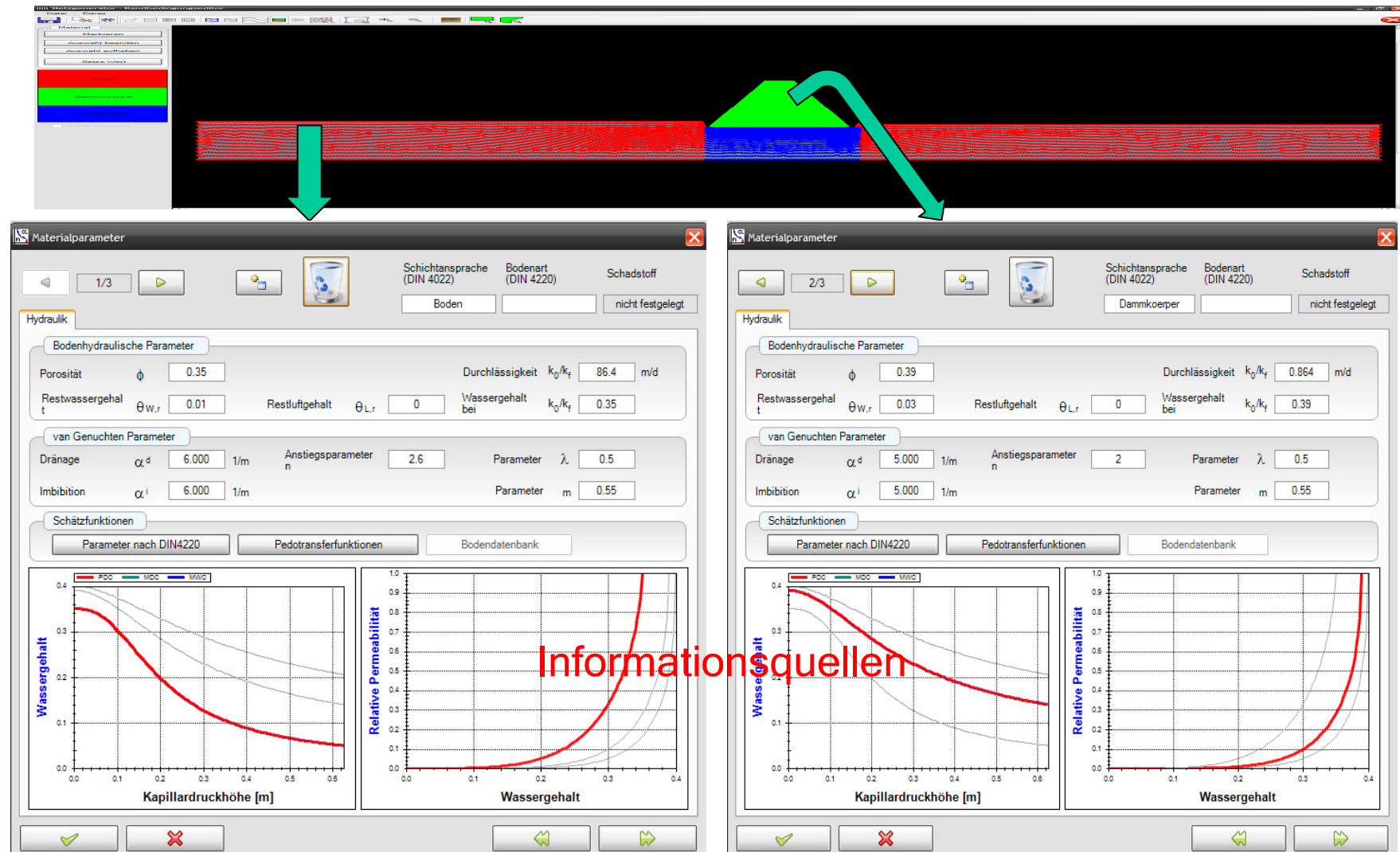
Simulationsergebnisse: zeitliche Änderung des Wassergehaltes im Damm



Dammprofil (Schema)



Materialparameter



The screenshot displays the 'Materialparameter' software interface, showing two windows side-by-side. The left window is for 'Boden' (Soil) and the right window is for 'Dammkörper' (Dam body). Both windows show hydraulic parameters and two graphs: 'Wassergehalt' (Water content) vs 'Kapillardruckhöhe [m]' and 'Relative Permeabilität' vs 'Wassergehalt'.

Left Window (Boden):

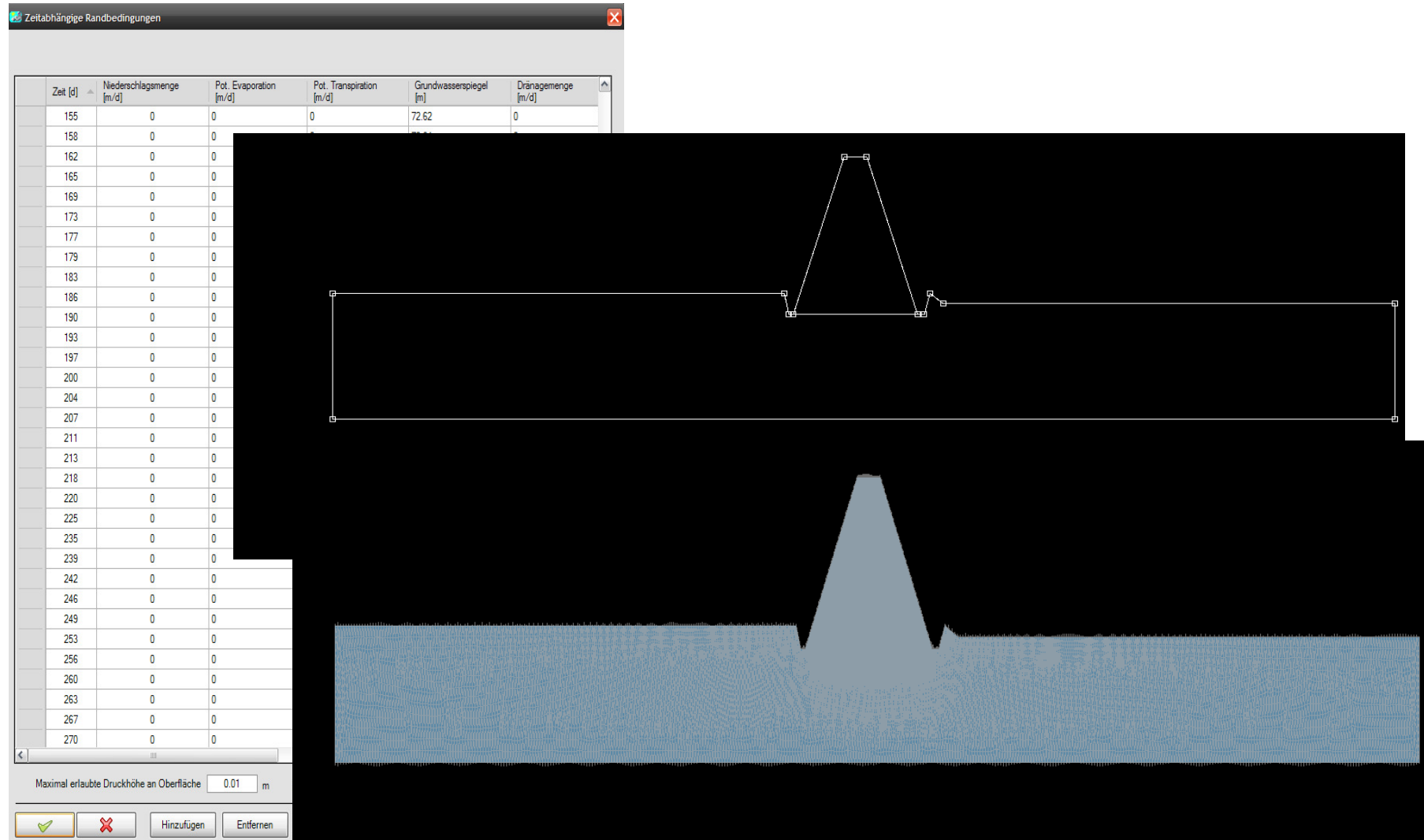
- Navigation: 1/3
- Schichtansprache (DIN 4022): Boden
- Bodenart (DIN 4220): nicht festgelegt
- Schadstoff: nicht festgelegt
- Hydraulik:
 - Bodenhydraulische Parameter:
 - Porosität ϕ : 0.35
 - Durchlässigkeit k_0/k_f : 86.4 m/d
 - Restwassergehalt $\theta_{w,r}$: 0.01
 - Restluftgehalt $\theta_{L,r}$: 0
 - Wassergehalt bei k_0/k_f : 0.35
 - van Genuchten Parameter:
 - Dränage α^d : 6.000 1/m
 - Anstiegsparameter n : 2.6
 - Parameter λ : 0.5
 - Imbibition α^i : 6.000 1/m
 - Parameter m : 0.55
 - Schätzfunktionen:
 - Parameter nach DIN4220
 - Pedotransferfunktionen
 - Bodendatenbank
- Graphs:
 - Wassergehalt vs Kapillardruckhöhe [m]: Shows a red curve (PDC) and grey curves (MDC, MWC).
 - Relative Permeabilität vs Wassergehalt: Shows a red curve (PDC) and grey curves (MDC, MWC).

Right Window (Dammkörper):

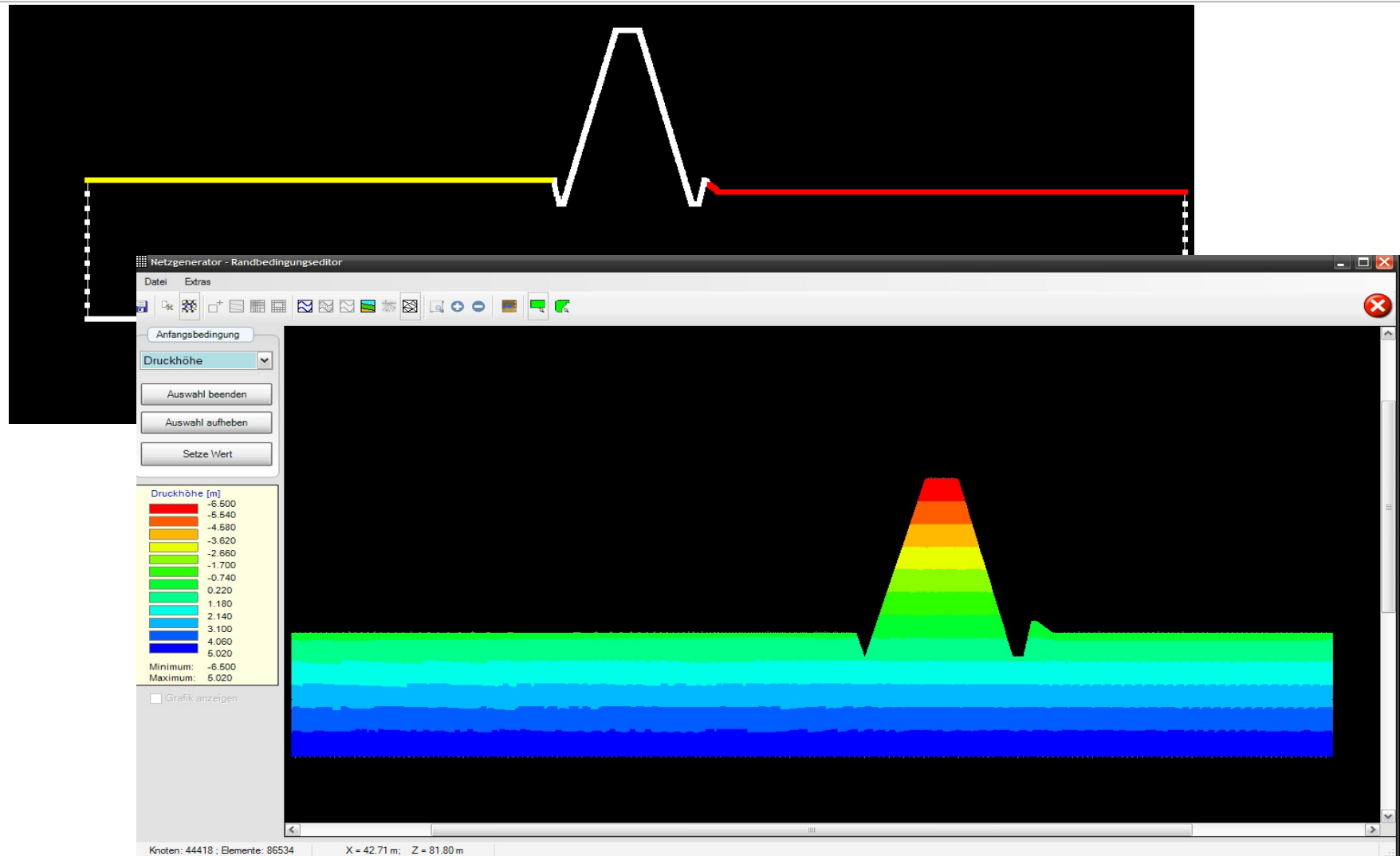
- Navigation: 2/3
- Schichtansprache (DIN 4022): Dammkörper
- Bodenart (DIN 4220): nicht festgelegt
- Schadstoff: nicht festgelegt
- Hydraulik:
 - Bodenhydraulische Parameter:
 - Porosität ϕ : 0.39
 - Durchlässigkeit k_0/k_f : 0.864 m/d
 - Restwassergehalt $\theta_{w,r}$: 0.03
 - Restluftgehalt $\theta_{L,r}$: 0
 - Wassergehalt bei k_0/k_f : 0.39
 - van Genuchten Parameter:
 - Dränage α^d : 5.000 1/m
 - Anstiegsparameter n : 2
 - Parameter λ : 0.5
 - Imbibition α^i : 5.000 1/m
 - Parameter m : 0.55
 - Schätzfunktionen:
 - Parameter nach DIN4220
 - Pedotransferfunktionen
 - Bodendatenbank
- Graphs:
 - Wassergehalt vs Kapillardruckhöhe [m]: Shows a red curve (PDC) and grey curves (MDC, MWC).
 - Relative Permeabilität vs Wassergehalt: Shows a red curve (PDC) and grey curves (MDC, MWC).

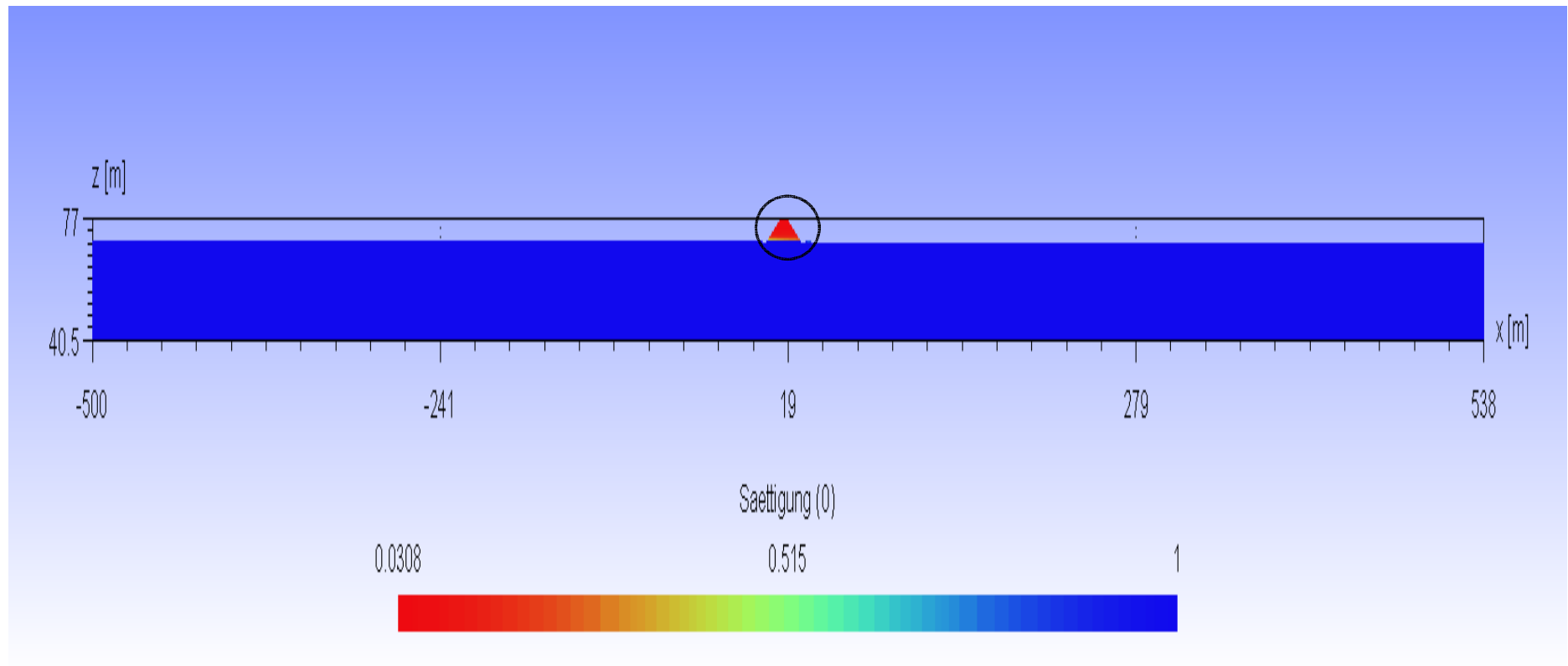
Informationsquellen

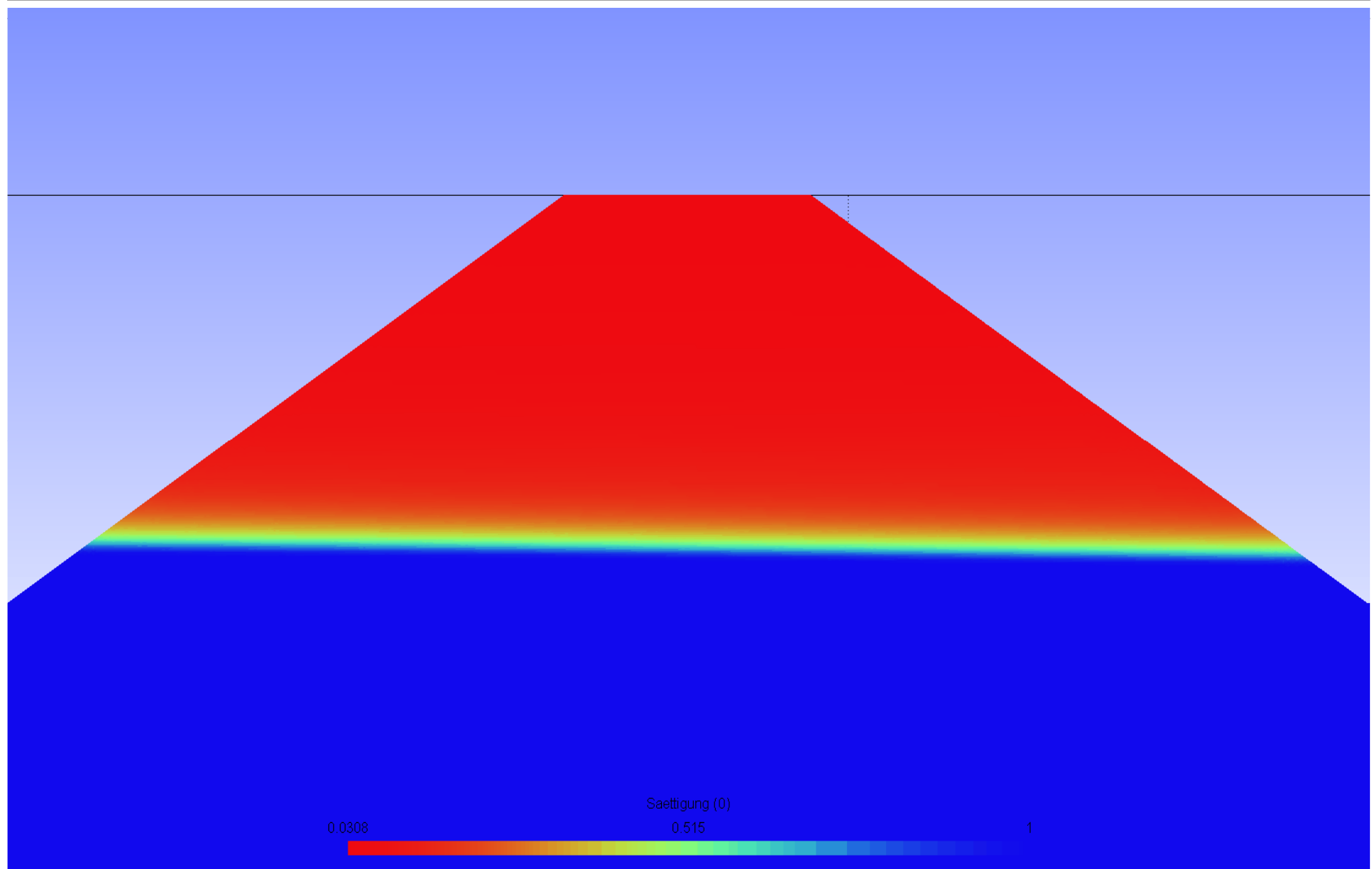
- Zeitabhängige Randbedingungen
- Netzdaten

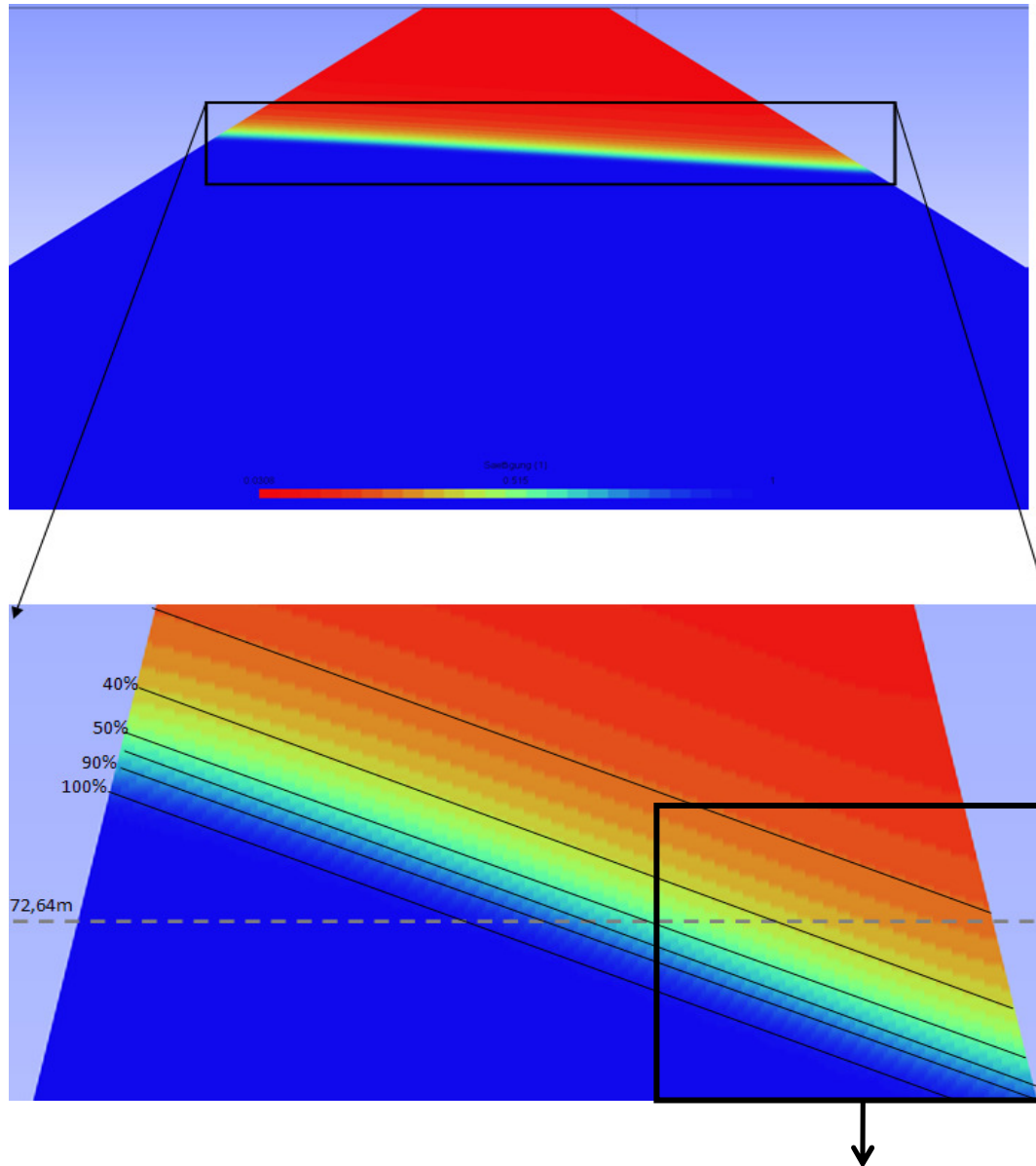


→ Netzdaten (RB, Anfangsdruckhöhe)

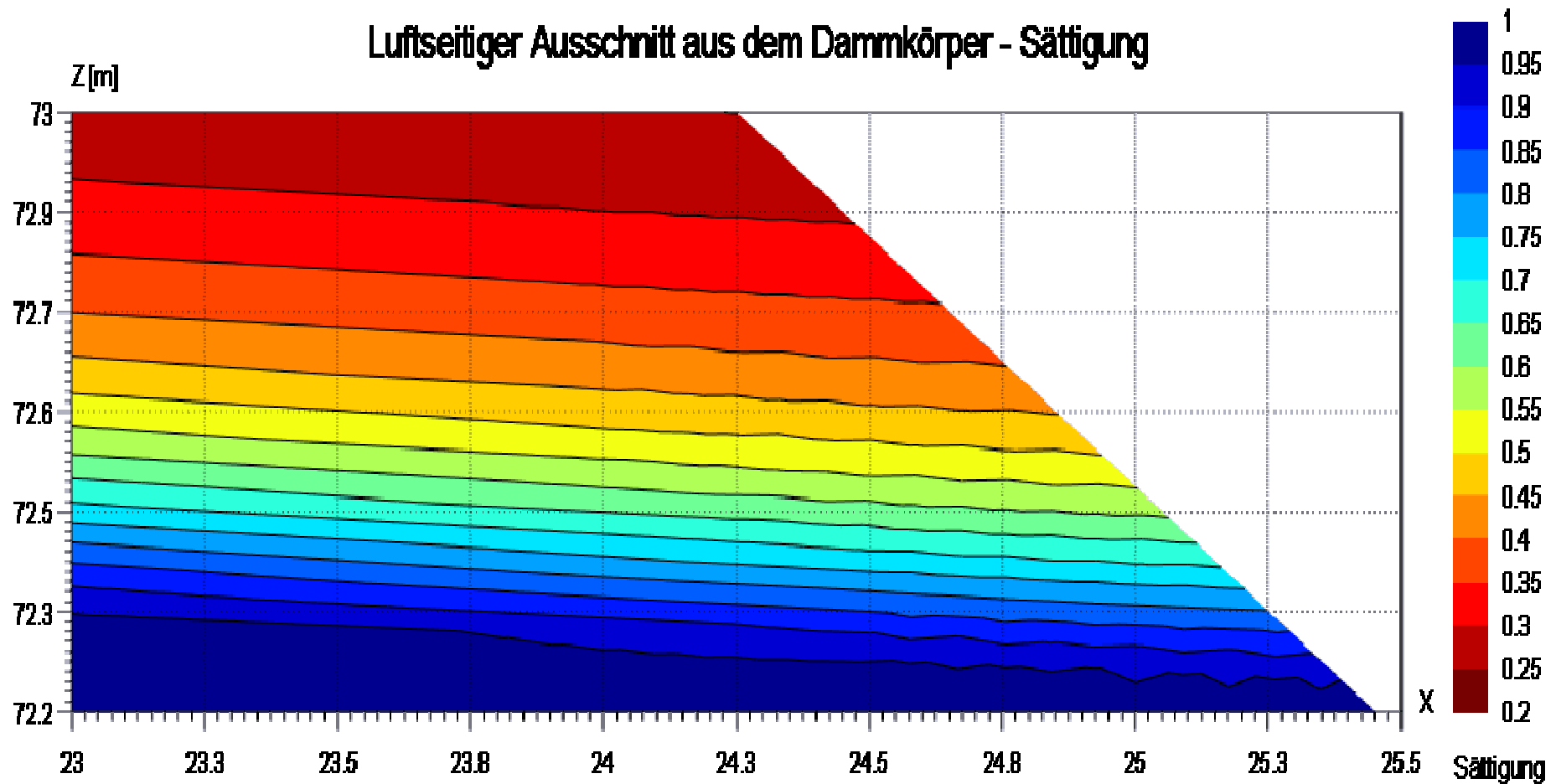


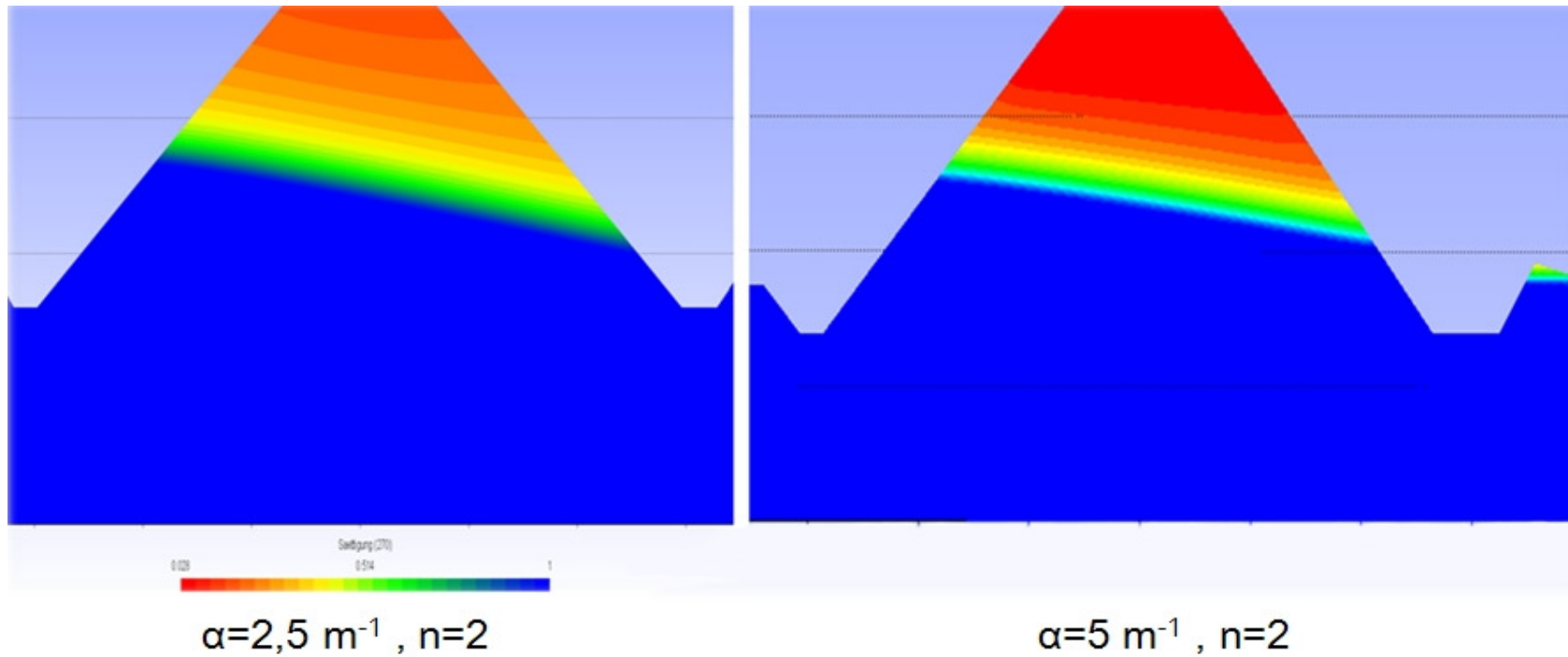






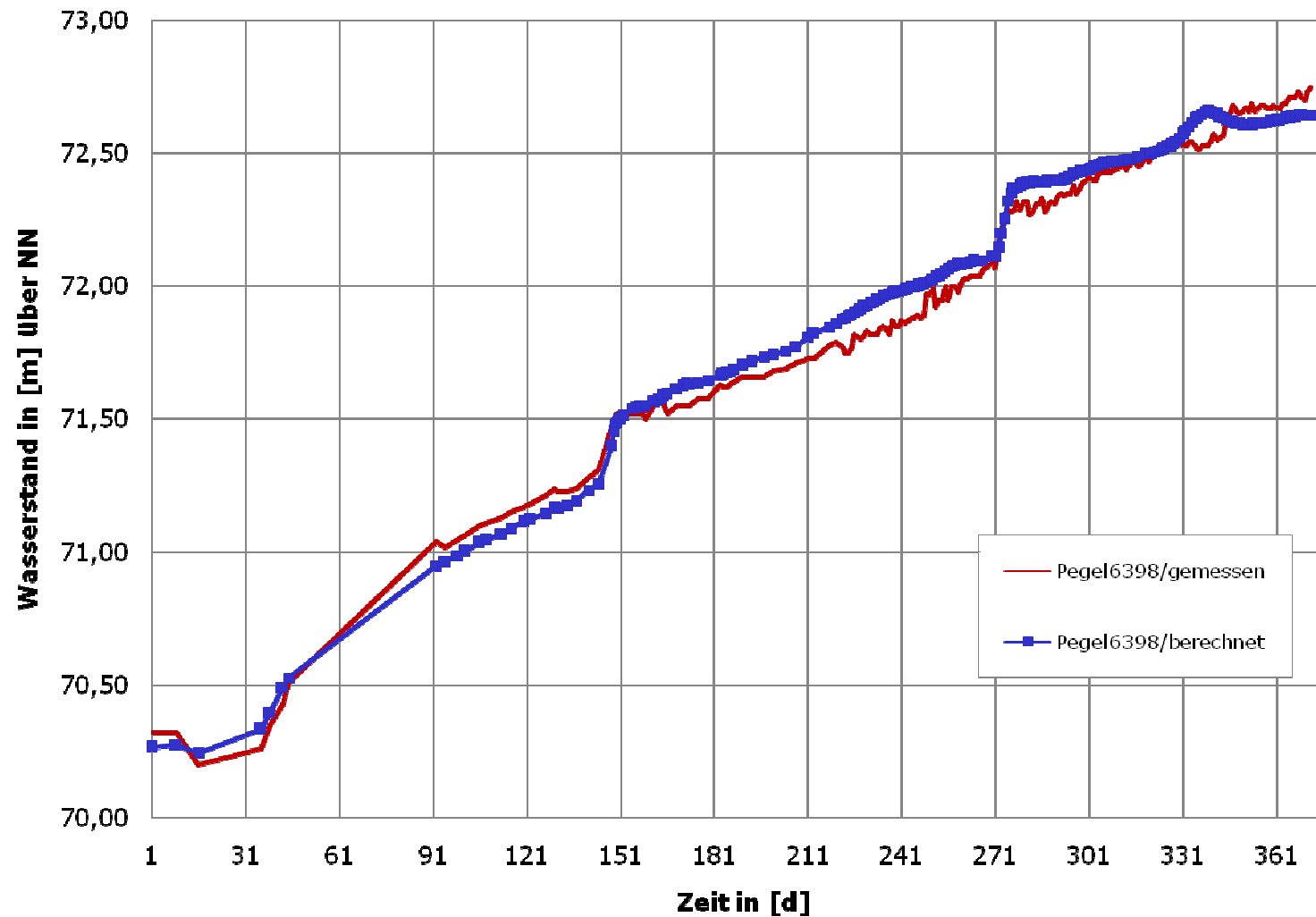
Luftseitiger Ausschnitt aus dem Dammkörper - Sättigung



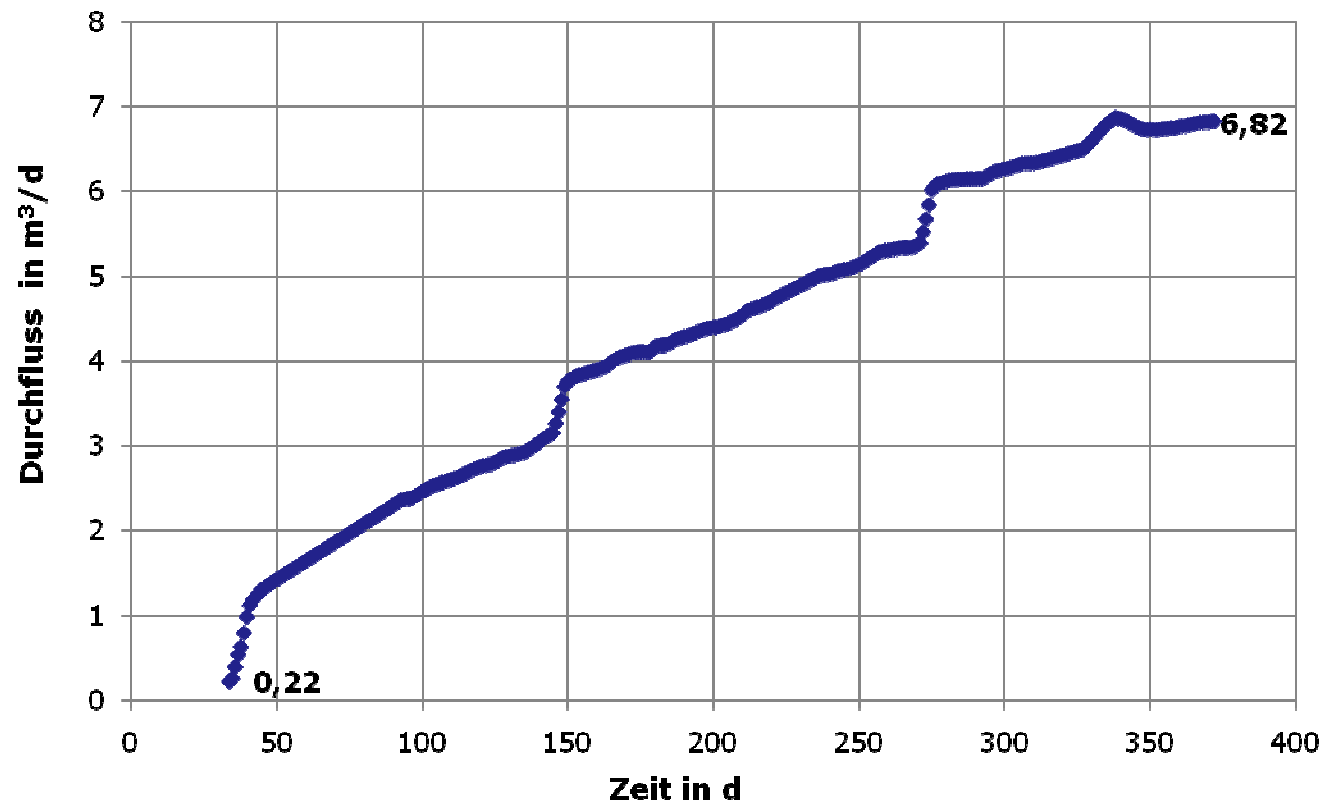


Auswirkung der Materialparameter (links liegt ein feineres Material vor) auf den Wassergehalt im Dammkörper

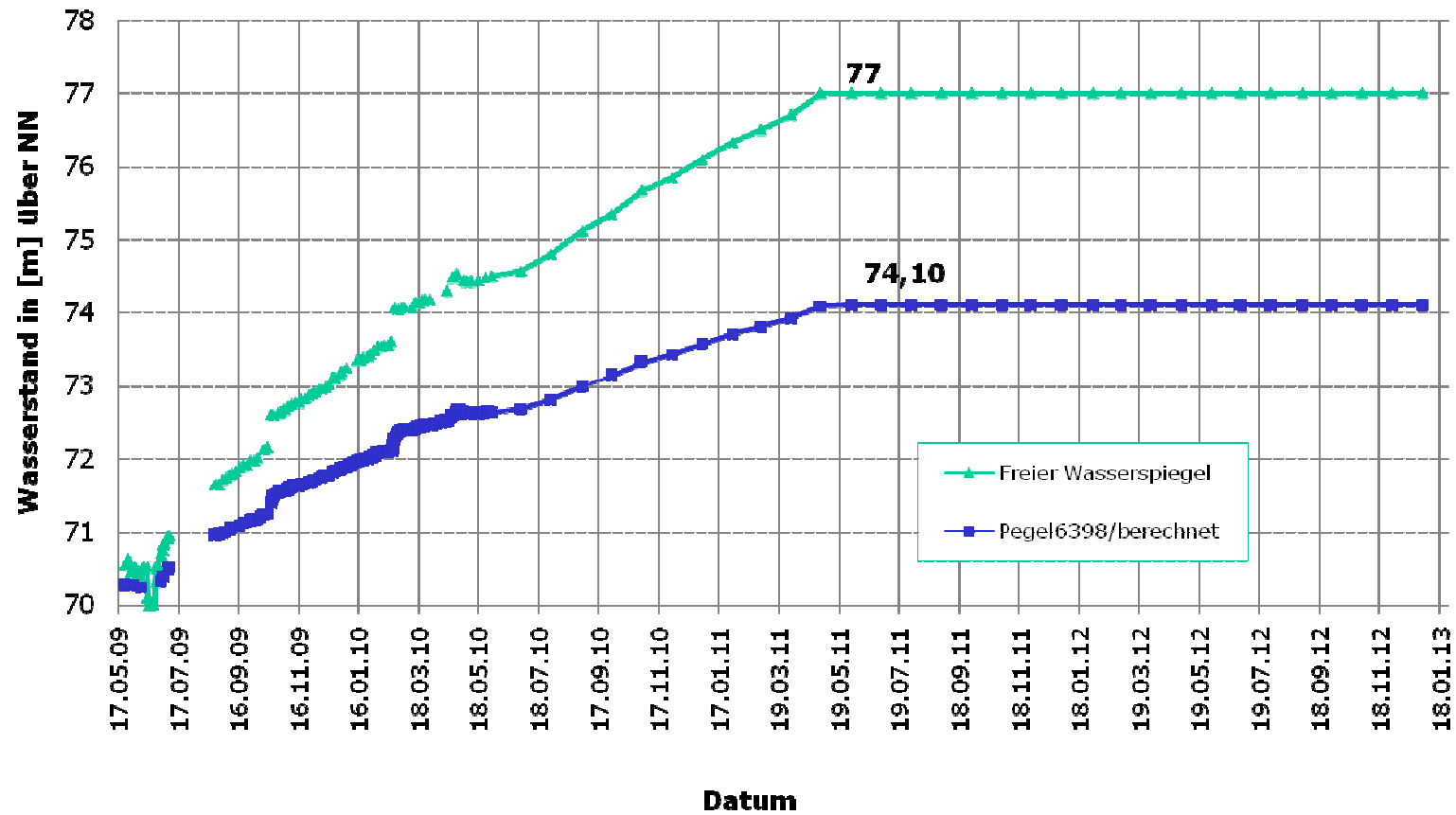
Vergleich der gemessenen Werten mit den mittels PCSiWaPro berechneten Werten

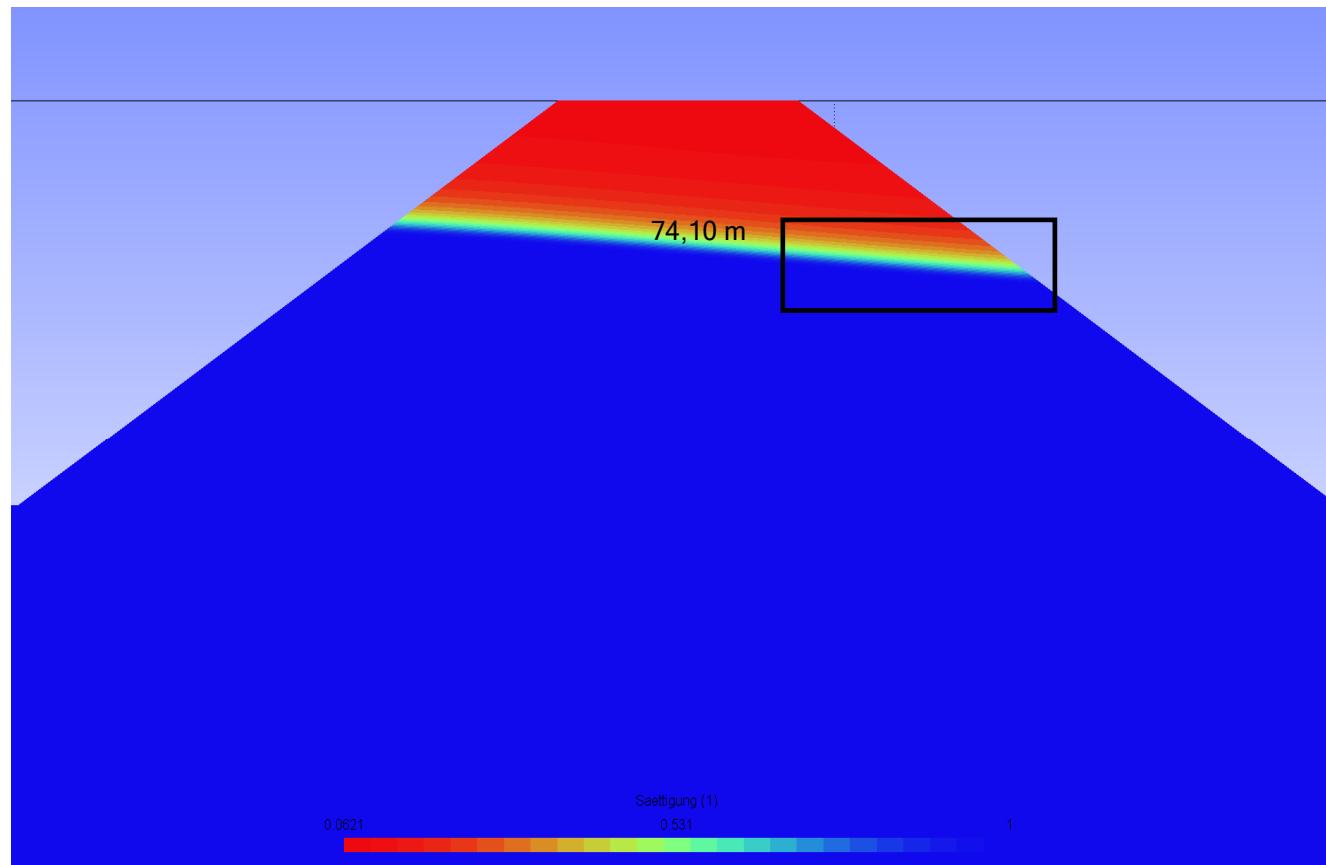


Durchfluss aus der Luftseite



Prognose des Wasserstands am 31.12.2012





- Die Übereinstimmung zwischen gemessenen Werten und mittels des Simulationsprogramms PCSiWaPro® berechneten Werten ist als sehr gut zu bewerten. Die zu verzeichnenden Abweichungen sind vor allem aus Unsicherheiten der verwendeten Bodenparameter zurückzuführen.
- Die Simulationsergebnisse zeigten bei dem physikalischen Dammmodell, dass bereits bei hoher Teilsättigung an der Luftseite Durchflussraten auftreten können und damit die Standfestigkeit des Deiches beeinträchtigt wird und es zu Rutschungen durch Aufschwimmen des Bodenmaterials (Auftrieb) und der damit verbundenen Verringerung des Auflagedrucks kommen kann.
- Ein kontinuierliches Monitoring des Wassergehalts in Dämmen und Deichen ist für deren Stabilität vor allem bei Hochwasserereignissen ein guter Indikator.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



»Wissen schafft Brücken.«