



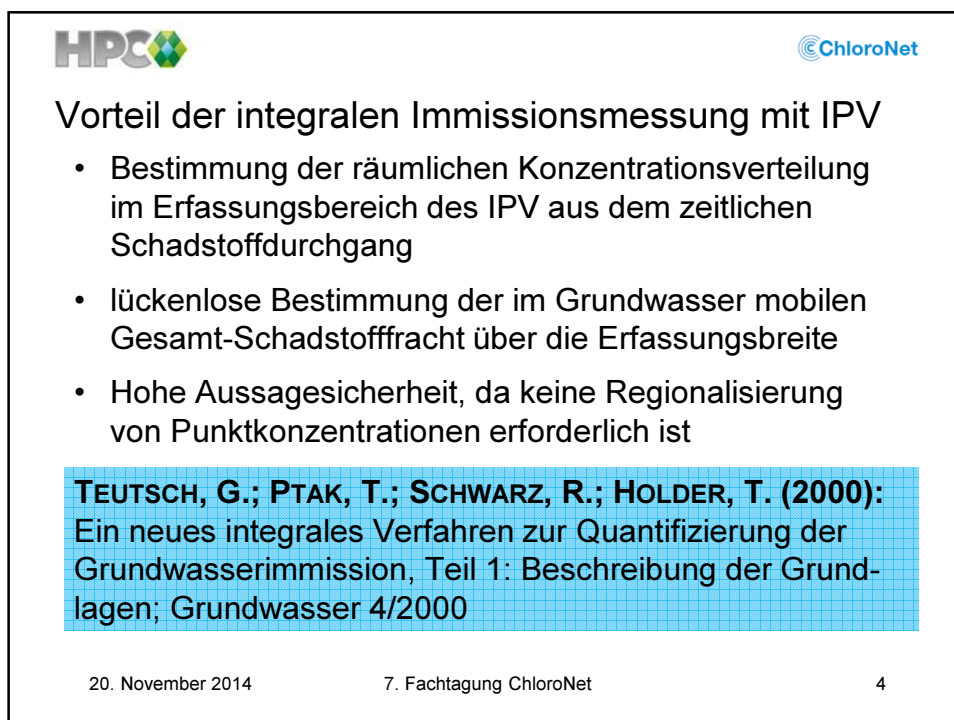
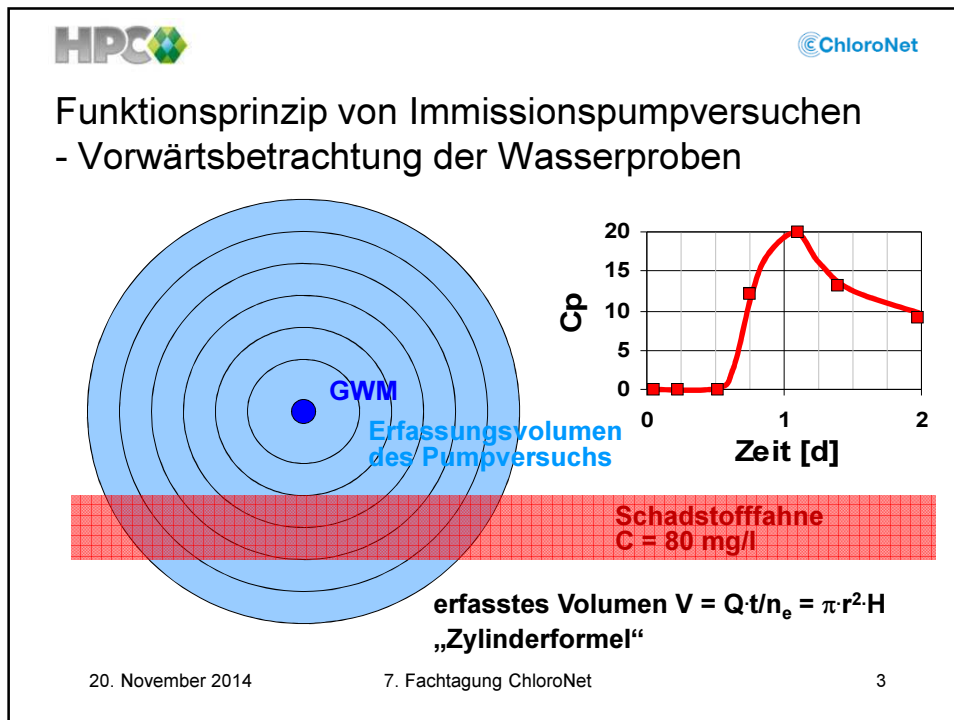
Bestimmung von Schadstoffimmissionen und Frachten aus Pumpversuchen mit C-SET

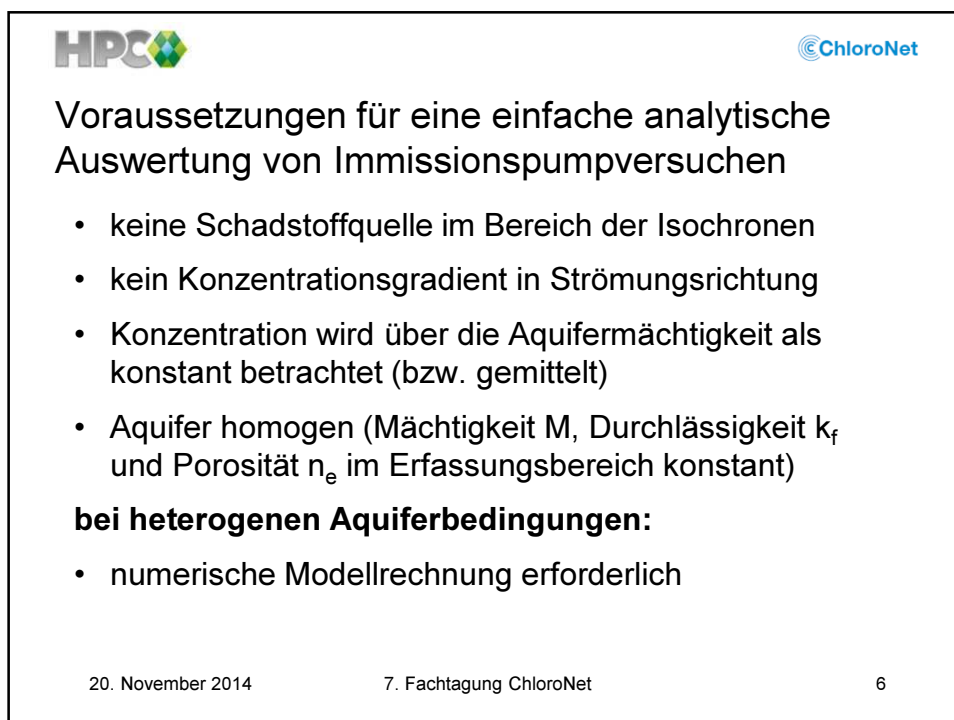
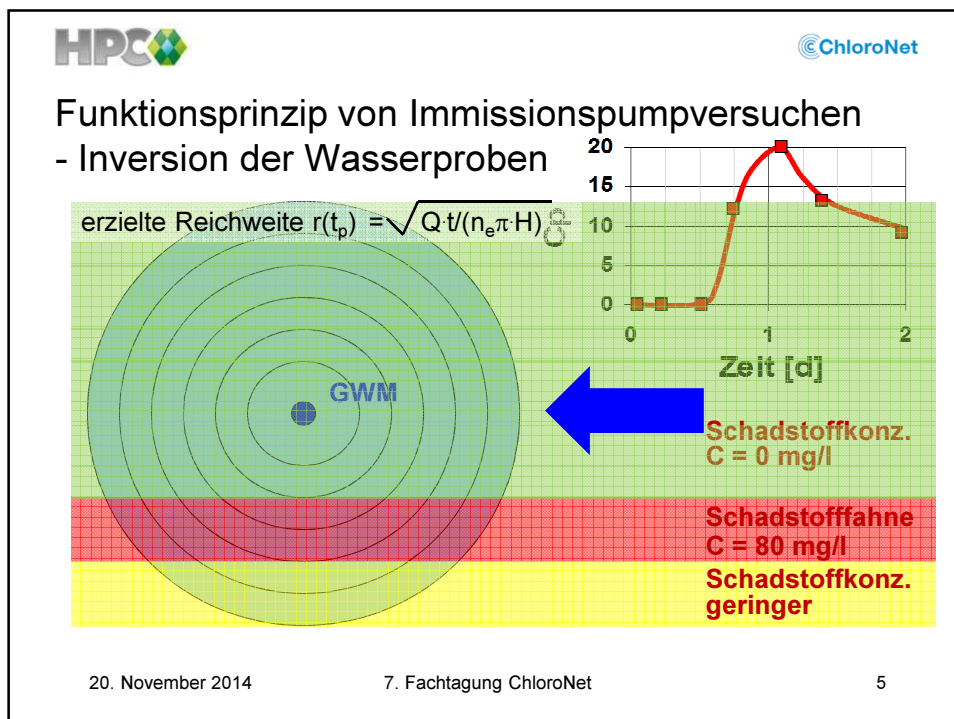
Dr. Uwe Hekel
HPC AG
D-72108 Rottenburg





Inhalt

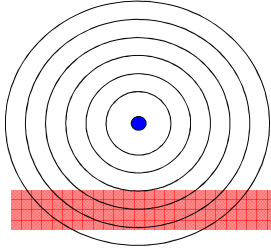
- Einführung in das Funktionsprinzip von Immissionspumpversuchen (IPV)
- Entwicklung eines Berechnungsverfahrens zur Berücksichtigung von Praxisbedingungen wie z.B. Grundwasserströmung, Nachbarbrunnen, inkonstante Pumpraten, Unterbrechungen
- Rechenweg des Programms C-SET
- Fallbeispiele





Analytische Inversion nach Zylinderformel (TEUTSCH)

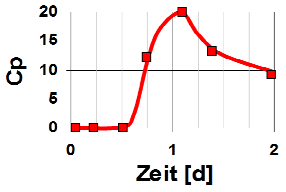


Annahmen des Verfahrens

- Entnahmerate konstant
- keine Beeinflussung durch andere Brunnen
- Grundströmung vernachlässigbar

=> konzentrische Isochronen

Durchgangskurve



20. November 2014

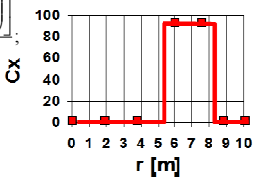
analytische Inversion:

$$C_{X_i} = \frac{\pi c p_i - 2 \sum_{k=1}^{i-1} C_{X_k} \left[\arccos\left(\frac{r(t_{k-1})}{r(t_i)}\right) - \arccos\left(\frac{r(t_k)}{r(t_i)}\right) \right]}{2 \arccos\left(\frac{r(t_{i-1})}{r(t_i)}\right)}$$



mit $r(t) = \sqrt{\frac{Q t}{\pi H n_e}}$

7. Fachtagung ChloroNet

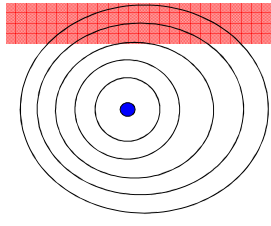
z.B. in Excel



7

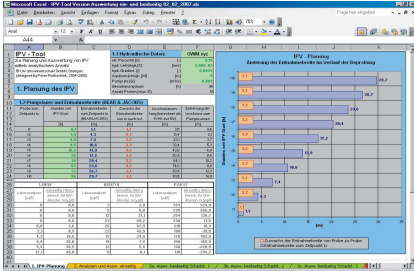
Analytische Inversion (IPV-Tool, LU Baden-Württ.)



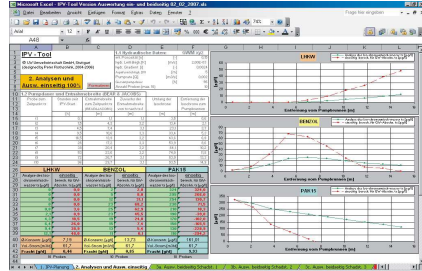
Annahmen des Verfahrens

- Entnahmerate konstant
- keine Beeinflussung durch andere Brunnen
- Grundströmung gering (BEAR&JACOBS)
- Entnahmebreitenzuwachs konstant

=> annähernd konzentrische Isochronen



20. November 2014

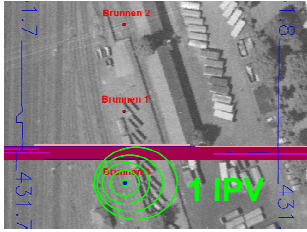
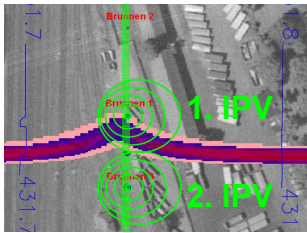


7. Fachtagung ChloroNet

8

HPC **ChloroNet**

Praxisbedingungen bei IPVs und IPV-Serien

ein Immissionspumpversuch ...

... lässt Rückschlüsse auf die Lage einer Schadstofffahne zu

aber wie wird die ursprüngliche Fahnenlage beeinflusst ...

... bei mehreren Immissionspumpversuchen z.B. entlang einer Kontrollebene ?

20. November 2014 7. Fachtagung ChloroNet 9

HPC **ChloroNet**

Praxisbedingungen bei IPVs und IPV-Serien

Einflüsse durch andere Brunnen

- z.B. durch benachbarte vorausgegangene IPV
- z.B. durch mehrere gleichzeitige IPV
- z.B. durch Sanierungs- oder Trinkwasserbrunnen

=> konkurrierende Einzugsbereiche, Fahnenverlagerung



Einflüsse durch nicht-konstante Pumprate

- z.B. Ratenschwankungen, erforderliche Ratenänderungen
- z.B. Pumpausfälle (über Nacht, Wochenende)

Folgen in der Altlastenbearbeitung

- Fehlinterpretationen des eigentlichen Erfassungsbereichs
- Fehlinterpretation der Fahnenlagen
- Fehlinterpretation der Emittenten
- fehlerhafte Lage von Sanierungsbrunnen

20. November 2014 7. Fachtagung ChloroNet 10

Aufgabe:
 Programmierung eines einfachen Tools für Praxisbedingungen
 (insbes. Grundströmung und hydraulische Einflussfaktoren)

Anforderungen der LU Baden-Württemberg:

- numerisches Modell nicht erforderlich
- keine Zusatzprogramme erforderlich
- läuft unter Windows
- leichte Bedienbarkeit
- übersichtliche Benutzerführung
- Abfangen fehlerhafter Eingaben
- automatische Lösungsfindung
- Ergebnisausgabe als pdf- und GIS-Datei
- Benutzerhandbuch

20. November 2014
7. Fachtagung ChloroNet
11




Ergebnis:

- Entwicklung des Tools C-SET im Rahmen des Projekts Projekt „Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg“ zur Auswertung von ca. 50 IPV
- Validierung von C-SET in einer Vergleichsstudie
 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>
- Bereitstellung des Tools C-SET mit Handbuch über die LUBW-homepage (2013):
www.lubw.baden-wuerttemberg.de, [Altlasten, Anwendungsprogramme](#)




20. November 2014
7. Fachtagung ChloroNet
12

HPC **ChloroNet**

Prinzip von C-SET: Partikel ersetzen Teilvolumen

- Unterteilung des Probenvolumens in gleichgroße Sektoren
- jedes Teilvolumen wird durch ein Partikel ersetzt
- jedes Partikel repräsentiert einen gleich großen Anteil am Probevolumen
- jedes Partikel repräsentiert die Grundwasserbelastung an seiner Position vor der hydraulischen Maßnahme

20. November 2014 7. Fachtagung ChloroNet 13

HPC **ChloroNet**

Prinzip von C-SET: Lösung zweier wesentlicher Fragen

1. Wo befand sich ein Partikel zu Beginn des IPV?
(Ausgangslage der Partikel)
2. Welche Konzentrationsverteilung im Aquifer korreliert mit der gemessenen Konzentrationskurve beim IPV?

20. November 2014 7. Fachtagung ChloroNet 14

HPC ©ChloroNet

1. Frage: „Wo befand sich ein Partikel zu Beginn des IPV?“

Lösung Superposition sämtlicher Partikelbewegungen in infinitesimal kleinen Zeitschritten Δt

Beispiel IPV in Brunnen 1, Einfluss durch Grundströmung und Brunnen 2

$\Delta r_1 = r_1 - \sqrt{r_1^2 - \frac{Q \cdot \Delta t}{\pi H n_e}}$
 $\Delta r_x = \frac{k_f \cdot i \cdot \Delta t}{n_e}$
 $\Delta r_2 = r_2 - \sqrt{r_2^2 - \frac{Q \cdot \Delta t}{\pi H n_e}}$
 $\Delta r = \Delta r_1 + \Delta r_x + \Delta r_2$

20. November 2014 7. Fachtagung ChloroNet 15

HPC ©ChloroNet

1. Frage: „Wo befand sich ein Partikel zu Beginn des IPV?“

Ergebnis: Isochronen definieren die Ausgangslage der Partikel einer Probe

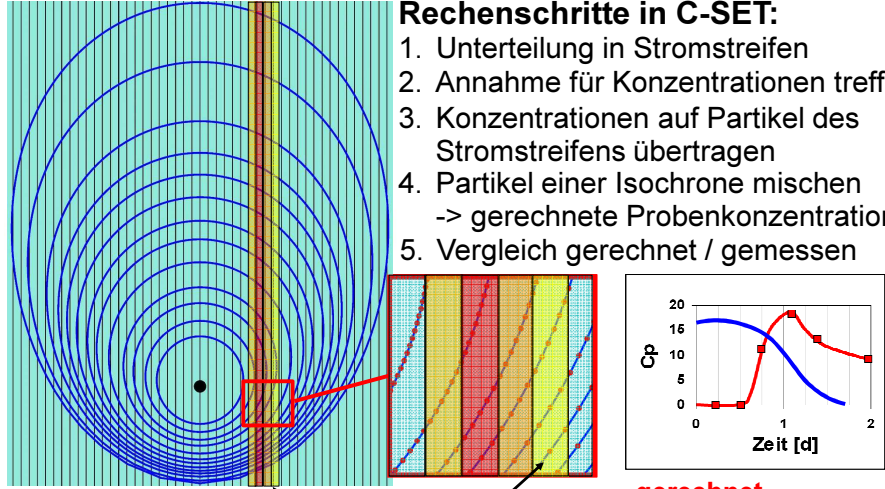
Brunnen

Partikel

20. November 2014 7. Fachtagung ChloroNet 16

HPC **ChloroNet**

2. Frage: „Welche Konzentrationsverteilung im Aquifer korreliert mit der gemessenen Konzentrationskurve beim IPV?“



Rechenschritte in C-SET:

1. Unterteilung in Stromstreifen
2. Annahme für Konzentrationen treffen
3. Konzentrationen auf Partikel des Stromstreifens übertragen
4. Partikel einer Isochrone mischen -> gerechnete Probenkonzentration
5. Vergleich gerechnet / gemessen

20. November 2014 Stromstreifen **gerechnet**
gemessen 17

HPC **ChloroNet**



2. Frage: „Welche Konzentrationsverteilung im Aquifer korreliert mit der gemessenen Konzentrationskurve beim IPV?“

Automatisierung der iterativen Anpassung gerechnet / gemessen:

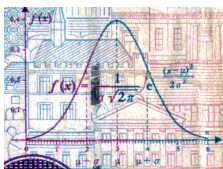
- Schadstoffausbreitungen unterliegen der hydrodynamische Dispersion
- diese erzeugt eine Zufallsverteilung, welche mit Hilfe einer Gauss'schen Normalverteilung beschrieben werden kann:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

20. November 2014 7. Fachtagung ChloroNet 18

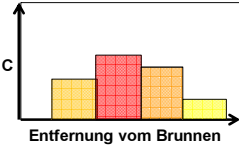



2. Frage: „Welche Konzentrationsverteilung im Aquifer korreliert mit der gemessenen Konzentrationskurve beim IPV?“



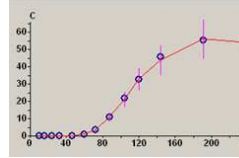
damit müssen bei der iterativen Anpassung nur 4 Kurvenparameter variiert werden:

- Abstand der Fahnenachse(n) vom Brunnen
- Konzentrationsmaximum der Fahne(n)
- Fahnenbreite(n)
- Dispersionsgröße(n)





Ergebnis:

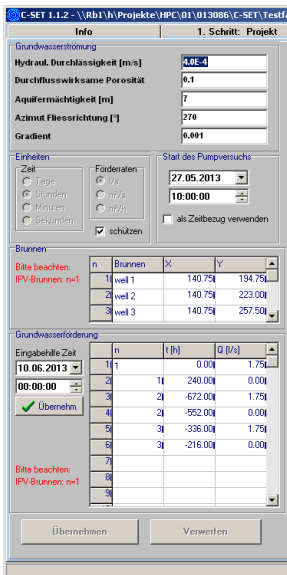
- in relativ kurzer Zeit wird eine Konzentrationsverteilung gefunden, die eine beste Anpassung der gerechneten an den tatsächlich gemessenen Konzentrationsdurchgang beim IPV bietet



20. November 2014
7. Fachtagung ChloroNet
19






C-SET – Eingabe



- Projektdaten (i.W. für Beschriftung)
- Aquiferparameter (k_f , n_e , M , i)
- Brunnenkoordinaten
- Pumpraten der Brunnen
- Konzentrationen der Proben
- Einstellungen zur Fahnenanpassung

7. Fachtagung ChloroNet
20

C-SET – Ausgabe

IPV-Apparatur
C-SET
Integrale Altlastenerkundung Ravensburg
Kontrolllebene 3
IGWV 21

Grundwasserströmung
Hydraul. Durchlässigkeit: 8.1E-04 m/s
Durchmesser des Filters: 0.1 m
Aufwandsleistung: 0.7 m³/h
Kontrolltieftiefe: 10.0 m
Gradient: 0.000229

Ergebnisse
Maximale Konzentration: 151.408 µg/l
Mittlere Konzentration: 23.889 µg/l
Erfasste Abstrombreite: 40.00 m
Volumenstrom: 19.742 m³/d
Fracht: 0.51005 g/d

Konzentrationsverlauf gemessen/gerechnet

Brunnen	X	Y
1	0.00	0.00
2		
3		
4		
5		

Grundwasserförderung

Br	Q _g	Q _g /Q ₁
1	1	0.00
2	1	96.90
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Konzentrationen

Br	Q _g	Konzentration µg/l
1	2.20	3.4
2	2.82	0
3	18.12	6.7
4	14.83	13.0
5	48.01	20.5
6	14.22	30.7
7	85.17	38.3
8		
9		
10		
11		
12		



- Projekt- und Versuchsdaten
- Isochronen
- Konzentrationsverteilung
- Stofffracht

als

- shp-File
- Excel-Tabellen
- pdf-Bericht

agung ChloroNet

21

Vergleich von Werkzeugen zur Planung/ Auswertung von IPV

IPV-Tool (LUBW)	C-SET (LUBW)	numerische Modelle
einfaches Tool	einfaches Tool	komplexes Tool
formelbasierte Inversion	Superposition von Partikelbewegungen	
<ul style="list-style-type: none"> • nur geringe Grundströmung erlaubt • keine hydraulischen Einflüsse erlaubt • Lösungen nur für bestimmte Fahnen-symmetrien 	<ul style="list-style-type: none"> • mit Grundströmung • mit hydraulischen Einflüssen (weitere Brunnen, Pump-raten inkonstant) • beliebige Fahnen-symmetrien 	<ul style="list-style-type: none"> • Heterogenitäten erlaubt • mit Grundströmung • mit hydraulischen Einflüssen (weitere Brunnen, Pump-raten inkonstant) • beliebige Fahnen-symmetrien
geringer Aufwand	geringer Aufwand	hoher Aufwand
zu vereinfachend	praxisgerecht	hoher Anspruch
geringe Qualität	gute Qualität	hohe Qualität

HPC **ChloroNet**

Fallbeispiel Erkundung der Kessler-Grube, Grenzach-Wyhlen“

Auftraggeber: Roche Pharma AG

Aufgaben: Untersuchung der hydrogeologischen Situation
 Untersuchung der Schadstoffausbreitung
 Konzept für Wasserhaltung beim Sanierungsaushub

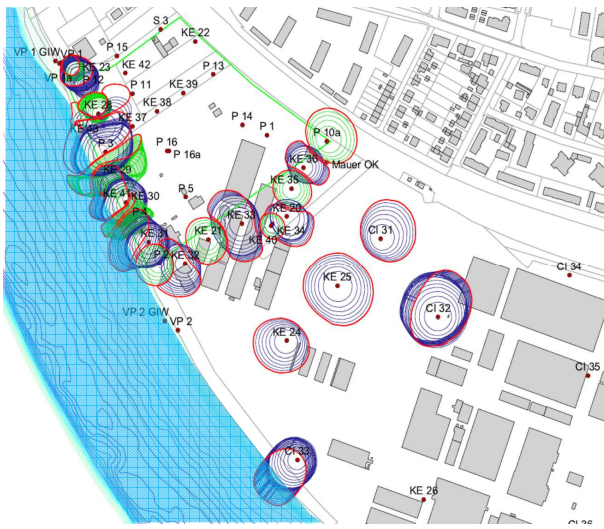
Kosten: Untersuchung ca. 4 Mio €, Sanierung ca. 239 Mio €



20. November 2014 7. Fachtagung ChloroNet 23

HPC **ChloroNet**

Erkundung der Kessler-Grube, Grenzach-Wyhlen“

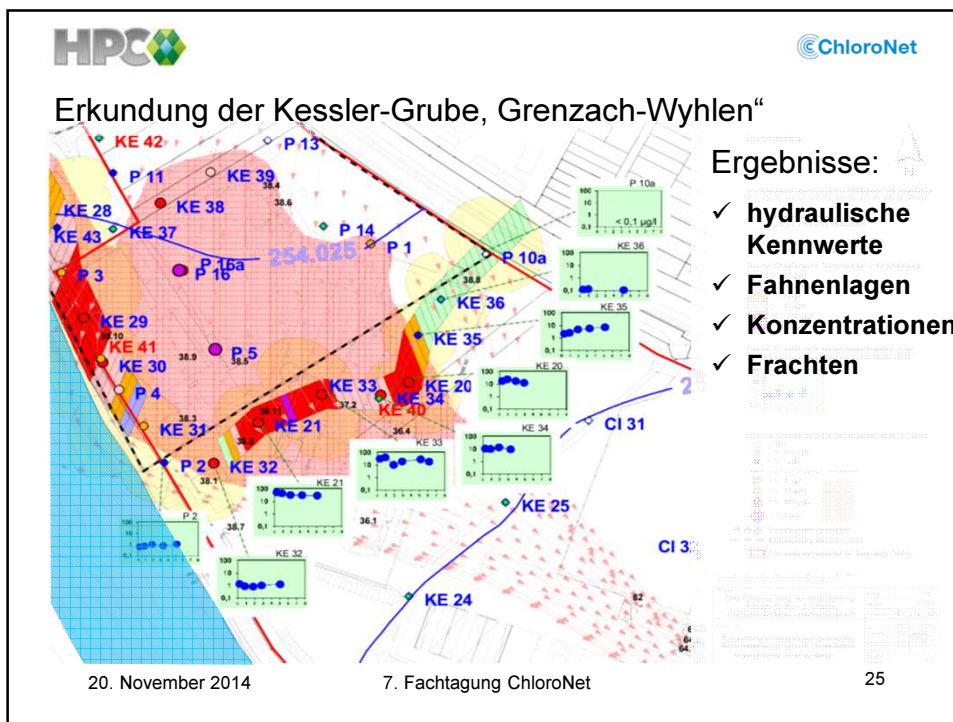


ca. 50 Bohrungen ca. 50 GWM

30 IPV je einwöchig in 8 Wochen?

- keine Pausen zwischen den IPV
- je 4 IPV gleichzeitig
- starke gegenseitige Beeinflussungen

20. November 2014 7. Fachtagung ChloroNet 24



HPC **ChloroNet**

Fallbeispiel „Integrale Altlastenuntersuchung Ravensburg“

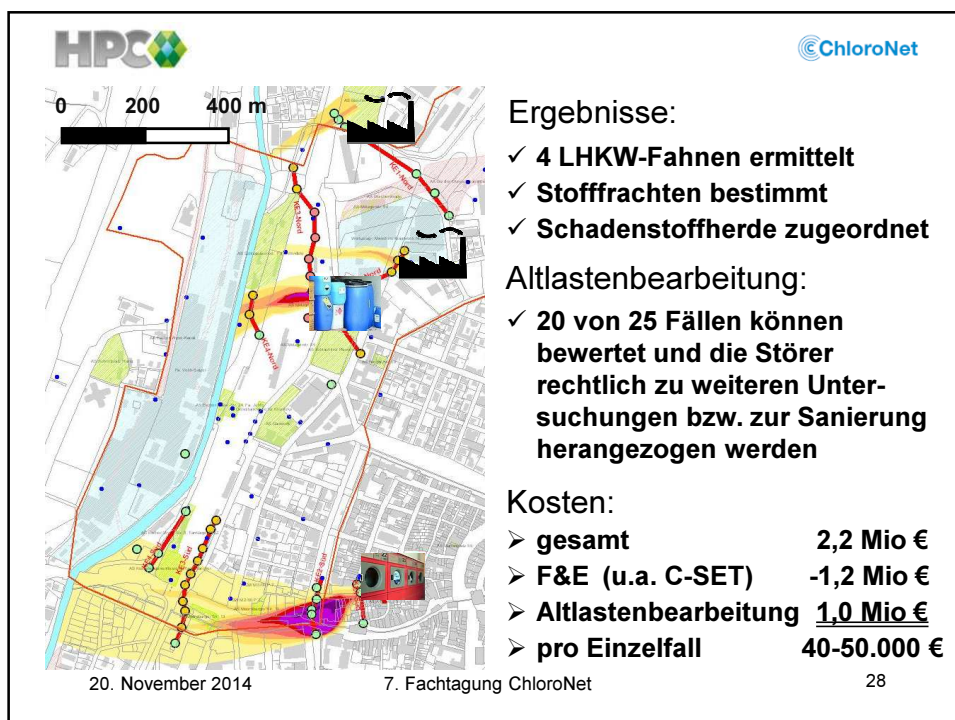
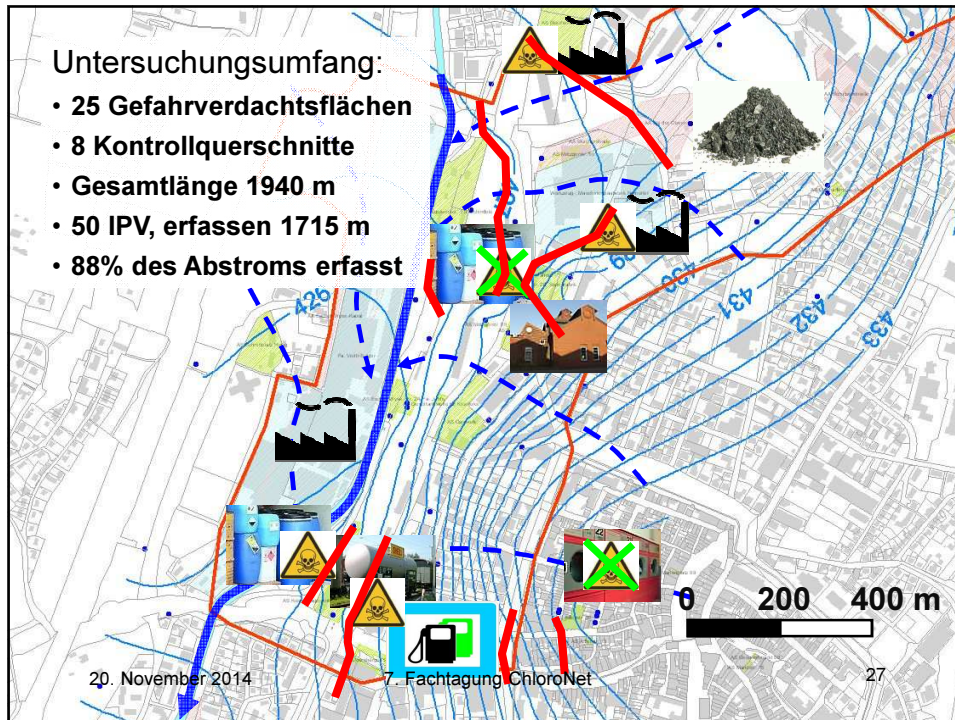
Auftraggeber: Stadt Ravensburg
Bearbeitung: 2003 - 2013
Areal: 1 km²
Aquifer: Kies- und Schwemmfächerablagerungen
Mächtigkeit: 1 - 6 m, typisch 4 m

Altlastensituation: Industrie, Altstandorte, Altablagerungen
 25 Gefahrverdachtsflächen in Gemengelage

Projektziele:

- Abgrenzung von Schadstofffahnen
- Zuordnung der Fahnen zu Schadensherden
- Bewertung der Gefahrverdachtsflächen

20. November 2014 7. Fachtagung ChloroNet 26



			
<p>C-SET Benutzerhandbuch</p>  <p>Dr. Uwe Hekel Dr. Adalbert Hüss Juni 2013</p>	<p>Vergleichsstudie „Aufwand-/Qualitätsverhältnis von Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche“</p>  <p>Dr. Uwe Hekel Juni 2012</p>	<p>Strategie und Methoden einer integralen Untersuchung flacher Porengrundwasserleiter im urbanen Raum</p>  <p>April 2014</p>	<p>Schriftenreihe altlastenforum Baden-Württemberg e. V. Flüchtlingshilfe, Boden- und Grundwasserchutz Heft 16</p>  <p>Grundwasserabstromerkundung mittels Immissionspumpversuchen</p> <p>In Kommission: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Hilgen u. Obermiller - Stuttgart)</p>
<p>www.lubw.baden-wuerttemberg.de -> Anwendungsprogramme -> C-SET www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vergleichsstudie: Auswerteverfahren für Immissionspumpversuche • Bericht: „Strategie und Methoden einer integralen Untersuchung ...“ <p>Schriftenreihe altlastenforum Baden-Württemberg (Heft 16):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundwasserabstromerkundung mittels Immissionspumpversuchen 			
20. November 2014	7. Fachtagung ChloroNet	29	