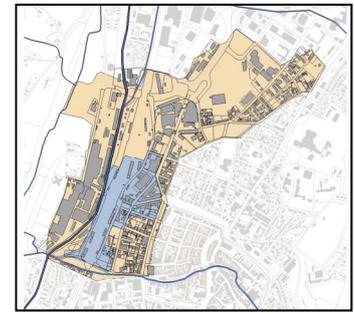


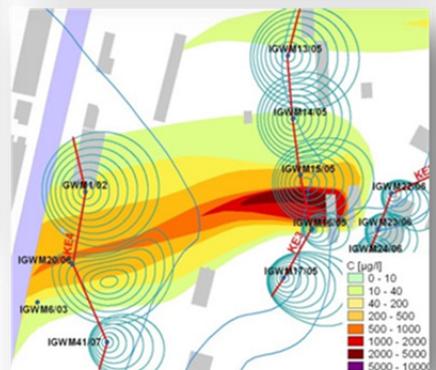
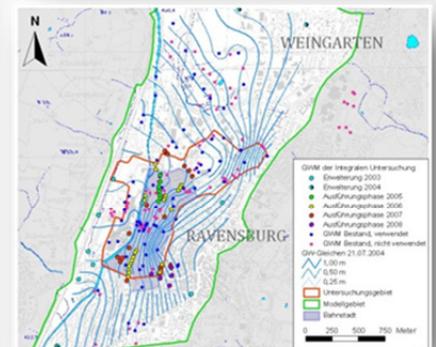
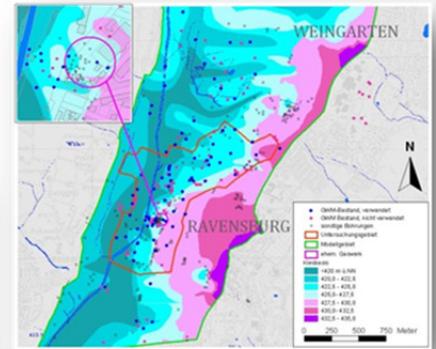
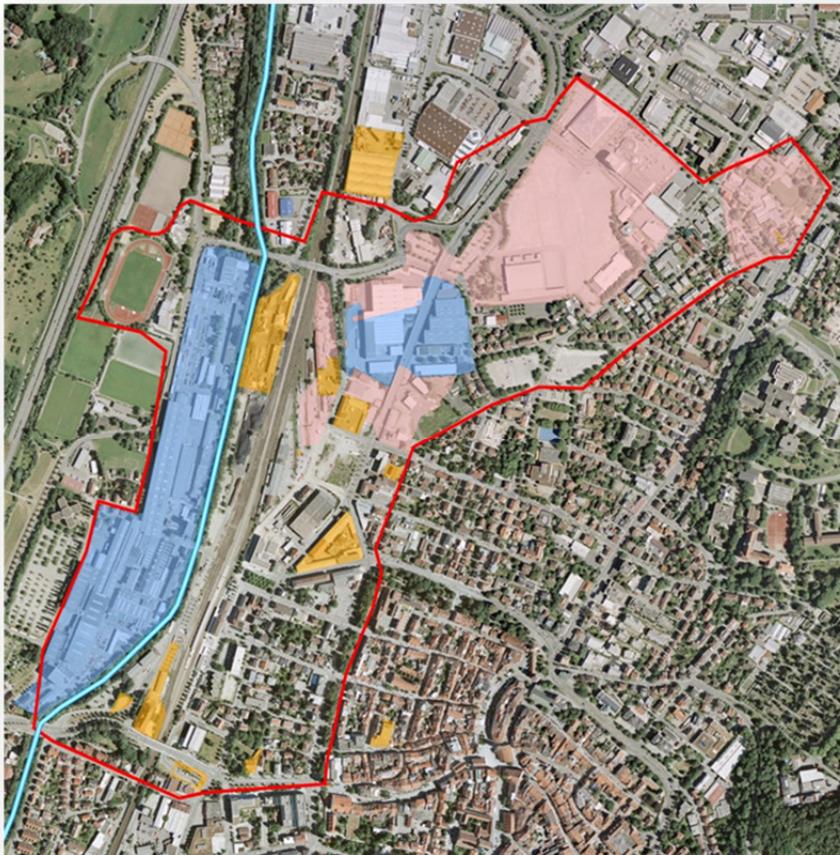
Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg

Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



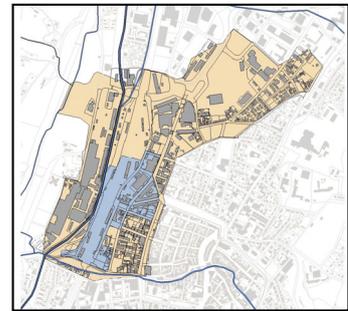
Strategie und Methoden einer integralen Untersuchung flacher Porengrundwasserleiter im urbanen Raum



April 2014

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Autoren

Dr. Uwe Hekel, HPC AG
Christian Eichelmann, Berghof GmbH
Peter Sonntag, Landratsamt Ravensburg

Beiträge

Armin Bender, Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, Koblenz
Birgit Braun, Bauordnungsamt Stadt Ravensburg
Cosima Hillmert, LUBW Baden-Württemberg, Karlsruhe
Meinrad Maurer, Landratsamt Ravensburg
Michael Mütz, Landratsamt Ravensburg
Thomas Osberghaus, HPC AG, Rottenburg
Ulrich Stahl, Regierungspräsidium Tübingen



Auftraggeber

Stadt Ravensburg

Projektleitung

Stadt Ravensburg, Bauordnungsamt/technischer Umweltschutz
Landratsamt Ravensburg, SG Bodenschutz/Altlasten

Projektleitung

Firmenkonsortium Berghof GmbH und HPC AG

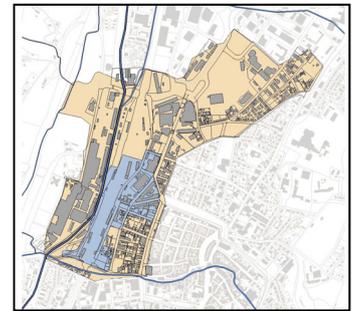
Projektbeirat

- Stadt Ravensburg
- Landratsamt Ravensburg
- Regierungspräsidium Tübingen
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Karlsruhe
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Stuttgart
- Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) Freiburg
- Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS) Stuttgart
- Amt für Umweltschutz Stadt Stuttgart
- Deutsche Bahn AG - Sanierungsmanagement Karlsruhe
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) Leipzig

Das Projekt wurde gefördert vom Altlastenfonds Baden-Württemberg

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Grußworte

Stadt Ravensburg



Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Leserinnen und Leser,

vor Ihnen liegt der Abschlussbericht der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg.

Die Stadt Ravensburg hat gemeinsam mit dem Landratsamt Ravensburg, im Jahr 2002 mit der Entscheidung im Bereich Ravensburg Nord eine integrale Altlastenuntersuchung durchzuführen einen gesamtschaulichen Untersuchungsansatz gewählt gegenüber der sonst üblichen Einzelfallbetrachtung. Grund dafür war die komplexe Schadenssituation im Grundwasser mit der im Untersuchungsgebiet vorliegenden Gemengelage mit 16 Altablagerungen und 39 Altstandorten. Die Lokalisierung von Schadensquellen war mit den bis dahin durchgeführten Untersuchungsmethoden nicht gelungen. Die Unsicherheit der gesamten Altlastensituation im Bereich Ravensburg Nord/Bahnstadt war ein Hemmnis für die Stadtentwicklung.

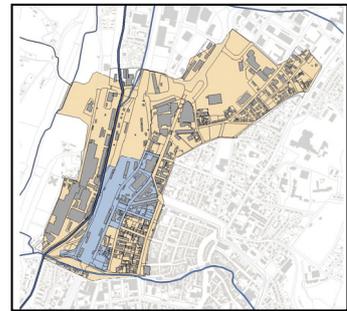
Ich freue mich nach Abschluss der integralen Altlastenuntersuchung sagen zu können, dass die Stadt Ravensburg für ihre Stadtentwicklung von der Untersuchung in hohem Maße profitiert hat. Es wurden enorme Datenmengen erhoben und Instrumente für deren Handling entwickelt, die für ein verbessertes Flächenmanagement und -recycling eingesetzt werden können und eine fundierte Beratung von Bauherren und Investoren ermöglichen.

Die Praxiserfahrungen aus der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg mit den durchgeführten Vergleichsstudien wirken weit über Ravensburg hinaus, indem sie in verschiedenen Berichten und in einem Leitfaden zur integralen Altlastenbearbeitung der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg ihren Niederschlag finden.

Dass die Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg für alle Seiten so erfolgreich abgeschlossen werden konnte, ist dem außerordentlich großen Engagement aller Projektbeteiligter zu verdanken. Die umfangreiche Förderung durch den Altlastenfonds Baden-Württemberg hat dieses Projekt erst möglich gemacht. Deshalb möchte ich mich an erster Stelle beim Land Baden-Württemberg für die großzügige Unterstützung bedanken.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Mein herzlicher Dank gilt insbesondere dem Umweltamt des Landratsamtes Ravensburg für die hervorragende Zusammenarbeit in der Leitung des Projekts, dem Regierungspräsidium Tübingen und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg für die intensive fachliche Begleitung und viele wertvolle Anregungen und last but not least den mit der Durchführung beauftragten Ingenieurbüros für ihr außerordentliches Engagement.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'D. Rapp'.

Dr. Daniel Rapp
Oberbürgermeister

Landratsamt Ravensburg



Liebe Leserinnen,
liebe Leser,

mit dem Modellprojekt „Integrale Altlastenerkundung Ravensburg“ unterstützte der Altlastenfonds Baden-Württemberg die nachhaltige Innenentwicklung im Bereich der Bahnstadt Ravensburg.

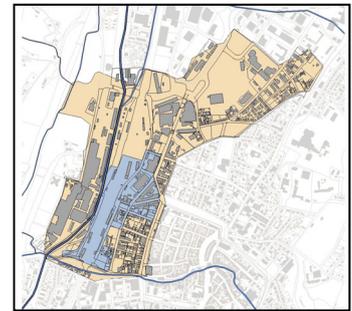
Sie halten nun den Abschlussbericht „Strategien und Methoden der Integralen Untersuchung flacher Porengrundwasserleiter im urbanem Raum“ in den Händen. Dieser lässt Sie auf die Ergebnisse von rund einem Jahrzehnt arbeitsintensiver und erfolgreicher Jahre „Integrale Altlastenerkundung“ blicken.

Die Industrialisierung des Schussentals ging einher mit der Nutzung der Wasserkraft. Mitte der 1850er Jahre war der Startschuss für diese Industrialisierung. Die nassen Schussenaue wurden aufgefüllt, um Baugrund zu schaffen, Industrie und Gewerbebetriebe siedelten sich an, die zum Teil noch heute existieren.

Seit Mitte der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts ist in Ravensburg bekannt, dass in der Schussenaue Kontaminationen mit Mineralölen, Schwermetallen, Gaswerksabfällen und Lösemitteln im Grundwasser und Boden bestehen. Dieser Zeitraum war auch der Beginn der systematischen Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Eine nachhaltige, ressourcenschonende Innenentwicklung rückte immer mehr in den gesellschaftlichen Fokus. Daraus resultiert fast zwangsläufig das städtebauliche Großprojekt „Bahnstadt“ mit einem geplanten Investitionsvolumen von 65 Millionen Euro. Die komplexe, unzureichend verstandene Altlastensituation erschwerte die angestrebte nachhaltige Innenentwicklung erheblich. Das Projekt „Bahnstadt“ konnte nur dank der „Integralen Altlastenerkundung Ravensburg“ erfolgreich durchgeführt werden.

In einer verwaltungsübergreifenden Arbeitsgemeinschaft und einer vertrauensvollen, hervorragenden fachlichen Zusammenarbeit erarbeiteten die Stadt Ravensburg und das Landratsamt Ravensburg gemeinsam den Projektantrag „Integrale Altlastenerkundung Ravensburg“.

Für dieses Projekt hat der Verteilungsausschuss 2,2 Millionen Euro aus dem Altlastenfonds Baden-Württemberg bewilligt. Unser Dank gilt der großzügigen finanziellen Unterstützung durch den Altlastenfonds Baden-Württemberg sowie der hervorragenden Zusammenarbeit mit den Kollegen der Landesanstalt für Umweltschutz, dem Regierungspräsidium Tübingen, dem Landesamt für Geologie, Bergbau und Rohstoffe sowie den Mitarbeitern der Ingenieurbüros.

Mit den Ergebnissen der Integralen Erkundung wird schon seit einigen Jahren erfolgreich Innenentwicklung gefördert sowie effiziente und somit langfristig kostengünstige Altlastenbearbeitung betrieben. Aufgrund der systematischen Erfassung, Auswertung und Visualisierung der gewonnenen Daten ist eine bildhafte Darstellung der Boden- und Grundwasserbelastungen möglich, die auch vom Bürger verstanden werden kann.

Wir wissen heute sehr genau, wohin das Grundwasser fließt, an welchen Punkten Schadstoffe ins Grundwasser gelangen und wohin diese Schadstoffe mit dem Grundwasserstrom transportiert werden.

Die einst im Projektantrag formulierten Ziele wurden erreicht. Die relevanten Grundwasserkontaminationen und deren Quellen wurden identifiziert, die gewonnene Datenbasis ist belastbar, Einzelfälle sind bewertbar. Die Planungssicherheit beim Brachflächenrecycling und der Stadtentwicklung, insbesondere im Hinblick auf das Grundwassermanagement bei Bauvorhaben, wurde erheblich verbessert, der Grundstück- und Immobilienmarkt somit gefördert.

Das Land Baden-Württemberg hat dadurch Expertenwissen bei der Anwendung der Integralen Untersuchungsstrategie sowie bei der Weiterentwicklung von Methoden gewonnen.

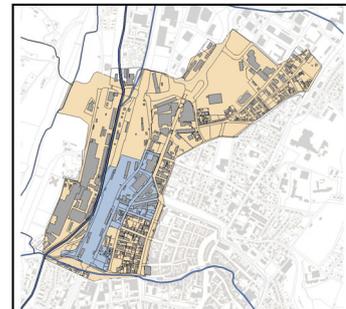
Dieses richtungsweisende Projekt hätte ohne die finanzielle Unterstützung des Altlastenfonds nicht durchgeführt werden können. Aber erst durch den großen Einsatz aller Akteure konnte ein Projekt in dieser Größenordnung so überaus erfolgreich auf den Weg gebracht und abgeschlossen werden. Daher gilt mein besonderer Dank und Gruß allen Projektbeteiligten der Landesbehörden, der Stadt Ravensburg, der Ingenieurbüros wie auch den verantwortlichen Experten im Umweltamt des Landratsamtes Ravensburg.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Kurt Widmaier'.

Kurt Widmaier
Landrat

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

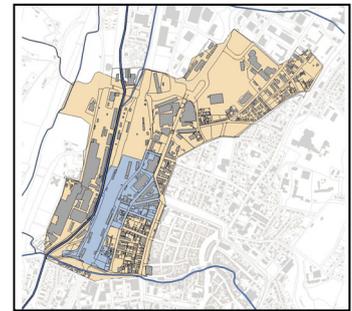


Inhalt

Zusammenfassung	13
1 Einführung.....	14
1.1 Ausgangssituation in Ravensburg	14
1.2 Von der einzelfallbezogenen zur gesamtschaulichen Untersuchung	14
1.3 Projektantrag und Finanzierung.....	15
2 Rechtlicher Rahmen und Methodik	18
2.1 Rechtlicher Rahmen	18
2.2 Methodik	19
3 Projektorganisation	21
3.1 Vergabeverfahren	21
3.1.1 Vergabevorschriften	21
3.1.2 Verhandlungsverfahren	21
3.2 Organisationsstruktur.....	25
3.3 Qualitätssicherung	27
3.4 Zeit- und Ablaufplanung.....	28
3.5 Öffentlichkeitsarbeit und Projektpräsentationen	31
3.5.1 Auftaktveranstaltung.....	31
3.5.2 Einbindung kommunaler Gremien.....	31
3.5.3 Information der betroffenen Grundstückseigentümer und Anwohner	32
3.5.4 Information der betroffenen Unternehmen	32
3.5.5 Fachkolloquien des Projektbeirats, Workshops und Fachseminare	33
4 Grundlagenermittlung.....	34
4.1 Erhebung und Auswertung der Altlastensituation.....	34
4.1.1 Bedeutung und Anwendung digitaler Informationssysteme	34
4.1.2 Erfassung und Auswertung der Sachinformationen des BAK.....	35
4.1.3 Erfassung und Auswertung der technisch-analytischen Sachinformationen in ALTIS.....	37
4.1.4 BAK und ALTIS im integrierten Einsatz.....	41
4.2 Neuabgrenzung von Ablagerungsbereichen.....	41
4.2.1 Methode der Höhenverschneidung	41
4.2.2 Überprüfung durch Rammkernsondierungen	46
4.3 Bestandsaufnahme des Grundwassermessstellennetzes	46
4.4 Hydrogeologisches Modell (HGM).....	48
4.4.1 Bilanz- und Modellgebiet.....	48
4.4.2 Hydrostratigrafische Einheiten	50
4.4.3 Grundwasserströmung	54
4.4.4 Wasserhaushaltsbilanz	56
4.4.5 Defizitanalyse und Maßnahmen zur Behebung	57
4.5 Untersuchung der Strömungs- und Transportparameter	58
4.5.1 Gradient und Richtung der Strömung.....	58
4.5.2 Transmissivität und Durchlässigkeit.....	61
4.5.3 Effektive Porosität	63

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

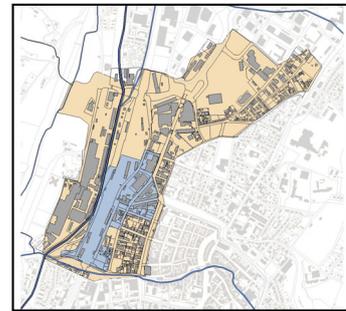
Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



4.5.4	Retardation	64
4.5.5	Schadstoffkonzentrationen	68
4.6	Numerisches Grundwassermodell.....	68
4.6.1	Aufbau.....	68
4.6.2	Kalibrierung und Wasserbilanz	70
5	Planung und Ausführung von Kontrollebenen und Immissionspumpversuchen.....	73
5.1	Machbarkeitsprüfung für Immissionspumpversuche und Alternativen	73
5.2	Strategische Planung der Kontrollebenen	75
5.3	Planung der Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche	79
5.3.1	Planung der Erfassungsbereiche mit analytischen Formeln.....	79
5.3.2	Planung der Erfassungsbereiche mit dem numerischen Grundwassermodell	81
5.3.3	Klärung von Zugänglichkeit und Bebauung	82
5.3.4	Beurteilung des Risikos von Setzungs- und Bauwerksschäden	83
5.3.5	Auswahl der Analyseparameter	84
5.3.6	Kostenermittlung und Berücksichtigung der Kosteneffizienz	84
5.4	Ausführung der Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche	85
5.4.1	Bohrarbeiten und Ausbau der Kontrollbrunnen.....	85
5.4.2	Kurzpumpversuche	87
5.4.3	Immissionspumpversuche	87
5.4.4	Tracerversuche	89
6	Auswertung der Immissionspumpversuche	90
6.1	Bestimmung der hydraulischen Parameter	90
6.2	Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität.....	92
6.3	Bestimmung der Schadstoffimmission und -emission	94
6.3.1	Entwicklung der Verfahren und Tools	94
6.3.2	CSTREAM (analytische Inversion)	94
6.3.3	CSTREAM (numerische Inversion).....	96
6.3.4	C-SET	97
6.3.5	Numerisches Grundwassertransportmodell.....	100
6.4	Ermittlung der Schadstofffahnen, Frachten und Schadensherde.....	101
6.4.1	Kombination und Konstruktion	101
6.4.2	Berechnung mittels Grundwassertransportmodell	103
6.5	Gesamtschauliche Auswertung der Belastungssituation.....	104
7	Dokumentationen, Ergebnisse und Vergleichsstudien	106
7.1	Daten-Atlas.....	106
7.2	Bewertungsrelevante Kenndaten der einzelnen BAK-Objekte	108
7.3	Ergebnisse für die Stadtentwicklung	109
7.4	Strategie- und Methodenbericht	111
7.5	Berichte und Studien für die Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg	111
7.5.1	Vergleichsstudie zu Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche	111
7.5.2	Vergleichsstudie zu Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Verfahren.....	112
8	Erfahrungen mit der integralen Untersuchungsmethode	121
8.1	Kosten	121

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



8.2	Nutzen	122
8.3	Kosten/Wirksamkeit	125
9	Empfehlungen zur Anwendung integraler Untersuchungsmethoden	127
9.1	Auswahlkriterien für Immissionspumpversuche und Direct-Push-Verfahren	128
9.2	Anwendungskriterien für Immissionspumpversuche.....	129
9.2.1	Prüfung der Machbarkeit.....	129
9.2.2	Spezifische Versuchskosten	135
9.2.3	Qualitätsanforderungen an die Parameterbestimmung.....	138
9.2.4	Planungs- und Auswerteverfahren	141
9.2.5	Numerische Grundwassermodelle als Planungs- und Auswertewerkzeug.....	144
9.3	Handlungsempfehlungen für die integrale Altlastenbearbeitung	146

TABELLEN:

Tabelle 4-1:	Untersuchungsstufe Fallanzahl – Wirkungspfad Boden – Grundwasser, Bewertungsstand: November 2004	36
Tabelle 4-2:	Auflistung und Anzahl der Ursachen/Branchen der Altstandorte bzw. der Unfälle/Störfälle innerhalb sowie im Umfeld des Projektgebiets	37
Tabelle 4-3:	Übersicht der in ALTIS Ravensburg erfassten Daten	38
Tabelle 4-4:	Laborchemische Untersuchungen differenziert nach Untersuchungsmedien (Erfassungsstand: 31.12.2003).....	39
Tabelle 4-5:	Prüfwertüberschreitungen nach BBodSchV, für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser (Erfassungsstand: 31.12.2003).....	39
Tabelle 4-6:	Prüfwertüberschreitungen nach BBodSchV, Wirkungspfad Boden – Grundwasser im Hauptaquifer sowie im Geringwasserleiter, mit Auswertung der für die Überschreitungen verantwortlichen Parameter (Erfassungsstand: 31.12.2003)	40
Tabelle 5-1:	Bodenkennwerte der Ablagerungen im Schussental	83
Tabelle 7-1:	Kostenvergleich der Immissionspumpversuche und Direct-Push-Verfahren	120
Tabelle 8-1:	Kenntnis- und Bearbeitungsstand der Altlastenbearbeitung in Ravensburg vor bzw. nach der integralen Altlastenuntersuchung	125
Tabelle 9-1:	Entscheidungskriterien für Immissionspumpversuche und Direct-Push-Verfahren im Vergleich.....	128
Tabelle 9-2:	Prüfung der Anwendungsbedingungen für Immissionspumpversuche	131
Tabelle 9-3:	Bestimmung der möglichen Erfassungsbreite und der Anzahl benötigter Immissionspumpversuche.....	132
Tabelle 9-4:	Prüfung der Durchführungsbedingungen für Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche.....	133

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

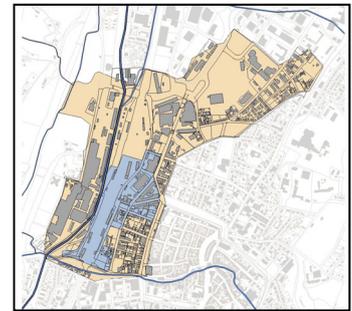


Tabelle 9-5: Abschätzung der Versuchskosten	134
Tabelle 9-6: Bewertung der Versuchskosten	135
Tabelle 9-7: Qualitätsanforderungen an die Parameterbestimmung für die Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen	140
Tabelle 9-8: Anwendungsbedingungen von Tools zur Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen	143
Tabelle 9-9: Entscheidungskriterien für den Einsatz eines numerischen Grundwassermodells zur Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen	145

ABBILDUNGEN:

Abbildung 3-1: Bewertungsmatrix für die Angebote im Vergabeverfahren	24
Abbildung 3-2: Organisationsstruktur des Projekts Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg	26
Abbildung 3-3: Zeit- und Ablaufplan der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg, Stand Juli 2013	30
Abbildung 3-4: Projektflyer der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg (Auszug)	31
Abbildung 4-1: Erfassungsmaske ALTIS Ravensburg	38
Abbildung 4-2: Ausschnitt Ur-Höhenflurkarte 1903 mit Höhenpunkten und Isohypsen	43
Abbildung 4-3: Prinzip der Höhenverschneidung	44
Abbildung 4-4: Ergebnis Höhenverschneidung 2001 - 1903 im Projektgebiet	45
Abbildung 4-5: Beispiel für einen Slug&Bail-Test (links) und Abschätzung der hydraulischen Kennwerte mit dem Typkurvenverfahren nach COOPER ET AL.	47
Abbildung 4-6: Abgrenzung des Bilanz- und Modellgebiets mit den morphologisch- hydrogeologischen Einheiten des Schussentals	49
Abbildung 4-7: Geologisches Profil durch das Schussenbecken (Quelle: ELLWANGER ET AL., 2000)	50
Abbildung 4-8: Typische Abfolge aus sandig-steinigen Kiesen über Feinsanden und der Aquiferbasis aus tonigem Schluff	52
Abbildung 4-9: Basis der quartären Bach- und Flussablagerungen (nach ELLWANGER ET AL., 2000)	53
Abbildung 4-10: Blick auf die Rinnenstruktur der freigelegten Aquiferbasis während der Sanierung des ehem. Gaswerks Ravensburg	54
Abbildung 4-11: Ergebnis der Messstellenerhebung und ersten Stichtagsmessung der Grundwasserstände vom 28.08.2003	55

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

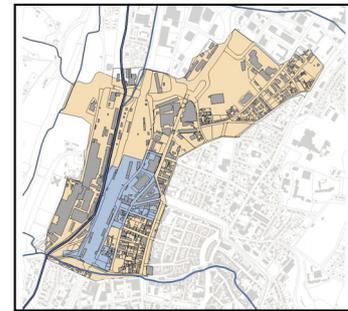


Abbildung 4-12:	Übersicht der bei der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg verwendeten und eingerichteten Grundwassermessstellen.....	59
Abbildung 4-13:	Ganglinien des Schussenpegels und ausgewählter Grundwassermessstellen im Projektgebiet mit Tagessummen der Niederschläge.....	60
Abbildung 4-14:	Übersicht der bei der Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg durchgeführten Kurzpumpversuche und der ermittelten Transmissivitätsverteilung	62
Abbildung 4-15:	Tracerversuch im Brunnen IGWM9. Der in IGWM9-1 eingegebene NaCl-Tracer wird im Brunnen über die elektrische Leitfähigkeit erfasst.	64
Abbildung 4-16:	Probenmaterial im aufgetrennten Liner der Bohrung IGWM12/05.....	65
Abbildung 4-17:	Aufbau des Retardationsversuchs mit gekühlter Säule.....	66
Abbildung 4-18:	Durchbruchkurven der Retardationsversuche	67
Abbildung 4-19:	Aquiferbasis mit Belegpunkten (links) und räumlicher Verteilung der Transmissivität, ermittelt aus den durchgeführten Pumpversuchen (rechts)	70
Abbildung 4-20:	Kalibrierte Durchlässigkeitsverteilung des Grundwasserleiters (links) und gerechnete Grundwasserhöhen für den 22.09.2007 (grüne Punkte: +/-0,5 m Abweichung zu den gemessenen Grundwasserhöhen) (rechts)	71
Abbildung 5-1:	Prüfung der erforderlichen Anzahl von Immissionspumpversuchen zur Erfassung des Projektgebiets anhand fiktiver Kontrollebenen	73
Abbildung 5-2:	Zwischenstand der Kontrollebenenplanung vom August 2004	77
Abbildung 5-3:	Letzter Planungsstand für die Einrichtung der Kontrollebenen	78
Abbildung 5-4:	Einfache Berechnung der IPV-Einzugsgebiete mit der Zylinderformel für die Machbarkeitsprüfung und strategische Planung der Kontrollebenen (links) und Ausführungsplanung mit Isochronen der Probenahmezeitpunkte mit CSTREAM (rechts).....	81
Abbildung 5-5:	Numerische Berechnung der Erfassungsbereiche der IPV (links) im Vergleich zur Planung mit dem analytischen Verfahren CSTREAM (rechts)	82
Abbildung 5-6:	Vorschachtung (rechts) und Bohrarbeiten unter für Innenstadtverhältnisse typischen engen Platzverhältnissen (links)	86
Abbildung 5-7:	Versuchseinrichtung im innerstädtischen Bereich mit Einzäunung, Verkehrssicherung und Überfahrerschutz für die Ablaufschläuche (links) sowie Durchflussmess- und Regelsystem (rechts)	88
Abbildung 6-1:	Auswertung eines Wiederanstiegsverlaufs am Beispiel des Pumpversuchs in IGWM6/03 mit Zusickerung aus der Schussen.....	91
Abbildung 6-2:	Auswertung eines Absenkerlaufs am Beispiel der 150 m östlich der Schussen liegenden Beobachtungsmessstelle IGWM15/05 während des Immissionspumpversuchs in IGWM14/05	91

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

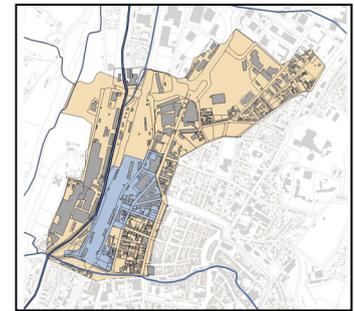


Abbildung 6-3:	Auswertungsbeispiel des Tracertests bei IPV in IGWM9 mit der Ermittlung der Transportparameter n_e und α_L durch Anpassung des berechneten an den gemessenen Stoffdurchgang	93
Abbildung 6-4:	Ein- und Ausgabedaten für die analytische Lösung von CSTREAM (links) und kartografische Darstellung der berechneten Konzentrationsverteilung (rechts)	95
Abbildung 6-5:	Modflow-Modell zur Berechnung der Grundwasserströmung während des IPV in IGWM21 (links) und mit der numerischen Inversion von CSTREAM berechneten Isochronen und Stromstreifenkonzentrationen (rechts).....	97
Abbildung 6-6:	Berechnung der Isochronen und Stromstreifenkonzentrationen mit C-SET am Beispiel des Immissionspumpversuchs in IGWM20/06	99
Abbildung 6-7:	Auswertung des IPV in IGWM20/06 mit CSTREAM ohne Berücksichtigung der vorausgegangenen IPV in GWM1/02 (links) und mit C-SET unter Berücksichtigung der hydraulischen Vorbeeinflussung (rechts).....	100
Abbildung 6-8:	Prinzip der Rückrechnung des Konzentrationsdurchgangs auf eine konzentrische Konzentrationsverteilung um den Brunnen.....	101
Abbildung 6-9:	Stromstreifenkonzentrationen der analytischen Auswertung der Immissionspumpversuche (links) als Grundlage für die Interpolation der Schadstofffahnen zwischen den Kontrollebenen (rechts).....	102
Abbildung 6-10:	Stromstreifenkonzentrationen aus der numerischen Anpassung (links) und Verwendung als Quellterm zur Vorwärtsrechnung der Schadstofffahne (rechts).....	103
Abbildung 6-11:	Gesamtschauische Auswertung der LHKW-Belastung im Projektgebiet...	105
Abbildung 7-1:	Schematische Funktionsdarstellung des Daten-Atlas: A. Navigationszentrale - B. Kartograf. Darstellung des selektierten Themas - C. zugehöriger Textblock	107
Abbildung 7-2:	Lage des Testfelds im Nordosten des Bahnhofs Ravensburg mit dem untersuchten Abstromquerschnitt (Transekte) für den vergleichenden Einsatz von Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Verfahren	113
Abbildung 7-3:	Durchführung der Direct-Push-Sondierungen entlang der Testfeld-Tran-sekte mit Hydraulikstempel für kontinuierlichen CPT- und MIP-Vortrieb.....	114
Abbildung 7-4:	Ergebnisse der Direct-Push-Messungen (Profilschnitte GWS 05 - 16)	115
Abbildung 7-5:	LHKW-Immission und -Fracht entlang der Testfeld-Transekte nach den Befunden der Immissionspumpversuche.....	117
Abbildung 7-6:	Vergleich der LHKW-Immission entlang der Testfeld-Transekte aus den Grundwassersondierungen (GWS) und einer (üblichen) tiefengemittelten Auswertung der Immissionspumpversuche.....	118

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

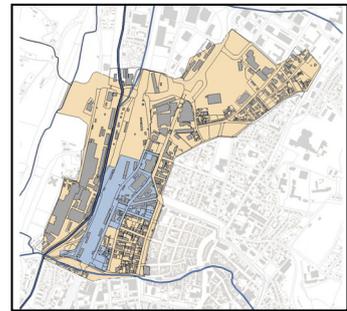
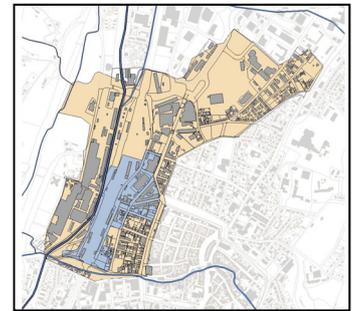


Abbildung 7-7:	Vergleich der LHKW-Immission entlang der Testfeld-Transecte aus den Grundwassersondierungen (GWS) und einer tiefendifferenzierten Auswertung des Immissionspumpversuchs in IGWM15	119
Abbildung 8-1:	Verteilung der Projektkosten (brutto).....	121
Abbildung 9-1:	Spezifische Kosten der Immissionspumpversuche der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg in Abhängigkeit von der Pumprate.....	136
Abbildung 9-2:	Spezifische Kosten der Immissionspumpversuche in Abhängigkeit von der Transmissivität	136
Abbildung 9-3:	Spezifische Kosten der Immissionspumpversuche der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg im Vergleich mit sonstigen Projekten	137
Abbildung 9-4:	Häufigkeit des Einsatzes von Immissionspumpversuchen in Abhängigkeit von der Pumprate	138

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Zusammenfassung

Als Pilotprojekt des Landes Baden-Württemberg wurde in der Stadt Ravensburg die komplexe Altlastensituation mit integralem Ansatz untersucht. In dem 1 km² großen Betrachtungsgebiet mit industrieller und gewerblicher Nutzungsgeschichte waren Grundwasserkontaminationen (v. a. LHKW, BTEX, MKW und PAKs) bekannt. Die 25 bewertungsrelevanten Gefahrverdachtsflächen konnten jedoch aufgrund ihrer Gemengelage nicht hinreichend bewertet werden. Im Zuge der integralen Untersuchung offenbarten sich in Einzelfällen auch falsche Bewertungen oder Sanierungsansätze.

Die aus zahlreichen Einzelfalluntersuchungen vor der integralen Altlastenuntersuchung vorhandenen hydrogeologischen Daten waren inkonsistent. Eine detaillierte und vor allem eine standortübergreifende Kenntnis der Grundwasserströmungssituation in den quartären Talkiesen und Schwemmfächersedimenten bestand nicht.

Vor diesem Hintergrund hatte die im Jahr 2003 begonnene integrale Altlastenuntersuchung folgende Ziele:

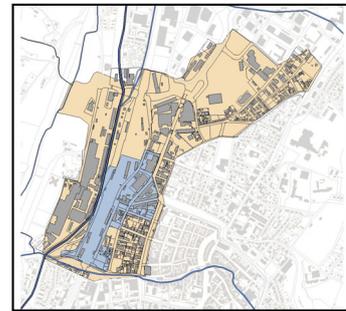
- einheitliche Aufarbeitung und Analyse des Datenbestands
- konsistentes Verständnis des Aquiferaufbaus und der Grundwasserströmungssituation
- flächendeckende Untersuchung der Grundwasserbelastung und Abgrenzung von Fahnen
- Zuordnung der Fahnen zu Störern

Im Zu- und Abstrom der Gefahrverdachtsflächen wurde der Grundwasserabstrom über insgesamt acht Kontrollebenen mittels insgesamt 51 Immissionspumpversuchen nahezu lückenlos untersucht. Damit war es möglich, Grundwasserkontaminationen flächenhaft zu ermitteln und relevante Schadstofffahnen abzugrenzen. Die abgegrenzten Schadstofffahnen konnten zum Ort des Eintrags in das Grundwasser zurückverfolgt werden. Mit dieser Zuordnung konnten Gemengelagen aufgelöst und 20 von 25 Gefahrverdachtsflächen unmittelbar einer vorher nicht möglichen Altlastenbewertung zugeführt werden.

Der vorliegende Bericht stellt das strategische und methodische Vorgehen der integralen Untersuchung in Ravensburg beispielhaft für vergleichbare Problemstellungen in flachen Porengrundwasserleitern im urbanen Raum vor. Er gibt Empfehlungen für die Anwendung integraler Untersuchungsmethoden und wendet sich damit an alle in der Altlastenbearbeitung tätigen Fachbehörden, Kommunen, Ingenieurbüros und Interessierten.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



1 Einführung

1.1 Ausgangssituation in Ravensburg

Das Stadtgebiet von Ravensburg, insbesondere das Gebiet „Ravensburg Nord“ und die sogenannte „Bahnstadt“, sind durch ihre geografische Lage in der Schussenau und eine abwechslungsreiche Nutzungsgeschichte geprägt. Zu Beginn der Urbanisierung wurden tiefliegende Vernässungsbereiche mit großflächigen Aufschüttungen erhöht und als Baugrund nutzbar gemacht. In der Folge wurden Gewerbe- und Industriebetriebe angesiedelt, die zum Teil noch heute existieren. Zu einem großen Teil unterliegen die Flächen heute bereits wieder einer anderen Nutzung. In einigen Gebietsteilen überwiegt Wohnnutzung, andere werden weiterhin gewerblich-industriell genutzt.

Seit Mitte der 80er Jahre ist in Ravensburg bekannt, dass in der Schussenau Kontaminationen des Bodens und des Grundwassers vorliegen. Hauptkontaminanten sind leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, darüber hinaus treten aromatische Kohlenwasserstoffe und Mineralölkohlenwasserstoffe auf. Flächenhafte Bodenverunreinigungen waren regelmäßig den Produktionsabfällen des ehemaligen Gaswerks zuzuordnen. Die Grundwasserbelastungen deuteten auf eine Gemengelage und Überlagerung verschiedener Schadstoffarten hin. Eine Zuordnung zu einzelnen Handlungs- oder Zustandsstörern war i. d. R. nicht möglich.

Hierzu fehlte insbesondere eine systematische Erfassung, Auswertung und Interpretation der in Einzelprojekten gewonnenen hydrogeologischen Daten und Schadstoffkonzentrationen. Die Gutachter der Einzelprojekte beschränkten sich mit ihren Untersuchungen und Aussagen auf das jeweils betrachtete Flurstück. Die Bohrkernansprachen und hydrogeologischen Interpretationen waren uneinheitlich, in der Folge wurden z. B. relevante Grundwasser führende Horizonte nicht erkannt oder die Grundwasserströmungssituation und damit die Zu- und Abstromverhältnisse falsch interpretiert.

Durch das fehlende Verständnis der hydrogeologischen Verhältnisse im Schussental war die Altlastenuntersuchung und Sanierungsplanung in Ravensburg teilweise ineffektiv. Eine größere Zahl von Verdachtsflächen konnte nicht abschließend bewertet werden. Nach der erfolgreich abgeschlossenen integralen Altlastenuntersuchung in Ravensburg ist rückblickend erkennbar, dass die frühere Einzelfallbearbeitung oftmals fehlerhaft war, relevante Schadstoffquellen nicht identifiziert wurden und einzelne Sanierungsmaßnahmen vom Ansatz her nicht erfolgreich sein konnten.

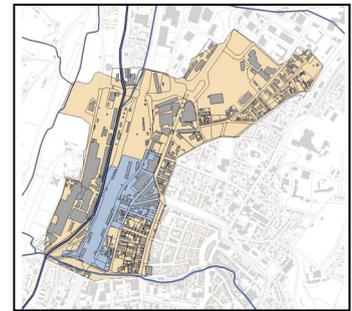
1.2 Von der einzelfallbezogenen zur gesamtschaulichen Untersuchung

Zur Verbesserung des unzureichenden hydrogeologischen Systemverständnisses und damit für eine bessere Effizienz der Altlastenbearbeitung stellte das Landratsamt Ravensburg beim Regierungspräsidium Tübingen im Jahr 1996 einen Projektantrag mit folgenden Zielen:

- Konzeption zur flächenhaften Erfassung von Grundwassermessstellen
- gesamtschauliche Auswertung mittels Grundwassergleichenplänen
- Darstellung der Grundwasserkontamination

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- Archivierung und Auswerten der erhobenen Daten in einer Datenbank
- Darstellung der Auswerteergebnisse in einem Geoinformationssystem

Das beantragte Projekt war zum damaligen Zeitpunkt nicht förderfähig.

Als Ersatzprojekt wurde im Jahre 1998 in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, der Stadt Ravensburg und dem Landratsamt Ravensburg die „geologische, hydrogeologische Gliederung des Untergrunds im Stadtbereich Ravensburg“ durchgeführt. Wesentliche Inhalte waren:

- systematische Erfassung von Bohrprofilen und sonstiger relevanter Daten
- Erfassung und Kartierung der hydrogeologischen Einheiten
- Erstellung von Grundwassergleichenplänen für das Schussental in Ravensburg

Bei diesem Projekt wurden über 1.000 Bohraufschlüsse erhoben und systematisch ausgewertet. Das Projekt war am 29.02.2000 abgeschlossen. Diese flächendeckende Bearbeitung des geologischen und hydrogeologischen Aufbaus war die Grundlage für nachfolgende integrale Altlastenuntersuchungen.

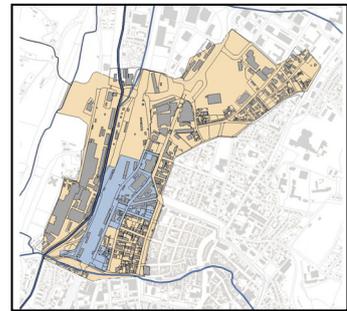
1.3 Projektantrag und Finanzierung

Mit dem Projektantrag zur „Integralen Altlastenerkundung Ravensburg“ unternahm die Stadt Ravensburg zusammen mit der Fachbehörde den entscheidenden Schritt für die weitere effiziente Altlastenbearbeitung in Ravensburg. Die Projektbeteiligten verbanden mit dem Projekt unterschiedliche Ziele:

- Ziele der unteren Verwaltungsbehörde (Landratsamt) waren die systematische Datenaufarbeitung, die Identifizierung der relevanten Grundwasserkontaminationen (Gefährdungsabschätzung) und deren Quellen (Verursacherfeststellung) sowie die Schaffung einer belastbaren Datenbasis für die Bewertung der Einzelfälle und Ableitung weiterführender Untersuchungs-/Sanierungsstrategien in Ravensburg.
- Ziel der mittleren Landesbehörde (RP) war die Gewinnung von Erfahrungen mit der integralen Untersuchungsmethode im Vergleich zur Einzelfallbearbeitung im Hinblick auf die Optimierung des Einsatzes von Fördermitteln in der orientierenden Altlastenuntersuchung.
- Ziele der höheren Umweltbehörde (LUBW) waren die Gewinnung von Praxiserfahrungen bei der Anwendung der integralen Untersuchungsstrategie, die Weiterentwicklung der Methodik sowie die Erarbeitung von Anwendungsempfehlungen für die Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg.
- Ziele der Stadt Ravensburg waren die Verbesserung der Planungssicherheit beim Brachflächenrecycling und der Stadtentwicklung, Planungssicherheit im Hinblick auf das Grundwassermanagement bei Bauvorhaben sowie die Förderung des Grundstücks- und Immobilienmarktes.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Im Oktober 2001 stimmte der Umwelt- und Verkehrsausschuss der Stadt Ravensburg der vom Landratsamt Ravensburg erarbeiteten Konzeption zur integralen Altlastenuntersuchung im abgegrenzten Gebiet Nordstadt/Bahnstadt zu und ermächtigte die Verwaltung, die Förderung der Maßnahmen mit Mitteln des Altlastenfonds zu beantragen. Der entsprechende Zuwendungsantrag wurde dem Regierungspräsidium Tübingen im Dezember 2001 vorgelegt. Beantragt wurden, bei einem Fördersatz von 100 %, Mittel des Altlastenfonds im Umfang von 1,7 Mio. €.

Die Prüfung des Antrags erfolgte auf der Grundlage der Förderrichtlinien Altlasten vom 20. November 1994. Bei zuwendungsfähigen Aufwendungen über 0,75 Mio. € und unter Berücksichtigung des Modellcharakters des Vorhabens, war eine Entscheidung des Verteilungsausschusses Altlasten beim damaligen Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg erforderlich.

Mit der vorgesehenen Umsetzung einer gesamtschaulichen Untersuchungsstrategie in Verbindung mit dem Einsatz innovativer und wenig erprobter Untersuchungstechniken, war eine Befürwortung des Antrags durch den Verteilungsausschuss in hohem Maß von der Beurteilung des Vorhabens durch die damalige Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) abhängig. Im Vorfeld der Antragstellung war deshalb insbesondere der Nachweis zu erbringen, dass mit der integralen Altlastenuntersuchung in Ravensburg landesweit verwert- und übertragbare Ergebnisse zu erzielen sind.

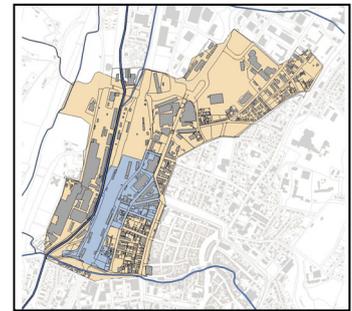
Der dem Verteilungsausschuss vorgelegte Förderantrag der Stadt Ravensburg sowie der vom Regierungspräsidium Tübingen erarbeitete Vorlagebericht bezogen sich im Schwerpunkt auf die Ziffer 6.1 der Förderrichtlinien Altlasten, wonach mehrere in engem räumlichen Zusammenhang stehende kommunale Flächen (Altlastenareale) als ein Projekt gefördert werden können. Die modellhaften Untersuchungsansätze wurden mit einer umfassenden, unter Federführung des Landratsamtes Ravensburg entwickelten Konzeption verdeutlicht und belegt. Zudem war ein ausführlicher Sachstandsbericht zur Problemlage und die umfassende Darstellung der Vorhabensziele Bestandteil der Antragsunterlagen.

In seiner 32. Sitzung am 14. Mai 2002 stimmte der Verteilungsausschuss Altlasten der Förderung der Maßnahmen zur integralen Altlastenuntersuchung im Gebiet „Ravensburg Nord/Bahnstadt“ zu. Im Juni 2002 wurde vom Regierungspräsidium Tübingen, bei einem Fördersatz von 100 %, eine Zuwendung im Umfang von 1,7 Mio. € bewilligt.

Im Juli 2002 beschloss der Gemeinderat der Stadt Ravensburg die Durchführung der integralen Altlastenuntersuchung. Wichtig dabei war, dass sich die Polizeipflichtigkeit auf Flächen beschränkt die im Eigentum der Stadt stehen oder auf Flächen, für die sich die Stadt Ravensburg bereits bei früheren Altlastenuntersuchungen polizeipflichtig erklärt hat. Nach dem Vergabeverfahren (s. Kap. 3.1) begannen die Arbeiten zur „Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg“ im Januar 2003.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

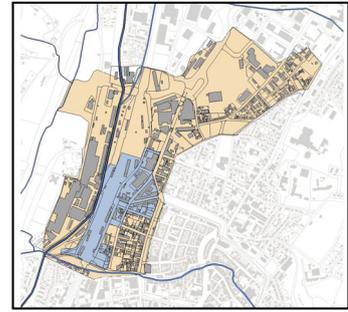


Im Laufe der Projektdurchführung waren mehrere Erhöhungen der Zuwendung auf abschließend insgesamt 2,2 Mio. € erforderlich. Ursachen hierfür waren

- Erhöhung der Mehrwertsteuer
- Aufwendungen für Abwassergebühren, die nach den Förderrichtlinien Altlasten vom 14.12.2004 nicht mehr förderfähig waren
- zusätzliche erforderliche Voruntersuchungen im Hinblick auf die Machbarkeit der integralen Methoden
- Studien zum Vergleich von Untersuchungsmethoden und Auswerteverfahren zum Nutzen der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



2 Rechtlicher Rahmen und Methodik

2.1 Rechtlicher Rahmen

Die Bearbeitung von altlastenverdächtigen Flächen und Altlasten auf der Grundlage des Bundes-Bodenschutzgesetzes vom 17. März 1998 (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BBodSchV) erfolgt zum weitaus überwiegenden Anteil einzelfallbezogen.

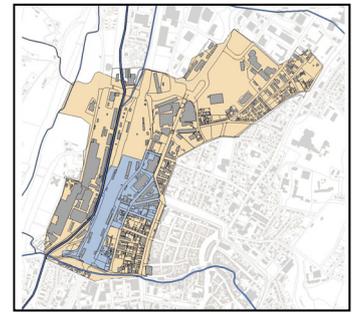
Durch den gesamtschaulichen Untersuchungsansatz, mit dem durch die weiträumige und gezielte Untersuchung des Grundwassers eine Rückverfolgung und Zuordnung von Verunreinigungen zu einem Standort möglich ist, wurde Ende der 90er Jahre fachliches Neuland beschritten. Für das damalige Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg war dies der Anlass, die Verfahrensweise der integralen Altlastenuntersuchung auch einer rechtlichen Überprüfung zu unterziehen. Mit der Prüfung wurde die Kanzlei „Dolde & Partner“ beauftragt, die ein entsprechendes Gutachten mit Datum 6. Dezember 2002 vorlegte (VETTER, 2002).

Mit diesem Rechtsgutachten gelang eine umfassende rechtliche Aufarbeitung der Thematik, die mit der vom Landratsamt Ravensburg entwickelten Konzeption zur integralen Altlastenuntersuchung in Übereinstimmung steht. Die für das Projekt maßgeblichen Aussagen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Das Bundes-Bodenschutzgesetz hält an dem grundsätzlichen Ansatz einzelfallbezogener Maßnahmen fest.
- Ein standortübergreifendes Vorgehen ist allein im Rahmen der orientierenden Untersuchung (§ 9 Abs. 1 BBodSchG) und in der Phase der Sanierungsplanerstellung möglich.
- Die behördliche Ermittlungspflicht nach § 9 Abs. 1 BBodSchG erstreckt sich auch auf Verunreinigungen des Grundwassers, sofern Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass diese durch Altlasten oder schädliche Bodenveränderungen verursacht sind.
- Sofern großflächige Grundwasserverunreinigungen noch keiner schädlichen Bodenveränderung oder Altlast zugerechnet werden können, sind in der Regel die Voraussetzungen für behördliche Ermittlungen nach § 9 Abs. 1 BBodSchG nicht gegeben. Ausgangspunkt der integralen orientierenden Untersuchung ist in diesem Fall regelmäßig § 82 Abs. 1 Satz 2 Wassergesetz (WG) i. V. m. § 8 Polizeigesetz (PolG). § 9 Abs. 1 BBodSchG wird jedoch in dem Moment zur Grundlage der behördlichen Ermittlungsmaßnahmen, in dem Anhaltspunkte einer schädlichen Bodenveränderung oder eine Altlast und Anhaltspunkte für eine Zurechnung der Gewässerverunreinigung zu einer bestimmten schädlichen Bodenveränderung oder Altlast vorliegen.
- Die Maßnahmen der integralen orientierenden Untersuchung können auf der Grundlage von § 9 Abs. 1, Satz 2 BBodSchG soweit ausgedehnt werden, dass eine gesicherte Ermittlung der Emittenten sowie deren Verursachungsbeiträge ermöglicht wird.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- Bei großflächigen Verunreinigungen des Grundwassers oder des Bodens können Ermessensabwägungen dazu führen, dass die behördliche Ermittlungstätigkeit fortgesetzt wird, obwohl bereits konkrete Anhaltspunkte für eine Altlast oder schädliche Bodenveränderung vorliegen. Der hinreichende Verdacht für das Vorliegen einer Altlast entspricht einer Mindestschwelle für eine Anordnung gegenüber Pflichtigen. Dies bedeutet, dass die Behörde auch nach der Ermittlung eines hinreichenden Altlastenverdachts im Rahmen der Amtsermittlung weitere Untersuchungen durchführen kann, z. B. wenn mehrere Störer infrage kommen.
- Die Kosten für behördliche Untersuchungsmaßnahmen nach § 9 Abs. 1 BBodSchG verbleiben bei der Behörde.
- Die Abgrenzung des Betrachtungs- bzw. Untersuchungsgebiets einer integralen Untersuchung erfolgt allein auf der Grundlage fachtechnischer Überlegungen. Rechtliche Grundlagen für eine formale Festsetzung sind nicht gegeben.

2.2 Methodik

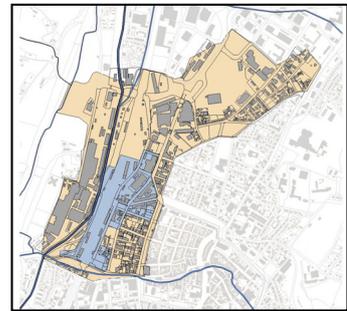
Der integrale Ansatz erfordert eine Methodik, mit der der Grundwasserabstrom weiträumig untersucht werden kann. Bei der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg wurden hierzu Kontrollebenen im Zu- und Abstrom von Verdachtsbereichen definiert. Entlang dieser Kontrollebenen wurden Grundwassermessstellen als „Kontrollbrunnen“ eingerichtet. Die Abstände der Kontrollbrunnen wurden dabei so bemessen, dass sich bei den anschließend durchgeführten mehrtägigen Immissionspumpversuchen möglichst überlappende Erfassungsbereiche ergaben. Auf diese Weise ist es möglich, die Schadstofffracht (Emission) über die Kontrollebene vollständig („integral“) zu erfassen.

Neben dieser Erfassung der Schadstofffracht ermöglichen die Immissionspumpversuche auch eine quantitative Bestimmung der Konzentrationsverteilung (Immission) entlang der Kontrollebene als Grundlage für die Darstellung von Schadstofffahnen. Hierzu wird der Zusammenhang zwischen der räumlichen Konzentrationsverteilung im Grundwasserabstrom und der im Kontrollbrunnen durch mehrere Probenahmen gemessenen zeitlichen Konzentrationsentwicklung genutzt: Beispielsweise kann aus einem während des Pumpversuchs einsetzenden und ansteigenden Konzentrationsverlaufs geschlossen werden, dass im weiteren Erfassungsbereich des Brunnens eine Schadstofffahne vorliegt. Aus einem abfallenden Konzentrationsverlauf hingegen kann geschlossen werden, dass im weiteren Erfassungsbereich weniger belastetes Grundwasser angezogen wird. Ein konstanter Konzentrationsverlauf zeigt hingegen an, dass diese Konzentration im gesamten Erfassungsbereich des Brunnens vorliegt.

Die mathematische Beschreibung dieses qualitativ leicht verständlichen Zusammenhangs und Entwicklung entsprechender Auswerteverfahren durch die Forschungsgruppe am Lehrstuhl für Angewandte Geologie der Universität Tübingen bildet die Grundlage der integralen Untersuchungsmethode (PTAK & TEUTSCH, 1997, SCHWARZ, PTAK & TEUTSCH, 1997a, b, TEUTSCH ET AL., 2000, PTAK ET AL., 2000, JARSJÖ ET AL. 2002, BAYER-RAICH ET AL., 2003, 2004). Eine eingehende Beschreibung der Methode findet sich in PTAK ET AL., 2013.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

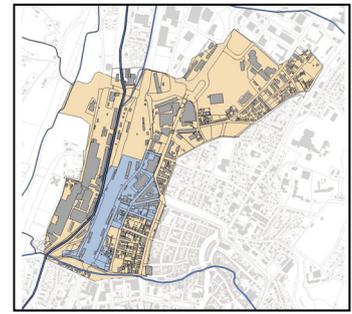


Erste praktische Anwendungen der integralen Grundwasseruntersuchung mittels Immissionspumpversuchen wurden maßgeblich durch das Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart unterstützt, z. B. im Neckartalprojekt, 1996 - 1999 sowie im Projekt INCORE, 2000 - 2003 (HOLDER ET AL. 1998, 1999, SCHUG ET AL. 2003). Inzwischen wurden und werden Immissionspumpversuche vielfach in der Altlastenuntersuchung in Baden-Württemberg und anderen Bundesländern eingesetzt. Weit über 50 Projekte mit insgesamt über 500 Immissionspumpversuchen dokumentieren die breite Anwendung als integrale Untersuchungsmethode in der Praxis.

Neben der integralen Untersuchung der grundwassergesättigten Zone über Immissionspumpversuche wurde in Ravensburg auch für die ungesättigte Zone ein neuer, ganzheitlicher und nicht auf einzelne Grundstücke bezogener methodischer Ansatz verfolgt. Hierbei wurden großräumig Differenzen zwischen historischen und aktuellen Höhenvermessungen der Landoberfläche analysiert. Auf diese Weise können anthropogene Auffüllungen und damit mögliche Altablagerungen präzise abgegrenzt werden.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



3 Projektorganisation

3.1 Vergabeverfahren

3.1.1 Vergabevorschriften

Bei den Ingenieurleistungen zur Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg handelte es sich um freiberufliche Leistungen, die vorab nicht eindeutig und erschöpfend beschreibbar waren. Nach den Bestimmungen der Vergabeordnung für Freiberufliche Leistungen (VOF) waren die Ingenieurleistungen zur Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg mit einem geschätzten Netto-Auftragswert über dem gültigen EU-Schwellenwert, im Rahmen eines Verhandlungsverfahrens mit vorheriger Vergabebekanntmachung zu vergeben.

3.1.2 Verhandlungsverfahren

Das Vergabeverfahren der VOF gliedert sich in zwei aufeinanderfolgende Verfahrensschritte: Im 1. Schritt werden aus allen Bewerbern die Teilnehmer für die Verhandlungsgespräche ausgewählt. Im 2. Schritt ermittelt der Auftraggeber in Verhandlungsgesprächen mit den ausgewählten Bewerbern – dem eigentlichen Verhandlungsverfahren – anhand der Auftragskriterien den Auftragnehmer, der die bestmögliche Leistung erwarten lässt.

1. Schritt: Auswahl der Bewerber für das Verhandlungsverfahren

Die Auftragsvergabe der Ingenieurleistungen zur Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg wurde im

- Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft (Europäische Union) am 03.08.2002
- Staatsanzeiger für Baden-Württemberg am 05.08.2002

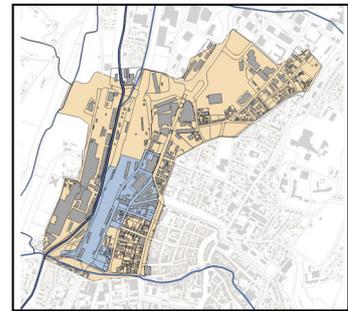
bekannt gemacht.

Folgende Nachweise wurden zur Beurteilung der Fachkunde, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Bewerber gefordert:

- Nachweis einer Betriebs- und Produkthaftpflichtversicherung für Personen- und Sachschäden in Höhe von mind. 1,5 Mio. €
- Referenzen
- Gesamtumsatz und Umsatz für entsprechende Dienstleistungen in den letzten drei Geschäftsjahren
- Unternehmensaufbau und Zahl der Mitarbeiter, gegliedert nach Fachrichtung
- Angabe des Auftragsanteils, für den der Bewerber möglicherweise einen Unterauftrag zu erteilen beabsichtigt
- Angaben zur technischen Ausstattung
- Erfahrungen und Kenntnisse auf dem Gebiet der Altlastenuntersuchung unter Berücksichtigung der Bestimmungen des BBodSchG und der BBodSchV sowie der einschlägigen Gesetze und Richtlinien des Landes Baden-Württemberg

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- Kenntnisse der lokalen geologischen und hydrologischen Verhältnisse
- Einsatz moderner Datenverarbeitungsmethoden
- Erfahrung in der Generierung von Grundwassermodellen

Bis zum Ende der Bewerbungsfrist am 02.09.2002 waren insgesamt 39 Teilnahmeanträge (Bewerbungen) eingegangen. Die Bewerbungen wiesen zum Teil sehr unterschiedliche Ausarbeitungstiefen auf. Anhand der Kriterien „Vollständigkeit der Bewerbungsunterlagen“, „Leistungsfähigkeit“, „Referenzen“ und „technische Ausstattung“ wurde eine Vorauswahl der Bewerber vorgenommen.

Einer näheren vergleichenden Bewertung wurden zwölf Bewerbungen unterzogen, deren Unterlagen insgesamt bzw. im Wesentlichen den Vorstellungen entsprachen, die der Ausschreibung zugrunde lagen. Die Bewertung erfolgte nach folgenden Kriterien, jeweils bezogen auf den Altlastenbereich:

- Umsatzanteil
- personelle Ausstattung
- fachliche Eignung
- technische Ausstattung
- Erfahrungen
- Publikationen

Untergeordnete Kriterien waren dabei die Publikationen und der Umsatzanteil. Die Kriterien „personelle Ausstattung“, „fachliche Eignung“, „technische Ausstattung“ und „Erfahrungen“ wurden als jeweils gleich wichtig erachtet. Die Bewertung erfolgte nach einem Punktesystem von 0 - 5 Punkten.

Im Ergebnis lagen danach fünf Bewerbungen über dem Durchschnitt. Der Umwelt- und Verkehrsausschuss der Stadt Ravensburg beschloss, diese fünf Bewerber zur Abgabe eines Angebots und zu Verhandlungsgesprächen aufzufordern.

Der Bekanntmachungstext enthielt den Hinweis, dass die Bewerber davon auszugehen haben, dass sie mit Ablauf einer bestimmten Frist nicht berücksichtigt worden sind. Drei Bewerbern wurden auf deren schriftlichen Antrag die Gründe ihrer Nichtberücksichtigung mitgeteilt.

2. Schritt: Vergabeverhandlung und Vergabe

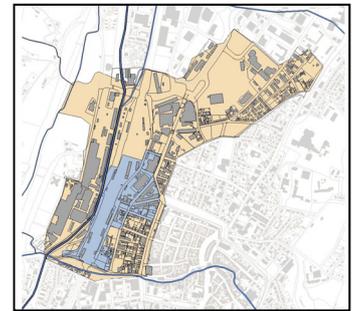
Im anschließenden 2. Schritt – dem eigentlichen Verhandlungsverfahren – wurden die fünf ausgewählten Bewerber zur Abgabe eines Angebots aufgefordert.

Zur Ausarbeitung des Angebots erhielten die Bewerber

- die Aufgabenbeschreibung,
- die Zuschlagskriterien mit Gewichtung,

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



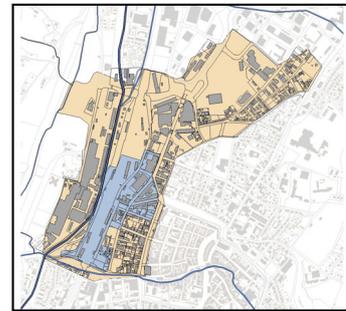
- die Angabe der Stelle, an die sich der Bewerber zur Nachprüfung behaupteter Verstöße gegen die Bestimmungen über die Vergabe- und Wettbewerbsverfahren wenden konnte,
- eine CD mit der Geologie des Untersuchungsgebiets,
- eine CD mit den Kanaldaten des Untersuchungsgebiets,
- eine Liste der bekannten Altlastverdachtsflächen, Altlasten und Schadensfällen im Untersuchungsgebiet (Akteneinsicht war nach Terminvereinbarung möglich).

Nach Vorlage der schriftlichen Angebote wurden die Bewerber zu Verhandlungsgesprächen eingeladen. Auf der Auftraggeberseite nahmen an den Gesprächen neben der Stadt Ravensburg, Vertreter des Landratsamtes Ravensburg, des Regierungspräsidiums Tübingen und des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg teil. Im Rahmen der Verhandlungsgespräche wurde den Bewerbern Gelegenheit gegeben, ihre Konzeptionen und Angebote zu präsentieren und Fragen der Auftraggeberseite zu beantworten. Nach der jeweiligen Präsentation wurde eine gemeinsame Bewertung des Angebots und des Verhandlungsgesprächs anhand der festgelegten Auftragskriterien vorgenommen.

Die Bewertung der Rahmenangebote erfolgte entsprechend folgender Bewertungsmatrix:

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Kriterium	Wichtung des Kriteriums in %	Punktesystem – Auswertung / 0 - 5 Punkte				
		Bewerber 1	Bewerber 2	Bewerber 3	Bewerber 4	Bewerber 5
Plausibilität, Innovation, Benutzerfreundlichkeit, Zeitplan Qualitätssicherung	40	3,5	3,5	4,5	4,5	4,5
Arbeitsplan Kostenplan Personalplan	20	3,5	2	4,5	4	4,5
Lokale Kenntnisse: Altlastensituation Hydrogeologie	10	3,5	5	5	2,5	4
Honorar	10	5	2	4	2	4
Kundenservice Weiterführung der Datenbank	5	3	3	5	4	4
Erfahrung mit dem Bewerber aus früheren Bewerbungen	5	4	2,5	5	3	4
Verfügbarkeit am Ort	5	4	4,5	5	3,5	4
Präsentation	5	2,5	4,5	4	4,5	5
1 Summe Punkte [max. 40]		29,0	27,0	37,0	28,0	34,0
Summe nach Gewichtung [max. 500]		362,5	322,5	455,0	380,0	435,0

Abbildung 3-1: Bewertungsmatrix für die Angebote im Vergabeverfahren

Die beiden Angebote/Bewerber mit den besten Bewertungen wurden nochmals genau geprüft und zusätzlich die Meinung der damaligen Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) eingeholt. Danach wurde der Bewerber mit der höchsten Punktzahl für die Auftragserteilung vorgesehen. Der Gemeinderat der Stadt Ravensburg fasste am 16.12.2002 den entsprechenden Beschluss zur Auftragsvergabe.

Den nicht berücksichtigten Bewerbern wurden die Gründe der Ablehnung ihrer Bewerbung sowie die Vorteile der erfolgreichen Bewerbung einschließlich des Namens des erfolgreichen Bewerbers mit Schreiben vom 20.12.2002 ausführlich dargelegt. Diese Information musste spätestens 14 Kalendertage vor Vertragsabschluss erfolgen (§ 13 VgV).

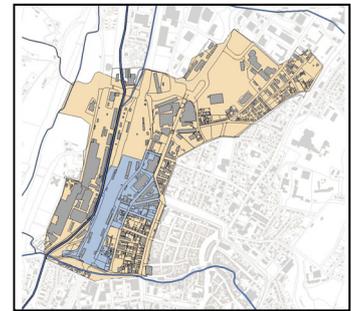
Die anschließende Ausarbeitung des Ingenieurvertrags als Rahmenvertrag mit stufenweiser Beauftragung der einzelnen Projektphasen nahm einige Zeit in Anspruch. Der Vertragsabschluss erfolgte dann Mitte März 2003.

Die Auftragsvergabe wurde im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft (Europäische Union) am 21.03.2003 bekannt gemacht (spätestens 48 Tage nach der Vergabe des Auftrags).

Das gesamte Vergabeverfahren wurde in einem Vergabevermerk dokumentiert (§ 18 VOF).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Erfahrungen aus dem Vergabeverfahren und der stufenweisen Vergabe:

- Bei der Vergabe von Ingenieurleistungen (geistig-schöpferische Leistungen) spielt die Qualität der Leistung eine entscheidende Rolle. Beim Verhandlungsverfahren nach VOF erhält der Auftraggeber von den Bewerbern verschiedene Lösungsvorschläge. Aus diesen Vorschlägen kann der Auftraggeber die Lösung auswählen, die für ihn – zum Zeitpunkt der Vergabe – am ehesten die Gewähr dafür bietet, die Ziele des Projekts zu erreichen.
- Der Auftraggeber konnte die Möglichkeit nutzen, aus den fünf Bewerbern beim Vergabeverfahren einen weiteren Bewerber mit hoher Punktzahl zur Qualitätssicherung einzubinden.
- Die stufenweise Vergabe der einzelnen Projektphasen führte zu einer Flexibilität, die sich als sehr vorteilhaft für das Projekt erwies. Kreative Lösungen wurden nicht durch ein vorgegebenes „starres Korsett“ behindert. Die Ingenieurleistungen konnten von Stufe zu Stufe an die Ergebnisse angepasst und auf diese aufgebaut werden. (Beispiel: Staffelung der Kontrollebene in die Tiefe des Untersuchungsgebiets unter Berücksichtigung aktueller Auswertungen der Hydrogeologie und HISTE-Daten.)
- Das Vergabeverfahren ist sehr zeit-, arbeits- und kostenaufwendig sowohl auf Seiten der Bewerber als auch auf Auftraggeberseite. Die Ingenieurbüros bezifferten ihren Aufwand im Vergabeverfahren der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg im Mittel mit ca. 1,2 % der bewilligten Fördersumme.

3.2 Organisationsstruktur

In ihrer Rolle als Auftraggeber oblag der Stadt Ravensburg die Angebotsprüfung und Beauftragung der einzelnen Teilprojektphasen entsprechend dem Rahmenvertrag, das Controlling des Projektbudgets sowie die Rechnungsprüfung

Die fachliche Projektleitung sowie das fachliche Controlling wurden durch das Landratsamt Ravensburg ausgeübt. Zusammen mit der Stadt Ravensburg bildete das Landratsamt Ravensburg die Lenkungsgruppe, die das Projekt leitete und hierzu entsprechend der aktuellen Bearbeitungsintensität im Mittel monatlich mit den Projektleitern der Ingenieurfirmen „Jour fixe“-Besprechungen abhielt (vgl. **Abbildung 3-2**).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

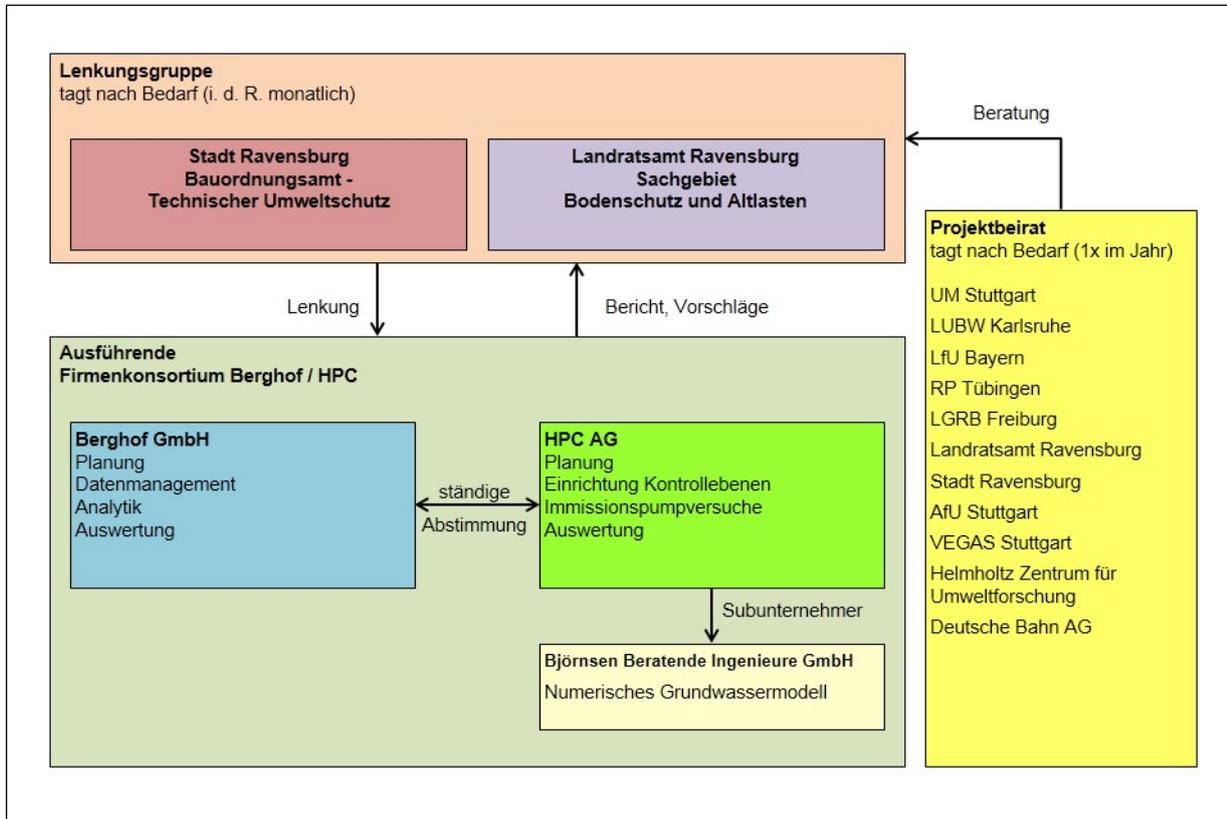
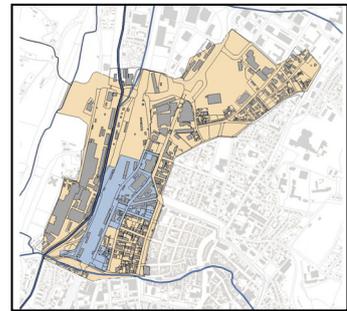


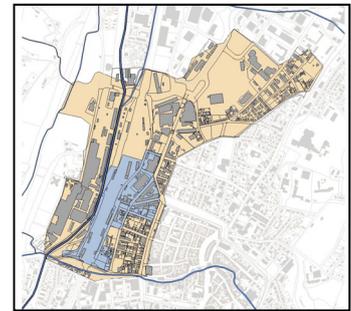
Abbildung 3-2: Organisationsstruktur des Projekts Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Als Beratungsgremium wurde ein Projektbeirat eingesetzt. In den in etwa im Jahresturnus stattfindenden Sitzungen des Beirats wurden sämtliche relevanten Teilergebnisse sowie die weiteren Planungen zur Diskussion gestellt. Darüber hinaus holte die Lenkungsgruppe zu Spezialthemen auch den Rat von einzelnen Mitgliedern des Projektbeirats ein. Folgende Institutionen wirkten im Projektbeirat mit:

- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM) Stuttgart
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) Karlsruhe, Referat 22 - Boden, Altlasten
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) - Dienststelle Hof, Referat 95 - Altlasten, schädliche Bodenveränderungen (zeitweise)
- Regierungspräsidium (RP) Tübingen, Referat 52 - Gewässer und Boden
- Regierungspräsidium (RP) Freiburg, Abteilung 9 - Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
- Landratsamt Ravensburg, Sachgebiet Bodenschutz und Altlasten

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- Stadt Ravensburg (Bauordnungsamt/Technischer Umweltschutz, Stadtplanungsamt, Wirtschaftsförderung und Tiefbauamt)
- Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz (AfU) - Kommunale Altlasten
- Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS) Stuttgart
- Deutsche Bahn AG - Sanierungsmanagement Karlsruhe
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) Leipzig (zeitweise)

Die Projektdurchführung wurde an die beiden Ingenieurbüros Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH (Ravensburg) und HPC AG (Rottenburg) vergeben. Über die Zusammenarbeit und Aufgabenteilung wurde ein Konsortialvertrag geschlossen. Die Aufgabenschwerpunkte von Berghof waren das Datenmanagement und die Analytik, HPC AG oblagen die Geländearbeiten sowie die Auswertung der Immissionspumpversuche. Die Projektleitung sowie die strategische Planung und die Berichterstattung wurden von den beiden Büros in Teamarbeit durchgeführt. Mit der Björnson Beratende Ingenieure GmbH (Koblenz) wurde ein drittes Ingenieurbüro als Subunternehmer für die hydrogeologische und numerische Modellierung eingebunden.

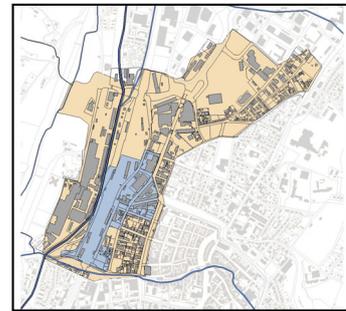
3.3 Qualitätssicherung

Bei der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg als größere und komplexere Maßnahme mit zahlreichen Beteiligten wird einer konsequenten Qualitätssicherung besondere Bedeutung zuteil. Für einzelne Untersuchungsmethoden können dabei fachliche Standards vorgegeben und überwacht werden. Bei der Entwicklung von Strategien sowie der Planungen und Auswertung von Untersuchungen basiert die Qualitätssicherung hingegen auf Maßnahmen zur Schaffung von Transparenz, zur Vermeidung von Fehlern und Optimierung der Vorgehensweise. Dies wurde in Ravensburg durch eine konstruktive gegenseitige Kontrolle der Projektbeteiligten über die verschiedenen Ebenen der Organisationsstruktur umgesetzt:

- Lenkungsgruppe: In regelmäßigen gemeinsamen „Jour fixe“-Besprechungen wurden sämtliche Arbeitsschritte der Planung, Durchführung und Auswertung durch das ausführende Firmenkonsortium vorgetragen und seitens der Projektleitung (Auftraggeber und Fachbehörden) bewertet, ggf. unter Hinzuziehung des Projektbeirats oder einzelner Mitglieder des Projektbeirats.
- Projektbeirat: Bei übergeordneten Fragen zur Methodik, zur strategischen Planung sowie zur Bewertung der Ergebnisse wurde das Votum des Projektbeirats eingeholt.
- Firmenkonsortium: Wesentlicher Bestandteil der Qualitätssicherung war, dass mit der Projektdurchführung ein Konsortium aus zwei Ingenieurbüros mit ähnlicher fachlicher Ausrichtung und lokaler Verankerung beauftragt wurde. Bei konsortialvertraglich geregelter klarer Verantwortungs- und Aufgabenteilung legten die Projektpartner einander alle wesentlichen Arbeitsschritte offen. Auf diese Weise konnten alle Planungen, Geländearbeiten und Auswertungen einer Gegenkontrolle unterzogen werden.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Die in Teamarbeit entwickelte und optimierte Untersuchungsstrategie und Methodik wurde wiederum in der Lenkungsgruppe bzw. durch den Projektbeirat kontrolliert. Wesentliche Voraussetzung für die gegenseitige Kontrolle der projektdurchführenden Ingenieurbüros war, dass über die Aufgaben der gemeinsamen Projektkoordination und fachlichen Projektleitung hinaus ein eigenes Budget für diese Qualitätssicherung eingeräumt war.

- Grundwassermodellierer: Unabhängig vom Firmenkonsortium wurde ein drittes Ingenieurbüro mit einem numerischen Grundwassermodell eingebunden. Mit diesem Instrument wurden eigenständige Berechnungen zur Planung und Auswertung der Immissionspumpversuche ausgeführt. Damit bestand die Möglichkeit des Vergleichs und einer gegenseitigen Kontrolle der strategischen Planungen und Auswertungen mit den analytischen Tools und den Ergebnissen des Grundwassermodells.
- Ingenieurbüros: Für die Qualitätssicherung der Arbeiten innerhalb der beteiligten Ingenieurbüros wurden verantwortliche Fachbereichsleiter benannt. Ihre Aufgaben waren die Sicherstellung der fachlichen Qualifikation und projektspezifischen Unterweisung der Projektmitarbeiter, die Kontrolle der Arbeit der Projektmitarbeiter sowie die Vorgabe und Kontrolle der Einhaltung von Regelwerken und Qualitätsstandards für einzelne Aufgaben. Insbesondere wurden Schulungen der Probenehmer zur Sicherstellung der gleichbleibenden Qualität der Proben über das Gesamtprojekt und zur parameterspezifischen Handhabung bei schwebstoffhaltigen Proben durchgeführt. Ebenso wurden Schulungen der mit der Durchführung und Auswertung der IPV betrauten Mitarbeiter durchgeführt. Zusätzlich führte das LGRB eine Unterweisung der mit der Bohrkernaufnahme und geologischen Schichtansprache befassten Mitarbeiter durch. Wesentliche, von den Ingenieurbüros für die Qualitätssicherung berücksichtigte Regelwerke sind im Anhang 2 aufgeführt.

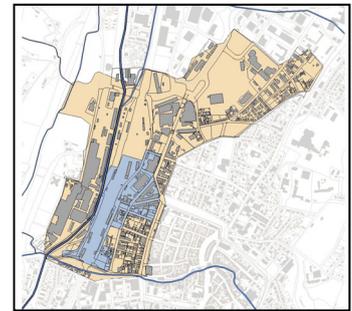
3.4 Zeit- und Ablaufplanung

Der Vertragsabschluss zwischen der Stadt Ravensburg und dem ausführenden Firmenkonsortium im Februar 2003 bildet die Stunde „Null“ der Zeit- und Ablaufplanung der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg. Ursprünglich wurde von einer 3-jährigen Projektlaufzeit ausgegangen, bei der die Datenerhebung und Planung der Kontrollebenen im Wesentlichen im ersten Jahr, die Einrichtung der Kontrollbrunnen und Ausführung der Immissionspumpversuche im zweiten Jahr und die Auswertung sowie Dokumentation im dritten Jahr erfolgen sollte. Bereits sehr früh zeigte sich, dass dieser 3-Jahresplan nicht zu halten war. Wesentliche Gründe hierfür waren:

- Erweiterung des Messnetzes zur genaueren Erfassung der Grundwasserströmungssituation und Schadstoffbelastung als Grundlage für die Kontrollebenenplanung und das Grundwassermodell, da sich der Bestand als lückenhaft bzw. nicht belastbar erwies. Damit verlängerte sich die Erhebungs- und Planungsphase vor der Umsetzung der ersten Kontrollebene auf über zwei Jahre (2003 und 2004).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



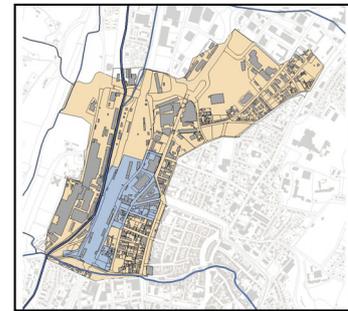
- Aufteilung der Einrichtung von Kontrollebenen mit Durchführung von Immissionspumpversuchen in drei Phasen und einer Ergänzung. Durch diese schrittweise Vorgehensweise sollte sichergestellt werden, dass die Methodik zunächst in kleinerem Umfang getestet und verbessert sowie verbleibende Erfassungslücken der realisierten Kontrollebenen in nachfolgenden Phasen geschlossen werden konnten. Mit der Auswertung und Planung weiterer Kontrollebenen und Immissionspumpversuche dauerten die einzelnen Phasen jeweils ein Jahr (2005 - 2008).

In den Jahren 2009 und 2010 wurden die Projektergebnisse bereits bei der Altlastenbewertung eingesetzt. Mit den Projektberichten wurde erst 2011 begonnen, da sich die Projektbeteiligten bei den Behörden als auch bei den ausführenden Firmen nach den sechs Jahren intensiver Bindung durch die laufenden Maßnahmen der integralen Altlastenuntersuchung anderen Projekten widmen mussten. In dieser letzten Projektphase wurden neben dem Datenatlas und der Einzelfallbewertung auch eine Vergleichsstudie zu Auswerteverfahren von Immissionspumpversuchen, eine Vergleichsstudie zwischen Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Verfahren sowie der vorliegende Erfahrungsbericht erarbeitet.

Abbildung 3-3 zeigt den vereinfachten Zeit- und Ablaufplan der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg mit der ineinandergreifenden Abfolge von Planung, Durchführung und Auswertung der Teilphasen sowie der kontinuierlichen Projektleitung und Dokumentation.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

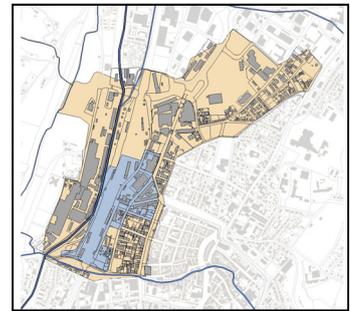


Projektphase		Phase 1 Erhebung	Phase 2 Aufbau GwMessnetz	Phase 3.1 KE 3 Nord als Testfeld	Phase 3.2 KE 2+4 Nord KE 3 Süd	Phase 3.3 KE 1 Nord KE 2+4 Süd, KE 1 Süd		Phase 4 Auswertung, Berichte, Präsentationen			
Jahr		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2011	2012	2013	
Monat		J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	J F M A M J J A S O N D	
Lenkung	Vertrag (rot) und Teilbeauftragungen (orange)	■	■	■	■	■	■		■	■	
	Projektbeirat (rot) Lenkungsgruppe (orange)	■	■	■	■	■	■		■	■	■
	Datenerhebung Datenerfassung ALTIS	■	■	■	■	■	■	■			
Planung	Strategische Planung Kontrollebenen und IPV	■	■	■	■	■	■				
	Ausführungs- und Genehmigungsplanung	■	■	■	■	■	■			■	
	GW-Messungen (blau: Stichtagsmessungen)		■	■	■	■	■	■			■
Durchführung	Bohrarbeiten, Bau GWM		■	■	■	■	■				
	Funktions tests, GwProben Kurzumpversuche		■	■	■	■	■				
	Immissionspumpversuche			■	■	■	■			■	
	sonst. Felduntersuchungen (Abfluss, Tracer)		■	■	■	■	■			■	
	Analytik		■	■	■	■	■	■			■
	Laboruntersuchungen (Säulenversuche)			■	■	■	■	■			
	Auswertung IPV und Felduntersuchungen		■	■	■	■	■	■	■	■	■
Auswertung	Numerisches GwModell		■	■	■	■	■				
	Teilberichte der Projektphasen		■	■	■	■	■		■	■	■
	GIS-Datenbank Projektatlas			■	■	■	■	■	■	■	■
	Dokumentation der Einzelfallbewertung								■	■	■
	Dokumentation der Strategie und Erfahrungen			■					■	■	■
	Vergleichsstudie IPV-Auswerteverfahren							■	■	■	■
	Vergleichsstudie IPV-direct push-Verfahren										■
Dokumentation	Öffentl. Veranstaltungen und Präsentationen	■					■		■	■	
										■	

Abbildung 3-3: Zeit- und Ablaufplan der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg, Stand Juli 2013

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



3.5 Öffentlichkeitsarbeit und Projektpräsentationen

3.5.1 Auftaktveranstaltung

Zur Vorstellung des Projekts Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg fand am 31.03.2003 im Projektgebiet (Gelände Oberschwabenhalle) eine öffentliche Auftaktveranstaltung statt. Durch eine vorgeschaltete Pressemitteilung in der lokalen Presse wurden interessierte Bürgerinnen und Bürger eingeladen. Im Namen der Stadt Ravensburg begrüßte der damalige Oberbürgermeister Hermann Vogler alle Teilnehmer. Für kurze Ansprachen konnten der damalige Landesumweltminister Ulrich Müller und Landrat Kurt Widmaier gewonnen werden. Inhaltlich wurde das Projekt durch Vertreter des Landratsamtes Ravensburg vorgestellt.

Für diese Auftaktveranstaltung und zur weiteren Information der Öffentlichkeit wurde ein Flyer gedruckt, der in Stichpunkten die wichtigsten Informationen zur Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg zusammenfasst und (auf der Rückseite) die Kontaktdaten der Ansprechpartner für das Projekt nennt (**Abbildung 3-4**).

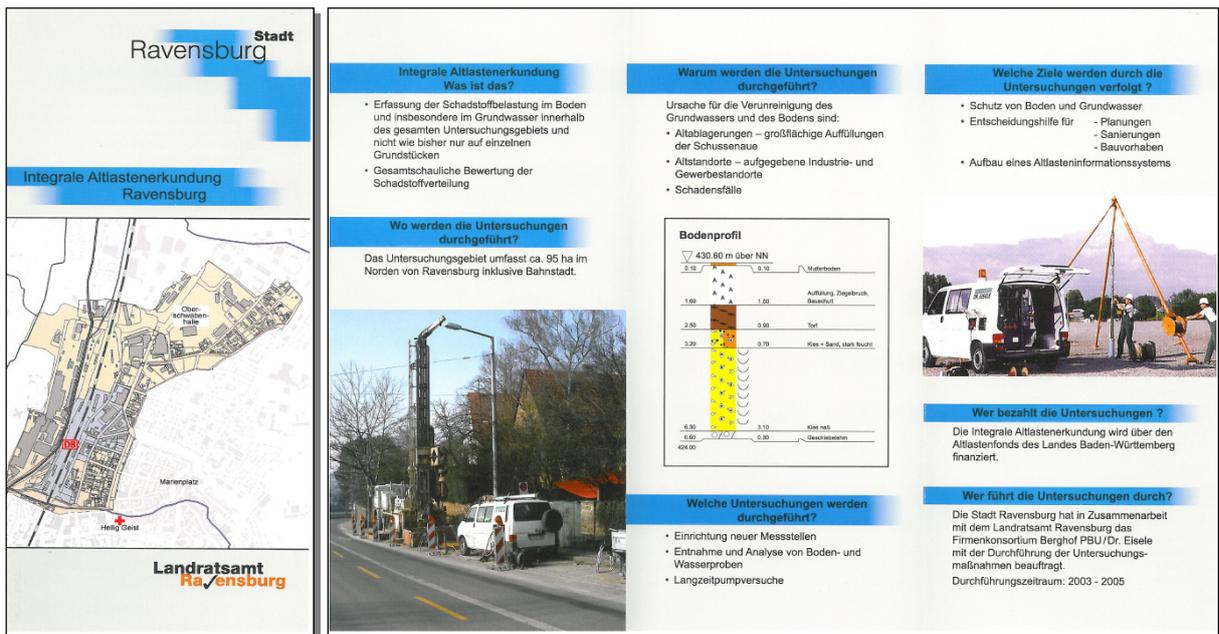


Abbildung 3-4: Projektflyer der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg (Auszug)

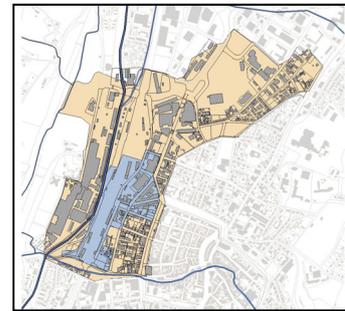
3.5.2 Einbindung kommunaler Gremien

Als Auftraggeber hatten die kommunalen Gremien der Stadt Ravensburg die Entscheidung zur Durchführung der integralen Altlastenuntersuchung zu treffen. Dazu fanden insgesamt drei Beratungen im Umwelt- und Verkehrsausschuss und Gemeinderat statt.

Über die Vergabe der Ingenieurleistungen wurde in drei Sitzungen des Umwelt- und Verkehrsausschusses und zwei Gemeinderatssitzungen entschieden.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Die Ergebnisse der integralen Altlastenuntersuchung werden zum Abschluss des Projekts den Mitgliedern des Gemeinderats vorgestellt und erläutert.

3.5.3 Information der betroffenen Grundstückseigentümer und Anwohner

Die von der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg betroffenen Grundstückseigentümer und Anwohner wurden frühzeitig über das Projekt und die geplanten Maßnahmen informiert.

Bereits im Zuge der Erfassung und Kategorisierung der vorhandenen Messstellen im Untersuchungsgebiet wurden insgesamt 139 Grundstückseigentümer und 157 Mieter in einem Schreiben über das geplante Vorhaben informiert. Entsprechend angeschrieben wurden die von der Errichtung neuer Grundwassermessstellen und der Durchführung von Bodenuntersuchungen betroffenen Grundstückseigentümer und Mieter. In den Anschreiben wurden die vorgesehenen Arbeiten erläutert und um das Einverständnis für die Maßnahmen gebeten. Die genaue Festlegung der Lage der Messstellen erfolgte bei einem gemeinsamen Ortstermin mit den jeweiligen Grundstückseigentümern. Die Anwohner im Umfeld der zu errichtenden Grundwassermessstellen wurden mittels Rundschreiben über die Bohrarbeiten informiert und um Verständnis für eventuell auftretende Verkehrs- und Lärmbelastigungen gebeten. Der Projektflyer war als Anlage allen Schreiben an die Betroffenen beigelegt.

Zusätzlich wurde vor jeder Bohrkampagne eine entsprechende Pressemitteilung in der lokalen Presse platziert.

3.5.4 Information der betroffenen Unternehmen

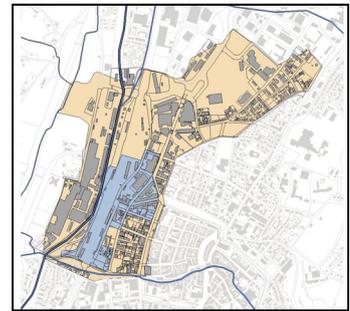
Zur Information der im Untersuchungsgebiet ansässigen Unternehmen über das Vorhaben der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg fand bereits am 20.03.2003 eine gemeinsame Informationsveranstaltung zur Vorstellung des Vorhabens statt. Eine weitere Informationsveranstaltung zu den konkret geplanten Untersuchungen folgte zum Abschluss der Projektphase II am 16.11.2004.

Es gelang in allen Fällen, die Unternehmen von den positiven Aspekten der integralen Altlastenuntersuchung zu überzeugen und ihre Mitwirkung sicherzustellen. Zur Einrichtung der notwendigen Grundwassermessstellen und zur Durchführung der Untersuchungen auf dem Gelände der DB AG wurde zwischen der Stadt Ravensburg und der DB AG ein umfangreicher Gestattungsvertrag geschlossen.

Nach Abschluss der Untersuchungen wurden die jeweiligen Analysenbefunde den betroffenen Unternehmen in Einzelgesprächen erläutert.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



3.5.5 Fachkolloquien des Projektbeirats, Workshops und Fachseminare

Aufgabe des Projektbeirats war die wissenschaftliche und fachliche Beratung und Begleitung des Projekts (Kap. 3.2). Nach jedem Projektabschnitt fand ein Fachkolloquium zu den bisherigen Ergebnissen sowie zur weiteren Planung statt:

- Fachkolloquium am 31.03.2003: Konzeptvorstellung, Ziele und Chancen der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg
- Fachkolloquium am 22.06.2004: Ausgangslage und Untersuchungsstrategie, Planung der ersten Kontrollebene als Testfeld (Phase 3.1)
- Fachkolloquium am 25.10.2005: Ergebnisse der Bohrungen und Immissionspumpversuche des Testfelds (Phase 3.1)
- Fachkolloquium am 15.03.2007: Bericht zur Projektphase 3.2 und Diskussion einer geplanten Studie des Aufwand-/Nutzen-Verhältnisses der einzelnen Auswertemethoden von Immissionspumpversuchen
- Fachkolloquium am 07.07.2008: Abschluss der technischen Projektphasen und Ausblick auf die Berichtserstellung
- Fachkolloquium am 26.06.2012: Ergebnisse der Vergleichsstudie IPV-Auswerteverfahren, Berichte und Veröffentlichungen

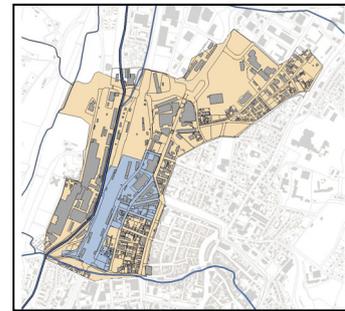
Auf Initiative der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, fand am 11.05.2007 ein Workshop in Ravensburg zum Thema „Strategien der Integralen Altlastenuntersuchung“ statt, bei dem der Projektstand vorgestellt wurde. Ziel des Workshops war die Diskussion über die Implementierung der integralen Grundwasseruntersuchung in die Altlastenbearbeitung und deren Auswirkungen auf das Verwaltungshandeln. Eingeladen war ein interessiertes Fachpublikum aus Behördenvertretern und Ingenieurbüros.

Methodische Erfahrungen und Ergebnisse der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg wurden im Rahmen von Seminaren des Fortbildungsverbands Boden und Altlasten Baden-Württemberg einer breiteren Fachöffentlichkeit präsentiert:

- **af**-Seminar 09/2012 am 22.11.2012 in Böblingen zum Thema „Integrale Altlastenerkundung Ravensburg und Albstadt“
- **af**-Seminar 05/2013 am 18.06.2013 in Karlsruhe zum Thema „Gefährdungsabschätzung Boden – Gewässer im Rahmen der Altlastenbearbeitung“
- **af**-Seminar 10/2013 am 19.11.2013 in Stuttgart zum Thema „Schadensherdsanierung bei LCKW – Schäden“
- **af**-Seminar 02/2014 am 19.02.2014 in Stuttgart zum Thema „Immissionspumpversuche in der Altlastenbearbeitung – der neue Statusbericht des **af** Baden-Württemberg“

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



4 Grundlagenermittlung

4.1 Erhebung und Auswertung der Altlastensituation

4.1.1 Bedeutung und Anwendung digitaler Informationssysteme

Bei der Umsetzung integraler Altlastenuntersuchungen fallen aufgrund der Projektdimensionen in aller Regel umfangreiche Datenbestände an. Dies macht den Einsatz geeigneter EDV-technischer Erfassungs- und Auswertungs-Module zwingend erforderlich. Als Voraussetzung für eine effiziente Auswertung der Sachdaten müssen alle projektrelevanten Kenndaten innerhalb der zum Einsatz kommenden Systeme konsistent erfasst werden.

In Ravensburg stand für die Erfassung, Auswertung und Dokumentation der technisch-analytischen und geologischen Sachdaten das Altlasteninformationssystem *ALTIS¹ Ravensburg* zur Verfügung. Dieses Informationssystem ergänzte in wesentlicher Form das BAK² des Landes bzw. des Landkreises Ravensburg.

Im BAK werden Sachinformationen zu altlastenverdächtigen Flächen und Altlasten sowie zu schädlichen Bodenveränderungen lagekorrekt erfasst. In wesentlicher Ergänzung dazu musste das projektspezifische Erfassungsmodul (hier: *ALTIS*) in der Lage sein, raumbezogene punktuelle Kenndaten der für das Projekt relevanten Aufschlüsse und Messstellen lagegenau darzustellen.

Als Vorbereitung der Detailkonzeptionierungen, für die ab der Projektphase 2 umgesetzten technischen Untersuchungen, wurde in der Projektphase 1 (2003/2004) zunächst eine umfangreiche Grundlagenermittlung durchgeführt. Dazu wurden Dokumentationen von Altlasten- und Bauprojektierungen gesichtet und anschließend überprüft, ob ergänzende projektrelevante Sachdaten zu Aufschlüssen und Messstellen vorliegen. Nach erfolgreicher Qualitätsprüfung wurden diese Sachinformationen in das Datenerfassungssystem übernommen. Während dieser Datenerfassung erfolgte stets ein inhaltlicher Abgleich mit bereits im System vorhandenen technischen Detailinformationen sowie mit den Kenndaten der raumbezogenen BAK-Objekte (Lage, Geometrie, Ursache/Arteinwirkung). Relevante Aktenbestände befanden sich sowohl in den Archiven der Stadt Ravensburg als auch im Landratsamt Ravensburg.

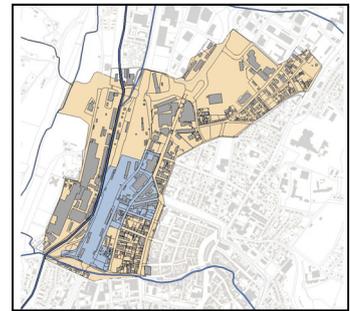
Im weiteren Verlauf des Projekts wurden die innerhalb der technischen Untersuchungen der Projektphasen 2 und 3 neu generierten Sachdaten nach Plausibilitätsprüfung in das System integriert. Damit wurde die Datenbasis sukzessive erweitert und qualitativ verbessert. Innerhalb jeder Untersuchungsphase des Projekts, bis hin zur Abschlussdokumentation, konnte aufgrund des stets aktuellen und vollständigen Datenbestands die jeweils höchstmögliche Planungssicherheit bzw. Aussageschärfe sichergestellt werden. Die kombinierte Darstellbarkeit der BAK-Sachdaten mit den technisch-analytischen Sachinformationen aus *ALTIS*, war eine wesentliche Grundlage für das Erkennen gesamtschaulicher Zusammenhänge.

¹ ALTIS = Altlasten-Informationen-System, zur digitalen Erfassung projektrelevanter Sachinformationen, entwickelt durch das Ingenieurbüro Berghof Analytik + Umweltengineering, Ravensburg. Installiert im Bauordnungsamt Ravensburg sowie LRA Ravensburg

² Bodenschutz- und Altlastenkataster Baden-Württemberg, LUBW

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Im BAK wie auch in ALTIS wird eine relationale Datenbank mit einem sogenannten Geoinformations-System (nachfolgend GIS) gekoppelt. In der Datenbank findet die primäre Datenerfassung statt, inkl. der Informationen, die einen Raumbezug ermöglichen, wie beispielsweise die Gauß-Krüger-Koordinaten eines Aufschlusses oder einer Messstelle.

Im GIS wird die räumliche Darstellung der in der Datenbank erfassten Sachinformationen realisierbar. In der Regel werden im GIS-Teil des Systems die erfassten Datenbestände bzw. die Ergebnisse von spezifischen Auswertungen über geeignetes Kartenmaterial projiziert. Dieses Kartenmaterial können ALK-Daten, Luftbilder oder Topografische Karten sein, also kartografische Werke, die eine konkrete Raumorientierung bzw. Raumvorstellung ermöglichen.

4.1.2 Erfassung und Auswertung der Sachinformationen des BAK

Im Bodenschutz- und Altlastenkataster (BAK) des Landes Baden-Württemberg werden Informationen über altlastenverdächtige Flächen, Altlasten und über sonstige schädliche Bodenveränderungen erfasst. Neben den Stammdaten eines Objekts (u. a. Objektnummer, Name, Gemeinde, Flächentyp etc.) finden sich dort auch Informationen zur Lage, Ausdehnung und Schadstoffsituation der Flächen bzw. Standorte sowie über die fachliche Bewertung und den resultierenden weiteren Handlungsbedarf.

Im Landratsamt Ravensburg wurden im Zuge der Nacherhebungen altlastverdächtigere Flächen ab dem Jahr 2000 für die meisten der im Landkreis erfassten Objekte zusätzlich ergänzende Sachinformationen digital berücksichtigt. An jedes im BAK erfasste Einzelobjekt wurden dazu Bemerkungsfelder gekoppelt, mit der Option einer freien Texteingabe. Inhaltlich wurden dabei falldifferenziert Ausführungen zu folgenden Themen vorgenommen:

- Standortbeschreibung
- Geologie/Hydrogeologie
- Historie
- Ortsbegehung
- gutachterliche Stellungnahme

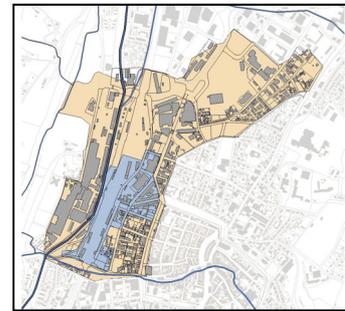
Die Standard-Informationen des BAK, ergänzt durch die Ausführungen der oben beschriebenen Bemerkungsfelder, wurden in einer sogenannten *Arbeitsdatenbank* zusammengefasst. Die vorgenommenen Ergänzungen konkretisierten die Aussagetiefe des BAK um wesentliche Detailinformationen. Diese *Arbeitsdatenbank* wurde als ein Teil des Gesamt-Informationensystems an ein GIS-Projekt gekoppelt.

Die Auswertung der für das Projektgebiet Ravensburg im BAK erfassten Sachinformationen ist Grundlage für die Entwicklung eines prinzipiellen Verständnisses, über die für das Projektgebiet zu berücksichtigende Gefährdungssituation der Schutzgüter.

Die vorliegenden Sachinformationen aus dem BAK, Baden-Württemberg, waren durch die für den Landkreis Ravensburg in den Jahren 2003/2004 durchgeführte Überarbeitung auf einem aktuellen und qualitativ guten Bearbeitungsstand.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Eine hohe Verlässlichkeit dieser Daten ist wichtig für die auf diesen Sachinformationen basierenden Planungs-, Ausführungs- und Auswertungsschritte.

Die Datenerfassung und Auswertung für die nachfolgende Festlegung der Untersuchungskonzeption sowie der Erkundungsziele erfolgte für sämtliche Objekte des Betrachtungsgebiets. In Abstimmung mit der Fachbehörde wurden in einem nachfolgenden Selektionsschritt vorrangig die BAK-Objekte für die technischen Untersuchungsschritte der integralen Altlastenuntersuchung berücksichtigt, für die als kennzeichenbestimmender Handlungsbedarf *Orientierende Untersuchung* oder *Detailuntersuchung* festgelegt war. Ergänzend dazu wurden zwei B-Fälle nach Auswertung der historischen sowie technisch-analytischen Sachdaten umbewertet und als untersuchungsrelevant eingestuft.

Bei den in Projektphase 3 durchgeführten technischen Untersuchungen blieben bestimmte BAK-Fälle, die sich in einem eigenständigen Untersuchungs-, Sicherungs-, Sanierungs- oder Monitoring-Programm befanden, bewusst unberücksichtigt. Dazu zählte u. a. der Altstandort Gaswerk, Ravensburg. Das ehemalige Gaswerk wurde zum Zeitpunkt der Projektdurchführung durch Auskoffnung der Hauptschadensbereiche bis zur Aquiferbasis saniert. Nachfolgend wurde ein umfangreiches Monitoringprogramm zur Überwachung der Grundwasserkenndaten im Zu- sowie im Abstrom des Objekts durchgeführt. Im Zuge der integralen Altlastenuntersuchung wurden jedoch sämtliche Grundwasserkenndaten des Standortumfelds des ehemaligen Gaswerks erfasst und ausgewertet, um mögliche Wechselwirkungen mit untersuchungsrelevanten Objekten berücksichtigen zu können.

In der nachfolgenden **Tabelle 4-1** sind die nach Datenlage des BAK im Jahr 2004 für die vorgesehenen technischen Erkundungen der integralen Altlastenuntersuchung zu berücksichtigenden Altlastverdachtsflächen klassifiziert nach Untersuchungsstufe und Flächentyp aufgelistet.

Untersuchungsstufe	Fallanzahl	Aufschlüsselung Flächentyp		
		<i>Altablagerungen</i>	<i>Altstandorte</i>	<i>Unfall/Störfall</i>
Orientierende Untersuchung	10 Fälle	1 Fall	8 Fälle	1 Fall
Detailuntersuchung	13 Fälle	6 Fälle	6 Fälle	1 Fall
B	2 Fälle	-	2 Fälle	-

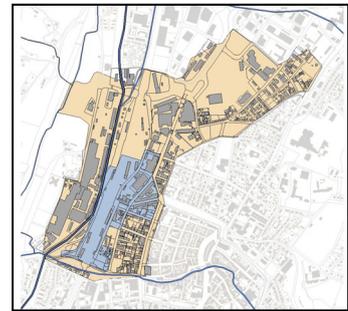
Tabelle 4-1: Untersuchungsstufe Fallanzahl – Wirkungspfad Boden – Grundwasser, Bewertungsstand: November 2004

Nach der Auswertung der im BAK erfassten Sachdaten resultierte, dass insgesamt 25 Objekte innerhalb des Projektgebiets bzw. in räumlicher Assoziation an das Projektgebiet, aufgrund der gegebenen Untersuchungsstufe, bzw. bei den beiden B-Fällen aufgrund der individuellen Fallhistorie, im Zuge der geplanten technischen Untersuchungen zu berücksichtigen sind. Aufgeschlüsselt nach Flächentypen waren dies:

- 7 Altablagerungen
- 16 Altstandorte
- 2 Unfälle/Störfälle (zwei metallverarbeitende Maschinenbaubetriebe)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



In der nachfolgenden **Tabelle 4-2** werden die nach BAK erfassten Ursachen/Branchen der zu berücksichtigenden 16 Altstandorte zusammengefasst und aufgelistet.

Ursache/Branchen Altstandorte	Anzahl Fälle
Tankstelle, Tanklager, Mineralöllager, Umschlagplatz MKW	10
Chemische Reinigung, Chemikalienlager	4
Maschinenbau, Gießerei, Härterei, Metallverarbeitung	4
Bau- und Kleingewerbe	2
Textil: Veredelung, Färberei, Herstellung, Verarbeitung	1
Schrotthandel	1
Produzierendes und Verarbeitendes Gewerbe	1
Kfz-Gewerbe	1
Werkstatt	1
Herstellung von Körperpflege- und Waschmitteln	1

Tabelle 4-2: Auflistung und Anzahl der Ursachen/Branchen der Altstandorte bzw. der Unfälle/Störfälle innerhalb sowie im Umfeld des Projektgebiets

Abgeleitet von den im BAK erfassten Ursachen/Branchen und der Kenntnis über die räumliche Lage der Objekte, ließen sich erste Rückschlüsse auf die potenziellen Arteinwirkungen auf die Schutzgüter ableiten. Diese Informationen bestimmten im Zuge der technischen Untersuchungsphasen den zu berücksichtigenden Parameterumfang für die laborchemischen Untersuchungen.

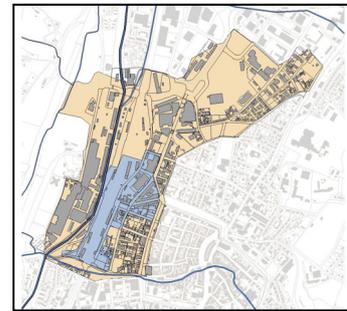
4.1.3 Erfassung und Auswertung der technisch-analytischen Sachinformationen in ALTIS

Die in ALTIS vorgenommenen Datenerfassungen berücksichtigten jeden Aufschluss und jede Messstelle innerhalb sowie im Umfeld des Projektgebiets. Neben den Stammdaten (Benennung, Aufschlusstyp und Lage) wurden auch die nachfolgend aufgelisteten Detailinformationen erfasst (**Abbildung 4-1**):

- laborchemische Befunde aus Beprobungen der Medien Feststoff, Bodenluft, Grundwasser/Eluate
- geologische Kenndaten in Form von Schichtverzeichnissen bzw. hydrogeologischen Einheiten
- Stichtagsmessungen in Grundwassermessstellen und Oberflächengewässern
- Kenndaten von Pumpversuchen (Datum, Schüttung, k-Werte etc.)
- Ausbauspezifikationen von Messstellen
- Qualitätsbeschreibungen von Messstellen (Messstelle existent ja/nein, Messstelle verwendbar, Durchmesser, Tiefe etc.)
- verlinkte Dokumente wie bspw. Bohr- und Ausbauprofile

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Hauptformular ALTIS

Nutzung:

Projekt: **Integrale RV** UP Code: **8245** Arnum-LGRB:

Quelle: **Berghof PBU/IUB** Erkundungsstufe: **Detailuntersuchung**

KNWI-Nr.: Meßstellenausbau: **Ja** Bemerkung: Analytik: Wasser

Flurstücks Nr.: **495002** Zweck Messstelle: **Grundwasser** Nutzung: Art: **Hauptaquifer**

Aufschluss: **IGWOM 21/06** Ausbau-Durchm.: **5"** Kinderspielgerät: PV: Immi-PV: Eluat

Ergänzung: TK 25: Projektphase: **Phase 3-2** Boden

Erfabdatum: **12.06.2006** Altis: organoleptisch auffällig: Probenahme: Oberboden

Ausbauart: **RKS 300 mm** Flurstücks Nr.: **495002** Loggerdaten: Auswahl Proben.: Bodenluft

Rückstellprobe

ANALYTIK | SCHICHTEN TIEF | GEOL. EINHEITEN | SCHICHTEN OBERBOD. | AUSBAU MS | MS KATEGOR. | GW-KENNDATEN | STICHTAGSMESSG. | VERMESSG. | BAK-ZUORD. | FLUF

Analytik

Lfd. Ana.Nr: **1**

Analysedatum: **03.07.2006**

Tiefe von: bis [cm]:

Probenart: **Grundwasser**

Labornr.: **29366/935/01**

Bemerkung: **KPV**

Bemerkung Erg.:

Projektphase: **Phase 3-2**

Bodenmaterial/Humus/Aufschlußart

Ton Schluff/Lehm Sand

Humus < 8 % Humus > 8 %

Königswasser NH4NO3-Ext.

Parameter	Wert	Einheit	Nachw.grenze	Bemerkungen
elektr. Leitfähigkeit bei 20 °C	650	µS/cm		
pH-Wert (20°C)	6,98			
Sauerstoff	1,5	mg/l		
Temperatur	14,8	°C		
Summe LCKW	0,0002	mg/l		
Chlorethen(Vinylchlorid)	0	mg/l	0,0001	
Dichlormethan	0	mg/l	0,0001	
trans-1,2-Dichlorethen	0	mg/l	0,0001	
cis-1,2-Dichlorethen	0,0002	mg/l		
Trichlormethan	0	mg/l	0,0001	
1,1,1-Trichlorethan	0	mg/l	0,0001	

Datensatz: 1 von 82 | Kein Filter | Suchen

Abbildung 4-1: Erfassungsmaske ALTIS Ravensburg

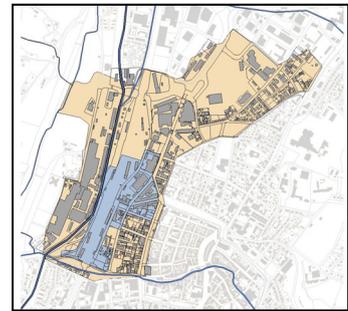
In nachfolgender **Tabelle 4-3** sind die in ALTIS Ravensburg erfassten Datenbestände aufgeführt (Stand 2011):

Datentyp	Modellgebiet	Projektgebiet
Stammdaten	1.684 Aufschlüsse	992 Aufschlüsse
Davon Messstellen	470 Messstellen	264 Messstellen
Analysestammdaten Feststoff, Bodenluft, Wasser, Eluat	892 Aufschlüsse/ 2.780 Datensätze	680 Aufschlüsse/ 2.362 Datensätze
Dabei erfasste Einzel-Analysenbefunde	50.824 Datensätze	43.622 Datensätze
Bodenansprachen nach DIN 4022	677 Aufschlüsse	616 Aufschlüsse
Erfassung geologischer Einheiten	1.155 Aufschlüsse	649 Aufschlüsse
Grundwasser Abstichsmessungen	333 Messstellen	185 Messstellen
Hydraulische Kenndaten (Transmissivität/k-Wert etc.)	207 Messstellen	120 Messstellen

Tabelle 4-3: Übersicht der in ALTIS Ravensburg erfassten Daten

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



In Ergänzung zu den Auswertungen der BAK-Sachinformationen wurden im Zuge der Projektphasen 1 und 2 die erfassten Sachdaten von Aufschlüssen und Messstellen ausgewertet. Ziel dieser Auswertungen war es, einen weitergehenden Überblick über Art und Verteilung der gegebenen Belastungssituation des Untergrunds zu entwickeln. Darüber hinaus wurden die Daten zur weiteren Differenzierung des hydrogeologischen Modells verwendet. Zu den im Zuge dieser Auswertungen berücksichtigten Kenndaten zählten insbesondere laborchemische Befunde, Bodenansprachen, Ausbauspezifikationen und Kenndaten von Messstellen sowie Stichtagsmessungen.

Zur Konzeptionierung der technischen Untersuchungen innerhalb der Projektphase 3 wurden die erfassten und ausgewerteten laborchemischen Untersuchungen maßgeblich berücksichtigt.

In den nachfolgenden Tabellen wird die Art der vorliegenden Daten sowie statistische Auswertungen dieser Datenbestände aufgeführt. Der für das Projekt bewertungsrelevante Hauptaquifer und der aufgrund seiner geringen Ergiebigkeit für die Schutzgutbetrachtungen in aller Regel nicht vordringlich berücksichtigte Geringwasserleiter werden durch stark schluffige Aulehme hydraulisch getrennt. Nähere Ausführungen zu den verschiedenen Grundwasserleitern sind in Kap. 4.4 aufgeführt.

Untersuchungsmedium	Anzahl Aufschlüsse/ Messstellen	Anzahl Einzelbefunde
Boden	334	2.788
Oberboden	21 Mischproben	257
Bodenluft	67 temporäre Messstellen	463
Grundwasser Hauptaquifer	144 Messstellen	4.422
Grundwasser Geringwasserleiter	22 Messstellen	83
Eluat	29 Aufschlüsse	178

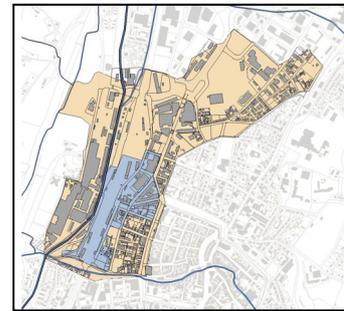
Tabelle 4-4: Laborchemische Untersuchungen differenziert nach Untersuchungsmedien (Erfassungsstand: 31.12.2003)

Untersuchungs- medium	Anzahl Mess- stellen/Eluate	Prüfwertüberschreitungen Wirkungspfad Boden – Grundwasser nach BBodSchV	
		davon > Prüfwert BBodSchV	verantwortliche Parameter
Grundwasser Hauptaquifer	144	78	Benzol/BTEX, MKW, LCKW, PAK (15), Naphthalin, Cyanid ges., Nickel, Zink
Grundwasser Geringwasserleiter	22	20	BTEX, MKW, LCKW, PAK (15), Naphthalin, Arsen, Blei, Chrom, Quecksilber
Eluat	29	25	BTEX, MKW, Naphthalin/PAK (15), Blei

Tabelle 4-5: Prüfwertüberschreitungen nach BBodSchV, für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser (Erfassungsstand: 31.12.2003)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Untersuchungs-Medium	Anzahl Messstellen Grundwasser Hauptaquifer	Anzahl Messstellen Geringwasserleiter
Grundwasser	144	22

Prüfwertüberschreitungen verantwortliche Parameter	Anzahl Messstellen > Prüfwert	
	Grundwasser Hauptaquifer	Geringwasserleiter
PAK	40	18
MKW	31	7
LCKW	23	2
Benzol	17	0
Naphthalin	16	0
BTEX	12	1
Cyanid ges.	11	0
Arsen	0	3
Nickel	3	0
Zink	2	0
Blei	0	1
Chrom gesamt	0	1
Quecksilber	0	1
Anzahl Messstellen gesamt > Prüfwert BBodSchV	78	20

Tabelle 4-6: Prüfwertüberschreitungen nach BBodSchV, Wirkungspfad Boden – Grundwasser im Hauptaquifer sowie im Geringwasserleiter, mit Auswertung der für die Überschreitungen verantwortlichen Parameter (Erfassungsstand: 31.12.2003)

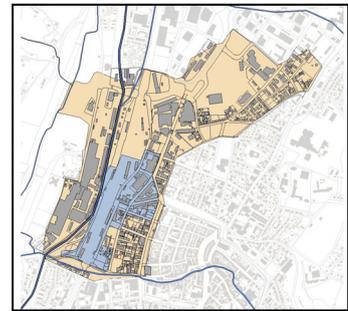
Die in den Tabellen zusammengefasste analytische Befundlage der untersuchten Medien verdeutlicht, dass bei einer Vielzahl der durchgeführten Untersuchungen sowohl im Hauptaquifer als auch im Geringwasserleiter prüfwertüberschreitende Befunde vorliegen.

Die höchste auch aus **Tabelle 4-6** mit zahlreichen Prüfwertüberschreitungen u. a. bei den Parametern PAK, Benzol, Naphtalin und Cyanid ersichtliche Datendichte lag bis zum Jahr 2003 für den Bereich des ehemaligen Gaswerks vor. Weitere Bereiche mit größerer Kenndatendichte waren der ehemaligen Schlachthof sowie diverse Altstandorte im näheren Umfeld der DB-Gleisanlagen. Darüber hinaus verteilten sich die erfassten Befunde auf die teilweise räumlich weit ausgedehnten Altablagerungen, die sich im Bereich Ravensburg Nord befinden.

Innerhalb des Projektgebiets waren im Hauptaquifer bis einschließlich 2003 insbesondere die Parameter PAK, MKW, LCKW, Benzol/BTEX sowie Cyanid für die Prüfwertüberschreitungen verantwortlich. Auffällige Schwermetallbelastungen treten nur in vereinzelten Messstellen auf.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



4.1.4 BAK und ALTIS im integrierten Einsatz

Die Möglichkeit einer kombinierten räumlichen Darstellung der erweiterten Sachdaten des BAKs (Flächeninformationen) mit den technisch-analytisch bzw. geologisch-hydrogeologischen Informationen aus ALTIS (Punktinformationen) in einem System, war eine maßgebliche Voraussetzung für die primäre Ausweisung bzw. Identifikation der relevanten Untersuchungsbereiche innerhalb des Projektgebiets. Aufgrund der erstmalig zur Verfügung stehenden gesamtschaulichen Datenerfassung bzw. Datendarstellung konnten in einem räumlich weit gefassten Kontext potenziell korrelierende Emissions- und Immissions-szenarien abgeleitet werden.

Dazu wurden die Sachinformationen des BAK wie Lage, Dimension, Nutzungsgeschichte sowie die aus der ehemaligen Nutzung/Branche abgeleitete *Arteinwirkung* (= fallbezogene Auflistung grundwassergefährdender Stoffe), mit den in ALTIS erfassten Schadstoffbelastungen des Untergrunds bzw. des Grundwassers abgeglichen. Die räumliche Korrelierung der BAK-Objekte mit den erfassten analytischen und geologischen Sachinformationen wurde dabei mit den Auswertungen der ersten großräumigen Grundwasser-Stichtagsmessungen verschnitten.

Durch Berücksichtigung der darstellbaren groß- und kleinräumigen Grundwasserfließrichtung konnten in erster Näherung zusammenhängende Belastungsbereiche sowie Art, Lage und Austragsvektoren möglicher Schadstofffahnen prognostiziert werden. Sämtliche Auswertungen wurden für die weiteren Planungen in kartografischen Darstellungen visualisiert. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sowie deren im Projektverlauf sukzessive Fortschreibung waren elementare Grundlage für die Vorplanung der Kontrollebenen bzw. der Immissionspumpversuche.

Im Verlauf der Projektentwicklung wurde es mehrfach erforderlich, das eingesetzte Informations-System an die spezifischen Datenerfassungs- und vor allem Auswertungsanforderungen anzupassen.

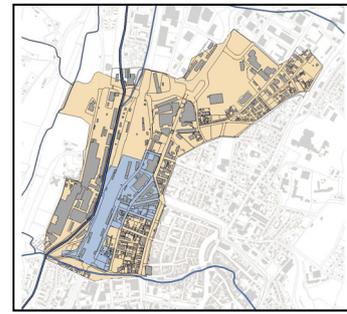
4.2 Neuabgrenzung von Ablagerungsbereichen

4.2.1 Methode der Höhenverschneidung

Die genaue Abgrenzung von Ablagerungsbereichen ist eine wesentliche Grundlage für die Festlegung und Anordnung von Kontrollebenen bei der integralen Altlastenuntersuchung. Innerhalb des Projektgebiets sind im BAK sieben kommunale Altablagerungen ausgewiesen und abgegrenzt. Vor Beginn der integralen Altlastenuntersuchung lagen Kenndaten von ca. 250 Aufschlüssen bzw. Untersuchungen der ungesättigten Bodenzone vor, die zu einem großen Teil innerhalb dieser Ablagerungsbereiche abgeteuft wurden. Von diesen 250 Untersuchungspunkten wiesen etwa 70 Aufschlüsse erhöhte Schadstoffgehalte auf. Ursächlich für die Auffälligkeiten waren insbesondere die Parameter polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs), diverse Schwermetalle sowie Cyanid, im Umfeld der Ablagerungen des ehemaligen Gaswerks. Teilweise werden diese Schadstoffe auch im räumlich assoziierten Grundwasser dieser Ablagerungsbereiche angetroffen.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Nach Auswertung von Feststoff- und Sickerwasseruntersuchungen häuften sich allerdings die Hinweise, dass die Flächengeometrien der BAK-Objekte die realen Verhältnisse unzureichend abbilden. Schadstoffhaltige Ablagerungen wurden auch deutlich außerhalb der BAK-Ablagerungsgrenzen angetroffen. Durch die Methode der Höhenverschneidung konnten die tatsächlichen Ausdehnungen der Ablagerungsgrenzen bzw. BAK-Objekte qualitativ überprüft werden.

Die Methode der Höhenverschneidung hat zum Ziel, Veränderungen des Geländeniveaus abzubilden, die innerhalb der letzten 100 Jahre im Umfeld des Projektgebiets stattfanden. Veränderungen der Geländemorphologie in dieser zeitlichen Epoche sind in aller Regel auf anthropogene Aktivitäten zurückzuführen. Dazu zählen Abgrabungen und insbesondere Auffüllungen, die im Zuge der Urbanisierung stattfanden. Ein wesentlicher Vorteil der Höhenverschneidungs-Methode ist, dass Auswertungen für einen räumlich weit gefassten Bereich mit verhältnismäßig moderatem Aufwand vorgenommen werden können.

In historischen Luftbildern ist zu erkennen, dass vor allem im nördlichen Teil des Projektgebiets bis etwa 1950 - 1960 das ursprüngliche Grünland noch nicht urbanisiert war. Das Gelände hatte die Charakteristik einer Riedlandschaft mit Vernässungszonen. Überreste dieser Geländeform finden sich noch heute im nördlichen Kammerbrühl (Ravensburg Nord/Weingarten). Im Zuge der intensivierten Besiedlung, die im nördlichen und nordwestlichen Projektgebiet erst vor ca. 50 Jahren ihren Anfang nahm, wurden weiträumige Auffüllungen vorgenommen, um zunächst das Gelände und anschließend die neu errichteten Gebäude und Verkehrswege über die Hauptvernässungshorizonte zu erheben. Für diese Geländeneivellierung wurden teilweise Auffüllmaterialien eingesetzt, die heute für typische Altlasten verantwortlich sind. Dazu zählen u. a. Schlacken aus dem ehemaligen Gaswerk, Gießereisande, Bauschutt und lokal begrenzt auch Hausmüllablagerungen. Zu einem großen Teil waren diese Flächen bereits vor Beginn der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg als kommunale Altablagerungen im BAK erfasst.

Die im Zuge der integralen Altlastenuntersuchung für das gesamte Projektgebiet durchgeführten Höhenverschneidungen vergleichen das digitale topografische Höhenmodell des Jahres 2001 (DTM), mit den Höheninformationen des Jahres 1903.

Die Ur-Höhen beruhen auf amtlichen Vermessungen, die in Württemberg unter anderem um 1900 systematisch durchgeführt wurden. Diese Daten konnten für das Projektgebiet als Ur-Höhenflurkarten über das Landesvermessungsamt Stuttgart bezogen werden. Die Rohdaten sind georeferenzierte Scans, mit Höhen-Punktinformationen und Isohypsen. Ein Ausschnitt einer solchen Ur-Höhenflurkarte wird in der nachfolgenden **Abbildung 4-2** dargestellt. Nach lagegenauer Digitalisierung der als Punktinformation vorliegenden Ur-Geländehöhen, kann interpolativ eine sogenannte Ur-Höhenebene generiert werden.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

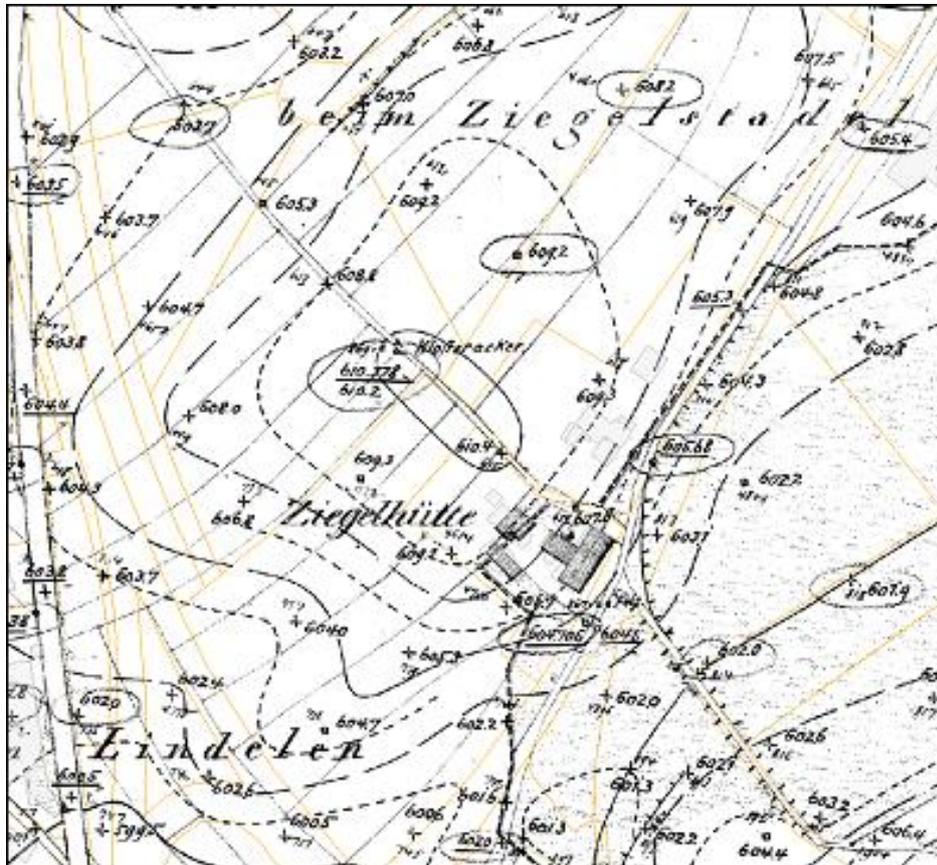
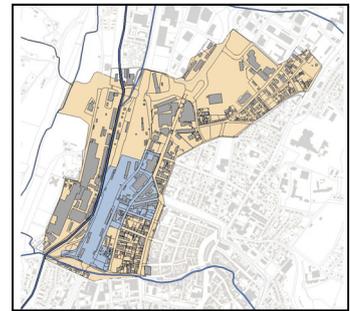


Abbildung 4-2: Ausschnitt Ur-Höhenflurkarte 1903 mit Höhenpunkten und Isohypsen

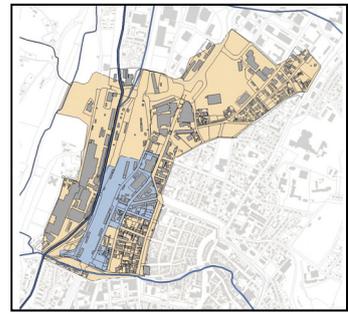
Die aktuelle Höhenebene wird aus Daten von Laserscanvermessungen erstellt. Die Rohdaten der aktuellen Geländehöhen stammten aus einer 2001 durchgeführten Vermessungsbefliegung. Aus diesen Vermessungen resultiert unter anderem ein digitales topografisches Modell (DTM), in dem die zum Zeitpunkt der Befliegung angetroffene Geländemorphologie abgebildet wird. Der Gebäudebestand und die Vegetation (Bäume, Büsche) werden bei dieser Darstellung EDV-technisch entfernt. Die Daten aus dem DTM wurden durch die Stadt Ravensburg zur Verfügung gestellt.

Für die schlussendliche Höhenverschneidung wird mit geeigneten EDV-technischen Methoden diese Ur-Höhenebene von der aktuellen Höhenebene subtrahiert. In **Abbildung 4-3** ist das Prinzip der Höhenverschneidung schematisch abgebildet. Durch Subtraktion des **Dateninputs 2** (Ur-Höhenebene 1903) vom **Dateninput 1** (DTM Höhendaten 2001) resultieren als **Datenoutput** die Differenzen der beiden Höhenebenen.

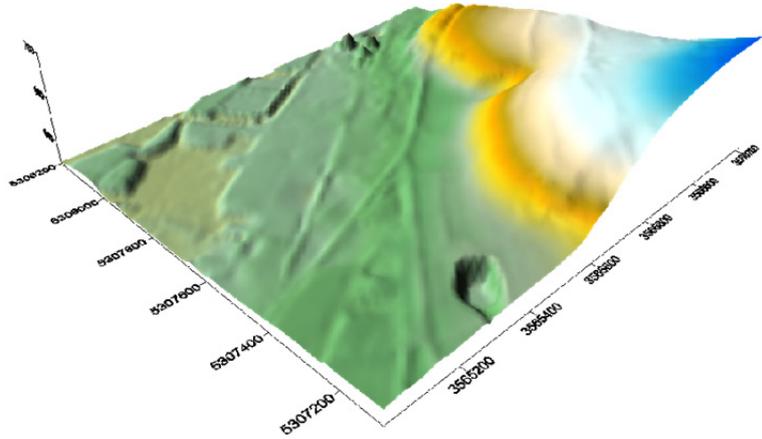
Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg

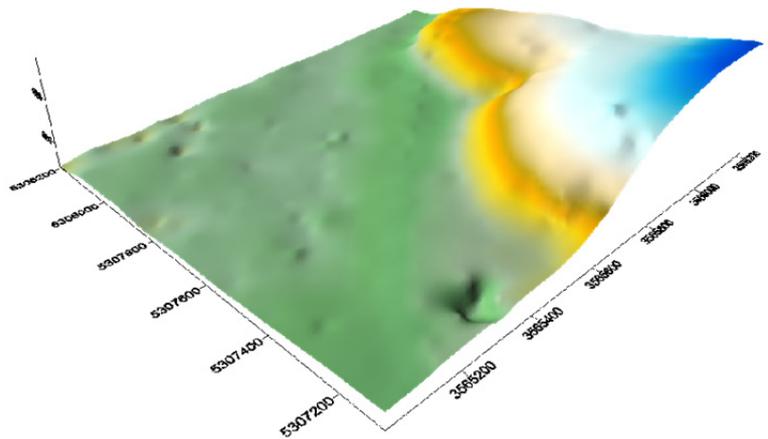
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Dateninput 1:
Höhenebene 2001 (3D)



Dateninput 2:
Ur-Höhenebene 1903 (3D)



Datenoutput [überhöht]:
Resultierend Höhendifferenz 2001 - 1903 (3D)

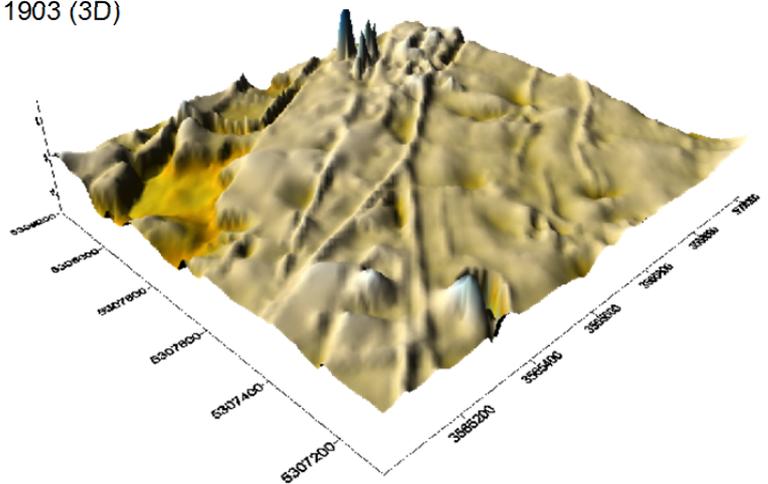
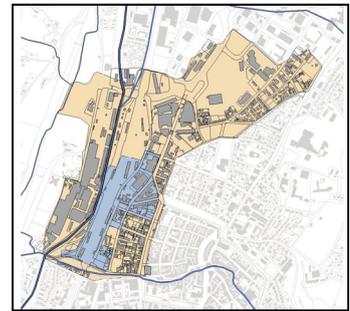


Abbildung 4-3: Prinzip der Höhenverschneidung

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Ergänzend zu den Sachdaten des BAK und der in ALTIS erfassten Punktinformationen wurde durch die Höhenverschneidung zusätzlich ein wichtiger Informations-Pool geschaffen, durch den Lage, Ausdehnung und ungefähre Mächtigkeit von Auffüllungs- bzw. Abgrabungsbereichen ausgewiesen wurden. Das Ergebnis präzisiert die Flächeninformationen des BAK. Teilweise mussten aufgrund der Ergebnisse aus der Höhenverschneidung Flächenabgrenzungen bzw. Geometrien von BAK-Objekten korrigiert werden.

Die aus der Verschneidung resultierenden Höhendifferenzen wurden in der Ergebnisdarstellung farblich klassifiziert. Abgrabungen wurden dabei mit unterschiedlicher Intensität blaugefärbt (hellblau zu dunkelblau, mit zunehmender Abgrabungstiefe). Auffüllungen bzw. Anschüttungen wurden in den Darstellungen mit zunehmender Auffüllungshöhe von gelb über orange zu rot und violett eingefärbt (siehe **Abbildung 4-4**).

Das Ergebnis der Höhenverschneidung innerhalb des Projektgebiets ist in der nachfolgenden **Abbildung 4-4** dargestellt.

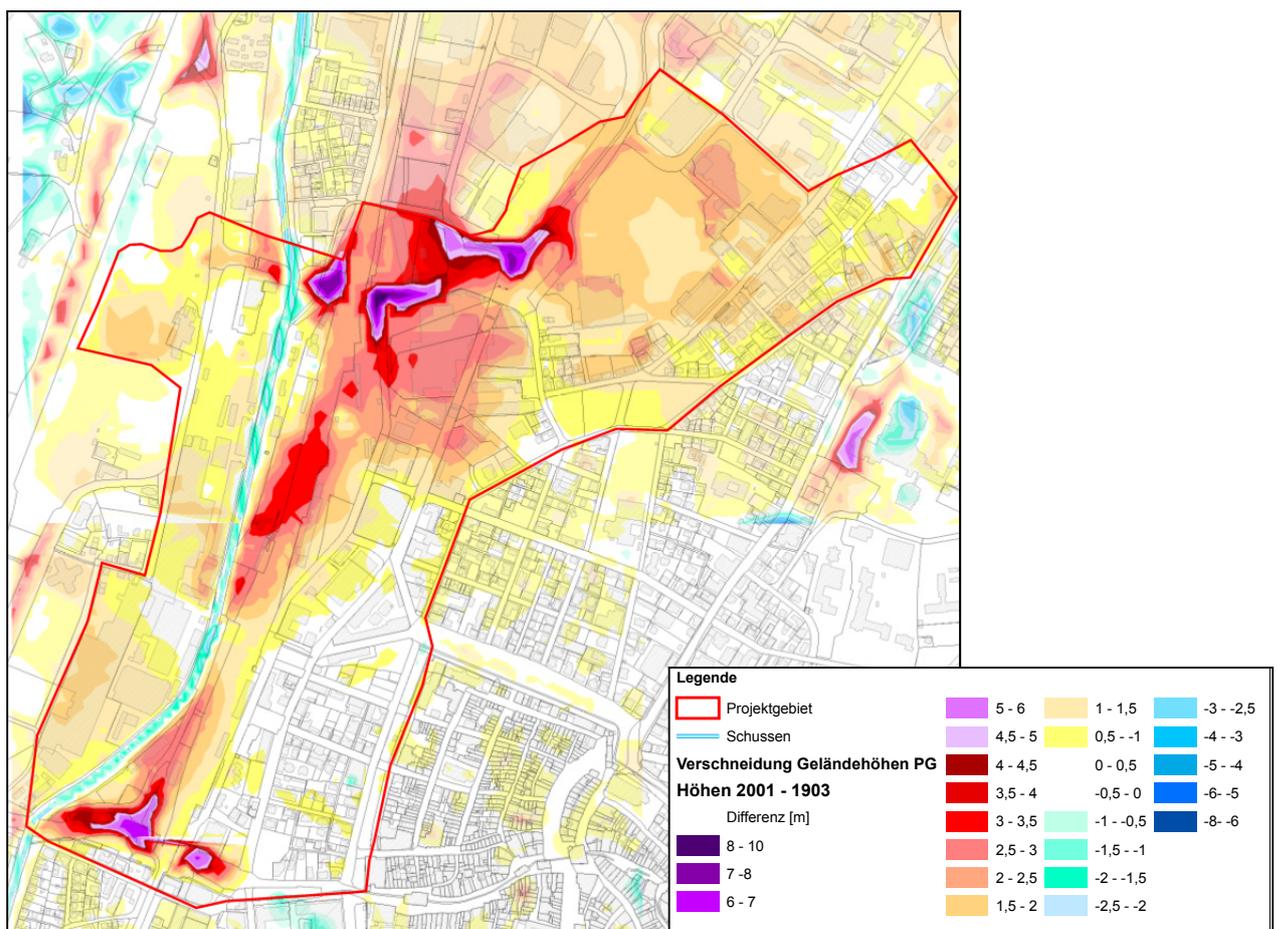
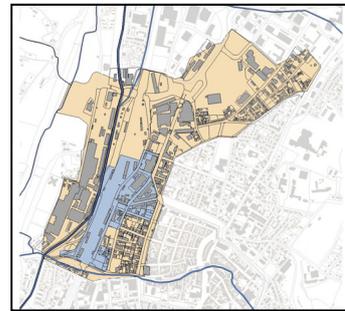


Abbildung 4-4: Ergebnis Höhenverschneidung 2001 - 1903 im Projektgebiet

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



4.2.2 Überprüfung durch Rammkernsondierungen

Zur Überprüfung der Untergrundqualität wurden in der Projektphase 3.3 in den aus der Höhenverschneidung abzuleitenden Verdachtsbereichen insgesamt 52 Rammkernsondierungen mit einem Durchmesser von je 50 mm abgeteuft. Die Sondiertiefen lagen dabei zwischen 0 und 430 cm unter GOK. Die im Zuge dieser Bohrkampagne entnommenen Bodenproben wurden zur dezidierten Überprüfung der stofflichen Qualität des Untergrunds tiefenhorizontiert analysiert. Bei der Planung dieser Sondierungen wurde weiterhin der erfasste Alt-Datenbestand berücksichtigt, sodass sich die Untersuchungen ausschließlich auf die vorhandenen Datenlücken konzentrierten.

Unter Berücksichtigung der Sensorik (Geruch, visueller Eindruck) sowie der im BAK dokumentierten Ursachen und Arteinwirkungen, wurde der zu untersuchende Parameterumfang festgelegt. Analysiert wurden die Parameter PAK, Schwermetalle und Cyanid. Bei geruchlicher Auffälligkeit wurden zusätzlich die Mineralölkohlenwasserstoff-Konzentrationen überprüft.

Als Ergebnis dieser Bohr- und Beprobungskampagne resultiert, dass in insgesamt 19 der 52 Sondierungen auffällig erhöhte Schadstoffbelastungen vorliegen. Verantwortliche Parameter sind dabei insbesondere PAKs (Maximalkonz. bis 300 mg/kg) und Mineralölkohlenwasserstoffe, neben vereinzelt auffällig erhöhten Zink-, Kupfer-, Nickel und Quecksilberkonzentrationen. Die Belastungen reichen bis in Tiefen von 300 cm unter GOK.

In acht der 19 auffälligen Feststoffbefunde wurden die höchsten Konzentrationen in einem Tiefenbereich zwischen 0 bis 100 cm unter Geländeoberkante festgestellt. Da diese relativ oberflächennahen Auffälligkeiten auch in einem Bereich mit Wohnbebauung festgestellt wurden, kam es hier zu einer ergänzenden Überprüfung der Wirkungspfade Boden – Mensch/ Boden – Nutzpflanze, nach den Vorgaben der Bundesbodenschutzverordnung. Die Untersuchung und Bewertung der benannten Wirkungspfade wurde in einer eigenständigen orientierenden Untersuchung realisiert.

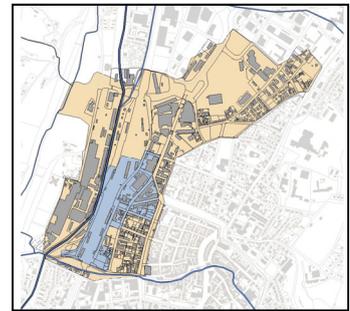
Die Informationen aus der Höhenverschneidung im Verbund mit den Ergebnissen aus der Bohr- und Untersuchungskampagne ermöglichen eine präzisere räumliche Abgrenzung der kommunalen Altablagerungen innerhalb des Projektgebiets. Dies führte schlussendlich dazu, dass die Ablagerungsgrenzen mehrerer BAK-Objekte im zentralen und nördlichen Projektgebiet korrigiert werden mussten. Die neu resultierenden Abstrombreiten und Flächenausdehnungen sind maßgeblich für die nachgeschalteten Untersuchungen und Bewertungen der Einzelobjekte.

4.3 Bestandsaufnahme des Grundwassermessstellennetzes

Grundwassermessstellen bilden bei der integralen Altlastenuntersuchung die wesentliche Grundlage für Aussagen zur Grundwasserströmungssituation, zu hydraulischen Kennwerten sowie zur Schadstoffimmission. Zur Einsparung von Kosten für neue Bohrungen wurde angestrebt, möglichst viele Grundwassermessstellen aus dem Bestand für die integrale Untersuchung zu verwenden. Voraussetzung für verlässliche Messungen und Aussagen sind allerdings eine möglichst umfassende Kenntnis des vorhandenen Messstellenbestands. Hierzu gehören der Zustand und die Funktionstüchtigkeit der vorhandenen Messstellen sowie verlässliche Messstellenkoordinaten bzw. Messpunkthöhen.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Bei der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg erfolgte bereits in einer frühen Phase (Sommer 2003) eine umfassende Bestandsaufnahme der nach Aktenlage des Landratsamtes und der beteiligten Ingenieurbüros bekannten Grundwassermessstellen. Von den nach Aktenlage erfassten 343 Grundwassermessstellen konnten bei einer Erstbegehung 196 gefunden und dokumentiert werden. Nach Aufnahme des Zustands, des Ausbaudurchmessers und der lotbaren Tiefe konnten 179 Grundwassermessstellen dem relevanten quartären Grundwasserleiter zugeordnet und als prinzipiell verwendbar klassifiziert werden. Von den verwendbaren Messstellen wurden 92 Grundwassermessstellen nach den Kriterien Lage, Ausbaudurchmesser und Tiefe für weitere Messungen im Zuge der integralen Altlastenuntersuchung ausgewählt. Über 70 Messstellen mit nicht zweifelsfrei verlässlichen Koordinaten und Höhen wurden neu vermessen.

Bei 50 Grundwassermessstellen, die verwendet werden sollten, war die hydraulische Funktion unbekannt oder unsicher. An diesen Messstellen wurden einfache Funktionsüberprüfungen in Form von Auffüllversuchen oder Slug&Bail-Tests mit Verdrängungskörper durchgeführt. 47 Messstellen zeigten eine eindeutige hydraulische Reaktion und wurden im weiteren Messprogramm belassen. Drei Messstellen ohne hydraulische Reaktion und damit fehlendem oder unzureichendem Anschluss an den Grundwasserleiter wurden nicht weiter verwendet. Der Messstellenbestand, klassifiziert nach verwendet und nicht verwendet, ist in **Abbildung 4-11** dargestellt.

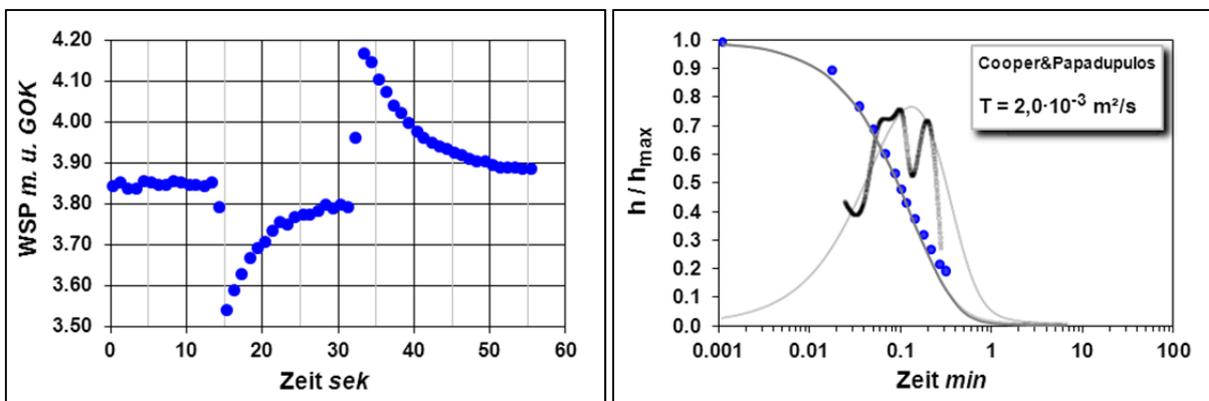
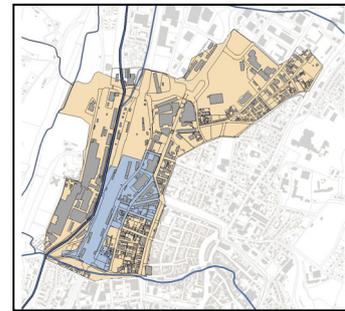


Abbildung 4-5: Beispiel für einen Slug&Bail-Test (links) und Abschätzung der hydraulischen Kennwerte mit dem Typkurvenverfahren nach COOPER ET AL.

In vielen Fällen konnten die Auffüll- und Slug&Bail-Tests auch hydraulisch ausgewertet werden. Zur Bestimmung der Transmissivität wurde das Typkurvenverfahren nach COOPER ET AL. (1967) sowie das Geradenverfahren nach HVORSLEV (1951) eingesetzt (**Abbildung 4-5**). Das Typkurvenverfahren liefert neben dem Transmissivitätswert auch einen Wert für den Skinfaktor, der Auskunft über den Zustand und hydraulischen Anschluss der Messstelle an den Aquifer gibt. Genauere Verfahrensbeschreibungen finden sich im Grundbau-Taschenbuch (ODENWALD, B., HEKEL, U. & THORMANN, H. 2009).



4.4 Hydrogeologisches Modell (HGM)

Aufgabe des Hydrogeologischen Modells (HGM) ist es, die geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten zu beschreiben, zu abstrahieren, zu vereinfachen und daraus ein Systemverständnis zu entwickeln. Da dieses Systemverständnis Voraussetzung und Grundlage für die weitere Planung ist, wurde das HGM bereits in der Anfangsphase des Projekts erstellt. Somit konnten Defizite im Systemverständnis rechtzeitig erkannt und Lücken durch ergänzende Bohrungen und Untersuchungen geschlossen werden. Darüber hinaus bildet das HGM die Grundlage für das numerische Grundwassermodell (Kap. 4.6).

Die wichtigsten Arbeitsschritte der Erstellung des HGM sind:

- Abgrenzung des Bilanz- und Modellgebiets
- Beschreibung der hydrostratigrafischen Einheiten
- Beschreibung der Grundwasserströmung
- Aufstellung der Wasserhaushaltsbilanz
- Vorgaben für das numerische Grundwassermodell

Wesentliche Grundlage zur Erstellung des HGM ist die „Geologisch-hydrogeologische Gliederung des Untergrunds im Stadtbereich Ravensburg“, die als Vorarbeit für die integrale Altlastenuntersuchung in der Zeit vom 01.12.1998 bis 29.02.2000 durch das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau bearbeitet wurde (ELLWANGER ET AL., 2000).

4.4.1 Bilanz- und Modellgebiet

Das ca. 1 km² große Untersuchungsgebiet der integralen Altlastenuntersuchung liegt im etwa Nord-Süd verlaufenden Schussental, das im Bereich von Ravensburg eine Breite von ca. 1.500 m aufweist. Die Höhenlage der Schussen in Ravensburg beträgt etwa +420 m ü. NN, während die westlich und östlich angrenzenden Hochflächen auf Höhen von teils über +600 m ü. NN ansteigen. Diese Hochflächen werden von mehreren Bächen (Flappbach, Scherzach, Höllbach, Schwalbenbach) durchschnitten, die zur Schussen entwässern.

Morphologisch ist das Schussental gegliedert in:

- die Verebnungsfläche der Talaue
- den Schwemmfächer und das Seitental des Flappachs
- den Schwemmfächer und das Seitental der Scherzach
- die Schwemmfächer und Seitentäler kleinerer Bäche
- die Talflanken

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

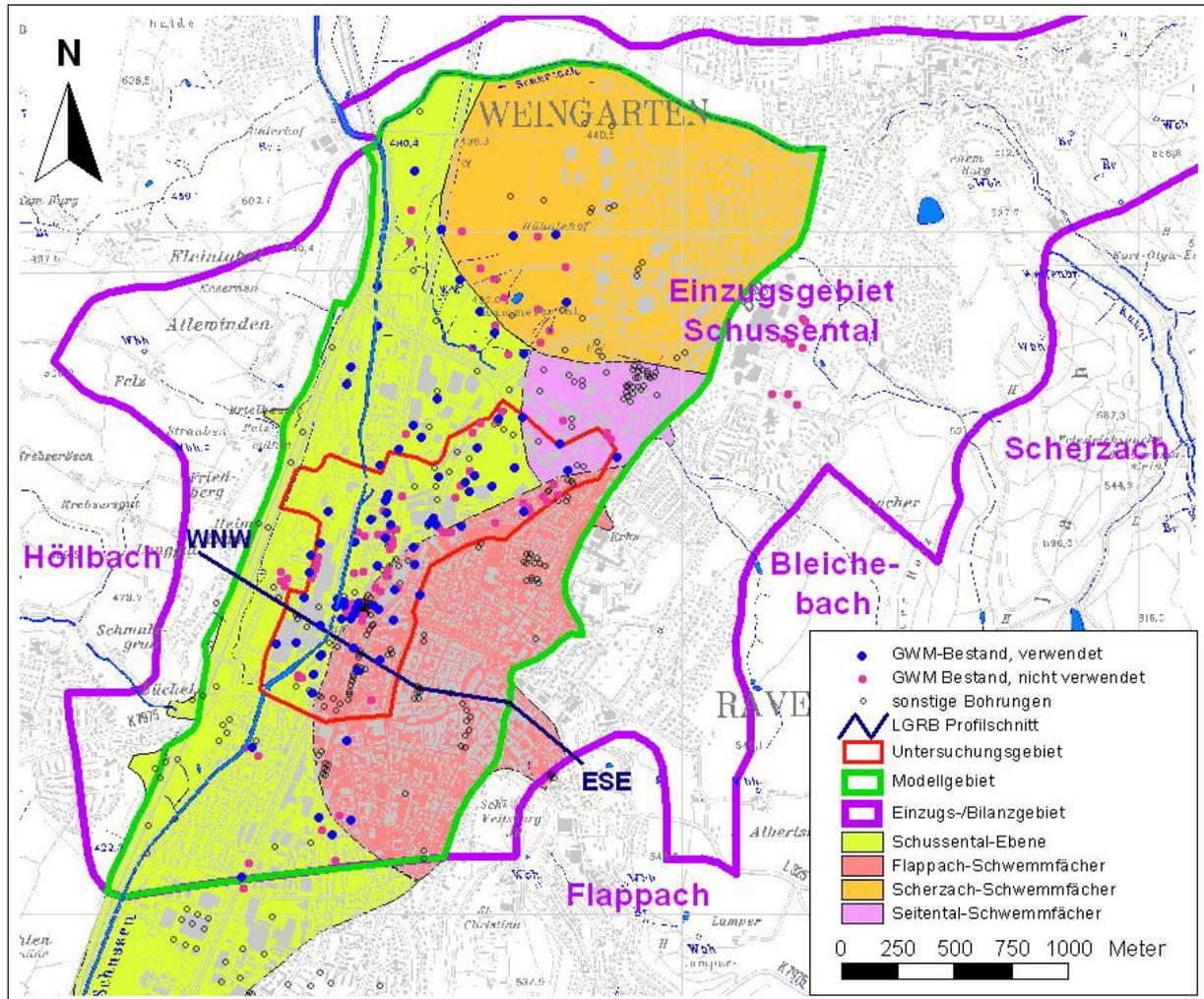
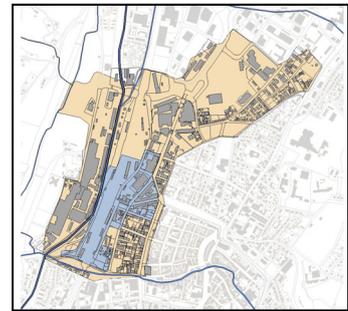


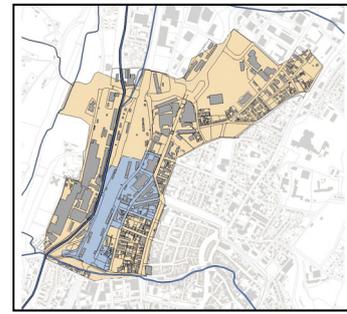
Abbildung 4-6: Abgrenzung des Bilanz- und Modellgebiets mit den morphologisch-hydrogeologischen Einheiten des Schussentals

Der Bilanzraum wurde entlang hydrogeologisch relevanter bzw. hydraulisch wirksamer Ränder abgegrenzt. Dabei konnte davon ausgegangen werden, dass die Einzugsgebiete des betrachteten oberflächennahen Grundwasservorkommens im Schussental mit den Grenzen der oberirdischen Einzugsgebiete der Schussen und ihrer Zuflüsse weitgehend deckungsgleich sind. Des Weiteren wird zumindest bereichsweise von einer Koppelung der Oberflächengewässer mit dem Grundwasser ausgegangen (In- und Exfiltration) wobei die Schussen die Hauptvorflut bildet.

Somit umfasst der Bilanzraum das Schussental zwischen seinen oberirdischen Hangeinzugsgebietsgrenzen im Westen und Osten (**Abbildung 4-6**). Die Nordgrenze wird durch die Scherzach bzw. deren Einzugsgebiet gebildet. Im Süden wird der Bilanzraum durch eine Ost-West verlaufende Trennstromlinie des (zunächst angenommenen) Grundwasserflusses vom östlichen Talrand zur im äußersten Westen des Tals verlaufenden Schussen abgegrenzt.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Als Modellgebiet wurde der Teil des Bilanzgebiets abgegrenzt, in dem ein durchgehender quartärer Grundwasserleiter ausgebildet ist. Mit 5,5 km² umfasst das Modellgebiet somit den Bereich der Talau und der Schwemmfächer ohne die Talflanken.

4.4.2 Hydrostratigrafische Einheiten

Das Bilanzgebiet liegt im Verbreitungsraum des ehemaligen Rheingletschers, der im Pleistozän während mehrerer Vorstoß- und Rückzugsphasen die heutigen Geländeformen und Ablagerungen geschaffen hat. Durch Tätigkeit des Gletschers und durch Schmelzwassererosion entstanden im Quartär im Bereich Ravensburg zwei Becken, die in die weichen Gesteine der tertiären Schichten (Obere Süßwassermolasse) eingetieft wurden. Beide Becken wurden anschließend zum Teil wieder mit glazialen und fluviatilen Sedimenten verfüllt und sind heute morphologisch nicht mehr erkennbar. Ablagerungen des älteren (vermutlich riß-würmzeitlichen) und weniger stark in die Obere Süßwassermolasse eingetieften Beckens finden sich östlich des heutigen Schussentals. In dieses ältere Becken ist in einer darauffolgenden Vereisung das jüngere Becken weiter in die Obere Süßwassermolasse eingetieft worden. Das jüngere Becken entspricht dem heutigen Schussental (**Abbildung 4-7**).

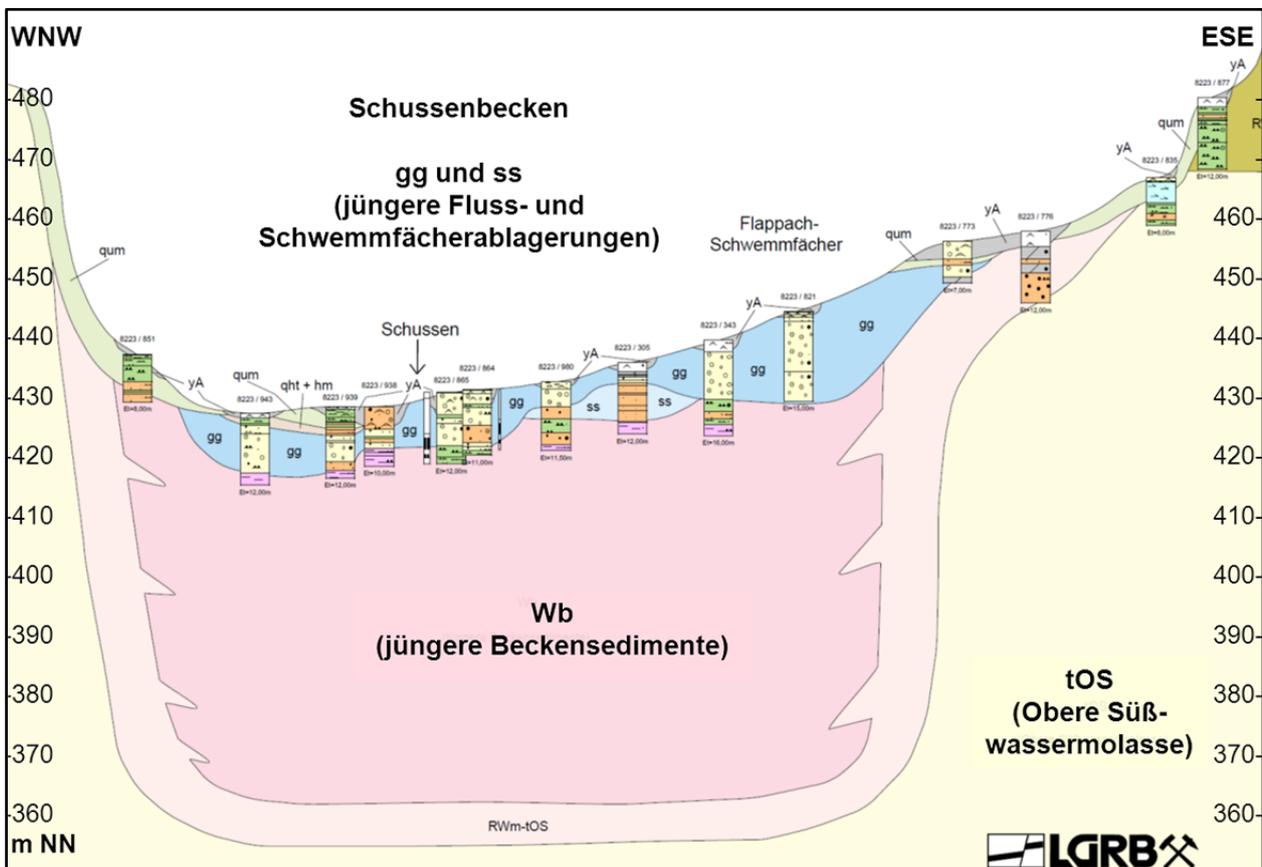
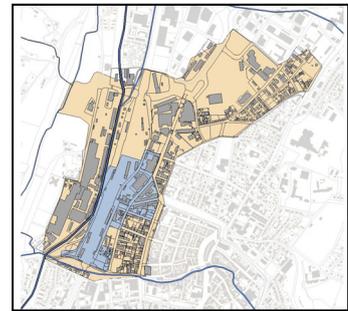


Abbildung 4-7: Geologisches Profil durch das Schussenbecken (Quelle: ELLWANGER ET AL., 2000)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Für die integrale Altlastenuntersuchung sind die über den würmeiszeitlichen bindigen Beckensedimenten anstehenden spätpleistozänen bis holozänen Ablagerungen relevant. Sie werden nach ELLWANGER ET AL. (2000) in folgende Einheiten gegliedert:

Anthropogene Auffüllung (yA): Innerhalb des Schussentals besteht die oberflächennächste Schicht meist aus einer anthropogenen Auffüllung (yA), die durch unterschiedliche Herkunft eine stark wechselnde Materialzusammensetzung und damit sehr inhomogene hydraulische Eigenschaften aufweisen.

Umlagerungssedimente (gum): Diese aus Umlagerungsvorgängen entstandenen Sedimente finden sich in Hanglagen, an Hangfüßen und teilweise auch im Bereich der Schwemmfächer. Die tonig bis kiesigen Ablagerungen umfassen das gesamte Korngrößenpektrum und lassen sich nicht eindeutig einer der übrigen geologischen Einheiten zuordnen. Aufgrund des hohen Anteils an Feinkorn und der schlechten Sortierung sind sie meist gering durchlässig. Die Mächtigkeit kann an den Talflanken mehr als 10 m betragen.

Moorbildungen (qht), Altwassersedimente (ht): Moorbildungen und Altwassersedimente werden überwiegend im Norden zwischen den Schwemmfächern des Flappachs und der Scherzach sowie deren Verzahnungsbereich mit den übrigen Deckschichten angetroffen. Bei den organischen Sedimenten handelt es sich um Mudden und Torfe. Die Altwassersedimente setzen sich aus schluffigen Tonen und tonigen, feinsandigen Schluffen zusammen, lokal auch mit Einschaltungen etwas gröberer Sedimente. Die Altwassersedimente bilden in der Regel die Basislagen der organischen Sedimente. Es bestehen je nach Gehalt an organischen Bestandteilen Übergänge zu den Moorbildungen. Meist sind die Schichten gering durchlässig und wassergesättigt. Die Mächtigkeit beträgt bis zu rd. 5 m.

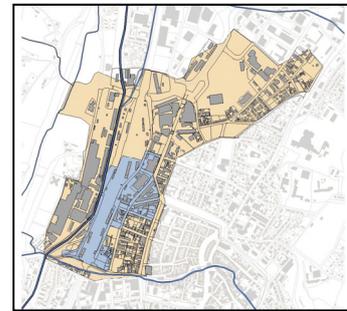
Auenlehm (hl): Der Auenlehm ist als Hochwasserablagerung in der Schussenniederung flächenhaft verbreitet. Die Mächtigkeit der überwiegend sandigen und tonigen Schluffe beträgt meist zwischen 1 und 3 m. Die Wasserdurchlässigkeit ist aufgrund des hohen Anteils an Feinkornfraktionen gering bis sehr gering. Die besondere Bedeutung des Auenlehms liegt darin, dass er bei Überlagerung Grundwasser führender Schichten zu gespanntem bzw. teilgespanntem Grundwasser führt.

Flussschotter und -kiese (gg): Bei den Flussschottern handelt es sich um fluviatile Ablagerungen mit geringem Feinkornanteil. Meist werden sie durch sandige bis stark sandige leicht schluffige und teils steinige Kiese gebildet. Wegen fehlender lithologischer Unterschiede und inhomogener Bohraufnahmen ist eine Unterscheidung der Schussentalkiese von den Schwemmfächersedimenten der Seitentäler nicht durchgehend möglich.

Flusssande (ss): Hierbei handelt es sich ebenfalls um fluviatile Sedimente der Schussen bzw. der Seitenbäche. Die Flusssande finden sich im Randbereich der Schwemmfächer und unter den Schwemmfächern. Ihre Mächtigkeit der Flusssande variiert zwischen 1 und 9 m. Trotz ihrer teils schluffigen Nebengemengteile ist bei den Flusssanden von einer Wasserdurchlässigkeit auszugehen, die zwar geringer ist als bei den Kiesen, aber eine eindeutige Zuordnung zum Grundwasserleiter erlaubt.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Beckensedimente (Würm-Komplex, Wb): Die würmzeitlichen Beckensedimente bilden den Hauptanteil der Füllung des jüngeren Beckens, des heutigen Schussenbeckens. Ihre Verbreitung ist auf das Schussental beschränkt. Sie bestehen aus konsolidierten schluffigen Tonen und tonigen Schluffen mit vereinzelt Dropstones. Sie können ungeschichtet oder als Wechsellagerungen („Bändertone“) vorliegen. Die Mächtigkeit beträgt zwischen 40 und 60 m. Die Wasserdurchlässigkeit der Beckensedimente ist sehr gering, sie bilden daher die Sohlschicht der überlagernden Grundwasserleiter.

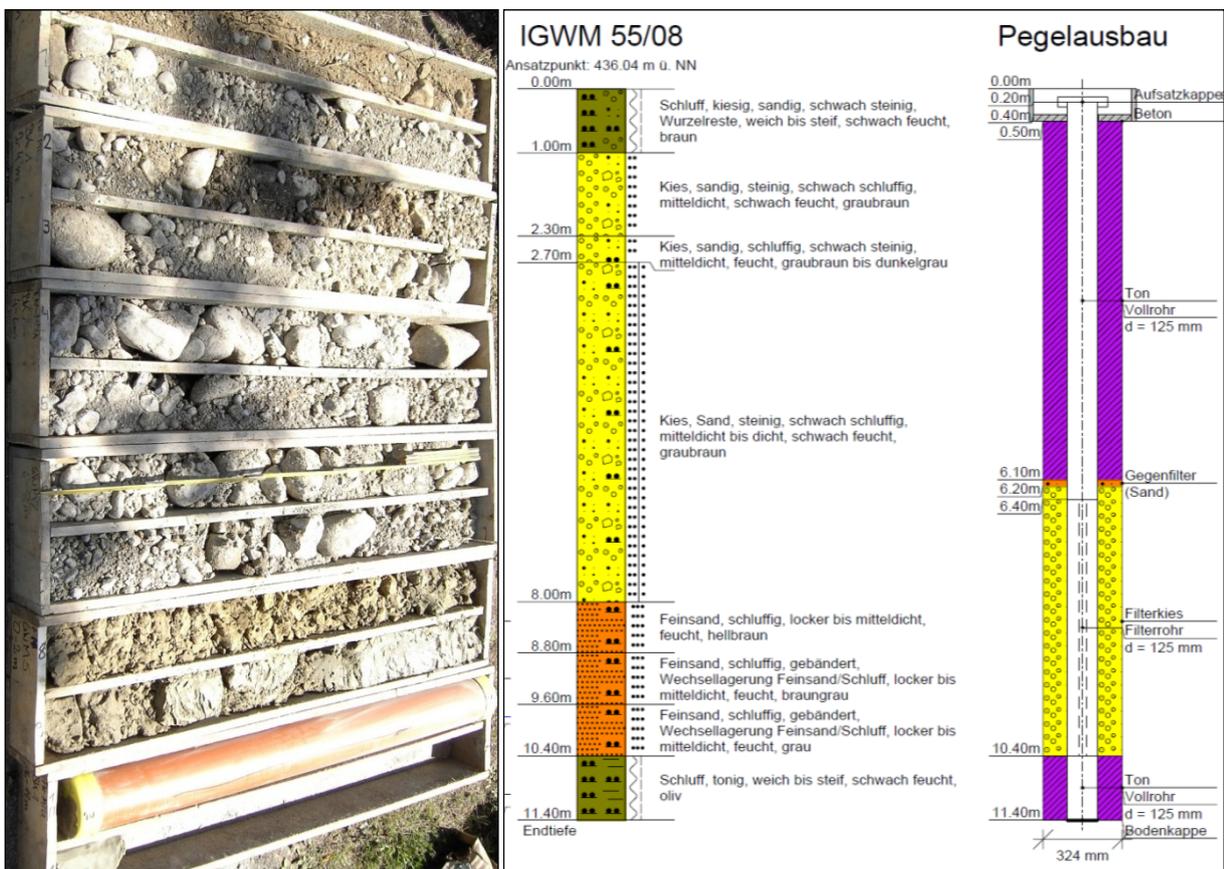


Abbildung 4-8: Typische Abfolge aus sandig-steinigen Kiesen über Feinsanden und der Aquiferbasis aus tonigem Schluff

Die Flussschotter, -kiese und -sande bilden den bei der integralen Altlastenuntersuchung betrachteten Grundwasserleiter (**Abbildung 4-8**). Die Aquiferbasis ist über weite Bereiche identisch mit der Oberfläche der würmeiszeitlichen Beckensedimente. Sie fällt von Osten nach Westen zu einer Tiefenlinie im Bereich der Schussen ein (**Abbildung 4-9**). Im Osten zeichnet sich die Geometrie der Schwemmfächer ab. An den Rändern der Schwemmfächer und ausgehend von Seitentälern zeigen sich an der Kiesbasis Erosionsrinnen in den Beckensedimenten. Die Sedimentschüttungen von Osten führten zur Ausbildung einer nach Südwesten gerichteten Hauptrinne am Westrand des Schussenbeckens.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

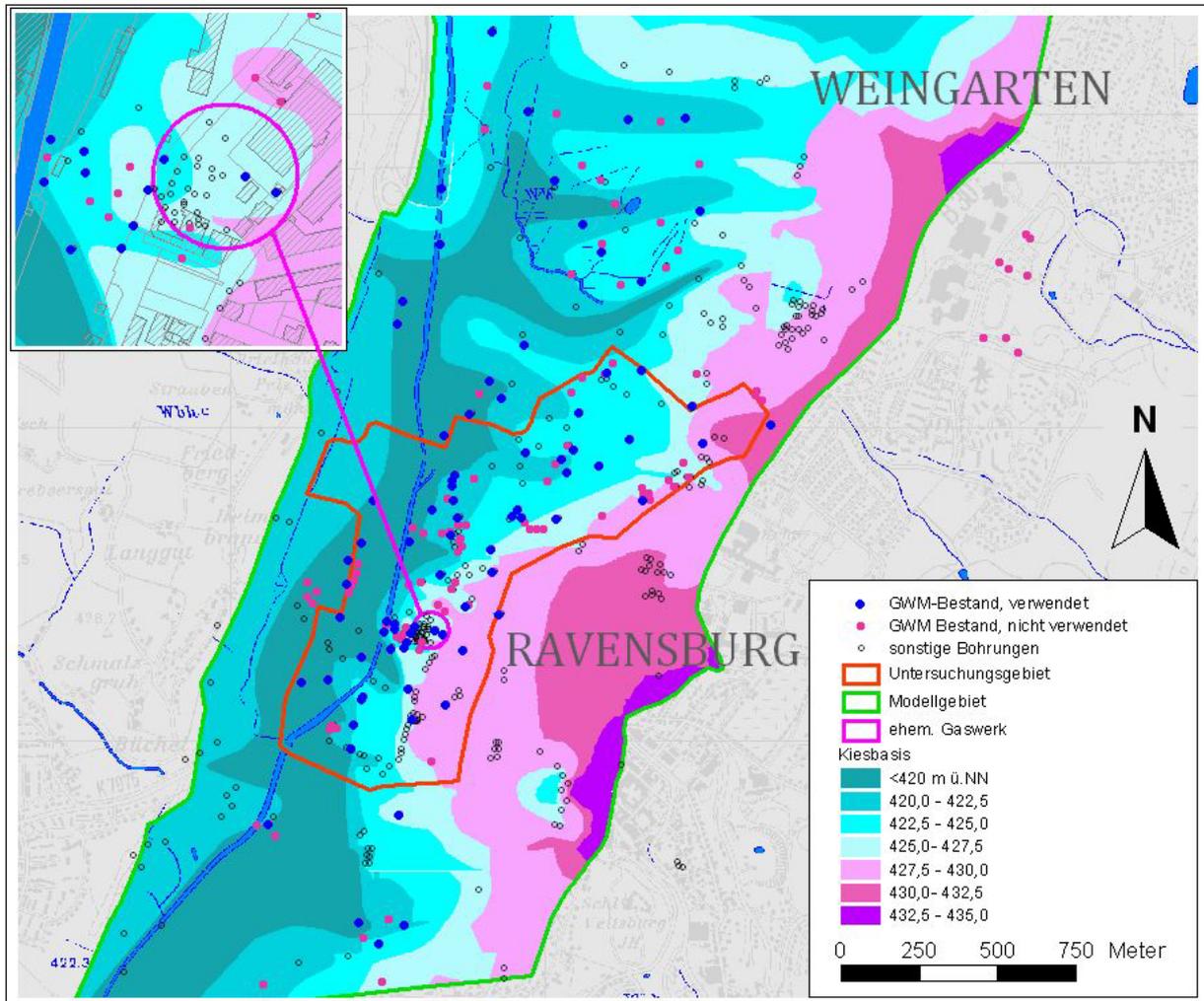
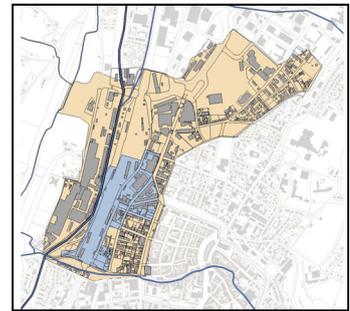
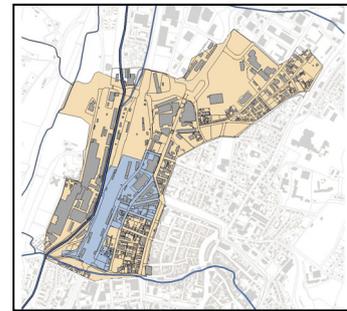


Abbildung 4-9: Basis der quartären Bach- und Flussablagerungen (nach ELLWANGER ET AL., 2000)

Die Erfassung der Rinnenstrukturen der Aquiferbasis kann immer nur so gut sein wie die Aufschlussdichte. Mit ca. 500 Belegpunkten für die Aquiferbasis ergibt sich eine mittlere Dichte von einem Belegpunkt je Hektar im Modellgebiet bzw. zwei Belegpunkten je Hektar im engeren Untersuchungsgebiet. Mit dem hieraus im Mittel resultierenden 100- bzw. 70-m-Raster ist zu erwarten, dass die o. a. übergeordnete Struktur der Aquiferbasis und die Hauptrinnen hinreichend genau erfasst sind. Diese in (**Abbildung 4-9**) dargestellte übergeordnete Struktur wird jedoch von einer kleinräumigen Rinnenstruktur überprägt. Im Zuge der Sanierung des ehemaligen Gaswerks Ravensburg zeigte ein Blick auf die über eine Fläche von ca. 50 x 40 m freigelegte Aquiferbasis sehr eindrücklich die enge Abfolge mehrerer Kiesrinnen (**Abbildung 4-10**).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Auf engem Raum weist die Aquiferbasis hier Höhendifferenzen von bis zu 2,5 m auf, die Abstände der von Osten nach Westen verlaufenden Rinnenachsen betragen ca. 15 m. Damit ist erkennbar, dass im HGM die kleinräumige Rinnenstruktur mit der zur Verfügung stehenden Belegpunktdichte nicht erfasst werden kann. Dies gilt auch für die späteren Kontrollebenen, bei denen sich durch vorhandene Bohrungen und neue Kontrollbrunnen Belegpunktabstände zwischen ca. 15 und 50 m ergeben.



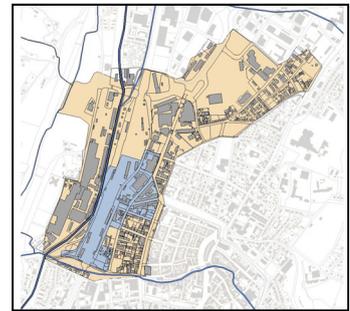
Abbildung 4-10: Blick auf die Rinnenstruktur der freigelegten Aquiferbasis während der Sanierung des ehem. Gaswerks Ravensburg

4.4.3 Grundwasserströmung

Die Erfassung der Grundwasserströmung ist eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung einer zutreffenden hydrogeologischen Modellvorstellung und die Planung der integralen Untersuchung.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Mit den in der Messstellenerhebung ausgewählten 89 Grundwassermessstellen wurden im August und Dezember 2003 erste Stichtagsmessungen der Grundwasserstände im quartären Grundwasserleiter durchgeführt. Aus dem hieraus konstruierten Grundwassergleichenplan wurde die für die Entwicklung der hydrogeologischen Modellvorstellung maßgebliche Grundwasserströmung abgeleitet. Darüber hinaus konnten Bereiche identifiziert werden, in denen die Aufschlussdichte gering war und noch keine belastbare Datengrundlage bestand.

Zusammen mit den ersten beiden Stichtagsmessungen der Grundwasserstände wurden im August und Dezember 2003 auch an 20 Punkten Wasserstandsmessungen der Schussen sowie ihrer Zuflüsse vorgenommen. Diese Messungen dienten der Klärung von Wechselwirkungen zwischen dem Grundwasser und den Oberflächengewässern (influente bzw. effluente Gewässerabschnitte). Begleitend wurden auch Abflussmessungen durchgeführt. Sie sollten zur Quantifizierung des Grundwasserabflusses in die Schussen dienen, erwiesen sich hierzu in Ermangelung definierter Messquerschnitte und -einrichtungen jedoch als zu ungenau.

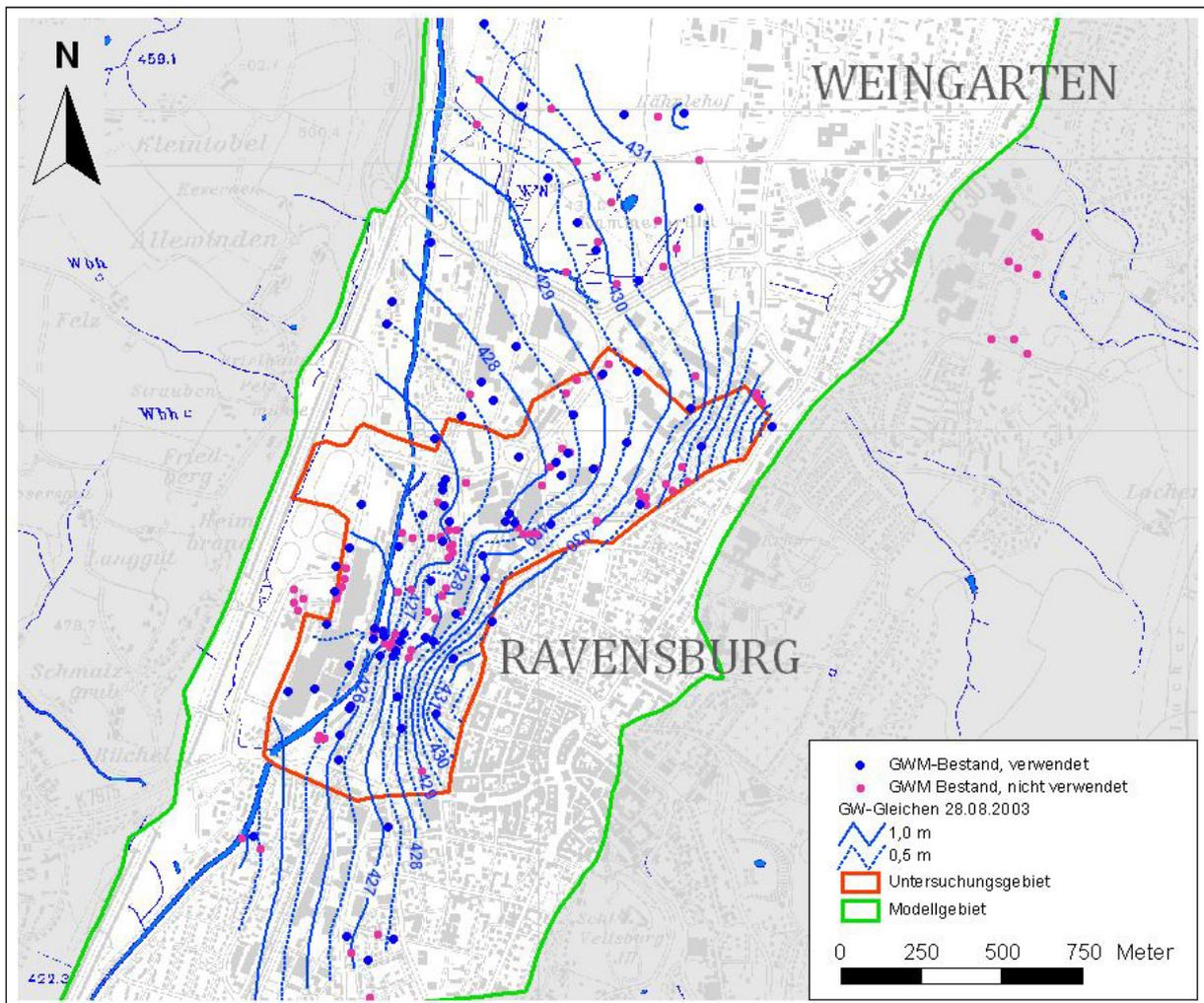
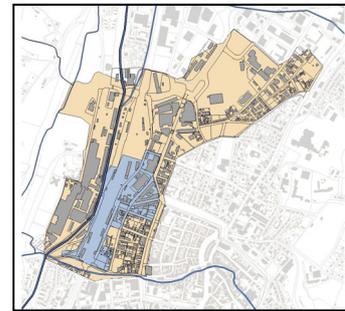


Abbildung 4-11: Ergebnis der Messstellenerhebung und ersten Stichtagsmessung der Grundwasserstände vom 28.08.2003

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Aus dem Grundwassergleichenplan (**Abbildung 4-11**) wird deutlich, dass die Grundwasserströmung im Schussental wesentlich durch die Geometrie der Aquiferbasis bestimmt wird. Sie zeichnet in gedämpfter Form das Einfallen der Basis von NNE nach SSW bzw. von E nach W nach. Die Grundwasserströmung ist auf die Tiefenlinie der Basis gerichtet, im Strukturtiefsten schwenkt sie in südliche Richtung um.

Westlich der Schussen ließen sich mit dem Messstellenbestand noch keine Aussagen über die Grundwasserströmung und die Wechselwirkungen zwischen Schussen und Grundwasser treffen. Damit war auch zunächst noch ungeklärt, wo die Schussen die Vorflut für das Grundwasser bildet bzw. unterströmt werden kann.

4.4.4 Wasserhaushaltsbilanz

Um einen ersten Überblick des Grundwasserumsatzes im Modellgebiet zu erlangen, wurde die Größe der relevanten Bilanzglieder ermittelt oder abgeschätzt. Damit sollten insbesondere Defizite erkannt werden, die in nachfolgenden Untersuchungen zu klären waren.

Die für das Modellgebiet relevanten Bilanzgrößen sind:

Grundwasserneubildung: Nach der in ARMBRUSTER (2002) beschriebenen Methode wurde die mittlere Grundwasserneubildung GWN nach der Gleichung

$$GWN = (N - V) \cdot (Q_{bas} / Q_{ges})$$

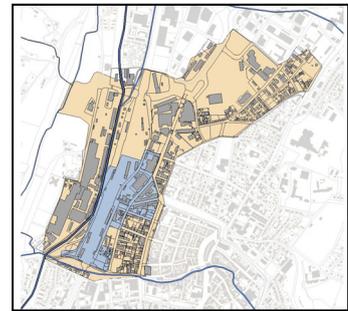
aus dem Niederschlag N, der Verdunstung V und dem gebietsspezifischen Quotienten aus Basisabfluss zu Gesamtabfluss berechnet. Grundlage der Berechnung sind die Klimadaten der 30-jährigen Zeitreihe von 1961 - 1990 aus dem digitalen Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (WaBoA). Wesentlicher Bestandteil der Methode ist das Verdunstungsmodell TRAIN, das in Tagesschritten auf einem 500- x 500-m-Raster unter Berücksichtigung der Landnutzung und Versiegelung sowie Boden- und Reliefparametern Verdunstungswerte berechnet.

Die für den Modellraum ermittelte Neubildungsrate beträgt 242 mm/a bzw. 7 l/s/km² und damit 1,3 Mio. m³/a bzw. (+)42 l/s.

Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser: Für eine Abschätzung wurden die im August 2003 in der Schussen und ihren Zuflüssen durchgeführten Messungen des Niedrigwasserabflusses zugrunde gelegt. Entsprechend der Abflussdifferenzen der einzelnen Messabschnitte wurde die Schussen in influente bzw. effluente Abschnitte eingeteilt und eine Gesamtmenge von (-)172 l/s für abfließendes Grundwasser bzw. (+)224 l/s für infiltriertes Oberflächenwasser berechnet. Für die Zuflüsse zur Schussen konnten aus den Abflussmessungen zunächst keine Wechselwirkungen mit dem Grundwasser abgeleitet werden.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Randzustrom: Der Randzustrom ergibt sich im Wesentlichen aus der mittleren Grundwasserneubildung der orohydrografischen Einzugsgebiete an den Talflanken. Mit einer Grundwasserneubildungsrate von 11,1 l/s, zuzüglich dem Grundwasserparallelstrom von Höllbach/Schwalbenbach in den quartären Talfüllungen beträgt der Randzufluss im Westen rd. (+)13 l/s. Der Randzustrom im Osten ergibt sich aus der Grundwasserneubildung im östlichen Bilanzraum in Höhe von rd. (+)27 l/s.

Grundwasserentnahmen: Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung bestehen im Bilanzraum nicht. Von Bedeutung sind lediglich gewerbliche/industrielle Entnahmen aus bis zu elf Brunnen. Mit insgesamt rd. (-)2 l/s (70.000 m³/a) stellen diese Entnahmen das mit Abstand kleinste Bilanzglied dar und spielen bei der Grundwasserbilanz nur eine untergeordnete Rolle.

Die aufgestellte Wasserbilanz weist einen Bilanzfehler von ca. 130 l/s auf. Mit dem auf der Grundlage des HGM aufgebauten numerischen Grundwassermodell (vgl. Kap. 4.6.2) konnte eine stimmige Wasserbilanz berechnet werden. Dabei zeigte sich, dass zunächst vorhandene Bilanzfehler im Wesentlichen auf die Fehleinschätzung der Infiltration aus der Schussen zurückzuführen ist, die ihrerseits auf der zu ungenauen Messung der Abflussmengen beruht.

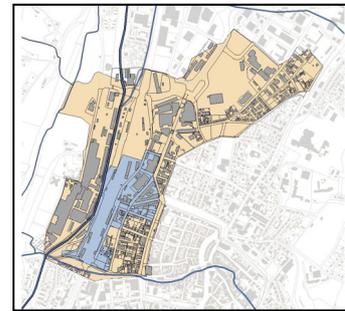
4.4.5 Defizitanalyse und Maßnahmen zur Behebung

Für eine flächendeckende und schlüssige Beschreibung des hydraulischen Systems innerhalb des Modellraums wies der Messstellen- und Datenbestand noch Lücken auf. Auch die Kenntnis der Schadstoffkonzentration im Grundwasser war lückenhaft oder nicht mehr auf dem aktuellen Stand. Für die weitere Planung der Kontrollebenen und Immissionspumpversuche sowie die Entwicklung des numerischen Grundwassermodells waren folgende Maßnahmen und Untersuchungen erforderlich:

- zusätzliche Grundwassermessstellen, insbesondere zur Klärung der Grundwasserströmungssituation westlich der Schussen sowie an den Rändern des Modellraums
- Stichtagsmessungen des Grundwasserstands (Richtung, Gefälle)
- Messung der Wasserstandshöhen in den Oberflächengewässern zeitgleich mit den Stichtagsmessungen des Grundwasserstands
- Einbau von Datenloggern zur zeitlichen Auflösung der Grundwasserstandsänderungen
- Erhebung der Kanaldaten Ravensburg als Voraussetzung zur Klärung möglicher Wechselwirkungen mit dem Kanalsystem
- Erhebung tief gegründeter Bauwerke, die den Aquifer ganz oder teilweise durchteufen und damit ein Strömungshindernis darstellen könnten
- Kurzpumpversuche zur Ermittlung genauerer hydraulischer Kennwerte (Transmissivität, Durchlässigkeit, Leckagen)
- Tracerversuche zur Ermittlung von Transportparametern (durchflusswirksame Porosität)
- Versuche zur Ermittlung von Retardationsparametern

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- Ermittlung der aktuellen Schadstoffsituation im Zuge der Kurzpumpversuche und zusätzlichen Grundwasserprobenahmen an ausgesuchten GWM

Zunächst vorgesehene weitere und genauere Abflussmessungen sowie Untersuchungen zur Sohldurchlässigkeit der Oberflächengewässer wurden nicht verwirklicht, da der Kostenaufwand für die hierzu notwendigen Messeinrichtungen als unverhältnismäßig eingestuft wurde.

Zur Ergänzung des Messstellenbestands wurden Ende 2003 insgesamt elf Rammkernbohrungen bis zur Basis der kiesig-sandigen Ablagerungen abgeteuft und zu 5“-Grundwassermessstellen ausgebaut (**Abbildung 4-12**). Die Bohrtiefen lagen im Bereich der Schussental-kiese bei 7 - 10 m und im Bereich der nach Osten ansteigenden Schwemmfächerablagerungen bei bis zu 25 m.

Die neuen Messstellen wurden zusammen mit dem funktionsfähigen Messstellenbestand für die Ermittlung der für die weitere Planung erforderlichen Parameter verwendet (Kap. 4.5). An ausgewählten Bohrungen wurde Probenmaterial zur Ermittlung von Bodenkennwerten und Retardierungsfaktoren gewonnen. Die Parameterermittlung wurde mit wachsendem Messstellenbestand auch in jeder späteren Projektphase durchgeführt. Jede neue Bohrung lieferte zusätzliche Stützpunkte zum Verständnis der Aquifergeometrie, jede neue Messstelle gestattete eine detailliertere Auflösung der Grundwasserströmung und die Ermittlung der hydraulischen Parameter mittels Kurzpumpversuch.

4.5 Untersuchung der Strömungs- und Transportparameter

4.5.1 Gradient und Richtung der Strömung

Messungen der Grundwasserstände bildeten die Datengrundlage für Grundwassergleichpläne und Ganglinien. Aus diesen wurden quantitative Aussagen zu Richtung, Gefälle und Varianz der Grundwasserströmung abgeleitet.

Nach der Ergänzung des Messstellenbestands wurden im Februar und Juli 2004 weitere Stichtagsmessungen durchgeführt. Zusammen mit nacherhobenen Grundwassermessstellen aus dem Altbestand umfasste das Messnetz zu diesem Zeitpunkt bereits 109 Messstellen.

In den Ausführungsphasen wurden zwischen 2005 und 2007 im Zuge der Immissionspumpversuche drei weitere Stichtagsmessungen durchgeführt. Mit der wachsenden Anzahl von Grundwassermessstellen lieferten sie im Umfeld der Kontrollebenen genauere Kenndaten für die weitere Planung und Auswertung der Immissionspumpversuche. Die letzte Stichtagsmessung im Jahr 2007 umfasste 138 Grundwassermessstellen (**Abbildung 4-12**).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

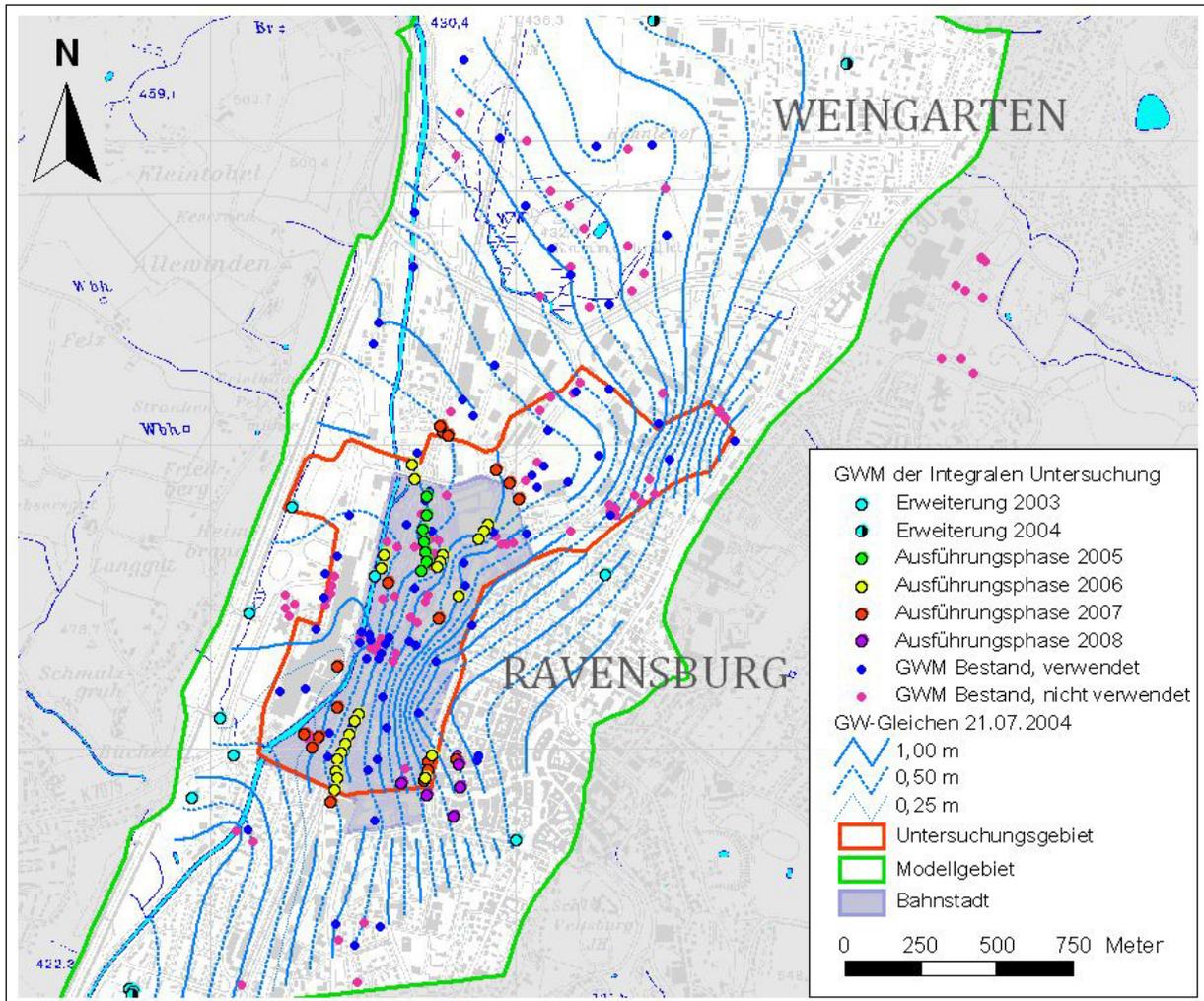
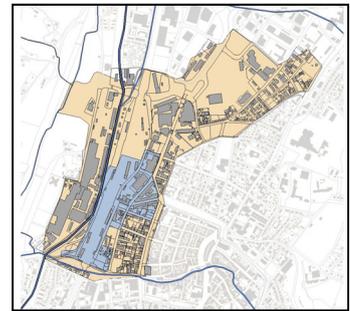
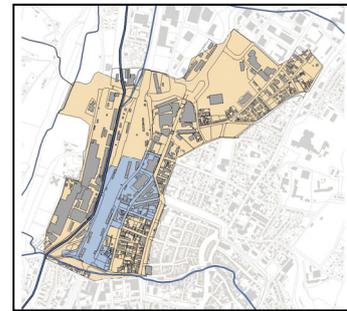


Abbildung 4-12: Übersicht der bei der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg verwendeten und eingerichteten Grundwassermessstellen

Ergänzend zu den Stichtagsmessungen im Gesamtgebiet wurden zwischen 2004 und 2008 sechs Stichtagsmessungen in Teilgebieten durchgeführt. Sie dienten zur Erfassung der Grundwasserströmung für die Detailplanung bzw. Auswertung einzelner Kontrollebenen und Immissionspumpversuche.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Von 2004 bis 2006 wurden die Wasserstände des Schussenpegels in Ravensburg sowie in 13 Grundwassermessstellen kontinuierlich mittels Datenlogger aufgezeichnet (**Abbildung 4-13**). Zur Interpretation der Ganglinien sowie als Eingabegrößen für die numerische Modellierung wurden die Tageswerte für Niederschlag, Temperatur und Luftfeuchte der Station Weingarten/Ravensburg eingeholt und dargestellt. Seit Dezember 2006 bis Ende 2008 erfolgten diese Messungen zur Erfassung der Wasserspiegeländerungen im Umfeld der Kontrollebenen in einer reduzierten Anzahl von neun Grundwassermessstellen. Diese kontinuierlichen Messungen bildeten in der Planungs- und Ausführungsphase der integralen Altlastenuntersuchung die Datengrundlage zur Beurteilung zeitlicher Varianzen der Grundwasserstände und der Strömungssituation. Darüber hinaus bildeten sie die Grundlage für die instationäre Kalibrierung des numerischen Grundwasserströmungsmodells.

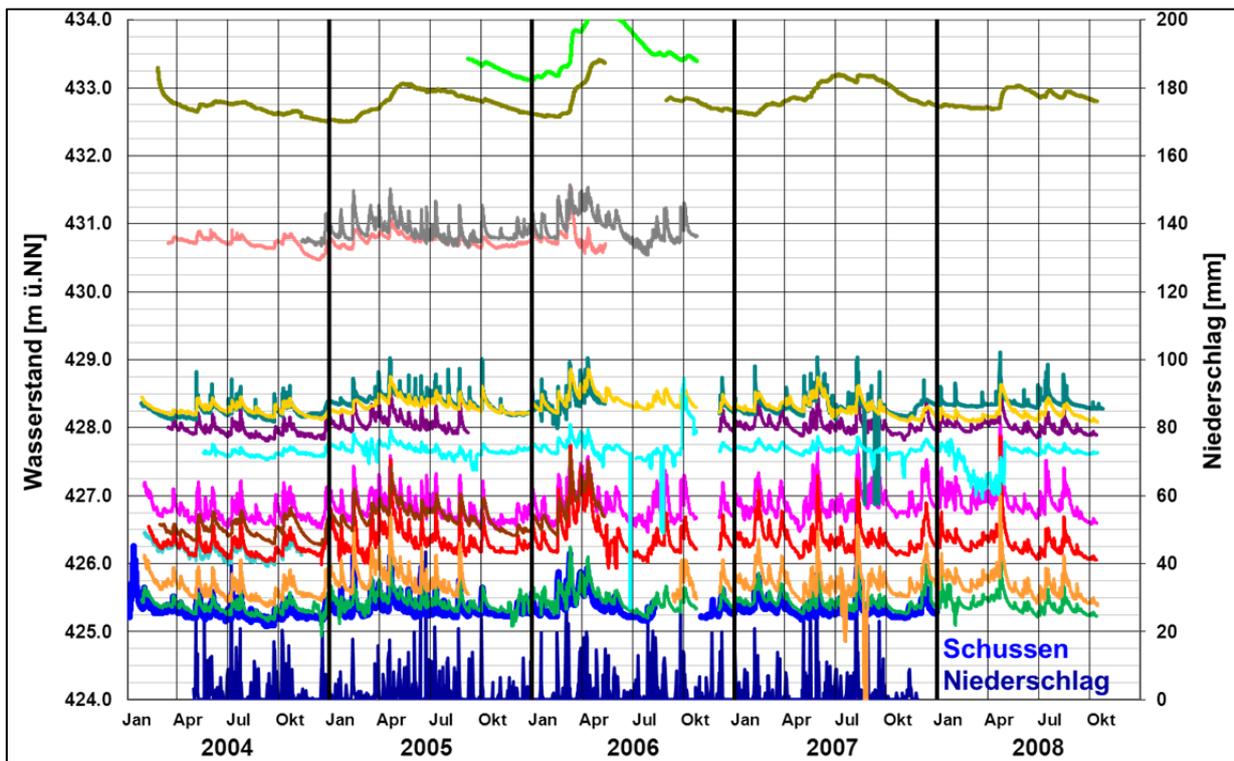
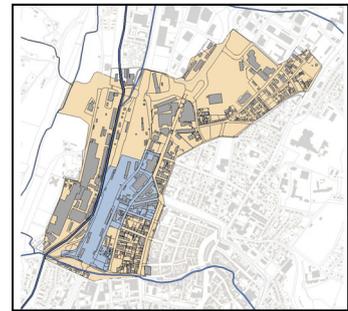


Abbildung 4-13: Ganglinien des Schussenpegels und ausgewählter Grundwassermessstellen im Projektgebiet mit Tagessummen der Niederschläge

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



4.5.2 Transmissivität und Durchlässigkeit

Zur Ermittlung der hydraulischen Kennwerte Transmissivität T und Durchlässigkeitsbeiwert k wurden im Januar/Februar 2004 an bestehenden und zur hydrogeologischen Untersuchung bereits eingerichteten Grundwassermessstellen 54 Kurzpumpversuche durchgeführt. Dabei wurden auch Grundwasserproben für erste Übersichtsanalysen gewonnen. Die hiermit gewonnenen Kennwerte bildeten die Grundlage für die hydraulische Planung der Kontrollebenen und Immissionspumpversuche sowie den Aufbau des numerischen Grundwassermodells. Bei der späteren Einrichtung der Kontrollebenen wurden weitere 45 Kurzpumpversuche durchgeführt. Mit den neu hinzugewonnenen Kennwerten wurden die Planungsgrundlage sowie das Grundwassermodell stufenweise aktualisiert. **Abbildung 4-14** zeigt eine Übersicht aller GWM, in denen in der Planungsphase und späteren Ausführungsphase Kurzpumpversuche durchgeführt wurden.

Die Kurzpumpversuche wurden über 1 bis max. 4 Stunden durchgeführt. Kriterium für die letztendliche Pumpzeit war die Entwicklung der Wasserspiegelabsenkung, die vor Ort einer Vorauswertung unterzogen werden konnte. Die Wasserspiegelabsenkung und der anschließende Wiederanstieg wurden kontinuierlich mittels automatischem Drucksensor gemessen und aufgezeichnet. Kontinuierlich aufgezeichnet wurden auch die magnetisch-induktiv gemessene Pumprate sowie die physikochemischen Parameter elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Redoxpotenzial des geförderten Wassers.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

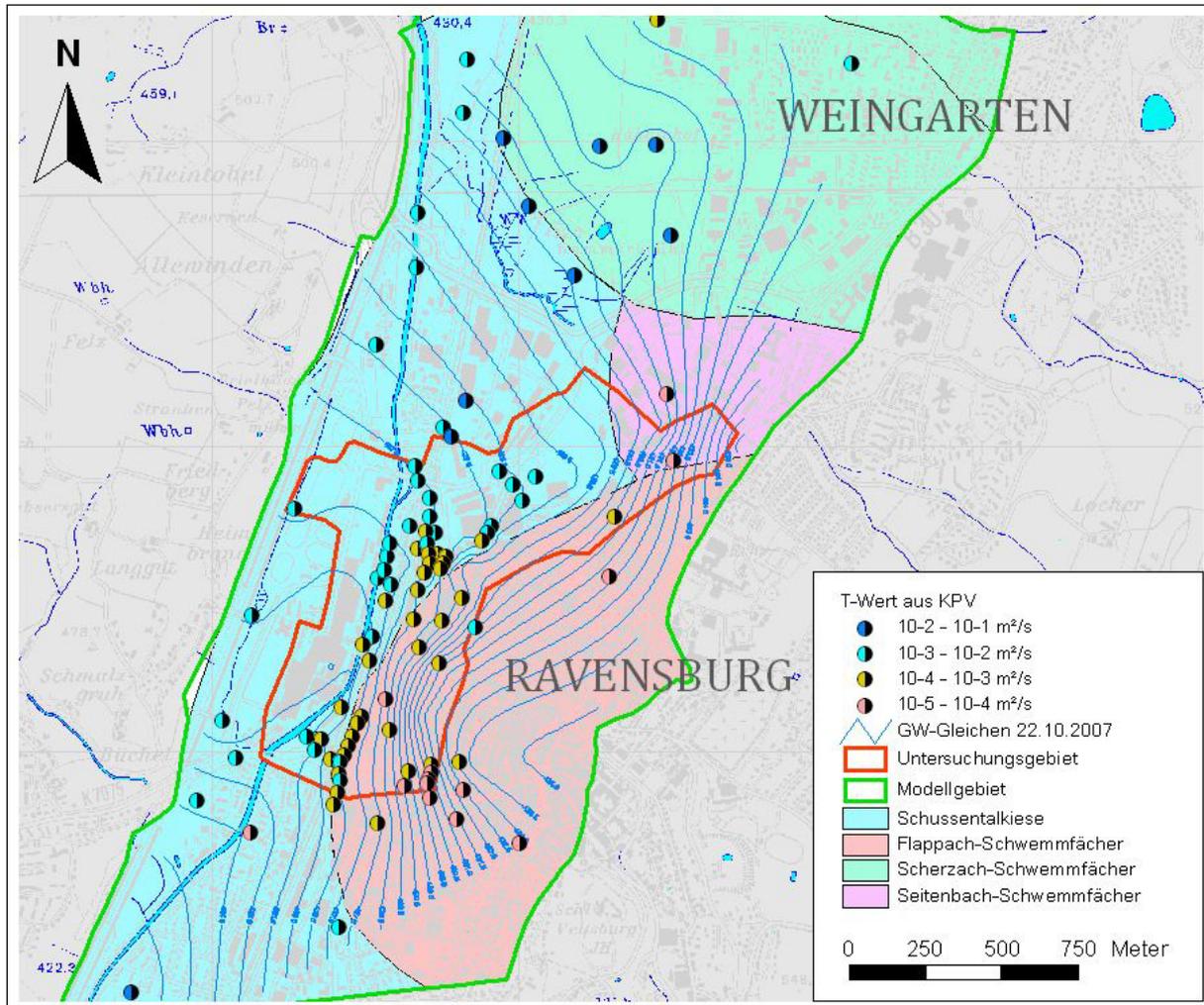
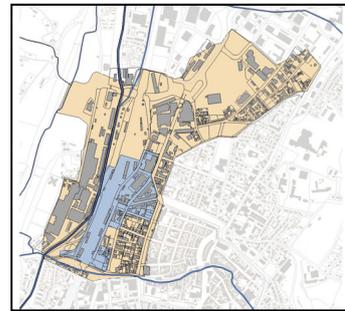
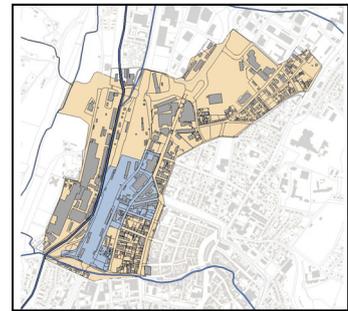


Abbildung 4-14: Übersicht der bei der Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg durchgeführten Kurzpumpversuche und der ermittelten Transmissivitätsverteilung

Die Kurzpumpversuche wurden mit den in Kap. 6.1 beschriebenen Typkurvenverfahren ausgewertet. Die ermittelten Transmissivitätswerte sind – grob klassifiziert – in **Abbildung 4-14** dargestellt. Erwartungsgemäß weisen die Schussentalkiese gegenüber den Schwemmfächerablagerungen höhere Transmissivitäten auf.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



4.5.3 Effektive Porosität

Die Kenntnis der durchflusswirksamen (effektiven) Porosität n_e ist für die Berechnung des Erfassungsbereichs eines Immissionspumpversuchs von genauso grundlegender Bedeutung wie die Pumprate oder die Aquifermächtigkeit. Oft wird die durchflusswirksame Porosität jedoch nur abgeschätzt. Da im Vorfeld der Planungen in Ravensburg die fachlichen Einschätzungen zwischen 12 und 25 % differierten, sollte durch einen Tracerversuch ein belastbarer Wert für die Schussentalkiese als Grundlage für die weiteren Planungen ermittelt werden.

Dieser Tracerversuch wurde im Juni 2004 an der neu errichteten Grundwassermessstelle IGWM9 durchgeführt. Für die Tracereingabe und Überwachung des Strömungsfelds wurden im Abstand von 13 und 18 m zwei weitere Grundwassermessstellen (2“) errichtet.

Durch einen Pumpversuch im Brunnen IGWM9 wurde ein radiales Strömungsfeld aufgebaut, nach einem Tag wurde eine 3,5%ige Lösung von 20 kg Natriumchlorid („Meerwasser“) in die erste Eingabestelle eingespült. In die zweite Eingabestelle wurden 50 g Uranin als Fluoreszenztracer eingegeben. Die Eingabemengen waren so bemessen, dass nach der Gleichung für den Stofftransport in radialem Strömungsfeld (vgl. Kap. 6.2) mit zunächst geschätztem Wert für n_e ein signifikantes Durchgangssignal im Brunnen zu erwarten war.

Der Durchgang des Salztracers wurde im Brunnen über die kontinuierliche Messung der elektrischen Leitfähigkeit erfasst (**Abbildung 4-15**). Für den Nachweis des Fluoreszenztracers wurden kontinuierlich Proben gezogen, anhand derer die Uraninkonzentration im Labor bestimmt wurde.

Der Salztracer lieferte eine sehr gute Durchgangskurve (**Abbildung 4-15**) bei über 70 % Wiederfindungsrate, beim Fluoreszenztracers ergab sich ein relativ schwaches Durchgangssignal mit einer Wiederfindungsrate von unter 1 %. Die Auswertung des Tracerdurchgangs erfolgte anhand der Gleichung für den Stofftransport in radialem Strömungsfeld (vgl. Kap. 6.2) und lieferte einen Porositätswert von 10 %, der für die weitere Planung der Immissionspumpversuche verwendet wurde.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

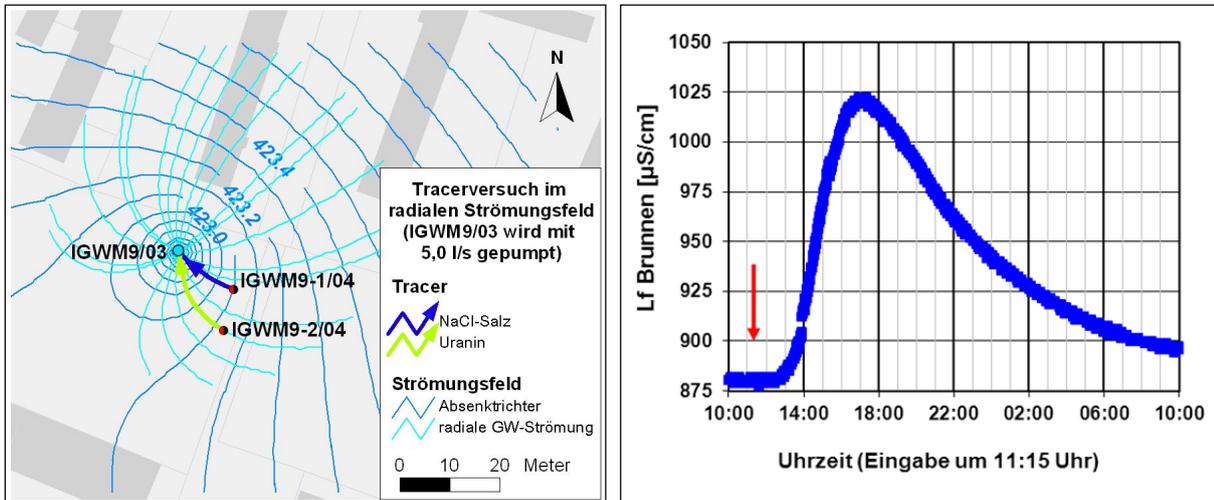
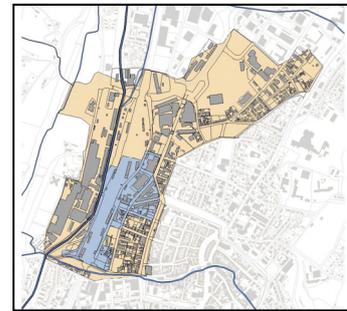


Abbildung 4-15: Tracerversuch im Brunnen IGWM9. Der in IGWM9-1 eingegebene NaCl-Tracer wird im Brunnen über die elektrische Leitfähigkeit erfasst.

Damit erwies sich der Salztracerversuch als einfache und kostengünstige Methode, um begleitend zu den Immissionspumpversuchen den Parameter n_e zu bestimmen.

4.5.4 Retardation

Durch die Prozesse der Adsorption und der Desorption kommt es in der Folge zu einer Verlangsamung des Stofftransports im Vergleich zur Grundwasserströmung. Der Retardationsfaktor R quantifiziert diesen Prozess als Verhältnis zwischen der Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers v_a zur Transportgeschwindigkeit des sorbierenden Stoffes v_{Stoff} :

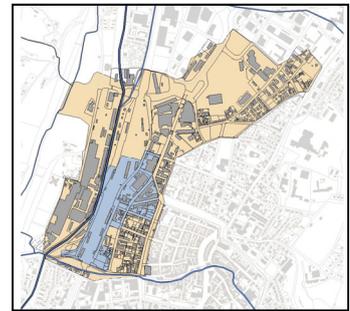
$$R = \frac{v_a}{v_{\text{Stoff}}}$$

Für die im Grundwasser des Untersuchungsgebiets relevanten organischen Schadstoffparameter werden die folgenden, für den Stofftransport unter Gleichgewichtsbedingungen gültigen Retardationsfaktoren angegeben:

Tetrachlorethen (Per)	:	R = 3,5	(STUPP ET AL. 2006)
Trichlorethen (Tri)	:	R = 1,8	(STUPP ET AL. 2006)
cis-1,2-Dichlorethen	:	R = 1,25	(STUPP ET AL. 2006)
Benzol/CKW	:	R = 3,1-4,6	(RÜGNER ET AL. 2004)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Gleichgewichtsbedingungen in Bezug auf die Stoffkonzentrationen im Wasser und im Feststoff setzen entsprechend lange Verweilzeiten bzw. Transportstrecken voraus, in denen die Sorptions- und Desorptionsprozesse ablaufen können. Aus einer Übertragung dieser Retardierungsfaktoren unter Gleichgewichtsbedingungen auf die Grundwasserströmung bei Immissionspumpversuchen würde eine entsprechend hohe Verzögerung beim Stofftransport im Erfassungsbereich resultieren. Da die Auswerteverfahren jedoch einen unverzögerten Stofftransport voraussetzen, wäre damit die Rückrechnung der Stoffkonzentration beim Immissionspumpversuch auf die ursprüngliche Konzentrationsverteilung fehlerbehaftet. Als Konsequenz wäre auch die Anwendbarkeit der Methode der Immissionspumpversuche grundsätzlich infrage gestellt.

Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich bei Immissionspumpversuchen mit entsprechend hohen Grundwasserfließgeschwindigkeiten und geringeren Verweilzeiten im Erfassungsbereich keine Gleichgewichtsbedingungen einstellen und die der Retardation zugrunde liegenden Prozesse allenfalls untergeordnet ablaufen und somit vernachlässigt werden können.

Um diese Annahme zu stützen, wurden Säulenversuche zur Bestimmung der Retardierungsfaktoren für die relevanten Schadstoffe durchgeführt. Dazu wurden im Zuge der Errichtung der Kontrollbrunnen exemplarisch Bohrkerne mittels PVC-Linern entnommen. Die Liner wiesen eine Länge von 1 m und einen Durchmesser von 100 mm auf.

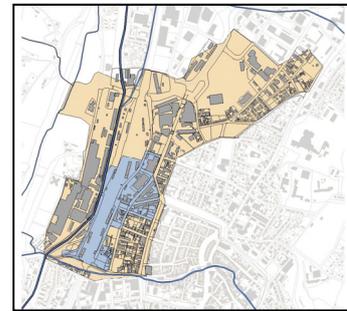
Für den Retardierungsversuch wurde der Liner als Säule in eine spezifisch entwickelte Messvorrichtung eingebaut. Beim Versuch, die Säule mit Wasser zu durchströmen, stellte sich jedoch zunächst ein so hoher Überdruck ein, dass keine ausreichende Abdichtung der Säule sichergestellt werden konnte. Nach Auftrennung des Liners war zu erkennen, dass das Probenmaterial aufgrund starker Kompression beim Bohrvorgang sehr stark verdichtet war (**Abbildung 4-16**).



Abbildung 4-16: Probenmaterial im aufgetrennten Liner der Bohrung IGWM12/05

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Aus diesem Grund wurde das Probenmaterial unter Aufschlämmen in eine neue Säule überführt. Die auf diese Weise neu aufgebaute Säule wurde wieder in die Versuchsanlage eingebaut und mit Leitungswasser durchströmt.



Abbildung 4-17: Aufbau des Retardationsversuchs mit gekühlter Säule

Zur Simulation der im Boden herrschenden Temperatur wurde die komplette Säule auf ca. 10 °C gekühlt (**Abbildung 4-17**). Der Wasser-Durchfluss von unten nach oben wurde für alle Versuche auf ca. 18 - 20 ml/min eingestellt, analog der Durchflussrate im Aquifer beim Immissionspumpversuch in einer Entfernung von 20 m vom Brunnen.

Vor den eigentlichen Retardierungsversuchen mit ausgewählten Schadstoffen wurde das Durchgangsverhalten für Wasser anhand der Durchgangskurve für eine NaCl-Lösung als idealem Tracer ermittelt. Hierzu wurden 5 ml einer konzentrierten Natriumchlorid-Lösung ($c(\text{NaCl})=20\text{g/L}$) auf die Säule aufgegeben. Am Ablauf der Säule wurde online die elektrische Leitfähigkeit bestimmt. Daraus ergab sich die in **Abbildung 4-18** dargestellte Leitfähigkeits-Durchgangskurve. Ein signifikanter Leitfähigkeits-Anstieg beginnt nach ca. 80 Minuten. Das detektierte Peak-Maximum lag bei ca. 125 Minuten.

Nach Aufnahme der idealen, nicht retardierten Durchgangskurve für Wasser bzw. den idealen Tracer wurden in weiteren Säulenversuchen Schadstoffe bzw. Stoffgemische auf die mit Leitungswasser durchströmte Säule aufgegeben. Folgende Stoffe wurden untersucht:

- Chloroform und Perchlorethylen (5 µl, Mischung 1 : 1)
- LHKW-/BTEX-Standard (50 µl einer methanolischen Lösung)

In der nachfolgenden Grafik sind exemplarisch die Durchbruchkurven für die applizierte Kochsalz-Lösung sowie für die LCKW-Einzelparame-ter Per, Tri und cis-1,2 dargestellt.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

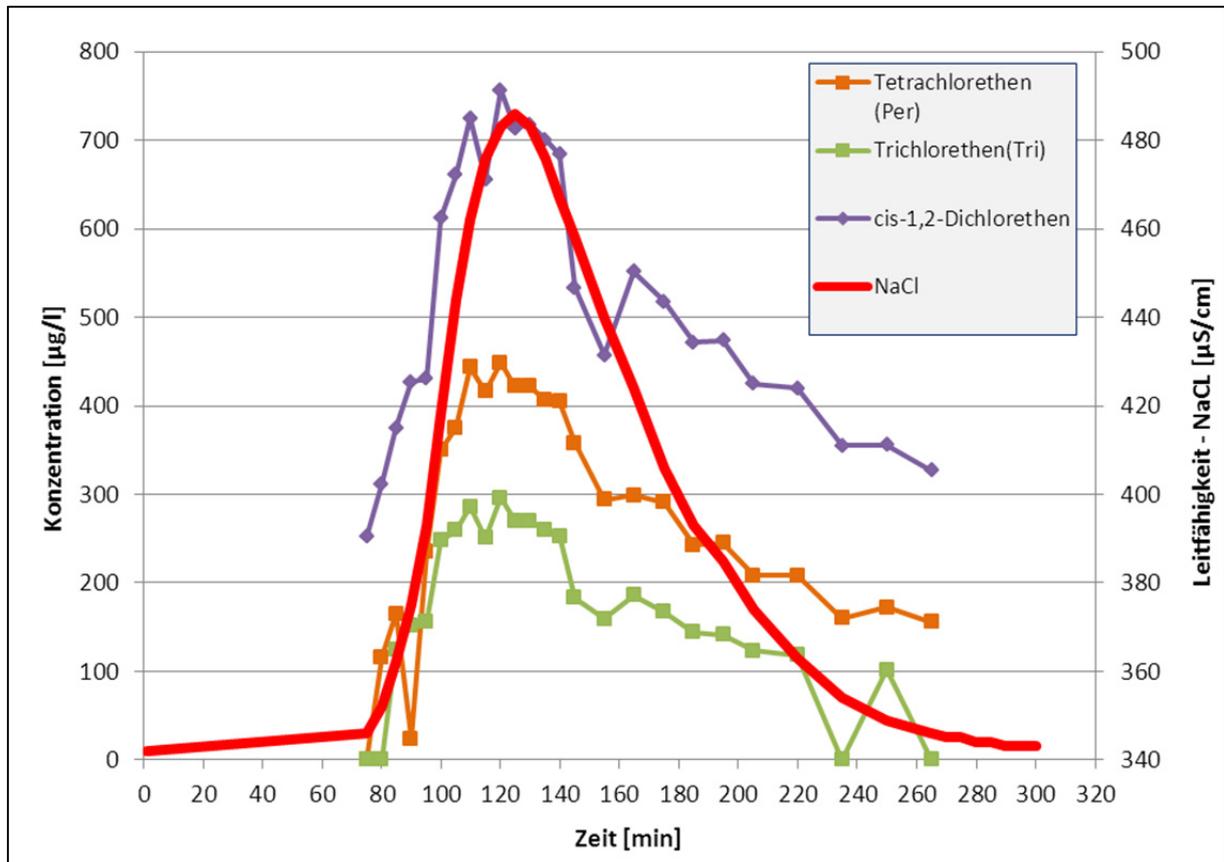
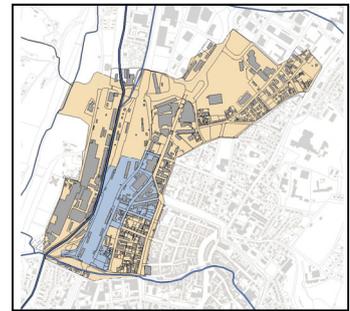


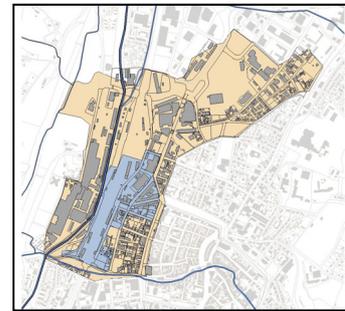
Abbildung 4-18: Durchbruchkurven der Retardationsversuche

Bei den durchgeführten Säulenversuchen mit Aquifermaterial und Grundwasserströmungsgeschwindigkeiten analog den Immissionspumpversuchen wurde für die untersuchten LHKW-Einzelstoffe keine bzw. nur eine geringfügige Retardation festgestellt. Vergleichbare Ergebnisse lieferten die Retardierungsversuche im Hinblick auf BTEX.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für die untersuchten Stoffparameter bei hoher Grundwasserfließgeschwindigkeit bzw. geringer Verweildauer analog den Verhältnissen beim Immissionspumpversuch auf den im Labormaßstab verwirklichten Transportlängen keine Retardierung nachweisbar ist. Bei vereinfachter Betrachtungsweise sind auch im Erfassungsbereich eines IPV keine relevanten Retardationseffekte zu erwarten und damit die Voraussetzungen für die in Ravensburg geplanten Immissionspumpversuche erfüllt.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



4.5.5 Schadstoffkonzentrationen

Im Zuge der Kurzpumpversuche wurden im Jahr 2004 aus insgesamt 32 Messstellen im engeren Untersuchungsgebiet Grundwasserproben für laborchemische Untersuchungen entnommen. Für jede einzelne Messstelle wurde dabei individuell über den sinnvollen Analysenumfang entschieden, abhängig von den jeweils bereits erfassten „Analysen-Altdate“ des Umfelds, sowie unter Berücksichtigung der nach Erfassungsstand des BAK vorliegenden Altlastenfällen. Untersucht wurden die nachfolgend gelisteten Parameter:

- Kohlenwasserstoff-Index
- MTBE – Methyl-tert-butylether (Zusatzstoff in Ottokraftstoffen und Lösungsmittel)
- BTEX – Benzol, Toluol, Xylol
- LCKW – leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe
- PAKs – polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- heterozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- Cyanid gesamt
- Schwermetalle Altlasten – Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink

Die aus den Kurzpumpversuchen resultierenden Analysenbefunde lieferten Hinweise auf die innerhalb des Projektgebiets zu erwartenden Grundwasserbelastungen und deren mögliche Ursachen und waren damit eine wesentliche Planungsgrundlage für die Anordnung der Kontrollebenen.

4.6 Numerisches Grundwassermodell

4.6.1 Aufbau

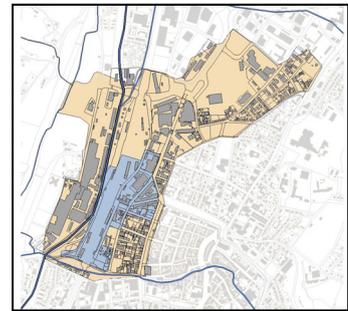
Im Rahmen der integralen Altlastenuntersuchung wurde ein numerisches Grundwassermodell als Berechnungsgrundlage für die Grundwasserströmung und den Stofftransport im Projektgebiet aufgebaut. Das Grundwassermodell wurde als Werkzeug für die Planung und Auswertung der Immissionspumpversuche sowie zur Berechnung von Schadstofffrachten und Schadstofffahnen eingesetzt.

Das Grundwassermodell wurde mit dem Modellsystem FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system) der DHI-WASY GmbH (Berlin) aufgebaut. Das Modellgebiet umfasst den im Hydrogeologischen Modell (HGM, Kap. 4.4) abgegrenzten Bereich des Schussentals zwischen Weingarten und Ravensburg-Weißenau.

Entsprechend des HGM wurden die Modellrandbedingungen entlang der Talränder als Zuflussbedingung angesetzt. Die Zustrommengen wurden zunächst aus der Transmissivität und dem Grundwassergefälle randnaher Messstellen berechnet und bei der Modellkalibrierung nachjustiert. Die Scherzach wurde als Transfer-Randbedingung angesetzt und ebenfalls bei der Kalibrierung feinjustiert. Weiterhin wurden als Entnahme-Randbedingung die Pumpraten der Brunnen eines Industriebetriebs implementiert.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Die Grundwasserneubildung wurde flächendifferenziert aus den Daten der LUBW übernommen und liegt für das Modellgebiet im Mittel bei $7,8 \text{ l/s km}^2$

Für das dreidimensionale Grundwassermodell wurden die hydrostratigrafischen Einheiten des HGM in vier Modellschichten umgesetzt:

- nichtbindige Deckschichten (NBDS) und bindige Deckschichten (BDS): Die Deckschichten umfassen anthropogene Aufschüttungen und Umlagerungssedimente.
- Grundwassergeringleiter (GGL): Dem Grundwassergeringleiter werden Moorbildungen, Altwassersedimente und Auelehm zugerechnet.
- Grundwasserleiter (GL): Der Grundwasserleiter besteht aus den Schussentalkiesen (sandige Kiese) im Westen und den Schwemmfächerablagerungen (sandig-schluffige Kiese) im Osten des Schussentals sowie den Flusssanden (schluffige Fein-/Mittelsande) im Randbereich und unter den Schwemmfächern.
- Aquiferbasis: Die als dicht angenommene Modellbasis wird von den bindigen Beckensedimenten (tonige Schluffe und schluffige Tone) des Riß-Würm-Komplexes gebildet.

Die Geometrie der Modellschichten wurde aus den interpretierten Bohrprofilen des HGM entnommen und mit den im Laufe der Ausführung der integralen Untersuchung hinzugewonnenen über 50 neuen Aufschlusspunkten interpoliert (**Abbildung 4-19**). Auf eine genaue Übertragung der konstruierten Erosionsrinnen (**Abbildung 4-9**) aus ELLWANGER ET AL. (2000) in das Grundwassermodell wurde dabei verzichtet.

Die Durchlässigkeitsverteilung des Grundwasserleiters basiert auf den ermittelten Transmissivitäten aus früheren Pumpversuchen (35 nachinterpretierte Werte aus Erhebung), aus einzelnen Funktionstests (fünf Werte) sowie den in der Planungsphase durchgeführten Kurzpumpversuchen (53 Werte). Im Zuge der integralen Untersuchung wurde mit den Ergebnissen der Kurzpump- und Immissionspumpversuche in den neuen Grundwassermessstellen (50 Werte) eine weitere Verdichtung der Datengrundlage erreicht (**Abbildung 4-19**). Die resultierende Verteilung der Transmissivität im Grundwasserleiter zeigt eine Zunahme von den Schwemmfächerablagerungen im Osten hin zu den mächtigeren Schussentalkiesen im Westen.

Die Durchlässigkeit im Grundwassergeringleiter wurde zu $1/3$ der Durchlässigkeit im Grundwasserleiter angesetzt. Für die Deckschichten wurden Einheitswerte angesetzt, $5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ für die bindigen und $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ für die nichtbindigen Deckschichten.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

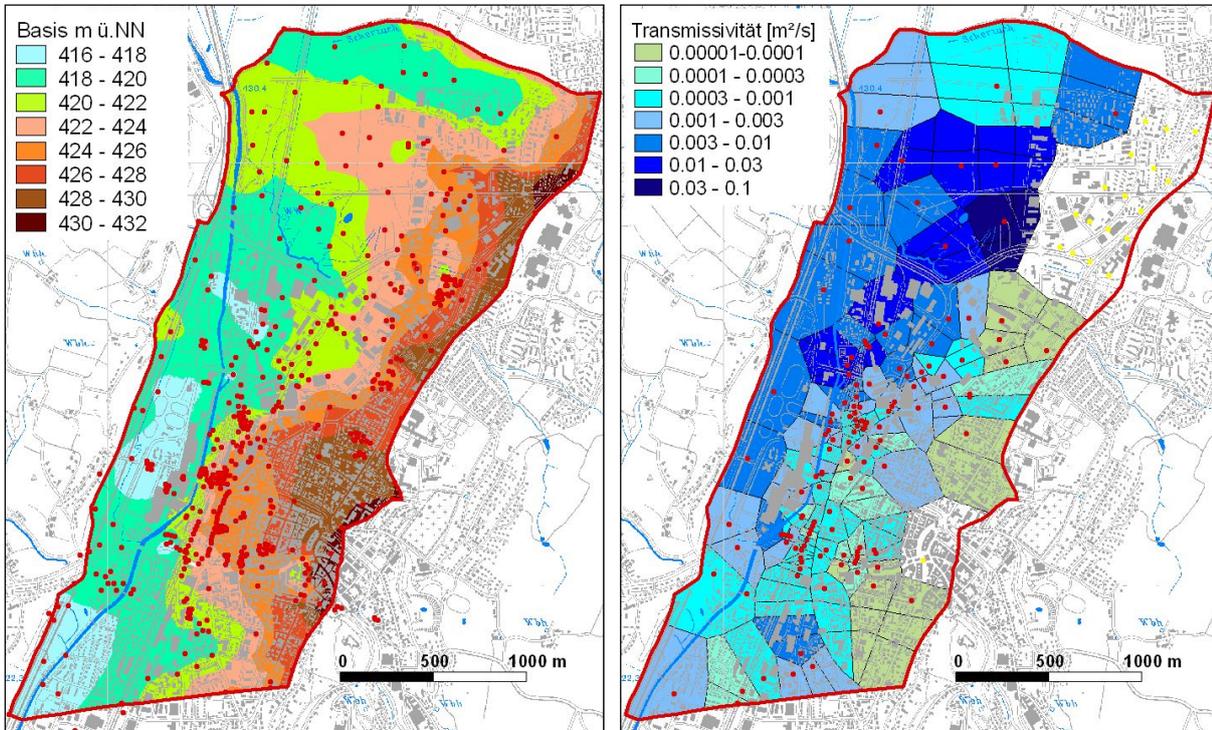
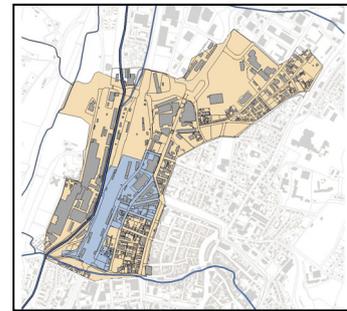


Abbildung 4-19: Aquiferbasis mit Belegpunkten (links) und räumlicher Verteilung der Transmissivität, ermittelt aus den durchgeführten Pumpversuchen (rechts)

Die effektive Porosität wurde für den Grundwasserleiter einheitlich mit 10 % als Mittelwert aus den Tracerversuchen angesetzt.

4.6.2 Kalibrierung und Wasserbilanz

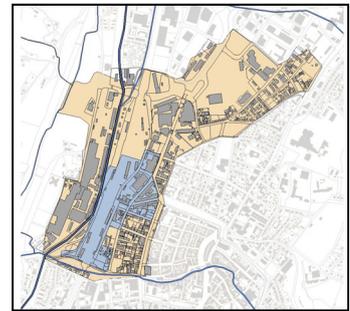
Bei den stationären Modellkalibrierungen wurden die Durchlässigkeitsverteilung, der Randzustrom, der Transfer aus der Scherzach sowie die Grundwasserneubildung zur Anpassung der gerechneten an die gemessenen Grundwasserstände variiert (**Abbildung 4-20**). Teilweise wurde zu Beginn der Modellbearbeitung auch eine Variation der Modellbasis in Bereichen ohne Belegpunkte zur Verbesserung der Anpassung vorgenommen. Ein wesentlicher Schritt der stationären Anpassung war die automatische Variation der Durchlässigkeitsverteilung im Grundwasserleiter mit dem Programmmodul PEST (Parameter Estimation).

Dabei hat sich folgendes Verfahren bewährt:

- Die aus den Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitswerte wurden auf Thiessen-Polygone übertragen. Bei der Generierung der Thiessen-Polygone wurde die hydrogeologische Grenze zwischen Schusentalkiesen und Schwemmfächersedimenten mit geringeren Durchlässigkeiten berücksichtigt.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- Die automatische Variation der Durchlässigkeiten in den Polygonen wurde entsprechend der Güte der Pumpversuche und der Bestimmungsgenauigkeit begrenzt. Werte aus sehr zuverlässigen Auswertungen wurden maximal um den Faktor 1,5, aus zuverlässigen Auswertungen maximal um den Faktor 3 und aus weniger zuverlässigen bis zum Faktor 8 variiert.
- Großflächige Thiessen-Polygone wurden weiter unterteilt, da die ermittelten Durchlässigkeiten nicht die gesamte Fläche repräsentieren. An den neu entstandenen Flächen ohne Pumpversuchsergebnis wurde eine Variation der Durchlässigkeit um den Faktor 8 zugelassen. Das Ergebnis der Parametervariation ist als kalibrierte Durchlässigkeitsverteilung in **Abbildung 4-20** dargestellt.

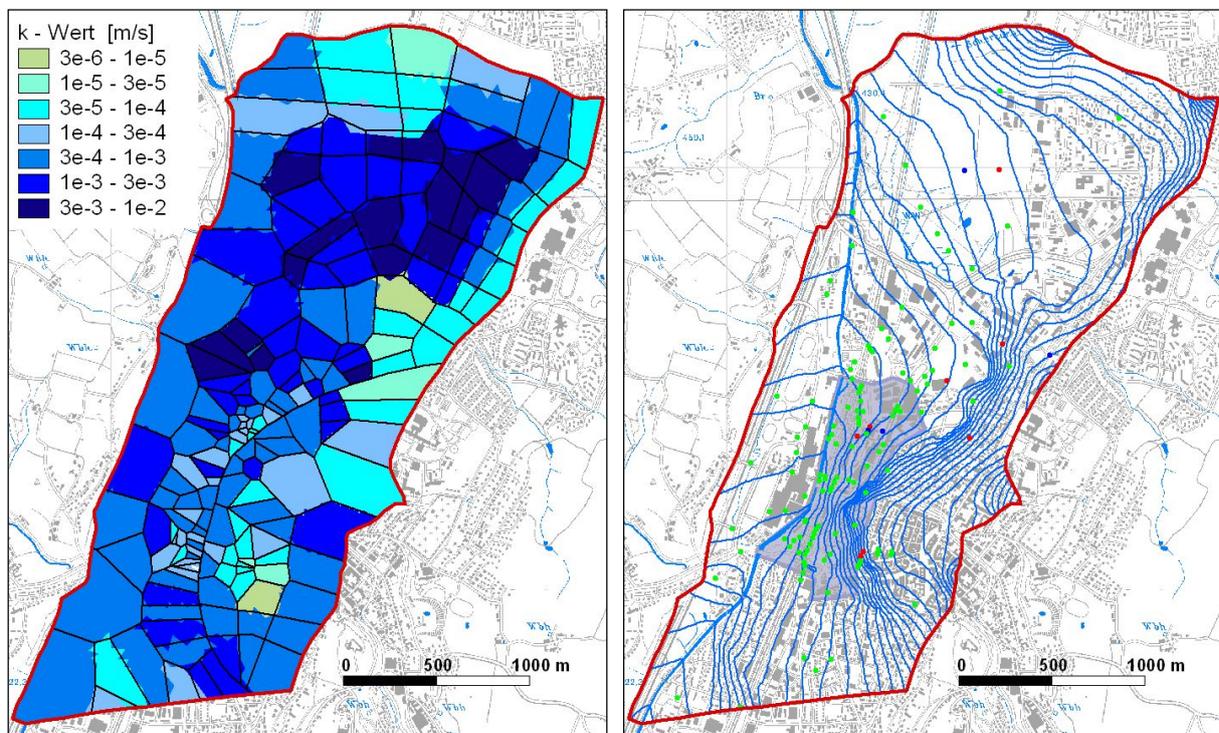


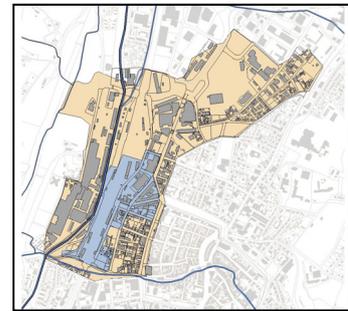
Abbildung 4-20: Kalibrierte Durchlässigkeitsverteilung des Grundwasserleiters (links) und gerechnete Grundwasserhöhen für den 22.09.2007 (grüne Punkte: +/-0,5 m Abweichung zu den gemessenen Grundwasserhöhen) (rechts)

Nach der letzten stationären Anpassung weist das Grundwassermodell folgende Bilanzgrößen auf:

- Grundwasserneubildung 43 l/s
- Randzustrom 44 l/s
- Transfer aus Scherzach 28 l/s
- Abstrom Schussen -113 l/s
- Entnahmen -2,0 l/s

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Die instationäre Berechnung umfasst nach der vorgeschalteten stationären Berechnung den Zeitraum von 2002 bis 2007. Für die Anpassung der Jahre 2002 und 2003 konnte auf einige Ganglinien bestehender Brunnen zurückgegriffen werden, ab 2004 standen die Zeitreihen des Grundwasserstands für zwölf ausgewählte neue Grundwassermessstellen zur Verfügung, die im Zuge der integralen Untersuchung mit Datenloggern bestückt wurden.

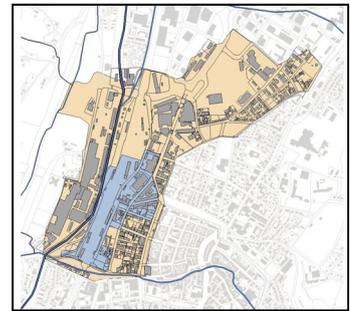
Für die instationäre Berechnung wurden Tageswerte der Grundwasserneubildung zugrunde gelegt, die mit einem Wasserhaushaltsmodell berechnet wurden. Der Randzufluss wurde jahreszeitlich variiert und im Winterhalbjahr mit 120 % und im Sommerhalbjahr mit 80 % des mittleren Randzuflusses angesetzt. Für den Wasserstand der mit offener Sohle im Modell implementierten Schüssen standen Tageswerte des Pegels Ravensburg zur Verfügung. Für die Industriebrunnen wurden Monatswerte der Entnahmen angesetzt.

Den stärksten Einfluss bei der instationären Modellkalibrierung hatte die Porosität. Die durchgeführten Tracerversuche variierten zwischen 6 und 12 %, ließen jedoch keine räumlich abgrenzbare Verteilung erkennen. Mit dem im Modell einheitlich angesetzten Mittelwert von 10 % konnte jedoch eine gute Anpassung der Grundwasseramplituden erreicht werden.

Für die Stofftransportberechnungen wurden ebenfalls die aus den Tracerversuchen ermittelten Transportparameter als Einheitswerte für das Modellgebiet übernommen. Neben der Porosität mit 10 % war dies die longitudinale Dispersivität in Höhe von 5 m. Für die transversale Dispersivität wurde ein Wert von 0,5 m angesetzt.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



5 Planung und Ausführung von Kontrollebenen und Immissionspumpversuchen

5.1 Machbarkeitsprüfung für Immissionspumpversuche und Alternativen

Nachdem im Zuge der Grundlagenermittlung belastbarere hydraulische Parameter für quantitative Berechnungen vorlagen, wurde im April 2004 zunächst der Frage nachgegangen, wie viele Immissionspumpversuche notwendig wären, um den Abstrom im Untersuchungsgebiet integral zu erfassen. Hieraus sollte abgeleitet werden, ob die zu untersuchenden Abstromquerschnitte mit einer wirtschaftlich darstellbaren Anzahl von IPV zu bewerkstelligen ist.

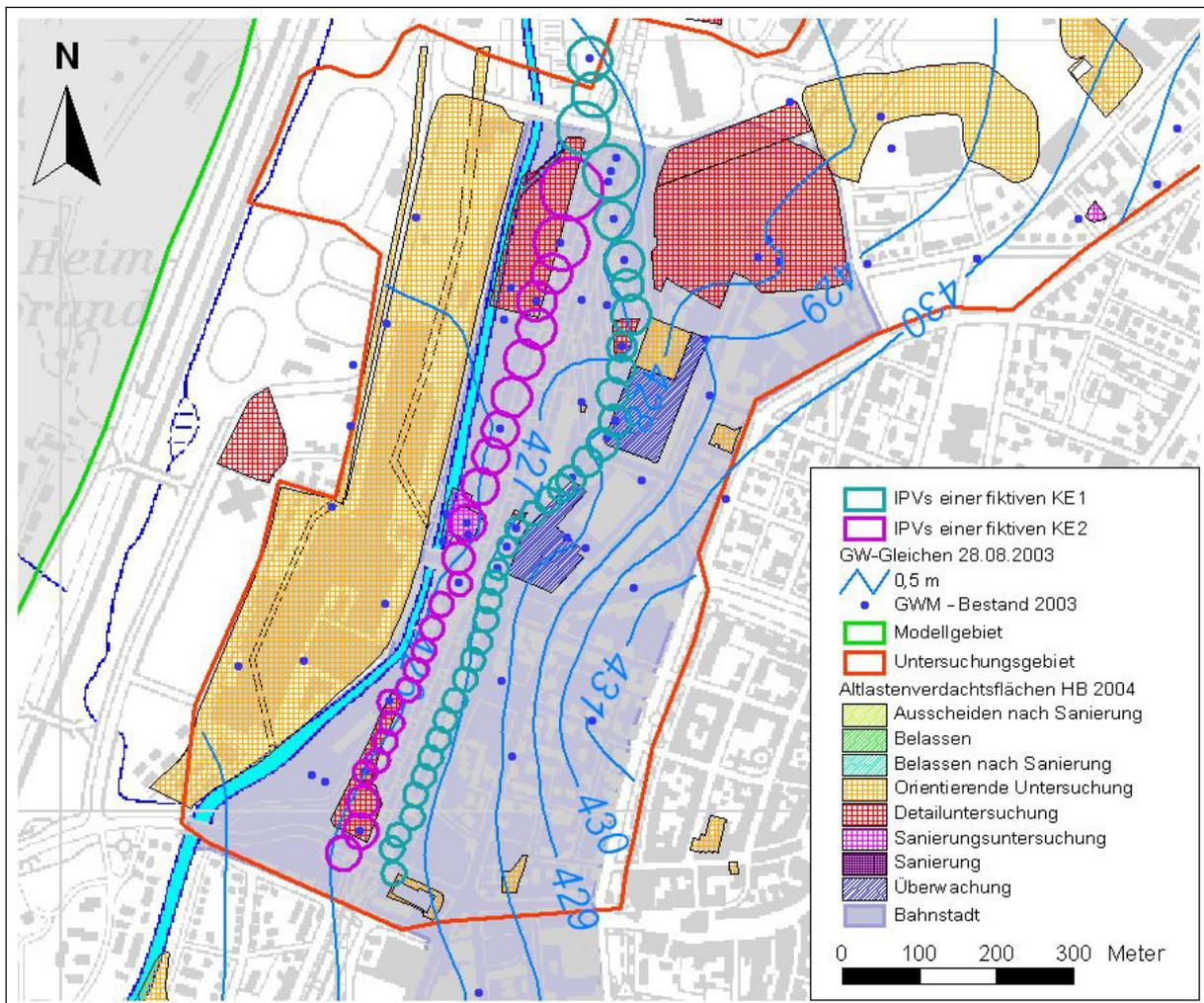


Abbildung 5-1: Prüfung der erforderlichen Anzahl von Immissionspumpversuchen zur Erfassung des Projektgebiets anhand fiktiver Kontrollebenen

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

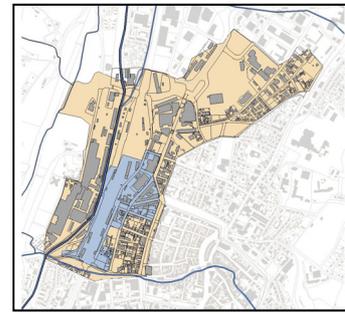


Abbildung 5-1 zeigt das Ergebnis erster einfacher Berechnungen mit radialsymmetrischem Ansatz (vgl. Kap. 5.3) bei einem angenommenen Porositätswert von 12,5 % und jeweils 4- bis 6-tägiger Versuchsdauer. Demnach wären für die Erfassung einer Kontrollebene quer durch das Projektgebiet 37 Immissionspumpversuche erforderlich. Für eine zweite Kontrollebene, die nahe der Vorflut den gesamten Grundwasserabstrom erfassen würde, wären weitere 29 Immissionspumpversuche erforderlich.

Die Berechnungen zeigten, dass Immissionspumpversuche mit erzielbaren Erfassungsbreiten zwischen 25 und 80 m im Untersuchungsgebiet grundsätzlich als Methode zur integralen Erfassung des Grundwasserabstroms und der Schadstoffimmission geeignet sind. Es wurde aber auch deutlich, dass mit durchgehenden, nicht auf die Altlastensituation strategisch abgestimmten Kontrollebenen die in der Budgetplanung vorgesehene maximale Anzahl von 100 Immissionspumpversuchen schnell erreicht werden würde. Daher waren in der strategischen Planung eine an die Altlastensituation angepasste Planung der Kontrollebenen und die Hin- nahme von Erfassungslücken erforderlich.

Darüber hinaus mussten vor der Freigabe der Untersuchungsausführung durch die Fachbe- hörde noch zwei der bisherigen Planung zugrunde liegenden Annahmen nachgewiesen wer- den, nämlich:

- dass für die durchflusswirksame Porosität ein Wert von 12,5 % angesetzt werden darf,
- dass die in der Literatur für den Transport der zu untersuchenden organischen Schad- stoffe angegebenen Retardierungsfaktoren bei Immissionspumpversuchen aufgrund der relativ hohen Fließgeschwindigkeiten und geringen Verweildauer im radialen Strö- mungsfeld der Brunnen zu vernachlässigen sind.

Diese Nachweise gelangen mit den in Kap. 4.5.3 beschriebenen Markierungsversuchen sowie den in Kap. 4.5.4 beschriebenen Säulenversuchen.

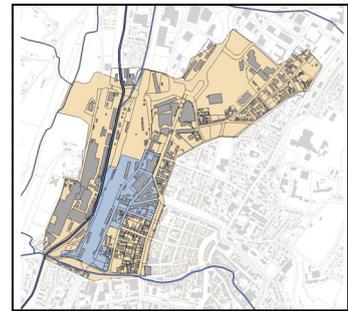
Alternativ zur integralen Untersuchung mit Immissionspumpversuchen wurden zwei weitere Untersuchungsansätze diskutiert:

- Groundwater Fence-/Transekten-Methode nach KORA-Leitfaden, WABELS & TEUTSCH, 2008)

Bei dieser Methode werden zur Frachtenbestimmung entlang von Kontrollebenen in einem dichten Raster Schadstoffkonzentrationen und spezifische Grundwasserflüsse gemessen. Für die Entnahme horizontaler Grundwasserproben wird ein Hohlsondiergestänge direkt bis zur gewünschten Tiefe in den Grundwasserleiter vorgetrieben. Eine spezielle Filter- sonde ermöglicht die Grundwasserprobenahme aus definierten Tiefen. Die auf diese Wei- se entlang einer Transekte (Kontrollebene) punktuell bestimmten Konzentrationen sind die Grundlage für die interpolative Berechnung der Konzentrationsverteilung und Schadstoff- fracht.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Diese Vorgehensweise wurde zunächst nicht weiter verfolgt, da Zweifel bestanden, dass der Vortrieb der Filtersonde an dem in Ravensburg weit verbreiteten groben Aquifermaterial scheitern würde. Um eine mit der Methode der Immissionspumpversuche vergleichbare räumliche Auflösung zu erreichen, wäre außerdem eine um den Faktor 5 - 10 höhere Anzahl von Grundwassersondierungen erforderlich, was entlang der Kontrollebenen im dicht bebauten innerstädtischen Bereich nicht lückenlos umsetzbar ist. Eine Anwendung der Methodik erfolgte jedoch in der Projektphase 4 im Rahmen einer Vergleichsstudie zwischen Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Verfahren (siehe Kap. 7.5.2).

- Interpolation der Schadstoffgehalte des Messstellenbestands mit dem Grundwassermodell

Bei dieser Methode sollte die Schadstoffimmission mittels Stofftransportmodell aus punktuell gemessenen Schadstoffkonzentrationen berechnet werden. Diese modellgestützte Berechnung ist einer einfachen räumlichen Interpolation überlegen, da strömungs- und transportrelevante Kriterien berücksichtigt werden können. Dennoch setzt auch dieser Ansatz eine ausreichend dicht belegte Erfassung von Schadstoffkonzentrationen voraus.

Im Abstom der vermuteten Schadensherde war die Datengrundlage jedoch erkennbar lückenhaft und auch mit einzelnen zusätzlichen Messstellen und IPV nicht zu schließen gewesen. Das Risiko, gerade auch schmale Fahnen nicht zu erfassen, wurde als zu hoch angesehen, sodass diese Vorgehensweise für die integrale Altlastenuntersuchung in Ravensburg trotz vorhandenem Grundwassertransportmodell nicht weiter verfolgt wurde.

5.2 Strategische Planung der Kontrollebenen

Nach der grundsätzlichen Klärung der Anwendbarkeit der integralen Untersuchungsmethode (Kap. 5.1) wurde von Juli 2004 bis Juni 2005 die strategische Planung der Kontrollebenen vorgenommen.

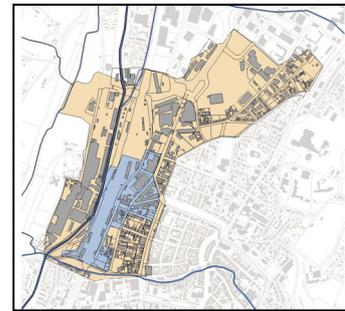
Die Bewertung und Verschneidung der zahlreichen Sachdaten wurde in enger Abstimmung zwischen Planern und Fachbehörden vorgenommen. Jede Anpassung der Lageplanung der Kontrollebenen bedingte unmittelbar die Planung der zugehörigen Immissionspumpversuche und die Prüfung von deren prinzipieller Durchführbarkeit. Dieser stetige Optimierungsprozess hin zu einer in sich logischen und fehlerfreien räumlichen Untersuchungsstrategie war entsprechend zeitintensiv.

Bei der Planung der Kontrollebenen wurden im Wesentlichen folgende Faktoren berücksichtigt:

- Lage bekannter Schadensherde
- Lage potenzieller Schadensherde
- bekannte Schadstoffsituation im Grundwasser
- Grundwasserströmungssituation
- öffentliche Grundstücke
- Machbarkeit von Immissionspumpversuchen entlang der Kontrollebene (Kap. 5.3)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Das zentrale Werkzeug der strategischen Planung der Kontrollebenen waren die Datenbank-/Geoinformationssysteme BAK und ALTIS Ravensburg (Kap. 4.1), die alle wesentlichen Informationen zur Altlastensituation sowie zu Boden- und Grundwasserbefunden enthielten und deren Daten mit dem Flurstückskataster und der Grundwasserströmung verschnitten werden konnten. Darüber hinaus wurde die Planung der ersten Kontrollebenen mit den Fahnsimulationen des Transportmodells abgeglichen. Dabei wurde zur Plausibilisierung der vorgesehenen Lage ein „modellhaftes Fahnspektrum“ für das Untersuchungsgebiet berechnet. Für diese Transportberechnungen wurden den bekannten und potenziellen Emittenten jeweils ein Stoffinput zugeordnet und, soweit möglich, an die bekannten Konzentrationen im Grundwasser angepasst.

Um das Risiko einer Fehlplanung mit Immissionspumpversuchen ohne verwertbare Befunde zunächst möglichst gering zu halten, wurden zuerst Kontrollebenenabschnitte abstromig der bekannten oder mutmaßlichen Emittenten verfolgt. **Abbildung 5-2** zeigt einen Zwischenstand der Planung der Kontrollebenen vom August 2004. Gegenüber der Machbarkeitsprüfung (**Abbildung 5-2**) zeigt sich bereits eine deutliche Differenzierung und Anpassung an die Emittenten- und Immissionssituation. Kontrollebenen in Bereichen, in deren Zustrom keine Emittenten bekannt oder zu vermuten waren, wurden in der strategischen Planung nicht weiterverfolgt.

Auch zunächst noch fragliche Kontrollebenenabschnitte, die im Abstrom bereits weitgehend erkundeter bzw. sanierter Emittenten lagen, wurden nicht weiter untersucht. Hierzu gehörte z. B. das ehem. Gaswerk Ravensburg, das sich bereits in der Sanierung befand.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

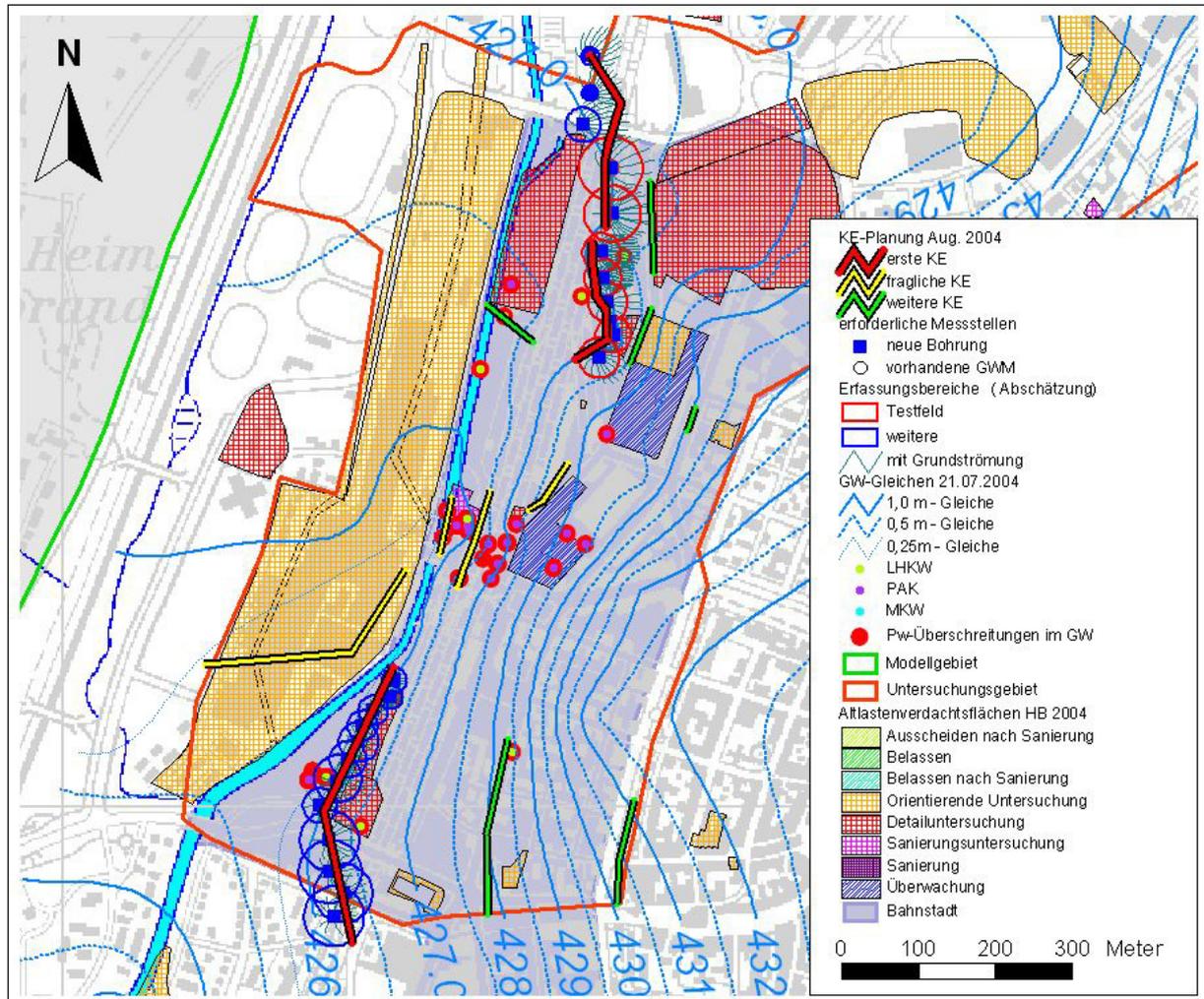
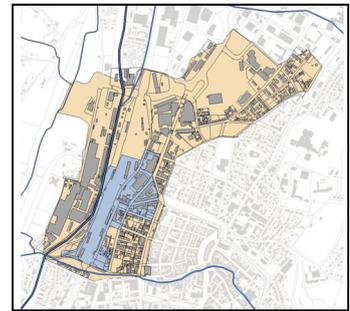


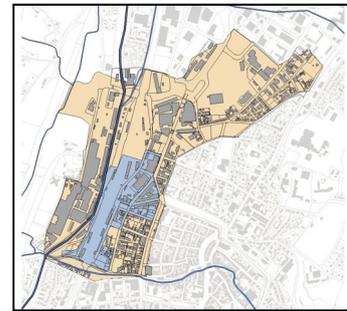
Abbildung 5-2: Zwischenstand der Kontrollebenenplanung vom August 2004

Bei der Einrichtung der Kontrollebenen wurde zur Minimierung des Risikos methodischer Fehler und Erfassungslücken ein iterativ-adaptives Vorgehen in drei Phasen beschlossen. Dabei wurden die Kontrollebenen und Immissionspumpversuche abschnittsweise geplant und ausgeführt. Entsprechend der Ergebnisse und Erfahrungen wurden die Planung und Ausführung der nachfolgenden Phasen optimiert:

In der Phase 3.1 wurde im Jahr 2005 mit der Kontrollebene KE 3 im nördlichen Teil des Projektgebiets abstromig bekannter oder mutmaßlicher Emittenten als „Testfeld“ mit sieben Immissionspumpversuchen begonnen (**Abbildung 5-2**).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



In der Phase 3.2 wurden im Jahr 2006 im nördlichen Projektgebiet die Kontrollebenen KE 2 und KE 4 mit insgesamt elf IPV eingerichtet (**Abbildung 5-3**). Damit wurde der Grundwasserabstrom der „Testfeld“-Kontrollebene sowie weiterer Emittenten erkundet. Des Weiteren wurde im südlichen Projektgebiet die Kontrollebene KE 3 mit neun IPV im Abstrom bekannter und vermuteter Emittenten sowie auffälliger Prüfwertüberschreitungen im Grundwasser eingerichtet.

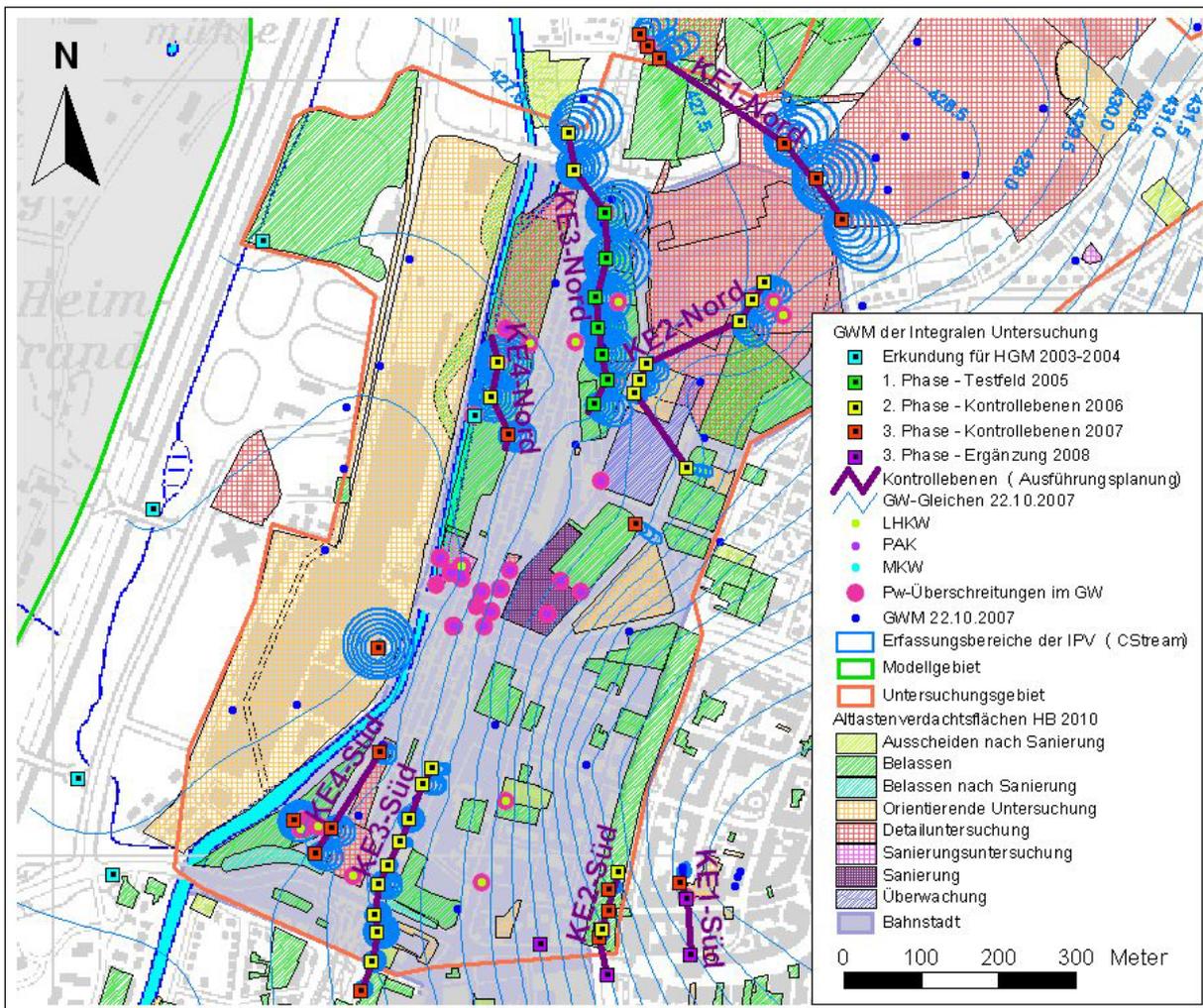
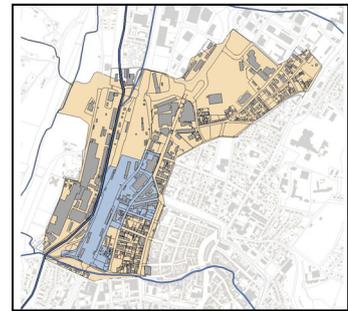


Abbildung 5-3: Letzter Planungsstand für die Einrichtung der Kontrollebenen

In der Phase 3.3 wurden im Jahr 2007 im nördlichen Projektgebiet die Kontrollebene KE 1 im Abstrom des Ablagerungsbereichs Ravensburg Nord eingerichtet. Im Süden wurden die Kontrollebenen KE 4 und KE 2 im Abstrom weiterer Emittenten eingerichtet. Bereits bestehende Kontrollebenen wurden randlich ergänzt. Im Jahr 2008 wurde zur Klärung der Vorbefunde im südlichen Projektgebiet noch die Kontrollebene KE 1 eingerichtet und die Kontrollebene KE 2 ergänzt.



5.3 Planung der Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche

Die Planung der einzelnen Immissionspumpversuche verläuft in einem iterativen Prozess. Dabei muss die geplante Kontrollebene (gem. Kap. 5.2) mit der zur Erfassung des Fließquerschnitts erforderlichen Anzahl von Immissionspumpversuchen abgedeckt werden, wobei bereits vorhandene Messstellen nach Möglichkeit einbezogen werden. Hierzu müssen auf Grundlage der ermittelten Kenndaten hydraulische Berechnungen der möglichen Pumpraten und Erfassungsbereiche durchgeführt werden. Hierbei ist auch in einer Vorausberechnung des zeitlichen Zuwachses des Erfassungsbereichs für jeden Immissionspumpversuch ein Probenahmeplan aufzustellen, der in der Auswertung eine ausreichend detaillierte räumliche Auflösung der Konzentrationsverteilung entlang der Kontrollebenen zulässt. Im Anschluss müssen die erforderlichen Standorte für die Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche anhand der Grundstückseigentumsverhältnisse, der Bebauung und Zugänglichkeit auf ihre Machbarkeit geprüft werden. Hierzu gehört auch die Beurteilung des Risikos von Setzungs- und Bauschäden durch die geplanten Immissionspumpversuche.

Schließlich sind sämtliche anfallenden Kosten für die geplanten Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche zu kalkulieren. Dieser iterative Planungsprozess ist so lange zu durchlaufen, bis eine unter den gegebenen Voraussetzungen optimale Erfassung der Kontrollebene bei minimalen Kosten erreicht ist. Hierbei muss insbesondere ein Optimierungsprozess zwischen Anzahl und Dauer der Immissionspumpversuche durchlaufen werden. Eine geringere Anzahl an Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuchen kann im Hinblick auf die Erfassung der Kontrollebene oft durch längere Pumpzeiten kompensiert werden. Der Kosteneinsparung durch eine geringere Anzahl von Immissionspumpversuchen stehen allerdings Mehrkosten durch die überproportional steigende Pumpdauer und damit ansteigenden Betriebs- und Abwasserkosten entgegen.

Falls die örtlichen Gegebenheiten eine vollständige Erfassung des Kontrollebenenabschnitts nicht zulassen oder die Kosten der erforderlichen Immissionspumpversuche das geplante Projektbudget übersteigt, muss beurteilt werden, ob eine lückenhafte Abstromerfassung im Hinblick auf die Altlastenbewertung noch zielführend ist oder der Kontrollebenenabschnitt entfallen muss.

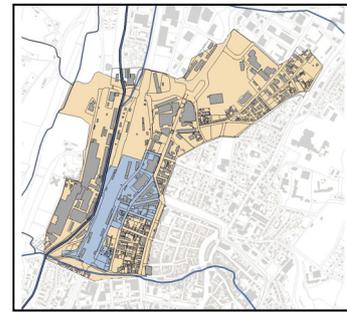
5.3.1 Planung der Erfassungsbereiche mit analytischen Formeln

Grundlage der Planung der Brunnenlage und des möglichen Erfassungsbereichs sind die (gegebenen oder vorgesehenen) Brunnenkoordinaten, die Aquifermächtigkeit M , die hydraulischen Kennwerte (Transmissivität T , Durchlässigkeitsbeiwert k), der Transportparameter effektive Porosität n_e sowie der hydraulische Gradient i .

Aus der Grundwasserhöhe und Aquiferbasis wird zunächst die maximal mögliche Absenkung s_{\max} unter Berücksichtigung einer Restwassersäule (z. B. 1 m) über der Aquiferbasis berechnet. Aus der maximal möglichen Absenkung s_{\max} und der Transmissivität T wird im nächsten Schritt die maximal mögliche Pumprate Q_{\max} nach der Brunnenformel für stationäre Strömung abgeschätzt:

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



$$Q_{\max} = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot s_{\max}}{\ln(r_0 / r_w)} \quad (\text{gespannte Grundwasserverhältnisse})$$

$$Q_{\max} = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot (M^2 - (M - s_{\max})^2)}{\ln(r_0 / r_w)} \quad (\text{freie Grundwasserverhältnisse})$$

Der Quotient aus Reichweite r_0 und Brunnenradius r_w liegt mit dem Erfahrungswert 2000 i. d. R. auf der sicheren Seite. Ein genauere Wert für die Reichweite r_0 lässt sich gem. Grundbau-Taschenbuch (ODENWALD, B., HEKEL, U. & THORMANN, H., 2009) instationär mit dem Speicherkoeffizient S und der Pumpdauer t berechnen:

$$r_0 = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{t \cdot T}{S}}$$

Übersteigt die maximal mögliche Pumprate die technisch aus einer Grundwassermessstelle förderbare Rate (z. B. 5 l/s bei einem Messstellendurchmesser von 125 mm), so muss der mögliche Wert für Q_{\max} entsprechend reduziert oder ein größerer Ausbaudurchmesser gewählt werden.

Für die erste Machbarkeitsprüfung und überschlägige Kontrollebenenplanung wurde der Erfassungsradius r des IPV mit einer sinnvollen Vorgabe für die Pumpzeit t (z. B. 96 oder 120 Stunden) und dem Schätzwert für die durchflusswirksame Porosität n_e von 12,5 % nach der Zylinderformel abgeschätzt:

$$r = \sqrt{\frac{Q_{\max} \cdot t}{\pi \cdot n_e \cdot M}}$$

Für die genauere Planung der Immissionspumpversuche und damit auch zur Ermittlung der benötigten Anzahl und Lage der Kontrollbrunnen ist eine analytische Berechnung des Erfassungsbereichs mit Berücksichtigung der Grundwasserströmung unabdingbar (**Abbildung 5-3**). Hierzu wurde das in Kap. 6.3.2 beschriebene analytische Werkzeug CSTREAM verwendet. Mit CSTREAM wurde auch der Probenahmeplan optimiert, um eine gute räumliche Auflösung der Konzentrationsverteilung aus dem Konzentrationsdurchgang im Brunnen zu erreichen. In die letztendliche Ausführungsplanung der IPV gingen die in den Kurzpumpversuchen und ggf. im Umfeld durchgeführten Tracerversuchen genauer ermittelten hydraulischen Parameter ein.

Abbildung 5-4 zeigt die Gegenüberstellung einer Vorplanung mit einfacher Berechnung der IPV-Einzugsgebiete nach der Zylinderformel und einer Ausführungsplanung mit der analytischen Berechnung der Isochronen durch CSTREAM unter Berücksichtigung der Grundströmung. Bei relevanter Grundströmung werden die mit der Zylinderformel berechneten Einzugsgebiete überschätzt.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

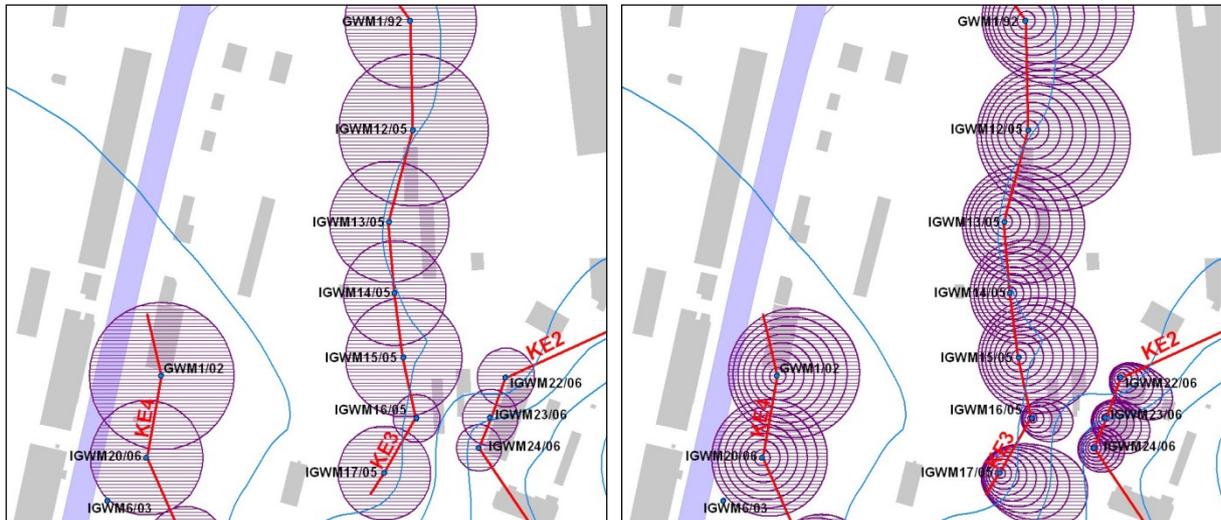
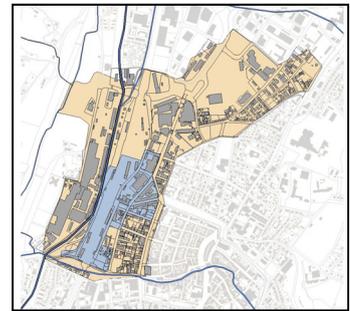


Abbildung 5-4: Einfache Berechnung der IPV-Einzugsgebiete mit der Zylinderformel für die Machbarkeitsprüfung und strategische Planung der Kontrollebenen (links) und Ausführungsplanung mit Isochronen der Probenahmezeitpunkte mit CSTREAM (rechts)

5.3.2 Planung der Erfassungsbereiche mit dem numerischen Grundwassermodell

Die Erfassungsbereiche der IPV wurden mit einer Rückwärtsrechnung des Stofftransports auf dem Strömungsfeld während des Pumpbetriebs berechnet. Dabei wurde am Pumpbrunnen die Pumprate als Injektionsrate mit einer Stoffkonzentration von 1 (= 100 %) angesetzt. Die so berechnete Konzentrationsverteilung zeigt eine Abnahme mit zunehmender Entfernung vom Brunnen. Zum Vergleich mit den analytisch berechneten Einzugsgebieten wurde die Grenzlinie für die 50%ige Konzentration verwendet (**Abbildung 5-5**).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

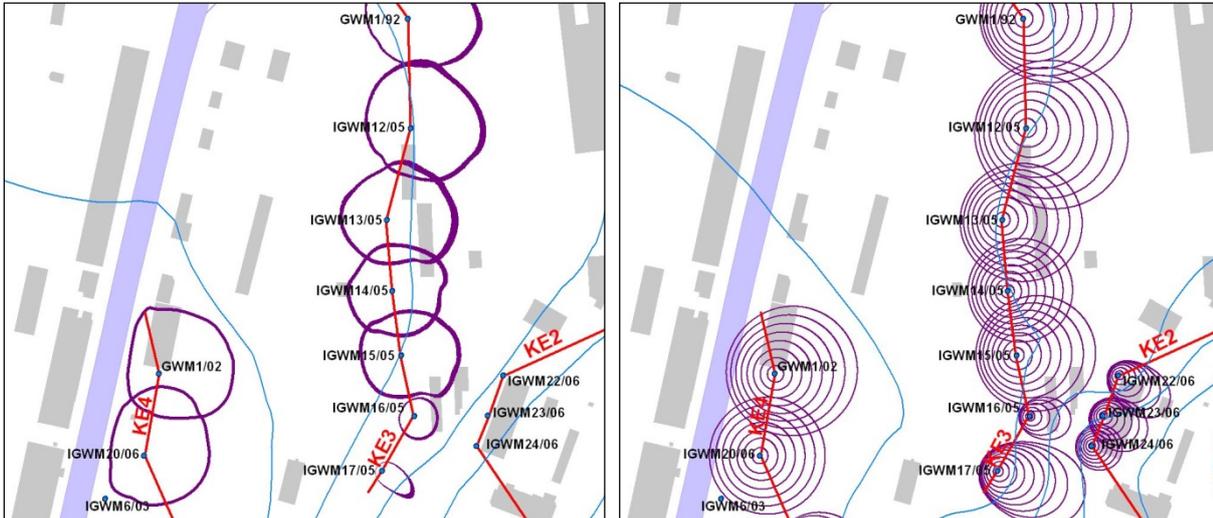
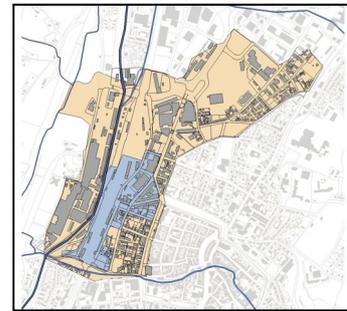


Abbildung 5-5: Numerische Berechnung der Erfassungsbereiche der IPV (links) im Vergleich zur Planung mit dem analytischen Verfahren CSTREAM (rechts)

Mit dieser Vorgehensweise konnten i. d. R. gute Übereinstimmungen zwischen modellgestützter und analytischer Berechnung der Einzugsgebiete festgestellt werden. Abweichungen sind darauf zurückzuführen, dass die Parameter Aquifergeometrie, hydraulische Kennwerte sowie Grundströmung bei der numerischen Berechnung entsprechend der im Modell berechneten räumlichen Verteilung eingehen, bei der analytischen Berechnung hingegen als Einheitswert am jeweiligen Brunnen.

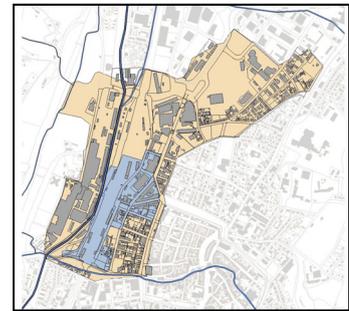
5.3.3 Klärung von Zugänglichkeit und Bebauung

Grundsätzlich wurde bereits bei der Planung der Kontrollebenen darauf geachtet, dass diese im Bereich öffentlicher Grundstücke (Straße, Gehweg, Grünfläche etc.) verlaufen. Zahlreiche Messstellen und Immissionspumpversuche mussten jedoch auf privaten Grundstücken eingerichtet und durchgeführt werden, was eine frühzeitige Abstimmung mit den betroffenen Eignern (Deutsche Bahn AG, Industrie- und Gewerbebetriebe) erforderte. Ein weiteres Kriterium war, die Kontrollbrunnen möglichst abseits der Bebauung einrichten zu können. Hierzu boten sich wiederum Straßenverläufe bzw. Gehwege und stillgelegte Gleistrassen an.

Mit der Vorgabe, den Schadstoffabstrom möglichst vollständig erfassen zu können, bestand für die Bohransatzpunkte entlang der Kontrollebene oft nur wenige Meter Spielraum. In jedem Fall mussten die Lagepunkte im Zuge einer Begehung auf die örtlichen Gegebenheiten (aktuelle Bebauung, Zugänglichkeit, Leitungsverläufe) überprüft und mit den jeweiligen Eignern (Stadt, Grünflächenamt etc.) abgestimmt werden.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



5.3.4 Beurteilung des Risikos von Setzungs- und Bauwerksschäden

Die Grundwasserabsenkung durch Immissionspumpversuche bewirkt eine Reduzierung des Auftriebs und damit Zusatzlasten im Untergrund. Bei setzungsempfindlichen Schichten (z. B. Torf, Ton, Schluff) können diese Zusatzlasten im Absenktrichter zu Setzungen führen. Befinden sich Bauwerke oder Dämme in diesem Bereich, so können an diesen u. U. Setzungsschäden (Risse, Schiefstellungen) auftreten.

Zur Berechnung der Zusatzlasten wurde eine hydraulische Berechnung des Absenktrichters nach THEIS (1935) ggf. mit Korrektur für freie Grundwasserverhältnisse durchgeführt:

$$s = \frac{Q}{4\pi kM} \int_u^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy \quad \text{mit} \quad u = \frac{r^2 S}{4kMt}$$

Hierin sind:

- s = Absenkung [m]
- r = Abstand vom Brunnen [m]
- Q = konstante Entnahmemenge aus dem Brunnen [m³/s]
- S = Speicherkoeffizient, dimensionslos
- k = Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
- M = Aquifermächtigkeit [m]
- t = Zeit ab Pumpbeginn [s]

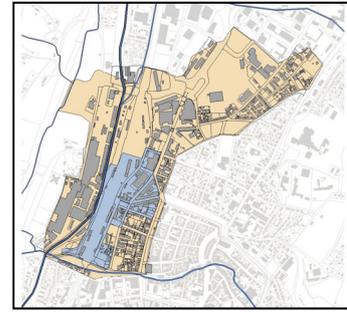
Da die bindigen Deckschichten im Projektgebiet insbesondere bei torfigen Einschaltungen geringe Steifigkeitswerte aufweisen, wurden für die Immissionspumpversuche im Bereich der Eisenbahnstrecke Ulm-Friedrichshafen, der Hochbrücke der B32 (Ulmer Straße) sowie die im Bereich von Fabrikgebäuden geplanten Immissionspumpversuche Setzungsberechnungen auf Grundlage der jeweiligen Bohrprofile und in **Tabelle 5-1** aufgeführten bodenmechanischen Kennwerte durchgeführt.

Schichtbezeichnung	Wichte γ/γ'	Steifemodul Es
	kN/m ³	MN/m ²
Künstliche Auffüllung	20/10	10
Torf	16/6	2
Auelehm	19/9	8
Quartäre Kiese	21/11	40
Beckentone, steif	21/11	20
Beckentone, halbfest-fest	21/11	50

Tabelle 5-1: Bodenkennwerte der Ablagerungen im Schussental

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Während sich für den Gleisbereich und die Hochstraße keine Setzungsgefährdung ergab, musste bei einem im Abstand von 6 m neben einem Fabrikgebäude geplanten Immissionspumpversuch die vorgesehene Pumprate von 2 l/s auf 1 l/s reduziert werden. Damit gelang es, die rechnerisch möglichen Setzungen im Untergrund auf ein tolerierbares Maß von unter 1 mm zu halten.

5.3.5 Auswahl der Analyseparameter

Basierend auf dem zu erwartenden Schadstoffspektrum wurde ein standardisierter Untersuchungsumfang abgeleitet. Die bei den Immissionspumpversuchen und den vorausgehenden Kurzpumpversuchen entnommenen Grundwasserproben wurden auf folgenden Parameter untersucht:

- Kohlenwasserstoff-Index
- MTBE – Methyl-tert-butylether (Zusatzstoff in Ottokraftstoffen sowie Lösungsmittel)
- BTEX – Benzol, Toluol, Xylol
- LCKW – leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe
- PAKs – polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, inkl. 1-Methylnaphthalin/2-Methylnaphthalin
- heterozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- Cyanid gesamt
- Schwermetalle Altlasten – Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink
- DOC
- Ergänzende Parameter: DOC, Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Mangan, Chlorid, Nitrat, Nitrit, Sulfat, Säurekapazität bei pH 4,3 (20 °C), Hydrogencarbonat, Ammonium
- Vor-Ort-Parameter: Leitfähigkeit, pH, Sauerstoffgehalt, Temperatur, Redoxpotenzial

Die Untersuchungen der o. a. ergänzenden Parameter sollten bei gleichzeitiger Berücksichtigung der erfassten Vor-Ort-Parameter eine erste Abschätzung des Grundwassermilieus hinsichtlich möglicher Natural-Attenuation-Prozesse ermöglichen.

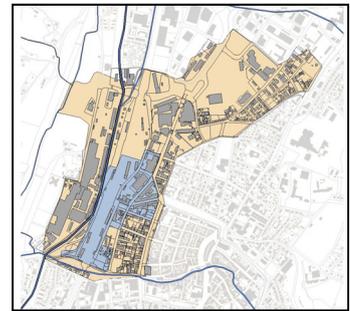
5.3.6 Kostenermittlung und Berücksichtigung der Kosteneffizienz

Neben der fachtechnischen Planung der Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche ist die Ermittlung und Optimierung der resultierenden Kosten eine wesentliche Grundlage für die Beurteilung der Verhältnismäßigkeit und damit letztendlich entscheidend für die Durchführung.

Die Kostenermittlung und -optimierung wurde mittels einer Tabellenkalkulation vorgenommen. Eine Datentabelle enthielt dabei die Daten der hydraulischen IPV-Planung.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



In einer Kostentabelle waren sämtliche Einheitspreise für die Bohrarbeiten und die Immissionspumpversuche inkl. Analytik, Strom, Abwasserreinigung und Kanalgebühren hinterlegt.

In einer Ergebnistabelle wurde für jede Leistungsposition die erforderliche Menge entnommen oder berechnet, z. B.

- Bohrtiefe aus Aquiferbasis minus Geländehöhe plus 1 m
- Filterrohrlänge aus Aquifertop minus Aquiferbasis
- Abwassermenge aus Pumprate mal Pumpzeit

Die berechneten Mengen wurden mit den jeweiligen Einheitspreisen der Kostentabelle multipliziert und daraus die Gesamtkosten für jeden Immissionspumpversuch bestehend aus Bohrkosten, Pumpversuchskosten, Analysekosten, Stromkosten und Abwasserkosten aufgelistet. Mit jeder Änderung der Eingangsdaten (z. B. nach Datenaktualisierungen, Einfügen zusätzlicher Messstellen oder Änderung der Pumpzeiten) waren die Kosten für den jeweiligen Immissionspumpversuch und in der Summe die Kosten für die betroffene Kontrollebene unmittelbar zu beziffern.

Für jeden Kontrollebenenabschnitt wurde ein Optimierungsprozess durchlaufen, in dem aus der gegenseitigen Abhängigkeit der Anzahl der Bohrungen bzw. Immissionspumpversuche auf der einen Seite und der erforderlichen Erfassungsreichweiten, Pumpdauern und Abwassermengen auf der anderen Seite das Kostenminimum gefunden wird.

Abschließend wurde für jeden Kontrollebenenabschnitt die Kosteneffizienz bewertet. Bei schlechter Kosteneffizienz wurde u. U. von der eigentlich angestrebten vollständigen Erfassung durch Immissionspumpversuche mit überlappenden Erfassungsbereichen abgewichen. So wurde beispielsweise bei den Kontrollebenen im Süden des Bearbeitungsgebiets bewusst eine lückenhafte Erfassung der Kontrollebenen in Kauf genommen, weil aufgrund geringerer Durchlässigkeiten nur geringe Erfassungsbreiten möglich und damit zur vollständigen Erfassung eine hohe Zahl an Bohrungen und Versuchen nötig gewesen wäre. In einigen Fällen führte die Bewertung der Kosteneffizienz auch zum Verzicht auf bestimmte Kontrollebenenabschnitte, insbesondere wenn die Bewertung der Altlastensituation durch andere Maßnahmen erreicht werden konnte.

5.4 Ausführung der Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche

5.4.1 Bohrarbeiten und Ausbau der Kontrollbrunnen

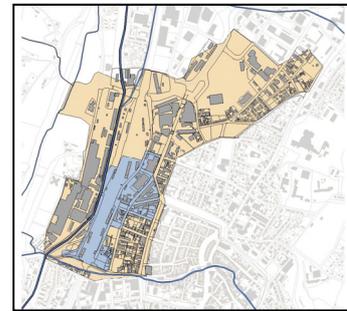
Nach der grundsätzlichen Klärung der Zugänglichkeit und Abstimmung mit den Grundstückseignern waren vor der Einrichtung neuer Grundwassermessstellen als Kontrollbrunnen und Durchführung der Immissionspumpversuche folgende Punkte zu klären:

- Kampfmittelfreiheit

Da Ravensburg von Bombenabwürfen im 2. Weltkrieg betroffen war, musste an den vorgesehenen Bohrpunkten die Kampfmittelsituation geklärt und in vier Fällen vorab Kampfmittelsondierungen durchgeführt werden.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- Leitungsverläufe

Aufgrund der überwiegend innerstädtischen Lage der Bohrpunkte mussten trotz der Abklärung der Leitungsverläufe an den meisten Bohrpunkten Vorschachtungen durchgeführt werden (**Abbildung 5-6**).

- Aufstellungsfläche, Absperrungen und Verkehrssicherung

Für die Bohrarbeiten wurden kleine Kernbohrgeräte verwendet, mit denen auch unter beengten Verhältnissen gearbeitet werden konnte (**Abbildung 5-6**).



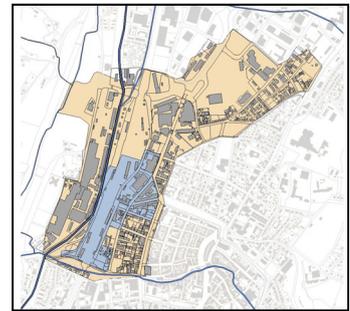
Abbildung 5-6: Vorschachtung (rechts) und Bohrarbeiten unter für Innenstadtverhältnisse typischen engen Platzverhältnissen (links)

Während der Durchführung der Bohrarbeiten und Immissionspumpversuche (s. u.) waren Maßnahmen zur Verkehrssicherung i. d. R. unabdingbar. In vielen Fällen waren kurzfristige Sperrungen oder Einschränkungen hinzunehmen. Hierbei bewährte sich, dass die Stadt Ravensburg die betroffenen Grundstückseigner sehr frühzeitig informierte und in die Planungen mit einband. Die Bürger wurden ebenso frühzeitig über Pressemitteilungen und Flyer von dem Vorhaben informiert, an den Baustelleneinrichtungen informierte fallweise eine Infotafel über das Projekt (Kap. 3.5).

Nach Fertigstellung der Messstellen wurden diese nach Lage und Höhe eingemessen.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



5.4.2 Kurzpumpversuche

Im unmittelbaren Anschluss an den Messstellenausbau wurden Kurzpumpversuche durchgeführt und ausgewertet. Mit den in der hydraulischen Auswertung entsprechend Kap. 6.1 neu hinzugewonnenen Parametern wurde die Planung des Immissionspumpversuchs überprüft.

Bei größeren Abweichungen von den in der Planung angenommenen Kennwerten bestand die Möglichkeit, neben der Versuchsdauer auch die Anzahl und die Lage der noch nicht eingerichteten Messstellen so anzupassen, dass eine vollständige Erfassung der Kontrollebene möglich blieb. Diese Überprüfung war damit ein wichtiges Mittel zur optimalen Platzierung der Grundwassermessstellen für die möglichst vollständige Erfassung des Grundwasserabstroms. Die Vorgehensweise erforderte eine zeitnahe und flexible Bearbeitung bei den beteiligten Ingenieurbüros, Genehmigungsbehörden, Bohrunternehmen und Grundstückseigentümern.

5.4.3 Immissionspumpversuche

Die Immissionspumpversuche wurden mit Pumpzeiten zwischen vier und sieben Tagen durchgeführt. Dem Stand der Technik entsprechend wurden die Messparameter der Immissionspumpversuche automatisch gemessen (**Abbildung 5-7**). Das eingesetzte Messequipment bestand aus:

- Drucksonde(n) zur Wasserstandsmessung
- Magnetisch induktiver Durchflussmesser zur Pumpratenmessung
- Messzellen für die Parameter Leitfähigkeit, Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Redoxpotenzial

Sämtliche Messdaten wurden über einen Multidatenlogger kontinuierlich aufgezeichnet und bildeten neben den Analyseergebnissen der während der IPV entnommenen Wasserproben die Datenbasis für die Auswertung.

Das hierfür erforderliche Messequipment wurde in kleinen Anhängern untergebracht (**Abbildung 5-7**). Damit konnte der Platzbedarf und die mit den Immissionspumpversuchen verbundenen Störungen des Fahrzeug- und Fußgängerverkehrs gering gehalten werden.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

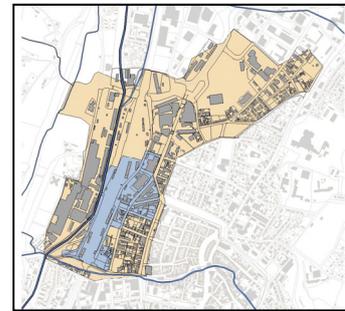


Abbildung 5-7: Versuchseinrichtung im innerstädtischen Bereich mit Einzäunung, Verkehrssicherung und Überfahrtschutz für die Ablaufschläuche (links) sowie Durchflussmess- und Regelsystem (rechts)

Für die Immissionspumpversuche musste eine unterbrechungsfreie Stromversorgung sichergestellt werden. Eine Versorgung über ein Notstromaggregat schied aufgrund der (nächtlichen) Lärmbelastung im innerstädtischen Bereich sowie aufgrund ökologisch/ökonomischen Erwägungen aus. I. d. R. wurde über einen örtlichen Elektriker ein Baustromverteiler eingerichtet, über den die jeweils benachbarten Immissionspumpversuche betrieben werden konnten. In vielen Fällen war jedoch auch ein direkter Strombezug von Anwohnern möglich, wobei der Stromverbrauch gemessen und vergütet wurde.

Das anfallende Abwasser wurde in die Kanalisation eingeleitet. Zur Einhaltung der Indirekteinleitergrenzwerte wurde das Abwasser bei Bedarf über Aktivkohle abgereinigt. Die Abwassermenge wurde mittels Wasseruhr erfasst und mit dem örtlichen Abwasserbetrieb abgerechnet.

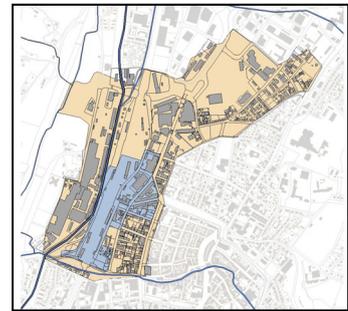
Bei der zeitlichen Abfolge der Immissionspumpversuche war zu beachten, dass sich benachbarte Versuche gegenseitig beeinflussen können. Während des Immissionspumpversuchs werden relativ große Wasservolumen und damit auch Schadstofffahnen verlagert. Nachfolgende IPV finden dann u. U. nicht mehr die ursprüngliche Konzentrationsverteilung vor, was in der Folge zu Fehlinterpretationen der Fahnenlagen führen kann.

Zur Vermeidung dieser gegenseitigen Beeinflussung wurden zwischen benachbarten Immissionspumpversuchen ausreichende Pausen eingehalten, während derer sich die beeinflusste Grundwasserströmung und Schadstoffverteilung wieder entlang der Grundströmung ausrichten konnte. Zur Minimierung möglicher witterungsbedingter Einflüsse und damit einhergehender Änderungen der Grundwasserströmung und des Stofftransports durften die Pausen jedoch auch nicht zu lange dauern. Im Spannungsfeld dieser sich widersprechenden Vorgaben wurden die IPV nach folgenden Grundsätzen ausgeführt:

- Zwischen benachbarten IPV wurde eine Pause von drei Wochen eingehalten.
- In Bereichen, die sich aufgrund ihrer Entfernung nicht gegenseitig beeinflussen, sollten IPV gleichzeitig ausgeführt werden. Hierzu wurden mehrere Messeinrichtungen gleichzeitig eingesetzt.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Quantitative Berechnungen zur gegenseitigen Beeinflussung der IPV wurden bei der Planung noch nicht ausgeführt. Dies wäre jedoch sinnvoll gewesen, da sich bei der Auswertung zeigte, dass einzelne IPV trotz der eingehaltenen Versuchspausen noch durch IPV in Nachbarbrunnen beeinflusst waren. Die dadurch verursachten Verschiebungen der Einzugsgebiete und ermittelten Schadstofffahnen von bis zu 17 m konnten jedoch durch eine entsprechende Auswertung berücksichtigt werden (Kap. 6.3.4).

5.4.4 Tracerversuche

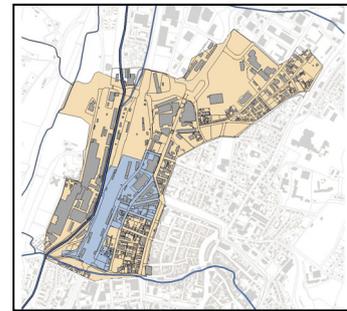
Eine repräsentative Auswahl von Immissionspumpversuchen wurde für eine gleichzeitige Durchführung von Tracerversuchen zur Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität n_e verwendet. Nach der in Kap. 4.5.3 beschriebenen Methode wurde in eine vorhandene Messstelle im radialen Strömungsfeld des IPV Salzwasser eingegeben und der Tracerdurchgang im Brunnen über die Leitfähigkeit erfasst. Bei der Auswahl der Immissionspumpversuche für simultane Tracertests wurde auf folgende Punkte geachtet:

- die Untersuchungsstellen sind möglichst repräsentativ verteilt
- Eingabemesstelle ist zur Kosteneinsparung bereits vorhanden (Altbestand)
- Eingabemesstelle liegt im radialen Strömungsfeld des Immissionspumpversuchs
- Eingabemesstelle ist vergleichbar zum Brunnen verfiltert
- Abstand Eingabestelle – Brunnen ist größer als die 3-fache Aquifermächtigkeit damit ein repräsentativer Aquiferausschnitt getestet werden kann und der Einfluss vertikaler Strömungsvorgänge möglichst gering ist

In Ravensburg konnten bei vier Immissionspumpversuchen bestehende Messstellen in 10 - 20 m Entfernung vom jeweiligen Brunnen verwendet werden, die die o. a. Kriterien erfüllen. Die Tracereingabe erfolgte jeweils einen Tag nach Pumpbeginn.

Bei der Durchführung der Tracerversuche wurde auf folgende Punkte geachtet:

- Einhaltung der einschlägigen fachlichen Standards nach (KÄSS, 2004)
- Planung der Salzmenge, sodass bei einer geschätzten Porosität von 10 % entsprechend der Auswerteformel (Kap. 6.2) ein deutlicher Leitfähigkeitsanstieg im Brunnen zu erwarten ist ($> 100 \mu\text{S}/\text{cm}$)
- vollständige Auflösung des Salzes in ca. 500 - 1.000 Liter Wasser
- Konzentration der Salzlösung unter 35 ‰ (Meerwasser), um Probleme bei der Auflösung oder zu hohen Dichtekontrasten im Aquifer zu vermeiden
- Einfüllen der Salzlösung mittels einer Verrohrung oder eines Schlauchs möglichst über die gesamte Filterstrecke der Eingabemesstelle
- Nachspülen mit einer ausreichenden Wassermenge von der Messstellensohle sowie von oben – ggf. abwechselnd – damit der Markierungsstoff in den Aquifer eingespült wird
- zügige Eingabe der Salzlösung und sofortiges kurzes Nachspülen, da der Tracertest als Stofftransport mit impulsartiger Eingabe ausgewertet werden soll



6 Auswertung der Immissionspumpversuche

6.1 Bestimmung der hydraulischen Parameter

In der hydraulischen Auswertung der Pumpversuche werden die Parameter Transmissivität (T) und Durchlässigkeitsbeiwert (k) sowie der Speicherkoeffizient (S) bestimmt. Hierzu wurden die Messdaten der Wasserspiegelabsenkung sowie des Wiederanstiegs mit dem diagnostischen Plot und instationären Typkurvenverfahren ausgewertet. Diese Verfahrensweise stellt den State of the Art zur Gewinnung von Informationen und hydraulischen Kennwerten von Brunnen, Aquifer und Aquiferrändern dar (Grundbau-Taschenbuch, ODENWALD, B., HEKEL, U. & THORMANN, H., 2009).

Im diagnostischen Plot (vgl. **Abbildung 6-1**) wird der Absenk- oder Wiederanstiegsverlauf in einem doppellogarithmischen Diagramm (Absenkung gegen Zeit) aufgetragen. Aus der Datenkurve wird zusätzlich die erste mathematische Ableitung gebildet (BOURDET, 1983). Aus ihrem typischen Verlauf können einzelne Fließphasen voneinander abgegrenzt und damit Rückschlüsse auf das passende Aquifermodell oder die Randbedingungen gezogen werden. Die Typkurvenanpassung nach GRINGARTEN (1979) liefert Werte für die Transmissivität, die Brunnenspeicherung und den Skinfaktor. Der Skinfaktor gibt Auskunft über den hydraulischen Anschluss des Brunnens an den Aquifer und damit auch über den Zustand der Filterstrecke.

Abweichungen der doppellogarithmisch aufgetragenen Versuchsdaten vom idealen Typkurvenverlauf geben Hinweise auf besondere Aquiferbedingungen. Bei den untersuchten Schusenkiesen und Schwemmfächerablagerungen traten diese Abweichungen teilweise auf und gaben damit Hinweise auf Leakage-Effekte (leaky aquifer) oder verzögerte Porendrängung (delayed yield). Die Korrektur der Typkurve wurde in diesen Fällen nach HANTUSH (1956) bzw. BOULTON (1963) vorgenommen. Mit dieser Anpassung können auch quantitative Aussagen über die vertikale Durchlässigkeit des (halbdurchlässigen) Trennstauers (leaky) bzw. des Aquifermaterials (delayed yield) getroffen werden.

Abweichungen, die im späteren Versuchsverlauf auftreten, zeigen oft hydraulische Ränder an. Bei den Brunnen in der Nähe der Schussen konnten damit Hinweise auf eine Zusickerung aus dem Oberflächengewässer gewonnen werden. Mit passender Korrektur der Typkurve nach STALLMAN (1963) konnte der Randabstand und damit der hydraulische Anschluss der Schussen verifiziert werden. Das in **Abbildung 6-1** gezeigte Beispiel des Pumpversuchs in nahe der Schussen liegenden Messstelle IGWM6/03 zeigt im diagnostischen Plot den hydraulischen Anschluss der Schussen. Die Typkurvenanpassung liefert neben dem Transmissivitätswert von $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ mit 9,2 m die Entfernung der Zusickerung aus der Schussen.

Die Absenkverläufe der benachbarten Beobachtungsmessstellen während der Immissionspumpversuche wurden ebenfalls mittels diagnostischem Plot im Hinblick auf das passende Aquifermodell und Randbedingungen analysiert. Mit der Typkurvenanpassung nach Theis (1935) wurden die Parameter Transmissivität T und Speicherkoeffizient S bestimmt. Der in **Abbildung 6-2** dargestellte diagnostische Plot zeigt am Beispiel der Beobachtungsmessstelle IGWM15/05 beim IPV in IGWM14/05 einen linearen hydraulischen Anreicherungsrand. Die Typkurvenanpassung liefert neben dem Transmissivitätswert von ca. $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ den Speicherkoeffizienten von ca. $1 \cdot 10^{-4}$. Der ermittelte Randabstand von 150 m bestätigt den hydraulischen Anschluss der Schussen.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

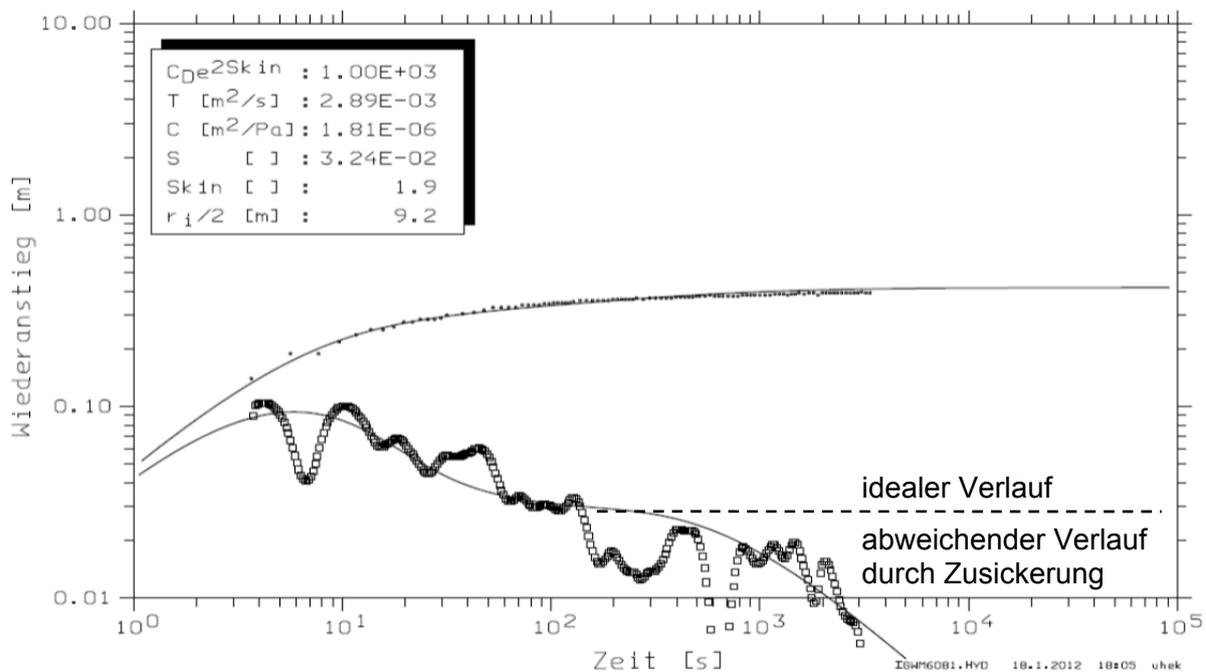
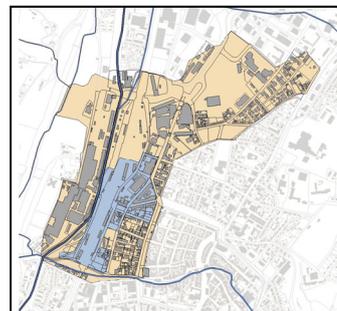


Abbildung 6-1: Auswertung eines Wiederanstiegsverlaufs am Beispiel des Pumpversuchs in IGWM6/03 mit Zusickerung aus der Schussen

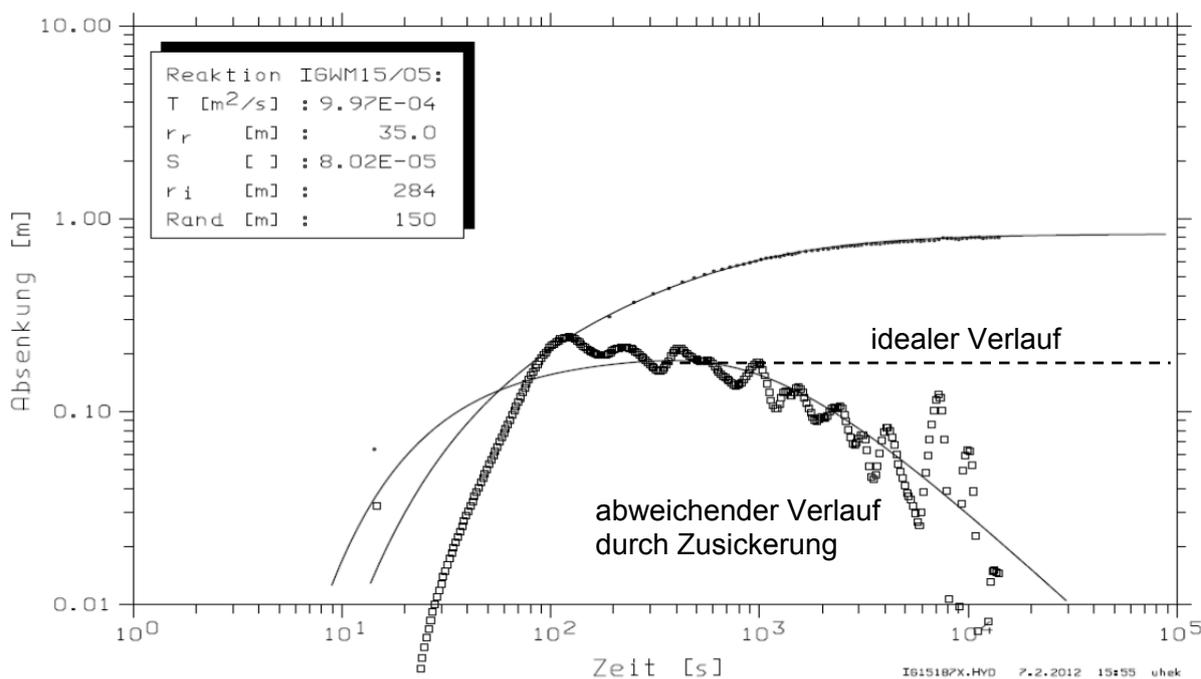
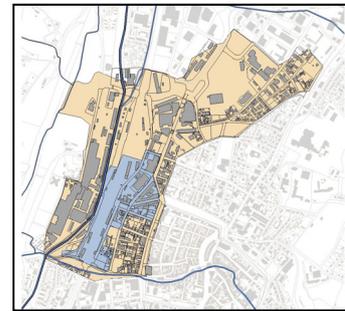


Abbildung 6-2: Auswertung eines Absenkverlaufs am Beispiel der 150 m östlich der Schussen liegenden Beobachtungsmessstelle IGWM15/05 während des Immissionspumpversuchs in IGWM14/05



6.2 Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität

Bei repräsentativ über das Untersuchungsgebiet verteilten Immissionspumpversuchen wurde über Grundwassermessstellen im Erfassungsbereich ein Salztracer eingegeben (vgl. Kap. 4.5.3). Die im Pumpbrunnen gemessenen Konzentrationsdurchgangskurven dieser Tracerversuche lieferten die Grundlage für die Bestimmung der durchflusswirksamen Porosität n_e . Da die Tracereingabe im brunnennahen radialen Strömungsfeld des Immissionspumpversuchs erfolgte, wurde zur Beschreibung des Stofftransports zum Brunnen die Transportgleichung für radiale Strömung nach SAUTY (1980) vorgenommen:

$$c(r,t) = \frac{Mr}{2Qt\sqrt{\pi\alpha_L ut}} \exp\left(-\frac{(r-ut)^2}{4\alpha_L ut}\right) \quad \text{mit} \quad u = \frac{Q}{n_e \pi r m}$$

Hierin sind:

c	Stoffkonzentration im Pumpbrunnen [kg/m ³]
r	Abstand Pumpbrunnen-Eingabestelle [m]
t	Zeit ab Tracereingabe [s]
M	Tracermenge [kg]
Q	Pumprate [m ³ /s]
α_L	Dispersivität [m]
m	Aquifermächtigkeit [m]
n_e	durchflusswirksame Porosität

Bei Verwendung von Natriumchloridlösung kann die NaCl-Konzentration C zur Anpassung an die direkt zu messende Leitfähigkeit σ umgerechnet werden:

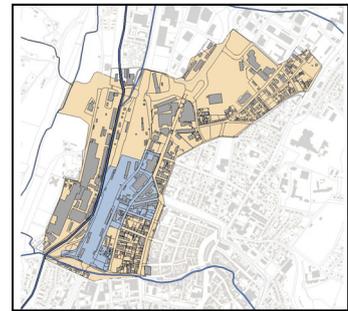
$$C \text{ [kg/m}^3\text{]} = \sigma(20^\circ) \text{ [\mu S/cm]} / 1870$$

Die Transportberechnung nach SAUTY wurde in einem Excel-Arbeitsblatt umgesetzt, mit dem nach Eingabe der Ausgangsdaten der Tracerdurchgang berechnet und dargestellt wird (vgl. ERTEL ET AL., 2008). Dabei werden die Transportparameter n_e und α_L solange variiert, bis eine gute Anpassung an die gemessene Durchgangskurve erreicht wird.

Die aus den fünf Tracerversuchen ermittelten effektiven Porositäten liegen in der Spannbreite von 6 - 12 %, der Mittelwert liegt bei 9 - 10 % (vgl. **Tabelle 6-1**).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



IPV	Q	Entfernung Eingabe	NaCl	n_e	α_L	Austrag
	l/s	m	kg	%	m	%
IGWM9/03	5,00	13,5	20	10,0	2,5	72,5
GWM1/92	5,00	19,5	30	12,0	5,0	20,0
GWM1/02	4,00	48,9	40	8,0	2,0	2,5
IGWM40	2,00	7,3	13	6,0	0,8	50,0
GWM21 WLZ	0,45	9,5	13	9,0	2,9	51,0
Mittelwerte				9,0	2,6	39,2

Tabelle 6-1: Daten und Ergebnisse der Tracerversuche

Planungs- und Auswertehilfe Tracertest

Versuchsdaten		IGWM 9
Pumprate	m ³ /s	0.005
Mächtigkeit	m	3.3
Abstand	m	13.5
Tracerstoff		NaCl
Menge	kg	20
Eingabezeitpunkt		16.06.04 11:15
Wiederfindungsrate	%	72.0%
Nachweisgrenze	$\mu\text{S/cm}$	10
Lf. Hintergrund	$\mu\text{S/cm}$	880

Transportparameter

n_e		0.10
α_L	m	2.50

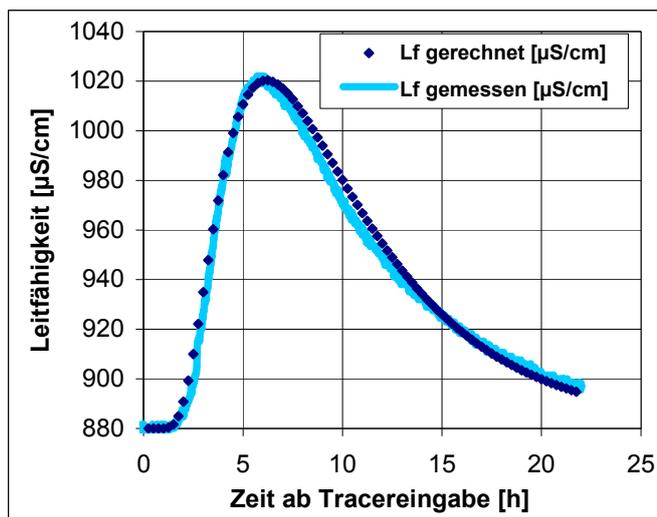
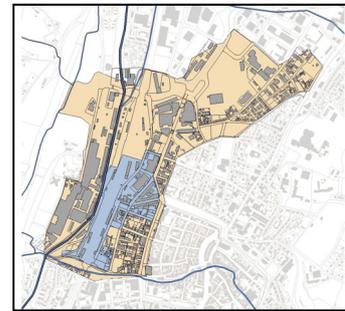


Abbildung 6-3: Auswertungsbeispiel des Tracertests bei IPV in IGWM9 mit der Ermittlung der Transportparameter n_e und α_L durch Anpassung des berechneten an den gemessenen Stoffdurchgang

Mit dem in der ersten Planungsphase angenommenen Porositätswert von 20 % wären die Einzugsgebiete der Immissionspumpversuche um den Faktor 2 unterschätzt und die Kontrollbrunnen um den Faktor 1,5 zu dicht gesetzt worden, was unnötige Kosten verursacht hätte. In der Folge wäre auch die Immissions- und Frachtbestimmung fehlerhaft ausgefallen. Damit wird deutlich, dass die direkte Bestimmung im Geländeversuch sehr wichtig war.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



6.3 Bestimmung der Schadstoffimmission und -emission

6.3.1 Entwicklung der Verfahren und Tools

Während der Bearbeitungszeit der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg ist die Entwicklung der analytischen Auswertewerkzeuge wesentlich vorangeschritten. In der Anfangsphase stand lediglich das einfache Inversionsverfahren nach TEUTSCH ET AL. (2000) zur Verfügung. Auf dieses Verfahren wird hier nicht mehr näher eingegangen, da es die Grundströmung nicht berücksichtigt und in der Folge Konzentrationsverteilungen entsprechend fehlerhaft bestimmt werden können. Ab 2006 konnte das Programm „CSTREAM“ (analytische und numerische Lösung) eingesetzt werden, mit dem die Berücksichtigung der Grundströmung möglich war. Ab 2011 stand das Auswertetool „C-SET“ zur Verfügung, mit dem neben der Grundströmung auch hydraulische Einflüsse (Vorversuche, Nachbarbrunnen, variable Pump-raten) berücksichtigt werden können. C-SET wurde für die Kontrolle der Auswertungen einzelner IPV eingesetzt, bei denen die Fahnenlagen durch vorausgegangene IPV in Nachbarbrunnen beeinflusst waren. Die Auswerteverfahren, ihre Randbedingungen und Einsatzgebiete sind im Projektbericht zur Vergleichsstudie „Aufwand-/Qualitätsverhältnis von Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche“ ausführlich dargestellt (HEKEL, 2012). Darüber hinaus wurde zur Auswertungen der IPV auch das numerische Grundwassermodell eingesetzt.

Die Immissionspumpversuche liefern mit der zeitlichen Konzentrationsganglinie die Grundlage für die Bestimmung der räumlichen Schadstoffverteilung (Immission) und Schadstofffracht (Emission) im Einzugsbereich des Pumpversuchs. Ergebnis der Auswertung sind die Isochronen, die den Erfassungsbereich des Pumpversuchs zu den Zeitpunkten der Probenahmen dokumentieren, sowie die zugehörigen Stromstreifen mit den jeweils berechneten Stromstreifenkonzentrationen. Aus den Stromstreifenkonzentrationen berechnet sich durch Multiplikation mit dem Volumenstrom die mit dem Immissionspumpversuch erfasste Schadstofffracht.

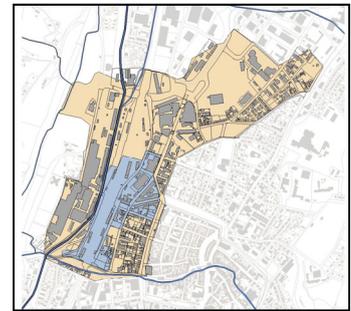
6.3.2 CSTREAM (analytische Inversion)

Alle durchgeführten Immissionspumpversuche wurden mit der analytischen Inversionsrechnung des DOS-Programms CSTREAM³ (BAYER-RAICH ET AL., 2003; BAYER-RAICH, 2004) ausgewertet. Diese Lösung ist für homogene Aquiferbedingungen mit Grundströmung geeignet.

³ Die Software CSTREAM ist erhältlich im Rahmen unregelmäßig stattfindender Schulungen, zuletzt des TASK Leipzig 2011 (www.task-leipzig.info - Thema IPV)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Für die analytische Inversion verlangt CSTREAM eine Eingabedatei mit den Aquifer- und Pumpversuchsparametern sowie dem zeitlichen Konzentrationsdurchgang im Ascii-Format. CSTREAM berechnet eine mögliche symmetrische Konzentrationsverteilung auf der Kontroll-ebene und legt die berechneten Werte für den Abstand vom Brunnen und die Konzentration in einer Ascii-Datei ab. Werte für den Volumenstrom über die Kontrollebene, die mittlere Konzentration sowie die Schadstofffracht werden in einer weiteren Ascii-Datei ausgegeben. Die Isochronengeometrie wird von CSTREAM als bln-Datei (Surfer® Blanking file format) ausgegeben. Zur Darstellung der Stromstreifen mit ihrer jeweiligen Konzentration wurden die Ascii-Daten mit Hilfe von Excel aufbereitet und in georeferenzierte Stromstreifengeometrien im bln-Format transformiert. Über Surfer® wurde die bln-Datei in eine shp-Datei der Stromstreifen exportiert und mit den errechneten Stromstreifenkonzentrationen ergänzt. Die Isochronengeometrie wurde ebenfalls mittels Surfer® in eine shp-Datei umgewandelt. Somit konnten die Isochronen des Immissionspumpversuchs sowie die berechneten Stromstreifenkonzentrationen mittels GIS dargestellt werden.

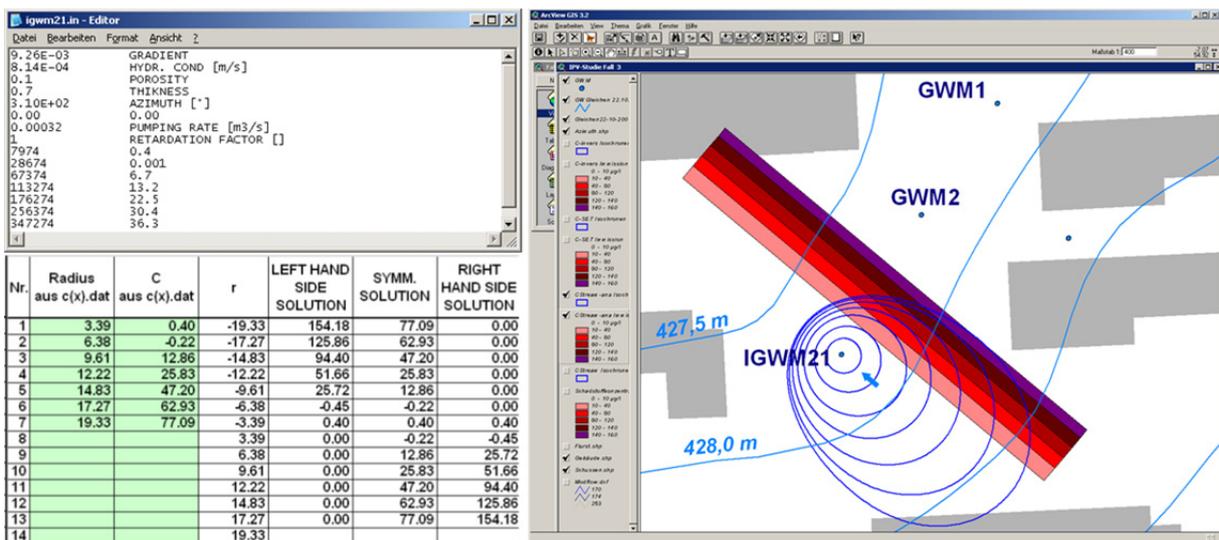
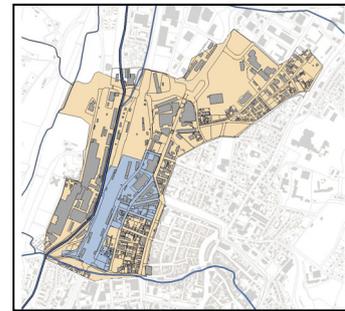


Abbildung 6-4: Ein- und Ausgabedaten für die analytische Lösung von CSTREAM (links) und kartografische Darstellung der berechneten Konzentrationsverteilung (rechts)

Abbildung 6-4 zeigt die Struktur der Ein- und Ausgabedaten von CSTREAM (analytische Inversion) und die Darstellung der berechneten Isochronen und Stromstreifenkonzentrationen am Beispiel des Immissionspumpversuchs in IGWM21. Die berechnete LHKW-Maximalkonzentration liegt bei 154 µg/l in einem Abstand von 19 m vom Brunnen. Für die kartografische Darstellung der Stromstreifenkonzentrationen müssen die für die berechneten Radien in Stromstreifenpolygone im verwendeten Koordinatensystem transformiert und mit den jeweiligen Konzentrationswerten belegt werden. Da hierzu keine fertigen Tools verfügbar sind, erfolgte die Datenaufbereitung in Excel mit Winkelfunktionen und Koordinatentranslationen.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



6.3.3 CSTREAM (numerische Inversion)

Neben der analytischen Inversion enthält CSTREAM (BAYER-RAICH ET AL., 2003; BAYER-RAICH, 2004) auch einen numerischen Inversionsalgorithmus. Diese Lösung ist für inhomogene Aquiferbedingungen mit Grundströmung geeignet. Hierbei wird die Grundwasserströmung während des Immissionspumpversuchs nicht analytisch aus den Aquiferparametern berechnet, sondern durch ein numerisches Grundwassermodell dargestellt. Da dieses Grundwassermodell mittels Modflow für ein ausreichend großes Umfeld des Immissionspumpversuchs zuerst aufgebaut werden muss, ist der Einsatz dieser Lösung entsprechend aufwendig. Ihr Einsatz setzt außerdem voraus, dass die Aquiferinhomogenitäten im Umfeld des Immissionspumpversuchs hinreichend genau bekannt sind.

Neben dem lauffähigen Modflow-Grundwassermodell verlangt CSTREAM für die numerische Inversion noch eine Ascii-Datei mit dem Konzentrationsverlauf während des Immissionspumpversuchs. Zur korrekten Interaktion von CSTREAM und Modpath müssen beim Start von CSTREAM Verweise auf die Modflow-Dateien und Parameter zur Anpassung des Modellgitters eingegeben werden.

Die Ausgabe der berechneten Konzentrationsverteilungen erfolgt recht komfortabel als Grid-Datei, die in Surfer® unmittelbar als Stromstreifenkonzentrationen dargestellt werden können. Die berechneten Isochronen werden als bin-Datei ausgegeben und können ebenfalls mittels Surfer® dargestellt werden. In einer Ascii-Ausgabedatei finden sich fernerhin die Lösungen für die Konzentrationsverteilungen auf der Kontrollebene sowie die Rechenergebnisse für Volumenströme und Fracht.

Für die kartografische Darstellung der Isochronen und Stromstreifenkonzentrationen wurden diese aus Surfer® in das shp-Format exportiert und mittels GIS dargestellt.

Bei der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg gab es mit dem Immissionspumpversuch in IGWM21 einen Fall, bei dem die Aquifermächtigkeit zum nördlich gelegenen Nachbarbrunnen auf der Kontrollebene 2 (Nord) von 0,7 auf 2,0 m zunahm. Entsprechend nahm auch die Transmissivität um den Faktor 3 zu. Da bei Nichtberücksichtigung dieser Inhomogenität ein größerer Auswertefehler zu erwarten war, wurde in diesem Fall die numerische Inversionslösung eingesetzt. Die auch aus weiteren Bohrungen bekannte keilförmige Geometrie des Aquifers sowie die Durchlässigkeitsverteilung und Randbedingungen konnten in einem 600 x 400 m großen Modflow-Ausschnittsmodell gut umgesetzt werden.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

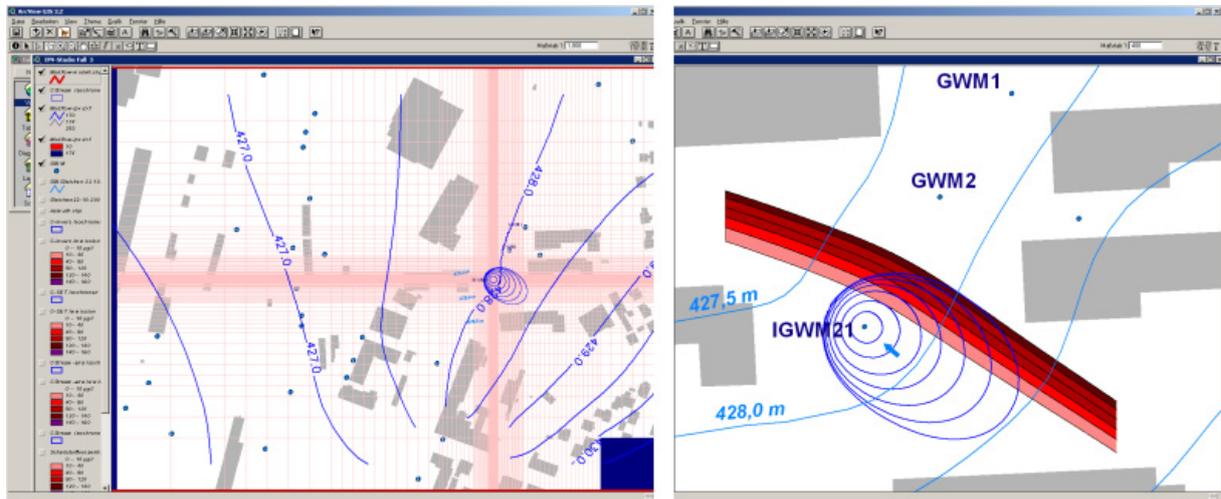
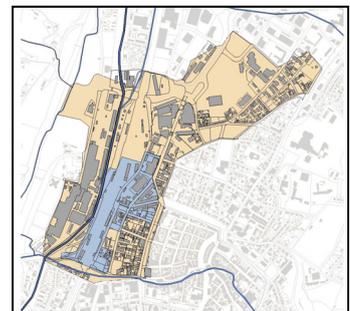


Abbildung 6-5: Modflow-Modell zur Berechnung der Grundwasserströmung während des IPV in IGWM21 (links) und mit der numerischen Inversion von CSTREAM berechneten Isochronen und Stromstreifenkonzentrationen (rechts)

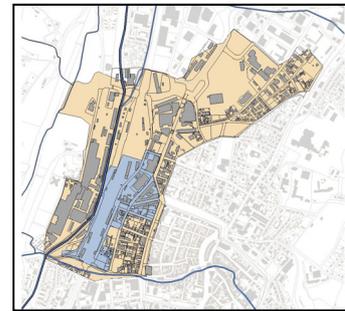
Abbildung 6-5 zeigt die mit der numerischen Inversion von CSTREAM berechneten Isochronen und Stromstreifenkonzentrationen. Die berechnete LHKW-Maximal-Konzentration liegt bei $135 \mu\text{g/l}$ ($154 \mu\text{g/l}$) in einem Abstand von 16 m (19 m) vom Brunnen. Als Wert für die Schadstofffracht wurden $0,52 \text{ g/d}$ ($0,50 \text{ g/d}$) berechnet (in Klammern: Ergebnisse der analytischen Auswertung mit CSTREAM).

6.3.4 C-SET

Ein Immissionspumpversuch verursacht durch die relativ große Wasservolumenentnahme eine entsprechende Verlagerung von Wassermassen und Schadstofffahnen auch außerhalb des eigentlichen Erfassungsbereichs. Hieraus können relevante Einflüsse auf Immissionspumpversuche in Nachbarbrunnen entstehen. Dies spielt in der Praxis insbesondere dann eine Rolle, wenn aus Kosten- oder Termingründen die „Beruhigungsphasen“ zwischen den IPV kurz ausfallen müssen oder gar mehrere IPV gleichzeitig durchgeführt werden. Die hydraulischen Beeinflussungen können zu erheblichen Fehleinschätzungen der Lage des Einzugsgebiets des IPV und damit der ermittelten Fahnenlage führen.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Bei vernachlässigbarer Grundströmung lässt sich die durch eine IPV verursachte hydraulische Beeinflussung $x(t)$ eines im Abstand r_w liegenden Nachbarbrunnens bestimmen nach:

$$x(t) = r_w - \sqrt{r_w^2 - \frac{Q \cdot t}{\pi \cdot M \cdot n_e}}$$

mit

Q	=	Pumprate [m ³ /s]
t	=	Dauer des IPV [s]
M	=	Aquifermächtigkeit [m]
n _e	=	effektive Porosität

Neben dieser hydraulischen Vorbeeinflussung durch IPV in Nachbarbrunnen entstehen in der Praxis oft auch hydraulische Störeinflüsse durch Pumpausfallzeiten oder Ratenänderungen. Abgesehen von modellgestützten Verfahren können diese hydraulischen Einflüsse von den bislang verfügbaren Auswertetools nicht berücksichtigt werden.

Mit C-SET wurde ein IPV-Auswertetool entwickelt, mit dem neben dem Einfluss der Grundströmung die genannten hydraulischen Einflüsse berücksichtigt werden können (HUSS, 2012). Das Programm C-SET kann zusammen mit einer ausführlichen Bedienungsanleitung (HEKEL ET AL., 2013) kostenlos über die Homepage der LUBW heruntergeladen werden.

Das Berechnungsverfahren von C-SET basiert auf einem Particle-Tracking-Verfahren. Der Erfassungsbereich zu einem Probenahmezeitpunkt ergibt sich unter Berücksichtigung sämtlicher hydraulischer Einflüsse aus einer Rückrechnung von Partikeln ausgehend vom Brunnenrand in alle Richtungen. Entsprechend einer vorgegebenen räumlichen Konzentrationsverteilung ergeben sich die Ausgangskonzentrationen der einzelnen Partikel und als mittlere Konzentration aller Partikel resultiert die Durchgangskonzentration im Brunnen. In einem Anpassungsprozess wird die Vorgabe der räumlichen Konzentrationsverteilung so lange variiert, bis der berechnete Konzentrationsdurchgang mit dem im Brunnen gemessenen Konzentrationsdurchgang bestmöglich übereinstimmt. Diese Anpassung kann in C-SET wahlweise automatisch oder manuell durchgeführt werden. Mit „C-SET“ ist die Ausgabe von Isochronen und Stromstreifenkonzentrationen in Form von shp-Dateien möglich, die unmittelbar mittels GIS raumbezogen dargestellt werden können (**Abbildung 6-6**).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

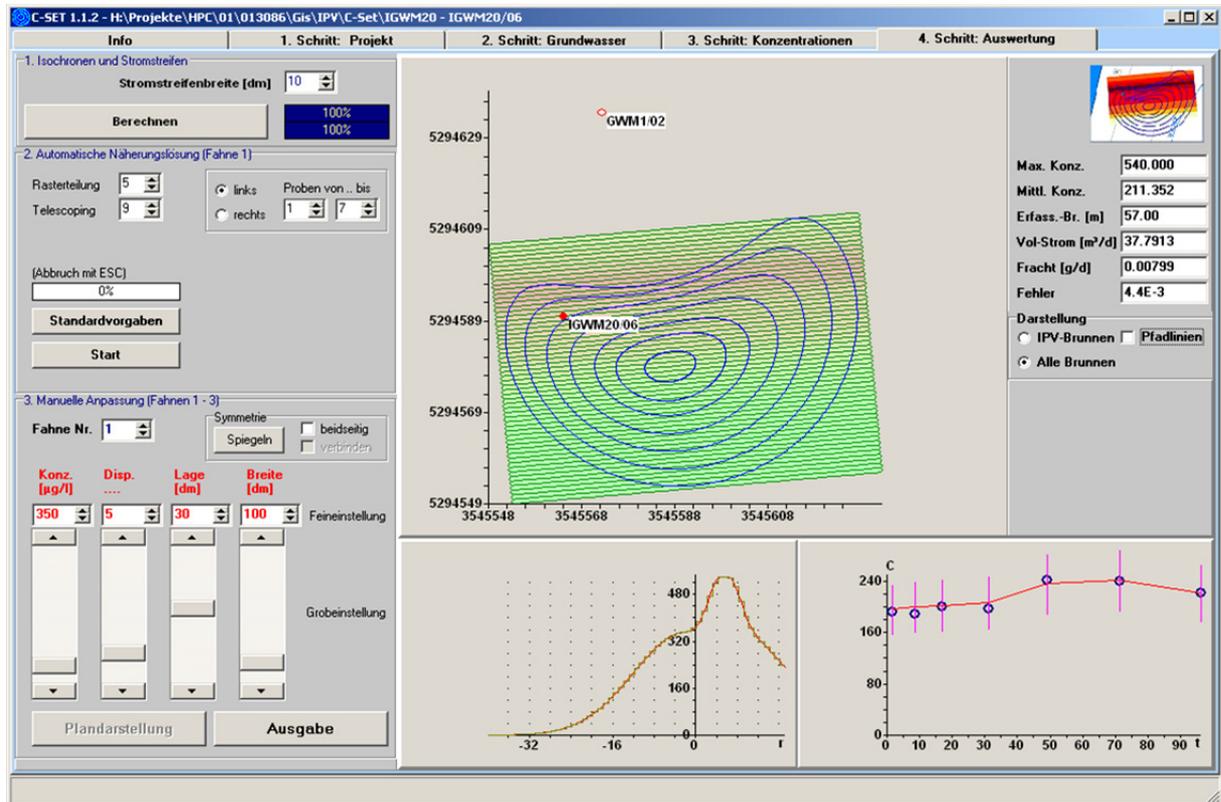
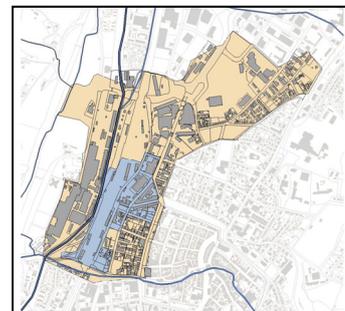


Abbildung 6-6: Berechnung der Isochronen und Stromstreifenkonzentrationen mit C-SET am Beispiel des Immissionspumpversuchs in IGWM20/06

Mit C-SET wurden als Kontrolle der Auswertung mit CSTREAM sämtliche IPV ausgewertet, die möglicherweise durch vorausgegangene Versuche in Nachbarbrunnen beeinflusst waren. Bei zwei Versuchsauswertungen ergab sich dabei eine Korrektur der Fahnenlage um 5 bzw. 17 m (**Abbildung 6-7**).

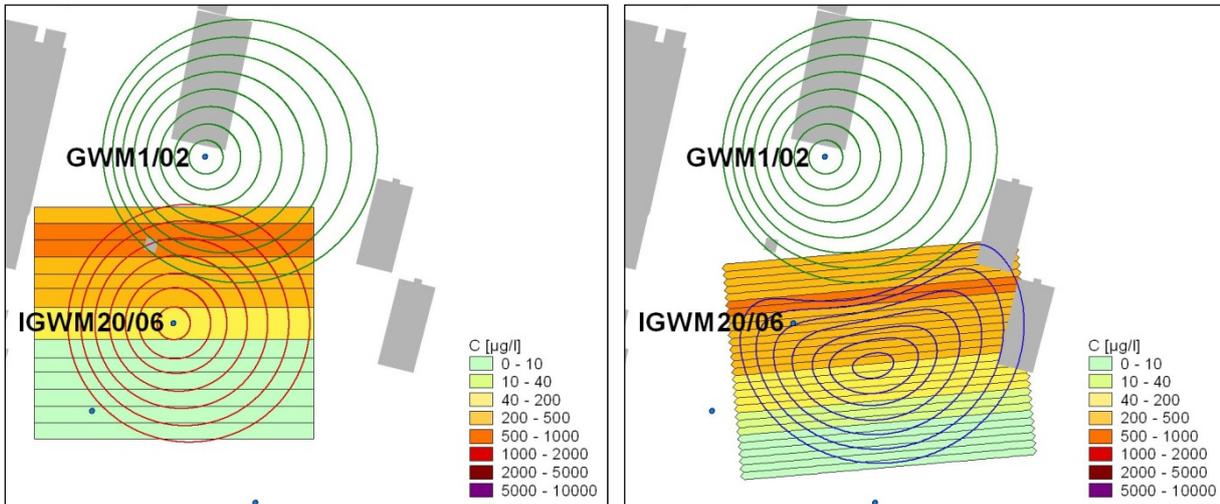
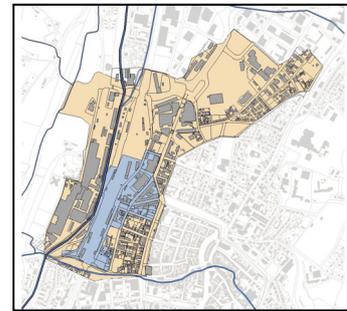


Abbildung 6-7: Auswertung des IPV in IGWM20/06 mit CSTREAM ohne Berücksichtigung der vorausgegangenen IPV in GWM1/02 (links) und mit C-SET unter Berücksichtigung der hydraulischen Vorbeeinflussung (rechts)

6.3.5 Numerisches Grundwassertransportmodell

Neben den analytischen Tools wurde das numerische Grundwassermodell zur Auswertung der Immissionspumpversuche eingesetzt. Damit standen zwei unabhängige Berechnungsweisen zu Vergleichszwecken zur Verfügung.

Bei der modellgestützten Auswertung wurden folgende Berechnungsschritte durchgeführt:

- Erfassungsbereich der einzelnen Immissionspumpversuche

Die Erfassungsbereiche der Immissionspumpversuche wurden mit dem Grundwassermodell durch eine Rückwärtsrechnung des Stofftransports auf dem Strömungsfeld am Ende der Pumpzeit berechnet. Dabei wurde am Pumpbrunnen die Pumprate als Injektionsrate mit einer Stoffkonzentration von 1 (= 100 %) angesetzt. Die so berechnete Konzentrationsverteilung zeigt eine Abnahme mit zunehmender Entfernung vom Brunnen. Die Grenzlinie für die 50%ige Konzentration entspricht dem wahrscheinlichen Erfassungsbereich und berücksichtigt die im Modell implementierten Aquiferinhomogenitäten.

- Konzentrische Konzentrationsverteilung

Wie bei der Ermittlung der Erfassungsbereiche wurde auch hierbei eine Rückwärtsrechnung des Stofftransports auf dem Strömungsfeld am Ende der Pumpzeit durchgeführt, wobei als instationärer Quellterm am Brunnen der Konzentrationsdurchgang während des Immissionspumpversuchs (rückwärts) angesetzt wurde. Aus dieser Berechnung resultiert eine mögliche konzentrische Schadstoffverteilung im Strömungsfeld des Immissionspumpversuchs (**Abbildung 6-8**), die im nächsten Schritt mit einem Inversionsalgorithmus auf das unbeeinflusste Strömungsfeld übertragen werden muss.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

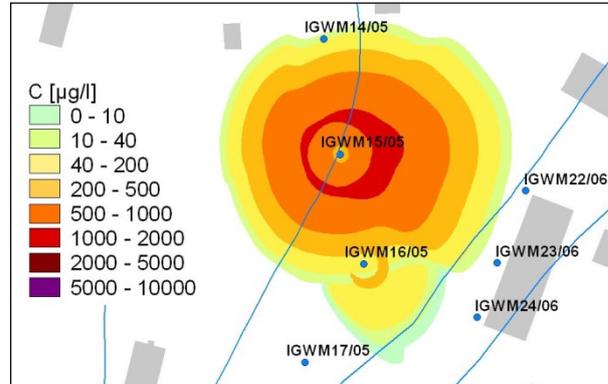
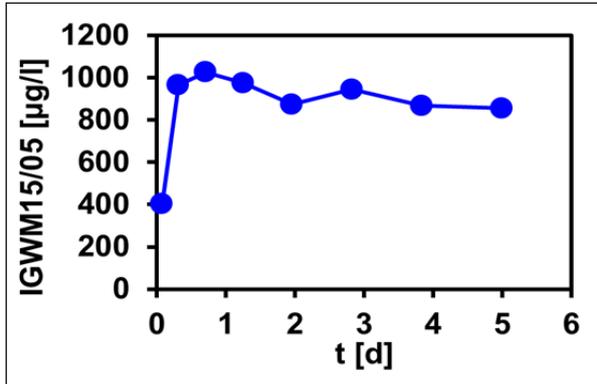
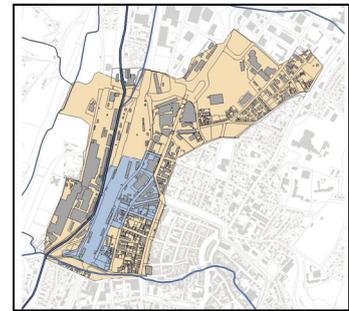


Abbildung 6-8: Prinzip der Rückrechnung des Konzentrationsdurchgangs auf eine konzentrische Konzentrationsverteilung um den Brunnen

- Umrechnung der konzentrischen Konzentrationsverteilung in mögliche Stromstreifenkonzentrationen der unbeeinflussten Grundströmung

Da der Konzentrationsdurchgang während des Immissionspumpversuchs keine Folge einer konzentrischen Konzentrationsverteilung um den Brunnen ist, sondern aus der Grundströmung mit unterschiedlich konzentrierten Stromstreifen resultiert, muss die konzentrische Verteilung in eine „streifenförmige“ Verteilung um den Brunnen umgerechnet werden. Dieser Schritt erfolgte durch eine Kombination aus analytischer Auswertung des IPV und „numerischer Kontrollrechnung und Anpassung“. Zunächst erfolgte die analytische Auswertung durch eine Excel-Kalkulation mit dem Inversionsalgorithmus nach TEUTSCH ET AL. (2000). Die berechneten Konzentrationen wurden anschließend innerhalb des numerisch berechneten Erfassungsbereichs mittels GIS auf die Stromstreifen übertragen, die aus den Probenahmezeitpunkten des IPV resultieren (vgl. **Abbildung 6-10**). Im nächsten Schritt wurden die berechneten Konzentrationen der Stromstreifen als „Startkonzentrationen“ in das Modell übertragen, mittels Transportberechnung die Durchbruchkurve berechnet und mit der gemessenen Durchbruchkurve aus den IPV verglichen. Abschließend erfolgte durch Korrektur der Startkonzentrationen für die Transportberechnung eine iterative Anpassung zwischen gemessener und berechneter Durchbruchkurve.

6.4 Ermittlung der Schadstofffahren, Frachten und Schadensherde

6.4.1 Kombination und Konstruktion

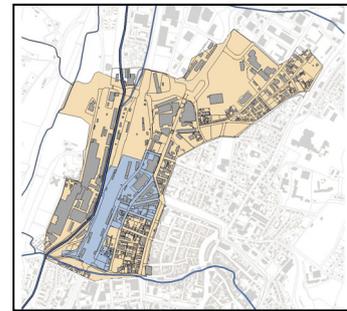
Grundlage der Bestimmung der Schadstoffimmission im Grundwasser sind die in der analytischen Auswertung der Immissionspumpversuche berechneten Stromstreifenkonzentrationen. Diese lassen im Einzelfall verschiedene Deutungen zu, nämlich eine rechtsseitige, linksseitige oder symmetrische Konzentrationsverteilung.

Die für jeden Immissionspumpversuch möglichen Einzellösungen müssen auf der Kontrollebene nunmehr in einer Art und Weise kombiniert werden, dass möglichst keine Widersprüche entstehen

- zwischen benachbarten und sich überlappenden Immissionspumpversuchen

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- zwischen zu- und abstromig gelegenen Kontrollebenen
- zu sonstigen Informationen über Schadstoffgehalte im Grundwasser, im Boden oder in der Bodenluft (punktuelle Beprobungen)
- zu Informationen über wahrscheinliche und unwahrscheinliche Schadensherde

Diese Ermittlung der Konzentrationsverteilung auf der Kontrollebene ist sicher einer der anspruchsvollsten, aber auch interessantesten Arbeitsschritte, da er die Einzelbefunde der Untersuchungsmaßnahmen zu einer plausiblen Darstellung der Schadstoffimmission zusammenführt.

Zur Bestimmung der Schadstoffimmission im Grundwasser und damit zur Darstellung der Schadstofffahnen werden die ermittelten Konzentrationsverteilungen unter Berücksichtigung der Grundwasserströmung zwischen den Kontrollebenen interpoliert. **Abbildung 6-9** zeigt diese „nach Augenmaß“ ausgeführte Interpolation am Beispiel der Kontrollebenen KE 3 und KE 4. Interpolationsprogramme sind bei diesem Arbeitsschritt wenig hilfreich, da gängige Interpolationsverfahren auf Grundlage der linienhaften Anordnung der Konzentrationspunkte keine sinnvollen Verteilungen berechnen.

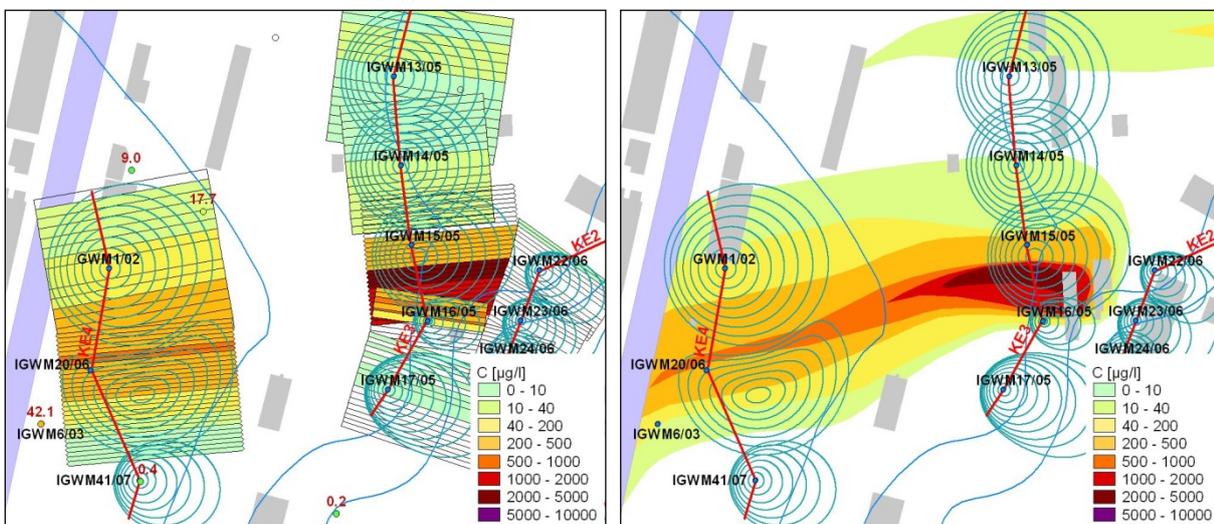


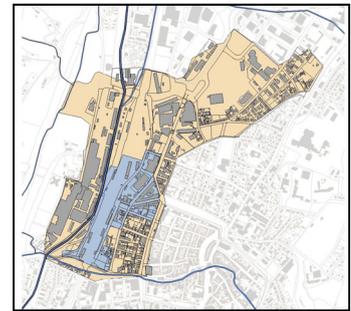
Abbildung 6-9: Stromstreifenkonzentrationen der analytischen Auswertung der Immissionspumpversuche (links) als Grundlage für die Interpolation der Schadstofffahnen zwischen den Kontrollebenen (rechts)

Zur Ermittlung der Schadstofffracht F einer Fahne werden die mit den jeweiligen Auswerteverfahren berechneten einzelnen Stromstreifenkonzentrationen C_i multipliziert mit der Stromstreifenbreite b_i , der Transmissivität T (aus der hydraulischen Auswertung des IPV) sowie dem hydraulischen Gefälle i im Bereich des IPV aufsummiert:

$$F = \sum_{i=1}^n C_i \cdot b_i \cdot T \cdot i$$

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Bei der Bestimmung der Schadstofffracht über eine Kontrollebene muss darauf geachtet werden, dass überlappende Stromstreifen benachbarter Immissionspumpversuche nicht doppelt eingehen.

Die Quelle einer Schadstofffahne ergibt sich aus einer Rückprojektion der Fahnenachse auf Grundlage eines Grundwassergleichensplans. Unter Berücksichtigung möglicher Variationen der Grundwasserströmungsrichtung erhält man als Suchraum einen Sektor, in dem die Verdachtsfläche durch zustromige Kontrollebenen oder weitere Verdachtskriterien identifiziert wird. Im dargestellten Beispiel ist die Verdachtsfläche einfach in Verlängerung der Fahnenachse zwischen den Kontrollebenen KE 2 und KE 3 zu lokalisieren.

6.4.2 Berechnung mittels Grundwassertransportmodell

Mittels Grundwassertransportmodell erfolgt die Berechnung der Schadstofffahnen, indem die ermittelten Stromstreifenkonzentrationen als Startkonzentrationsverteilung auf der Kontrollebene angesetzt werden (**Abbildung 6-10**). An den abstromig gelegenen Kontrollebenen können die berechneten Fahnenkonzentrationen mit der tatsächlichen Konzentrationsverteilung verglichen werden. Abweichungen in der Fahnenlage können auf eine zeitliche Variation der Grundwasserfließrichtung oder Ungenauigkeiten in der Kenntnis der hydraulischen Kennwerte bzw. der Verteilung der Transportparameterverteilung im Modellgebiet hindeuten. Mit Variation dieser Transportparameter in plausiblen Grenzen kann eine Anpassung zwischen gemessenen und berechneten Werten erfolgen, die zu einem verbesserten Verständnis der Transportvorgänge führt.

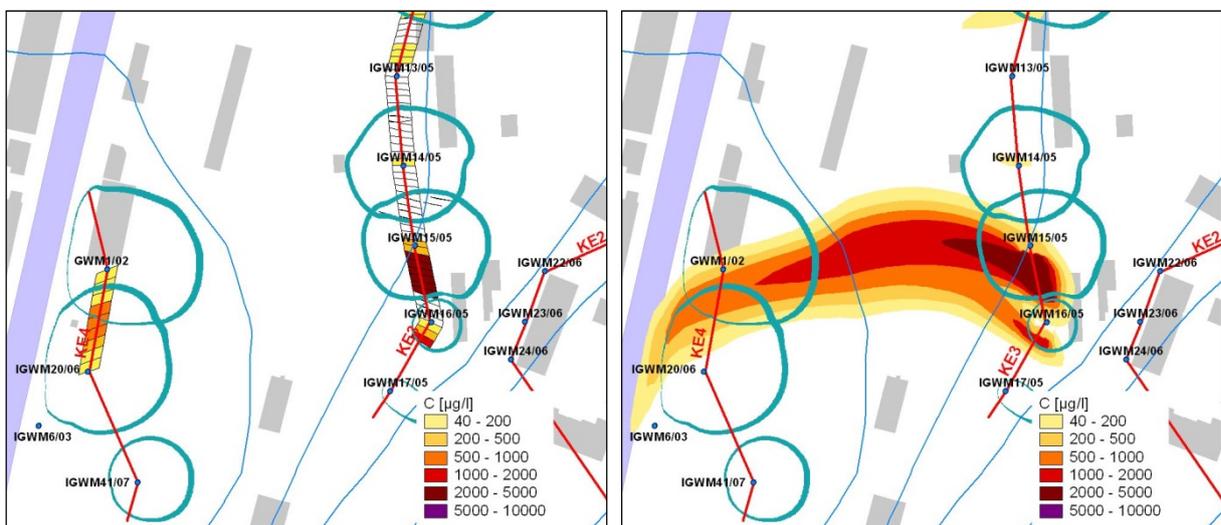
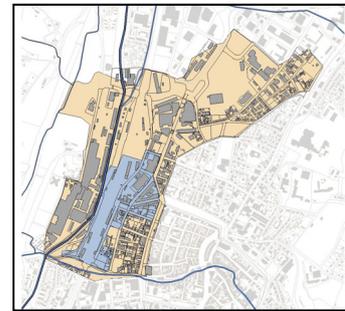


Abbildung 6-10: Stromstreifenkonzentrationen aus der numerischen Anpassung (links) und Verwendung als Quellterm zur Vorwärtsrechnung der Schadstofffahne (rechts)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Werden die vorausgerechneten Konzentrationen an der abstromigen Kontrollebene nicht mehr festgestellt, so ist entweder die Startkonzentrationsverteilung unplausibel oder es können u. U. Rückschlüsse auf Retardierungs- bzw. Abbauprozesse gezogen werden. Für den Fall, dass die unterstromigen Konzentrationen deutlich höher als der berechnete Erwartungswert sind, kann von zusätzlichen (unbekannten) Quellen ausgegangen werden.

Nach der Vorwärtsrechnung der Schadstoffkonzentrationen kann die Schadstofffracht an beliebigen im numerischen Transportmodell definierbarer Querschnitte berechnet und ausgegeben werden.

Zur Identifizierung möglicher Schadensherde wurden mit dem Transportmodell ausgehend von den ermittelten Konzentrationsverteilungen der Kontrollebene Rückwärtsrechnungen entgegen der Grundwasserströmung vorgenommen. Die hierbei entstehenden Konzentrationsverteilungen wurden als „Wahrscheinlichkeitsverteilung“ zur Erfassung von Schadstoffeinträgen und damit möglicher Verursacher interpretiert.

6.5 Gesamtschauliche Auswertung der Belastungssituation

In der gesamtschaulichen Auswertung werden die ermittelten Schadstofffahnen für jeden relevanten Schadstoffparameter im gesamten Betrachtungsgebiet einheitlich dargestellt. Damit werden im Hinblick auf städtebauliche Planungen sowie die weitere Altlastenbearbeitung unmittelbar die wesentlichen Belastungsbereiche mit der jeweiligen Ausdehnung und Konzentrationsverteilung ersichtlich.

Abbildung 6-11 zeigt die gesamtschauliche Auswertung am Beispiel der LHKW-Immission. Mit der Anordnung und Untersuchung der Kontrollebenen war es möglich, vier wesentliche LHKW-Fahnen zu ermitteln und qualifiziert abzugrenzen. Die maximalen Konzentrationen der Fahnen liegen in den Belastungsschwerpunkten zwischen 200 und 10.000 µg/l, die Fahnenlängen zwischen 150 und maximal ca. 700 m und laterale Fahnenausdehnungen zwischen 35 und 160 m. Für alle vier identifizierten LHKW-Schadensfälle war es möglich, den Schadensherd bzw. den Störer zu ermitteln (zwei bekannte bzw. vermutete Störer, zwei bislang unbekannte Störer) und unmittelbar nach Vorliegen der Untersuchungsergebnisse den weiteren Handlungsbedarf festzulegen.

Losgelöst von der Betrachtung einzelner Schadensherde und Störer liefert die gesamtschauliche Auswertung die Grundlage für eine weitere integrale Altlastenbearbeitung. So könnte z. B. im Hinblick auf eine effiziente Verbesserung der Grundwasserqualität durch die gesamtschauliche Betrachtung eine Risikoabschätzung und Priorisierung von Detailuntersuchungen bzw. Sanierungsplanungen und Sanierungen vorgenommen werden. Wesentlicher Bestandteil einer solchen Risikoabschätzung ist auch die Identifizierung von Abbau und Schadstoffrückhaltprozessen (NA). Neben einer Bilanzierung der Schadstofffrachten für jede Kontrollebene kann hierzu innerhalb der gesamtschaulichen Auswertung eine Darstellung der LHKW-Einzelstoffe und Betrachtung des Anteils von Abbauprodukten bereits Hinweise geben (vgl. **Abbildung 6-11**).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg

Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

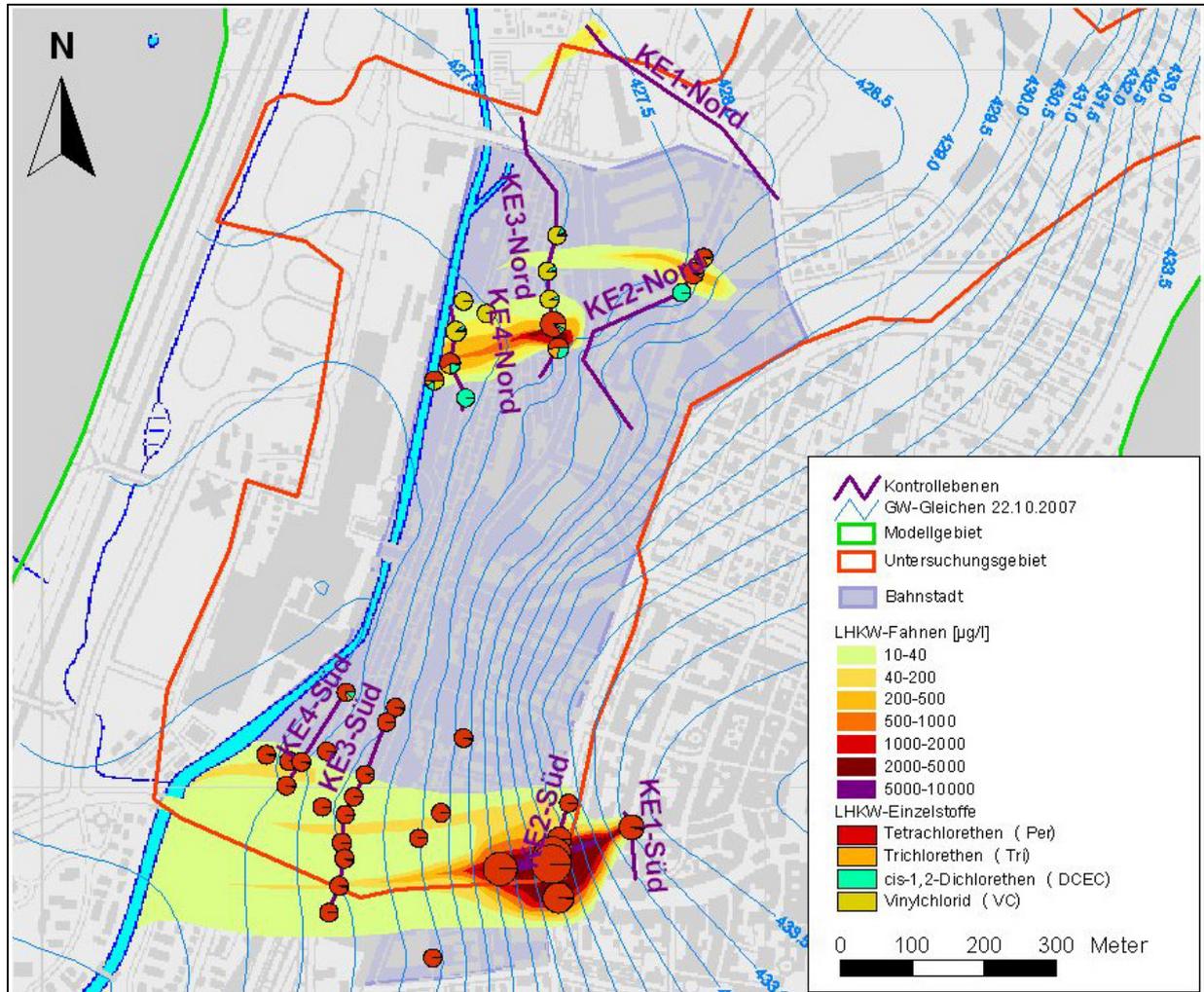
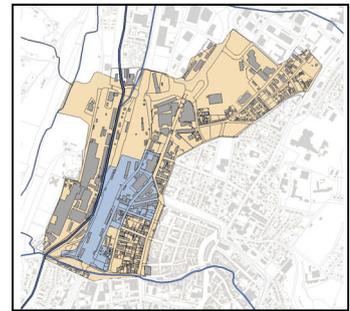
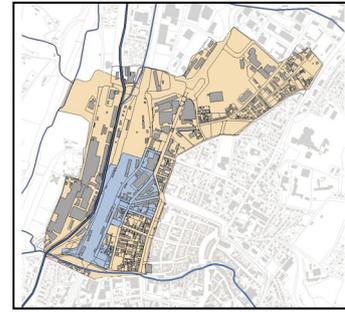


Abbildung 6-11: Gesamtschauliche Auswertung der LHKW-Belastung im Projektgebiet

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



7 Dokumentationen, Ergebnisse und Vergleichsstudien

7.1 Daten-Atlas

Zielgruppe: *Fachbehörden der unteren Verwaltungsebene, Kommune*

Status: *verwaltungsintern*

Im Verlauf der einzelnen Projektphasen der integralen Altlastenuntersuchung wurde sukzessive eine sehr umfangreiche und teilweise komplexe Datenmenge generiert. Nach Abschluss jeder Einzelphase wurden aus den jeweils gewonnenen Kenndaten eigenständige Dokumentationen verfasst. Inhaltlich wurden in diesen Berichten die umgesetzten Untersuchungen, die resultierenden Teilergebnisse sowie die abzuleitende Konzeption für die nachfolgende Projektphase beschrieben. Nach Abschluss der Projektphase 3-3 wurde in Abstimmung mit den Projektverantwortlichen festgelegt, dass für die Abschlussdokumentation des Projekts ein effizientes digitales **Datenzugriffs-System** entwickelt werden soll. In diesem System sollte:

- eine übersichtliche Zusammenfassung sämtlicher wesentlicher Projektergebnisse realisiert werden,
- der Zugriff auf diese Projektergebnisse in möglichst einfacher und übersichtlicher Weise erfolgen können.

Der Vorteil gegenüber konventionellen analogen Dokumentationen wird leicht ersichtlich. Anstatt in einer Fülle von Ordnern nach einem Teilergebnis zu suchen, genügt im umgesetzten Datenzugriffs-System ein Mausklick zur Ansteuerung des gesuchten Themas bzw. Ergebnisses. Das realisierte System wurde als „**Daten-Atlas**“ bezeichnet.

Für die Anwendung des „Daten-Atlas“ wurde zunächst eine *Navigationszentrale* programmiert, die innerhalb der Browser-Umgebung von frei verfügbaren Programmen wie dem *Microsoft Internet Explorer*[®], *Mozilla Firefox*[®], *Google Chrome*[®] darstellbar ist (**Abbildung 7-1**). In dieser *Navigationszentrale* wird eine Untergliederung des Projekts in vier thematische Schwerpunkte I. - IV. dargestellt, die im Nachfolgenden gelistet werden:

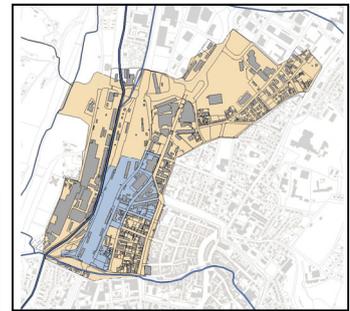
- I. Kenndaten des Bodenschutz- und Altlastenkatasters, Höhenverschneidung
- II. Hydraulische Kenndaten und Auswertungen
- III. Technisch-analytische Kenndaten und Auswertungen
- IV. Sonstige Kenndaten und Auswertungen

Unterhalb jedes Themenschwerpunkts werden die jeweils zugeordneten Einzelergebnisse wie Überschriften in einer Dokumentationsgliederung aufgeführt. Diese Ergebnisse sind per sogenanntem „*Hyperlink*“ mit spezifischen pdf-Dokumenten verbunden.

Per Mausklick kann in der Navigationszentrale folglich das hinterlegte Einzelthema gezielt angesteuert werden, das in einem neuen Browserfenster als kartografische Darstellung mit geeigneter Klassifizierung des ausgewählten Inhalts, als Tabelle oder als sonstige Abbildung geöffnet wird. Zu jeder Auswertung bzw. Darstellung, wurde eine textliche Erläuterung verfasst, die ebenfalls per Mausklick angesteuert werden kann. Aus diesen Einzeldarstellungen kann jeweils mit einem Klick wieder zurück in die Navigationszentrale navigiert werden, um von hier aus die nächste Auswertung gezielt auszuwählen.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



A. Navigationszentrale (Auszug Inhaltsverzeichnis I-IV.)

INTEGRALE ALTLASTENUNTERSUCHUNG RAVENSBURG

Darstellung der ermittelten Sachdaten aus den technischen Projektphasen 2 und 3
"Daten-Atlas"

I. Kenndaten des Bodenschutz- und Altlastenkatasters, Höhenverschneidung

- 1-1 [Klassifizierung nach Flächentypen - Altablagerungen, Altstandorte, Unfälle/ Störfälle](#)
- 1-2 [Klassifizierung nach Handlungsbedarf, Orientierende Untersuchung, Detailuntersuchung, selektiv, B-Fälle](#)
- 1-3 [Darstellung der B-Fälle nach BAK, innerhalb des Projek](#)

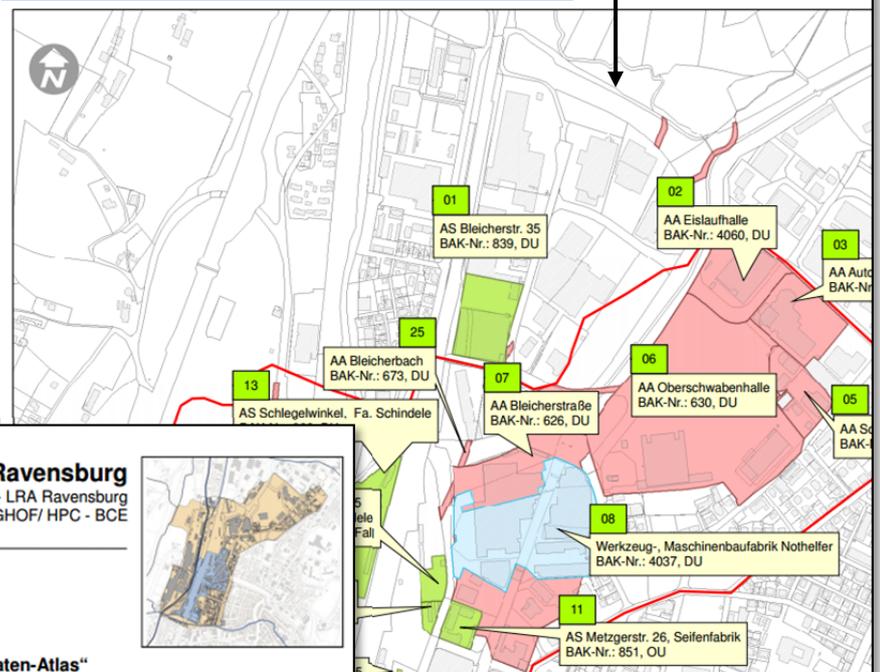
Ein Klick auf ein Thema, öffnet die zugehörige Information, z.B. als kartografische Übersicht

II. Hydraulische Kenndaten und Auswertungen

- 2-1 [Ergebnisse der Messstellen-Klassifizierung im Modellge](#)
- 2-2 [Übersichtsplan Grundwassermessstellen im Modellgebi](#)
- 2-3 [Lage der neu eingerichteten Messstellen IGWM 1 bis 5f](#)
- 2-4 [Bohrprofile/ Ausbauspezifikationen der Messstellen IGW](#)
- 2-5 [Klick auf „Erläuterungen“ öffnet die Textbeschreibung des selektierten Themas](#)
- 2-6 [atswerte im](#)

C. Texterläuterung

B. Selektiertes Thema – kartografische Darstellung



Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg - LRA Ravensburg
Firmenkonsortium BERGHOF/ HPC - BCE

Anlage

Projektbericht Phase 4 – Hauptdokumentation/ „Sachdaten-Atlas“

1. Auswertung historischer Sachinformationen innerhalb des Projektgebietes (BAK 2010)

Anlage 1-1:

Klassifizierte Darstellung der Flächentypen nach BAK (Stand 2010)

In der **Anlage 1-1** werden die **Flächentypen** aller BAK-Flächen innerhalb des Projektgebietes dargestellt, mit einem Handlungsbedarf „Orientierende Untersuchung (nachfolgend: OU)“ bzw. „Detailunteruntersuchung (nachfolgend: DU)“, laut Bodenschutz- und Altlastenkataster Baden-Württemberg (nachfolgend BAK).

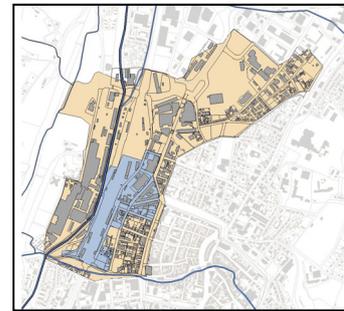
Die innerhalb des Projektgebietes relevanten Flächentypen sind Altablagerungen, Altstandorte sowie Unfälle/ Störfälle.

Teilweise werden bei den Klassifizierungen zusätzlich ausgewählte Flächen mit direkter räumlicher

Abbildung 7-1: Schematische Funktionsdarstellung des Daten-Atlas: A. Navigationszentrale - B. Kartograf. Darstellung des selektierten Themas - C. zugehöriger Textblock

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



7.2 Bewertungsrelevante Kenndaten der einzelnen BAK-Objekte

Zielgruppe: *Fachbehörden der unteren Verwaltungsebene, Kommune*

Status: *verwaltungsintern*

Durch das Projekt Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg konnten fundierte Sachinformationen generiert werden, die für eine qualifizierte Bewertung des Wirkungspfads Boden – Grundwasser herangezogen werden können. Die räumliche Abdeckung der durchgeführten Immissionspumpversuche erreichte dabei in der Regel eine prozentuale Erfassung der jeweiligen objektbezogenen Abstrombereiche zwischen 70 und 100 %.

Dieser Abdeckungsgrad übersteigt deutlich die durch den *Leitfaden Untersuchungsstrategie Grundwasser* (September 2008, 1. Auflage) unter *Kapitel 2.3 Qualitätsanforderungen zur räumlichen Erfassung eines Schadstoffeintrags* vorgegebenen Empfehlungen einer 30%igen Abstromerfassung im Zuge orientierender Untersuchungen bzw. einer 50%igen Abdeckung des Abstroms, die im Zuge von Detailuntersuchungen anzustreben ist. Für die jeweiligen Zustrombereiche der im Zuge der Auswertungen betrachteten Einzelfälle wurde ebenfalls auf eine ausreichend dimensionierte hydraulische Abdeckung geachtet.

Aufgrund der in vielen Bereichen gegebenen Gemengelage, mit mindestens zwei oder mehr betroffenen BAK-Objekten, entstand als Folge der umgesetzten integralen Untersuchungsmethodik auf einer Kontrollebene in der Regel zunächst ein fallübergreifender Daten-Pool. Dieser Daten-Pool inkludiert bewertungsrelevante Informationen für wenigstens zwei oder mehr BAK-Objekte, die im Zustrom der jeweiligen Kontrollebene lokalisiert sind. Diese integrierte Daten-Situation tritt in aller Regel bei der klassischen Erkundung eines einzelnen BAK-Objekts in dieser Form nicht auf.

Für eine einzelfallbezogene Bewertung des Wirkungspfads Boden – Grundwasser, müssen folglich aus dem gesamtschaulichen Datenpool gezielt die Informationen extrahiert werden, die für eine qualifizierte Bewertung eines Einzelobjekts zu berücksichtigen sind.

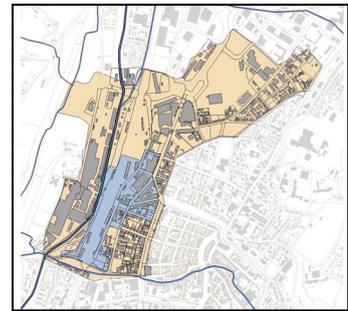
Die resultierenden Ergebnisse aus diesem Extraktionsprozess wurden in Dokumentationen verfasst, in denen die jeweils individuell bewertungsrelevanten Kenndaten des einzelnen Objekts zusammengestellt werden. Diese fallspezifischen Zusammenstellungen unterstützen maßgeblich die Arbeit der Bewertungskommission zur Festlegung des weiteren Handlungsbedarfs für das jeweils betrachtete BAK-Objekt.

Insgesamt kann aus dem Gesamt-Datenpool der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg die Umsetzung von 20 derartigen Einzeldokumentationen realisiert werden, die als Grundlage für die Bewertungen der BAK-Fälle herangezogen werden können. Gliederung und Inhalt dieser Dokumentationen wurden, in Abstimmung mit den zuständigen Fachbehörden, soweit wie möglich standardisiert. Folgende Inhalte werden dabei jeweils aufgeführt und bewertet:

- Historische Kenndaten des BAK (Beweisniveau, Ursache, Arteinwirkung etc.)
- Technische Kenndaten vor Beginn des Projekts Integrale Altlastenuntersuchung – Schlussfolgerungen und Datenlücken

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- Technische Kenndaten, neu generiert durch das Projekt Integrale Altlastenuntersuchung
- Immissions-/Emissionsbetrachtungen
- Diskussion und Empfehlungen zur Bewertung und zur weiteren Vorgehensweise

Innerhalb des Projektgebiets bzw. in räumlicher Assoziation zum Projektgebiet, sind 25 BAK-Fälle mit Bewertungsrelevanz erfasst. Aktuell (Stand 12/2013) konnten mithilfe der Projektdaten aus der integralen Altlastenuntersuchung bereits fünf BAK-Fälle abschließend bewertet werden. Für zwei dieser fünf Objekte wird im Jahr 2013 als Handlungsbedarf eine integrale Sanierungsuntersuchung umgesetzt.

Für 15 weitere Fälle werden konkrete Bewertungsvorschläge verfasst und vorgelegt. Drei Fälle aus dieser Gruppe wurden zur weiteren technischen Bearbeitung in die Verantwortlichkeit der „Störer“ übergeben. Diese eigenständigen Erkundungen wurden mit allen aus dem Projekt generierten Kenndaten unterstützt, die an die Störer mit Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise weitergegeben wurden.

Bei den restlichen fünf Fällen wurden in Abstimmung mit den Fachbehörden im Rahmen des Projekts keine neuen Erkenntnisse mit differenziertem Objektbezug erarbeitet. Bei vier Fällen war in den betroffenen Bereichen das Grundwasserdargebot zu gering für qualifizierte Immissionspumpversuche. In einem Fall wurde ein großflächiger aktiver Betrieb westlich der Schussen von Untersuchungen ausgeschlossen.

Die durch das Projekt gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass durch den integralen Untersuchungsansatz prinzipiell sehr belastbare Kenndaten für eine fundierte Bewertung der Einzelobjekte zur Verfügung gestellt werden können. In der Praxis bewährt sich die hohe Qualität des Kenntnisstands im Dialog mit den betroffenen „Störern“. Die fallbezogenen Daten überzeugen, da die jeweilige Schadenssituation für die Betroffenen anschaulich und nachvollziehbar vermittelt werden kann.

7.3 Ergebnisse für die Stadtentwicklung

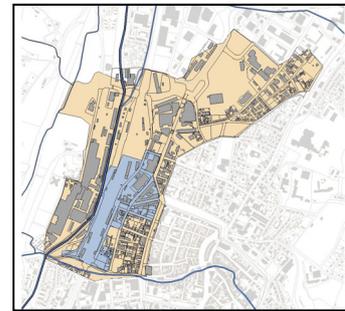
Zielgruppe: *Kommune*

Status: *verwaltungsintern*

Die schrittweise erfassten Kenndaten über Untergrund- und Grundwasserqualität sowie die geologischen und hydrogeologischen Parameter (siehe 4.1), liegen gesamtanschaulich in digitaler Form vor. Dieser Datenbestand wurde in den Jahren 2008 - 2010 ergänzt durch die Ergebnisse der Höhenverschneidung, deren Methodik und Intention unter Punkt 4.2 beschrieben wird.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Ein Teil dieser Informationen ist auch für städtische und stadtplanerische Belange nutzbar. So wurden die Ergebnisse aus den Höhenverschneidungen bereits im Jahr 2009 in das städtische Geoinformationssystem übernommen. Hier ergänzten sie die bereits in das Stadt-GIS integrierten Informationen des BAK. Weitere Kenndaten bzw. GIS-Themen, die die Stadtplanung bzw. Stadtentwicklung sinnvoll unterstützen, sollen ebenfalls – in vereinfachter Form – in das städtische GIS integriert werden.

Dazu zählen:

- Lage von Bohrungen und Messstellen
- Grundwasserhöhen im Stadtgebiet
- Schadstofffahnen im Stadtgebiet

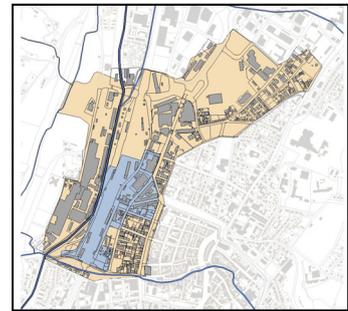
Im Nachfolgenden wird eine Auswahl wesentlicher Aspekte aufgelistet, die aus Sicht der Stadtplanung bedeutsam sind:

- Abgleich der Lage und Ausdehnung von BAK-Objekten mit den Ergebnissen aus der Höhenverschneidung zur präziseren Klärung, in welchen Bereichen bei Untergrundeingriffen mit Ablagerungen gerechnet werden muss
- Kenntnis über die Belastung der ungesättigten Bodenzone zur ersten Einschätzung der Verwertungs- und Entsorgungswege und zur entsprechenden Sensibilisierung, bezogen auf mutmaßliche Kontaminationsbereiche
- Kenntnis über die Höhe der Grundwasser-Spiegel sowie über Grundwasser-Belastungszonen, zur Planung von qualifizierten Bauwasserhaltungen bzw. Spundungen sowie zur allgemeinen Sensibilisierung, bezogen auf die Vor-Ort-Verhältnisse
- Darstellung von Datenlücken und damit Kenntnis, wo im Fall von Untergrundeingriffen bzw. Grundstücksbewertungen Daten gezielt nachverdichtet werden sollten
- Berücksichtigung der Untergrundverhältnisse bei der monetären Bewertung von Grundstücken

Aus dem aktuell vorliegenden Datenpool können bereichsdifferenzierte Exposés erstellt werden, die die baulichen Planungen, die Steuerungen von Eingriffen in den Untergrund und eine erste monetäre Bewertung eines Grundstücks bzw. eines zusammenhängenden Raumbereichs unterstützen. Die Ergebnisse der integralen Altlastenuntersuchung können damit sowohl von der Stadt Ravensburg als auch von privaten Investoren vorteilhaft genutzt werden.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



7.4 Strategie- und Methodenbericht

Zielgruppe: *Fachbehörden der oberen, mittleren und unteren Verwaltungsebene, Kommunen, Ingenieurbüros, Interessierte*

Status: *öffentlich*

Der vorliegende Bericht stellt das strategische und methodische Vorgehen der integralen Untersuchung in Ravensburg beispielhaft für vergleichbare Problemstellungen in flachen Porengrundwasserleitern im urbanen Raum vor. Er wendet sich damit an alle in der Altlastenbearbeitung tätigen Fachbehörden, Kommunen, Ingenieurbüros und Interessierten. Des Weiteren bildet er eine wesentliche Grundlage für den Leitfaden „Integrales Altlastenmanagement“ (LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 2014).

7.5 Berichte und Studien für die Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg

Zielgruppe: *Fachbehörden der oberen, mittleren und unteren Verwaltungsebene, Kommunen, Ingenieurbüros, Interessierte*

Status: *öffentlich*

Neben dem vorliegenden Erfahrungs- und Empfehlungsbericht zur Strategie und den Methoden der Integralen Altlastenuntersuchung in Ravensburg wurden zwei Vergleichsstudien zur Erprobung integraler Methoden erarbeitet. Zum einen betrifft dies Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche (Kap. 7.5.1), zum anderen einen Methodenvergleich zwischen Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Techniken (Kap. 7.5.2). Beide Studien stehen als Fachdokumente auf der Internetseite der LUBW als Download zur Verfügung (s. u.).

7.5.1 Vergleichsstudie zu Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche

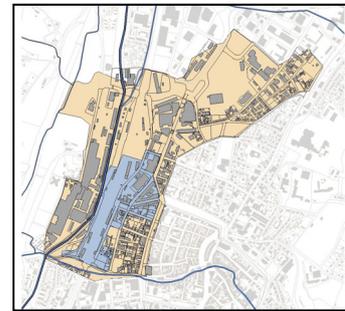
Im Rahmen des Projekts „Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg“ wurde auf Veranlassung der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) eine Vergleichsstudie über verschiedene Auswerteverfahren durchgeführt (HEKEL, 2012). Ziele dieser Vergleichsstudie waren die Quantifizierung des Verhältnisses zwischen dem Aufwand und der Aussagequalität der verschiedenen Methoden. Auch sollten Empfehlungen für den Methodeneinsatz für verschiedene Aquifer- und Versuchsrandbedingungen gegeben werden.

Die Vergleichsstudie untersuchte folgende Programme in Hinblick auf Anwendungsbedingungen, Handhabung und Aufwand sowie Fehleranfälligkeit unter verschiedenen Aquifer- und Versuchsrandbedingungen:

- die originäre analytische Inversionsrechnung (TEUTSCH ET AL., 2000)
- das IPV-Tool (ROTHSCHINK, 2007)
- das Anwendungsprogramm CSTREAM analytisch und numerisch (BAYER-RAICH ET AL., 2003)
- das Anwendungsprogramm C-SET (HUSS, 2012)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Die vergleichende Erprobung der Verfahren wurde von vier Probanden durchgeführt, die Erfahrungen aus drei verschiedenen Ingenieurbüros einbrachten. Unabhängig voneinander hatten sie Immissionspumpversuche aus vier konstruierten Problemstellungen und vier Praxisfällen auszuwerten.

In der Aufwandsermittlung für die Verfahrensanwendung wurden die Datenaufbereitung, die Berechnung und Ergebnisdarstellung sowie definierte Annahmen für die Beschaffung, die Einarbeitung und bearbeitete Fallzahlen berücksichtigt. Bei den einfachen (nicht modellgestützten) Tools lag der ermittelte Aufwand für eine Verfahrensanwendung zwischen zwei und vier Stunden. Der Aufwand für numerische Lösungen lag dagegen in einer Größenordnung von über zehn Stunden, bedingt durch die erforderliche Erstellung eines numerischen Modells zur Berechnung der Grundwasserströmungsverhältnisse.

Die Qualität des Ergebnisses wird in der Studie zu je einem Drittel abgeleitet aus den Bestimmungsfehlern der Fahnenlage, der Maximalkonzentration und der Schadstofffracht. Eine Streuung der Ergebnisse von +/- 10 % konnte auf die individuelle Vorgehensweise der Probanden zurückgeführt werden. In Fällen, bei denen die Anwendungsbedingungen des Auswerteverfahrens, die Aquiferbedingungen und die hydraulischen Einflüsse des Immissionspumpversuchs nicht adäquat berücksichtigt wurden, lagen die Fehler i. d. R. deutlich über 20 %. In Fällen, in denen die Anwendungsbedingungen überhaupt nicht zu den Aquifer- und Versuchsbedingungen passten, waren auch Fehler von über 100 % möglich.

Wesentliche Erkenntnis der Vergleichsstudie ist damit, dass die Randbedingungen und Annahmen des gewählten Auswerteverfahrens bzw. -tools unbedingt zu den Aquifer- und Strömungsbedingungen des zu planenden bzw. auszuwertenden Immissionspumpversuchs passen müssen. Wird dies nicht beachtet, können große Fehler in der Bestimmung der Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser sowie der abströmenden Schadstofffracht resultieren.

Aufbauend auf die Ergebnisse der Vergleichsstudie wurde eine Matrix für die Auswahl geeigneter Auswerteverfahren in Abhängigkeit von den Aquifer- und Strömungsbedingungen eines Immissionspumpversuchs erstellt (**Tabelle 9-8**).

7.5.2 Vergleichsstudie zu Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Verfahren

Die Bestimmung der Schadstoffimmission und -fracht an Kontrollebenen kann alternativ zu Immissionspumpversuchen auch nach der Transekten-Methode mittels Direct-Push-Verfahren erfolgen (KORA-Leitfaden, WABBELS & TEUTSCH, 2008). Aufgrund der eher ungünstigen Voraussetzungen liegen in Baden-Württemberg zur Anwendung von Direct-Push-Verfahren noch relativ wenige Erfahrungen vor. Häufig befinden sich die zu untersuchenden Auffüllungen und Altstandorte in quartären Talauen, deren Untergrund aufgrund dichter Bebauung und schwer rambaren, dicht gelagerten sandigen Kiesen schwer zugänglich ist. Zur Bewertung der Anwendungsmöglichkeiten von Direct-Push-Verfahren unter diesen auch in Ravensburg anzutreffenden typischen Rahmenbedingungen wurde nach Abschluss der eigentlichen Untersuchungen eine Vergleichsstudie durchgeführt. Für diesen Verfahrensvergleich zwischen Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Methoden wurde eine gut zugängliche Transekte entlang der Testfeld-Kontrollebene (KE3 Nord) ausgewählt. Aus den im Jahr 2005 durchgeführten Immissionspumpversuchen war bekannt, dass hier eine abgegrenzte LHKW-Fahne existiert.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

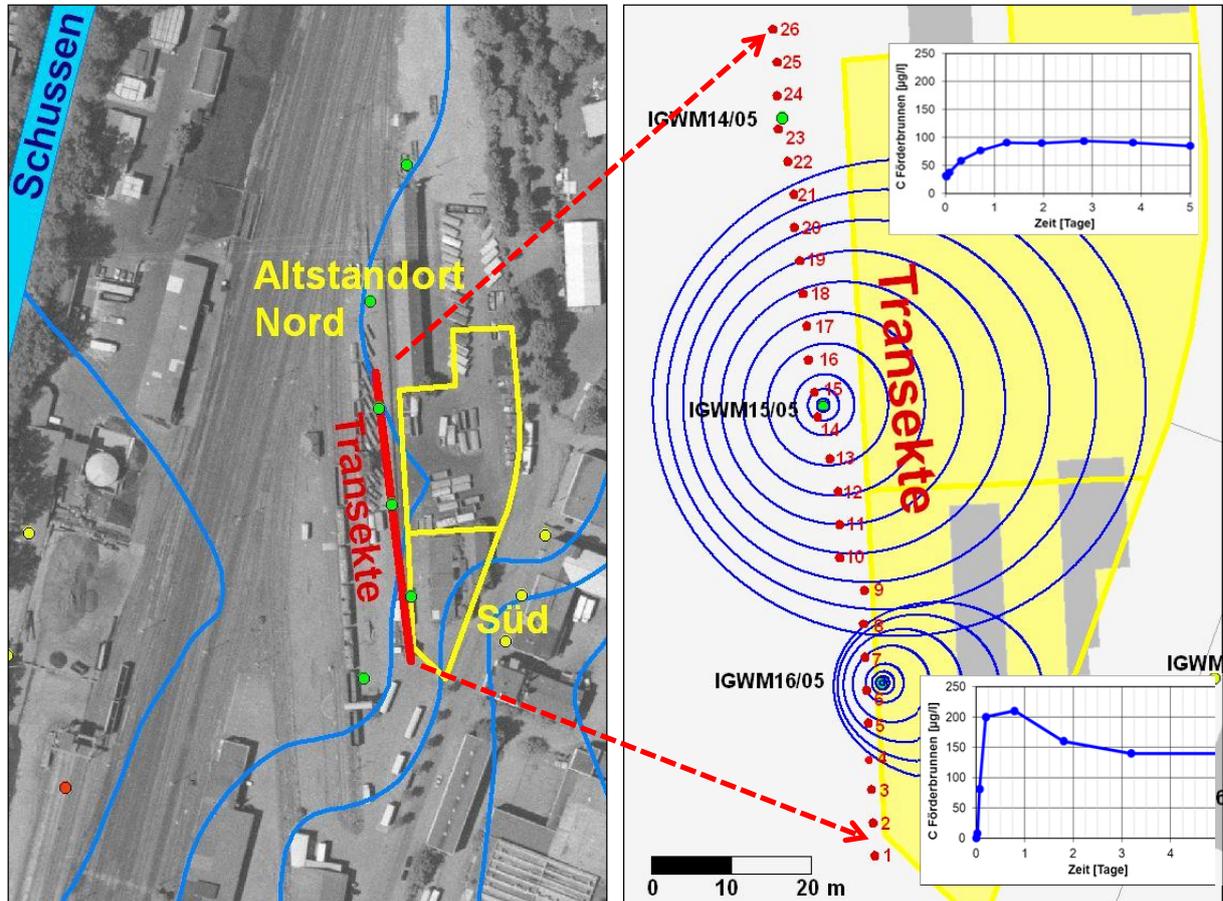
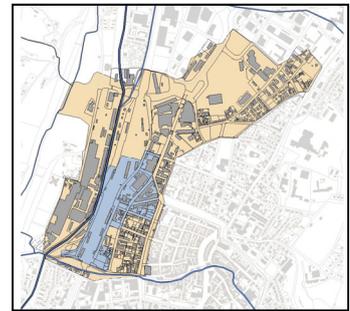


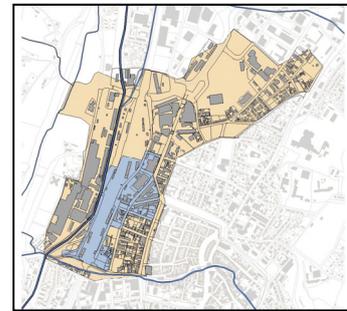
Abbildung 7-2: Lage des Testfelds im Nordosten des Bahnhofs Ravensburg mit dem untersuchten Abstromquerschnitt (Transekte) für den vergleichenden Einsatz von Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Verfahren

Die Lage dieser ca. 100 m langen Transekte ist in **Abbildung 7-2** dargestellt. Entlang dieser Transekte wurden 26 Sondierpunkte im Abstand von ca. 4 m festgelegt, um eine mit den Isochronen bzw. Stromstreifen der Immissionspumpversuche vergleichbar gute räumliche Erfassung zu erreichen. An diesen definierten Punkten wurden nach Leitungsrecherchen, Kampf-mittelsondierungen sowie der Aufnahme von Kopfsteinpflaster bzw. Beton- und Asphaltvorbohrungen von Ende November bis Mitte Dezember 2012 die nachfolgend aufgeführten Direct-Push-Verfahren durchgeführt:

- CPT- und Leitfähigkeitssondierungen
- MIP-Sondierungen (DELCD, PID, FID)
- horizontierte Grundwassersondierungen (GWS)
- Slugtests (ST)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Da aufgrund der dichten Lagerung eine Durchdringung der Schussenkiese mit kontinuierlichem Vortrieb nicht möglich war, mussten an den meisten Ansatzpunkten für die kombinierten CPT- und MIP-Sondierungen zunächst Sondierkanäle vorgebohrt werden.



Abbildung 7-3: Durchführung der Direct-Push-Sondierungen entlang der Testfeld-Transekte mit Hydraulikstempel für kontinuierlichen CPT- und MIP-Vortrieb

Einen Eindruck der Sondierarbeiten entlang der Transekte vermittelt **Abbildung 7-3**. Eine detaillierte Beschreibung der eingesetzten Verfahren findet sich in LEVEN ET AL. (2010) sowie im ausführlichen Bericht zur Vergleichsstudie (HEKEL, U. & EICHELMANN, C., 2014).

Die Ergebnisse der verschiedenen Direct-Push-Sondierungen sind in Form von Profilschnitten entlang des untersuchten Querschnitts dargestellt. **Abbildung 7-4** zeigt für den relevanten Ausschnitt der Transekte zwischen den Sondierpunkten 5 und 16 die Ergebnisse für die

- Bodenidentifikation (aus CPT-Sondierung)
- qualitative LHKW-Konzentrationsverteilung (nach DELCD-Signal)
- quantitative LHKW-Summen und interpolierte Konzentrationsverteilung (aus horizontalen Grundwasser-Probenahmen)
- k-Werte (aus Slugtests)
- interpolierte LHKW-Frachtverteilung

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

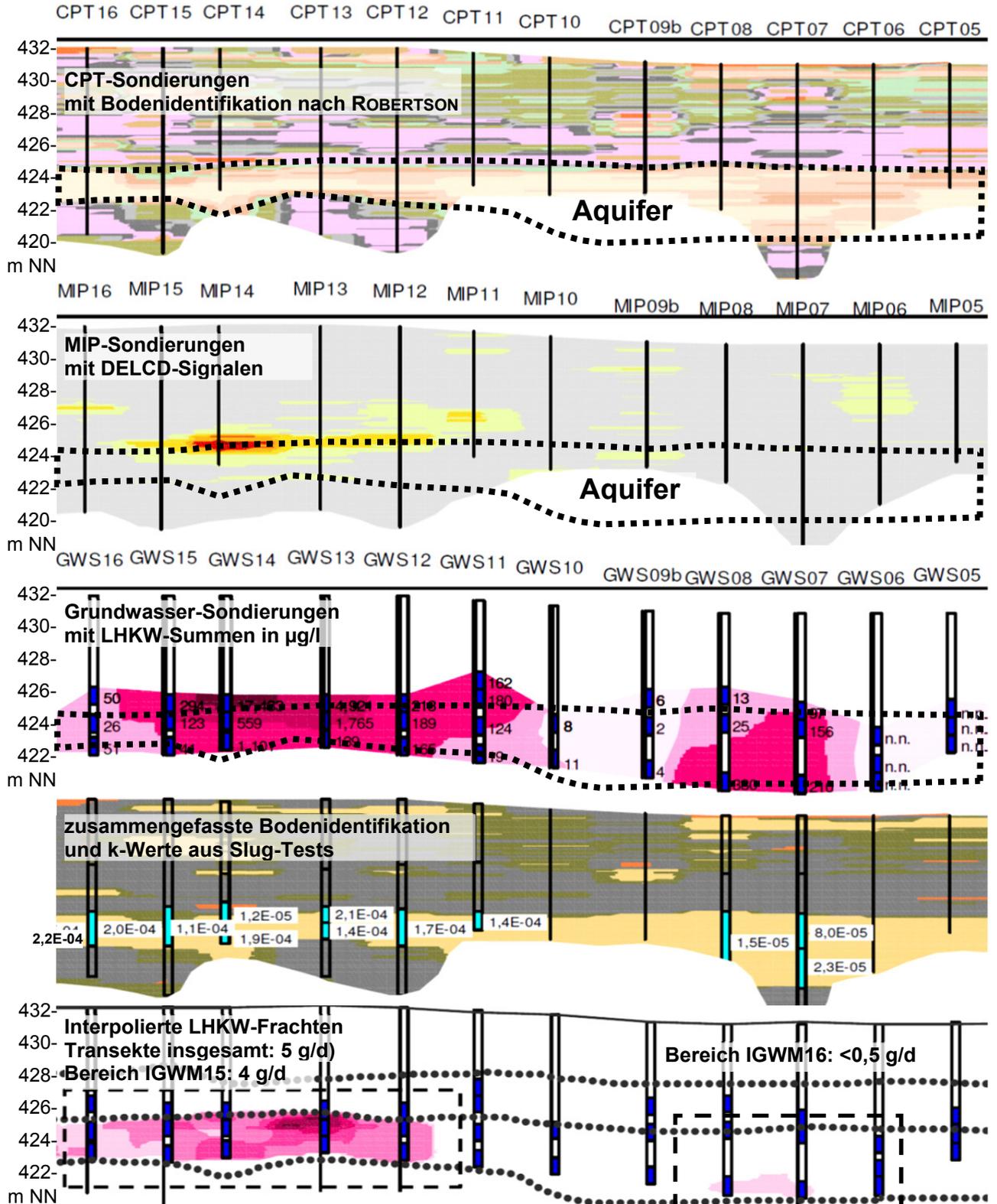
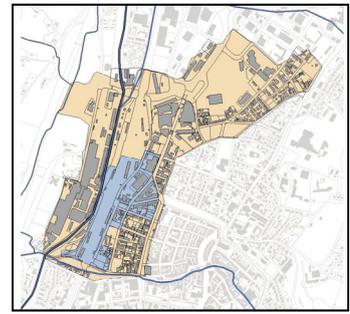
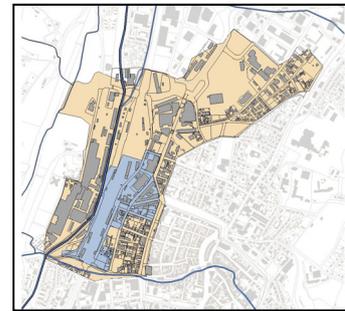


Abbildung 7-4: Ergebnisse der Direct-Push-Messungen (Profilschnitte GWS 05 - 16)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

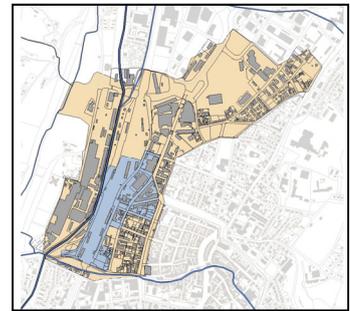


Auf Grundlage der im Ravensburger Testfeld untersuchten Transekte (vgl. **Abbildung 7-4**) lassen sich für die Anwendung der Direct-Push-Verfahren und die Qualität der Ergebnisse folgende grundsätzlichen Aussagen treffen:

- Für die Sondierungen mit kontinuierlichem Vortrieb boten die dicht gelagerten Schusenkiese meist einen zu hohen Eindringwiderstand. Daher mussten für die meisten CPT- und MIP-Sondierungen bis in die vorgesehene Endtiefe von ca. 10 m Sondierkanäle vorgebohrt werden.
- Mittels der in den CPT-Messungen ermittelten Werte für Spitzendruck und Reibungsfaktor war eine gute Bodenidentifikation und damit eine sehr gute Abgrenzung des eigentlichen Grundwasserleiters möglich.
- Auch mittels der Leitfähigkeitssondierung war eine gute Abgrenzung des Grundwasserleiters möglich, da der Leitfähigkeitskontrast zu den überlagernden bindigen Deckschichten und den unterlagernden glazialen Beckensedimenten deutlich ausgeprägt ist.
- Mit den DELCD-Signalen ließen sich in den MIP-Sondierungen Bereiche mit signifikanten LHKW-Belastungen in den bindigen Deckschichten zuverlässig abgrenzen. Im eigentlichen Grundwasserleiter jedoch war die Detektion von LHKW-Äquivalenten bei Belastungen $< 200 - 300 \mu\text{g/l}$ nicht gewährleistet. So wurden u. a. bei den Sondierungen MIP 07 und MIP 08 keine DELCD-Signale aufgezeichnet. In den nachfolgend durchgeführten tiefenhorizontierten Grundwasseruntersuchungen wurden hier jedoch Grundwasserbelastungen von $200 - 300 \mu\text{g/l}$ im Aquifer festgestellt.
- Die horizontierten Probenahmen der Grundwassersondierungen (GWS) lieferten prinzipiell eine gute Vorstellung der Konzentrationsverteilung im Grundwasserleiter. Ein Verschleppungsproblem deutet sich jedoch im Bereich von GWS14 an. Hier wurden oberhalb des eigentlichen Grundwasserleiters LHKW-Konzentrationen von über $17.000 \mu\text{g/l}$ angetroffen. Bei der Beprobung des tieferen Grundwasserleiters wurden aus diesem hoch belasteten Horizont durch den Sondiervorgang möglicherweise Phasenreste oder belasteter Boden nach unten verschleppt. Die Konzentrationen der Proben aus dem mittleren und tieferen Abschnitt mit über $1.000 \mu\text{g/l}$ fanden jedenfalls in den Immissionspumpversuchen keine Bestätigung.
- Mit den Slugtests (ST) war grundsätzlich eine lateral und vertikal differenzierte Bestimmung der k-Werte für den Grundwasserleiter möglich. Für die Interpolation der Durchlässigkeitsverteilung als Grundlage zur Frachtberechnung war es dabei qualitätsbestimmend, die relativ stark streuenden Durchlässigkeitswerte des Grundwasserleiters an möglichst vielen Sondierpunkten durchzuführen.
- Für die Ermittlung der Fracht wurden die Konzentrationen und k-Werte nach dem inverse distance-Verfahren für ein Grid mit Zellabmessungen von $0,6 \times 0,1 \text{ m}$ interpoliert und zusammen mit konstanten Werten für das hydraulische Gefälle zu Frachtwerten für jede Zelle multipliziert. Die Gesamtfracht für die Transekte wurde mit 5 g/d als Summe der Einzelfrachten für jede Zelle berechnet. Alternativ wurde die Fracht mit einem Stromröhrenmodell nachgerechnet. Die Probenahmepunkte bilden hierbei den Mittelpunkt von Stromröhren, die mit der tatsächlich bestimmten Konzentration belegt werden. Auf diese Weise wird eine Fracht von 8 g/d berechnet. Damit zeigt sich eine gewisse Abhängigkeit der Frachtbestimmung vom Interpolationsverfahren.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Da Immissionspumpversuche auf der Testfeld-Kontrollebene länger zurückliegen, wurden für den Verfahrensvergleich im Januar 2013 in den Messstellen IGWM15 und IGWM16 nochmals Immissionspumpversuche zur Erfassung der aktuellen Konzentrationsverteilung und Schadstofffracht auf der Transekte ausgeführt. Die Durchgangskurven für die LHKW-Summenkonzentration sowie die zugehörigen Isochronen sind in **Abbildung 7-2** dargestellt. Mittels CSTREAM wurden aus diesen Durchgangskurven die in **Abbildung 7-5** aufgetragene Konzentrationsverteilung sowie eine über die Transekte abströmende LHKW-Fracht von ca. 7 g/d ermittelt. Für den knapp 6 m breiten Überlappungsbereich wurden in guter Übereinstimmung aus beiden Immissionspumpversuchen Konzentrationen um 200 µg/l berechnet.

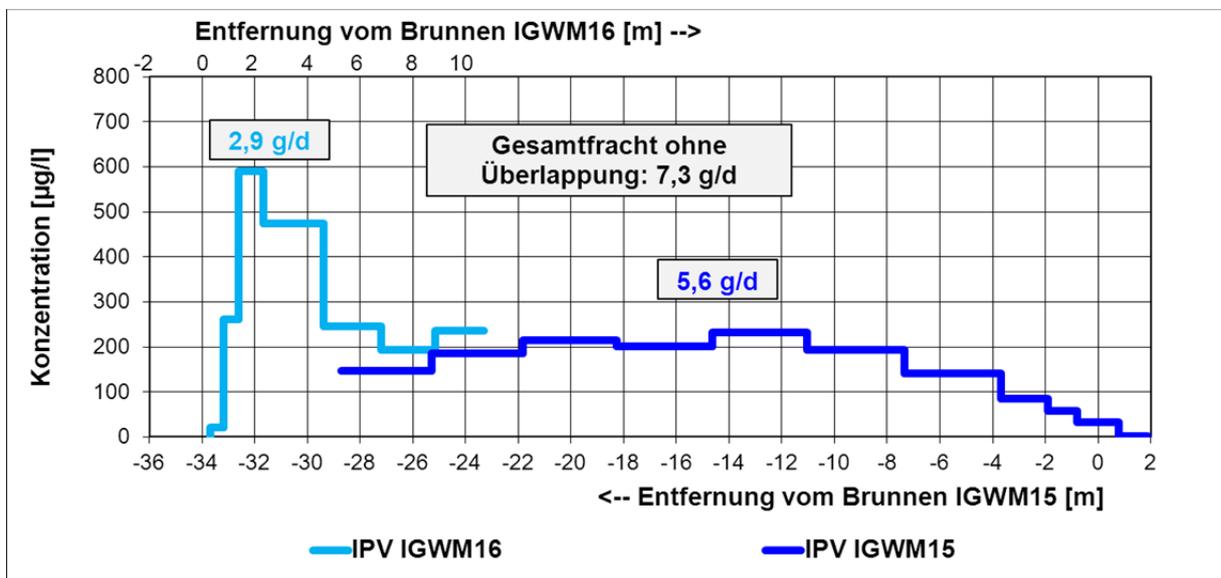


Abbildung 7-5: LHKW-Immission und -Fracht entlang der Testfeld-Transekte nach den Befunden der Immissionspumpversuche

Für den Verfahrensvergleich wurden in **Abbildung 7-6** in logarithmischem Maßstab die berechneten Konzentrationsverteilungen aus den Immissionspumpversuchen und die Ergebnisse der Direct-Push-Grundwassersondierungen aufgetragen. Im Bereich der Sondierpunkte GWS6 bis GWS8 sowie GWS11 bis GWS12 zeigt sich eine gute Übereinstimmung der IPV-Ergebnisse mit den direkt bestimmten Konzentrationen. Im Bereich der Sondierpunkte GWS9 und GWS10 weisen die IPV-Ergebnisse Konzentrationen um 200 µg/l aus, die in keiner der horizontalen Proben auch nur annähernd bestätigt werden. Demgegenüber weisen die horizontalen Proben an den Sondierpunkten GWS13 und GWS14 Konzentrationen in den Größenordnungen 1.000 und 10.000 µg/l auf, die in dieser Höhe durch den Immissionspumpversuch in IGWM15 nicht bestätigt werden können, obwohl dieser zur Erfassung des betroffenen brunnennahen Bereichs anfänglich besonders häufig beprobt wurde.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

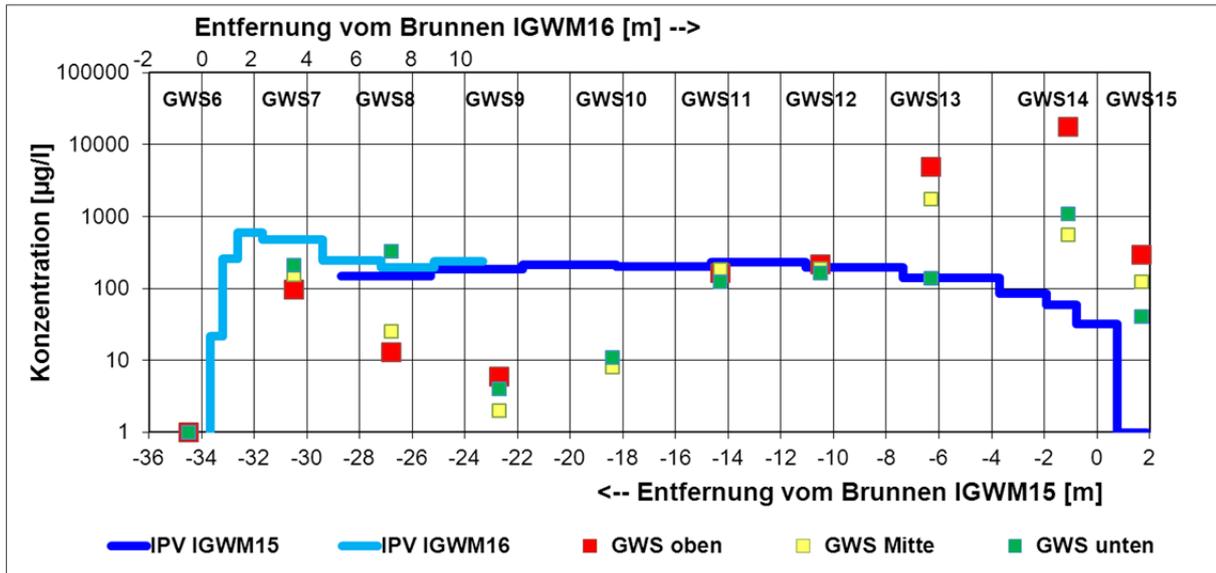
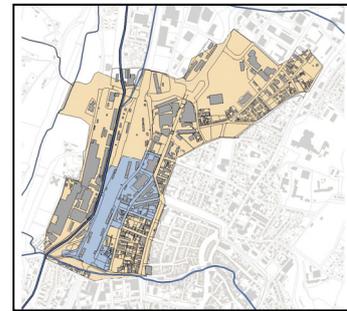


Abbildung 7-6: Vergleich der LHKW-Immission entlang der Testfeld-Transecte aus den Grundwassersondierungen (GWS) und einer (üblichen) tiefengemittelten Auswertung der Immissionspumpversuche

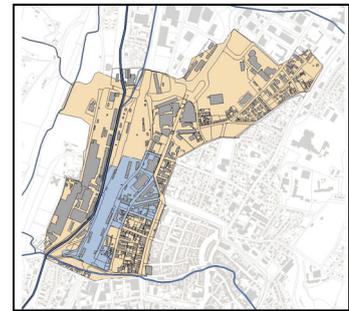
Diese in **Abbildung 7-6** dokumentierten Abweichungen der dp- und IPV-Ergebnisse sind im Wesentlichen auf zwei Ursachen zurückzuführen:

- Mit den oberen Proben der Sondierungen GWS13 und GWS14 wurde ein gering durchlässiger Horizont oberhalb des eigentlichen Grundwasserleiters erfasst. Dieser weist – wie nachfolgende vertiefende Untersuchungen zeigten – ausgehend von einem alten Kanalrohr hohe Schadstoffbelastungen auf. Bei den relativ hohen Gehalten der tieferen Proben handelt es sich wahrscheinlich um Verschleppungen aus dem belasteten Horizont.
- Der Immissionspumpversuch in IGWM15 erfasst zunächst geringer belastetes Grundwasser aus dem durchlässigeren Grundwasserleiter. In einer späteren Phase wird auch das hoch belastete Grundwasser aus dem überlagernden Geringleiter erfasst. Die gemessene Mischkonzentration der geringen Wassermenge aus dem hochbelasteten Horizont und der hohen, aber nur mehr sehr gering belasteten Wassermenge aus dem Grundwasserleiter täuschen eine zu hohe Konzentration im weiteren Erfassungsbereich des IPV im Bereich der Sondierpunkte GWS9 und GWS10 vor.

Die übliche zweidimensionale Betrachtung von Immissionspumpversuchen setzt voraus, dass sowohl die Konzentrationsverteilung als auch die Durchlässigkeitsverteilung über die Aquifermächtigkeit konstant ist. Abweichungen von diesen Grundvoraussetzungen, wie im Falle des Erfassungsbereichs von IGWM15, führen zu einer entsprechenden Fehlinterpretation der Konzentrationsverteilung.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Um diesen Nachteil der zweidimensionalen Betrachtungsweise durch Immissionspumpversuche zu beheben, wird an verschiedenen Ansätzen für eine tiefendifferenzierte Bestimmung der Schadstoffimmission gearbeitet (PTAK ET AL., 2013). Voraussetzungen sind die Bestimmung des vertikalen Durchlässigkeitsprofils des Aquifers sowie tiefengestufte Probenahmen während des Immissionspumpversuchs. Da im vorliegenden Fall die vertikale Durchlässigkeitsverteilung aus den tiefengestuftem Slugtests bekannt ist, konnte eine tiefendifferenzierte Auswertung des Immissionspumpversuchs vorgenommen werden. Die hiermit gewonnenen Konzentrationsverteilungen im Grundwasserleiter bzw. im überlagernden Geringleiter stimmen weitgehend mit den Befunden der Grundwassersondierungen überein (**Abbildung 7-7**).

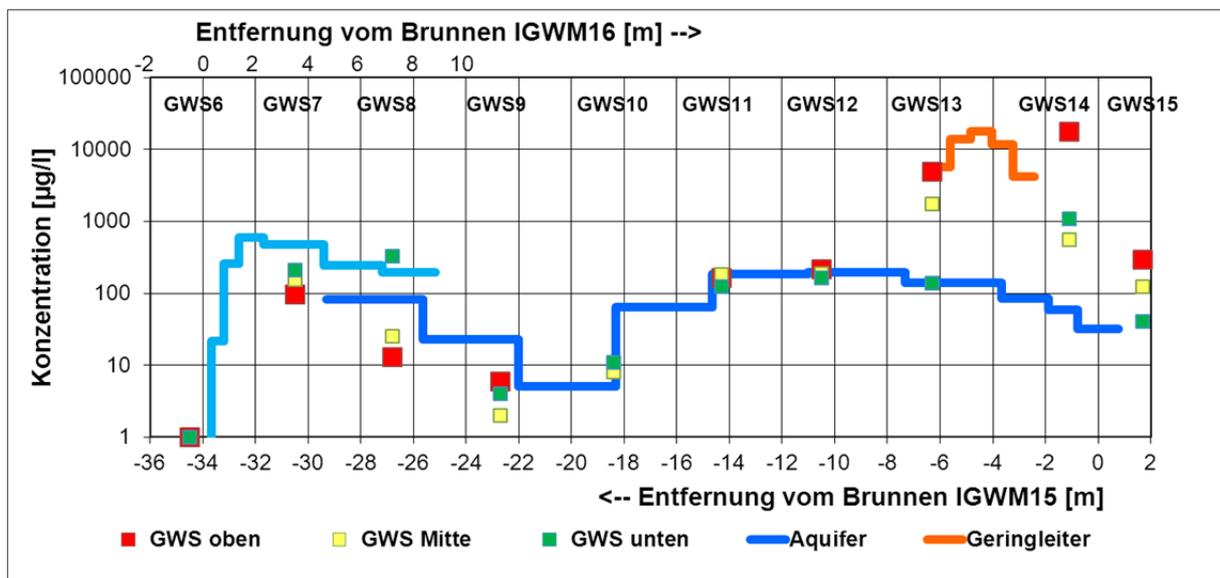


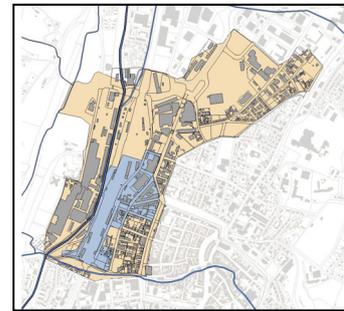
Abbildung 7-7: Vergleich der LHKW-Immission entlang der Testfeld-Transecte aus den Grundwassersondierungen (GWS) und einer tiefendifferenzierten Auswertung des Immissionspumpversuchs in IGWM15

Im Gegensatz zur Immissionsbestimmung findet bei der Bestimmung der Fracht in beiden Verfahren eine durchlässigkeitsgewichtete Mittelbildung statt. Die ermittelten Frachten stimmen daher mit 5 g/d (inverse distance-Verfahren) bis 8 g/d (Stromröhrenmodell) bei der Direct-Push-Methode und mit ca. 7 g/d beim IPV-Verfahren relativ gut überein. Insbesondere im Erfassungsbereich des IPV in IGWM15 stimmen die Frachten der Direct-Push-Methode mit 4 g/d (inverse distance-Verfahren) bzw. 6 g/d (Stromröhrenmodell) gut mit den 5,6 g/d aus der IPV-Auswertung überein.

Für den Erfassungsbereich des IPV in IGWM16 zeigen sich jedoch deutlichere Abweichungen. Während die IPV-Auswertung eine Fracht von 2,9 g/d liefert, berechnet sich aus den Grundwassersondierungen nur ein Wert von deutlich kleiner 0,5 g/d (inverse distance-Verfahren) bzw. 0,6 g/d (Stromröhrenmodell). Diese Abweichung der Frachtwerte ist unmittelbar auf deutlich abweichende k -Werte zurückzuführen, die bei den Slugtests in den Sondierpunkten 7 und 8 (vgl. **Abbildung 7-4**) um bis zu eine Größenordnung unter dem Wert von $1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s aus dem Immissionspumpversuch liegt.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Die Betrachtung der Kosten des Methodeneinsatzes basiert auf der Voraussetzung, dass das „Testfeld“ bereits soweit erkundet war, dass die Aquifer- und Grundwasserströmungsverhältnisse in groben Zügen bekannt waren und die Lage einer sinnvollen Kontrollebene gegeben war. Der Kostenvergleich der beiden Verfahren umfasst sämtliche Arbeiten zur Immissions- und Emissionsbestimmung auf der vorgegebenen Transekte. Die Kosten der IPV-Methode wurden dabei auf die vollständige Erfassung des 100 m breiten Untersuchungsquerschnitts mit drei Immissionspumpversuchen hochgerechnet:

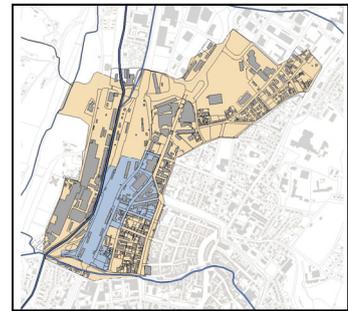
IPV-Verfahren	€	Direct-Push-Verfahren	€
Leitungsrecherche und Kampfmittelsondierung	1.680	Standortbegehung Leitungsrecherche und Kampfmittelsondierungen	2.590
3 GWM bohren/einrichten	9.470	Beton, Asphalt vorbohren; Kopfsteinpflaster aufnehmen	780
Profilaufnahme und Vermessung	900	Direct-Push-Sondierungen, An-/Abtransport 102 Aufbau/Umsetzen Gerätschaften Verschließen der Löcher	5.420
Vermessung	450	26 Leitfähigkeitssondierungen	5.580
3 Kurzpumpversuche für die Planung	1.350	26 MIP-Sondierungen (CPT, DELCD, PID, FID) inkl. Vorbohren von Sondierkanälen	12.200
3 Immissionspumpversuche inkl. Strom und Abwasser	13.940	25 Grundwassersondierungen (GWS) jeweils mehrere Horizonte	9.450
3 GWM rückbauen	1.800	15 Slugtests (ST)	5.220
26 LHKW-Grundwasseranalysen	1.040	66 LHKW-Grundwasseranalysen	2.640
Ingenieurleistungen zur Organisation und Betreuung der Bohrarbeiten	2.870	Ingenieurleistungen zur Organisation und Vermessung der Sondierungen	1.960
Ingenieurleistungen zur Planung und Auswertung der IPV (Isochronen, Konzentrationsverteilungen, Fracht)	2.450	Ingenieurleistungen Auswertung der Sondierungen (Aquifergeometrie, Konzentrationen und Fracht)	2.850
	35.950		48.690
		ohne CPT/MIP	36.490

Tabelle 7-1: Kostenvergleich der Immissionspumpversuche und Direct-Push-Verfahren

Damit stehen sich Kosten für die IPV-Methode in Höhe von ca. 36.000,- € und für die Direct-Push-Verfahren von ca. 49.000,- € gegenüber. Unter den im Ravensburger Testfeld gegebenen Voraussetzungen lieferten die MIP-Sondierungen für die LHKW-Bestimmung im Grundwasser keine verwertbaren Ergebnisse. Außerdem hätte zur Bestimmung der Aquiferober- und -untergrenze auch der Leitfähigkeitskontrast des Grundwasserleiters bzw. seiner über- und unterlagernden Schichten ausgereicht. Somit wären ohne Qualitätsverlust die Durchführung der CPT/MIP-Sondierungen und das Vorbohren der hierfür erforderlichen Sondierkanäle verzichtbar gewesen. Rechnet man diese Sondierungen heraus, so liegen die Kosten der beiden methodischen Ansätze mit ca. 36 T€ nahezu in gleicher Höhe. Die Erfahrungen des Methodenvergleichs im Ravensburger Testfeld sind in Kap. 9.1, **Tabelle 9-1** zusammengefasst.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



8 Erfahrungen mit der integralen Untersuchungsmethode

8.1 Kosten

Das Projektbudget für die Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg lag bei 2,2 Mio. € (brutto). **Abbildung 8-1** zeigt die Aufteilung der Projektkosten nach den Kategorien Planung und Auswertung, Feld- und Laboruntersuchungen, Studien und Verfahrensentwicklungen, Organisation und Qualitätssicherung sowie die Projektdokumentation in Form verschiedener Fachberichte und Datenbanken.

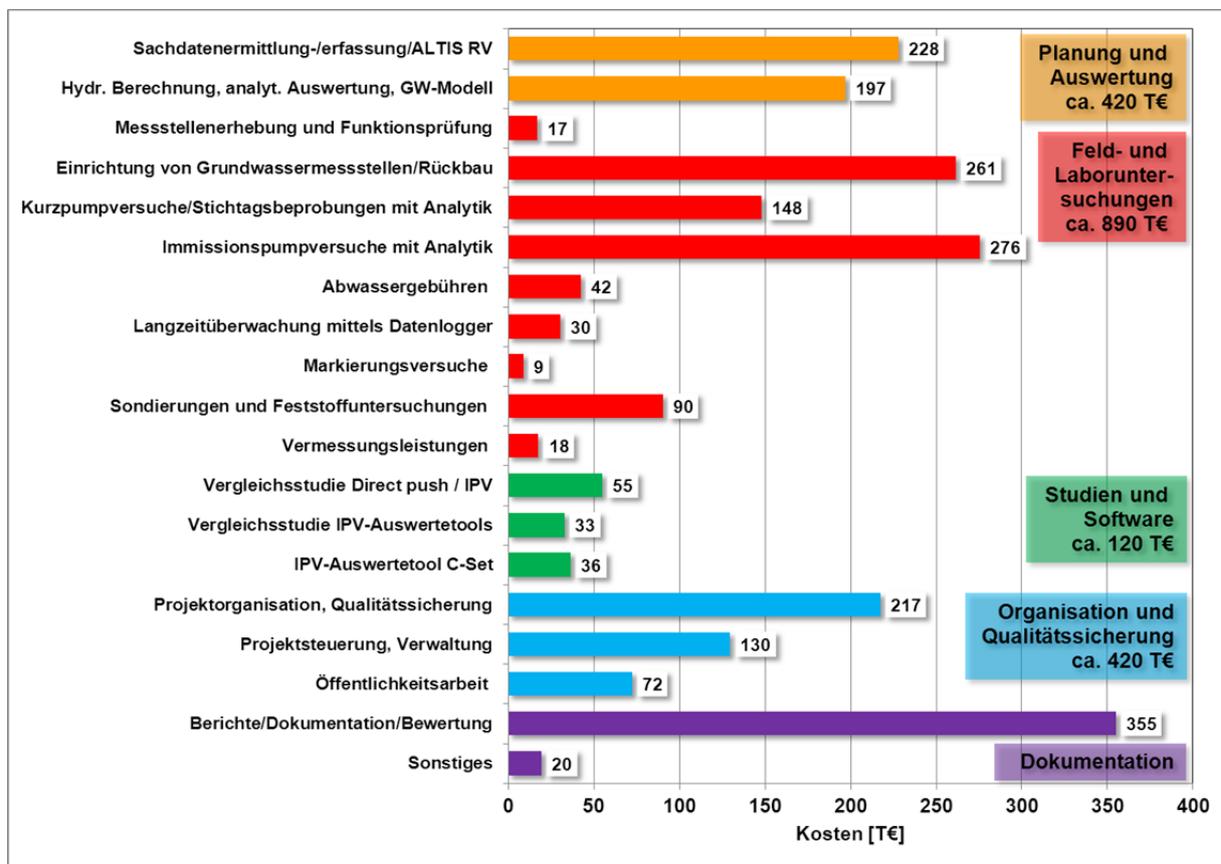


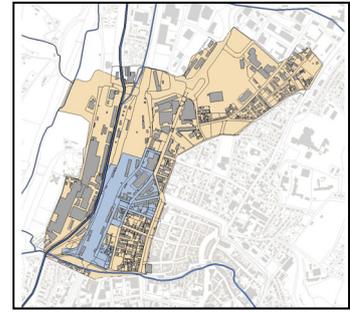
Abbildung 8-1: Verteilung der Projektkosten (brutto)

Mit ca. 0,9 Mio. € wurden im Rahmen des Projekts modellhaft für die Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg integrale Methoden und Strategien weiterentwickelt sowie ein breiter fachlicher Austausch ermöglicht, insbesondere durch:

- Einsatz eines numerischen Transportmodells als zusätzliches Instrument für die Planung und Auswertung der Immissionspumpversuche
- Wiederholungsmessungen zur Beurteilung von zeitlichen Varianzen und der Reproduzierbarkeit von Ergebnissen
- Absicherung von Ergebnissen durch die Anwendung mehrerer Verfahren

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- Vergleichsstudie zu IPV- und Direct-Push-Verfahren
- Vergleichsstudie zu IPV-Auswerteverfahren
- Entwicklung von C-SET zur Berücksichtigung hydraulischer Einflüsse bei IPV
- Fachbeiratssitzungen für den fachlichen Austausch
- Seminarvorträge des Altlastenforums zur Weitergabe der Erfahrungen
- Veröffentlichungen zur Weiterentwicklung der Untersuchungsmethodik

Nicht zuletzt konnte in diesem Rahmen auch der vorliegende Bericht als umfassende Darstellung der in Ravensburg eingesetzten Verfahren und gewonnenen Erfahrungen für die Altlastenbearbeitung erstellt werden.

Mit ca. 1,3 Mio. € wurde der größte Teil des Projektbudgets für die eigentliche Altlastenuntersuchung im ca. 1 km² großen Betrachtungsgebiet aufgewendet. Nach Schätzung der maßgeblichen Mittelbehörde können hiervon ca. 0,3 Mio. € dem Umstand zugeschrieben werden, dass eine integrale Altlastenuntersuchung in dieser Art erstmalig durchzuführen war. Diese Kosten entfallen bei künftigen, nach dem Leitfaden „Integrales Altlastenmanagement“ durchgeführten Projekten. Somit können für Vergleichszwecke die „tatsächlichen“ Projektkosten mit ca. 1,0 Mio. € abgeschätzt werden. Bezieht man diese Kosten auf die insgesamt 25 untersuchten Einzelfälle bzw. 20 Einzelfälle, für die im Hinblick auf das Schutzgut Grundwasser ausreichende Bewertungsgrundlagen geschaffen werden konnten, so ergeben sich für den Einzelfall mittlere Kosten zwischen 40.000,- und 50.000,- €.

8.2 Nutzen

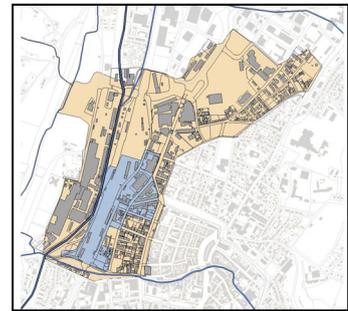
Die integrale Altlastenuntersuchung in Ravensburg hat die Altlastenbearbeitung in Ravensburg in entscheidender Weise vorangebracht. **Tabelle 8-1** zeigt dies am Stand der Altlastenbearbeitung in Ravensburg vor und nach der integralen Untersuchung. Durch die gesamtschauliche Herangehensweise wurden

- als Vorarbeit zur integralen Altlastenuntersuchung die uneinheitlichen und teilweise falschen Betrachtungen des Aquiferaufbaus durch ein konsistentes hydrogeologisches Modell ersetzt,
- die bereichsweise unverstandene Grundwasserströmungssituation geklärt,
- Kenntnislücken der Schadstoffbelastung im Grundwasser geschlossen,
- Schadstofffahnen abgegrenzt,
- Gemengelagen aufgelöst,
- die abgegrenzten Schadstofffahnen auf ihre Quellen zurückgeführt.

Durch das integrale Untersuchungsverfahren gelang es, die Gemengelage von kommunalen und privaten altlastenverdächtigen Flächen und Altlasten aufzulösen und 20 von 25 Standorten einer qualifizierten Bewertung in Bezug auf den Wirkungspfad Boden – Grundwasser zuzuführen.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Neben Flächen, für die Schadstoffeinträge ins Grundwasser nachgewiesen wurden, konnten auch Flächen ausgeschieden werden, von denen zurzeit keine grundwasserrelevanten Beeinträchtigungen ausgehen. Die Altlastenbewertung der 20 Einzelfälle, für die durch die integrale Altlastenuntersuchung eine ausreichende Datenbasis geschaffen werden konnte, wurde 2009 im unmittelbaren Anschluss an die Untersuchungen angegangen.

Für fünf Einzelfälle konnten im Rahmen der integralen Altlastenuntersuchung keine oder nur unzureichende bewertungsrelevante Untersuchungen durchgeführt werden. Die Gründe hierfür waren:

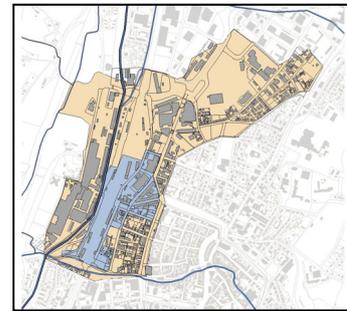
- zu geringe Grundwasserergiebigkeit für Immissionspumpversuche
- große, zusammenhängende private Flächen ohne Gemengelage mit kommunalen Flächen
- lange, schmale Ablagerungsflächen, für die eigene Kontrollebenen unverhältnismäßig gewesen wären
- kleine Fläche in Gemengelage mit einem in Sanierung befindlichen Fall

Der fachliche Nutzen der integralen Altlastenuntersuchung zeigte sich beispielhaft in zwei Fällen, bei denen durch Einzelfalluntersuchungen falsche Bewertungsgrundlagen geschaffen oder unzureichende Sanierungsmaßnahmen angesetzt worden waren.

Fall 1: Aufschlussreich ist hierbei der Fall einer chemischen Reinigung: Für diesen Altstandort wurden zeitgleich zur integralen Altlastenuntersuchung eine Gefahrverdachtsuntersuchung mit 19 RKS (Kosten ca. 7.000,- €) sowie eine orientierende Untersuchung (Kosten ca. 32.000,- €) durchgeführt. Bei dieser OU wurden drei GWM im Zustrom und drei GWM im kleinräumig abgeleiteten Grundwasserabstrom eingerichtet. In den Abstrommessstellen wurden 24-stündige Pumpversuche durchgeführt, wobei maximale LHKW-Konzentrationen in Höhe von 5,8 µg/l gemessen wurden. Im Zuge der integralen Altlastenuntersuchung wurden an einer abstromig gelegenen Kontrollebene mittels eines Immissionspumpversuchs LHKW-Fahnenkonzentrationen über 10.000 µg/l festgestellt, die eindeutig auf die Verdachtsfläche zurückprojiziert werden konnten. Mit einer daraufhin zielgerichtet an der Grundstücksgrenze eingerichteten Grundwassermessstelle konnte der Gefahrverdacht schließlich nachgewiesen werden. Das Problem bei der OU lag darin, dass die Strömungssituation von der Gefahrverdachtsfläche ausgehend zu kleinräumig betrachtet und mit den falsch platzierten Abstrommessstellen die standortnah sehr schmale Schadstofffahne letztendlich „übersehen“ wurde. Die Vorteile der integralen Altlastenuntersuchung waren, dass zum einen mit dem auf eine lückenlose Abstromuntersuchung angelegten System der Kontrollebenen die Schadstofffahne nicht zu übersehen war und zum anderen durch die Berücksichtigung des Standortumfelds eine wesentlich differenziertere Auflösung des Grundwasserabstroms vom Standort möglich war.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



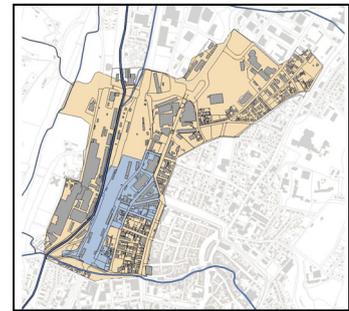
Fall 2: Ein weiterer Fall betrifft den Altstandort eines Chemikalienlagers, der bereits seit Ende der 80er Jahre untersucht und nach auffälligen LHKW-Befunden im Boden und der Bodenluft einer Sanierung der ungesättigten Bodenzone zugeführt wurde. Im Zuge der integralen Altlastenuntersuchung wurden an einer Kontrollebene im Abstrom des Altstandorts LHKW-Fahnenkonzentrationen in der Größenordnung von 1.000 µg/l festgestellt, die eindeutig auf die Verdachtsfläche zurückgeführt werden konnten. Damit ergab sich die Notwendigkeit einer Aktualisierung der bisherigen Bewertung. Das Problem der früheren Untersuchungen war, dass sie sich hauptsächlich auf die ungesättigte Zone und den Grundwassergeringleiter erstreckten. Mangels qualifizierte Untersuchungen im Abstrom des Schadensbereichs wurde die Betroffenheit des darunterliegenden Hauptaquifers nicht erkannt.

In den beiden geschilderten Fällen, aber auch in weiteren Fällen, in denen Grundwasserbelastungen durch die integrale Altlastenuntersuchung eindeutig auf ihre Quelle zurückzuführen waren, wurden die Ergebnisse den betroffenen Störern vorgestellt. Dabei wurde die konkrete Erfahrung gesammelt, dass durch die darstellbare hohe Qualität der gesamt-schaulichen Erkundungsmethoden und der resultierenden Ergebnisse eine starke Überzeugungskraft generiert wird. Als unmittelbare Folge waren die Störer bereit, die innerhalb der systematischen Altlastenbearbeitung von der Fachbehörde geforderten weiteren Untersuchungsmaßnahmen unmittelbar anzugehen und dies unter Einsatz eigener Finanzmittel.

Kennnis- und Bearbeitungsstand	Vor der integralen Untersuchung in Ravensburg	Nach der integralen Untersuchung in Ravensburg	Nutzen
Datenhaltung allgemein (Messstellen, Befunde)	nur einzelfallbezogen unzusammenhängend und nicht konsistent	konsistente Datenbank und Gis-System	hoch
Aquiferaufbau	unzusammenhängende, nicht konsistente und teilweise falsche Betrachtung	konsistentes Aquifermodell	hoch
Grundwasserströmung	unzusammenhängend, bereichsweise ungeklärt oder falsch	groß und kleinräumig geklärt; konsistentes Grundwasserströmungsmodell	hoch
Schadstoffbelastung im Grundwasser	lückenhafte Kenntnis Einzelbefunde oft nicht zuzuordnen	flächendeckende Kenntnis in relevanten Belastungsbereichen Zuordnung zu Schadstofffahnen bzw. Emittenten vollständig möglich	hoch
Altlastenbewertung der Verdachtsflächen im Untersuchungsgebiet Schutzgut Grundwasser	25 Fälle konnten nicht bewertet werden oder wurden – im Nachhinein betrachtet – falsch bewertet oder unzureichend saniert aufgrund ungeklärter Fragen zu - Aquiferaufbau - Grundwasserströmungssituation (Zu- und Abstromverhältnisse) - Herkunft einzelner Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser - Gemengelagen	für 20 Fälle wurden in Bezug auf den Wirkungspfad „Grundwasser“ alle erforderlichen Bewertungsgrundlagen geschaffen 5 Fälle konnten wegen geringer Grundwasserergiebigkeit bzw. fehlender Gemengelagen mit kommunalen Altablagerungen im Rahmen der integralen Untersuchung nicht bearbeitet werden	hoch

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Kenntnis- und Bearbeitungsstand		Vor der integralen Untersuchung in Ravensburg	Nach der integralen Untersuchung in Ravensburg	Nutzen
Altlastenbewertung der Verdachtsflächen im Untersuchungsgebiet Schutzgüter Mensch und Nutzpflanze		Bewertungen der Wirkungspfade Boden – Mensch und Boden – Nutzpflanze werden gem. BBodSchV grundsätzlich auf Grundlage einzelfall- bzw. flurstücksbezogener Untersuchungen vorgenommen.	Rückschlüsse zwischen Grundwasserbelastungen und Belastungen im Oberboden konnten nicht gezogen werden.	gering
Untersuchung und Bewertung privater Störer		allenfalls schleppende Bearbeitung, da Grundwasserbelastungen aufgrund von Kenntnislücken und Gemengelagen meist nicht konkreten Verdachtsflächen zuzuordnen waren	da losgelöst vom Grundstücksbezug untersucht wurde, konnten im Umfeld kommunaler Altlasten auch für private Flächen für das Schutzgut Grundwasser bewertungsrelevante Grundlagen auf der Stufe einer OU geschaffen werden. Aufgrund der Beweiskraft der Fahnenzuordnungen konnten die Störer durch die Fachbehörde zu weiteren Schritten veranlasst werden.	hoch
Planungsgrundlage für Baumaßnahmen im Grundwasser		<ul style="list-style-type: none"> - keine konsistente Aufarbeitung und Dokumentation der Daten - wenig flächendeckende Kenntnis der Schadstoffbelastung im Grundwasser - häufig „Überraschungen“ bei Baumaßnahmen im Grundwasser 	durch die flächendeckende und raumbezogene Aufbereitung der Daten kann die Auswirkung von Schadstofffahnen auf Baumaßnahmen erkannt und ggf. erforderliche Sicherheits- und Reinigungsmaßnahmen bei einer Bauwässerhaltung geplant werden	hoch
Konkrete Fallbeispiele	Bewertung Verdachtsfläche „Chemische Reinigung“	auf Grundlage einer ordnungsgemäßen OU werden mit 6 flurstücksbezogenen Grundwassermessstellen die Grundwasserströmungssituation und Schadstoffeinträge ins Grundwasser nicht erkannt und damit eine falsche Bewertungsgrundlage geschaffen	auf Grundlage einer Kontrollebene mit 5 IPV konnten flächenhaft verbreitete LHKW-Konzentrationen einer Fahne zugeordnet werden. Die Fahne konnte auf die Verdachtsfläche zurückgeführt und mittels einer zielgerichteten Kontrollmessstelle an der Grundstücksgrenze nachgewiesen werden.	hoch
	Bewertung und Sanierung Verdachtsfläche „Chemikalienlager“	auf Grundlage einer ordnungsgemäßen OU/DU/SU wurden Schadstoffeinträge in den Grundwasserleiter nicht erkannt. Die anschließende Sanierung in der ungesättigten Zone blieb im Hinblick auf den Schadstoffabstrom im Grundwasser wirkungslos	auf Grundlage von Kontrollebenenabschnitten im Zu- und Abstrom konnte mit jeweils 2 IPV eine Schadstofffahne abgegrenzt und auf einen Stoffeintrag aus der Verdachtsfläche zurückgeführt werden. Auf Grundlage dieses Befunds wurde eine Sanierungsuntersuchung angeordnet.	hoch

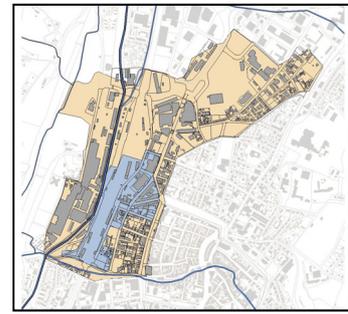
Tabelle 8-1: Kenntnis- und Bearbeitungsstand der Altlastenbearbeitung in Ravensburg vor bzw. nach der integralen Altlastenuntersuchung

8.3 Kosten/Wirksamkeit

Die Kosten der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg liegen mit 40 - 50.000,- € je Standort allein für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser deutlich über den durchschnittlichen Kosten einer klassischen, einzelfallbezogenen orientierenden Untersuchung. Vergleicht man aber den Umfang und die Qualität der geschaffenen Bewertungsgrundlagen, so relativiert sich diese Kostenbetrachtung erheblich.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

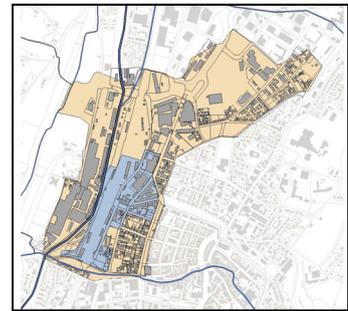
Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Die ersten im Rahmen von Bewertungsgesprächen gewonnenen Erfahrungen belegen, dass die mit dem integralen Untersuchungsansatz gewonnenen Informationen zumeist schon den Anforderungen an eine Detailuntersuchung genügen. Wo dies nicht der Fall ist, ergeben sich bei der weiteren Untersuchung (DU, SU) oder bei der Planung bzw. Optimierung von Sanierungsmaßnahmen erhebliche Kosteneinsparungen.

Außerdem konnte die Erfahrung gemacht werden, dass nach der in jedem Fall sehr offensichtlichen Auflösung von Gemengelagen aus kommunalen und privaten Flächen die privaten Störer unmittelbar angegangen und zu weiteren Untersuchungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen veranlasst werden konnten.

Eine gute Ausgangslage für eine hohe Kosteneffizienz des integralen Untersuchungsansatzes bestand in Ravensburg durch die relativ hohe Anzahl der Einzelfälle und die relativ hohe Falldichte im Untersuchungsgebiet. Damit konnten die Grundkosten für die grundlegende Erhebung und hydrogeologische Untersuchung sowie aufwendige Planung der Kontrollebenen auf eine entsprechend hohe Fallzahl umgelegt werden. Zum anderen ergaben sich Synergieeffekte, da aus einzelnen Untersuchungsmaßnahmen Ergebnisse für mehrere benachbarte Verdachtsflächen erzielt werden konnten.



9 Empfehlungen zur Anwendung integraler Untersuchungsmethoden

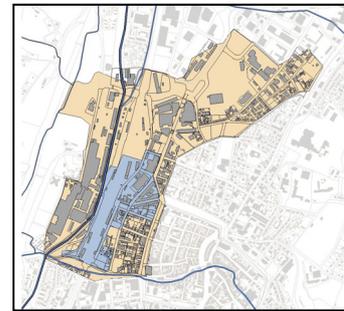
Die Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg liefert über die konkreten Ergebnisse für die Altlastenbewertung in Ravensburg hinaus als „Modellprojekt“ Erfahrungen und Impulse für die Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg. Aus den verschiedenen, teilweise vergleichend eingesetzten Methoden können folgende Erkenntnisse und Empfehlungen für die integrale Altlastenuntersuchung in flachen Porengrundwasserleitern urbaner Räume abgeleitet werden:

- Entscheidungskriterien für Immissionspumpversuche bzw. Direct-Push-Verfahren (Kap. 9.1)
- Entscheidungskriterien für die Anwendung von Immissionspumpversuchen (Kap. 9.2.1)
- Kosten-/Wirksamkeitsbetrachtung von Immissionspumpversuchen (Kap. 9.2.2)
- Qualitätsanforderungen an die Ermittlung der hydraulischen und Transport-Parameter (Kap. 9.2.3)
- Auswahlkriterien zu Planungs- und Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche (Kap. 9.2.4)
- Entscheidungskriterien für den Einsatz eines numerischen Grundwassermodells (Kap. 9.2.5)

Darüber hinaus liefert die Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg wesentlichen Input für Handlungsempfehlungen und Leitfäden (Kap. 9.3).

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



9.1 Auswahlkriterien für Immissionspumpversuche und Direct-Push-Verfahren

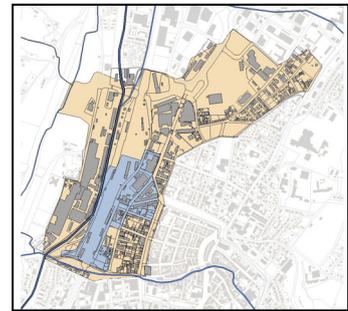
Die im Rahmen der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg durchgeführte Vergleichsstudie zu Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Verfahren (Kap. 7.5.2) liefert die Grundlage für eine Methodenauswahl. Die Entscheidungskriterien sind in **Tabelle 9-1** zusammengefasst. Die Stärken bzw. günstigen Anwendungsbedingungen der Verfahren sind dabei grün markiert, Schwächen bzw. Einschränkungen bei der Anwendung sind rot markiert:

	IPV-Verfahren	Direct-Push-Verfahren
Hauptsächlicher Anwendungsbereich	Untersuchung zur Bewertung der Immissions-/Emissionsverhältnissen im Sinne der BBodSchV	Untersuchung zur räumlichen Abgrenzung von Schadensherden (lateral und in der Tiefe) für die Sanierungsuntersuchung bzw. -planung
Anwendungsbedingungen	relativ wenige Untersuchungspunkte erforderlich	relativ viele Untersuchungspunkte erforderlich
	Erfassung auch unter Gebäuden möglich	Erfassung i. d. R. durch Gebäude unterbrochen
	relativ hoher Aufwand je Untersuchungspunkt	relativ geringer Aufwand je Untersuchungspunkt
	für Locker- und Festgesteine	nur für durchdringbare Lockersedimente
	für flache und tiefe Aquifere	i. d. R. begrenzt auf flache Aquifere
	ggf. hoher Aufwand für Abwasser	kein Abwasser
	ggf. Risiko von Setzungsschäden	keine Setzungsproblematik
Räumliche Schadstoffkonzentration (Immission)	die Bestimmung ist Ergebnis einer Berechnung deren Qualität abhängig ist von den Verfahrensannahmen, insbesondere in Bezug auf die Homogenität des Aquifers	robuste Bestimmung durch Probenahme an definierten Punkten jedoch Gefahr der vertikalen Schadstoffverschleppung bei der Sondierung
	i. d. R. nur tiefengemittelte Ergebnisse (2D)	durch horizontierte Proben auch tiefendifferenzierte Ergebnisse möglich (3D)
	integrale Bestimmung, keine Interpolation erforderlich	zwischen den Untersuchungspunkten muss interpoliert werden
Schadstofffracht (Emission)	robuste und lückenlose Bestimmung aus den integralen Größen Transmissivität und Mischkonzentration im Erfassungsbereich	interpolative Bestimmung aus Punktwerten für Aquifermächtigkeit, Durchlässigkeit und Konzentration Qualität ist abhängig von Datendichte und Interpolationsverfahren

Tabelle 9-1: Entscheidungskriterien für Immissionspumpversuche und Direct-Push-Verfahren im Vergleich

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Der Methodenvergleich zeigt, dass beide methodischen Ansätze deutlich unterschiedliche Einsatzbereiche bzw. Anwendungsbedingungen aufweisen. Entscheidend für die Methodenauswahl ist neben den Anwendungsbedingungen jedoch auch die Qualität der erzielbaren Untersuchungsergebnisse: Das IPV-Verfahren punktet verfahrensbedingt bei der Bestimmung der durchschnittlichen Schadstoffimmission und der Schadstofffracht als integrale Größen, während die berechnete räumliche Konzentrationsverteilung Schadstoffimmission mit Unsicherheiten behaftet sein kann. Dagegen bietet das Direct-Push-Verfahren in Form von Grundwassersondierungen eine punktgenaue und – sofern Verschleppungen ausgeschlossen werden können – sichere Bestimmung der Immissionslage, weist dagegen bei der Bestimmung der Fracht eher Schwächen auf.

Somit liefert – wenn die Anwendungsbedingungen gegeben sind – das IPV-Verfahren eine gute Datenbasis zur Bewertung der Immissions-/Emissionsverhältnisse im Sinne der BBodSchV während das Direct-Push-Verfahren auch in der Tiefenlage eine gute räumliche Auflösung der Konzentrationsverteilung im Grundwasserabstrom und damit eine gute Datenbasis für Sanierungsuntersuchungen bzw. Sanierungsplanungen liefert. Damit ist letztendlich auch die Zielsetzung der Untersuchung mit entscheidend für die Verfahrensauswahl.

Gegenüber diesen fachlichen Kriterien sollten die Kostenaspekte kein Kriterium für die Entscheidung der Methodenwahl haben, zumal sich bei der Vergleichsstudie in Ravensburg keine signifikanten Unterschiede gezeigt haben.

9.2 Anwendungskriterien für Immissionspumpversuche

9.2.1 Prüfung der Machbarkeit

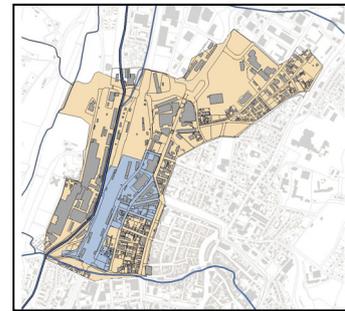
Vor dem Einsatz von Immissionspumpversuchen als integrale Untersuchungsmethode sind in mehreren Schritten die Anwendungsbedingungen, der erforderliche Umfang der Maßnahmen, die Durchführbarkeit im Gelände sowie die erforderlichen Kosten zu prüfen. Eine mögliche Vorgehensweise hierfür, die auf den in Ravensburg gewonnenen Erfahrungen beruht, ist in den nachfolgenden Tabellen skizziert. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit soll die vorgeschlagene Vorgehensweise zeigen, mit welchen grundsätzlichen Fragen sich der Planer bei der Machbarkeitsprüfung auseinandersetzen muss. Zusätzlich sind bei jeder Machbarkeitsprüfung projektspezifische Faktoren zu berücksichtigen. Die Tabellen enthalten darüber hinaus Beispieldaten für einen möglichen fiktiven Anwendungsfall.

Der erste Schritt der Machbarkeitsprüfung beschäftigt sich mit den Anwendungsbedingungen für Immissionspumpversuche. Hierbei spielen die Ausbildung des Grundwasserleiters sowie die Brunnenverhältnisse und die Schadstoffeigenschaften eine wesentliche Rolle.

Tabelle 9-2 führt die zu prüfenden Kriterien für den Grundwasserleiter, die Schadstoffe und Brunnenverhältnisse auf.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

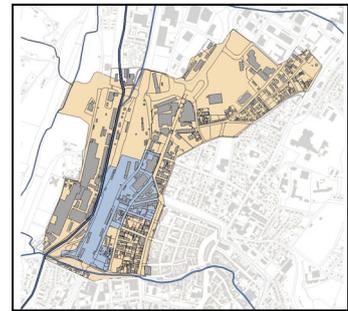
Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Kriterium	IPV geeignet	IPV eher nicht geeignet	Erläuterungen	Beispiel
Grundwasserleiter	Porengrundwasserleiter oder Kluftgrundwasserleiter, wenn Erfassungsbereich > REV	Kluftgrundwasserleiter, wenn IPV-Erfassungsbereich < REV	REV: Repräsentatives Elementarvolumen; Volumengröße, ab der sich kleinräumige Parameterschwankungen nicht mehr auswirken	Poren $n_e=0,12$
	Aquifer(-mächtigkeit) bekannt und vollkommen erschließbar	Aquiferbasis unbekannt oder nicht (wirtschaftlich) erschließbar Aquifer zu geringmächtig Aquifer zu mächtig	zur vollständigen Erfassung eines Abstromquerschnitts muss der Aquifer auch vollkommen erschlossen sein; für die Planung (Erfassungsbereiche, Kosten) und Auswertung muss die Aquifermächtigkeit bekannt sein	Basis=12 m Top=5 m WSP=7 m u. Gel.
	zumindest einigermaßen ergiebig Transmissivität i. d. R. über $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ mögliche Pumpraten i. d. R. über 0,1 l/s	gering ergiebig; mögliche Pumpraten liegen unter 0,1 l/s	die Pumprate ist entscheidend für den möglichen Erfassungsbereich beim IPV und ist abhängig von der Transmissivität T (Produkt aus Durchlässigkeit k und Mächtigkeit M) und der möglichen Absenkung	$T=0,002 \text{ m}^2/\text{s}$ $M=5 \text{ m}$ $k=4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
	homogen oder: heterogen, räumliche Varianz der Aquiferparameter im Erfassungsbereich bekannt	heterogen, wobei räumliche Varianz der Aquiferparameter unbekannt	bekannte Heterogenitäten der Aquiferparameter im Erfassungsbereich eines IPV können bei der Auswertung berücksichtigt werden; i. d. R. sollte 2D-Betrachtung möglich sein, Mehrschicht- oder echte 3D-Probleme erfordern einen höheren Aufwand bei Planung, Durchführung und Auswertung	M, k, n_e homogen
	Grundwasserströmung (Richtung, Gradient) bekannt oder ermittelbar	Grundwasserströmung nicht bekannt und nicht mit hinreichender Genauigkeit ermittelbar; hohe Gradienten schränken die mögliche Erfassungsbreite ein	für die Kontrollebenen- und IPV-Planung sowie für die IPV-Auswertung und Rückführung von Grundwasserbelastungen auf die Quelle muss die Grundwasserströmung bekannt und darstellbar sein	$i=0,01$

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

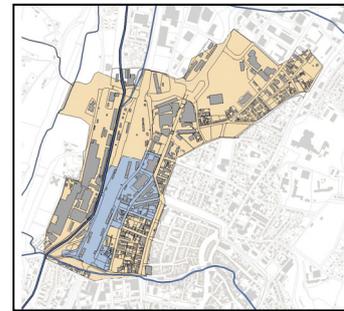


Kriterium	IPV geeignet	IPV eher nicht geeignet	Erläuterungen	Beispiel
Brunnen	ausreichende Wassersäule	zu geringe Wassersäule	Pumpversuche setzen eine ausreichend große absenkbare Wassersäule voraus, i. d. R. $h > 1$ m	$h = 5$ m $s_{\max} = 4$ m
	hydraulisch funktionsfähig	hydraulisch nicht funktionsfähig	Brunnenverluste durch Brunnenalterung (Beläge, Kolmation der Filterstrecke, Sediment) schränken die Funktion ein	geeignet da neu
	keine Beeinflussung der Schadstoffe (Ausbaumaterial inert, keine Ablagerungen)	Schadstoff reagiert oder sorbiert am Ausbaumaterial oder an Ablagerungen im Brunnen	bestimmte Schadstoffe können an bestimmten Materialien zersetzt (z. B. LHKW an Eisen) oder sorbiert werden	geeignet da neu
Schadstoffe	wasserlöslich	nicht wasserlöslich	die Kriterien „wasserlöslich“ und „nicht sorbierend“ entscheiden darüber, ob (längere) Fahnen ausgebildet und mittels IPV erfasst werden können.	wasserlös.
	Retardierung vernachlässigbar	stark sorbierend	I. d. R. ist dies z. B. bei LHKW, BTEX der Fall, bei MKW und PAK eingeschränkt. Außerdem kann eine stärkere Retardierung beim IPV den Schadstofftransport zum Brunnen verzögern	R=1
	Mischkonzentration beim IPV oberhalb Bestimmungsgrenze	Mischkonzentration beim IPV unterhalb Bestimmungsgrenze		
	konstante Schadstoffkonzentration über die betrachtete Aquifermächtigkeit	variable Konzentrationsverteilungen in vertikaler Richtung erfordern einen erhöhten Aufwand	variable Konzentrationsverteilungen in vertikaler Richtung können z. B. durch eine Multilevel-Beprobung und aufwendigere Auswertung aufgelöst werden	konstant
	keine Schadstoffquelle im Erfassungsbereich des IPV	Schadstoffquelle liegt im Erfassungsbereich des IPV	falsche Ergebnisse für Immission und Emission, insbesondere wenn Schadstoffphase erfasst wird	keine

Tabelle 9-2: Prüfung der Anwendungsbedingungen für Immissionspumpversuche

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Im zweiten Schritt der Machbarkeitsprüfung sind die erzielbaren Erfassungsbereiche der Immissionspumpversuche zu ermitteln. Aus diesem Schritt ergibt sich die für die Erfassung des Grundwasserabstroms entlang einer Kontrollebene erforderliche Anzahl von Brunnen bzw. Immissionspumpversuchen. I. d. R. wird hierbei eine vollständige Erfassung des Grundwasserabstroms über die Kontrollebene angestrebt. Die mittels IPV erzielbare Erfassungsbreite hängt wesentlich von der möglichen Pumprate ab, die ihrerseits i. W. von der Transmissivität als Produkt aus Durchlässigkeit und Aquifermächtigkeit abhängig ist. Je geringer die mögliche Pumprate und damit die erzielbare Erfassungsbreite eines einzelnen IPV ausfällt, desto mehr Kontrollbrunnen und IPV sind für die lückenlose Erfassung des Grundwasserabstroms entlang der Kontrollebene erforderlich.

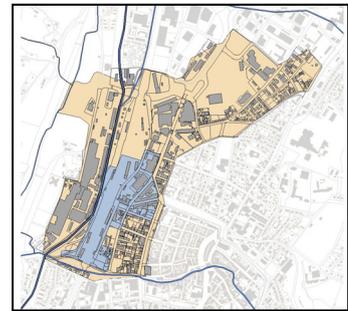
Die Bestimmungsverfahren und die in die Berechnungen eingehenden Parameter sind in **Tabelle 9-3** aufgeführt. Für diesen Planungsschritt müssen die Aquiferparameter und die mögliche Pumprate bekannt oder zumindest hinreichend genau abschätzbar sein. Es wird dringend empfohlen, für die Berechnung der Erfassungsbereiche ein für die Aquifer- und Strömungsbedingungen geeignetes Planungs- und Auswertetool einzusetzen (vgl. Kap. 9.2.4). Die Planung der Erfassungsbereiche und damit verbunden der erforderlichen Anzahl und Positionen der Kontrollbrunnen ist ein iterativer Prozess. Durch die Variation der Anzahl bzw. der Positionen der Untersuchungspunkte und der Pumpzeit gilt es eine optimale Planungsgrundlage im Hinblick auf die noch zu prüfenden Durchführungsbedingungen und Untersuchungskosten zu finden.

Kriterium	Bestimmungsverfahren	eingehende Parameter	Erläuterungen	Beispiel
Mögliche Pumprate	<i>optimal:</i> Vorversuch <i>näherungsweise: "Faustformel"</i> $Q \approx 0,5 \cdot T \cdot s = 0,5 \cdot k \cdot M \cdot s$	Q Pumprate [m ³ /s] T Transmissivität [m ² /s] M Aquifermächtigkeit [m] k Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	bei bestehenden Brunnen kann die mögliche Pumprate durch den Ausbaudurchmesser sowie durch Brunnenalterung limitiert sein (Vorversuch empfehlenswert)	mit s=4 m T=0,002 m ² /s ergibt sich Q≈4l/s
Breite des IPV-Erfassungsbereichs	<i>optimal:</i> Anwendungsprogramm entsprechend Aquifer- und Strömungsbedingungen <i>näherungsweise: wenn Grundströmung vernachlässigbar:</i> $B = 2 \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot n_e \cdot M}}$	B Breite Erfassungsbereichs [m] Q Pumprate [m ³ /s] t Versuchszeit [s] n _e eff. Porosität [] M Aquifermächtigkeit i hydraulischer Gradient [] k Durchlässigkeitsbeiwert [m/s] ggf. R Retardationsfaktor []	als Anwendungsprogramme für die Planung kommen infrage: - IPV-Tool - MAGIC Software Tool - CSTREAM - C-SET	mit Q=4l/s t=120 h n _e =0,12 M=5 m ergibt sich näherungsw. B=60 m
Anzahl erforderlicher Kontrollbrunnen bzw. IPV	<i>optimal:</i> entsprechend Planung mit Anwendungsprogramm <i>überschlägig:</i> $n = \frac{KE}{B} \cdot \text{ÜF}$	KE Länge der Kontrollebene [m] B Erfassungsbreite eines IPV [m] ÜF Überlappungsfaktor der IPV	entsprechend der Länge der Kontrollebene ist eine Reihe von Kontrollbrunnen bzw. IPV erforderlich, deren Erfassungsbereiche sich überlappen sollten (1=keine Überlappung, 1,1=10% Überlappung etc.)	bei B=60m KE=200m ÜF=1,1 sind 4 IPV erforderlich

Tabelle 9-3: Bestimmung der möglichen Erfassungsbreite und der Anzahl benötigter Immissionspumpversuche

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Im dritten Schritt der Machbarkeitsprüfung ist zu klären, ob die geplanten Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche im Gelände umsetzbar sind (**Tabelle 9-4**). Diese Prüfung kann zur Folge haben, dass der zweite Schritt erneut durchlaufen und die Lage, Anzahl und ggf. Versuchsdauer der Immissionspumpversuche umgeplant werden muss, bis eine umsetzbare Brunnen- und Versuchsreihe gefunden wird.

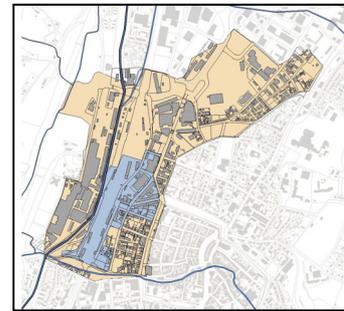
Kriterium	IPV geeignet	IPV eher nicht geeignet	Erläuterungen
Geländebedingungen und Bebauung	erforderliche Brunnen(reihe) und IPV möglich	erforderliche Brunnen(reihe) und IPV nicht möglich	zu prüfen bzw. klären sind u.a. Ausschlussgründe wie: <ul style="list-style-type: none">- Bebauung und Verkehrsflächen- Leitungsverläufe- Eigentumsverhältnisse und Zugänglichkeit- Baustellenreinrichtung und erforderliche Sperrungen
Risiko von Setzungsschäden durch IPV	setzungsunempfindliche Böden und frei von setzungsempfindlichen Bauwerken	setzungsempfindliche Böden und setzungsempfindliche Bauwerke	Risiko von Schäden durch Grundwasserabsenkung; bei setzungsempfindlichen Bauwerken, Bahndämmen o. Ä. ist ein Nachweis erforderlich

Tabelle 9-4: Prüfung der Durchführungsbedingungen für Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche

Im vierten Schritt der Machbarkeitsprüfung sind die Kosten der geplanten Kontrollbrunnen und Immissionspumpversuche zu ermitteln (**Tabelle 9-5**). Dabei ist zu prüfen, ob durch eine Variation der Anzahl und Versuchsdauer der Immissionspumpversuche günstigere Kosten zu erzielen sind. Mit der Anzahl der Versuche steigen zwar die Einrichtungskosten für die Kontrollbrunnen und Versuche, auf der anderen Seite sind dann die erforderlichen Erfassungsbreiten geringer, was zu Einsparungen bei der Versuchsdauer bzw. den Abwasserkosten führt. Diese Prüfung erfordert ggf. ein mehrfaches Durchlaufen des zweiten, dritten und vierten Schritts, bis das Kostenminimum gefunden wird.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Position	Kostenermittlung	Erläuterungen	Beispiel
Einrichtung neuer Kontrollbrunnen	Bohr- und Ausbaurkosten für erforderliche neue GWM	für eine genauere Planung ist eine exakte projektspezifische Kostenkalkulation erforderlich	4 neue GWM angenommen Tiefe 12 m 14.000 €
Versuchsdurchführung	<u>optimal:</u> Anzahl IPV mal Stückkosten	für eine genauere Planung ist eine exakte projektspezifische Kostenkalkulation erforderlich	
	<u>überschlägig:</u> Summe der Erfassungsbreiten mal Mächtigkeit mal spezifische Kosten €/m ²	Abschätzung gem. Abb. 9-3 für spezifische IPV-Kosten (€/m ²) in Abhängigkeit von der möglichen Pumprate	Σ B = 4 x 60 m M = 5 m 12 €/m ² bei 4 l/s 14.400 €
Analysen	Anzahl IPV mal Anzahl Proben je IPV mal Stückkosten für relevante Parameter	für die Planung ist eine exakte projektspezifische Kostenkalkulation erforderlich	4 x 7 x 250,- € 7.000 €
Grundwasserreinigung	Reinigungsanlage entsprechend Schadstoffkonzentrationen und Einleitgrenzwerten	liegen die Schadstoffkonzentrationen über den Einleitwerten für die Vorflut oder Abwasserkanalisation, so ist eine Abwasserreinigung zu kalkulieren	
Abwasser	je IPV: Pumprate [m ³ /h] mal Pumpzeit [h] mal Kubikmeterpreis [€/m ³]	i. d. R muss die Einleitung des gepumpten Wassers in die öffentliche Kanalisation bezahlt werden. Zu prüfen ist die Möglichkeit, sauberes (gereinigtes) Abwasser in die Vorflut abzuleiten	4 x 14,4 m ³ /h x 120 h angenommen 1,50 €/m ³ 10.400 €
Ingenieurleistungen	Aufwendungen für Planung, Organisation, Überwachung, Auswertung und Berichtserstellung	für eine genauere Planung ist eine exakte projektspezifische Kostenkalkulation erforderlich	angenommen 15% der technischen Leistungen 4.800 €

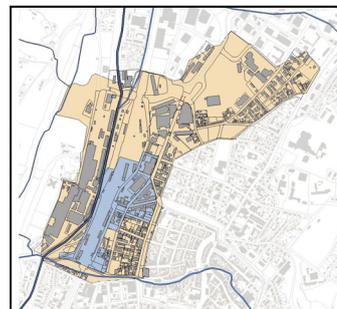
Tabelle 9-5: Abschätzung der Versuchskosten

Schließlich ist im fünften Schritt der Machbarkeitsprüfung das Kosten-/Nutzenverhältnis der geplanten Maßnahmen zu bewerten (**Tabelle 9-6**). Als möglicher Nutzen kommen hierbei in Betracht:

- lückenlose Ermittlung und Darstellung der Schadstoffimmission und -emission
- Auflösung von Gemengelagen
- Rückführung von Schadstofffahnen auf die Quelle
- Ermittlung von Sanierungspflichtigen
- Priorisierung von Schäden für effizienten Mitteleinsatz bei der Sanierung
- Grundlage für eine integrale Sanierung

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Kriterium	IPV geeignet	IPV eher nicht geeignet	Erläuterungen	Beispiel
Kosten/Wirksamkeit	die Kosten stehen in günstigem Verhältnis zum erwarteten Nutzen	die Kosten sind gegenüber dem Nutzen unverhältnismäßig hoch <u>oder:</u> alternative (raumintegrale) Verfahren sind anwendbar und weisen eine bessere Kosten/Wirksamkeit auf	der mögliche Nutzen ist projektspezifisch zu betrachten	für 4 IPV auf 200 m Kontrollebene <u>36,600 €</u>

Tabelle 9-6: Bewertung der Versuchskosten

Wenn Immissionspumpversuche eher nicht die geeignete Untersuchungsmethode sind oder ein ungünstiges Kosten-/Nutzenverhältnis aufweisen, so sollten mögliche alternative Methoden für die Untersuchung des Grundwasserabstroms bzw. Ermittlung der Schadstoffimmission und -fracht betrachtet werden. Als alternative Verfahren zur Abgrenzung von Schadstofffahnen und deren Rückführung auf Schadensherde kommen in Betracht:

- Interpolationen auf der Basis von Punktinformationen (Grundwassergleichen- und Stoffverteilungspläne)
- Transportmodellierung auf Basis von Punktinformationen
- Untersuchung von Kontrollquerschnitten mittels Direct-Push-Verfahren (vgl. Kap. 9.1)
- forensische Methoden (z. B. Spuren- und Isotopenanalytik)

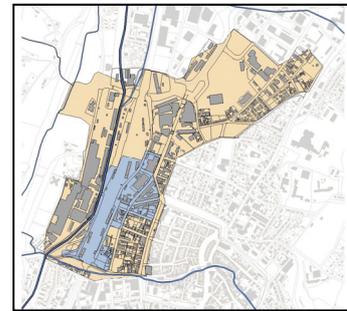
9.2.2 Spezifische Versuchskosten

Der effiziente Einsatz von Immissionspumpversuchen setzt voraus, dass durch den Pumpvorgang Schadstoffe in einem möglichst großen Bereich erfasst werden können. Für die Bewertung der Effizienz von Immissionspumpversuchen als integrale Untersuchungsmethode ist maßgebend, welche Kosten je Meter erfasster Kontrollebene bzw. je Quadratmeter Kontrollquerschnitt entstehen. Die Abhängigkeit dieser Kosten von Versuchs- und Aquiferparametern bietet die Grundlage einer Kostenschätzung und Kosten-/Wirksamkeitsbetrachtung in der Planungsphase.

Für die 51 in Ravensburg durchgeführten Immissionspumpversuche wurden die Versuchskosten und der erfasste Abstrom (als Kontrollebenenlänge und Kontrollquerschnitt) in Abhängigkeit von der Pumprate und der Transmissivität ausgewertet. Hierzu wurden die Kosten der technischen Versuchsdurchführung herangezogen, bestehend aus Baustelleneinrichtung, Baustrom, Gebühren, Betrieb, Überwachung und Probenahmen). Die Aufwendungen für Abwasser, Abwassereinigung und Analytik sind projektspezifisch zu betrachten.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Als bestimmend für die Versuchskosten zeigt sich die Pumprate. Je geringer die Pumprate ist, desto höher fallen die spezifischen Kosten aus (**Abbildung 9-1**): Bei 5 l/s lagen die spezifischen Kosten bei ca. 40 €/m Abstrombreite (90 €/m bei Berücksichtigung der projektspezifischen Abwasser- und Analysekosten) bzw. knapp über 10 €/m² Abstromquerschnitt (25 €/m² bei Berücksichtigung der projektspezifischen Abwasser- und Analysekosten). Bei ca. 1 l/s ist mit doppelt so hohen spezifischen Kosten zu rechnen, bei ca. 0,5 l/s mit drei- bis vierfach höheren Kosten. Die Berücksichtigung der Abwasserentsorgung führte in Ravensburg bei hohen Pumpraten zwischen 1 und 5 l/s zu einer Verdoppelung der spezifischen Versuchskosten. Bei kleinen Pumpraten wirkte sich das Abwasserproblem dagegen kaum noch auf die spezifischen Kosten aus.

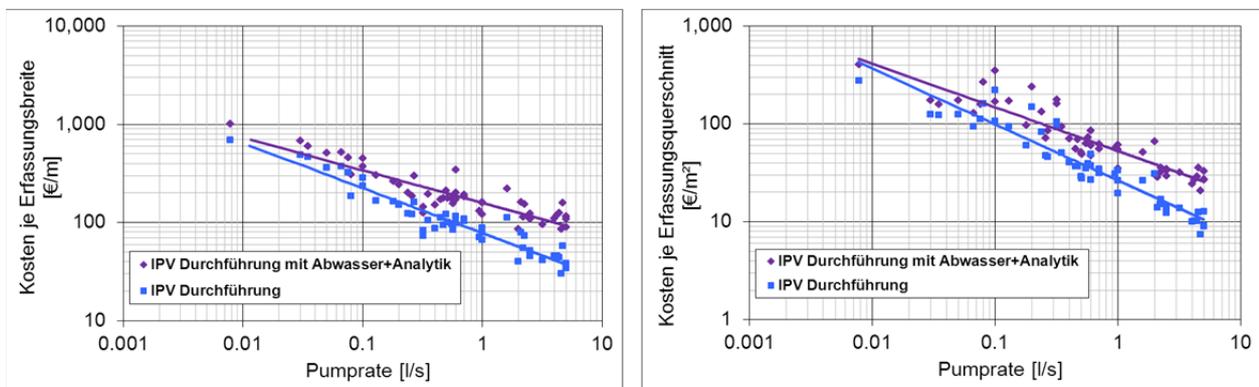


Abbildung 9-1: Spezifische Kosten der Immissionspumpversuche der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg in Abhängigkeit von der Pumprate

Die mögliche Pumprate ihrerseits hängt wesentlich von der Transmissivität des Aquifers ab. Daher ist auch eine Korrelation zwischen den spezifischen Kosten und der Transmissivität möglich, die allerdings eine höhere Streuung aufweist (**Abbildung 9-2**).

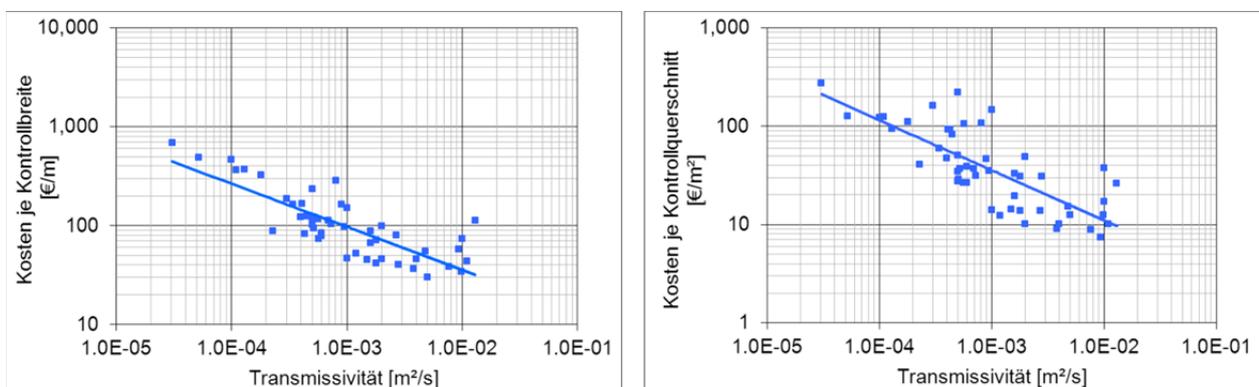
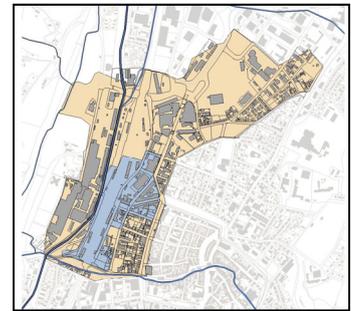


Abbildung 9-2: Spezifische Kosten der Immissionspumpversuche in Abhängigkeit von der Transmissivität

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Bei einem Transmissivitätswert von 1×10^{-3} m/s lagen die Versuchskosten bei der IAU Ravensburg (im Mittel) bei ca. 100 €/m Abstombbreite bzw. 35 €/m² Abstomquerschnitt. Aus der Trendlinie lässt sich bei Abnahme der Transmissivität um eine Größenordnung eine Steigerung der spezifischen Kosten um den Faktor 3 ableiten.

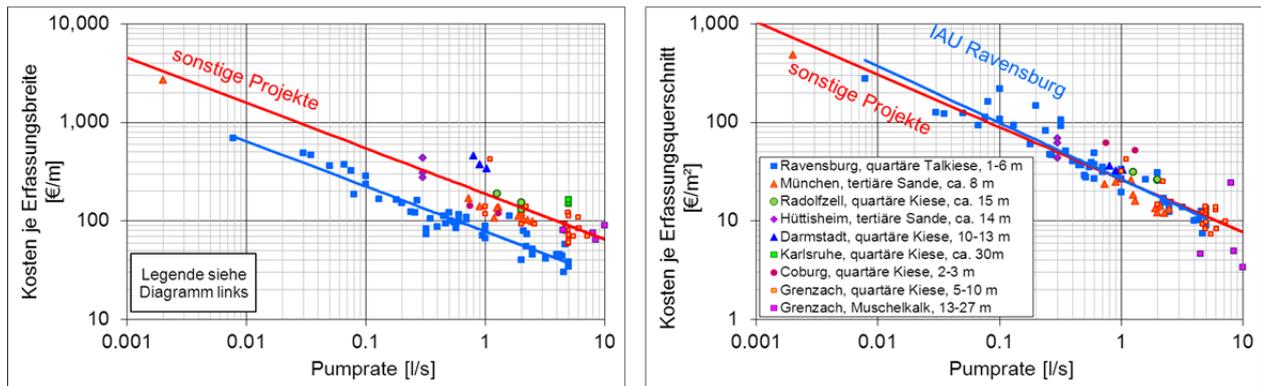


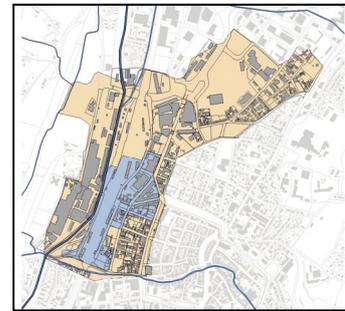
Abbildung 9-3: Spezifische Kosten der Immissionspumpversuche der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg im Vergleich mit sonstigen Projekten

Zur Bewertung der spezifischen Kosten der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg und Eliminierung projektspezifischer Einflüsse wurden im Vergleich die Kosten für die IPV-Durchführung von acht weiteren Projekten mit 54 IPV untersucht. Dabei liegen die spezifischen Kosten bezogen auf die Erfassungsbreite um den Faktor 2 höher als bei der integralen Altlastenuntersuchung in Ravensburg (**Abbildung 9-3**). Im Wesentlichen ist dies auf die in Ravensburg bei den relativ geringen Aquifermächtigkeiten resultierenden großen Erfassungsbreiten zurückzuführen. Die Betrachtung der spezifischen Kosten für die IPV-Durchführung bezogen auf den Erfassungsquerschnitt neutralisiert diesen Effekt, hier liegen die spezifischen Kosten der integralen Altlastenuntersuchung in Ravensburg und sonstiger Projekte auf der gleichen Trendlinie. Für Kostenabschätzungen ist demnach die Trendlinie der spezifischen Kosten für die IPV-Durchführung bezogen auf den Erfassungsquerschnitt besser geeignet.

Aus sämtlichen Trendlinien für die spezifischen Kosten kann abgeleitet werden, dass eine Verminderung der Pumprate um den Faktor 10 mit einer Steigerung der spezifischen Kosten der Versuchsdurchführung um den Faktor 3 bis 4 einhergeht. Umgekehrt steigt die Effizienz von Immissionspumpversuchen mit der Pumprate: Mit einer Verzehnfachung der Pumprate vermindern sich die spezifischen Kosten um annähernd den Faktor 4. Die Berücksichtigung der mit der Pumprate steigenden Abwasserkosten vermindert diese Effizienzsteigerung nur geringfügig auf etwa den Faktor 3.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Bei möglichen Pumpraten über 1 l/s haben Immissionspumpversuche als integrale Untersuchungsmethode mit technischen Versuchskosten von im Mittel unter 25 €/m² eine eher gute Kostenwirksamkeit. Bei möglichen Pumpraten unter 0,1 l/s ist die Kostenwirksamkeit von Immissionspumpversuchen mit spezifischen Versuchskosten von im Mittel über 100 €/m² eher schlecht. Bei Pumpraten zwischen 0,1 und 1 l/s wird die Bewertung der Kostenwirksamkeit von Immissionspumpversuchen i. d. R. davon abhängen, ob der Mitteleinsatz durch das Untersuchungsziel gerechtfertigt ist und ob günstigere Alternativen bestehen. Eine Analyse der Häufigkeit der 105 Immissionspumpversuche aus den betrachteten neun Projekten in Bezug auf die Pumprate zeigt, dass die Methode bis 0,3 l/s eher selten, über 0,3 l/s dagegen häufig eingesetzt wurde (**Abbildung 9-4**).

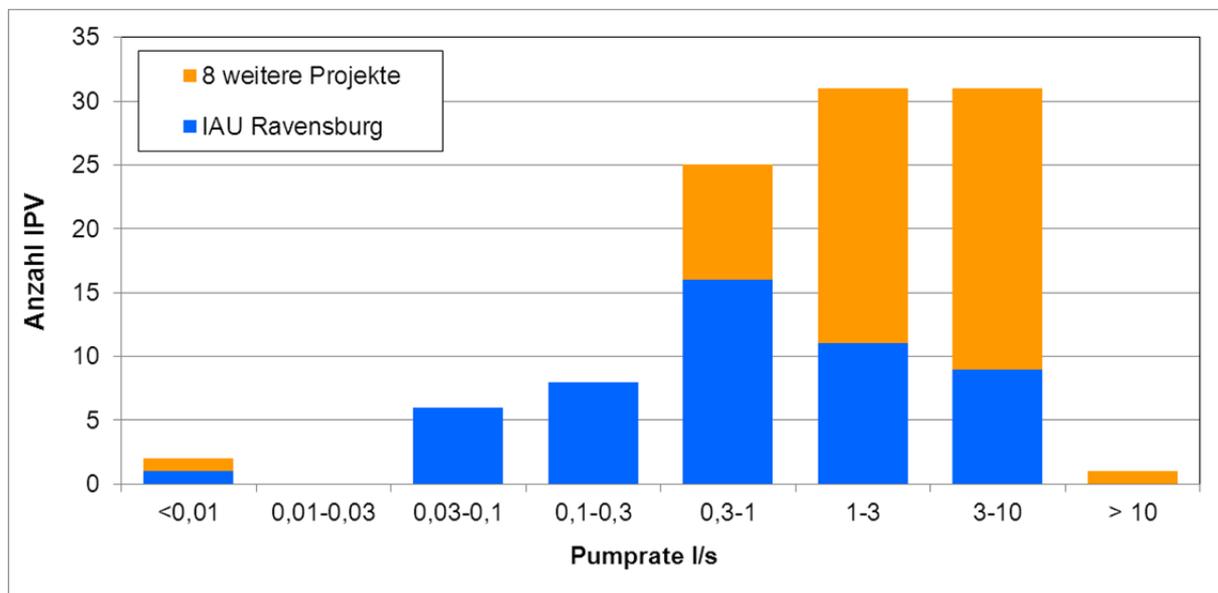


Abbildung 9-4: Häufigkeit des Einsatzes von Immissionspumpversuchen in Abhängigkeit von der Pumprate

Dies ist neben der Betrachtung der spezifischen Kosten ein Indikator dafür, dass die Kosten/Wirksamkeit von Immissionspumpversuchen bei Pumpraten über 0,3 l/s eher als günstig, darunter als ungünstig beurteilt wird. Dies gilt insbesondere für die ausgewerteten acht weiteren Projekte aus der „normalen“ Altlastenbearbeitung.

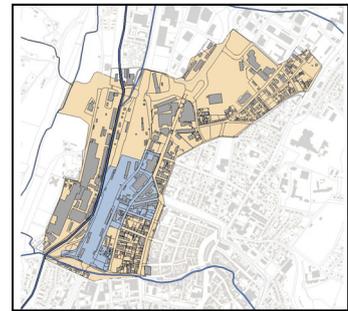
9.2.3 Qualitätsanforderungen an die Parameterbestimmung

Die Ermittlung der räumlichen Konzentrationsverteilung aus dem Konzentrationsverlauf während eines Immissionspumpversuchs basiert bei allen Auswerteverfahren auf der Berechnung des Erfassungsbereichs aus den Pumpversuchs- und Aquiferparametern. Hierbei gehen ein:

- Pumprate Q
- Pumpzeit t

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



- Mächtigkeit M
- Durchlässigkeitsbeiwert k
- hydraulischer Gradient i
- durchflusswirksame Porosität n_e
- Retardierung R

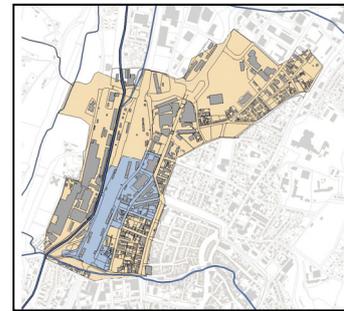
Die Qualität der Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen hängt entscheidend von der Qualität dieser Parameter ab. Fehlerhafte Parameter führen zu einer falschen Bestimmung des Erfassungsbereichs. Bei der Planung resultieren daraus eine falsche Platzierung der Kontrollbrunnen sowie ungünstige Probenahmezeitpunkte, was in der Folge zu einer unvollständigen Erfassung des Grundwasserabstroms führen kann. Bei der Auswertung resultiert aus fehlerhaften Parametern eine falsche Bestimmung der Konzentrationsverteilung auf der Kontrollebene, was in der Folge zu fehlerhaften Fahnenlagen führen kann. Aus fehlerhaften hydraulischen Parametern oder einer falschen Bestimmung der Konzentrationsverteilung resultieren zudem falsche Schadstofffrachten.

Um eine gute Genauigkeit zu erreichen, ist die Ermittlung jedes Einzelparameters auf gleichem, hohem Qualitätsniveau anzustreben. Es nützt der Gesamtqualität wenig, wenn z. B. Pumprate oder Durchlässigkeitsbeiwert auf zwei Nachkommastellen genau gemessen bzw. bestimmt werden, während die Porosität lediglich geschätzt wird.

Die Bestimmungsmethoden sowie Qualitätsanforderungen für die Messung und Auswertung sind in **Tabelle 9-7** aufgeführt.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

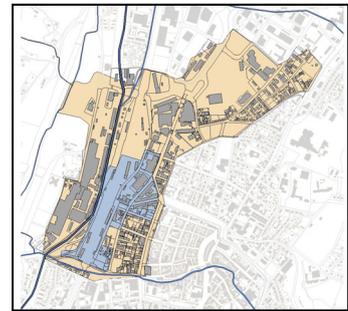


Parameter	Formelzeichen [Einheit]	Art der Bestimmung	Qualitätsanforderungen für die Messung	Hinweise und Qualitätsanforderungen zur Parameterermittlung
Pumprate	Q [m ³ /s]	<u>vor Pumpversuch</u> : Abschätzung aus (vermuteter) Durchlässigkeit k und möglicher Absenkung s <u>besser</u> : Ermittlung durch Vorversuch (Kurzpumpversuch) <u>beim Pumpversuch</u> : direkte kontinuierliche Messung	möglichst konstante Pumprate magnetisch induktiver Durchflussmesser	grobe Abschätzung: $Q=0,5 \cdot k \cdot M \cdot s$ $Q = \frac{2\pi T s}{\ln(r_0 / r_w)}$ (gespannt) $Q = \frac{2\pi k (M^2 - (M - s)^2)}{\ln(r_0 / r_w)}$ (frei) <u>besser</u> : (weitere Hinweise s. Kap. 5.3.1)
Zeit	t [s]	vorgegebener Zeitpunkt, für den der Erfassungsbereich bestimmt werden soll		Die Probenahmezeitpunkte sind so zu planen, dass ein konstanter Entnahmehreitzuwachs erreicht wird (Kap. 5.3.1)
Aquifermächtigkeit	M [m]	Bestimmung aus Bohrprofil		
Transmissivität	T [m ² /s]	Bestimmung durch Pumpversuch in vollkommenem Brunnen (Vorversuch oder IPV selbst)	Grundlage der Auswertung sind kontinuierliche digitale Messungen der Pumprate sowie der Absenkung und des Wiederanstiegs	diagnostischer Plot und auf Aquifertyp und Randbedingungen zutreffende instationäre Typkurvenverfahren (Kap. 6.1)
Durchlässigkeitsbeiwert	k [m/s]	$k = T / M$		
hydraulischer Gradient	i []	Triangulation der Messhöhen des Grundwasserspiegels in umliegenden GWM		Bezugshöhen der GWM müssen verlässlich sein
durchflusswirksame (effektive) Porosität	n_e []	Tracerversuch im radialen Strömungsfeld um den Brunnen (Vorversuch oder während IPV)	Vollkommene Eingabemesstelle im radialen Strömungsfeld des Pumpbrunnens; Mindestabstand 2-3fache Aquifermächtigkeit; Verwendung von Salz- oder Fluoreszenztracer	Anwendung der Transportgleichung für radiale Strömung nach Sauty (Kap. 4.5.3 und 6.2)
Retardierung	R []	Säulenversuch im Labor mit relevanten Schadstoffen	Aquifermaterial verwenden; Durchflussgeschwindigkeit entsprechend mittlerer Fließgeschwindigkeit im Aquifer im Erfassungsbereich des IPV einstellen	Bestimmung als Verhältnis zwischen der Durchgangsgeschwindigkeit von Wasser (bzw. einem idealen Tracer) zur Durchgangsgeschwindigkeit des sorbierenden Stoffs (Kap. 4.5.4)

Tabelle 9-7: Qualitätsanforderungen an die Parameterbestimmung für die Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



9.2.4 Planungs- und Auswerteverfahren

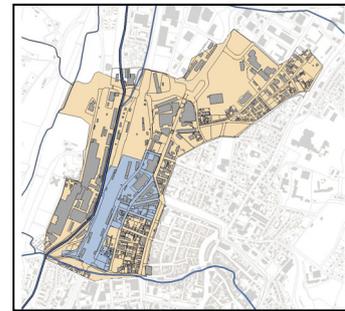
Aufbauend auf die Ergebnisse der Vergleichsstudie (Kap. 7.5.1) zeigt **Tabelle 9-8** die Anwendungsbedingungen der zur Verfügung stehenden Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche. Auf die Darstellung der originären analytischen Inversionslösung (TEUTSCH ET AL., 2000) wurde dabei verzichtet, da dieses Verfahren nicht in ein verfügbares Anwenderprogramm implementiert ist. Das im Projekt MAGIC entwickelte „Software Tool“ (Bezug über www.magic-cadses.com, kostenfrei) war nicht Gegenstand der Vergleichsstudie. Die Beurteilung dieses Software-Tools erfolgt auf Grundlage der veröffentlichten Randbedingungen sowie einem Software-Check mit mehreren Beispieldatensätzen.

Wesentliches (hartes) Kriterium für die Auswahl eines geeigneten Auswertetools ist die Übereinstimmung der Aquifer- und Versuchsbedingungen des auszuwertenden Immissionspumpversuchs mit den Anwendungsbedingungen des Verfahrens.

Weitere (weiche) Auswahlkriterien können die Verfügbarkeit sowie die Handhabung des Tools bei der Dateneingabe und beim Berechnungsverfahren sein. Auch die verschiedenen Möglichkeiten der Ergebnisausgabe als Tabellen, Grafiken, pdf-Bericht oder raumbezogene Dateien für Isochronen oder Stromstreifenkonzentrationen können die Auswahl des Tools beeinflussen.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

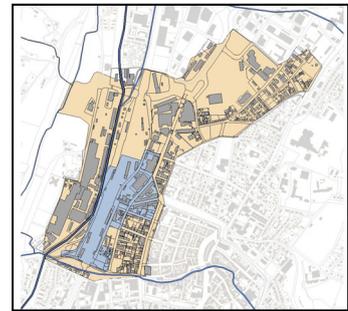
Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Kriterien für die Anwendung der IPV-Auswertetools		IPV-Tool (Excel)	MAGIC Software Tool	C-SET	CSTREAM analytisch	CSTREAM numerisch	
Beschaffung	Autor(en)	Rothschink 2007	Ertel et al. 2008	Huss 2012	Bayer-Raich et al. 2003 Bayer-Raich, 2004		
	Erforderliche Zusatzprogramme	Excel			Surfer	Modflow96 Modpath3.0 Surfer	
	Bezugsquelle	http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/47957/	http://www.magic-cadses.com/index.php?id_mnu=4	http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/229895/	weitere Informationen: http://www.ufz.de/task/index.php?de=21130		
Aquifer- und Versuchsbedingungen	1	Aquifer 2D homogen geringe Grundströmung (Isochronen annähernd kreisrund) konstante Pumprate	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	
	2	wie 1, jedoch auch stärkere Grundströmung möglich (Isochronen annähernd el- liptisch)	nicht geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	
	3	wie 2, jedoch stärkere Än- derungen der Pumprate oder längere Unter- brechungen möglich	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	nicht geeignet	geeignet
	4	wie 2, jedoch Einflüsse durch vorab oder zeit- gleich betriebene Nachbar- brunnen möglich	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	nicht geeignet	geeignet
	5	wie 2, jedoch zusätzlich stoff-spezifische Retardie- rung möglich	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	geeignet
	6	Aquifer 2D heterogen sämtliche Aquifer- und Versuchsbedingungen aus 2-5 möglich	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG

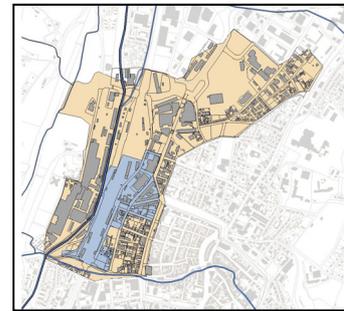


Kriterien für die Anwendung der IPV-Auswertetools		IPV-Tool (Excel)	MAGIC Software Tool	C-SET	CSTREAM analytisch	CSTREAM numerisch
Möglichkeiten des Tools	Eingabe der Aquifer- und Versuchsparameter	Excel	Menu	Menu	Ascii-Datei	Modflow Ascii-Datei
	Anzahl der möglichen Proben	10	praktisch unbegrenzt	praktisch unbegrenzt	praktisch unbegrenzt	praktisch unbegrenzt
	Berechnungsverfahren für die Konzentrationsverteilung auf der Kontrollebene	Inversion; automatische Berechnung einseitiger und beidseitiger Verteilungen	Inversion; automatische Berechnung einseitiger und beidseitiger Verteilungen	automatische o. manuelle Anpassung gerechneter/gemessener Durchgang	Inversion; automatische Berechnung links-rechtsseitiger und symmetrischer Verteilung	automatische Berechnung links-rechtsseitiger und symmetrischer Verteilung über Modflow
	Ausgabe der Ergebniswerte	<u>Bildschirm-Anzeige:</u> Vol.strom mittl. Konz. Fracht	<u>Bildschirm-Anzeige:</u> Vol.strom mittl. Konz. Fracht	<u>Bildschirm-Anzeige und pdf-Bericht:</u> u.a. Vol.strom mittl. Konz. Fracht	<u>Ascii-Datei:</u> Vol.strom mittl. Konz. Fracht	<u>Ascii-Datei:</u> Vol.strom mittl. Konz. Fracht mittl. Gradient mittl. k-Wert
	Ausgabe der Konzentrationsverteilungen auf der Kontrollebene	Excelgrafik, Excel-Tabelle	Bildschirmgrafik Excel-Tabelle	Bildschirmgrafik Excel-Tabelle pdf-Bericht	Ascii-Tabelle	Ascii-Tabelle
	Ausgabe von Isochronen	keine	Bildschirm Esri shp-Datei	Bildschirm pdf-Bericht; Esri shp-Datei	Surfer bln-Datei	Surfer bln-Datei
	Ausgabe von Stomstreifen-Konzentrationen	keine	Esri shp-Datei (nur rechtsseitige Lösung)	Bildschirm; Esri shp-Datei	Ascii-Tabelle	Surfer grd-Datei

Tabelle 9-8: Anwendungsbedingungen von Tools zur Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



9.2.5 Numerische Grundwassermodelle als Planungs- und Auswertewerkzeug

Numerische Grundwassermodelle können Teil bzw. eigenständiges Werkzeug einer integralen Altlastenuntersuchung oder Sanierungsplanung sein. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Gebietsgröße oder örtlichen Verhältnisse eine lückenlose Untersuchung von Schadstoffimmissionen entlang von Kontrollebenen nicht zulassen. In diesen Fällen kann die Strategie verfolgt werden, plausible Schadstofffahnen mittels eines numerischen Grundwasserströmungs- und Transportmodells aus punktuellen oder nur bereichsweise verdichteten Konzentrationsbefunden zu berechnen (Leitfaden Integrales Altlastenmanagement, LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 2014). In diesem Kapitel sollen dagegen auf Grundlage der Integralen Altlastenuntersuchung Ravensburg gewonnenen Erfahrungen Entscheidungskriterien für den Einsatz eines numerischen Grundwassermodells als Werkzeug zur Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen abgeleitet werden.

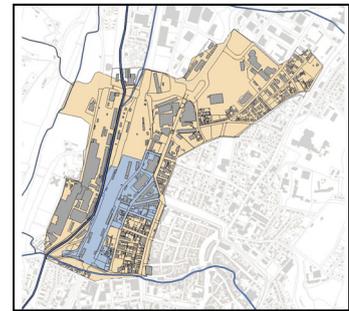
Für die Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg wurde ein numerisches Grundwasserströmungs- und Transportmodell entwickelt. Dieses wurde bewusst als unabhängiges Instrument bei der Planung der Kontrollebenen und Immissionspumpversuchen (Berechnung der Erfassungsbereiche) sowie bei der Auswertung der Immissionspumpversuche (Bestimmung Immission und Emission) eingesetzt. Ausgehend von den Befunden der Kontrollebenen wurden mit dem Transportmodell Rückwärtsprojektionen zur Eingrenzung des Schadensherds sowie Vorwärtsrechnungen zur Fahnenendarstellung gerechnet.

Mit dem eingesetzten numerischen Grundwasserströmungs- und Transportmodell konnten die Ergebnisse der konventionellen Auswertemethoden i. W. bestätigt werden. Darüber hinaus erbrachte das Grundwassermodell für die Altlastenbearbeitung und -bewertung keine zusätzlichen Erkenntnisse. Der Grund für diese Übereinstimmung liegt darin, dass der Schussenkiesaquifer zumindest in den Einzugsbereichen der Immissionspumpversuche weitgehend als homogen betrachtet werden kann, jahreszeitlich wenig variable, stationäre Strömungsverhältnisse bestehen und ein Schadstoffabbau sowie Retardierung nicht relevant sind.

Basierend auf den Erfahrungen mit dem Modelleinsatz in Ravensburg und grundsätzlichen Diskussionen zu Aufgabenstellungen, für die ein Grundwassermodell empfehlenswert ist, wurden wesentliche Kriterien für den Einsatz eines numerischen Grundwassermodells bei einer integralen Altlastenuntersuchung in **Tabelle 9-9** zusammengestellt.

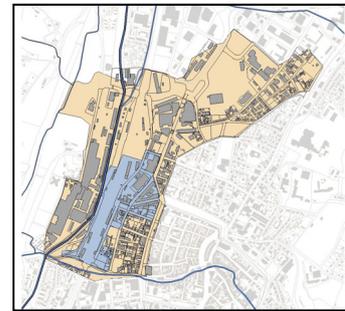
Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Aufgabe	Modell nicht erforderlich	Lösungsverfahren	Modell empfehlenswert	Modelllösungen
Planung Kontrollebenen	Grundwasserströmung mit Grundwassergleichplan hinreichend darstellbar Strömungsrichtung unterliegt keiner wesentlichen zeitlichen Varianz	Konstruktion von Kontrollebenen im Zu- und Abstrom mutmaßlicher Emittenten anhand Grundwassergleichplan	Grundwasserströmung nicht mit Grundwassergleichplan darstellbar z. B. wenn unzureichende Belegpunktdichte, Austausch zwischen mehreren Grundwasserleitern (3D), zeitliche Variation der Strömungsrichtung, Einflüsse durch Randbedingungen, Einflüsse durch Heterogenbereiche	numerisches Grundwasserströmungsmodell und particle-tracking-Verfahren (kann bei 2D ausreichen) <i>oder</i> numerisches Grundwassertransportmodell zur Darstellung potenzieller Zu- und Abstrombereiche
Planung IPV Berechnung Erfassungsbereich (Isochronen)	Aquifergeometrie und hydraulische Parameter im Erfassungsbereich des IPV als homogen anzunehmen hydraulische Einflüsse (z. B. mehrerer IPV) können berücksichtigt werden	IPV-Tool MAGIC Software Tool CStream (analytische Lösung) C-SET	bekannte variable Aquifergeometrie und/oder bekannte inhomogene Verteilung der hydraulischen Parameter im Erfassungsbereich des IPV	CStream/Modflow-Modell <i>oder</i> Strömungsmodell mit particle backtracking-Verfahren
Auswertung IPV Berechnung Schadstoffverteilung und Fracht	Aquifergeometrie und hydraulische Parameter im Erfassungsbereich des IPV als homogen anzunehmen Retardierung kann berücksichtigt werden hydraulische Einflüsse (z. B. variable Raten, sonstige Entnahmen) können berücksichtigt werden	IPV-Tool MAGIC Software Tool CStream (analytische Lösung) C-SET	bekannte variable Aquifergeometrie und/oder bekannte inhomogene Verteilung der hydraulischen Parameter im Erfassungsbereich des IPV	CStream/Modflow-Modell (Inversionslösung) <i>oder</i> Verifizierung angenommener Schadstoffverteilungen mittels Transportmodell (trial&error)
Identifikation von Quell- (woher) und Abstrombereichen (wohin)	Aquifergeometrie und hydraulische Parameter im Betrachtungsbereich als homogen anzunehmen Grundwasserströmung mit Grundwassergleichplan hinreichend darstellbar zeitliche Variation der Grundwasserströmungsrichtung nicht relevant ohne Retardierung/Abbau	Eingrenzung von Quellbereichen anhand des Grundwassergleichplans Eingrenzung des belasteten Grundwasserabstroms anhand des Grundwassergleichplans, ggf. unter Zuhilfenahme bekannter Konzentrationen im Abstrom	Grundwasserströmung nicht mit Grundwassergleichplan darstellbar z. B. wenn unzureichende Belegpunktdichte, möglicher Austausch zwischen mehreren Grundwasserleitern (3D), zeitliche Variation der Strömungsrichtung, Einflüsse durch Randbedingungen, Einflüsse durch Heterogenbereiche Retardierung/Abbau relevant	particle-tracking-Verfahren (Strömungsmodell) <i>oder</i> Vorwärtsrechnung des Schadstoffeintrags angenommener Emittenten (Transportmodell) <i>oder</i> Rückwärtsprojektion der Schadstoffkonzentration von Kontrollebenen (Transportmodell)
Prognose			Prognose der zukünftigen Entwicklung von Schadstofffahnen ggf. mit Dispersivität, Retardierung, Abbau	numerisches Transportmodell, stationär oder instationär

Tabelle 9-9: Entscheidungskriterien für den Einsatz eines numerischen Grundwassermodells zur Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen



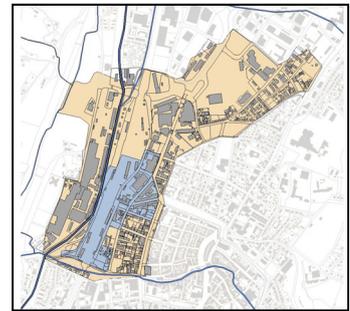
9.3 Handlungsempfehlungen für die integrale Altlastenbearbeitung

Innerhalb des Ravensburger Projekts konnten Strategien und Methoden der integralen Herangehensweise innerhalb der praktischen Altlastenbearbeitung in einem relativ großen Gebiet erprobt werden. Hieraus resultieren zahlreiche positive Erfahrungen, z. B. im Hinblick auf:

- Auswahl- und Ausschreibungsverfahren, das eine besondere Gewichtung der fachlichen Eignung der projektdurchführenden Ingenieurbüros ermöglicht (Kap. 3.1)
- Vergabe fachlich abgestimmter Teilaufträge für einzelne Projektphasen innerhalb eines Rahmenvertrags (Kap. 3.1)
- Projektleitung und Steuerung durch Fachleute der Stadt (Technischer Umweltschutz) und des Landratsamtes (Bodenschutz und Altlasten) mit entsprechend eingerichtetem Zeitbudget (Kap. 3.2)
- Installation eines Projektbeirats für die fachliche Diskussion und Beratung (Kap. 3.2 und 3.3)
- Möglichkeiten Qualitätssicherung (Kap. 3.3)
- Bedeutung und Vorgehensweise bei der Öffentlichkeitsarbeit zur Schaffung von Akzeptanz und Ermöglichung eines breiten fachlichen Austauschs (Kap. 3.5)
- Methoden der Datenanalyse und Aufbereitung (Kap. 4.1 und 4.2.1)
- Qualitätsstandards für die Ermittlung hydrogeologischer Parameter (Kap. 4.5, 6.1, 6.2 und 9.2.3)
- Iterativ-adaptive Vorgehensweise bei der Einrichtung der Kontrollebenen (Kap. 5.2)
- Planungsablauf für Kontrollebenen und Immissionspumpversuche (Kap. 5.3)
- Dokumentation der Ergebnisse aus flächenintegralen Untersuchungen als Datenatlas (Kap. 7.1)
- Entscheidungskriterien für die Anwendung von Immissionspumpversuchen (Kap. 9.2.1)
- Kosten-/Wirksamkeitsbetrachtung von Immissionspumpversuchen (Kap. 9.2.2)
- Auswahlkriterien zu Planungs- und Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche (Kap. 6.3 und 9.2.4)
- Entscheidungskriterien für die Anwendung von Direct-Push-Methoden (Kap. 9.1)
- Entscheidungskriterien für den Einsatz von numerischen Grundwassermodellen (Kap. 9.2.5)

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



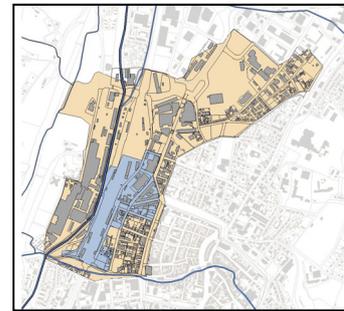
Die Erfahrungen des Projekts „Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg“ bilden zusammen mit den Modell- und Pilotprojekten der Landeshauptstadt (Landeshauptstadt Stuttgart 2009, ERTEL ET AL., 2008, KIRCHHOLTES ET AL., 2012, VASIN ET AL., 2013) eine wesentliche Grundlage für den Leitfaden „Integrales Altlastenmanagement“ (LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, 2014). Mit diesem Leitfaden sollen strategische und methodische Handlungsempfehlungen für die Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg gegeben und mögliche Wege von der integralen Untersuchung über eine risiko-basierte Bewertung und Priorisierung von Schäden hin zu einer integralen Sanierungsplanung aufgezeigt werden. Ein wesentlicher Punkt des Leitfadens wird sein, die Möglichkeiten der Organisation und Finanzierung künftiger integraler Projekte aufzuzeigen.

Darüber hinaus lieferte das Ravensburger Projekt wesentliche Impulse für die Weiterentwicklung der integralen Untersuchungsstrategie und der zugehörigen Werkzeuge, insbesondere mit den Studien zu den Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche (HEKEL, 2012) sowie zum Methodenvergleich zwischen Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Verfahren (HEKEL & EICHELMANN, 2014).

Beispielhaft hierfür ist der Bericht zur „Grundwasserabstromerkundung mittels Immissionspumpversuchen“ (PTAK ET AL., 2013) genannt, für den insbesondere in den Kapiteln Planung, Auswerteverfahren, Kosten und Aussagesicherheit sowie Projektbeispiele die Ravensburger Erfahrungen eingebracht wurden. Ein weiteres Beispiel ist die Entwicklung des Programms C-SET, das nunmehr als Download auf der Homepage der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg zur Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen für die Altlastenbearbeitung zur Verfügung steht.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Anhang 1: Literaturverzeichnis

ARMBRUSTER, V. (2002): Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg – Freiburger Schriften zur Hydrologie, 17

BAYER-RAICH, M. (2004): Integral pumping tests for the characterization of groundwater contamination. Ph. D. Thesis, University of Tübingen, Center for Applied Geoscience, Germany. Tübingen, 112 pp

BAYER-RAICH, M., JARSJÖ, J., HOLDER, T. & PTAK, T. (2003): Numerical Estimations of contaminant concentration and mass flow in aquifers from time dependent pumping wells. Model Care 2002: A Few Steps Closer to Reality, IAHS Publication No. 277

BAYER-RAICH, M., J. JARSJÖ, R. LIEDL, T. PTAK, & G. TEUTSCH (2004), Average contaminant concentration and mass flow in aquifers from time-dependent pumping well data: Analytical framework, Water Resour. Res., 40 (8)

BAYER-RAICH, M., JARSJÖ, J., LIEDL, R., PTAK, T. & TEUTSCH, G. (2004): Correction to "Average contaminant concentration and mass flow in aquifers from time-dependent pumping well data: analytical framework" by Martí Bayer-Raich et al. Water Resour. Res. 40 (11)

BEAR, J. & JACOBS, M. (1965): On the movement of waterbodies injected into aquifers. – Journ. Hydrol. 3 (1), S. 37 – 57

BEER, H.-P., KIEFER, R., HOLDER, T. & PTAK, T. (2003): Grundwasserabstromerkundung durch Immissionsmessung. – Stand der Technik, Planung, Implementierung. altlastenforum Baden-Württemberg e.V., Schriftenreihe, Heft 8

BOULTON, N.S. (1963): Analysis of data from non-equilibrium pumping tests allowing for delayed yield from storage. – Proc. of the Instit. of Civil Engineers London, Vol. 26, Paper No 6693, S. 469 - 482

BOURDET, D., WHITTLE, T.M., DOUGLAS, A.A. & PIRARD, Y.M. (1983): A new set of type curves simplifies well test analysis. – World Oil (May 1983), 7 S., 10 Abb., 3 Tab.; Houston, Texas, U.S.A.

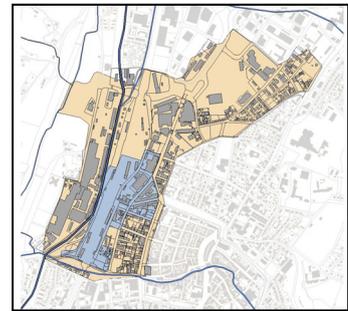
ELLWANGER, D., HEß, M., WEINSZIEHR, R. & WIRSING, G. (2000): Geologisch-hydrogeologische Gliederung des Untergrunds im Stadtbereich Ravensburg. – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg.

ERTEL, T. & SCHOLLENBERGER, U., Eds. (2008): Handbook for Integral Groundwater Investigation. MAGIC – Management of Groundwater at Industrially Contaminated Sites. - Polish Geological Institute, Warsaw

GRINGARTEN, A.C., BOURDET, D., LANDELL, P.A. & KNIAZEFF, V.J. (1979): A comparison between different skin and wellbore storage type-curves for early-time transient analysis. – Presented at the SPE-AIME 54th Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, SPE-8205; Las Vegas, Nevada

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



HANTUSH, M.S. (1956): Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. – Transactions Amer. Geophys. Union, Vol. 37, No 6, S. 702-714

HEKEL, U. (2004): Pumpversuche – Planung, Durchführung, Feldauswertung und Grundwasserprobenahme. - Qualitätssicherung in der Altlastenbearbeitung, Seminar 6/2004, Fortbildungsverband Boden- und Altlasten Baden-Württemberg, Böblingen

HEKEL, U. (2012): Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg - Vergleichsstudie Aufwand-/Qualitätsverhältnis von Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche. – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/108154/>

HEKEL, U. & EICHELMANN, C. (2014): Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg - Vergleichsstudie zu Immissionspumpversuchen und Direct-Push-Verfahren bei der Erfassung von Schadstoffkonzentrationen und –frachten an Kontrollebenen. – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de>

HEKEL, U. & HUSS, A. (2013): C-SET Benutzerhandbuch. - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/229895/>

HOLDER, T., TEUTSCH, G., PTAK T. & SCHWARZ, R. (1998): A new approach for source zone characterization: the Neckar Valley study. In Groundwater Quality: Remediation and Protection, IAHS Publication No. 250, ISSN 0144-7815, 49-55

HOLDER, T. & TEUTSCH, G. (1999): Bestimmung der Schadstoffimmission im Grundwasser – Verfahrensprinzip, Messung und Modellierung; in: Integrale Altlastenerkundung im Neckartal Stuttgart; Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, 4/1999, Stuttgart

HUSS, A. (2012): Immissionspumpversuche mit gegenseitiger Beeinflussung – Anforderungen und Chancen; in: Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement (HdA), Hrsg.: FRANZIUS, V., ALTENBOCKUM, M. & GERHOLD, T., Müller-Verlag, Heidelberg. 67. Ergänzungslieferung

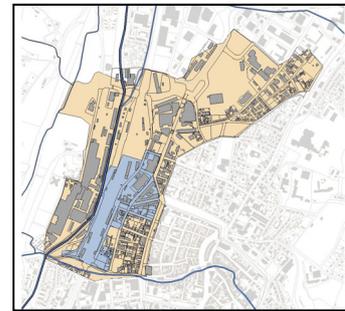
JARSJÖ, J., PTAK, T., BAYER-RAICH, M. & HOLDER, T. (2002): Uncertainties in contaminant plume characterisations based on concentration measurements in pumping wells: The Stuttgart-Neckartal site. Paper for the 4th International Conference on Calibration and Reliability in Groundwater Modelling, Prague, Czech Republic, 17-20 June 2002

KÄSS, W. (2004): Geohydrologische Markierungstechnik - 2. überarbeitete Aufl., 557 Seiten, 239 Abbildungen, 43 Tabellen, 8 Farbtaf. (Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 9)

KIRCHHOLTES, H.J., VON SCHNAKENBURG P., ERTEL, T., SCHOLLENBERGER, U., SPITZBERG, S., SCHÄFER, W. (2012): Focus on Key Sources (Abschluss der Integralen Grundwasseruntersuchung Stuttgart-Feuerbach - Störerauswahl und Einbindung der Einzelfallbearbeitung in eine übergeordnete Sanierungsstrategie für den ganzen Stadtteil) – altlasten spektrum 3/2012.

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2014): Leitfaden Integrales Altlastenmanagement; Karlsruhe – in Bearbeitung

Landeshauptstadt Stuttgart Amt für Umweltschutz (2009): Integrale Grundwasseruntersuchung in Stuttgart-Feuerbach. Ergebnisse des INTERREG IIIB Projektes MAGIC. – Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, Heft 4/2009: 167 S.; Stuttgart

LEVEN, C, WEIß, H; KOSCHITZKY, H.-P., BLUM, P, PTAK, T. & DIETRICH, P. (2010): Direct-Push-Verfahren. altlastenforum Baden-Württemberg e.V., Schriftenreihe, Heft 15

MCDONALD, M. & HARBAUGH, W. (1988): MODFLOW – A Modular 3-dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model. – U.S. Geological Survey

ODENWALD, B., HEKEL, U. & THORMANN, H. (2009): Grundwasserströmung - Grundwasserhaltung. – In: Witt, K.J. (Hrsg.) Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren. 7., überarbeitete u. aktualisierte Auflage, ca. 950 Seiten, ca. 500 Abbildungen; Berlin (Ernst & Sohn)

POLLOCK, D.W. (1994): User's Guide for MODPATH/MODPATH-PLOT, Version 3: A particle tracking post-processing package for MODFLOW, the U.S. Geological Survey finite-difference ground-water flow model. - U.S. Geological Survey

PTAK, T. & TEUTSCH, G. (1997): Grundwasser-Gefährdungsabschätzung durch Emissions- und Immissionsmessungen an Deponien und Altlasten – Numerische Untersuchungen zur Anwendung und Auswertung, Projekt Wasser-Abfall-Boden PWAB, Projekt-Nr.: PD 96 181, Bericht, Lehrstuhl für Angewandte Geologie der Universität Tübingen

PTAK, T., SCHWARZ R., HOLDER, T. & TEUTSCH, G. (2000): "Ein neues integrales Verfahren zur Quantifizierung der Grundwasserimmission: II. Anwendungsbeispiel in der Praxis", Grundwasser

PTAK, T. (2004): Integraler Pumpstest – Definition, Anforderungen, Grenzen. - Qualitätssicherung in der Altlastenbearbeitung, Seminar 6/2004, Fortbildungsverband Boden- und Altlasten Baden-Württemberg, Böblingen

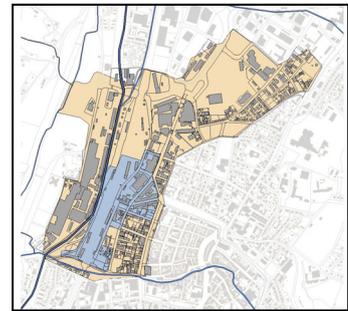
PTAK, T., BEER, H.-P., ERTEL, T., HEKEL, U., HEROLD, M., HIESL, E., HOLDER, T., KIRCHHOLTES, H., KOSCHITZKY, H.-P. & ROTHSCHINK, P. (2013): Grundwasserabstromerkundung mittels Immissionspumpversuchen. – Aktualisierung Stand der Technik, Planung, Implementierung, Anwendungsstrategien. altlastenforum Baden-Württemberg e.V., Schriftenreihe, Heft 16

ROTHSCHINK, P. (2005): Technik der integralen Grundwasseruntersuchung – Durchführung und erste Auswertungen. – Beitrag zum Seminar 11/2005 des Fortbildungsverband Boden und Altlasten Baden-Württemberg – unveröffentlichte Kursunterlagen; VEGAS Stuttgart

ROTHSCHINK, P. (2007): IPV-Tool, Programmbeschreibung. – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/47957/>

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



RÜGNER, H., HOLDER, T., RONECKER, U., SCHIFFLER, G., GRATHWOHL, P., TEUTSCH, G. (2004): Natural Attenuation Untersuchungen „Teerölproduktfabrik/ehemaliges Gaswerk Kehl“. Grundwasser, 9(1), 43-53

SAUTY, J. P. (1980): An analysis of hydrodispersive transfer in aquifers. – Water Resources Research, 16(1): 14-158

SCHUG, B., ERTEL, T. (2003): Integrales Konzept zur Grundwassersanierung INCORE. - Abschlussbericht; Stuttgart

SCHWARZ, R., PTAK, T. & TEUTSCH, G. (1997a): Demonstrationsprojekt zur technischen Erprobung eines neuen Erkundungskonzepts zur Untersuchung der Emission und Immission an Altlastenstandorten: Technischer Bericht Projektphase 1, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität Tübingen

SCHWARZ, R., PTAK, T. & TEUTSCH, G. (1997b): Demonstrationsprojekt zur technischen Erprobung eines neuen Erkundungskonzepts zur Untersuchung der Emission und Immission an Altlastenstandorten: Auswertung Projektphase 2, Bericht Nr. LAG97-01/0460, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität Tübingen

SCHWARZ, R. (2002): Grundwasser-Gefährdungsabschätzungen durch Emissions- und Immissionsmessungen an Deponien und Altlasten. – Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten (TGA), C66

STALLMAN, R.W. (1963): Type curves for the solution of single-boundary problems. - In: Bentall Compiler): Shortcuts and special problems in aquifer tests. – U.S. Geol. Survey, Water-Supply Paper 1545-C, S. 45C-47C

STUPP, H.D., BAKENHUS, A., GASS, M., SCHWAAR, I., LORENZ, D. (2006): Ausbreitung von LCKW und MTBE im Grundwasser – Grundwassertransport und Fahnenlängen.- altlasten spektrum Heft, 5, 256-266

THEIS, C.V. (1935): The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. – Transactions Amer. Geophys. Union, S. 519-524

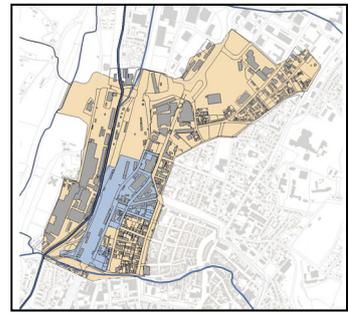
TEUTSCH, G., PTAK, T., SCHWARZ, R., HOLDER, T. (2000): Ein neues integrales Verfahren zur Quantifizierung der Grundwasserimmission, Teil 1: Beschreibung der Grundlagen; Grundwasser 4/2000

VASIN, S., UFRECHT, W., SPITZBERG, S., LANG, U., SCHÄFER, W., SCHOLLENBERGER, U., KIRCHHOLTES, H. J. (2013): MAGPlan - A MUNICIPAL MANAGEMENT PLAN TO PREVENT THREATS FROM POINT SOURCES ON THE GOOD CHEMICAL STATUS OF GROUNDWATER IN URBAN AREAS - MAGPLAN APPROACH. – Proceedings of the Aqua-ConSoil Conference, Barcelona, Spain, 2013.

VETTER, A. (2002): Juristische Fragen der Integralen Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg. – Rechtsgutachten erstattet im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, 198 S., Stuttgart

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

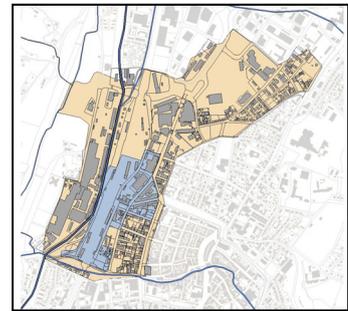
Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



WABELS, D., TEUTSCH G. (2008): Leitfaden Natürliche Schadstoffminderungsprozesse bei mineralölkontaminierten Standorten. KORA Themenverbund 1: Raffinerien, Tanklager, Kraftstoffe/Mineralöl, MTBE. ZAG Universität Tübingen

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



Anhang 2: Regelwerke und Qualitätsstandards

Immissionspumpversuche (Planung, Durchführung, Auswertung):

Grundwasserabstromerkundung durch Immissionsmessung (BEER ET AL., 2003). – Stand der Technik, Planung, Implementierung. Schriftenreihe Altlastenforum Baden-Württemberg e.V., Heft 8

aktualisiert: Grundwasserabstromerkundung mittels Immissionspumpversuchen (PTAK ET AL., 2013). – Aktualisierung. Stand der Technik, Planung, Implementierung, Anwendungsstrategien. altlastenforum Baden-Württemberg e.V., Schriftenreihe, Heft 16

Qualitätssicherung in der Altlastenbearbeitung: Integraler Pumptest – Definition, Anforderungen, Grenzen (PTAK, 2004) - Fortbildungsverbund Boden- und Altlasten Baden-Württemberg, Seminar 6/2004, Böblingen.

Qualitätssicherung in der Altlastenbearbeitung: Pumpversuche – Planung, Durchführung, Feldauswertung und Grundwasserprobenahme (HEKEL, 2004) - Fortbildungsverbund Boden- und Altlasten Baden-Württemberg, Seminar 6/2004, Böblingen.

Pumpversuche (Planung, Durchführung und hydraulische Auswertung):

Merkblatt W 111 (1997): Planung, Durchführung und Auswertung von Pumpversuchen bei der Wassererschließung, DVGW-Regelwerk, Bonn.

Grundbau-Taschenbuch, Teil 2 (2009): Geotechnische Verfahren. 7., überarbeitete u. aktualisierte Auflage, ca. 950 Seiten, ca. 500 Abbildungen; Berlin (Ernst & Sohn).

Hydrogeologisches Modell

Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft (Hrsg.) (1999): Hydrogeologische Modelle – Ein Leitfaden für Auftraggeber, Ingenieurbüros und Fachbehörden, Hannover.

Grundwasserprobenahme:

DIN EN ISO 5667-1 Anleitung zur Erstellung von Probenahmeprogrammen und Probenahmetechniken, April 2007

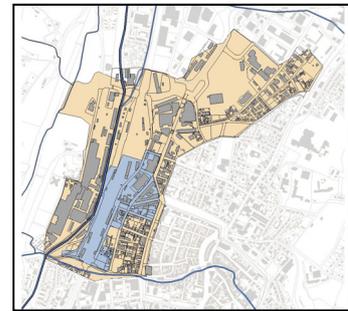
DIN EN 25667-2 Teil 2: Anleitung zur Probenahmetechnik, Juli 1993

DIN EN ISO 22475-1 Geotechnische Erkundung und Untersuchung Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen Teil 1: Technische Grundlage der Ausführung, Januar 2007

DIN EN ISO 5667-3 (A21) Probenahme Teil 3: Anleitung zur Konservierung und Handhabung von Proben, Mai 2005

Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg

Stadt Ravensburg / LRA Ravensburg
Firmenkonsortium Berghof / HPC AG



DIN 38402- A30 Vorbehandlung, Homogenisierung und Teilung heterogener Wasserproben, Juli 1998

DIN 38402- A13 Probenahme aus Grundwasserleitern, Dezember 1985

AQS-Merkblatt P 8/2 Probenahme aus Grundwasser, Januar 1996

DIN EN ISO 5667-11 Teil 11: Hinweise zur Probenahme von Grundwasser

DVWK Regel Nr. 128 von 1992 Entnahme und Untersuchungsprogramm von Grundwasserproben

DVWK 245 Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen, 1997

DVGW W 112 Entnahme von Wasserproben bei der Erschließung, Gewinnung und Überwachung von Grundwasser, Juli 2001

neu: DWA-A 909 (inhaltsgleich DVGW W 112)

Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle – Methodensammlung LfU Karlsruhe, 1997 – 1. Auflage mit Ergänzungen

neu: Leitfaden für Grundwasserprobenahme – Grundwasserüberwachungsprogramm Baden-Württemberg- Februar 2012 (1. Auflage) LUBW Baden-Württemberg

Handbuch der Grundwasserbeobachtung, Teil 5 Merkblatt Grundwasserprobenahme Herausgeber und Bezug: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Stand 2004

aktualisiert: Untersuchungsstrategie Grundwasser Leitfaden zur Untersuchung bei belasteten Standorten LUBW Baden-Württemberg, Stand September 2008, Bezug unter: <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/7227/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=161&OBJECT=7227&MODE=METADATA>