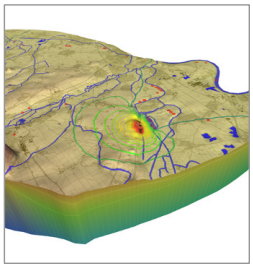
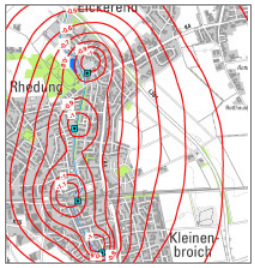
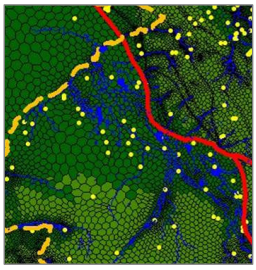
Möglichkeiten und Grenzen von Grundwassermodellen sowie deren Einsatz im Rheinischen Braunkohlenrevier

Dipl.-Geoökol. Stefan Simon
Abt. Grundwasser







Erft Verband
Wasserwirtschaft
für unsere Region.

23.03.2012, Anrufungsstelle Bergschaden Braunkohle NRW

Gliederung

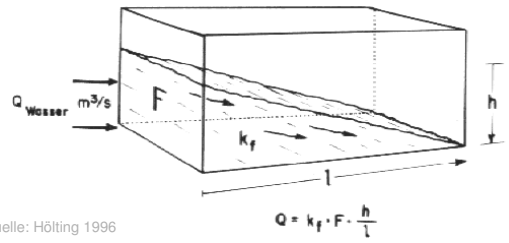
1. Grundwassermodelle
   - Definition, Typische Fragestellungen
   - Räumliche und zeitliche Dimensionalität
2. Datenfluss bei der Grundwassermodellierung
3. Unsicherheiten bei der Grundwassermodellierung
4. Grundwassermodelle im Rheinischen Braunkohlenrevier
   - Reviermodell, Nordraummodell (RWE Power AG, Erftverband)
   - Großraummodell, Schwalmmodell (LANUV NRW)
   - Grundwassermodell Neuss (Erftverband)
   - Grundwassermodell Untere Erft (Erftverband)
5. Zusammenfassung

Erft Verband

Grundwassermodell

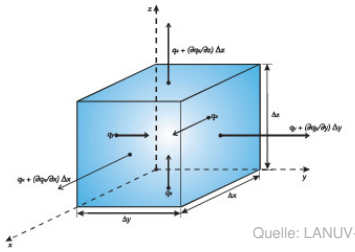
- Werkzeug zur Simulation von Strömungsvorgängen, dem Transport von gelösten Wasserinhaltsstoffen und der Wärmeausbreitung in einem Aquifer

Darcy-Fließgesetz



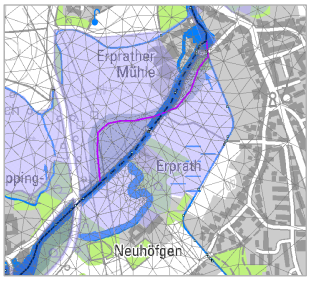
Quelle: Hölting 1996

Bilanzgleichung



Quelle: LANUV-Arbeitsblatt 12, 2010

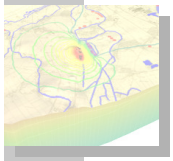
Numerische Lösung der Strömungsgleichung



Erft Verband

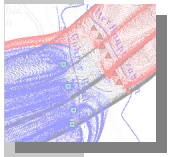
Grundwassermodelle – Typische Frage-stellungen

- Anwendung von Strömungsmodellen



  - Vorhersagen zu Grundwasserständen bei veränderten Rahmenbedingungen, z. B. zusätzliche Grundwasserentnahme
  - Optimierung von Entnahmeraten
  - Ermittlung von Grundwasserbilanzen und Einzugsgebieten
  - Optimierung von Überwachungsprogrammen (z. B. Monitoring-Messnetz)
  - Auswahl und Optimierung hydraulischer Sicherungsstrategien

- Anwendung von Transportmodellen



  - Prognose der Ausbreitung von (Schad)Stoffen (z. B. Austräge aus Abraumkippen)
  - Risikoabschätzung bei Altlastenbewertungen
  - Optimierung von Sanierungsstrategien

Erft Verband

Räumliche und zeitliche Dimensionalität – Modelltypen

- Räumliche Dimensionalität (2D, 3D)

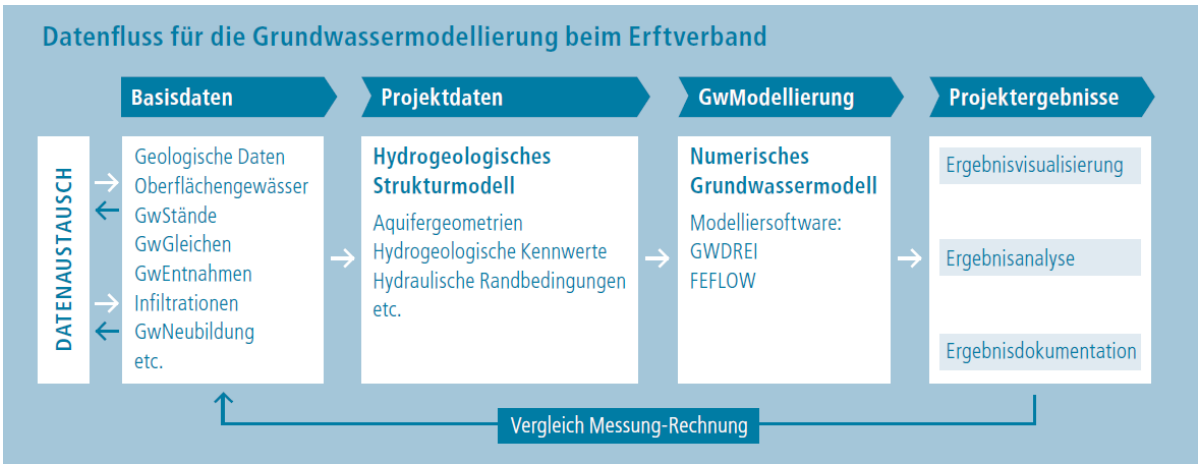
2D-Simulation	3D-Simulation
gering mächtiger *Grundwasserleiter* im Vergleich zur horizontalen Ausdehnung der Grundwasserbelastung	mächtiger *Grundwasserleiter* im Vergleich zur horizontalen Ausdehnung der Grundwasserbelastung
keine differenzierte Schichtausbildung	differenzierte Schichtausbildung
keine Stockwerksgliederung	Stockwerksgliederung
Schadstoffbelastung nicht auflösbar in der Vertikalen	Schadstoffbelastung ist differenziert in der Vertikalen
Vertikalgradienten vernachlässigbar	Vertikalgradienten nicht vernachlässigbar
Datenlage beschränkt auf vollkommene Messstellen	Tiefendifferenzierte Daten liegen vor

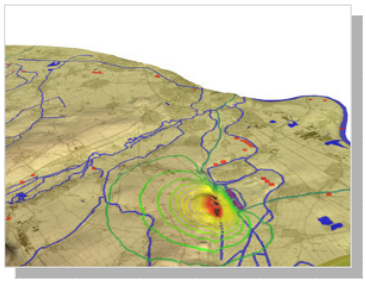
Quelle: LANUV-Arbeitsblatt 12, 2010

- Zeitliche Dimensionalität (stationär/instationär)
  - *stationäre Betrachtung*: zeitlich stabiles Strömungsregime, vereinfachte Betrachtung
  - *instationäre Betrachtung*: zeitliche Entwicklung von GwStandshöhen ist für die Fragestellung von Bedeutung

Erft Verband

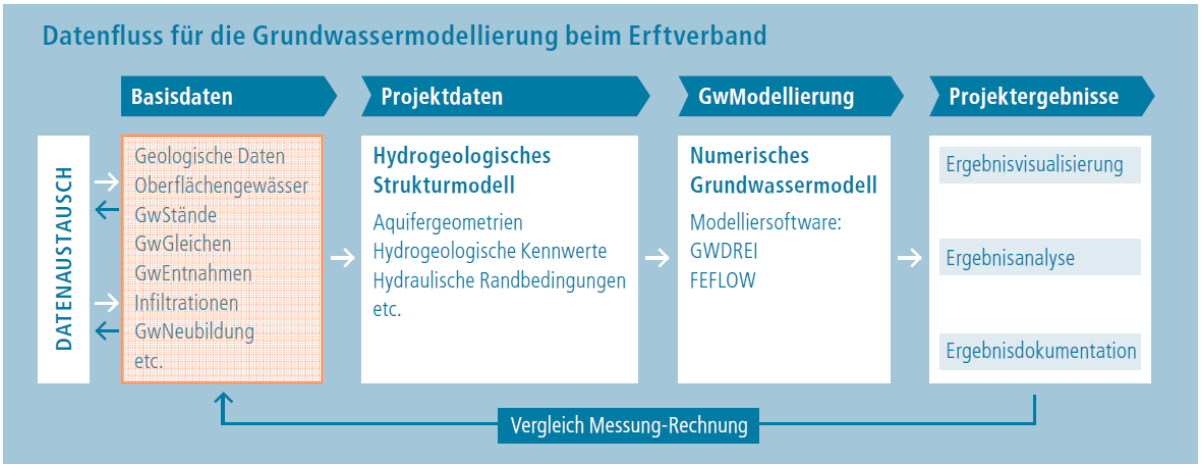
Grundwassermodellierung – Datenfluss





Erft Verband

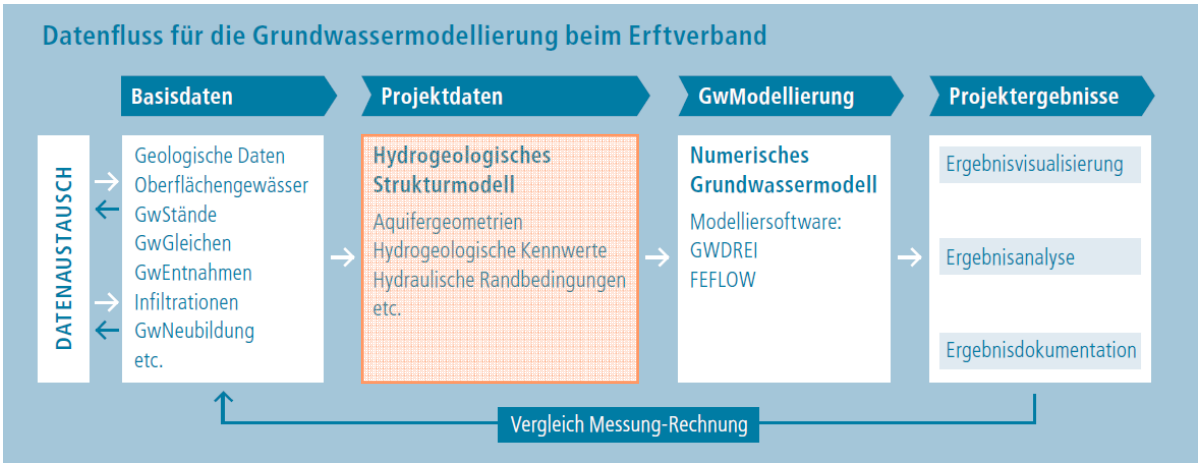
Grundwassermodellierung – Basisdaten



Datengrundlage	Datenart	Quelle
Geologische Daten	Bohrdaten, Verbreitungs-/Höhendaten	AK Geologische Modellgrundlagen (LANUV, GD, RWE, EV etc.)
Oberflächengewässer	Verlauf, Mittelwasserstände, Pegelstände	Wasserverbände, LANUV NRW
GwStände	Einzelwerte, Zeitreihen	GwDatenbank (Datenaustausch zw. EV, RWE, LANUV, BR'en)
GwEntnahmen	Jahresmengen	Entnahmedatenbank EV, Monitoring
Infiltrationen	Monatsmengen	Infiltrationsdatenbank EV/RWE
GwNeubildung	Flächendifferenzierung, Zeitfaktoren	EV, LANUV, GD
Geländedaten	Höheninformationen (DGM)	BR Köln, GEObasis.nrw
...	...	...

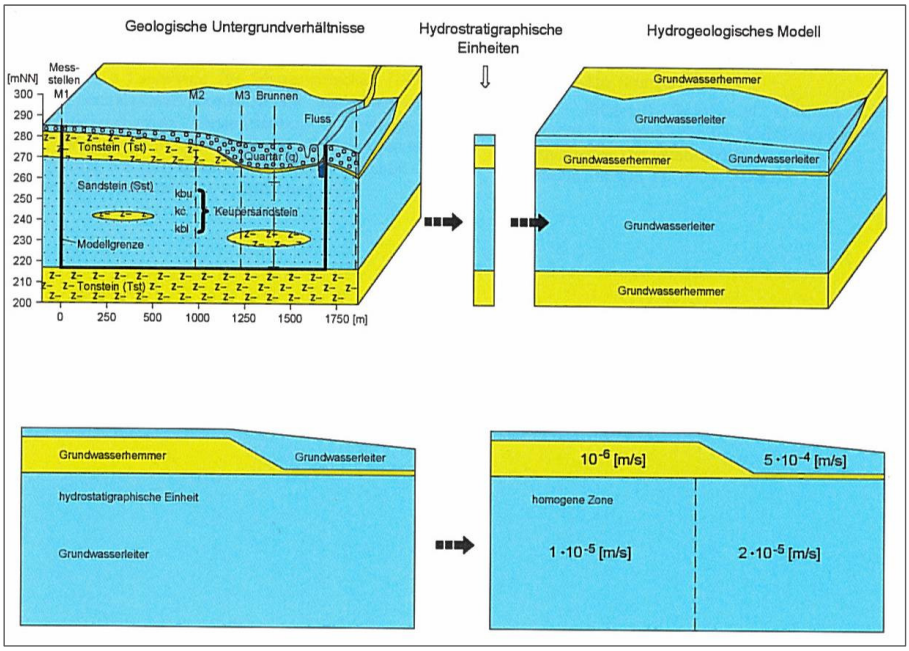
Erft Verband

Grundwassermodellierung – Projektdaten



Erft Verband

Entwicklung eines Hydrogeologischen Strukturmodells



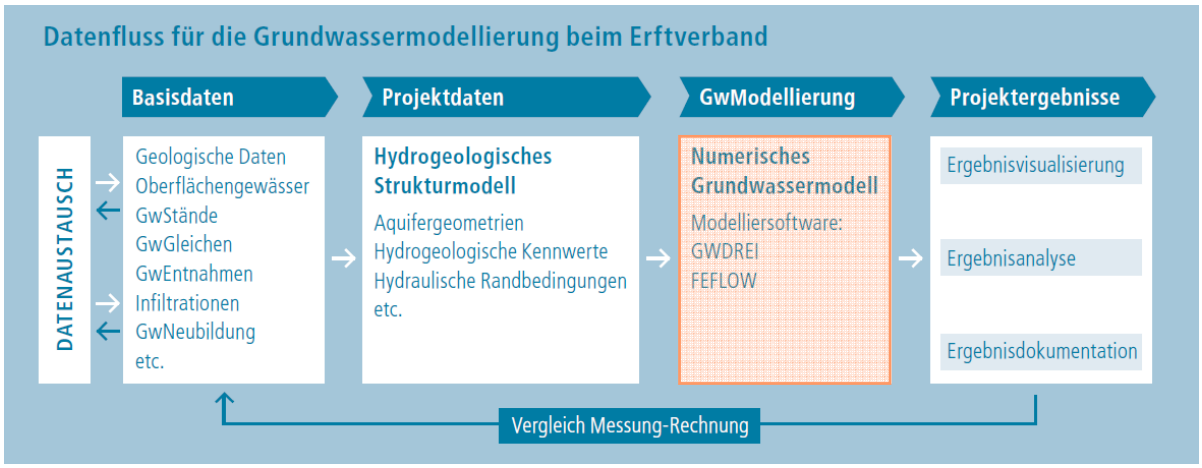
Abstraktion und Vereinfachung geologischer Strukturen

Parameterbelegung und Evaluierung des Modellkonzeptes

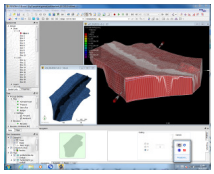
Quelle: SDGG, Hydrogeologische Modelle, 2010, Heft 70

Erft Verband

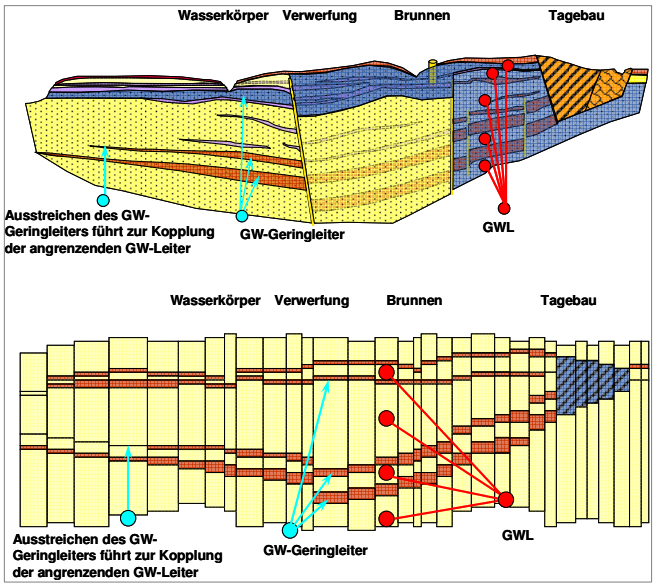
Grundwassermodellierung – Modellaufbau (1)



- GWDREI – Programmsystem zu Simulation der gesättigten 3D Grundwassermengen- und -güteströmung in bergbaulich beeinflussten Strömungsräumen
  (Entwicklung: RWE Power AG, Einsatz: RWE Power AG, Erftverband)
- FEFLOW – Softwarepaket zur Berechnung von Wasserströmung, Massen- und Wärmetransport in porösen Medien
  (Entwicklung: DHI-WASY GmbH, Einsatz: Erftverband, LANUV NRW)



Grundwassermodellierung – Modellaufbau (2)

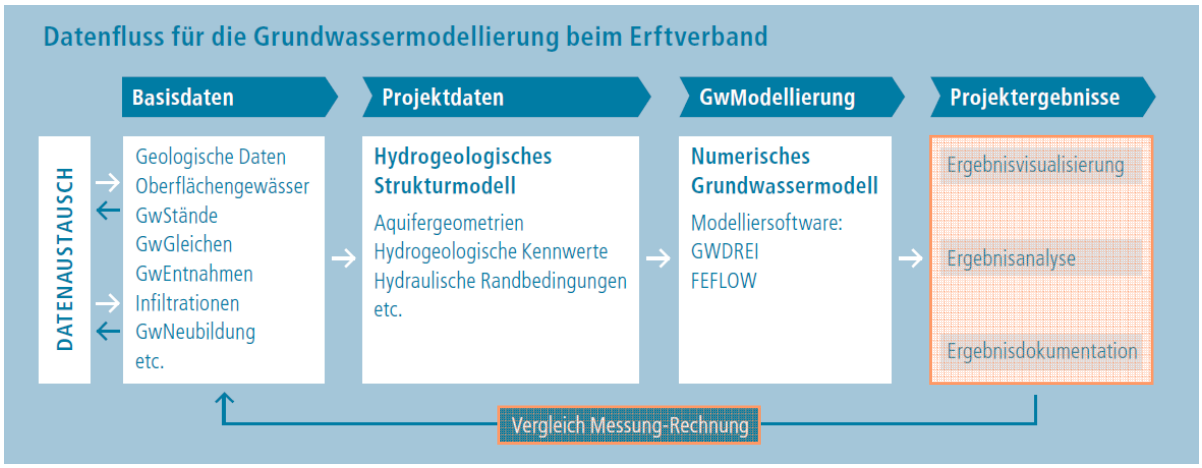


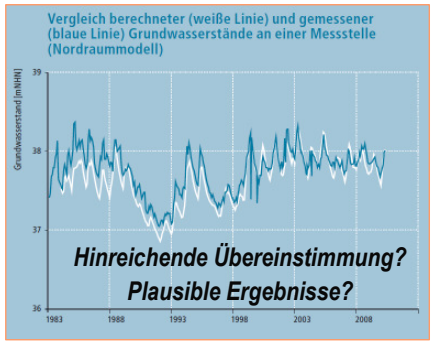
Quelle: RWE Power AG

- Übertragung hydrogeologischer Verhältnisse in numerisches GwModell
- Berücksichtigung der Verbreitung von Leitern und Geringleitern
- Berücksichtigung der Kopplung von Leitern

Erft Verband

Grundwassermodellierung – Kalibrierung (1)





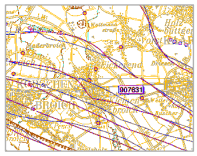
Erft Verband

Grundwassermodellierung – Kalibrierung (2)

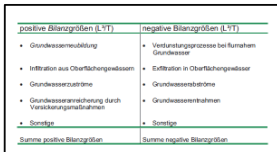
Variation von Aquiferparametern (Vertrauensbereiche)

geologische bis Schicht	Erftscholle		Rurscholle	
19				
18				
17				
16	L1	2.0E-04 bis 2.0E-03	L1	1.0E-04 bis 1.0E-03
15				
14				
13				
12				

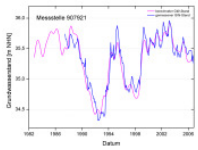
Beschreibung des Grundwasser-strömungsgeschehens



Güte der Modellkalibrierung



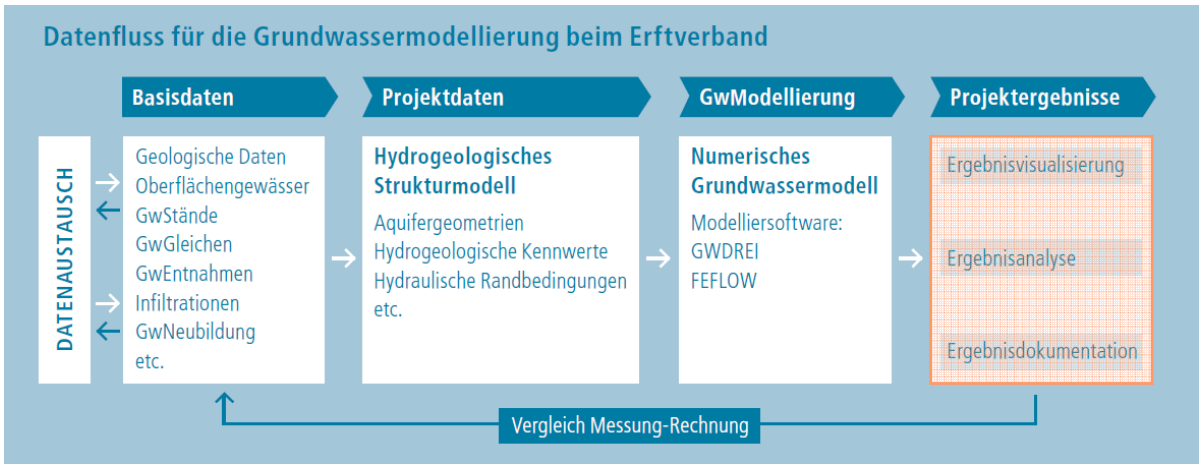
Wiedergabe von Bilanzgrößen

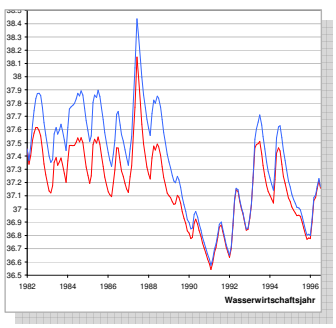


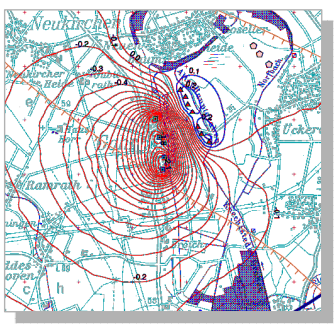
Beschreibung der Grundwasserstandsdynamik

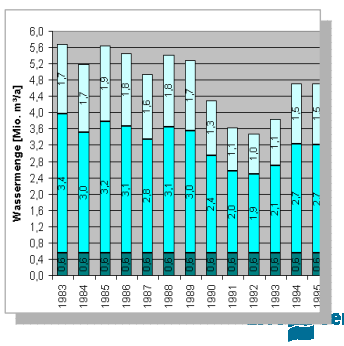
Erft Verband

Grundwassermodellierung – Simulation (1)



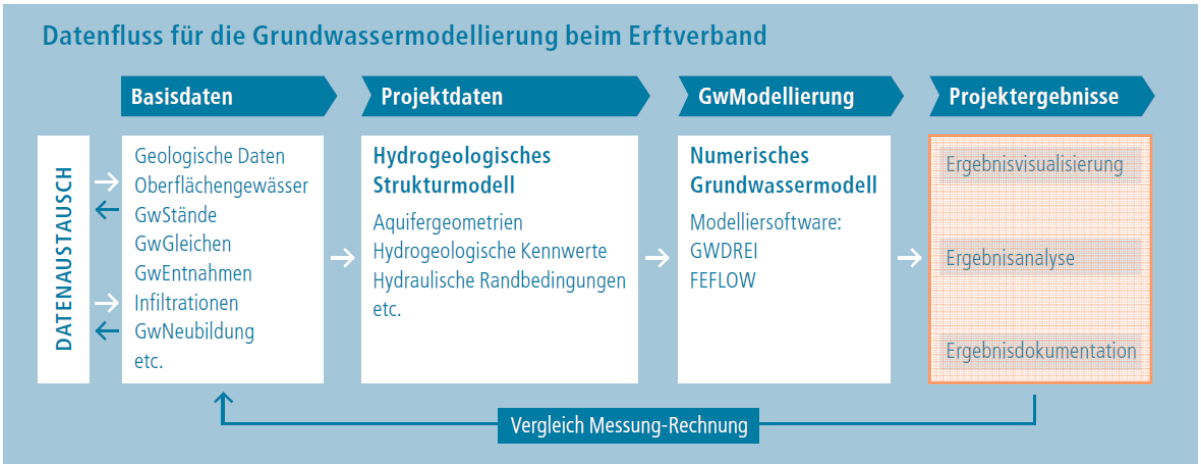


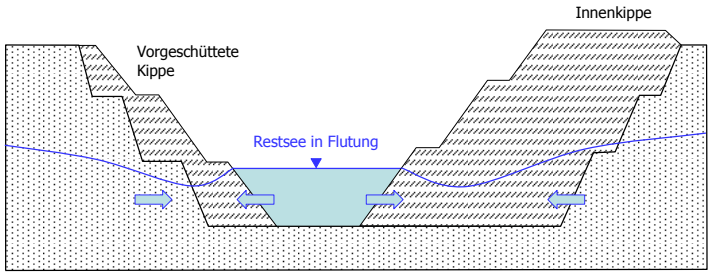




Erft Verband

Grundwassermodellierung – Simulation (2)





Quelle: RWE Power AG

- Ermittlung wasserwirtschaftlicher Verhältnisse für Zeitpunkte in der Zukunft (z.B. Füllcharakteristik von Restseen)

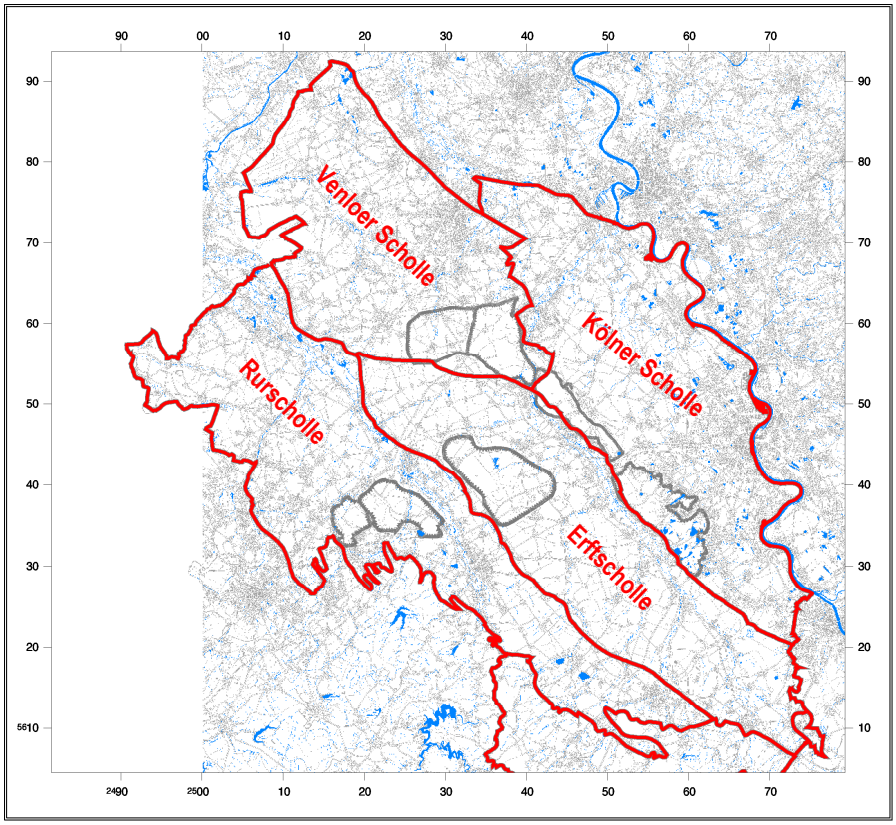
Erft Verband

Unsicherheiten bei der Grundwasser-modellierung

- Ursachen in der Datengrundlage
  - Geländebefund (Bohrdaten) ⇔ hydrogeologisches Modell ⇔ Grundwassermodell
  - Zusammenfassung von Daten verschiedenen Typs (harte/weiche Daten)
  - Messfehler
  - ...
- Ursachen in der Modellkonzeption
  - vereinfachte Beschreibung der Prozesse und Wechselwirkungen im Hydrogeologischen Modell / im Grundwassermodell
  - räumliche / zeitliche Diskretisierung
  - Randbedingungen / Parametrisierung
  - ...

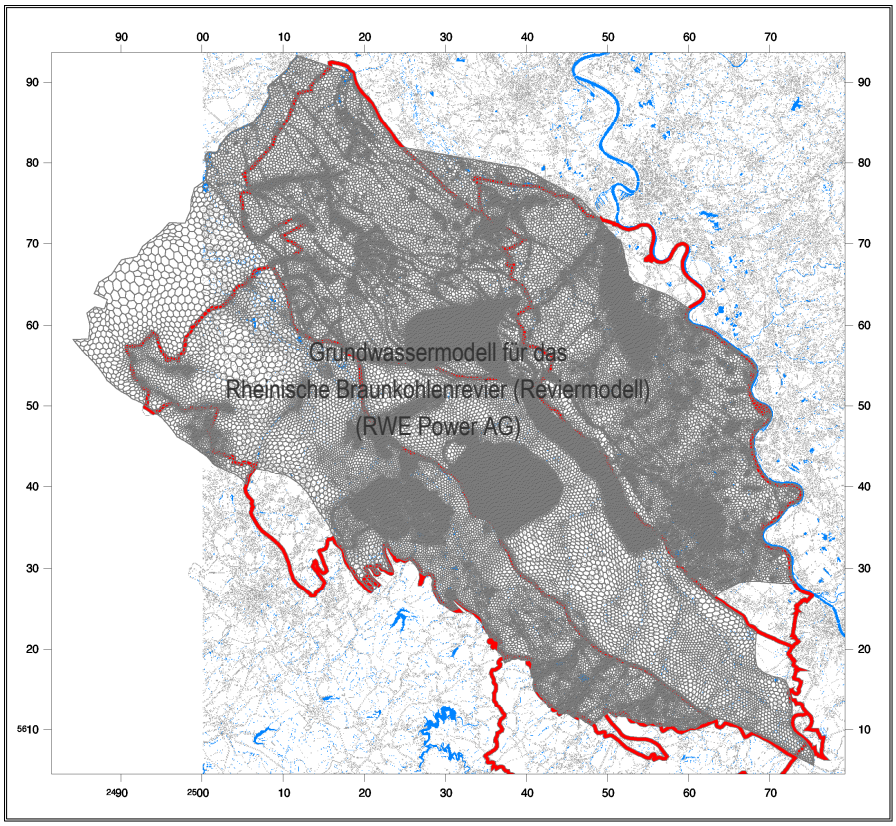
Erft Verband

Grundwassermodelle im Rheinischen Braunkohlenrevier – Übersicht



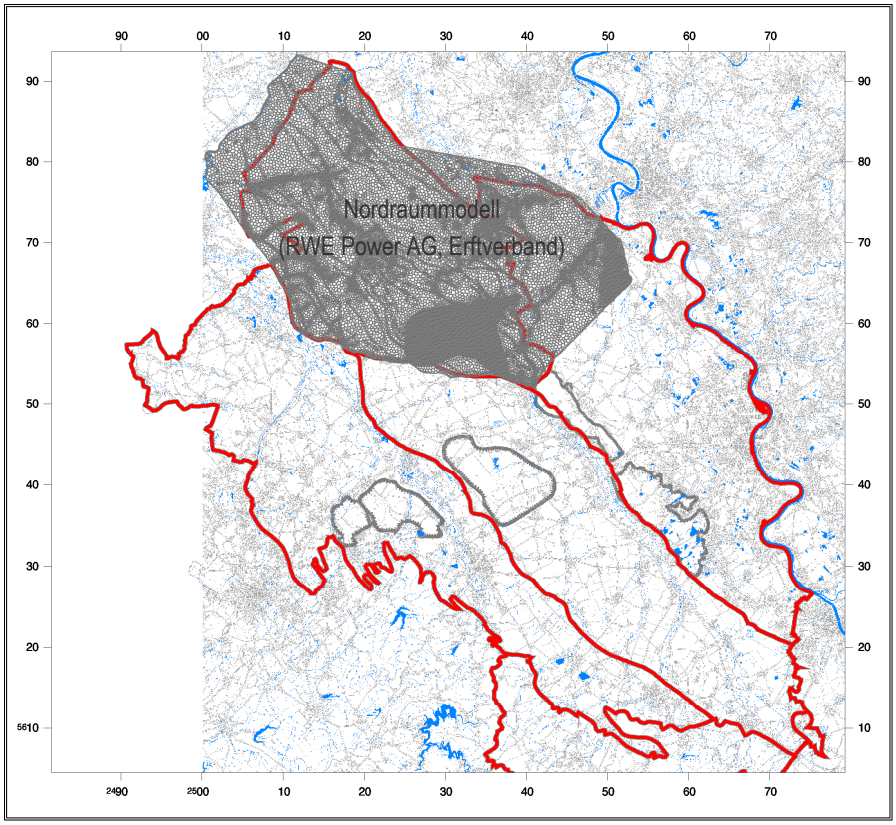
Erft Verband

Grundwassermodelle im Rheinischen Braunkohlenrevier – Übersicht



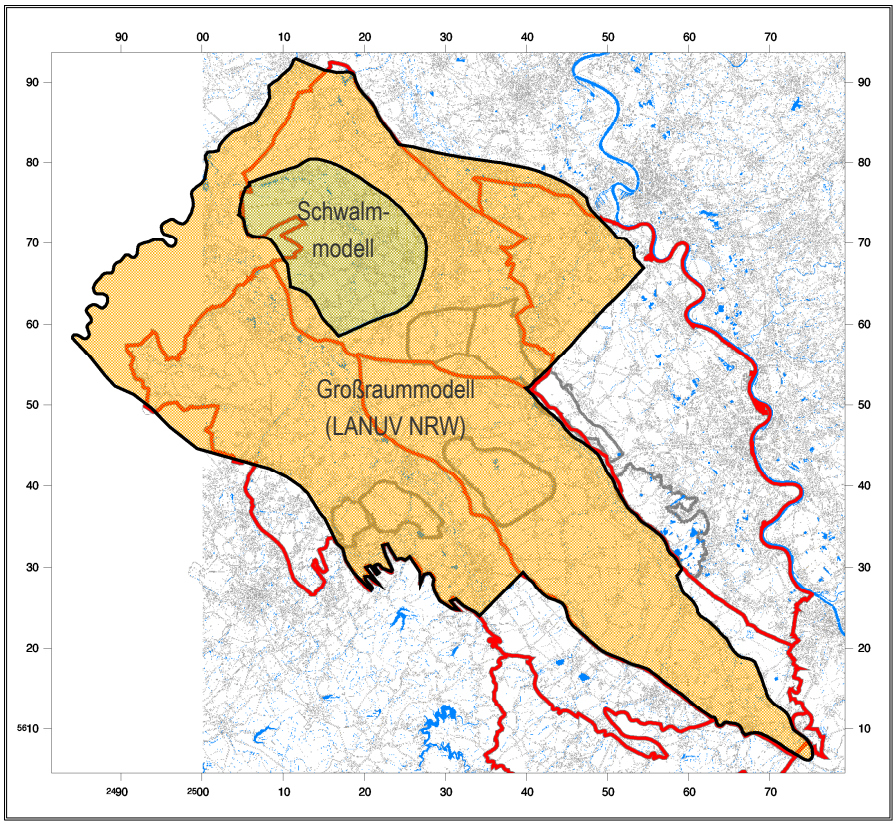
Erft Verband

Grundwassermodelle im Rheinischen Braunkohlenrevier – Übersicht



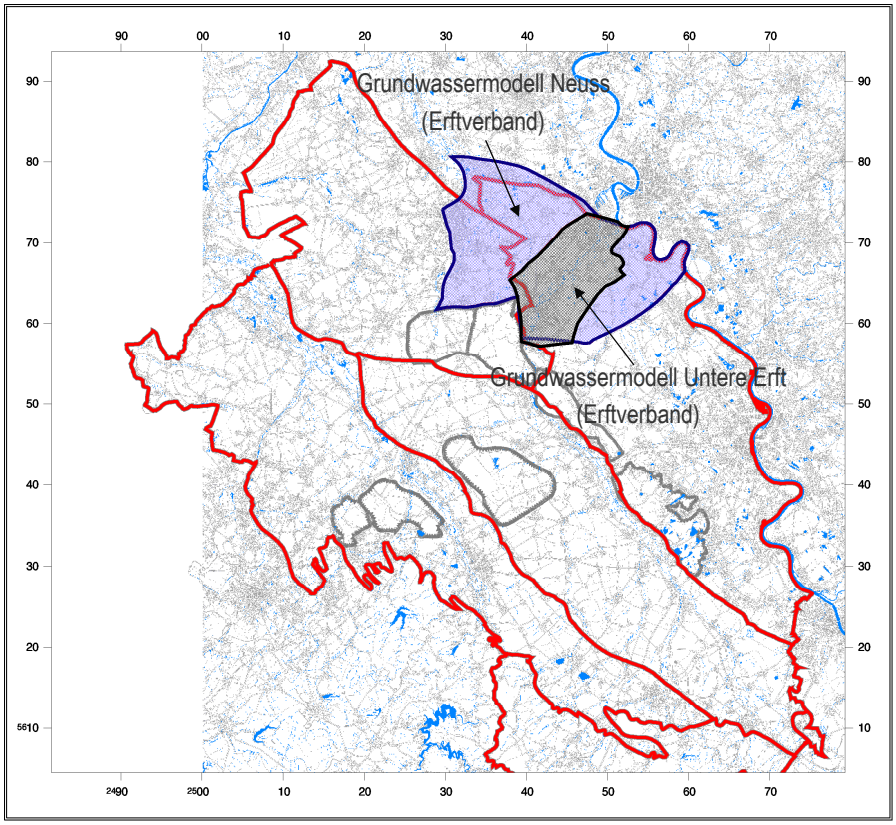
Erft Verband

Grundwassermodelle im Rheinischen Braunkohlenrevier – Übersicht



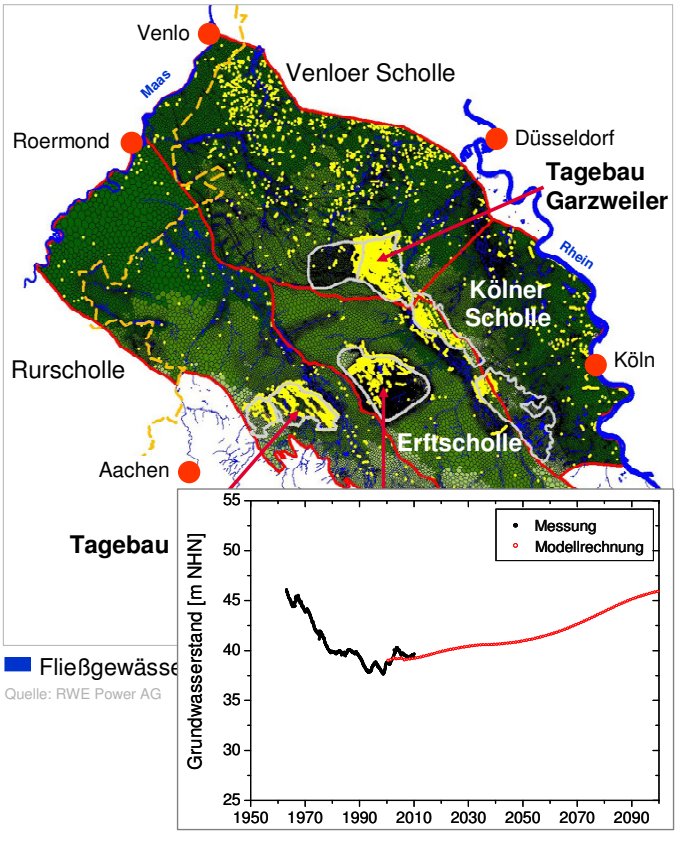
Erft Verband

Grundwassermodelle im Rheinischen Braunkohlenrevier – Übersicht



Erft Verband

Reviermodell (1)



- Grundwassermodell für das Rheinische Braunkohlen-revier (> 4.000 km²)
- Vertikalaufbau: 12 Grundwasserleiter / 11 Grundwassergeringleiter
- Kopplung der Einzelmodelle über hydrogeologische „Schollen“-Grenzen hinweg
- Simulationszeitraum: 1970 bis stationärer Endzustand
- Berücksichtigung von Bodenbewegungen im stationären Endzustand
- Einsatz durch RWE Power AG und Erftverband

Erft Verband

Reviermodell (2) – Berücksichtigung von Bodenbewegungen

Grundwassermodell stationärer Endzustand 2200

Beträge der Grundwasserstandsabsenkungen und -wiederanstiege

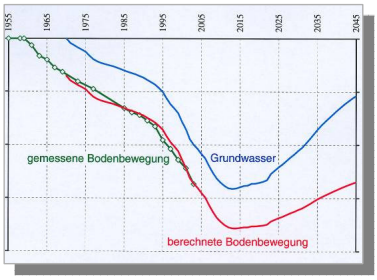
Ermittlung der Bodensenkungen und -hebungen mit Hilfe eines analytischen Modells

Implementierung der veränderten Geländeoberkante und der veränderten Randbedingungshöhen in die Modelldaten

Weiterführung des Grundwassermodells auf Basis des stationären Endzustands 2200 unter Berücksichtigung der Bodenbewegungsbeträge

Grundwasserstände für den stationären Endzustand unter Berücksichtigung der Bodenbewegungsbeträge

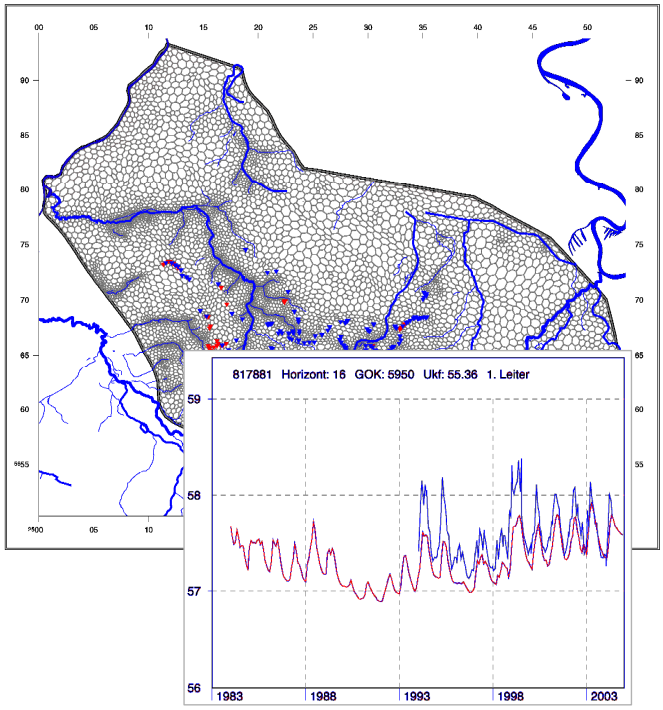
Quelle: RWE Power AG



Quelle: RWE Power AG

Erft Verband

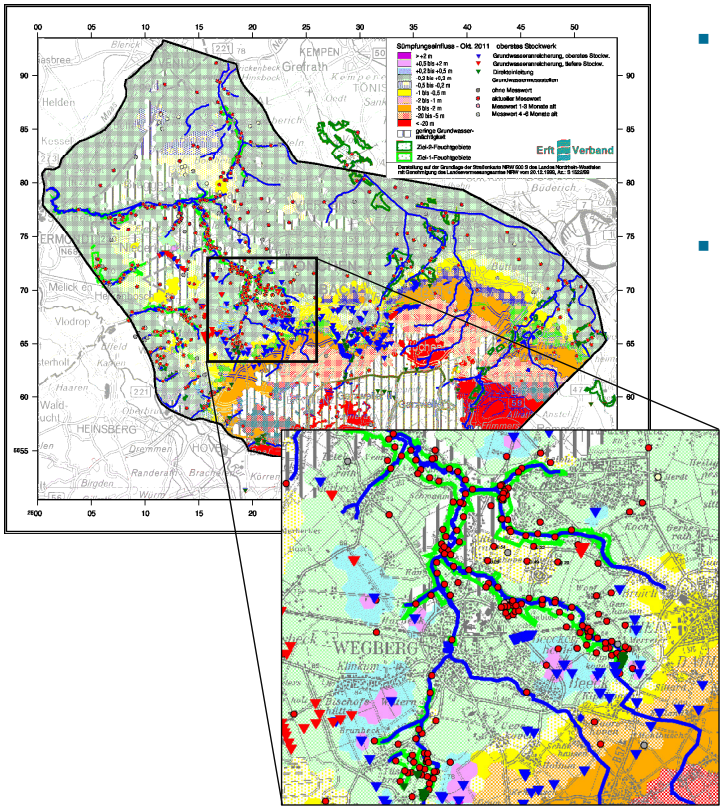
Nordraummodell – Monitoring Garzweiler II (1)



- Quasi-3-D Finite Differenzenmodell (GWDREI)
- Modellgebiet: 1.250 km²
- Vertikalaufbau: 4 Grundwasserleiter / 3 Grundwassergeringleiter
- Simulationszeitraum: 1970 - aktuell
- Simulation **mit** und **ohne** Bergbaueinfluss
- Einsatz bei Erftverband

Erft Verband

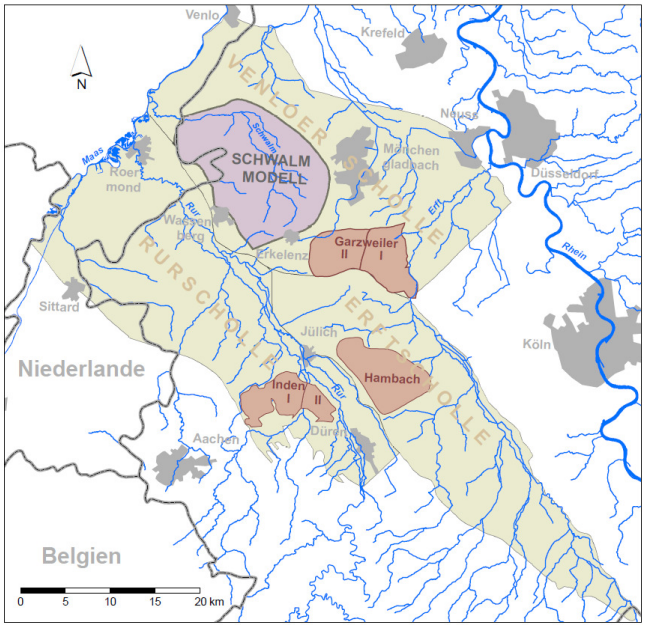
Nordraummodell – Monitoring Garzweiler II (2)



- Ermittlung des Einflusses der Sümpfungs- und Gegenmaßnahmen (Tagebau Garzweiler II)
- Einsatz als Frühwarnsystem (in Kombination mit statistischem Verfahren)

Erft Verband

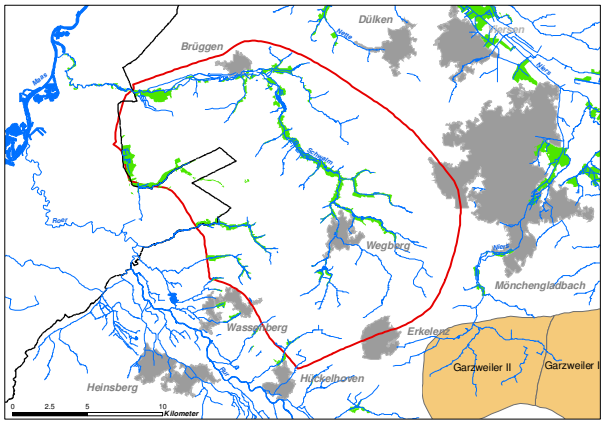
Großraummodell für das Rheinische Braunkohlenrevier



- Aufbau an IWW (RWTH Aachen)
- zukünftig: 3-D Finite Element Grundwassermodell (FEFLOW)
- Modellgebiet: ca. 3.000 km²
- Vertikalaufbau:
  8 Grundwasserleiter /
  7 Grundwassergeringleiter
- Simulationszeitraum: 1970 - 2100
- Einsatz bei LANUV NRW

Erft Verband

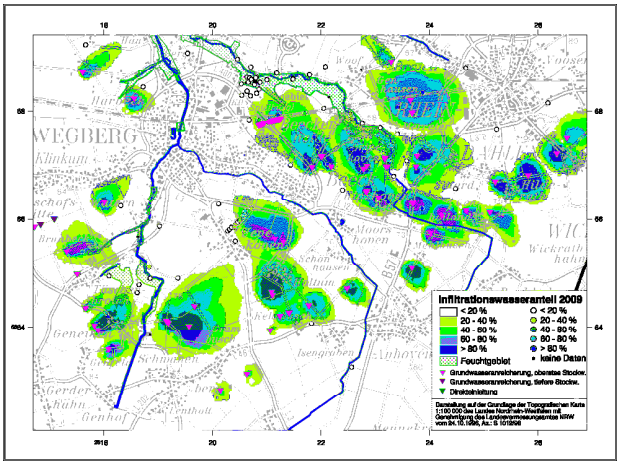
Schwalmmodell (1)



- 3-D Finite Element Grundwassermodell (FEFLOW)
- Kombination von Strömungs- und Transportmodellierung
- Modellgebiet: 313 km²
- Vertikalaufbau: 23 Schichten
- FE-Netz: pro Schicht ca. 32.000 Elemente
- Kalibrierungszeitraum: 1980 - 2003
- Einsatz im Monitoring Garzweiler II durch LANUV NRW

Erft Verband

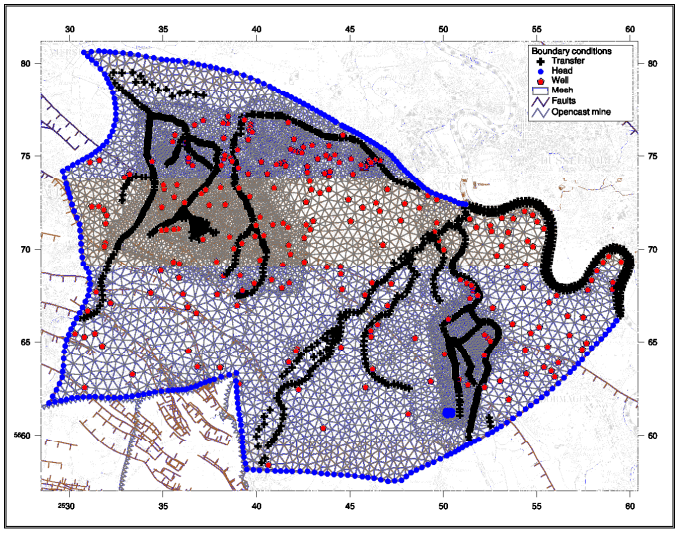
Schwalmmodell (2)



- Simulationsrechnung zur Ausbreitung des Infiltrations-wassers mit dem Schwalmmodell (idealer Tracertransport)
- Auswertung der gemessenen HCO_3-Konzentration
- Zusammenführung der Ergebnisse mit Kriging-Verfahren

Erft Verband

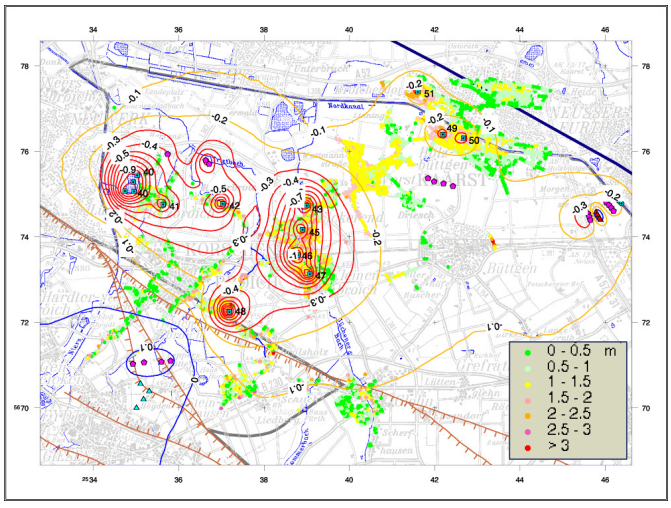
Grundwassermodell Neuss (1)



- 3-D Finite Element Grundwassermodell (FEFLOW)
- Modellgebiet: 435 km²
- Vertikalaufbau:
  4 Grundwasserleiter / 3 Grundwassergeringleiter
- FE-Netz:
  95.000 Elemente mit Netzverdichtung in Aussagegebieten
- Simulationszeitraum: 1982 - 2006
- Simulation **mit** und **ohne** Bergbaueinfluss
- Einsatz bei Erftverband

Erft Verband

Grundwassermodell Neuss (2)

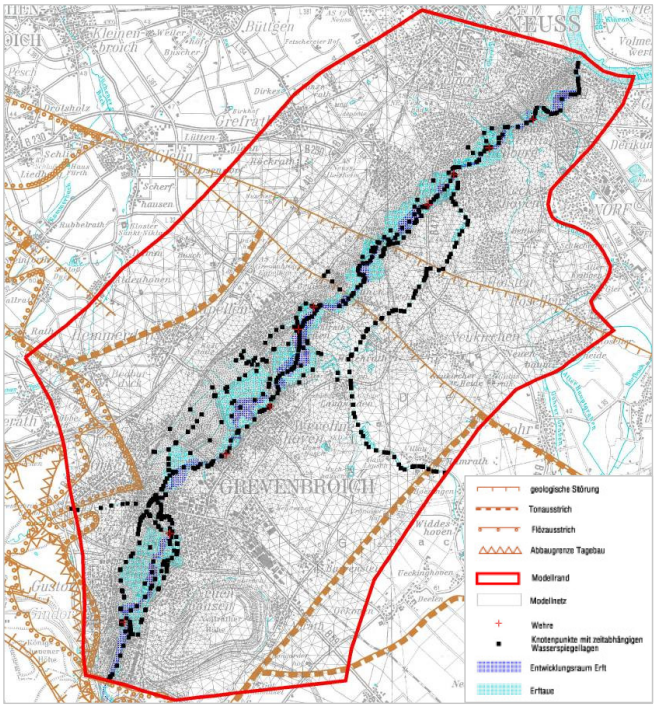


GwDifferenz zur Vergleichsrechnung, April 1988, künstlich erhöhte GWN

- Durchführung von Modell-studien zur Reduzierung der Betroffenheiten durch hohe GwStände (Korschenbroich)
- Ermittlung geeigneter Brunnenstandorte für Kappung von GwSpitzen (Studie im Jahr 2008)
- Ableitung von wasser-wirtschaftlich vertretbaren Kappungszielen an Brunnen

Erft Verband

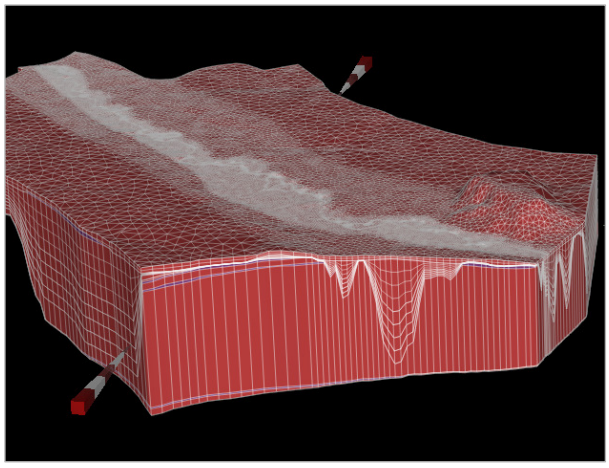
Grundwassermodell Untere Erft (1)



- 3-D Finite Element Grundwassermodell (FEFLOW 6)
- Modellgebiet: ca. 140 km²
- komplexer bis einfacher Stockwerksaufbau mit Berücksichtigung lokaler Stauer im Auenbereich
- Instationäre Kalibrierung über 28 Jahre (1982-2010)
- Zustände:
  - 1955 (vorbergbauliche Situation)
  - Zustand maximaler GwStände
  - Ist-Situation
  - Prognosezustände 2045 und 2400

Erft Verband

Grundwassermodell Untere Erft (2)



- Untersuchung der Auswirkungen von Planungs-varianten der Gewässer-umgestaltung im Bereich der Erftaue
- 01 - 08/2012: Modellaufbau/-kalibrierung (extern)
- zukünftiger Einsatz bei Erftverband

Erft Verband

Zusammenfassung

- Grundwassermodelle (im Rheinischen Braunkohlen-revier)

  - stellen wichtige und komplexe Instrumentarien zur Simulation von Strömungs- und Transportvorgängen im Grundwasser dar,

  - ermöglichen belastbare Aussagen zu Sümpfungseinfluss, Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen, Stoffausbreitung etc.,

  - basieren überwiegend auf gemeinsam abgestimmten Datenbeständen,

  - werden mit großem Sachverstand in verschiedenen Institutionen eingesetzt und sind fachlich anerkannt.