

Erweitertes Gutachten zur Beurteilung von Bodensenkungen im Einflussbereich der bergbaulichen Aktivitäten der RWE Power AG

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Niemeier

Consultant für Ingenieurgeodäsie
Wilhelm Busch Straße 21, 30880 Laatzen

Dienstadresse:

Technische Universität Braunschweig
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie

Auftraggeber:

Geschäftsstelle der Anrufungsstelle Bergschaden Braunkohle
Nordrhein-Westfalen bei der Bezirksregierung Köln

August 2013

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangssituation	4
2. Zielsetzung dieses übergeordnete Gutachten	5
3. Nachweis von Höhenänderungen durch Nivellements	7
4. Bewegungsmodelle und deren Relevanz für Bergschäden	9
4.1 Modelle für großflächige Bodenbewegungen	9
4.2 Modelle für lokale Bodenbewegungen.....	10
4.2.1 Bewegungsaktive, hydrologisch wirksame tektonische Störungen.....	10
4.2.2 Vom Grundwasser umschlossene Aueböden	11
4.2.3 Gründungsprobleme	12
5. Methoden zum Nachweis von Höhenänderungen	13
5.1 Ausgangssituation	13
5.2 Umgang mit großräumigen Bewegungsmustern.....	14
5.3 Umgang mit lokalen Bewegungsmustern	16
5.3.1 Tektonische Störungen.....	16
5.3.1 Aueböden	17
6. Zu den Untersuchungen von Prof. Kuhlmann.....	19
6.1 Ausgangsdaten.....	19
6.2 Ortslage Berrendorf	20
6.3 Ortslage Heppendorf	22
6.4 Ortslage Wanlo	25
6.5 Ortslage Oberzier	28
6.6 Ortslage Merken	31
6.7 Ortslage Niederzier - Ellen	35
6.8 Ortslage Rheindahlen.....	38
6.9 Ortslage Elsdorf.....	41

7.	Identifikation bewegungshomogener Bereiche	43
8.	Ansätze für methodische Weiterentwicklungen	45
8.1	Ganzheitlicher Analyse von Bodenbewegungen	45
8.2	Flächenhafte Erfassung von Höhenänderungen: Radar-Interferometrie.....	46
8.3	3D-Bodenbewegungen aus kinematischen GNSS Messungen	48
9.	Zusammenfassung	49
10.	Literatur	50

1. Ausgangssituation

Im Bereich des Rheinischen Braunkohlenreviers werden seit Beginn der Gewinnung von Braunkohle großräumige Grundwasserabsenkungen (GW-Absenkung) durchgeführt, die im Bergbau auch als *Sümpfungsmaßnahmen* bezeichnet werden. Nur mit entsprechender GW-Absenkung ist das Arbeiten in den heute z.T. mehrere 100 m tiefen Tagebauen überhaupt möglich; auch die Standsicherheit der Tagebauböschungen kann nur durch diese Maßnahmen gewährleistet werden.

Diese Sümpfungsmaßnahmen sind kaum örtlich eingrenzbar, so dass neben den Tagebau- und Haldenflächen sowie den unmittelbar benachbarten Ortslagen auch die weiter entfernt liegende Bereiche einbezogen werden. Man kann gemäß Abbildung 1 davon ausgehen, dass quasi die gesamte Rheinische Bucht mehr oder weniger stark von diesen Sümpfungen betroffen ist und entsprechend hier Bodenbewegungen, vor allem Absenkungen auftreten.

Die tatsächliche Durchführung der Grundwasser (GW)-Entnahmen erfolgt bedarfsgerecht, d.h. die abgepumpten Mengen, die aktiven Pumpstationen und der zeitliche Verlauf der Entnahme erfolgen nach einem komplexen Schema in Abhängigkeit von den Abbauaktivitäten und können daher kaum als Grundlage für theoretische Abschätzungen über die resultierenden Bodenbewegungen herangezogen werden.

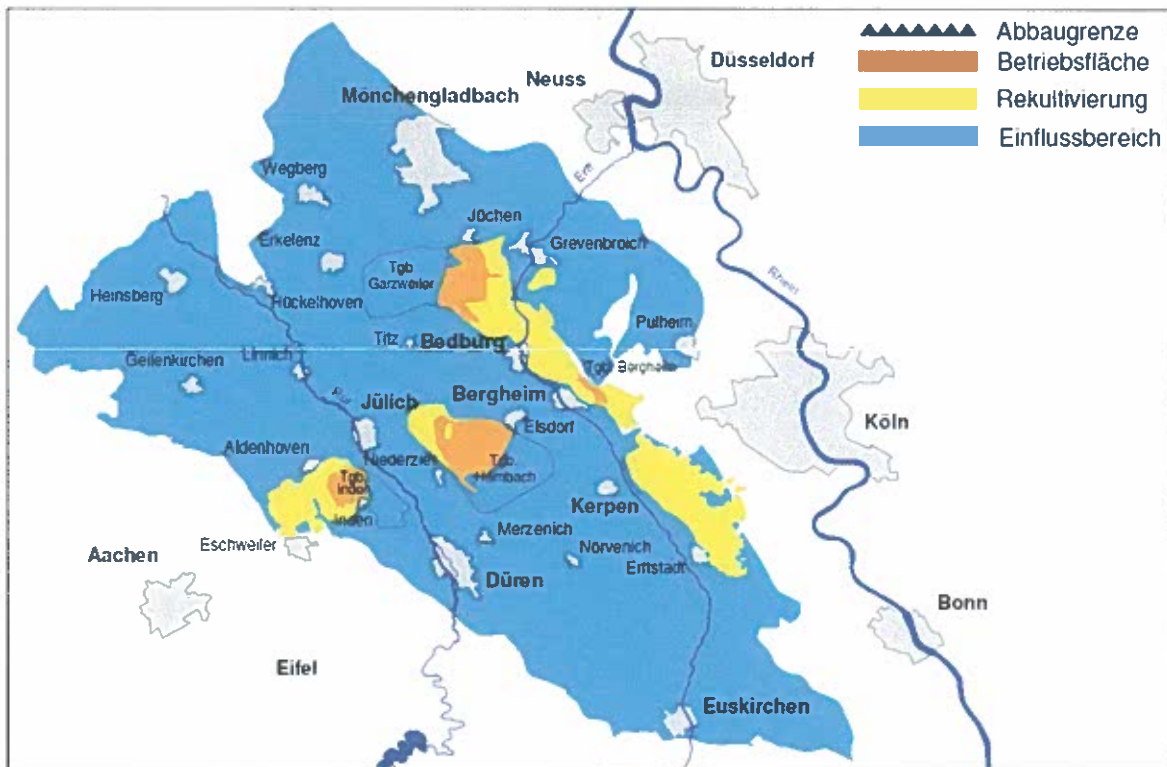


Abb. 1: Einflussbereich der Grundwassersümpfung im Bereich RWE Power (Schäfer 2013)

Die realen Auswirkungen dieser Sümpfungsmaßnahmen und der Bergbauaktivitäten auf die Erdoberfläche bzw. die Lebensräume der Menschen ist abhängig von der jeweiligen geologischen, insbesondere hydrogeologischen Situation, dem Aufbau der Böden und dem Vorhandensein von tektonischen Störungen. Liegt eine komplexe geologische Schichtung vor, was in der Rheinischen Bucht gemäß Abb. 2 zutrifft, so ist auch aus diesem Grund eine Vorabschätzung der zu erwartenden Bodenbewegungen für einzelne Ortslagen nur sehr schwer bzw. nicht möglich.

Neben den Auswirkungen der Sumpfungsmaßnahmen gibt es in der unmittelbaren Umgebung der Tagebaubetriebe eine direkte Beeinflussung der Umgebung und somit auch der Bebauung und der Infrastrukturanlagen durch die Ausbaggerungs- und Aufschüttungsarbeiten.

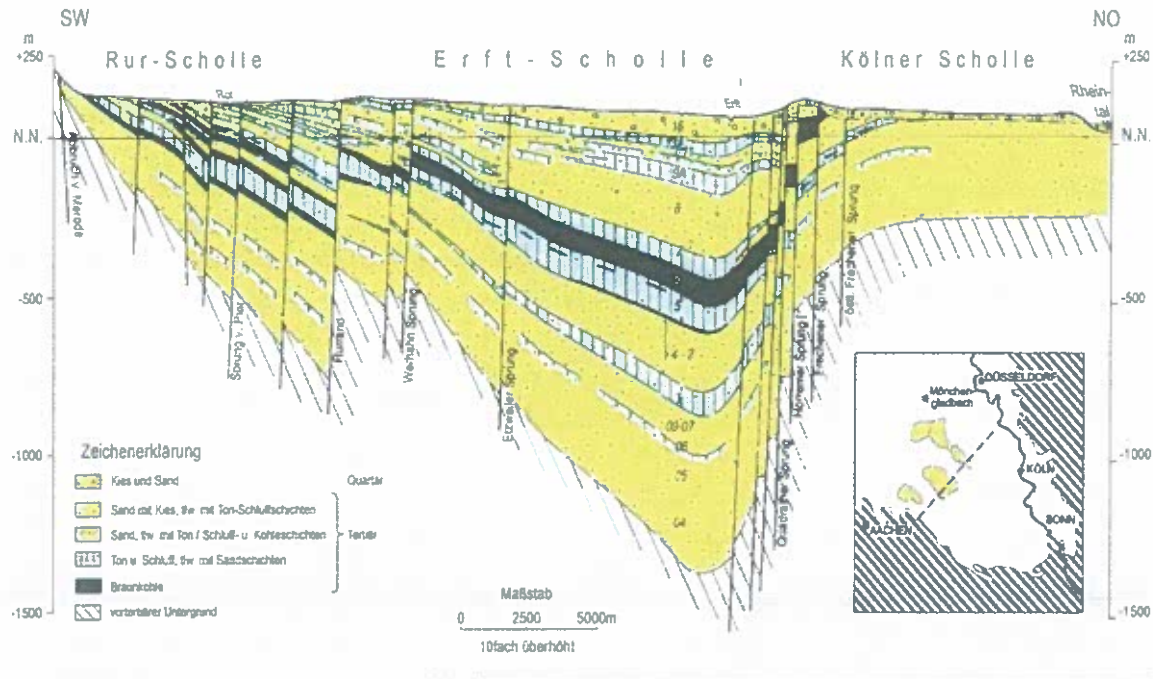


Abb. 2: Geologische Schichten in der Rheinischen Bucht (Klostermann 2010)

Aus diesen Gründen ist die von der RWE Power AG gewählte Vorgehensweise gerechtfertigt, die durch Sumpfungsmaßnahmen hervorgerufenen großräumigen Bodenbewegungen durch wiederholte messtechnische Erfassung der Höhenlage der betroffenen Orte zu bestimmen. Die Eignung des für die Bestimmung von Höhen eingesetzten Nivellements wird im Abschnitt 3 diskutiert.

In den Analysen und Bewertungen von Prof. Kuhlmann, die diesem Gutachten zu Grunde liegen, ist auf eine Einbeziehung von Informationen über tatsächliche GW-Entnahmen verzichtet worden, um so zu einer möglichst neutralen, nicht hypothesenbelasteten Einschätzung der resultierenden Bewegungen zu gelangen. Konzepte für eine eventuelle Weiterentwicklung dieser Untersuchungsmethoden werden im Abschnitt 8 kurz angerissen.

Für die Fragen, ob und in wie weit die vorliegenden messtechnischen Ergebnisse im Falle eines Gebäudeschadens für eine Entscheidungsfindung über die mögliche Ursache „Bergbau“ heranzuziehen sind, sollen in diesem Gutachten wissenschaftlich begründete, klare Empfehlungen gegeben werden.

2. Zielsetzung dieses übergeordnete Gutachten

Im Auftrag der RWE Power AG hat Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Kuhlmann, Geodäsieprofessor an der Universität Bonn, in den Jahren von 2010 bis heute für mehrere Ortslagen in der Rheinischen Bucht die Ergebnisse von wiederholten Nivellementsmessungen im Hinblick auf die aufgetretenen Bodenbewegungen analysiert, siehe dazu die Übersicht in Tabelle 1. Er hat auf der Grundlage mathematisch-statistischer Methoden numerische Ergebnisse gewonnen, aus denen er belastbare Aussagen über das flächenhafte Bewegungsverhalten, über Schief lagen und Krümmungen sowie über bewegungskritische Einzelpunkte und lokale Unregelmäßigkeiten abgeleitet hat.

Im Auftrag der Anrufungsstelle Bergschaden Braunkohle bei der Bezirksregierung Köln sollen die methodischen Ansätze, Analysen und Erkenntnisse von Prof. Kuhlmann von einem außenstehenden Dritten unabhängig beurteilt werden. Im Einzelnen werden in diesem Gutachten die folgenden Teilaufgaben bearbeitet:

- I. Grundsätzliche Bewertung der Mess- und Auswertemethoden für das **geometrische Nivellement** und Einschätzung der mit diesem Messverfahren erreichten Genauigkeiten für die Einzelepochen bzw. Höhenänderungen zwischen zwei Epochen
- II. Bewertung der **mathematischen Approximationsansätze** zur Beschreibung der flächenhaften Senkungen einschließlich der Berechnungsansätze für Schieflagen und Krümmungen
- III. Bewertung der Aussagekraft der ermittelten Bodenbewegungen für die Einschätzung des **Schädigungsrisikos** für Gebäude und Infrastruktureinrichtungen
- IV. **Identifikation von Ortslagen mit gleichförmigem und unkritischem Bewegungsverhalten**, d.h. Aufzeigen von Ortslagen oder Bereichen innerhalb einer Ortslage, für die die nachgewiesenen Bodenbewegungen hinreichend homogen und glatt sind (kleine Neigungen, kleine Krümmungen). Für diese Bereiche wird bei Einhaltung weiterer Parameter, siehe Abschnitt 7, von der Vermutung ausgegangen, dass sie als unkritisch im Hinblick auf die Beeinflussung durch die Bergbauaktivitäten und die bisherigen Sumpfungsmaßnahmen einzustufen sind.

Im Abschnitt 4 wird ausführlich dargelegt, welche Bewegungsmodelle als relevant für die im Einflussbereich der Sümpfungen oder direkter bergbaulicher Aktivitäten liegenden Gebäude und Infrastruktureinrichtungen anzusehen sind. Diese Bewegungsmodelle sind in Kurzfassung:

- Auftreten von zu großen *Schieflagen* und *Krümmungen* als direkte Auswirkung der bergbaulichen Aktivitäten bzw. Sümpfungen
- Das *Vorhandensein von Aueböden* in den Ortslagen, da diese durch die GW-Absenkung austrocknen können und dadurch örtlich begrenzte Bodensenkungen verursachen können.
- Lage im Bereich von *tektonischen Störungen*, da diese zu ungleichmäßigen Auswirkungen der GW-Entnahme in den Ortslagen führen können.
- *Nicht sachgerechte Gründung der Bauwerke*, da hierdurch individuelle Schäden verursacht werden können.

Ziel dieser gutachterlichen Stellungnahme ist es zunächst einmal, die Aussagekraft der bisher durchgeführten Wiederholungsnivellements und der von Prof. Kuhlmann durchgeführten Analysen einzuschätzen. Wichtig ist dabei die Frage, in wie weit durch diese Messmethode und die Analyseansätze signifikante Veränderungen gemäß den vorstehend genannten Bewegungsmodelle aufgedeckt werden können. Es wird herausgearbeitet, dass aus den Ergebnissen von Prof. Kuhlmann belastbare Einschätzungen im Hinblick auf eine generelle Disposition für Bergschäden und damit für ein Bergschadenrisiko gewonnen werden können.

Ein entscheidendes Ergebnis meines Gutachtens ist die o.g. Teilaufgabe IV: Aufbauend auf der Einschätzung des Leistungspotentials der wiederholten Nivellements und der Aussagekraft der anschließenden mathematisch-statistischen Analysen werden für die betroffenen Ortslagen Bereiche identifiziert werden, in denen von einer unkritischen Beeinflussung der baulichen Substanz durch die Sumpfungsmaßnahmen und bergbaulichen Aktivitäten ausgegangen werden kann. Diese im Abschnitt 7 erfolgte Ausweisung von Ortslagen oder Teilbereichen mit solch einem **bewegungshomogenen Verhalten** sollte als Grundlage für Entscheidungen der Schlichtungsstelle bei gemeldeten Schadensfällen belastbar sein.

Die oben aufgelisteten Gründungsprobleme werden dabei allerdings nicht erfasst, so dass auch für die nach diesen Ansätzen als unkritisch eingestuften Bereiche bei realen Gebäudeschäden eine Einzelanalyse der baulichen Substanz vorzunehmen ist.

Hinweis: Dieses erweiterte Gutachten ersetzt mein im November 2012 abgegebenes Gutachten zur selben Thematik, da die Zielsetzung dahingehend erweitert bzw. spezifiziert wurde, dass nun eine Identifikation von bewegungshomogenen Bereichen vorgenommen wird, in denen nach den bisherigen Erkenntnissen kein für die Bebauung relevantes Bergbaurisiko vorliegt. Daneben sind deutlich mehr praktische Untersuchungsfälle einbezogen wurden.

3. Nachweis von Höhenänderungen durch Nivellements

Zum Nachweis der aus den Sumpfungsmaßnahmen bzw. den Bergbauaktivitäten resultierenden Bodenbewegungen werden in den betroffenen Gebieten, insbesondere in den Ortslagen, in zeitlichen Abständen von wenigen Jahren von RWE Power AG in Verbindung mit dem Landesvermessungsamt NRW (jetzt Bezirksregierung Köln, Abteilung 7, GeoBasis.NRW), flächendeckende Nivellementsmessungen hoher Präzision durchgeführt. Das Präzisionsnivellement ist ein etabliertes, hochgenaues geodätisches Messverfahren (z.B. Kahmen 2005, Witte/Schmidt 2006), mit dem für zwei Punkte im Abstand von 1 km (Referenzlänge gemäß einer in der Geodäsie üblichen Konvention) der Höhenunterschied mit einer Präzision (Standardabweichung σ) von besser als 1 mm bestimmt werden kann.

An jedem nivellistisch bestimmten Gebäude in den untersuchten Ortslagen sind stabile Höhenbolzen angebracht, die eventuelle Bewegungen des Bauwerkes repräsentieren, siehe die schematische Darstellung in Abb. 9. Bei dem hier verwendeten sogenannten geometrischen Nivellement ist die primäre Messungsgröße der Höhenunterschied

$$\Delta h = R - V$$

zwischen zwei Nivellierlaten, d.h. die Differenz zwischen Rückblick (R) und Vorblick (V), wie in Abb. 3 skizziert. Bei den heute üblichen und in den Untersuchungsgebieten eingesetzten Digitalen Nivellierinstrumenten (Hersteller sind z.B. Leica Geosystems, Trimble, Sokkia) werden diese Ablesungen an den Nivellierlaten voll automatisch mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung gewonnen und sofort elektronisch abgespeichert, so dass eine Manipulation nicht möglich ist. Bei der Durchführung von Präzisionsnivellements, für die u.a. besonders präzise Instrumente eingesetzt werden und der Abstand zwischen Instrument und Latte auf max. 25 - 30 m begrenzt ist, kann aufgrund langjähriger Erfahrungswert von einer Standardabweichung von bis zu

$$\sigma = 0.7 \text{ mm}$$

ausgegangen werden. Dieser Wert von $\sigma = 0.7 \text{ mm}$ wird in den Flächenapproximationen von Prof. Kuhlmann als theoretischer Richtwert angenommen.

Eine Folge der allgemeinen Verfahrensvorschriften für das Präzisionsnivellement ist, dass i.d.R. nur mit mehrfachen Aufstellungen, siehe Abb. 3 rechts, die Höhenunterschiede zwischen den Gebäuden bestimmt werden, erst recht bei einer ganzen Ortslage, wie sie in Abb. 8 exemplarisch dargestellt wird.

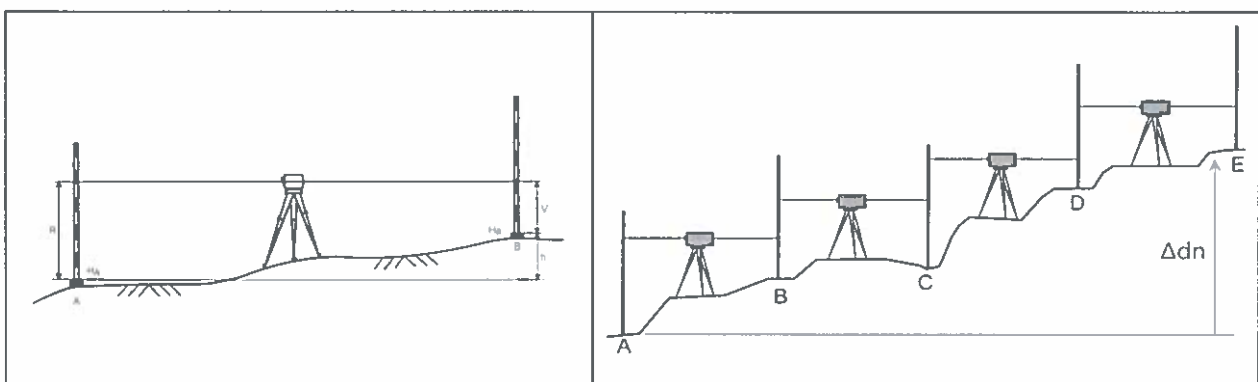


Abb. 3: Prinzip des geometrischen Nivellements

Ein Höhenunterschied zwischen zwei Punkten liegt somit nicht direkt nach Beendigung der letzten Ablesung vor, er muss vielmehr durch Summenbildung ermittelt werden. Entsprechend sind auch Aussagen zu Setzungen erst nach Abschluss eines komplexen Auswertezyklus (Auswertung einer Messepoche und Vergleich mit den Ergebnissen der vorhergehenden Epoche) anzugeben. Allerdings erfolgen diese Auswertungen nach allgemein anerkannten, in Standard-Software umgesetzten und für jeden Fachmann nachvollziehbaren Regeln.

Aus der im Abschnitt 5.2 ausführlich beschriebenen Flächenapproximationen wird ein empirischer Schätzwert s für die Standardabweichung σ berechnet, der die Güte der Anpassung der gewählten Flächenfunktion an das tatsächliche Bewegungsverhaltens angibt und der somit durchaus mit dem theoretischen Wert verglichen werden kann. In diese Flächenapproximation gehen allerdings *Höhenunterschiede* zwischen zwei Epochen ein, wodurch sich der o.g. Wert für die Standardabweichung nach den Regeln der Statistik um den Faktor $\sqrt{2}$ erhöht, also theoretisch ein Wert von $\sigma = 1$ mm zu erwarten ist.

Prof. Kuhlmann nutzt dieses Qualitätsmaß, um die Qualität der Anpassung zu bewerten und sogenannte „Ausreißer“ im Datenmaterial zu erkennen. Nimmt man für die Höhenunterschiede eine Normalverteilung mit $\sigma = 1$ mm an, so kann man ein 99%-Konfidenzintervall definieren und findet als Ober- bzw. Untergrenze dieses Intervalls eine Abweichung von 2.57 mm. Als Konsequenz werden Höhenunterschiede zwischen zwei Epochen, die mehr als 2.57 mm von der endgültigen Flächenfunktion abweichen, als auffällig definiert und müssen damit einer gesonderten Betrachtung unterworfen werden.

Anmerkung: Durch das Nivellement werden zunächst einmal *Höhenunterschiede* (Relativinformationen zwischen Punkten) bestimmt. Ändert sich in einer späteren (wiederholten) Messkampagne der Höhenunterschied zwischen zwei Punkten (Objekten), was z.B. auf ungleichmäßige Setzungen hinweist, so kann gerade mit diesem Nivellement solch ein Effekt sehr präzise nachgewiesen werden.

Durch z.T. aufwändige Anschlussmessungen an geologisch stabile Bereiche außerhalb der Sumpfungszonen werden zusätzlich auch *absolute Höhen* bestimmt, da nur so die Gesamtbeträge der Absenkungen zwischen zwei oder mehreren Epochen abgeleitet werden können. Es soll gleich hier darauf hingewiesen werden, dass bei einer gleichmäßigen Senkung keine Krümmungen und Schiefungen auftreten und somit keine Beeinflussung der Gebäude erfolgt. Gründungsprobleme aufgrund von z.B. Austrocknung der Böden sind allerdings weiterhin nicht ausgeschlossen.

Fazit: *Insgesamt gesehen ist das Präzisionsnivellement zwar sehr zeitintensiv, aber qualitativ derzeit das genaueste und zuverlässigste Verfahren, Höhen und Höhenänderungen über einen längeren Zeitraum zwischen benachbarten Punkten bzw. für ganze Ortslagen nachzuweisen.*

Durch die eindeutigen Berechnungsvorschriften sowie die internen Kontrollen und Qualitätsangaben bei der Auswertung sind die Ergebnisse der Höhenbestimmung für die Einzelepochen unstrittig, sie bilden eine verlässliche Grundlage für den Nachweis von Senkungen in den Untersuchungsgebieten.

Aus den im Abschnitt 5 beschriebenen Flächenapproximationen werden Standardabweichungen für Höhenunterschiede bestimmt, die mit dem oben begründeten theoretischen Wert von $\sigma = 1$ mm verglichen werden können. Mit strengen statistischen Tests wird die Qualität der Approximation überprüft, die somit eine verlässliche Grundlage für die weitergehenden Analysen bildet. Die sich ergebenden empirischen Schätzwerte s nach der Approximation sind in den Tabellen in Abschnitt 6 angegeben; die aufgezeigten Abweichungen sind nach den Regeln der Statistik als nicht signifikant einzustufen.

Sämtliche Auswertungen der Rohdaten sind darüber hinaus jederzeit nachvollziehbar; sie könnten sogar - wenn dies die Glaubwürdigkeit der hier gewonnenen Aussagen erhöht - von neutralen Büros erneut durchgeführt werden.

4. Bewegungsmodelle und deren Relevanz für Bergschäden

Für eine generelle Einschätzung der Stabilität bzw. von Veränderungen in den Untersuchungsgebieten ist eine Vorkenntnis über die zu erwartenden Bewegungsmodelle für das Braunkohlenrevier sinnvoll. Hier wird unterschieden zwischen großflächigen Effekten, die primär durch die Geologie bestimmt werden, und den mehr lokalen Effekten, die durch die charakteristischen Besonderheiten gekennzeichnet sind. Die Aussagekraft der vorliegenden Untersuchungen und deren Relevanz für das Auftreten von Bergschäden ist immer in Bezug auf die zugrunde liegenden Bewegungsmodelle zu sehen.

4.1 Modelle für großflächige Bodenbewegungen

Geht man von der enormen flächenhaften Ausdehnung der Sümpfungsgebiete und dem langandauernden Vorgang der Grundwasser (GW)-Entnahme im rheinischen Revier aus, so ist es sicherlich gerechtfertigt, auch die Auswirkungen auf die Erdoberfläche in der 1. Modellstufe als sich nur allmählich ändernde, d.h. gleichförmige, flächenhafte Vertikalbewegung anzusetzen. In Anlehnung an die Publikationen DIN 21917, Kratsch (2008), Pohl (2002), Preusse/Schulte (2011) und Ziegler (2010) kann in etwas vereinfachter und stark verkürzter Darstellung von folgenden grundlegenden Szenarien ausgegangen werden:

- Als wesentlicher Effekt der bergbaulichen Aktivitäten sind sogenannte **Schollensetzungen** zu erwarten, das sind gleichmäßigen Senkungen oder Hebungen, die nicht zu Schädigungen an Bauwerken führen, da sich alle Bauwerksbereiche gleichförmig heben oder senken. Allein für sehr ausgedehnte, linienhafte Objekte, wie Kanäle oder Wasserstraßen, sind im Übergangsbereich nach außen Beeinträchtigungen zu erwarten.
- In Abhängigkeit von den jeweiligen geologischen oder hydrogeologischen Verhältnissen können auch sogenannte **Schollenschiefstellungen** auftreten, gekennzeichnet durch unterschiedliche Senkungen bzw. Hebungen in den Ortslagen und damit auch an den Gebäuden. Für Wohngebäude gilt die Gebrauchstauglichkeit als „stark beeinträchtigt“, wenn Schieflagen von mehr als 25 mm/m erreicht werden. In der Regelungen im Bereich des Steinkohlenbergbaues gemäß Minderwertabkommen RAG/VBHG (2001) bestehen dort schon ab einer Schiefelage von mehr als 2 mm/m Ansprüchen auf Entschädigung.
Schiefstellungen werden in den Analysen von Prof. Kuhlmann mathematisch als 1. Ableitung der Senkungsfunktion ermittelt.
- Die **Krümmung** ist gemäß DIN 21917 die 2. Ableitung der Senkungsbeträge. Sie charakterisiert Schiefelageunterschiede und ist besonders für Gebäude mit ausgedehnten Grundrissen von Bedeutung, wobei natürlich auch die konstruktive Ausbildung der Gebäude mit zu beachten ist: Anzahl der Geschosse, Mauerwerks- oder Stahlbetonkonstruktion u.a. Als Auswirkung stärkerer Krümmungen kann es vor allem zu Rissbildungen kommen.
I.d.R. wird als konkrete Maßzahl zur Einschätzung von möglichen Schädigungen der Krümmungsradius (Kehrwert der der Krümmung) herangezogen. Nach Pohl (2002) Preusse/Schulte (2012) und Schürken/Finke (2008) wird bei der Auswirkung von Krümmungen zwischen sogenannten Sattel- und Muldenlagen unterschieden, da die Beanspruchung von Bauwerken in Sattellagen „aufgrund der in die Gründungsebene absinkenden neutralen Faser der Wandscheiben“ größer ist als bei Bauwerken in Muldenlagen. Nach Pohl (2002) wird als untere Grenze für den Krümmungsradius für kleinere Wohngebäude mit einem Grundriss von 10 x 10 m zur Vermeidung von Rissbildungen ein Grenzradius von 6 km in Muldenlage und von 12 km in Sattellage und zum Erhalten der Gebrauchstauglichkeit von 2 km in Muldenlage und von 4 km in Sattellage angesehen.
Prof. Kuhlmann gibt in seinen Gutachten ebenfalls Grenzradien für die Krümmung an, die sich an diesen allgemeinen Erkenntnissen und Abschätzungen orientieren.

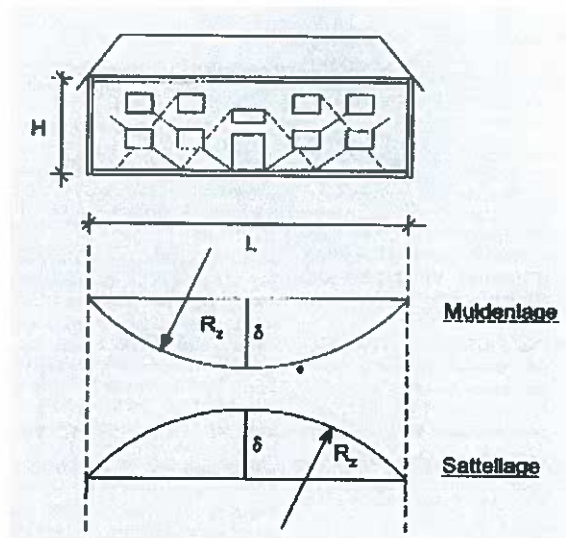


Abb. 4: Krümmungsradien für Mulden- und Sattellagen eines Gebäudes (Pohl 2002)

Wie in Abb. 4 skizziert, hat Prof. Kuhlmann eine flächenhafte Approximation des gesamten Senkungsverhaltens in den einzelnen Ortslagen zwischen je zwei Messepochen vorgenommen. Zur Interpretation dieser Bewegungen im Hinblick auf Schäden an Gebäuden sind die allgemein als relevante angesehenen Parameter „Schiefstellung“ und „Krümmungsradius“ abgeleitet worden.

4.2 Modelle für lokale Bodenbewegungen

Werden die Grenzwerte für Schieflagen und Krümmungen unterschritten, so können schädliche Bodenbewegungen können i.d.R. nur in Bereichen mit geologischen Besonderheiten auftreten. Mögliche Modelle für solche lokalen Bewegungsmodelle sind hier dargelegt.

4.2.1 Bewegungsaktive, hydrologisch wirksame tektonische Störungen

Im Bereich der Rheinischen Bucht existieren eine Reihe von bewegungsaktiven tektonischen Störungen, siehe Abb. 2, deren Lage i.d.R. recht gut bekannt ist. Diese Störungen behindern eine gleichmäßige Wirkung der Grundwasserabsenkung auf die Geländeoberfläche und haben Auswirkungen auf den freien und den in tieferen Schichten gelegenen gespannten GW-Horizont. Die wesentliche Auswirkung an der Oberfläche ist gemäß der Abb. 5 und 6 ein Versatz in den Höhenlagen der Geländeoberfläche bzw. entsprechend auch der Gebäude.

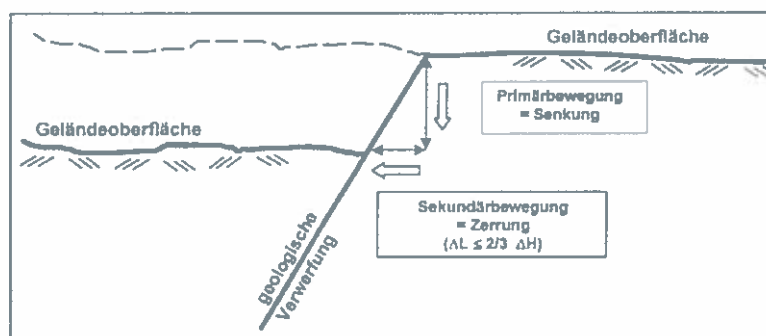


Abb. 5: Bewegungsmuster für eine bewegungsaktive, hydrologisch wirksame tektonische Störung (Preusse/Schulte 2011)

Aus der Abb. 5 und 6 ist zusätzlich erkennbar, dass grundsätzlich auch horizontale Verschiebungen entlang diesen Störungen möglich sind. Nach dem bisherigen Erfahrungsschatz und den Erkenntnissen der Bodenmechanik sind die horizontalen Komponenten aber immer deutlich kleiner als die Vertikalkomponenten und treten in keinem Fall ohne die Vertikalkomponente auf. Von daher ist es gerechtfertigt, dass bisher vor allem die Vertikalkomponente untersucht wird. Weitergehende Ansätze für eine Untersuchung auch der Horizontalkomponenten finden sich im Abschnitt 8.3.

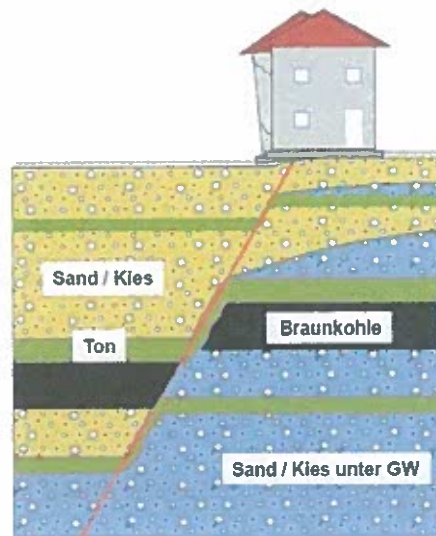


Abb. 6. Lokale Setzungsunterschiede im Bereich einer tektonisch wirksamen Störung (Ziegler 2010)

4.2.2 Vom Grundwasser umschlossene Aueböden

Hierbei handelt es sich i.d.R. um Überschwemmungsböden mit mehreren Metern Mächtigkeit, die mit humosen Einlagerungen, z.B. ganzen Torflinsen, durchsetzt sein können; siehe die schematische Darstellung in Abb. 7 und die Ausführungen in Ziegler (2010). Die genaue Lage, Größe und Dicke dieser Torflinsen ist i.d.R. nicht bekannt. Torfschichten weisen einen hohen Wassergehalt und damit eine große Kompressionsfähigkeit auf.

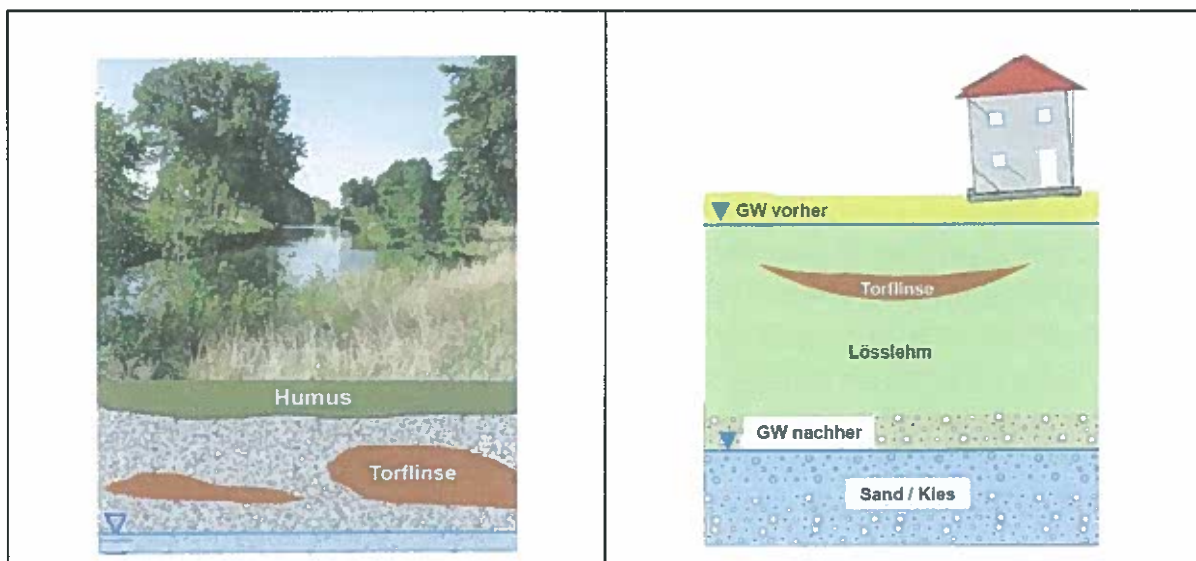


Abb.7: Torflinsen und dadurch bedingte ungleichmäßige Setzungen in Aueböden (Ziegler 2010)

Wird nun das Grundwasser im Zuge einer Sumpfungmaßnahme abgesenkt, so kommt es durch Wegfall des Auftriebs zu Setzungen, die je nach Schichtaufbau und -folge unterschiedlich sein können. Die Auswirkungen auf die Erdoberfläche kann örtlich sehr begrenzt oder großräumiger sein; grundsätzlich kann es im Bereich von Aueböden aber zu Schädigungen an Gebäuden kommen.

4.2.3 Gründungsprobleme

Schließlich sind in den untersuchten Ortslagen auch die Gründungen der Gebäude allein schon durch das unterschiedliche Alter sicherlich recht verschieden. Auch die konstruktiven Grundelemente der Bauten sind im Hinblick auf Schädigungen unterschiedlich anfällig. Je nach Art und Qualität der Gründung kann ein Gebäude empfindlich auf GW-Absenkungen reagieren.

Liegen Schädigungen vor, kann nur eine Einzelanalyse unter Einbeziehung der Besonderheiten eines Objektes und unter Beachtung der Kenntnisse über das generelle Bewegungsverhalten hier zielführend sein.

Witt (2013) stellt seinen Ausführungen über Setzungsschäden an Gebäuden den Satz voraus: „... grundsätzlich ist das Gebäude in seiner Gesamtheit zu betrachten, die Interaktion der Tragstruktur mit dem Baugrund. Denn die Ursache von Setzungsschäden ist nie allein der Baugrund, sondern immer die wechselseitige Beeinflussung von Gründung und Bauwerk.“

5. Methoden zum Nachweis von Höhenänderungen

5.1 Ausgangssituation

Für die Bestimmung von Höhen liegen in den untersuchten Ortslagen somit Nivellements- oder Höhenetze vor, wie sie schematisch in Abb. 8 wiedergegeben sind. Also sind in jeder Messepoche eine Vielzahl von Höhenpunkten an Gebäuden mit mm-Genauigkeit bestimmt worden. Wie in Abb. 8 und schematisch vielleicht klarer in Abb. 9 erkennbar ist, sind allerdings nicht an allen Gebäuden Höhenpunkte vermarktet und messtechnisch bestimmt worden. Die RWE Power AG hat zwar kontinuierlich die Anzahl der Höhenpunkte in den betreffenden Ortslagen erhöht, ist vollständige Erfassung sämtlicher Gebäude, ggf. mit mehreren Höhenpunkten je Gebäude, ist aber vom Aufwand her kaum realisierbar.



Abb. 8: Schematische Darstellung eines Höhennetzes mit den Nivellementslinien.
Hier ein Ausschnitt für die Stadt Mönchengladbach (Weinthal 2012)

Ausgangspunkt für die Analysen von Prof. Kuhlmann sind die bisher durchgeführten **Messungsepochen**, ausgedrückt durch die jeweilige Jahreszahl der Messungen. In einer Epoche sind zeitlich benachbart (innerhalb von Tagen bzw. Wochen) die relativen Höhen für sämtliche Gebäudepunkte innerhalb einer Ortslage bestimmt worden; zusätzlich ist ein absoluter Höhenanschluss durch Verbindungsmessungen in das übergeordnete Festpunktnetz erfolgt. Wie bereits im Abschnitt 3 ausgeführt, liegen diese Ausgangsdaten weiterhin archiviert vor und könnten – falls Zweifel an der ordnungsgemäßen Bearbeitung bestehen - erneut und unabhängig ausgewertet werden.

Für jeden Gebäudepunkt in einer Ortslage liegen somit je Messungsepoche eindeutige Höhenwerte vor. I.d.R. werden durch eine *Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate* (siehe z.B. Niemeier 2008) sämtlicher Nivellementsmessungen einer Epoche ausgewertet. Damit sind die Messungen intern kontrolliert und die Höhen der Punkte bestmöglich bestimmt worden; gleichzeitig wird die Genauigkeit der Höhenangaben durch eine Standardabweichung ausgedrückt.

In vereinfachter, linienhafter Form sind die Ergebnisse dieser Messungen für zwei Epochen in Abb. 9 wiedergegeben. Hier sind für den Zeitpunkt 1 die Höhenwerte sämtlicher erfasster Gebäude bzw. der

Höhenpunkte an den Gebäuden in einer Beispiel-Ortslage als Punkte auf einer horizontalen Linie, d.h. in gleicher Höhe, dargestellt worden. Zu einem späteren Zeitpunkt 2 (2. oder nachfolgende Messepoche) weichen die Höhenwerte der Messpunkte an den Gebäuden von den Werten der 1. Epoche z.T. deutlich ab.

Prof. Kuhlmann hat nun allein unter Nutzung der zugrunde liegenden Nivellementsdaten (Anzahl und Verteilung der Punkte sowie der ermittelten Höhenwerte) und der erreichten Standardabweichungen nach der Modellbildung analysiert, welche punktbezogenen Bewegungen tatsächlich aufgetreten sind, welche Bewegungsmuster erkennbar werden und ob die Grenzwerte für kritische Schief lagen und Krümmungen überschritten wurden. Für Punkte bzw. Gebäude, die von großflächigen Bewegungsmustern abweichen, hat auch er ganz eindeutig die Durchführung weitergehender, d.h. individueller Bewertungen im Hinblick auf eventuell aufgetretene Schädigungen gefordert.

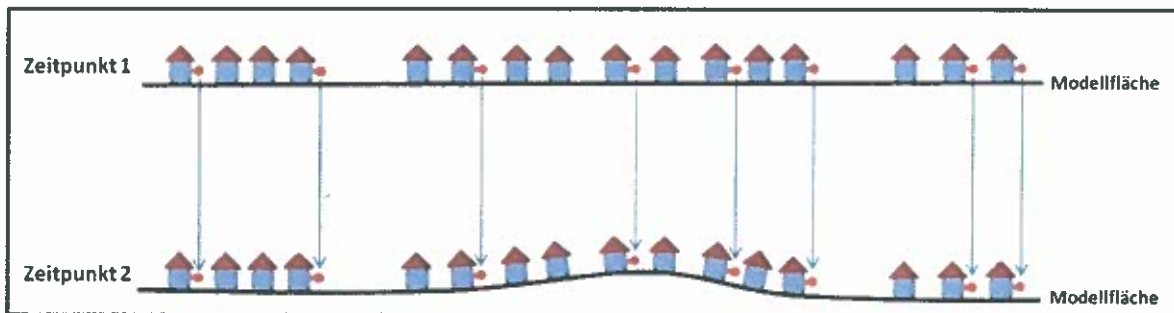


Abb. 9: Ausgangssituation für die Analyse von Höhenänderungen zwischen zwei Epochen (Kuhlmann 2010)

Es ist völlig unstrittig, dass durch die gegebene Datenlage mit Höhenpunkten an einer Vielzahl von Gebäuden das generelle Bewegungsverhalten der Erdoberfläche und der sich darauf befindlichen Bauwerke sehr gut erfasst und interpretierbar ist. Es stellt sich allerdings die Frage, ob die hier erfolgten Flächenapproximationen auch das Verhalten der Gebäude und Infrastruktureinrichtungen ohne Messpunkte hinreichend beschreiben und damit belastbare Aussagen über das Vorhandensein oder eben das Nichtvorhandensein von Ursachen für Schäden vorliegen, da diese Ergebnisse für die messtechnisch nicht direkt erfassten Objekte „nur“ auf einer Interpolation beruhen. Diese Thematik wird im Folgenden eingehend diskutiert.

5.2 Umgang mit großräumigen Bewegungsmustern

In diesen und dem nächsten Unteranschnitt sollen im Detail die Vorgehensweisen von Prof. Kuhlmann für das Aufdecken von bzw. den Umgang mit den unterschiedlichen Bewegungsmustern nachvollzogen und bewertet werden.

Mit Bezug zu den im Abschnitt 4 beschriebenen Bewegungsmodellen können für den Vergleich der Ergebnisse von Nivellements in zwei Epochen die folgenden Analyseschritte unterschieden werden. Mit $P(x,y)$ soll hier die Auswirkung der Absenkung auf einen Punkt P beschrieben werden, wobei die Lage dieses Punktes durch seine Lagekoordinaten x und y gekennzeichnet ist:

a) Gleichförmige Absenkung einer Ortslage / eines Bereiches innerhalb der Ortslage

$$P(x,y) = a_{00}$$

Diese Art der Höhenänderung wird durch einen konstanten Wert a_{00} angegeben, der unabhängig von der Position innerhalb der Ortslage ist, also nicht von x oder y abhängt. Mit diesem konstanten Betrag für die Absenkung im Zeitraum zwischen zwei Messungsepochen wird die gleichmäßige („absolute“) Auswirkung einer Sumpfungssmaßnahme ausgedrückt.

Solche gleichmäßigen Absenkungen, die in der Mechanik auch als Starrkörperbewegung bezeichnet wird, sind für Gebäude und Infrastrukturanlagen völlig unkritisch, da sämtliche Bauwerksteile dabei um denselben Höhenbetrag abgesenkt werden.

b) Schief lagen

$$P(x,y) = a_{00} + a_{10} x + a_{01} y$$

Eine gleichmäßige Neigung eines Untersuchungsgebietes, die sogenannte Schief lage, wird durch die zwei Parameter a_{10} und a_{01} im Analyseansatz bestimmt, die – in Analogie zur Darstellung einer Geraden – jeweils als Neigung in x- und y-Richtung aufgefasst werden können. In der Regel treten derartige Schief lagen oder Schief stellungen nicht ohne eine gleichmäßige Absenkung auf, weshalb in der Formel auch der Term a_{00} mit aufgeführt ist. Grundsätzlich ist es möglich, dass solch eine Schief lage auch nur in einer Koordinatenrichtung auftritt.

Die ermittelten Schief lagen sind je Ortslage und Epochenvergleiche von Prof. Kuhlmann bestimmt und den im Abschnitt 4.2 angegebenen Grenzwerten gegenübergestellt worden.

c) Höherwertige Flächenapproximationen → Ableitung von Krümmungen

$$P(x,y) = a_{00} + a_{10} \cdot x + a_{01} \cdot y + a_{11} \cdot x \cdot y + a_{20} \cdot x^2 + a_{02} \cdot y^2 + a_{21} \cdot x^2 \cdot y + a_{12} \cdot x \cdot y^2 + o^3$$

Für komplexere Bewegungsmuster entspricht es dem Stand der Wissenschaft und Technik, eine Approximation durch ein höherwertiges Flächenpolynom vorzunehmen. In der o.g. Formel sind die hierzu anzusetzenden Terme bis zur 2. Ordnung explizit aufgeführt; das Symbol o^3 steht für Terme höherer Ordnung, die oftmals notwendig sind, um ungleichmäßige Bewegungsmuster mit hinreichender Qualität mathematisch erfassen zu können.

Auch hier sind die höherwertigen Flächenparameter wieder als Ergänzung zu den Parametern für die gleichmäßige Absenkung und eventuelle Schief stellungen anzusetzen.

Zur **Validierung dieser Modellansätze** hat Prof. Kuhlmann aus der Approximation, die auch als Regression oder Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen verstanden werden kann, einen Schätzwert für die Standardabweichung der als Eingangsgrößen verwendeten Höhendifferenzen bestimmt. Diese wieder als Standardabweichung s zu verstehende Parameter kann numerisch durchaus mit der Standardabweichung der Eingangsnivellements verglichen werden. Wie im Abschnitt 3 beschrieben, kann so eine Bewertung der Approximation erfolgen. Dieser Wert bzw. die daraus abgeleitete Grenzen von ± 2.57 mm des 99%-Konfidenzintervalls werden als Maßzahlen für auffällige Beobachtungen interpretiert: Sämtliche Punkte/Gebäude mit Rest-Höhendifferenzen, die um mehr als diese ± 2.57 mm von der Flächenfunktion abweichen, werden als lokale Unregelmäßigkeit aufgefasst und müssen einer gesonderten Betrachtung bzw. Analyse unterzogen werden.

Die für eine Bewertung von Gebäudeschäden kritische **Krümmung** ist mathematisch als 2. Ableitung der jeweiligen signifikanten Flächenfunktion definiert. Für jeden Punkt einer Ortslage wird in den Detailberichten von Prof. Kuhlmann diese Krümmung berechnet und graphisch dargestellt. Aus diesen Krümmungen werden gemäß Abschnitt 4.1 die Krümmungsradien ermittelt und den zulässigen Grenzwerten, z.B. nach Pohl (2002) oder Schürken/Finke (2008), gegenübergestellt.

Fazit: Die Approximation des großräumigen Bewegungsverhaltens durch ein Flächenpolynom entspricht dem Stand der Wissenschaft und Technik und darf als belastbar für die Einschätzung der flächenhaft aufgetretenen Bodenbewegungen angesehen werden.

In seine Analysen hat Prof. Kuhlmann durch sachgemäße Anwendung der Grundlagen der Regressions- theorie die Anzahl der Polynomkoeffizienten auf die signifikanten Koeffizienten beschränkt.

Dadurch wird eine gewisse, der jeweiligen realen Situation entsprechende Glattheit im Bewegungsverhalten erreicht. Allein im Randbereich ist – nach den Gesetzen der Mathematik unvermeidbar – eine etwas größere Unsicherheit in der Flächenapproximation durch Polynomfunktionen gegeben.

Diese Approximationsansätze erlauben flächenbezogene Aussagen zu den sich ergebenden Absenkungen, Schief lagen und Krümmungen. Diese Ergebnisse sind sehr gut geeignet, um Aussagen über das „Bergschadensrisiko“ zu machen, d.h. das grundsätzliche Risiko für einzelne Bereiche innerhalb einer Ortslage für das Auftreten von Schädigungen durch Sumpfangsmaßnahmen oder den direkten Bergbaubetrieb. Werden die Grenzwerte für Schief lagen und Krümmungen in den einzelnen Analysen eingehalten, so darf das generelle Risiko für Bergschäden als sehr gering eingestuft werden.

Auffällige Einzelpunkte, deren Höhenwerte von der Flächenapproximation deutlich abweichen, sind einer weitergehenden Analyse zu unterziehen, um die Ursachen für diese Abweichungen und damit für eventuelle Schädigungen aufzudecken.

5.3 Umgang mit lokalen Bewegungsmustern

5.3.1 Tektonische Störungen

Bei tektonisch aktiven Störungszonen können in dem „datenbasierten“ Ansatz von Prof. Kuhlmann unter Nutzung allein der Höhenkomponente neben einer Approximation des gesamten Bewegungsverhaltens auch einzelne Punktgruppen und größere Bereiche mit abweichendem Bewegungsverhalten statistisch signifikant detektiert werden. In seinen Analysen, aber auch in der Publikation Zeimetz/Kuhlmann (2011), ist dargelegt worden, dass es bei komplexeren Bewegungsmustern - wie dem Vorhandensein einer tektonischen Störung - allerdings nicht sinnvoll ist, eine Flächenfunktion für die gesamte Ortslagen anzusetzen, da hierfür eine sehr aufwändige Flächenfunktion erforderlich wäre.

Besser ist es, unter Hinzunahme von Vorinformation über die grundsätzliche Existenz von tektonisch aktiven Störungen und/oder Auegebieten in den Untersuchungsgebieten eine Aufteilung in Teilflächen vorzunehmen und für jede dieser Teilgebiete eine separate Flächenapproximation vorzunehmen, bei der ein wesentlich geringerer Polynomgrad ausreicht, was einem deutlich gleichmäßigeren Bewegungsmuster entspricht.

In Abb. 10 sind exemplarisch Ergebnisse von separaten Flächenapproximationen für die Bereiche „Ost“ und „West“ für die Ortslage Oberzier wiedergegeben, siehe auch Abschnitt 6.5.

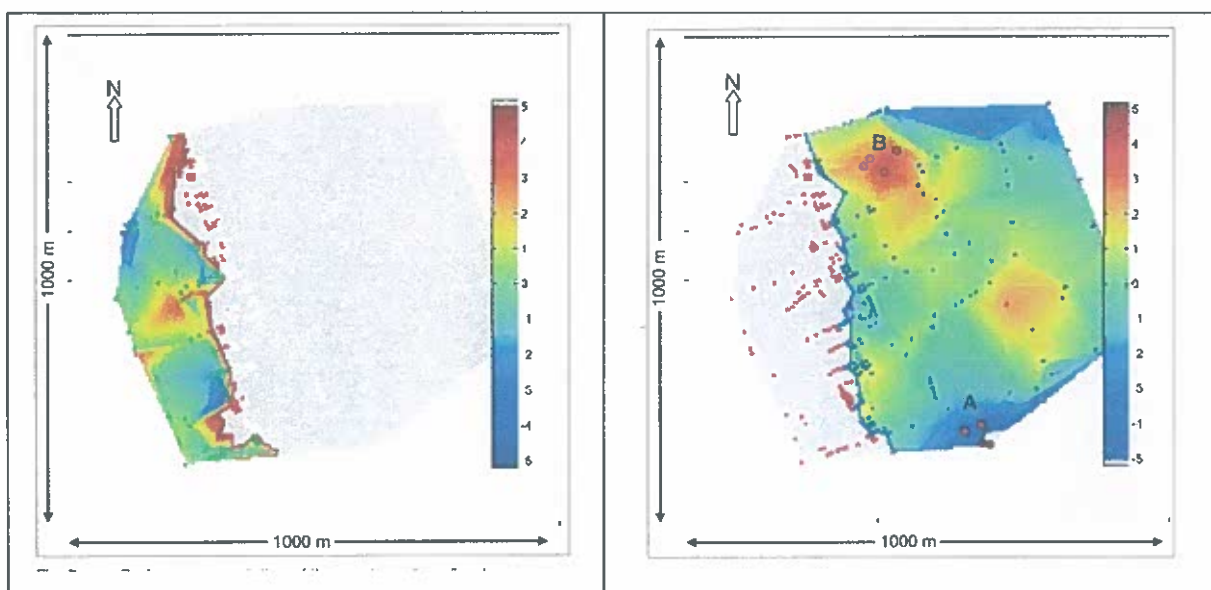


Abb. 10: Separate Flächenapproximationen für den westlichen und östlichen Bereich einer Ortslage (Zeimetz/Kuhlmann 2011)

In jeder dieser Einzelflächen treten vereinzelt Abweichungen von der best-angepassten Absenkungsfläche auf. Diese Punkte bzw. Gebäude mit einem individuell abweichenden Bewegungsmuster müssen in jedem Fall einer Einzeluntersuchung unterworfen werden, um zu entscheiden, ob bei aufgetretenen Schäden eine lokale Inhomogenität im Untergrund vorliegt oder ein Gründungsproblem als Schadensursache anzusehen ist.

Diese Art der Aufteilung in Gebiete setzt voraus, dass die Existenz und zumindest die ungefähre Lage einer tektonischen Störung in der betreffenden Ortslage bekannt ist. Diese Vorinformation liegt aber i.d.R. vor und wird ja auch schon bei der Anordnung der Nivellementspunkte berücksichtigt: Im Bereich einer tektonisch aktiven Störung sind wesentlich mehr Gebäude mit Höhenbolzen vermarktet worden, als in den übrigen Bereichen.

Aussagen über kritische Bewegungen im direkten Einflussbereich einer solchen tektonischen Störung können aus den Flächenapproximationen allerdings nicht abgeleitet werden; hier bieten die ermittelten Höhendifferenzen zwar einen Anhalt über die aufgetretenen Absenkungsbeträge; eine Einzelanalyse der tatsächlichen Schädigungen erscheint jedoch unumgänglich.

5.3.1 Aueböden

Hier gilt die vorstehende Schlussfolgerung entsprechend: Bei Vorkenntnissen über die mögliche Existenz und die ungefähre Lage und Ausdehnung von Aueböden beziehungsweise von Bereichen, in denen Aueböden wahrscheinlich sind, erfolgt eine Aufteilung des Gesamtgebietes in Teilbereiche: Für den Bereich der Ortslage außerhalb der Auegebiete ist eine Approximation mit optimal angepasster Flächenfunktion sinnvoll. Für die Auebereiche selbst sind solche Flächenapproximationen kaum realisierbar und noch weniger interpretierbar: Hier sind individuelle Untersuchungen bei aufgetretenen Schäden erforderlich.

In Zeimetz/Kuhlmann (2011) wird diese Problematik aufgearbeitet und dargestellt. In Abb. 11. ist ein bekannter Auebereich örtlich so abgegrenzt worden, dass die dort liegenden Messpunkte überhaupt nicht in den Flächenansatz einbezogen wurden. Der Flächenansatz für das östliche Teilgebiet ergab dann ein unkritisches Verhalten, wieder ausgedrückt durch die Maximal-Beträge für Schiefelagen und Krümmungen für die Gebäude.

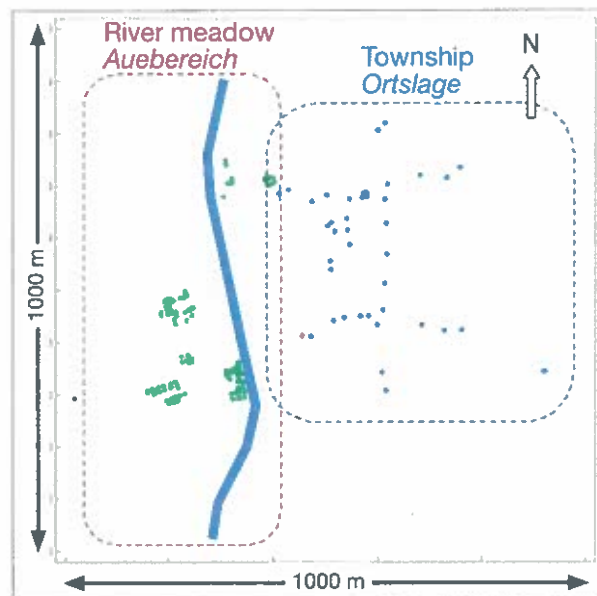


Abb. 11: Bekannte Auebereiche und deren Ausschluss im Flächenansatz (Zeimetz/Kuhlmann 2011)

Allerdings können bei punktuellen Auffälligkeiten, die im Auswerteansatz von Prof. Kuhlmann erkannt werden, keine Stabilitätsaussagen getroffen und allgemein keine Ursachenzuordnung vorgenommen werden. Ein größeres, im Untersuchungsgebiet verbliebenes Auegebiet würde mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit im Auswerteansatz erkannt, da dann die Höhenänderungen für eine Reihe von benachbarten Punkten von dem Verhalten der übrigen Punkte deutlich abweichen würden.

Fazit zu 5.3: *Zonen mit einem bewegungshomogenen, unkritischen Verhalten innerhalb von Ortslagen sind dadurch gekennzeichnet, dass für diese Bereiche eine Approximation durch eine Flächenfunktion mit niedrigem Polynomgrad möglich ist und die sich ergebenden Grenzwerte für Schief lagen und Krümmungen eingehalten sind. Eine erfolgreiche Approximation setzt auch voraus, dass nur einige Höhenpunkte nicht zu dieser Flächenfunktion passen, d.h. nur einige ausschlagende Beobachtungen festgestellt werden.*

Die Flächenapproximation darf in keinem Fall über eine bekannte tektonisch aktive Störung hinweg gehen. Für die Bereiche direkt an der tektonisch aktiven Störung sind in jedem Fall Detailuntersuchungen bei aufgetretenen Schäden erforderlich. Die Ausdehnung dieses Einflussbereiches einer tektonischen Störung ist von der jeweiligen geologischen Situation abhängig, so dass für jedes betroffene Untersuchungsgebiet eine Abschätzung durch Experten vor Ort erforderlich ist.

Gebiete mit Vorkennnissen über Aueböden sind ebenfalls aus der Flächenapproximation auszuschließen. Für auffällige Einzelobjekte in Gebieten mit dem Verdacht auf Aueböden sind ebenfalls weitergehende Untersuchungen erforderlich.

Hinweis: Ansätze zu weitergehenden Erfassungs- und Untersuchungsmethoden für den Nachweis von Bodenbewegungen, die u.U. auch für die lokal beeinflussten Bereiche genutzt werden können, werden in Abschnitt 8 kurz angerissen. Vor einer Nutzenanwendung diese Methoden müssen die dort skizzierten Ansätze aber weiter ausgearbeitet und zumindest exemplarisch erprobt werden.

6. Zu den Untersuchungen von Prof. Kuhlmann

6.1 Ausgangsdaten

Grundlage für die numerischen Untersuchungen und statistischen Analysen in den Gutachten von Prof. Kuhlmann waren die Ergebnisse wiederholter Höhenmessungen für Gebäudepunkte in den in Tabelle 1 zusammengestellten Ortslagen. Für die einzelnen Ortslagen sind in Tabelle 1 die Jahreszahlen angegeben, in denen die einzelnen Messkampagnen, auch Epochen genannt, durchgeführt worden sind. Daneben wird in der Spalte Besonderheiten angegeben, ob es für die jeweilige Ortslage Vorinformationen über lokale tektonische Störungen oder Auebereiche gibt oder nicht.

Die Höhenwerte einer Epoche sind jeweils die Ergebnisse von flächenhaften Nivellementsmessungen, die in zusammenhängenden Messkampagnen mit Bezug zu stabilen Anschlusspunkten (siehe Abschnitt 3) bestimmt und nach dem anerkannten Stand der Technik streng ausgewertet worden sind.

Zusätzlich standen für sämtliche Höhenpunkte auch die Lagekoordinaten im amtlichen Koordinatensystem (Gauß-Krüger Koordinaten) zur Verfügung, um so eine örtliche Zuordnung zu ermöglichen.

Ortslage	Messepochen	Besonderheiten
Berrendorf	1992 1999 2007	Keine
Heppendorf	1998 2006 2009 2011	Keine
Wanlo	1996 2008	Auebereich
Oberzier	1998 2006	Tektonische Störung
Merken	1999 2003 2009	Tektonische Störung
Niederzier-Ellen	2002 2008 2012	Tektonische Störung
Rheindahlen	2002 2012	Tektonische Störung
Elsdorf	1999 2011	Nur Teilgebiet B analysiert

Tabelle 1: Zusammenstellung der Ausgangsdaten

Für alle diese Ortslagen sind dem Gutachter von der Anrufungsstelle Bergschaden Braunkohle die i.d.R. aus mehreren Teilberichten bestehenden Gutachten von Prof. Kuhlmann zur Verfügung gestellt worden. Die in den folgenden Abschnitten in Referenzen genannten Jahreszahlen geben das Jahr der Erstellung des jeweiligen Gutachtens wieder.

6.2 Ortslage Berrendorf

Für die Ortslage Berrendorf liegen Messungsepochen aus den Jahren 1992, 1999 und 2007 vor. In diesem Zeitraum ist die Anzahl der Messpunkte deutlich erhöht worden. Gemäß den Angaben in Tabelle *Berrendorf 1* konnten für den Epochenvergleich 1992-2007 insgesamt 194 identische Höhenpunkte an Gebäuden verwendet werden, für den Vergleich 1999-2007 die schon recht große Zahl von 638 Punkten. Durch diese deutliche Zunahme von Messpunkten im Jahre 1999 wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass nur eine hohe Punktdichte zu aussagefähigen Ergebnissen über die auftretenden Bodensenkungen führen kann.

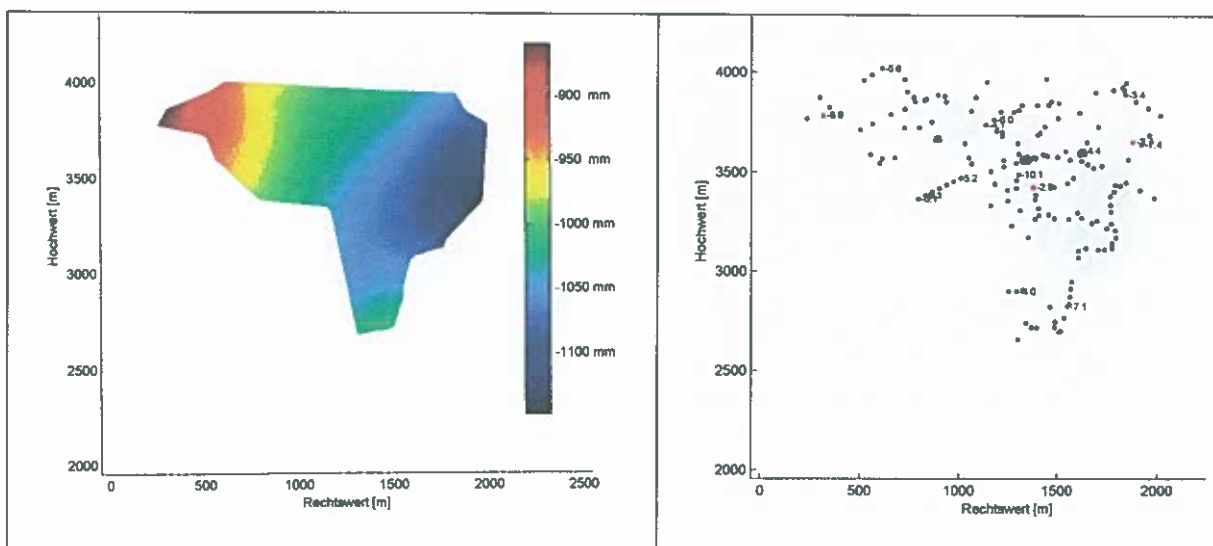
Das grundlegende Prinzip für die Anordnung der Messpunkte ist, dass die Höhenbolzen an Gebäuden angebracht werden, die einigermaßen gleichmäßig über die Ortslage verteilt sind, siehe die Verteilung der identischen Punkte in den Abbildungen *Berrendorf 2 und 3*. Aus Gründen der Erreichbarkeit bei der Messung befinden sich diese Messpunkte allerdings stets in der Nähe von Straßen und Wegen. Auch bei den späteren Verdichtungen der Höhenpunkte und in den übrigen Ortslagen ist dieses Prinzip beibehalten worden.

Aus den drei Messungsepochen hat Prof. Kuhlmann zwei Bewegungsanalysen vorgenommen. In der nachstehenden Tabelle sind die charakteristischen Werte für den Vergleich der Epochen 1992 – 2007 und 1999 – 2007 zusammengefasst worden.

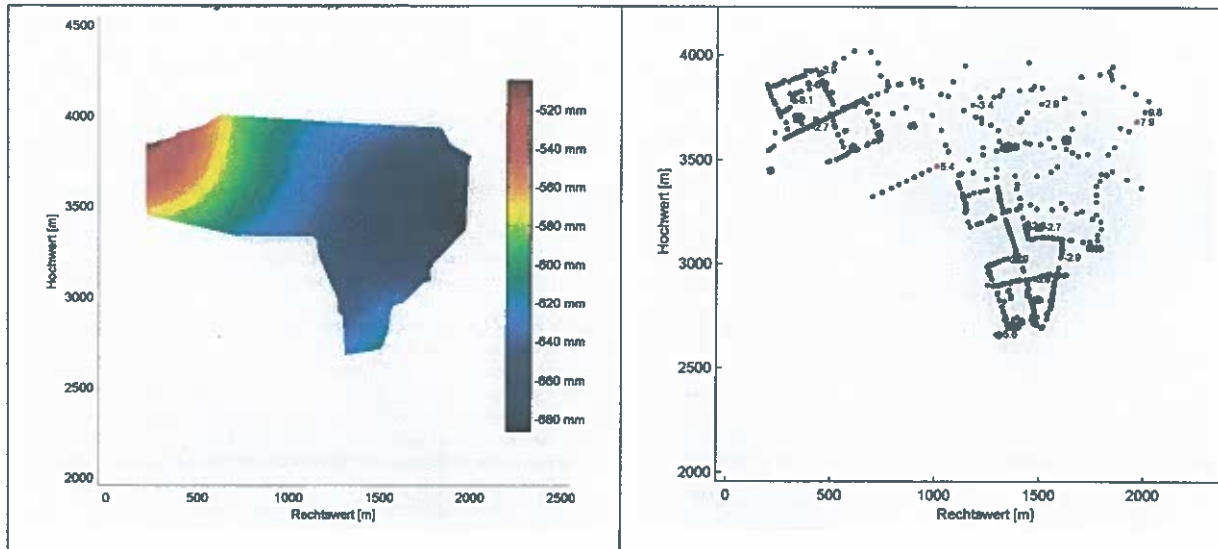
Bodenbewegungsanalysen Berrendorf	Identische Punkte	empir. Standardabweichung [mm]	Flächenfunktion: Polynomgrad	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale Schief lagen [mm/m]	minimale Krümmungsradien [km]
1992 – 2007	194	1.0	6	15	0.25	390
1999 – 2007	638	0.9	5	16	0.2	2210

Berrendorf 1: Kenngrößen für die Analysen von Prof. Kuhlmann

Im Abschnitt 5.2 ist die Herangehensweise von Prof. Kuhlmann für den Vergleich der Höhenwerte für zwei Epochen ausführlich dargelegt und bewertet worden. Die Approximation des Bewegungsverhaltens durch die im Abschnitt 5.2 ausführlich dargelegte polynomiale Flächenfunktion ist auch hier angewandt worden. Allerdings fällt für die Ortslage Berrendorf auf, dass ein relativ hoher Polynomgrad erforderlich ist, also keine ganz gleichmäßige Geologie zugrunde liegt.



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



Berrendorf 3: 1999 – 2007: Flächenapproximation und Lage der auffälligen Punkte

Doch auch in den Randbereichen, in denen stärkere Bodenbewegungen vorliegen, wurde in der internen Bewertung durch statistische Kennzahlen eine hinreichend hohe Qualität der Approximation nachgewiesen. Gemäß der Tabelle *Berrendorf 1* sind die Werte für Schiefungen und Krümmungen auch in den Randbereichen völlig unkritisch.

Außerdem sind nur wenige Einzelpunkte auffällig geworden, also nur sehr lokale Abweichungen von dem Flächenmodell. Für Punkte mit auffälligen Bewegungsverhalten gelten die Ausführungen des Abschnitts 5.2: Abweichungen von mehr als 2.57 mm von der Approximationsfläche gelten als signifikant, die zugehörigen Punkte/Gebäude sind einer weitergehenden Analyse zu unterziehen.

Ergebnis: Die Approximation der aufgetretenen Bodenbewegungen mittels einer Flächenfunktion ist erfolgreich durchgeführt worden; sowohl die errechneten Werte für Schiefungen als auch für Krümmungen sind als völlig unkritisch anzusehen.

Für das Untersuchungsgebiet Berrendorf kann nach den vorliegenden Ergebnissen der wiederholten Nivellements eine kritische Beeinflussung der Bausubstanz durch großflächige Bodenbewegungen als Auswirkung durch die bisher erfolgten Sumpfungen und die direkten Bergbauaktivitäten nicht festgestellt werden.

Vorinformationen oder Vermutungen über lokale Bewegungsanomalien wie tektonisch aktive Störung und/oder Aueböden liegen für Berrendorf nicht vor.

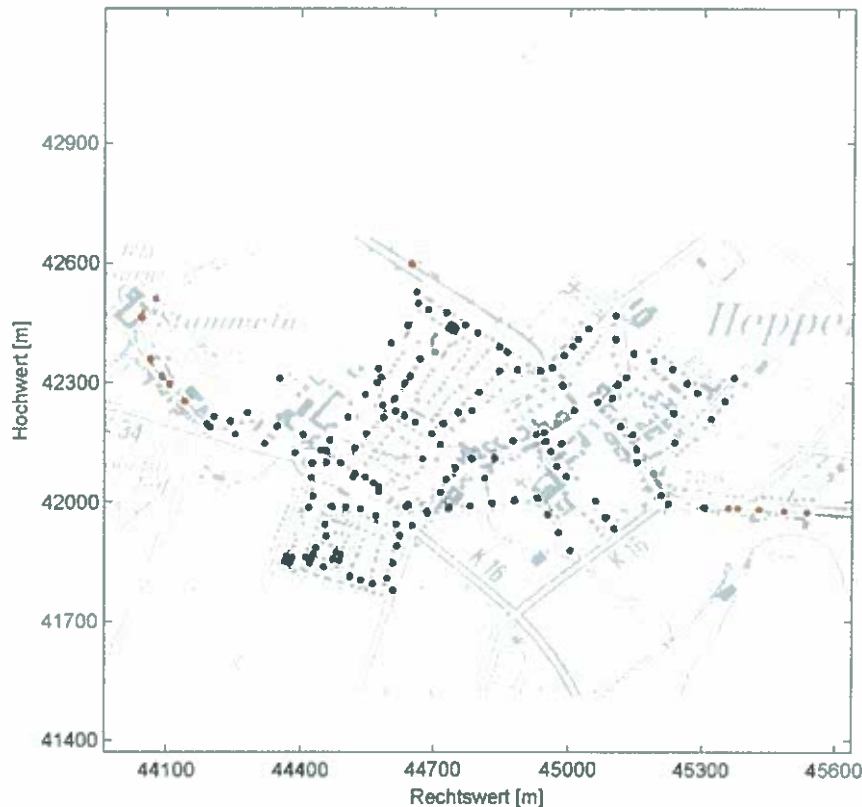
Die als bewegungshomogen und damit unkritisch anzusehenden Bereiche sind in beiden Vergleichen örtlich etwa gleich abgegrenzt, so dass die Aussage über das gleichförmige Verhalten zweifach belegt ist.

Folgerung: Für den messtechnisch erfassten Bereich der Ortslage Berrendorf darf von der Vermutung ausgegangen werden, dass eventuelle Gebäudeschäden nicht durch Sumpfungen oder den direkten Bergbaubetrieb hervorgerufen worden sind.

Für die Punkte (Gebäude) mit abweichendem Bewegungsverhalten ist eine Einzelprüfung vorzunehmen, um die Ursachen für diese Besonderheiten zu analysieren.

6.3 Ortslage Heppendorf

Gemäß Tabelle 1 liegen für Heppendorf insgesamt 4 Messungsepochen vor und zwar aus den Jahren 1998, 2006, 2009 und 2011.



Heppendorf 1: Anordnung der Höhenpunkte in der Ortslage Heppendorf 2009, (Gutachten Heppendorf 2011)

In vorstehender Abbildung sind die 174 Messpunkte dargestellt, die theoretisch für den Epochenvergleich 2009 zu 2011 genutzt werden konnten. Allerdings sind 12 Punkte linienhaft angeordnet und zwar westlich und östlich der eigentlichen Ortslage entlang von Zufahrtsstraßen. Diese Punkte liegen für die angestrebte Flächenapproximation sehr ungünstig und sind – bereits in den Gutachten von Prof. Kuhlmann – nicht in die Analyse einbezogen worden.

Für den Vergleich 1998-2006 standen sogar nur 42 identische Messpunkte zur Verfügung, von denen 14 aufgrund ihrer ungünstigen geometrischen Anordnung (siehe die oben erwähnte Randlage) nicht in den Flächenansatz einbezogen wurden. Auch für das Zeitintervall von 2006 bis 2011 wurden nur 56 identische Messpunkte einbezogen. Eine deutliche Punktverdichtung erfolgte erst 2009, weshalb gerade für flächige Aussagen die Analyse 2009 – 2011 eine besondere Bedeutung besitzt.

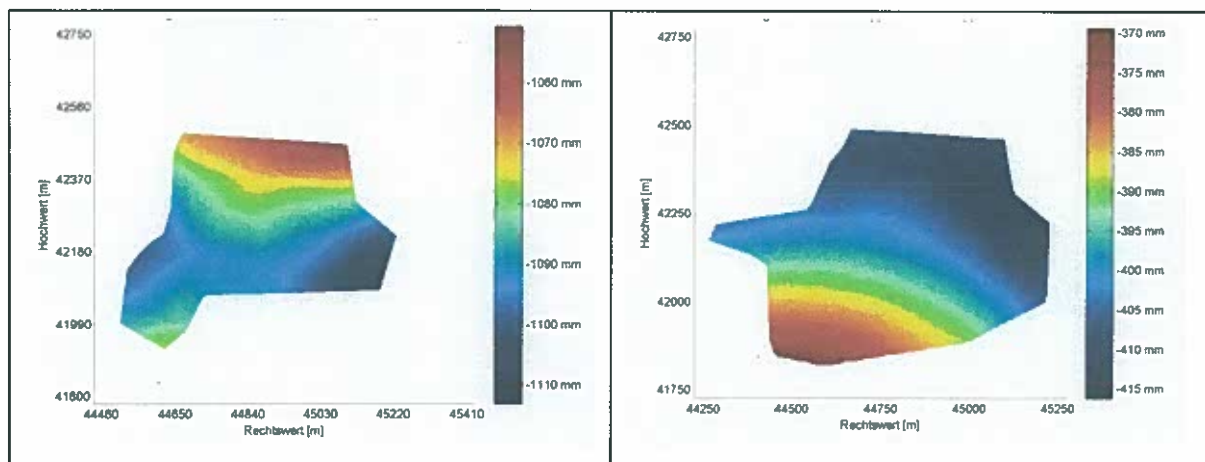
Aus den vorliegenden 4 Messungsepochen für die Ortslage Heppendorf hat Prof. Kuhlmann vier Bewegungsanalysen gerechnet. Für die numerisch-statistischen Gegenüberstellungen der Epochen 1998 – 2006, 2006 – 2011, 2009 - 2011 und die zu Vergleichszwecken zusätzliche Analyse für 2006 - 2008 sind die charakteristischen Werte in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst worden.

Generell kann festgestellt werden, dass es in diesem Untersuchungsgebiet sehr gleichmäßige Bodenbewegungen gibt, da der Polynomgrad der Flächenfunktion mit „2“ stets sehr gering ist und entsprechend die Flächenfunktion nur wenig gekrümmt ist. Entsprechend sind die Werte für Schiefagen und Krümmungen weit entfernt von den kritischen Werten nach Abschnitt 4.1.

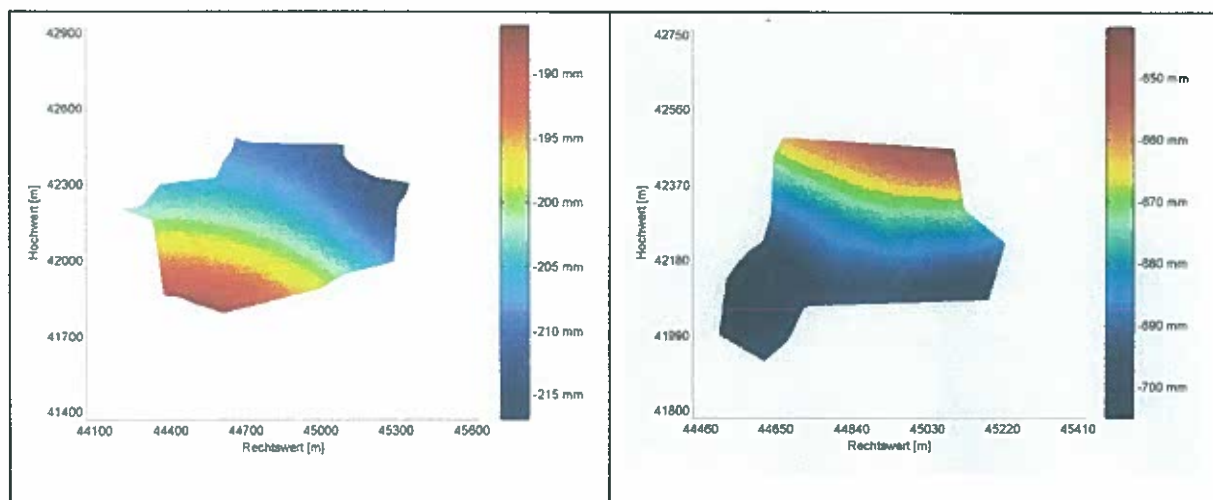
Es muss allerdings auch hier erwähnt werden, dass sich die Analyseergebnisse von Prof. Kuhlmann im Sinne einer Interpolation nur auf den tatsächlich messtechnisch abgedeckten Bereich beziehen; eine Extrapolation nach außen, z.B. entlang der Straßenzüge, ist nicht zulässig.

Bodenbewegungsanalysen Heppendorf	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion: Polynomgrad	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale Schief lagen [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 2: Kenngrößen der 4 durchgeführten Analysen von Prof. Kuhlmann



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



Heppendorf 4: Flächenapproximation. links: 2009 – 2011; rechts 1998 – 2006

Ergebnis: Die Approximation der aufgetretenen Bodenbewegungen mittels einer Flächenfunktion ist erfolgreich durchgeführt worden; sowohl die errechneten Werte für Schiefelagen als auch für Krümmungen sind als völlig unkritisch anzusehen.

Für das Untersuchungsgebiet Heppendorf kann nach den vorliegenden Ergebnissen der wiederholten Nivellements eine kritische Beeinflussung der Bausubstanz durch großflächige Bodenbewegungen als Auswirkung durch die bisher erfolgten Sumpfungen und die direkten Bergbauaktivitäten nicht festgestellt werden.

Vorinformationen oder Vermutungen über lokale Bewegungsanomalien wie tektonisch aktive Störung und/oder Aueböden liegen für Berrendorf nicht vor.

Die als bewegungshomogen und damit unkritisch anzusehenden Bereiche sind in allen vier berechneten Vergleichen örtlich etwa gleich abgegrenzt, so dass die Aussage über ein gleichförmiges Verhalten mehrfach belegt ist.

Folgerung: Für den messtechnisch erfassten Bereich der Ortslage Heppendorf darf von der Vermutung ausgegangen werden, dass eventuelle Gebäudeschäden nicht durch Sumpfungen oder den direkten Bergbaubetrieb hervorgerufen sind.

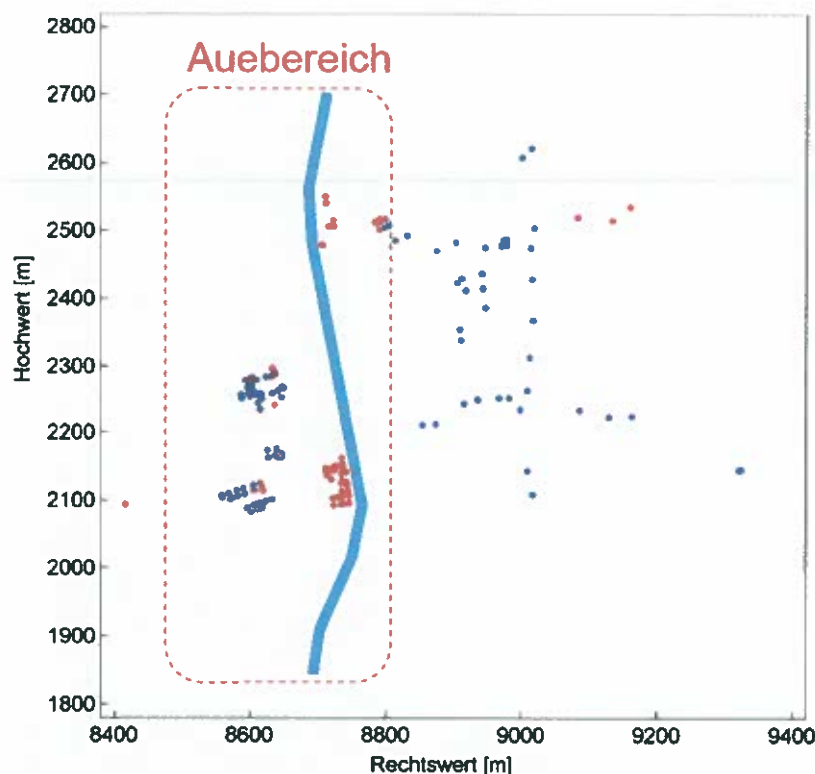
Für die wenigen Punkte (Gebäude) mit abweichendem Bewegungsverhalten ist eine Einzelprüfung vorzunehmen, um die Ursachen für diese Besonderheiten zu analysieren.

Empfehlung: Allerdings sollten die Höhenwerte für die an den Straßen gelegenen Punkte/Gebäude im östlichen und westlichen Bereich der Ortslage ebenfalls im Hinblick auf ihr Bewegungsverhalten analysiert werden. Auch wenn hier keine Flächenfunktion anzusetzen ist, so bieten diese Daten doch wichtige Informationen über das Bewegungsverhalten auch dieser Bereiche.

6.4 Ortslage Wanlo

Ein im Hinblick auf die Ausgangssituation und das methodische Herangehen deutlich andersartiges Gebiet ist die Ortslage Wanlo, für die Nivellements aus den Jahren 1996 und 2008 vorliegen. Insgesamt liegen 161 identische Punkte für die Bewegungsanalyse vor.

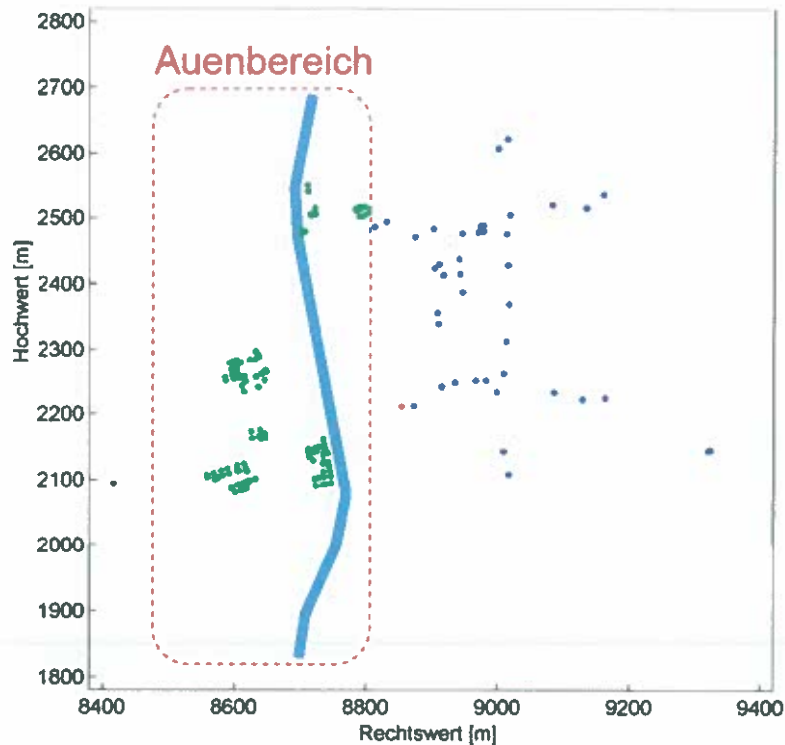
Hier hat sich in der stufenweisen Analyse des Datenmaterials durch Prof. Kuhlmann ein noch einfacherer Ansatz ergeben, nämlich eine Approximation gemäß den im Abschnitt 5.2 beschriebenen Modellen „gleichförmige Absenkung“ und „Schieflage“. In der nachstehenden Abbildung *Wanlo 1* sind für diesen Ansatz zunächst sämtliche Punkte berücksichtigt worden. In rot markiert sind die auffälligen Punkte, d.h. die Punkte, deren Höhenänderungen nicht durch das Modell „Absenkung+Schieflage“ erklärt werden können.



Wanlo 1: Anordnung der Höhenpunkte in der Ortslage Wanlo. In rot dargestellt sind alle Punkte, die nicht zum Gesamtmodell Absenkung und Schiefelage passen. (Gutachten Wanlo 2010)

Man erkennt deutlich, dass dieser Modellansatz für das Gesamtgebiet nicht zutreffend ist: Sehr viele Punkte, die dazu noch recht gleichmäßig verteilt sind, passen nicht zu dieser ersten, globalen Approximationsfläche. Prof. Kuhlmann hat anschließend ausführliche Analysen vorgenommen, und erfolgreich aufzeigen können, dass mit seinem Ansatz auch bewegungsauffällige Bereiche wie hier die Auegebiete detektiert werden können.

Für die in diesem Gutachten angestrebte Identifikation von Gebieten mit gleichförmigem Bewegungsverhalten ist m.E. bereits die Nutzung der Vorinformation über die Existenz und etwaige Ausdehnung des Auebereichs zielführend. In der Abbildung *Wanlo 2* ist das gesamte Auegebiet ausgegrenzt worden und die Flächenapproximation bezieht sich allein auf die übrige Ortslage. Nach dieser räumlichen Abgrenzung des Untersuchungsgebietes können alle Punkte (bis auf einen) im Bereich des von den Aueböden nicht beeinflussten Bereiches der Ortslage durch eine Approximation im Modell „Absenkung + Schiefelage“ erklärt werden.



Wanlo 2: Approximation durch das Modell „Absenkung + Schiefelage“ mit Ausgrenzung des Auebereiches. In der verbleibenden Ortslage Wanlo ist nur 1 Punkt auffällig (rot dargestellt).
(Gutachten Wanlo 2010)

Gemäß Tabelle 1 gibt es für die Ortslage Wanlo bisher nur zwei Messungsepochen, aus denen Prof. Kuhlmann entsprechend genau eine Bewegungsanalyse rechnen konnte. Für diese Gegenüberstellung der Epochen 1996 – 2006 sind die charakteristischen Werte in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst worden.

Bodenbewegungsanalysen Wanlo	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion:	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale Schieflagen [mm/m]	minimale Krümmungsradien [km]
1996 – 2008 ohne Auebereich	43	1.2	Absenkung + Schiefelage	1	- 0.09	-

Wanlo 3: Kenngrößen für die Analyse in der Ortslage Wanlo nach Ausgrenzung des Auebereiches

Ergebnis: Für den Auebereich im Untersuchungsgebiet Wanlo sollte und kann nach den vorliegenden Ergebnissen der wiederholten Nivellements keine Aussage über die Stabilität der Punkte/Gebäude gemacht werden.

Für den östlich des Auebereichs gelegenen Teil der Ortslage Wanlo ist ein bewegungshomogenes Verhalten nachgewiesen worden, d.h. eine kritische Beeinflussung der Bausubstanz durch großflächige Bodenbewegungen als Auswirkung durch die bisher erfolgten Sumpfungen und die direkten Berg-

bauaktivitäten nicht festgestellt werden. Die Approximation der aufgetretenen Bodenbewegungen mittels einer Flächenfunktion ist erfolgreich durchgeführt worden. Die errechneten Werte für Schiefelagen sind als völlig unkritisch anzusehen; Krümmungen sind nicht detektiert worden.

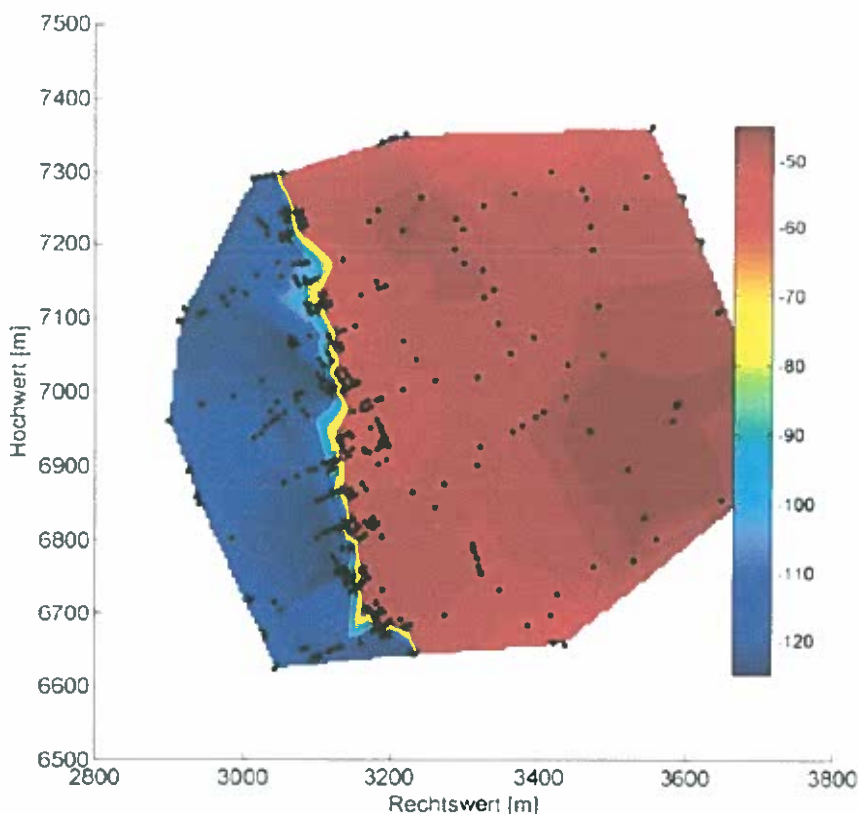
Folgerung: Die Berücksichtigung von Vorinformation über mögliche lokale Einflüsse, wie hier über den Auebereich, ist für eine belastbare Analyse von Bodenbewegungen äußerst wichtig. Für den messtechnisch erfassten Bereich der Ortslage Wanlo außerhalb des Auebereiches darf von der Vermutung ausgegangen werden, dass eventuelle Gebäudeschäden nicht durch Sumpfungen oder den direkten Bergbaubetrieb hervorgerufen sind.

Für die Punkte (Gebäude) mit abweichendem Bewegungsverhalten ist eine Einzelprüfung vorzunehmen, um die Ursachen für diese Besonderheit zu analysieren.

6.5 Ortslage Oberzier

Ein im Hinblick auf die Ausgangssituation und das methodische Herangehen wieder völlig andersartiges Gebiet ist die Ortslage Oberzier, für die Nivellements aus den Jahren 1998 und 2006 analysiert wurden. Insgesamt liegen für diesen Vergleich 395 identische Punkte vor.

Im Bereich Oberzier gibt es **Vorkenntnisse über eine aktive tektonische Störung**, die bereits dazu geführt hat, dass die Punktdichte zu beiden Seiten dieser Bruchkante deutlich erhöht worden ist. In der nachstehenden Abbildung „Oberzier 1“ sind die Punktlagen und die absoluten Senkungsbeträge dargestellt worden. Man erkennt deutlich die Bruchzone, die in den weiteren Analysen natürlich entsprechend berücksichtigt wurde.



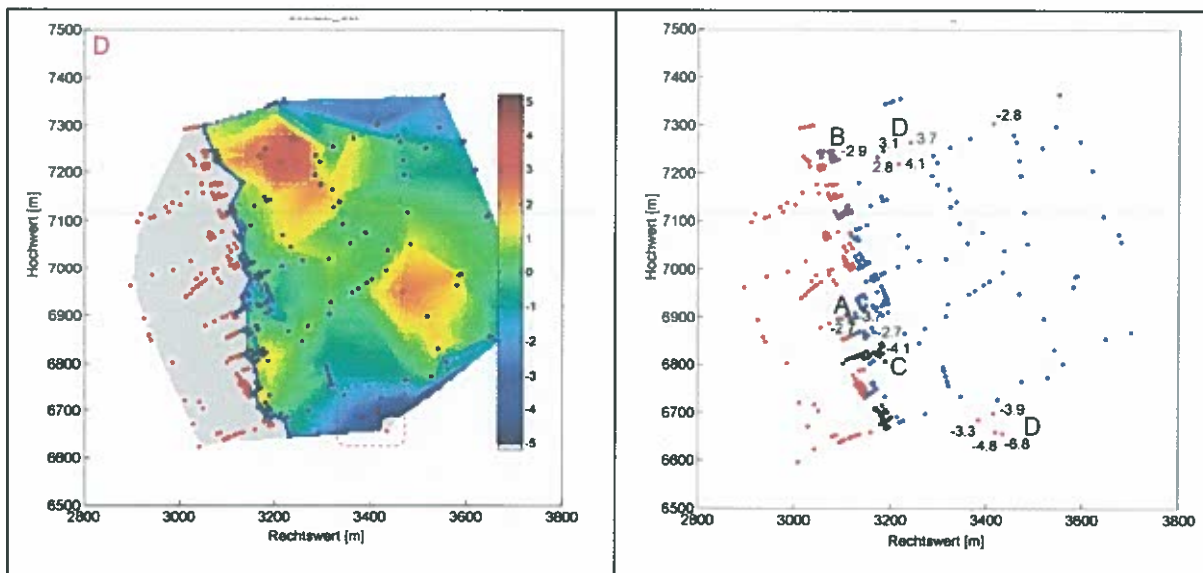
Oberzier 1: Anordnung der Höhenpunkte in der Ortslage Oberzier. Farblich dargestellt sind die absoluten Höhenänderungen im Gesamtgebiet. (Gutachten Oberzier 2010)

Auch hier hat sich - wie in Abschnitt 6.4 - der einfachere Ansatz einer Approximation mit dem Modell „gleichförmige Absenkung und Schiefelage“ als geeignet erwiesen. Allerdings hat Prof. Kuhlmann von Anfang an das Untersuchungsgebiet in einen westlichen und einen östlichen Bereich eingeteilt, um der aktiven Störung gerecht zu werden. Der Bereich um die Bruchzone herum mit einer nicht genau definierten Ausdehnung wird als Übergangsbereich bezeichnet.

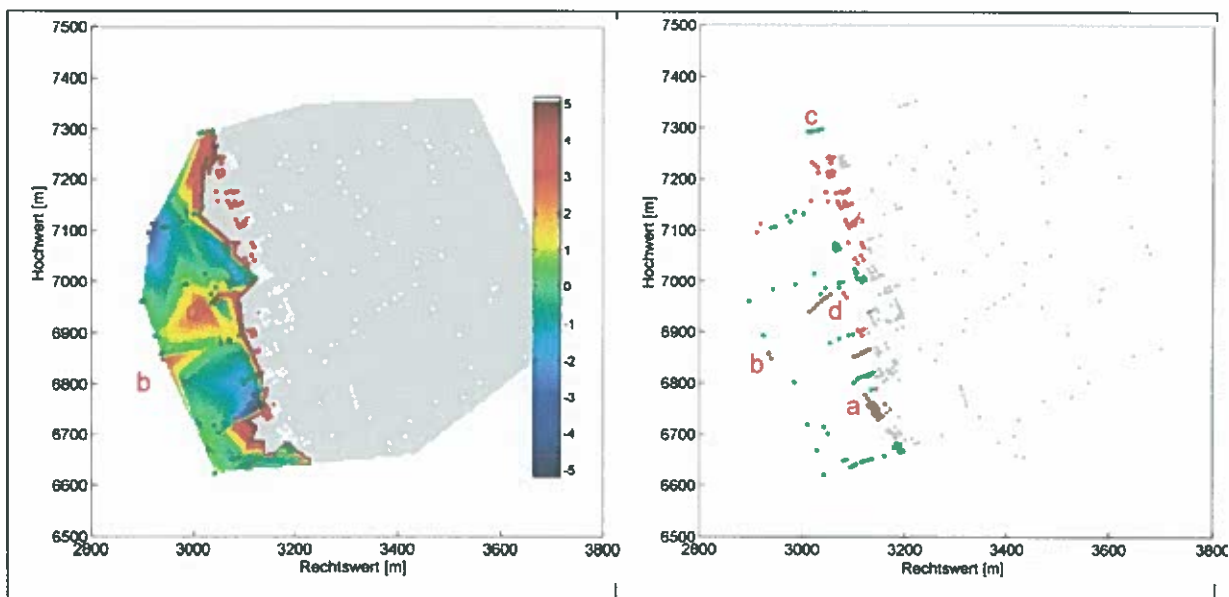
Die Ergebnisse der Flächenapproximation mit dem jeweils getrennt angesetzten Modell „Absenkung + Schiefelage“ sind bereits schematisch in Abb. 10 wiedergegeben; sie werden hier aus Gründen der besseren Lesbarkeit nochmals aufgeführt. In den Abbildungen *Oberzier 3* und *Oberzier 4* sind die Residuen nach erfolgter Flächenapproximation farblich dargestellt worden. Die Beträge erreichen Werte bis zu 5 mm und sind in den Gutachten von Prof. Kuhlmann einer eingehenden Analyse unterzogen worden. Den als vorläufig zu betrachtenden Ergebnissen dieser Detailanalysen kann hier nur zugestimmt werden, doch sollte auch eine bautechnische, konstruktive Bewertung erfolgen.

Bodenbewegungsanalysen Oberzier	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion:	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale Schief lagen [mm/m]	minimale Krümmungsradien
1998 – 2006 östlicher Bereich	195	---	Absenkung + Schief lage	Einzelpunkte + Punktgruppen	0.08	---
1998 – 2006 westlicher Bereich	200	---	Absenkung + Schief lage	Einzelpunkte + Punktgruppen	0.26	---

Oberzier 2: Kenngrößen für die Analysen von Prof. Kuhlmann, getrennt für die östlichen und westlichen Bereich



Oberzier 3: Östliches Teilgebiet 1998 – 2006: Links: Residuen nach Flächenapproximation im Modell „Absenkung und Schief lage“. Rechts: Auffällige Einzelpunkte bzw. Punktgruppen (Gutachten Oberzier 2010)



Oberzier 4: Westliches Teilgebiet 1998 – 2006: Links: Residuen nach Flächenapproximation im Modell „Absenkung und Schief lage“. Rechts: Zur Ebene passende Punkte sind grün dargestellt, auffällige Einzelpunkte bzw. Punktgruppen rot (Gutachten Oberzier 2010)

Ergebnisse: Für das Untersuchungsgebiet Oberzier kann nach den vorliegenden Ergebnissen der wiederholten Nivellements kein einheitliches Bild für die Bodenbewegungen erzielt werden. Zunächst einmal ist aufgrund der Vorinformation über die Lage der tektonisch aktiven Störung eine Einteilung des Untersuchungsgebietes in einen östlichen und einen westlichen Bereich vorgenommen worden.

Die von Prof. Kuhlmann zusätzlich diskutierte Frage, ob mit seinen Ansätzen auch eine tektonisch aktive Störung detektiert werden kann, steht für dieses Gutachten nicht im Vordergrund. Hier ist das Ziel die Identifikation von Bereichen mit bewegungshomogen, unkritischen Verhalten, wobei Kenntnisse über aktive Störungszonen als Vorinformation mit verwendet werden.

Im östliche Teilgebiet bestätigen 195 Messpunkte den Ansatz einer Flächenapproximation mit dem vereinfachten Modell „Absenkung + Schiefelage“.

Die Analyse der Residuen ist sehr sorgfältig erfolgt, wobei einige auffällige Punktgruppen bzw. Einzelpunkten aufgezeigt wurden. Insgesamt kann eine kritische Beeinflussung der Bausubstanz durch großflächige Bodenbewegungen als Auswirkung der bisher erfolgten Sumpfungen oder durch die direkten Bergbauaktivitäten nicht ausgeschlossen werden kann.

Der Gutachter empfiehlt eine Approximation der aufgetretenen Bodenbewegungen mittels einer höherwertigen Flächenfunktion mit Abschätzung auch der Krümmungen. Erst danach sollen diese weitgehenden Einzelpunktuntersuchungen vorgenommen werden

Für den westlichen Bereich ist die Approximation durch eine versetzte Ebene als nicht ausreichend anzusehen, wie aus der Anzahl und Anordnung der auffälligen Punkte (rot) in der zugehörigen Abbildung *Oberzier 4* erkennbar ist. Für dieses Teilgebiet kann kein bewegungshomogenes Verhalten diagnostiziert werden und daher eine Beeinflussung durch die bergbaulichen Aktivitäten nicht ausgeschlossen werden.

Für den Übergangsbereich entlang der tektonischen Störung sind Einzelfallprüfungen im eventuellen Schadensfall notwendig. Die Ausdehnung dieser Übergangszone ist unter Beachtung der örtlichen Geologie festzulegen.

Folgerung: *Für die messtechnisch erfassten Bereiche der Ortslage Oberzier kann derzeit nicht ausgeschlossen werden, dass eventuelle Gebäudeschäden durch Sumpfungen oder den direkten Bergbaubetrieb hervorgerufen worden sind.*

Für den östlichen Teilbereich wird eine erneute mathematisch-statistische Analyse unter Einbeziehung auch neuerer Nivellementsdaten – siehe Empfehlung - als sinnvoll erachtet. Erst dann kann ggf. eine belastbare Aussage zur Beeinflussung durch den Bergbau gewonnen werden.

Für den westlichen Teilbereich und die Übergangszone ist eine Beeinflussung der Bausubstanz durch den Bergbau wahrscheinlich.

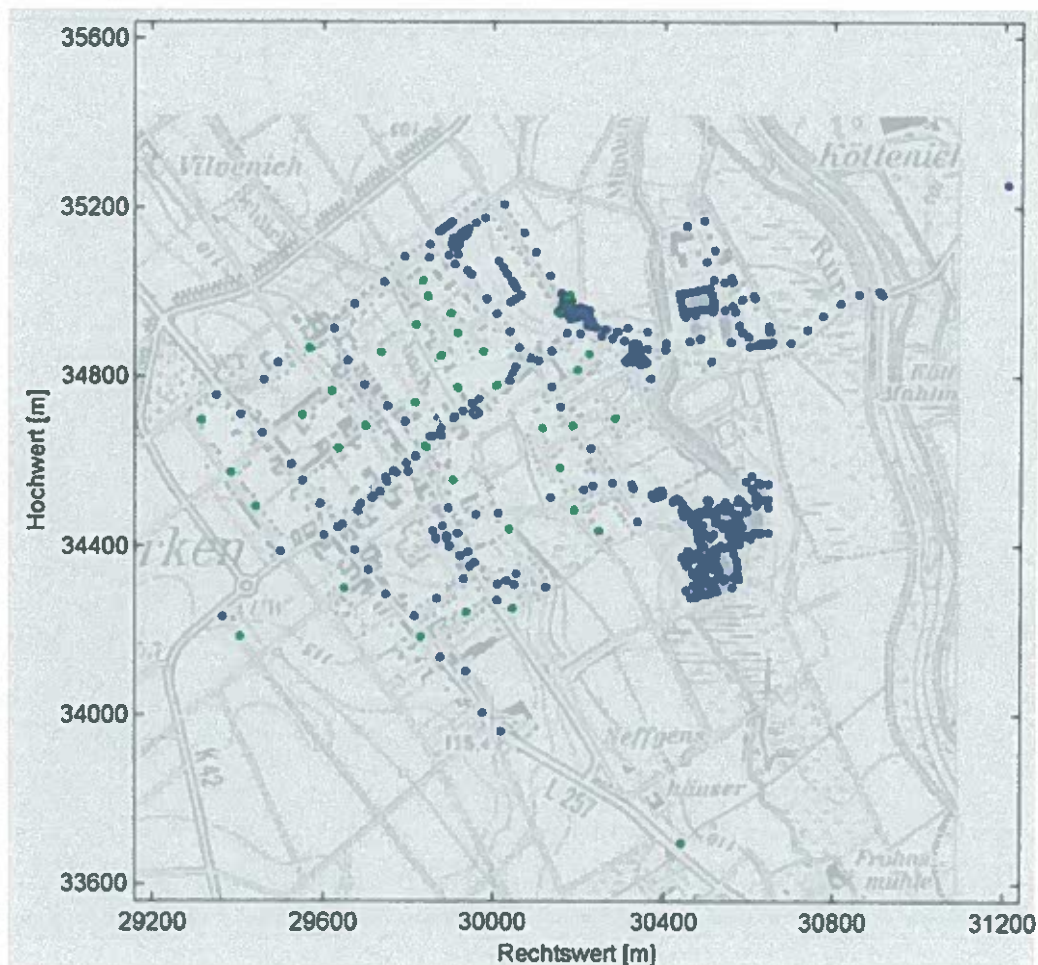
Empfehlung: Es wird dringend empfohlen, eine weitere Nivellementskampagne durchzuführen, da dieses Gebiet als durchaus kritisch anzusehen ist, bisher nur zwei Epochen vorliegen und die letzten Messungen von 2006 stammen. Daran anschließend sollte eine nochmalige, umfassende Analyse der dann verfügbaren drei Messungsepochen erfolgen.

6.6 Ortslage Merken

Im Hinblick auf die Ausgangssituation unterscheidet sich die Ortslage Merken durch seine Komplexität wieder sehr deutlich von den bisherigen Beispielen: Der Tagebau Inden wird die Ortslage Merken im nördlichen Bereich erreichen und in den Folgejahren von Osten nach Westen an Merken vorbeistreichen. Östlich des Ortes liegt die Rur, so dass hier ggf. mit dem Vorhandensein von Aueböden zu rechnen ist. Schließlich befindet sich im NO der eigentlichen Ortslage eine bewegungsaktive tektonische Störung, der „Sprung von Pier“, siehe Abbildung *Merken 2*.

Diese Situation bestimmt Anzahl und Anordnung der Nivellementspunkte durch RWE Power und die Herangehensweise von Prof. Kuhlmann bei seinen Analysen.

Die Abbildung *Merken1* zeigt die Verteilung der Höhenpunkte an Gebäuden in der Ortslage Merken im Jahre 1999 (blau) mit der Verdichtung 2003 (grün). In den Jahren 2009 und 2010 sind punktuell weitere Verdichtungen vorgenommen worden, die jedoch bisher nicht in mindestens zwei Epochen vorliegen und für die daher keine Aussagen zu Bodenbewegungen gemacht werden können. Auch die Punktgruppe im SO des Ortes (Industrieareal ?) ist bisher nicht bearbeitet worden.

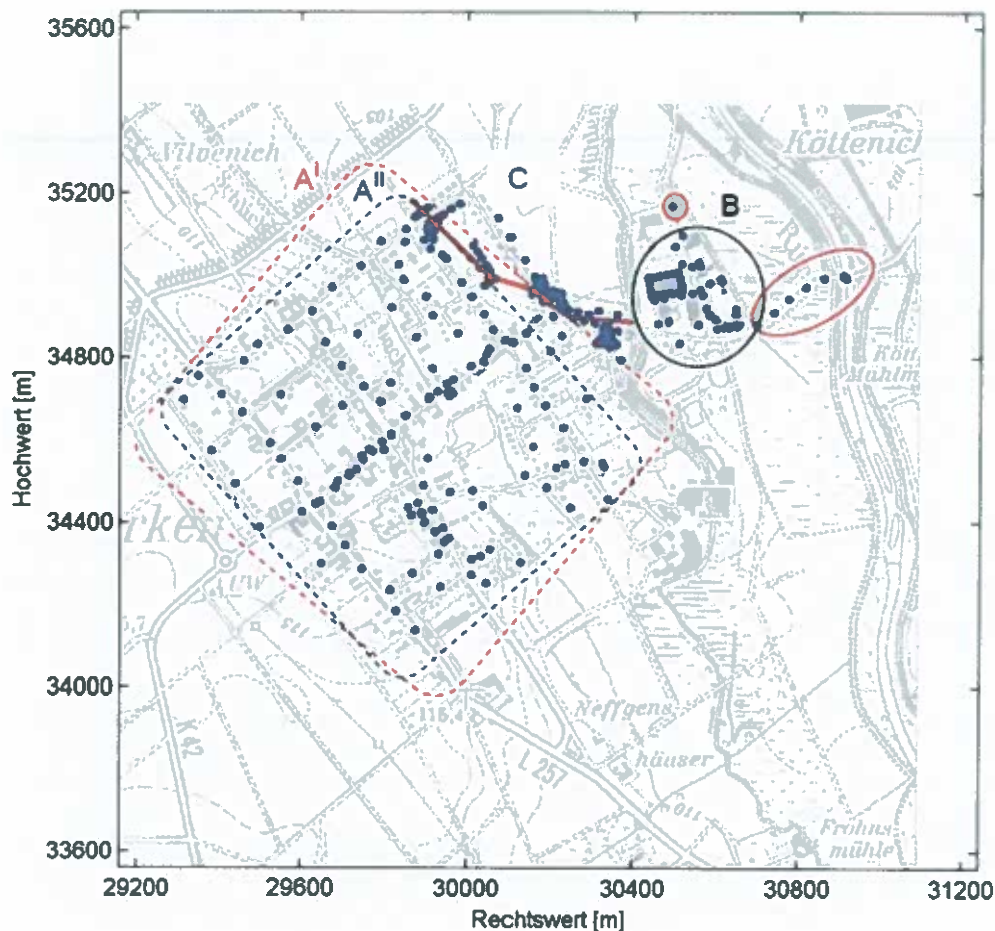


Merken 1: Anordnung der Höhenpunkte in der Ortslage Merken 1999 und 2003, später nochmals verdichtet (Gutachten Merken 2011)

In der Abbildung *Merken 2* ist die Lage des bewegungsaktiven „Sprunges von Pier“ dargestellt. Weiter sind hier die Arbeitsbereiche A und B markiert, für die ein höherwertiger Flächenansatz realisiert werden konnte. Es stellte sich in den ausführlichen Analysen von Prof. Kuhlmann heraus, dass allein die Variante A^{II}, in der keine Punkte liegen, die direkt durch den bewegungsaktiven Sprung beeinflusst sind, für eine Approximation mittels Flächenpolynom geeignet ist. Nur diese Variante wird hier weiter betrachtet.

Der Bereich B ist recht klein (200 x 200 m) und befindet sich wohl klar außerhalb des Sprunges, sollte aber auch noch nicht von eventuellen Auebereichen in der Nähe der Rur beeinflusst sein.

Für den in der Abbildung ebenfalls angegebenen Bereich C sowie die Punkte entlang der Linie in Richtung Rur liegen nach meinen Unterlagen bisher keine zusammenhängenden Aussagen im Hinblick auf das Bewegungsverhalten vor. Prof. Kuhlmann empfiehlt, dass hier im eventuellen Schadensfall Einzelpunktbeurteilungen durchgeführt werden.



Merken 2: Einteilung des Untersuchungsgebietes Merken in die Teilgebiete A und B sowie Lage des „Sprunges von Pier“ (Gutachten Merken 2011)

Gemäß Tabelle 1 gibt es für die Ortslage Merken drei Messungsepochen aus den Jahren 1999, 2003 und 2009, aus denen Prof. Kuhlmann Bewegungsanalysen gerechnet hat. Diese Untersuchungen erfolgen für die Bereich A (eigentlich A^{II}) und B getrennt.

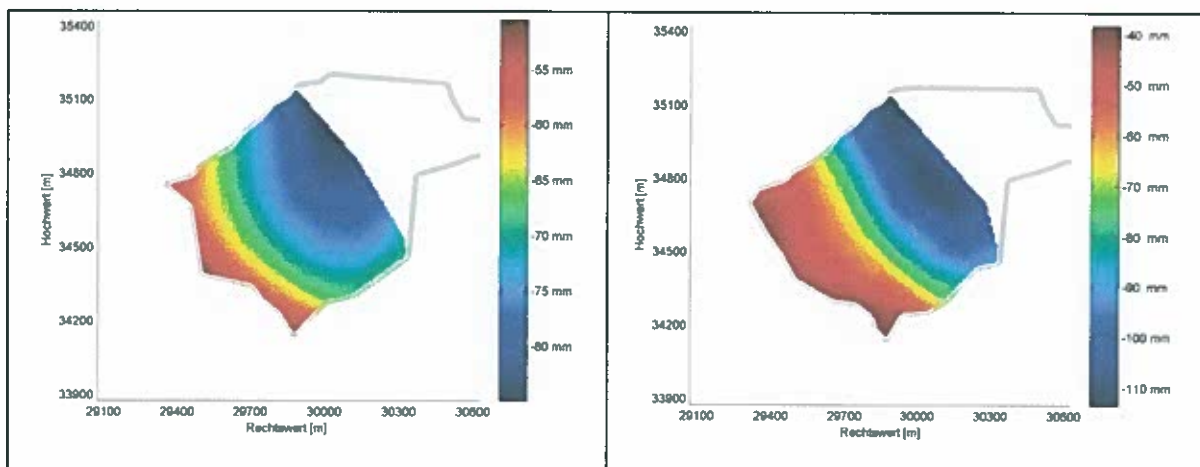
Die charakteristischen Werte für die insgesamt 6 durchgeführten Analysen sind in der nachstehenden Tabelle *Merken 3* zusammengefasst worden.

Bodenbewegungsanalysen Merken	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion: Polynomgrad	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale Schieflagen [mm/m]	minimale Krümmungsradien [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	-	-

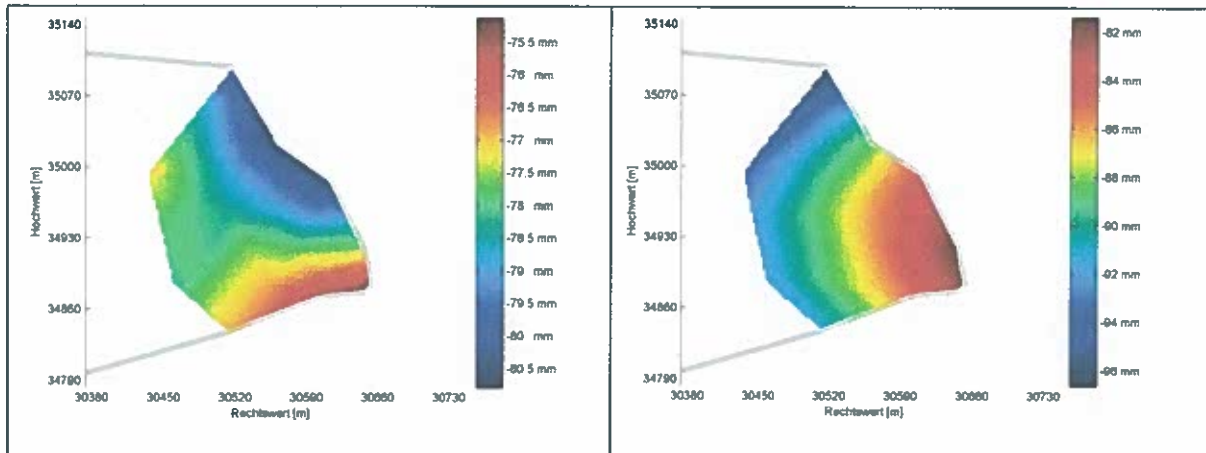
Merken 3: Kenngrößen für die bisher durchgeführten Analysen von Prof. Kuhlmann

Der hohe Polynomgrad im Bereich A ist ein Indiz für ein großräumig uneinheitliches Verhalten, was mit der örtlichen Geologie, aber ggf. auch der Nähe zu GW-Entnahmebrunnen und Ähnlichem zusammenhängen kann. Die Werte für Schieflagen und Krümmungen sind jedoch für Gebäude völlig unkritisch, so dass unter Hinzunahme der Flächenapproximationen auch hier ein bewegungshomogenes, für Bauwerke unkritisches Verhalten nachgewiesen werden konnte.

Die Analysen über den Gesamtzeitraum liefern für beide Teilgebiete im Hinblick auf Flächenfunktionen und auffälligen Einzelpunkten eine sehr gute Bestätigung der Ergebnisse für die kürzeren Zeiträume. Die Lage der auffälligen Einzelpunkte ist ungleichmäßig verteilt, so dass keine weitere Systematik in den Untersuchungsbereichen ableitbar ist.



Merken 4: Flächenapproximation im Gebiet A für die Epochenvergleiche 1999-2003 und 2003 – 2009 (Gutachten Merken 2011)



Merken 5: Flächenapproximation im Gebiet B für die Epochenvergleiche 1999-2003 und 2003 – 2009 (Gutachten Merken 2011)

Ergebnis: Für das Untersuchungsgebiet Merken, genauer für die örtlich klar abgegrenzten Bereiche A^{II} und B kann nach den vorliegenden Ergebnissen der drei wiederholten Nivellementsepochen eine kritische Beeinflussung der Bausubstanz durch großflächige Bodenbewegungen als Auswirkung durch die bisher erfolgten Sumpfungen und die direkten Bergbauaktivitäten nicht festgestellt werden. Die Approximation der aufgetretenen Bodenbewegungen mittels einer Flächenfunktion ist in jedem Teilgebiet erfolgreich durchgeführt worden; sowohl die errechneten Werte für Schieflagen als auch für Krümmungen sind als völlig unkritisch anzusehen.

Vorinformationen über die tektonisch aktive Störung „Sprung von Pier“ sind berücksichtigt worden, d.h. für Punkte im Einflussbereich dieses Sprunges, aber auch im Bereich C und entlang der Linie zur Rur sind Einzelanalysen erforderlich.

Die als unkritisch anzusehenden Bereiche sind in allen Berechnungsvarianten örtlich etwa gleich abgegrenzt, so dass die Aussage über das bewegungshomogene Verhalten zweifach belegt ist.

Folgerung: Für die messtechnisch erfassten, örtlich klar abgegrenzten Bereiche A^{II} und B der Ortslage Merken darf von der Vermutung ausgegangen werden, dass eventuelle Gebäudeschäden nicht durch Sumpfungen oder den direkten Bergbaubetrieb hervorgerufen sind.

Für die Punkte (Gebäude) mit abweichendem Bewegungsverhalten sind Einzelanalysen erforderlich, um die Ursachen für diese Besonderheiten zu analysieren. Ebenso sind für die oben aufgeführten weiteren Bereiche im Schadensfall Einzelprüfungen vorzunehmen.

Empfehlung: Eine Besonderheit für eine Beurteilung der Bodenbewegungen im Bereich Merken ist die Lage in der Nähe zum Tagebau Inden. Hier sollten in naher Zukunft verstärkt Untersuchungen zum Nachweis der von Bodenbewegungen erfolgen, da durch die Annäherung und das Vorbeistreichen des Tagebaubetriebes selbst mit erheblich größeren Beeinflussungen durch den Bergbau zu rechnen ist.

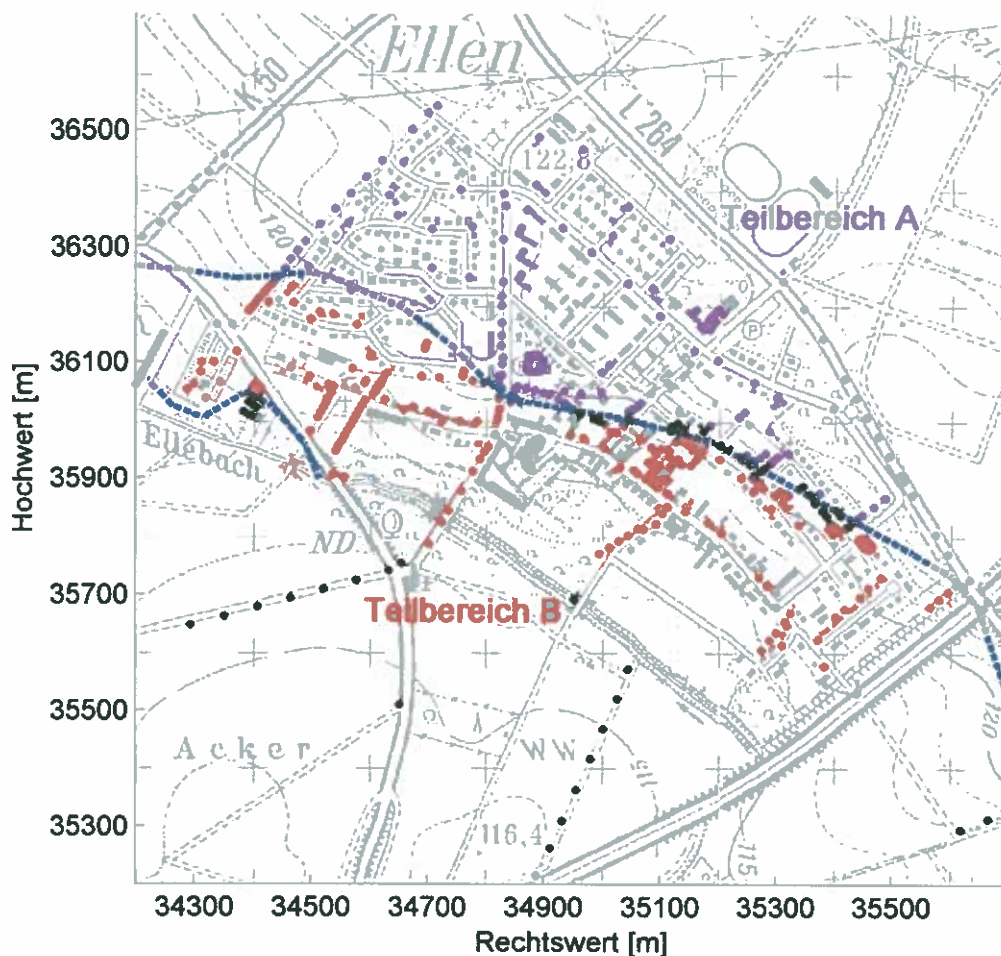
In jedem Fall sollte eine erneute Nivellementskampagne durchgeführt werden, bevor der Tagebau im Jahre 2015 den Ort Merken erreicht. Diese weitere Kampagne würde dann auch Aussagen für die bereits in den Jahren 2009 und 2010 neu angelegten Höhenpunkte erlauben.

6.7 Ortslage Niederzier - Ellen

Im Hinblick auf die Ausgangssituation ist die Ortslage Niederzier-Ellen (im Folgenden auch nur Ellen genannt) durch eine in der Lage weitgehend bekannte bewegungsaktive tektonische Störung gekennzeichnet, die die Ortslage von NW nach SO durchläuft. Eine weitere tektonische Störung wird südwestlich von der bekannten Störung vermutet. Die für den Vergleich 2002 mit 2008 verwendeten Höhenpunkte sowie diese beiden Störungen sind in der Abbildung *Ellen 1* dargestellt.

In dieser Abbildung ist zusätzlich die Einteilung des Untersuchungsgebietes in die Teilbereiche A und B eingezeichnet, da es nach ersten Analysen von Prof. Kuhlmann nicht möglich war und nach Zielsetzung dieses Gutachtens ja auch gar nicht sinnvoll wäre, das Senkungsverhalten des gesamten Gebietes bei Kenntnissen über tektonische Störungen durch nur eine Flächenfunktion zu approximieren. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich allein auf die separaten Analyseergebnisse für die Teilbereiche A und B. Zunächst sind in diese Teilbereiche durchaus Punkte einbezogen worden, die ggf. im Einflussbereich der tektonischen Störung liegen; später werden die Bereiche weiter eingegrenzt, siehe Abbildungen *Ellen 3* und *4*.

Ergänzungsmessungen von RWE Power in den Jahren 2008 und 2012 sind vor allem im Bereich der tektonischen Störung vorgenommen worden, um hier für Einzelgebäude zu belastbaren Aussagen über die tatsächlichen Bodenbewegungen zu kommen. Für die in diesem Gutachten als wesentlich herausgestellte Aufgabe, Bereiche zu identifizieren, die nur sehr gleichförmig von den Sumpfungmaßnahmen bzw. direkten Bergbauaktivitäten beeinflusst worden sind, haben diese zusätzlichen Punkte bisher keine neuen Erkenntnisse gebracht.



Ellen 1: Anordnung der Höhenpunkte in der Ortslage Niederzier-Ellen für die Bestimmung von Bodenbewegungen zwischen 2002 - 2008 (Gutachten Niederzier-Ellen 2013)

Bereits hier soll angemerkt werden, dass die linienhaft angeordneten Punkte in S und SW derzeit nicht weiter analysiert worden sind.

Gemäß Tabelle 1 gibt es für die Ortslage Ellen drei Messungsepochen aus den Jahren 2002, 2008 und 2012, aus denen Prof. Kuhlmann seine Bewegungsanalysen gerechnet hat. Für den Bereich B ist nur ein Analyseergebnis aufgeführt worden, da es sich gezeigt hat, dass eine flächenhafte Approximation für den Teilbereich B nicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis führt.

Die charakteristischen Werte für diese Analysen sind in der nachstehenden Tabelle *Ellen 2* zusammengefasst worden.

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
B 2002 – 2008	264	1.0	5	17	-	-

Ellen 2: Kenngrößen für die bisher durchgeführten Analysen von Prof. Kuhlmann

Analyse für den Teilbereich A:

Der relativ hohe Polynomgrad von „5“ ist ein Indiz für großräumige Ungleichmäßigkeiten im Bewegungsverhalten, wie sie auch aus *Abbildung Ellen 3* erkennbar sind. Die Werte für Schief lagen und Krümmungen sind jedoch auch bis zum Rand des Teilgebietes völlig unkritisch, so dass durch diese Bodenbewegungen keine kritischen Schädigungen an Gebäuden zu erwarten sind.

In *Ellen 3* sind auf der rechten Seite die auffälligen Einzelpunkte für den Epochenvergleich 2002 - 2008 dargestellt. Einige dieser Punkte befinden sich in der Nähe der tektonischen Störung und sollten verwendet werden, um die Ausdehnung des Teilbereiches A genau einzugrenzen.

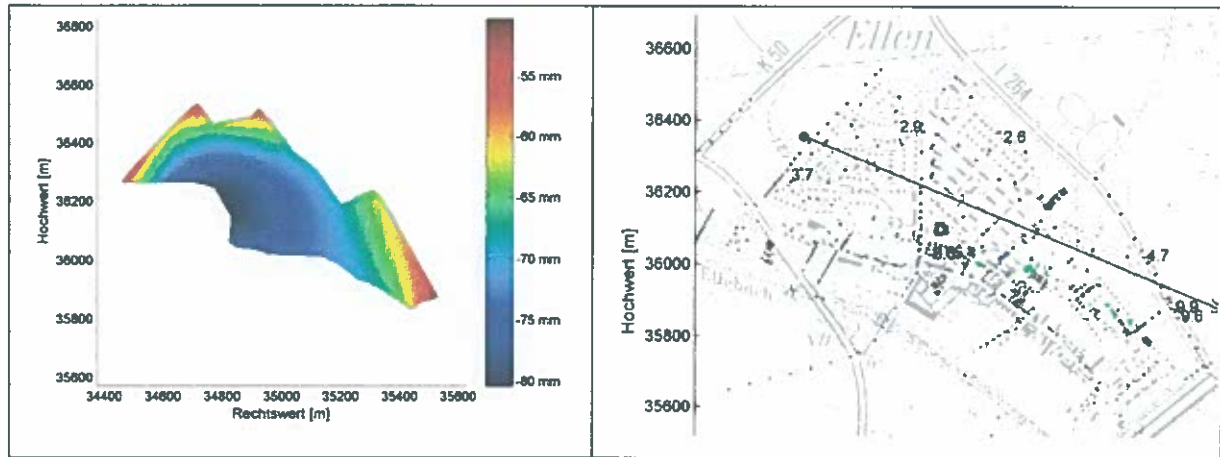
Für die Punkte im Bereich der am Ostrand befindlichen Straße hat Prof. Kuhlmann eine fundierte Detailanalyse durchgeführt und konnte aufzeigen, dass die hier auffälligen drei Punkte über alle Epochen hinweg ein gleichmäßig abweichendes Verhalten aufzeigen. Es gibt Indizien, dass diese Punkte im Einflussbereich einer verschütteten Müllkippe liegen und von daher Eigenbewegungen aufzeigen.

Analyse für den Teilbereich B:

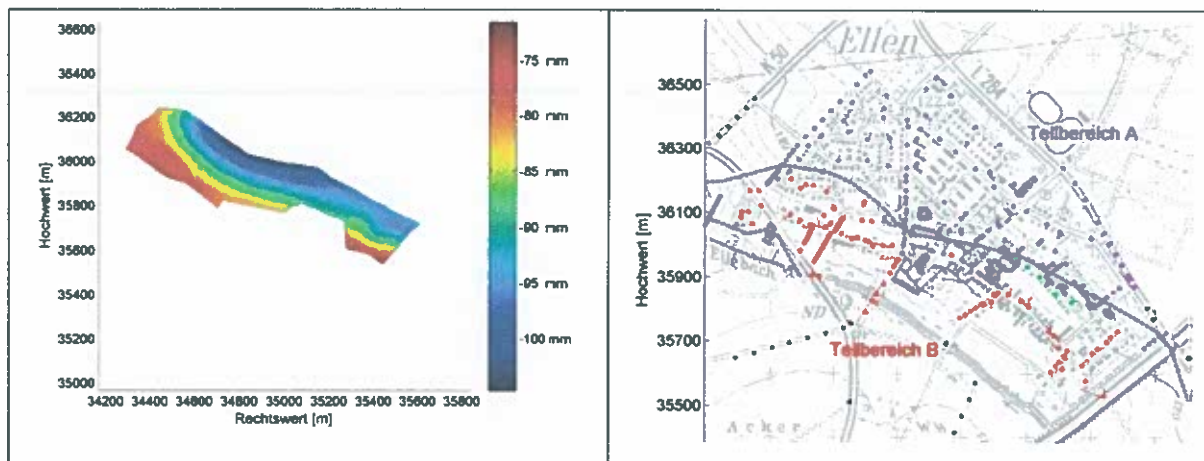
Wie aus den *Abbildung Ellen 1* und *Ellen 4* erkennbar, ist die geometrische Anordnung der Messpunkte für die Anwendung einer Flächenapproximation ungünstig. Es liegen überwiegend nur linienhaft angeordnete Punkte vor mit größeren Lücken von mehr als 200 m. Eine Punktverdichtung findet sich vor allem im Bereich der tektonischen Störung.

Die Punktreihen entlang der Straßen im W und S sind dabei bereits ausgeschlossen worden. Es wird empfohlen, eine Punktverdichtung und Arrondierung für diesen Teilbereich vorzunehmen, da nur dadurch die angestrebte großflächige Abschätzung des Bewegungsverhaltens möglich erscheint.

Von den 17 als bewegungsauffällig gekennzeichneten Punkten befinden sich 9 (grüne Punkte) in unmittelbarer Nähe der Störung, so dass hier eine weitere Begrenzung des Teilbereiches B sinnvoll ist.



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



Ellen 4: Teilbereich B, 2002 - 2008: Flächenapproximation und Lage der auffälligen Punkte

Ergebnis: Die Analysen der beiden Vergleiche für die Epochen 2008 – 2012 sowie 2002 – 2012 bestätigen die Ergebnisse für den hier dargestellten Vergleich 2002 - 2008. Insgesamt kann somit im Untersuchungsgebiet Ellen für den Teilbereich A, d.h. die Punkte / Gebäude nord-östlich der durch den Ort gehenden tektonischen Störung, nach den vorliegenden Ergebnissen das großräumige Senkungsverhalten gut durch ein parametrisches Flächenpolynom approximiert werden. Auch die errechneten Werte für Schief lagen und Krümmungen sind als völlig unkritisch anzusehen.

Für den Teilbereich B, d.h. den gesamten Bereich süd-westlich der tektonischen Störung, kommt Prof. Kuhlmann - für mich sehr gut nachvollziehbar - zu dem Schluss, dass hier eine flächenhafte Approximation über das Bewegungsverhalten nach den derzeit vorliegenden Daten nicht gerechtfertigt ist. Insbesondere die Verteilung der Messpunkte ist für solch eine Analyse nicht hinreichend. Bei eventuellen Schädigungen sind daher Einzelanalysen erforderlich.

Folgerung: Für den messtechnisch erfassten Bereich der Ortslage Niederzier-Ellen darf für den von Prof. Kuhlmann abgegrenzten Teilbereich A nord-östlich der tektonischen Störung von der Vermutung ausgegangen werden, dass eventuelle Gebäudeschäden nicht durch Sumpfungen oder den direkten Bergbaubetrieb hervorgerufen sind. Für den westlich der Störung gelegenen Teilbereich B ist solch eine Aussage derzeit nicht vertretbar, die Datenbasis reicht nicht aus.

Für die Punkte (Gebäude) mit lokal abweichendem Bewegungsverhalten ist im Schadensfall eine Einzelprüfung vorzunehmen.

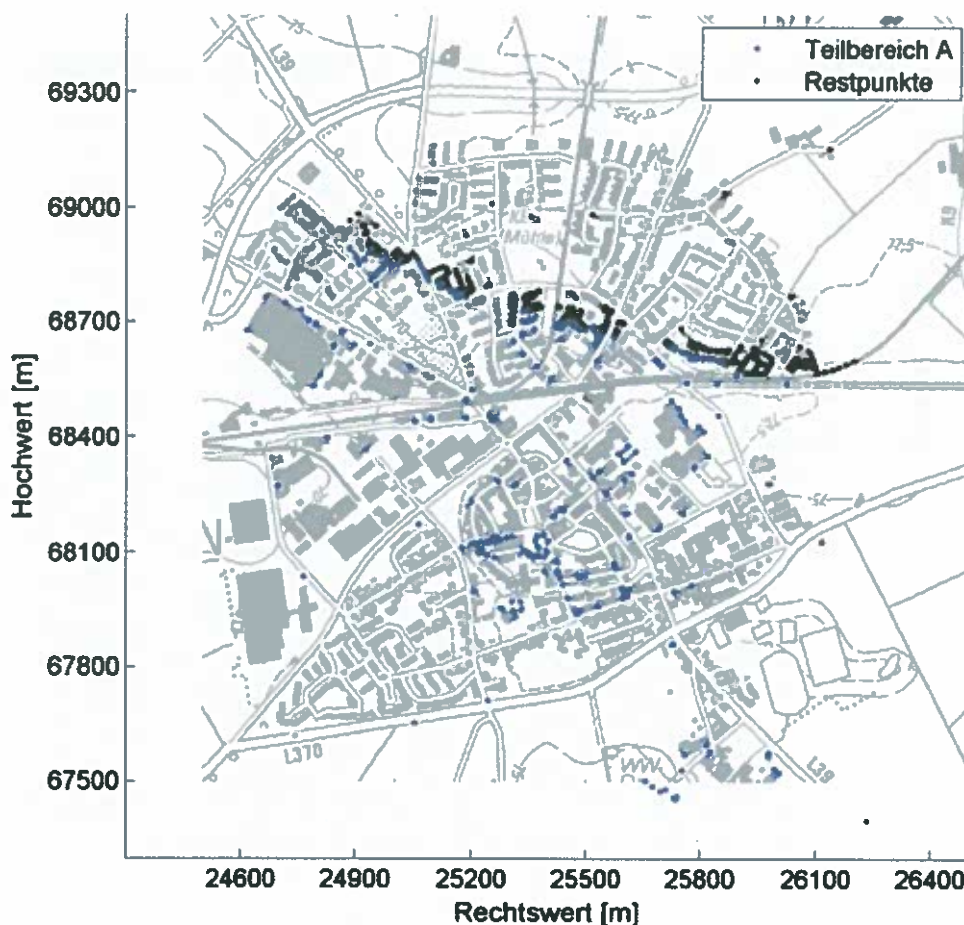
6.8 Ortslage Rheindahlen

Vorbemerkung: Für diese Ortslage wurde mir von der Anrufungsstelle eine vorläufige Version des Gutachtens von Prof. Kuhlmann zur Verfügung gestellt.

Die Ausgangssituation für die Ortslage Rheindahlen ist durch eine in der Lage weitgehend bekannte bewegungsaktive tektonische Störung „Rheindahlener Sprung“ gekennzeichnet, die die Ortslage von NW nach SO durchläuft. Die für die Bestimmung von Bodenbewegungen zwischen 2002 und 2012 verwendeten Höhenpunkte sowie diese Störung ist in der Abbildung *Rheindahlen 1* dargestellt.

In dieser Abbildung ist zusätzlich die Einteilung des Untersuchungsgebietes in die Teilbereiche A und B eingezeichnet, da von vorne herein eine getrennte Bestimmung des Senkungsverhaltens nördlich und südlich des Rheindahlener Sprungs beabsichtigt war. Auch bei der Konzeption des Messprogramms und hier insbesondere bei der Auswahl und Anordnung der Nivellementsunkte ist eine Betonung des Gebietes in unmittelbarer Nähe des Rheindahlener Sprunges feststellbar.

In der Abbildung *Rheindahlen 1* ist der Teilbereich A südlich der Störung in blau markiert. Die hier als Restpunkte gekennzeichneten weiteren Punkte bilden den Teilbereich B.



Rheindahlen 1: Anordnung der Höhenpunkte in der Ortslage Rheindahlen mit Lage der tektonischen Störung (vorläufiges Gutachten Rheindahlen 2013)

Gemäß Tabelle 1 gibt es für die Ortslage Rheindahlen zwei Messungsepochen aus den Jahren 2002 und 2012, aus denen Prof. Kuhlmann seine Bewegungsanalysen abgeleitet hat.

Die charakteristischen Werte für diese Analysen sind in der nachstehenden Tabelle *Rheindahlen 2* zusammengefasst worden.

Bodenbewegungsanalysen Rheindahlen	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion: Polynomgrad	Auffällige Einzelpunkte ≥ 2.57 mm	maximale SchiefLAGen [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 2: Kenngrößen für die bisher durchgeführten Analysen von Prof. Kuhlmann

Analyse für den Teilbereich A:

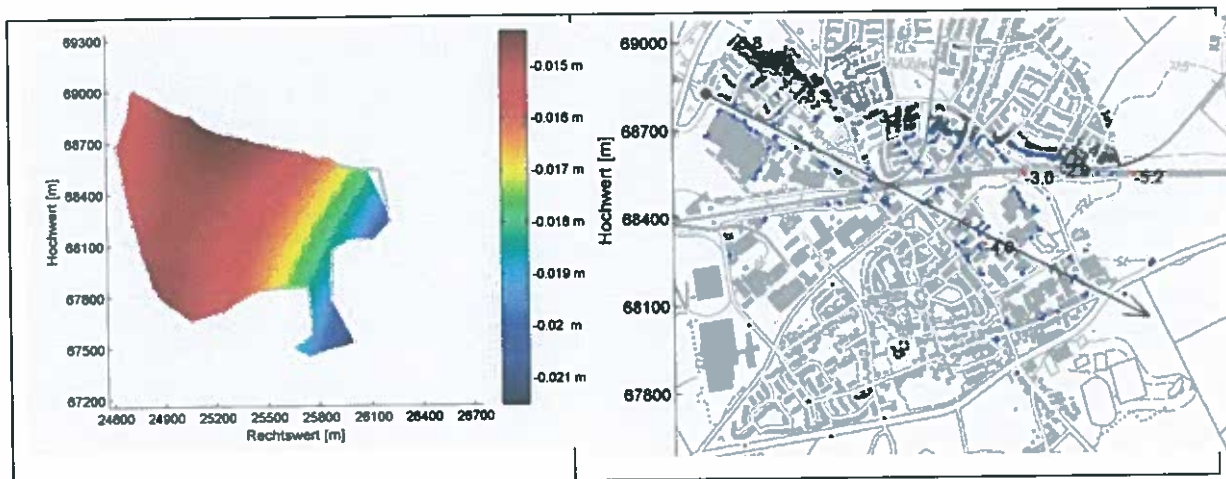
Der relativ niedrige Polynomgrad von 2 ist ein Indiz für ein großräumig gleichmäßiges Bewegungsverhalten, wie sie auch aus Abbildung *Rheindahlen 3* erkennbar ist. Die Werte für SchiefLAGen und Krümmungen sind ebenfalls weit entfernt von den zulässigen Grenzwerten, so dass durch diese homogenen Bodenbewegungen keine kritischen Schädigungen an Gebäuden zu erwarten sind.

In *Rheindahlen 3* sind zusätzlich die insgesamt 22 auffälligen Einzelpunkte für diesen Epochenvergleich 2002 - 2012 dargestellt. Die meisten dieser Punkte befinden sich in der Nähe der tektonischen Störung und sollten verwendet werden, um die Ausdehnung des Teilbereiches A abzugrenzen. Die übrigen Auffälligkeiten treten verteilt auf und machen daher ist eine Einzelprüfung erforderlich.

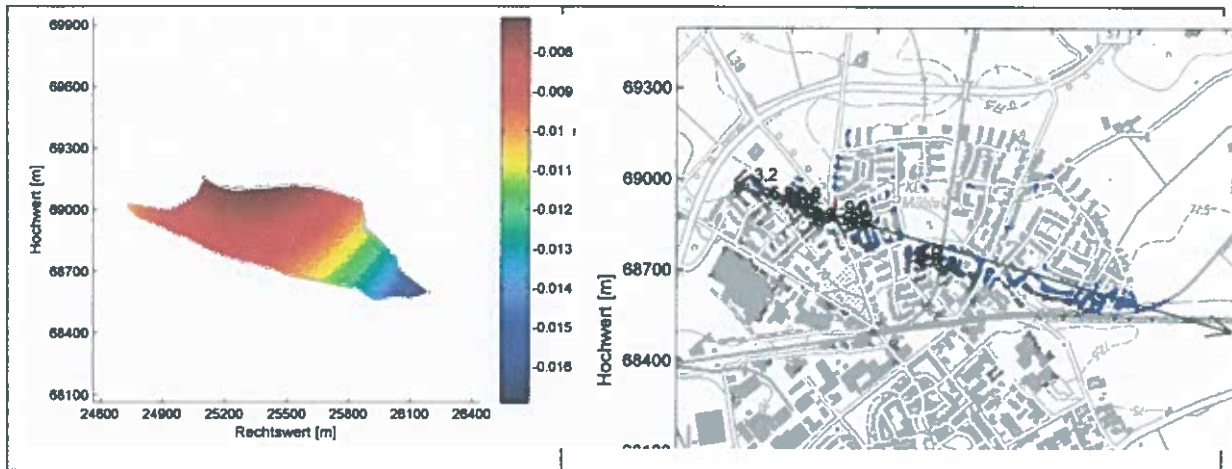
Analyse für den Teilbereich B:

Auch für diesen Teilbereich reicht ein relativ niedrige Polynomgrad von 2, was wieder als Indiz für ein großräumiges, gleichmäßiges Bewegungsverhalten gewertet werden darf, wie es auch aus Abbildung *Rheindahlen 4* erkennbar ist. Die Werte für SchiefLAGen und Krümmungen sind ebenfalls weit unterhalb der zulässigen Grenzwerte, so dass durch diese homogenen Bodenbewegungen ebenfalls keine kritischen Schädigungen an Gebäuden zu erwarten sind.

In *Rheindahlen 4* sind zusätzlich die insgesamt 15 auffälligen Einzelpunkte für diesen Epochenvergleich 2002 - 2012 dargestellt. Die meisten dieser Punkte befinden sich in der Nähe der tektonischen Störung, alle aber im südlichen Randbereich und sollten verwendet werden, um die Ausdehnung des Teilbereiches B abzugrenzen. Für sonstige Punkte mit Auffälligkeiten ist wieder eine Einzelprüfung erforderlich.



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



Rheindahlen 4: Teilbereich B, 2002 - 2012: Flächenapproximation und Lage der auffälligen Punkte

Ergebnis: Insgesamt kann im Untersuchungsgebiet Rheindahlen, getrennt für die Teilbereich A und B nach den vorliegenden Ergebnissen das großräumige Senkungsverhalten gut durch ein parametrisches Flächenpolynom approximiert werden. Die errechneten Werte für Schieflagen und Krümmungen sind als völlig unkritisch anzusehen.

Folgerung: Für den messtechnisch erfassten Bereich der Ortslage Rheindahlen konnte für die abgegrenzten Teilbereiche A und B zu beiden Seiten der tektonischen Störung ein bewegungshomogenes Verhalten nachgewiesen werden, so dass von der Vermutung ausgegangen werden kann, das eventuelle Gebäudeschäden nicht durch Sumpfungen oder den direkten Bergbaubetrieb hervorgerufen worden sind.

Punkte/Gebäude unmittelbar in der Nähe der tektonischen Störung „Rheindahlener Sprung“ durch den Ort hindurch sind als bewegungsauffällig identifiziert worden, so dass für einen in der Ausdehnung noch zu definierenden Streifen (siehe das Fazit zu Abschnitt 5.3) von einer erheblichen Beeinflussung bzw. Instabilität auszugehen ist.

Für sämtliche Punkte (Gebäude) mit lokal abweichendem Bewegungsverhalten ist eine Einzelprüfung vorzunehmen.

6.9 Ortslage Elsdorf

Vorbemerkung: Auch für diese Ortslage wurde mir von der Anrufungsstelle eine vorläufige Version des Gutachtens von Prof. Kuhlmann zur Verfügung gestellt.

Gegenstand des mir vorliegenden Teils des Gutachtens von Prof. Kuhlmann ist die in der Abbildung *Elsdorf 1* dargestellte Ausgangssituation. Aus der gesamten Ortslage Elsdorf ist ein Teilbereich B herausgenommen worden und mit zwei vorliegenden Nivellementsepochen aus den Jahren 1999 und 2011 einer Bodenbewegungsanalyse unterzogen worden.

Eine Begründung über das Herausarbeiten des Teilgebietes B liegt mir nicht vor; ebenso ist keine Vorinformation wie bewegungsaktive tektonische Störung oder Auebereich gegeben, wodurch eine solche Einteilung gerechtfertigt wäre.

Es fällt auf, dass in dem Teilbereich B eine recht ungleichmäßige Punktverteilung vorliegt und größere Lücken von 200 bis 300 m zwischen den Höhenpunkten auftreten.



Elsdorf 1: Anordnung der Höhenpunkte in der Ortslage Elsdorf für die Bestimmung von Bodenbewegungen zwischen 1999 - 2011 (vorläufiges Gutachten Elsdorf 2013)

Die charakteristischen Werte für die Analyse mit den beiden Messungsepochen aus 1999 und 2011 sind in der nachstehenden Tabelle *Elsdorf 2* zusammengefasst worden.

Bodenbewegungsanalysen	Identische Punkte	empir. Standardabweich.: s [mm]	Flächenfunktion: Polynomgrad	Auffällige Einzel-punkte ≥ 2.57 mm	maximale Schief-flagen [mm/m]	minimale Krüm-mungs-radien [km]
Elsdorf						
B 1999 – 2011	353	1.0	7	18	-	-

Elsdorf 2: Kenngrößen für die bisher durchgeführten Analysen für Teilbereich B

7. Identifikation bewegungshomogener Bereiche

Als übergeordnete Zielsetzung dieses Gutachtens wird - wie bereits im Abschnitt 2 dargelegt - die Identifikation von Ortslagen mit sehr gleichförmigem und damit unkritischem Bewegungsverhalten (kleine Neigungen, kleine Krümmungen) angesehen. Dazu werden die Ergebnisse der Untersuchungen von Prof. Kuhlmann eingehend analysiert und bewertet und unter Beachtung weiterer Voraussetzungen – siehe unten - Ortslagen oder Bereichen innerhalb von Ortslagen mit solch einem bewegungshomogenen Verhalten identifiziert. Für diese Bereiche wird die Vermutung ausgesprochen, dass sie als unkritisch im Hinblick auf die Beeinflussung durch die Bergbauaktivitäten und die bisherigen Sumpfungmaßnahmen einzustufen sind.

Trotzdem sind für diese grundsätzlich als unkritisch anzusehenden Bereiche weitergehende Einschätzungen von Experten erforderlich, wie unter Positionen a, b, c und d aufgelistet.

Die **Entscheidungskette für die Einstufung als unkritischer Bereich** sieht wie folgt aus:

- i. Die Flächenfunktion der Approximation der Höhenänderungen soll mathematisch-statistisch als gültig anzusehen sein. Dazu sind folgende Kriterien anzusetzen:
 - Die empirische Standardabweichung aus den Residuen nach der Approximation soll nicht signifikant von dem a priori Wert $\sigma = 1$ mm abweichen.
 - Die Relation zwischen der Anzahl der analysierten Höhendifferenzen und der Anzahl der Parameter der Flächenfunktion soll eine zuverlässige Bestimmung der Parameter erlauben. Diese Relation soll größer als 3 : 1 sein.
- ii. Die Werte für Schief lagen sollten deutlich kleiner als 2 mm/m und die Krümmungsradien deutlich größer als 4 km sein (siehe kritische Werte nach Abschnitt 4.1).
- iii. Nach Approximation durch eine Flächenfunktion sollen nur wenige Punkte/Gebäude signifikant von der Approximationsfläche abweichen. Diese Auffälligkeiten sollen jeweils Einzellokationen sein, d.h. nicht als örtliche Gruppe auftreten und auch kein Muster bilden.
- iv. Die Flächenapproximation darf sich nur auf Bereiche beziehen, in denen keine lokalen Bewegungsanomalien bekannt oder zu erwarten sind. Eine entsprechende Vorinformation muss stets verwendet werden, insbesondere dürfen also
 - keine Approximationen über tektonische Störungen hinweg gehen
 - keine Bereiche mit bekannten oder zu vermutenden Aueböden durch eine Flächenapproximation beschrieben werden.
- v. Schließlich sollten i.d.R. drei Messungsepochen vorliegen. Die als bewegungshomogen auszuweisenden Bereiche sind die Flächen oder Teilflächen, die sich über den gesamten Betrachtungszeitraum als sehr gleichförmig und hinreichend glatt (Neigungen und Krümmungen) ergeben haben.

Die nach dieser Entscheidungskette ausgewiesenen bewegungshomogenen Bereiche sind in der Tabelle 2 zusammengestellt worden. Diese Identifikation soll bzw. kann nach Auffassung des Gutachters als Grundlage für Entscheidungen der Schlichtungsstelle Bergschaden Braunkohle beim Auftreten oder der Meldung eines Schadens dienen.

In Tabelle 2 sind diese bewegungshomogenen Bereiche allerdings nur verbal umrissen worden. Es wird erforderlich sein, die folgenden **weiteren Untersuchungen von Experten** vornehmen zu lassen, um diese Bereiche eindeutig zu definieren bzw. im Schadensfall eine Beeinflussung durch den Bergbau auszuschließen:

- a) Für die in den Analysen aufgezeigten auffällige Punkte/Gebäude ist eine Einzelpunktprüfung vorzunehmen, um die Ursachen für diese Auffälligkeiten zu klären.
- b) Die Abstände der bewegungshomogenen Zonen von den jeweiligen tektonischen Störungen sind in jeder Ortslage festzulegen. Hierzu ist die lokale Geologie / Hydrogeologie bzw. der Aufbau der Störung zu berücksichtigen.
- c) Es muss aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ausgeschlossen werden können, dass es in den als bewegungshomogen identifizierten Bereichen Aueböden gibt. Insbesondere sind hinreichend große Abstände von Flussgebieten und weiteren Feuchtgebieten vorzusehen.
- d) Es wurde vorstehend gefordert, dass sich bei mehreren Messungsepochen und damit mehreren Bewegungsanalysen stets dieselben Teilflächen als bewegungshomogen ergeben haben. Gibt es im Zeitverlauf Abweichungen zwischen diesen Flächen, z.B. im Randbereich der Gebiete, so deutet dies z.B. auf ein Fortschreiten der GW-Entnahmen und/oder der Bergbauaktivitäten hin. Hier sollte bei schon länger zurückliegenden Messungsepochen (letzte Messungsepoche z.B. vor 2011) die Entwicklung der GW-Entnahmen bzw. des Abbaus bei der Ausweisung von bewegungshomogenen Flächen berücksichtigt werden.

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 Auegebietese	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

Tabelle 2: Identifikation der als bewegungshomogen einzustufenden Bereiche für die von Prof. Kuhlmann untersuchten Ortslagen

Anmerkungen:

- * In dieser Tabelle sind Aussagen für die Ortslagen Wanlo und Oberzier gemacht worden, obwohl hier nur zwei Messungsepochen vorliegen und die letzten Höhenangaben aus den Jahren 2008 resp. 2006 stammen. Diese Identifikation von bewegungshomogenen Zonen ist gemäß der oben genannten Kriterien somit als vorläufig anzusehen und es wird dringend empfohlen, für diese Ortslagen erneut Nivellementsmessungen vorzunehmen.
- ** Für die Gebiete Rheindahlen und Elsdorf fließen hier nur Ausgangsdaten und Analysen ein, die als vorläufig gekennzeichnet worden sind. Entsprechend sind auch die Ergebnisse in der Tabelle 2 für diese Ortslagen als vorläufig zu betrachten.

8. Ansätze für methodische Weiterentwicklungen

Eine weitere Aufgabenstellung dieses Gutachtens war, aufzuzeigen, welche weiteren und damit ggf. zukünftigen Möglichkeiten es gibt, Bodenbewegungen zu erfassen und die Ergebnisse umfassend zu analysieren. In den folgenden Ausführungen sind nur entsprechende Ansätze skizziert, die jedoch ausreichend sollten, um zu einer Einschätzung zu kommen, ob solche weitergehende Untersuchungsmethoden verfolgt werden sollen oder nicht.

8.1 Ganzheitlicher Analyse von Bodenbewegungen

Es wird aus den vorangehenden Äußerungen deutlich, dass eine aussagekräftige Beurteilung der für Einzelobjekte relevanten Bodenbewegungen allein aus den vorliegenden Nivellementsmessungen nicht möglich ist. Die generellen Auswirkungen der Sumpfungmaßnahmen für die Ortslagen können sehr gut abgeschätzt werden und es gelingt auch bewegungshomogene Bereiche zu identifizieren. Schädigungsrelevante Aussagen für sämtliche Gebäude oder Infrastrukturanlagen, insbesondere auch in den kritischen Übergangszonen bei tektonischen Störungen oder den beeinflussten Bereichen bei Aueböden können jedoch nicht abgeleitet werden.

Es wird daher empfohlen, die bisherigen Analysen auf einen interdisziplinären Ansatz zu erweitern, bei dem in einem ganzheitlichen Modell die verfügbaren Informationen aus den folgenden Bereichen genutzt werden:

- Nivellementsmessungen, wie bisher als Präzisionsnivellement in regelmäßigen Kampagnen wiederholt durchgeführt. Hier sollten die Messungen von der RWE Power, der Landesvermessung und ggf. der betroffenen Kommunen zusammengefasst bzw. koordiniert werden.
- Informationen über bewegungsaktive tektonische Störungen, die i.d.R. hydrologisch wirksam sind. Diese Kenntnisse aus den Bereichen der Geologie und Tektonik sind meist geometrisch nicht so präzise zuzuordnen, bilden aber für die Interpretation von Bewegungsmustern und die Analyse von abweichenden Einzelpunktbewegungen eine wesentliche Grundlage.
- Kenntnisse über Aueböden, d.h. Vorwissen aus der Bodenkunde über setzungempfindliche Böden. Im Idealfall liegen zumindest näherungsweise Abschätzungen über den Ort sowie die Beschaffenheit, Tiefe und Ausdehnung dieser Aueböden vor.
- Kenntnisse über den Grundwasserstand im Untersuchungsgebiet, der durch die großflächigen Sumpfungmaßnahmen der RWE Power, aber auch durch weitere intensive GW-Nutzer, wie die örtliche Industrie, beeinflusst sein kann. In sehr vielen Kommunen (z.B. Weinthal 2011) gibt es ein ausreichend dichtes Netz mit GW-Messstellen. Hierdurch kann auch der Effekt der ja zeitlich variablen Wasserentnahme bei den Sumpfungmaßnahmen berücksichtigt werden.
- Kenntnisse über die Abbauaktivitäten selbst, d.h. Beachtung möglicher Einflüsse durch die Fortschritte im Abbau der Kohlefelder. Liegen Orte in der Nähe von aktiven Tagebauen, so sollten diese Effekte in jedem Fall mit berücksichtigt werden.

Derartige Weiterentwicklungen haben natürlich vielfältige Implikationen und sind nicht ohne weiteres umzusetzen:

- a) Es sind methodische Fragestellungen zu lösen, d.h. es ist ein interdisziplinäres Modell zu entwickeln, in das alle diese Einzelaspekte, die bisher von jeder Fachdisziplin separat bearbeitet werden, integriert werden. Solche komplexen Modelle existieren heute erst ansatzweise und es sind hierfür eine Vielzahl von konzeptionellen und mathematisch-statistischen Teilaspekten zu lösen. Trotzdem erscheint es an der Zeit, für die hier anstehenden Fragen der Analyse und Bewertung von Bodenbewegungen diesen Schritt zu gehen.

- b) Es sind Fragen der Zuständigkeit zu klären, da die unterschiedlichen Daten bei unterschiedlichen Stellen vorhanden sind und zusammengeführt werden müssten. Hierzu müssten die Partner aus der Industrie, den unterschiedlichen Behörden und privaten Stellen bereit sein.
- c) Es sind technische Fragen zu lösen, da diese Daten ganz sicher in einer einheitlichen Datenbank zusammengeführt und laufend gehalten werden müssten. Auch ist eine kontinuierliche Hinzufügung von aktuellen Daten zu gewährleisten. Für diese Aufgabe sind Schnittstellen zu definieren und Handlungsanweisungen festzulegen.
- d) Schließlich ist die Rechtsverbindlichkeit der so gewonnenen Aussagen festzulegen, d.h. die Beteiligten müssten sich im Idealfall bereit erklären, die Ergebnisse dieses integrativen Modells im Streitfall als Ausgangsinformation zu akzeptieren.

Nach Auffassung des Gutachters kann durch solch einen ganzheitlichen, methodisch deutlich weitergehenden Ansatz in dem hochsensiblen Arbeitsfeld der Analyse und Bewertung von Bodensenkungen bzw. der Beweissicherung im Schadensfall ein wirklicher Fortschritt erzielt werden.

8.2. Flächenhafte Erfassung von Höhenänderungen: Radar-Interferometrie

Als völlig neuartiges Messverfahren für die Bestimmung von Höhenänderungen gibt es seit einiger Zeit die sogenannte Radar-Interferometrie. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit Sitz in Köln betreibt den derzeit weltweit genauesten Radar-Satelliten „TerraSAR-X“, mit dem ein flächenhaftes Höhen-Monitoring von Teilen der Erdoberfläche möglich ist.

In Abb. 12 ist eine stark vereinfachte Prinzipskizze für diese Radar-Interferometrie wiedergegeben, siehe auch Bamler et al. (2008). Die Radar-Impulse sind elektromagnetische Wellen, die an der Oberfläche der Erde oder von Gebäuden reflektiert werden. Bei einem ersten Überflug wird die Phasenlage des Radarsignals von einem Objekt aufgezeichnet. Verschiebt sich die Oberfläche, so führt dies bei jedem weiteren Überflug zu einer Veränderung der Phasenlage. Die gemessene Änderung der Phasenlage entspricht in erster Näherung der Bewegung des Objektes.

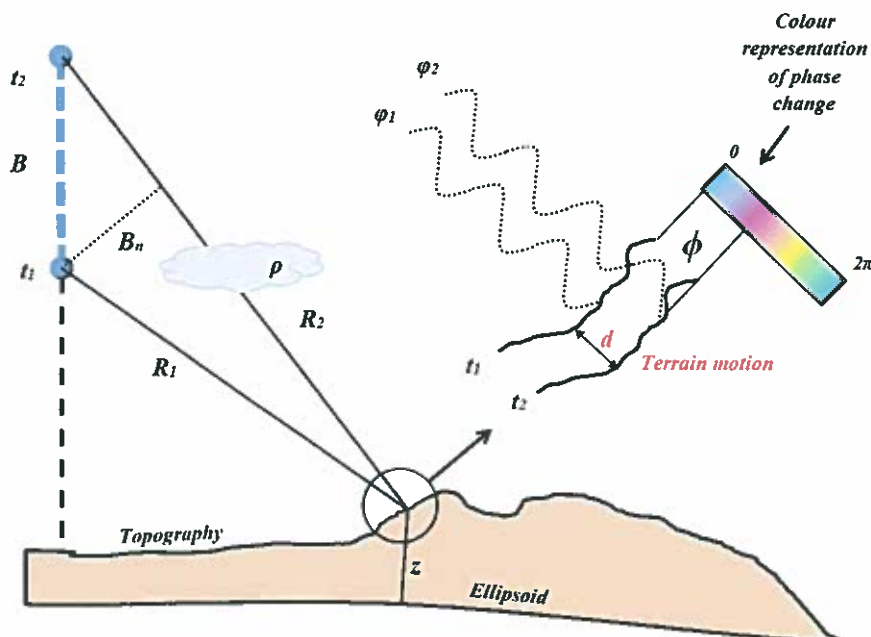


Abb. 12: Grundgeometrie bei der Radar-Interferometrie und Änderung des Phasenanteils zum Erkennen von Veränderungen (Mark, Niemeier u.a. 2012)

Natürlich sind auch hier eine Reihe von Einflüssen zu beachten, wie die Atmosphäre, die Genauigkeit der Satellitenbahn, die Auflösung des Radarimpulses am Boden usw. Trotzdem bietet dieses Verfahren der Radar-Interferometrie für den Nachweis von großräumigen Bodenbewegungen ein enormes Potential und wird z.B. seit Jahren in der geowissenschaftlichen Forschung zur Erfassung der Oberflächenveränderung durch größere Erdbeben oder als Nachweis für die Höhenänderungen als Auswirkung einer zu intensiven Grundwassernutzung eingesetzt.

Für die hier relevanten Fragestellungen zum Nachweis von Bauwerksschäden reicht die räumliche Auflösung dieser allgemeinen Ansätze nicht aus. Durch methodische Weiterentwicklungen, insbesondere die Nutzung der sogenannten „Permanent Scatterer (PS)“ kann man allerdings bereits heute Aussagen über das Bewegungsverhalten von Einzelgebäuden machen. Als PS eignen sich z.B. die Dächer von Gebäuden, die deutlich stärker zurückstrahlen, als der Boden.

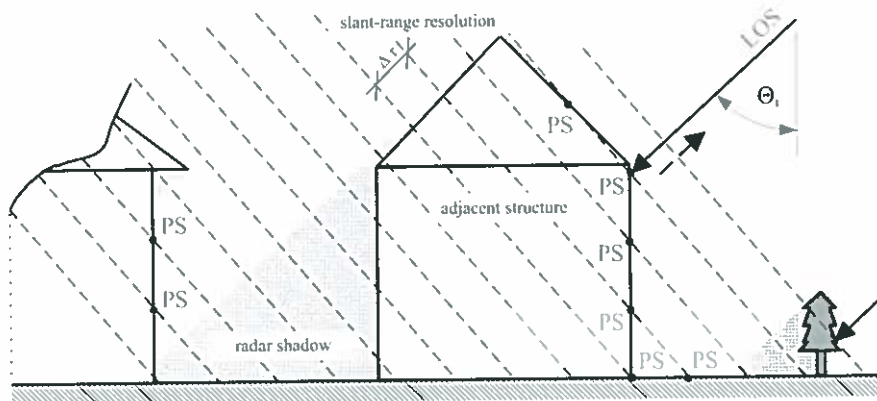


Abb. 13: Mögliche Verteilung von Persistent Scatterern und von Abschattungen bei innerstädtischen Anwendungen (Mark, Niemeier u.a. 2012)

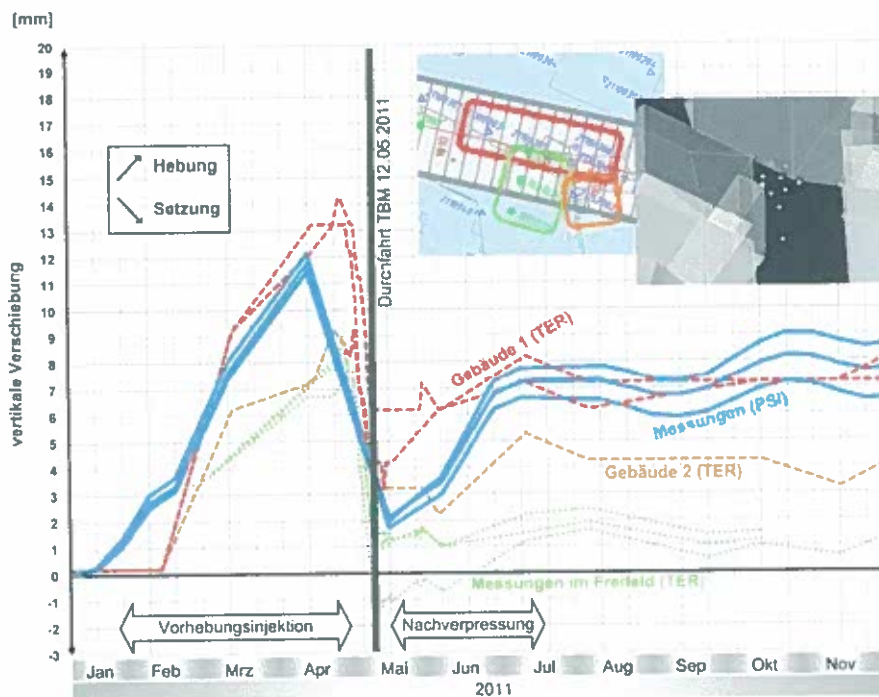


Abb. 14: Zeitreihe der Höhenänderungen aus terrestrischen und satellitengestützten Messungen für einen Abschnitt der Wehrhahnlinie in Düsseldorf (Mark, Niemeier u.a. 2012)

Für die Innenstadt Düsseldorf ist dieses Prinzip der Radar-Interferometrie mittels PS erstmalig prozessbegleitend eingesetzt worden, um während des Auffahrens einer neuen U-Bahn (Wehrhahnlinie) mögliche Veränderungen der im Einflussbereich dieser Baumaßnahme liegenden Gebäude messtechnisch nachzuweisen. Die Anordnung der möglichen PS ist in Abb. 13 schematisch dargestellt worden, man erkennt eine Erfassung für jedes Gebäude, im Idealfall sogar durch mehrere Punkte.

Exemplarisch sind Ergebnisse dieses Verfahrens zum Nachweis von Höhenänderungen aus der Radar-Interferometrie mit den Ergebnissen aus den völlig unabhängig durchgeführten Nivellements und Schlauchwaagenmessungen verglichen worden. Abb. 14 zeigt die sehr gute Übereinstimmung zwischen diesen Verfahren zum Nachweis von Höhenänderungen von Bauwerken und bestätigt damit die Leistungsfähigkeit des innovativen Verfahrens der Radar-Interferometrie.

Sicherlich ist eine direkte Übertragung dieser Ansätze auf großräumige, eher ländliche oder dörfliche Gebiete mit z.T. starker Vegetation nicht ohne weiteres möglich und es sind noch eine Vielzahl von Problemen zu lösen. Trotzdem erscheint es mir sinnvoll, in einer Pilotstudie das Potential der Radar-Interferometrie als Alternative zur Höhenbestimmung mittels Nivellement auszuloten und wenn möglich zu verifizieren. Der wesentliche Vorteil ist die derzeit beim TerraSAR-X Satelliten gegebene Wiederholrate von minimal 11 Tagen und die Möglichkeit, im Idealfall sämtliche Bauwerke zu erfassen.

8.3 3D-Bodenbewegungen aus kinematischen GNSS Messungen

Wie in Abschnitt 4.2.1 bereits dargelegt und aus den dortigen Abb. 5 und 6 ableitbar, sind grundsätzlich auch horizontale Verschiebungen entlang tektonischer Störungen möglich. Nach dem bisherigen Erfahrungsschatz und den Erkenntnissen der Bodenmechanik sind die horizontalen Komponenten aber immer deutlich kleiner als die Vertikalkomponenten und treten in keinem Fall ohne die Vertikalkomponente auf. Von daher ist es gerechtfertigt, dass bisher vor allem die Vertikalkomponente untersucht wird.

Grundsätzlich beanspruchen horizontale Längenänderungen, die bergmännisch ausgedrückt zu Zerrungen und Pressungen führen, sämtliche Bauwerkskonstruktionen, d.h. sind abhängig von der spezifischen Konstruktionsart und der Größe der Bauwerke eine wichtige Störgröße.

Will man die bisherigen Ansätze in Richtung 3D erweitern, will man also auch horizontale Bodenbewegungen erfassen und analysieren, so reicht die bisherige Sensorik und die eingesetzten Analysewerkzeuge nicht aus.

Eine Möglichkeit wäre es, das amerikanische Satellitensystem GPS (Global Positioning System) zu nutzen, das seit gut 25 Jahren auch für die hochgenaue Bestimmung von dreidimensionalen Positionen in der Geodäsie intensiv genutzt. Heute und verstärkt in der Zukunft gibt es mehrere solcher Satellitensysteme, wie etwa das russische GLONASS oder das europäische GALILEO, so dass man heute allgemeiner von Global Navigation Satellite Systems (GNSS) spricht.

Durch methodische und instrumentelle Weiterentwicklungen kann man nach dem derzeitigen Entwicklungsstand mit relativ wenig Aufwand die Lagekoordinaten von Punkten mit einer **Standardabweichung von ca. 5 mm** oder sogar besser bestimmen. Wenn die zu erwartenden horizontalen Bewegungskomponenten in solch einer Größenordnung erwartet werden, sollte über den Einsatz von GNSS Technologie nachgedacht werden.

Nutzt man das von den Landesvermessungsämtern im letzten Jahrzehnt aufgebaute flächendeckende Netz von GPS-Permanentstationen SAPOS oder vergleichbare Systeme anderer Anbieter, so kann man sehr effektiv im sogenannten kinematischen Modus eine Vielzahl von Punkten mit dieser Genauigkeit bestimmen, d.h. für eine größere Zahl von Gebäuden und damit auch weitgehend flächendeckend die Lagekomponenten der Bewegungen wiederholt bestimmen.

9. Zusammenfassung

In diesem übergeordneten Gutachten sollten im Auftrag der Anrufungsstelle Bergschaden Braunkohle die methodischen Ansätze, Analysen und Erkenntnisse von Prof. Kuhlmann von einem außenstehenden Dritten unabhängig beurteilt werden. Ziel war es auch, für die Anrufungsstelle verwertbare Erkenntnisse zur Einschätzung von Bergschadensrisiken für einzelne Ortslagen zu gewinnen.

Im Einzelnen wurden in diesem Gutachten die folgenden Teilaufgaben bearbeitet, siehe auch die Ausführungen zur Zielsetzung im Abschnitt 2:

*I. Grundsätzliche Bewertung der Mess- und Auswertemethoden für das **geometrische Nivellement** und Einschätzung der mit diesem Messverfahren erreichten Genauigkeiten für die Einzelepochen bzw. Höhenänderungen zwischen zwei Epochen.*

Ergebnis:

- Das geometrische Nivellement ist ein geeignetes und das derzeit genaueste Messverfahren für den Nachweis von Bodenbewegungen.
- Die Genauigkeit (Standardabweichung) für einen in zwei Epochen bestimmten Höhenunterschied kann mit $\sigma = 1 \text{ mm}$ realistisch abgeschätzt werden.

*II. Bewertung der **mathematischen Approximationsansätze** zur Beschreibung der flächenhaften Senkungen einschließlich der Berechnungsansätze für Schieflagen und Krümmungen.*

Ergebnis:

- Die Approximation der messtechnisch nachgewiesenen Höhenänderungen in den Ortslagen durch eine Flächenfunktion ist zielführend und entspricht dem Stand der Wissenschaft und Technik.
- Die Verwendung der in Abschnitt 5.2. dargelegten Methodik ist sachgerecht; je nach vorliegenden Daten kommen die Modelle „Absenkung+Schiefelage“ oder „polynomiale Flächenfunktion“ als Approximationsansatz in Betracht. Die Anwendung dieser Konzepte durch Prof. Kuhlmann darf als völlig korrekt und in der Ausführung sehr sorgfältig bezeichnet werden.

*III. Bewertung der Aussagekraft der ermittelten Bodenbewegungen für die Einschätzung des **Schädigungsrisikos** für Gebäude und Infrastruktureinrichtungen.*

Ergebnis:

- Aus den vorstehenden Approximationsansätzen werden für jeden Zwei-Epochen-Vergleich Maximalwerte für Schiefstellungen und Minimalwerte für Krümmungsradien gerechnet. Damit ist – in Übereinstimmung mit den Grenzwerten aus der einschlägigen Literatur - eine Eingrenzung des Schädigungsrisikos für Gebäude- und Infrastruktureinrichtungen möglich.
- Es ist darauf zu achten, dass die Flächenapproximationen nicht über bekannte tektonische Störungen hinweg gehen und auch weitere Vorinformationen über reale oder vermutete Auebereiche zur Eingrenzung der Approximationsgebiete verwendet werden.

*IV. Identifikation von Ortslagen mit **gleichförmigem und unkritischem Bewegungsverhalten**, d.h. Aufzeigen von Ortslagen oder Bereichen innerhalb einer Ortslage, für die die nachgewiesenen Bodenbewegungen hinreichend homogen und glatt sind (kleine Neigungen, kleine Krümmungen). Für diese Bereiche wird bei Einhaltung weiterer Parameter, siehe Abschnitt 7, von der Vermutung ausgegangen, dass sie als unkritisch im Hinblick auf die Beeinflussung durch die Bergbauaktivitäten und die bisherigen Sumpfungmaßnahmen einzustufen sind.*

Ergebnis:

- Basierend auf der im Abschnitt 7 beschriebenen *Entscheidungskette* sind in der dortigen Tabelle 2 Ortslagen oder Teilbereiche in den Ortslagen identifiziert worden, die als bewegungshomogen eingestuft werden können, in denen also nach den vorliegenden Informationen eine kritische Beeinflussung der Bausubstanz durch Stüpfungsmaßnahmen oder die unmittelbare Nähe zum aktiven Bergbau mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.
- Es wird im Abschnitt 7 aber auch aufgeführt, welche *weiteren Untersuchungen und Einschätzungen von Experten* erfolgen müssen, um die Grenzen der Approximationsflächen genau angeben zu können bzw. um im Schadensfall eine Beeinflussung durch den Bergbau zweifelsfrei zu erkennen bzw. ausschließen zu können.

Als **Gesamtergebnis** werden gemäß Tabelle 2 ganze Ortslagen und/oder Bereiche von Ortslagen identifiziert, für die nach den bisherigen Ergebnissen und Erkenntnissen von der Vermutung ausgegangen werden kann, dass das Verhalten bewegungshomogen ist und somit eine schädliche Beeinflussung der Bausubstanz durch die Bergbauaktivitäten nicht vorliegt.

Für vier dieser Ortslagen sind die in Tabelle 2 aufgeführten Aussagen mit einem Vorbehalt versehen, der sich auf die derzeitige Datenlage bezieht.

Die hier gewonnenen Erkenntnisse sollten nach Auffassung des Gutachters als **Grundlage für Entscheidungen der Anrufungsstelle Bergschaden Braunkohle** bei der Meldung eines Schadensfalles verwendet werden können.

Im Gutachten wird aber auch deutlich gemacht, dass für eine Vielzahl von Bereichen das Bewegungsverhalten nicht ausreichend homogen ist und daher von einer Beeinflussung durch den Bergbau auszugehen ist, zumindest derzeit keine anderweitigen gesicherten Erkenntnisse vorliegen.

10. Literatur

- Bamler R., Adam N., Hinz S. und Eineder M. 2008: SAR-Interferometrie für geodätische Anwendungen. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, S. 243-252, 2008
- DIN 21917: Deutsche Industrie Norm: Gebirgs- und Bodenbewegungen, Ausgabe Febr. 1999
- Kahmen H., 2005: Angewandte Geodäsie – Vermessungskunde. Verlag de Gruyter, Berlin, 20. Auflage
- Kratzsch H., 2008: Bergschadenkunde, 5. Auflage, Deutscher Markscheider Verein, Bochum, 2008
- Klostermann J., 2010: Geologie des Rheinischen Braunkohlenreviers. In: Tagungsband zum Schadensforum 2010 in Niederzier, S. 6 - 11.
- Kuhlmann H., 2010: Sind Bodenbewegungsanomalien durch Messungen erkennbar ? In: Tagungsband zum Schadensforum 2010 in Niederzier, S. 26 - 35
- Kuhlmann H., Eling Ch. und Holst Ch., 2012: Können Bodenbewegungsmodelle das Bodensenkungsverhalten in Rheinischen Braunkohlenrevier beschreiben? In: Tagungsband zum Bergschadensforum 2012 in Elsdorf, S. 7 - 16
- Mark P., Niemeier W., Schindler S., Blome A., Heek P., Krivenko A. und Ziem E., 2012: Radarinterferometrie zum Setzungsmonitoring beim Tunnelbau – Anwendungen am Beispiel der Wehrhahn-Linie in Düsseldorf. In: Bautechnik, vol. 89, 2012, Heft 11
- Niemeier W., 2008: Ausgleichsrechnung – Statistische Auswertemethoden. Lehrbuch deGruyter, Berlin, 2. Auflage 2008, 508 Seiten

- Pohl F., 2002:* Beurteilung von Bauwerken hinsichtlich ihrer bautechnischen Empfindlichkeit gegenüber bergbauinduzierten Bodenbewegungen an der Tagesoberfläche des Ruhrreviers. Dissertation TU Bergakademie Freiberg, 2002
- Preusse A. und Schulte R., 2012:* Bodenbewegungen im Rheinischen Braunkohlenrevier. In: Tagungsband zum Bergschadensforum 2012 in Elsdorf, S. 17 – 24
- Schäfer W., 2013:* Ursachen und Auswirkungen sumpfungsbedingter Bodenbewegungen. Sachverständigenkolloquium, Schloss Paffendorf, März 2013
- Schürken J. und Finke D., 2008:* Bewertung von Bergschäden. Theodor Oppermann Verlag, Isernhagen, 3. Auflage, 2008
- VBHG 2001:* Gesamt-Minderabkommen VBHG/RAG. Sonderdruck, Verband Bergbaugeschädigter Haus- und Grundeigentümer e.V.
- Weinthal B., 2012:* Bergschadensthematik aus der Sicht einer Revierkommune. In: Tagungsband zum Bergschadensforum 2012 in Elsdorf, S. 31 - 39
- Witt K.J., 2013:* Ursachen und Indikation von Setzungsschäden an Gebäuden, In: Sachverständigenkolloquium 6. März 2013, Schloss Paffendorf
- Witte B. und Schmidt H., 2006:* Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. Wittwer Verlag, Stuttgart, 6. Auflage, 2006
- Zeimetz Ph. und Kuhlmann H., 2011:* Einsatz parametrischer Modelle zur Analyse der Bodenbewegungen im Rheinländischen Braunkohlenrevier. In: World of Mining – Surface & Underground, vol. 63, 2011, pp 2-10
- Ziegler M., 2010:* Bodenbewegungen infolge Grundwasserabsenkungen bzw. –wiederanstieg. In: Tagungsband zum Schadensforum 2010 in Niederzier, S. 15 - 25

Laatzen, im August 2013



Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Niemeier