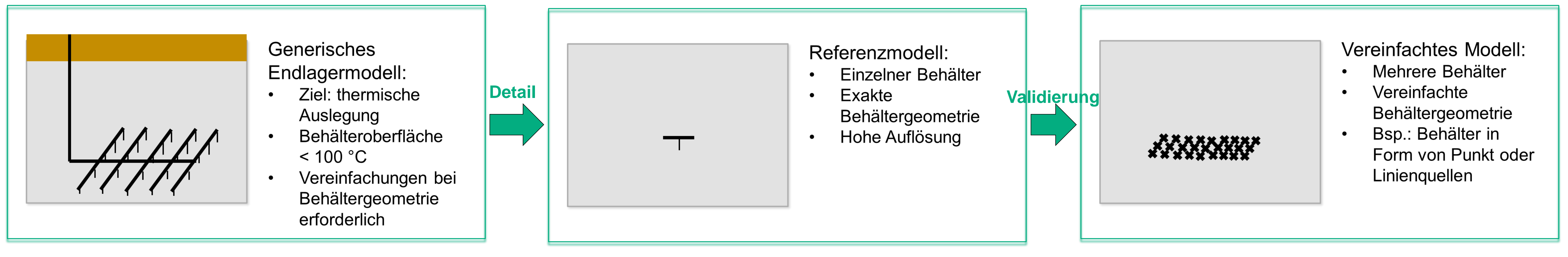


Entwicklung eines Referenzmodells zur thermischen Modellierung eines Endlagerbehälters im deutschen Kristallingestein mit Hilfe von FEFLOW

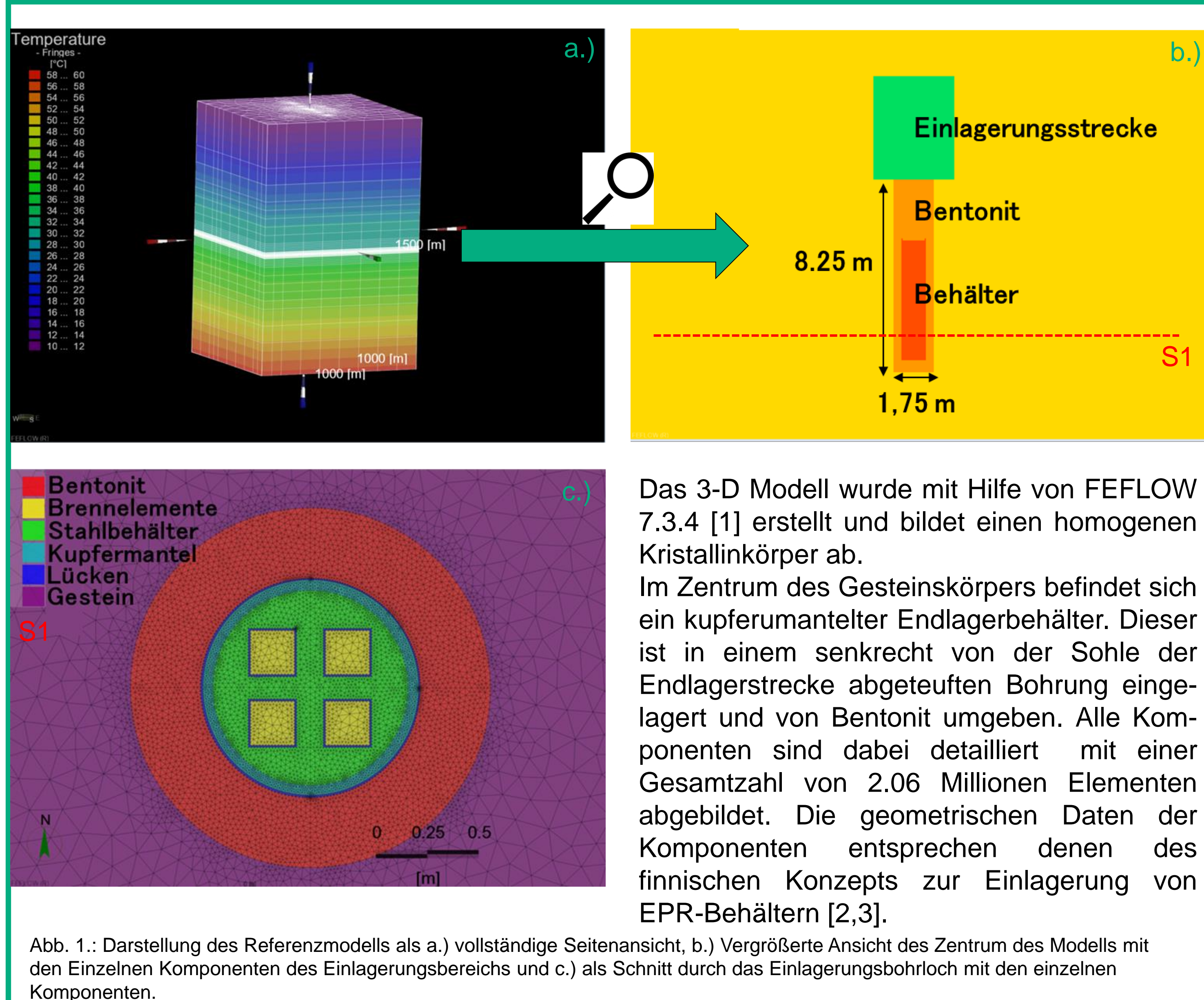
Michael Werres^{a,b}, Klaus-Jürgen Röhlig^b, Wolfram Rühak^a
^a Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE), Peine, ^b Technische Universität Clausthal

Problemstellung und Konzept

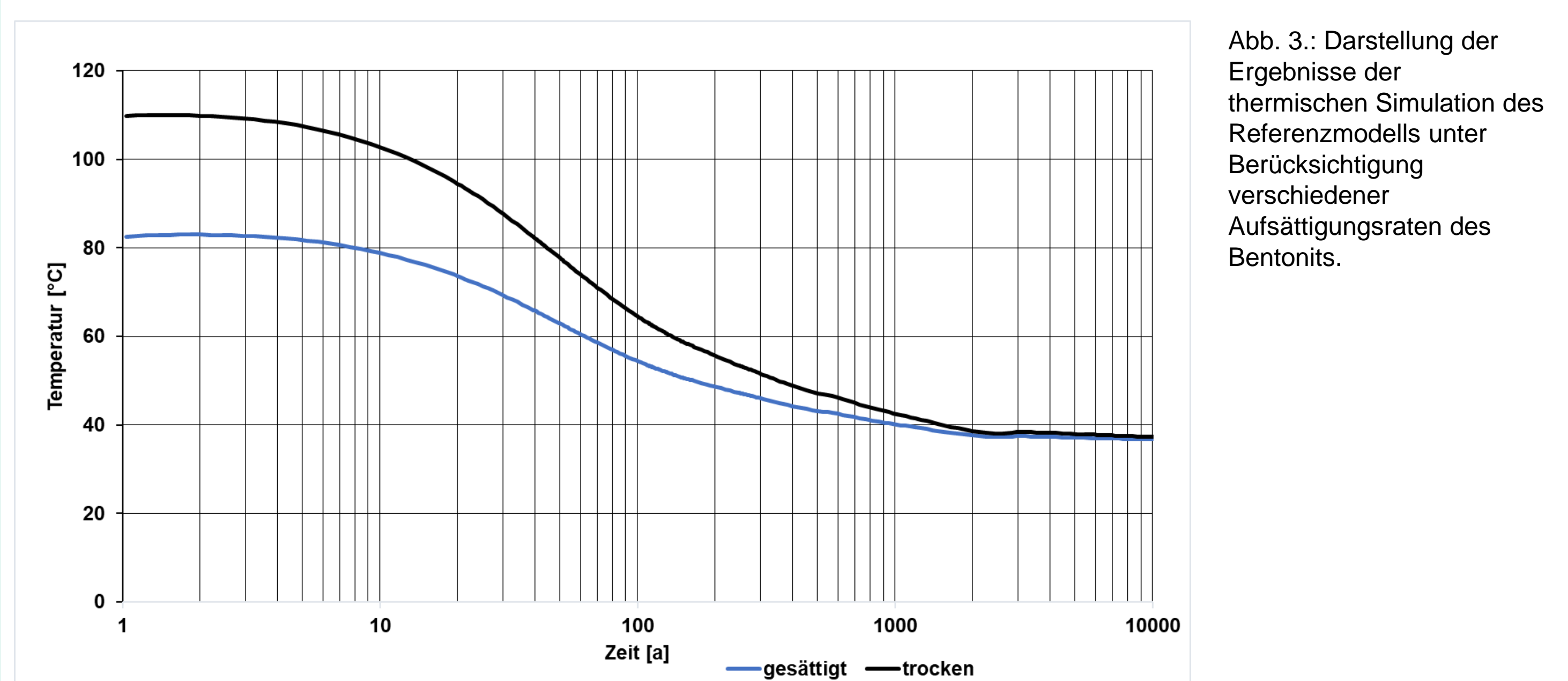
Diskretisiertes Modell, das für einen einzelnen Endlagerbehälter ein plausibles Referenzergebnis erzielt



Aufbau Referenzmodell



Ergebnis Referenzmodell



Die Maximaltemperatur an der Behälteroberfläche wird zwischen dem ersten und dem zweiten Jahr nach der Einlagerung erreicht. Für den Fall des trockenen Bentonits ergibt sich im Maximum eine Oberflächentemperatur des Behälters von 109°C. Bei der Betrachtung eines aufgesättigten Endlagersystems ergibt sich eine Temperatur von 83°C. Das Modell liefert für den gewählten Parametersatz bei einer akzeptablen Rechendauer von weniger als 12 Stunden plausible Ergebnisse für den Temperaturverlauf an der Behälteroberfläche und ist grundsätzlich als Referenzmodell für nachfolgende vereinfachte Modelle geeignet.

Ausblick

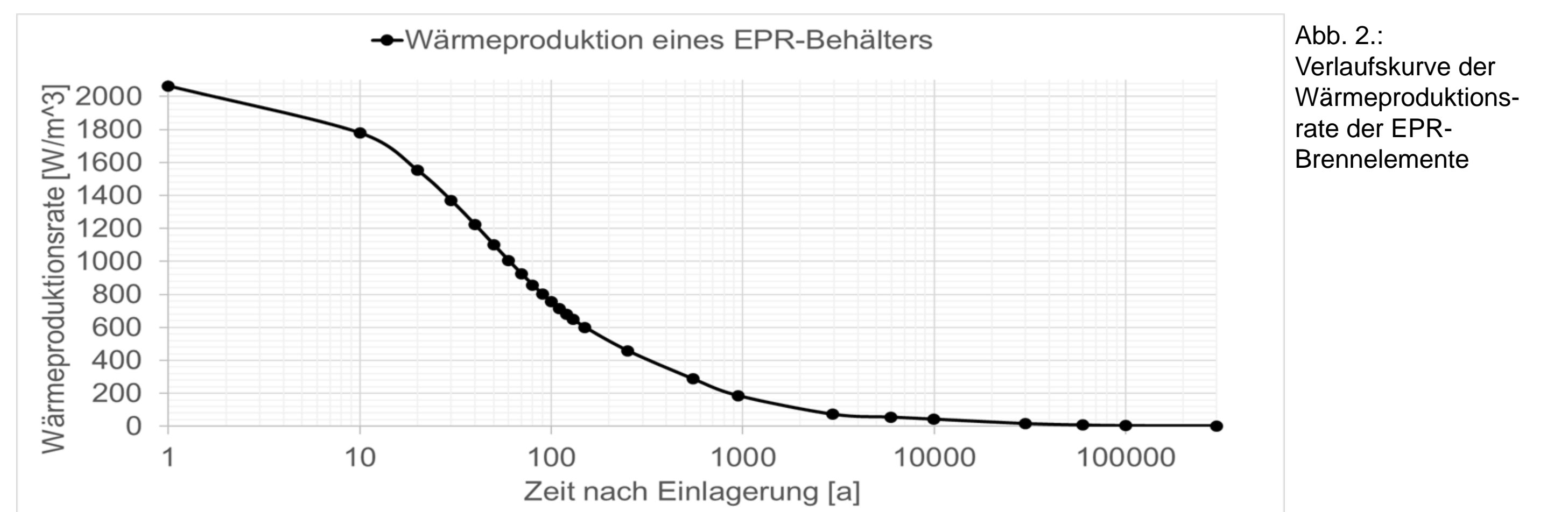
Ziel ist es, im weiteren Verlauf der Arbeiten das Quellen und Aufsättigen des Bentonits im Referenzmodell zu berücksichtigen. Zudem ist eine weitere Verfeinerung des Modells in z-Richtung möglich. Ansätze zur Vereinfachung eines Modells zur thermischen Auslegung bieten die Punkt- und die Linienquellentheorie. Es ist im Detail zu prüfen, wie sich diese für die Abbildung eines ganzen Endlagerbereichs eignen.

Parametrisierung Referenzmodell

Das Gestein wurde entsprechend den Erkenntnissen am Referenzstandort Heubach [4] in der Mitteleuropäischen Kristallzone parametrisiert, wobei abweichend eine Porosität von null angenommen wurde. Entsprechend dieser Parametrisierung wurden am oberen Modellrand eine Dirichlet-Randbedingung von 10°C und am unteren Modellrand in 1500m Tiefe eine Randbedingung von 58.9°C gesetzt. Die Seitenränder des Modells wurden mit einer undurchlässigen Neumann-Randbedingung definiert. Die Wärmequelle der abgebrannten Brennelemente wurde in Form von vier transienten Wärmequellen im Inneren des Behälters abgebildet. Die Parametrisierung erfolgte nach dem finnischen EPR-Brennelementtyp [2] (Abb. 2.).

Komponenten	Wärmeleitfähigkeit [W/m/K]		Vol. Wärmekapazität [MJ/m³/3-K]	
	trocken	gesättigt	trocken	gesättigt
Gestein [4]	2.9	2.9	2.15	2.15
Tunnelversatz [2]	1.6	1.6	1.75	1.75
Bentonit [2]	1	1.3	2.4	2.4
Kupfer [2]	390	390	2.7	2.7
Stahl [2]	36	36	2.7	2.7
Lücke Behälter/Brennelem. [2]	0.03	0.03	1.05	1.05
Lücke Behälter/Bentonit [2]	0.03	0.66	1.05	4.19
Brennelement [2]	5.61	5.61	2.7	2.7

Tab. 1.: Übersicht über die bei der thermischen Simulation verwendeten Parameter.



Da keine Daten vorliegen, die das Aufsättigen und Quellen der Bentonitbarriere zeitlich quantifizieren, werden Behelfsweise für das Referenzmodell zwei Extrema betrachtet. Zum einen wird ein Parametersatz gewählt, der die Situation unmittelbar nach Einlagerung des Endlagerbehälters abbildet, zum anderen wird ein vollständig mit Lösung aufgesättigtes Endlagersystem betrachtet. Die Simulation erfolgt über den in FEFLOW 7.3.4 enthaltenen Löser SAMG – Algebraic Multigrid unter Verwendung der Finiten-Elemente-Methode. Die Simulationsdauer beträgt 10.000 Jahre.

Vereinfachtes Modell

Ziel ist es ein Modell mit einer vereinfachten Behälterabbildung zu schaffen, um so eine thermische Modellierung eines ganzen Endlagersystems zu ermöglichen.

1. Vereinfachtes Modell mit Punktquelle als Abbildung des Behälters
2. Validierung des Ergebnisses mit dem Referenzmodell
3. Vereinfachtes Modell mit 20 Behältern

Komponenten	Wärmeleitfähigkeit [W/m/K]	Vol. Wärmekapazität [MJ/m³/3K]
	trocken	trocken
Gestein [4]	2.9	2.15
Elemente um Punktquelle	33.93	2.7 [4]

Tab. 2.: Übersicht über die bei der thermischen Simulation verwendeten Parameter. Die Werte der Punktquelle stellen dabei Mittelwerte der Endlagerkomponenten wieder

Die Überlegungen zur Vereinfachung des Modells erscheinen geeignet, die Ergebnisse des Referenzmodells abzubilden. Bei der Verwendung von Punktquellen kann jedoch keine Temperatur an der Behälteroberfläche sondern nur im Nahbereich um den Behälter ermittelt werden.