



# Flurabstandsprognose im Rheinischen Revier

Dr. Christoph Weidner

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW

FB 52 Grundwasser, Wasserversorgung, Trinkwasser und Lagerstättenabbau

DWA-AG „Wasserbewirtschaftung in braunkohlenbergbaubeeinflussten Regionen“

27.06.2018

## Gliederung

- Einleitung und Motivation
  - Bodenbewegungen im Rheinischen Revier und Koalitionsverträge
  - Projektorganisation
- Bodenmechanische Prozesse
  - Gw-Absenkung und -Wiederanstieg → Bodensenkung und -hebung
  - Konsolidierung und Bodenkriechen
- Flurabstandsprognose
  - Methodenrecherche Bodenbewegungsprognose
  - Sensitivitätsstudie Bodenbewegungsprognose
  - Interpolationsmethoden
  - Grundwassermodellierung, Flurabstandskarte und Szenarien zur Ursachenermittlung
  - Sondersituation Erftaue
- Zusammenfassung und Fazit

# Einleitung und Motivation

- Phänomen Bodenbewegungen
- Koalitionsverträge
- Organisation Projekt Flurabstandsprognose

## Motivation – Bodenbewegung

- Grundwasserabsenkung
  - Verringerte Auftriebswirkung im Boden
  - Kompaktion und Bodensenkung
  - Bodenhebungen bei Wiederanstieg des Grundwassers zu erwarten
- 
- Ggf. problematisch bei:
    - räumlich ungleicher Setzung
    - zeitlich verzögerter Hebung



Forkel et al. (2017): Themen der Grundwasserwiederanstiegs im Rheinischen Braunkohlenrevier. – Wasserwirtschaft 4/2017, 12-19.

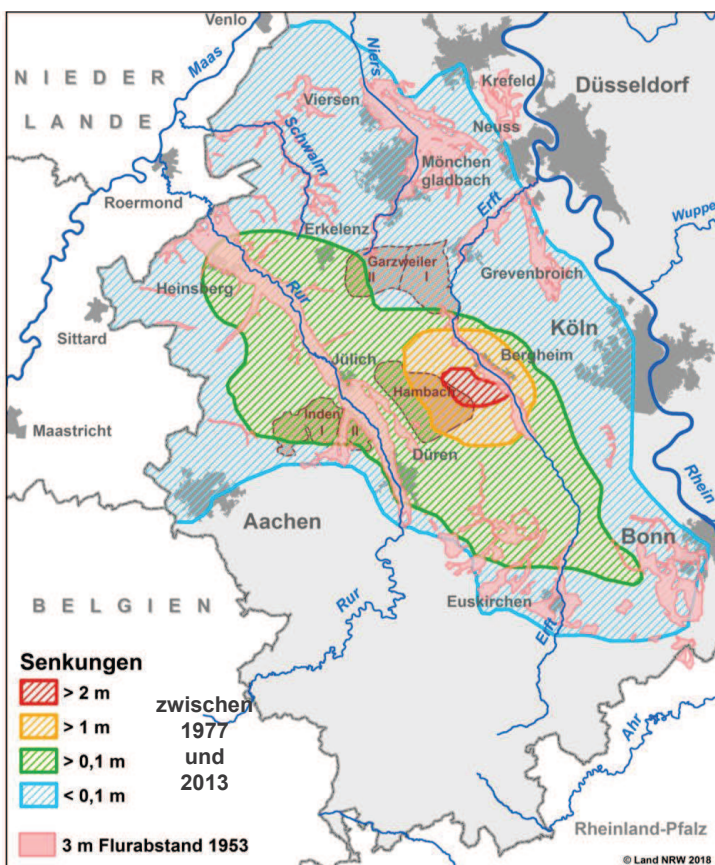
# Motivation – Bodenbewegung

- Grundwasserabsenkung
- Verringerte Auftriebswirkung im Boden
- Kompaktion und Bodensenkung
- Bodenhebungen bei Wiederanstieg des Grundwassers zu erwarten
  
- Ggf. problematisch bei:
  - räumlich ungleicher Setzung
  - zeitlich verzögerter Hebung



Forkel et al. (2017): Themen der Grundwasserwiederanstiegs im Rheinischen Braunkohlenrevier. – Wasserwirtschaft 4/2017, 12-19.

# Motivation – Bodenbewegung



Hier:

- Historische Messungen der Bodenbewegung an Punkten des Leitnivelements
- Senkungsverteilung zum Teil ungleichmäßig
- Tgb. Hambach: größte Tiefe → 5 m Bodensenkung durch 500 m Gw-Absenkung
- Prognose der **zukünftigen Bodenhebungen** erforderlich
- Für das gesamte Revier

# Motivation – Koalitionsverträge

In der Koalitionsvereinbarung der rot-grünen Landesregierung (2012-2017) haben die Parteien vereinbart:

*„Das Problem des **Grundwasserwiederanstiegs** nach Beendigung der Kohleförderung und die damit verbundenen Risiken für Bergschäden sollen untersucht und **mögliche Konsequenzen** daraus für die **Bauleitplanung** mit den Kommunen im Rheinischen Revier gezogen werden.“*

→ Neue Landesregierung („schwarz-gelb“) hält an Fortführung des Projektes fest:

*„Wir stehen zu den vorhandenen Genehmigungen der Tagebaue im Rheinischen Braunkohlerevier. Gleichzeitig sind mit dem Braunkohleabbau und untertägigen Steinkohlebergbau, **auch nach dessen Beendigung, Belastungen für die Umgebung und die dort lebenden Menschen** verbunden. Wir wollen die **Rechte aller Bergbaubetroffenen** schützen. Wir stellen eine effektive Bergaufsicht sicher.“*

7

## Projektorganisation

### **Beratungsgremium**

Leitung: MULNV NRW

Mitglieder: LANUV, MWIDE, RWE Power AG, Verband Bergbaugeschädigter, BUND, Kommunalvertreter, Wasserverbände (Erfurt, Eifel-Rur), Geobasis NRW, GD NRW, Bergbehörde, Bezirksregierungen

- Erarbeitet und erörtert Ergebnisse
- Informiert das Beratungsgremium



- Bewertet Ergebnisse
- Berät das MULNV hinsichtlich weiterer Vorgehensweisen

### **Facharbeitsgruppe**

Leitung: LANUV NRW

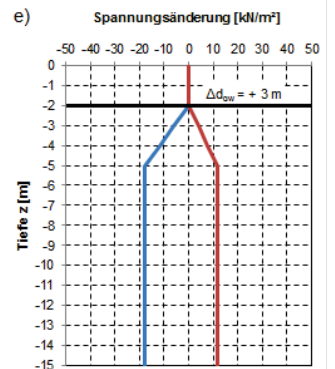
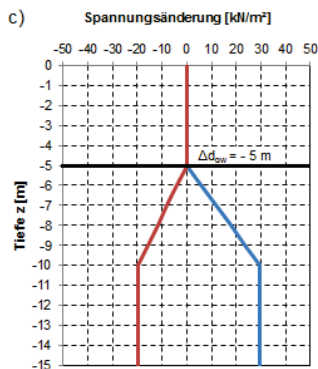
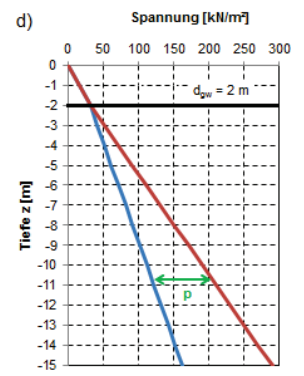
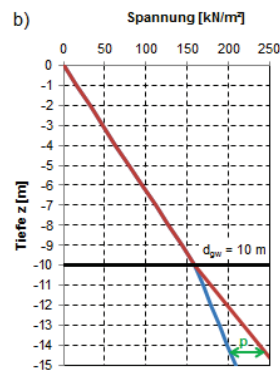
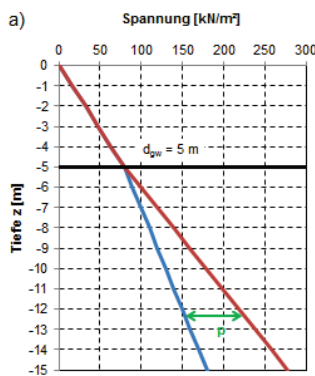
Mitglieder: MULNV, MWIDE, RWE Power AG, Verband Bergbaugeschädigter, BUND, Kommunalvertreter, Erfurtverband, Geobasis NRW, GD NRW, Bergbehörde

# Bodenmechanische Prozesse

- Spannungen und Setzungen
- Konsolidierung
- Bodenkriechen

## Belastung durch Gw-Standsänderung

- Totale Spannung:
  - Gesamtgewicht der Bodenschicht
- Effektive Spannung:
  - Gewichtsanteil auf Korngerüst



$$\sigma' = \sigma - p$$

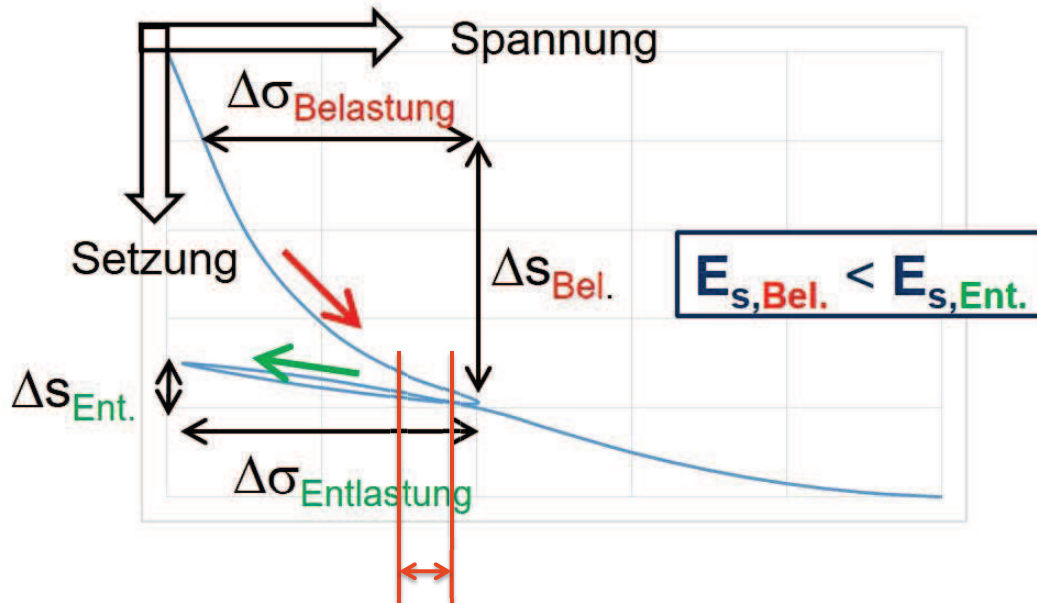
$\sigma$  : totale Spannung  
 $p$  : Porenwasserdruck  
 $\sigma'$  : Effektive Spannung

$n=0.4$   
 $\gamma_{sat}=19.8 \text{ kN/m}^3$   
 $\gamma=15.9 \text{ kN/m}^3$



# Bodenbewegung bei Belastung

- Setzung in Abhängigkeit von der Spannung
- Steiler initialer Kurvenast: bereits seit Ablagerung abgelaufene Setzungen



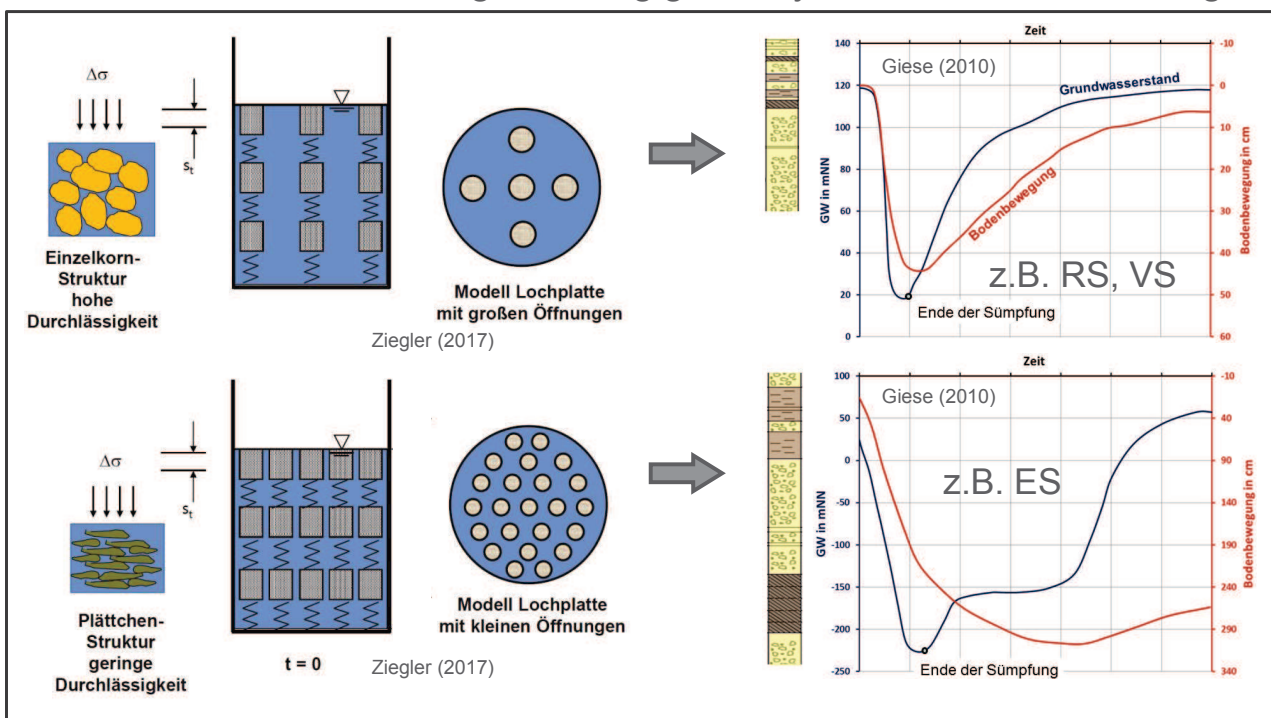
LANUV 27.06.2018

Beispielbereich

11

# Bodenbewegung – Konsolidierung

- Ablauf des Lastübertrags abhängig von hydraulischer Durchlässigkeit

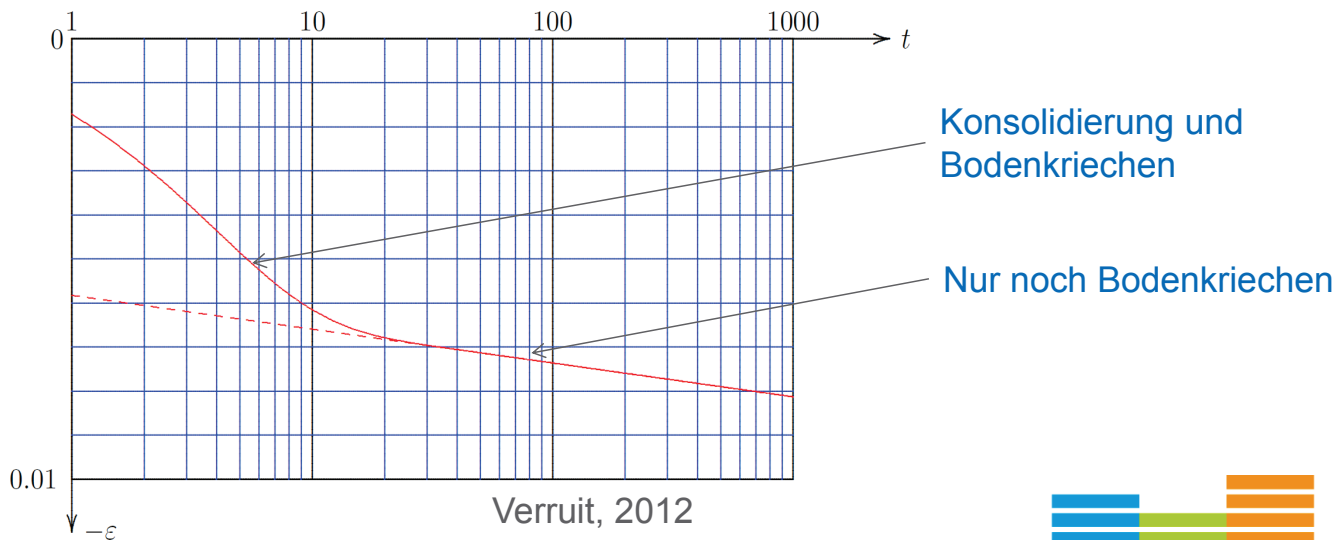


LANUV 27.06.2018

12

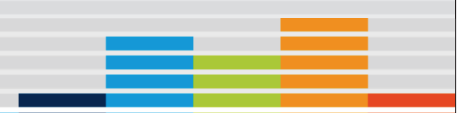
# Bodenbewegung – Bodenkriechen

- Plastische Verformung unter gleichbleibender Last („Bodenalterung“)
  - V.a. bei mächtigen Schichten weicher Böden und langen Zeiträumen
  - Beschleunigung durch zwischenzeitige Gw-Absenkung?
  - Zusammenspiel mit Gw-Wiederanstieg und Bodenhebung?
- **Relevanz/Größenordnung im Rheinischen Revier?**



## Flurabstandsprognose

- Methodenrecherche Bodenbewegungsprognose



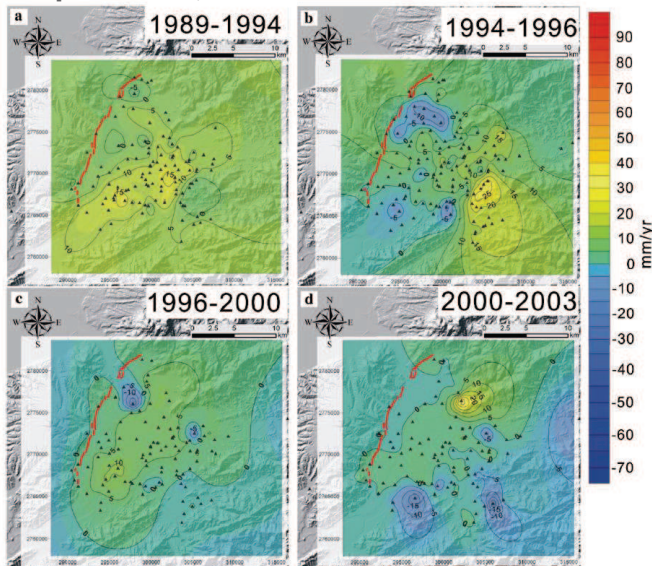


# Methoden zur Bodenbewegungsprognose

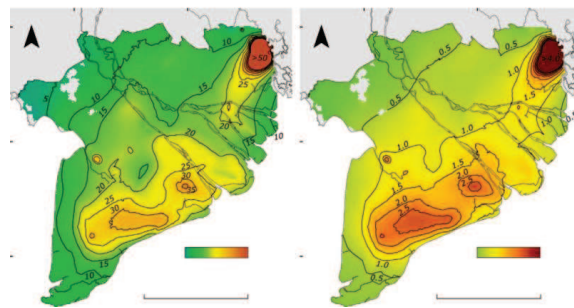
- Vergleich von Methoden zur Bodenbewegungsprognose und Interpolation aus Literaturrecherche mit Expertenbefragung:

➤ 8 vergleichbare Fallbeispiele

## Taipei Basin, Taiwan

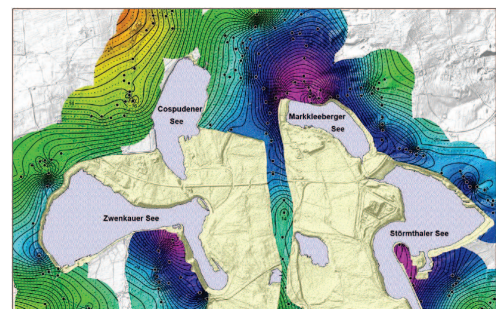


Chen, C.-T.; Hu, J.-C.; Lu, C.-Y.; Lee, J.-C.; Chan, Y.-C. (2007): Thirty-year land elevation change from subsidence to uplift following the termination of groundwater pumping and its geological implications in the Metropolitan Taipei Basin, Northern Taiwan. Engineering Geology 95 (1), 30–47.



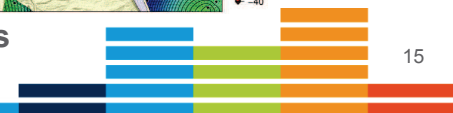
## Mekong Delta, Vietnam

Minderhoud, P. S. J.; Erkens, G.; Pham, V. H.; Bui, V. T.; Erban, L.; Kooi, H.; Stouthamer, E. (2017): Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. Environmental Research Letters 12 (6).



## Mitteldeutsches Revier

Lieske, K. & Schade, M. (2016): Hebungen der Tagesoberfläche als Folge des Grundwasserwiederanstiegs stiftgelegter Braunkohlentagebaue. 17. Geokinematistischer Tag 2016.



# Methoden zur Bodenbewegungsprognose

- Vergleich von Methoden zur Bodenbewegungsprognose und Interpolation aus Literaturrecherche mit Expertenbefragung:

➤ Prognosemethoden (1D, 3D, gekoppelt oder nicht, analytisch/numerisch, ...)

Bewertungsmatrix für Methoden zur Prognose von Bodenbewegungen - Mindestanforderungen und Bewertungskriterien	Kriterium	Faktor	1D-Bodenprofile		MODFLOW					FE-Methoden	
			Ziegler und Aulbach, 2016	D-Settlement	IBS (USGS)	SUB-WT (USGS)	SUB (USGS)	IDP	SUB-CR (Deltares) 1D	SUB-CR (Deltares)	PLAXIS (3D)
<b>Aussagegenauigkeit / Prozesse und Geologie</b>											
Mehrschichtfälle möglich	M*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zeitabhängige Verformung durch Konsolidierung nach Terzaghi oder Darcy	M*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Belastung, Entlastung, Wiederbelastung	M*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Konsolidierung oberhalb des phreatischen Grundwasserspiegels	B*	2	1	0	0	0	0	1	0	1	1
Zeitlich veränderliche mechanische Bodenparameter	B*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hebungen bereits modelliert?	B*	3	1	1	0	0	1	0	1	1	1
Instationäre Kalibrierungsqualität nachgewiesen?	B*	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Umsetzbarkeit im Anwendungsfall "Rheinisches Braunkohlenrevier"</b>											
Anwendbarkeit im Rheinischen Revier	B*	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Integration in LANUV-Grundwassermodell (FeFlow) möglich?	B*	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Modellkomplexität / Aufwand der Parameterschätzung (Verfügbarkeit und Anzahl erforderlicher Parameter)	B*	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2
<b>Programmetechnische Aspekte</b>											
Vertikale Auflösung für Konsolidierung (Grundwasserhydraulik)	B*	0.5	2	2	0	0	0	2	1	0	0
Rechenzeitbedarf	B*	0.5	2	2	1	1	1	1	2	1	0
Entwicklungsstadium	B*	0.5	2	2	2	2	2	1	1	1	2
Verfügbarkeit	B*	0.5	0	1	2	2	2	0	0	0	1
Mindestanforderungen erfüllt?			JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
GESAMTBEWERTUNG			21	18.5	13.5	13.5	16.5	13	19	15	15.5
Rang			1	4	9	9	5	11	3	8	7

N: Neutralkriterium  
M: Mindestanforderung  
B: Bewertungskriterium





# Methoden zur Bodenbewegungsprognose

- Numerische 3D-Berechnungen derzeit nicht zu empfehlen
  - Genauigkeitszugewinn fraglich, Parametrisierung schwierig, hoher Umsetzungsaufwand, bisher wenig Erfahrung mit Trockenfallen von Grundwasserleitern und Bodenhebungen
  
- Beste Bewertungen werden durch 1D-Methoden erzielt:
  - Methode von Ziegler und Aulbach (1D): 21,0 Punkte
  - PLAXIS 1D: 20,0 Punkte
  - MODFLOW-SUB-CR 1D: 19,0 Punkte
  - D-Settlement (1D): 18,5 Punkten
  
- **Bisher gewählte Methode derzeit Mittel der Wahl**
  - Offene Punkte zur möglichen Optimierung:
    - Einbezug von Bodenkriechen
    - HM-Kopplung

LANUV 27.06.2018

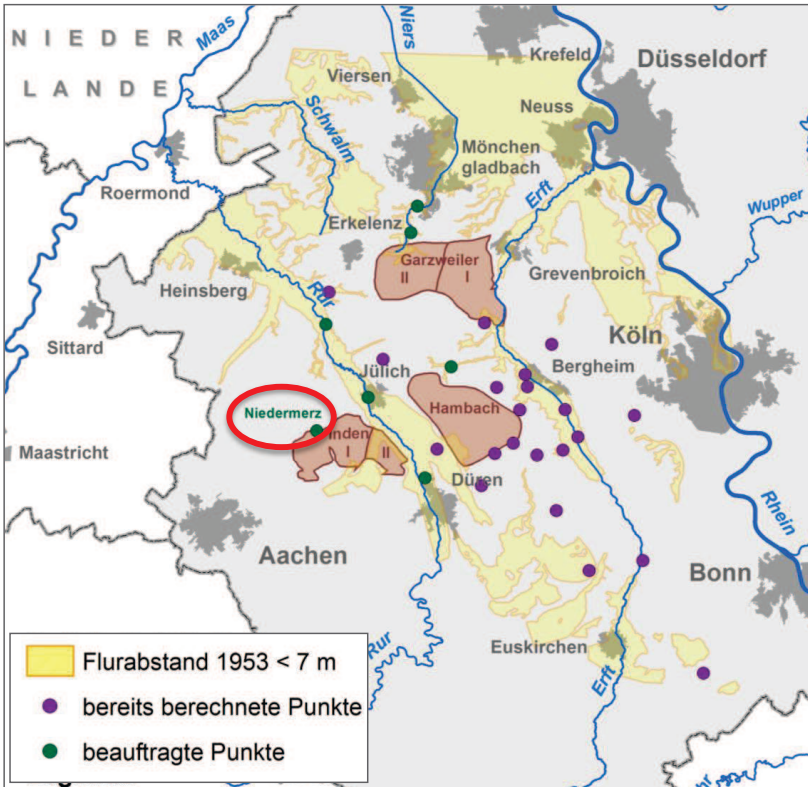
17

## Flurabstandsprognose

- Bodenbewegungsprognose mit Sensitivitätsstudie
- Interpolationsmethoden

# Bodenbewegungsprognose

- Prognosen der Bodenbewegung für Einzelpunkte (1D-Bodensäulen)

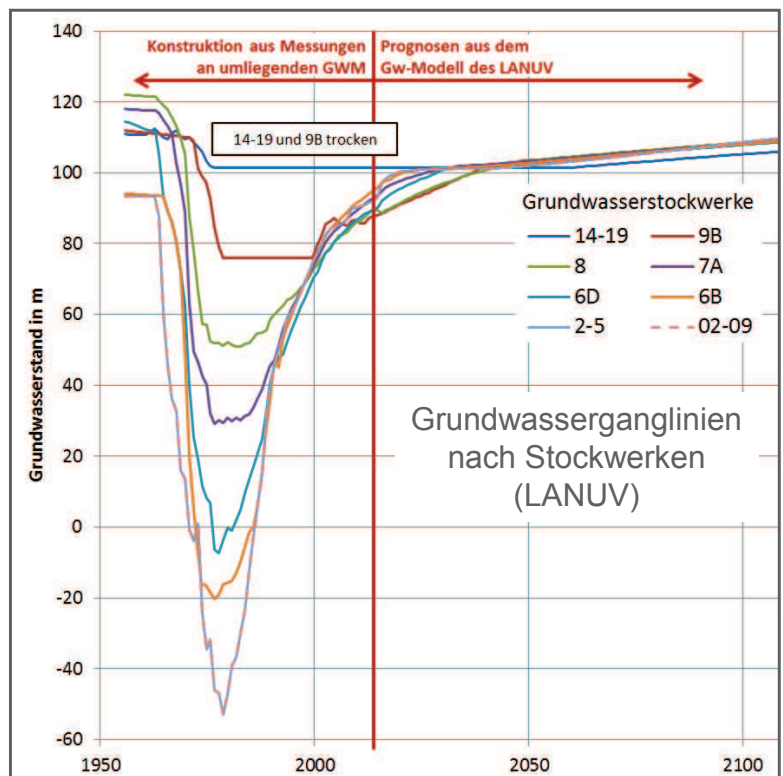
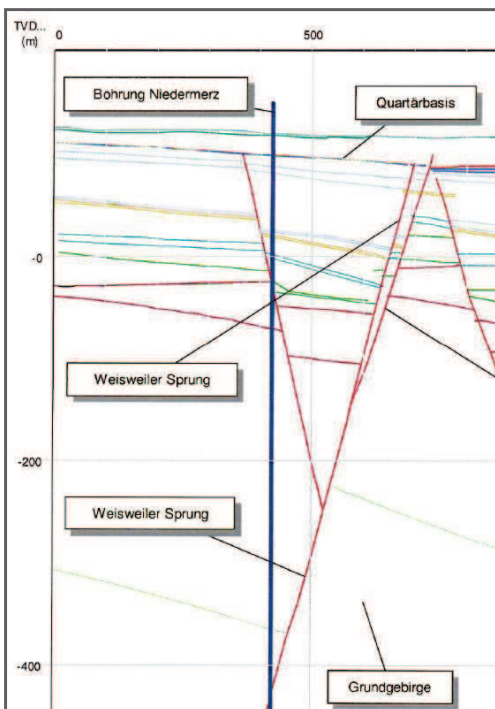


- Eingangsdaten:
  - Stratigraphie
  - Historisch gemessene Höhenzeitfolge
  - Ganglinien in allen Gw-Leitern (Historie und Prognose)
  - Bodenmechanische Eigenschaften (Kalibrierung)
- Punktuelle Prognose zukünftiger Höhenzeitfolgen



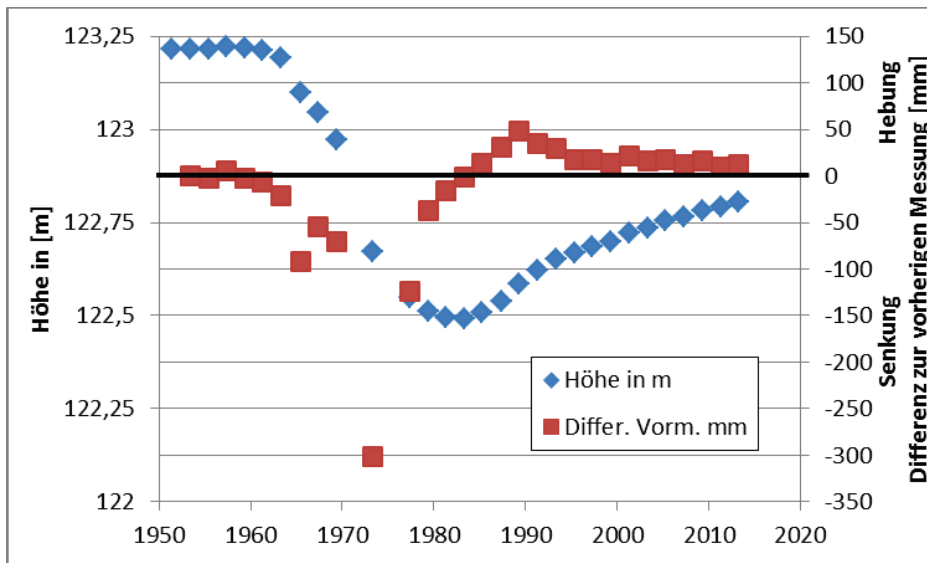
## Bodenbewegungsprognose – Eingangsdaten

Stratigraphie und Lithologie aus dem geologischen 3D-Modell (GD NRW)

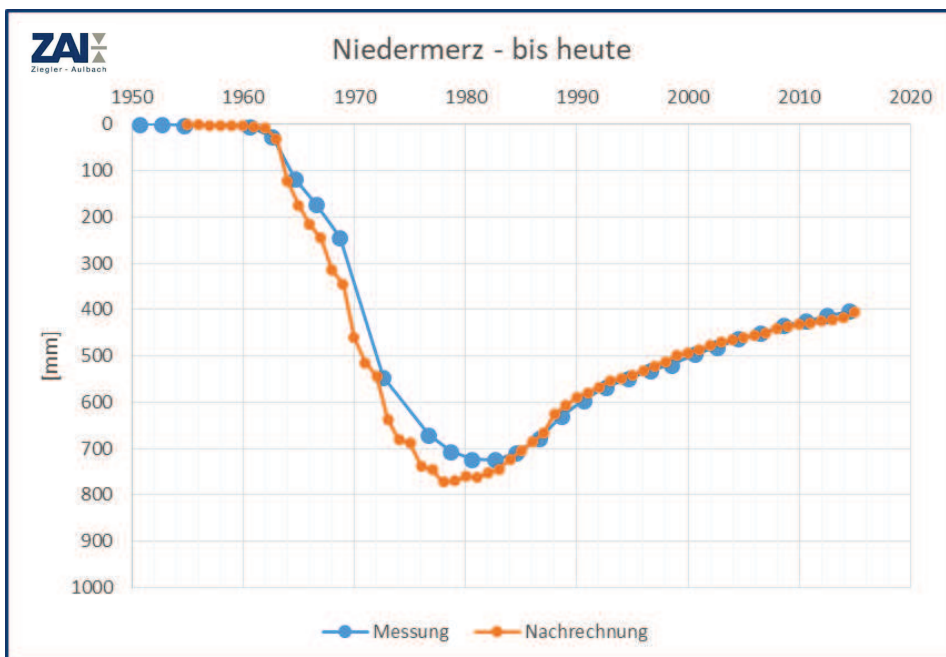


# Bodenbewegungsprognose – Eingangsdaten

Messungen der Geländehöhen als Höhenzeitfolge (Geobasis NRW)



# Bodenbewegungsprognose – Kalibrierergebnis



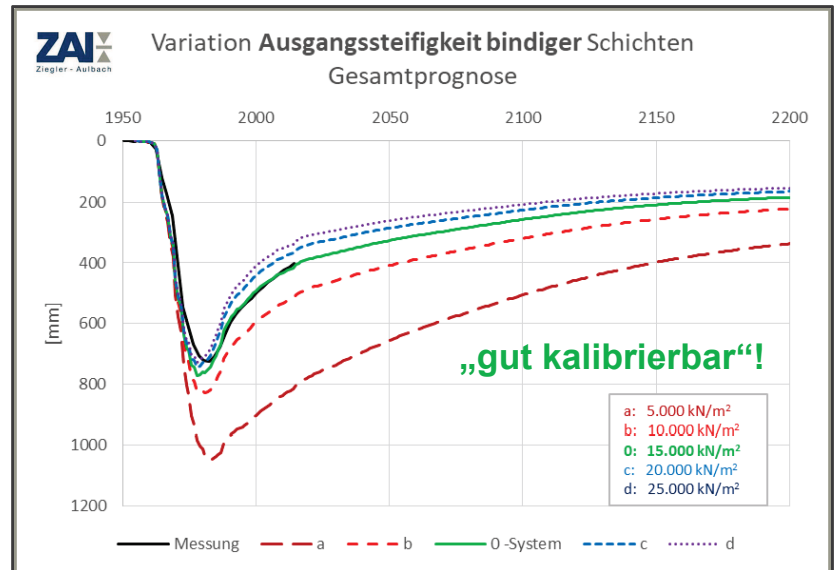
# Bodenbewegungsprognose – Ergebnisse

- Prognose und deren obere und untere Genauigkeitsgrenze aus Sensitivitätsstudie mit Variation von Eingangsdaten wie:

- Steifigkeiten
- Hebungsfaktoren
- Teufenabhängige Steifigkeitszunahme
- Konsolidationsbeiwerte
- jeweils für bindige und nichtbindige Schichten

sowie

- Schichtenprofil
- Grundwasserganglinien



LANUV 27.06.2018

23

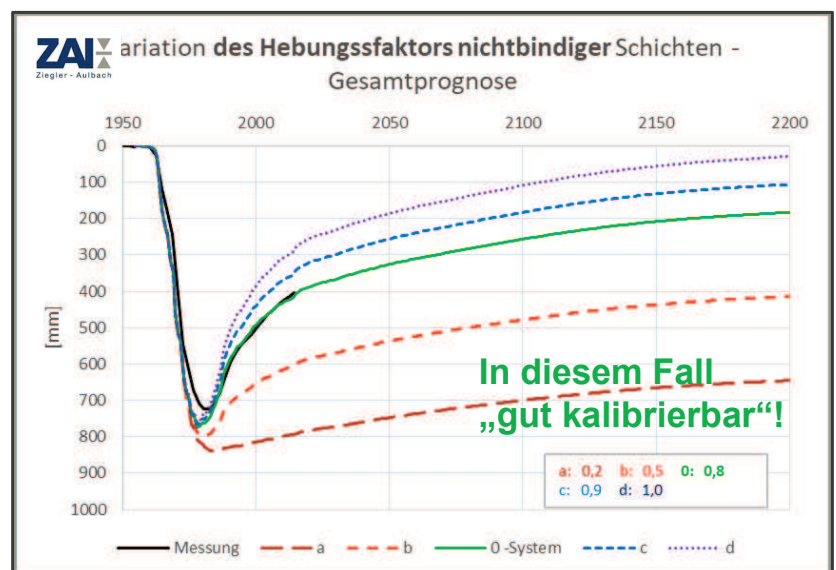
# Bodenbewegungsprognose – Ergebnisse

- Sensitivitätsstudie zur Einschätzung der oberen und unteren Prognosegenauigkeit unter Variation von Eingangsdaten wie:

- Steifigkeiten
- **Hebungsfaktoren**
- Teufenabhängige Steifigkeitszunahme
- Konsolidationsbeiwerte
- jeweils für bindige und nichtbindige Schichten

sowie

- Schichtenprofil
- Grundwasserganglinien



LANUV 27.06.2018

24



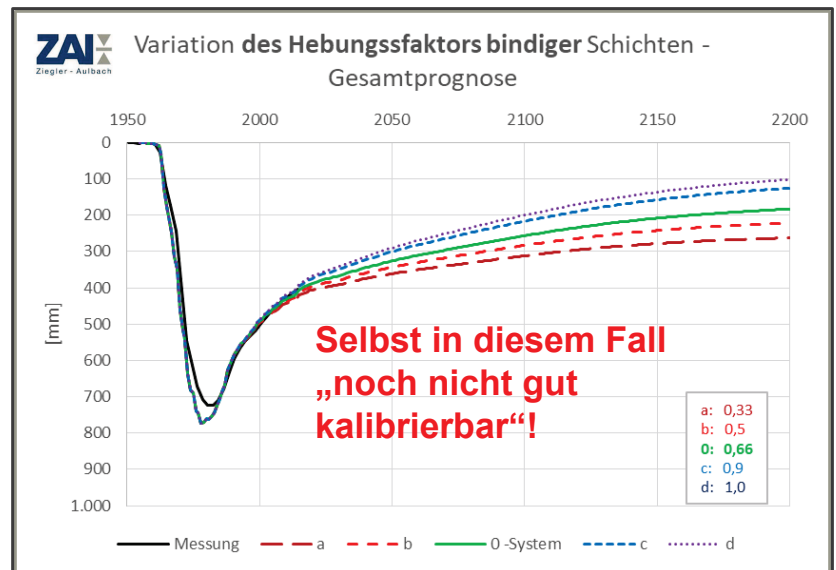
# Bodenbewegungsprognose – Ergebnisse

- Sensitivitätsstudie zur Einschätzung der oberen und unteren Prognosegenauigkeit unter Variation von Eingangsdaten wie:

- Steifigkeiten
- **Hebungsfaktoren**
- Teufenabhängige Steifigkeitszunahme
- Konsolidationsbeiwerte
- jeweils für bindige und nichtbindige Schichten

sowie

- Schichtenprofil
- Grundwasserganglinien



LANUV 27.06.2018

25

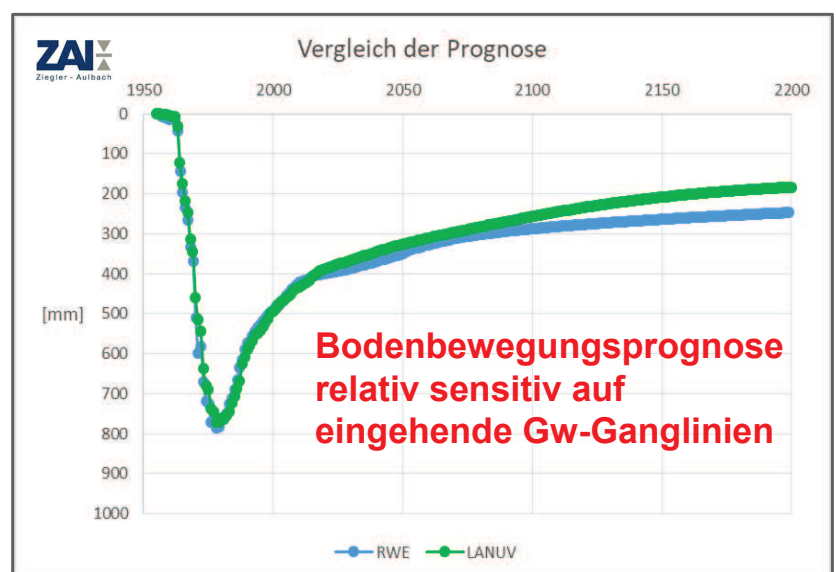
# Bodenbewegungsprognose – Ergebnisse

- Sensitivitätsstudie zur Einschätzung der oberen und unteren Prognosegenauigkeit unter Variation von Eingangsdaten wie:

- Steifigkeiten
- **Hebungsfaktoren**
- Teufenabhängige Steifigkeitszunahme
- Konsolidationsbeiwerte
- jeweils für bindige und nichtbindige Schichten

sowie

- Schichtenprofil
- **Grundwasserganglinien**



LANUV 27.06.2018

26

# Bodenbewegungsprognose – Ergebnisse

- Hebungsfaktor bindiger Bodenschichten:
  - Vergleichsweise starker Einfluss auf Bodenbewegungsprognose
  - Aufgrund der noch andauernden nachlaufenden Setzungen wurden an entsprechenden Stellen mächtiger bindiger Bodenschichten auch bei einsetzendem Gw-Wiederanstieg noch keine Bodenhebungen gemessen
  - Kalibrierung daher noch nicht zuverlässig möglich
- Gw-Ganglinien:
  - Vergleichsweise starker Einfluss auf Bodenbewegungsprognose
  - Unsicherheiten aufgrund mitunter dünner Datenlage im Kalibrierzeitraum (v.a. ältere Daten in tieferen Leitern) sowie Fortpflanzung eventueller Modellfehler im Prognosezeitraum
- Unsicherheiten aller anderen Bodenmechanischen Parameter werden durch die Kalibrierung an gemessenen Bodenbewegungen minimiert

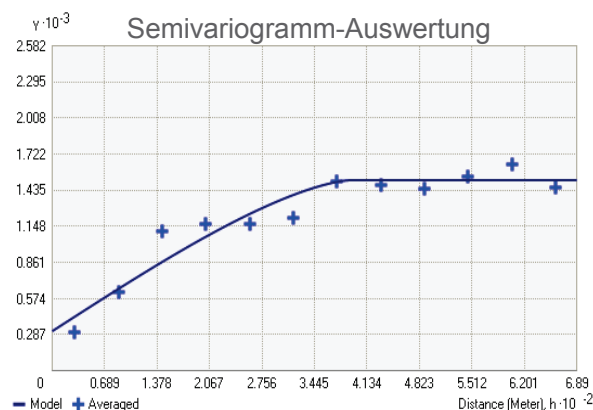
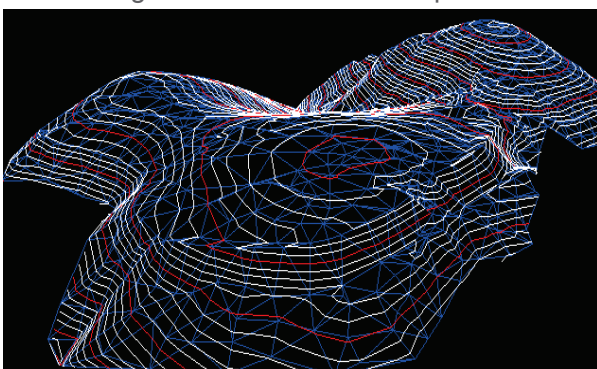
LANUV 27.06.2018

27

## Methoden zur Interpolation

- Erforderlich bei punktueller 1D-Bodenbewegungsprognose
  - Methodenvergleich erforderlich, da nur selten in Literatur dokumentiert
  - z.B. Universal Kriging, Triangulation mit linearer Interpolation
  - Dabei: geeigneter Interpolationsparameter; optimierte Verteilung der Stützstellen und Schätzorte; Berücksichtigung von Störungen und Tagebaurändern
- **Expertenbewertung erforderlich!**

Triangulation mit linearer Interpolation



ESRI (2018b): Fitting a model to the empirical semivariogram [WWW Document]. URL <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analysis/fitting-a-model-to-the-empirical-semivariogram.htm>

28

# Methoden zur Interpolation

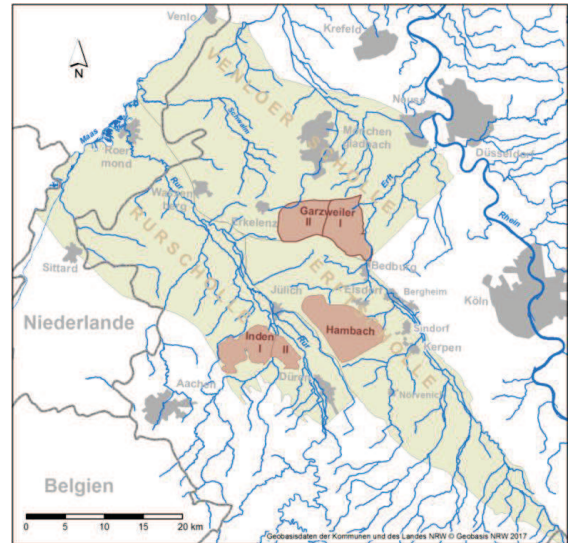
- Übertrag prognostizierter Hebungsfunktionen auf benachbarte Leitnivelementspunkte ohne Prognose:
  - Normierung der für einen Punkt prognostizierten Hebungsfunktion mit dem Absolutbetrag einer in einem Referenzzeitraum historisch erfolgten Bodensenkung → Ganglinie des „dimensionslosen Proportionalitätsfaktors“ (normierte Hebungsfnuktion)
  - Übertrag dieser Ganglinien von Proportionalitätsfaktoren auf andere Leitnivelementspunkte ohne Prognoserechnung per Triangulation mit linearer Interpolation
  - Berechnung einer hier lokal gültigen Hebungsfunktion durch Multiplikation der übertragenen Ganglinie der Proportionalitätsfaktoren mit dem an diesem Leitnivelementspunkt lokal ermittelten Absolutbetrag der im Referenzzeitraum historisch erfolgten Bodensenkung

## Flurabstandsprognose

- Grundwassermodellierung

# Grundwassermodellierung

- Instationäres (1975-2200) 3D-Modell (FeFlow) über 3090 km<sup>2</sup> (10 Gw-Leiter)
- Ca. 1 Mio Modellknoten in räumlicher Auflösung zwischen 50 und 1000 m
- 10 Gw-Leiter auf Venloer Scholle, Erftscholle und Rurscholle
- Aufgebaut am LANUV seit 1986
- Derzeit extern betrieben von der GCI GmbH
- Bilanzierung aller bergbaulichen und nichtbergbaulichen Einflüsse auf die Grundwasserströmung und Berechnung der Grundwasserstände

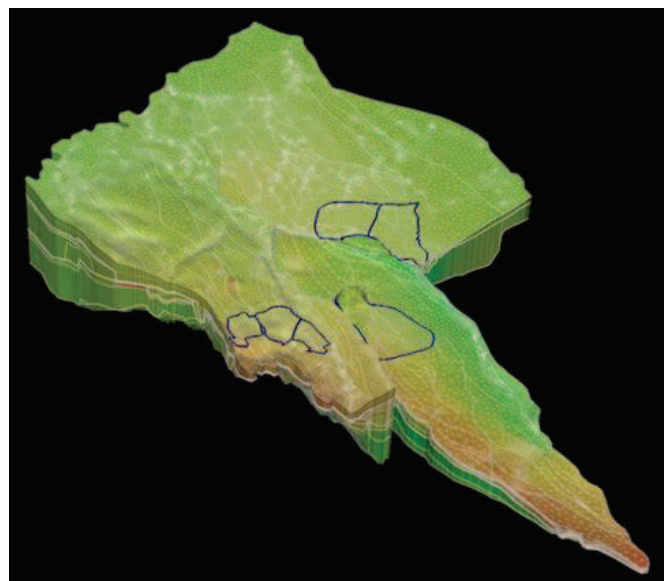


LANUV 27.06.2018

31

# Grundwassermodellierung

Layer des aktuellen FEFLOW-Modells	Venloer Scholle (VS)	Rurscholle (RS)	Erftscholle (ES)
1	14-19	14-19 / Ton 13/12	14-19
2			
3			
4			
5			Ton 13
6			
7			
8			12
9	Ton 13	Ton 11E / 11 / Ton 11A	Ton 11E / Ton 11A
10			
11			
12	12	10	10
13	11E	Ton 9C	Ton 9C
14			
15			
16	11D	9B	9B
17	11C	Ton 9A	Ton 9A
18			
19			
20	10/9B/8	8	8
21	Flöz 6E	Flöz 7F / Flöz 7B/7D	Flöz 7F/7E / Flöz 7B
22			
23			
24	6D	7A	7A
25	6C	Flöz 6E	Flöz 6E
26			
27			
28	6B	6D	6D
29	Flöz 6A	Flöz 6C	Flöz 6C
30			
31			
32	4-5	6B	6B
33		Flöz 6A	Flöz 6A
34			
35			
36		2-5	2-5
37			
38		Ton 1	Ton 1
39			
40			01-09



3D-Modell

- 10 GW-Leiter (blau)
- 9 GW-Stauer (orange, grau)
- 40 Modellschichten

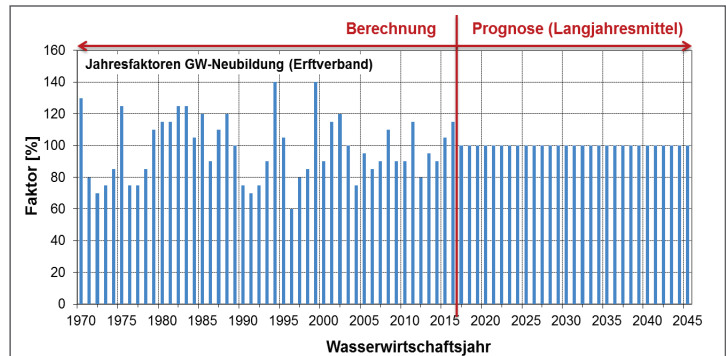
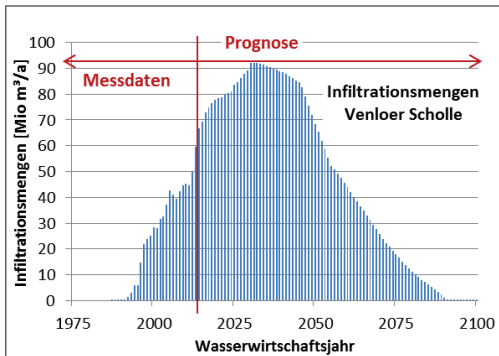
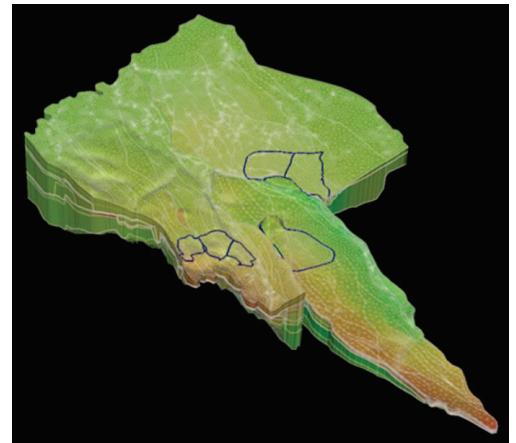
LANUV 27.06.2018

32/23



# Grundwassermodellierung

- Eingangsdaten aus diversen Quellen auf der gleicher Grundlage wie die anderen Großraummodelle im Rheinischen Revier (RWE, Erftverband)
- Annahmen für Prognosezeitraum erforderlich. Beispiele:



Planungen (hier: Infiltration) vs. Annahmen (hier: Grundwasserneubildung)

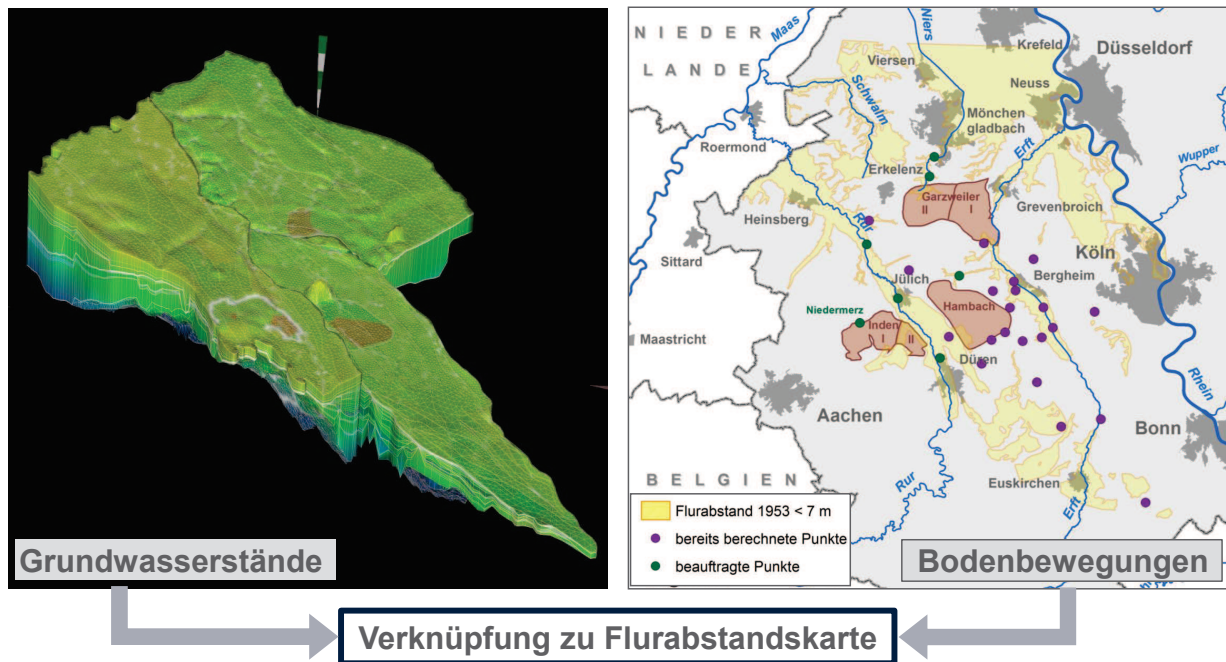
LANUV 27.06.2018

33

## Flurabstandsprognose

- Flurabstandskarte und Szenarien
- Sondersituation Erftaue
- Öffentlichkeitsarbeit

# Verknüpfung der Modellergebnisse zur Flurabstandskarte



LANUV 27.06.2018

35

## Szenarien zur Flurabstandsprognose

- Szenarien zur Berücksichtigung von Unsicherheiten der Bodenbewegungsprognose (Worst-Case, Best-Case)
- Vergleich mit Referenzszenario ohne Bergbaueinflüsse (z.B. Geologie, Tagebausümpfung, Infiltrationen, Bodenbewegungen)
- **Trennung Bergbaueinfluss von anderen Einflüssen zur Ursachenanalyse potenzieller Vernässungen**
- Weitere Szenarien denkbar:
  - Zur Einschätzung von Verursacheranteilen
  - Zur Abgrenzung weiterer potenzieller Vernässungsursachen (z.B. Klimawandel)
  - Zur Einschätzung/Dimensionierung theoretisch möglicher Gegenmaßnahmen

LANUV 27.06.2018

36

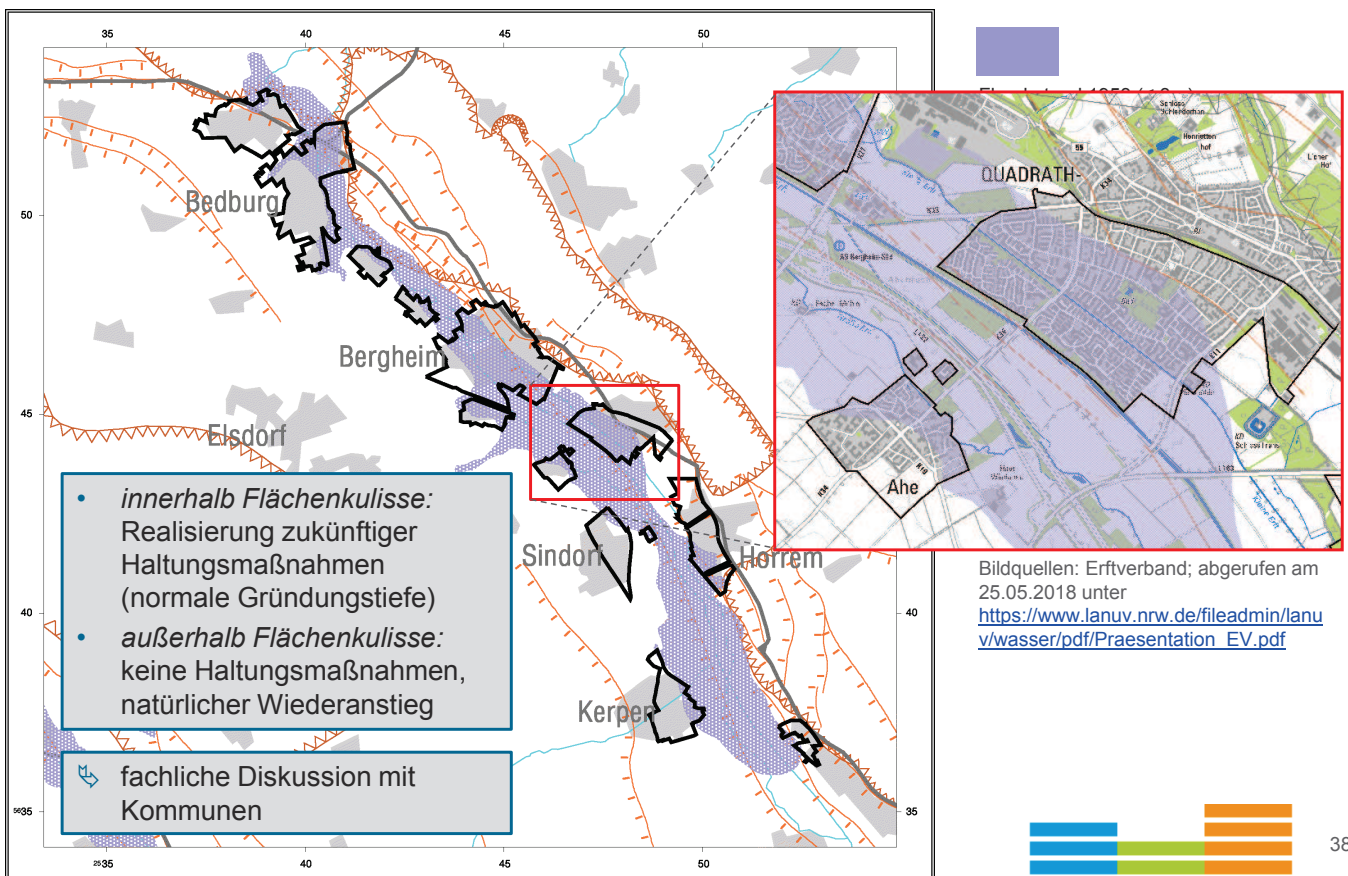
# Beispiel Sondersituation Erftaue

- Trockenlegung der Erftaue bereits vor der bergbaulichen Nutzung (Urbarmachung 1860 – 1866)
- Grundwasserabsenkung für Tagebaue Fortuna Garsdorf und Frechen (1950er Jahre)
  - Möglichkeit der Trockenlegung/-haltung der Erftaue für anderweitige Nutzungen (Landwirtschaft, Besiedlung)
- Planungspolitischer Konsens, vorbergbauliche Grundwasserstände nicht mehr zuzulassen
  - Grundwassermanagement zur dauerhaften Niedrighaltung des Grundwassers durch den Erftverband erforderlich ab ca. 2100

LANUV 27.06.2018

37

# Beispiel Sondersituation Erftaue



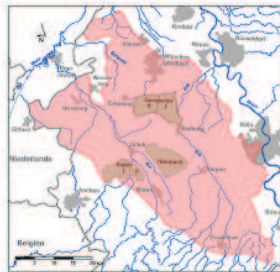
38



# Öffentlichkeitsarbeit

- Umwelt
- Wasser
  - Abwasser
  - Grundwasser
    - Grundwasserleiter
    - Grundwasserschutz
    - Grundwasserstand
    - Beschaffenheit
    - Folgen des Braunkohleabbaus
      - Allgemeines zur Braunkohle
      - Das Braunkohlerevier
      - Folgen für den Wasserhaushalt
      - Grundwassermodelle
      - Grundwasserwiederanstieg**
      - Monitoring für das Braunkohlerevier
      - Tagebauresteen
    - Kartenwerke zum Thema Grundwasser
    - Hochwasserschutz
    - Lysimeter

## Grundwasserwiederanstieg im Rheinischen Braunkohlenrevier



Grundwasserbeeinflussung im Rheinischen Braunkohlenrevier integriert über alle Grundwasserstockwerke nach Angaben der RWE Power AG (2016)

Die für die Trockenhaltung der Tagebaue des Rheinischen Braunkohlenreviers notwendige Grundwasserentnahme hat verschiedene Folgen für den Wasserhaushalt. So führen die Entwässerungsmaßnahmen unter anderem zu einer großräumigen Grundwasserabsenkung. Die Absenkungen betragen im Bereich der Tagebaue mehrere hundert Meter und nehmen mit zunehmender Entfernung von ihnen ab. Der Absenkungstrichter umfasst ein Gebiet von über 3000 km<sup>2</sup> (Abbildung). Mit den Grundwasserabsenkungen sind auch Bodensenkungen von derzeit bis zu ca. 4,5 Metern im direkten Tagebaumfeld verbunden.

Mit dem Ende des Braunkohleabbaus steigt ab etwa der Mitte dieses Jahrhunderts das Grundwasser wieder an. Dies kann in den von Bodensenkungen betroffenen Gebieten zu Bodenhebungen führen. Bislang ist noch unzureichend bekannt, welche Geländehöhen und Abstände zur Grundwasseroberfläche (Flurabstände) sich einstellen und ob mit Vernässungen zu rechnen ist. Dabei spielen auch regionale Unterschiede der geologischen Schichten eine wichtige Rolle.

In der Koalitionsvereinbarung der rot-grünen Landesregierung haben die Parteien vereinbart: „Das Problem des Grundwasserwiederanstiegs nach Beendigung der Kohleförderung und

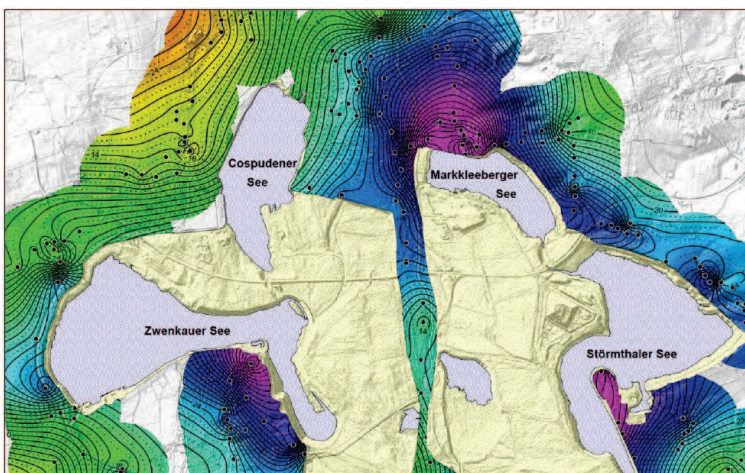
- Konzept**
- Arbeitsorganisation
  - Fachliches Vorgehen

- Bisherige Termine**
- 12.09.16: Workshop "Flurabstandsprognose im Rheinischen Revier"
  - 15.11.16: Auftaktstizung im MKULNV
  - 14.12.16: 1. Sitzung der Facharbeitsgruppe
  - 07.02.17: 2. Sitzung der Facharbeitsgruppe

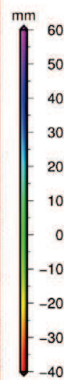
- Dokumente**
- Projektunterlagen
  - Protokolle und Vorträge

- Ansprechpartner**
- Anke Boockmeyer  
0211/1590-2142  
anke.boockmeyer(at)lanuv.nrw.de
  - Dr. Christoph Weidner  
0211/1590-  
christoph.weidner(at)lanuv.nrw.de

## Situation in ostdeutschen Revieren?



Interpolierte Höhenänderungen zwischen 1995 und 2015 (Lieske & Schade 2016)



Zeitweiliger Ausschuss „Grundwasserprobleme, Vernässungen und das dazugehörige Wassermanagement“ Sachsen-Anhalt (2014)





# Zusammenfassung und Fazit

- Zusammenfassung
  - Bodenbewegung infolge Sumpfung und Wiederanstieg
  - Prozessverständnis nachlaufender Setzungen und Möglichkeiten zur Modellierung
  - Sensitivitätsstudie zur Abschätzung der Aussagegenauigkeit
  - Grundwassermodellierung zur Erstellung von Flurabstandskarten und Ursachenermittlung
  
- Fazit
  - **Methode** zur Bodenbewegungsprognose wurde gewählt
  - **Offene Punkte** zur möglichen Optimierung liegen im Einbezug von Bodenkriechen sowie einer HM-Kopplung
  - **Sensitive Parameter** bzw. Eingangsdaten sind die Hebungsfaktoren bindiger Schichten sowie vor allem die prognostizierten Grundwasserganglinien
  - Vergleichsrechnungen von Interpolationsmethoden mit Expertenbewertung erforderlich
  
- **Bei neuen Erkenntnissen und Fortführung von Messreihen regelmäßige Überprüfung der Ergebnisse erforderlich**



## Ausblick: Zeitplan

Nr.	Aufgabe	2016				2017				2018				2019				2020			
		Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4			
<b>1</b>	<b>Bodenbewegungsberechnungen</b>																				
1.1	Ermittlung von Fokusbereichen	█																			
1.2	Prüfung der Berechnungsmöglichkeiten		█	█	█	█	█	█	█												
1.3	Zusammenstellung der Datengrundlage																				
1.3.1	Grundwasserganglinien																				
1.3.2	Geologisches Schichtprofil																				
1.4	Bodenbewegungsprognose*																				
1.4.1	Kalibrierung des Bodenbewegungsmodells																				
1.4.2	Berechnung der Bodenbewegungen																				
1.5	Interpolation der Ergebnisse in die Fläche																				
1.5.1	Methodenrecherche																				
1.5.2	Interpolation																				
<b>2</b>	<b>Grundwassermodellierung</b>																				
2.1	Modellkalibrierung																				
2.2	Referenzszenario																				
2.2.1	Formulierung Referenzszenario																				
2.2.2	Zusammenstellung von Eingangsdaten																				
2.2.3	Plausibilisierung																				
2.2.4	Prognoserechnung																				
2.3	Bergbauszenario																				
2.3.1	Formulierung Prognoseszenario																				
2.3.2	Zusammenstellung von Eingangsdaten																				
2.3.3	Implementierung prognostizierte GOK																				
2.3.4	Prognoserechnung																				
2.4	Darstellung von Bilanzen und Karten																				
<b>3</b>	<b>Auswertung der Endergebnisse</b>																				
3.1	Identifikation potenzieller Vernässungsbereiche																				
3.2	Ursachenanalyse																				
3.3	Ggf. zusätzliche gegensteuernde Maßnahmen																				





**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



## Flurabstandsprognose im Rheinischen Revier

Dr. Christoph Weidner

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW

FB 52 Grundwasser, Wasserversorgung, Trinkwasser und Lagerstättenabbau

DWA-AG „Wasserbewirtschaftung in braunkohlenbergbaubeeinflussten Regionen“

27.06.2018