

Modellierung des Transports gelöster Masse und frachtbezogene Überlegungen

Yvan Rossier
HydroGéAp

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Aufbau der Präsentation

- Definition von Fracht
- Modellierung und Fracht
- Modellierungspraxis
- Gemeinsames Ziel von Modellierung und frachtbezogenen Überlegungen

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Definition von Fracht (1/4)

- Fracht = Massenfluss
- Fluss muss bekannt sein
- Konzentration muss bekannt sein

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Definition von Fracht (2/4)

- Ermittlung des Flusses
 - Bestimmen einer Fläche S [L^2] rechtwinklig zur Flussrichtung (Mächtigkeit d [L] der gesättigten Zone \times Länge L [L] entsprechend dem Querschnitt der Verschmutzungsfahne)
 - Ermitteln von K : hydraulische Konduktivität bei Sättigung [LT^{-1}]
 - Berechnen von $\text{grad}(H)$: Frachtgradient [LL^{-1}]
 - Berechnen des Darcy-Flusses pro Einheit q [$L^3L^{-2}T^{-1}$]: $q = K \cdot \text{grad}(H)$

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Definition von Fracht (3/4)

- **Ermittlung der Konzentration**
 - Berechnen der mittleren Konzentration C [ML^{-3}] für jedes Molekül auf der Bezugsfläche
 - Vgl. Anforderungen an die Datenerhebung – Marc-André Dubath, GEOTEST SA

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Definition von Fracht (4/4)

- **Berechnung der Fracht**
 - Durchfluss Q [L^3T^{-1}] durch die Bezugsfläche: $Q = q \cdot S$
 - Fracht oder Massenfluss Q_c [MT^{-1}] durch die Bezugsfläche:
 $Q_c = Q \cdot C$
- **Die Fracht entspricht der Menge eines bestimmten Stoffes, die innerhalb einer bestimmten Zeit durch den Abstromquerschnitt fließt.**

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierung und Fracht (1/6)

- **Modellierung**

- Darstellung physikalischer Phänomene durch Partielle Differenzialgleichungen
- Durchfluss: Diffusivitätsgleichung oder Richards-Gleichung

$$\nabla(-\bar{K}\nabla H) = S \frac{\partial H}{\partial t} \quad [T^{-1}]$$

- Transport von gelöster Masse (Konvektion, molekulare Diffusion, kinematische Dispersion, Abbau, Adsorption): Konvektions-Diffusions-Gleichung

$$\nabla(-(\bar{D} + d_0)\nabla C) + C\nabla\vec{u} + \vec{u}\nabla C = \varepsilon_c \frac{\partial C}{\partial t} \quad [ML^{-3}T^{-1}]$$

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierung und Fracht (2/6)

- **Modellierung und Auflösung der Gleichungen**

- Für den Abfluss
 - Feld H
 - Abgeleitete Darstellung: Feld q

- **Bestimmung der Abflusssysteme und Massenbilanz**

- Für den Transport gelöster Masse
 - Feld C

- **Bestimmung der Verschmutzungsfahne und Massenbilanz**

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierung und Fracht (3/6)

- **Bezüge zwischen Modellierung und frachtbezogenen Überlegungen**
 - Erstellung der Konvektions-Diffusions-Gleichung
 - Massenbilanz
 - Randwertbedingungen

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierung und Fracht (4/6)

- **Bezüge zwischen Modellierung und frachtbezogenen Überlegungen**
 - Erstellung der Konvektions-Diffusions-Gleichung

In einem durch S begrenzten Untersuchungsbereich mit einem Volumen D lässt sich für jedes in der Gleichung vorkommende Phänomen die Massenbilanz wie folgt formulieren: **Das Integral auf S des in D eintretenden Massenflusses pro Einheit des Elements** entspricht der Veränderung der Menge des Elements im Körper D innerhalb einer Zeiteinheit. **Für die Konvektion beispielsweise entspricht dies:**

$$\int_S c \vec{u} \cdot \vec{n} dS \quad [MT^{-1}]$$

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierung und Fracht (5/6)

- **Bezüge zwischen Modellierung und frachtbezogenen Überlegungen**

- Massenbilanz

Das Feld q erlaubt die Bestimmung der Abflusssysteme (Zustrombereich, der durch Strömungslinien mit dem Abstrom verbunden ist).

Das Feld C erlaubt die Bestimmung der Verschmutzungsfahnen.

Die Modellierung bezieht sich auf einen bekannten Untersuchungsbereich.

- Für die Abstrom- und die Zustrombereiche lassen sich die Massenflüsse berechnen: die Fracht.
- Die Gesamtheit der Frachten entspricht der Massenbilanz.

Modellierung und Fracht (6/6)

- **Bezüge zwischen Modellierung und frachtbezogenen Überlegungen**

- Randwertbedingungen

Die Modellierung liefert ein Feld H und ein Feld q (abgeleitet).

Die Lage der Verschmutzungsquelle ist bekannt.

Die Konzentration an der Quelle ist bekannt.

- Der Massenfluss am Rand der Quelle (an der abstromseitigen Grenze des belasteten Standorts) ist eine Randwertbedingung für die Modellierung eines Feldes C im Untersuchungsbereich.

Modellierungspraxis (1/14)

- Hydrogeologische Untersuchung
- Wie weiter: Nutzen des analytischen Ansatzes
- Wie weiter: Nutzen des numerischen Ansatzes

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierungspraxis (2/14)

- Hydrogeologische Untersuchung
 - Zweck: Es handelt sich um eine Modellierung in dem Sinne, dass die Gleichungen implizit aufgelöst werden.
 - Wo?
 - Wie?
 - Wie viel?
 - Wo: Untersuchungsbereich von vorgegebener Ausdehnung und Tiefe
 - Wie: Bestimmung der Abflusssysteme
 - Wie viel: Massenbilanz
 - Untersuchung «von Hand», evtl. mit einem GIS, einer Software für symbolische Mathematik und einem Tabellenkalkulationsprogramm

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierungspraxis (3/14)

- Hydrogeologische Untersuchung
 - Daten und Informationen
 - Wo: Lithologie, Randwertbedingungen

 - Wie: Messung von H an verschiedenen Standorten, Hypothesen zu Randwertbedingungen, analytische Lösungen für Injektion oder Pumpen

 - Wie viel: Messung von K an verschiedenen Standorten, bekannte Verschmutzungsquellen, Messung von C an verschiedenen Standorten oder Probebohrungen

28. November 2013

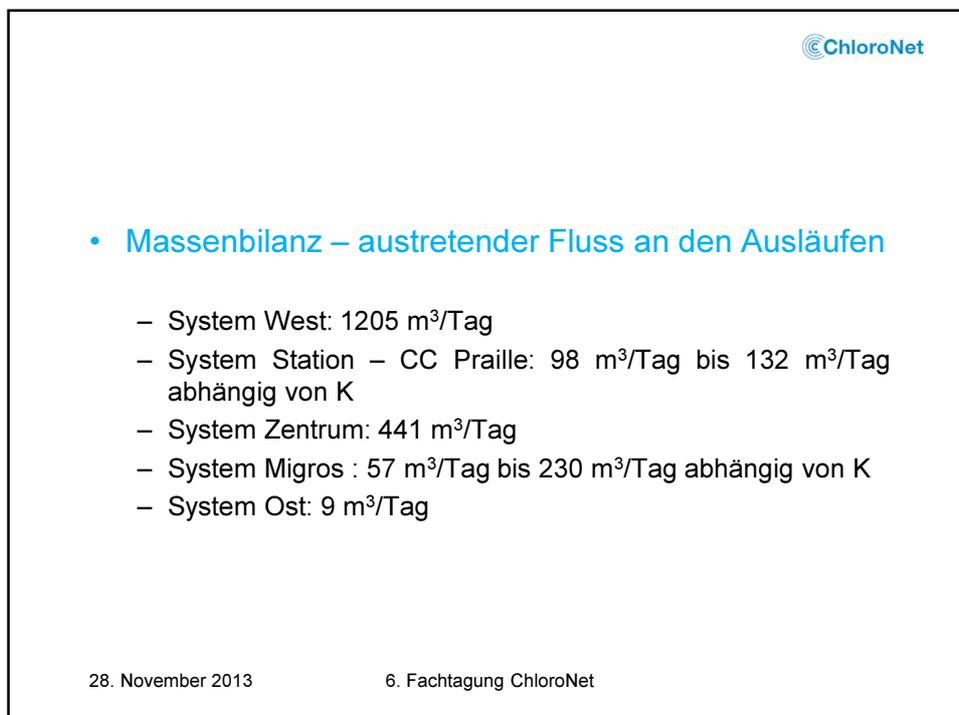
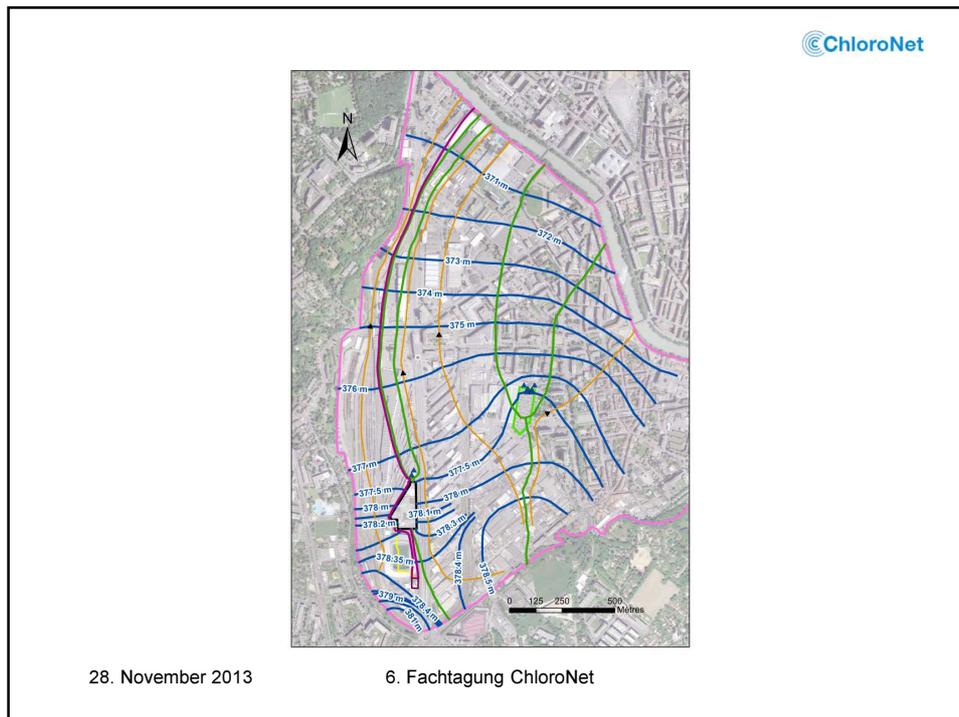
6. Fachtagung ChloroNet

Modellierungspraxis (4/14)

- Hydrogeologische Untersuchung
 - Resultate: La Praille (GE), Auszug aus Untersuchung

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet



Modellierungspraxis (5/14)

- Hydrogeologische Untersuchung

- Einschränkungen

- Bestimmung des Massentransports beschränkt sich ausschliesslich auf die Konvektion

- Ungewissheiten in Bezug auf die Abflusswege

- Transitorischer Charakter schwer darstellbar

- Keine Bestimmung des Feldes C, **aber**: die Verschmutzung zirkuliert im Abflusssystem, von dem sie abhängig ist

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierungspraxis (6/14)

- Wie weiter: Nutzen des analytischen Ansatzes

- Methodologischer Ansatz:

- Analytische Lösungen der für den Transport gelöster Masse massgebenden Gleichungen in 1D, 2D und 3D für verschiedene Abflusstypen (natürlich, radial-konvergierend, radial-divergierend) und für verschiedene Arten der Injektion an der Quelle (kontinuierlich, Zeitspanne, einmalig)

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierungspraxis (7/14)

- **Wie weiter: Nutzen des analytischen Ansatzes**
 - **Resultate:**
Feld C (zeitlichen Veränderungen unterworfen) in einem 1D-, 2D- oder 3D-Bereich bei einheitlichem und konstantem Abfluss

28. November 2013

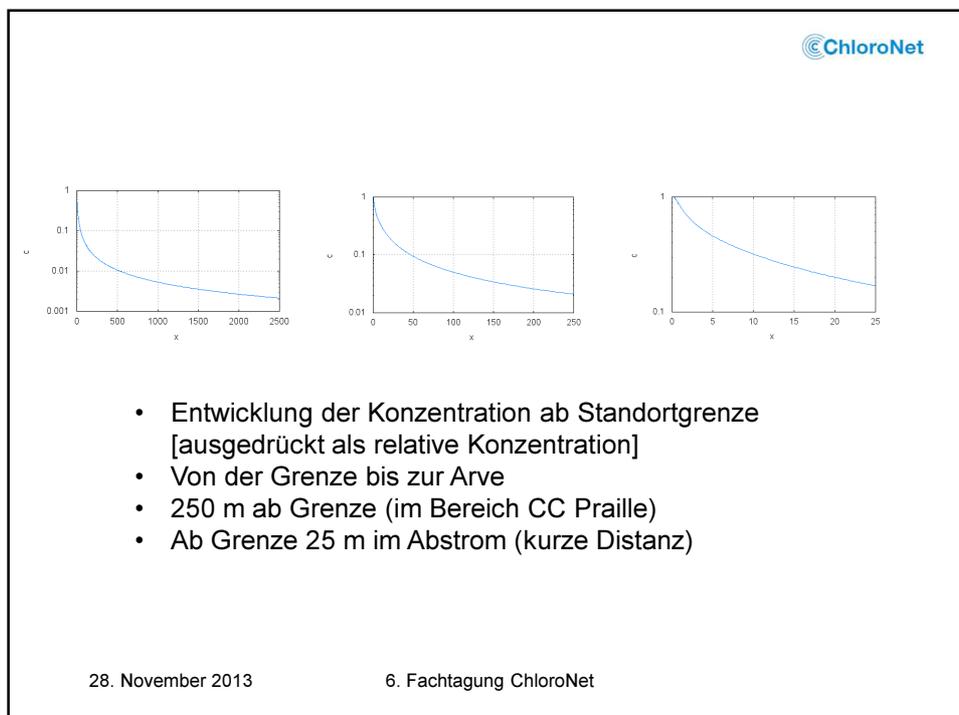
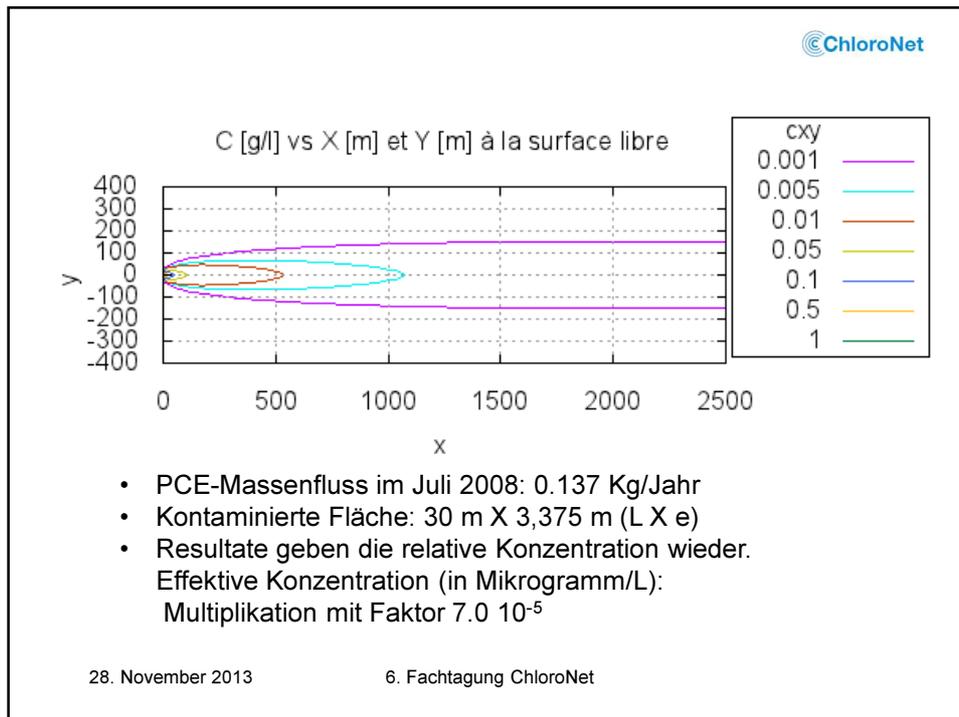
6. Fachtagung ChloroNet

Modellierungspraxis (8/14)

- **Wie weiter: Nutzen des analytischen Ansatzes**
 - **Beispiel: La Praille (GE)**

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet



Modellierungspraxis (9/14)

- **Wie weiter: Nutzen des analytischen Ansatzes**
 - Daten und Voraussetzungen:
Hydrogeologische Untersuchung
Fracht bei der Quelle
Programmierung der analytischen Lösungen oder Verwendung einer spezifischen Software

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierungspraxis (10/14)

- **Wie weiter: Nutzen des analytischen Ansatzes**
 - Einschränkungen:
Feld q einheitlich und konstant
Feld K einheitlich und konstant
Unendliches Milieu, isotrop
 - **Eher ein «Screening» des Verhaltens**

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierungspraxis (11/14)

- **Wie weiter: Nutzen des numerischen Ansatzes**

- Methodologischer Ansatz:

Numerische Lösungen des Abflusses und des Transports gelöster Masse in 2D oder 3D, im Dauer- oder Übergangszustand

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Modellierungspraxis (12/14)

- **Wie weiter: Nutzen des numerischen Ansatzes**

- Resultate:

Feld H (zeitlichen Veränderungen unterworfen) in einem 2D- oder 3D-Bereich

Feld C (zeitlichen Veränderungen unterworfen) in einem 2D- oder 3D-Bereich

28. November 2013

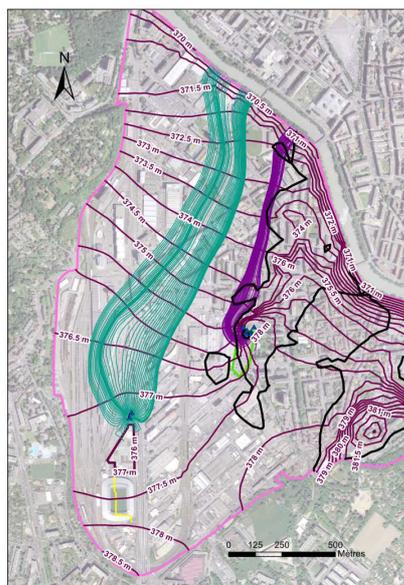
6. Fachtagung ChloroNet

Modellierungspraxis (13/14)

- **Wie weiter: Nutzen des numerischen Ansatzes**
 - Beispiel: La Praille (GE)

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

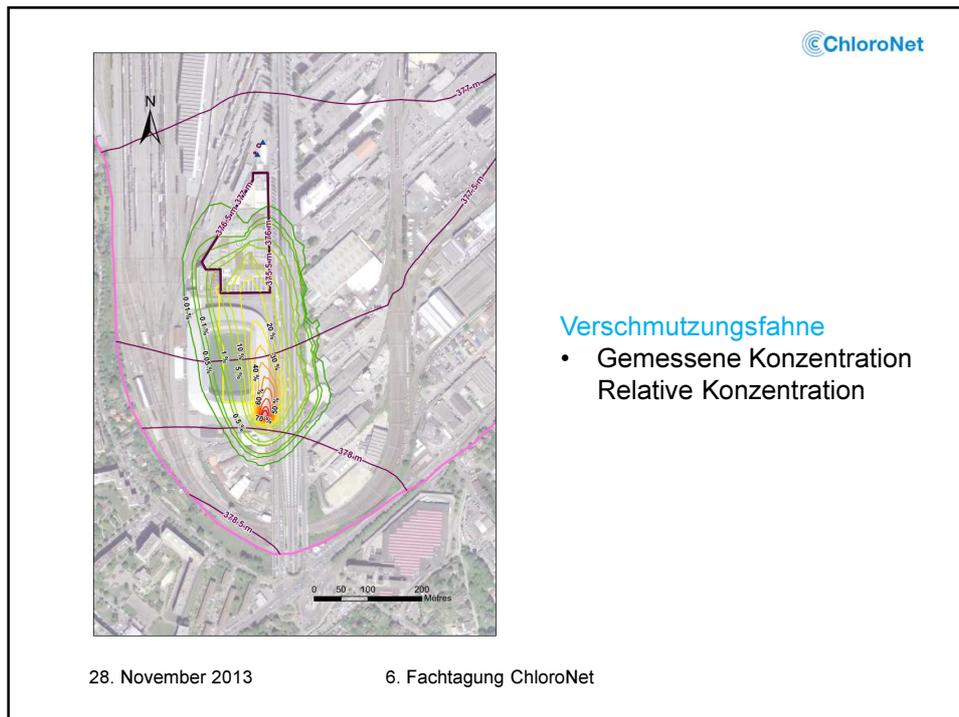


Abfluss

- Äquipotenziallinien
- Strömungslinien
- Gesättigte und ungesättigte Zone
- Verteilung der Abflusssysteme

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet



©ChloroNet

Modellierungspraxis (14/14)

- **Wie weiter: Nutzen des numerischen Ansatzes**
 - Daten und Voraussetzungen:
 - Hydrogeologische Untersuchung
 - Kenntnis der numerischen Methoden
 - Verwendung einer spezifischen Software

28. November 2013 6. Fachtagung ChloroNet

Fazit: Gemeinsames Ziel von Modellierung und frachtbezogenen Überlegungen (1/3)

- Hierarchisierung der Standorte und Individualisierung der Quellen
- Bessere Kenntnis des «Schicksals» der Schadstoffe
- Beitrag zur Risikobeurteilung
- Zur Beurteilung der Dringlichkeit und der Sanierungsziele oder zur Anpassung der Sanierungsziele
- Zur Festlegung der notwendigen Massnahmen
- Bei der Beurteilung des Sanierungserfolgs

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet

Fazit: Gemeinsames Ziel von Modellierung und frachtbezogenen Überlegungen (2/3)

- Nutzen für die Voruntersuchung
- Nutzen für die Detailuntersuchung
- Nutzen für das Sanierungsprojekt
- Nutzen für die Erfolgskontrolle

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet



Fazit: Gemeinsames Ziel von
Modellierung und frachtbezogenen
Überlegungen (3/3)

Vgl. Anwendungsbereiche von Frachtbetrachtungen –
Bettina Flury _ CSD

28. November 2013

6. Fachtagung ChloroNet