



Treffen des Beratergremiums zur

Berechnungen und Prognose von Bodenbewegungen mit Sensitivitätsanalyse im Rheinischen Braunkohlerevier

LANUV  Düsseldorf
Kompetenz für ein
lebenswertes Land

14.11.2017



Vorstellung

▼ Projektleitung



Martin Ziegler



Benjamin Aulbach

▼ Projektbearbeitung



Benjamin Aulbach



Michael Knops



Maximilian Schröder

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Vorstellung 

Martin Ziegler

- ▼ seit 2013 geschäftsf. Gesellschafter ZAI
- ▼ seit 2000 Professur und Institutsleitung Geotechnik im Bauwesen, RWTH Aachen
- ▼ 1987 – 2000 Philipp Holzmann: Frankfurt, Düsseldorf, Essen, Nürnberg, Neu-Isenburg
- ▼ 1986 Promotion – TU Karlsruhe
- ▼ 1980 – 1987 wissenschaftl. Mitarbeiter
- ▼ 1973 – 1979 Studium Bauingenieurwesen an der TU Karlsruhe



3  Kompetenz für ein lebenswertes Land Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017 Folien erstellt von Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Dr.-Ing. Vorstellung 

Benjamin Aulbach

- ▼ seit 2013 geschäftsf. Gesellschafter ZAI
- ▼ 2007 – 2013 freiberufliche Nebentätigkeit zusammen mit Prof. Ziegler
- ▼ 2013 Promotion – RWTH Aachen
- ▼ 2007 – 2013 wissenschaftl. Mitarbeiter RWTH
- ▼ 2004 – 2007 GeolIngenieure: Rhein-Main-Gebiet
- ▼ 2002 – 2007 Institut f. Geotechnik TU Darmstadt
- ▼ 1999 – 2007 Studium Bauingenieurwesen an der TU Darmstadt



4  Kompetenz für ein lebenswertes Land Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017 Folien erstellt von Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Fachgebiet

GEOTECHNIK

- ▼ Baugruben
- ▼ Grundwasser
- ▼ Gründungen
- ▼ Tunnelbau
- ▼ Vereisung
- ▼ Deponien
- ▼ Bodenbeweg.
- ▼ ...

Vorstellung












Kompetenz für ein lebenswertes Land

Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

Folien erstellt von
Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Vorstellung

- ▼ Team bestehend aus
 - fest Angestellten &
 - freien Mitarbeitern
- ▼ enge Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen
 - Labor- und Großversuche
 - Unterstützung vor Ort











Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen
 Lehrstuhl für Geotechnik, Bodenmechanik, Tunnelbau und Verkehrsweiterechnik
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler

- Honorar
- Assistenten
- Mitarbeiter
- Lehramt
- Forschung
- Dienstleistungen
- Veröffentlichungen
- Veranstaltungen
- Veranstaltungen
- Prüfungsleistungen
- Fachlinks
- Mitgliedschaften
- Fördervereine

RWTH Aachen
 Fakultät für Bauingenieurwesen

MITARBEITER
 Mitglieder des Beratergremiums für weitere Informationen:

LEITUNG

- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler

Stellvertreter:

- Gerald Herkenne
- Acad. Odenour
- Dipl.-Ing. Martin Füllendorp

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

- Dipl.-Ing. Markus Adams
- Dipl.-Ing. Nicholas Andemuhly
- Dipl.-Ing. Felix Jacobs
- Oscar Alvarez, M.Sc.
- David Koppmann, M.Sc.
- Dipl.-Ing. Thorben Müller
- Dipl.-Ing. Rebecca Schüller
- Dipl.-Ing. Philipp Siebert
- Dipl.-Ing. Julian Sprengel
- Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Elise Tafel

Linienangestellte:

- Dipl.-Ing. Heinz Ehrbar



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler

Room: 325
 +49(0)241-80-25247
 +49(0)241-80-22384
 ziegler@geotechnik.rwth-aachen.de



Kompetenz für ein lebenswertes Land

Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

Folien erstellt von
Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Vorgehen / Projektskizze



2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

1. Sichtung und Einarbeitung in die vom LANUV zur Verfügung gestellten Daten (Höhenzeitfolge, geologisches Schichtprofil, Grundwasserganglinien)
2. Erstellung des Schichtmodells auf Basis des Schichtprofils vom LANUV
3. Anpassung und Auswertung der Spannungen auf Basis der Grundwasserganglinien vom LANUV
4. Anpassung der Bodenbewegungsprognose an das Schichtmodell des vorgegeben Höhenfestpunktes
5. Kalibrierung der Bodenbewegungsprognose auf Basis der Höhenzeitfolge

Daran anschließend erfolgt dann die eigentliche

6. Sensitivitätsanalyse

7



Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

Folien erstellt von
Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Vorgehen / Projektskizze



2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

6. Sensitivitätsanalyse

mit Variation von:

- a) Ausgangsteifigkeit nichtbindig
- b) Ausgangsteifigkeit bindig
- c) Ausgangskonsolidationsbeiwert
- d) Teufenabhängige Steifigkeitszunahme nichtbindig
- e) Teufenabhängige Steifigkeitszunahme bindig
- f) Hebungsfaktor nichtbindig
- g) Hebungsfaktor bindig

8



Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

Folien erstellt von
Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Vorgehen / Projektskizze



2.2 Bewertung der Eingangsdaten

Variation GW-Ganglinie:

- Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach oben
- Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach unten
- Verschiebung einzelner Grundwasserganglinien im Absenkungsmaximum um ± 20 m (Annahme: 7 GW-Leiter x 2 = 14 Fallunterscheidungen)

Variation Schichtmächtigkeit:

- „Stauchung“ aller bindigen und „Dehnung“ aller nichtbindigen Schichten
- „Dehnung“ aller bindigen und „Stauchung“ aller nichtbindigen Schichten
- Reduzierung der zu betrachtenden Endteufe bzw. der untersten Schicht
- Erhöhung der zu betrachtenden Endteufe bzw. der untersten Schicht

9



Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

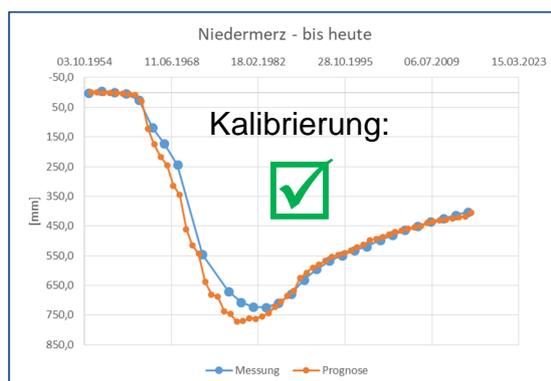
Folien erstellt von Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Erste Ergebnisse



2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

6. Sensitivitätsanalyse am Punkt Niedermerz



10



Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

Folien erstellt von Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

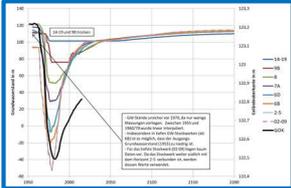
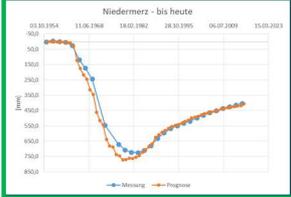


Erste Ergebnisse

Grundwasser-
absenkung = Einwirkung =

Setzungen = Reaktion =

Boden- = Widerstand =
eigenschaften


13



Kompetenz für ein lebenswertes Land

Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

Folien erstellt von
Dr.-Ing. Benjamin Aulbach



Erste Ergebnisse

2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

6. Sensitivitätsanalyse
mit Variation von:

- a) Ausgangsteifigkeit nichtbindig
- b) Ausgangsteifigkeit bindig
- c) Ausgangskonsolidationsbeiwert
- d) Teufenabhängige Steifigkeitszunahme nichtbindig
- e) Teufenabhängige Steifigkeitszunahme bindig
- f) Hebungsfaktor nichtbindig
- g) Hebungsfaktor bindig

}

Widerstand



14



Kompetenz für ein lebenswertes Land

Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

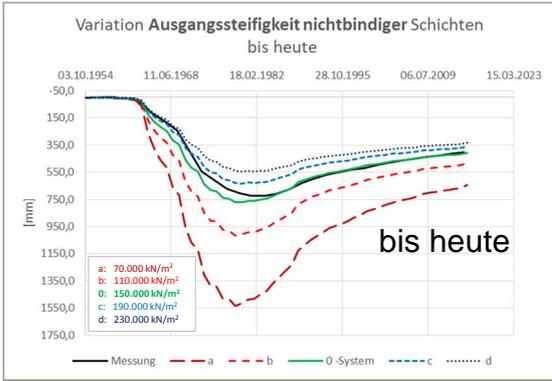
Folien erstellt von
Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Erste Ergebnisse



2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

a) Ausgangsteifigkeit nichtbindig



- Erhöhung
- Messung
- 0-System
- Reduzierung



Kompetenz für ein lebenswertes Land

Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

Folien erstellt von
Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

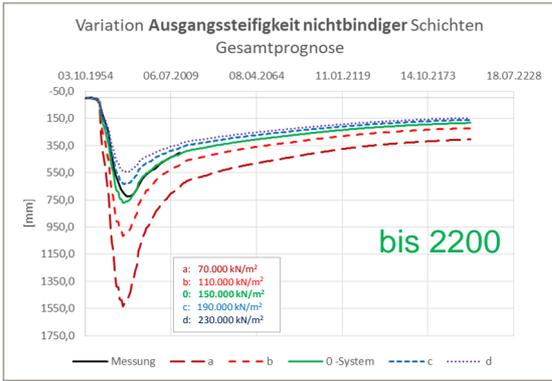
15

Erste Ergebnisse



2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

a) Ausgangsteifigkeit nichtbindig



- Erhöhung
- Messung
- 0-System
- Reduzierung

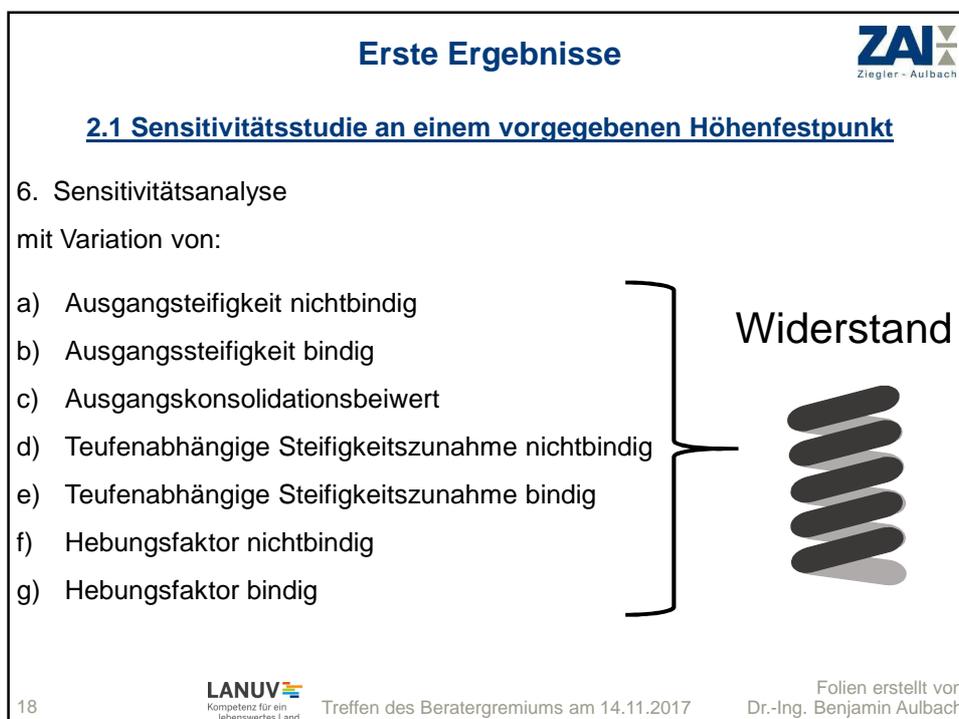
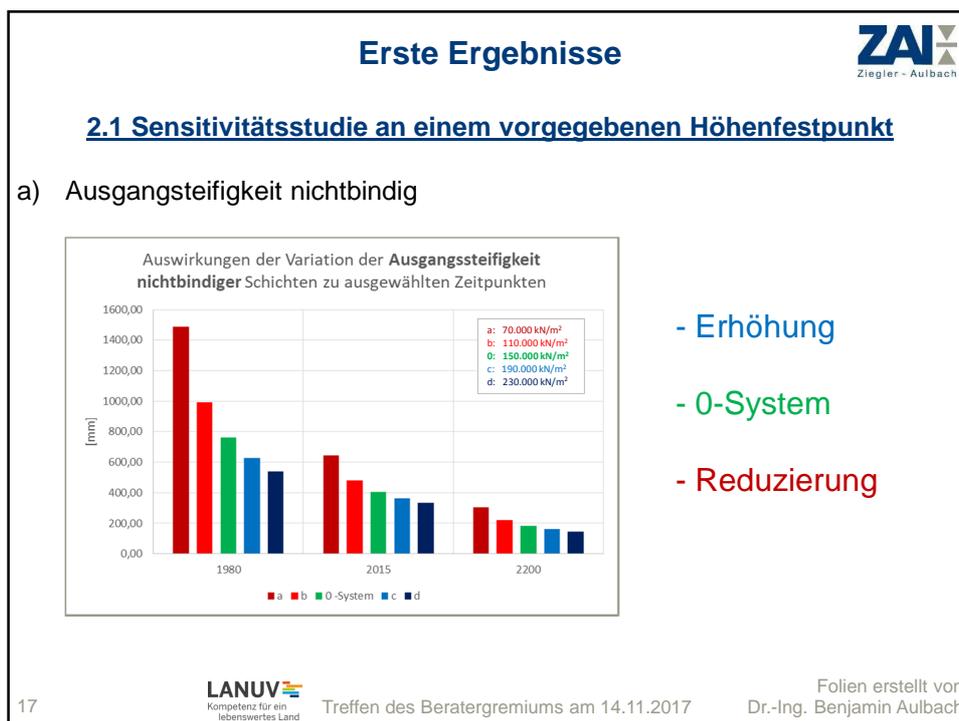


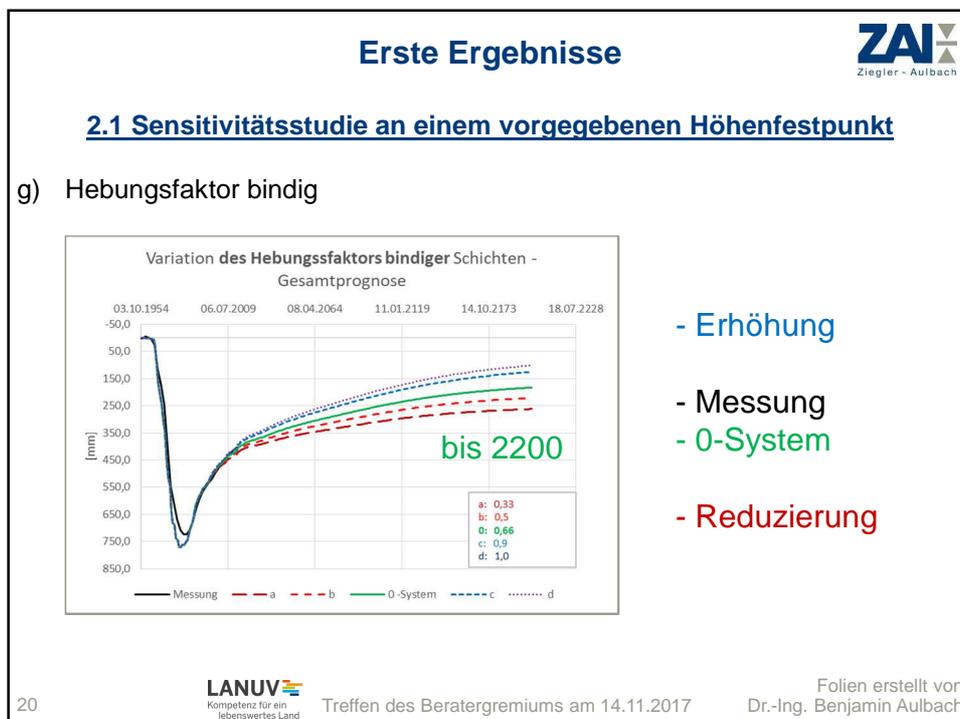
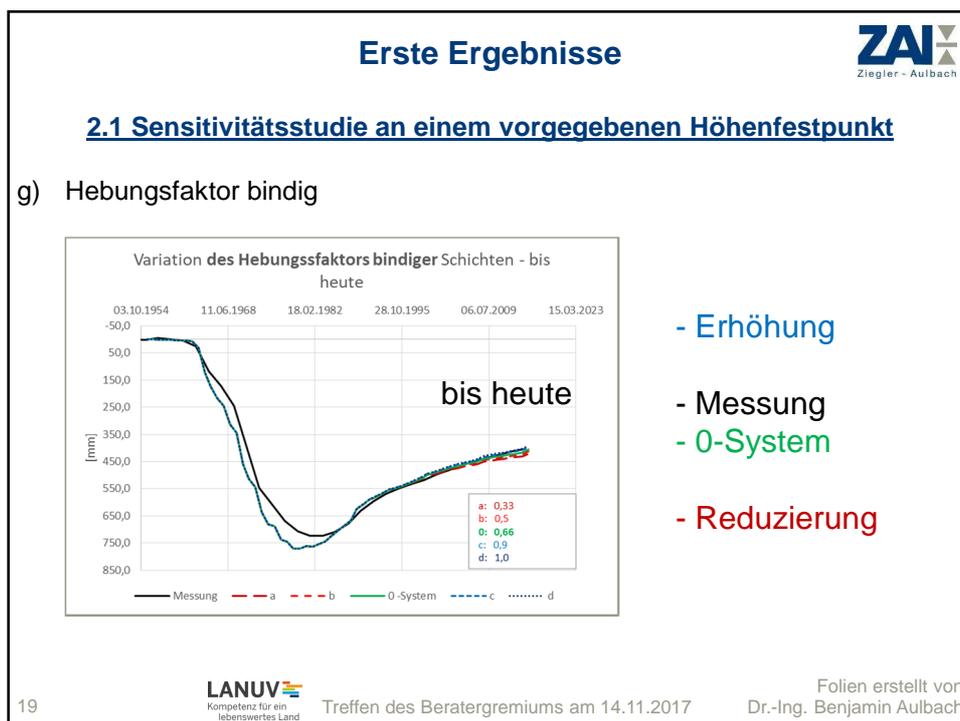
Kompetenz für ein lebenswertes Land

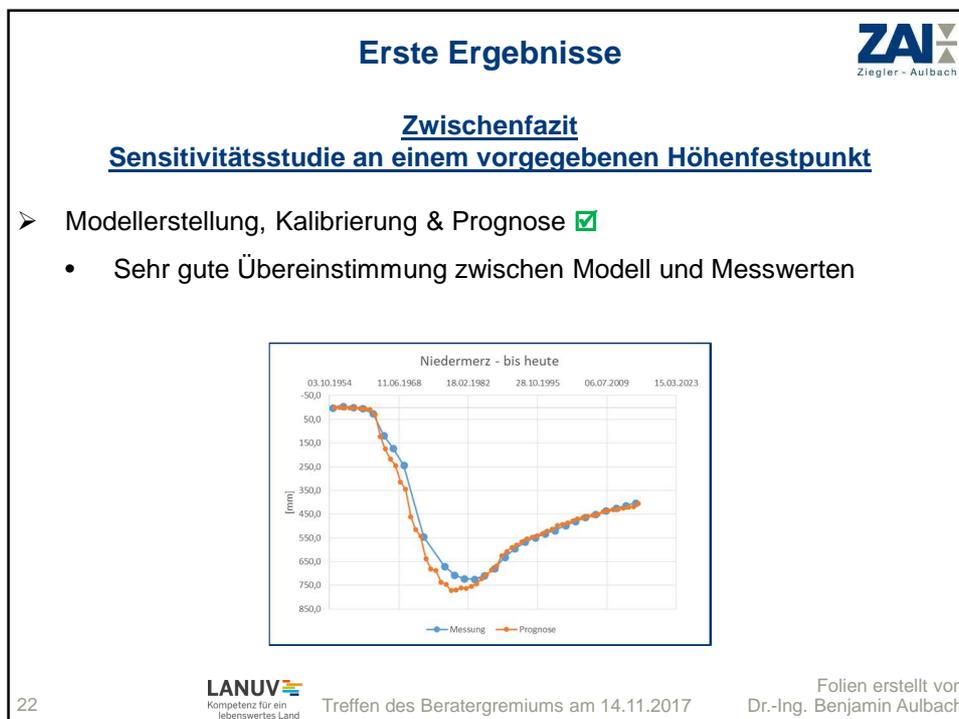
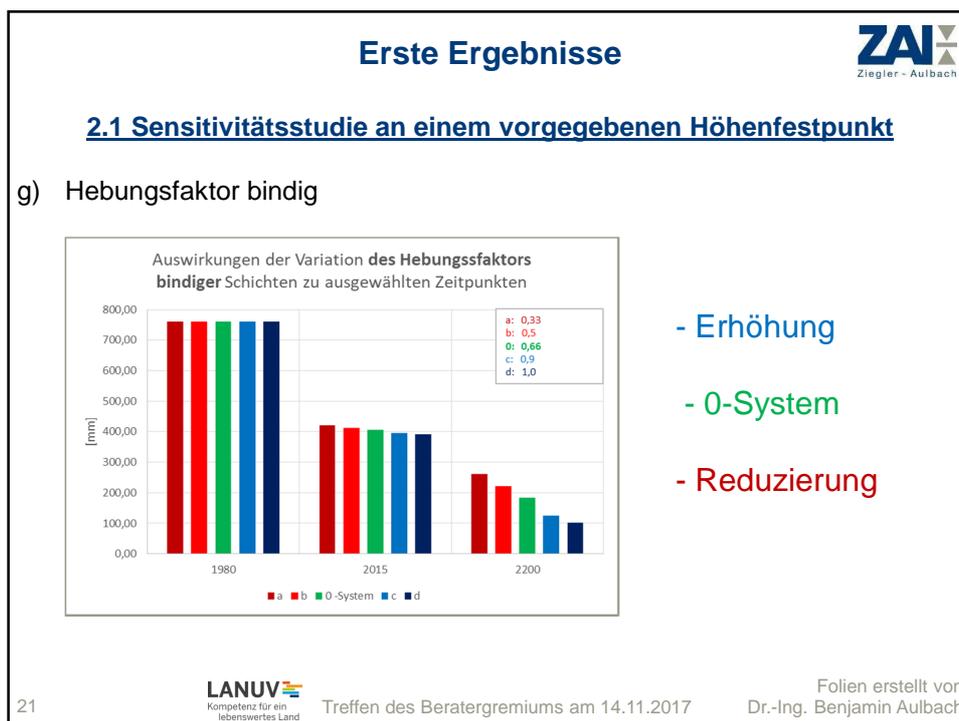
Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

Folien erstellt von
Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

16







Erste Ergebnisse



Zwischenfazit Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

- Modellerstellung, Kalibrierung & Prognose
 - Sehr gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messwerten
- Sensitivitätsstudie bzw. Parametervariation
 - Variation von 7 Parametern / Einflussgrößen

2.1 Parametervariation				Index				
Nr.	Parameter	Ausgangswert	Einheit	Reduktion		Erhöhung		d
				a	b	0	c	
1	Ausgangsteifigkeit nichtbindig	150.000	[kN/m ²]	70.000	110.000	150.000	190.000	230.000
2	Ausgangsteifigkeit bindig	15.000	[kN/m ²]	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000
3	Ausgangskonsolidationsbeiwert	1,E-30	[m ² /s]	1,E-12	1,E-11	1,E-10	1,E-09	1,E-08
4	Teufenabhängige Steifigkeitszunahme nichtbindig	Es,nb (z)	[%]	-50%	-25%	Es,nb (z)	25%	50%
5	Teufenabhängige Steifigkeitszunahme bindig	Es,b (z)	[%]	-50%	-25%	Es,b (z)	25%	50%
	Teufenabhängige Steifigkeitszunahme: Variation bzw. Berechnung erfolgt nach			= 100% + (Es(z)-100%)*(100%+ij%)				
6	Hebungsfaktor nichtbindig	0,8	[-]	0,2	0,5	0,8	0,9	1
7	Hebungsfaktor bindig	0,66	[-]	0,33	0,5	0,66	0,9	1

23



Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

Folien erstellt von
Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

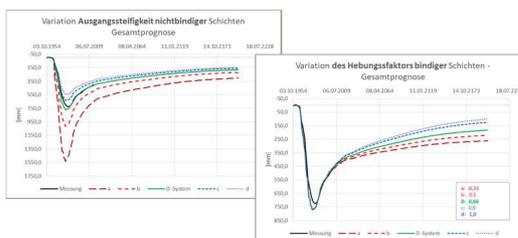
Erste Ergebnisse



Zwischenfazit Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

- Modellerstellung, Kalibrierung & Prognose
 - Sehr gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messwerten
- Sensitivitätsstudie bzw. Parametervariation
 - Variation von 7 Parametern / Einflussgrößen
 - Unterschiedlicher Einfluss der Parameter

- sowohl quantitativ
(absolute Setzungen)
- als auch zeitlich
(von Beginn / mit
GW-Wiederanstieg)



24



Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017

Folien erstellt von
Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Vorgehen / Projektskizze

ZAI
Ziegler - Aulbach

2.2 Bewertung der Eingangsdaten

Variation GW-Ganglinie:

a) Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach oben

b) Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach unten

c) Verschiebung aller Grundwasserganglinien im Abstand ± 2 m um ± 2 m. 7 GW-Leiter x 2 = 14 Fallunterschiede

Variation Schichtmächtigkeit:

d) „Stauchung“ aller bindigen und „Dehnung“ aller nichtbindigen Schichten

e) „Dehnung“ aller bindigen und „Stauchung“ aller nichtbindigen Schichten

f) Reduzierung der zu betrachtenden Endteufe bzw. der untersten Schicht

g) Erhöhung der zu betrachtenden Endteufe bzw. der untersten Schicht

Einwirkung


Aktuell in Bearbeitung

25  Kompetenz für ein lebenswertes Land Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017 Folien erstellt von Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Vorgehen / Projektskizze

ZAI
Ziegler - Aulbach

2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

- Analog zu erstem Punkt
- Neuberechnung mit abweichenden Eingangsdaten (Schichtprofil, GW)

2.4 Darstellung der Ergebnisse

- Bericht – allgemein verständlich

2.5 Kalibrierung & 2.6 Berechnung für weitere Punkte

- Analog zu erstem Punkt
- Zunächst 6 weitere Punkte
- ggf. auch mehr

26  Kompetenz für ein lebenswertes Land Treffen des Beratergremiums am 14.11.2017 Folien erstellt von Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

