

InfraServ GmbH und Co. Gendorf KG  
Industrieparkstraße 1  
84508 Burgkirchen

# Beurteilung der Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter

25. März 2021

Projekt Nr.: 0460721

---

**Unterschriftenseite**

25. März 2021

# Beurteilung der Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter



---

Dr. Andrea Herch  
Technical Director



---

Rüdiger Horst  
Principal Consultant

ERM GmbH  
Siemensstrasse 9  
63263 Neu-Isenburg

© Copyright 2021 by ERM Worldwide Group Ltd and / or its affiliates ("ERM").  
All rights reserved. No part of this work may be reproduced or transmitted in any form,  
or by any means, without the prior written permission of ERM

## ZUSAMMENFASSUNG

Der Chemiapark Gendorf leitet über die werkseigene Kläranlage (ZARA) Abwasser in die Alz. Auf der rund 15 km langen Strecke zwischen der Einleitstelle und der Mündung der Alz in den Inn versickert über weite Strecken Alzwasser in den darunterliegenden Grundwasserleiter.

Mit der Versickerung werden auch die im Alzwasser gelösten Stoffe in das Grundwasser eingetragen und mit dem Grundwasserstrom in östliche Richtung zur Salzach transportiert.

Im Rahmen der Beantragung zur Neuerteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis zur Einleitung von gereinigtem Abwasser aus der ZARA in die Alz soll u.a. die Infiltration von mobilen und persistenten Stoffen aus der Alz und deren Auswirkung auf das Grundwasser beurteilt werden. Hierzu wurde vom Bayerischen Landesamt für Umwelt vorgeschlagen, für einen fiktiven, konservativen Stoff „Z“ und einer vorgegebenen Stoffkonzentration in der Alz die Konzentration in der Messstelle Haiming 380A zu prognostizieren.

Mit Schreiben vom 29. Dezember 2020 wurde ERM GmbH (ERM) von der InfraServ beauftragt, die Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter anhand von Modellsimulationen zu untersuchen und zu beurteilen. Ziel der Modelluntersuchung war die Prognose der räumlichen Entwicklung der Stoffausbreitung über einen Zeitraum von mindestens 20 Jahren (Erlaubniszeitraum). Hierzu wurde das bestehende Stofftransportmodell eingesetzt.

Zwischen den Stoffkonzentrationen in der Alz und den resultierenden Stoffkonzentrationen im Grundwasser besteht ein unmittelbarer linearer Zusammenhang. Hierdurch kann für gegebene Fließstrecken in Abhängigkeit der Stoffkonzentration in der Alz die zu erwartende Maximalkonzentration im Aquifer prognostiziert werden.

In Abstimmung mit InfraServ wurden drei Simulationsvarianten mit der Vorgabe von drei unterschiedlichen, aber konstanten Stoffkonzentrationen im Alzwasser (0,1 µg/l, 2,5 µg/l, 5 µg/l) durchgeführt und ausgewertet. Zur besseren Vergleichbarkeit der Modellergebnisse wurde der Abfluss der Alz konstant gehalten und in Absprache mit dem WWA Traunstein auf 6,7 m<sup>3</sup>/s festgesetzt.

Der simulierte Stofftransport entspricht der Ausbreitung eines idealen Tracers im Grundwasser. Die Simulationsergebnisse zeigen mit zunehmender Entfernung von der Alz eine Abnahme der Stoffkonzentration. Die Grundwasserfließgeschwindigkeit lässt sich im Bereich des Daxenthaler Forstes auf rund 1.000 m pro Jahr abschätzen. Ein hypothetisches Wasser- oder Stoffteilchen benötigt für die rund 8 km lange Strecke zwischen der Alz und der Messstelle Haiming 380A demnach ca. 8 Jahre, d. h. der Zeitraum zwischen der Infiltration eines Wasserinhaltsstoffes „Z“ und dessen erstem Nachweis in der Messstelle Haiming 380A beträgt 8 Jahre.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der maximalen Stoffkonzentration (Peakmaximum) ist aufgrund von Dispersionseffekten geringer, sie beträgt etwa 500 m pro Jahr. Für die gleiche Fließstrecke wird demnach eine Dauer von rund 16 Jahren bis zum Eintreffen des Peakmaximums benötigt.

Die in den Aquifer eingetragene Fracht lässt sich anhand vorliegender Untersuchungen /1/, /2/ durch das LfW Bayern (heute LfU Bayern) und Modelluntersuchungen abschätzen. Unter normalen Abflussbedingungen beträgt die Versickerungsrate rund 10 % des Alzabflusses. Damit betragen die aus der Alz in den Aquifer eingetragenen Frachten ebenfalls 10 % der im Alzwasser gelösten Fracht. Die in den Aquifer eingetragenen Stofffrachten werden mit der Zeit wieder über die Vorflut benachbarter Oberflächengewässer aus dem Aquifersystem ausgetragen. Die Modellierungen zeigen, dass bei konstanter Stoffkonzentration in der Alz sich nach ca. 20 Jahren zwischen dem Stoffeintrag aus der Alz und dem Austrag in die übrigen Vorfluter ein Gleichgewichtszustand einstellt. Die im Aquifer maximal gelöste Masse beträgt nur ein Sechstel (ca. 17 %) des gesamten über die Zeit integrierten Stoffeintrages.

Nach Beendigung des Stoffeintrages aus der Alz dauert der Stoffaustrag aus dem Grundwasserleiter über die Vorflut der Bäche sowie Inn und Salzach noch an. Bis zum vollständigen Austrag vergehen rund 20 Jahre. Nach rund 10 Jahren sind allerdings schon 90 % der eingetragenen Masse ausgetragen.

Hervorzuheben ist der Umstand, dass das aus der Alz versickernde Wasser nicht in die westlich der Alz gelegenen öffentlichen Trinkwassergewinnungen gelangt.

## INHALT

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>I</b>
<b>1. EINFÜHRUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 Hintergrund und Veranlassung .....	1
1.2 Aufgabenstellung .....	1
1.3 Aufbau des Berichtes.....	2
1.4 Zitierte Unterlagen .....	2
1.5 Haftungsausschluss.....	3
<b>2. UNTERSUCHUNGSGEBIET</b> .....	<b>4</b>
<b>3. MODELLRECHNUNGEN</b> .....	<b>5</b>
3.1 Alzversickerung .....	5
3.2 Vorgehensweise und Randbedingungen .....	5
3.3 Physikalische Prozesse des Stofftransportes .....	6
<b>4. MODELLERGEBNISSE</b> .....	<b>8</b>
4.1 Methodik der Auswertung .....	8
4.2 Räumliche Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen aus der Alzversickerung.....	8
4.3 Konzentrationsganglinien und Durchbruchskurven an Kontrollpunkten auf den Fließpfaden .....	9
4.4 Fließzeiten bis zum Durchbruch der maximalen Stoffkonzentration an Kontrollpunkten auf den Fließpfaden.....	10
4.5 Konzentrationsverteilung entlang der Fließpfade.....	11
4.6 Linearitätsbetrachtung .....	12
4.7 Tiefenabhängigkeit der Konzentration .....	14
4.8 Dauer des Stoffdurchgangs .....	15
4.9 Frachten.....	17
4.10 Beispielrechnungen .....	22
4.10.1 Konzentrationen.....	22
4.10.2 Frachten.....	22
4.11 Fehlerbetrachtung.....	23
<b>5. ZUSAMMENFASSUNG DER MODELLERGEBNISSE</b> .....	<b>25</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1	Mittlere Fließzeiten östlich und westlich der Alz bis zum Durchbruch der maximalen Stoffkonzentration .....	10
Tabelle 4-2	Prozentuale Anteile der maximalen Stoffkonzentration bezogen auf die maximale Konzentration in der Alz und in Abhängigkeit von der Fließstrecke .....	12
Tabelle 4-3	Lineare Berechnungsfaktoren (LF) an den korrespondierenden Kontrollpunkten.....	13
Tabelle 4-4	Tiefenkorrektur für Kontrollpunkte westlich und östlich der Alz .....	15
Tabelle 4-5	Berechnete Stofffrachten in der Alz und im Versickerungsanteil.....	18
Tabelle 4-6	Versickernde und gelöste Masse im Aquifer .....	21
Tabelle 4-7	Geschätzte Fehlerbandbreiten der Eingangsparameter (aus /3/) .....	24

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Untersuchungsraum und Modellränder des Grundwassermodells.....	4
Abbildung 3-1	Konzentrationsverläufe im Alzwasser für die Simulation des Stoffeintrages aus der Alz in das Grundwasser .....	6
Abbildung 4-1	Konzentrationsverteilung in Abhängigkeit der Tiefe (T=20 Jahre nach Beginn der Versickerung) .....	14
Abbildung 4-2	Dauer des Stoffdurchgangs entlang der Fließpfade EA und EB .....	16
Abbildung 4-3	Verhältnis zwischen Alzabfluss und Versickerungsvolumen nach /1/ und /6/ (Abschnitt Fluss-km 15,400 – km 10,200) .....	18
Abbildung 4-4	Stoffeintrag aus der Alz ( $C_{Alz}=0,1 \mu\text{g/l}$ ) und gelöste Masse im Aquifer .....	19
Abbildung 4-5	Stoffeintrag aus der Alz ( $C_{Alz}=2,5 \mu\text{g/l}$ ) und gelöste Masse im Aquifer .....	20
Abbildung 4-6	Stoffeintrag aus der Alz ( $C_{Alz}=5,0 \mu\text{g/l}$ ) und gelöste Masse im Aquifer .....	20

## Abkürzungsverzeichnis

### Skalare und physikalische Größen:

A	[m <sup>2</sup> ]	Fläche
L	[m]	Längeneinheit
M	[kg]	Masse
V	[l oder m <sup>3</sup> ]	Volumen
t	[s]	Zeit

### Orthographische und interne Abkürzungen:

a	Jahr
Abb.	Abbildung
d	Tag
D <sub>L</sub>	Longitudinale Dispersion
D <sub>T</sub>	Transversale Dispersion
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
h	Stunde
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
l	Liter
LfU Bayern	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LfW Bayern	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
m	Monat
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
min	Minute
m ü. NN	Meter über Normalnull
s	Sekunde
Tab.	Tabelle
µg	Mikrogramm
ZARA	Zentrale Abwasserreinigungsanlage

Weitere Größen werden an der Stelle ihres ersten Auftretens definiert.

## **ANHANG A GRUNDWASSERFLIEßWEGE DER ALZVERSICKERUNG**

### **ANHANG B RÄUMLICHE AUSBREITUNG VON WASSERINHALTS-STOFFEN AUS DER ALZVERSICKERUNG (OBERE 10 M DES AQUIFERS)**

- B-1: Simulation 1 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Alz}=0,1 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_1$ : 2 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-2: Simulation 1 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Alz}=0,1 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_2$ : 20 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-3: Simulation 1 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Alz}=0,1 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_3$ : 8 Jahre nach Ende der Versickerung aus der Alz)
- B-4: Simulation 2 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Alz}=2,5 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_1$ : 2 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-5: Simulation 2 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Alz}=2,5 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_2$ : 20 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-6: Simulation 2 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Alz}=2,5 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_3$ : 8 Jahre nach Ende der Versickerung aus der Alz)
- B-7: Simulation 3 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Alz}=5,0 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_1$ : 2 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-8: Simulation 3 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Alz}=5,0 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_2$ : 20 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-9: Simulation 3 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Alz}=5,0 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_3$ : 8 Jahre nach Ende der Versickerung aus der Alz)

### **ANHANG C SIMULATION 1: KONZENTRATIONSGANGLINIEN UND DURCHBRUCHSKURVEN ENTLANG DER FLIEßPFADE (INFILTRATION AUS DER ALZ MIT $C=0,1 \mu\text{G/L}$ )**

- C-1: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EA
- C-2: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EA
- C-3: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EB
- C-4: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EB
- C-5: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke WA
- C-6: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke WA

### **ANHANG D SIMULATION 2: KONZENTRATIONSGANGLINIEN UND DURCHBRUCHSKURVEN ENTLANG DER FLIEßPFADE (INFILTRATION AUS DER ALZ MIT $C=2,5 \mu\text{G/L}$ )**

- D-1: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EA
- D-2: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EA
- D-3: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EB
- D-4: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EB
- D-5: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke WA
- D-6: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke WA

### **ANHANG E SIMULATION 3: KONZENTRATIONSGANGLINIEN UND DURCHBRUCHSKURVEN ENTLANG DER FLIEßPFADE (INFILTRATION AUS DER ALZ MIT $C=5,0 \mu\text{G/L}$ )**

- E-1: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EA
- E-2: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EA
- E-3: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EB
- E-4: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EB
- E-5: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke WA
- E-6: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke WA

**ANHANG F VERGLEICH DER MAXIMALKONZENTRATIONEN ENTLANG DER  
FLIEßSTRECKEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN  
STOFFEINTRAGSKONZENTRATIONEN IN DER ALZ**

- F-1: Fließstrecke EA
- F-2: Fließstrecke EB
- F-3: Fließstrecke WA

## 1. EINFÜHRUNG

### 1.1 Hintergrund und Veranlassung

Der Chemiepark Gendorf (CPG) leitet über die von der InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG (InfraServ) betriebenen Kläranlage (ZARA) Abwasser in die Alz. Der Einleitpunkt in die Alz befindet sich bei Alz-km 14+300. Auf der rund 15 km langen Strecke zwischen der Einleitstelle und der Mündung der Alz in den Inn versickert über weite Strecken Alzwasser in den darunterliegenden Grundwasserleiter. Die Alz repräsentiert damit über den größten Teil ihres Verlaufs zwischen Bruck und der Mündung in den Inn ein infiltrierendes Gewässer, d.h. sie gibt Wasser an das begleitende Aquifersystem ab. Lediglich im Bereich der Alzmündung in den Inn fungiert die Alz als lokaler Vorfluter. Der Sickerwasserverlust ist abhängig vom Gesamtabfluß der Alz und schwankt zwischen 0,4 m<sup>3</sup>/s und 1,9 m<sup>3</sup>/s. Unter mittleren Abflussbedingungen der Alz von ca. 7 m<sup>3</sup>/s beträgt der Sickerwasserverlust ca. 0,6 m<sup>3</sup>/s.

Mit der Versickerung werden auch die im Alzwasser gelösten Stoffe in das Grundwasser eingetragen und mit dem Grundwasserstrom in östliche Richtung zur Salzach transportiert. Der Nachweis verschiedener Inhaltsstoffe aus der Abwassereinleitung des CPG an der Grundwassermessstelle Haiming 380A belegt diesen Stofftransport. Die dort festgestellten Stoffe benötigen von der Alz bis zur Messstelle Haiming 380A eine Fließdauer von ca. 8 Jahren bis zum ersten Nachweis.

Im Rahmen der Beantragung zur Neuerteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis zur Einleitung von gereinigtem Abwasser aus der ZARA in die Alz soll u.a. die Infiltration von mobilen und persistenten Stoffen aus der Alz und deren Auswirkung auf das Grundwasser beurteilt werden. Hierzu wurde vom LfU Bayern vorgeschlagen, für einen fiktiven, konservativen Stoff „Z“ und einer vorgegebenen Stoffkonzentration in der Alz die Konzentration in der Messstelle Haiming 380A zu prognostizieren

Mit Schreiben vom 29. Dezember 2020 wurde ERM GmbH (ERM) von der InfraServ beauftragt, die Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter anhand von Modellsimulationen zu untersuchen.

### 1.2 Aufgabenstellung

Gegenstand dieses Berichtes ist die Prognose der räumlichen und zeitlichen Entwicklung der Stoffausbreitung von persistenten und mobilen Stoffen in der Alz, die in den Grundwasserleiter versickern. Hierfür soll im Sinne einer worst-case Betrachtung für einen fiktiven, konservativen Stoff „Z“, ausgehend von einer vorgegebenen Stoffkonzentration in der Alz, über die Simulation des Stofftransports die Konzentration in der Messstelle Haiming 380A ermittelt werden.

Die im Grundwasser zu erwartenden resultierenden Stoffkonzentrationen stehen in direktem Zusammenhang mit den durch die Alzversickerung eingetragenen Frachten, d. h. dem Produkt aus der Stoffkonzentration im Alzwasser und der versickernden Wassermenge.

Mit Hilfe des Grundwassermodells wurde die Versickerung eines mobilen, persistenten und nicht reaktiven Wasserinhaltsstoffes aus der Alz in den Aquifer simuliert. Das Modell ist mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) abgestimmt und in Berichten ausführlich dokumentiert (ERM-Bericht Nr. 6 vom Februar 2015 /5/, ERM-Bericht Nr. 7 vom April 2016 /4/, ERM Bericht Nr. 8 vom Februar 2018 /3/).

Ziel der Modelluntersuchung ist die Prognose der räumlichen Entwicklung der Stoffausbreitung über einen Zeitraum von 20 Jahren (Erlaubniszeitraum) und die Konzentrationsentwicklung an den betrachteten Messstellen Haiming 380A und VB1.

In Abstimmung mit InfraServ wurden drei Simulationsvarianten mit drei verschiedenen Konzentrationen von „Z“ im Alzwasser (0,1 µg/l, 2,5 µg/l, 5 µg/l) durchgeführt und ausgewertet.

### 1.3 Aufbau des Berichtes

Der Bericht ist wie folgt gegliedert:

- Kapitel 1 erläutert den Hintergrund und die Aufgabenstellung.
- Kapitel 2 skizziert das Untersuchungsgebiet und dessen Abgrenzung.
- Kapitel 3 beschreibt die Vorgehensweise und die Randbedingungen für die Modellrechnungen.
- Kapitel 4 beschreibt die Grundwassermodellrechnungen und deren Ergebnisse.
- Kapitel 5 fasst die Modellergebnisse und Schlussfolgerungen zusammen.

Dem Bericht sind in den Anhängen A bis G zahlreiche Tabellen und Planunterlagen beigelegt.

### 1.4 Zitierte Unterlagen

- /1/ Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1993): Restwasseruntersuchung für die Ausleitungsstrecke der Alzstufe IV. - Stellungnahme des Landesamtes für Wasserwirtschaft vom 20. Januar 1993.
- /2/ Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1982): Flussmorphologische Untersuchungen der unteren Alz von Altenmark bis zur Mündung in den Inn, München, April 1982.
- /3/ ERM (2018): Detailuntersuchung der PFOA-Belastungen im Boden und Grundwasser im Bereich Gendorf – Grundwassermodellbericht „Stofftransportkalibrierung“ – Bericht Nr. 8., Neu-Isenburg, Februar 2018.
- /4/ ERM (2016): Detailuntersuchung der PFOA-Belastungen im Boden und Grundwasser im Bereich Gendorf – Grundwassermodellbericht „Strömungskalibrierung“ – Bericht Nr. 7., Neu-Isenburg, April 2016.
- /5/ ERM (2015): Detailuntersuchung der PFOA-Belastungen im Boden und Grundwasser im Bereich Gendorf – 2. Addendum zum Bericht „Hydrogeologisches Modell für den Raum Gendorf“. – Bericht Nr. 6., Neu-Isenburg, Februar 2015.
- /6/ ERM (2013): Detailuntersuchung der PFOA-Belastungen im Boden und Grundwasser im Bereich Gendorf – Ergänzende Untersuchungen und Addendum zum Bericht „Hydrogeologisches Modell für den Raum Gendorf“. – Bericht Nr. 5., Neu-Isenburg, Oktober 2013.
- /7/ Knaur, Joseph (1950): Geologisches Gutachten über die Verunreinigung des Grundwassers im Alz-Gebiet bei Gendorf. – Erstellt für Anorgana U.S. Administration, München, September 1950.
- /8/ Reuter (1950): Die Verunreinigung des Fluss- und Grundwassers im unteren Alz- und Salzachtal. – Hydrogeologische Gutachten des Landesgeologen (Teil 1&2), München, April & September 1950.

## 1.5 Haftungsausschluss

Dieser Bericht ist das Ergebnis von unter Anwendung wissenschaftlicher Prinzipien und sachverständiger Beurteilung gewonnener subjektiver Einschätzungen.

Die in diesem Bericht zum Ausdruck gebrachten sachverständigen Beurteilungen basieren auf den gegenwärtig vorhandenen Tatsachen im Rahmen der vorhandenen Informationen und des Leistungsumfangs.

Der Bericht basiert auf dem Zustand und der Verfassung des betreffenden Standorts zum Zeitpunkt der Untersuchungen.

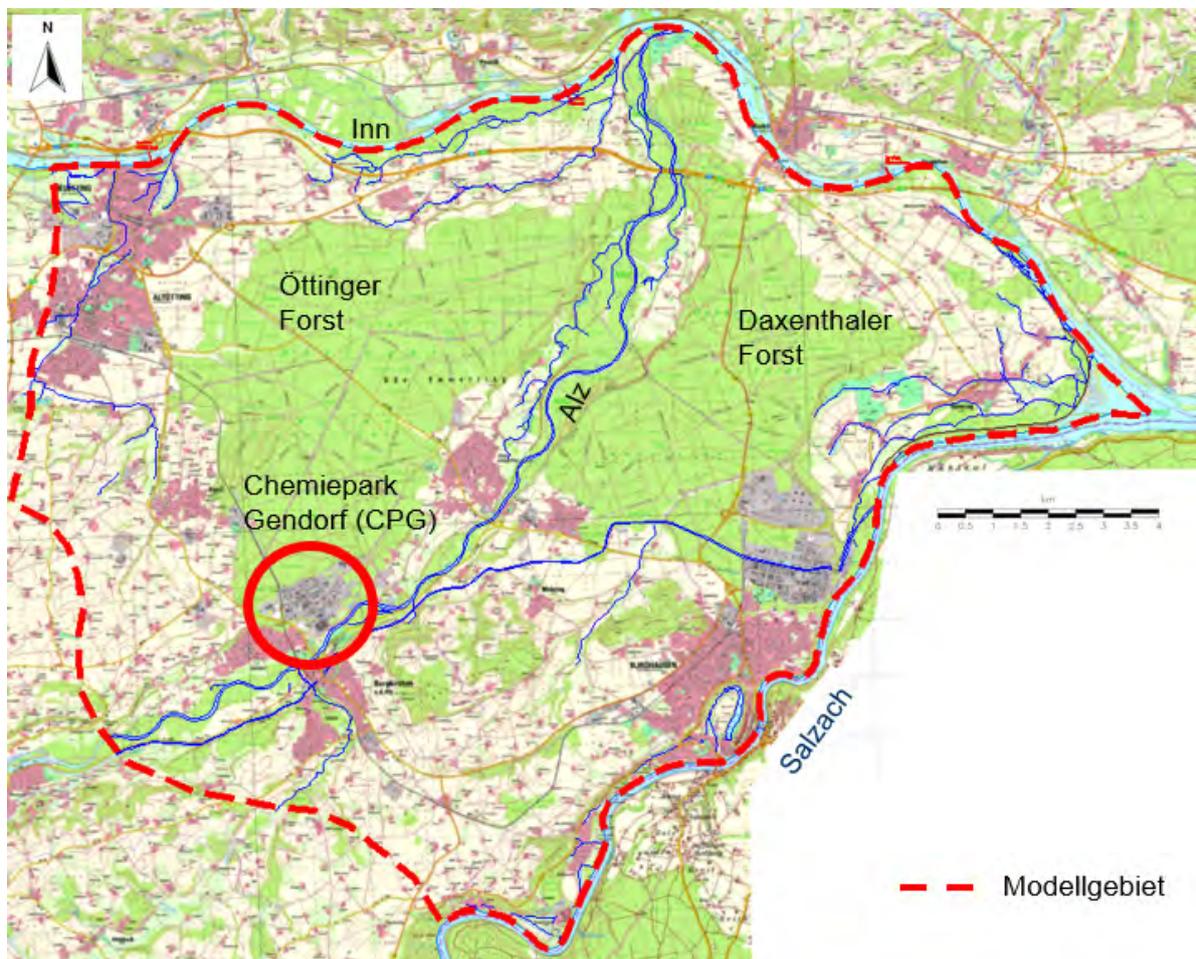
Dieser Bericht einschließlich aller Anhänge, Anlagen und sonstigen in Bezug genommenen Dokumente wurde einzig und allein zur Nutzung durch den Kunden, dessen Berater und Vertreter sowie die konkret bezeichneten und bestätigten Empfänger des Berichts zum Zwecke des Projekts, insbesondere die zuständigen Ämter und Behörden, erstellt. Der Bericht ist vom Kunden und den bezeichneten Empfängern geheim zu halten. Andere Parteien dürfen auf den Bericht nur auf der Grundlage eines mit ERM abgeschlossenen schriftlichen „Reliance Letter“ zu denselben Vertragsbedingungen wie mit dem Kunden vertrauen.

Der Bericht ist auf der Grundlage der zum Zeitpunkt der Berichtserstellung geltenden Rechtslage erstellt. Sofern nicht vom Kunden aufgefordert, ist ERM nicht verpflichtet nach diesem Zeitpunkt eintretende Änderungen der einschlägigen Gesetze zu berücksichtigen oder auf sie hinzuweisen.

## 2. UNTERSUCHUNGSGEBIET

Das Untersuchungsgebiet liegt in Südostbayern nahe der Österreichischen Grenze im Inn-Salzach-Dreieck. Der Chemiepark Gendorf befindet sich am südwestlichen Rand des Untersuchungsraumes direkt an der Alz (siehe Abbildung 2-1). Im Abstrom befinden sich westlich der Alz die Gemeinden Bruck und Emmerting sowie östlich der Alz die Ortslagen von Hohenwart und Oed/Mehring. Die Alz entwässert in den Inn.

Der Betrachtungsraum der Untersuchung erstreckt sich im Wesentlichen abstromig des Chemieparks Gendorf parallel zur Alz sowie östlich der Alz im Bereich des Daxenthaler Forstes bis zum Inn im Norden und Nordosten bzw. zur Salzach im Osten. Der Bereich westlich der Alz ist aufgrund der vorherrschenden Grundwasserströmungsverhältnisse nur entlang eines schmalen ufernahen Streifens von der Alzversickerung betroffen. Der Öttinger Forst sowie die westlich und nördlich daran angrenzenden Gebiete befinden sich nicht im Einflussbereich der Alzversickerung.



**Abbildung 2-1 Untersuchungsraum und Modellränder des Grundwassermodells**

### 3. MODELLRECHNUNGEN

#### 3.1 Alzversickerung

Der Vorgang der Alzversickerung ist durch die Arbeiten von REUTER /8/ und KNAUR /7/ bereits seit den 1950er Jahren bekannt. Im Zusammenhang mit der Alzversickerung wurde damals erstmals der Eintrag von Wasserinhaltsstoffen in das Grundwasser anhand der damaligen Chloridfrachten in der Alz untersucht.

In den Jahren 1982 und 1993 erfolgten weitere Untersuchungen durch das ehemalige Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (heute LfU), die vor allem der Quantifizierung der Versickerungsmengen galten /1/, /2/.

Seit 2012 wurden im Rahmen der „Detailuntersuchung zur PFOA-Belastungen im Boden und Grundwasser im Bereich Gendorf“ weitere Untersuchungen hinsichtlich des Eintrages von PFOA aus der Alz in den Grundwasserleiter durchgeführt /3/, /4/, /5/, /6/. Hierzu wurde u.a. ein dreidimensionales Strömungs- und Stofftransportmodell entwickelt. Das Modell wurde anhand vorliegender Messwerte zur Grundwasserbelastung durch PFOA im Zeitraum von 1970-2010 und Chlorid in den 1940 und 1950er Jahren kalibriert. Das Modell ist hinsichtlich eines nicht reaktiven Stofftransportes im Grundwasser prognosefähig.

#### 3.2 Vorgehensweise und Randbedingungen

Mit Hilfe des Grundwassermodells wurde die Versickerung eines mobilen, persistenten und nicht reaktiven Wasserinhaltsstoffes aus der Alz in den Aquifer simuliert. Zur Ermittlung der Auswirkung auf die Stoffkonzentration im Grundwasser wurden drei Simulationen mit der Vorgabe unterschiedlich hoher Stoffkonzentrationen im Alzwasser durchgeführt:

- Simulation 1 mit einer simulierten Stoffkonzentration von 0,1 µg/l in der Alz.
- Simulation 2 mit einer simulierten Stoffkonzentration von 2,5 µg/l in der Alz.
- Simulation 3 mit einer simulierten Stoffkonzentration von 5,0 µg/l in der Alz.

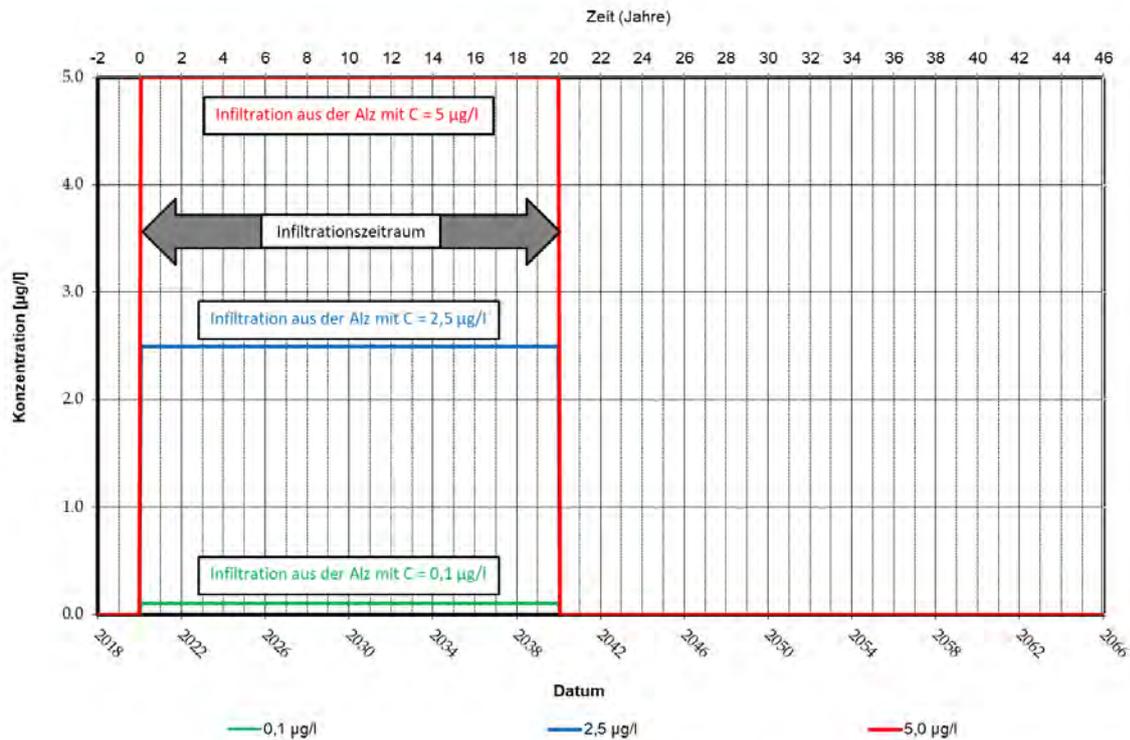
Die Dauer des simulierten Stoffeintrages beträgt in allen Simulationen 20 Jahre (s. a. Abbildung 3-1). Modellseitig wurde als Beginn des Stoffeintrages der 1. Januar 2020 gewählt. Der Startzeitpunkt ist beispielhaft und stellvertretend für jeden anderen Zeitpunkt. Über die gesamte Dauer des Stoffeintrages wurde die Stoffkonzentration in der Alz konstant gehalten.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Modellergebnisse wurde über die Dauer der Simulation der Abfluss der Alz konstant gehalten und in Absprache mit dem WWA Traunstein<sup>1</sup> auf 6,7 m<sup>3</sup>/s festgesetzt<sup>2</sup>. Dies entspricht dem Mittelwert des 90%-Perzils der Abflüsse der letzten 21 Jahre (ohne Abflussdaten während der Alzkanalabstellung).

---

<sup>1</sup> Schriftliche Bestätigung per mail vom Wasserwirtschaftsamt Traunstein, Fachbereiche Gewässerschutz und Abwasserentsorgung sowie Monitoring, Hydrologie, Warndienste (27. September 2018).

<sup>2</sup> Zum Vergleich: der mittlere Niedrigwasserabfluss MNQ liegt bei 3,57 m<sup>3</sup>/s, der mittlere Abfluss MQ bei 11,6 m<sup>3</sup>/s (30-jährige Abflussreihe 1988-2017).



**Abbildung 3-1 Konzentrationsverläufe im Alzwasser für die Simulation des Stoffeintrages aus der Alz in das Grundwasser**

### 3.3 Physikalische Prozesse des Stofftransportes

Grundsätzlich findet die Bewegung und Verteilung von punktuellen Konzentrationsanomalien immer in Richtung der Grundwasserfließbewegung in Verbindung mit abnehmenden Maximalkonzentrationen statt. Dieser rein konvektive Anteil des Stofftransportes beschreibt nur den linearen Fließweg eines „Stoffteilchens“ parallel zur Fließrichtung. Bei einer gewöhnlichen Strömungssimulation wird der Transport des „Stoffteilchens“ mit Hilfe von Bahnlinien gezeigt.

Im Gegensatz hierzu berücksichtigen Stofftransportberechnungen die gesamte Bandbreite der physikalischen und ggf. auch der chemischen Prozesse, die sich auf die Stoffkonzentration während des Transportes auswirken.

Der *konservative* Schadstofftransport beschreibt die klassischen Transportparameter Konvektion, Diffusion und Dispersion, die Transportbeschreibung entspricht der eines idealen Tracers. Dieser unterliegt während der Untergrundpassage keinen physikochemischen oder biologischen Abbau- oder Reaktionsprozessen.

Die **Konvektion** beschreibt lediglich die Bewegung der Stoffpartikel mit dem Grundwasserstrom entlang der Strömungslinien mit der entsprechenden Strömungsgeschwindigkeit.

Die **molekulare Diffusion** ( $D_0$ ) beschreibt die isotrope Ausbreitung einer Anomalie mit abnehmender Maximalkonzentration, hervorgerufen durch einen Konzentrationsausgleich entlang eines Konzentrationsgefälles. Dieser Effekt findet auch ohne Grundwasserströmung statt. Im Vergleich zu den anderen Transportparametern ist der Effekt der molekularen Diffusion meist vernachlässigbar klein.

Die **hydromechanische Dispersion** ist neben der Konvektion der wichtigste Parameter des Schadstofftransportes. Durch die körnige Struktur des Grundwasserleiters können sich verzweigte Fließwege parallel und senkrecht zum Hauptpfad einstellen. Als Ergebnis verschmiert die Front einer

gelösten Fahne sowohl in Längsrichtung (longitudinale Dispersion  $D_L$ ) als auch quer zur Längsrichtung (transversale Dispersion  $D_T$ ). Eine punktuelle Anomalie dehnt sich somit mit der Zeit in Form einer Ellipse aus, während simultan die maximale Konzentration im Zentrum abnimmt. Im Allgemeinen wird das Verhältnis zwischen longitudinaler und transversaler Dispersion mit 10:1 angenommen. Geologische Inhomogenitäten können den Effekt weiter verstärken (Makrodispersion).

Die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Simulationen betrachten keine *reaktiven* Stofftransportvorgänge, wie etwa die Reduzierung der Stoffkonzentrationen durch Abbau oder Adsorption.

Die aus der Modellkalibrierung /3/ hervorgegangenen und auch in dieser Untersuchung angewandten Stofftransportparameter betragen:

- Longitudinale Dispersion  $D_L$ : 50 m;
- Transversale Dispersion  $D_T$ : 5 m;
- Diffusion:  $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Die transversale Dispersion  $D_T$  entspricht gemäß den gängigen Literaturangaben 1/10 von  $D_L$ . Diffusionseffekte sind angesichts der hohen Strömungsgeschwindigkeiten vernachlässigbar klein.

## 4. MODELLERGEBNISSE

### 4.1 Methodik der Auswertung

Eine erste Auswertung der Modellergebnisse ergibt sich anhand der raum-zeitlichen Darstellung der Stoffausbreitung (s. nachfolgendes Kapitel 4.2).

Um eine vergleichende und nachvollziehbare Bewertung der Modellergebnisse zu gewährleisten, sind ausgehend von der Versickerungsstrecke des Alzwassers die Fließpfade (Bahnlinien) des versickerten Wassers bzw. des korrespondierenden Grundwasserstromes in Anhang A dargestellt. Diese entsprechen auch den Fließwegen möglicher Wasserinhaltsstoffe, die aus der Alz in den Grundwasserleiter übertreten können.

Die Alz infiltriert zwischen Bruck und der Einmündung des Brunnbaches bzw. des Schützingener Bachs beidseitig. Das heißt, sie infiltriert sowohl nach Osten in Richtung des Daxenthaler Forstes als auch nach Norden (im Alzbogen südlich von Bruck) und nach Westen in Richtung Emmerting und Brunnbach.

Zur Auswertung der Modellergebnisse östlich der Alz (Daxenthaler Forst) erstrecken sich die Fließpfade EA und EB ausgehend von der Alz in östliche Richtung (s. rötlich eingefärbte Bereiche in Anhang A). Der Fließpfad EA markiert dabei den Fließweg möglicher Wasserinhaltsstoffe von der Alz bis zur Messstelle Haiming 380A. Der Fließpfad EB verläuft weiter südlich und erstreckt sich über die Messstelle VB1/GWM112 bis zur Salzach.

Westlich der Alz erstreckt sich der Fließpfad WA vom Alzbogen bei Bruck bis Emmerting. Westlich der Alz reicht das von der Infiltration betroffene Gebiet maximal 700 m von der Uferlinie der Alz nach Nordwesten. Es ist deutlich kleiner als das von der Infiltration betroffene Gebiet östlich der Alz.

Innerhalb der Betrachtungsbereiche wurden entlang der korrespondierenden Fließwege im Abstand von jeweils 1.000 m Kontrollpunkte gesetzt, die der weiteren Auswertung zur Entwicklung der Stoffkonzentrationen im Grundwasser dienen. Östlich der Alz sind dies die Kontrollpunkte EA1 bis EA8 und EB1 bis EB6. Westlich der Alz liegen die Kontrollpunkte WA1 bis WA3. An den Kontrollpunkten lassen sich die instationär berechneten Stoffkonzentrationen im Grundwasser zu jedem beliebigen Zeitpunkt in Form von Konzentrationsganglinien bzw. Durchbruchkurven darstellen. Die Ganglinien erlauben einen Vergleich der unterschiedlichen Konzentrationsprofile und deren zeitliche Varianz<sup>3</sup>(s. Kap. 4.3).

### 4.2 Räumliche Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen aus der Alzversickerung

Die räumliche Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen, die aus der Alz in den oberen (quartären) Grundwasserleiter versickern ist in den Anhängen B-1 bis B-9 für drei Zeiträume ab dem Beginn der Versickerung (Zeitpunkt  $T_0$ ) dargestellt. Die Karten zeigen die Stoffausbreitung für folgende Zeiträume ab Beginn der Versickerung:

- **2 Jahre nach Beginn der Versickerung:** (Anhänge B-1, B-4 und B-7 mit Stoffkonzentrationen in der Alz von jeweils 0,1, 2,5 und 5 µg/l. Dieser Zeitpunkt entspricht etwa dem Erreichen der maximalen Konzentration<sup>4</sup> am jeweils 1. Kontrollpunkt eines Fließpfades (s. Kapitel 4.1 zur Erläuterung der Kontrollpunkte und Anhang A zur deren Lage).

Östlich der Alz verläuft die 0,1 µg/l-Konzentrationslinie bis zu den Kontrollpunkten EA3 und EB3 bis EB4 (bezogen auf eine simulierte und konstante Stoffkonzentration von 5 µg/l aus der Alzversickerung). Bei geringeren Stoffkonzentrationen (2,5 µg/l) verschiebt sich die 0,1 µg/l-

<sup>3</sup> Betrachtungsrelevant sind die oberen 10 m des wassererfüllten Grundwasserleiters. Für größere Tiefen sind in Kap. 4.7 entsprechende Korrekturfaktoren genannt.

<sup>4</sup> Die maximale Konzentration entspricht der Gleichgewichtskonzentration im Grundwasserleiter bei konstanter Versickerungsrate aus der Alz mit konstanter Konzentration.

Konzentrationslinie zur Alz. Bei einer Stoffkonzentration von 0,1 µg/l liegen alle Konzentrationen im Grundwasser unter 0,1 µg/l. Dies gilt auch für alle weiter unten dargestellten Fälle. Die Stoffausbreitung hat demnach in den 2 Jahren seit Beginn der Versickerung einen Fließweg von ca. 3 km zurückgelegt (bis zum Erreichen der Maximalkonzentrationen an den jeweiligen Kontrollpunkten s. Tabelle 4-1).

Westlich der Alz breiten sich die Wasserinhaltsstoffe schnell und alzparallel aus, etwa entlang der Linie Bruck und dem östlichen Ortsteil von Emmerting sowie zwischen Alz und dem Brunnbach.

- **20 Jahre nach Beginn der Versickerung:** (Anhänge B-2, B-5 und B-8 mit Stoffkonzentrationen in der Alz von jeweils 0,1, 2,5 und 5 µg/l). Dieser Zeitpunkt repräsentiert die maximale Stoffausbreitung für eine konstante Versickerung mit konstanter Konzentration aus der Alz für eine Dauer von ca. 20 Jahren. Die Infiltration aus der Alz ist zu diesem Simulationszeitpunkt noch nicht beendet.

Östlich der Alz hat sich der infiltrierte Stoff über den gesamten Bereich zwischen Alz und Salzach ausgebreitet. Das Zentrum der Stofffahne erstreckt sich zwischen den Grundwassermessstellen GWM112/VB1 und GWM16/Pflanzgarten zum Brunnen 4 der OMV und von dort zu den Quellbereichen verschiedener Bäche zwischen Neuhofen, Kemerting und Haiming (Quelle Neuhofen, Hubmühlbach, Haiminger Bach). Nach Süden wird der Einwirkungsbereich durch die Verbreitungsgrenze der Hangendserie nördlich des Eschel- und Hechenberges begrenzt. Nach Nordosten erstreckt sich der Einwirkungsbereich bis zum Inn.

Westlich der Alz zeigen sich gegenüber einer nur 2 Jahre andauernden Versickerung nur geringe Änderungen hinsichtlich der räumlichen Ausdehnung des Einwirkungsbereiches und der Konzentrationsverteilung. Lediglich im Bereich nördlich des Brunnbachs bis zur Mündung der Alz in den Inn ist noch eine weitere Stoffausbreitung parallel zur Alz feststellbar.

- 28 Jahre Simulation, d.h. 20 Jahre nach Beginn der Versickerung und 8 Jahre nach Beendigung: (Anhänge B-3, B-6 und B-9 mit Stoffkonzentrationen in der Alz von jeweils 0,1, 2,5 und 5 µg/l). Östlich der Alz sind die Stoffkonzentrationen deutlich zurückgegangen. Sie liegen weiträumig unter 0,1 µg/l (bezogen auf Stoffeinträge von 2,5 und 5 µg/l). Lediglich in den äußersten Randbereichen zwischen dem Daxenthaler Forst und dem Inn bzw. der Salzach zeigen sich noch Stoffkonzentrationen von mehr als 0,1 µg/l, die in den Folgejahren abnehmen. Bezogen auf Stoffkonzentrationen von 0,1 µg/l (Simulation 1) sind die in den äußersten Randbereichen verbliebenen Restkonzentrationen naturgemäß noch deutlich geringer (<0,01 µg/l). Westlich der Alz sind nur noch im Unterlauf nahe der Alzmündung kleine Bereiche mit Stoffkonzentrationen >0,1 µg/l vorhanden. Für die Simulation 1 sind die Residualbelastungen noch deutlich geringer. Sie liegen in einer Größenordnung von <0,01 µg/l.

Die Simulationen zeigen auch deutlich, dass das aus der Alz versickernde Wasser nicht zu den westlich der Alz im Öttinger Forst gelegenen öffentlichen Trinkwassergewinnungsanlagen (Kastl, Burgkirchen, Neuötting und Alzgern) gelangt.

### 4.3 Konzentrationsganglinien und Durchbruchkurven an Kontrollpunkten auf den Fließpfaden

In den Anhängen C bis E finden sich die Durchbruchkurven der o.g. Simulationsvarianten:

- Simulation 1 (0,1 µg/l): Anhänge C-1, C-3, C-5
- Simulation 2 (2,5 µg/l): Anhänge D-1, D-3, D-5
- Simulation 3 (5,0 µg/l): Anhänge E-1, E-3, E-5

Die Ganglinien zeigen den Konzentrationsverlauf im Grundwasser in Abhängigkeit von der Zeit und der räumlichen Entfernung des Kontrollpunktes zum Versickerungspunkt des korrespondierenden Stoffteilchens. Der Zeitraum des Stoffeintrages durch Versickerung wird durch den grauen Balken am oberen Rand der Grafiken markiert. Der Beginn und das Ende der Infiltration zum jeweiligen Stichtag werden in der Simulation durch eine rechteckige Stoffeintragsfunktion simuliert. Diese spiegelt sich in

den korrespondierenden Konzentrationsganglinien wider. Durch die Dispersion (s. Kap. 3.3) verschmiert entlang des Fließweges der Anstieg und Abfall der Stoffkonzentrationen mit zunehmender Entfernung von Eintragsort.

Aus der vergleichenden Betrachtung der den jeweiligen Fließpfaden zugehörigen Konzentrationsganglinien lassen sich die nachfolgenden Schlussfolgerungen ziehen. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich die Entfernungsangaben der Kontrollpunkte immer auf den Ort des Stoffeintrages beziehen, also den Ort, an dem das Stoffteilchen durch die Sohle der Alz in den Grundwasserleiter perkoliert. Da die Fließpfade mehr oder weniger senkrecht zur der Alz orientiert sind, kann die Entfernungsangabe eines Kontrollpunktes der Entfernung zur Alz annähernd gleichgesetzt werden.

Zusammenfassend zeigen die Konzentrationsganglinien sehr deutlich, dass mit zunehmender Entfernung vom Versickerungspunkt folgende Effekte zum Tragen kommen:

- (1) verzögertes zeitliches Eintreffen der Wasserinhaltsstoffe,
- (2) Abnahme der Stoffkonzentration,
- (3) verlängerte Dauer des Stoffdurchgangs,
- (4) zunehmende Abrundung der Konzentrationsganglinie aus der ursprünglichen Rechteckform.

Der Effekt 1) ist eine direkte Funktion des Abstandes vom Eintragsort, die Effekte 2), 3) und 4) resultieren vor allem aus der Dispersion während des Stofftransportes. Durch die Dispersion wird mit zunehmender Länge des Transportweges die Schadstofffront sowohl in longitudinale Richtung längs zum Fließweg, wie auch in transversale Richtung quer zum Fließweg verschmiert.

#### 4.4 Fließzeiten bis zum Durchbruch der maximalen Stoffkonzentration an Kontrollpunkten auf den Fließpfaden

Für die östlich der Alz gelegenen Fließpfade wurden die in Tabelle 4-1 dargelegten Fließzeiten abgeleitet. Kriterium zur Beschreibung der maximalen Stoffkonzentration ist die Ankunft einer Stoffkonzentration von 98 % der maximalen Stoffkonzentration. In den Anhängen C bis E ist dies der Übergang des ansteigenden Kurvenastes in die Horizontale.

**Tabelle 4-1 Mittlere Fließzeiten östlich und westlich der Alz bis zum Durchbruch der maximalen Stoffkonzentration**

Fließstrecke	Fließzeit in Jahren			Fließzeit pro km Fließweg	Fließzeit in Jahren	Fließzeit pro km Fließweg
	[km]	EA	EB	Ø EA-EB	EA & EB [a]	WA
1	1.9	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0
2	3.0	5.1	4.0	2.0	4.5	2.3
3	4.5	7.1	5.8	1.9	5.0	1.7
4	6.6	8.3	7.5	1.9		
5	9.5	11.4	10.4	2.1		
6	12.1	14.1	13.1	2.2		
7	14.4	-	14.4	2.1		
8	16.5	-	16.5	2.1		
Ø				<b>2.0</b>		<b>2.3</b>

Östlich der Alz sind die Fließzeiten recht ähnlich. Bei konstanter Infiltration von Alzwasser mit konstanter Konzentration kann für die Ausbreitung der maximalen Stoffkonzentration im Daxenthaler Forst eine Fließdauer von rund 2 Jahren pro km Fließweg angesetzt werden.

Für den Bereich westlich der Alz lassen sich aus der Tabelle 4-1 ähnliche Zahlen entnehmen. Allerdings ist die Bestimmung der Fließzeiten weniger eindeutig, da nicht nur ein Zustrom über den Alzbogen südlich von Bruck erfolgt, sondern auch Stoffeinträge parallel zum Ufer der Alz zwischen Bruck und Emmerting zum Tragen kommen. Letztere vermischen sich über die Querdispersion mit den Einträgen aus Bruck und beeinflussen so das Ergebnis. Im Grundsatz gilt aber auch für diesen Bereich eine repräsentative Fließdauer von rund 2 Jahren pro km Fließweg.

Das erste Eintreffen von gelösten Stoffen erfolgt schon deutlich vor dem Durchgang der maximalen Stoffkonzentration. Hier zeigen sich die Effekte der Längs- und Querdispersion, die zu einem Verschmieren der Schadstofffront führen und zu einer scheinbaren Verringerung der Fließgeschwindigkeit führen. Überschlägig kann für das erste Eintreffen von gelösten Stoffen die Hälfte der mittleren Fließdauer angenommen werden. Hieraus erklärt sich, dass ein aus der Alz versickernder Stoff nach ca. 8 Jahren in der Messstelle Haiming 380A feststellbar wäre. Die Maximalkonzentrationen würden allerdings erst mit einer Verzögerung von weiteren 8 Jahren auftreten.

#### 4.5 Konzentrationsverteilung entlang der Fließpfade

Zusätzlich zu den Konzentrationsganglinien sind in den Anhängen C bis E die berechneten Maximalkonzentrationen der drei Simulationsvarianten an den jeweiligen Kontrollpunkten aufgeführt:

- Simulation 1 (0,1 µg/l): Anhänge C-2, C-4, C-6
- Simulation 2 (2,5 µg/l): Anhänge D-2, D-4, D-6
- Simulation 3 (5,0 µg/l): Anhänge E-2, E-4, E-6

Die Ordinate (y-Achse) stellt hierbei den Stoffeintragungspunkt mit der maximalen Stoffkonzentration in der Alz dar. Entlang der Abszisse (x-Achse) reihen sich die Kontrollpunkte mit zunehmendem Abstand zum Stoffeintragungspunkt auf. Die o.g. Anhänge zeigen für die Fließpfade östlich der Alz ein sehr ähnliches Verhalten. Das heißt, die Kurven zeigen in der Regel einen exponentiell abnehmenden Verlauf. Allerdings zeigt jeder Fließpfad aufgrund der im Modell abgebildeten Varianz der hydrogeologischen Parameter seine eigene Charakteristik.

Auffallend ist, dass bei dem Fließpfad EB zum Ende der Fließstrecke wieder ein leichter Anstieg der Stoffkonzentrationen zu verzeichnen ist. Dies ist darin begründet, dass im Daxenthaler Forst die sich aus der Alzinfiltration ergebende Fahne zunächst durch Grundwasserneubildung in tiefer liegende Schichten abtaucht. Da in östliche Richtung jedoch die Basis des Grundwasserleiters ansteigt, steigt auch die Stofffahne wieder nach oben auf.

Tabelle 4-2 zeigt die prozentualen Anteile der Stoffkonzentration entlang der Fließstrecke bezogen auf die maximale Ausgangskonzentration. Die Fließpfade im Norden (EA) bzw. im Süden (EB) des Daxenthaler Forstes zeigen aufgrund der Variabilität im geologischen Aufbau gewisse Unterschiede.

**Tabelle 4-2 Prozentuale Anteile der maximalen Stoffkonzentration bezogen auf die maximale Konzentration in der Alz und in Abhängigkeit von der Fließstrecke**

Fließ- strecke [km]	Prozentualer Anteil bezogen auf die Maximalkonzentration (= 100 %)	
	EA	EB
1	70%	50%
2	47%	38%
3	26%	34%
4	11%	27%
5	10%	34%
6	6%	39%
7	4%	-
8	3%	-

Der für den Daxenthaler Forst repräsentative Fließpfad EA weist demnach entlang der Fließstrecke folgende Konzentrationsanteile auf:

- Nach 1 km Fließstrecke entspricht die Stoffkonzentration im Grundwasserleiter ca. 70 % der Stoffkonzentration in der Alz.
- Nach 2 km Fließstrecke entspricht die Stoffkonzentration im Grundwasserleiter noch rund 50 % der Stoffkonzentration in der Alz.
- Nach 3 km Fließstrecke entspricht die Stoffkonzentration im Grundwasserleiter noch rund 25 % der Stoffkonzentration in der Alz.
- Nach 4 km Fließstrecke entspricht die Stoffkonzentration im Grundwasserleiter nur noch rund 10 % der Stoffkonzentration in der Alz.
- Bei Fließstrecken von mehr als 4 km entspricht die Stoffkonzentration im Grundwasserleiter weniger als 10 % der Stoffkonzentration in der Alz.

Entlang des südlicher gelegenen Fließpfades EB ist die Konzentrationsabnahme im ersten Streckenabschnitt bis in eine Entfernung von etwa 2.000 m östlich der Alz stärker ausgeprägt als im Fließpfad EA, flacht aber mit zunehmender Fließstrecke ab.

Für den Fließpfad WA westlich der Alz gelten andere Bedingungen als östlich der Alz, da der Stoffeintrag parallel zur Alz eine entfernungsabhängige Konzentrationsabnahme verhindert. Daher ist eine Betrachtung westlich der Alz analog zu den Verhältnissen östlich der Alz nicht sinnvoll.

#### 4.6 Linearitätsbetrachtung

Zwischen den Stoffeintragskonzentrationen in der Alz und den aus den drei Simulationsvarianten an den jeweiligen Kontrollpunkten ermittelten Konzentrationen im Grundwasser besteht ein unmittelbarer linearer Zusammenhang gemäß der allgemeinen Form

$$C_{\text{Kontrollpunkt}} [\mu\text{g/l}] = C_{\text{Alz}} [\mu\text{g/l}] * \text{Linearitätsfaktor}_{\text{LF}} \quad (1)$$

Die Grafiken in den Anhängen F-1 bis F-3 fassen die Einzelaufschlüsselung in den Anhängen C bis E in jeweils einer Grafik zusammen (die Ordinatenachsen im Anhang F sind im Gegensatz zu den Ordinatenachsen der Anhänge C bis E logarithmisch angelegt). Die maximal zu erwartende Stoffkonzentration (y-Achse) verringert sich mit zunehmender Länge des Fließweges (x-Achse).

Die durchgezogenen Linien zeigen, dass die jeweiligen Maximalkonzentrationen entlang der korrespondierenden Fließpfade eine identische Kurvencharakteristik aufweisen. Sie sind lediglich auf der y-Achse entsprechend der jeweiligen Ausgangskonzentration im Alzwasser verschoben. Die gestrichelten Linien zeigen die aus dem linearen Zusammenhang berechneten Maximalkonzentrationen entlang der korrespondierenden Fließpfade für dazwischenliegende Ausgangskonzentrationen in der Alz (0,25 µg/l, 0,5 µg/l, 1,0 µg/l).

**Tabelle 4-3 Lineare Berechnungsfaktoren (LF) an den korrespondierenden Kontrollpunkten**

Lage	Resultierende Konzentration am Kontrollpunkt [µg/l]	Ausgangskonzentration in der Alz [µg/l]	Faktor
<b>Fließpfad EA</b>			
Kontrollpunkt 1:	$C_{EA1}$	$C_{Alz}$	0.703
Kontrollpunkt 2:	$C_{EA2}$	$C_{Alz}$	0.468
Kontrollpunkt 3:	$C_{EA3}$	$C_{Alz}$	0.262
Kontrollpunkt 4:	$C_{EA4}$	$C_{Alz}$	0.112
Kontrollpunkt 5:	$C_{EA5}$	$C_{Alz}$	0.096
Kontrollpunkt 6:	$C_{EA6}$	$C_{Alz}$	0.056
Kontrollpunkt 7:	$C_{EA7}$	$C_{Alz}$	0.042
Kontrollpunkt 8:	$C_{EA8}$	$C_{Alz}$	0.030
<b>Fließpfad EB</b>			
Kontrollpunkt 1:	$C_{EB1}$	$C_{Alz}$	0.496
Kontrollpunkt 2:	$C_{EB2}$	$C_{Alz}$	0.378
Kontrollpunkt 3:	$C_{EB3}$	$C_{Alz}$	0.339
Kontrollpunkt 4:	$C_{EB4}$	$C_{Alz}$	0.268
Kontrollpunkt 5:	$C_{EB5}$	$C_{Alz}$	0.343
Kontrollpunkt 6:	$C_{EB6}$	$C_{Alz}$	0.387
<b>Fließpfad WA</b>			
Kontrollpunkt 1:	$C_{WA1}$	$C_{Alz}$	0.273
Kontrollpunkt 2:	$C_{WA2}$	$C_{Alz}$	0.308
Kontrollpunkt 3:	$C_{WA3}$	$C_{Alz}$	0.334

Sofern der Linearitätsfaktor (LF) für einen beliebigen Kontrollpunkt bekannt ist, kann mit Gleichung (1) die maximal zu erwartenden Stoffkonzentration an einem Kontrollpunkt abgeschätzt werden.

Die mit den jeweiligen Kontrollpunkten korrespondierenden Linearitätsfaktoren (LF) können der Tabelle 4-3 entnommen werden. Dadurch können die zu erwartenden Maximalkonzentrationen an den jeweiligen Kontrollpunkten auch ohne den Einsatz der Grafiken direkt berechnet werden.

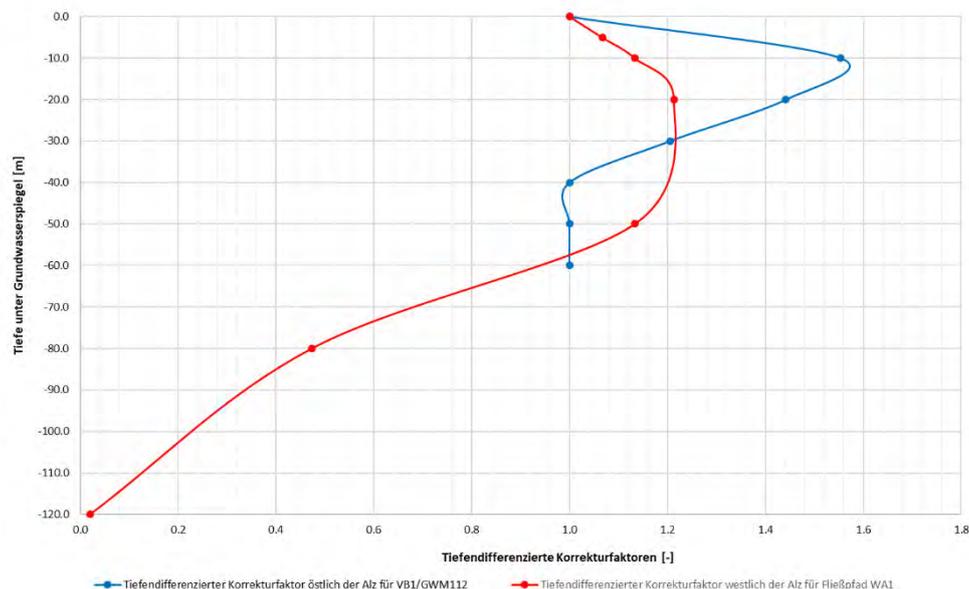
## 4.7 Tiefenabhängigkeit der Konzentration

Aufgrund der Dreidimensionalität des Grundwassermodells lässt sich eine tiefenabhängige Konzentrationsverteilung simulieren. Dies gilt insbesondere für den Bereich östlich der Alz. Grund hierfür ist vor allem der Potentialunterschied zwischen dem Oberflächengewässer und dem Grundwasser, der entlang der Versickerungstrecke ca. 0,5 m beträgt. Weitere Gründe sind der hohe hydraulische Gradient von der Alz zur Salzach (30 m Potentialabbau auf einer Fließstrecke von nur 6 km) und nach unten gerichtete Potentialunterschiede zwischen dem quartären und tertiären Aquifer, die sich erst nördlich des Eschelberges mit dem Auskeilen der Hangendserie abbauen.

Die nach unten gerichteten Gradienten lassen das Fahnenzentrum im Bereich des Daxenthaler Forstes absinken. Nach Osten zur Salzach steigt dann die Basis des Aquifersystems an, was die Fahne wieder aufsteigen lässt.

Abbildung 4-1 verdeutlicht die vertikale Konzentrationsverteilung östlich der Alz auf Höhe des Kontrollpunktes EB2 (blaue Kurve). Es wird deutlich, dass die maximalen Konzentrationen in einer Tiefe von 10 m bis 20 m unter der Grundwasseroberfläche auftreten. In dieser Tiefe sind die Stoffkonzentrationen in etwa um den Faktor 1,5 höher als an der Grundwasseroberfläche. Mit zunehmender Tiefe nehmen diese wieder ab und nähern sich den an der Grundwasseroberfläche festzustellenden Konzentrationen an.

Die Verfrachtung höherer Konzentrationsanteile in die Tiefe zeigt sich auch in dem schmalen Streifen westlich der Alz, allerdings in deutlich abgeschwächter Form (s. rote Kurve für den Kontrollpunkt WA2 in Abbildung 4-1). Die Aquifermächtigkeit beträgt hier ca. 120 m, daher ist der stetige Rückgang der Stoffkonzentration ab einer Tiefe von 50 m gut sichtbar. Die Spreizung der Kurve ist insgesamt weniger stark ausgeprägt als östlich der Alz, die oberflächennahen Konzentrationen weichen gegenüber den Werten in größerer Tiefe nur geringfügig ab.



**Abbildung 4-1 Konzentrationsverteilung in Abhängigkeit der Tiefe (T=20 Jahre nach Beginn der Versickerung)**

Tabelle 4-4 enthält die Korrekturfaktoren (TF) zur tiefendifferenzierten Abschätzung der zu erwartenden Maximalkonzentrationen an den Kontrollpunkten östlich und westlich der Alz. Die in Kapitel 4.6 aufgeführte Gleichung (1) kann ggf. zur genaueren Abschätzung der zu erwartenden Maximalkonzentrationen in einer bestimmten Tiefe um die entsprechende Tiefenkorrektur erweitert werden:

$$C_{\text{Kontrollpunkt}} [\mu\text{g/l}] = C_{\text{Alz}} [\mu\text{g/l}] * LF * TF \quad (2)$$

Dies ist allerdings nur in Bezug auf die Messstelle VB1/GWM112 sinnvoll. Für die Messstelle Haiming 380 gilt der Faktor 1, da die nach Osten zur Salzach aufsteigende Aquiferbasis wieder zu einer Zusammenführung der vertikal unterschiedlichen Konzentrationsbereiche führt. Eine Korrektur erübrigt sich hier.

Für den Bereich westlich der Alz ist bis in eine Tiefe von 60 m ebenfalls nur eine geringe Tiefenkorrektur angezeigt. Sie ist im Grunde verzichtbar, da der Korrekturfaktor hier innerhalb der Streubreite der Fehlergenauigkeit liegt (s. Kap. 4.11).

**Tabelle 4-4 Tiefenkorrektur für Kontrollpunkte westlich und östlich der Alz**

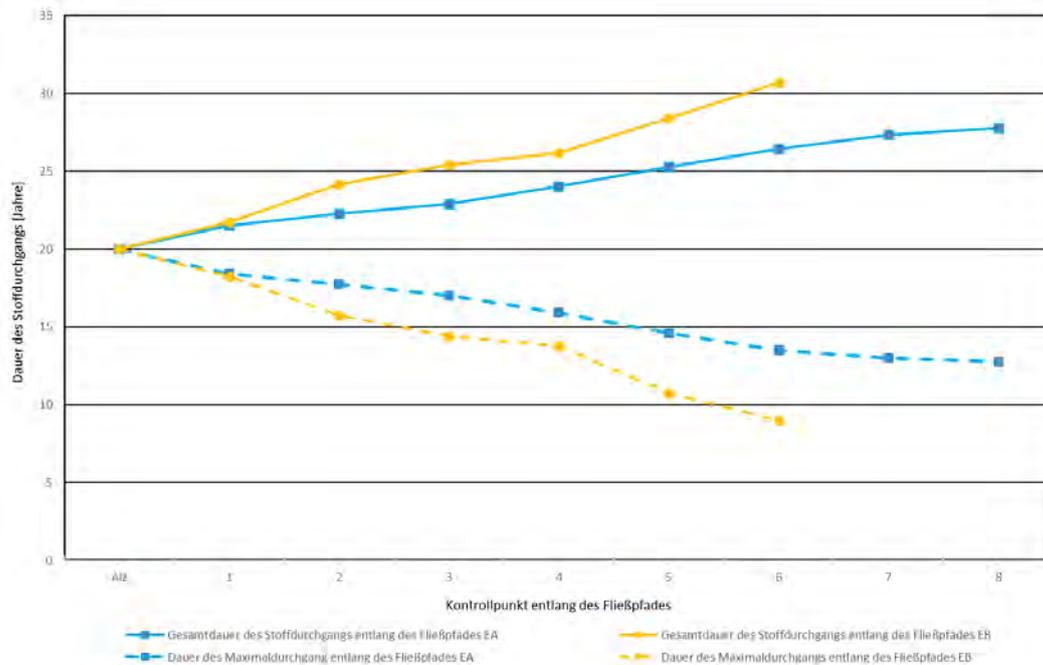
Tiefe unter Grundwasserspiegel [m]	Tiefenkorrektur TF (östlich der Alz)	Tiefenkorrektur TF (westlich der Alz)
0	1,0	1,0
10	1,6	1,1
20	1,4	1,2
30	1,2	1,2
40	1,0	1,2
50	1,0	1,1
60	1,0	1,0
80	-	0,5
120	-	0,0

#### 4.8 Dauer des Stoffdurchgangs

Die Dauer des Stoffdurchgangs wird durch die Dauer des Stoffeintrages und die Entfernung zum Eintragungspunkt bestimmt. Aufgrund von Dispersionseffekten kommt es zu einem Verschmieren der Schadstofffront. Zwei gegenläufige Effekte sind zu beobachten:

- Die Gesamtdauer des Stoffdurchgangs verlängert sich mit zunehmender Länge des Fließweges. Kriterium zur Beschreibung von Anfang und Ende des Stoffdurchgangs ist die Über- bzw. Unterschreitung von 2 % der maximalen Stoffkonzentration.
- Die Dauer des Durchgangs mit maximaler Stoffkonzentration verkürzt sich mit zunehmender Länge des Fließweges. Kriterium zur Beschreibung der maximalen Stoffkonzentration ist die Über- bzw. Unterschreitung von 98 % der maximalen Stoffkonzentration.

Die Abbildung 4-2 verdeutlicht den Sachverhalt. Ausgangspunkt aller Linien ist die Alz als Ort des Stoffeintrages bzw. als Ort der Beurteilung mit einer konstanten Stoffkonzentration und einer Eintragsdauer von exakt 20 Jahren. Die nach oben verlaufenden Linien zeigen die Zunahme der Gesamtdauer des Stoffdurchgangs entlang des Fließpfades EA an den Kontrollpunkten 1 bis 8 und entlang des Fließpfades EB an den Kontrollpunkten 1 bis 6.



**Abbildung 4-2 Dauer des Stoffdurchgangs entlang der Fließpfade EA und EB**

Für den von der Alz nach Haiming führenden Fließpfad EA beträgt die Dauer für einen vollständigen Stoffdurchgang an der Messstelle Haiming 380A bei einer Fließstrecke von 8 km ca. 28 Jahre. Der Beginn des Stoffdurchgangs ist an der Messstelle 8 Jahre nach Versickerung des Stoffes aus der Alz feststellbar (s. Kap. 4.4). Durch Addition beider Zeiträume (8 Jahre bis zum Eintreffen der ersten Wasserinhaltsstoffe plus 28 Jahre für den Stoffdurchgang) ergäbe sich dann an der Messstelle Haiming 380A eine Dauer von 36 Jahren für den gesamten Prozess bis zur Beendigung des Stoffdurchgangs. Unter der Annahme, dass der Stoffeintrag aus der Alz z. B. im Januar 2020 stattgefunden hätte, wäre der Schadstoffdurchgang an der Messstelle Haiming 380A im Jahr 2056 beendet (s. a. Anhänge C-1, D-1 und E-1).

Der in der Nähe zur Hangendserie gelegene Fließpfad EB zeigt für den am weitesten entfernten Kontrollpunkte EB6 eine Dauer von ca. 31 Jahren für den vollständigen Durchgang eines mobilen und persistenten Stoffes im Grundwasser. Im Grundsatz gelten die oben beschriebenen Randbedingungen, allerdings ist die Fließgeschwindigkeit entlang des Fließpfades EB geringer und die Dauer für den gesamten Prozess bis zur Beendigung des Stoffdurchgangs an der Salzach insgesamt länger.

Die Messstelle VB1/GWM112 liegt in einer Entfernung von ca. 2.100 m von der Alz entfernt. Am Kontrollpunkt EB2 beträgt die Dauer für einen vollständigen Stoffdurchgang an der Messstelle ca. 24 Jahre. Der Beginn des Stoffdurchgangs ist an der Messstelle VB1 allerdings erst 2,5 Jahre nach Versickerung des Stoffes aus der Alz feststellbar (s. Kap. 4.4). Durch Addition beider Zeiten (2,5 Jahre bis zum Eintreffen des Wasserinhaltsstoffes plus 24 Jahre für den Stoffdurchgang) ergäbe sich dann an der Messstelle VB1 eine Dauer von 26,5 Jahren für den gesamten Prozess bis zur Beendigung des Stoffdurchgangs. Unter der Annahme, dass der Stoffeintrag aus der Alz z.B. im Januar 2020 stattgefunden hätte, wäre der Schadstoffdurchgang an der Messstelle VB1 im Jahr 2047 beendet (s. a. Anhänge C-3, D-3 und E-3).

Umgekehrt verhält es sich bezüglich der Durchgangsdauer der maximalen Stoffkonzentration (fallende Linien in Abbildung 4-2). Mit zunehmender Länge des Fließweges werden die Durchbruchkurven zunehmend gestreckt, wobei sich das Plateau der maximalen Stoffkonzentration

verkürzt. An den o.g. Kontrollpunkten liegt die Dauer des Durchgangs mit maximaler Stoffkonzentration, d.h. die Länge des Plateaus mit den höchsten Stoffkonzentrationen bei ca. 13 Jahren an der Messstelle Haiming 380A bzw. 9 Jahre an der Messstelle VB1/GWM112.

Für den Bereich des Daxenthaler Forstes kann aus den oben dargelegten Analysen gefolgert werden, dass ein Stoffeintrag aus der Alz über eine Dauer von 20 Jahren und mit konstanter Konzentration in den von der Alz weiter entfernten Gebieten wie etwa in Haiming oder den Quellgebieten westlich von Haiming für eine Dauer von ca. 28 Jahren im Grundwasser präsent sein wird. Die Phase mit den höchsten Stoffkonzentrationen im Grundwasser dauert gemäß den Simulationen dort ca. 13 Jahre an, bevor sie dann wieder abnehmen.

Für den Bereich westlich der Alz lässt sich aufgrund der alzparallelen Grundwasserströmung die oben gezeigte Methodik nicht anwenden. Die Unterschiede in der Ausbildung der Konzentrationsplateaus sind zu gering, um hier nennenswerte Unterschiede festzustellen. Aus dem Kurvenverlauf der Anhänge C-5, D-5 und E-5 lässt sich für den Fließpfad WA ganz allgemein eine Dauer von ca. 26 Jahren für einen vollständigen Durchgang ablesen. Die Dauer des Durchgangs mit maximaler Stoffkonzentration, d.h. die Länge des Plateaus mit den höchsten Stoffkonzentrationen, liegt zwischen 15 und 17 Jahren.

## 4.9 Frachten

Unter Berücksichtigung eines konstanten Alzabflusses von 6,7 m<sup>3</sup>/s ergeben sich nach Gleichung (3)

$$F_{Alz} [\text{kg/a}] = Q_{Alz} [\text{m}^3/\text{s}] * C_{Alz} [\mu\text{g/l}] * 31,536^5 \quad (3)$$

die in Tabelle 4-5 genannten Stofffrachten in der Alz. Diese liegen bei geringen Stoffkonzentrationen in der Alz (0,1 µg/l) bei rund 21 kg pro Jahr. Bei hohen Stoffkonzentrationen im Alzwasser (>5,0 µg/l) steigen die Frachten auf 1.000 kg pro Jahr oder auch mehr an.

Unter der Annahme eines mobilen und persistenten Stoffes ist die versickernde Fracht proportional zur Konzentration in der Alz, da die Passage durch die Flusssohle zu keiner Änderung der Konzentrationen im versickernden Wasser führt. Die perkolierende Fracht ist somit bei gegebener Konzentration eine Funktion der Versickerungsmenge. Deren Kenntnis erlaubt eine Berechnung der versickernden Frachten.

Die modellseitige Ermittlung des Versickerungsanteiles beträgt unter Berücksichtigung des simulierten und konstanten Alzabflusses 0,71 m<sup>3</sup>/s. Diese Menge deckt sich auch mit den bisherigen Untersuchungen zur Alzversickerung /1/. Diese erbrachten eine Versickerungsmenge von größenordnungsmäßig 0,4 m<sup>3</sup>/s bei mittleren Niedrigwasserverhältnissen (MNQ), bzw. 1,9 m<sup>3</sup>/s bei Mittelwasser (MQ). Die Versickerungsmenge kann bei höheren Abflüssen bzw. Wasserspiegellagen noch deutlich darüber hinaus ansteigen<sup>6</sup> (s. Abbildung 4-3). Die Beziehung zwischen dem Abfluss der Alz ( $Q_{Alz}$ ) und der Versickerungsmenge ( $V_{Alz}$ ) lässt sich anhand der Gleichung (4) wie folgt beschreiben:

$$V_{Alz} [\text{m}^3/\text{s}] = 0,0228 * Q_{Alz}^2 [\text{m}^3/\text{s}] - 0,1741 * Q_{Alz} [\text{m}^3/\text{s}] + 0,85 \quad (4)^7.$$

Die in den Modellsimulationen versickernde Wassermenge und damit auch die Stofffracht betragen demnach rund ein Zehntel der im Alzwasser gelösten Fracht (s. Tabelle 4-6).

<sup>5</sup> Umrechnungsfaktor: 1.000 l/s (= 1 m<sup>3</sup>/s) \* 31.536.000 s (Anzahl der Sekunden im Jahr) / 1 Mrd. (Umrechnung kg in µg).

<sup>6</sup> Eine umfangreiche Analyse zu den messtechnisch ermittelten Versickerungsraten der Alz findet sich in /6/. Die Bilanzbetrachtungen zur stationären und instationären Modellkalibrierung erbrachten ganz ähnliche Ergebnisse /4/.

<sup>7</sup> Geltungsbereich: Alzabfluß zwischen 6 m<sup>3</sup>/s und 16 m<sup>3</sup>/s. Für niedrigere Abflüsse gilt die für 6 m<sup>3</sup>/s berechnete Versickerungsrate. Für Abflüsse >16 m<sup>3</sup>/s fehlen Erfahrungswerte.

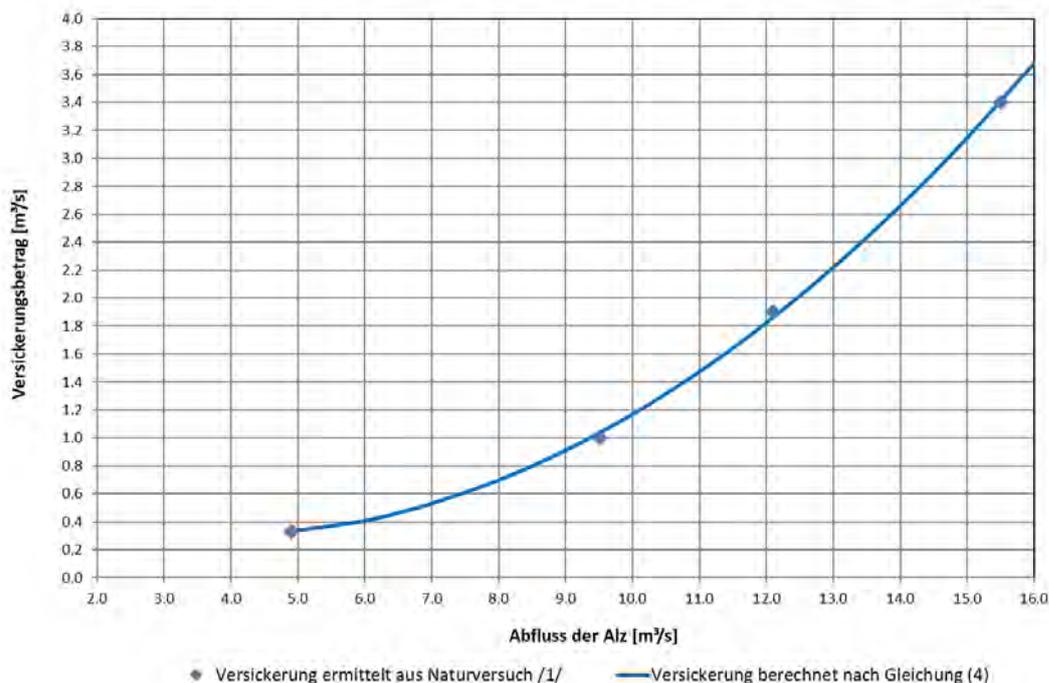
**Tabelle 4-5 Berechnete Stofffrachten in der Alz und im  
Versickerungsanteil**

Mittlere Stoffkonzentration in der Alz	Alzabfluss		Stofffracht	Versickerungs- volumen aus der Alz		Versickernde Stofffracht
	[µg/l]	[m³/s]		[Mio. m³/a]	[m³/s]	
0,1	6,7	211,3	21,1	0,71	22,3	2,2
2,5			528,2			55,7
5,0			1.056,5			111,5

Aus der Abbildung 4-3 kann abgeleitet werden, dass dieses Verhältnis (10:1) für eine Abflussmenge zwischen 5 m³/s und 10 m³/s gilt, und damit für mehr als 95 % aller Abflusszustände. Bei höheren Abflüssen, die nur im zeitlich begrenzten Hochwasserfall auftreten, ist mit prozentual höheren Versickerungsraten zu rechnen (15 % bei einem Abfluss von 12 m³/s bzw. 21 % bei einem Abfluss von 15 m³/s).

Die Verhältniszahl ( $R_Q$ ) zwischen dem Abfluss der Alz ( $Q_{Alz}$ ) und der Versickerungsmenge ( $V_{Alz}$ ) errechnet sich dann nach Gleichung (5):

$$R_Q [-] = V_{Alz} [m^3/s] / Q_{Alz} [m^3/s] \quad (5).$$



**Abbildung 4-3 Verhältnis zwischen Alzabfluss und Versickerungsvolumen  
nach /1/ und /6/ (Abschnitt Fluss-km 15,400 – km 10,200)**

Bei einer gegebenen Fracht in der Alz ( $F_{Alz}$ ) und der Verhältniszahl ( $R_Q$ ) errechnet sich die versickernde Fracht ( $F_V$ ) gemäß Gleichung (6):

$$F_V [kg/a] = F_{Alz} [kg/a] * R_Q [-] \quad (6).$$

Die über einen beliebigen Zeitraum  $t$  versickernde Gesamtfracht  $F_G$  ergibt sich nach Gleichung (7) aus der Multiplikation der versickernden Stofffracht mit der Zeit:

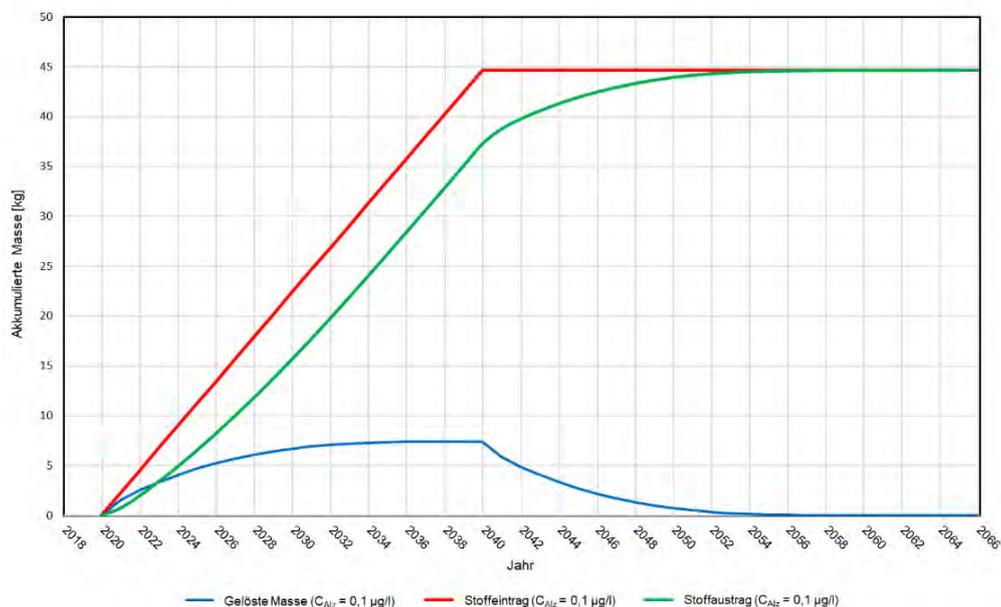
$$F_G [\text{kg}] = F_V [\text{kg/a}] \cdot t [\text{a}] \quad (7).$$

Die Abbildungen 4-4 bis 4-6 zeigen die aus den Modellsimulationen errechneten kumulativen Anteile des Stoffeintrages aus der Alz (rote Kurve) in den Grundwasserleiter, den Stoffaustrag über die Vorfluter (grüne Kurve) und die im Aquifer jeweils befindliche gelöste Masse. Der kumulative Stoffeintrag aus der Alz beschreibt eine linear ansteigende Gerade, da modellseitig Alzwasser mit konstanter Konzentration und konstantem Volumen über einen Zeitraum von 20 Jahren infiltriert wird. Mit dem Ende des Stoffeintrages endet der lineare Anstieg und die kumulative Stoffeintragskurve geht in eine horizontale Gerade über. Der angezeigte Maximalwert auf der y-Achse stellt die über die Versickerung in den Aquifer eingetragene Gesamtfracht dar.

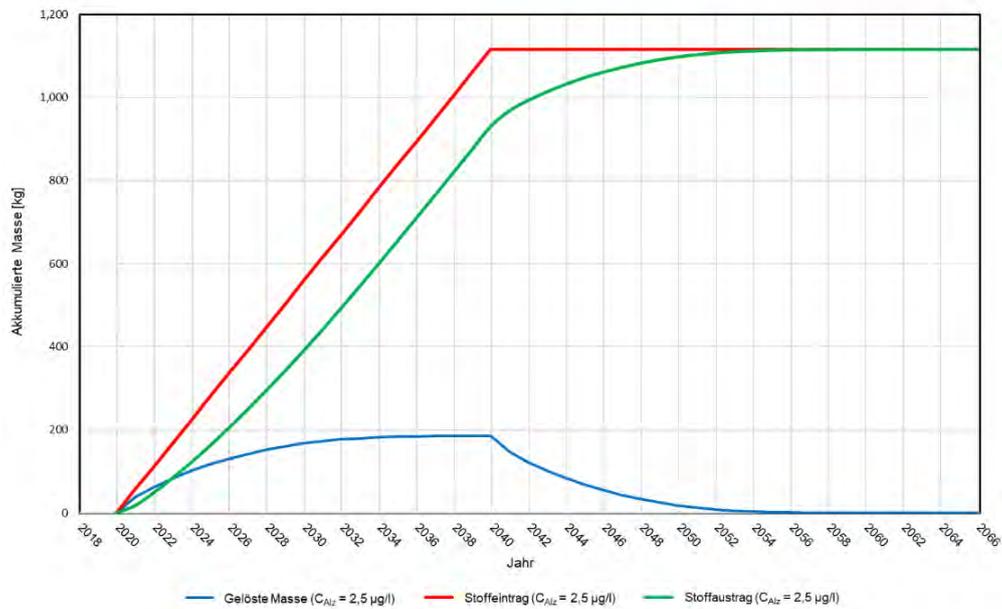
Der in das Aquifersystem eingetragene Stoff wird über die Vorfluter wieder aus dem Aquifersystem ausgetragen. Der Austrag erfolgt mit zeitlicher Verzögerung, da der gelöste Stoff zunächst bis zu der nächsten Vorflut abströmen muss.

Der Stoffaustrag erfolgt zuerst durch den Brunnbach und den Schützingen Bach, da die sich ausdehnenden Stofffahne aufgrund der räumlichen Nähe zur Alz rasch in den Einzugsbereich der beiden Bäche gelangt. Mit der Ausdehnung der Fahne erreicht sie Einzugsgebiete von weiteren Oberflächengewässern, wie z.B. des Mittlinger Bachs oder der Quellen bei Haiming und Kemerting, und schließlich den Inn und die Salzach. So nimmt mit der Zeit der Stoffaustrag aus dem System über die Vorfluter zu.

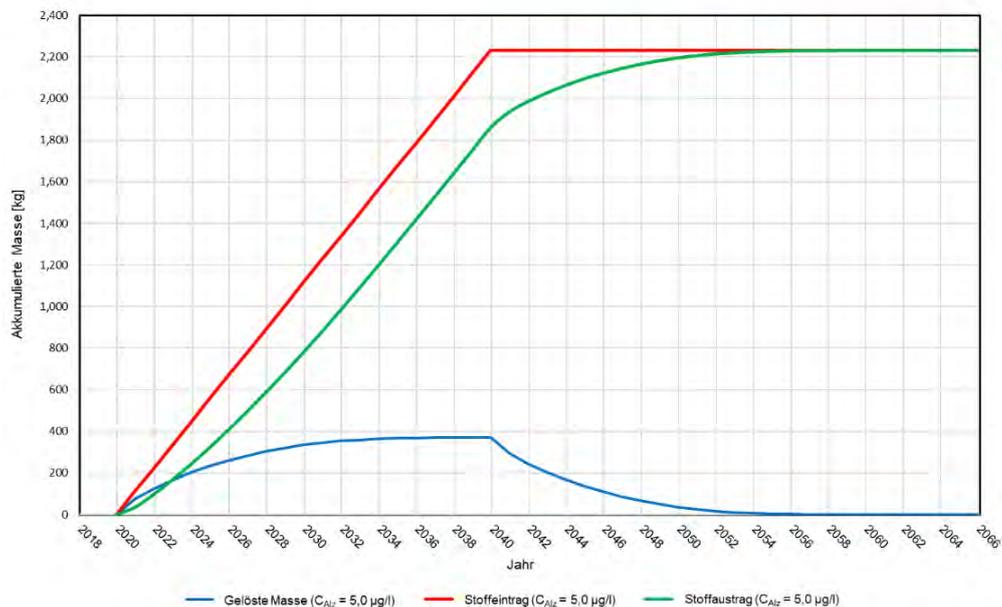
Aufgrund der zeitlichen Verzögerung zwischen dem Stoffeintrag aus der Alz und dem Stoffaustrag in die Vorfluter bildet der Differenzbetrag die gelöste Masse im Aquifer. Die gelöste Masse steigt nach Beginn der Infiltration zunächst rasch an, da der Stoffeintrag noch den Stoffaustrag übersteigt. Die relative Zunahme der gelösten Masse nimmt aber mit steigender Infiltrationsdauer immer weiter ab, bis sich ca. 18 Jahre nach Beginn der Infiltration ein Gleichgewichtszustand ausgebildet hat. Der Massenzu- und -abstrom befinden sich dann in einem Gleichgewicht.



**Abbildung 4-4 Stoffeintrag aus der Alz ( $C_{Alz}=0,1 \mu\text{g/l}$ ) und gelöste Masse im Aquifer**



**Abbildung 4-5 Stoffeintrag aus der Alz (C<sub>Alz</sub>=2,5 µg/l) und gelöste Masse im Aquifer**



**Abbildung 4-6 Stoffeintrag aus der Alz (C<sub>Alz</sub>=5,0 µg/l) und gelöste Masse im Aquifer**

Tabelle 4-6 listet die maximal im Aquifer gelöste Stoffmasse für die drei Simulationen auf. Aufgrund des hohen Stoffaustrags in die umliegenden Bäche und Flüsse beträgt die maximal im Grundwasser gelöste Masse nur rund 17 % des in den 20 Jahren versickerten Stoffeintrages. Bis zum vollständigen Austrag des Stoffes aus dem Aquifersystem vergehen nach der Beendigung der Infiltration rund 20 Jahre. 10 Jahre nach der Beendigung der Infiltration sind allerdings schon 90 % der maximal gelösten Masse ausgetragen.

**Tabelle 4-6 Versickernde und gelöste Masse im Aquifer**

Mittlere Stoffkonzentration in der Alz	Versickernde Masse		Maximale gelöste Masse im Aquifer	Verhältniszahl $R_M$ (gelöste Masse : versickernde Masse)
	[µg/l]	[kg/a]	[kg in 20 a]	[kg]
0,1	2,2	44,6	7,41	0,166
2,5	55,7	1.115,5	185,22	0,166
5,0	111,5	2.231,0	370,44	0,166

Die gelöste Masse im Aquifer nach Start der Infiltration ist demnach auch eine Funktion der Zeit. Aufgrund des zunehmend stärker werdendes Effektes des Stoffaustrages durch die Vorflut ist der Anstieg der gelösten Masse allerdings nicht linear, sondern folgt im mathematischen Sinne einer Polynomgleichung höherer Ordnung. Im vorliegenden Fall kann der zeitabhängige Gehalt ( $T_D$ ) der gelösten Masse in Abhängigkeit der Dauer des Eintrages ( $t$ ) über ein Polynom 3. Grades beschrieben werden:

$$T_D [-] = 0.000178 * t^3 [a] - 0.0093 * t^2 [a] + 0.1627 * t [a] + 0.04 \quad (8)$$

$T_D$  beschreibt einen Faktor zwischen 0 und 1, wobei 0 dem Anfang der Infiltrationsperiode zum Zeitpunkt  $t_0$  entspricht und 1 dem Ende der Infiltrationsperiode zum Zeitpunkt  $t_{20 \text{ Jahre}}$ . Für eine Eintragsdauer von  $t_{10 \text{ Jahre}}$  ergibt sich gemäß Gleichung (8) ein zeitabhängiger Gehalt ( $T_D$ ) von 0,92, d.h. nach einer Eintragsdauer von 10 Jahren sind bereits 92 % der maximal zu erwartenden gelösten Masse im Aquifer gelöst.

Aus dem Ergebnis von Gleichung (7), der Verhältniszahl  $R_M$  aus Gleichung (5) und dem zeitabhängigen Gehalt der gelösten Masse  $T_D$  aus Gleichung (8) lässt sich die zu erwartende maximale kumulative Masse ( $M_{Max}$ ) für beliebige Zeitpunkte nach Beginn der Versickerung gemäß Gleichung (9) bestimmen.

$$M_t [kg] = F_G [kg] * R_M [-] * T_D [-] \quad (9)$$

Sofern der o. g. Fiktivstoff „Z“ über den Ablauf der zentralen Abwasserreinigungsanlage (ZARA) des Chemieparks Gendorf in die Alz gelangt ist, lässt sich im Vorfeld der o.g. Berechnungen aus der Stoffkonzentration im Abwasser die resultierende Konzentration im Alzwasser aus dem Verhältnis der Abflüsse aus dem Ablauf der ZARA und der Alz berechnen:

$$C_{Alz} [\mu g/l] = C_{ZARA} [\mu g/l] * Q_{ZARA} [m^3/s] / Q_{Alz} [m^3/s] \quad (10)$$

Die Wahl der Volumen- (l oder  $m^3$ ) oder Zeiteinheit (Sekunde, Stunde, Tag, Monat, Jahr) spielt keine Rolle, sofern diese identisch sind. Der Quotient ist immer der gleiche.

Die aus der ZARA in die Alz eingeleitete Wassermenge beträgt im Schnitt 0,081  $m^3/s$  bzw. rund 7.000  $m^3/d$  (angenäherter Mittelwert der Jahre 2014-2017). Bei einem Alzabfluss von 6,7  $m^3/s$  bzw. 211,3 Mio.  $m^3/a$  beträgt der Quotient 0,012. Die im Abwasser befindliche Stoffkonzentration wird demnach in der Alz um das fast Einhundertfache verdünnt. In den in Kap. 4.10 aufgeführten Beispielrechnungen müsste die im Abwasser der ZARA vorhandene Stoffkonzentration ca. 83  $\mu g/l$  betragen, um im weiteren Abstrom der Alz (z.B. am Pegel Hohenwart) 1  $\mu g/l$  zu betragen.

## 4.10 Beispielrechnungen

Die folgenden Beispielrechnungen sollen die Anwendung der in den Kapiteln 4.4 bis 4.9 aufgeführten Tabellen und Gleichungen verdeutlichen.

### 4.10.1 Konzentrationen

Ein mobiler und persistenter Fiktivstoff „Z“ liegt in der Alz mit einer Konzentration von 1 µg/l vor. Ermittelt werden sollen folgende Kennzahlen für die Messstellen Haiming 380A (Kontrollpunkt EA8) und VB1 (Kontrollpunkt EB2).

Die Dauer bis zum Durchbruch der zu erwartenden Maximalkonzentration beträgt gemäß Tabelle 4-1 16,5 Jahre (Haiming 380A) bzw. 5,1 Jahre (VB1). Bis zum ersten Eintreffen des Stoffes gilt etwa die halbe Fließzeit (ca. 8 Jahre für Haiming 380A bzw. 2,5 Jahre für VB1).

Die maximal zu erwartende Stoffkonzentration beträgt gemäß Tabelle 4-2 an der Messstelle Haiming 380A 3 % bzw. 38 % an der Messstelle VB1. Bezogen auf die Ausgangskonzentration in der Alz ergeben sich demnach Stoffkonzentrationen von 0,03 µg/l an der Messstelle Haiming 380A bzw. 0,38 µg/l an der Messstelle VB1.

Zu dem gleichen Ergebnis führt die Gleichung (1)

$$C_{\text{Kontrollpunkt}} [\mu\text{g/l}] = C_{\text{Alz}} [\mu\text{g/l}] * \text{Linearitätsfaktor}_{\text{LF}} \quad (\text{LF aus Tabelle 4-3})$$

mit  $C_{\text{Alz}} = 1 \mu\text{g/l}$  und  $\text{LF}_{\text{Kontrollpunkt EA8}} = 0,03 \mu\text{g/l}$  für Haiming 380A

mit  $C_{\text{Alz}} = 1 \mu\text{g/l}$  und  $\text{LF}_{\text{Kontrollpunkt EB2}} = 0,38 \mu\text{g/l}$  für VB1

Angaben zur Dauer des Stoffdurchgangs und des ersten Eintreffens von Wasserinhaltsstoffen an den Messstellen Haiming 380A und VB1 wurden bereits in Kap. 4.4 getroffen.

### 4.10.2 Frachten

Für die beispielhaften Frachtberechnungen werden die in Kap. 4.10.1 genannten Konzentrationen und Abflusswerte herangezogen:

$$Q_{\text{ZARA}} = 0,81 \text{ m}^3/\text{s} \quad C_{\text{ZARA}} = 83 \mu\text{g/l} \quad F_{\text{ZARA}} = 211,3 \text{ kg/a}$$

$$Q_{\text{Alz}} = 6,70 \text{ m}^3/\text{s} \quad C_{\text{Alz}} = 1 \mu\text{g/l} \quad F_{\text{Alz}} = 1 \mu\text{g/l}$$

Unter Anwendung der Gleichung (3) ergibt sich für die Alz eine Stofffracht von

$$F_{\text{Alz}} [\text{kg/a}] = 6,7 [\text{m}^3/\text{s}] * 1 [\mu\text{g/l}] * 31,536 = \underline{211,3 \text{ kg/a}} \quad (3)$$

Die aus der Alz in den Grundwasserleiter versickernde Wassermenge errechnet sich nach (4) zu

$$V_{\text{Alz}} [\text{m}^3/\text{s}] = 0,0228 * 6,7^2 [\text{m}^3/\text{s}] - 0,1741 * 6,7 [\text{m}^3/\text{s}] + 0,85 = \underline{0,71 [\text{m}^3/\text{s}]} \quad (4).$$

Die nach Gleichung (5) errechnete Verhältniszahl ( $R_Q$ ) zwischen dem Abfluss der Alz ( $Q_{\text{Alz}}$ ) und der Versickerungsmenge ( $V_{\text{Alz}}$ ) beträgt dann

$$R_Q [-] = 0,71 [\text{m}^3/\text{s}] / 6,7 [\text{m}^3/\text{s}] = \underline{0,106 [-]} \quad (5).$$

Die versickernde Schadstofffracht  $F_V$  errechnet sich unter Anwendung der Gleichung (6) zu

$$F_V [\text{kg/a}] = 211,3 [\text{kg/a}] * 0,106 [-] = \underline{22,3 \text{ kg/a}} \quad (6).$$

Die über einen Zeitraum von 20 Jahren versickernde Gesamtfracht  $F_G$  ergibt sich aus Gleichung (7) zu

$$F_G [\text{kg}] = 22,3 [\text{kg/a}] * 20 [\text{a}] = \underline{445,9 \text{ kg}} \quad (7).$$

Da mit dem Stoffeintrag in den Aquifer schon relativ zeitnah ein Austrag über die Vorfluter erfolgt, wird die im Grundwasserleiter akkumulierte Stoffmenge immer unterhalb der rechnerischen Gesamtfracht liegen. Die maximal im Aquifer gelöste Stoffmasse wurde anhand der Modellsimulationen mit rund 17 % des in den 20 Jahren versickerten Stoffeintrages bestimmt (Verhältniszahl  $R_M = 0,166$ ). Im

betrachteten Beispiel ergäbe sich über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren eine maximal im Aquifer gelöste Stoffmasse  $M_{\text{Max}}$  von

$$M_{\text{Max}} [\text{kg}] = F_G [\text{kg}] * 0,166 = \underline{74,1 \text{ kg}}.$$

Für beliebige Zeiträume ( $t=1 \text{ a}$ ,  $t=5 \text{ a}$ ,  $t=10 \text{ a}$ ,  $t=20 \text{ a}$ ) errechnet sich die im Aquifer gelöste Stoffmasse nach Anwendung der Gleichung (8):

$$T_D (1\text{a}) = 0.000178 * 1^3 [\text{a}] - 0.0093 * 1^2 [\text{a}] + 0.1627 * 1 [\text{a}] + 0.04 = 0,194$$

$$T_D (5 \text{ a}) = 0.000178 * 5^3 [\text{a}] - 0.0093 * 5^2 [\text{a}] + 0.1627 * 5 [\text{a}] + 0.04 = 0,643$$

$$T_D (10 \text{ a}) = 0.000178 * 10^3 [\text{a}] - 0.0093 * 10^2 [\text{a}] + 0.1627 * 10 [\text{a}] + 0.04 = 0,915$$

$$T_D (20 \text{ a}) = 0.000178 * 20^3 [\text{a}] - 0.0093 * 20^2 [\text{a}] + 0.1627 * 20 [\text{a}] + 0.04 = 0,998 (8).$$

Aus dem Ergebnis von Gleichung (4), der Verhältniszahl  $R_M$  (gelöste Masse : versickernde Masse = 0,166) und dem zeitabhängigen Gehalt der gelösten Masse  $T_D$  aus Gleichung (8) lässt sich die zu erwartende kumulative Masse ( $M_t$ ) für beliebige Zeiträume nach Beginn der Infiltration ( $t=1 \text{ a}$ ,  $t=5 \text{ a}$ ,  $t=10 \text{ a}$ ,  $t=20 \text{ a}$ ) gemäß Gleichung (9) bestimmen.

$$M_t (1 \text{ a}) [\text{kg}] = 22,3 [\text{kg/a}] * 0,166 [-] * 0,194 [-] = 14,34 \text{ kg}$$

$$M_t (5 \text{ a}) [\text{kg}] = 22,3 [\text{kg/a}] * 0,166 [-] * 0,643 [-] = 47,66 \text{ kg}$$

$$M_t (10 \text{ a}) [\text{kg}] = 22,3 [\text{kg/a}] * 0,166 [-] * 0,915 [-] = 67,79 \text{ kg}$$

$$M_t (20 \text{ a}) [\text{kg}] = 22,3 [\text{kg/a}] * 0,166 [-] * 0,998 [-] = 73,94 \text{ kg} \quad (9).$$

#### 4.11 Fehlerbetrachtung

Das Grundwassermodell stellt eine mathematische Approximation der natürlichen Gegebenheiten dar, natürlich auch mit all den Einschränkungen, die mit der Modellierung eines natürlichen Systems einhergehen. Zu berücksichtigen ist hierbei vor allem die Bandbreite der natürlichen Eingangsparameter (geologisch bzw. hydrogeologisch relevante Eingangsgrößen) und der Einfluss der physikalischen Transportparameter, die das Ausbreitungsverhalten von Schadstoffen beeinflussen. Aufgrund des fiktiven Charakters des simulierten persistenten Schadstoffs ist die Anzahl der zu berücksichtigenden Bandbreiten überschaubar, da weitere Unsicherheiten hinsichtlich Probenahme, Analytik oder der mögliche Abbau eines Stoffes hier nicht zum Tragen kommen.

Die vorhandenen Unsicherheiten bezüglich zahlreicher Modelleingangsparameter wurden im Rahmen einer detaillierten Sensitivitätsanalyse quantifiziert (Bericht Nr. 8 der „Detailuntersuchung der PFOA-Belastungen im Boden und Grundwasser im Bereich Gendorf“ /3/). Die Unsicherheit der prognostizierten Stoffgehalte im Stofftransportmodell für die gesättigte Zone wird mit  $\pm 17 \%$  beziffert und liegt damit in einem sehr guten Bereich.

**Tabelle 4-7 Geschätzte Fehlerbandbreiten der Eingangsparameter (aus I/3/)**

Modellparameter / Randbedingung	Bandbreite der Eingangsdaten	Einfluss (quantitativ und qualitativ, linear/ exponentiell)	Sensitivität der Parameter	Einfluss auf die Modellprognose
Grundwasserzustrom über den Modellrand	Gering	Die Grundwasserstände am Modellrand schwanken innerhalb einer geringen Bandbreite ( $\pm 1$ m). Grundwasserzu- und Abstrom über die Modellgrenzen werden dadurch geringfügig beeinflusst, die Fließrichtung bleibt konstant. Bezogen auf die wasserdurchströmte Mächtigkeit der Rissterrasse (ca. 20 m) beträgt der Einfluss auf den Grundwasserzustrom max. $\pm 5\%$	Gering bez. der Grundwasserstände, Grundwasserfließ- richtung und Stoffkonzentrationen	Gering ( $\pm 5\%$ )
Grundwasserentnahmen der kommunalen Trinkwasserversorger	Gering. Die Entnahmen schwanken seit vielen Jahren in einem Bereich von max. $\pm 5\%$ .	Die Grundwasserentnahmen der Trinkwasserbrunnen haben keinerlei Einfluss auf die Grundwasserströmung bzw. Grundwasserstände im Umfeld der Brunnen (Die Entnahmen sind in Bezug zur Durchlässigkeit und Aquifermächtigkeit sehr gering). Die Simulation der PFOA- Gehalte im Grundwasser wird durch die Grundwasserentnahmen der Wasserwerke nicht beeinflusst.	Sehr gering hinsichtlich der Grundwasserstände und Stoffgehalte im Grundwasser	Gering ( $\pm 1\%$ )
Durchlässigkeitsbeiwerte am Modellrand	Hoch	Die Grundwasserstände werden durch Veränderungen der Durchlässigkeit bzw. Transmissivität stark beeinflusst ( $\pm$ mehrere Meter). Die Fließrichtung bleibt konstant. Bezogen auf die wasserdurchströmte Mächtigkeit der Rissterrasse (ca. 20 m) beträgt der Einfluss auf die Grundwasserstände je nach angenommener Durchlässigkeit bis zu $\pm 25\%$	Hoch bez. der Grundwasserstände und Stoffkonzentrationen	Gering ( $\pm 5\%$ )
Porositäten zwischen Alz und Salzach (Daxenthaler Forst)	Hoch	Die Fließgeschwindigkeiten von mobilen Stoffen wird durch die Untergrundporosität stark beeinflusst. Eine Verdopplung der Porosität verzögert die Ankunft eines Stoffes im Raum Haiming um 2-3 Jahre. Der Einfluss auf die Modellprognose beträgt ca. $\pm 10\%$ .	Hoch bez. der Stoffkonzentrationen	Mittel ( $\pm 10\%$ )
Verbreitung der Hangendserie	Die Grenzziehung der Hangendserie basiert auf Bohrungen zur Erdölexploration aus den 1940'er Jahren. Sie wurde in Abstimmung mit dem LfU gezogen. Die Bestimmung der nördlichen Grenze der Hangendserie ist nachvollziehbar.	Eine Verschiebung der Grenze östlich der Alz nach Norden würde die Stoffausbreitung ebenfalls weiter nach Norden verschieben. Dies hätte entsprechenden Einfluss auf die berechneten Stoffgehalte im Bereich der Wacker-Chemie.	Gering, da lokal sehr begrenzt.	Gering ( $\pm 5\%$ )
Dispersion (Längs- und Querdispersion)	Hoch. Generell existieren keine Eingangsdaten zur Dispersion, diese wird daher aus Literaturwerten abgeleitet und im Rahmen der Kalibrierung verifiziert.	Die Dispersion verursacht ein "verschmieren" der Schadstoffausbreitung längs und quer zur Strömungsrichtung. Dies beeinflusst auch die Höhe der Schadstoffkonzentration innerhalb der Schadstofffahne.	Mittel (bez. auf die Stoffkonzentrationen)	Mittel ( $\pm 10\%$ )
<b>Gesamtfehlerbandbreite für die raumzeitliche Prognose der Stoffkonzentrationen im Modellgebiet</b>				<b>17%</b>

## 5. ZUSAMMENFASSUNG DER MODELLERGEBNISSE

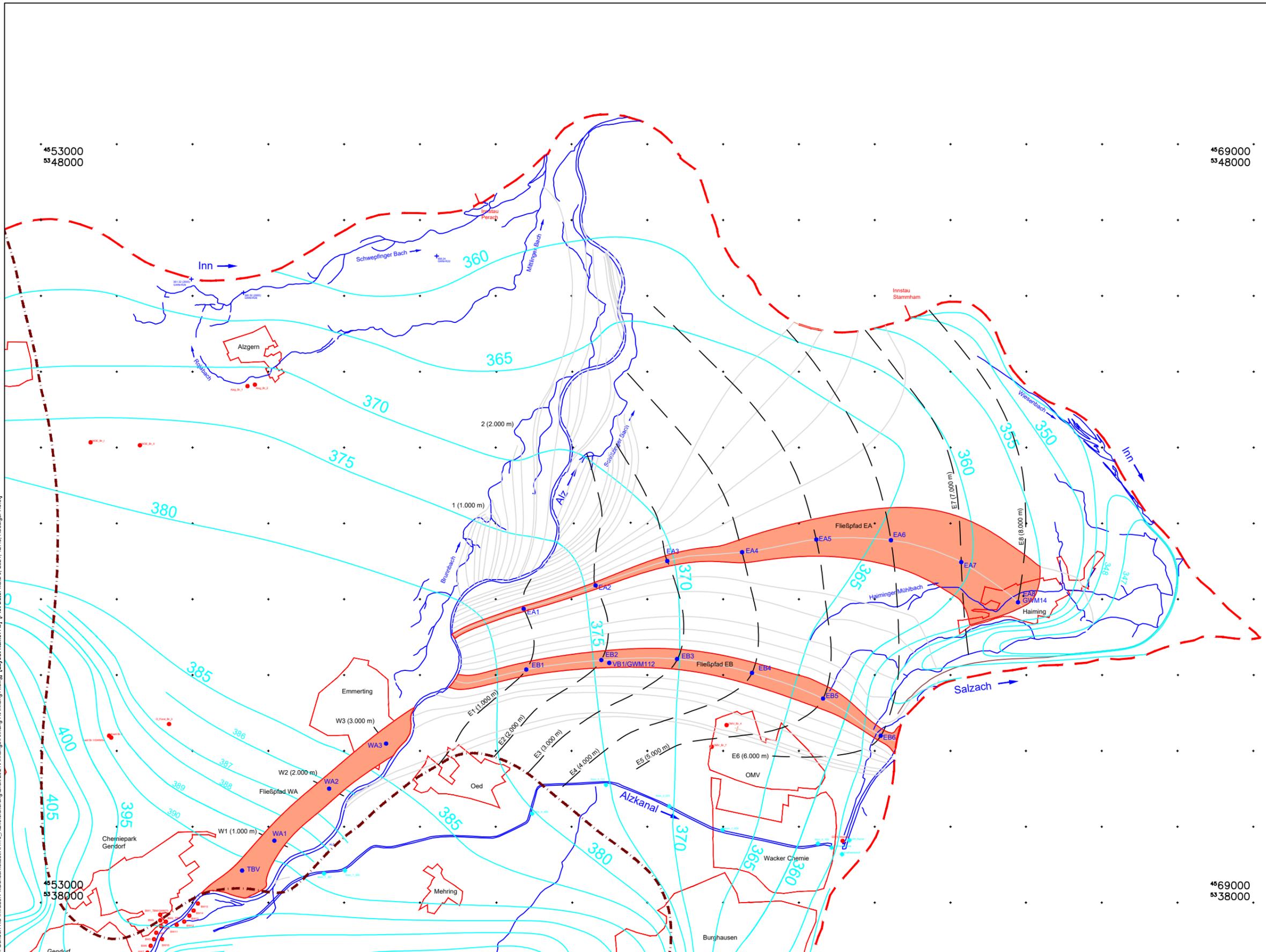
Die Modellergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Alz infiltriert zwischen Bruck und der Einmündung des Brunnbaches bzw. des Schützingers Bachs beidseitig, d.h. sowohl nach Osten in Richtung des Daxenthaler Forstes, wie auch nach Norden (im Alzbogen südlich von Bruck) und Westen in Richtung Emmerting und Brunnbach.
- Gemäß den Simulationsergebnissen erfolgt die räumliche Ausbreitung von Stoffen im versickerndem Alzwasser ganz überwiegend nach Osten, d. h. unterhalb des Daxenthaler Forstes bis zur Salzach sowie bis zu dem der Inn-Salzach-Mündung vorgelagerten Bereich. Westlich der Alz ist das Vordringen der Wasserinhaltsstoffe auf einen vergleichsweise ufernahen Streifen entlang der Linie Bruck und dem östlichen Ortsteil von Emmerting sowie zwischen Alz und dem Brunnbach beschränkt.
- Das aus der Alz versickernde Wasser tritt anteilig über Quellaustritte in den Bächen Brunnbach, Schützingers Bach, Mittlinger Bach, Haiminger Bach und anderer Quellen zwischen Haiming und Kemerting aus.
- Das aus der Alz versickernde Wasser gelangt nicht in die westlich der Alz gelegenen Wassergewinnungen (Kastl, Burgkirchen, Neuötting und Alzgern).
- Mit zunehmender Entfernung vom Eintragsort erfolgt ein verzögertes zeitliches Eintreffen der Wasserinhaltsstoffe (konvektiver Stofftransport als Funktion des Abstandes vom Eintragsort). Gleichzeitig kommt es zu einer Abnahme der Stoffkonzentration und verlängerter Dauer des Stoffdurchgangs. Dies resultiert vor allem aus den Dispersionseigenschaften des Untergrundes, die mit zunehmender Länge des Transportweges ein vermehrtes „Verschmieren“ der Schadstofffront längs und quer zum Fließweg bewirken.
- Aus der Analyse aller Durchbruchkurven kann bis zum Erreichen der jeweiligen Maximalkonzentration an einem beliebigen Kontrollpunkt eine mittlere Fließzeit von rund 2 Jahren pro km Fließstrecke abgeleitet werden. Von der Alz bis zum Quellgebiet des Haiminger Bachs ergibt sich bei einer Fließstrecke von ca. 5 km eine Dauer von rund 10 Jahren bis dort im Grundwasser die maximale Stoffkonzentration aufgrund der Alzversickerung erreicht ist.
- Die maximal zu erwartende Stoffkonzentration im Grundwasser lässt sich über die Länge des Fließweges überschlägig mit der Stoffkonzentration in der Alz ins Verhältnis setzen. Entlang des Fließweges zur Messstelle Haiming 380A entspricht die Stoffkonzentration im Grundwasserleiter nach 1 km Fließstrecke ca. 75 % der Stoffkonzentration in der Alz, nach 2 km Fließstrecke noch ca. 50 % der Stoffkonzentration in der Alz, nach 3 km noch 30 % und nach 4 km Fließstrecke nur noch 10 %. Bei einer Fließstrecke von mehr als 4 km entspricht die Stoffkonzentration im Grundwasserleiter weniger als 10 % der Stoffkonzentration in der Alz. Für den Fließpfad zur Messstelle VB1 ergeben sich nach oben oder unten leicht abweichende Zahlen, die Ergebnisse sind im Grunde aber vergleichbar.
- Zwischen den Stoffkonzentrationen in der Alz und den jeweiligen Stoffkonzentrationen im Grundwasser besteht ein unmittelbarer linearer Zusammenhang. Anhand der in den Kapiteln 4-6 bis 4-9 genannten Faktoren kann für jeden Kontrollpunkt in Abhängigkeit von der Stoffkonzentration in der Alz die zu erwartende maximale Stoffkonzentration im Grundwasser abgeschätzt werden.
- Der Stoffeintrag aus der Alz in den Aquifer lässt sich anhand vorliegender Natur- und Modelluntersuchungen abschätzen. Es besteht ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Alzabfluss und Versickerungsmenge. Unter normalen Abflussbedingungen (MNQ bis ca. 10 m<sup>3</sup>/s) beträgt die Versickerungsrate rund 10 % des Alzabflusses. Damit betragen die aus der Alz in den Aquifer eingetragenen Frachten ebenfalls 10 % der im Alzwasser gelösten Fracht. Bei höheren Alzabflüssen steigt die Versickerungsrate überproportional an.

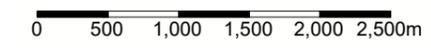
- Der in das Aquifersystem eingetragene Stoff wird über die Vorfluter wieder aus dem Aquifersystem ausgetragen. Bei konstanter Stoffkonzentration in der Alz und einer Infiltrationsdauer von 20 Jahren hat sich nach ca. 18 - 20 Jahren zwischen dem Stoffeintrag aus der Alz und dem Stoffaustrag über die Vorfluter ein Gleichgewichtszustand eingestellt. Die dann im Aquifer maximal gelöste Masse beträgt ein Sechstel (ca. 17 %) des gesamten Stoffeintrages.
- Nach Beendigung des Stoffeintrages aus der Alz dauert es noch rund 20 Jahre bis der Stoff über die Vorfluter aus dem Grundwasserleiter wieder vollständig ausgetragen ist. Nach 10 Jahren sind allerdings schon 90 % der maximal gelösten Masse ausgetragen.
- Zwischen der Konzentration in der Alz, der in den Aquifer versickernden Fracht und der gelösten Masse im Aquifer bestehen einfache mathematische Beziehungen. Bei Kenntnis von Stoffkonzentration und Abfluss in der Alz kann die in den Aquifer versickernde Fracht sowie die im Aquifer zu erwartende maximale gelöste Stoffmenge abgeschätzt werden.

## **ANHANG A GRUNDWASSERFLIEßWEGE DER ALZVERSICKERUNG**

File Name: P:\Project\051555 InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG InfraServ Machbarkeitsstudie RHM13\_Abweissung\Druck\2021\Anlagenplanung\Anhang\_A.dwg [Layout Name: A3] [Plot Date: März 9, 2021 12:43, Ruediger Horst]



- Legende**
- Grundwasserentnahme
  - EA1 Kontrollpunkt
  - Grundwassergleiche [m ü. NN] (Hauptgrundwasserleiter / Februar 2009)
  - Bahnlinie (Fließpfad des Grundwassers)
  - Verbreitungsgrenze der Hangenserie
  - Oberflächengewässer
  - Ortslage
  - Modellgebiet



**ERM GmbH**  
 Siemensstraße 9  
 D-63263 Neu-Isenburg  
 Telefon +49 6102 206-0  
 Telefax +49 6102 7719040

Gezeichnet:  
 Rüdiger Horst  
 Geprüft:  
 Dr. Andrea Herch  
 Datum:  
 März 2021

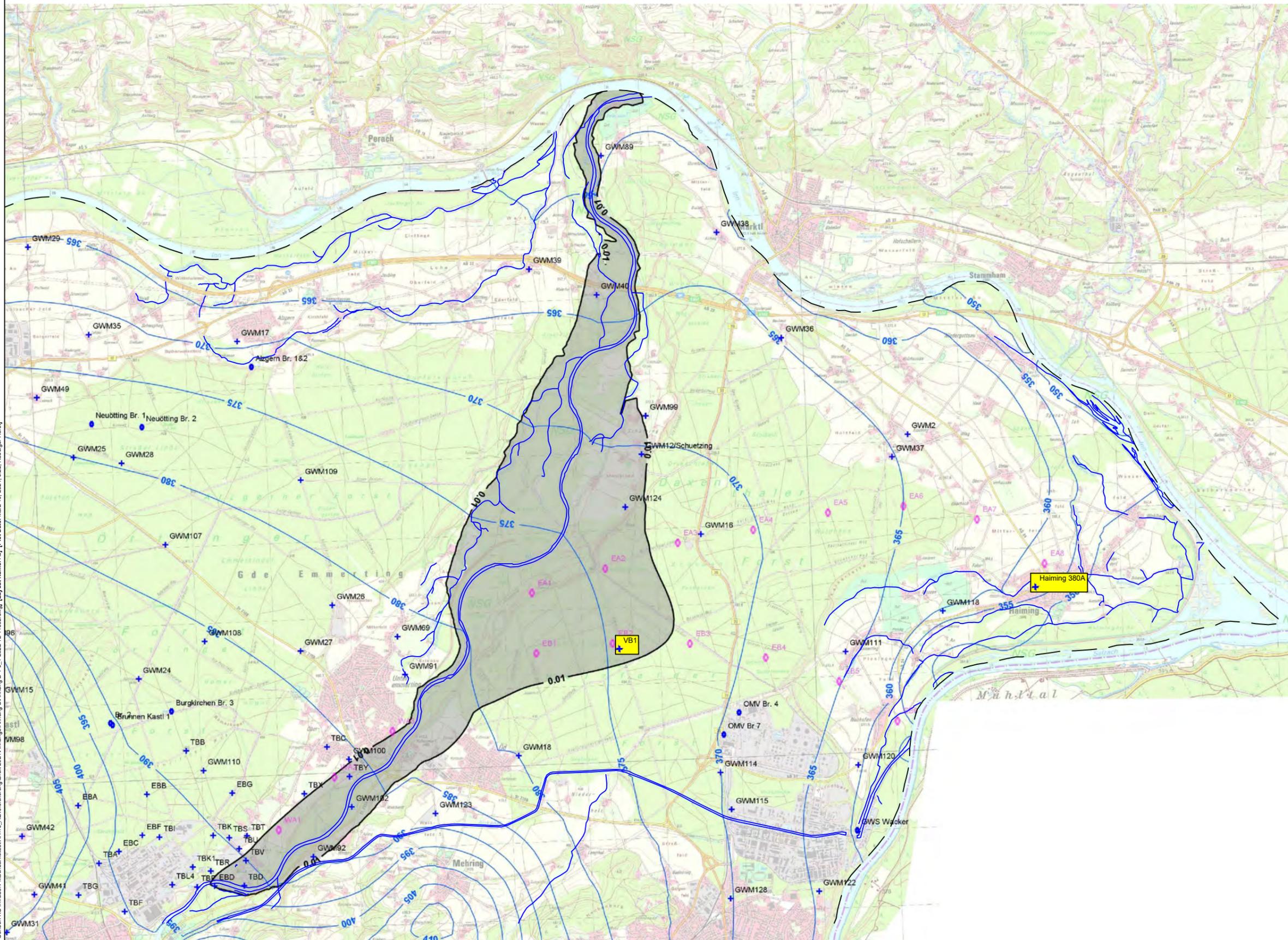
Beurteilung der Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter  
**Grundwasserfließwege der Alzversickerung**  
 Kunde:  
 InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG  
 Industrieparkstraße 1  
 D-84508 Burgkirchen a.d. Alz

Projekt-Nr.:  
 P0460721  
 Maßstab:  
 1 : 50,000  
 Anhang:  
 A  
 Blattgröße:  
 DIN A3

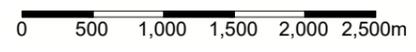
## **ANHANG B RÄUMLICHE AUSBREITUNG VON WASSERINHALTS-STOFFEN AUS DER ALZVERSICKERUNG (OBERE 10 M DES AQUIFERS)**

- B-1: Simulation 1 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Iz}=0,1 \mu\text{g/l}$   
(Zeitpunkt t1: 2 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-2: Simulation 1 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Iz}=0,1 \mu\text{g/l}$   
(Zeitpunkt t2: 20 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-3: Simulation 1 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Iz}=0,1 \mu\text{g/l}$   
(Zeitpunkt t3: 8 Jahre nach Ende der Versickerung aus der Alz)
- B-4: Simulation 2 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Iz}=2,5 \mu\text{g/l}$   
(Zeitpunkt t1: 2 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-5: Simulation 2 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Iz}=2,5 \mu\text{g/l}$   
(Zeitpunkt t2: 20 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-6: Simulation 2 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Iz}=2,5 \mu\text{g/l}$   
(Zeitpunkt t3: 8 Jahre nach Ende der Versickerung aus der Alz)
- B-7: Simulation 3 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Iz}=5,0 \mu\text{g/l}$   
(Zeitpunkt t1: 2 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-8: Simulation 3 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Iz}=5,0 \mu\text{g/l}$   
(Zeitpunkt t2: 20 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)
- B-9: Simulation 3 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $CA_{Iz}=5,0 \mu\text{g/l}$   
(Zeitpunkt t3: 8 Jahre nach Ende der Versickerung aus der Alz)

[File Name: P:\Project\0561565\InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG\InfoServ\_Machbarkeitsstudie\2021\Anlagenplanung\BA\Anlage B-1\_0\_1\_2022\T2-44892.dwg] [Layout Name: A3] [Plot Date: März 16, 2021 3:22, Rüdiger Horst]



- Legende**
- Kastl Grundwasserentnahme
  - + GWM27 Grundwassermessstelle
  - ▽ EA Kontrollpunkt
  - Oberflächengewässer
  - Ortslage
  - Modellgebiet
  - Stoffkonzentration im Grundwasser >0,01 µg/l
  - Grundwassermessstellen Haiming 380A & VB1



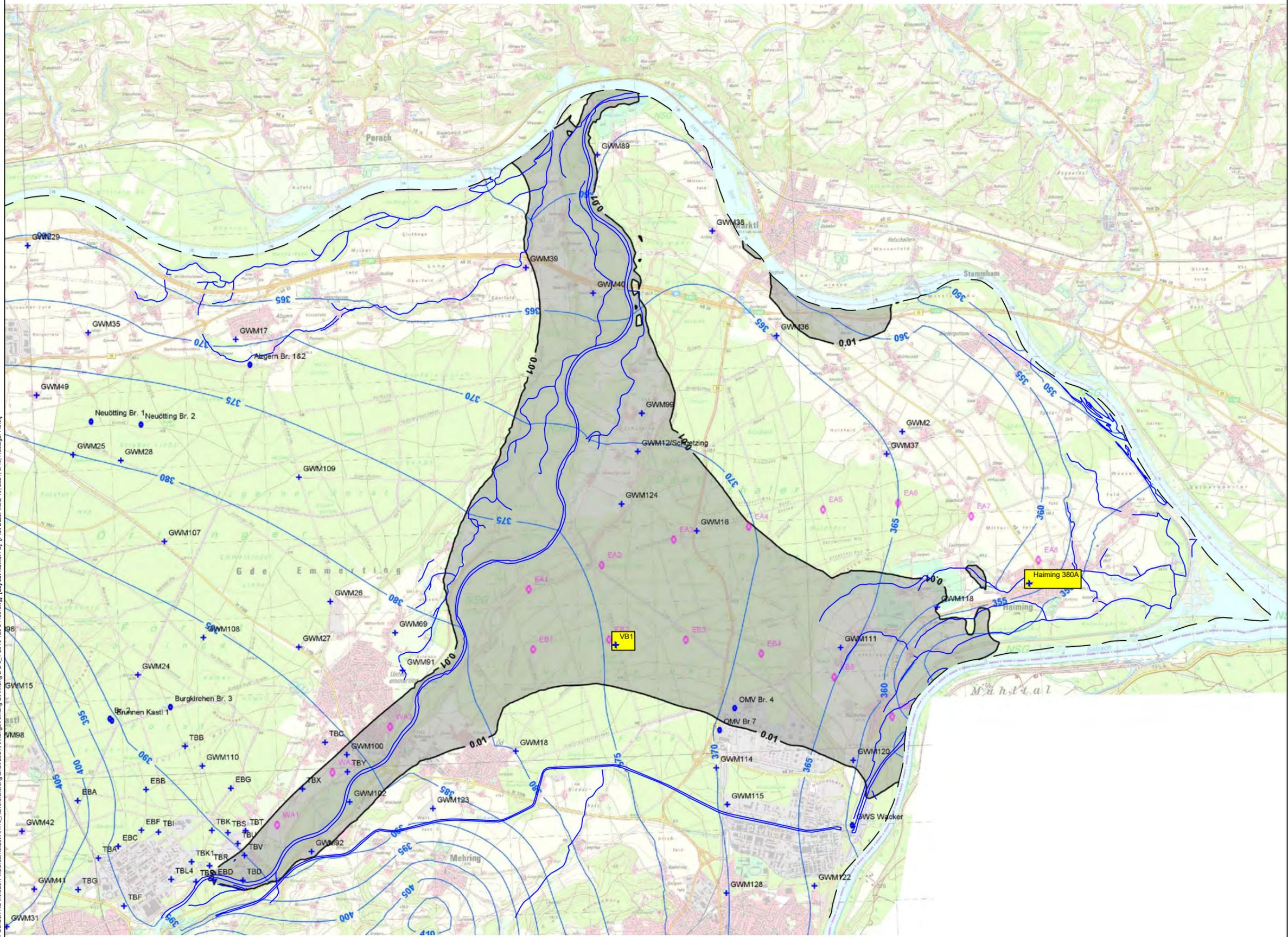
**ERM GmbH**  
 Siemensstraße 9  
 D-63263 Neu-Isenburg  
 Telefon +49 6102 206-0  
 Telefax +49 6102 7719040

Gezeichnet:  
 Rüdiger Horst  
 Geprüft:  
 Dr. Andrea Herch  
 Datum:  
 März 2021

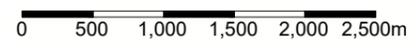
Beurteilung der Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter  
**Simulation 1 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $C_{Alz} = 0,1 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_i$ : 2 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)**  
 Kunde:  
 InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG  
 Industrieparkstraße 1  
 D-84508 Burgkirchen a.d. Alz

Projekt-Nr.:  
 P0460721  
 Maßstab:  
 1 : 50,000  
 Anhang:  
 B-1  
 Blattgröße:  
 DIN A3

[File Name: P:\Project\051555\InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG\InfoServ\_Machbarkeitsstudie\2021\Anlagenplanung\Bauantrag\_B-2\_0\_1\_2020\T201165.dwg] [Plot Date: März 16, 2021, 3:19, Rüdiger Horst]



- Legende**
- Kastl Grundwasserentnahme
  - + GWM27 Grundwassermessstelle
  - ▽ EA Kontrollpunkt
  - Oberflächengewässer
  - Ortslage
  - Modellgebiet
  - Stoffkonzentration im Grundwasser >0,01 µg/l
  - Grundwassermessstellen Haiming 380A & VB1



**ERM GmbH**  
 Siemensstraße 9  
 D-63263 Neu-Isenburg  
 Telefon +49 6102 206-0  
 Telefax +49 6102 7719040

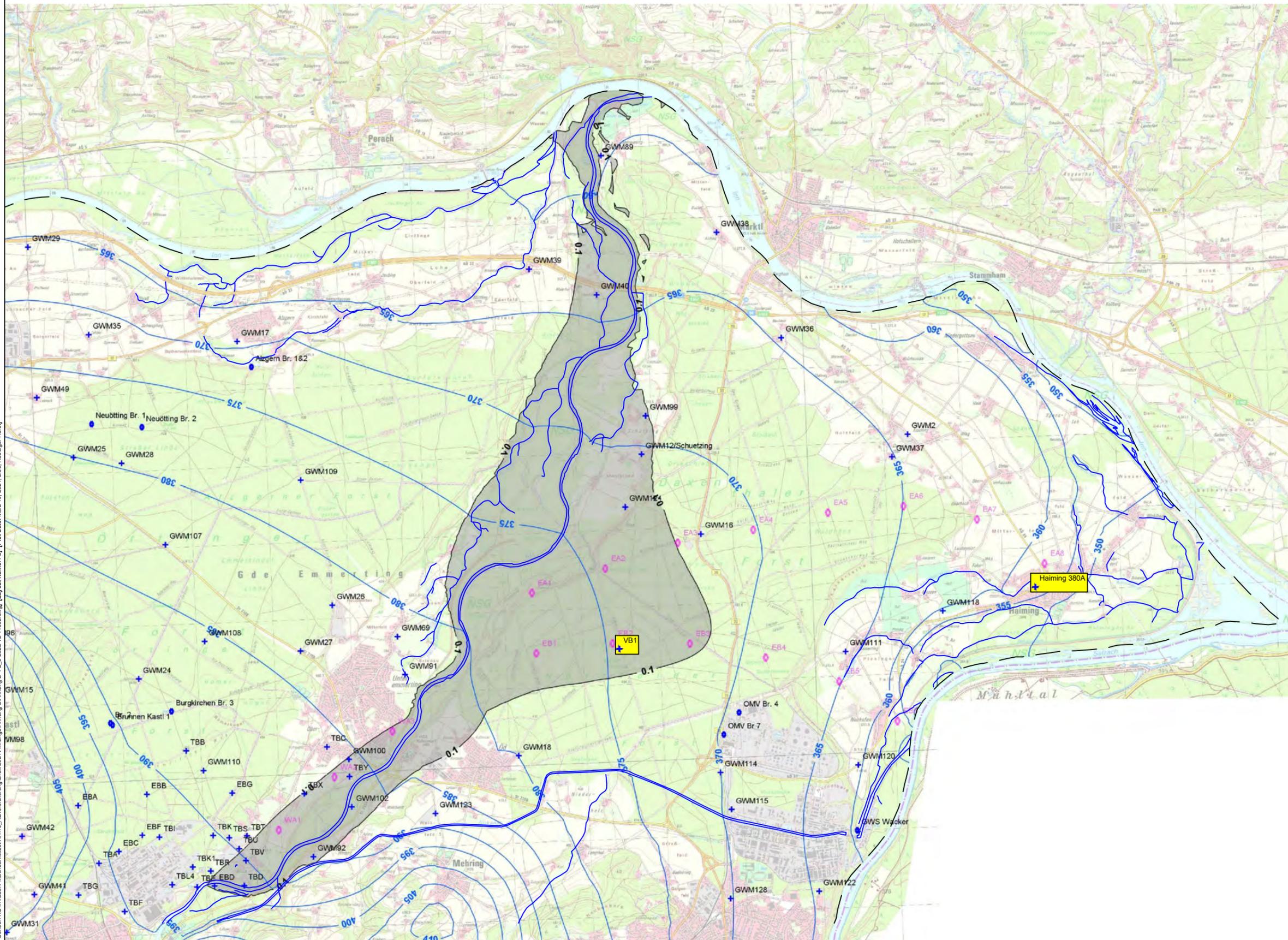
Gezeichnet:  
 Rüdiger Horst  
 Geprüft:  
 Dr. Andrea Herch  
 Datum:  
 März 2021

Beurteilung der Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter  
**Simulation 1 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $C_{Alz} = 0,1 \mu\text{g/l}$**   
**Zeitpunkt  $t_2$ : 20 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz**  
 Kunde:  
 InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG  
 Industrieparkstraße 1  
 D-84508 Burgkirchen a.d. Alz

Projekt-Nr.:  
 P0460721  
 Maßstab:  
 1 : 50,000  
 Anhang:  
 B-2  
 Blattgröße:  
 DIN A3

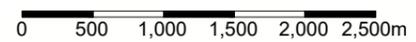


[File Name: P:\Project\051555\InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG\InfoServ\_Machbarkeitsstudie\2021\Anlagenplanung\Bauantrag B-4-2-5\_2022\T2-44592.dwg] [Layout Name: A3] [Plot Date: März 16, 2021 12:38, Rüdiger Horst]



**Legende**

- Kastl Grundwasserentnahme
- + GWM27 Grundwassermessstelle
- ▽ EA Kontrollpunkt
- Oberflächengewässer
- Ortslage
- Modellgebiet
- Stoffkonzentration im Grundwasser >0,1 µg/l
- Grundwassermessstellen Haiming 380A & VB1



**ERM GmbH**  
 Siemensstraße 9  
 D-63263 Neu-Isenburg  
 Telefon +49 6102 206-0  
 Telefax +49 6102 7719040

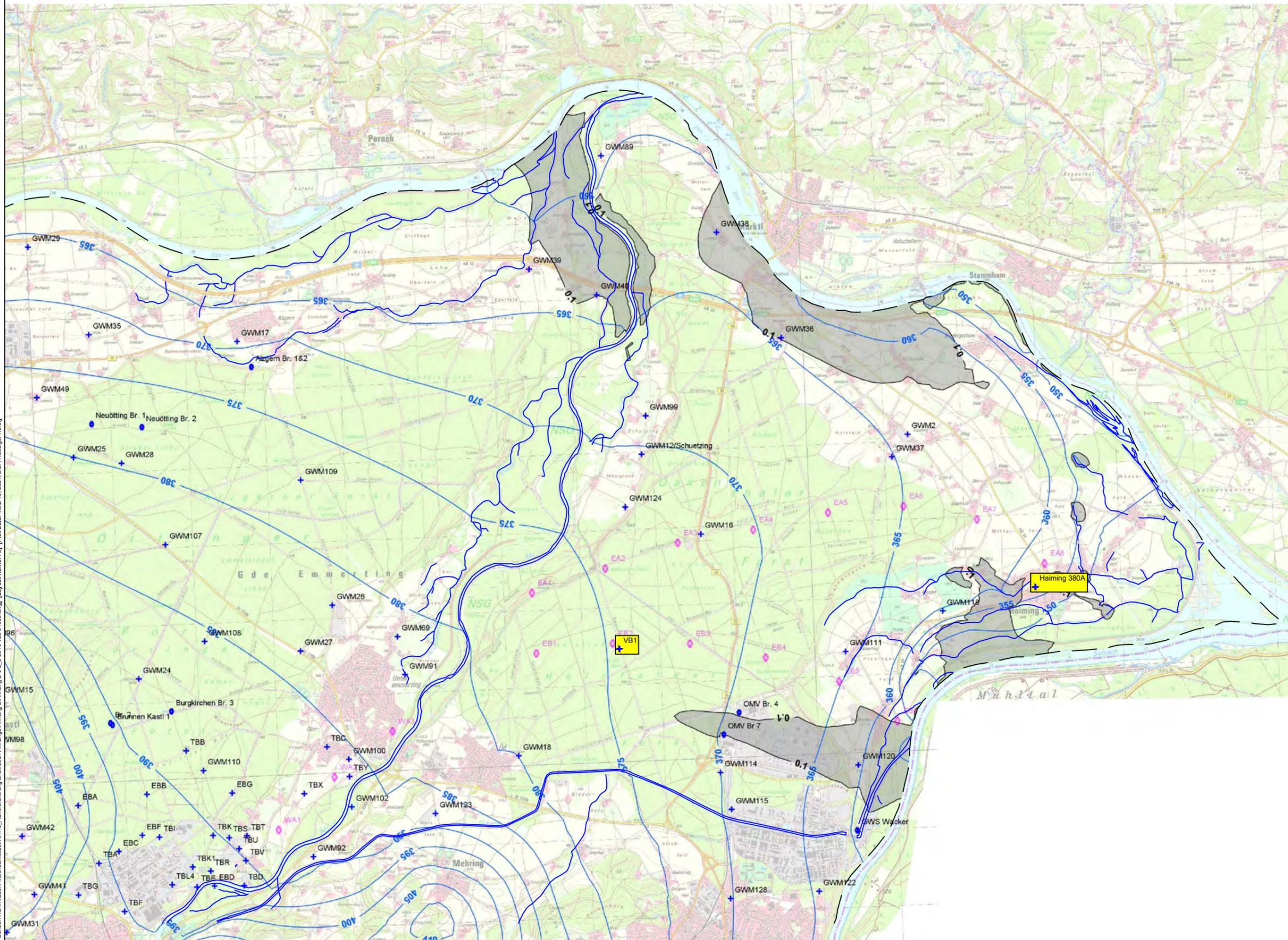
Gezeichnet: Rüdiger Horst
Geprüft: Dr. Andrea Herch
Datum: März 2021

Beurteilung der Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter
<b>Simulation 2 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser <math>C_{Alz} = 2,5 \mu\text{g/l}</math> (Zeitpunkt <math>t_i</math>: 2 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)</b>
Kunde: InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG Industrieparkstraße 1 D-84508 Burgkirchen a.d. Alz

Projekt-Nr.: P0460721
Maßstab: 1 : 50,000
Anhang: B-4
Blattgröße: DIN A3

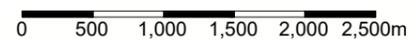


[File Name: P:\Project\0561565\InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG\InfraServ\Mapbearbeitung\2021\Anlagen\Anlage\B\Anlage B-6-2-5\_2040\725-50085.dwg] [Plot Date: März 16, 2021, 2:27, Rüdiger Horst]



**Legende**

- Kastl Grundwasserentnahme
- + GWM27 Grundwassermessstelle
- ▽ EA Kontrollpunkt
- Oberflächengewässer
- Ortslage
- Modellgebiet
- Stoffkonzentration im Grundwasser >0,1 µg/l
- Grundwassermessstellen Haiming 380A & VB1



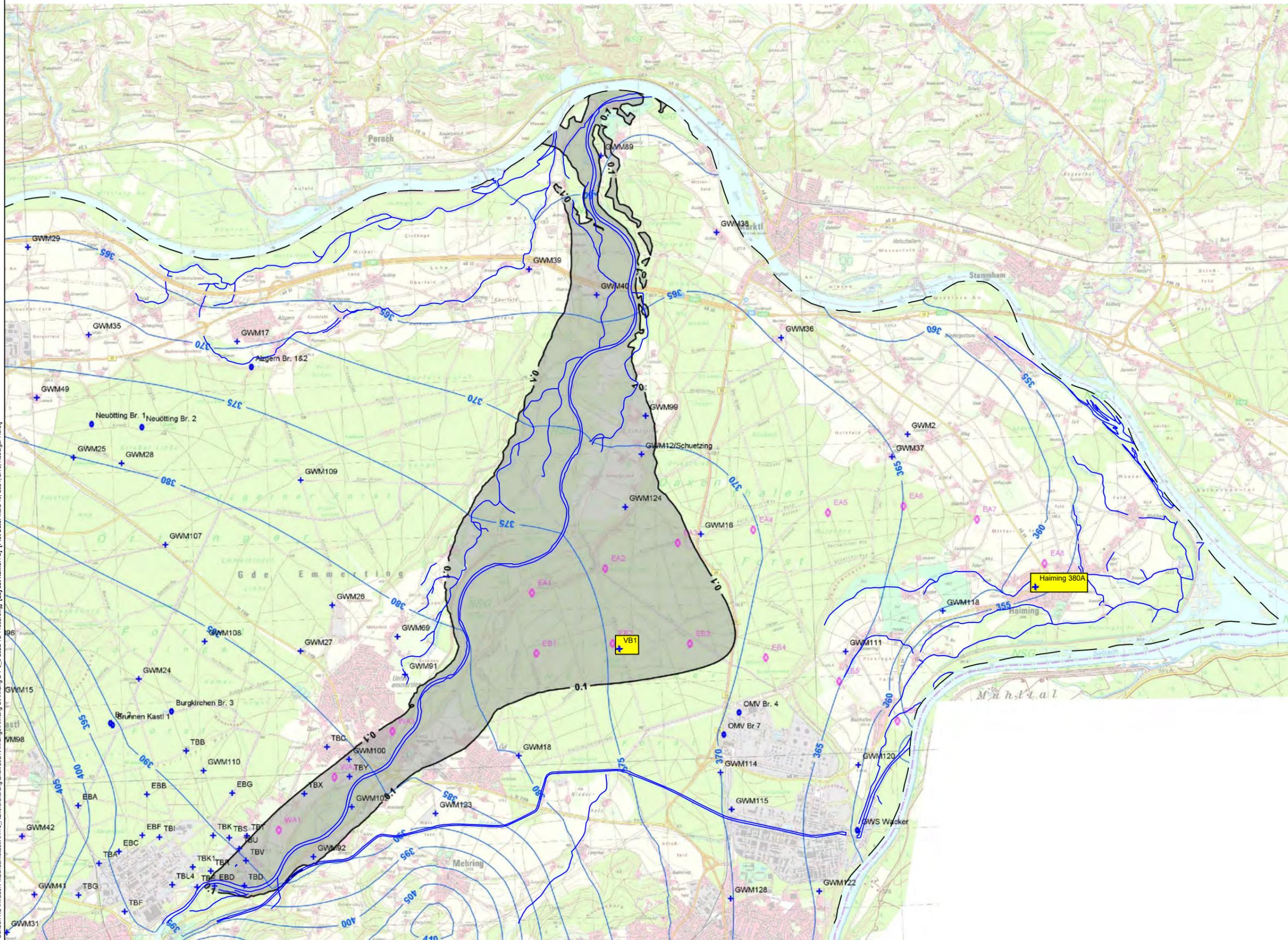
**ERM GmbH**  
 Siemensstraße 9  
 D-63263 Neu-Isenburg  
 Telefon +49 6102 206-0  
 Telefax +49 6102 7719040

Gezeichnet: Rüdiger Horst
Geprüft: Dr. Andrea Herch
Datum: März 2021

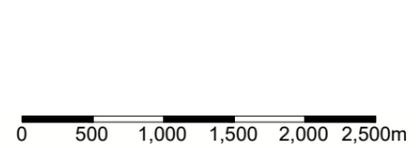
Beurteilung der Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter  
**Simulation 2 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $C_{Alz} = 2,5 \mu\text{g/l}$  (Zeitpunkt  $t_3$ : 8 Jahre nach Ende der Versickerung aus der Alz)**  
 Kunde:  
 InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG  
 Industrieparkstraße 1  
 D-84508 Burgkirchen a.d. Alz

Projekt-Nr.: P0460721
Maßstab: 1 : 50,000
Anhang: B-6
Blattgröße: DIN A3

[File Name: P:\Project\051555 InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG InfraServ Machbarkeitsstudie\2021\Anlagen\Anlage\B\Anlage B-7\_5\_0\_2022\T2-44892.dwg] [Layout Name: A3] [Plot Date: März 16, 2021 2:15, Rüdiger Horst]



- Legende**
- Kastl Grundwasserentnahme
  - + GWM27 Grundwassermessstelle
  - ▽ EA Kontrollpunkt
  - Oberflächengewässer
  - Ortslage
  - Modellgebiet
  - Stoffkonzentration im Grundwasser >0,1 µg/l
  - Grundwassermessstellen Haiming 380A & VB1



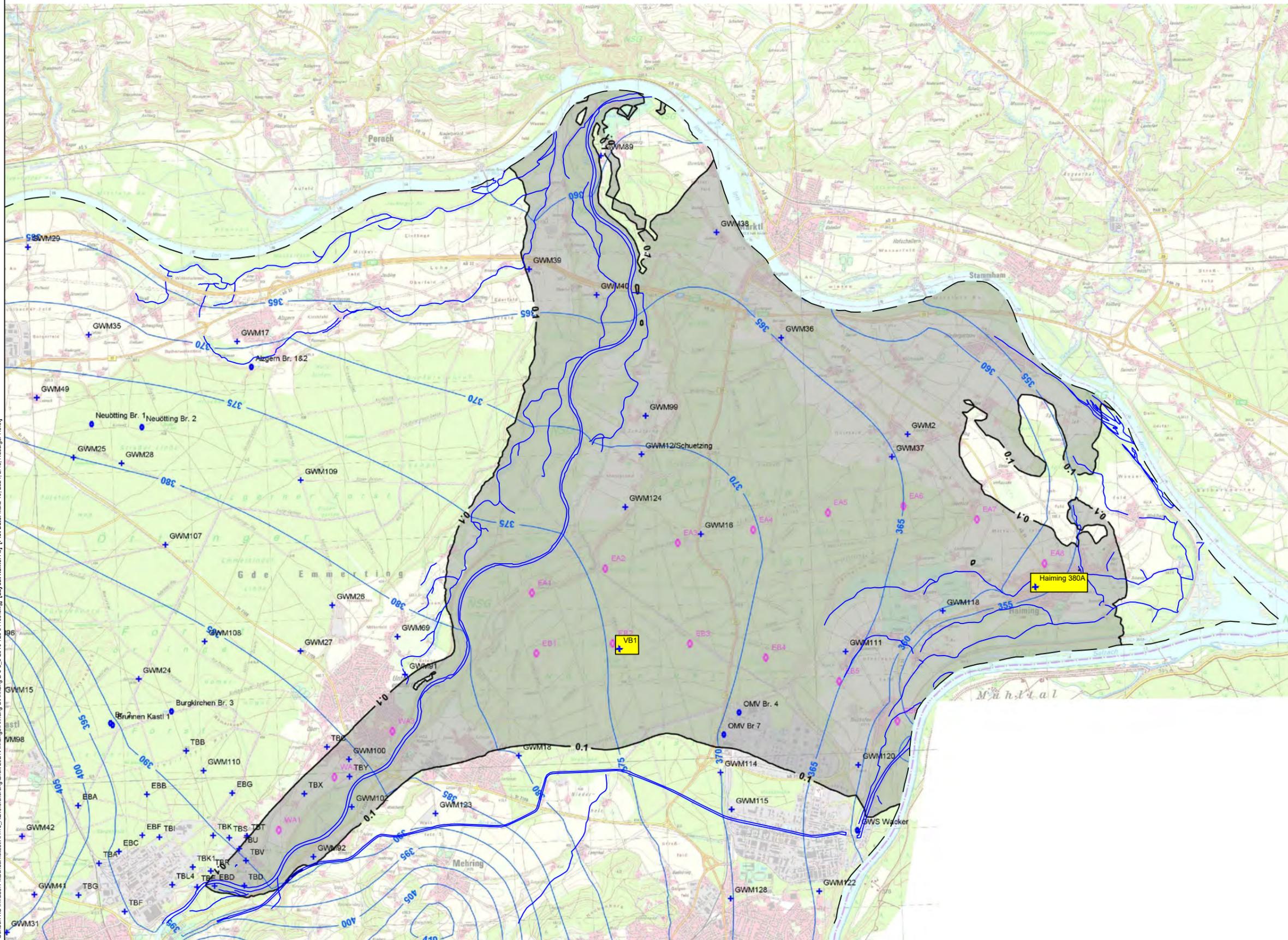
**ERM GmbH**  
 Siemensstraße 9  
 D-63263 Neu-Isenburg  
 Telefon +49 6102 206-0  
 Telefax +49 6102 7719040

Gezeichnet:  
 Rüdiger Horst  
 Geprüft:  
 Dr. Andrea Herch  
 Datum:  
 März 2021

Beurteilung der Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter  
**Simulation 3 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $C_{Alz} = 5 \mu\text{g/l}$**   
**(Zeitpunkt  $t_i$ : 2 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz)**  
 Kunde:  
 InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG  
 Industrieparkstraße 1  
 D-84508 Burgkirchen a.d. Alz

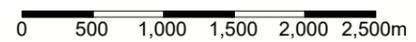
Projekt-Nr.:  
 P0460721  
 Maßstab:  
 1 : 50,000  
 Anhang:  
 B-7  
 Blattgröße:  
 DIN A3

[File Name: P:\Project\051555 InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG InfraServ Machbarkeitsstudie\2021\Anlagenplanung\BA\Anhang B-8-5-0\_2020\T20\51165.dwg] [Plot Date: März 16, 2021, 2:13, Rüdiger Horst]



**Legende**

- Kastl Grundwasserentnahme
- + GWM27 Grundwassermessstelle
- ▽ EA Kontrollpunkt
- Oberflächengewässer
- Ortslage
- Modellgebiet
- Stoffkonzentration im Grundwasser >0,1 µg/l
- Grundwassermessstellen Haiming 380A & VB1



**ERM GmbH**  
 Siemensstraße 9  
 D-63263 Neu-Isenburg  
 Telefon +49 6102 206-0  
 Telefax +49 6102 7719040

Gezeichnet:  
 Rüdiger Horst  
 Geprüft:  
 Dr. Andrea Herch  
 Datum:  
 März 2021

Beurteilung der Auswirkung der Versickerung von persistenten und mobilen Stoffen aus der Alz in den Grundwasserleiter  
**Simulation 3 / Stoffkonzentrationen im Alzwasser  $C_{Alz} = 5 \mu\text{g/l}$**   
**Zeitpunkt  $t_2$ : 20 Jahre nach Beginn der Versickerung aus der Alz**  
 Kunde:  
 InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG  
 Industrieparkstraße 1  
 D-84508 Burgkirchen a.d. Alz

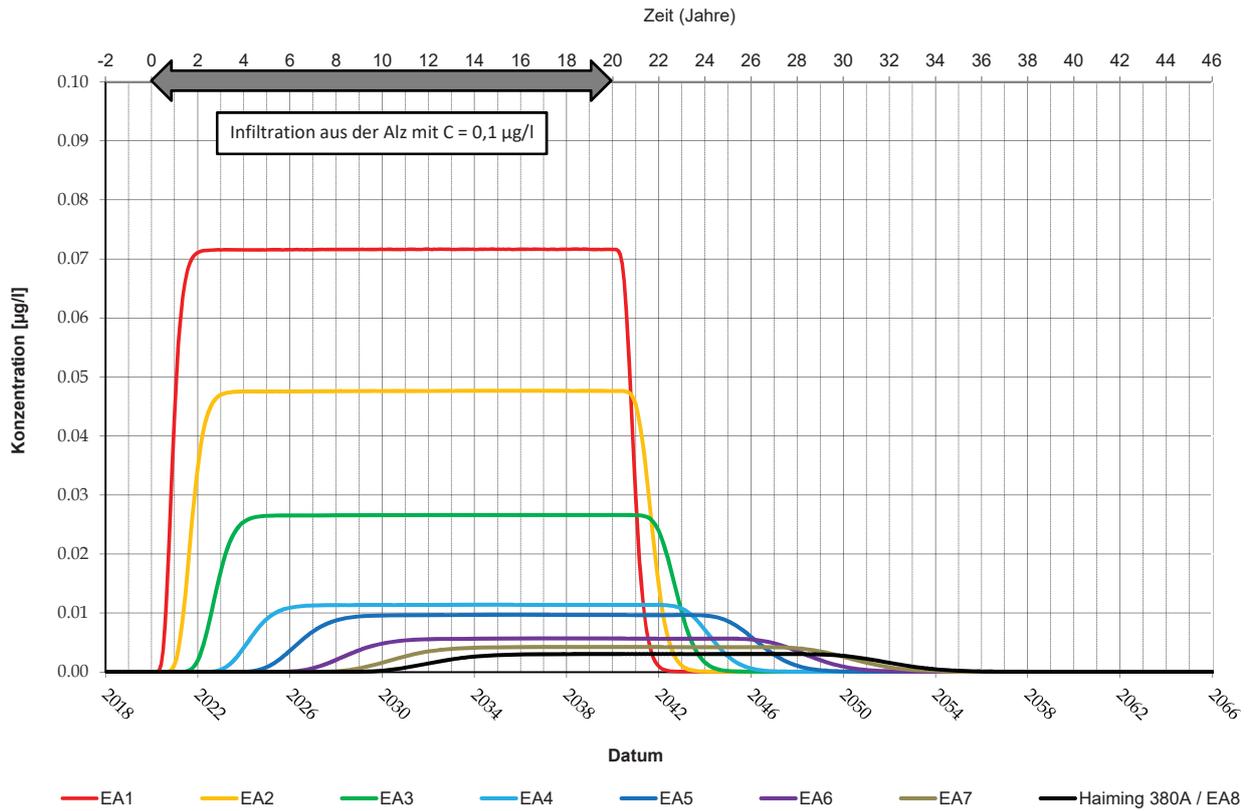
Projekt-Nr.:  
 P0460721  
 Maßstab:  
 1 : 50,000  
 Anhang:  
 B-8  
 Blattgröße:  
 DIN A3



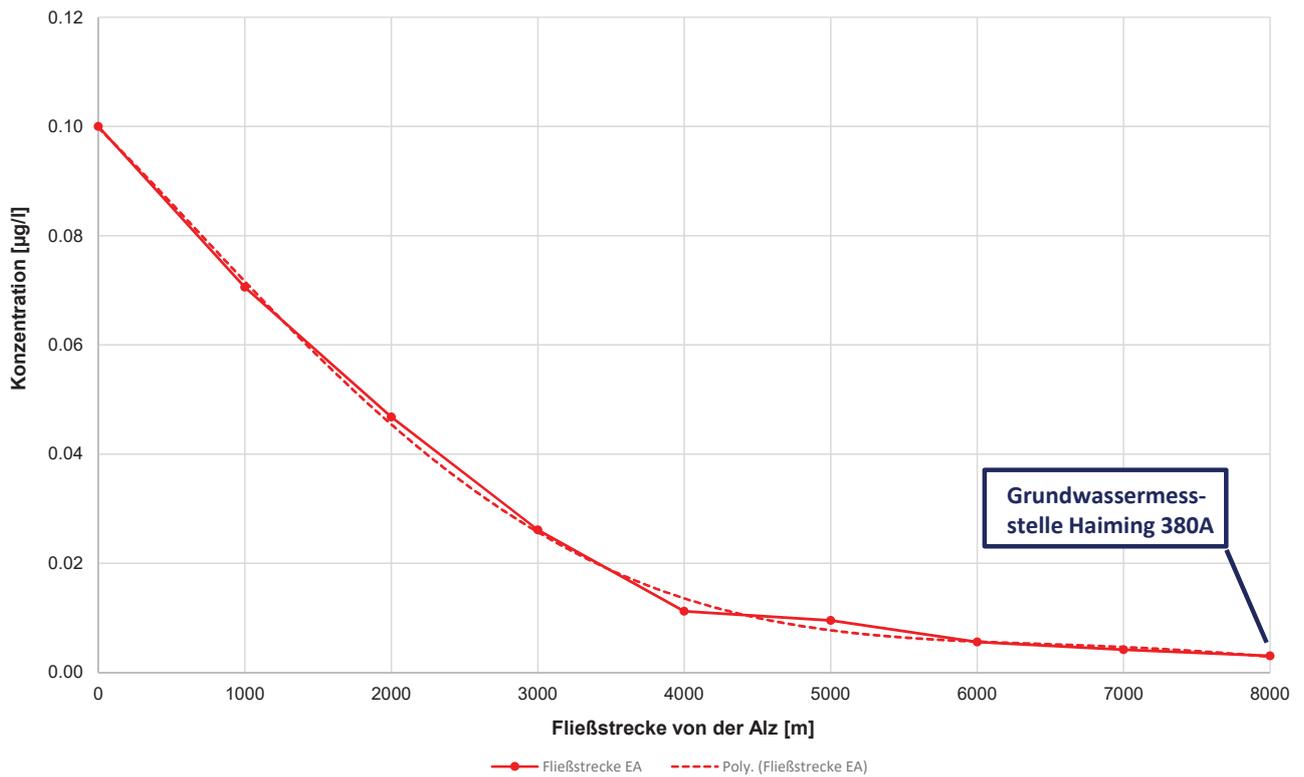
**ANHANG C SIMULATION 1: KONZENTRATIONSGANGLINIEN UND DURCHBRUCHSKURVEN ENTLANG DER FLIEßPFADE (INFILTRATION AUS DER ALZ MIT C=0,1 µG/L)**

- C-1: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EA
- C-2: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EA
- C-3: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EB
- C-4: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EB
- C-5: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke WA
- C-6: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke WA

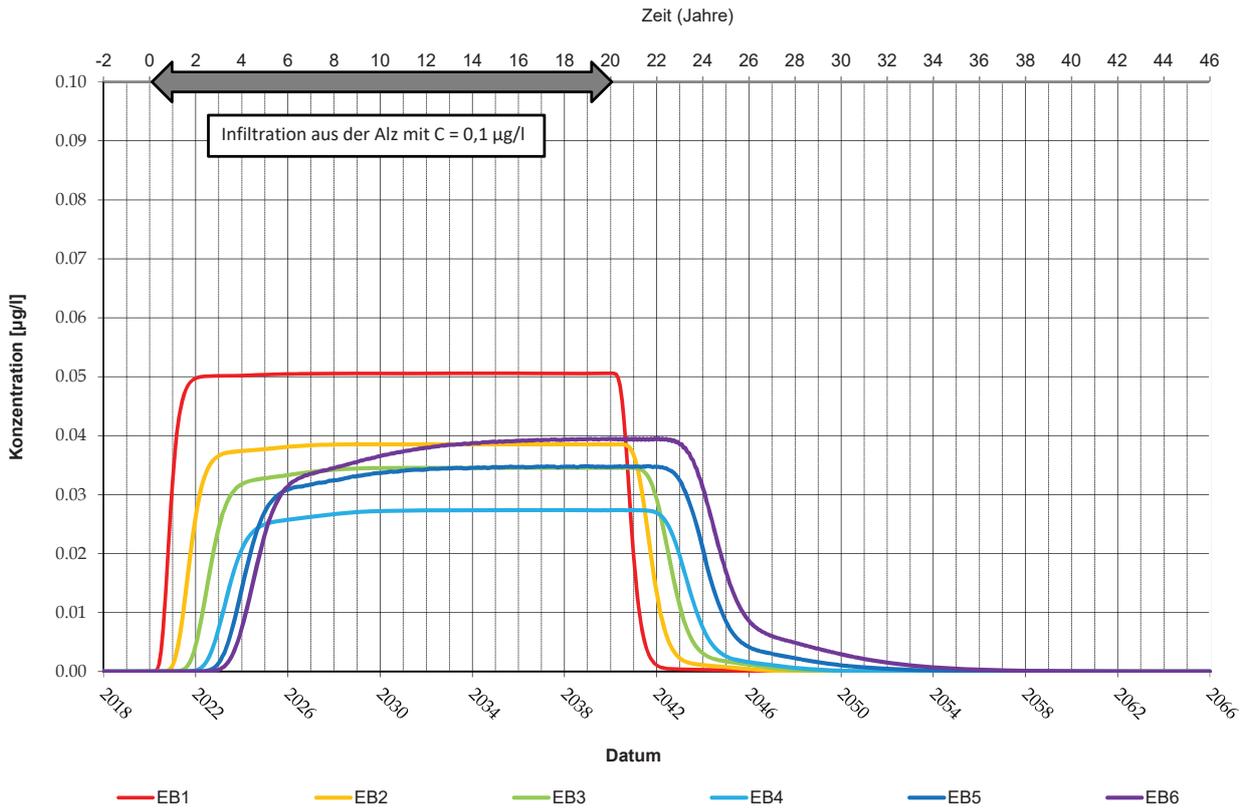
Anhang C-1: Berechnete Durchbruchkurven entlang der Fließstrecke EA (Infiltration aus der Alz mit C=0,1 µg/l)



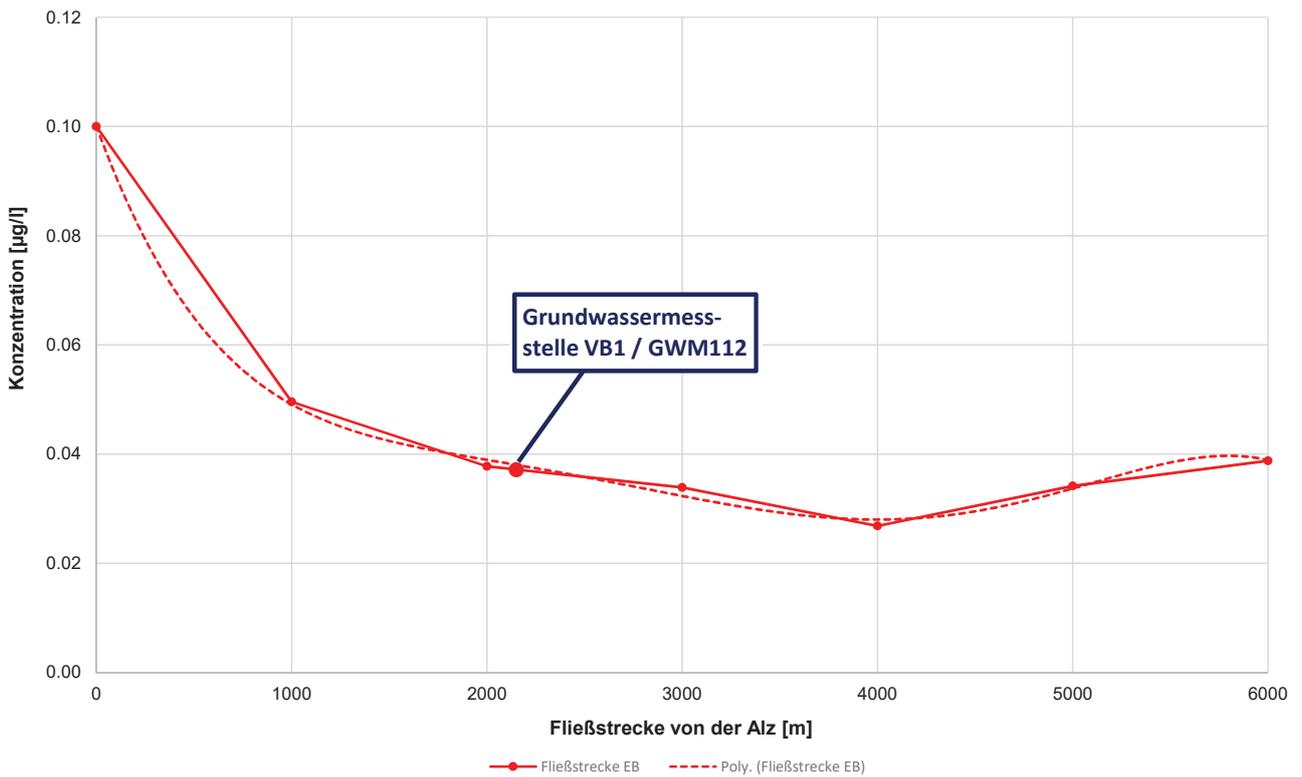
Anhang C-2: Berechnete Maximalkonzentrationen [µg/l] entlang der Fließstrecke EA



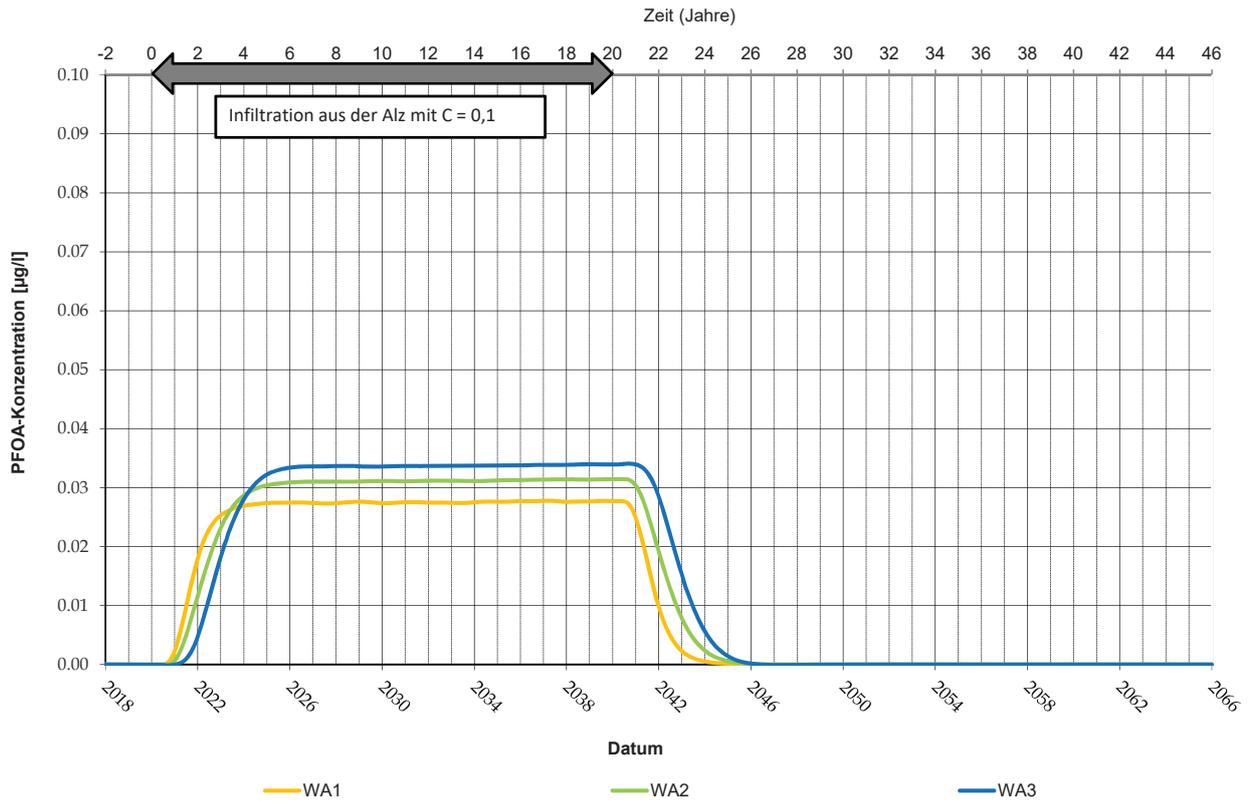
Anhang C-3: Berechnete Durchbruchkurven entlang der Fließstrecke EB (Infiltration aus der Alz mit C=0,1 µg/l)



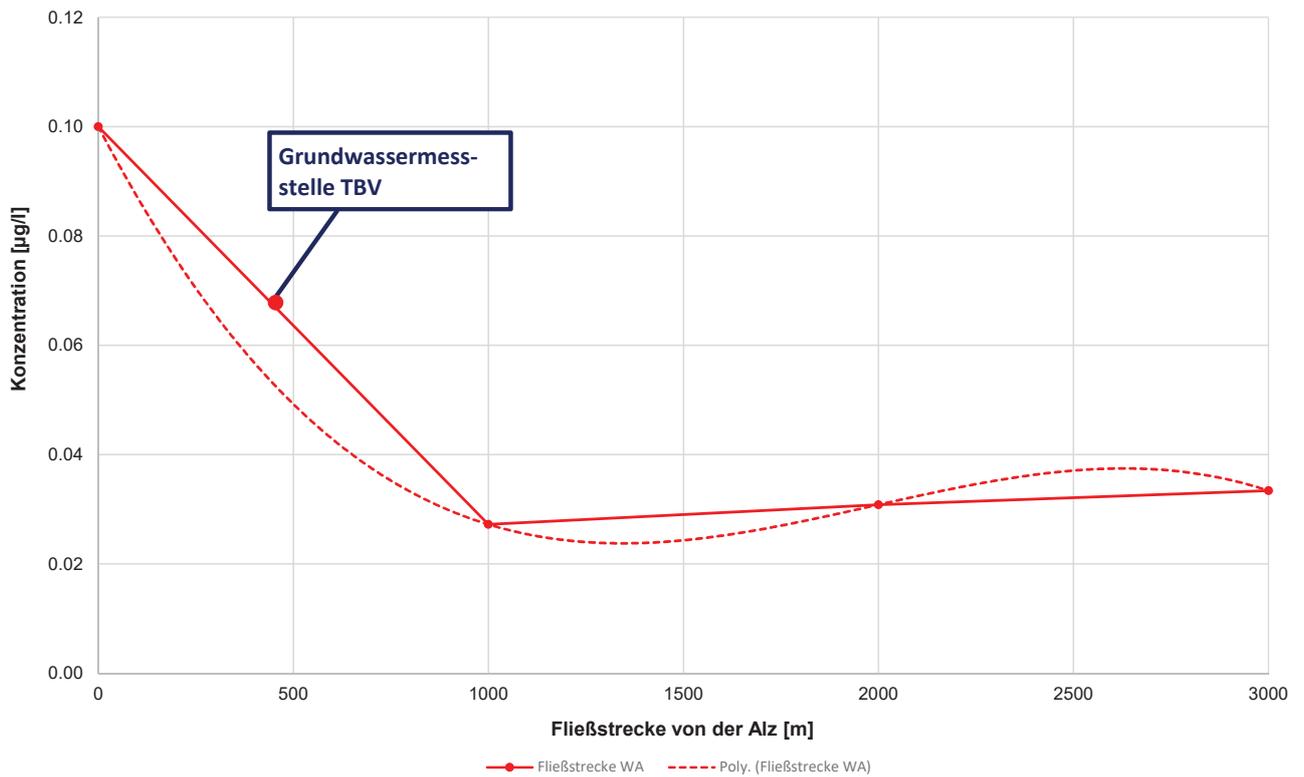
Anhang C-4: Berechnete Maximalkonzentrationen [µg/l] entlang der Fließstrecke EB



Anhang C-5: Berechnete Durchbruchkurven entlang der Fließstrecke WA (Infiltration aus der Alz mit C=0,1 µg/l)



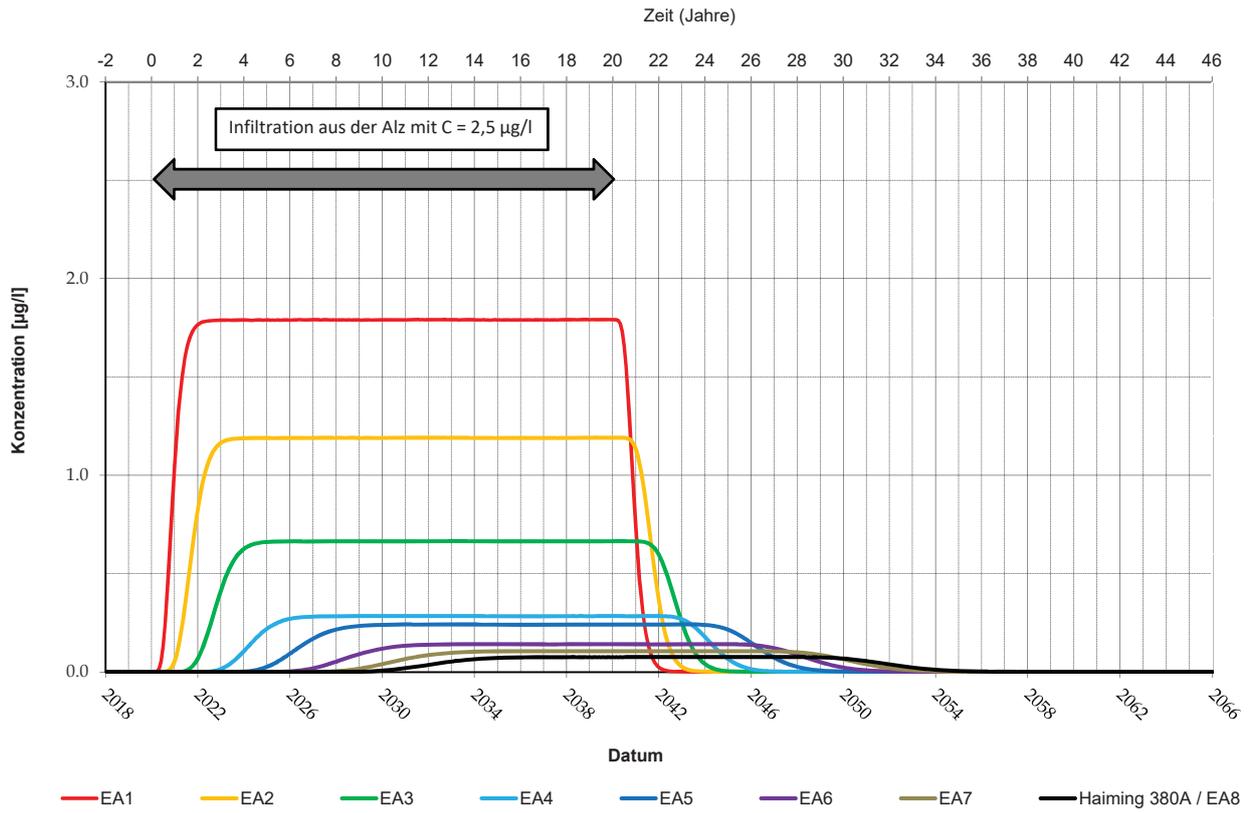
Anhang C-6: Berechnete Maximalkonzentrationen [µg/l] entlang der Fließstrecke WA



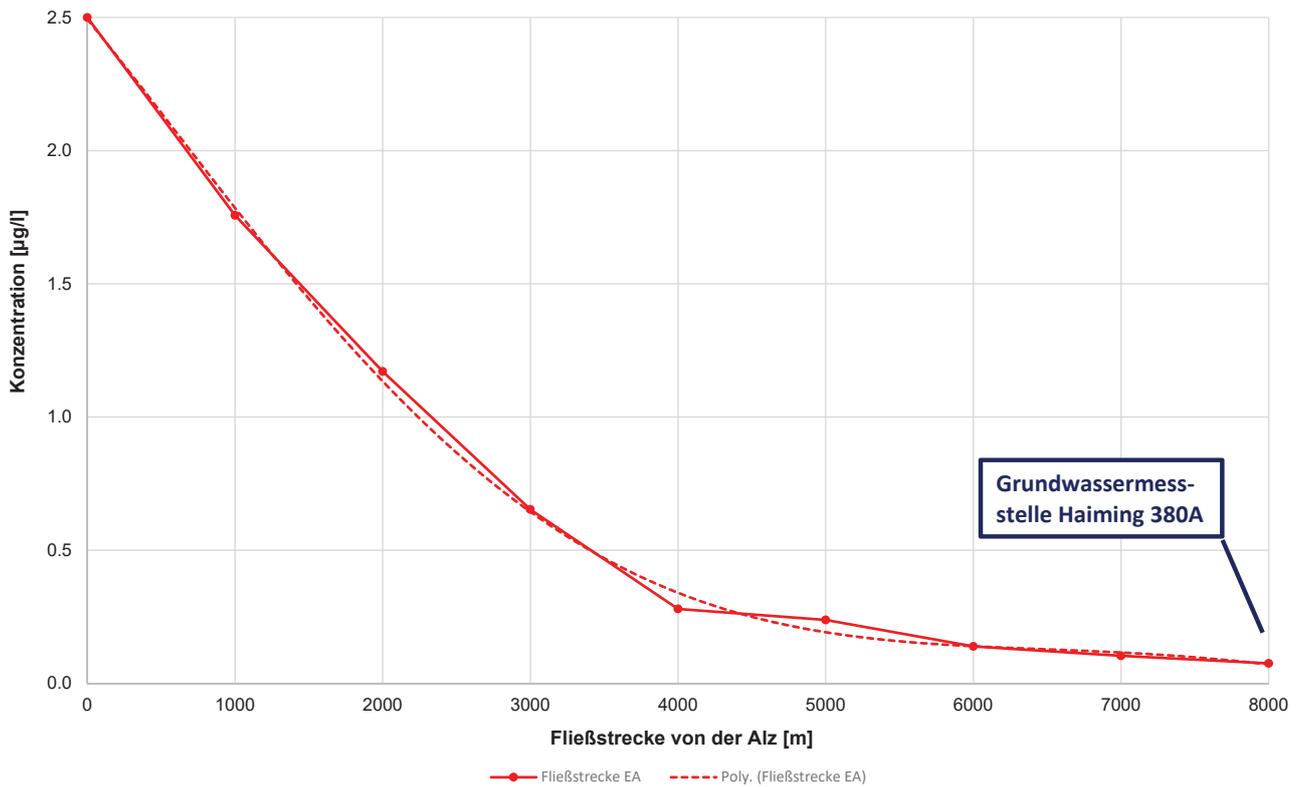
**ANHANG D SIMULATION 2: KONZENTRATIONSGANGLINIEN UND DURCHBRUCHSKURVEN ENTLANG DER FLIEßPFADE (INFILTRATION AUS DER ALZ MIT C=2,5 µG/L)**

- D-1: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EA
- D-2: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EA
- D-3: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EB
- D-4: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EB
- D-5: Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke WA
- D-6: Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke WA

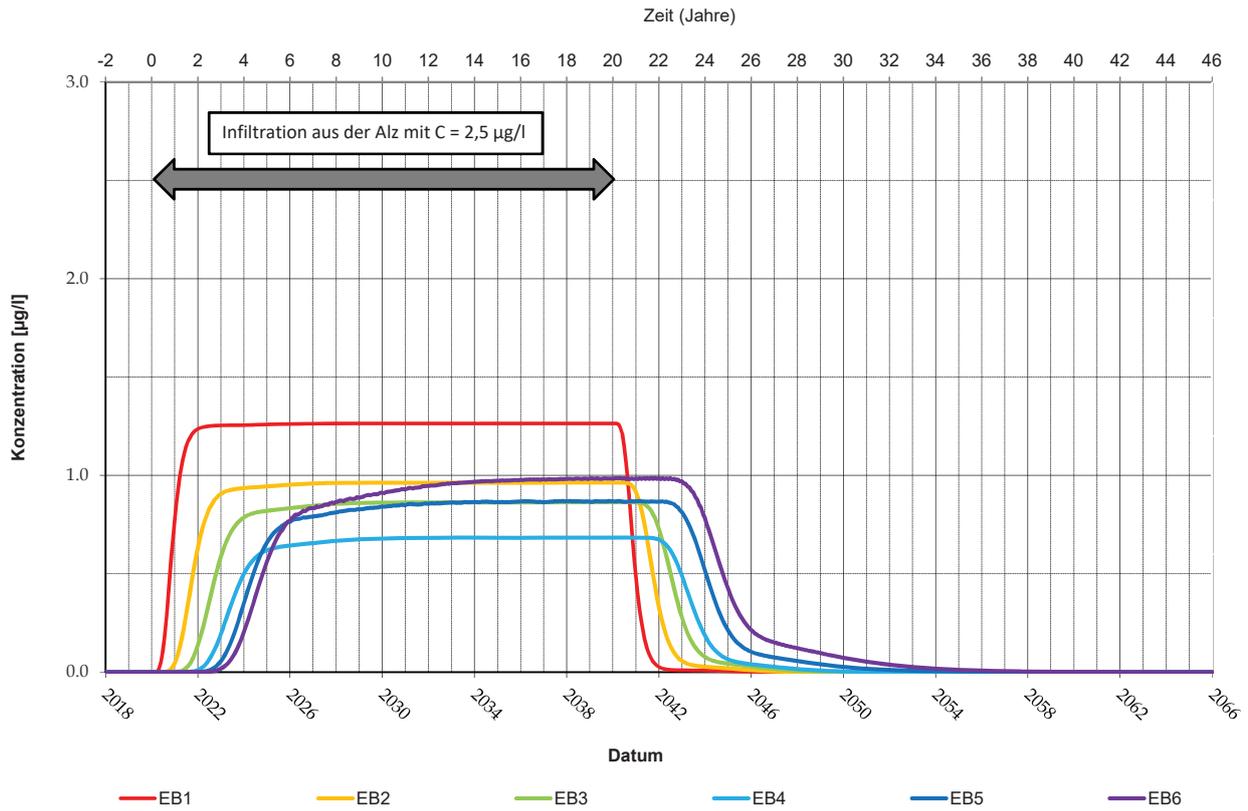
Anhang D-1: Berechnete Durchbruchkurven entlang der Fließstrecke EA (Infiltration aus der Alz mit C=2,5 µg/l)



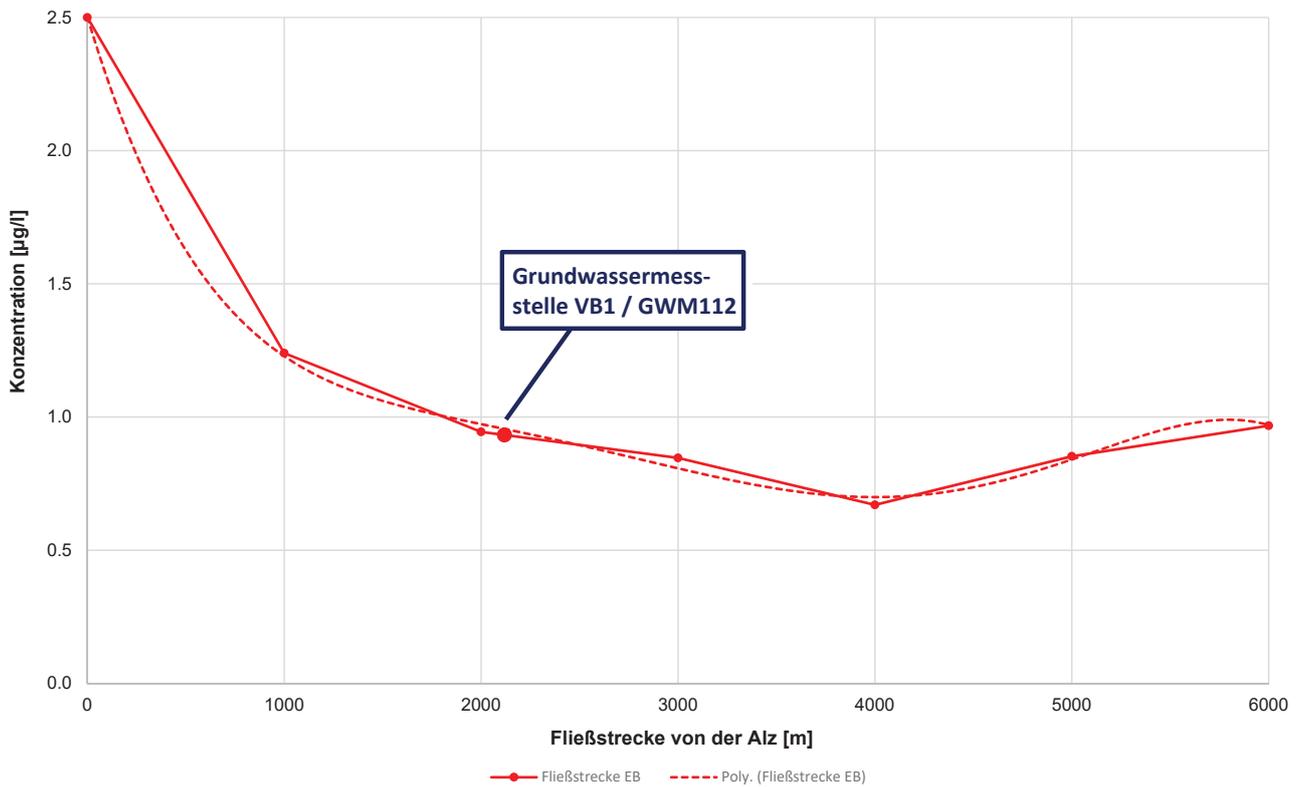
Anhang D-2: Berechnete Maximalkonzentrationen [µg/l] entlang der Fließstrecke EA



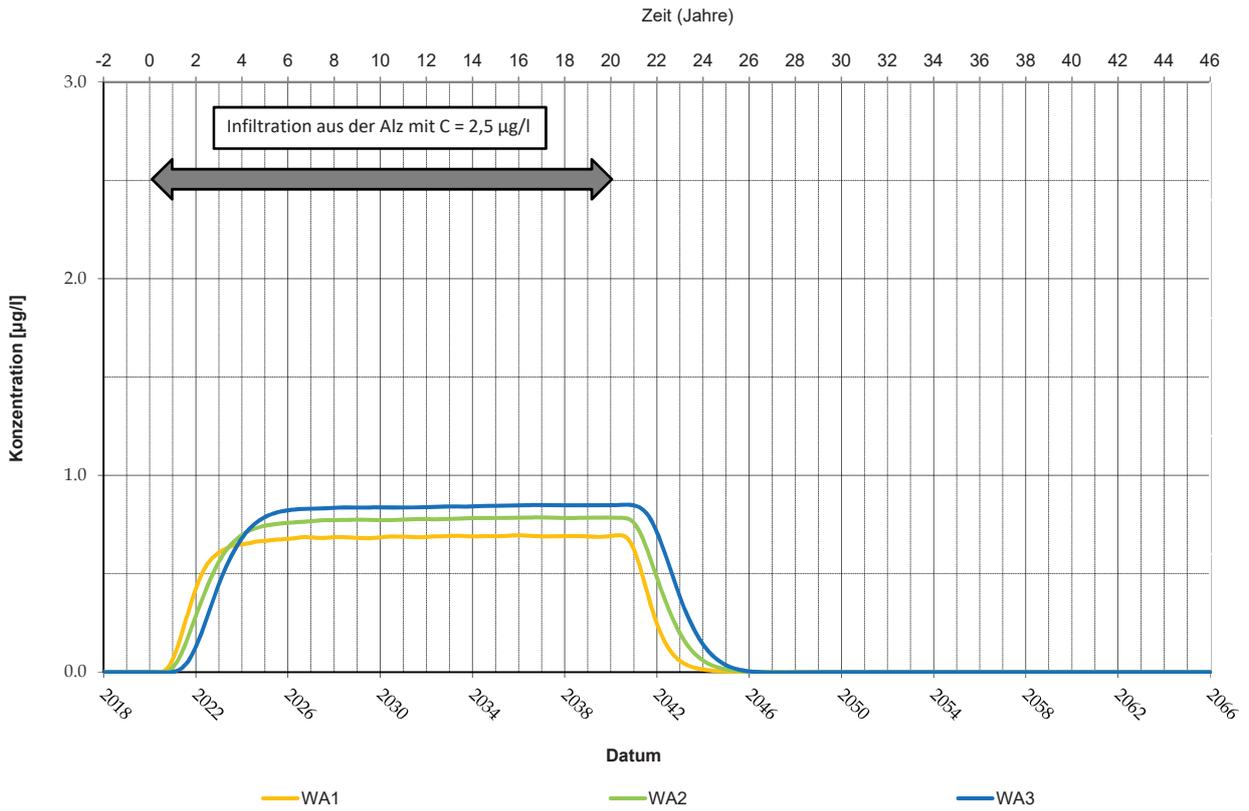
Anhang D-3: Berechnete Durchbruchkurven entlang der Fließstrecke EB (Infiltration aus der Alz mit C=2,5 µg/l)



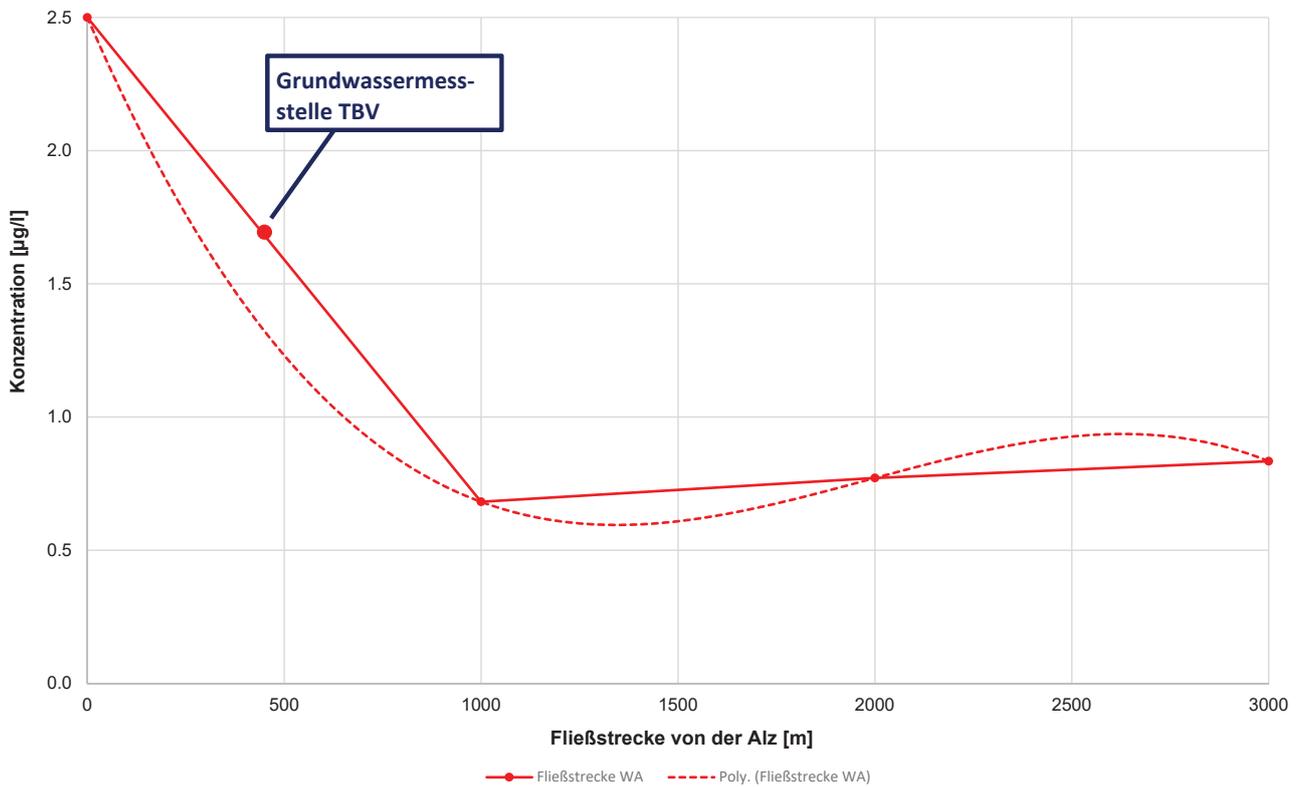
Anhang D-4: Berechnete Maximalkonzentrationen [µg/l] entlang der Fließstrecke EB



Anhang D-5: Berechnete Durchbruchkurven entlang der Fließstrecke WA (Infiltration aus der Alz mit C=2,5 µg/l)



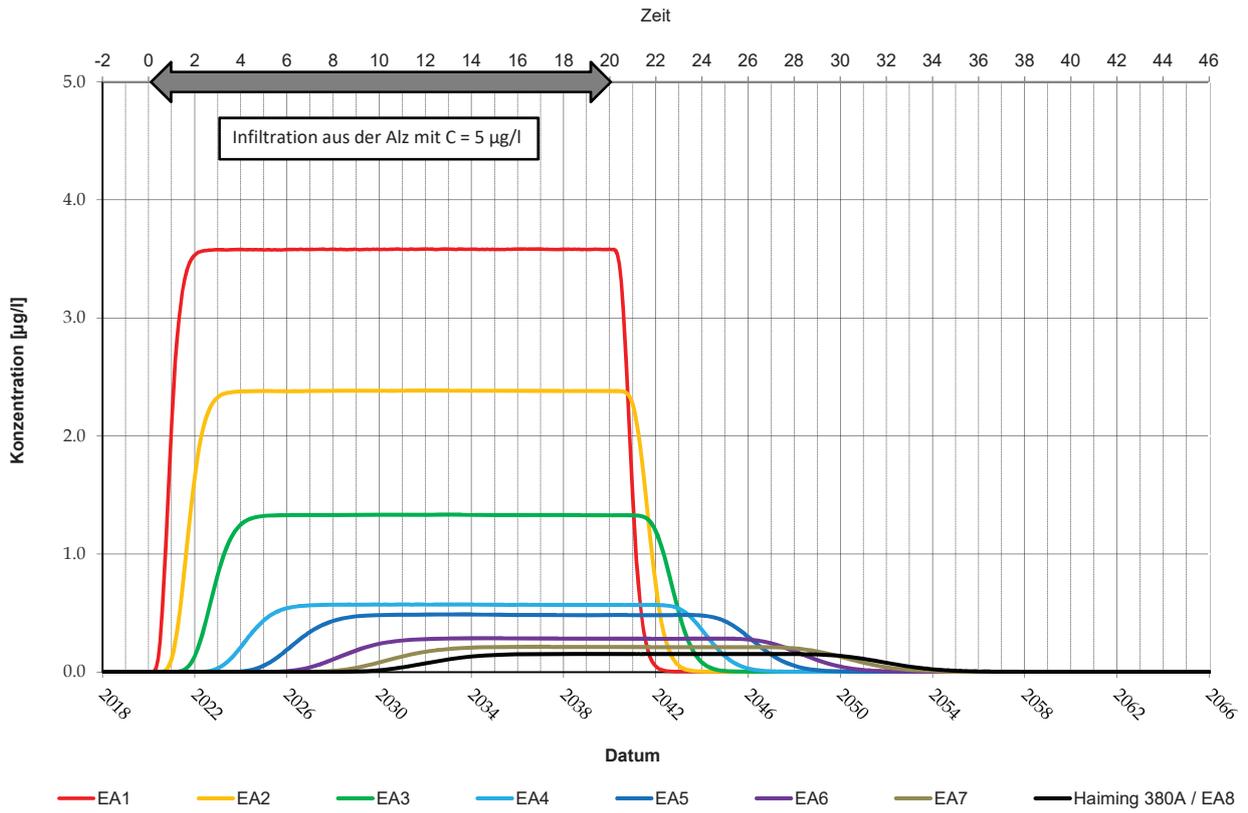
Anhang D-6: Berechnete Maximalkonzentrationen [µg/l] entlang der Fließstrecke WA



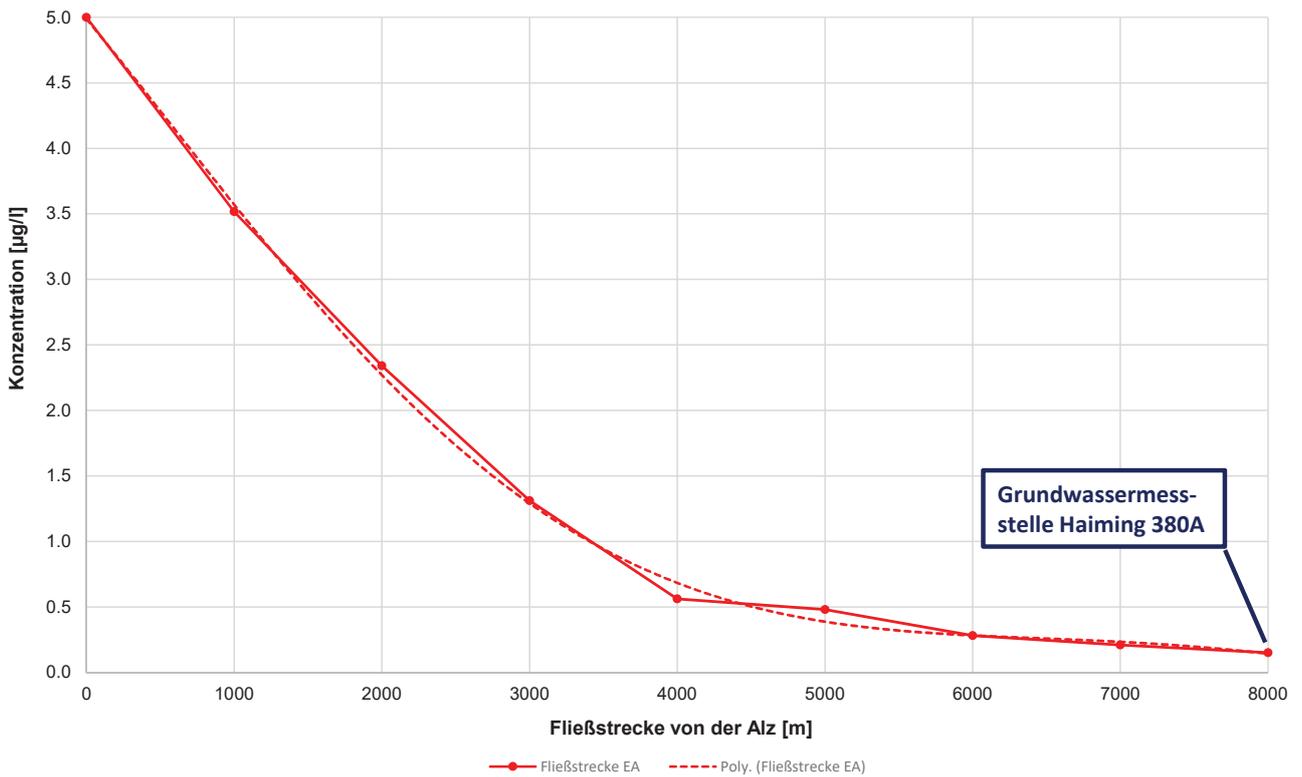
**ANHANG E    SIMULATION 3: KONZENTRATIONSGANGLINIEN UND  
DURCHBRUCHSKURVEN ENTLANG DER FLIEßPFADE  
(INFILTRATION AUS DER ALZ MIT C=5,0 µG/L)**

- E-1:    Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EA
- E-2:    Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EA
- E-3:    Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke EB
- E-4:    Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke EB
- E-5:    Berechnete Durchbruchskurven entlang der Fließstrecke WA
- E-6:    Berechnete Maximalkonzentrationen entlang der Fließstrecke WA

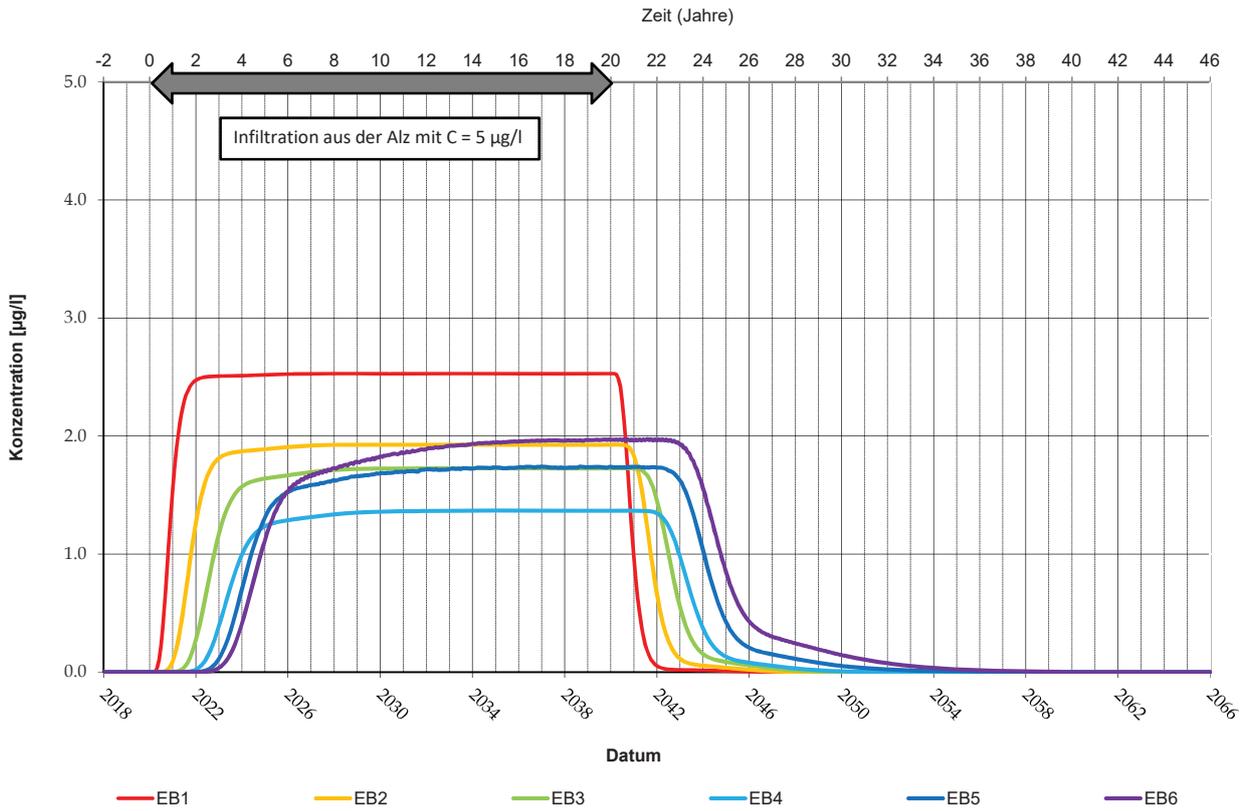
Anhang E-1: Berechnete Durchbruchkurven entlang der Fließstrecke EA (Infiltration aus der Alz mit C=5,0 µg/l)



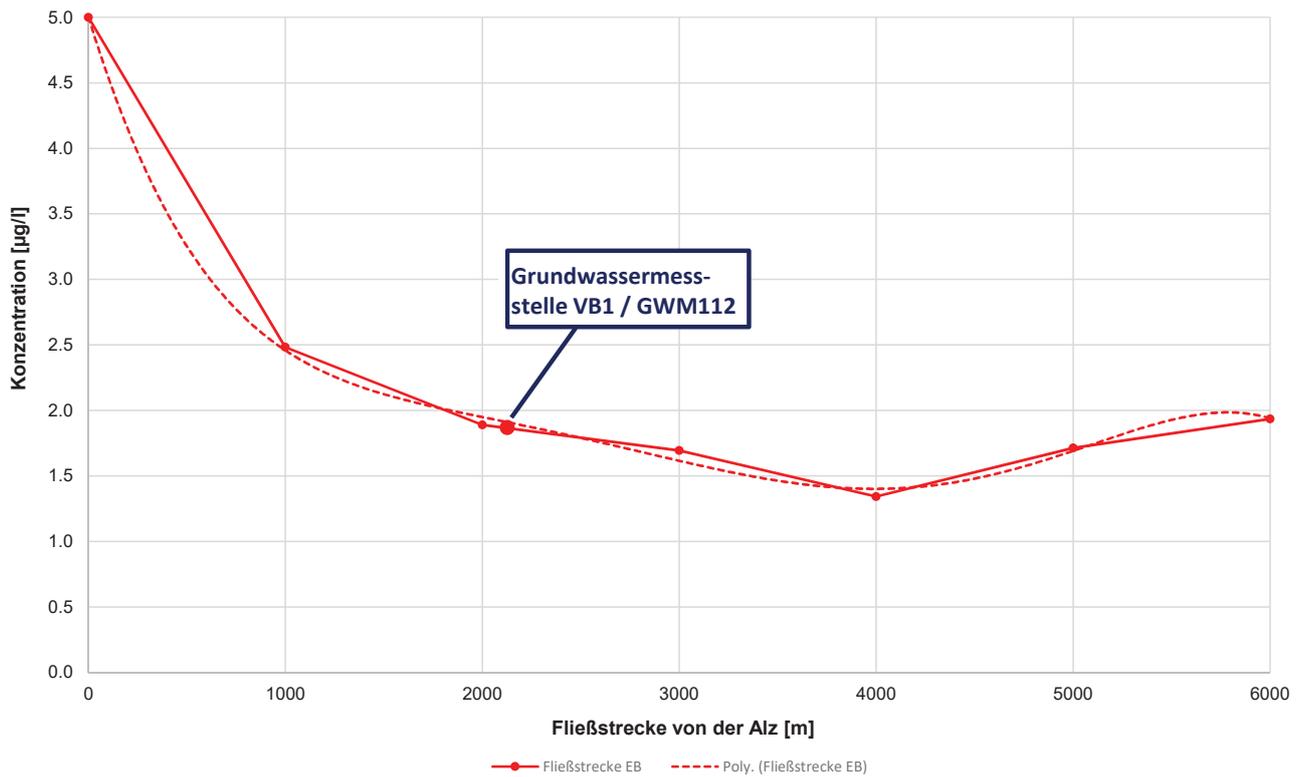
Anhang E-2: Berechnete Maximalkonzentrationen [µg/l] entlang der Fließstrecke EA



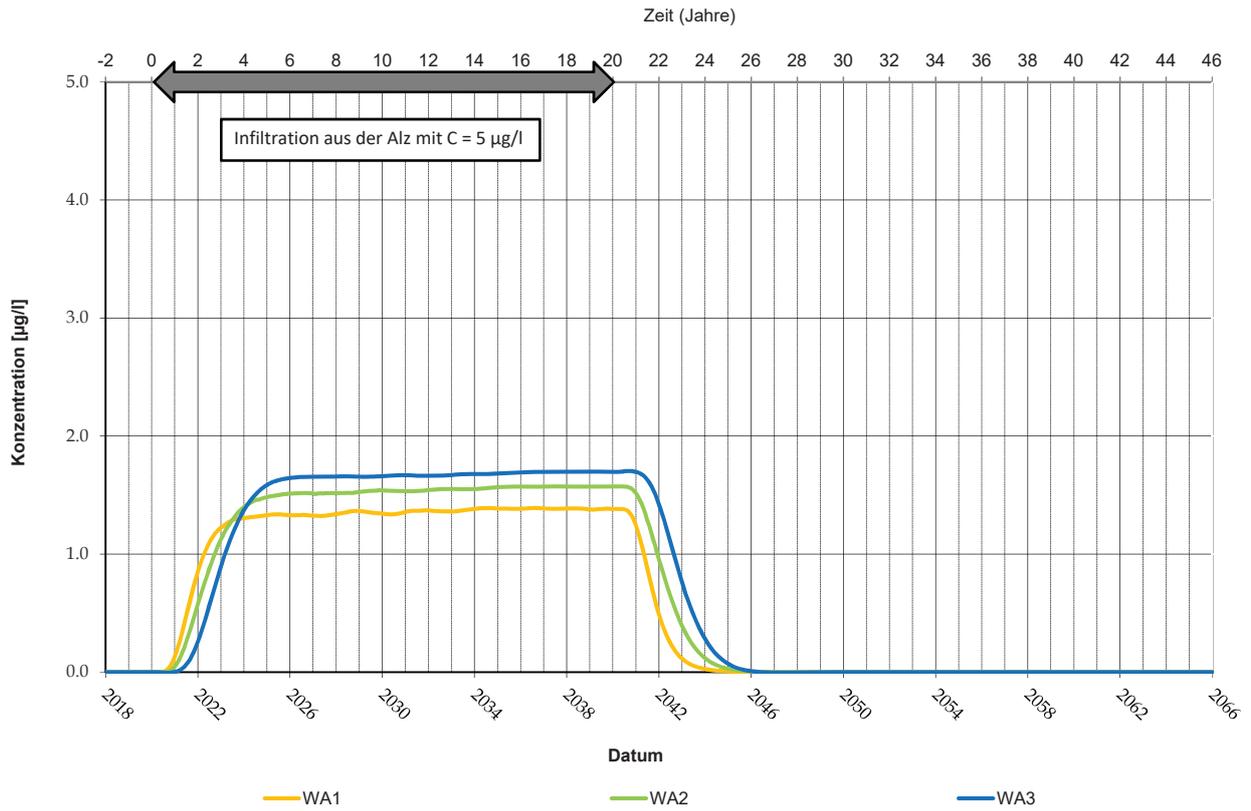
Anhang E-3: Berechnete Durchbruchkurven entlang der Fließstrecke EB (Infiltration aus der Alz mit C=5,0 µg/l)



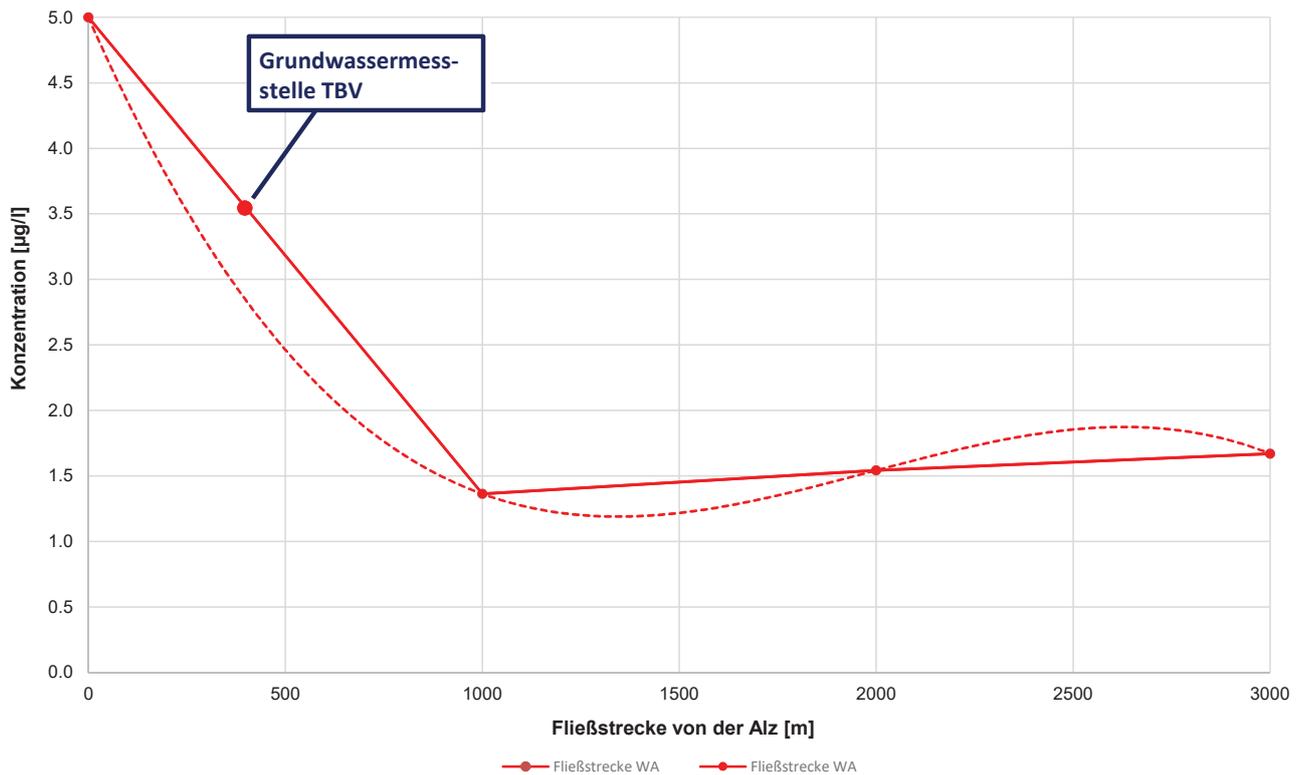
Anhang E-4: Berechnete Maximalkonzentrationen [µg/l] entlang der Fließstrecke EB



Anhang E-5: Berechnete Durchbruchkurven entlang der Fließstrecke WA (Infiltration aus der Alz mit C=5,0 µg/l)



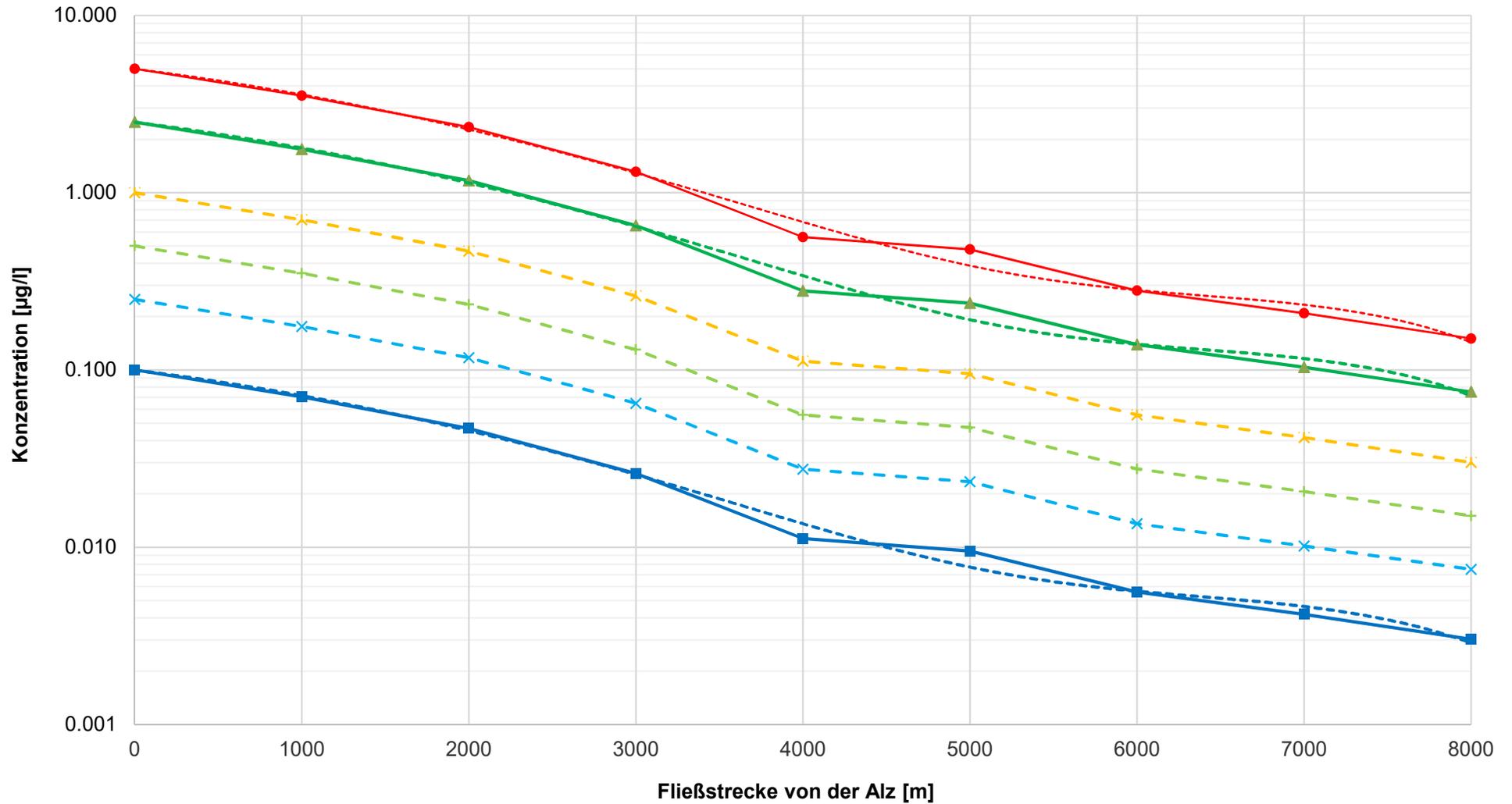
Anhang E-6: Berechnete Maximalkonzentrationen [µg/l] entlang der Fließstrecke WA



**ANHANG F VERGLEICH DER MAXIMALKONZENTRATIONEN ENTLANG DER  
FLIEßSTRECKEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN  
STOFFEINTRAGSKONZENTRATIONEN IN DER ALZ**

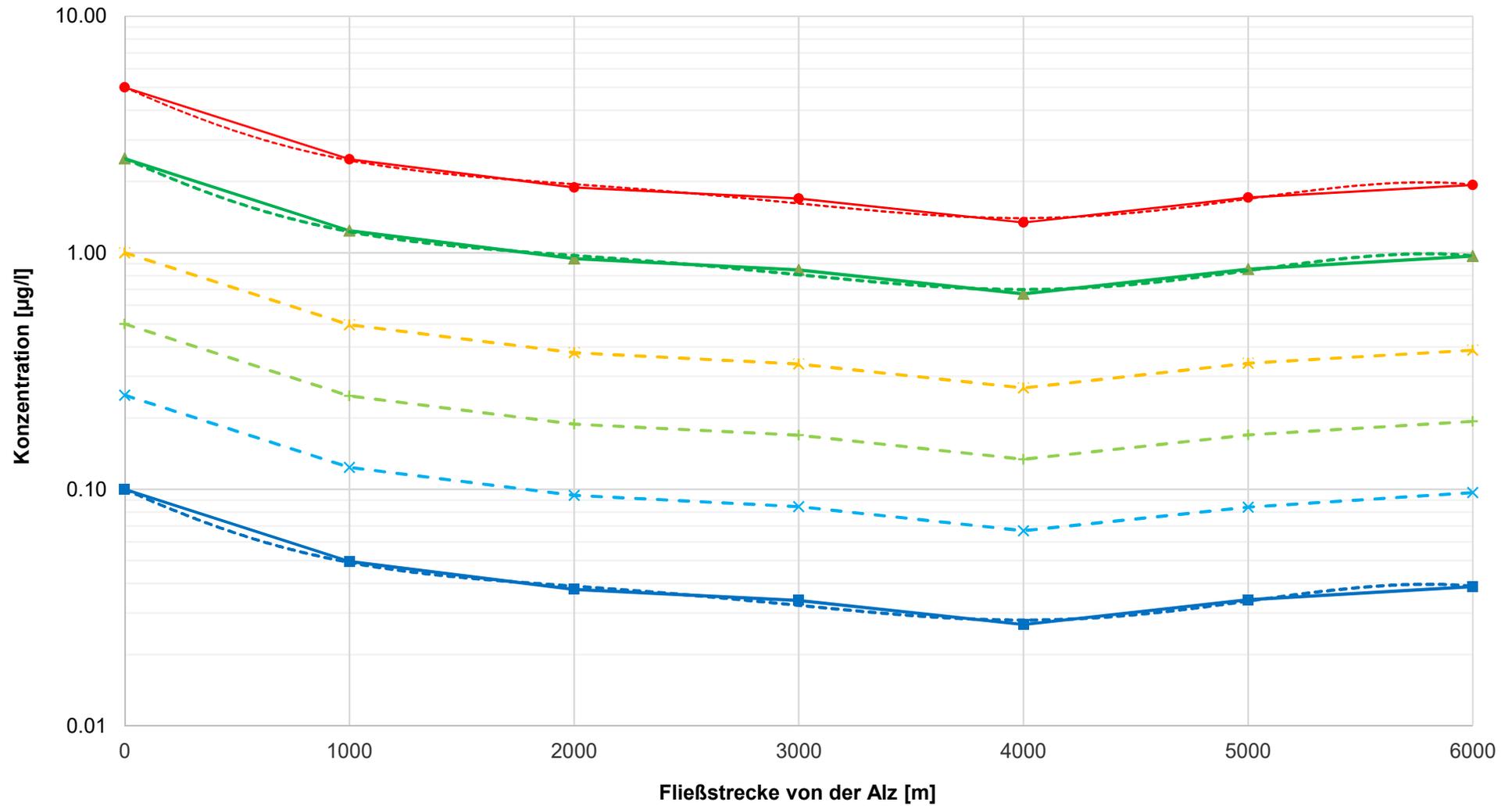
- F-1: Fließstrecke EA
- F-2: Fließstrecke EB
- F-3: Fließstrecke WA

**Anhang F-1: Vergleich der Maximalkonzentrationen [ $\mu\text{g/l}$ ] entlang der Fließstrecke EA bei unterschiedlichen Stoffeintragskonzentrationen in der Alz**



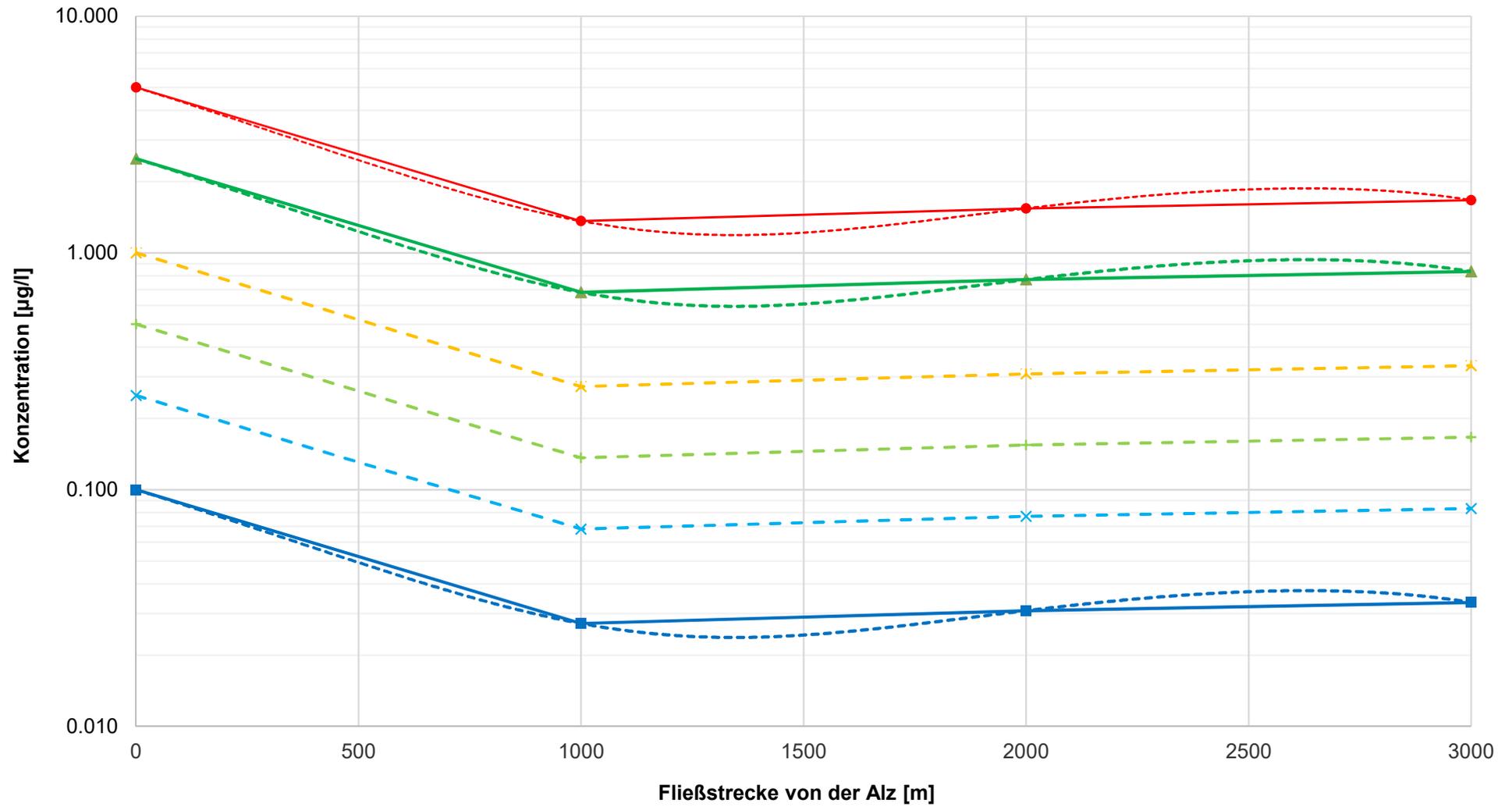
- Fließstrecke EA (Infiltration aus der Alz mit C = 0,1  $\mu\text{g/l}$ )
 ▲ Fließstrecke EA (Infiltration aus der Alz mit C = 2,5  $\mu\text{g/l}$ )
● Fließstrecke EA (Infiltration aus der Alz mit C = 5  $\mu\text{g/l}$ )
- x- Berechnung für Infiltration aus der Alz mit C = 0,25  $\mu\text{g/l}$ 
-+ Berechnung für Infiltration aus der Alz mit C = 0,5  $\mu\text{g/l}$ 
-\* Berechnung für Infiltration aus der Alz mit C = 1,0  $\mu\text{g/l}$

**Anhang F-2: Vergleich der Maximalkonzentrationen [ $\mu\text{g/l}$ ] entlang der Fließstrecke EB bei unterschiedlichen Stoffeintragskonzentrationen in der Alz**



- Fließstrecke EB (Infiltration aus der Alz mit C = 0,1  $\mu\text{g/l}$ )
 ▲ Fließstrecke EB (Infiltration aus der Alz mit C = 2,5  $\mu\text{g/l}$ )
● Fließstrecke EB (Infiltration aus der Alz mit C = 5  $\mu\text{g/l}$ )
- x- Berechnung für Infiltration aus der Alz mit C = 0,25  $\mu\text{g/l}$ 
-+ Berechnung für Infiltration aus der Alz mit C = 0,5  $\mu\text{g/l}$ 
-\* Berechnung für Infiltration aus der Alz mit C = 1,0  $\mu\text{g/l}$

**Anhang F-3: Vergleich der Maximalkonzentrationen [ $\mu\text{g/l}$ ] entlang der Fließstrecke WA bei unterschiedlichen Stoffeintragskonzentrationen in der Alz**



- Fließstrecke WA (Infiltration aus der Alz mit  $C = 0,1 \mu\text{g/l}$ )
 ▲ Fließstrecke WA (Infiltration aus der Alz mit  $C = 2,5 \mu\text{g/l}$ )
● Fließstrecke WA (Infiltration aus der Alz mit  $C = 5 \mu\text{g/l}$ )
- x- Berechnung für Infiltration aus der Alz mit  $C = 0,25 \mu\text{g/l}$ 
-+ Berechnung für Infiltration aus der Alz mit  $C = 0,5 \mu\text{g/l}$ 
-★- Berechnung für Infiltration aus der Alz mit  $C = 1,0 \mu\text{g/l}$

---

**ERM has over 160 offices across the following countries and territories worldwide**

Argentina	New Zealand
Australia	Norway
Belgium	Panama
Brazil	Peru
Canada	Poland
Chile	Portugal
China	Puerto Rico
Colombia	Romania
France	Russia
Germany	Singapore
Hong Kong	South Africa
India	South Korea
Indonesia	Spain
Ireland	Sweden
Italy	Switzerland
Japan	Taiwan
Kazakhstan	Thailand
Kenya	The Netherlands
Malaysia	UAE
Mexico	UK
Mozambique	US
Myanmar	Vietnam

**ERM GmbH**

Siemensstrasse 9  
63263 Neu-Isenburg

T: +49 6102 206 0  
F: +49 6102 771 904 0

[www.erm.com](http://www.erm.com)