

**Identifikation bewegungshomogener Bereiche im
Einflussbereich des Braunkohlenbergbaues**
Vorüberlegungen - methodische Herangehensweise - Ergebnisse

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Niemeier
Technische Universität Braunschweig

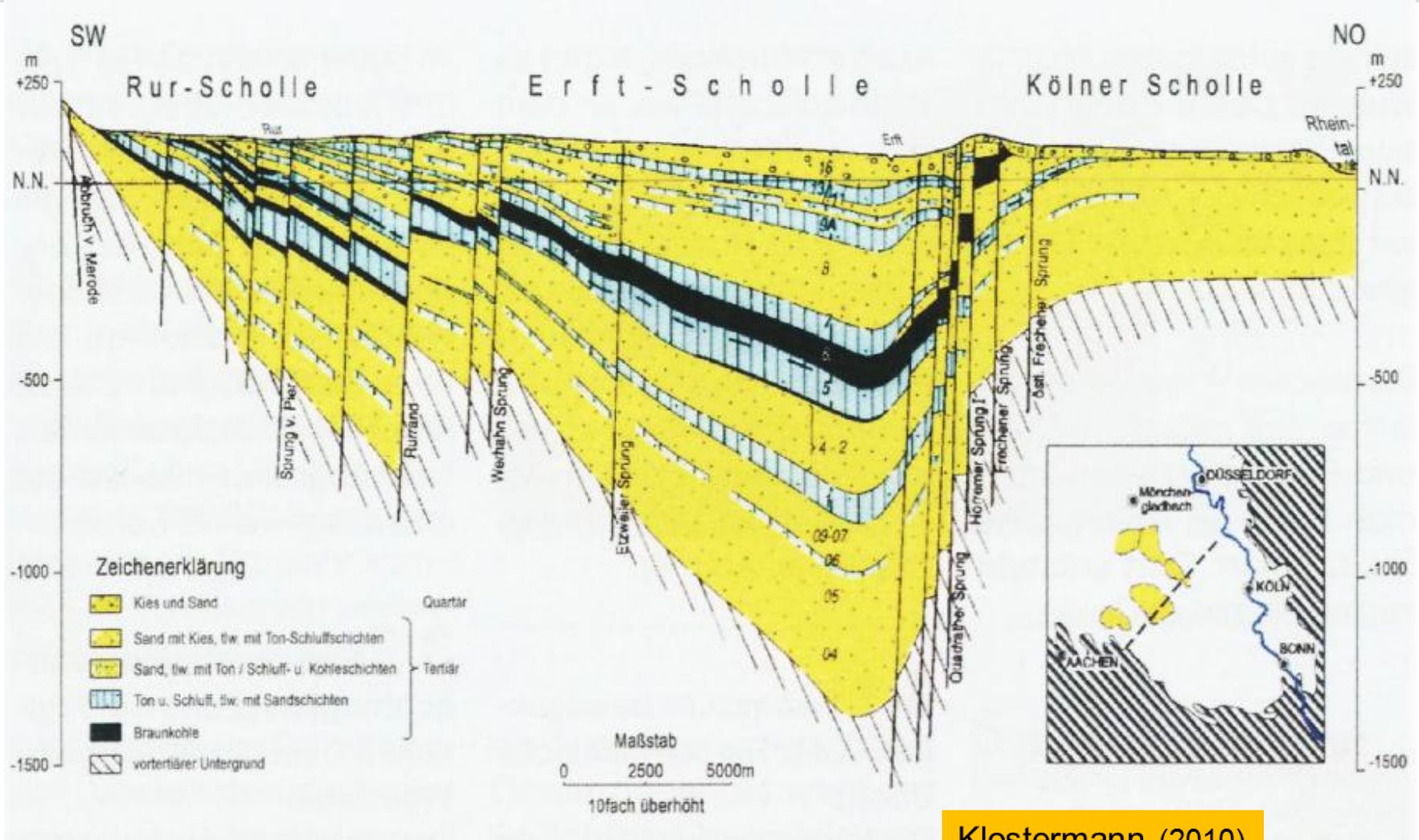
Gliederung

1. Akteure bei der Gesamtproblematik Bergschaden
2. Bewegungsmodelle
3. Nivellements und deren Aussagekraft
4. Entscheidungskette zur Identifikation bewegungshomogener Bereiche
5. Ergebnisse für ausgewählte Ortslagen
6. Zusammenfassung

1. „Akteure“ bei der Gesamtproblematik Bergschaden

- **Geologie / Hydrogeologie / tektonische Störungen**
- **Grundwasser-Absenkungen**
- **Bergbauaktivitäten**
- **Art und Ausführung der Bebauung**

Geologische Schichten in der Rheinischen Bucht



Klostermann (2010)



Technische
Universität
Braunschweig

Niemeier | Identifikation bewegungshomogene Bereiche | 04.07.14 |



Anmerkungen zu den Akteuren - I

Geologie / Hydrogeologie / tektonische Störungen

- komplexe geologische, hydrogeologische Situation,
- unterschiedlicher Aufbau der Böden,
- Vorhandensein von bewegungsaktiven tektonischen Störungen

- ▶ **Vorabschätzung der zu erwartenden Bodenbewegungen für einzelne Ortslagen ist schwierig bzw. nicht möglich.**

Grundwasser-Absenkungen

- Sümpfungsmaßnahmen betreffen die gesamte Rheinische Bucht
- entsprechend sind hier Bodenbewegungen (Absenkungen) zu erwarten
- Durchführung der Grundwasser (GW)-Entnahmen erfolgt bedarfsgerecht: Mengen, beteiligte Pumpstationen, zeitliche Verlauf

- ▶ **Kann nicht als Grundlage für theoretische Abschätzungen über die resultierenden Bodenbewegungen dienen**

Anmerkungen zu den Akteuren - II

Bergbauaktivitäten

- erfolgen nach einem komplexen Schema in Abhängigkeit von vielen behördlichen, organisatorischen, geologischen, bautechnischen, ökologischen und ökonomischen Faktoren:

- ▶ **Vorabschätzung der zu erwartenden Bodenbewegungen für einzelne Ortslagen ist sehr schwer bzw. nicht möglich.**

Art und Ausführung der Bebauung

- Durch Sümpfungsmaßnahmen und den dadurch bedingten Wasserentzug kann es zu Einflüssen auf die konstruktiven Grundelemente kommen (Witt 2013); dazu kommen unterschiedliches Alter und unterschiedliche Konstruktionsweisen.

- ▶ **Je nach Tragstruktur, Baugrund und Gründung kann ein Gebäude empfindlich auf GW-Absenkungen reagieren**

2. Bewegungsmodelle und deren Relevanz für Bergschäden

- **Schollensetzungen**
- **Schollenschiefstellungen**
- **Krümmungen**
- **Bewegungsaktive tektonische Störungen**
- **Auegebiete**

Großflächige Bewegungsmodelle

Situation: Enorme flächenhafte Ausdehnung der Sumpfungsgebiete und langandauernder Vorgang der Grundwasser (GW)-Entnahme.

- ▶ **1. Modellstufe: Sich nur allmählich ändernde, gleichförmige, flächenhafte Vertikalbewegung**

Schollensetzungen:

Gleichmäßigen Senkungen oder Hebungen, die nicht zu Schädigungen an Bauwerken führen, da sich alle Bauwerksbereiche gleichförmig heben oder senken.

Schollenschiefstellungen

Unterschiedliche, gleichförmige Senkungen bzw. Hebungen an den Gebäuden. „Starke Beeinträchtigungen“ bei Schieflagen ≥ 25 mm/m.

Im Bereich des Steinkohlenbergbaues bestehen gemäß Minderwertabkommen RAG/VBHG (2001) schon ab einer Schiefelage von ≥ 2 mm/m Ansprüche auf Entschädigung.

Krümmungen (2. Ableitung der Senkungsbeträge)

Abbildung:

Krümmungsradien für Einzelgebäude.

Grenzwerte für Krümmungsradius

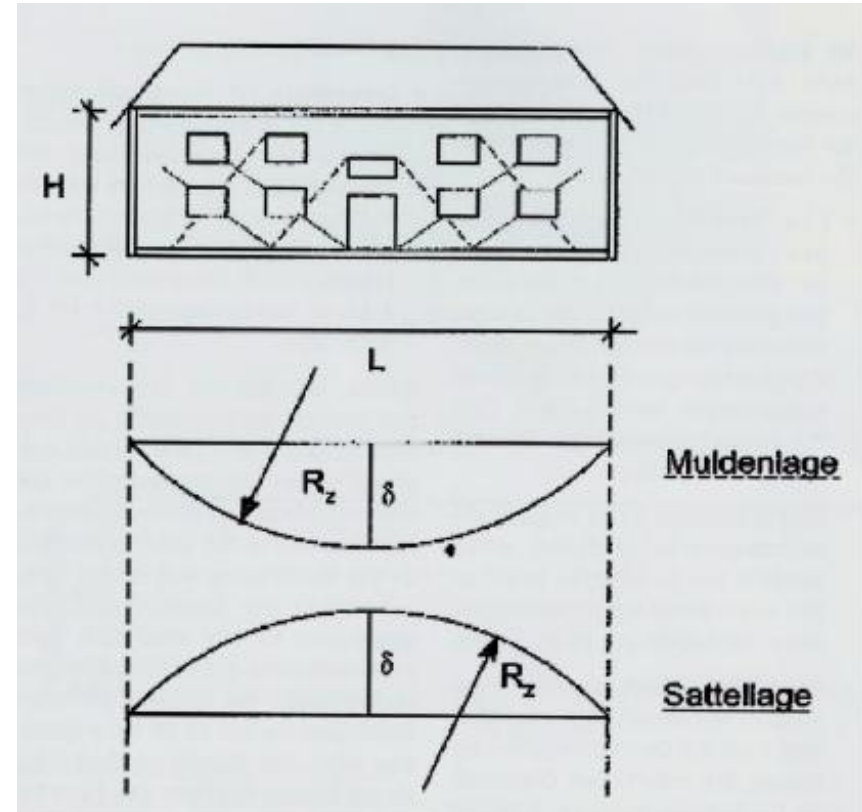
(Grenzradius) für Wohngebäude mit Grundriss von 10 x 10 m:

Zur Vermeidung von Rissbildungen:

- 6 km in Muldenlage
- 12 km in Sattellage

Erhalten der Gebrauchstauglichkeit:

- 2 km in Muldenlage
- 4 km in Sattellage

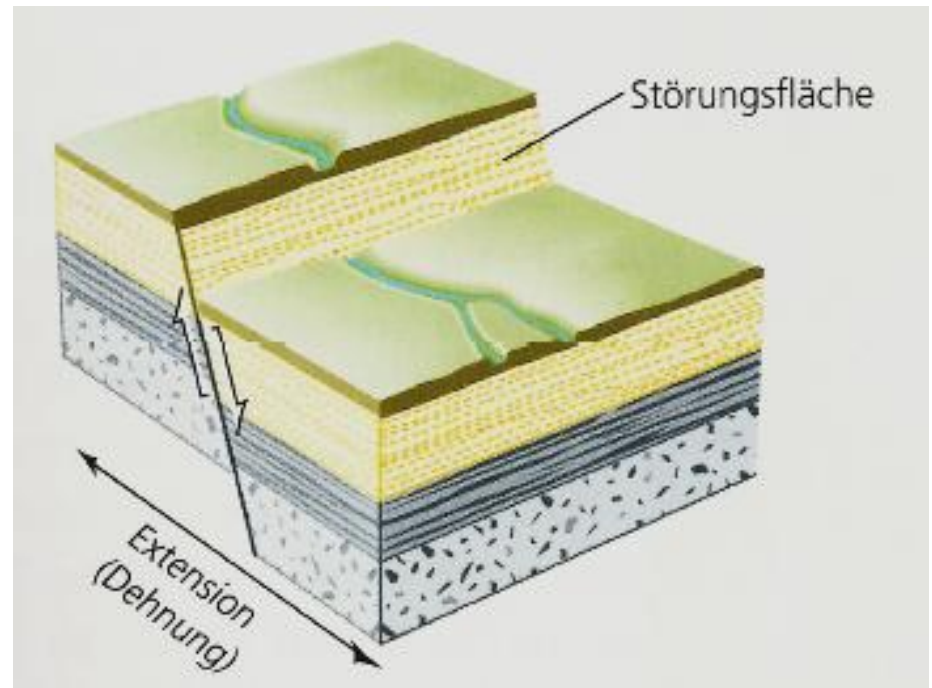


Pohl 2002, Schürken/Finke 2008)

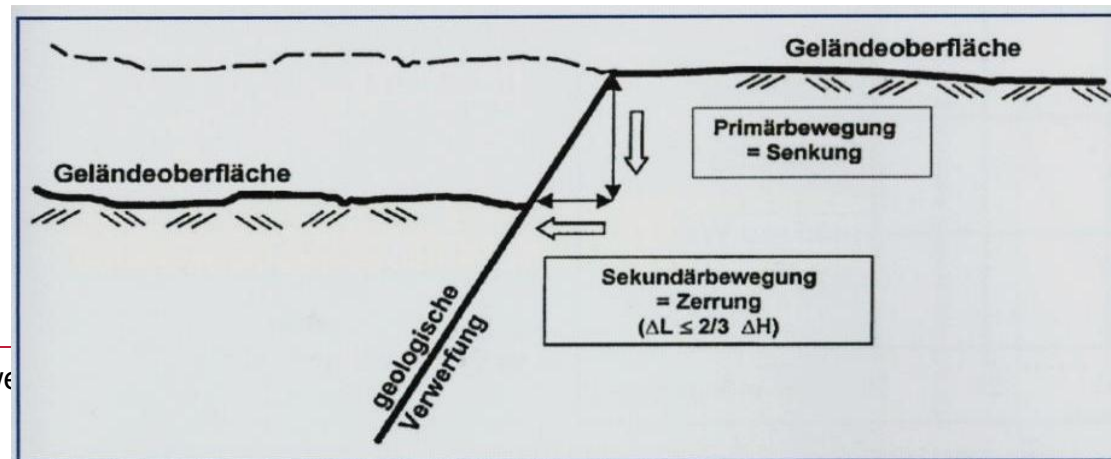
Bewegungsaktive tektonische Störungen / Verwerfungen

Während der Entstehung der Rheinischen Bucht wurden die Lockergesteinsschichten an vielen Stellen gegeneinander versetzt.

Diese Störungen / Verwerfungen sind in ihrem Verlauf und bezüglich ihrer Aktivität oft nur näherungsweise bekannt.



Die wesentliche Auswirkung an der Oberfläche ist ein Versatz in den Höhenlagen auch der Gebäude.



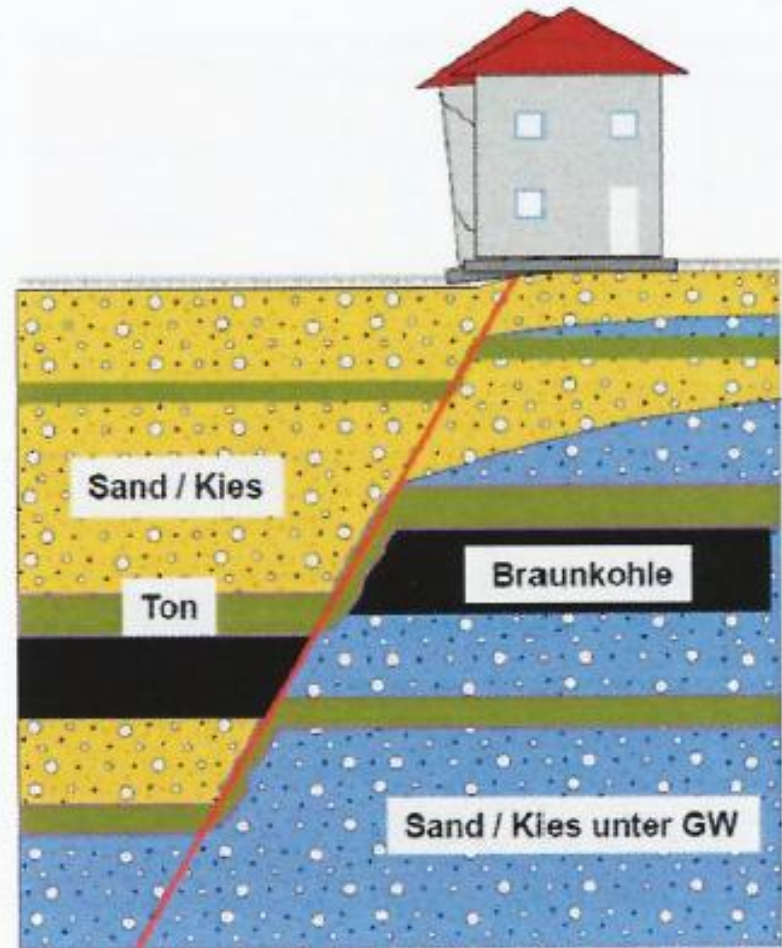
Niemeier | Identifikation bewe

Setzungsunterschiede an Gebäuden, die sich direkt auf bewegungsaktiven tektonischen Störungen befinden.

Lokale Setzungsunterschiede:

Vertikalkomponente und stets deutlich kleinere Horizontalkomponente

Von daher ist es gerechtfertigt, primär die Vertikalkomponente zu bestimmen !!



Ziegler (2010)

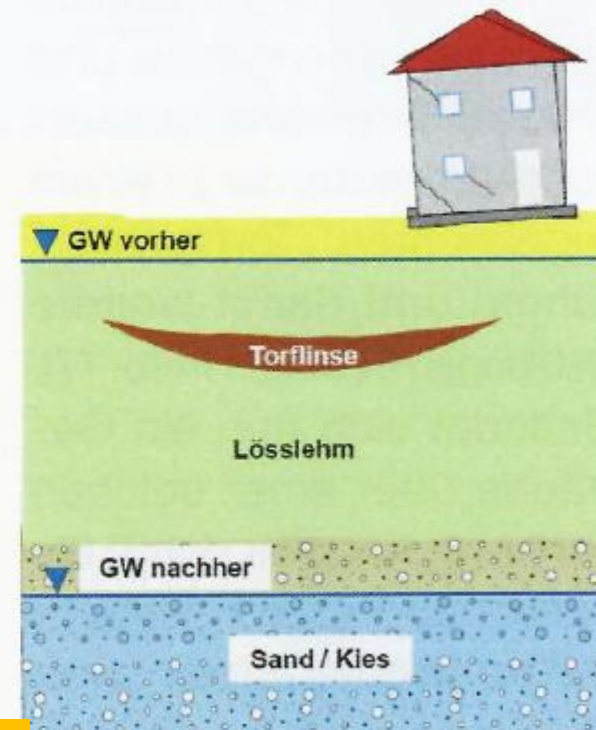
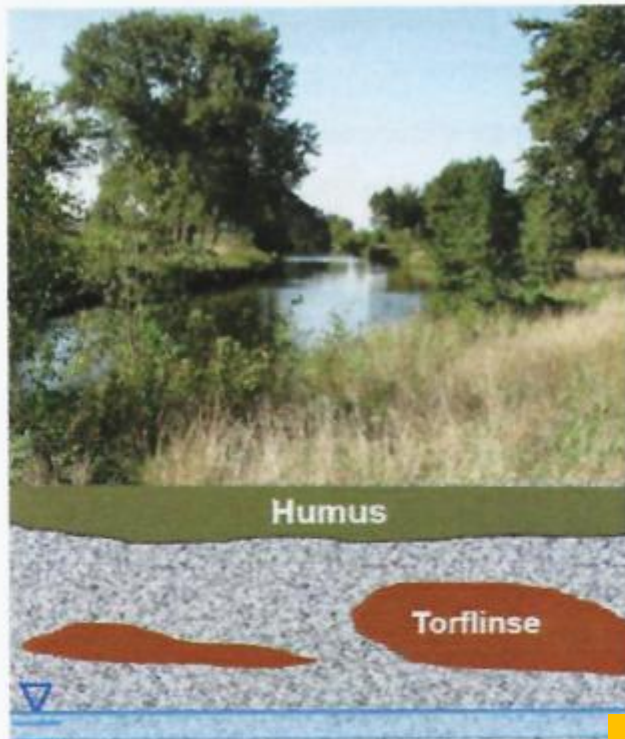
Eine im Gelände sichtbare bewegungsaktive Störung



Vom Grundwasser umschlossene Aueböden

Meist sind dies Überschwemmungsböden mit etlichen Metern Mächtigkeit, die humose Einlagerungen, sogenannte **Torflinsen**, beinhalten können. Größe, Lage und Mächtigkeit der Torflinsen ist nicht bekannt !!

Bei GW-Entzug kommt es zu Setzungen, die lokal oder großflächig sein können und für Gebäude zu Schädigungen führen können.



3. Wiederholungs-Nivellements und deren Aussagekraft

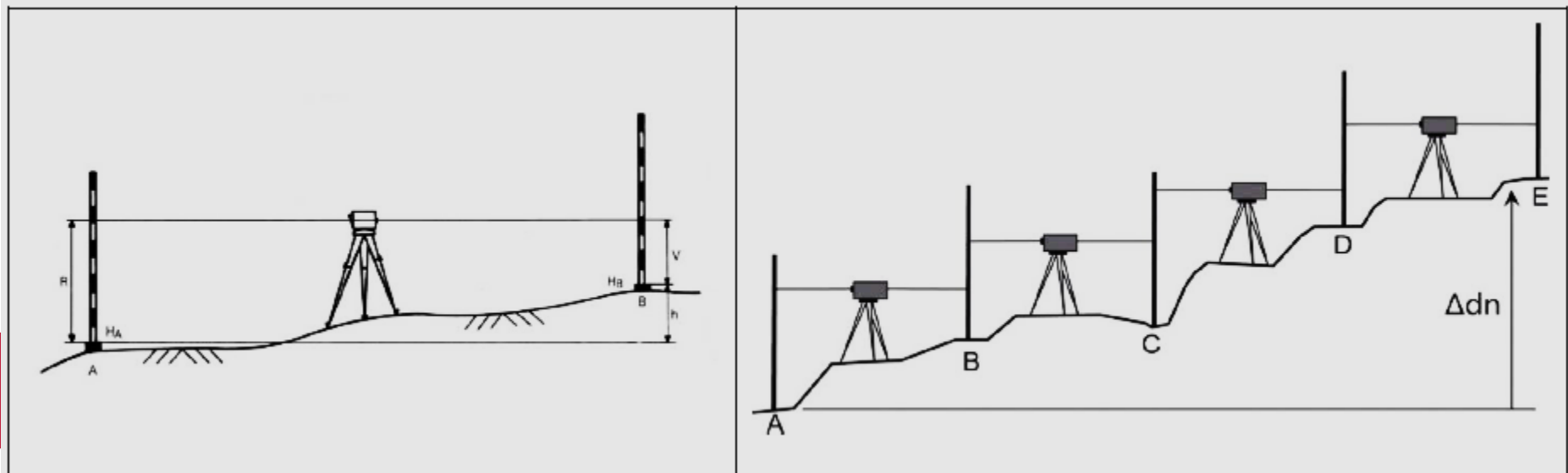
- **Qualität von Höhenbestimmungen mittels Nivellement**
- **Methoden zum Nachweis von Höhenänderungen**
- **Umgang mit bewegungsaktiven Störungen**
- **Umgang mit Aueböden**

Etabliertes Messverfahren „Nivellement“

Bestimmung von Höhen erfolgte in sämtlichen Untersuchungsgebieten mittels **„Präzisionsnivellement“**, ein etabliertes, hochgenaues geodätisch-markscheiderisches Messverfahren.

Ausgangsgröße ist die Bestimmung eines Höhenunterschiedes $\Delta h = R - V$ zwischen zwei Nivellierlatten, die 20 -30 m vom Instrument entfernt stehen. Die Ablesung erfolgt heute mittels Digitaler Bildverarbeitung und automatischer Speicherung der Daten.

Aufgrund langjähriger Erfahrungen kann von einer **Standardabweichung von $\sigma = 0.7 \text{ mm}$** für den in einer Epoche bestimmten Höhenunterschied zwischen zwei Messpunkten ausgegangen werden.



Qualität bzw. Aussagekraft der Nivellements

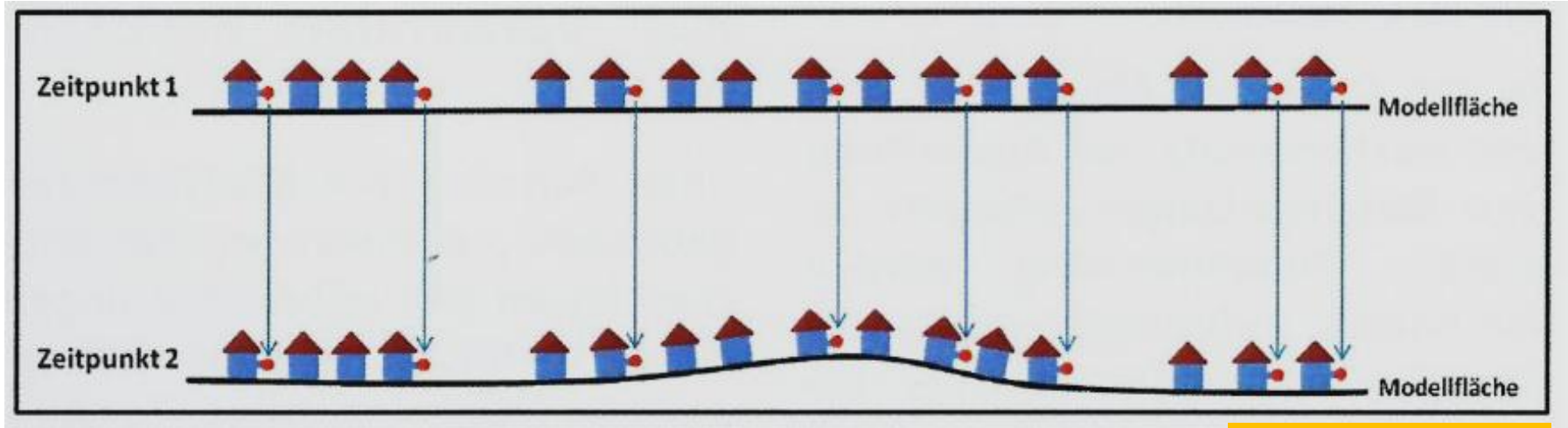
Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Höhenpunkten werden **nach Abschluss sämtlicher Messungen in einem Untersuchungsgebiet** durch ein anerkanntes mathematisch-statistisches Verfahren, die **Methode der kleinsten Quadrate** (nach Gauss) bestimmt.

Anschlussmessungen bis in geologisch stabile Gebiete ermöglichen die Bestimmung von **absoluten Höhenlagen** und damit auch **absoluten Senkungsbeträgen** für ein Untersuchungsgebiet.

Wiederholungsmessungen erlauben die Bestimmung der Höhenlagen für Ortschaften in unterschiedlichen Jahren: **≥ 2 Messepochen.**

Gemäß Varianzfortpflanzungsgesetz kann dabei für einen **Höhenunterschied zwischen 2 Epochen** eine Standardabweichung von **$\sigma = 1 \text{ mm}$** angesetzt werden

Analyse von Höhenänderungen zwischen 2 Epochen



Kuhlmann (2010)

Abbildung: Vereinfachte linienhafte Darstellung der Ergebnisse von Höhenbestimmungen in zwei Epochen.

Ansatz Prof. Kuhlmann: Approximation der Höhenunterschiede durch ein rein mathematisches Modell, eine polynomiale Flächenapproximation.

Frage: Gilt das aus Höhenwerten an einigen Gebäuden ermittelte Bewegungsmodell auch für die übrigen, dazwischenliegenden Punkte ?

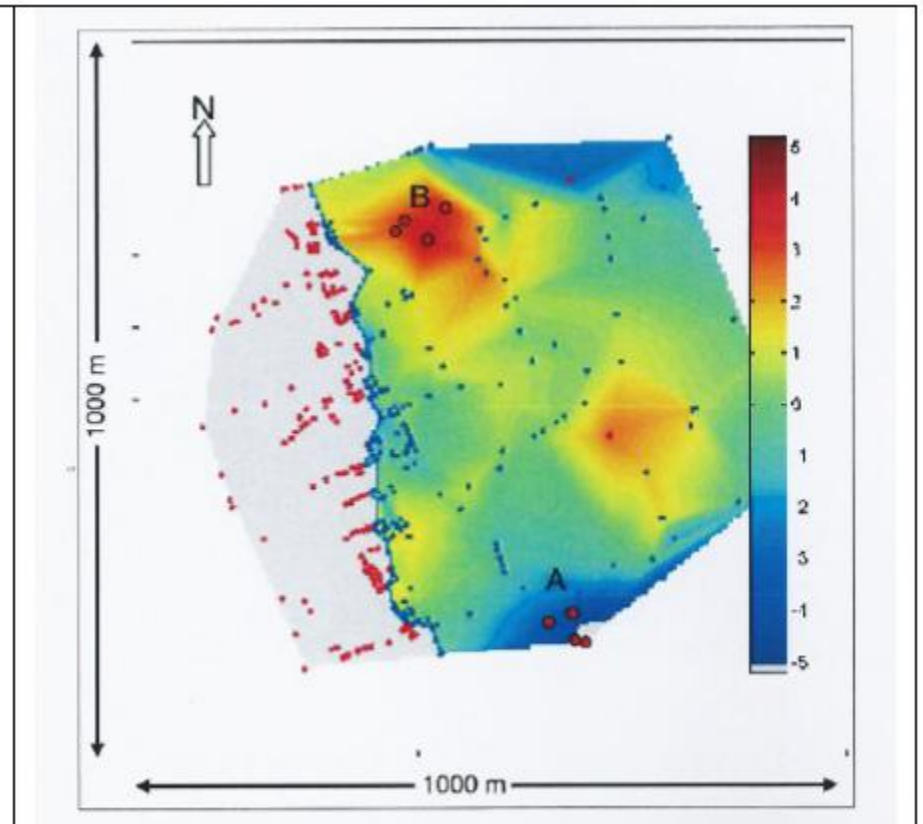
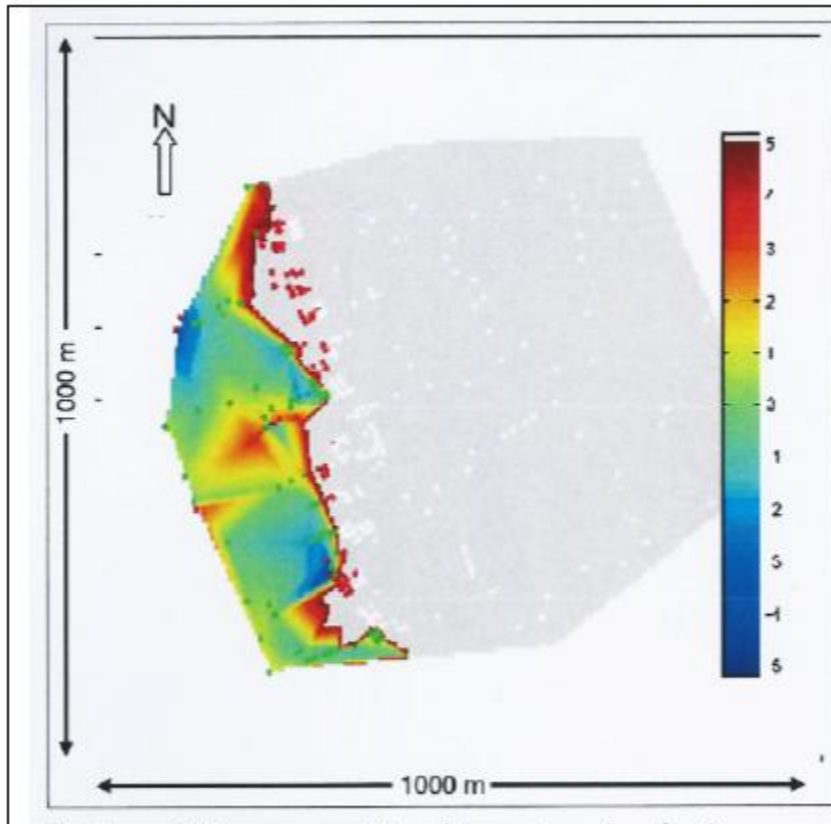
Analyseansatz von Prof. Kuhlmann

- 1. Approximation mit Flächenpolynom**, das Koeffizienten enthält für
 - gleichmäßige Absenkung,
 - Schief lagen,
 - sowie höherwertige Termen (bis zur Ordnung 6), aus denen die maximalen Krümmungen abgeleitet werden.
- 2. Begrenzung des Flächenpolynoms**, wenn Störungen vorliegen bzw. detektiert werden: → *siehe nächste Folien*
- 3. Aufdecken von Punkten**, die nicht zu Flächenapproximation „passen“, also statistisch als „**Ausreißer**“ einzustufen sind.
Für diese Einzelpunkte / Punktgruppen ist eine gesonderte Analyse in jedem Fall vorzusehen.

Umgang mit bewegungsaktiven Störungen

Separate Flächenapproximation für den westlichen und östlichen Bereich der **Ortslage Oberzier**.

Situation: Existenz und ungefährer Verlauf einer bewegungsaktiven tektonischen Störung ist bekannt. Ggf. kann solch eine Störung auch aus den Daten selbst detektiert werden.



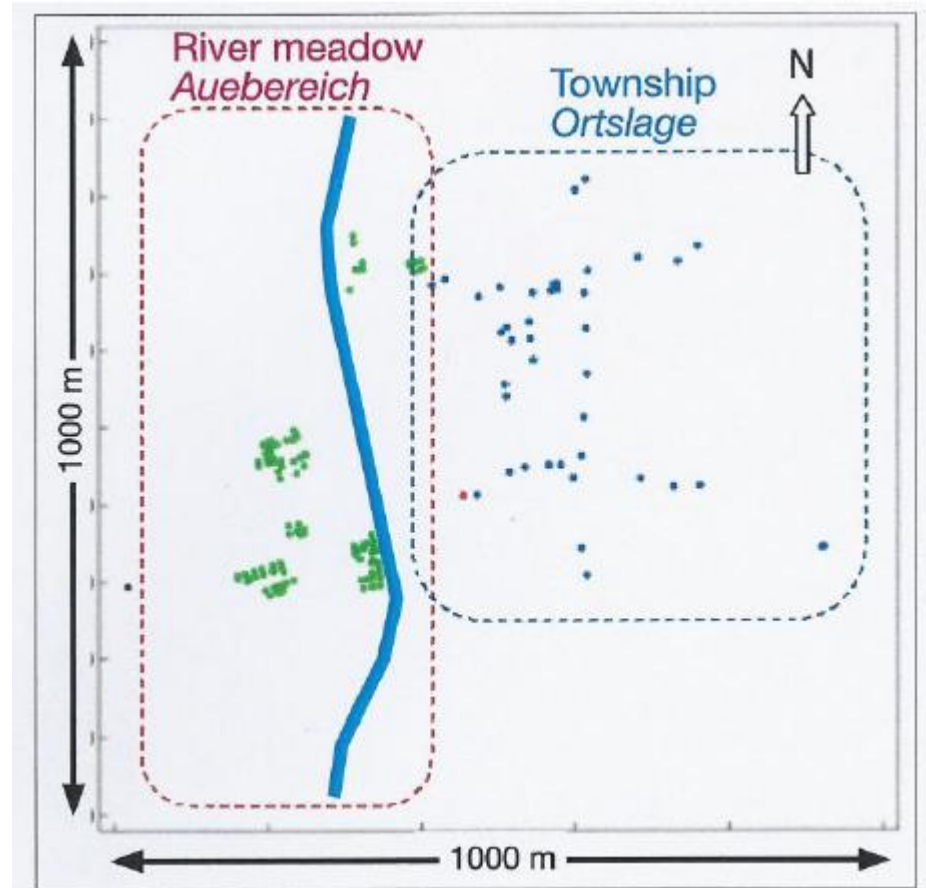
Umgang mit Aueböden

Bei Vorkenntnissen über die Existenz von Bereichen mit Aueböden werden diese Zonen aus der Flächenapproximation ausgeschlossen.

Beispiel: Ortslage Wanlo

Der Auebereich ist aufgrund hydrogeologischer Kenntnissen und unter Nutzung der Messwerte eingegrenzt und aus der Approximation mittels Flächenpolynom ausgeschlossen worden.

Für den östlichen Bereich ist eine Approximation zielführend.



4. Entscheidungskette für die Identifikation bewegungshomogener Bereiche



Identifikation von bewegungshomogenen Bereichen

Versuch einer Definition:

Ortslagen oder Abschnitte in Ortslagen mit sehr gleichförmigem Bewegungsverhalten, d.h. mit kleinen, für Bauwerke unkritischen Schief lagen und Krümmungen sowie wenig auffälligen Einzelpunkten.

Entscheidungskette:

- **Flächenfunktion ist mathematisch-statistisch akzeptiert/gültig.**
Standardabweichung nach Approximation entspricht a priori Annahme.
- **Relation zwischen Anzahl der Messpunkten und Flächenparametern ist größer als 3 : 1**
- **Werte der Schief lagen sind deutlich kleiner als 2 mm/m, Krümmungsradien sind deutlich größer als 4 km**
- **Nur wenige Punkt weichen signifikant von Flächenfunktion ab; es gibt keine abweichenden Punktgruppen**

Fortsetzung Entscheidungskette

Flächenapproximation bezieht sich nur auf Bereiche, in denen keine lokalen Bewegungsanomalien bekannt oder zu erwarten sind.

Eine entsprechende Vorinformation muss erarbeitet worden sein.

- Keine Approximation über eine bewegungsaktive Störung hinweg.
- Keine Einbeziehung von bekannten oder vermuteten Aueböden.

Vorliegen von 3 oder mehr Messungsepochen:

Liegen nur zwei Epochen vor, so werden die Ergebnisse dieser Identifikation als vorläufig gekennzeichnet und die Durchführung einer weiteren Messepoche empfohlen

Berücksichtigung der Bergbauaktivitäten in den nächsten Jahren:

Ist zu erwarten, dass sich z.B. ein Tagebau einer der untersuchten Ortslagen nähert, so können hier keine bewegungshomogenen Bereiche identifiziert werden.

Zusammenfassende Ergebnisse der Identifikation bewegungshomogener Bereiche

Ortslage	Anzahl der Epochen	Als bewegungshomogen identifizierte Bereiche	Besonderheiten
Berrendorf	3	Gesamte erfasste Ortslage	Keine
Heppendorf	4	Gesamte erfasste Ortslage	Keine
Wanlo*	2	Teilbereich östlich des Auegebietes	Auebereich
Oberzier*	2	Keine Stabilbereiche zu identifizieren	Tektonische Störung
Merken	3	Teilbereiche A ^{II} und B	Tektonische Störung
Niederzier-Ellen	3	Teilbereich A	Tektonische Störung
Rheindahlen**	2	Teilbereiche A und B	Tektonische Störung
Elsdorf**	2	Weitere Untersuchungen erforderlich	Nur Teilgebiet B analysiert

* Vorläufige Ergebnisse: Hier gibt es bisher nur 2 Messungsepochen

** Ausgangsdaten und Analysen sind bisher als vorläufig gekennzeichnet

Weiterhin notwendige Untersuchungen von Experten

Für die als bewegungshomogen identifizierten Bereiche sind folgende weitere Arbeiten erforderlich:

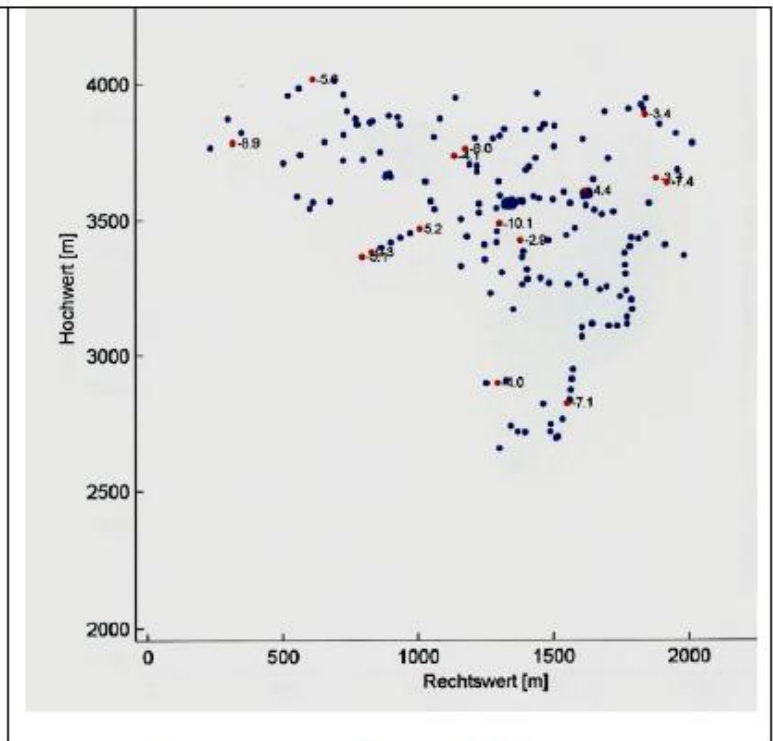
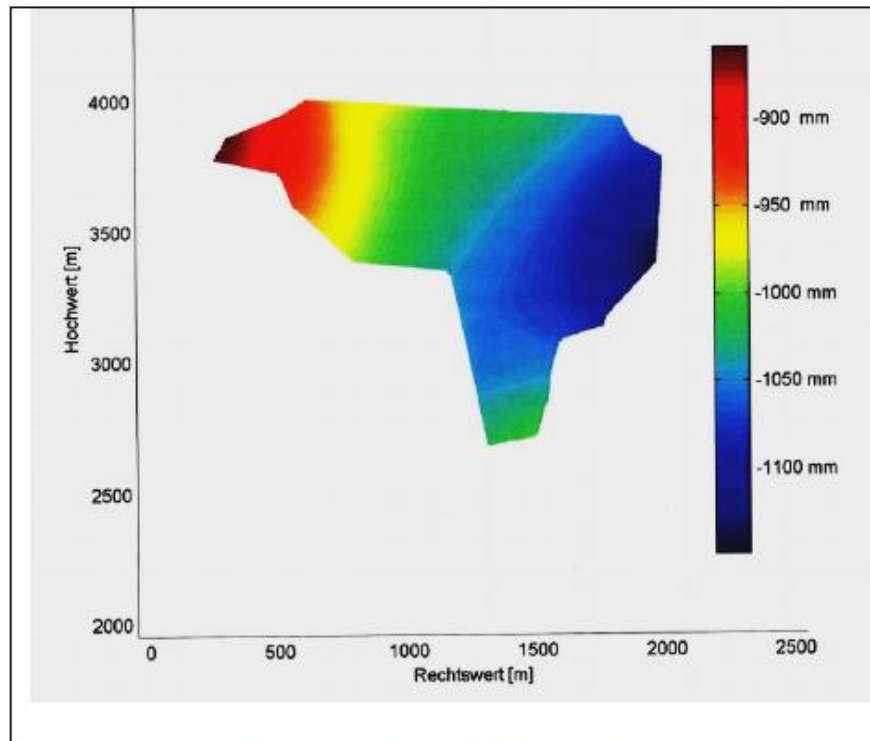
- a) Für die **auffällige Punkte/Gebäude** ist eine Einzelpunktprüfung vorzunehmen
- b) Die genauen **Abstände** der bewegungshomogenen Zonen von den **bewegungsaktiven Störungen** sind in jeder Ortslage festzulegen. Hierzu ist die lokale Geologie bzw. das Streichen und Fallen der Störung zu analysieren.
- c) Die **Existenz von Aueböden** muss ausgeschlossen werden; es sind hinreichend große Abstände von Flussgebieten vorzusehen.
- d) Bei mehreren Messungsepochen sollten sich stets **dieselben Teilflächen als bewegungshomogen** ergeben.
Gibt es Abweichungen zwischen diesen Flächen, so deutet dies auf ein Fortschreiten der GW-Entnahmen und/oder der Bergbauaktivitäten hin.

5. Ergebnisse für einzelne Ortslagen



Ortslage Berrendorf (Messungs-Epochen: 1992, 1999 und 2007)

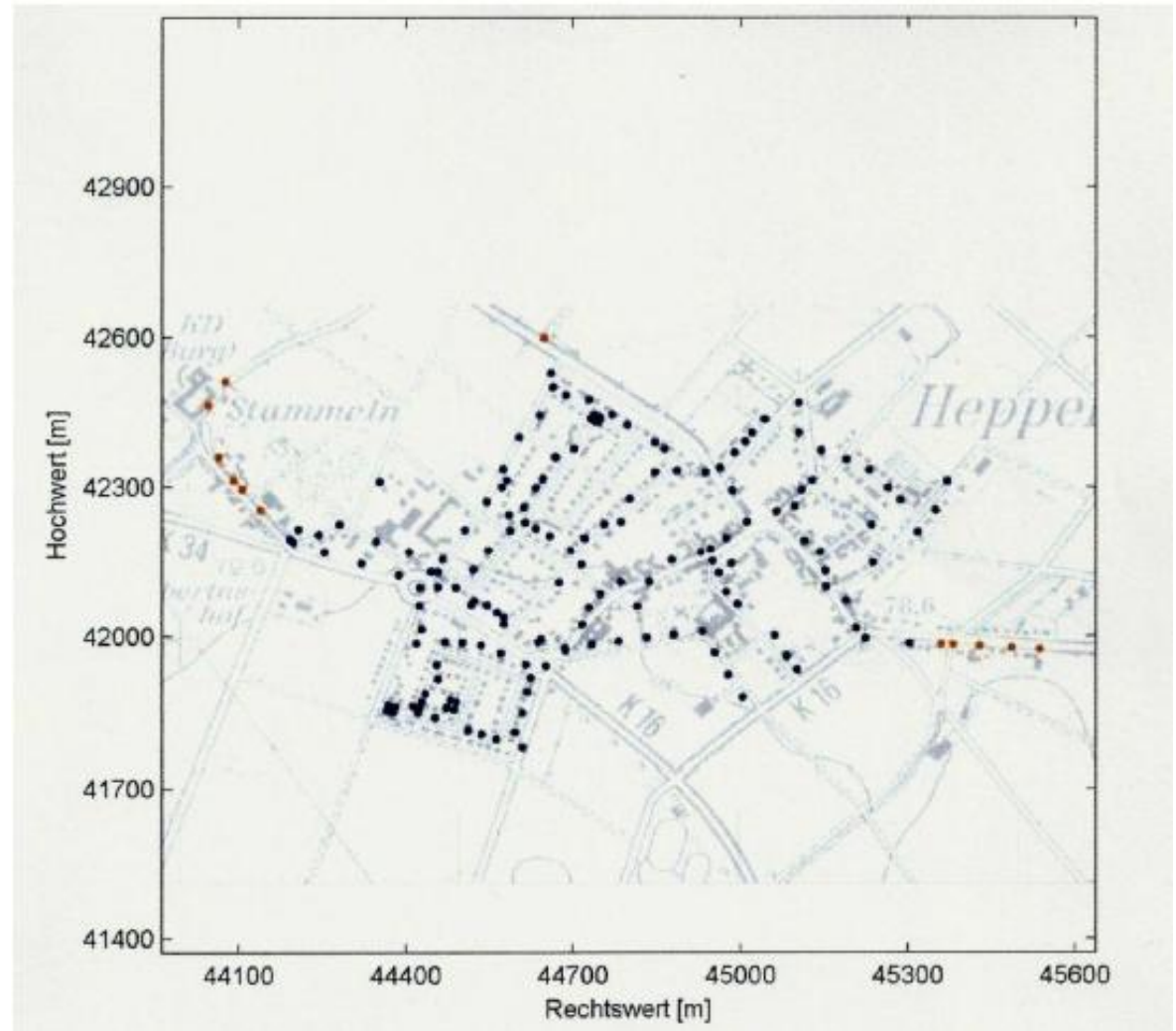
Bodenbewegungsanalysen Berrendorf	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion: Polynomgrad	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale Schief lagen [mm/m]	minimale Krümmungsradien [km]
1992 – 2007	194	1.0	6	15	0.25	390
1999 – 2007	638	0.9	5	16	2210	



Berrendorf 2: 1992 – 2007: Flächenapproximation und Lage der auffälligen Punkte

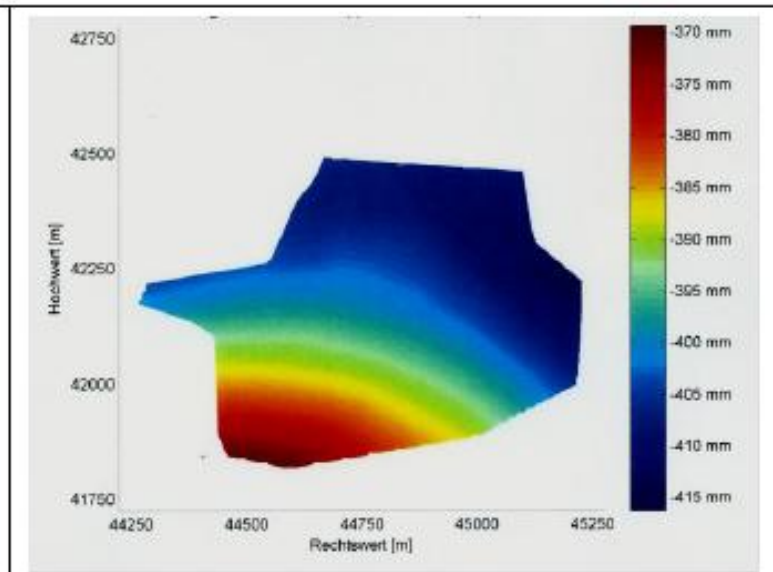
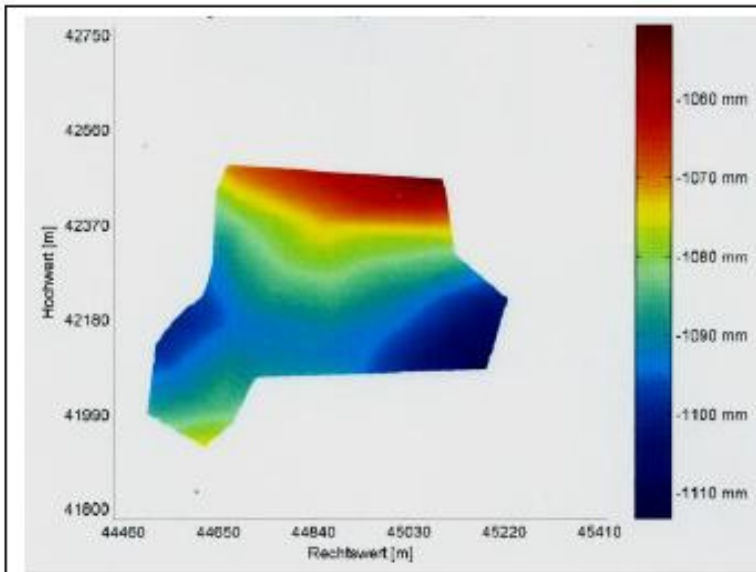
Ortslage Heppendorf (Epochen 1998, 2006, 2009 und 2011)

Anordnung der
Höhenpunkte im
Jahre 2011



Ortslage Heppendorf (Epochen 1998, 2006, 2009 und 2011)

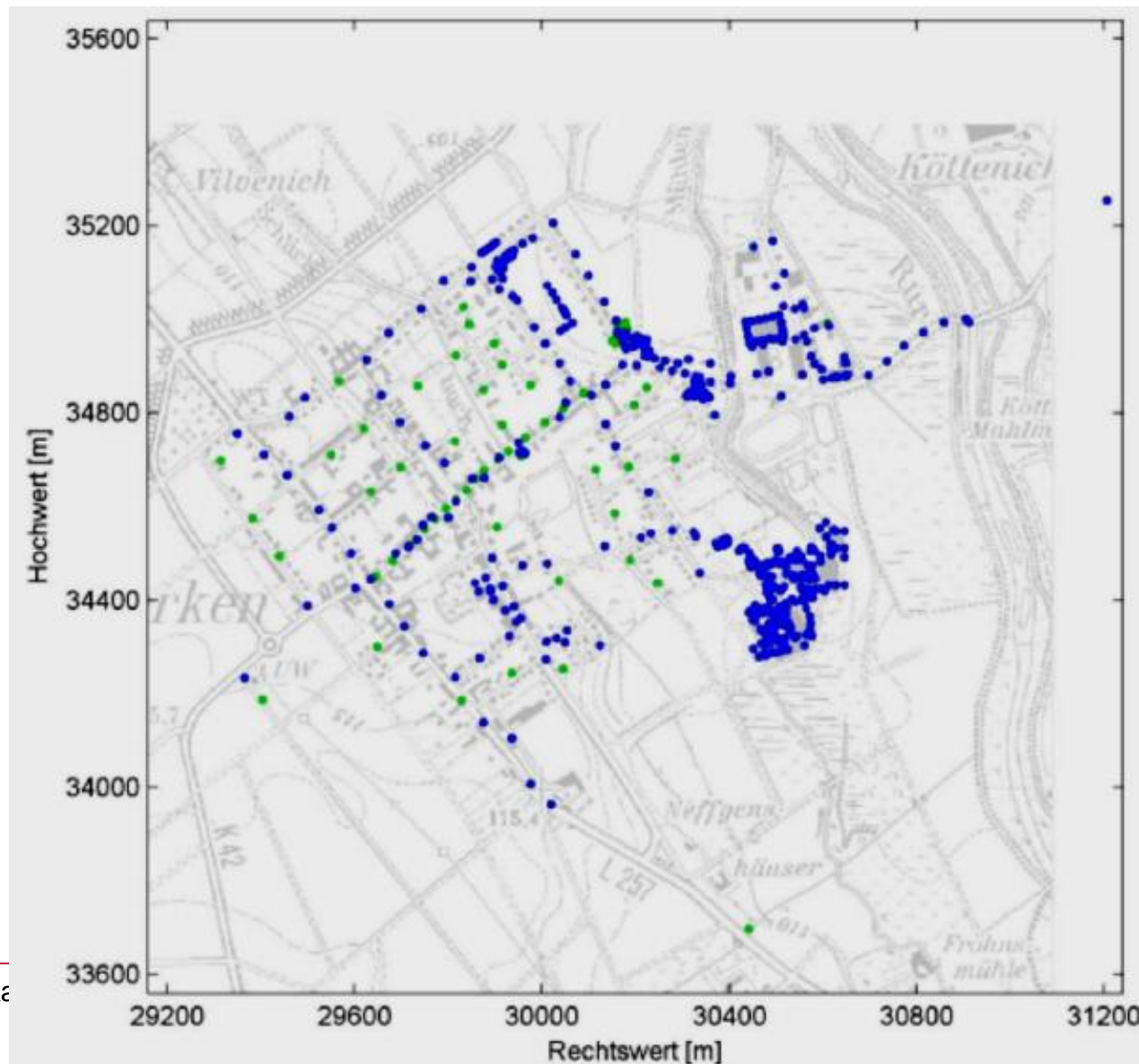
Bodenbewegungsanalysen Heppendorf	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion: Polynomgrad	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale Schiefen [mm/m]	minimale Krümmungsradien [km]
1998 – 2011	25	1.1	2	1	0.25	2080
2006 – 2011	56	0.9	2	0	0.09	> 3000
2009 – 2011	162	0.7	2	1	0.05	> 3000
1998 - 2006	28	0.9	2	0	0.23	> 3000



Heppendorf 3: Flächenapproximationen. links: 1998 – 2011; rechts 2006 - 2011

Ortslage Marken (Epochen 1999,2003,2009 und 2010)

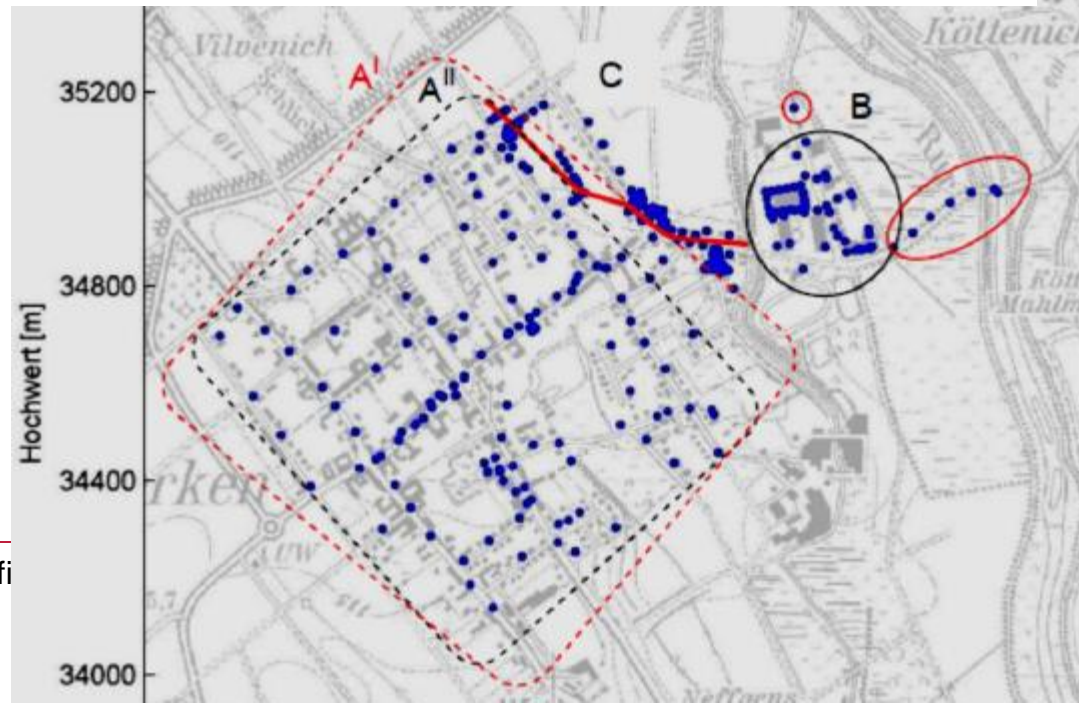
Erhebliche Verdichtung
der Höhenpunkte
zwischen 1999 (blau)
und 2003(gün)



Ortslage Merken (Epochen 1999,2003,2009 und 2010)

Bodenbewegungsanalysen Merken	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion: Polynomgrad	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale Schief- fla- gen [mm/m]	minimale Krü- mungs- radien [km]
A 1999 – 2003	95	1.1	3	2	0.1	> 1500
A 2003 - 2009	139	1.1	6	5	0.2	≥ 540
A 1999 – 2009	96	1.1	6	4	-	-
B 1999 – 2003	48	0.8	2	2	0.06	> 1500
B 2003 – 2009	49	0.9	2	3	0.12	> 1500
B 1999 - 2009	47	1.1	3	2	-	-

Bereiche A^{II} und B als bewegungshomogen identifiziert.



Niemeier | Identifi



Technische
Universität
Braunschweig

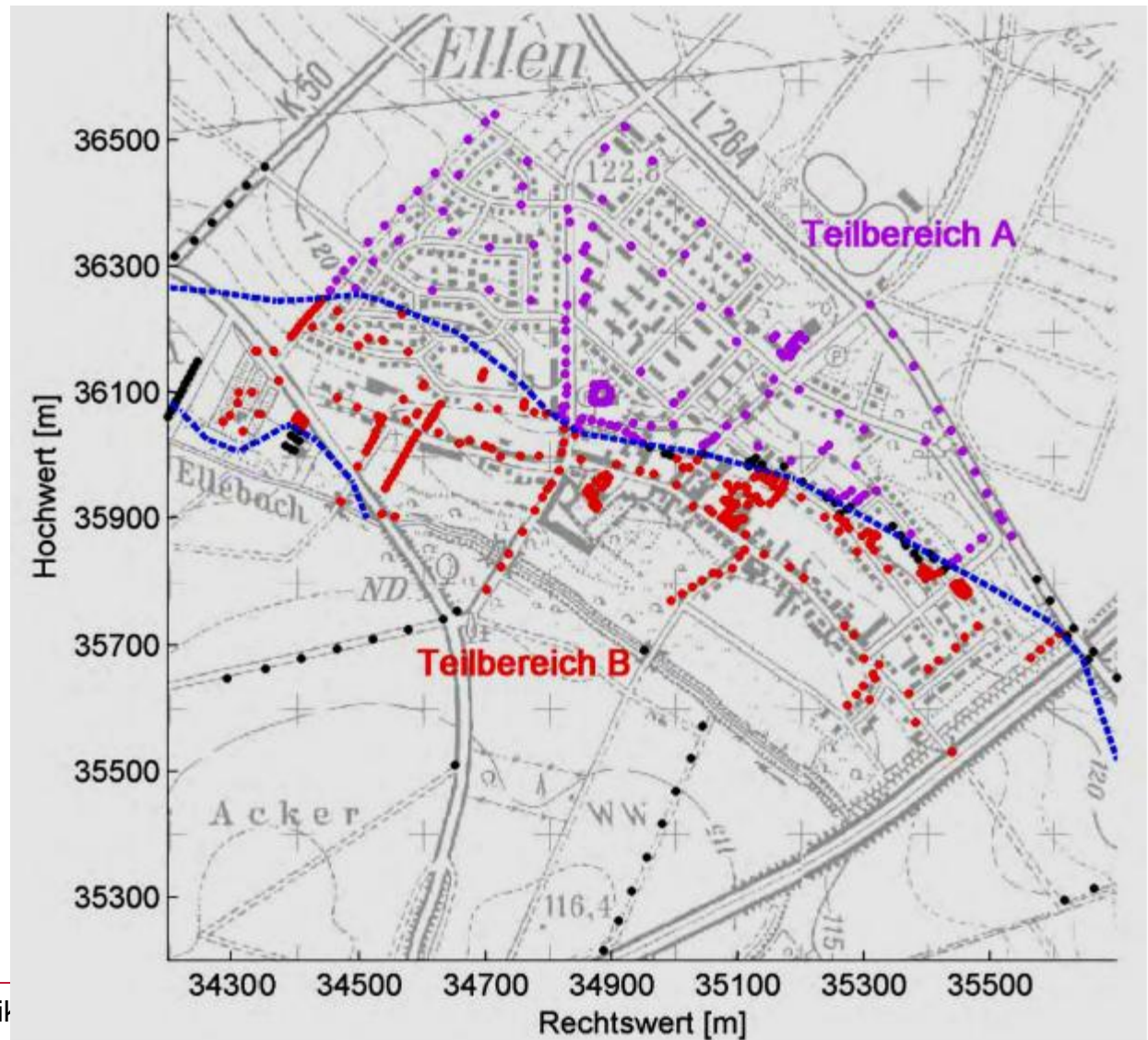
Ortslage Niederzier – Ellen (Epochen 2002, 2008 und 2012)

Bekannte
bewegungsaktive
tektonische Störung

Teilbereich A:
bewegungshomogen

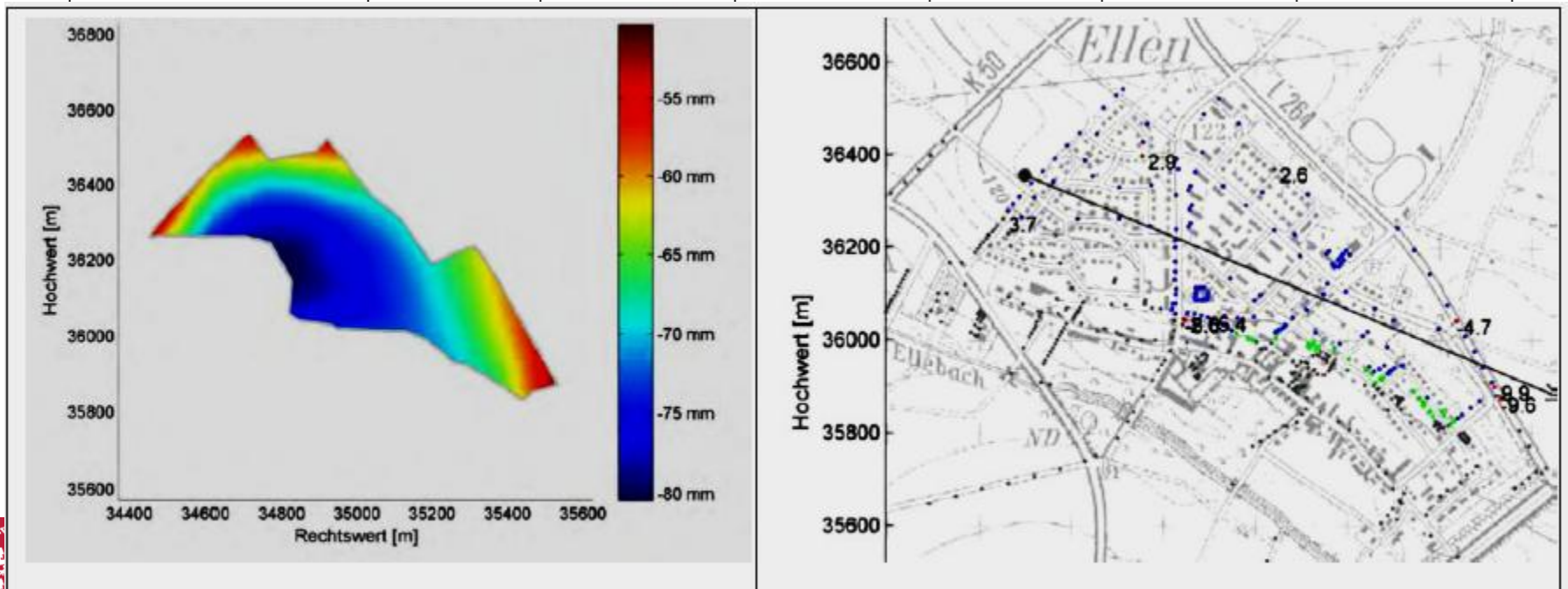
Teilbereich B:
keine Aussage
Problem: Anzahl und
Anordnung der Punkte

Aufgabe:
Einwirkungsbreite
der Störung



Ortslage Niederzier – Ellen (Epochen 2002, 2008 und 2012)

Bodenbewegungsanalysen Ellen	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion: Polynomgrad	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale Schief lagen [mm/m]	minimale Krümmungsradien [km]
A 2002 – 2008	148	0.9	5	9	0.28	> 940
A 2008 – 2012	204	1.0	5	6	0.17	> 500
A 2002 – 2012	138	1.0	5	9	0.34	> 660



Ellen 3: Teilbereich A, 2002 - 2008: Flächenapproximation und Lage der auffälligen Punkte

Ortslage Rheindahlen (Epochen 2002 und 2012, vorläufige Ergebnisse)

Bekannt:
„Rheindahlener Sprung“

Teilbereich A

(südlich des Sprunges)

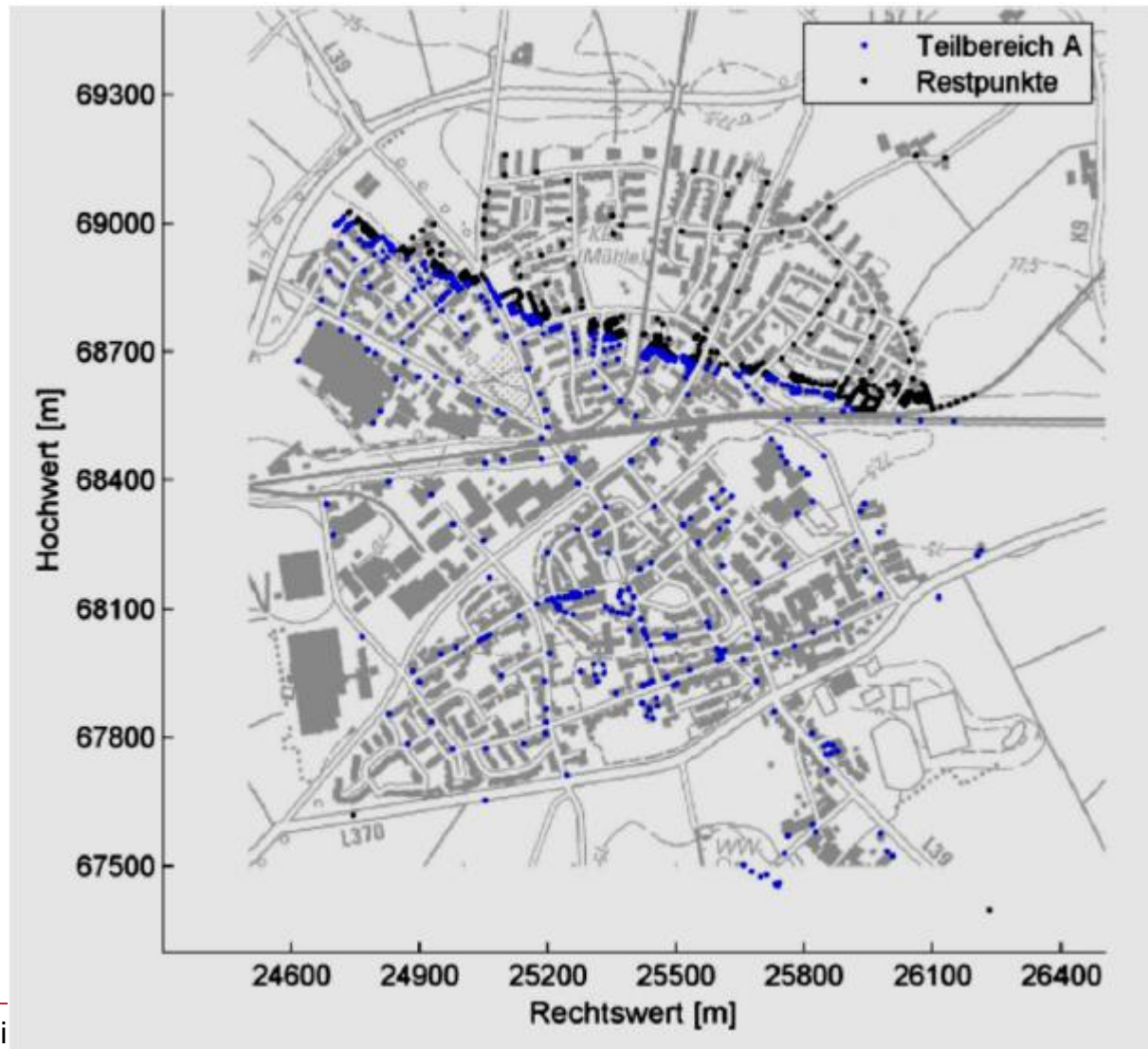
Teilbereich B

(nördlich des Sprunges)

Auffällig:

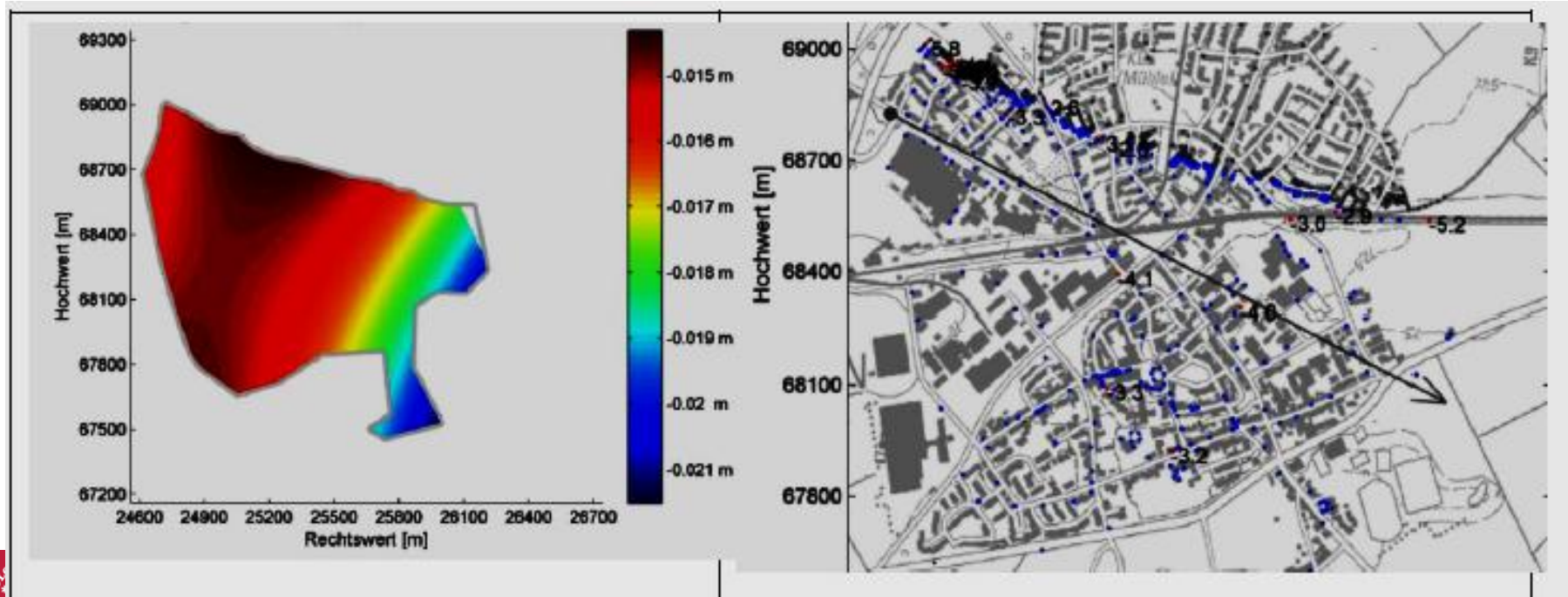
Extrem viele Punkte
im Bereich der Störung;

erlauben eventuell eine
Abgrenzung der
bewegungshomogenen
Zonen



Ortslage Rheindahlen (Epochen 2002 und 2012, vorläufige Ergebnisse)

Bodenbewegungsanalysen Rheindahlen	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion: Polynomgrad	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale Schief lagen [mm/m]	minimale Krümmungsradien [km]
A 2002 – 2012	493	0.9	2	22	0.01	> 3000
B 2002 – 2012	441	0.8	2	15	0.02	> 3000



Rheindahlen 3: Teilbereich A, 2002 - 2012: Flächenapproximation und Lage der auffälligen Punkte

Zusammenfassung - I

Nivellement als Messverfahren:

Voll geeignet und derzeit das genaueste Messverfahren. Die Standardabweichung für einen in zwei Epochen bestimmten Höhenunterschied wird mit $\sigma = 1$ mm realistisch abgeschätzt.

Analyse- und Approximationsansätze:

Die Approximation durch eine Flächenfunktion und Ableitung der charakteristischen Größen ist zielführend und entspricht dem Stand der Wissenschaft und Technik.

Die Flächenapproximationen erfolgte nicht über bewegungsaktive Störungen hinweg; ebenso wurden vermutete Auebereiche ausgeschlossen.

Einschätzung des Schädigungsrisikos:

Für jeden 2-Epochen-Vergleich werden Maximalwerte für Schiefstellungen und Minimalwerte für Krümmungsradien gerechnet. Diese erlauben eine Eingrenzung des Schädigungsrisikos für Gebäude und Infrastruktur.

Zusammenfassung - II

Identifikation von Ortslagen mit gleichförmigem und unkritischem Bewegungsverhalten

Die hier vorgestellte **Entscheidungskette** erlaubt es, in Ortslagen oder Teilbereichen der Ortslagen bestimmte Bereiche zu identifizieren, die als bewegungshomogen eingestuft werden können, in denen also nach den vorliegenden Informationen eine kritische Beeinflussung der Bausubstanz durch den Bergbau bzw. die Sumpfungmaßnahmen mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können.

Es müssen **weitere Untersuchungen und Einschätzungen von Experten** erfolgen, um die Grenzen der Approximationsflächen genau angeben zu können sowie um im Schadensfall eine Beeinflussung durch den Bergbau zweifelsfrei zu erkennen bzw. ausschließen zu können.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

