

Salzgestein

Salzgestein weist neben den zeitunabhängigen elastischen und plastischen auch zeitabhängige, sog. viskose Eigenschaften auf. Salz verformt sich bei gleichbleibenden Spannungen über die Zeit, es kriecht und Salz enzieht sich bei vorgegebener Verformung den Spannungen; das nennt man Relaxation. Zur Erfassung dieser Eigenschaften bietet sich die Modellrheologie an.

Rheologische Modelle

Das Poynting-Thomson Modell beschreibt das visko-elastische Verhalten von Salzgestein: das sogenannte stationäre Kriechen, das einem Endwert ε_{gr} entgegenseht der erreicht ist wenn die eine Feder E_E vollständig gedehnt ist und die Relaxation. Die Spannungen gehen bei der Relaxation nicht vollständig zurück - es verbleiben Restspannungen σ_{gr} , verursacht durch die verbleibende Dehnung in der Feder E_E .

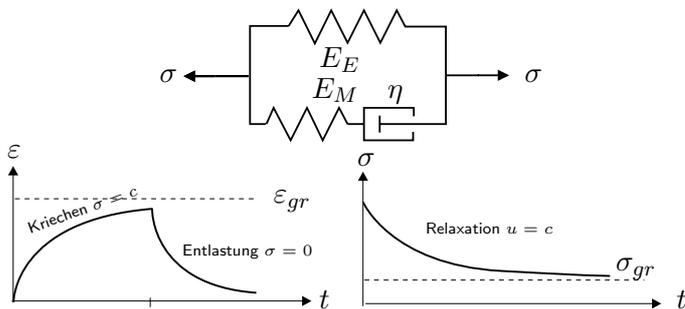


Abb. 1: Poynting-Thomson Modell und visko-elastisches Materialverhalten

Das modifiziert Bingham Modell ist in der Lage die rein elastische wie auch die visko-plastische Verformung von Salzgestein zu beschreiben. Nach Erreichen einer bestimmten Fließspannung, treten plastische Verformungen auf, die je nach Verfestigungsparameter ξ einem Grenzwert entgegenstreben oder zum Kriechbruch führen.

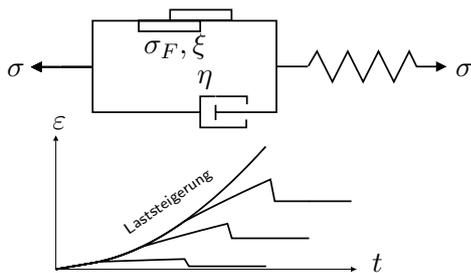


Abb. 2: Modifiziertes Bingham Modell und visko-plastisches Materialverhalten

Stoffgesetz und Tangentenmodul

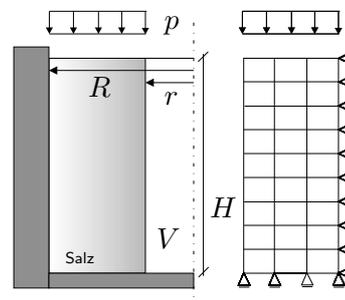
Bei dem Poynting-Thomson Modell lässt sich der Spannungstensor \mathbf{S} zu beliebigen Zeitpunkten t_n direkt angeben. Die Ermittlung des Verzerrungszustandes vom modifizierten Bingham Modell erfolgt durch das Prädiktor-Korrektor Verfahren. Liegt ein elastischer Verzerrungszustand vor lässt sich auch in diesem Fall der Spannungstensor direkt angeben; im Falle des plastischen Verzerrungszustandes wird eine Newton-Iteration hinzugezogen. Der Drucker-Prager Fließkegel beschreibt dabei die Fließspannung und die Verfestigung des Salzgesteins.

Der Spannungs-Dehnungs-Zusammenhang schließlich wird beschrieben durch die Materialtangente

$$\mathbf{C} = \frac{d\mathbf{S}}{d\mathbf{E}}$$

Numerische Berechnung eines Hohlzylinders

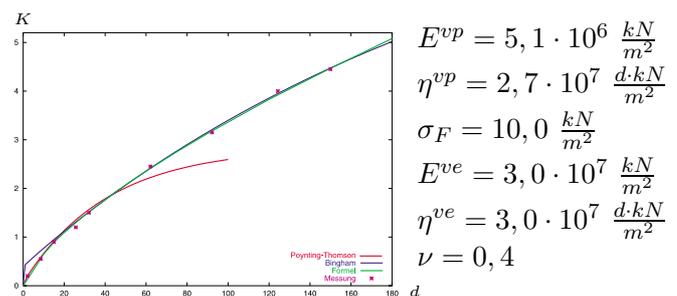
Am Beispiel eines Hohlzylinders wurde die Volumenkonvergenz $K = \frac{\Delta V}{V}$ des Hohlzylinderinnenraums berechnet und mit Messwerten verglichen.



$$\begin{aligned}
 H &= 20,32 \text{ cm} \\
 R &= 13,0 \text{ cm} \\
 r &= 4,47 \text{ cm} \\
 p &= 1170 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}
 \end{aligned}$$

Abb. 3: Hohlzylinder

Mit den in Abbildung 4 angegebenen Parametern ergeben sich zwei berechnete Kurven, welche das visko-elastische Anfangsverhalten und das visko-plastische Langzeitverhalten der Volumenkonvergenz sehr gut beschreiben.



$$\begin{aligned}
 E^{vp} &= 5,1 \cdot 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\
 \eta^{vp} &= 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{d} \cdot \text{kN}}{\text{m}^2} \\
 \sigma_F &= 10,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\
 E^{ve} &= 3,0 \cdot 10^7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\
 \eta^{ve} &= 3,0 \cdot 10^7 \frac{\text{d} \cdot \text{kN}}{\text{m}^2} \\
 \nu &= 0,4
 \end{aligned}$$

Abb. 4: Volumenkonvergenz des Hohlzylinders