

Problem:

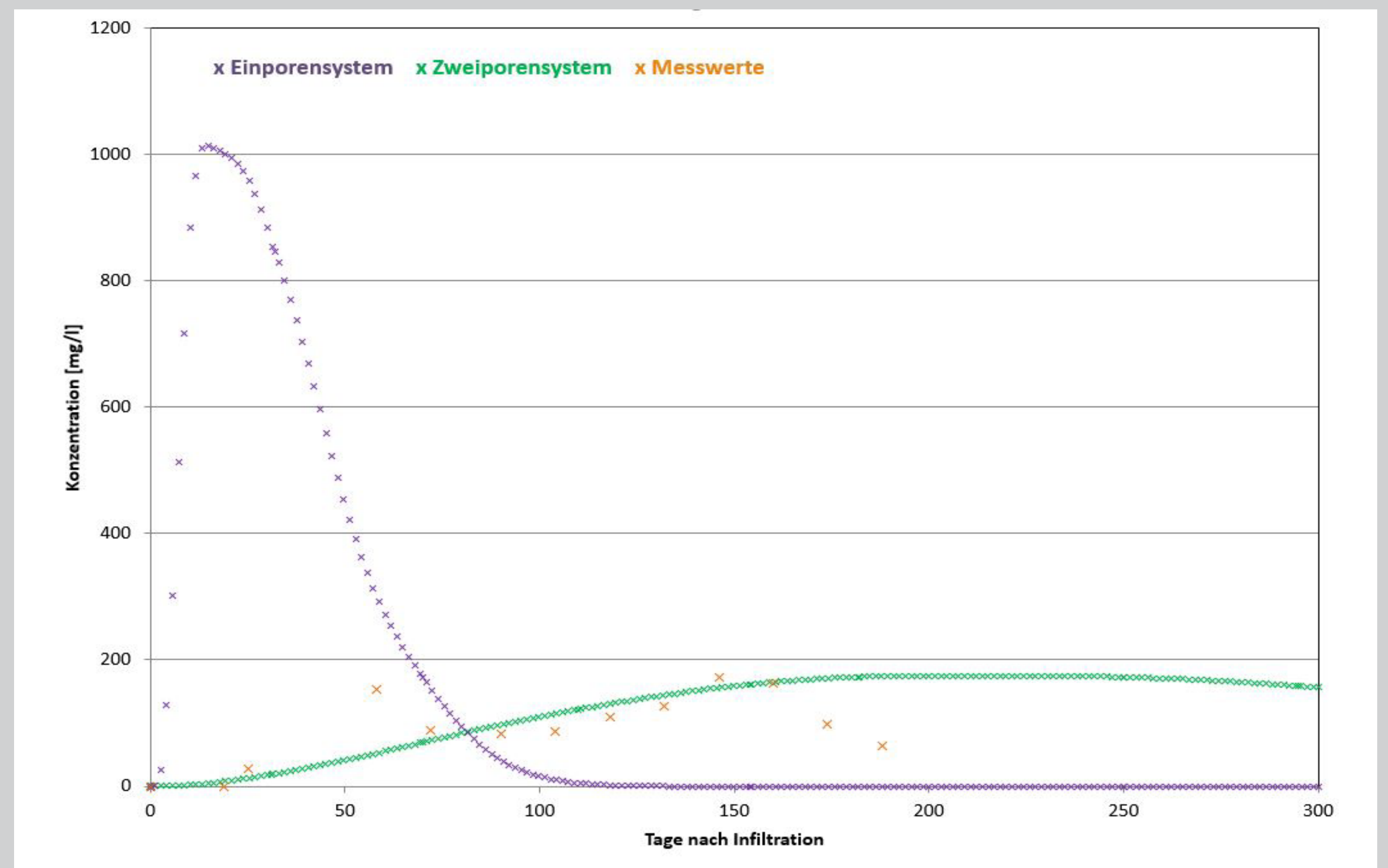
Für die In-situ-Sanierung von kontaminierten Grundwässern werden diverse Verfahren für die Infiltration der dafür erforderlichen reaktiven Stoffe verwendet. Hinsichtlich der Herstellung der behördlichen Akzeptanz im Planungsprozess der In-situ-Sanierung ist insbesondere der Nachweis der Länge des Reaktionsraums und die Restkonzentration der reaktiven Stoffe, wie z.B. Nitrat und Sulfat, die den Reaktionsraum verlassen, von besonderem Interesse. Zielstellung beider Wertbestimmungen ist es jeweils, den wasserrechtlich zwingend nachzuweisenden Einfluss der Grundwassersanierung auf das generell zu schützende Grundwasser zu bewerten, da neben der nachgewiesenen Kontamination des Grundwasserleiters weitere Stoffe in den Grundwasserkörper gebracht werden. Dies ist regelmäßig in einem wasserrechtlichen Erlaubnisverfahren im Detail zu beschreiben, zu erörtern und der Nachweis der „Unschädlichkeit“ zu führen.

Bei aktuell in Umsetzung befindlichen bzw. in Planung befindlichen In-situ-Maßnahmen erfolgte die Infiltration der reaktiven Stoffe nahezu ausschließlich auf der Grundlage einer modellgestützten Prognose, die nur die effektive Porosität (auch als hydraulisch wirksame Porosität bezeichnet) berücksichtigt. Für deren Parametrisierung im Zuge einer klassischen Grundwassermodellierung werden vor allem Literaturwerte verwendet. Bedingt durch die daraus resultierenden Unsicherheiten erfolgt üblicherweise eine Beobachtungsfahrweise mit bevorzugter Kreislaufzirkulation des zu sanierenden Grundwassers. Die Nachdosierung erfolgt dabei ohne Berücksichtigung der natürlich vorhandenen und verzögernden Wirkung des hydraulisch gering wirksamen Porenvolumens (auch als immobiles Porenvolumen bezeichnet), das über Austauschprozesse mit dem hydraulisch wirksamen Porenvolumen verbunden ist.

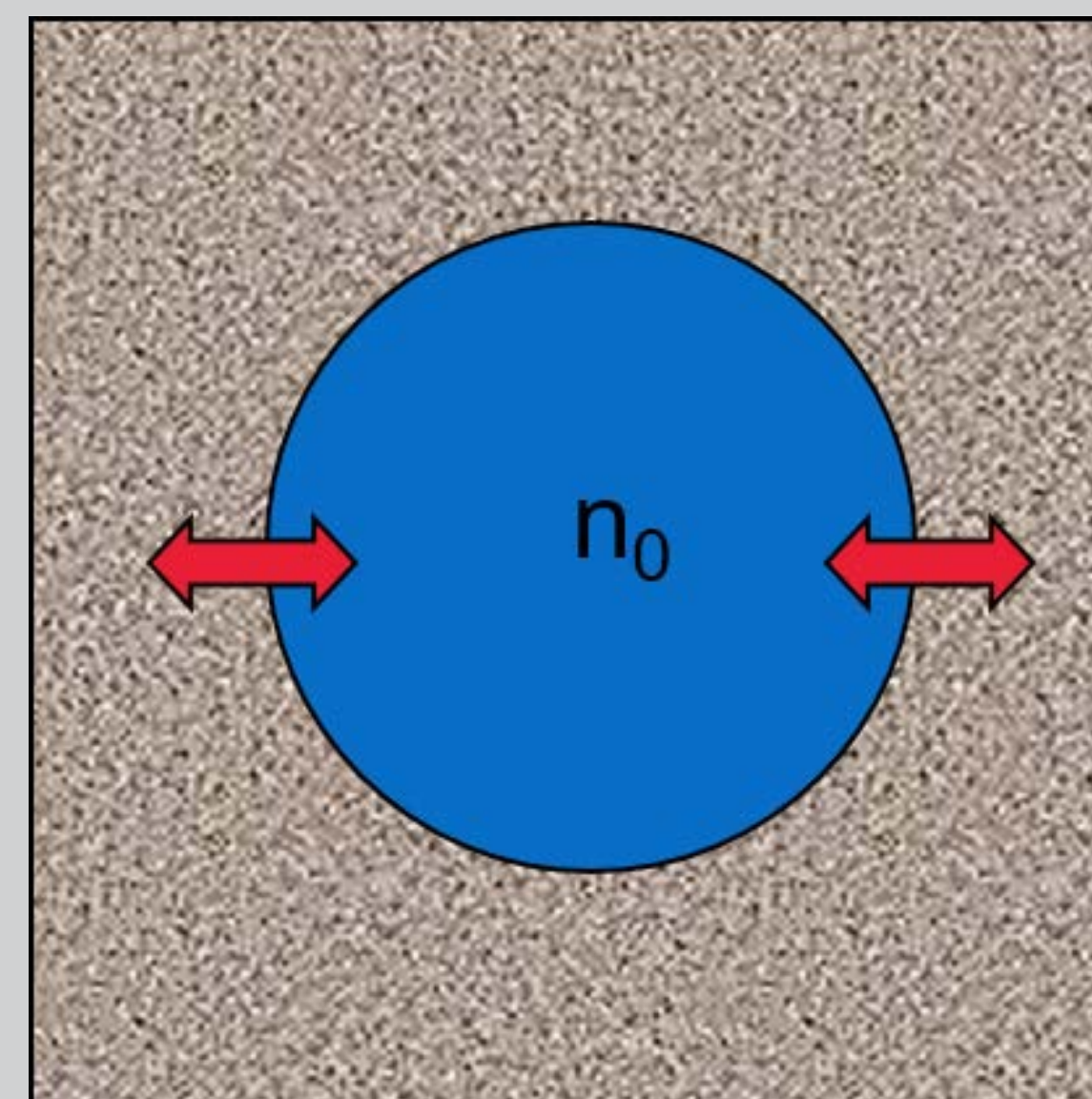
Lösung:

Um die oben genannten Defizite zu beheben, wurde von uns ein Verfahren zur In-Situ- Grundwasserbehandlung (Sanierung und Aufbereitung) entwickelt, das im Vergleich zum Stand der Technik die hydraulisch wirksame und hydraulisch gering wirksame Porosität des Grundwasserleiters sowie im Labor ermittelte Parameter (objektspezifisch oder aus der BGD ECOSAX-Labordatenbank: boden- und kontaminationsspezifisch mit Min-Max-Werten) verwendet. Dadurch ist zum einen der Reaktionsraum in seiner Länge definierbar und zum anderen der Einsatz von reaktiven Stoffen optimierbar. Mit der Kenntnis dieser Parameter ist eine Kreislaufzirkulation des In-Situ zu sanierenden Grundwassers nicht mehr erforderlich. Vielmehr wird eine über den bestehenden Schadherd bzw. den Einflussbereich der In-situ-Sanierungsmaßnahmen hinausgehende nachteilige Veränderung des Grundwasserleiters hinsichtlich seiner Beschaffenheit verfahrensbedingt vermieden und zeitlich und räumlich begrenzt.

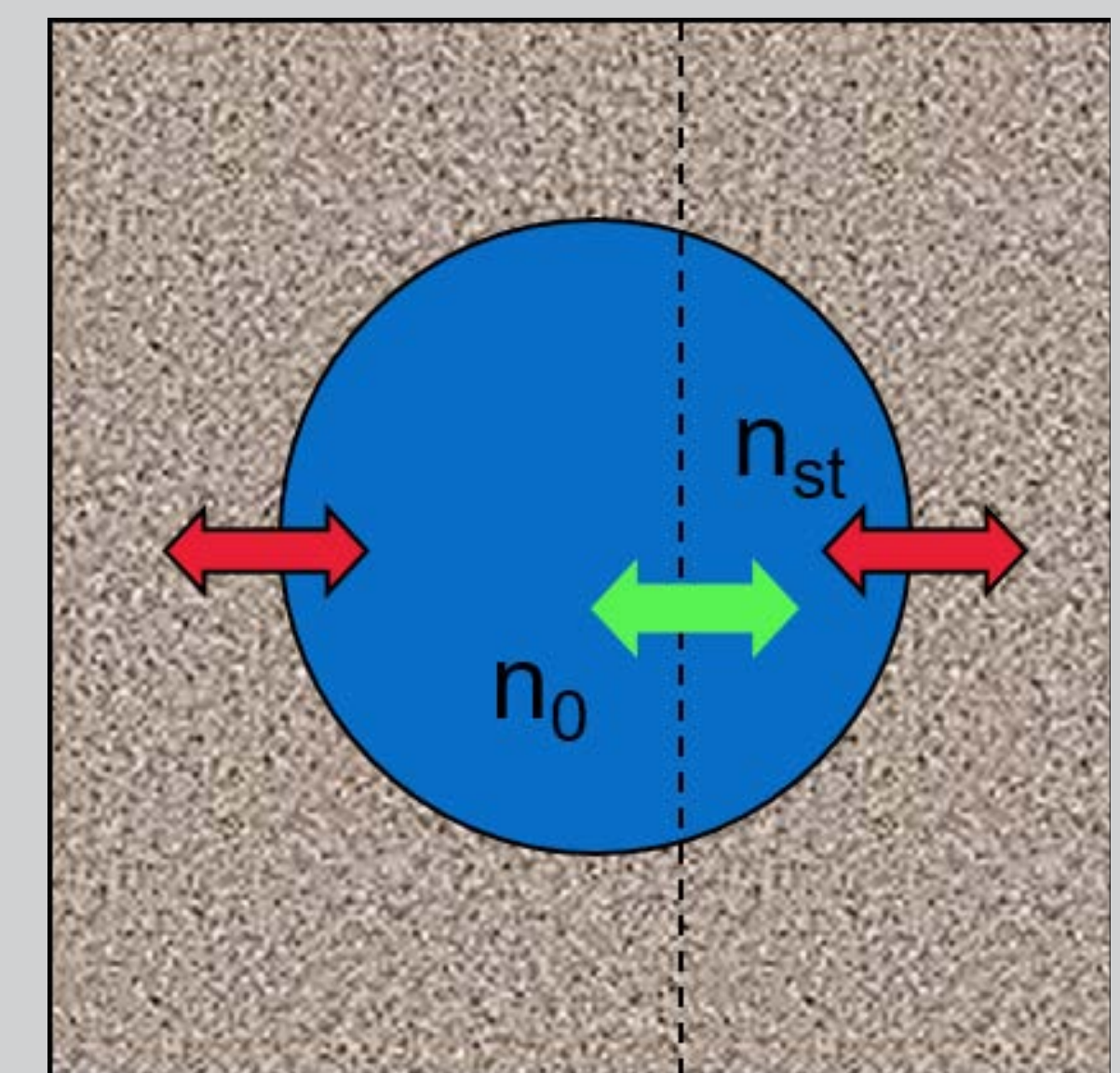
In der nachfolgenden Abbildung wird zur Einführung in die Thematik der Unterschied zwischen dem Einporositäts- und Doppelporositätsansatz am Beispiel eines im Feldbereich durchgeführten Tracerversuchs dargestellt. ■



Vergleich zwischen einer im Feldbereich gemessenen Tracerdurchbruchkurve (rot) mit den unter Verwendung eines Einporenmodells (blau) und eines Doppelporenmodells (grün) angepassten Tracerdurchbruchkurven (DA Albert)



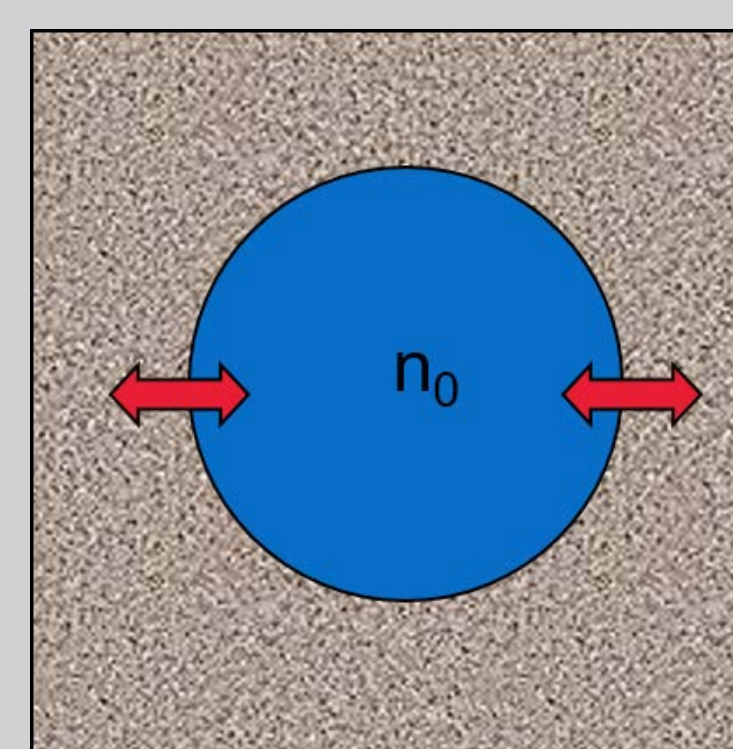
▲ Einporensystem



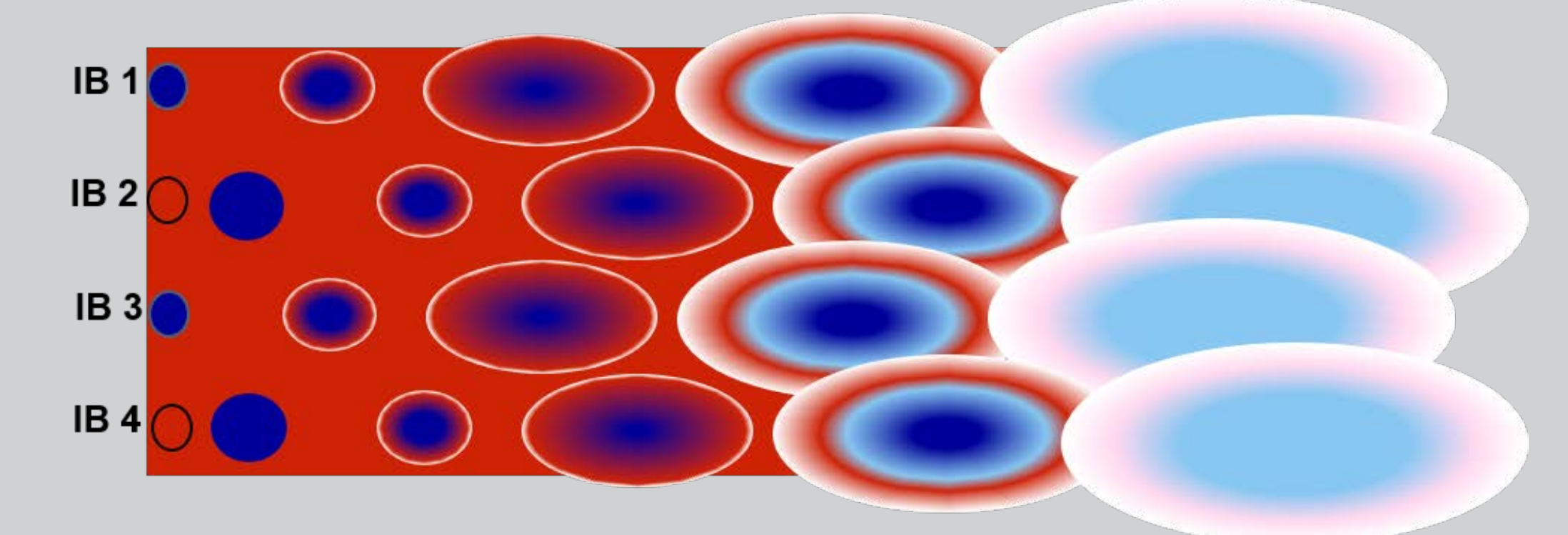
▲ Doppelporensystem

Während die Reaktion einer Stoffinfiltration bei der alleinigen Betrachtung des Grundwasserbereiches als Einporensystem überbewertet wird, erfolgt durch den Ansatz des Doppelporensystems dessen reale Abbildung. Die natürliche zeitlich verzögerte Reaktion der infiltrierten Stoffe hatte bisher zur Folge, dass Nachdosierungen der für die In-Situ-Grundwasserbehandlung zu infiltrierenden Stoffe erfolgten, die in der Folge häufig zu einer Überdosierung führten. Dadurch bedingt war bisher eine Prognose der dem für die In-Situ-Grundwasserbehandlung notwendigen Reaktionsraum verlassenden reaktiven Stoffkonzentration bzw. -fracht nicht möglich.

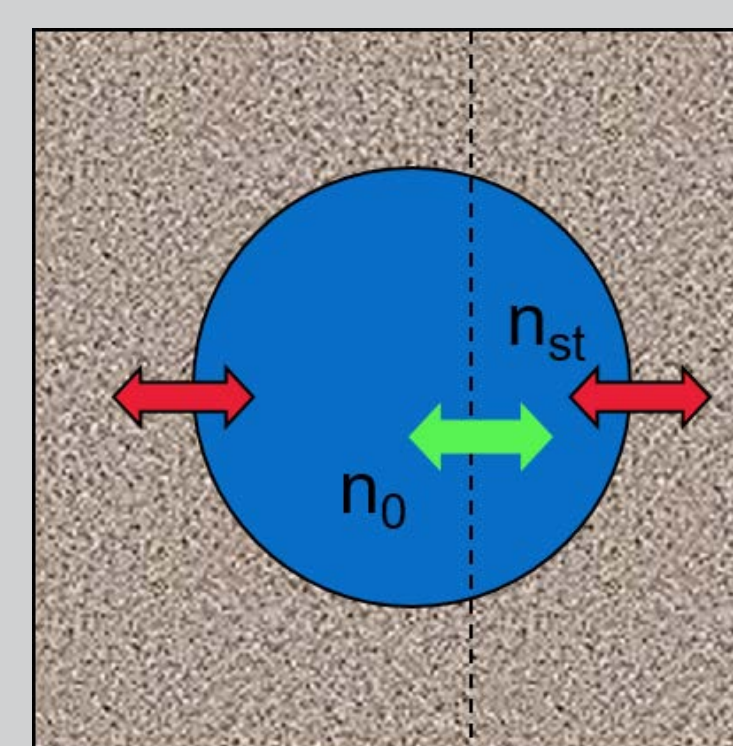
Die Ursache für die zeitlich verzögerte Reaktion der in den Grundwasserbereich infiltrierten reaktiven Stoffe wird in den nachfolgenden Abbildungen erläutert. Bei dem Einporositätsansatz kann eine Vermischung zwischen den infiltrierten reaktiven Stoffen und den zu sanierenden bzw. zu behandelnden Kontaminanten nur an deren Grenzflächen infolge der hydrodynamischen Dispersion erfolgen. Dies erfolgt unabhängig von der Art der Infiltration: ständig oder gepulst. Durch den Doppelporositätsansatz wird die Vermischung zwischen reaktivem Stoff und Kontaminanten durch die hydraulisch gering wirksame Porosität (auch als immobile Porosität bezeichnet) erweitert. Dies führt zu der zeitlichen Verzögerung des Eintreffens der Reaktionsfront an der Kontrollebene bzw. zu der bei einem generellen Schadstoffeintrag in einen Grundwasserleiter zu beobachtende langsame Ausbreitung der Schadstoffe mit einem langen Nachlauf der Schadstoffe, wenn der Impuls des Schadstoffeintrages beendet ist. Um diese reaktionsverzögernde Wirkung der hydraulisch gering wirksamen Porosität zeitlich zu begrenzen, wurde von uns eine zweistufige In-Situ-Grundwasserbehandlung entwickelt, die aus einer Konditionierungs- und mehreren nachfolgenden Bewirtschaftungsphasen besteht. Die Konditionierungsphase dient hierbei für die Aufkonzentration des hydraulisch gering wirksamen Porenvolumens und der vollständigen Reaktion der abiotischen Prozesse, die mindernd auf den infiltrierten reaktiven Stoff wirken. Die nachfolgenden Bewirtschaftungsphasen ermöglichen dann eine Steuerung der im hydraulisch gering wirksamen Porenvolumen stets zu haltenden Mindestkonzentration an reaktiven Stoffen, um den oben benannten Vermischungseffekt stets zu erhalten. ■



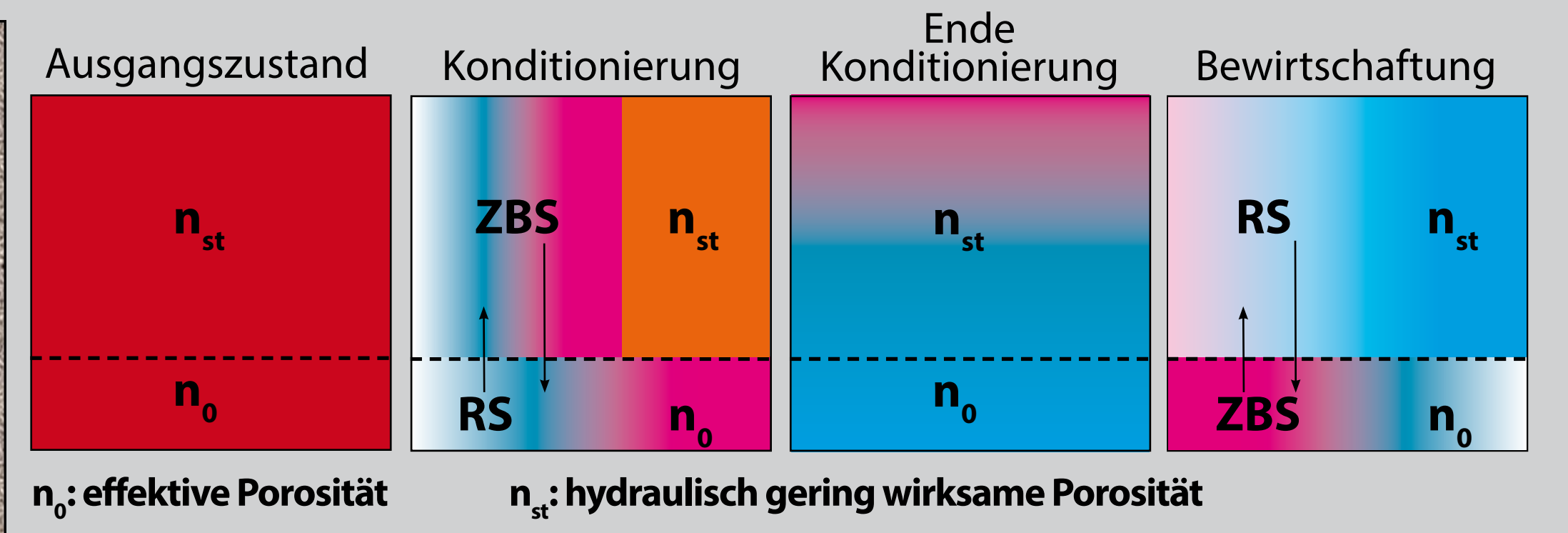
▲ Einporensystem



IB = Infiltrationsbrunnen



▲ Doppelporensystem



n_0 : effektive Porosität n_{st} : hydraulisch gering wirksame Porosität
RS: relativer Stoff ZBS: zu behandelnder (sanierender) Stoff bzw. Kontaminität

BEISPIEL

ENA-Pilotversuch: Benzolkontamination im Grundwasserleiter durch Nitratinfiltration

Praxisbeispiel:

Ausgangspunkt: Behördlich festgelegte Vorgaben

1. Nachweis des auf der Grundlage von Laborversuchen prognostizierten Benzolabbaus auf ca. 20% der Ausgangskonzentration nach einer Fließzeit von ca. 16 d
2. Nachweis der Einhaltung der die Reaktionszone nach ca. 16 d Fließzeit verlassenden Nitratkonzentration von 200 mg/L

Kennwerte des beispielhaften Pilotversuchsfeldes:

- ⇒ hydraulisch wirksamer Porositätsanteil (n_0) = 0,065 und
- ⇒ hydraulisch gering wirksamer Porositätsanteil (n_{st}) = 0,315
- ⇒ Porenwassergeschwindigkeit (v_a): 0,15 m/d

Ermittelter Nitratbedarf:

- Konditionierungsphase: 820 g Nitrat mit 156 L über 16 d infiltriert: 5,26 g/L Nitrat
- Bewirtschaftungsphase: 36 g Nitrat mit 78 L über 8 d infiltriert: 0,46 g/L Nitrat

Ergebnisse an der Kontrollebene

KE	Z in m	FZ in d	EW in %	NW _{max} in %	NW / EW in %
Benzol	2	13	70	60	86 %
Nitrat	2	13	< 200 mg/L	185 mg/L	93 %

PILOTVERSUCHSANLAGE

- Z: Fließlänge
- FZ: Fließzeit
- EW: Erwartungswert entsprechend dem Prognoseergebnis
- NWmax.: max. nachgewiesener Wert

