

Radionuklidausbreitung Aspekt 1: Bewertung des Radionuklidtransportes in der Gasphase

Fachöffentliche Ergebnispräsentation ÜsiKo Phase 2, 23.10.2024

Überblick

Δ24: Radionuklidtransport in der Gasphase (Szenarien)

- Es ist darzulegen, welche Prozesse beim Radionuklidtransport in der Gasphase eine Rolle spielen
- Die Prozesse und Szenarien wurden beschrieben

Δ25: Freisetzung von radioaktiven Gasen im und aus dem Grubengebäude in die Geosphäre

Δ26: Radionuklidtransport in der Gasphase in der Geosphäre

- Es ist zu zeigen ob, und wie Gase aus dem Grubengebäude freigesetzt und in der Geosphäre transportiert werden
- Es wurde festgestellt, dass die Gase unterhalb der Unterkreide bleiben und nicht in die Biosphäre gelangen

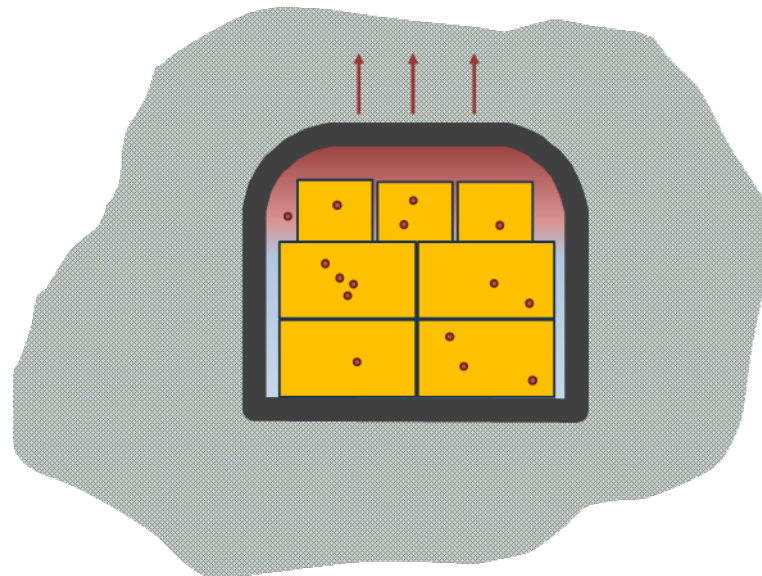
Δ27: Untersuchung der Relevanz von Gas-Fracs für einen möglichen Radionuklidtransport in der Gasphase

- Es ist zu zeigen ob, gasdruckinduzierte Klüfte entstehen können
- Es wurde festgestellt, dass der Druck zu niedrig ist und keine gasdruckinduzierten Klüfte entstehen können

Szenario für den Gaspfad nach Stand von W&T

Beschreibung erfolgt entsprechend nationalen und internationalen Forschungsprojekten

- Sauerstoff im Grubengebäude wird durch aerobe Prozesse schnell aufgebraucht
- Lösung tritt in das Grubengebäude ein
- Nach 115 Jahren ist das Grubengebäude aufgesättigt
- Bei Kontakt der Abfälle mit Wasser werden durch die anaerobe Korrosion von Metallen und die organische Degradation von Organika Gase gebildet
- Gasdruckaufbau führt zu einer Gasbewegung und Verdrängung von Lösung
- Übersteigt der Gasdruck die Summe aus hydrostatischen Druck und Gaseindringdruck im Wirtsgestein kann Gas in das Wirtsgestein eindringen



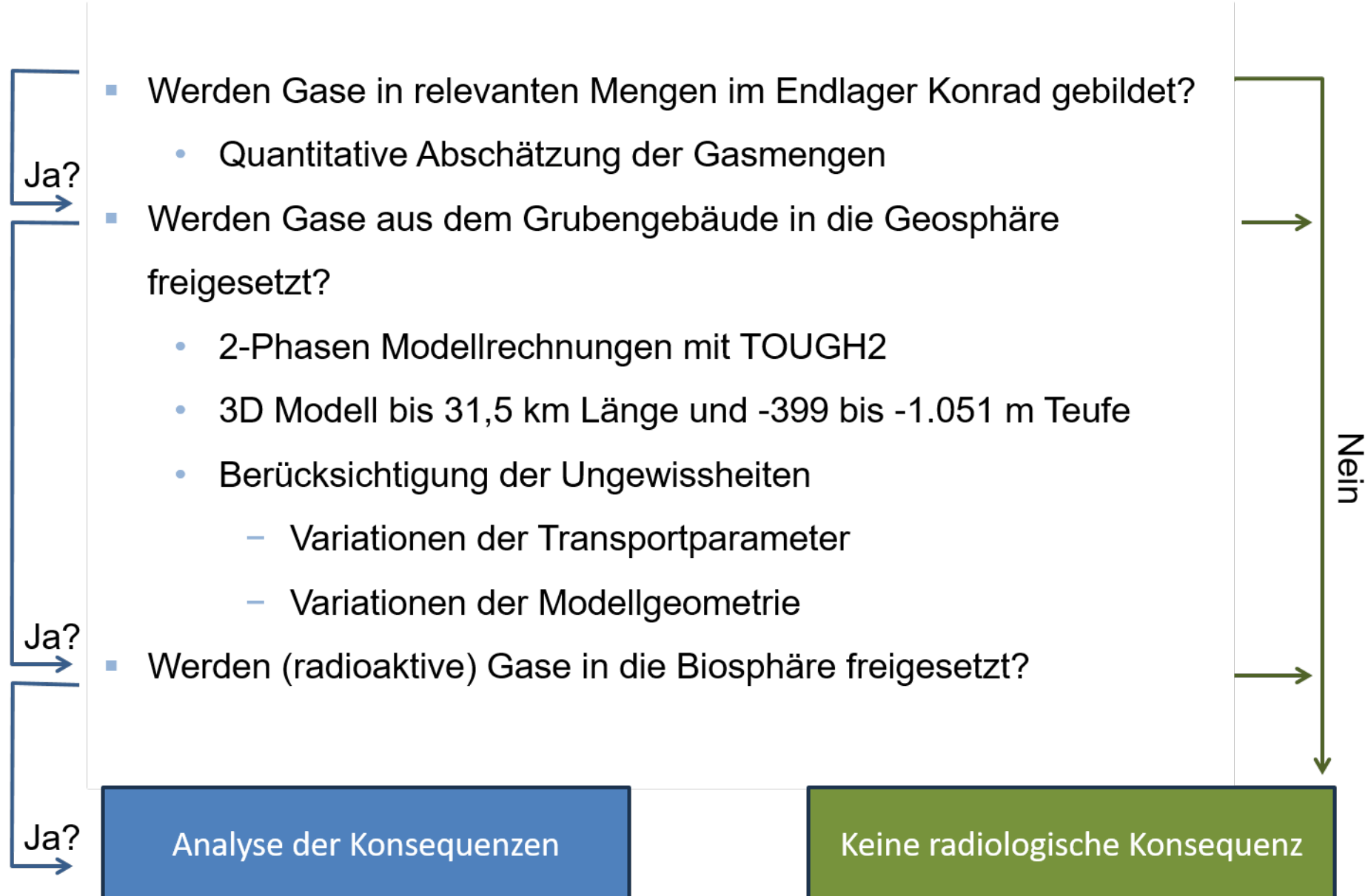
Szenario für den Gaspfad nach Stand von W&T

Beschreibung erfolgt entsprechend nationalen und internationalen Forschungsprojekten

- Sauerstoff im Grubengebäude wird durch aerobe Prozesse schnell aufgebraucht
- Lösung tritt in das Grubengebäude ein
- Nach 115 Jahren ist das Grubengebäude aufgesättigt
- Bei Kontakt der Abfälle mit Wasser werden durch die anaerobe Korrosion von Metallen und die organische Degradation von Organika Gase gebildet
- Gasdruckaufbau führt zu einer Gasbewegung und Verdrängung von Lösung
- Übersteigt der Gasdruck die Summe aus hydrostatischem Druck und Gaseindringdruck im Wirtsgestein kann Gas in das Wirtsgestein eindringen

- Die große Menge gebildeter Gase kann bei einer Freisetzung als Trägergas für eine geringe Menge radioaktiver Gase fungieren (z. B. C-14, CH₃Se, C₂H₆Se, CH₃I)
- Gase können theoretisch bis in die Biosphäre transportiert werden, wo der radioaktive Anteil zu einer Strahlenexposition führen könnte
 - Falls dies der Fall ist, dann sind die radiologischen Konsequenzen zu bewerten

Vorgehen



Gasbildung

- Gasbildung durch anaerobe Korrosion von Metallen und der mikrobiellen Degradation von Organika
- Stoffmengen nach Kugel & Möller 2003
- Größte Masse der Stoffe haben die Abfallbehälter mit 294 622 Tonnen Eisen
- Gebildete Gasmenge wird durch die chemische Reaktionsgleichung bestimmt
- Reaktion mit maximaler Gasbildung wird gewählt

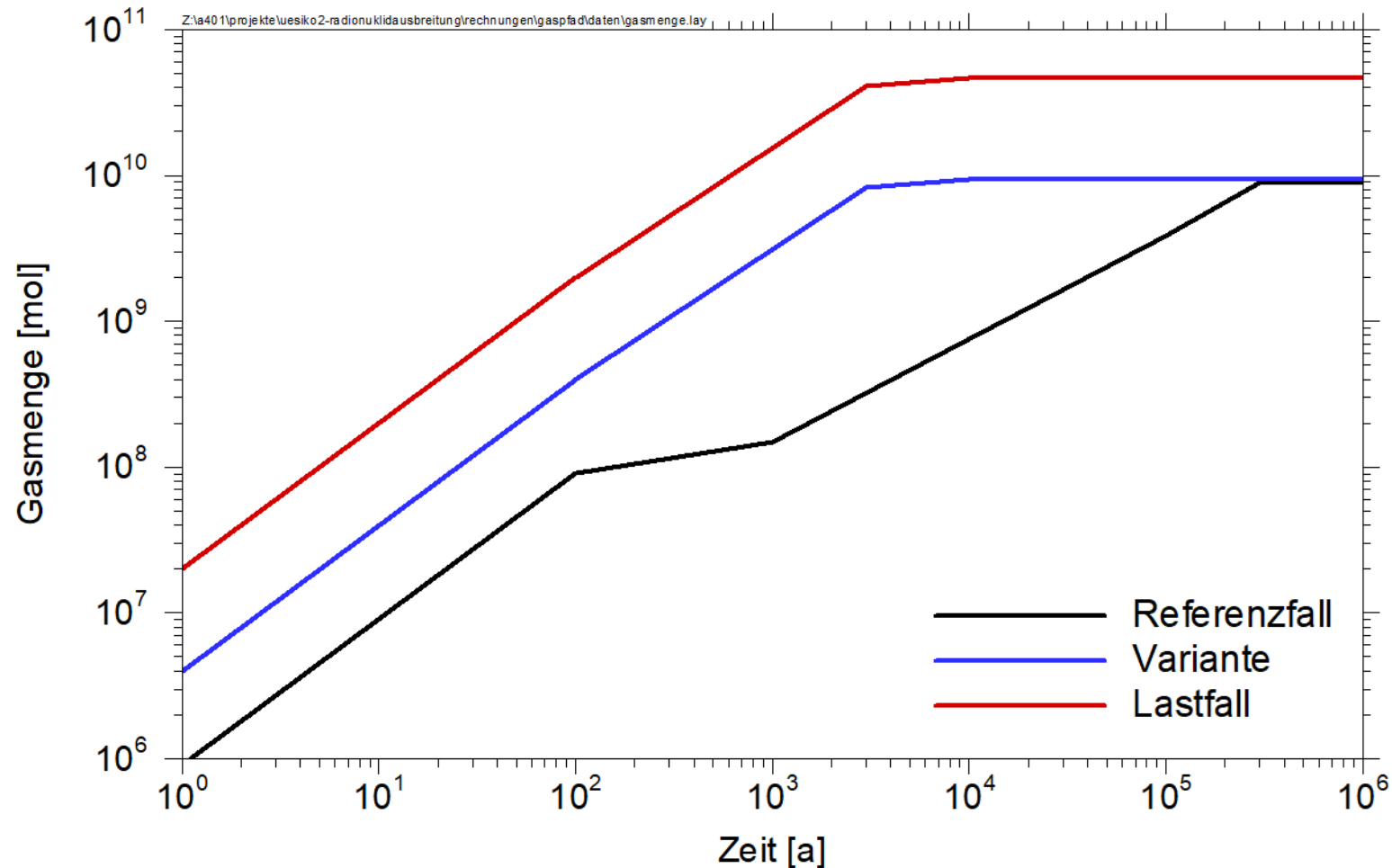
Stoff	Menge [t]	Reaktionsgleichung
Aluminium	916	$2 \text{ Al} + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ Al(OH)}_3 + 3 \text{ H}_2$
Zink	3,5	$\text{Zn} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn(OH)}_2 + \text{H}_2$
Zirkonium	1 528	$\text{Zr} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2 \text{ H}_2$
Eisen	319 741	$3 \text{ Fe} + 4 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4 \text{ H}_2$
Organika/Zellulose	815	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{ CO}_2 + 4 \text{ H}_2 + 2 \text{ CH}_4$
Kunststoffe/Öle	8 443	$6 \text{ C}_2\text{H}_4 + 16 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 8 \text{ CO}_2 + 20 \text{ H}_2 + 4 \text{ CH}_4$

Gasbildung

- Gasbildung durch anaerobe Korrosion von Metallen und der mikrobiellen Degradation von Organika
- Stoffmengen nach Kugel & Möller 2003
- Größte Masse der Stoffe haben die Abfallbehälter mit 294 622 Tonnen Eisen
- Gebildete Gasmenge wird durch die chemische Reaktionsgleichung bestimmt
- Reaktion mit maximaler Gasbildung wird gewählt
- 3 Varianten als Grundlage für die numerischen Rechnungen
 - Referenzfall: Erwartete Umsetzungsdauer, erwartete Ausfällung von CO₂
 - Variante: Schnelle Umsetzung, keine Ausfällung von CO₂
 - Lastfall: Wie Variante, mit fünffach erhöhter Stoff- / Gasmenge
- Gasproduktion ist nicht durch den Wasserverbrauch beschränkt

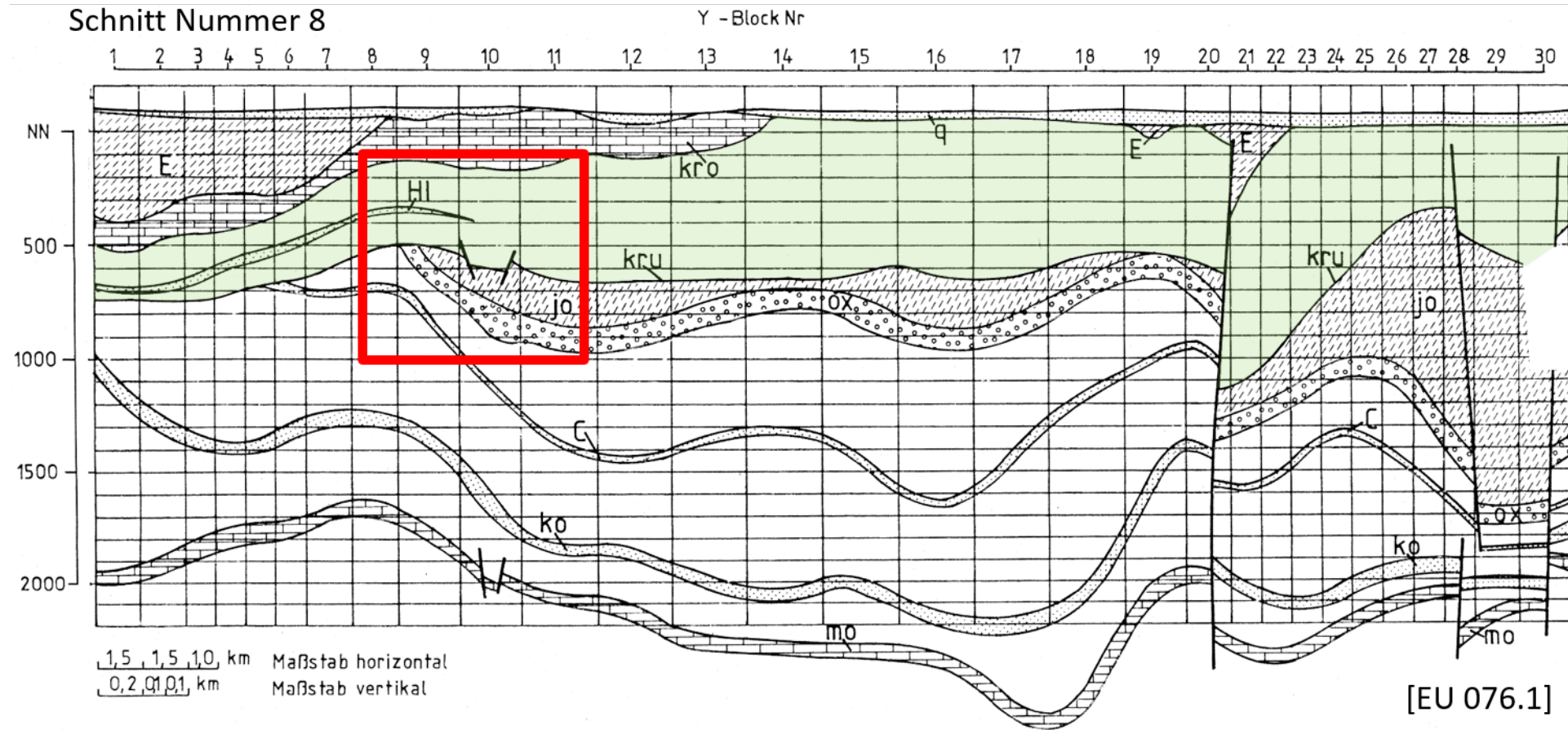
Material	Umsetzungsdauer [a]	
	Referenzfall	Variante
Umsetzungsdauer Eisen [a]	300 000	3 000
Umsetzungsdauer sonst. Metalle [a]	100	100
Umsetzungsdauer Zellulose [a]	1 000	1 000
Umsetzungsdauer Kunststoffe [a]	100 000	10 000

Zeitliche Entwicklung der Gasmenge



- Gasmenge ist zu groß, um im Grubengebäude gespeichert zu werden, Freisetzung aus dem Grubengebäude ist numerisch zu untersuchen

Geologisches Modell

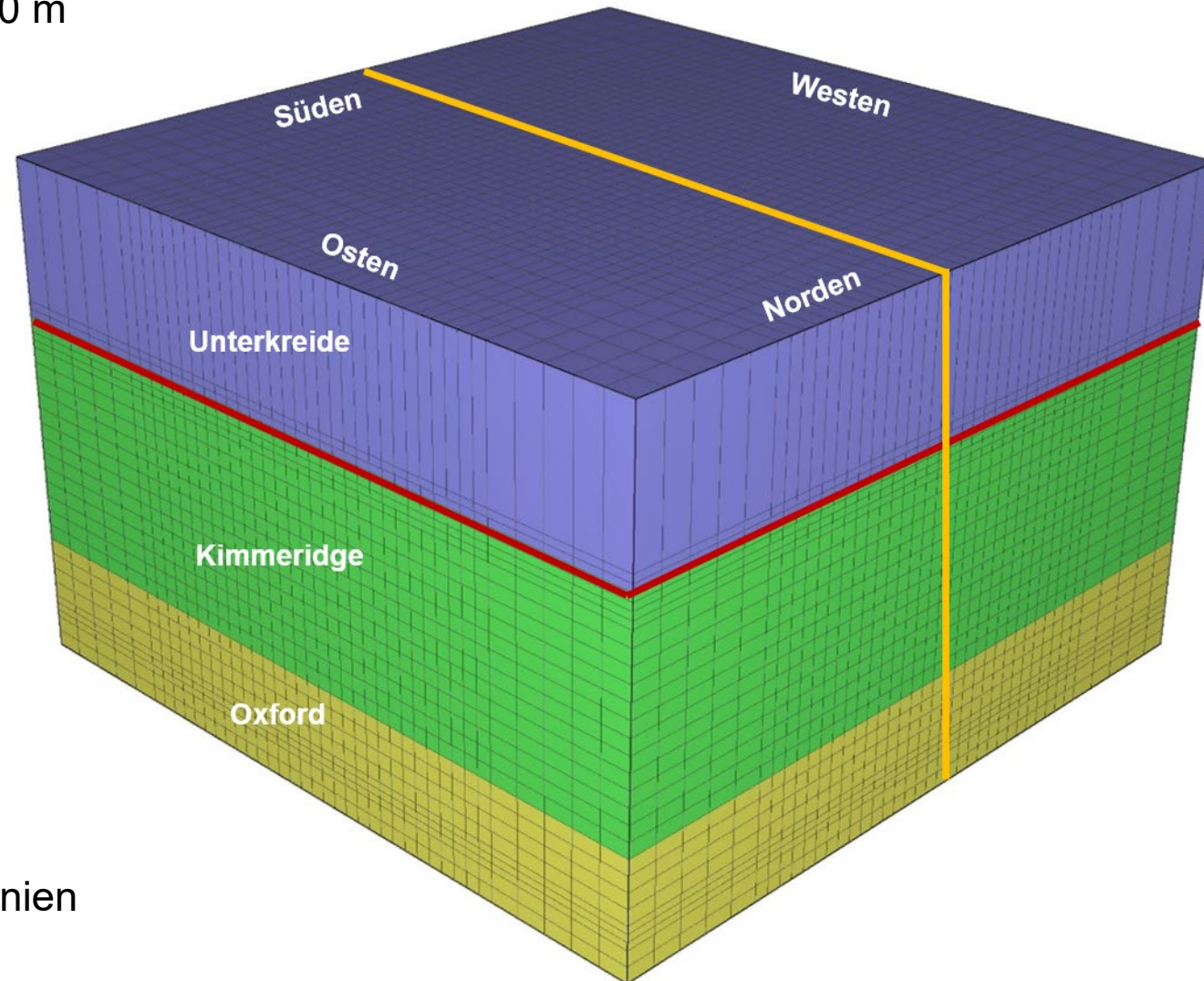


Modellgebiet

q	Quartär	jo	Oberer Jura
t	Tertiär	ox	Oxford
E	Emscher Mergel	C	Cornbrash
kro	Oberkreide	ko	Räth
HI	Hilssandstein	mo	Oberer Muschelkalk
kru	Unterkreide		

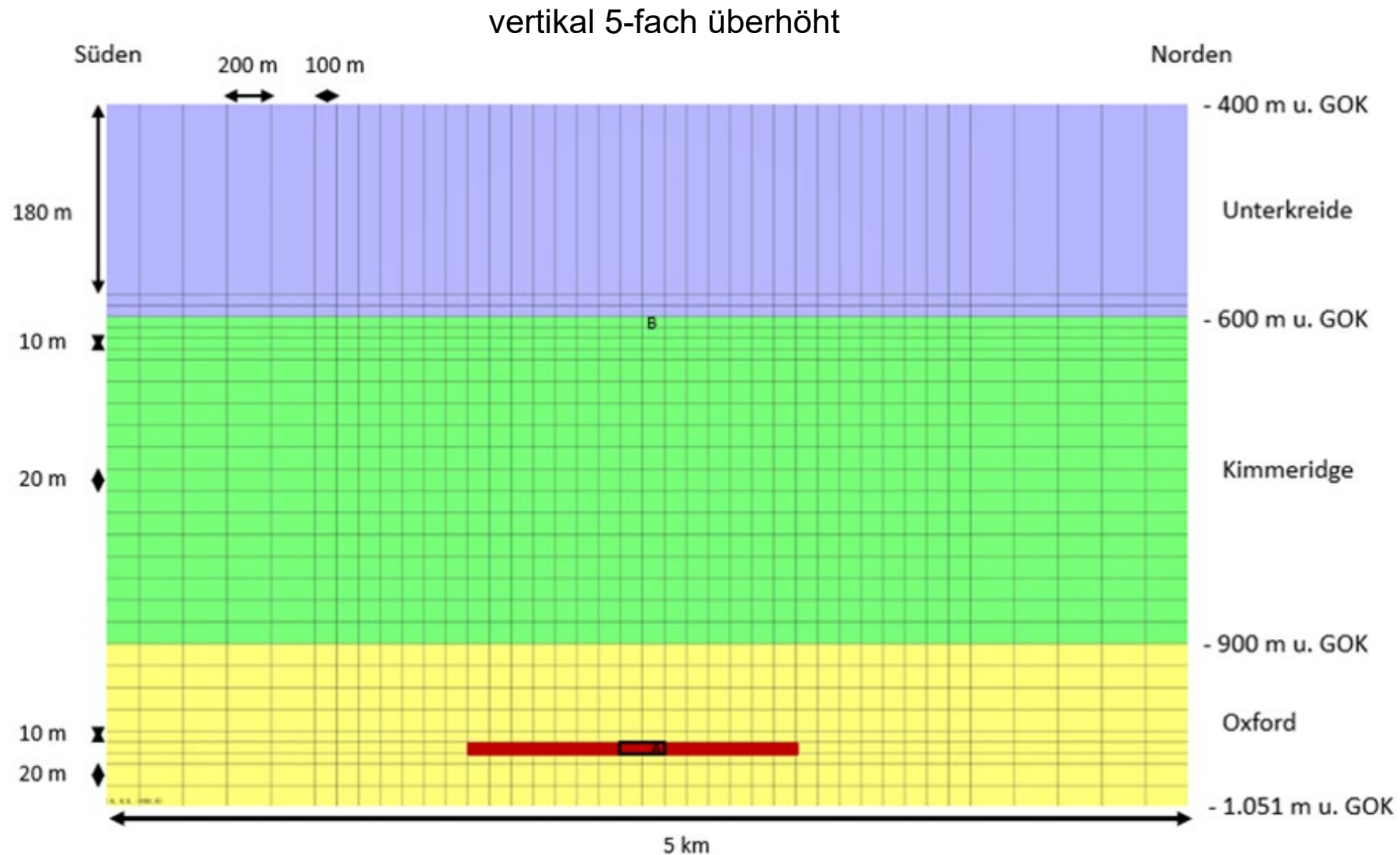
Geometrie des numerischen Modells mit TOUGH2

Größe: 5 000 x 5 000 x 650 m



Gelbe / rote Linie: Schnittlinien

Geometrie des numerischen Modells mit TOUGH2



Eingangsdaten

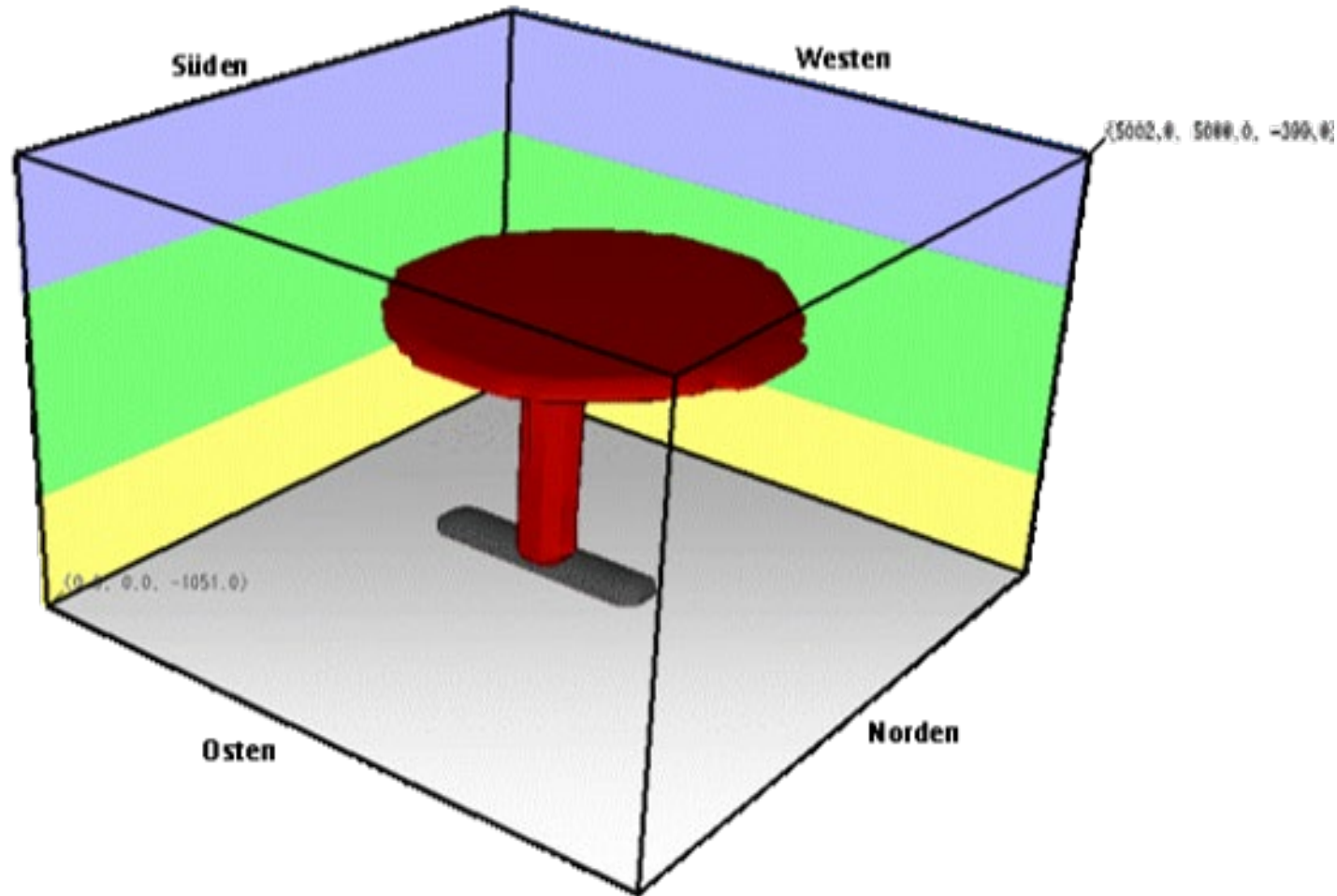
Parameter	Unterkreide	Kimmeridge	Oxford	Grubengebäude
Porosität n [-]	0,2**	0,1***	0,1***	0,4*
Permeabilität κ [m ²]	$6 \cdot 10^{-18}$ **	$1 \cdot 10^{-16}$ ***	$1 \cdot 10^{-15}$ ***	$1 \cdot 10^{-11}$ ***
Residuale Wassersättigung S_{lr} [-]	0,5**	0,35***	0,275***	0,2***
Residuale Gassättigung S_{gr} [-]	0,003**	0,05***	0,035***	0,02***
Maximale Wassersättigung [-]	1,0*	1,0*	1,0*	1,0*
Initiale Wassersättigung $S_{w\ ini}$ [-]	1,0*	1,0*	1,0*	0,7*
Gaseindringdruck α [Pa]	$1,8 \cdot 10^7$ **	7.500***	5.000***	1.500***
Abschneidekriterium P_{max} [Pa]	$1 \cdot 10^9$ *	$1 \cdot 10^9$ *	$1 \cdot 10^9$ *	$1 \cdot 10^9$ *
Formfaktor λ [-]	0,5**	0,9***	0,85***	0,83***
Feststoffdichte [kg/m ³]	2.600*	2.600***	2.600***	2.600***
Porenkompressibilität [Pa ⁻¹]	$5,8 \cdot 10^{-10}$ *	$5,8 \cdot 10^{-10}$ ***	$5,8 \cdot 10^{-10}$ ***	$5,8 \cdot 10^{-10}$ ***

* Modellannahme

** Nagra, 2008

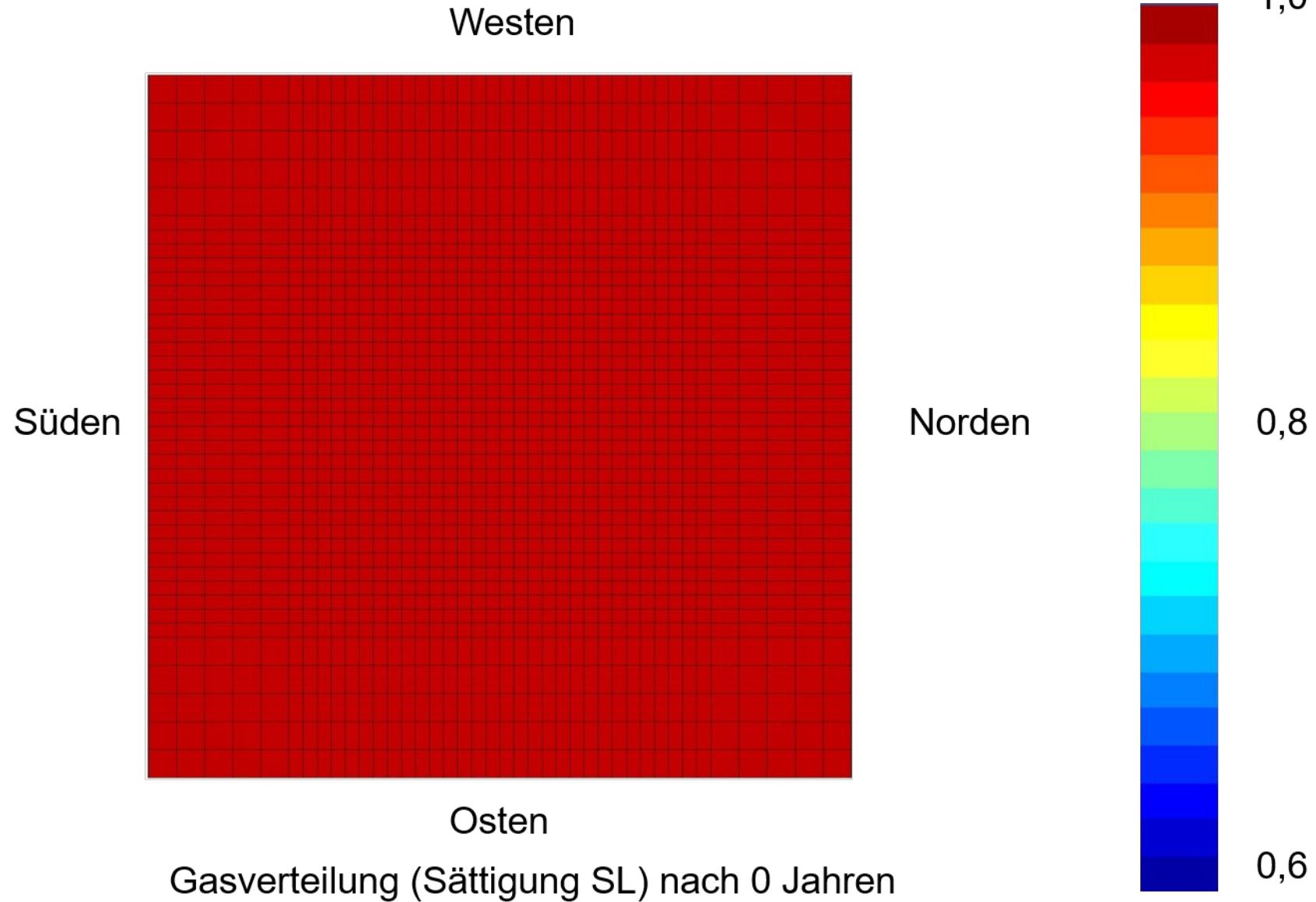
*** GRS-A-1925

Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung

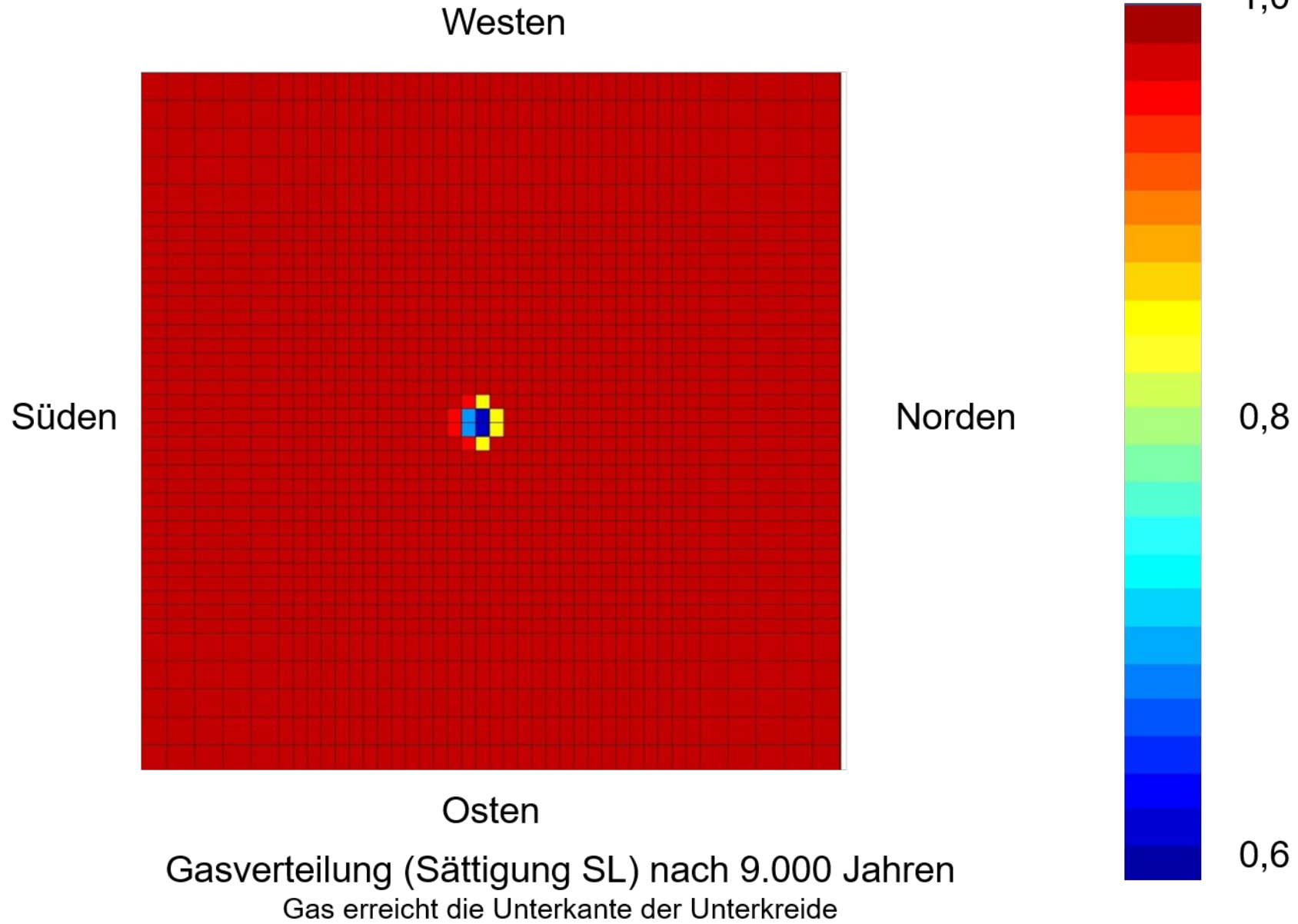


Gasverteilung (Sättigung SL) nach 300.000 Jahren

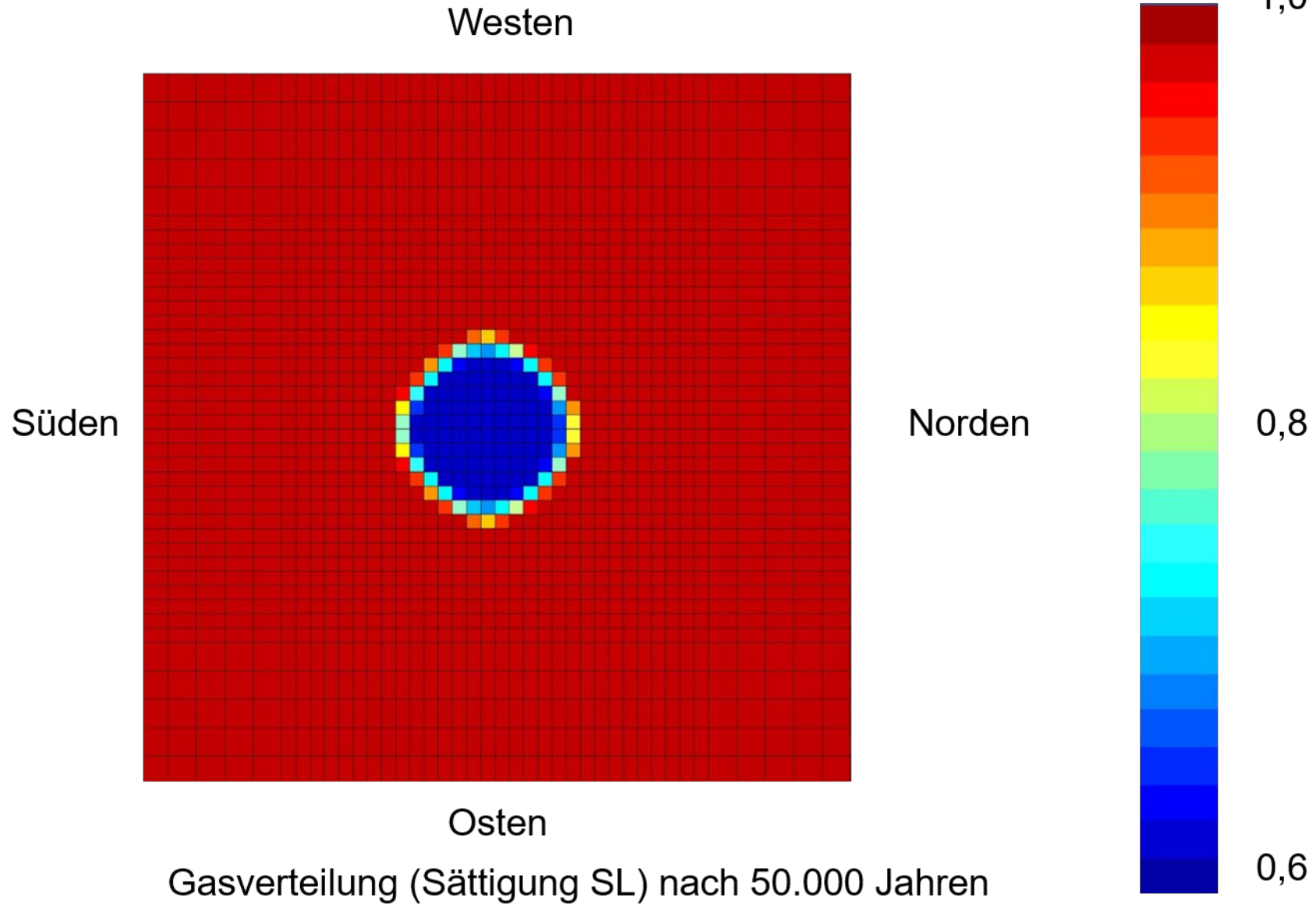
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



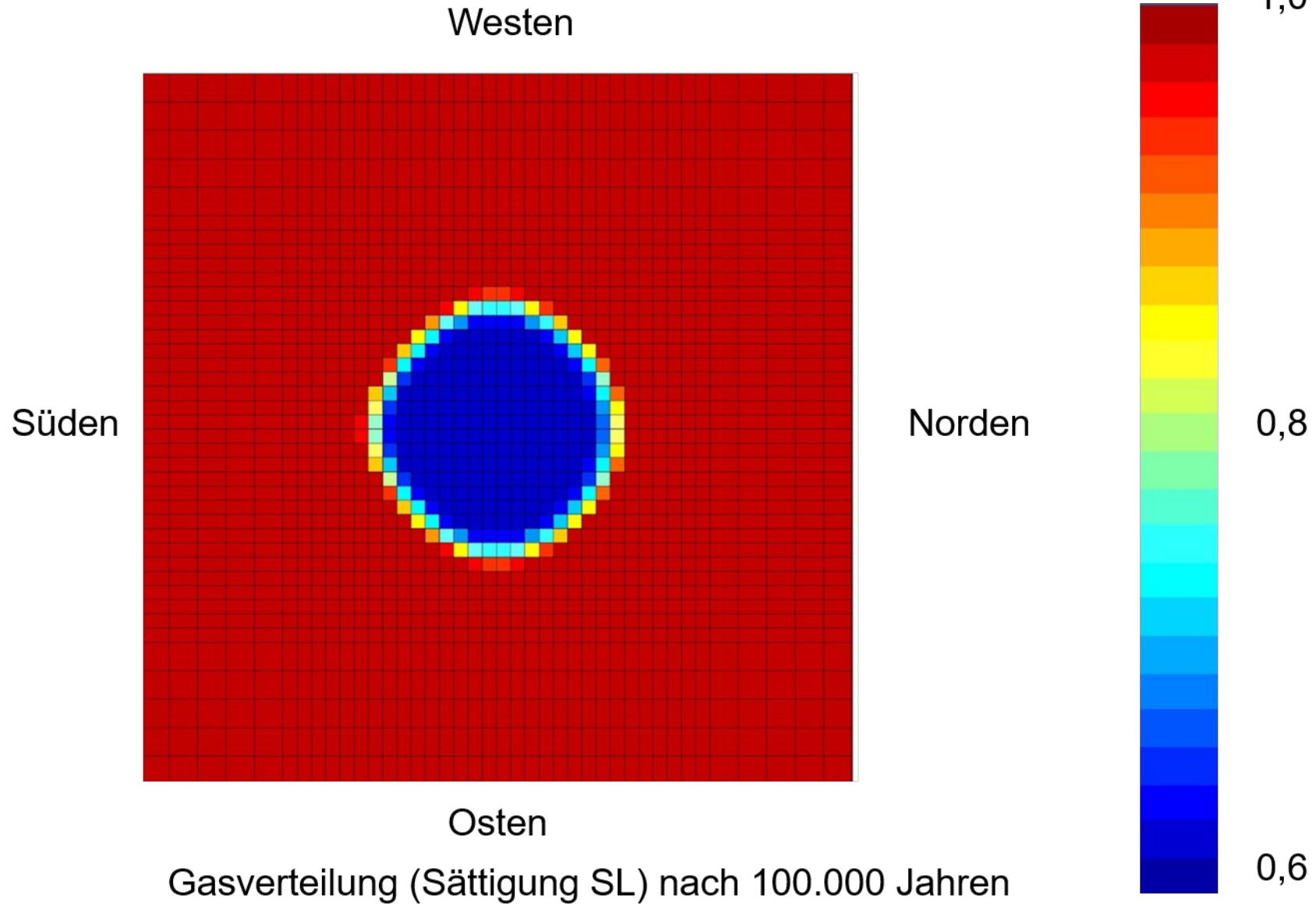
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



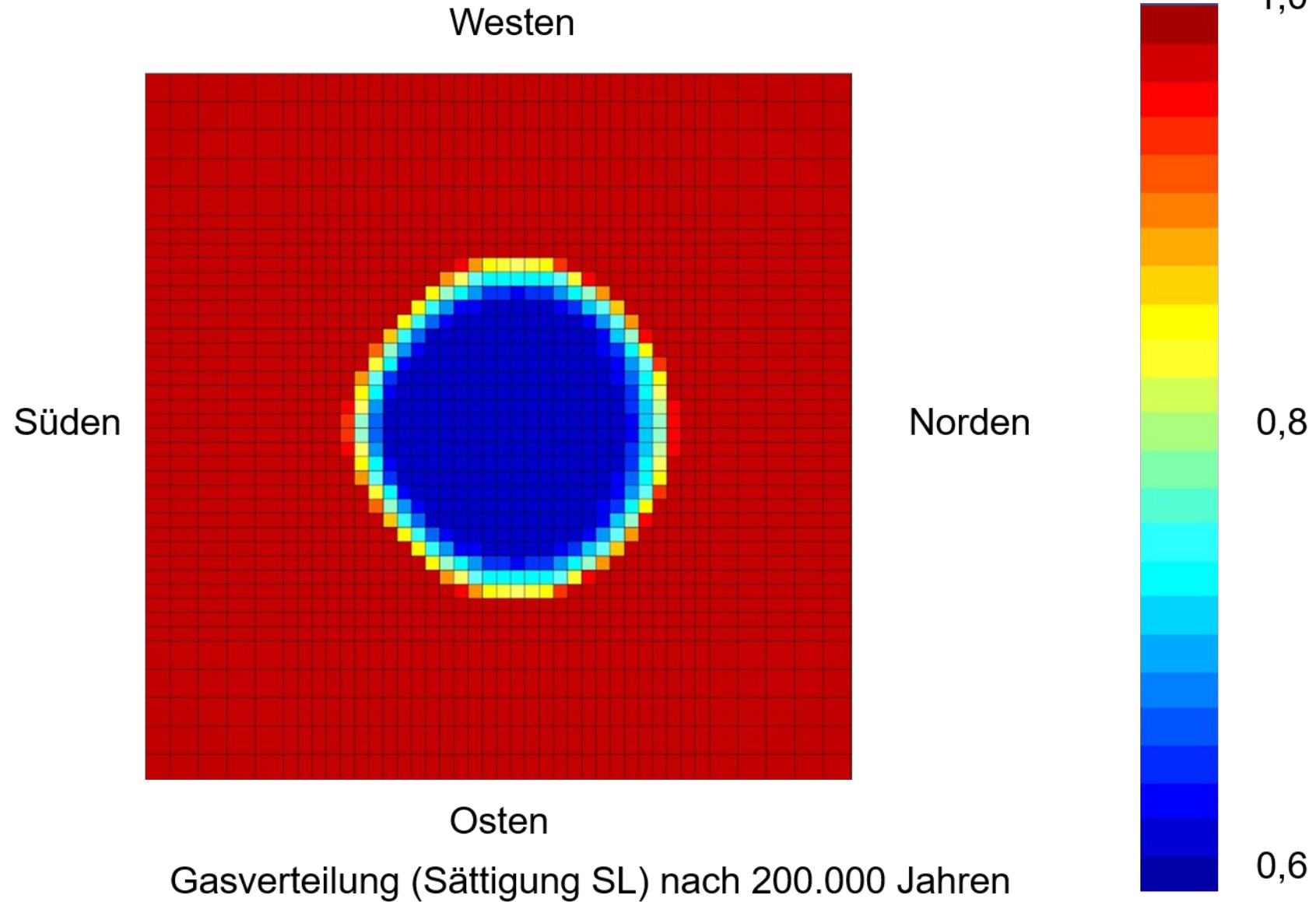
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



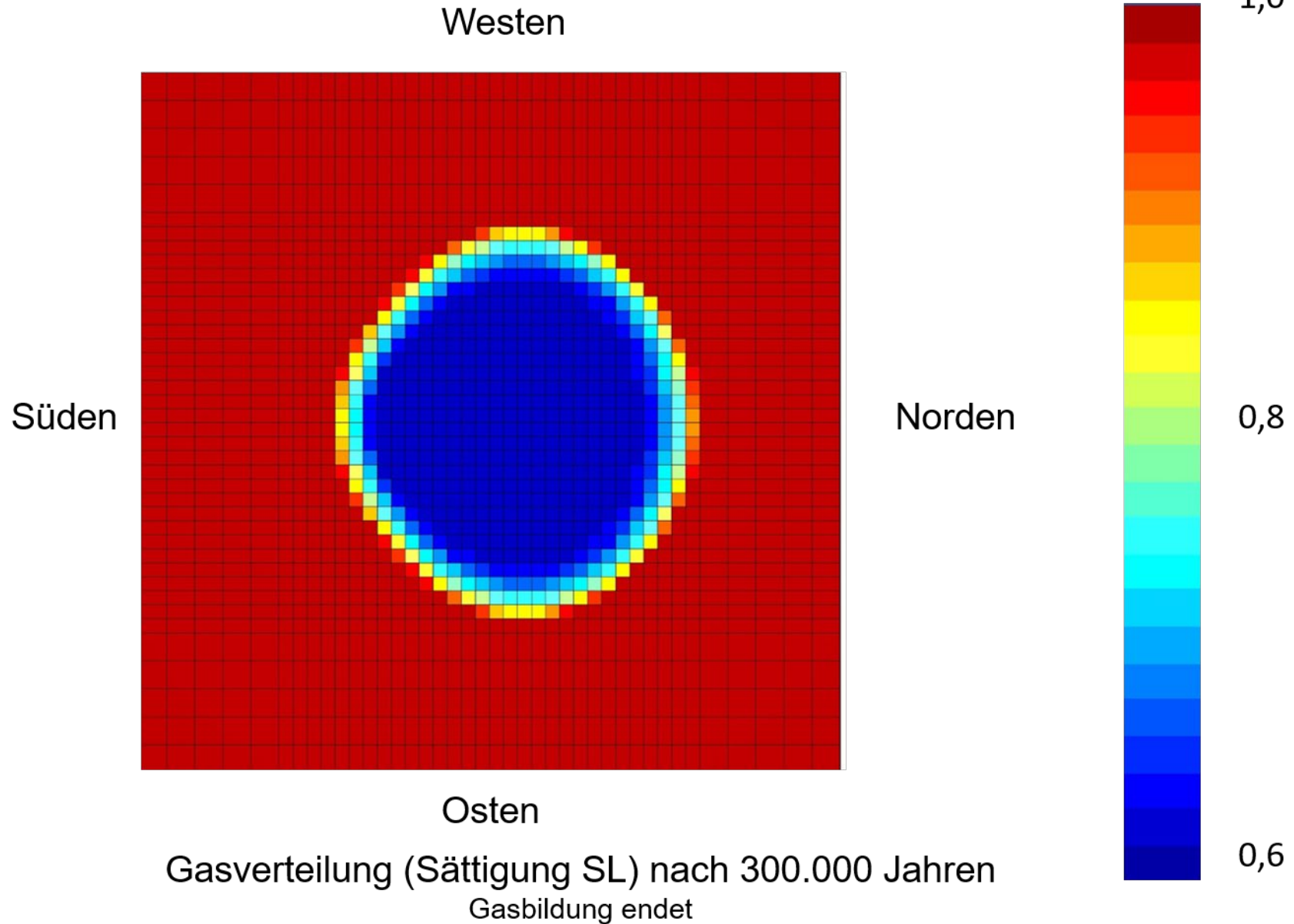
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



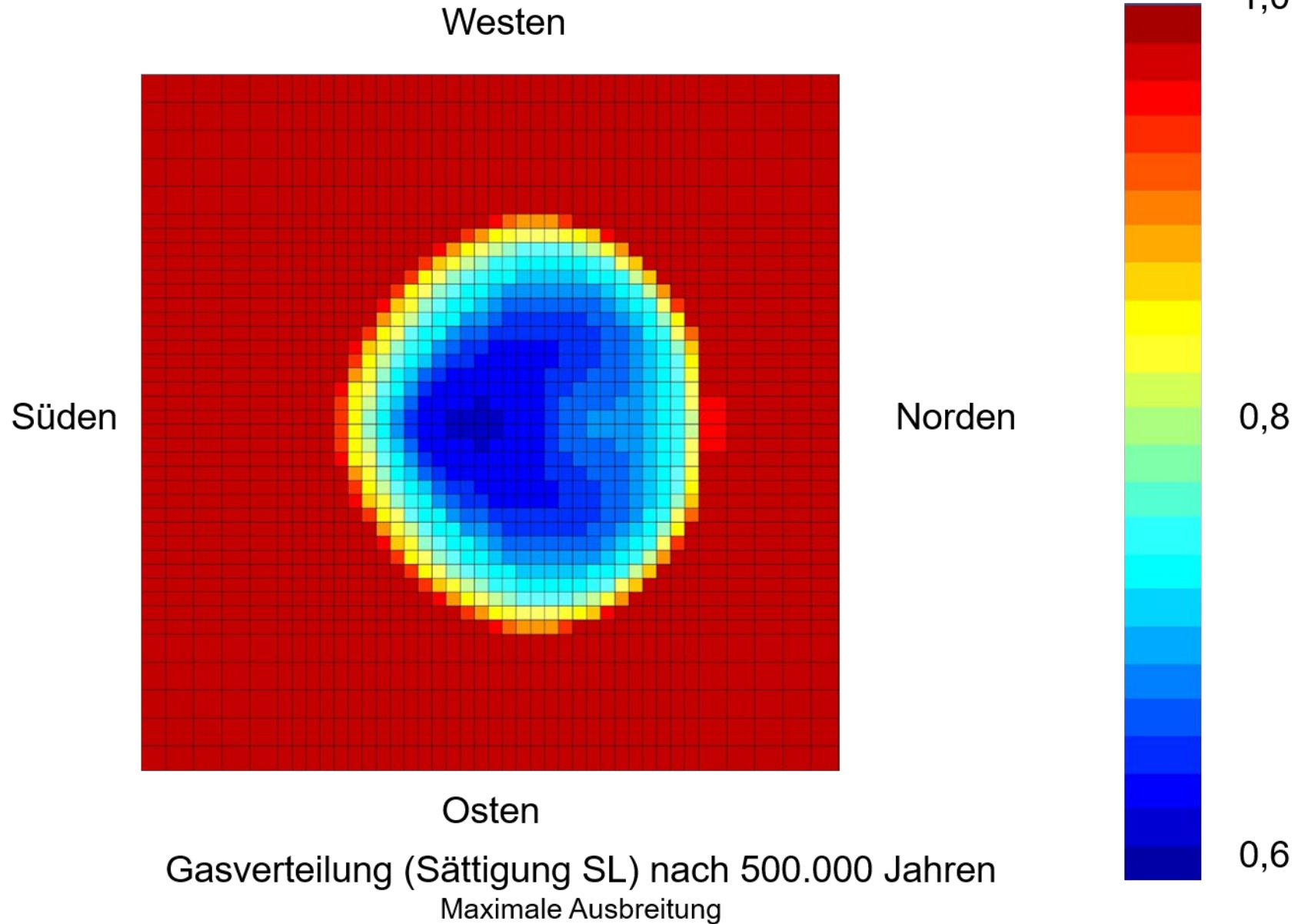
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



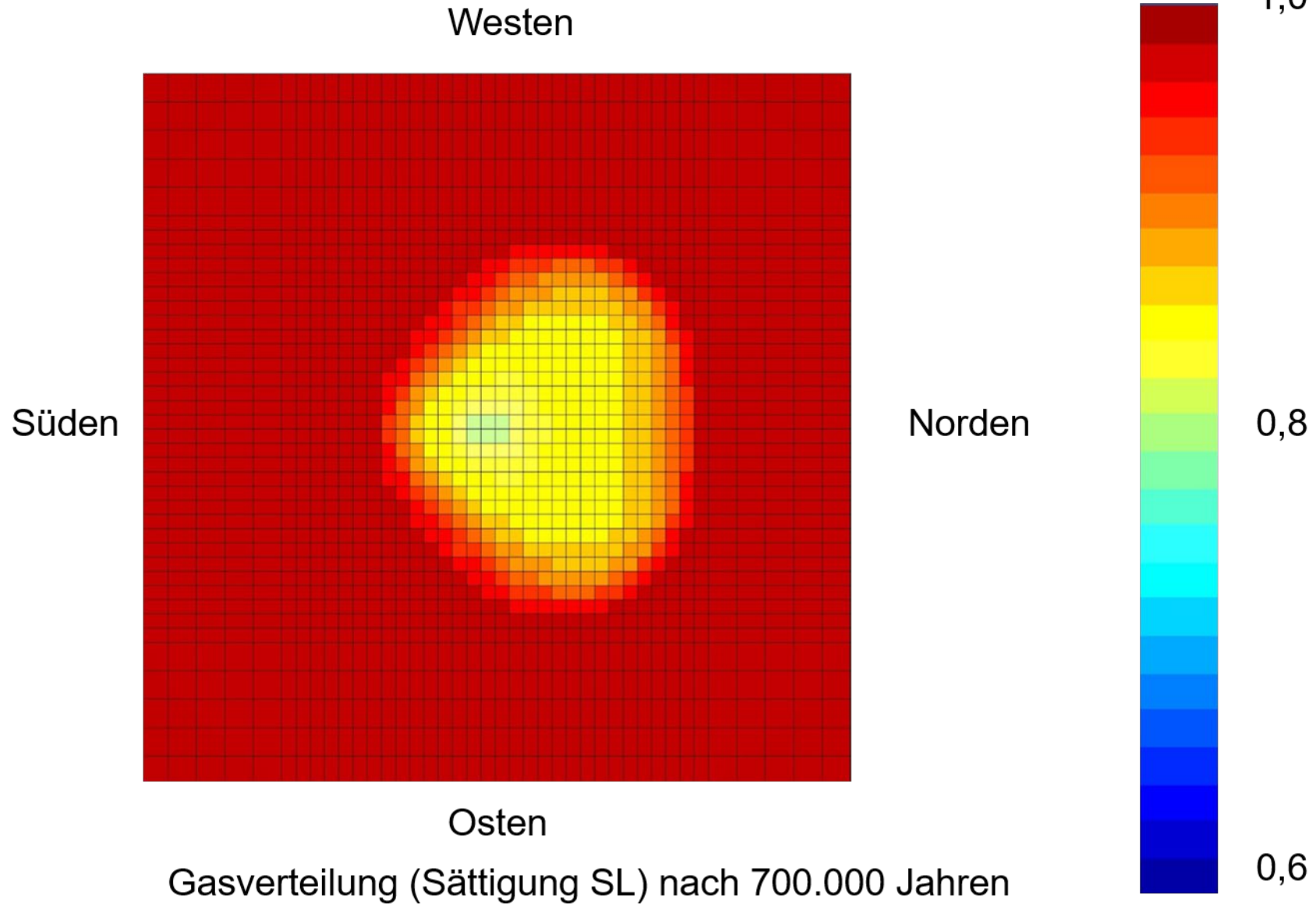
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



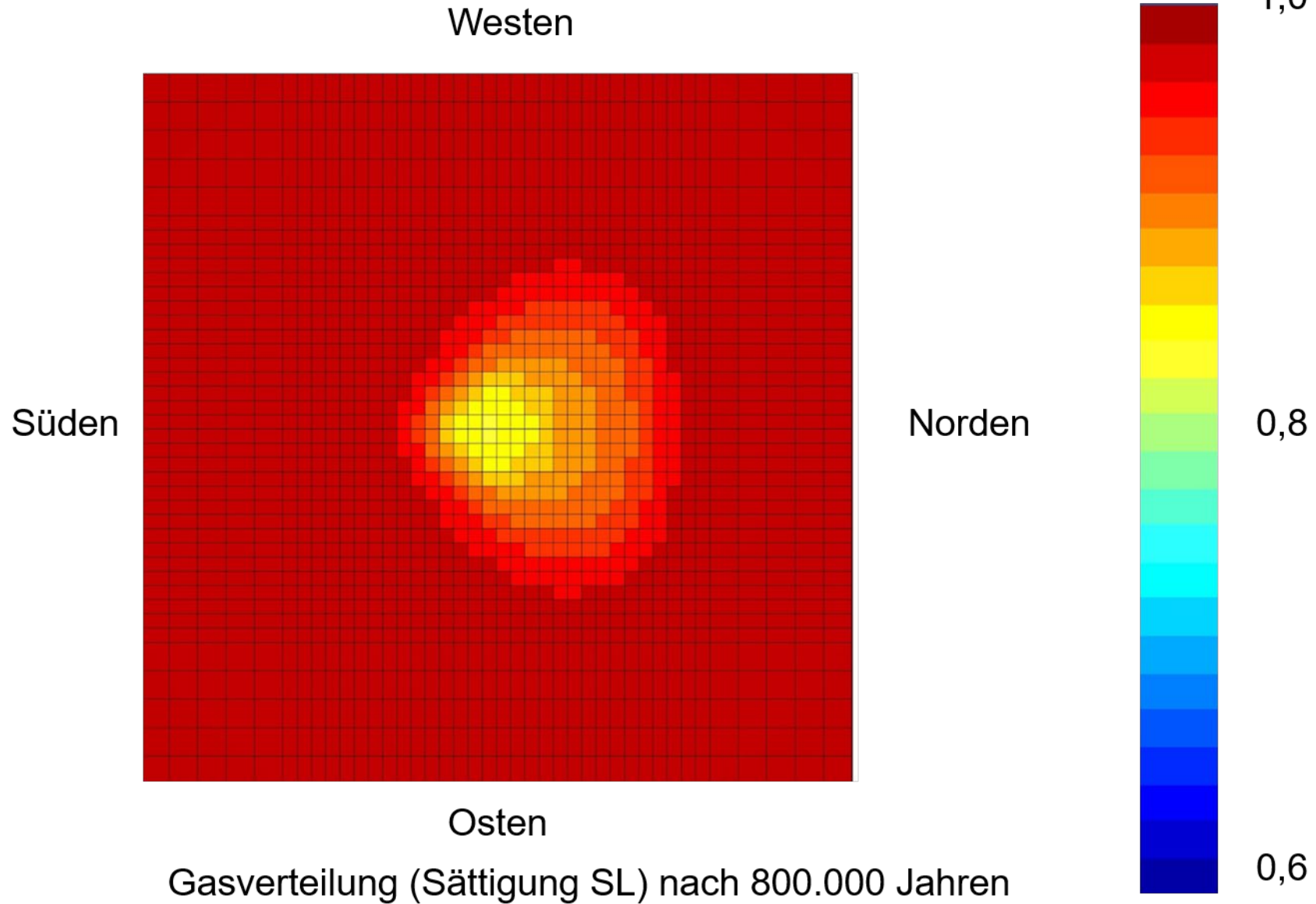
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



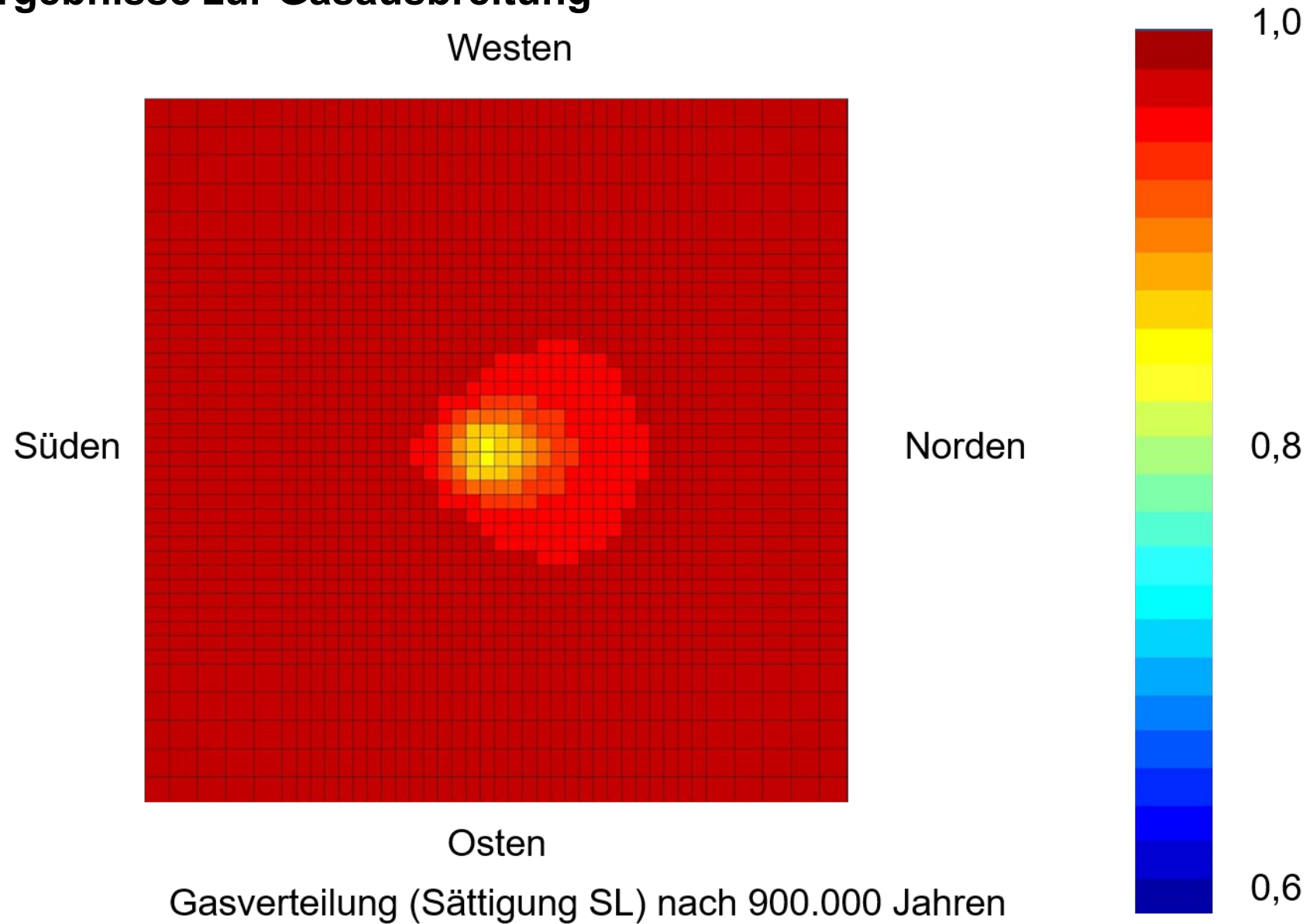
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



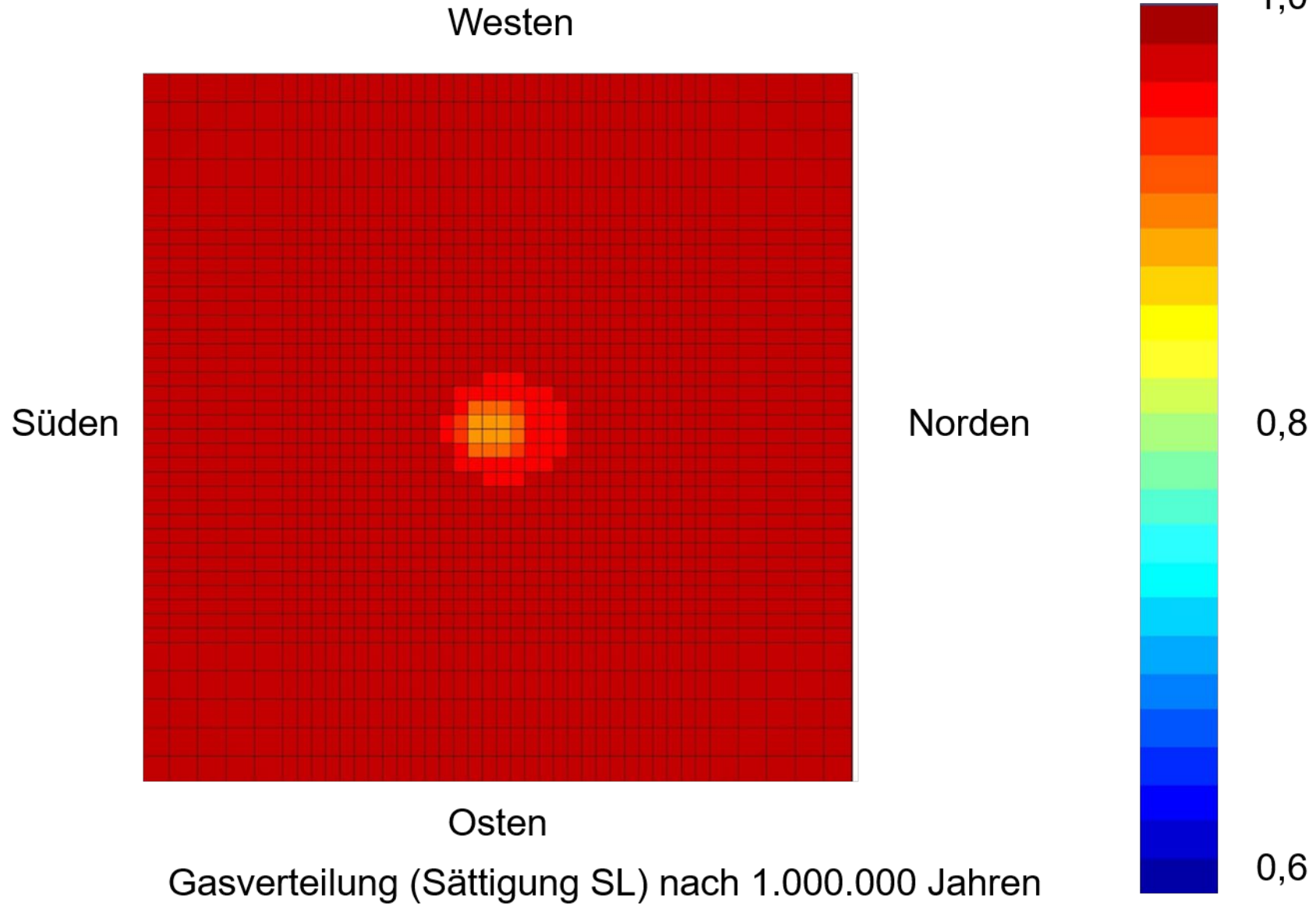
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



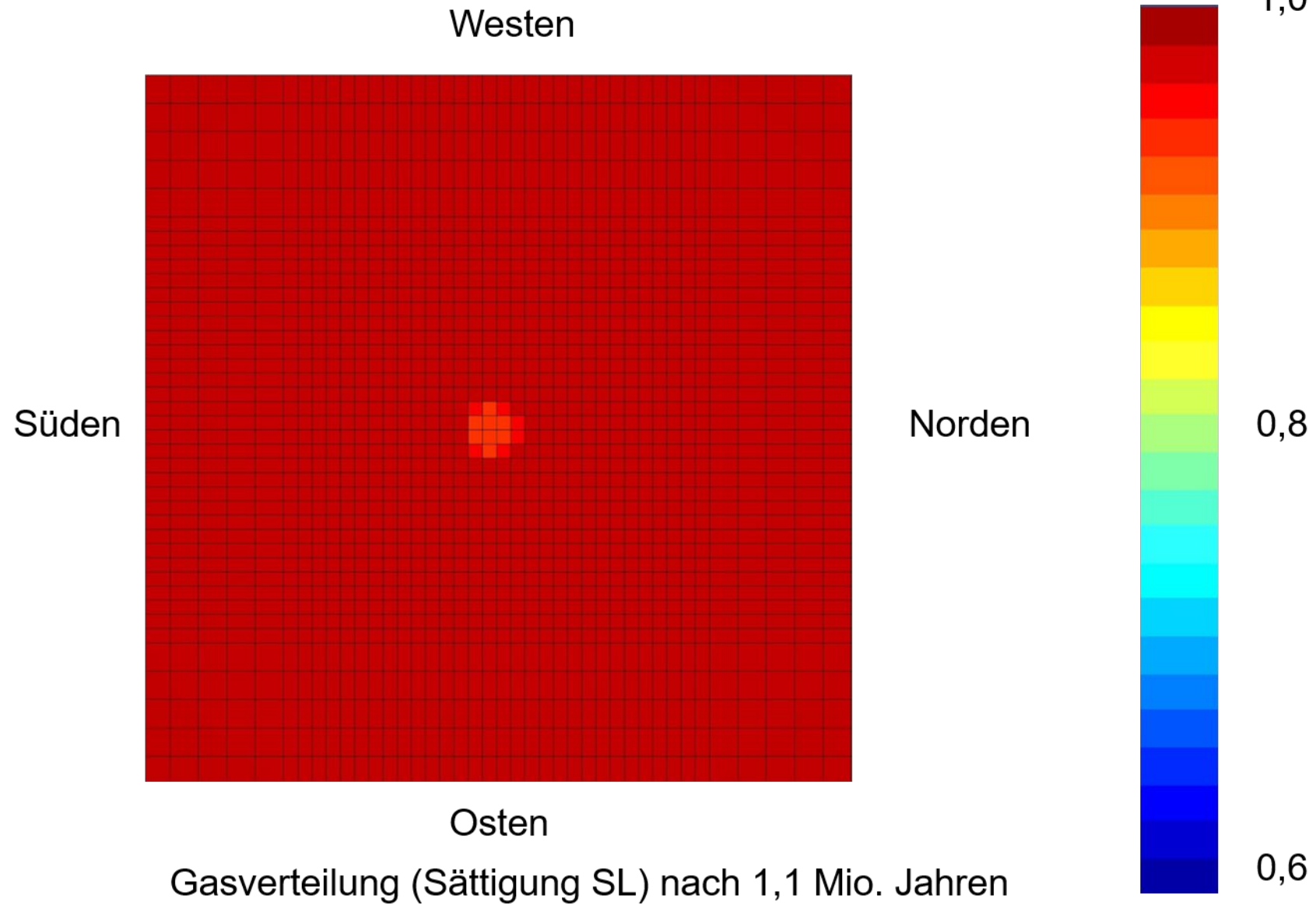
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



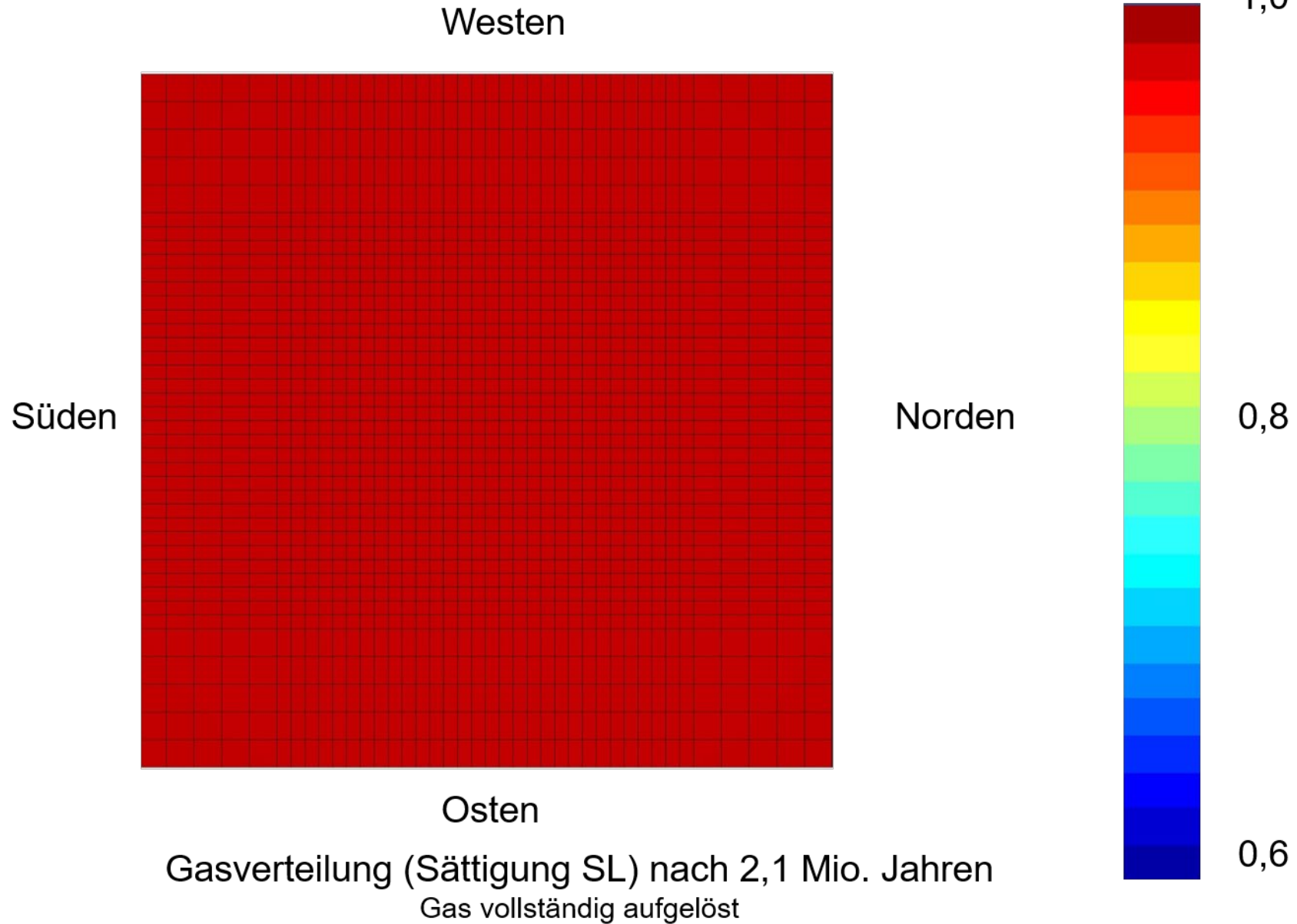
Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung



Referenzfall: Ergebnisse zur Gasausbreitung

- Gasaufstieg bis zur Unterkante der Unterkreide benötigt 8 000 Jahre
- Gasausbreitung zum Ende der Gasbildung bei 300 000 Jahren 2,6 km
- Maximaler Durchmesser der Gasausbreitung an der Unterkante der Unterkreide beträgt 2,8 km nach 500 000 Jahren
- Gas ist nach 2,1 Million Jahren bis auf residuale Gasmengen vollständig aufgelöst

Variationsrechnungen

- Gasproduktion
 - Gasproduktionsrate
 - Gasmenge

- Transportparameter
 - Porosität des Oxford und Kimmeridge
 - Permeabilität des Oxford und Kimmeridge
 - Anisotrope Permeabilität des Kimmeridge
 - Relative Permeabilität
 - Gaseindringdruck der Unterkreide
 - Formfaktor des Oxford und Kimmeridge

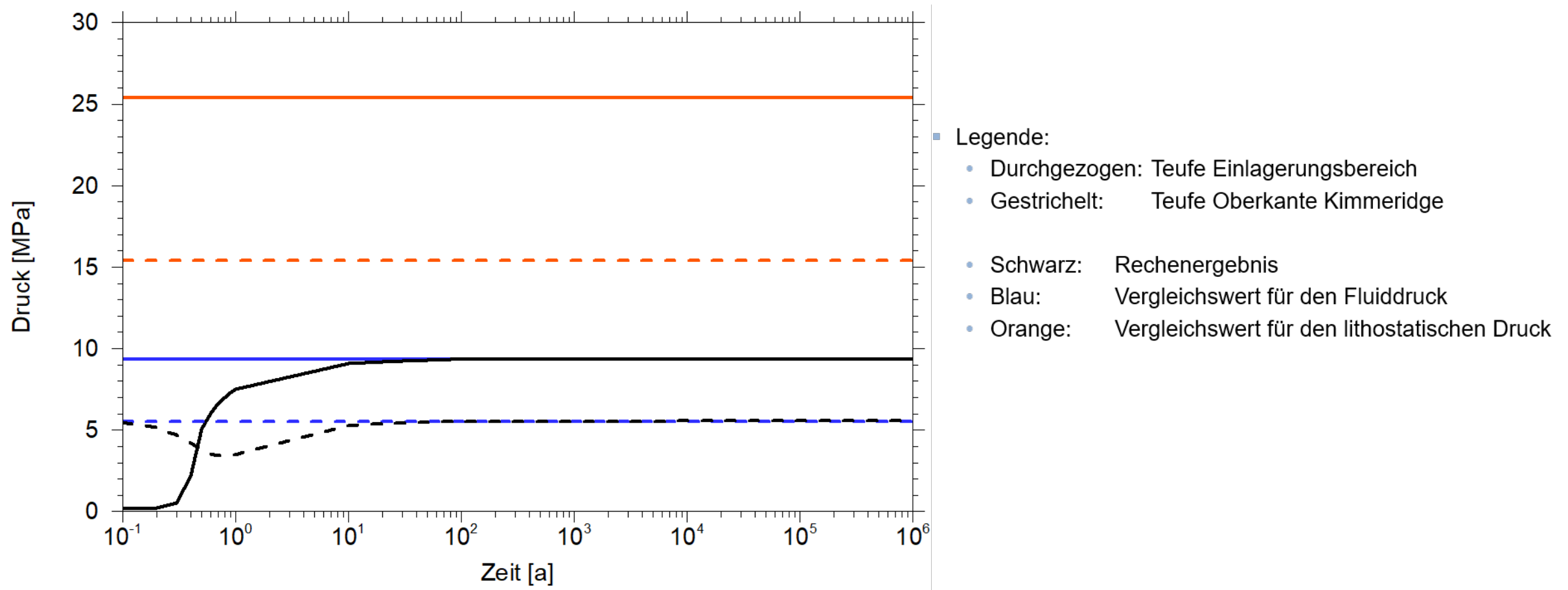
- Anzahl und Größe der Volumenelemente an der Grenze Kimmeridge / Unterkreide

Ergebnisse der Variationsrechnungen

- Gasproduktion mit höherer Rate
 - Die Gasphase erreicht die Unterkante der Unterkreide früher
Aufstieg benötigt 400 Jahre
 - Maximale Ausbreitung wird früher erreicht und ist etwas größer
Nach 90.000 Jahren hat sich die Gasphase 3,2 km radial ausgebreitet
 - Das Gas braucht ähnlich lang um wieder vollständig aufgelöst zu werden
Nach 1,8 Mio. Jahren hat sich das Gas bis auf die residuale Gassättigung aufgelöst
 - Maximaler Fluiddruck höher als im Referenzfall, aber weit unterhalb des lithostatischen Drucks

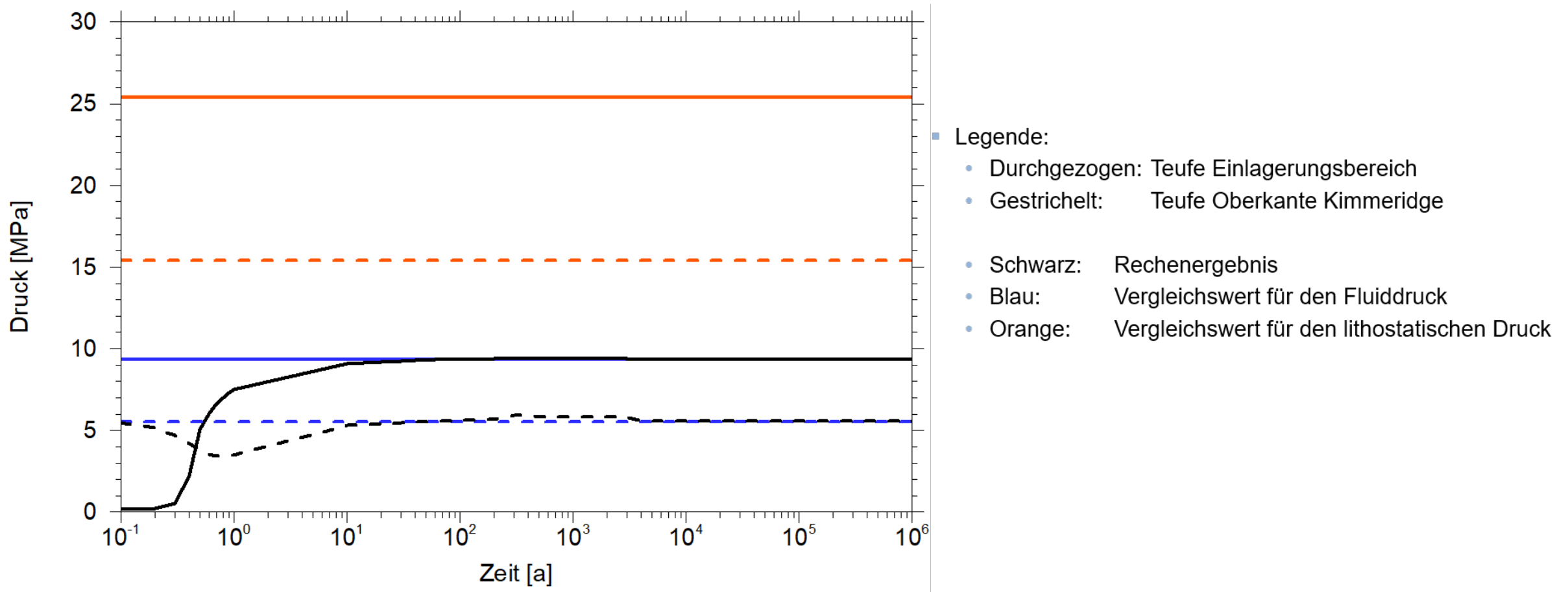
- Variation des Gaseindringdrucks der Unterkreide
 - Verringerung um eine Größenordnung ($1,8 \cdot 10^6$ Pa)
 - Gasphase verbleibt unterhalb der Unterkreide

Ergebnisse für den Fluiddruck im Referenzfall



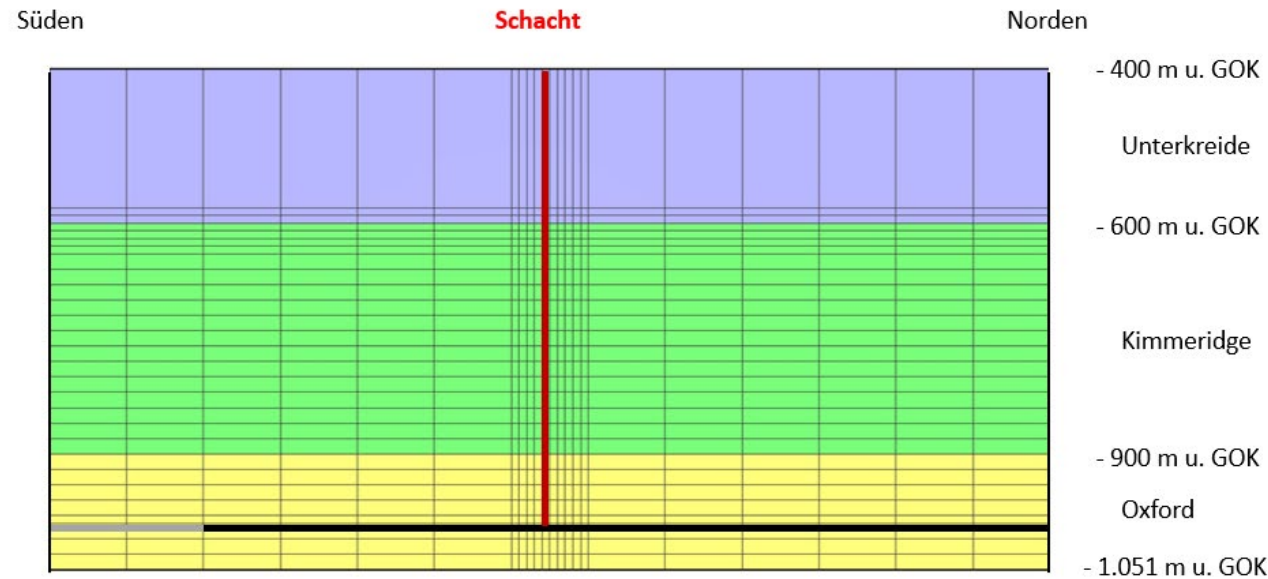
- Fluiddruck ist geringer als der lithostatische Druck in der entsprechenden Teufe

Ergebnisse für den Fluiddruck in der Variante



- Fluiddruck ist auch in der Variante und dem Lastfall geringer als der lithostatische Druck in der entsprechenden Teufe
 - $\Delta 27$: Die Bildung von Gasfracs ist für die angenommenen Randbedingungen ausgeschlossen**

Einfluss von Altbohrungen und des Schachts auf die Gasausbreitung



- Altbohrungen stellen keinen potenziellen vertikalen Ausbreitungspfad für relevante Gasmengen dar
- Dauer, bis die Gase die Unterkreide erreichen, führt zur Wiederherstellung der günstigen Eigenschaften des Tongesteins im Bereich der abgedichteten Bohrungen
- Bei der Ausführungsplanung zur Verfüllung der Schächte vor dem Abschluss des Endlagerbetriebes (Nebenbestimmung A.7-1 im PFB) sind Schachtverschlusselemente in Unter-/Oberkreide zu berücksichtigen, bei denen der Gaseindringdruck und die Permeabilität des Materials nicht mehr als zwei Größenordnungen über jenen der Unterkreide liegen

Fazit

$\Delta 24$: Radionuklidtransport in der Gasphase (Szenarien)

- Die Prozesse und Szenarien wurden beschrieben

$\Delta 25$: Freisetzung von radioaktiven Gasen im und aus dem Grubengebäude in die Geosphäre

$\Delta 26$: Radionuklidtransport in der Gasphase in der Geosphäre

- Es ist zu erwarten, dass in der Nachbetriebsphase Gas aus dem Grubengebäude in die Geosphäre entweicht
- Die Gase und gasförmige Radionuklide verbleiben unterhalb der Unterkreide
- Radioaktive Gase können nicht bis in die Biosphäre transportiert werden
- Eine Strahlenexposition in der Biosphäre ist somit nicht zu betrachten

$\Delta 27$: Untersuchung der Relevanz von Gas-Fracs für einen möglichen Radionuklidtransport in der Gasphase

- Es wurde festgestellt, dass der Druck zu niedrig ist und keine gasdruckinduzierten Klüfte entstehen können
-
- Alle Deltas wurden bearbeitet und sind nicht sicherheitsrelevant