



# Modeling of Flow Processes in Porous Media for Predicting the Water Content Distribution in Earth Dams using the Simulation Program PCSiWaPro

1. Only consideration of full saturated area
2. An approximated progress of seepage line
3. No information outside the saturated area
4. No information about lift/unloading at the air-face of the dam
5. No geo-mechanical computations, depending on saturations grad, are possible

- ✓ An exact computation of seepage line in dams
- ✓ Consideration of atmospheric boundary conditions
- ✓ Integrated weather generator for any time series with high resolution
- ✓ Flexible selection of boundary conditions
- ✓ Interface to GeoDin-databank
- ✓ Consideration of hysteresis processes in the unsaturated area

# Introduction

---

- Earth dams as flooding protection systems
- Construction, materials and water content are very important for stability of the dam
- Simulation is necessary, especially for reconstruction and Predicting the Water Content Distribution of earth dams
- Computation of seepage line
- Computation of water flux from the dam (air-side face)



- Richard's equation -> flow and water content

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

$\theta$	volumetric water content
$t$	time
$x_i$	$(x_1=x, x_2=z)$ , spatial coordinates
$K$	hydraulic conductivity
$h$	pressure head
$S$	sink/source term

- Parameterization of the soil properties according to van Genuchten-Luckner approach (retention curve)

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

$\phi$	porosity
$\theta_{r,w}$	residual water content
$\theta_{r,l}$	residual air content
$\alpha$	scaling factor (van Genuchten)
$n$	slope factor (van Genuchten)
$h_c$	capillary pressure head

- Case description (units, modeling options,...)
- Print time
- Materials parameters
- Time-variable boundary conditions
- Mesh generation
- Simulation

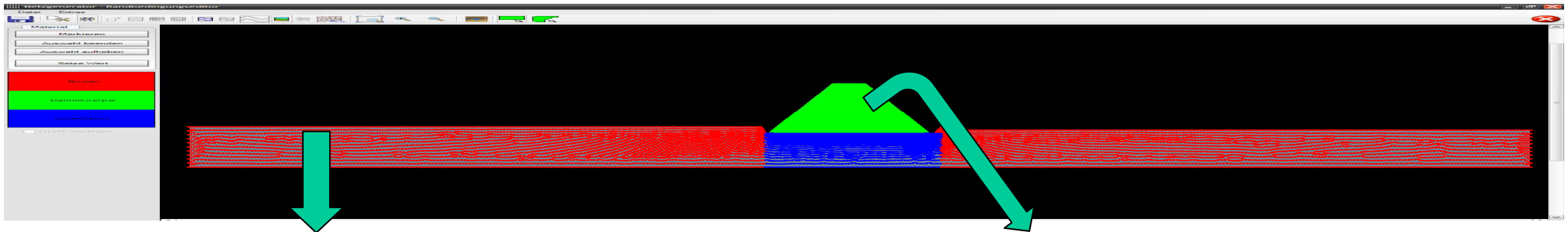
# Material parameters

Parameters	Dam embankment	Compressed field under the dam	Soil
$k_f$ -Value [m/s]	$10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$10^{-3}$
Porosity $\phi$	0,39	0,4	0,35
vGP $\alpha$ [1/m]	5,0	4,0	6,0
vGP n	2,0	1,8	2,6
m	0,5	0,44	0,62
Residual water content $\theta$	0,03	0,05	0,01





# Material parameters



Materialparameter

Schichtansprache (DIN 4022): Boden    Bodenart (DIN 4220):    Schadstoff: nicht festgelegt

Hydraulik

Bodenhydraulische Parameter

Porosität  $\phi$  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  $\alpha^d$  6.000 1/m    Anstiegsparameter  $n$  2.6    Parameter  $\lambda$  0.5

Imbibition  $\alpha^i$  6.000 1/m    Parameter  $m$  0.55

Schätzfunktionen

Parameter nach DIN4220    Pedotransferfunktionen    Bodendatenbank

Wassergehalt vs. Kapillardruckhöhe [m] graph

Relative Permeabilität vs. Wassergehalt graph

Materialparameter

Schichtansprache (DIN 4022): Dammkörper    Bodenart (DIN 4220):    Schadstoff: nicht festgelegt

Hydraulik

Bodenhydraulische Parameter

Porosität  $\phi$  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  $\alpha^d$  5.000 1/m    Anstiegsparameter  $n$  2    Parameter  $\lambda$  0.5

Imbibition  $\alpha^i$  5.000 1/m    Parameter  $m$  0.55

Schätzfunktionen

Parameter nach DIN4220    Pedotransferfunktionen    Bodendatenbank

Wassergehalt vs. Kapillardruckhöhe [m] graph

Relative Permeabilität vs. Wassergehalt graph



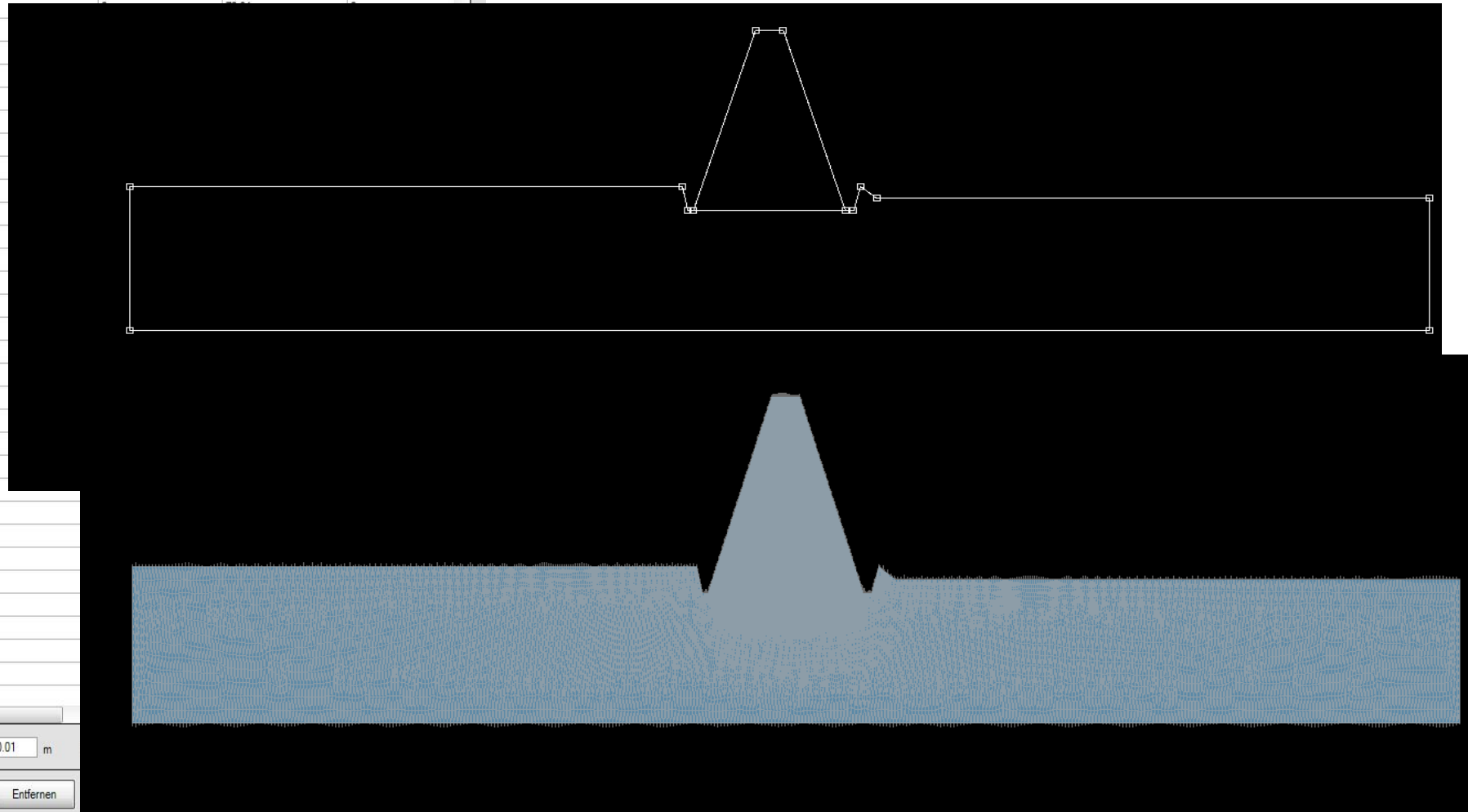
Time-variable boundary conditions

Mesh data

Zeitabhängige Randbedingungen

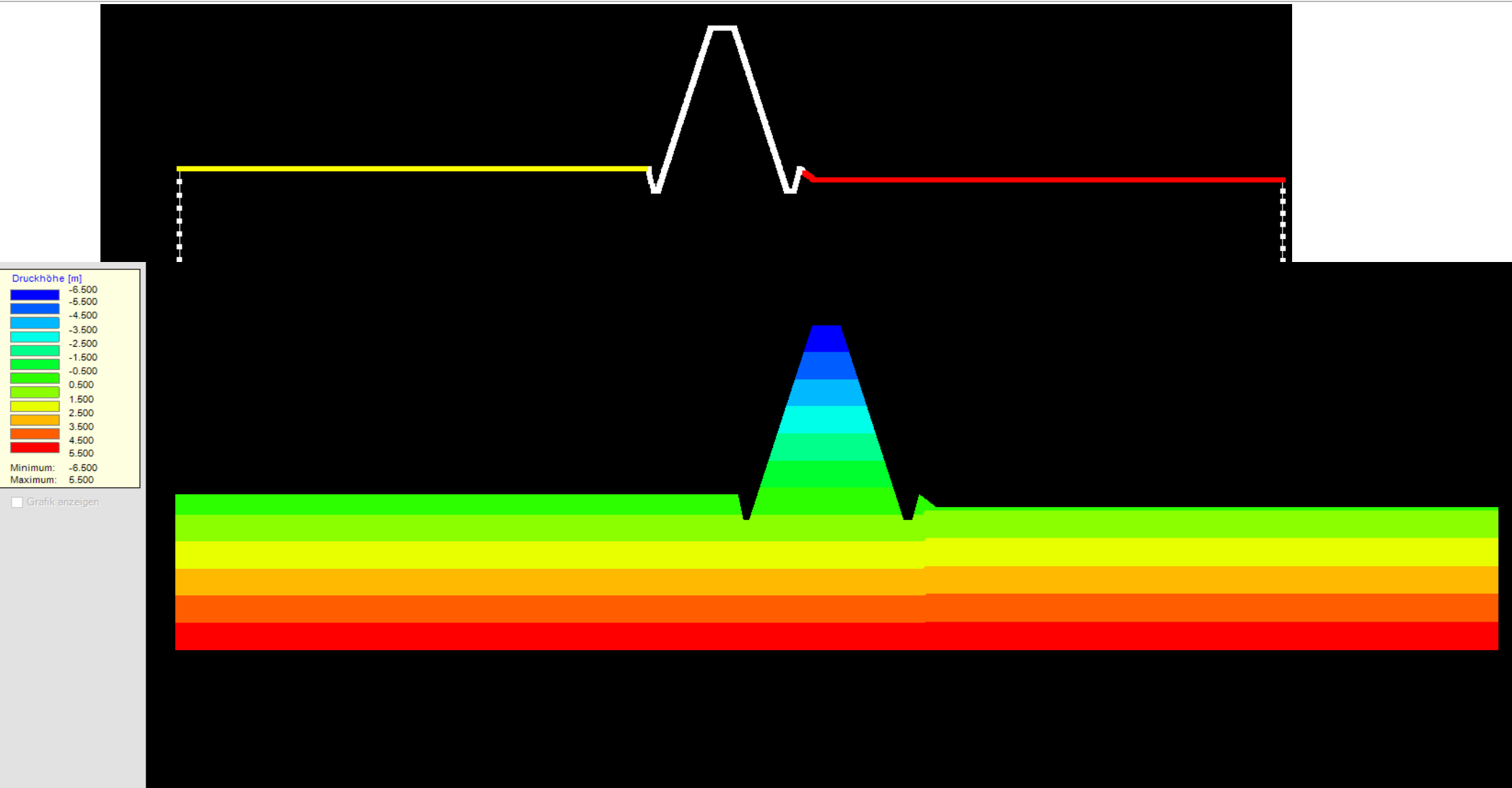
Zeit [d]	Niederschlagsmenge [m/d]	Pot. Evaporation [m/d]	Pot. Transpiration [m/d]	Grundwasserspiegel [m]	Dränagemenge [m/d]
155	0	0	0	72.62	0
158	0	0			
162	0	0			
165	0	0			
169	0	0			
173	0	0			
177	0	0			
179	0	0			
183	0	0			
186	0	0			
190	0	0			
193	0	0			
197	0	0			
200	0	0			
204	0	0			
207	0	0			
211	0	0			
213	0	0			
218	0	0			
220	0	0			
225	0	0			
235	0	0			
239	0	0			
242	0	0			
246	0	0			
249	0	0			
253	0	0			
256	0	0			
260	0	0			
263	0	0			
267	0	0			
270	0	0			

Maximal erlaubte Druckhöhe an Oberfläche: 0.01 m



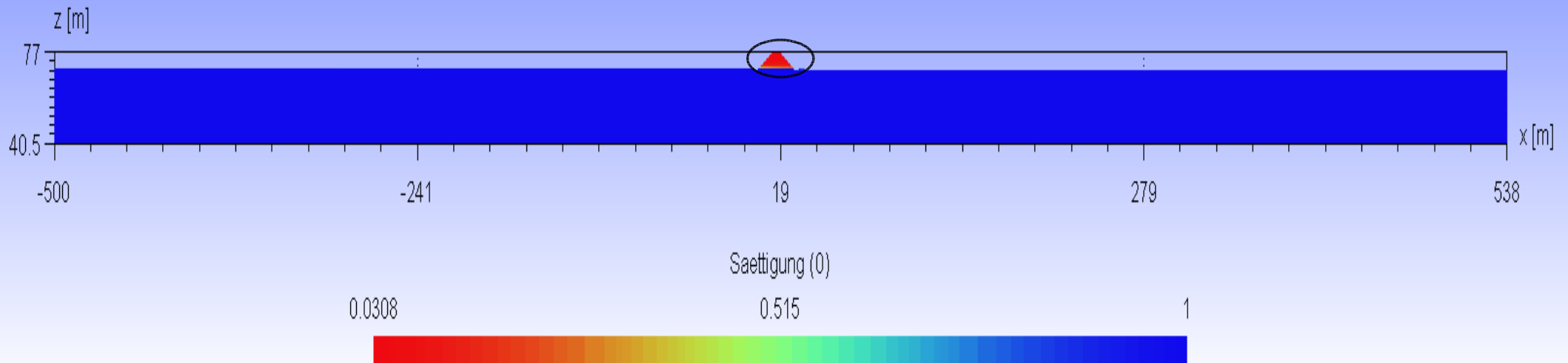


# Boundary conditions and initial pressure heads



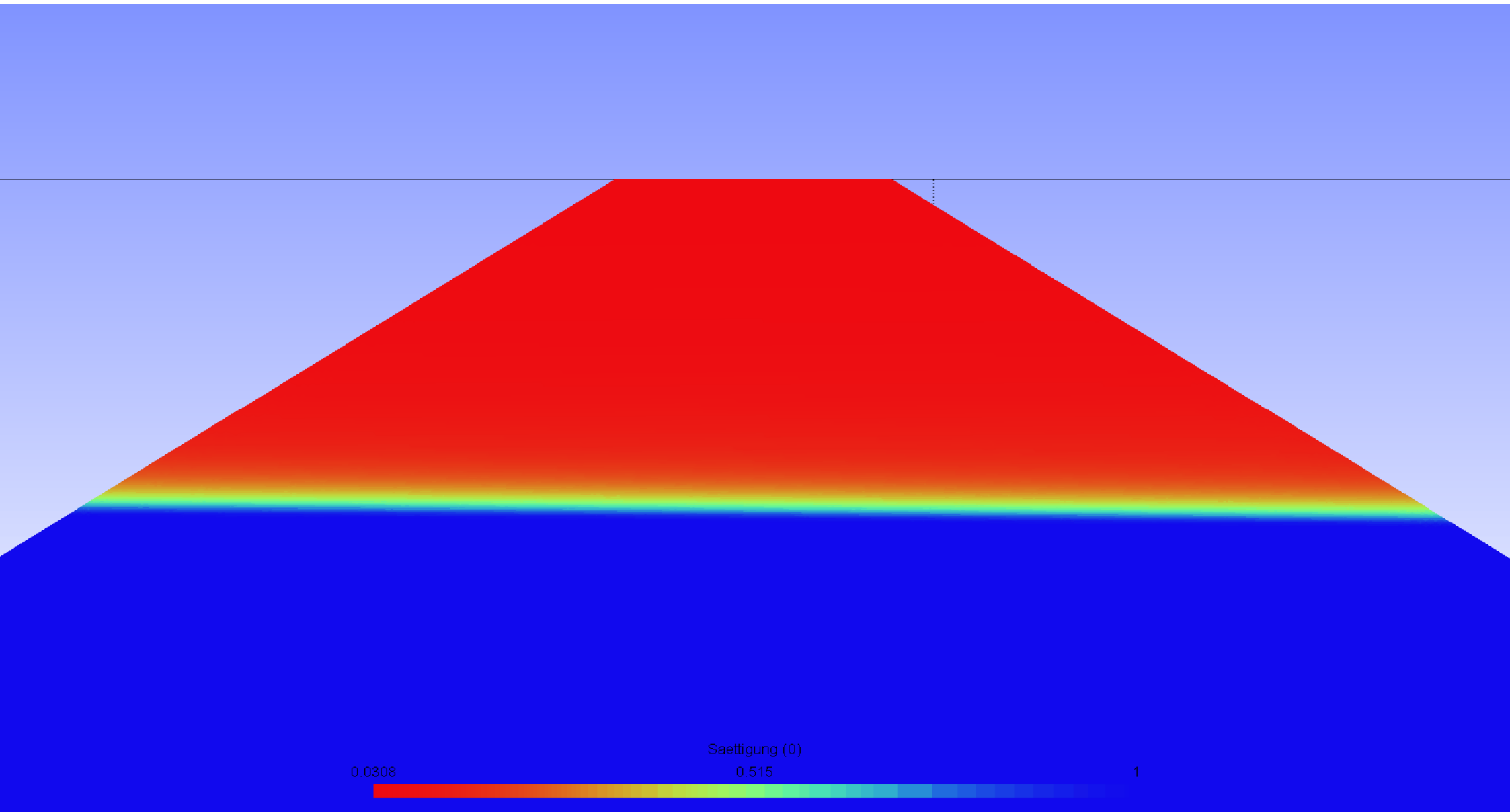


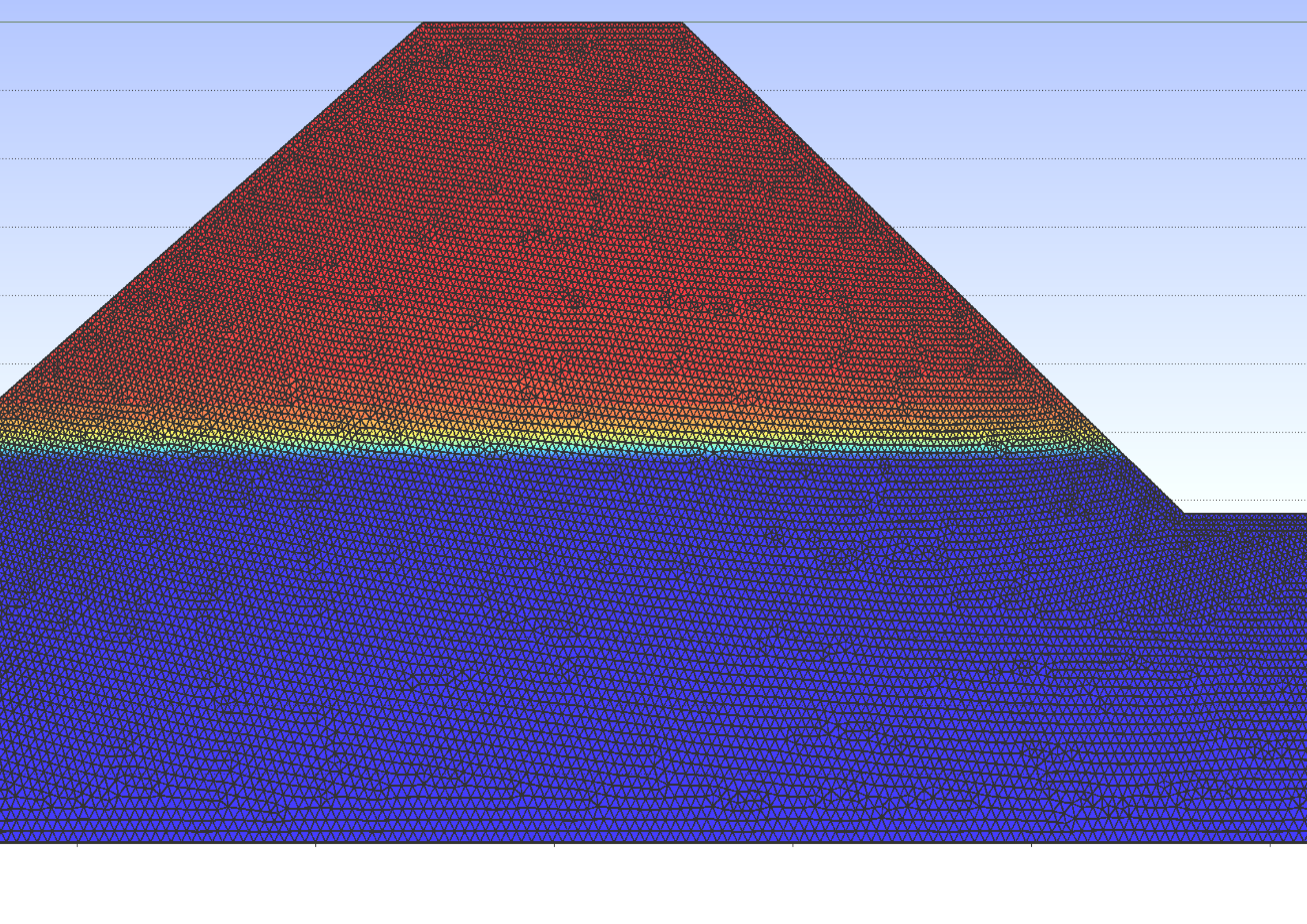
# Simulation results



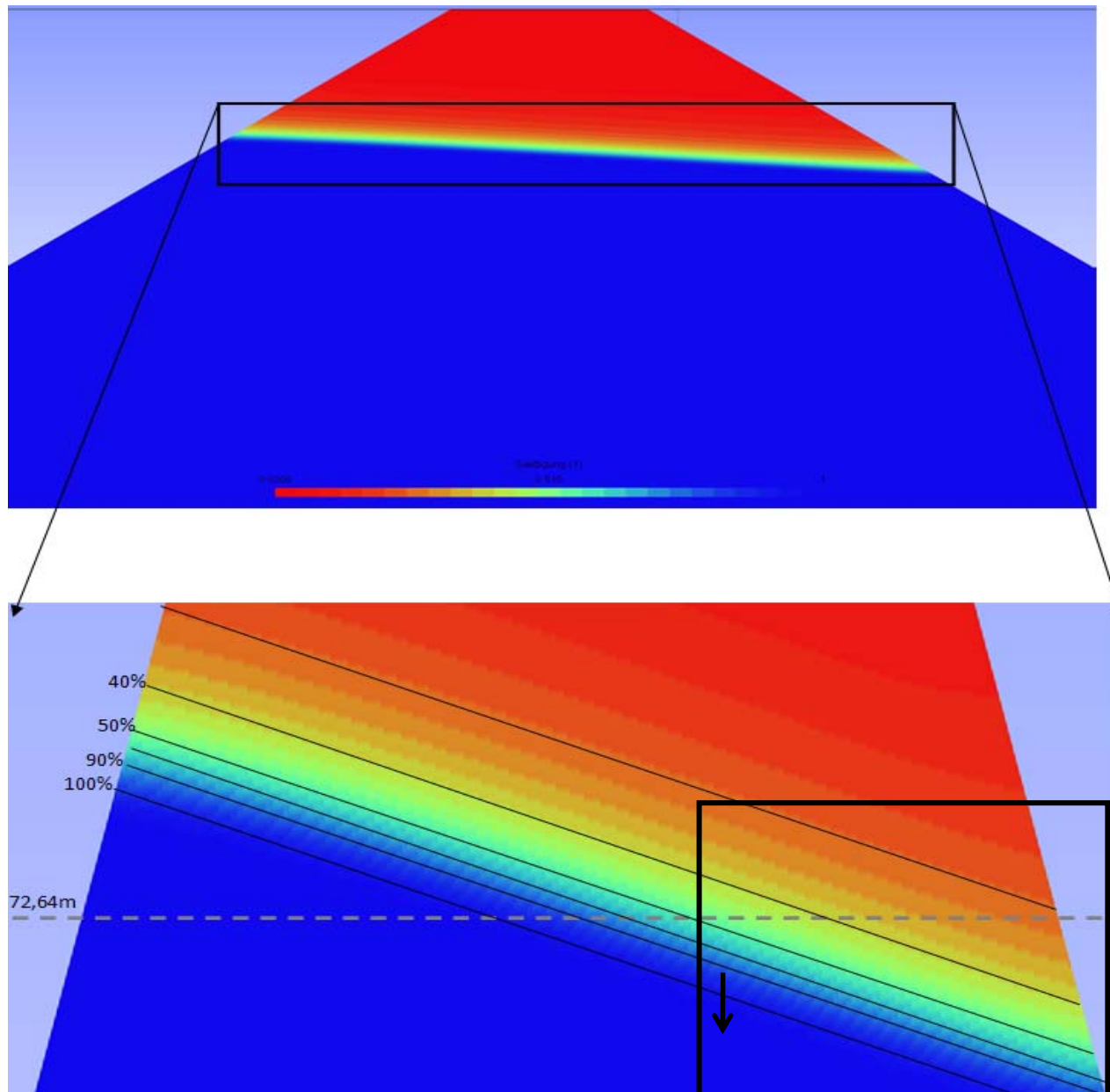
# Simulation results

(Change of water content distribution with time)

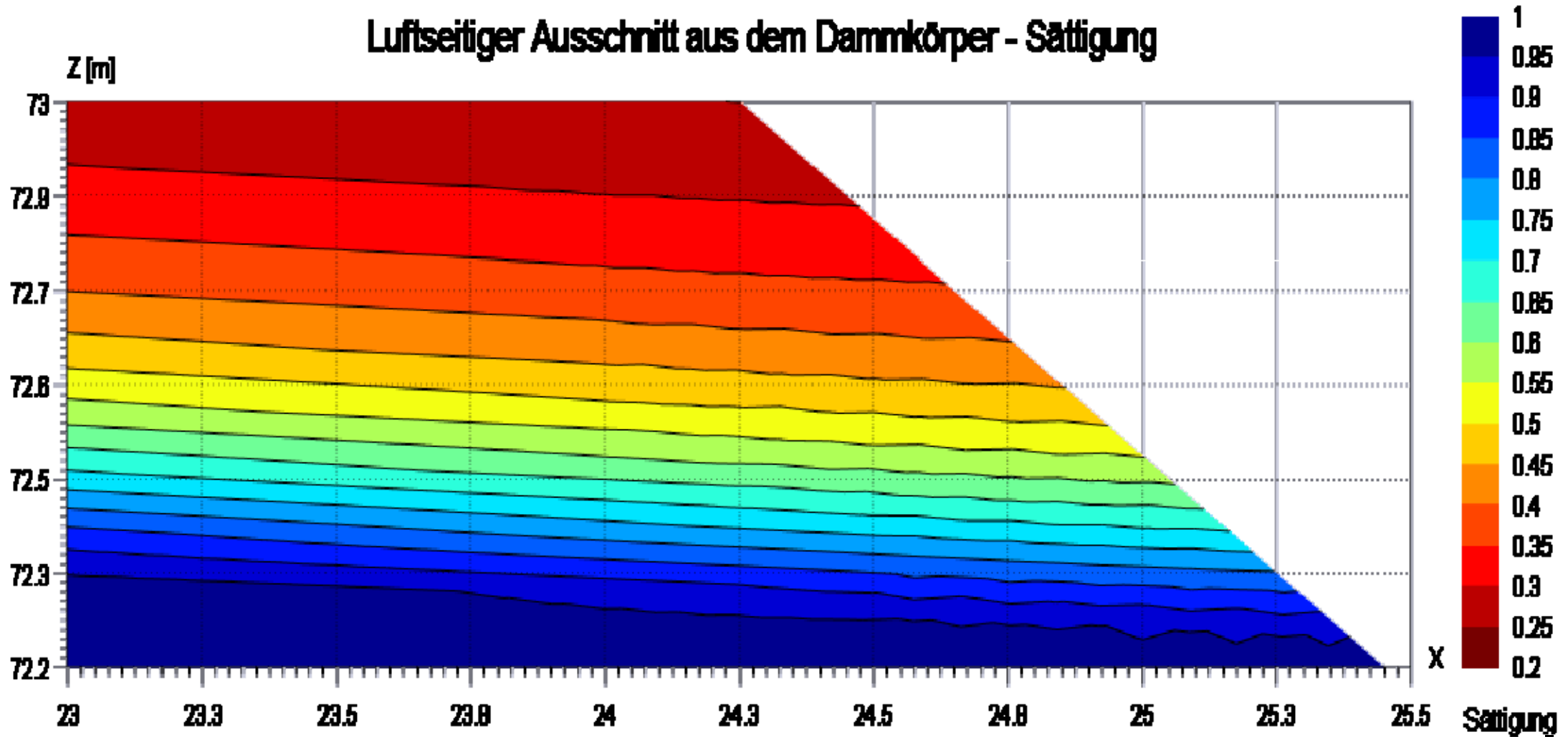




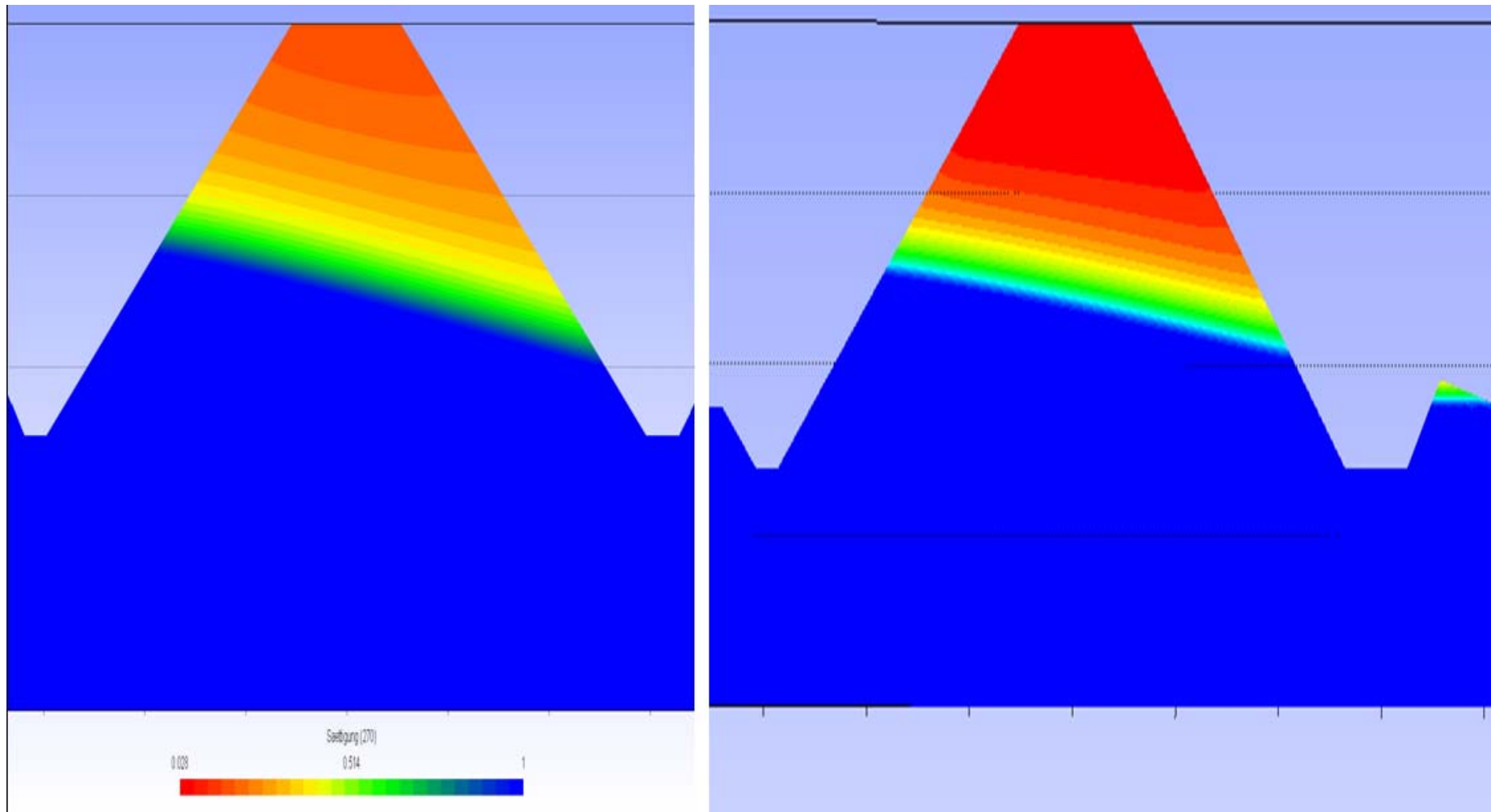
## Water saturation on 31.05.10



## Luftseitiger Ausschnitt aus dem Dammkörper - Sättigung

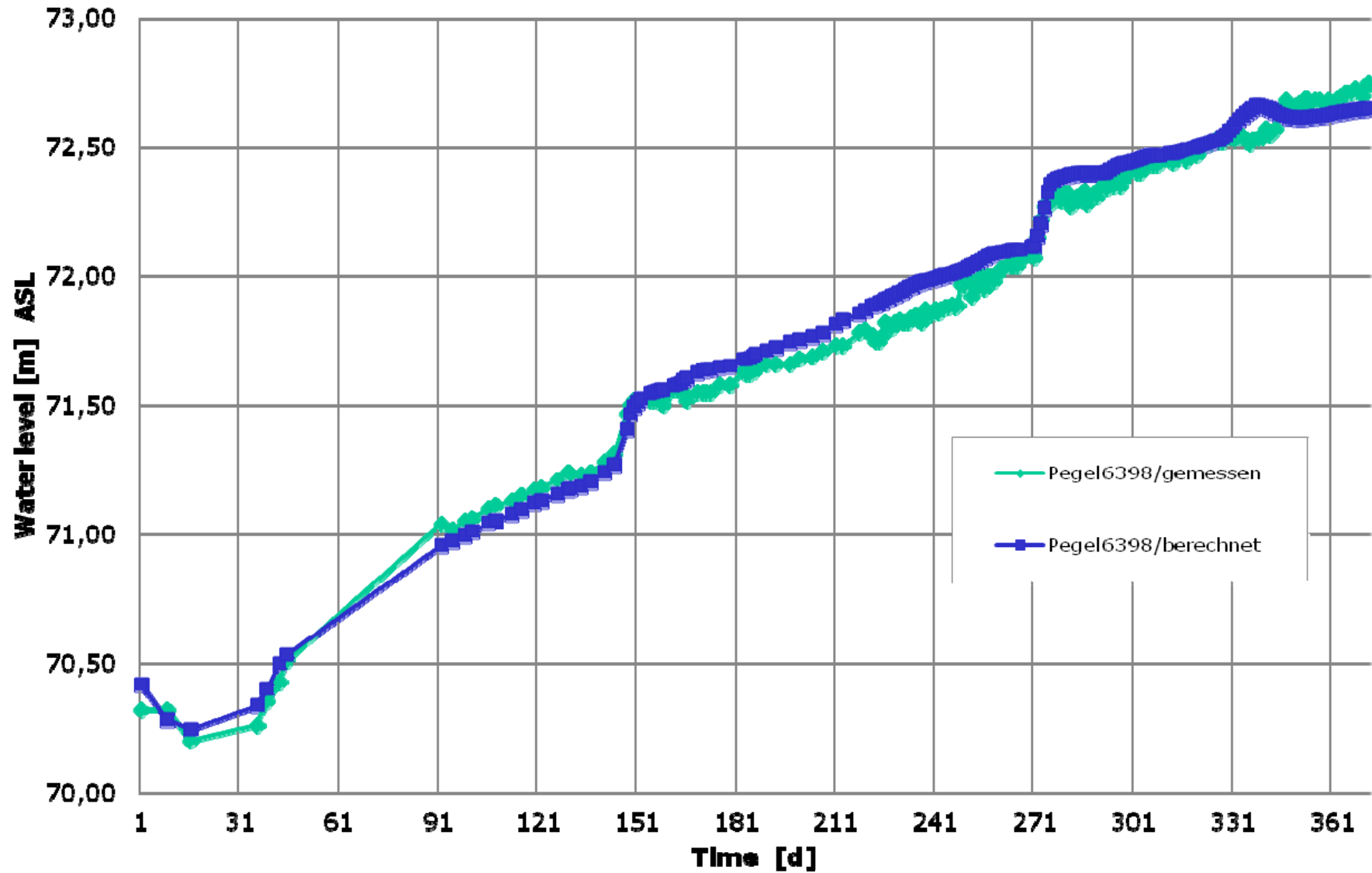




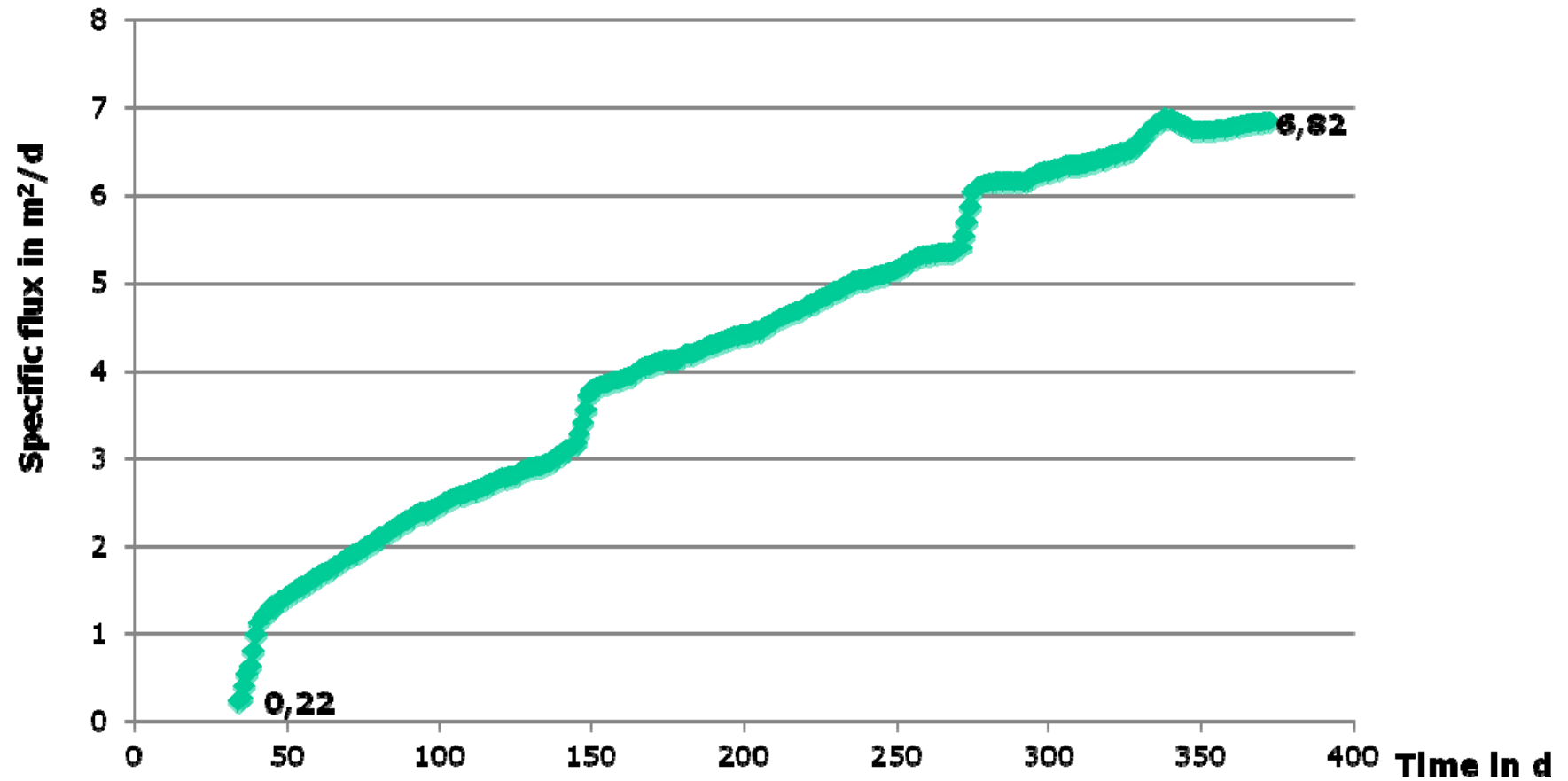


left:  $\alpha = 2,5 \text{ 1/m}$ ; Right:  $\alpha = 5 \text{ 1/m}$  und  $n = 2$

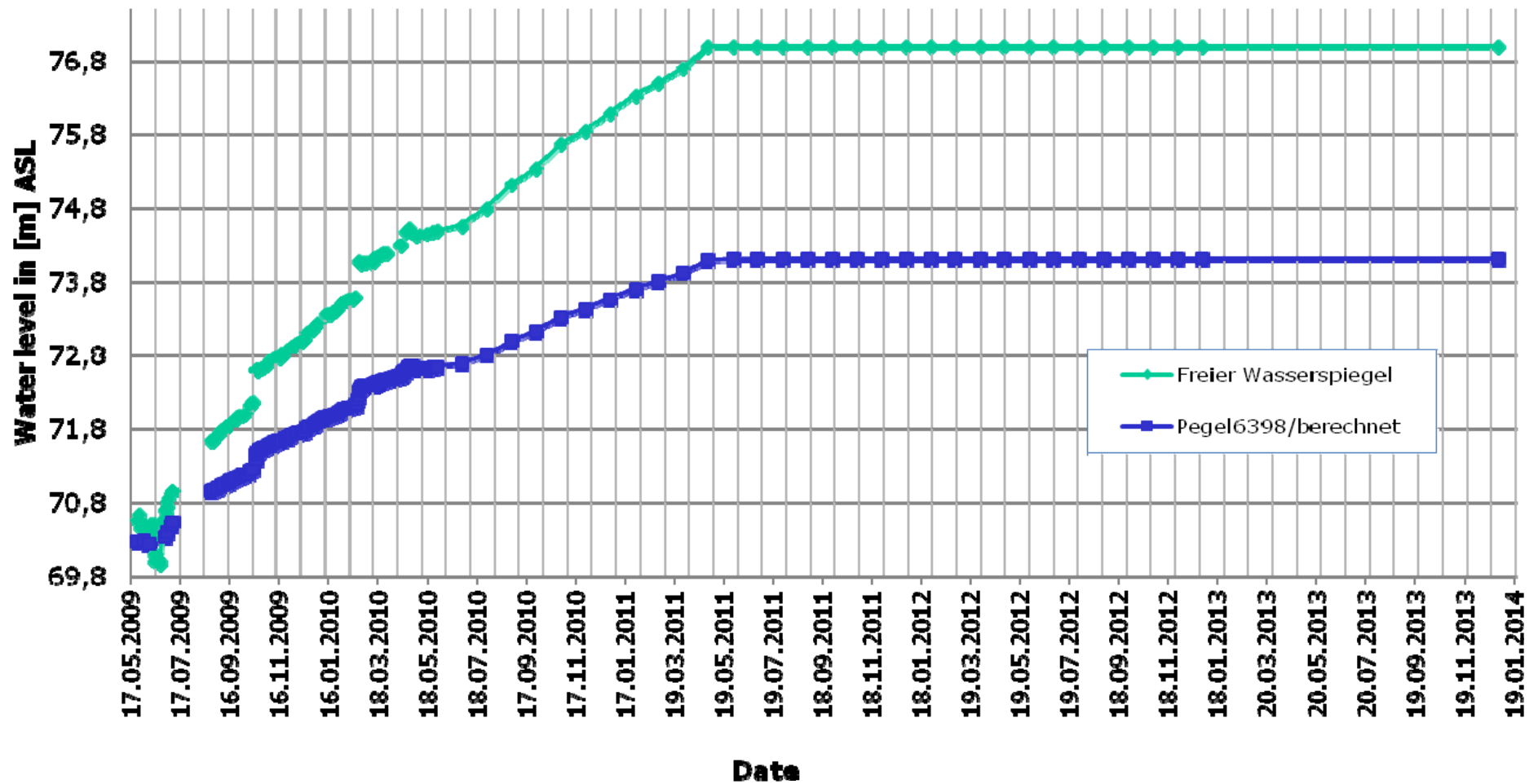
Beschreibung Geometrie/ Materialparameter	Zweck	Sensivität bzgl. Abweichung zwischen gemessenen und berechneten Werten
100 m NW, 50 m SO und 5,5 m Tiefe; und der Pegel 6398 bzw. der Beobachtungspunkt liegt im Mitte des Damms ( $x_{\text{Pegel6398}} = 15,75 \text{ m}$ )	Auswirkung der Koordinaten des Beobachtungspunktes bzw. die Position vom Pegel 6398 auf die berechneten Werte	<b>Groß (4,35 cm)</b>
100 m NW, 50 m SO und 5,5 m Tiefe; und der Pegel 6398 bzw. der Beobachtungspunkt liegt im Mitte des Damms ( $x_{\text{Pegel6398}} = 14,75 \text{ m}$ )		
100 m NW, 50 m SO und 5,5 m Tiefe Van Genuchten Parameter für das Dammkörper: $\alpha = 5$ und $n = 2$	Ermittlung der Sensitivität der Materialparameter auf die Sättigungsgrad im Dammkörper	<b>Groß bzgl. Sättigungsgrad, aber vernachlässig bzgl Wasserstand im Pegel</b>
100 m NW, 50 m SO und 5,5 m Tiefe Van Genuchten Parameter für das Dammkörper: $\alpha = 2,5$ und $n = 1,7$		
100 m NW, 50 m SO und 5,5 m Tiefe	Ermittlung der Auswirkung der Geometrie auf die berechneten Werte	Auf der Wasserseite und unter dem Damm: <b>klein</b> Auf der Luftseite des Damms: <b>groß</b>
200 m NW, 200 m SO und 30 m Tiefe		
500 m NW, 500 m SO und 30 m Tiefe		
K <sub>f</sub> -Wert für Dammkörper $10^{-5} \text{ m/s}$	Einfluss der Durchlässigkeit im Dammkörper und unter dem Damm auf die berechneten Wasserstände im Pegel	<b>Groß(4,30)</b>
K <sub>f</sub> -Wert für Dammkörper $10^{-4} \text{ m/s}$		
K <sub>f</sub> -Wert für den Bereich unter dem Damm $10^{-4} \text{ m/s}$		
K <sub>f</sub> -Wert für den Bereich unter dem Damm $2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$		
K <sub>f</sub> -Wert für den Bereich unter dem Damm $10^{-5} \text{ m/s}$		
Der verdichtete Bereich unter dem Damm : 3 m NW, 8,5 m SO und 30 m Tiefe	Auswirkung der Ausdehnung des verdichteten Bereiches unter dem Damm	<b>Sehr groß (10,87 cm)</b>
Der verdichtete Bereich unter dem Damm : 5 m NW, 8,5 m SO und 30 m Tiefe		
Der verdichtete Bereich unter dem Damm : 2m NW, 8,5m SO und 30 m Tiefe		
Keine Ablagerungsschicht auf der NW-Seite	Einfluss der Ablagerungsschicht auf der nordwestlichen Seite des Damms	<b>Groß (3,70 cm)</b>
Ab 50 m NW besteht eine Ablagerungsschicht		
Randbedingungen: Für die NW-Seite RB1.Art(+8), Für die SO-Seite RB1.Art(+7)	Ermittlung des Unterschieds ob es Abstrom ab $t=0$ zugelassen wird, oder erst wenn der SO-Bereich vollgesättigt ist	<b>Sehr groß (8,70 cm)</b>
Randbedingungen: Für die NW-Seite RB1.Art(+8), Für die SO-Seite RB2.Art(-2)		



# Specific flux from the air side face of the dam

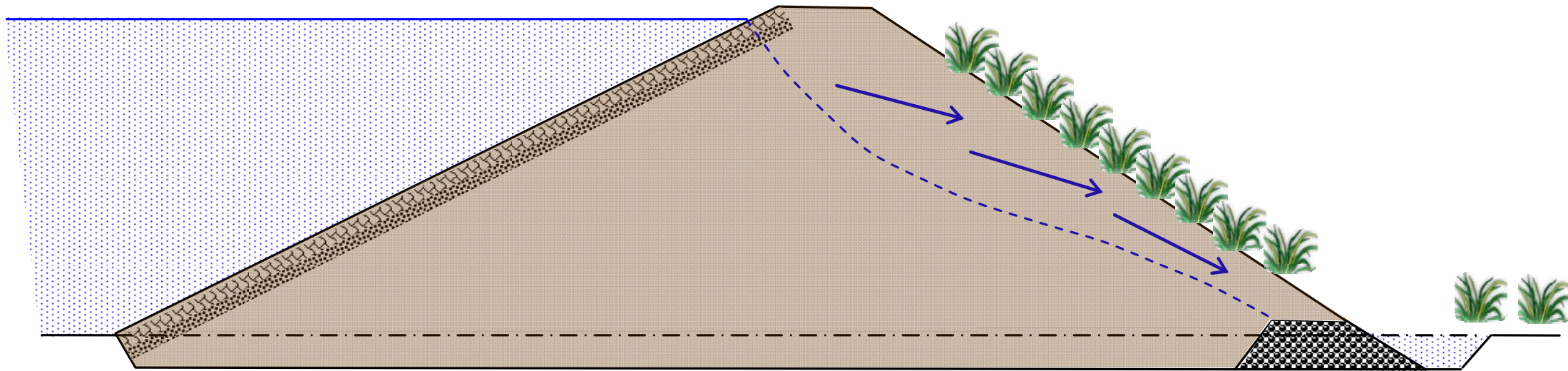


## Prediction of Water level till 31.12.2013



## Water Content at a Flooding

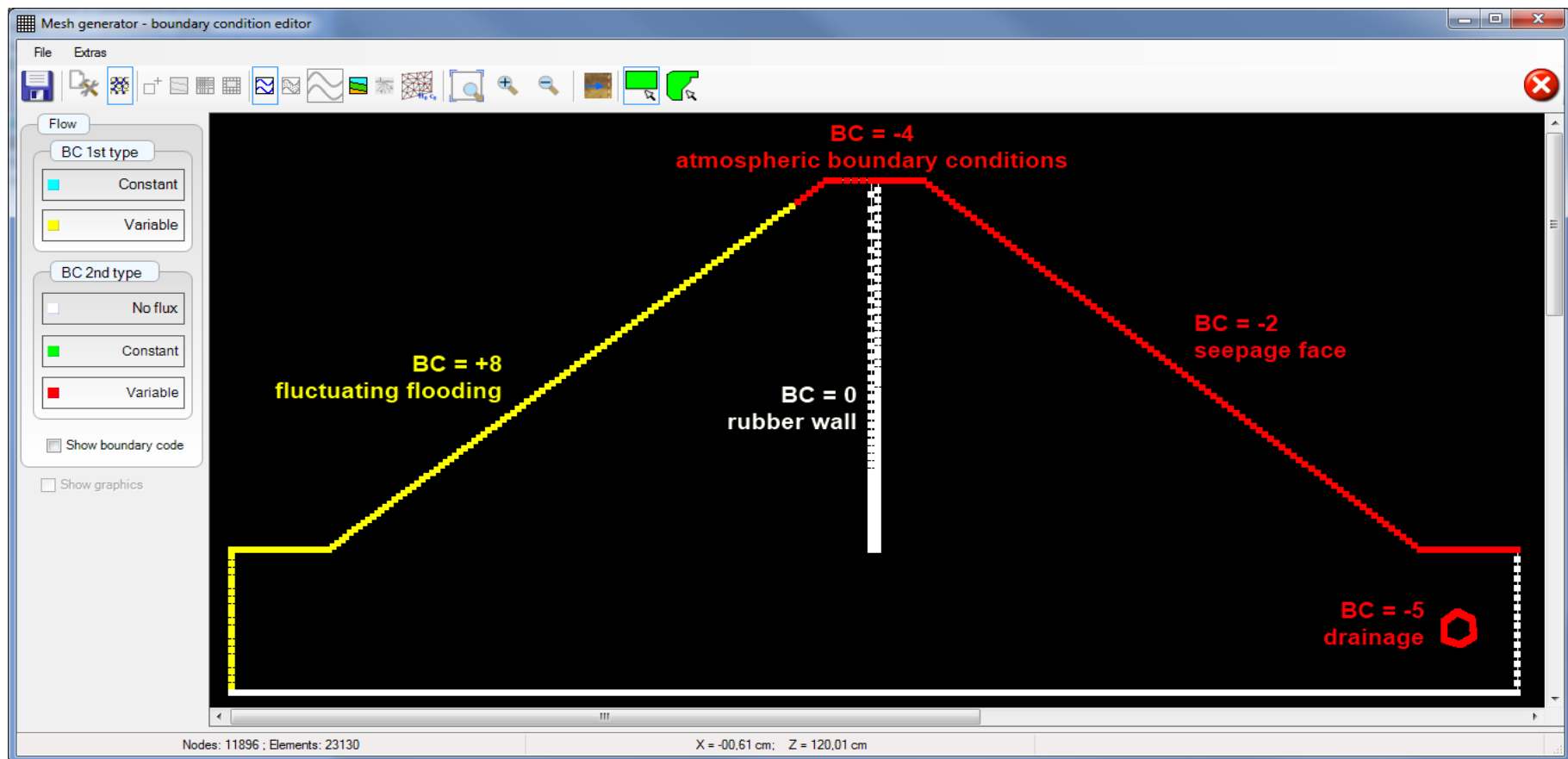
→ How fast the unsaturated region will be saturated until slumping occurs (instability)?



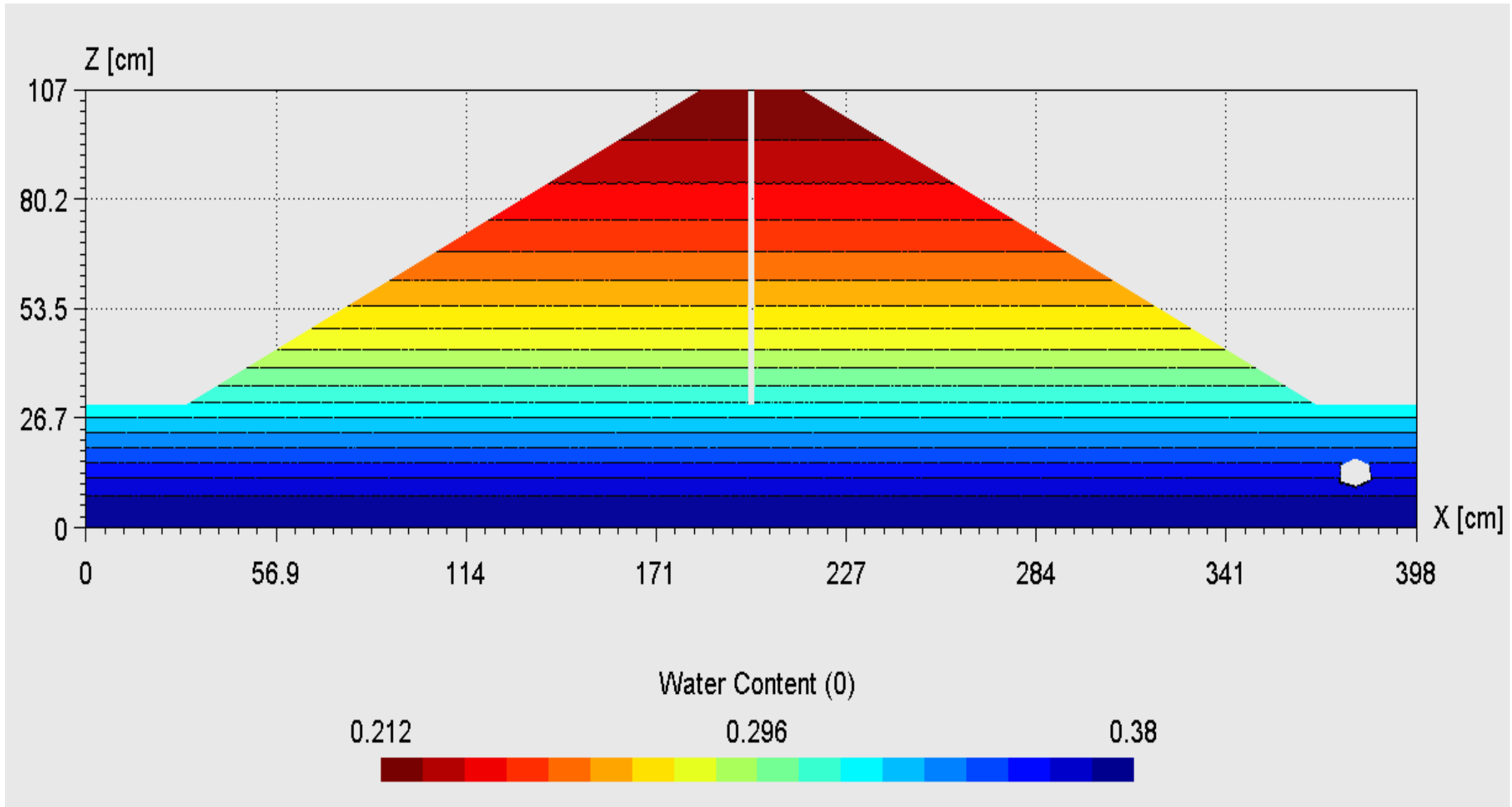
Approach: Calculation of the seepage line (free water table)

## Model setup – boundary conditions

- Transient flooding level, rainfall
- Analysis of function of rubber wall and drainage

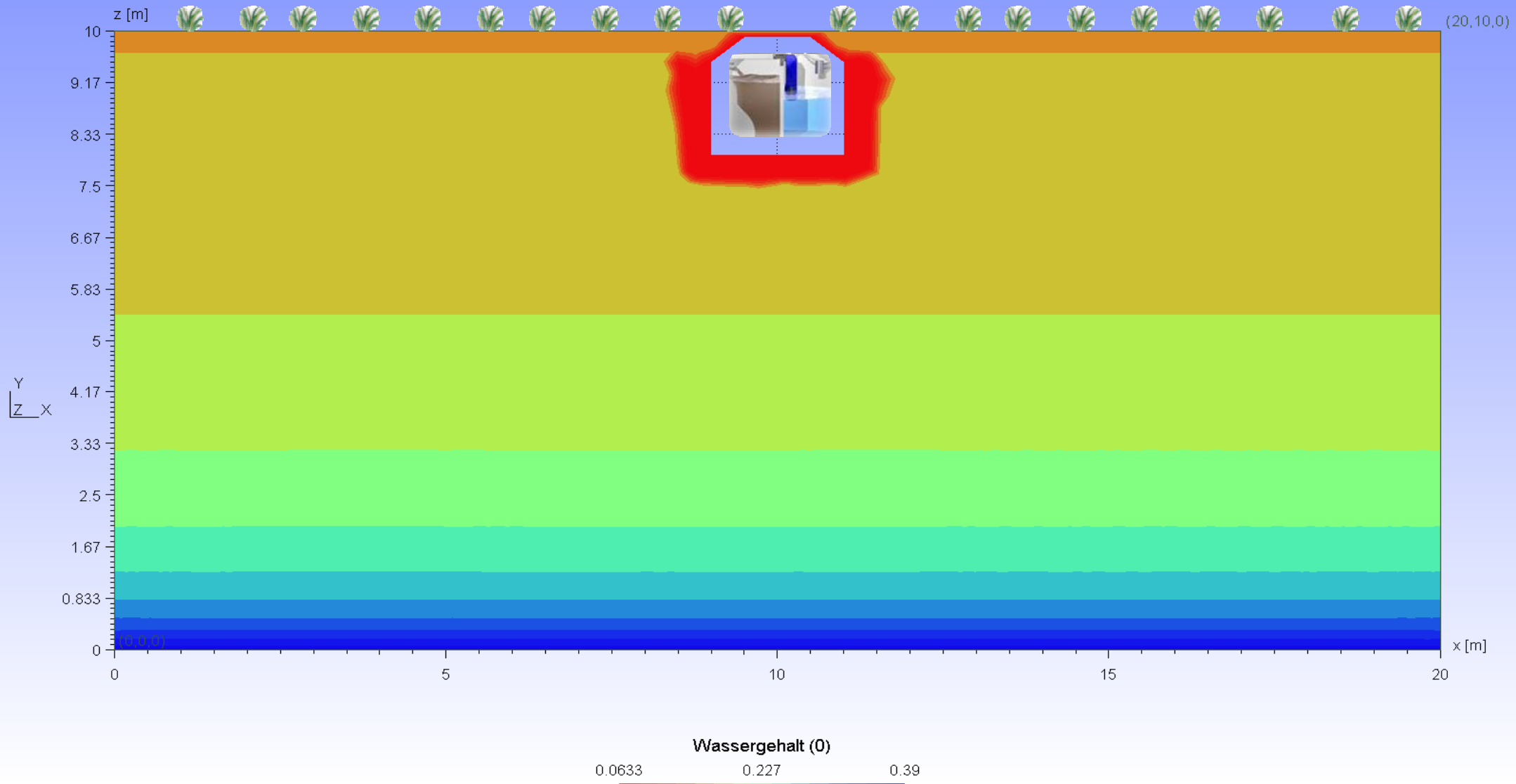


- Change of water content distribution with time





- The agreement between measured and computed values was very good;
- The deviation is credited to the uncertainties of materials parameters;
- **Seepage line** (by reference to PCSiWaPro) is the border between saturated and unsaturated material in a dam;
- The computation of various variants indicates clearly the sensitivity of the Model parameters (geometry, Material parameters und geohydraulic boundary conditions).



**Thank you for your Attention!**