

# Texte

Texte  
**42**  
**07**  
ISSN  
1862-4804

Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen)

Umwelt  
Bundes  
Amt



Für Mensch und Umwelt

**UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT**

**Forschungsbericht 203 48 362  
UBA-FB 001047**



**Schutz von neuen und bestehenden  
Anlagen und Betriebsbereichen gegen  
natürliche, umgebungsbedingte  
Gefahrenquellen, insbesondere  
Hochwasser (Untersuchung vor- und  
nachsorgender Maßnahmen)**

**von**

**Dipl.-Ing. Hanns-Jürgen Warm**  
Warm engineering, Freilassing

**Dr. rer. nat. Karl-Erich Köppke**  
Ingenieurbüro Dr. Köppke, Bad Oeynhausen

**unter Mitarbeit von**

**Prof. Dr. W.B. Krätzig**  
**Dr.-Ing. H. Beem**

**Im Auftrag des Umweltbundesamtes**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3326.pdf>  
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 1.2  
Roland Fendler

Dessau-Roßlau, Oktober 2007

1. Berichtsnummer UBA-FB-001047	2.	3.
<b>4. Titel des Berichts</b>  Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen)		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)  Dipl.-Ing. Warm, Hanns-Jürgen Dr.rer.nat. Dipl.-Ing. Köppke, Karl-Erich		8. Abschlussdatum Mai 2007
		9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)  Warm engineering <a href="mailto:ibw@warm-engineering.com">ibw@warm-engineering.com</a> Mittlere Feldstraße 1 83395 Freilassing		10. UFOPLAN – Nr. 203 48 362
		11. Seitenzahl 657
		12. Literaturangaben 244
		13. Tabellen u. Diagramme 28
		14. Abbildungen 202
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung  An konkreten Beispielen in verschiedenen Modellregionen in NRW, Sachsen und Sachsen-Anhalt wurde untersucht, wie Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nach § 19g WHG, Betriebsbereiche, die der 12. BlmSchV unterliegen, sowie Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in der Praxis vor Hochwasser geschützt werden. Für Betriebsbereiche wurden darüber hinaus auch die Gefahrenquellen Erdbeben, Sturm und Bergsenkungen näher untersucht. Auf Basis der Untersuchungen in den Modellregionen, der Analyse der rechtlichen Anforderungen sowie dem gegenwärtigen Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik wurden zahlreiche Vorschläge zur Fortschreibung des relevanten Umweltrechts und der Regelwerke erarbeitet, um die Sicherheit der betrachteten Anlagenarten und Betriebsbereiche zu verbessern.		
17. Schlagwörter  Hochwasser, Überschwemmungsgebiet, überschwemmungsgefährdetes Gebiet, Sturm, Erdbeben, Bergsenkung, Störfallverordnung, VAwS-Anlage, Betriebsbereich, Hochwasserschutz, Sicherheitstechnik, Alarm- und Gefahrenabwehrplanung		
18. Preis	19.	20.

1. Report No. UBA-FB-001047	2.	3.
<b>4. Report Title</b>  Safety of new and existing facilities and establishments against natural environmental hazards, especially flood		
<b>5. Author(s), Family Name(s), First Name</b> Dipl.-Ing. Warm, Hanns-Jürgen Dr.rer.nat. Dipl.-Ing. Köppke, Karl-Erich		
<b>6. Performing Organisation (Name, Adress)</b>  Warm engineering <a href="mailto:ibw@warm-engineering.com">ibw@warm-engineering.com</a> Mittlere Feldstr. 1 83 395 Freilassing		
Ingenieurbüro Dr. Köppke <a href="mailto:dr.koepcke@t-online.de">dr.koepcke@t-online.de</a> Elisabethstr. 31 32545 Bad Oeynhausen		
<b>7. Sponsoring Agency (Name, Adress)</b>  Federal Environment Agency Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau		
<b>12. No. of References</b> 244		
<b>13. No. of Tables, Diagr.</b> 28		
<b>14. No. of Figures</b> 202		
<b>15. Supplementary Notes</b>		
<b>16. Abstract</b>  In different model areas in North Rhine-Westphalia, Saxony and Saxony-Anhalt the protection against flood was investigated for facilities for handling substances constituting a hazard to water according to § 19g Water Management Act, establishments according to the Major Accidents Ordinance and storage tanks for inflammable gases. Moreover the impacts caused by storm, earthquake and mining settlement were also regarded for establishments. On the basis of the results of the investigations in the model areas, the analysis of the legal requirements and the analysis of the state-of-the-art numerous proposals were elaborated to develop the relevant environmental regulations and standards to improve the safety of the regarded plants and establishments.		
<b>17. Keywords</b>  flood, flood planes, flood-prone zones, storm, earthquake, mining settlement, Major Accidents Ordinance, Facilities for Handling Substances Constituting a Hazard to Water, establishment, flood protection, safety technique, emergency management		
<b>18. Price</b>	<b>19.</b>	<b>20.</b>

## 9 Bergsenkungen/bergbauinduzierte Bodenbewegungen als Gefahrenquelle für Betriebsbereiche

Um die Wirkung der Gefahrenquelle Bergsenkungen auf Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung zu ermitteln, werden zuerst die wesentlichen Vorgänge von Bergsenkungen im Folgenden dargelegt.

Die Gefährdung „baulicher Anlagen“ (Definition in Kap. 9 für Bauwerke) durch untertägigen Bergbau resultiert vornehmlich aus bergbauinduzierten Bodenbewegungen wie Senkungen, Schieflagen, Krümmungen sowie Zerrungen und Pressungen, die in der Lage sind die Standsicherheit bzw. Gebrauchstauglichkeit von Anlagen nicht unerheblich zu beeinträchtigen. Bei technischen Anlagen können beispielsweise unterschiedliche Setzungen oder Verwindungen zum Bruch sicherheitsrelevanter Komponenten wie z.B. Rohrleitungen oder zu Rissen in Behältern führen.

Im Gegensatz zu den sonstigen in diesem Vorhaben betrachteten Gefahrenquellen, handelt es sich bei bergbauinduzierten Bodenbewegungen nicht um eine rein natürliche Gefahrenquelle für Betriebsbereiche und Anlagen. Wegen der Ähnlichkeit der Einwirkung und da es sich für den Betreiber des Betriebsbereiches oder der Anlage ebenfalls um eine umgebungsbedingte Gefahrenquelle handelt, werden bergbauinduzierte Bodenbewegungen in diesem Vorhaben ebenfalls betrachtet.

Im nachfolgenden steht der Begriff *bauliche Anlage* entsprechend den Definitionen der Landesbauordnungen für alle mit dem Erdboden (Grundstück) verbundenen aus Bauprodukten erstellten Anlagen und Anlagenteile. Eine bauliche Anlage kann somit sowohl Bauwerke (Gebäude) als auch technische Anlagenbereiche umfassen. Ein Tragwerk, eine Tragkonstruktion oder Tragstruktur ist eine auf die lastabtragenden Komponenten reduzierte bauliche Anlage.

Im Gegensatz dazu sind Anlagen (ggf. Teil von Betriebsbereichen) im Sinne des BlmSchG Betriebsstätten und sonstige ortsfeste Einrichtungen mit technischen Einrichtungen sowie Grundstücke, auf denen Stoffe gelagert oder abgelagert oder Arbeiten durchgeführt werden, die Emissionen verursachen können. (Die genaue Definition ist in § 3 Abs. 5 und 5a des BlmSchG festgelegt.)

Die in der Folge gewählte Bezeichnung Bauwerk erklärt sich aus den Begriffen der Tragwerksplanung und Statik sowie des Bergrechtes und bezieht sich auch auf

Anlagen nach § 19g des WHG sowie Betriebsbereiche gemäß der Störfall-Verordnung. Eine verfahrenstechnische Anlage besteht i.d.R. auch immer aus einem oder mehreren Bauwerken. Im Falle von Genehmigungen greift das Baurecht direkt oder über das BImSchG, in welchem das Baurecht bei Anlagen, die unter dessen Genehmigungspflicht fallen, konzentriert ist. (Nähere Ausführung hierzu unter Kap. 8.)

Von den drei im Forschungsprojekt eingebundenen Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Sachsen wurde aufgrund der größten Relevanz in Bezug auf Bergsenkungen eine Betrachtung, sofern diese sich sinnvollerweise auf repräsentative Gebiete bezieht, für Nordrhein-Westfalen vorgenommen.

## 9.1 Kenntnisstand über das Wirksamwerden von Bergsenkungen

### 9.1.1 Allgemeines zu den bergbaulichen Einwirkungen

In der Bergschadenkunde wird zwischen Abbauen in größerer Teufe und oberflächennahem Abbau mit einer Teufenbegrenzung von 100 bis 150 m unterschieden. Für den Abbau in der obersten Zone des oberflächennahen Bereichs wurde der Begriff tagesnaher Bergbau eingeführt. Die dabei auftretenden Bodenbewegungen folgen nicht den Gesetzmäßigkeiten, wie sie für Abbaue in größerer Teufe gelten. Im tagesnahen Abbau können Phänomene wie z.B. Tagesbrüche auftreten, deren Einwirkungen an der Tagesoberfläche zeitlich nicht erfassbar sind.

Die wesentlichen Grundlagen der Bergschadenkunde sind u.a. im Grundbau-Taschenbuch Teil 3 Abschnitt 3.9. *Gründungen in Bergaugebieten* [Smoltczyk, 2001] aufgeführt. Im weiteren wird hier der Abbau in größerer Teufe behandelt, wie er zur Zeit in den Steinkohlerevieren von NRW betrieben wird.

### 9.1.2 Bewegungsvorgänge über Abbauen in größerer Teufe

Die Gewinnung der Steinkohle in NRW erfolgt in rd. 800 - 1.400 m Teufe. Durch den Abbau eines Flözes tritt eine Absenkung der hangenden Gebirgsschichten und Deckschichten über dem Abbaufeld ein (**Abbildung 9.1.2.1**).

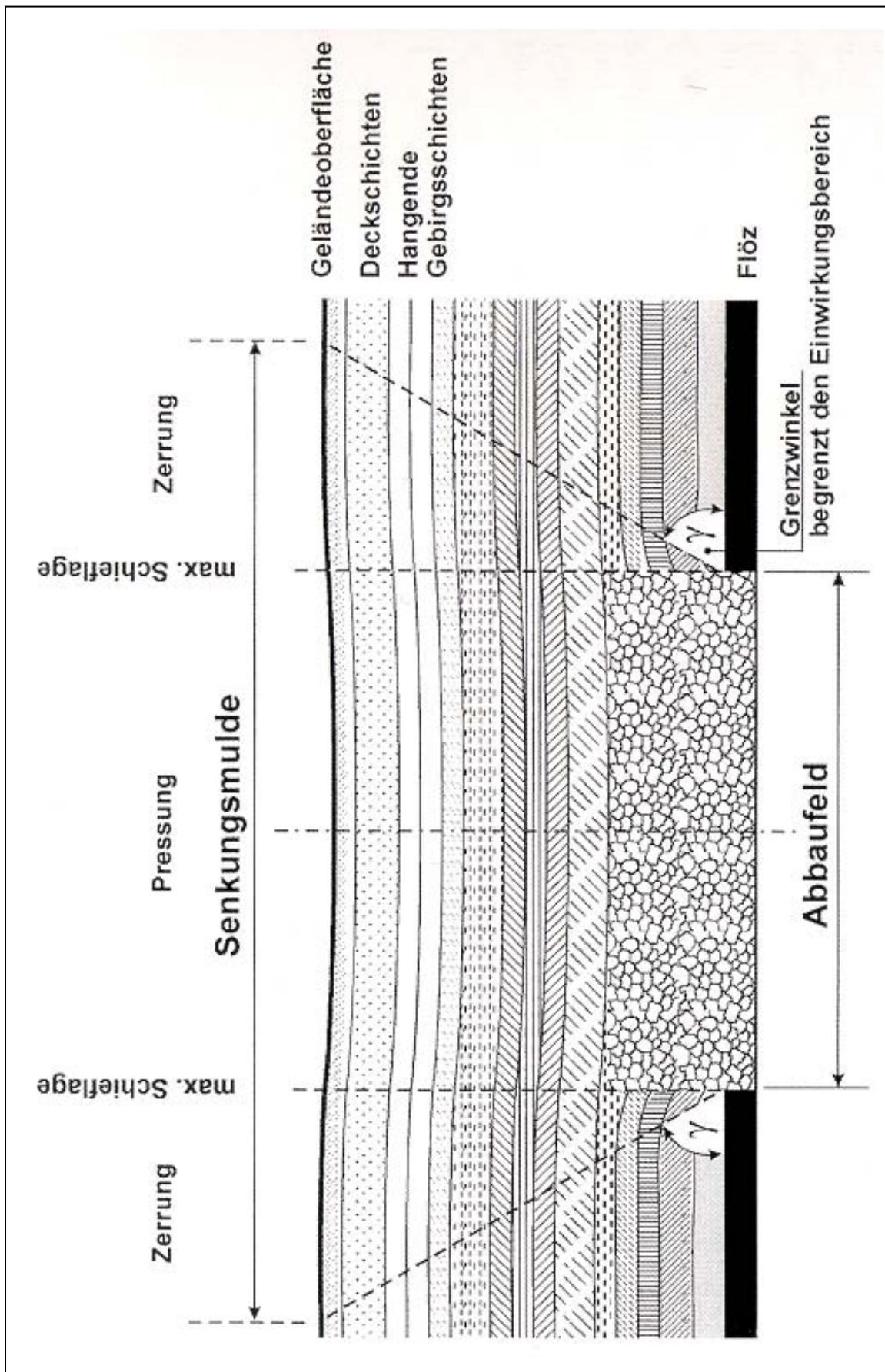


Abbildung 9.1.2.1: Absenkung der hangenden Gebirgsschichten über dem Abbaufeld mit Senkungsmulde [Smoltczyk, 2001]

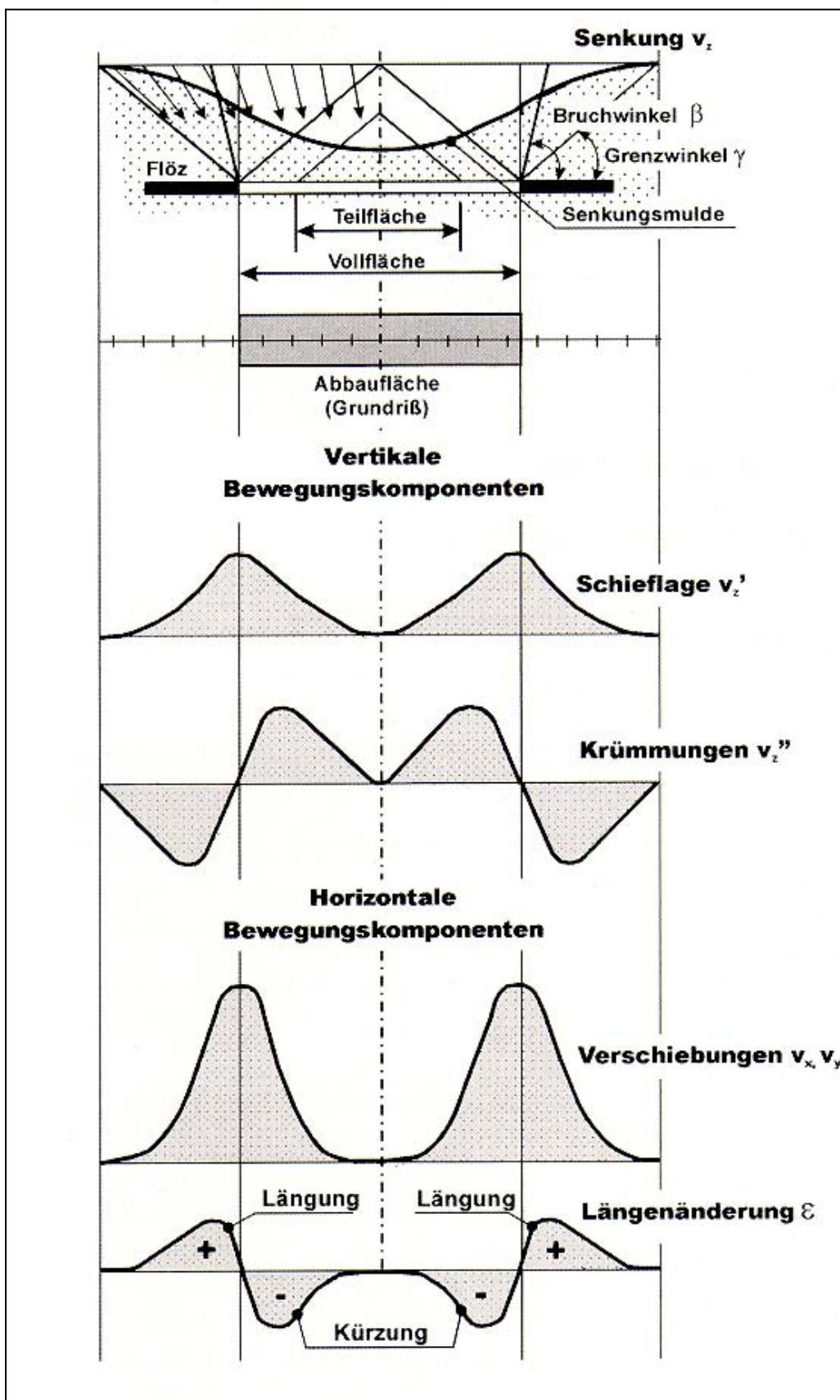
Unmittelbar über dem Hohlraum brechen die Dachschichten herein, während sich die Gebirgsschichten in einem 3 bis 5-fachen Abstand oberhalb des Kohleflözes nur noch plastisch verbiegen. Bei einem gleichmäßigen Abbau ohne geologische Störungen entsteht hierdurch an der Geländeoberfläche eine Senkungsmulde in Form eines Tropes (Trogtheorie). Mit der Ausbildung der Senkungsmulde an der Geländeoberfläche geht eine räumliche Bewegung der einzelnen Geländepunkte in Richtung auf den Abbau- bzw. Senkungsschwerpunkt einher (**Abbildung 9.1.2.1.1**). Hierdurch entstehen neben vertikalen auch horizontale Verschiebungen der Geländeoberfläche, die eine Längung bzw. Kürzung der Oberfläche verursachen.

Die Bewegungselemente des Senkungstropes und ihre Bezeichnungen sind in DIN 21917 geregelt. Die vertikale Wegkomponente wird als Senkung  $s$  bzw.  $v_z$ , die horizontale Wegkomponente als Verschiebung  $v$  bzw.  $v_x, v_y$  bezeichnet. In **Abbildung 9.1.2.1.2** sind sie Bewegungselemente eines Senkungstropes und ihre Bezeichnungen aufgeführt.

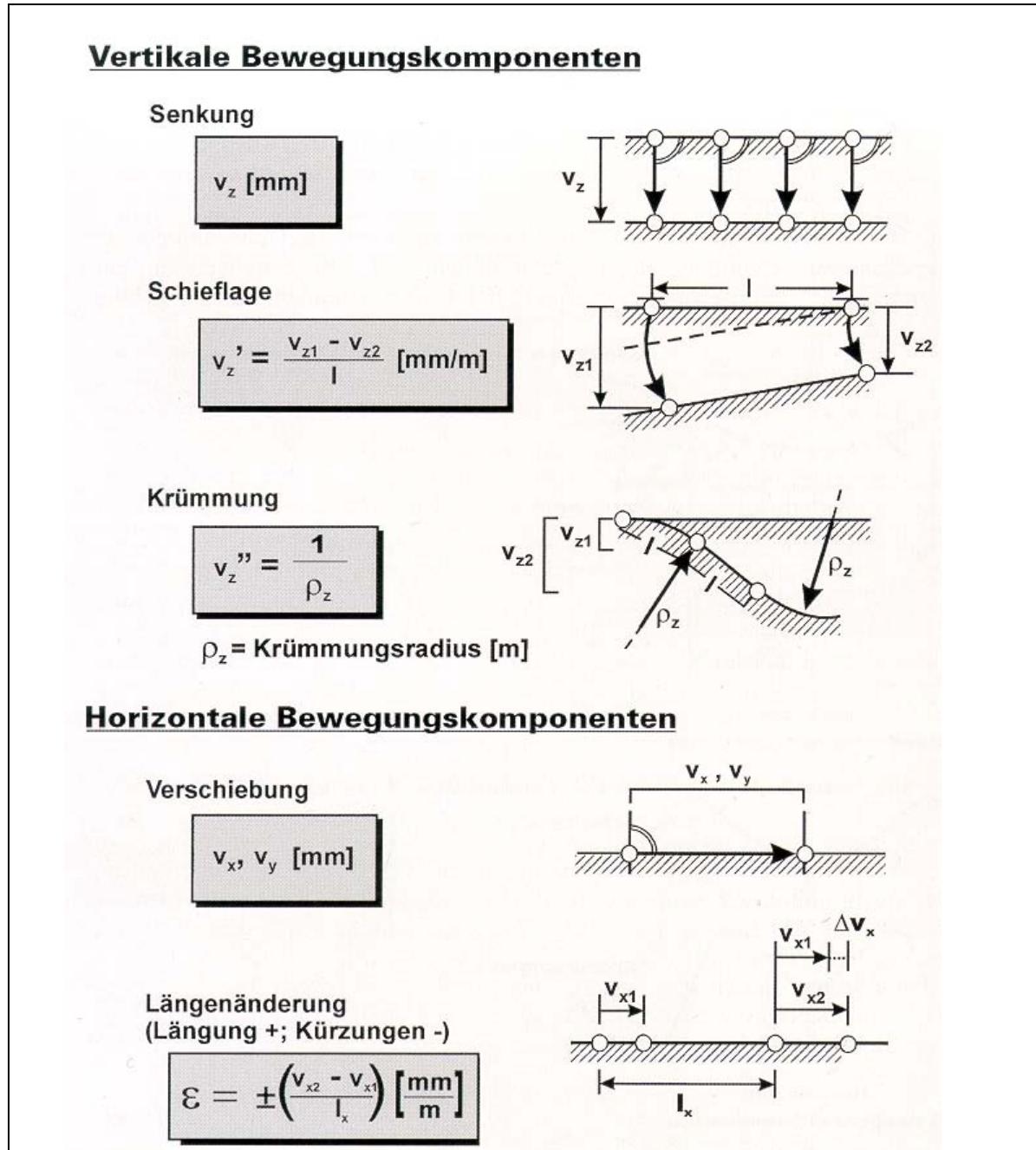
### 9.1.2.1 Senkungstrog

Die Senkungsmulde wird gekennzeichnet durch den Bruchwinkel  $\beta$ , der das Maximum der Zerrungen aufzeigt und durch den Grenzwinkel  $\gamma$  über den keine Verformungen hinausgehen und der damit den Einwirkungsbereich an der Geländeoberfläche begrenzt. Bruch- und Grenzwinkel sind abhängig von der Beschaffenheit des Gebirges und dem Einfalten der Schichten. Innerhalb des Einwirkungsbereichs beschreibt jeder Punkt im Gebirge, d.h. auch an der Tagesoberfläche, eine räumliche Bewegung, die sich in die Senkung als vertikale und die Verschiebung als horizontale Komponente aufgliedern lässt.

Die Differenz der Verschiebung zweier Punkte je nach Lage zum Schwerpunkt des Senkungstropes äußert sich als Zerrung, d.h. Längung des Bodens oder als Pressung, d.h. Verkürzung des Baugrundes. Zwei benachbarte Punkte (A und B) an der Tagesoberfläche führen in der Regel unterschiedliche Bewegungen aus, die abhängig sind von der Lage zum Senkungstrog. Während der Punkt A am Rande des Einwirkungsbereichs nur eine geringe horizontale Verschiebung aufweist, zeigt der Punkt B - näher am Zentrum des Senkungstropes - eine entsprechend größere Verschiebung. Die Differenz der Verschiebung beider Punkte äußert sich in einer Zerrung, da die ursprüngliche Entfernung beider Punkte zueinander größer geworden ist.



**Abbildung 9.1.2.1.1:** Einwirkungen auf die Geländeoberfläche bei Abbau einer Vollfläche in horizontaler Lagerung



**Abbildung 9.1.2.1.2:** Vertikale und horizontale Bewegungskomponenten der Senkungsmulde

Liegen die Punkte A und B näher am Zentrum des Senkungstroges, ändert sich die Bewegungsrichtung. Die vertikale Senkungskomponente nimmt zu, die horizontale ab. Folglich erfährt der weiter vom Zentrum entfernte Punkt A eine größere horizontale Verschiebung als der näher gelegene Punkt B. Es kommt zu einer Verkürzung des Punktabstandes, d.h. zu einer Pressung.

**Größe der Senkung** Die Größenordnung der Senkungen wie auch die Form der Senkungsmulde hängen von der Gesamtmächtigkeit (Dicke) des abgebauten Flözes und dessen Teufenlage, von der Größe der Abbaufäche und von der Abbauart ab. Beim Bruchbau (Abbau ohne Verfüllung der Hohlräume) betragen die Geländesenkungen ca. 90 % der Mächtigkeit des abgebauten Flözes, beim Versatzbau (Abbau mit Verfüllung der Hohlräume mittels Versatz (Verfüllmaterial) treten an der Geländeoberfläche Senkungen von etwa 40-60 % der Flözdicke auf.

**Zeitlicher Verlauf** Der zeitliche Verlauf der Senkung ist im Ruhrgebiet etwa wie folgt:

1.	2.	3.	4.	5.	Jahr
75	15	5	3	2	% der Gesamtsenkung

Diese Werte sind lediglich Anhaltswerte, welche entsprechend der Teufe des Abbaus, der Schichtenfolge und des Abbaus unterhalb bereits abgebauter Flöze (Durchbauung) auch anders verteilt sein können.

Der zeitliche Senkungsablauf lässt sich in drei dynamische Bewegungsphasen untergliedern. Die Vorsenkungs- oder Anlaufphase, die bei erstem Abbau mehrere Monate betragen kann, während sie bei einem mehrfach durchbauten Abbaufeld direkt in die Hauptsenkungsphase übergeht. In der Hauptsenkungsphase treten etwa 70 % der Senkungen ein. Der Zeitraum beträgt zur Zeit im Ruhrrevier ca. 2 Jahre. Die Hauptsenkungsphase ist grundsätzlich abhängig von der Abbauteufe und der Abbaugeschwindigkeit. An die Hauptsenkungsphase schließt sich die Nachsenkungsphase an, deren Zeitraum 0,5 bis 3 Jahre betragen kann. In den meisten Fällen haben sich bereits nach 3 Jahren ca. 95 % der maximal zu erwartenden Senkungen eingestellt.

### 9.1.2.2 Unstetigkeiten

Zum regelmäßigen Erscheinungsbild des Abbaus gehören neben den Senkungen und Verschiebungen Risse und Bodenstufen. Die Ursachenerforschung solcher Unstetigkeiten, die in der Regel regionaltypisch sind, befindet sich noch in den Anfängen. Es gibt bisher kein Verfahren, das unter Berücksichtigung entsprechender Einflussgrößen die dazu notwendigerweise bekannt sein müssten, eine rechnerische Ermittlung der Lage, der Erstreckung und des Ausmaßes solcher Unstetigkeiten erlaubt. Prognosen lassen sich daher nur durch Auswertung empirischer Untersuchungen aufstellen.

Es ergeben sich statistische Abhängigkeiten einerseits von vorhandenen tektonischen Störungen und andererseits vom Abbauzuschnitt. Der Rückgriff auf die statistische Methode bedeutet allerdings auch, dass man es mit Wahrscheinlichkeiten zu tun hat und das Auftreten von Rissen und Stufen weder mit Sicherheit vorhergesagt noch insbesondere an den Rändern des Einwirkungsbereichs mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

In erster Linie bestimmend für das Auftreten von Unstetigkeiten ist der Abbauzuschnitt. Unstetigkeiten entwickeln sich meist außerhalb der eigentlichen Abbaufläche parallel zur stehenden Abbaukante. Eine besonders hohe Wahrscheinlichkeit des Auftretens entsteht dann, wenn sich die Auswirkungen zweier Abbaufelder, die untereinander einen Abstand von wenigstens 30 m aufweisen, überlagern. Solche – meist etwas größere – Abstände ergeben sich in der Regel dann, wenn tektonische Störungen in den kohleführenden Schichten (Karbon) die Abbauflächen begrenzen. Die Lage der gegebenen tektonischen Störungen bestimmt daher indirekt über die Abbauplanung auch die Zonen, in denen mit dem Auftreten von Unstetigkeiten besonders gerechnet werden muss.

Darüber hinaus neigen aber auch „normale“, d.h. nicht von einem anderen Abbau überlagerte Abbaukanten bereits häufig zur Bildung von Unstetigkeiten. Die Häufigkeit von Erdstufen nimmt mit der Nähe des Abbaus zur Oberfläche des Karbons zu.

Stehende Abbaukanten sind die Seiten eines Abbaufeldes (Bauhöhe) sowie die Strecke, von der aus der Abbau beginnt. Vor der Abbaufront bilden sich in der Regel keine Unstetigkeiten, weil das Fortschreiten des Abbaus Gegenbewegungen erzeugt, welche die Spannungen im Gebirge wieder reduzieren. Etwas anderes gilt jedoch dann, wenn der Abbau – z.B. wegen Feiertagen oder aus technischen Gründen –

zum Stehen kommt. Dann benötigt es eine Zeit von lediglich drei bis vier Tagen, bis sich Auswirkungen an der Tagesoberfläche zeigen; dies können dann u.U. auch Risse oder Stufen sein.

Tektonische Störungen bilden die zweite wesentliche Ursache für das Auftreten von Unstetigkeiten. Diese sind im gebirgsmechanischen Sinne grundsätzlich als Schwächezonen anzusehen. Gerät das Gebirge unter horizontale oder vertikale Spannungen, dann werden sich Risse und Stufen zu allererst dort zeigen, wo der Zusammenhalt in den genannten Schwächezonen bereits gelockert ist. Nicht ausreichend geklärt ist allerdings, inwieweit sich Sprünge im Karbon auch in das Deckgebirge hinein fortsetzen.

### 9.1.3 Einwirkungen auf Gebäude, Anlagen und Betriebsbereiche

Mit dem Fortschreiten des Kohleabbaus im Flöz entwickelt sich wie bereits oben erläutert an der Tagesoberfläche zeitversetzt ein Senkungstrog. Durch diesen sich erweiternden, mobilen Trog erfährt eine bauliche Anlage /Bauwerk quantitativ und qualitativ veränderliche Einwirkungen. Diese sind von der globalen Bauwerkslage zum Abbau und vom Stand des Abbaues im Flöz abhängig. Während des Abbaus eines Flözfeldes kann eine bauliche Anlage/Bauwerk mehr oder weniger den Einwirkungen

- Senkung,
- Schieflage,
- Krümmung,
- Zerrung und Pressung

ausgesetzt sein.

#### 9.1.3.1 Einfluss einer Senkung

Eine gleichmäßige Senkung erzeugt keine zusätzlichen Spannungen in einer Bauwerkskonstruktion und bleibt daher auch beim Entwurf und der Bemessung des Bauwerks unberücksichtigt. Sie hat jedoch Einfluss auf die Vorflutverhältnisse und

kann einen relativen Anstieg des Grundwasserspiegels mit sich bringen. Gerät dabei die Bauwerksgründung in die Nähe des Grundwasserspiegels oder taucht sie sogar darin ein, so wird hierdurch ggf. nicht nur die Gebrauchsfähigkeit, sondern auch die Standsicherheit nachteilig berührt (z.B. Grundbruch, Auftrieb).

### 9.1.3.2 Einfluss einer Schieflage

Aus einer unterschiedlichen Senkung ergibt sich für das Bauwerk eine Schieflage, deren Maximum am Übergang zwischen konvex und konkav gekrümmter Senkungsmulde auftritt. Mit der dadurch verbundenen Kippung entstehen neben den sonst vertikalen Kräften zusätzliche Horizontalkomponenten, die bei relativ schlanken Bauwerken wie Schornsteinen und Silos oder auch bei Bauwerken, die in einer Dichtungswanne stehen, zu beachten sind.

Darüber hinaus ist in jedem Fall die Gebrauchsfähigkeit des Bauwerks unter Berücksichtigung der Anforderungen aus seiner Nutzung (z.B. Aufzüge, Werkmaschinen und Fertigungsstraßen, Kraftwerkskessel, Behälter) zu untersuchen.

Schieflagen von mehr als 1 % können die Nutzung von üblichen Bauwerken deutlich wesentlich beeinträchtigen. Für bauliche Anlagen, die Schiefstellungen gegenüber besonders sensibel sind, ist die Gebrauchstauglichkeit auch schon bereits bei Schieflagen unterhalb von 1% wesentlich beeinträchtigt.

In verfahrenstechnischen Anlagen der Chemie und Petrochemie würden bei einer Schiefstellung von relevanten Komponenten (z.B. Rektifikationskolonnen) die komplexen Prozesse nicht mehr optimal ablaufen und ggf. Anlagen außer Betrieb genommen. Eine Schieflage von >1 % ist dabei in aller Regel nicht mehr akzeptabel. Eine Überwachung ergibt sich automatisch über die MSR/PLT; dies allerdings nur indirekt durch Messung der relevanten Prozess- oder auch Lagerparameter. Relevante Anlagen oder auch Lagerbereiche werden i.d.R. über ein Messprogramm durch Vermessingenieur kontrolliert.

Eine Verpflichtung zur Überwachung von Schiefstellungen von Anlagen entsprechend ihrer Sensitivität in Betriebsbereichen in Bergsenkungsgebieten sollte Nebenbestimmung in Genehmigungen oder nachträglich angeordnet werden.

### 9.1.3.3 Einfluss einer Krümmung

Die Krümmung stellt mathematisch die 2. Ableitung der Senkung innerhalb der Gründungsfläche dar und erzeugt Biegemomente in der Bauwerkskonstruktion. Die Größe dieser Beanspruchung ist abhängig von der Biege- und Verwindungssteifigkeit der konstruktiv zusammenhängenden Bauteile. Während ein ideal biegeweiches Bauwerk ohne zusätzliche Beanspruchung der Krümmung folgt, entstehen für ein biegesteifes Gebäude infolge der unterschiedlichen Krümmung aus der Sattel- bzw. Muldenlage Freilagen. Je nach Abbauwirkung können für biegesteife Bauwerke sehr unterschiedliche Auflagerbedingungen entstehen. Form und Ausmaß der Freilagen (Hohl- und Kraglagen) sind nicht nur abhängig von der Abbaurichtung, sondern auch von der Zusammendrückbarkeit des Untergrundes. Bei wenig zusammendrückbarem Untergrund können Spannungskonzentrationen entstehen.

Biegeweiche und biegesteife Bauwerke sind jedoch als Grenzfälle anzusehen. Die meisten Hochbauten besitzen eine Steifigkeit, die zwischen biegeweich und biegesteif liegen.

### 9.1.3.4 Einfluss einer Längenänderung (Zerrung und Pressung)

Durch die Relativverschiebungen zwischen Baugrund und Bauwerk / Bauwerksgründung entstehen Reibungskräfte in den Sohl- und Seitenflächen und Erdwiderstände vor den Stirnseiten der in den Boden einbindenden Bauwerkswände. Einen besonders negativen Einfluss kann eine Längenänderung auf Pfahlgründungen besitzen.

### 9.1.3.5 Einfluss konzentrierter Bodenbewegungen

Die beim Abbauen in größerer Teufe in der Zone maximaler Zerrungen auftretenden konzentrierten Bodenbewegungen können nach neueren Erkenntnissen je nach Baugrundaufbau, Lage des Grundwasserspiegels, Abbaufolge u.a. wie bei tagesnahen Abbauen zu Erdfällen führen. Hieraus folgen örtlich begrenzte, jedoch relativ große Krag- und Hohllagen für darüber stehende Bauwerke, für die diese nicht bemessen sind bzw. werden können.

### 9.1.3.6 Zusammenfassung

In Bergsenkungsgebieten treten demnach außer den Reaktionsbewegungen aus der Gebäudebelastung noch zusätzliche, selbständige Verformungsbewegungen des Baugrunds infolge Abbau hinzu. Der Baugrund ist hier ein aktives Bauelement mit horizontalen und vertikalen Lastfällen, die bei der Sicherung bzw. Sanierung von Bauwerken zu berücksichtigen sind.

Im Gegensatz zu den Einwirkungen Erdbeben und Wind, sind die mit untertägigem Steinkohleabbau einhergehenden Bergsenkungen ein kontinuierlicher wenn auch nicht linearer Vorgang, deren Größe innerhalb einer gewissen Bandbreite – von dem Phänomen der Unstetigkeiten abgesehen – gut vorhersehbar ist.

Die Grundlage für die Sicherung von Bauwerken gegen Bergschäden liefert der Markscheider. Er gibt aufgrund von Messungen und Berechnungen unter Beachtung der bergbaubetrieblichen Planung die Größenordnung, Richtung und den zeitlichen Ablauf der Bodenbewegungen an, aus denen letztlich die möglichen Krafteinwirkungen aus bergbaulicher Tätigkeit auf baulichen Anlagen abgeleitet werden. Aufgabe des Markscheiders ist demnach die ständige Überwachung der vorhabensbedingten Senkungen. Entsprechende Überwachungskonzepte werden in den Rahmenbetriebsplänen festgelegt.

Die Vorausberechnungen der vertikalen Bodensenkungen  $s$ , die auf stochastische Methoden beruhen, sind mittlerweile recht genau. Auf Grund nicht zu ermittelnder örtlicher Besonderheiten können jedoch auch gewisse Unsicherheiten bestehen. So kann z.B. der Senkungstrog und damit der Einwirkungsbereich durchaus größer ausgebildet sein, als die Berechnungen ergeben, da der Schenkel des sogenannten Grenzwinkels keine Gerade darstellt, sondern eine konvexe Krümmung aufweist, so dass sich bei größerer Teufe eine überproportionale Vergrößerung des Einwirkungsbereichs ergibt.

Die Vorausberechnungen der horizontalen Bodenbewegungen  $v$ , mit dem Ziel, aus Verschiebungsunterschieden von Punkten Längungen und Verkürzungen abzuleiten, ist aufgrund der Vielzahl der Einflussparameter auch heute noch mit größeren Ungenauigkeiten verbunden.

Interessant ist die Beobachtung, dass am Rand der Senkungsmulde beim Herannahen des Abbaus zunächst die Horizontalbewegung intensiver einsetzt als die Sen-

kung. Daraus lässt sich ein Risiko der Rißbildung weit vor der Abbaufront herleiten. Die Planungsparameter lassen sich in zwei Hauptgruppen aufteilen

➤ Planungsveränderliche Parameter

- Abbaurichtung
- Verhiebsrichtung
- Abbaugeschwindigkeit
- Abbaufrequenz
- Abbaaurhythmus
- Dachbehandlung
- Streblänge
- Streichende Baulänge
- Kohlefesten

➤ Unveränderliche lagerstättenbedingte Parameter

- Flözmächtigkeit
- Einfallen
- Teufe
- Gebirgsmechanische Vorbeanspruchung (Durchbauungsgrad)
- Tektonische Gebirgsbeanspruchung
- Mächtigkeit und Zusammensetzung des Deckgebirges
- Abbauabstand zum Deckgebirge
- Nebengesteinsverhältnisse

Für eine realitätsnahe Prognose bergbaulicher Einwirkungsgrößen ist die ständige Anpassung der Berechnungsparameter an die sich einstellende Trogform und Verformungsgröße von entscheidender Bedeutung. Eine Übertragung der Messergebnisse auf andere Abbaufelder ist jedoch nicht möglich, da sich die geologischen, die lagerstättenbedingten und die planungsveränderlichen Parameter in der Regel ändern.

Nach Vorgabe der zu erwartenden Bodenbewegungen durch den Markscheider hat u.U. der geotechnische Sachverständige dann zu klären, welche Reaktionskräfte durch die Bodenbewegungen unter Berücksichtigung der mechanischen Eigenschaften des Untergrundes auf das Bauwerk einwirken.

Der Tragwerksplaner muss prüfen, ob die Reaktionskräfte vom Bauwerk schadensfrei aufgenommen werden können bzw. welche konstruktiven Maßnahmen zu treffen sind, um eine Schadensfreiheit bzw. Schadensminderung zu erreichen.

Wesentliche Informationen sollten in den Sicherheitsbericht von Betriebsbereichen nach der StörfallV im Rahmen einer Fortschreibung einfließen. Eine Verpflichtung zur Überwachung u.a. von Längenänderungen an Anlagen entsprechend ihrer Sensitivität in Betriebsbereichen in Bergsenkungsgebieten (aufgrund § 6 Abs. 1 Nr. 1 StörfallV) sollte Nebenbestimmung in Genehmigungen oder nachträglich angeordnet werden.

## **9.2 Stand der relevanten, gültigen Rechtsvorschriften und Regelwerke**

### **9.2.1 Das Bundesberggesetz**

Das Bundesberggesetz wurde mit folgenden Zielen verabschiedet [BBergG, 2005]:

1. Zur Sicherung der Rohstoffversorgung das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von Bodenschätzten unter Berücksichtigung ihrer Standortgebundenheit und des Lagerstättenschutzes bei sparsamem und schonendem Umgang mit Grund und Boden zu ordnen und zu fördern,
2. die Sicherheit der Betriebe und der Beschäftigten des Bergbaus zu gewährleisten sowie
3. die Vorsorge gegen Gefahren, die sich aus bergbaulicher Tätigkeit für Leben, Gesundheit und Sachgüter Dritter ergeben, zu verstärken und den Ausgleich unvermeidbarer Schäden zu verbessern.

Der Schutz baulicher Anlagen Dritter gegen Gefahren aus bergbaulichen Tätigkeiten wird im Rahmen dieses Gesetzes in den nachstehenden Abschnitten geregelt.

#### **BBergG § 110 Anpassungspflicht**

*(1) Soweit durch Gewinnungsbetriebe, für die zumindest ein Rahmenbetriebsplan nach § 52 Abs. 2 Nr. 1 vorliegt, Beeinträchtigungen der Oberfläche zu besorgen sind, die den vorbeugenden Schutz baulicher Anlagen zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter erforderlich machen, hat der Bauherr bei der Errichtung, Erweiterung oder wesentlichen Veränderung einer baulichen Anlage auf*

*Grund eines entsprechenden Verlangens des Unternehmers den zu erwartenden bergbaulichen Einwirkungen auf die Oberfläche durch Anpassung von Lage, Stellung oder Konstruktion der baulichen Anlage Rechnung zu tragen.*

*(6) Die zuständigen Behörden erteilen dem Unternehmer für das von ihm bezeichnete Gebiet Auskunft über alle Anträge auf Erteilung einer baurechtlichen Genehmigung oder Zustimmung oder eine diese einschliessende Genehmigung.*

#### BBergG § 111 Sicherungsmaßnahmen

*(1) Soweit ein vorbeugender Schutz durch Maßnahmen nach § 110 nicht ausreicht, sind bauliche Anlagen mit den zur Sicherung gegen Bergschäden jeweils erforderlichen zusätzlichen baulichen Vorkehrungen (Sicherungsmaßnahmen) auf Grund eines entsprechenden Verlangens des Unternehmers zu errichten. Die Sicherungsmaßnahmen richten sich nach Art und Umfang der zu erwartenden Bodenverformungen und nach Bauart, Größe, Form und Bergschadensempfindlichkeit der baulichen Anlage. Satz 1 und 2 gilt bei einer Erweiterung oder wesentlichen Veränderung baulicher Anlagen entsprechend.*

*(2) Die Aufwendungen für Sicherungsmaßnahmen hat der Unternehmer zu tragen. Ist der Bauherr seiner Verpflichtung nach § 110 Abs. 1 ganz oder teilweise nicht nachgekommen, so trägt er den auf seinem Unterlassen beruhenden Teil der Aufwendungen für Sicherungsmaßnahmen.*

*(3) § 110 Abs. 2, 4 und 5 gilt entsprechend.*

#### BBergG § 112 Verlust des Ersatzanspruchs

*Werden bauliche Anlagen unter Verstoß gegen § 110 oder § 111 errichtet, erweitert oder wesentlich verändert, so ist ein Anspruch auf Ersatz eines Bergschadens wegen der Beschädigung dieser Anlagen und der daraus entstandenen Schäden an Personen oder Sachen ausgeschlossen, soweit der Schaden auf die Nichtbeachtung der genannten Vorschriften zurück zu führen ist. Satz 1 gilt nicht, wenn der Unternehmer seiner Pflicht zum*

*Ersatz oder zur Tragung der Aufwendungen oder zur Vorschußleistung nach § 110 Abs. 3 und 4 oder nach § 111 Abs. 2 und 3 nicht oder nur teilweise nachgekommen ist. Bei Verstößen des Bauherrn oder Unternehmers, die nicht auf Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit beruhen, gilt § 118 entsprechend.*

## BBergG § 113 Bauwarnung

*(1) Ist der Schutz baulicher Anlagen vor Bergschäden nach § 110 oder § 111 nicht möglich oder stehen Nachteile oder Aufwendungen für eine Anpassung im Sinne des § 110 oder für Sicherungsmaßnahmen im Sinne des § 111 in einem unangemessenen Verhältnis zu der durch diese Maßnahmen eintretenden Verminderung des Bergschadensrisikos, so kann der Unternehmer vor der Errichtung, Erweiterung oder wesentlichen Veränderung einer baulichen Anlage eine schriftliche Bauwarnung gegenüber dem Bauherrn aussprechen. Die Bauwarnung hat Angaben über die Art der zu erwartenden bergbaulichen Beeinträchtigungen der Oberfläche, über die sich daraus ergebenden wesentlichen Einwirkungen auf die bauliche Anlage und über das Vorliegen der Voraussetzungen nach Satz 1 zu enthalten.*

*(2) Werden bauliche Anlagen entgegen der Bauwarnung errichtet, erweitert oder wesentlich verändert, ist ein Anspruch auf Ersatz eines Bergschadens wegen der Beschädigung dieser Anlagen und der daraus entstandenen Schäden an Personen oder Sachen ausgeschlossen. Satz 1 gilt nicht, wenn die Voraussetzungen für das Aussprechen der Bauwarnung nach Absatz 1 Satz 1 nicht vorgelegen haben oder die Errichtung, Erweiterung oder wesentliche Veränderung von Leitungen zur öffentlichen Versorgung oder Entsorgung unvermeidbar ist.*

*(3) Wenn ausschließlich infolge der Bauwarnung nach Absatz 1 ein Grundstück nicht bebaut oder Art oder Maß der baulichen Nutzung in der sonst zulässigen Weise nicht ausgeschöpft werden können, hat der Unternehmer Ersatz für die Minderung des Verkehrswertes des Grundstücks zu leisten. Ist es dem Eigentümer mit Rücksicht auf die Bauwarnung wirtschaftlich nicht mehr zuzumuten, das Grundstück zu behalten oder es in der bisherigen oder einer anderen zulässigen Art zu nutzen, so kann er vom Unternehmer die Übernahme des Grundstücks verlangen. In diesem*

*Fall hat der Unternehmer den Verkehrswert, den das Grundstück ohne die Bauwarnung hätte, sowie die für die Beschaffung eines Ersatzgrundstücks erforderlichen Aufwendungen zu ersetzen. Ein Anspruch nach Satz 1 besteht insoweit nicht, als Tatsachen die Annahme rechtfertigen, dass die Absicht, eine bauliche Anlage zu errichten, zu erweitern oder wesentlich zu verändern, nur erklärt wird, um einen Wertersatz zu erlangen.*

## BBergG § 114 Bergschaden

*(1) Wird infolge der Ausübung einer der in § 2 Abs. 1 Nr. 1 und 2 bezeichneten Tätigkeiten oder durch eine der in § 2 Abs. 1 Nr. 3 bezeichneten Einrichtungen (Bergbaubetrieb) ein Mensch getötet oder der Körper oder die Gesundheit eines Menschen verletzt oder eine Sache beschädigt (Bergschaden), so ist für den daraus entstehenden Schaden nach den §§ 115 bis 120 Ersatz zu leisten.*

*(2) Bergschaden im Sinne des Absatzes 1 ist nicht*

- 1. ein Schaden, der an im Bergbaubetrieb beschäftigten Personen oder an im Bergbaubetrieb verwendeten Sachen entsteht*
- 2. ein Schaden, der an einem anderen Bergbaubetrieb oder an den dem Aufsuchungs- oder Gewinnungsrecht eines anderen unterliegenden Bodenschätzen entsteht*
- 3. ein Schaden, der durch Einwirkungen entsteht, die nach § 906 des Bürgerlichen Gesetzbuchs nicht verboten werden können*
- 4. ein Nachteil, der durch Planungsentscheidungen entsteht, die mit Rücksicht auf die Lagerstätte oder den Bergbaubetrieb getroffen werden und*
- 5. ein unerheblicher Nachteil oder eine unerhebliche Aufwendung im Zusammenhang mit Maßnahmen der Anpassung nach § 110.*

## BBergG § 120 Bergschadensvermutung

*(1) Entsteht im Einwirkungsbereich der untertägigen Aufsuchung oder Gewinnung eines Bergbaubetriebes durch Senkungen, Pressungen oder Zerrungen der Oberfläche oder durch Erdrisse ein Schaden, der seiner Art nach ein Bergschaden sein kann, so wird vermutet, dass der Schaden*

durch diesen Bergbaubetrieb verursacht worden ist. Dies gilt nicht, wenn feststeht, dass

1. der Schaden durch einen offensichtlichen Baumangel oder eine bau-rechtswidrige Nutzung verursacht sein kann oder
2. die Senkungen, Pressungen, Zerrungen oder Erdrisse
  - a. durch natürlich bedingte geologische oder hydrologische Gegebenheiten oder Veränderungen des Baugrundes oder
  - b. von einem Dritten verursacht sein können, der, ohne Bodenschätzte untertägig aufzusuchen oder zu gewinnen, im Einwirkungsbereich des Bergbaubetriebes auf die Oberfläche eingewirkt hat.

(2) Wer sich wegen eines Schadens an einer baulichen Anlage auf eine Bergschadensvermutung beruft, hat dem Ersatzpflichtigen auf Verlangen Einsicht in die Baugenehmigung und die dazugehörigen Unterlagen für diese bauliche Anlage sowie bei Anlagen, für die wiederkehrende Prüfungen vorgeschrieben sind, auch Einsicht in die Prüfunterlagen zu gewähren oder zu ermöglichen.

#### BBergG § 125 Messungen

(1) Die beteiligten Unternehmer haben auf ihre Kosten auf Verlangen und unter Aufsicht der zuständigen Behörde die Messungen durchführen zu lassen, die zur Erleichterung der Feststellung von Art und Umfang zu erwartender und zur Beobachtung eingetretener Einwirkungen des Bergbaus auf die Oberfläche erforderlich sind. Die Ergebnisse der Messungen sind unverzüglich bei der zuständigen Behörde einzureichen. Für die Einsicht in die Ergebnisse gilt § 63 Abs. 4 entsprechend.

(2) Messungen nach Absatz 1 können nur für Gebiete verlangt werden, in denen Beeinträchtigungen der Oberfläche durch Bergbaubetriebe mit Auswirkungen auf bauliche Anlagen eingetreten oder zu erwarten sind, wenn die Messungen zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter von Bedeutung sein können.

(3) Die Eigentümer und sonstigen Nutzungsberchtigten haben, soweit dies zur Durchführung der Messungen nach Absatz 1 erforderlich ist, das Betreten ihrer Grundstücke und das Anbringen von Messmarken zu dul-

*den. § 39 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 und Absatz 2 Nr. 2 gilt entsprechend. Für dabei entstehende Schäden haben die beteiligten Unternehmer eine angemessene Entschädigung an Geld zu leisten.*

*(4) Das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit wird ermächtigt, durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates Vorschriften zu erlassen über*

- 1. die nach Absatz 1 im einzelnen durchzuführenden Messungen und die Anforderungen, denen sie zur Erreichung der in Absatz 1 bezeichneten Zwecke genügen müssen,*
- 2. die Überwachung der Durchführung von Messungen im Sinne des Absatzes 1,*
- 3. die Anforderungen an die Voraussetzungen, die nach Absatz 2 an die Gebiete gestellt werden, für die Messungen verlangt werden können.*

*In der Rechtsverordnung kann die entsprechende Anwendung des § 70 Abs. 1 bis 3 vorgeschrieben und bei der Bestimmung von Anforderungen im Sinne des Satzes 1 Nr. 1 auf Bekanntmachungen sachverständiger Stellen unter Angabe der Fundstelle verwiesen werden.*

Nach dem Bundesberggesetz ist demnach der Schutz baulicher Anlagen gegen Bergschäden Aufgabe des Bergbaubetreibenden (Unternehmer). Dieser hat durch entsprechende Maßnahmen sicherzustellen, dass durch eventuell eintretende Schäden aufgrund bergbaulicher Einwirkungen das Leben und die Gesundheit Dritter nicht gefährdet wird.

## 9.2.2 Richtlinien

Im Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen Ausgabe A 16. Jahrgang Nr. 127 vom 8. Oktober 1963 wurde der Runderlass des Ministers für Landesplanung, Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten vom 10.9.1963 zu dem Thema „Bauliche Sicherungsmaßnahmen in Bergsenkungsgebieten“ veröffentlicht [MLW, 1963].

In der Anlage des Runderlasses werden die vom Fachnormenausschuss für Bauwesen (Arbeitsgruppe für Einheitliche Technische Baubestimmungen) in Zusammenarbeit mit den zuständigen Fachkreisen aufgestellten *Richtlinien für die Ausführung von*

*Bauten im Einflussbereich des untertägigen Bergbaus* in der Fassung April 1953 aufgeführt, in denen Grundlagen zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit und des Umfanges von baulichen Sicherungsmaßnahmen in Bergsenkungsgebieten behandelt werden. Diese Richtlinien gelten im Wesentlichen für den Flöz- und Lagerbau, besonders den Steinkohlenbergbau. Sie können aber auch bei anderen Bergbauarten angewendet werden, wenn hierbei die Bewegungen im Gebirge in ähnlicher Weise vor sich gehen.

Die Beachtung dieser Richtlinien ist in gleicher Weise von Vorteil für den Bauherrn und den Bergbautreibenden. Nach der derzeitigen Rechtslage kann der Bergbautreibende aber frei entscheiden, ob er diese Richtlinien befolgen oder ihre Empfehlungen in einzelnen über- oder unterschreiten will.

Im Rahmen dieser Richtlinien werden Empfehlungen über die bei bergbaulichen Einwirkungen zu treffenden Lastannahmen ausgesprochen. Dies sind im Einzelnen:

- Kräfte aus Schiefstellungen
- *Ansatz von Horizontallasten*
- Biegekräfte
- *Vorgabe von Krümmungshalbmesser für Sattel- und für Muldenlagen*
- Waagerechte Zerrungs- und Pressungskräfte
- *Vorgabe von Reibungskräften an der Unterseite der Gründungskörper und Belastung aus Erddruck*

Darüber hinaus werden vorbeugende bauliche Sicherungsmaßnahmen beschrieben, deren Notwendigkeit und Umfang sich nach

- der Größe und Art der zu erwartenden Bodenverformung,
- der Bauart, Größe, Form und Empfindlichkeit des geplanten Bauwerks
- und der Wirtschaftlichkeit

richten. Durch diese Maßnahmen muss die Standsicherheit und Betriebssicherheit ausreichend gewährleistet sein.

Bei der Wahl der vorbeugenden baulichen Maßnahmen werden 3 Sicherungsstufen unterschieden, von denen die Stufen 1 und 2 Teilsicherungen sind, bei denen Berg-

schäden nicht in allen Fällen ausgeschlossen werden können. Für den Grad der Bergschädensicherung gilt nachfolgende Einstufung:

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Sicherungsstufe 1                    | Sicherung von Bauwerken in Gebieten mit bergbaulichen Einwirkungen in Form von vorbeugenden Maßnahmen   |
| Sicherungsstufe 2                    | Erhöhte Sicherung für Bauwerke durch weitere zusätzliche bauliche Maßnahmen und Anordnung von waagerecht oder lotrecht Fugen. Ausbildung von nachstellbaren Auflagern.  |
| Sicherungsstufe 3<br>(Vollsicherung) | Schutz eines Bauwerks vor jeglicher schädlicher Verformung infolge bergbaulicher Einwirkungen. Die Vollsicherung kommt nur für solche Bauwerke in Betracht, die sich aufgrund ihrer Bauart für die Vollsicherung besonders eignen. Bei der Vollsicherung werden in Abhängigkeit von Grundrissabmessungen und Grundrissform zwischen Einfächenlagerung, Zweiflächenlagerung und Dreipunktlagerung sowie einer Unterteilung eines Bauwerkes durch Fugen oder Gelenke in einzelne vollgesicherte Abschnitte mit den oben geschilderten Lagerarten unterschieden. |

Weiterhin werden **Allgemeine Gesichtspunkte** für die Anordnung und Ausbildung der Bauwerke in Gebieten mit bergbaulichen Einwirkungen behandelt. Es werden Empfehlungen zur Vermeidung von Bauschäden bzgl. Standort, Planung, Gründung, Bauart und Baustoffe, baulicher Ausbildung und Ausgleich der Bewegungen des Baugrundes durch das Bauwerk ausgesprochen. Diese allgemeinen Hinweise werden ergänzt durch **Besondere Richtlinien** für Bauten der einzelnen Sicherheitsstufen.

Im letzten Abschnitt werden Aussagen über die zulässigen Beanspruchungen der Baustoffe gemacht. Für die wichtigsten im Bauwesen verwendeten Materialien werden die bei bergbaulichen Einwirkungen zul. Spannung festgelegt.

### 9.2.3 Technische Normen und Regelwerke

Neben dem Bundesberggesetz und dem nordrhein-westfälischen Runderlass des Ministers für Landesplanung, Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten von 1963 gibt es keine weiteren technischen Normen und Regelwerke, die sich mit der Sicherheit von Gebäuden und baulichen Anlagen bei Einwirkungen aus bergbaulicher Tätigkeit befassen.

## 9.3 Stand der Forschung

Theoretische Überlegungen auf der Grundlage der Elastizitätstheorie sowie experimentelle Untersuchungen zum Einfluss bergbaulicher Einwirkungen auf Bauwerksfundamente und Versuchskörper sind Gegenstand einer Vielzahl von Veröffentlichungen.

### 9.3.1 Bergbauliche Baugrundverkürzungen

Der Forschungsstand zu bergbaulichen Baugrundverkürzungen wird im Folgenden stichpunktartig aufgelistet.

- K.W. Mautner und O. Luetgens 1920-1922  
Formulierung des Erdwiderstands als  $E_p$  als maximale horizontale Belastung von lotrechten Wänden (wurde in die Richtlinien [MLW, 1963] übernommen)  
[Mautner u. Luetgens, 1920 u. 1922]
- E.N. Bielajev Polen 1960  
Ermittlung der Erddruckbeanspruchung unter Berücksichtigung der Grundriss-abmessungen der Gebäude [Bielajev, 1960]
- R.A. Mullier, H.K. Snitko UdSSR 1966  
Berücksichtigung des aktiven Erddrucks  $E_a$  in der Formel für Erddruck  
Vorschlag zur Ermittlung des Grenzwertes der Wandverformung [Mullier u. Snitko, 1966]

- F. Wasilkowski, H. Przibylla Polen 1950-1966  
Neuer Ansatz zur Ermittlung der Belastung von Bauwerken infolge bergbaulicher Einwirkungen; Berücksichtigung der elastoplastischen Eigenschaften des Boden und des Zeitfaktors der Veränderung der bergbaulichen Einwirkungen (Modellversuche) [Wasilkowski, 1950, 1955, 1966]
  
- Theorie zur Bestimmung von horizontalen Wandbelastungen infolge bergbaubedingter Baugrundverkürzungen [Przibylla, 1963]
  
- W.M. Varlaskin UdSSR 1965  
Herleitung einer Formel für den passiven Erddruck unter Einbeziehung der Ergebnisse von in situ Messungen [Varlaskin, 1965]
  
- J. Sliwa, T. Cisek Polen 1974  
Erweiterung des Modells von Bielajew und Mullier durch Einbeziehung des Erdruhedrucks [Sliwa u. Cisek 1974]
  
- W. Szerner Polen 1972  
Vorschlag einer nichtlinearen Steigerung des Erddrucks infolge bergbaulicher Verkürzungen in Abhängigkeit der Baugrundverschiebung  $s$  (Näherungsgleichung) [Szerner, 1972]
  
- D. Lippert, H. Schmidt-Schleicher 1991  
Forschungsvorhaben der DSK AG zur Bestimmung der durch Baugrundverkürzung erhöhten Erddruckbelastung auf Bauwerke [Lippert u. Schmidt-Schleicher, 1991]

### 9.3.2 Bergbauliche Baugrundlängungen

Zu dem Thema bergbaulicher Baugrundlängungen sind u.a. folgende Forschungsbeiträge erschienen.

- K.W. Mautner 1920-1948  
Theorie zum Einfluss bergbaulicher Längungen auf Bauwerke  
Annahme: Belastung der Fundamentsohlen durch Reibungs- und Haftungskräfte [Mautner, 1948]

- F. Wasilkowski Polen 1954  
Abminderung der Ansätze von Mautner aufgrund von Beobachtungen [Wasilkowski, 1954]
  
- D. Lippert, H. Schmidt-Schleicher 1983  
Entwicklung von Regeln zur wirklichkeitsnahen Erfassung von Kräften infolge Längungseinwirkungen zur Bemessung von Bauwerken [Lippert u. Schmidt-Schleicher, 1983]

### 9.3.3 Diskussion und Vergleich der Forschungsergebnisse

#### 9.3.3.1 Bergbauliche Baugrundverkürzungen

Die aufgeführten Forschungsbeiträge beinhalten sowohl empirische als auch mathematisch – aus theoretischen Überlegungen und Ansätzen – abgeleitete Abhängigkeiten von Verformungsgrößen (Baugrundverschiebung) und Erddruckanstieg. Alle Arbeiten bestätigen den passiven Erddruck als Grenzwert maximaler Erddruckbeanspruchung.

Die den empirisch und theoretischen Ableitungen zur Ermittlung des Erddrucks infolge bergbaulicher Verkürzung zugrundeliegenden Steifemoduli sind im Regelfall im Labor ermittelte Werte mit relativ großen Bandbreiten.

#### 9.3.3.2 Bergbauliche Baugrundlängungen

Die aufgezeigten Forschungsergebnisse weisen Ansätze für Beanspruchungen eines Bauwerks aus, die zusätzlich zur Größe der Längung durch die nachfolgenden Haupteinflüsse beschrieben werden:

- Reibungswinkel und Kohäsion des Bodens
- Baugrundsteifigkeit
- Volumenänderung des Baugrunds
- Bauwerkssteifigkeit
- Fundamentpressungen unter dem Bauwerk und Verteilung der Pressung
- Bauwerksabmessungen und Einbindetiefe

Die Forschungsergebnisse belegen, dass für den Fall bergbaulicher Längungen die in den Richtlinien aus dem Jahre 1963 für die Ausführung von Bauten im Einflussbereich des untertägigen Bergbaus empfohlene Bemessungsgrundlage sehr konservativ ist.

### 9.3.3.3 Unstetigkeiten

Die Ursachenerforschung von Unstetigkeiten, die in der Regel regionaltypisch sind, befindet sich noch in den Anfängen. Es gibt bisher kein Verfahren, das unter Berücksichtigung entsprechender Einflussgrößen – die dazu notwendigerweise bekannt sein müssten – eine rechnerische Ermittlung der Lage, der Erstreckung und des Ausmaßes von Unstetigkeiten erlaubt.

## 9.4 Maßnahmen gegen das Wirksamwerden von Bergsenkungen - Stand der Technik

Eine umfassende Darstellung der möglichen Sicherungsmaßnahmen von Bauwerken – hierunter sind auch, wie vor ausgeführt, verfahrenstechnische Anlagen zu verstehen – gegen Einwirkungen des Bergbaus findet sich im Grundbautaschenbuch Teil 3 Abschnitt 3.9. Gründungen in Bergaugebieten [Smoltczyk, 2001].

### 9.4.1 Arten der Sicherung

Art und Umfang der Sicherungsmaßnahmen richten sich nach Art und Größe der Bodenverformungen, nach Standsicherheit und Gebrauchsfähigkeit des Bauwerks sowie nach Bedeutung und Empfindlichkeit der Bauwerksnutzung und damit nicht zuletzt nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Zunächst muss geprüft werden, ob die durch die Art und Nutzung bedingte Bauwerkskonstruktion den zu erwartenden Bodenverformungen folgen kann.

Hierbei unterscheidet man nach:

- Biegesteifen Bauwerken, die in ihrer Form erhalten bleiben; es treten nur Verformungen im Rahmen der noch aufnehmbaren Spannungen auf,

- Biegeweichen Bauwerken, die ohne Überbeanspruchung der Bauwerkskonstruktion den Verformungen des Baugrundes folgen.

Weiters ist zu klären, ob die vorgegebene Bauwerkskonstruktion und die Nutzung des Gebäudes es zulassen bzw. verlangen, die Sicherungsmaßnahmen nach

- dem Widerstandsprinzip, wobei alle durch die Bodenbewegungen verursachten Kräfte vom Bauwerk aufgenommen werden oder
- dem Ausweichprinzip, wobei das Bauwerk die Bodenbewegungen mitmacht und dabei keine oder nur geringe, d.h. zulässige Beanspruchungen erfährt,

festzulegen.

Je nach Forderung an die Nutzung des Bauwerks im Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeitsberechnung kann gewählt werden entweder

- eine Vollsicherung, bei der als höchste Sicherungsstufe die Bauwerkskonstruktion i.a. so steif ausgelegt wird, dass beliebige Bodenbewegungen lediglich Formänderungen innerhalb der elastischen Grenzen der Baustoffe hervorrufen und durch Nachrichtung (Anheben) die Wiederherstellung der ursprünglichen Lage erreicht werden kann, oder
- eine Teilsicherung, bei der zumeist Maßnahmen nur gegen eine maßgebliche Bodenbewegung i. allg. gegen Längenänderungen mit ausreichender Standsicherheit ergriffen, weitere Schäden allerdings toleriert und nach Schadenseintritt wieder instand gesetzt werden.

Bauwerke, die den Einwirkungen des Bergbaus unterliegen, sind in getrennter statischer Berechnung für den Lastfall Bergbaueinwirkungen zu untersuchen und zu bemessen. Grundlage hierfür bilden die *Richtlinien für die Ausführung von Bauten im Einflussbereich des untertägigen Bergbaus*. Im Allgemeinen wird hier im Hinblick auf die Tragfähigkeit eine höhere Ausnutzung der mechanischen Werkstoffeigenschaften, in Ausnahmefällen sogar deren volle Ausnutzung zugelassen. Hierüber ist jedoch unter Berücksichtigung der Gebrauchsfähigkeit des Bauwerks und seiner Konstruktion in jedem Einzelfall zu entscheiden.

So verlangen bewegungsempfindliche Konstruktionen oder Baudenkmäler eine andere Auslegung in statisch konstruktiver Hinsicht unter Beachtung von Tragfähigkeit und Gebrauchsfähigkeit als Neubauten mit modernen Werkstoffen.

Im Bereich von verfahrenstechnischen Anlagen ist eine Vollsicherung anzustreben. Bei Bodenbewegungen ab einer bestimmten Größe sind Prüfungen vorzunehmen und bei festgestellten Verformungen an Werkstoffen relevanter Komponenten diese zu verwerfen.

#### 9.4.2 Maßnahmen gegen Schieflagen

Wenn keine genauen Angaben über die möglichen zu erwartenden Schieflagen vorliegen, sollten die Bauteile neben den sonst wirkenden Kräften auch für beliebig gerichtete waagerechte Kräfte bemessen werden, deren Größe 1% aller über dem betrachteten Querschnitt angreifenden Vertikallasten beträgt.

Bei Überschreiten der für die Nutzung des Bauwerks noch zulässigen Schieflage sind die Auflager nachzurichten. Am besten gelingt dies bei der Dreipunktlagerung (statisch bestimmte Lagerung). Sonst sind bei biegesteifen Bauwerken unter den Fundamentrost mehrere Pressenkammern vorzusehen.

Diese Vollsicherung kann auch bei biegeweichen Bauwerken erreicht werden, wenn die Stützen nachstellbar gemacht werden. Das erfordert eine statisch bestimmte Konstruktion, für die eine Stahlskelettkonstruktion vorteilhaft ist.

#### 9.4.3 Maßnahmen gegen Baugrundkrümmungen

Nach [MLW, 1963] soll allgemein für Sattellagen ein Krümmungsradius von  $R=2.000$  m und für Muldenlagen von  $R=5.000$  m angenommen werden, wenn nicht nach besonderen Angaben mit geringeren Krümmungsradien gerechnet werden muss (nach Angaben der DSK unterschreiten die tatsächlich auftretenden Krümmungshalbmesser nicht die Größe von  $R=10.000$  m). Statisch bestimmte Bauwerkskonstruktionen bzw. Bauwerke mit geringer Steifigkeit sollten grundsätzlich angestrebt werden, wenn die Nutzung des Gebäudes es zulässt. Je geringer die Bauwerkssteifigkeit, umso geringer die Beanspruchungen (Ausweichprinzip).

Zunächst ist zu klären, ob die zu erwartende Krümmung für die geplante Bauwerkskonstruktion unschädlich ist. Einen Anhalt hierfür gibt Bild 15 für eine Muldenlage. Danach liegt bei normalen Hochbauten –Ziegelmauerwerk mit Stahlbetondecke oder Stahlbetonskelettbauten – die zul. Durchbiegung im Mittel bei  $ds=L/800$ , was einem noch zul. Krümmungsradius von  $R=100*L$  (bei üblichen Bauwerksabmessungen  $R=1.000...3.000$  m) entspricht. Bei Stahlskelettbauten (Industriebauten) sind die zulässigen Durchbiegungen noch größer bzw. der zul. Krümmungsradius noch geringer. Es muss aber darauf geachtet werden, dass bei statisch bestimmten Systemen bzw. nachgiebiger Konstruktion die Auflagerbedingungen für Zwischendecken und Dacheindeckungen ausreichend gewahrt bleiben. Bauwerke reagieren auf eine Sattellage zumeist empfindlicher, so dass der zul. Krümmungsradius deutlich größer sein muss als für die Muldenlage.

Bei biegesteifen Bauwerken sind alle Lagerungsmöglichkeiten (Krag- und Hohllagen der Bauwerksgründung) zu untersuchen. Zur Ermittlung der Spannungsverteilung bieten sich das Bettungsmodulverfahren bzw. das Steifemodulverfahren an.

Je unnachgiebiger der Baugrund ist, desto eher entstehen Spannungskonzentrationen und größere Hohl- und Kraglagen. Durch Anordnung von Polsterschichten und durch die Wahl kleiner Fundamentflächen mit hohen Sohldrücken können die Lagerungsbedingungen vergleichmäßigt bzw. verbessert und die Hohl- und Kraglagen vermindert werden.

Besonders kritisch sind Sattellagen und die damit verbundenen Kraglagen bei Flächengründungen: Um einen besseren Setzungsausgleich zu schaffen, sollte nach Möglichkeit von einer Flächengründung abgegangen werden.

Eine Verminderung der Beanspruchung steifer Bauwerke kann auch durch Anordnung von Fugen erreicht werden. Die Fugen sind jedoch so breit zu wählen, dass bei der konkaven Krümmung (Muldenlage) keine Kräfte übertragen werden bzw. bei der konvexen Krümmung (Sattellage) eine ausreichende Überdeckungsbreite der Fugenverkleidung vorhanden ist. Die erforderliche Fugenbreite gegenüber Längenänderungen ist noch gesondert zu betrachten.

#### 9.4.4 Maßnahmen gegen Baugrundlängungen (Zerrungen)

Die mit den Längungen verbundenen Relativverschiebungen zwischen Baugrund und Bauwerksgründung rufen horizontal gerichtete Scherkräfte (Zerrungen) hervor, die – wenn Gleitschichten fehlen – nahezu unabhängig von der Größe der Verschiebungen, jedoch wesentlich abhängig von der Auflast und der Scherfestigkeit des Bodens sind.

Bei geringen Sohldrücken treten in bindigen Böden wegen des Kohäsionsanteiles größere Scherkräfte als in nichtbindigen Böden, z.B. in Sanden, auf. Für diesen Fall sollte bindiger Boden in geringer Schichtdicke durch Sand ersetzt werden, so dass innerhalb der Sohlfuge nur Reibungskräfte wirken. Weiterhin ist zu beachten, dass bei sehr kleinen Auflasten – wie bei Stützmauern und Fahrbahnbefestigungen – durch den Gefügewiderstand der Reibungskoeffizient u.U. wesentlich größer sein kann als bei größeren Auflasten.

Die Reibungskräfte können durch Fugen wesentlich vermindert werden. Die Fugen müssen jedoch so weit gewählt werden, dass alle Längenänderungen (Längung und Kürzung) unter Beachtung der zeitlichen Folge und auch die Krümmungen (Sattel- und Muldenlage) keinen Kontakt (einwandfreie Raumfugen) zwischen den einzelnen Baukörpern hervorrufen.

Bei Stahlskelettkonstruktionen kann durch Pendelstützen die Übertragung von Reaktionskräften verhindert bzw. aufgehoben werden.

Bei Streifen- und Flächengründungen muss geprüft werden, ob unter Berücksichtigung der Scherfestigkeit des Untergrundes die möglichen Reibungskräfte vom Bauwerk aufgenommen werden oder ob eine zusätzliche Bewehrung evtl. mit Gleitschicht erforderlich ist.

Für Längungen bis 2 ‰ erübrigts sich dann eine zusätzliche Zerrssicherung durch die Bewehrung, wenn die Tragfähigkeit des Bewehrungsstahles voll ausgenutzt wird. Kann dies im Hinblick auf die Gebrauchsfähigkeit nicht zugelassen werden, sind Bauwerke mit großer Bewegungsempfindlichkeit vorhanden oder treten größere Längungen als 2 ‰ auf, ist die Anordnung von Gleitschichten zur Verminderung der Zerrkräfte zweckmäßig und üblich. Anstelle der früher verwendeten Gleitmittel Graphit oder Molykote werden heute häufiger zweilagige Folien mit Silikonfett-Schmiereung gewählt. Kostengünstig sind zweilagige unbesandete Bitumenbahnen, die sich

bei hohen Drücken und bei geringen Verformungsgeschwindigkeiten in der Gleitfuge viskoelastisch verhalten.

#### 9.4.5 Maßnahmen gegen Baugrundkürzungen (Pressungen)

Bei einer Kürzung der Gründungsfläche entstehen neben Reibungskräften (Druckkräfte) in den Sohlflächen auch Erdwiderstandskräfte vor den Stirnflächen. Der volle Erdwiderstand ist wegen der dafür erforderlichen Relativverschiebung i.allg. nicht zu erwarten. Aufgrund von Messungen erfordert der Maximalwert des Erdwiderstandes Wandverschiebungen in der Größenordnung von 1/10 h für locker gelagerte bzw. weiche Böden bis 1/50 h für dicht gelagerte bzw. halbfeste Böden (Wandhöhe h).

Mit Hilfe von FEM-Berechnungen für unterschiedliche Einwirkungsgrößen von bergbaulichen Kürzungen von 2 bis 20 % konnte gezeigt werden, dass die ermittelten Horizontalspannungen erst bei 10 % Kürzung die Größe des Erdwiderstandes bei einem Stand und Ausschaltung der Wandreibung erreichen.

Der Erdwiderstand vor den im Boden einbindenden Bauwerkswänden kann durch Polsterschichten zum Teil erheblich vermindert werden. Je nach Zusammendrückbarkeit werden die bei einer Kürzung zu erwartenden Relativverschiebungen zwischen Bauwerk und Baugrund innerhalb der Polsterschichten „aufgezehrt“. Weichplastischer Ton, Kesselasche oder Schlacke, Schlackenwolle und vor allem Torf wurden hierfür verwendet. Für eine große, gleichmäßige und vom Einbauverfahren unabhängige Zusammendrückbarkeit bieten sich Polsterungen durch Schaumstoffplatten aus Polystyrol oder Polyethylen an. Es empfiehlt sich in jedem Fall, wegen der Vielfalt der zur Verfügung stehenden Materialien das Drucksetzungs- und Zeitsetzungsverhalten durch Versuche zu bestimmen.

Zu beachten ist in einigen Fällen auch das zeitliche Verformungsverhalten des Schaumstoffs, da z. B. bei Polystyrol die Verformung erst mit einer zeitlichen Verzögerung eintritt.

#### 9.4.6 Maßnahmen bei konzentrierten Bodenbewegungen

Können keine Änderungen des Abbaues, z.B. Versatzbau, Änderung des Abbauzuschnitts usw., vorgenommen werden, ist eine Stabilisierung des Bodens, verbunden mit einem Massenausgleich, in der Regel dann unumgänglich, wenn Bauwerke, öffentliche Verkehrsflächen u. ä. hiervon betroffen sind. Hierzu kann der Baugrund mit Zement und Dämmer verfüllt bzw. auch unter hohem Druck verpresst (Feststoff-Einpresstechnik, FEP) werden. Ziel ist es in erster Linie, eine ausreichende Druck- und Scherfestigkeit des Baugrundes wieder herzustellen und – wenn möglich – eine Vorspannung zu erzeugen. Gegebenenfalls können hierdurch auch Bauwerksbewegungen stillgesetzt bzw. zurückgestellt werden.

Daneben ist auch eine konstruktive Sicherung der Bauwerke durch Einbau von Hydraulikpressen und/oder Federkörpern möglich, für die das Bauwerk eine ausreichende Steifigkeit besitzen oder erhalten muss.

Grundsätzlich gilt, dass bei derartigen konzentrierten Bodenbewegungen zusätzlich zu den o. g. Maßnahmen eine kontinuierliche Beobachtung der Boden-Bauwerks-Bewegungen notwendig wird, z. B. durch das Anlegen von Messlinien quer zu den Störungszonen außerhalb des Bauwerkes und Kontrolle der Bauwerksbewegungen auch an den Pressen bzw. Federkörpern.

#### 9.4.7 Möglichkeiten der Nachrüstung baulicher Anlagen

Die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten vorbeugenden Maßnahmen gegen das Wirksamwerden von Bergsenkungen auf Bauwerke und Anlagen sind größtenteils auch anwendbar für die nachträgliche Ertüchtigung baulicher Anlagen. In **Tabelle 9.4.7.1** sind mögliche bauliche Maßnahmen für eine bestehende Bebauung bei überwiegend vertikalen Bodenbewegungen, in **Tabelle 9.4.7.2** die entsprechenden Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen bei horizontalen Bodenbewegungen aufgelistet. Prinzipiell kann differenziert werden zwischen Sicherungsmaßnahmen am Bauwerk und Maßnahmen, die außerhalb des Bauwerks zur Sicherung der baulichen Anlage durchgeführt werden können. Darüber hinaus ist zu unterscheiden zwischen möglichen Sicherungs- und Sanierungsarbeiten, welche eine Konservierung des Bauwerks bewirken und solchen, die den Zustand des Bauwerks vor Eintreten der Bergbau bedingten Bodenbewegungen wieder herstellen.

Wie oben dargelegt, gibt es bei Bergsenkungen für bestehende bauliche Anlagen abhängig von der Art der Einwirkung vielfältige Möglichkeiten der Nachrüstung. Bodenbewegungen infolge Bergbaus in größerer Tiefe sind, wie in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt, ein kontinuierlicher Prozess und kein plötzlich eintretendes Ereignis. Demzufolge ist in der Regel bei auftretenden Bodenbewegungen ausreichend Zeit vorhanden für die Durchführung vorbeugender Maßnahmen zur Erhaltung der Standsicherheit bzw. Gebrauchstauglichkeit einer baulichen Anlage. Die Erfordernis von Sicherungsmaßnahmen ist dann gegeben, wenn sich abzeichnet dass diese Bodenbewegungen eine tolerierbare Größe überschreiten. Der Zeitpunkt der Durchführung entsprechender Maßnahmen ist i.A. durch intensive Beobachtung des Baugrunds (Monitoring) und entsprechende Vorausberechnungen recht gut bestimmbar.

Bei verfahrenstechnischen Anlagen sind entsprechende Maßnahmen, z.B. durch adäquate Gründungen bzw. Fundamentierung, bereits bei Planungsbeginn solcher Anlagen auf der Basis der prognostizierten Senkungen zu berücksichtigen. Dies muss auch Eingang in die Genehmigungsantragsunterlagen finden.

**Tabelle 9.4.7.1:** Bauliche Maßnahmen für bestehende Bebauung bei überwiegend vertikalen Bewegungen

Bodenbewegung	Sicherungsmaßnahmen			
	am Bauwerk		außerhalb des Bauwerks	
	Konservierung	Rückstellung	Konservierung	Rückstellung
Schieflage				
Senkungsunterschied	<b>Ausgleichsmaßnahmen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fußboden (z.B. Estrich, Kunstboden)</li> <li>- Wand (z.B. Putz, Verkleidung)</li> <li>- Decke (z.B. Abhängung)</li> </ul> <b>Nachgründung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bohrpfähle</li> <li>- Verpreßpfähle</li> <li>- Hochdruckinjektion</li> <li>- Bodenvermörtelung</li> <li>- Unterfangungen</li> </ul>	<b>Nachgründung und Hebung wie bei Setzungsunterschied bzw. Krümmung</b>  <b>Nachgründung und Hebung durch:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hydraulikpressen</li> <li>- Druckkissen</li> <li>- Federkörper</li> <li>- Lasthalteanlagen</li> </ul>	<b>Baugrundstabilisierung und Bauwerksstabilisierung</b>  <b>Baugrundstabilisierung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Injektionen</li> <li>- Hochdruckinjektion als Feststoffinjektion und Bodenvermörtelung</li> </ul> <b>Bauwerksstabilisierung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bohrpfähle</li> <li>- Verpreßpfähle</li> <li>- Hochdruckinjektion</li> <li>- Bodenvermörtelung</li> <li>- Unterfangungen</li> </ul>	<b>Baugrundstabilisierung und Hebung</b>  <b>Baugrundstabilisierung und Hebung durch:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hochdruckinjektion</li> </ul>
Krümmung	wie vor Fugenanordnung	wie vor Bauwerksaussteifung	wie vor	wie vor

**Tabelle 9.4.7.2:** Bauliche Maßnahmen für bestehende Bebauung bei überwiegend horizontale Bewegungen

Boden- bewegung	Sicherungsmaßnahmen			
	am Bauwerk		außerhalb des Bauwerks	
	Konservierung	Rückstellung	Konservierung	Rückstellung
Längungen (Zerrungen)	<b>Nachgründung:</b> - Zugplatte - Zugbalken - Zugbalkenrost  <b>Verankerung:</b> - Zuganker - Zugglieder  <b>Rißinjektion:</b>	<b>Verankerung und Ver- spannung durch:</b> - Zuganker - Zugglieder	<b>Bauwerksstabilisierung:</b> - Zugbalken und Zug- balkenrost (z.B. Micro- tunnelbauweise)	<b>Bauwerksstabilisierung und Verschiebung in der Gründungsfuge durch:</b> - Gleitlagerung - Hydraulikpressen
Kürzungen (Pressungen)	<b>Nachgründung:</b> - Druckplatte - Druckbalken - Druckbalkenrost  <b>Wandverstärkungen mit Aussteifungen</b>  <b>Ausbildung von Bewegungsfugen zwischen einzelnen Bauteilen</b>	<b>Sanierung und Sicherung erdberührter Bauteile durch:</b> - Rißinjektionen - Wandverschiebung - Wanderneuerung - Polsterung außen	<b>Bauwerksabschermung:</b> - Polsterbohrung - Polstergräben  <b>Bauwerksstabilisierung:</b> - Druckbalken und Druckbalkenrost (z.B. Micro-tunnelbauweise)	<b>Entspannungsmaßnahmen durch:</b> - Bohrungen - Gräben - Fugen zwischen einzelnen Bauwerken

## 9.5 Ergebnisbewertung

Im Gegensatz zu den stochastischen Gefahrenquellen Hochwasser, Erdbeben und Sturm sind Bergsenkungen ein stetiger, von Menschen induzierter Prozess. Die mit dem Abbau eines Flözes in großer Tiefe verbundenen Auswirkungen an der Oberfläche sind im Allgemeinen recht gut vorhersehbar. Auf der Grundlage einer realitätsnahen Beschreibung der oberflächennahen Bodenbewegungen lassen sich die möglichen Einwirkungen auf Anlagen und Gebäude – wie weiter oben dargelegt – recht gut eingrenzen. Eine Ausnahme bilden hier die sogenannten Erdstufen, welche bei geologischen Störungen im Baugrund auftreten können.

### 9.5.1 Allgemeines zu den rechtlichen Regelungen

Das 3. Kapitel „Bergschaden“ des Bundesberggesetzes BBG vom 13. August 1980, zuletzt geändert im August 2002, regelt den Umgang mit den Einwirkungen des Bergbaus auf Gebäude und Anlagen an der Oberfläche. Demzufolge sind für den Fall eines Bergschadens Bergbaubetreibender (Unternehmer) und Bergbauberechtigter ersatzpflichtig. Der vorbeugende Schutz baulicher Anlagen zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter ist sowohl Aufgabe des

Bergbautreibenden als auch des von den bergbaulichen Einwirkungen betroffenen Betreibers einer Anlage.

Bei neu zu errichtenden Anlagen hat der Bauherr aufgrund eines entsprechenden Verlangens des Bergbautreibenden den zu erwartenden bergbaulichen Einwirkungen auf die Oberfläche durch Anpassung von Lage, Stellung und Konstruktion Rechnung zu tragen (Anpassungspflicht). Soweit ein vorbeugender Schutz durch derartige Maßnahmen nicht ausreicht, sind auf Verlangen des Bergbautreibenden zusätzliche bauliche Vorkehrungen zur Sicherung gegen Bergschäden zu treffen. Ist der Schutz baulicher Anlagen vor Bergschäden nicht möglich oder stehen die Sicherungsmaßnahmen in einem unangemessenen Verhältnis zu der durch diese Maßnahmen eintretenden Verminderung des Bergschadensrisikos, so kann der Bergbautreibende eine schriftliche Bauwarnung aussprechen.

In besonderen Fällen kann die Landesregierung durch Rechtsverordnung Baubeschränkungsgebiete festsetzen, in denen die Errichtung, Erweiterung oder Nutzungsänderung baulicher Anlagen nur mit Zustimmung der Bergaufsicht erfolgen darf.

Die Auslegung einer baulichen Anlage zur schadensfreien Aufnahme von Einwirkung aus Bergsenkungen liegt einzig in der Verantwortung des Bauherrn und des Bergbautreibenden. Nach der derzeit gültigen Rechtslage ist eine Kontrolle bzw. Überprüfung entsprechender Sicherheitsvorkehrungen durch eine unabhängige staatliche Einrichtung (Behörde) nicht vorgesehen.

Zur Verhütung von Gefahren für Leben, Gesundheit oder bedeutende Sachgüter kann die Bergbehörde nach § 125 BBergG lediglich Messungen anordnen, die zur Erleichterung der Feststellung von Art und Umfang zu erwartender und zur Beobachtung eingetretener Einwirkungen des Bergbaus auf die Oberfläche erforderlich sind.

Darüber hinaus kann nach einem Urteil des Bundesverwaltungsgerichtes aus dem Jahre 1989 (Moers-Kapellen-Urteil) die Bergbehörde die Aufsuchung oder Gewinnung von Bodenschätzen beschränken oder sogar untersagen, wenn nur dadurch unverhältnismäßige Beeinträchtigungen des Oberflächeneigentums zu vermeiden sind. Das Bergamt legt hierbei den Kreis der an einem bergrechtlichen Zulassungsverfahren zu beteiligenden Oberflächeneigentümer fest und prüft, ob zur Vermeidung unverhältnismäßiger Beeinträchtigungen des Oberflächeneigentums ggf. bergschadensmindernde Maßnahmen zu ergreifen sind, beispielsweise durch Vorgabe der Abbaugeschwindigkeit.

Das BergG enthält lediglich Regelungen für den Fall der Errichtung, der Erweiterung oder der wesentlichen Verränderung einer baulichen Anlage. Der Fall, dass eine bereits bestehende bauliche Anlage Einwirkungen aus bergbauinduzierten Bodenbewegungen ausgesetzt wird, ist im BergG nicht explizit behandelt.

Für bauliche Anlagen in Bergsenkungsgebieten sind nachfolgende Fallunterscheidungen möglich.

#### 9.5.1.1 Geplanter Abbau unter einer bestehenden Industrieanlage

Durch den öffentlichen Rahmenbetriebsplan erhalten die Anlagenbetreiber von dem geplanten Abbau Kenntnis. Der Bergbaubetreibende wird von der unteren Bauaufsichtsbehörde über die für die betroffenen Gebiete vorhandenen Bebauungspläne informiert. Darüber hinaus erhält der Bergbaubetreibende von der Bergaufsicht eine Liste gefährdeter Betriebe für die Bereiche, in denen nach Erkenntnissen der Bergbehörde mit Auswirkungen an der Oberfläche zu rechnen ist.

Bergbaubetreibender und Anlagenbetreiber setzen sich zusammen und legen Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Anlage fest. Unter Umständen ordnet das Bergamt zusätzlich Messungen zur ständigen Beobachtung der Auswirkungen des Bergbaus auf der betroffenen Anlage an. Im Rahmen von Sonderbetriebsplänen kann die Bergbehörde unter Umständen Einfluss auf Abbaugeschwindigkeit eines Flözes nehmen, um Auswirkungen auf die Oberfläche zu begrenzen.

#### 9.5.1.2 Errichtung einer neuen Industrieanlage bei aktivem Abbau

Im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens wird der Bauherr eines neu zu errichtenden Betriebes von der unteren Bauaufsicht verpflichtet, sich vor Baubeginn mit dem Bergbaubetreibenden in Verbindung zu setzen. Der Bergbaubetreibende stellt dem Bauherrn dann entweder eine Unbedenklichkeitsbescheinigung aus oder aber er verpflichtet ihn gegebenenfalls, zusätzliche Sicherungsmaßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Konstruktion durchzuführen. Entsprechende Sicherheitsmaßnahmen beschränken sich nicht nur unmittelbar auf den Zeitraum des Abbaus, sondern können auch noch Jahre nach Beendigung

des Bergbaus erforderlich sein, da aufgrund der mit dem Bergbau zusammenhängenden veränderten Wasserhaltung in der Region Bodenhebungen nicht auszuschließen sind.

### 9.5.2 Zusammenfassung

Der Nachweis der Standsicherheit baulicher Anlagen ist Aufgabe des Bauherrn. Die erforderlichen statischen Nachweise sind in der Regel von einer unabhängigen Institution zu überprüfen (4-Augen-Prinzip). Für den Fall bergbaulicher Einwirkungen weicht der Gesetzgeber zurzeit von diesem Grundsatz einer unabhängigen Kontrolle ab. Die Standsicherheit einer baulichen Anlage bei bergbaulichen Einwirkungen betrifft ausschließlich den Bergbaubetreibenden und den Betreiber der Anlage. Diese legen in gegenseitigem Einvernehmen Art und Umfang der erforderlichen Sicherungsmaßnahmen fest. Die Kontrollfunktion der zuständigen Bergämter beschränkt sich im Wesentlichen auf eine unabhängige Überprüfung der Vorgaben des Bergbaubetreibenden bezüglich der zu erwartenden Beeinträchtigungen der Oberfläche (Größe der Einwirkung).

Im Verfahrensablauf der Genehmigung der Rahmenbetriebspläne zum Kohleabbau als auch zur Genehmigung einer Anlage nach dem BImSchG muss die zukünftige Einflussnahme durch den Bergbau abgehandelt werden. Bei der Erstellung und Prüfung von Sicherheitsberichten für Betriebsbereiche nach der Störfall-Verordnung wird dieser Aspekt nach allen vorliegenden Erkenntnissen der Verfasser dieses Berichtes bislang nicht in der gebotenen Weise berücksichtigt. Dieses Defizit gilt gleichermaßen für Betriebsbereiche, welche der StörfallIV mit den Grundpflichten unterliegen. Nach Aussagen der Bergbaubehörden als auch der Deutschen Steinkohle AG wird jedoch zur Zeit unter Betriebsbereichen kein Abbau vorgenommen. Dies soll auch bei den lfd. Rahmenbetriebsplänen so berücksichtigt werden.

Die Senkungen über alten vormaligen Bergaugebieten in NRW sind weitgehend abgeklungen, so dass Gefährdungen kaum gegeben sind. Im Saarland oder im Bereich der Kaligruben kann die Situation durchaus anders sein.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass eine erforderliche Abstimmung zwischen Behörden, Kohleabbaugesellschaften und Betreibern von Betriebsbereichen sowie Prüfingenieuren der Statik nicht immer einwandfrei gegeben ist.

Im Rahmen von Inspektionen nach § 16 der StörfV wird dem Punkt Bergsenkungen nach allen vorliegenden Erkenntnissen kaum Rechnung getragen. Empfehlungen hierzu werden in der Anlage III „Vorschlag für eine Vollzugshilfe zur Durchführung von Inspektionen von Betriebsbereichen“ gegeben.

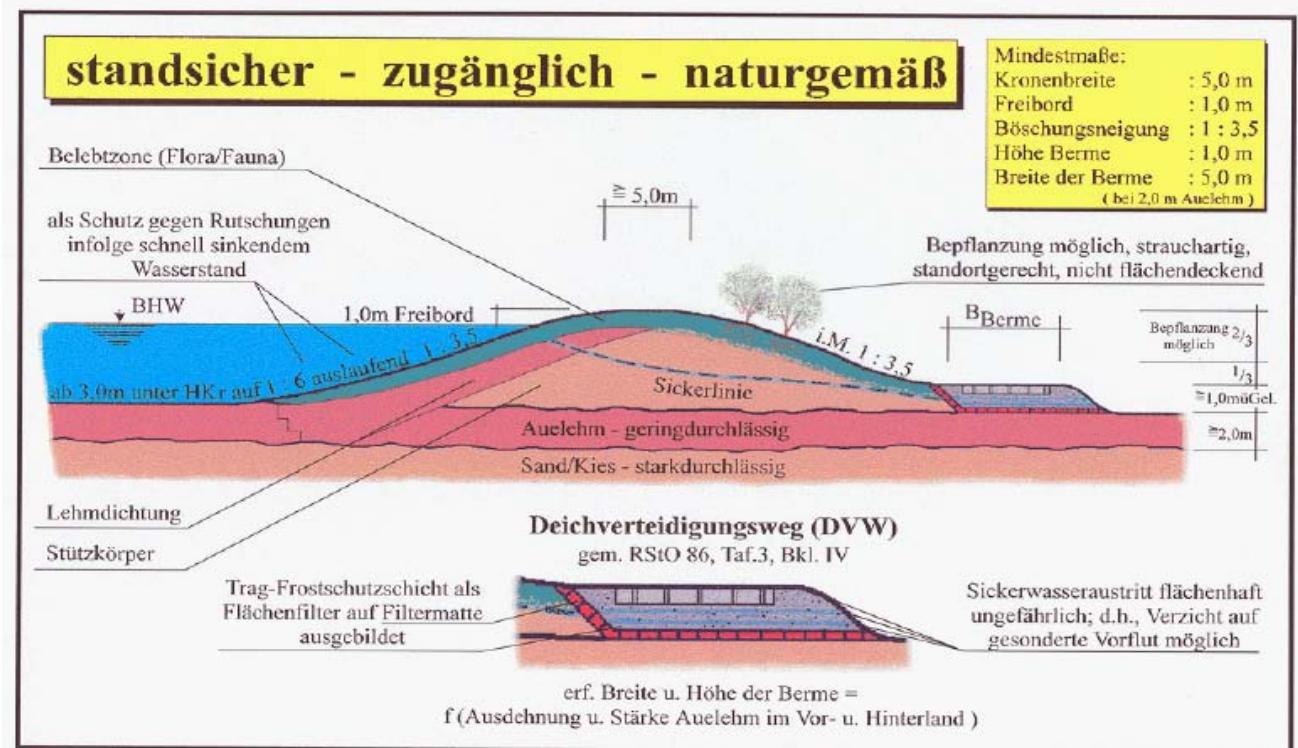
Jedem Sicherheitsbericht sollte die Prüfbescheinigung des Sachverständigen für Baustatik beigelegt werden. (Bescheinigung nach § 12 Abs. 1 SV-VO über die Prüfung der Standsicherheit.) Hierzu werden Hinweise in Anlage II „Vorschlag für eine Vollzugshilfe zur Prüfung eines Sicherheitsberichtes (SiB) gem. Störfall-Verordnung in Bezug auf die Gefahrenquellen Hochwasser, Sturm, Erdbeben und Bergsenkungen“ gegeben.

## 9.6 Hochwasserschutzanlagen (Flussdeiche)

Die Hochwasserschutzanlagen an Flüssen bestehen hauptsächlich aus Flussdeichen und ihren ggf. vorhandenen Einbauten, wie Sieldurchlässe, Schleusen, Deichtore sowie aus Mauern und neuerdings u.U. ergänzt durch mobile Schutzelemente. Im nachfolgenden Abschnitt werden die Besonderheiten bei Flussdeichen unter bergbaulichen Einwirkungen behandelt. Grundlage der Ausführungen ist der Beitrag von K. Kast und J. Brauns „Auswirkungen des Bergbaus auf Hochwasserschutzanlagen am Niederrhein“ veröffentlicht im Sonderheft 2/03: „*Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement*“ erschienen im Ernst & Sohn Verlag.

### 9.6.1 Einwirkungen

Die bergbaulichen Einwirkungen im Allgemeinen wurden bereits in Abschnitt 9.1 eingehend behandelt. Bei Flussdeichen ist deren Zusammenwirken mit dem Untergrund zu betrachten. Deiche stehen in der Regel auf tiefreichend durchlässigem Untergrund, wobei das unmittelbare "Deichlager" oft durch eine mehr oder weniger dicke Flutlehmdede gebildet wird. Der Untergrund darunter wird meist durch körnige, also sandig-kiesige Schichten gebildet. Im Übrigen bestehen die Deichkörper selbst – jedenfalls nach den heute geltenden Entwurfsprinzipien – aus dichtenden, stützenden und dränierenden Querschnittselementen (**Abbildung 9.6.1.1**).



**Abbildung 9.6.1.1: Deichregelprofil, Schema**

Von den bergbaulichen Einwirkungen auf den Deichuntergrund und auf den Deichkörper sind verständlicherweise die Zerrungen besonders relevant, da hieraus Risse, in extremen Sonderfällen auch Spalten und Erdstufen entstehen können.

## 9.6.2 Stand der relevanten Vorschriften

Ergänzend zu den im Abschnitt 9.2 aufgeführten Rechtsvorschriften und Regelwerken ist der Neubau, die Sanierung, die Unterhaltung, Überwachung und Verteidigung von Flussdeichen ohne Tideeinfluss in DIN 19712 Flussdeiche (November 1997) geregelt. Einziger Bezug im Normenwerk zum Thema Bergsenkungen findet sich im Absatz 16.4 **Aufhöhung, Verstärkung, Verbreiterung**

*Bei kleineren Wasserläufen in Bergsenkungsgebieten kann einer unerwünschten Verbreiterung des absinkenden Gewässerquerschnitts durch Aufhöhung der wasserseitigen Böschung entgegengewirkt werden*

Ansonsten wird die Thematik Bergsenkungen in DIN 19 712 nicht behandelt.

## 9.6.3 Maßnahmen zur Deichsicherung in Bergsenkungsgebieten

### 9.6.3.1 Planungstechnische Maßnahmen

Die vorausschauenden Planungen und Maßnahmen zum Schutz von Flussdeichen in Bergsenkungsgebieten sind beim Hochwasserschutz von zentraler Bedeutung. Übliche Zeithorizonte für Planungen und Maßnahmen (vor Abbaubeginn) mit jeweils unterschiedlichem Detaillierungsgrad sind nachstehend aufgeführt.

Jahre	Planung und Maßnahmen
20	Machbarkeitsstudien zur Sicherstellung des Hochwasserschutzes
10	vorausschauende abbaubedingte Hochwasserschutzplanungen
5	bergbaubedingte Deichsanierungsplanungen
2	Umsetzung der erforderlichen Baumaßnahmen
1	Detailanpassungen der Hochwasserschutzelemente und der Überwachungsmaßnahmen an laufende bergbauliche Sonderbetriebspläne

Maßgebend für die Planungen ist der amtlich vorgegebene Bemessungswasserabfluss, aus dem ortsspezifisch der Bemessungswasserstand abgeleitet wird.

Während bergbaulicher Aktivitäten werden die prognostizierten bergbaulich hervorgerufenen Verformungen entlang der Deichstrecken messtechnisch und durch Inaugenscheinnahme verfolgt. Aufgrund der Prognosen sowie der Messungen und Beobachtungen können insbesondere die Bereiche, in denen größere Zerrungen auftreten, die u. U. mit unstetigen Deformationen verbunden sein können, identifiziert werden.

Zur messtechnischen Verfolgung der Bewegungen dienen in erster Linie Vermarkungen, die vorwiegend auf der Deichkrone in regelmäßigen Abständen installiert sind und mit denen nicht nur die Bergsenkungen, sondern auch die Längenänderungen in Richtung Deichachse verfolgt werden. Zur visuellen Beobachtung der Zerrungen bzw. Stauchungen kann man auf die bei modernen Deichen vorhandenen Wegbefestigungen auf der Deichkrone bzw. auf dem Deichverteidigungsweg zurückgreifen, der heute bei allen Ertüchtigungsmaßnahmen vorgesehen wird. Messungen werden in angemessenem Rhythmus durchgeführt, ausgewertet und den Hoch-

wasserschutzpflichtigen sowie der für den Hochwasserschutz zuständigen Aufsichtsbehörde berichtet. Die sich aus den markscheiderischen Prognosen ergebenden Zonen mit zu erwartenden verstärkten Zerrungen ( $> 2\%$ ) werden besonders überwacht.

### 9.6.3.2 Schäden und Instandsetzung

Offene Risse in Deichkörpern und im unmittelbaren Vor- und Hinterland von Deichen sind selbstverständlich unerwünscht, da sie im Falle eines anschließend auflaufenden Hochwassers eine Wasserwegigkeit mit entsprechender Erosionsgefahr darstellen. Die begrenzte Festigkeit der Erdstoffe führt in der Regel dazu, dass offen klaffende Spalten nur auf eine gewisse Tiefe frei stehen können. Unterhalb bestimmter Tiefe ist die Auflast aus dem Bodengewicht so groß, dass eine senkrechte Erdwand ohne Stützung nicht standfest ist, ein Klaffungsriss sich also von selbst schließt.

Ein rein körniger, nicht kohäsiver Erdstoff kann senkrecht überhaupt nicht frei stehen. Es ist dazu eine Kohäsionsfestigkeit erforderlich, die nur sogenannte bindige oder sonst wie verbackene Materialien aufweisen. Im feuchten Zustand weisen rein körnige Böden allerdings eine gewisse sogenannte "scheinbare" Kohäsion auf (diese durch Kapillarwirkung bedingte Kohäsion verschwindet bekanntlich bei Austrocknung des Bodens – z.B. eines Sandes – und bei Flutung mit Wasser). Für einen mittelplastischen Boden ergeben sich beispielsweise Spalten mit einer freien Standhöhe von ca. 3 m, die sich durch bautechnische Reparaturmaßnahmen gut beherrschen lassen.

Höherplastische Erdstoffe, soweit sie für Deichdichtungen eingesetzt werden, ermöglichen freistehende Spalten von einigen Metern Tiefe. Auch die zu Deichbauzwecken im Ruhrraum eingesetzten Waschbergematerialien, die mittels Verbacken mit der Zeit Kohäsion entwickeln, können bei entsprechender Zerrung auf gewisse Tiefen klaffende Risse entwickeln.

Die unter den genannten Voraussetzungen in beteiligten Bodenzonen mit Kohäsion unter ausgeprägten bergbaulichen Zerrungen in Oberflächennähe möglichen klaffenden Risse können für Deiche prinzipiell in zweierlei Weise schädlich werden:

- **Risse in Querrichtung durch den Deich infolge Zerrungen längs zur Deichachse**

Im Hochwasserfall können Wasserdurchtritte erfolgen, die ab gewisser Rissweite zu progressiven Erosionen und somit zur Gefahr werden können.

- **Risse parallel zur Deichachse in den bindigen (Flutlehm-) Deckschichten beim wasserseitigen und luftseitigen Deichfuß infolge Zerrungen quer zur Deichachse**

Solche Risse erlauben im Hochwasserfall einen ungemilderten Zutritt von Stauwasser in den durchlässigen Untergrund und einen Austritt dieses Wassers luftseitig des Deiches zur Geländeoberfläche; hierdurch wird der Sickerweg zum Abbau des Staupotentials im körnigen, u.U. erosionsanfälligen (Feinsand-) Untergrund verkürzt, wodurch Untergrunderosionen (Piping) begünstigt werden.

Auftretende klaffende Risse werden fortlaufend erhoben, dokumentiert, im Hinblick auf die bergbauliche Unterbauung bewertet und vor der nächsten Hochwasserperiode fachmännisch unter Begleitung des Fachamtes der Aufsichtsbehörde repariert. Dies gilt sowohl für – in Bezug auf die Deichachse – Längs- und Querrisse im Deichkörper, sowie für Rissbildungen im Vor- und Hinterland im Nahbereich der Hochwasserschutzeinrichtung (z.B. in einem 50 m-Streifen). Dies erfolgt in der Regel durch Aufgrabung und Beseitigung des Schadens (**Abbildung 9.6.3.2.1**).



**Abbildung 9.6.3.2.1:** Risse als Folge größerer bergbaulich bedingter Zerrungen (links) und ihre Beseitigung durch Aufgrabung und Wiederbefüllung (rechts).

In Bereichen, für die aus den markscheiderischen Prognosen bedeutsame Längszerrungen (etwa  $> 3\%$ ) für Zeiten ausgewiesen werden, die in Hochwasserzeiträume fallen, und in denen der stützende Teile des Deichkörpers aus kohäsivem bzw. verbackenem Material geschüttet ist, werden vielfach im Kronenbereich vorsorglich Zerrungssicherungselemente eingebaut. Die dabei erforderliche Schutztiefe richtet sich nach der Beanspruchungshöhe (prognostiziertes Zerrungsmaß) sowie der Geometrie und dem Aufbau des Deichkörpers (Deichhöhe, Kronenbreite, Stützkörpermaterial, Dränzonen). Als zuverlässige Zerrungssicherungselemente kommen z. B. Stahlspundwände in Frage, deren Eignung für die vorliegende und ähnliche Problemstellungen durch entsprechende Belastungsversuche ausreichend untersucht ist.

### 9.6.4 Zusammenfassung

Nach Aussage aller am Hochwasserschutz Beteiligten (Bergbauplanung, Bergamt, Fachamt für Hochwasserschutz und die Aufsichts- und Genehmigungsbehörden sowie beigezogenen Planern und Fachgutachtern) hat sich in der Vergangenheit das System mit betriebsplangemäßer Senkungsprognose, Anpassungsplanung und -ausführung unter den Beteiligten eingespielt und bewährt.

## 9.7 Ausgewählte Modellregion Chemiepark Marl

### 9.7.1 Auswahlkriterien

Im Rahmen des Vorhabens war in einer Modellregion zu untersuchen und darzulegen, welche Auswirkungen sich durch Bergsenkungen bei Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung ergeben und mit welchen technischen Maßnahmen die Betreiber solcher Anlagen diese in einem sicheren Zustand halten und betreiben.

Des Weiteren war zu ermitteln, mit welchen Maßnahmen Bergwerksbetreiber mögliche sich negativ auswirkende Senkungen in Industriegebieten reduzieren bzw. verhindern und welche Vereinbarungen diesbezüglich zwischen Übertage- und Untertagebetreibern – unter Überwachung und Einbeziehung der zuständigen staatlichen Stellen, i.d.R. den Bergämtern – getroffen werden.

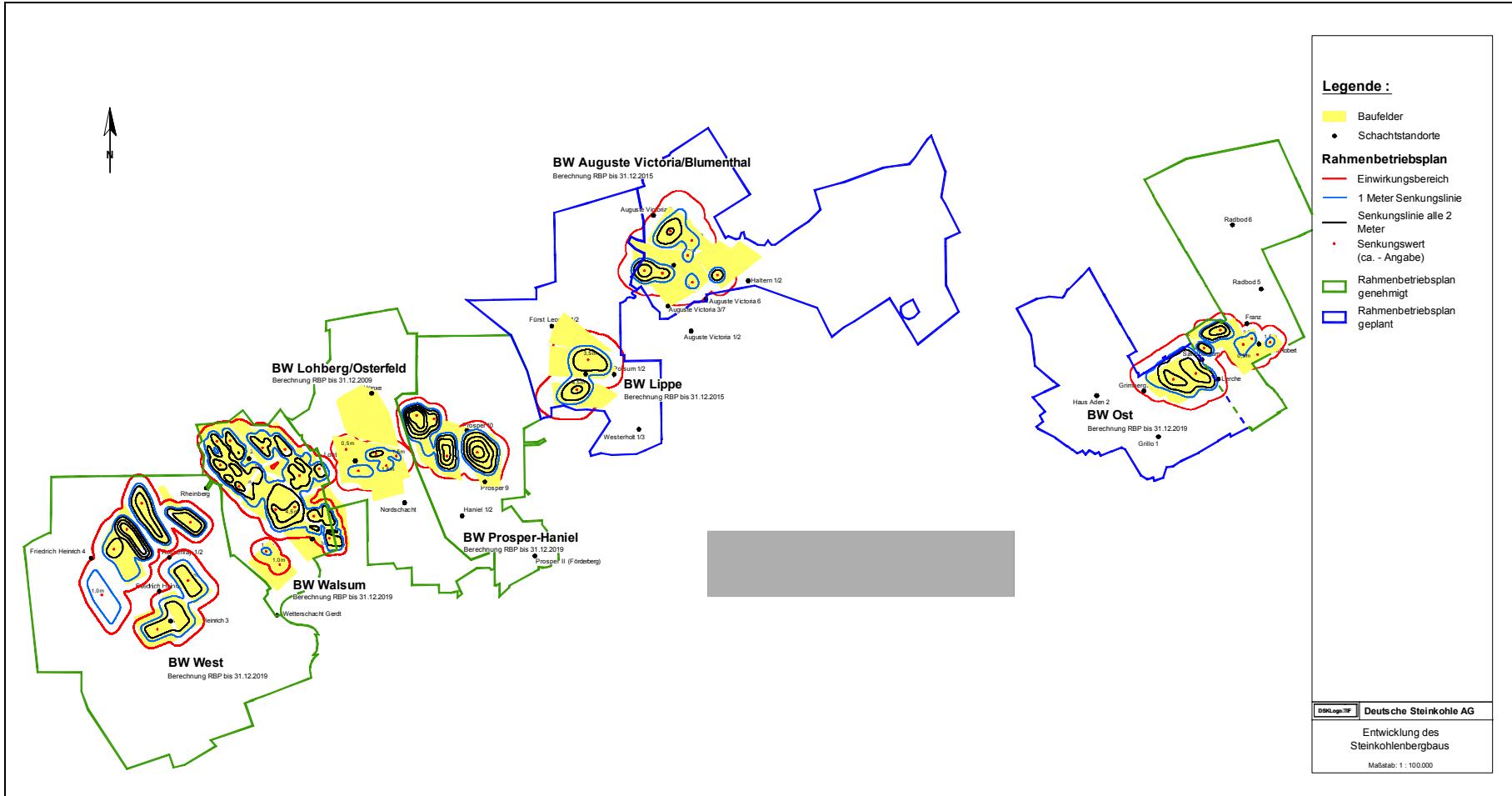
Die Überprüfung der Datenlage in Nordrhein-Westfalen ergab, dass eine übergreifende Kartierung oder Rasterdarlegung hinsichtlich der Steinkohle-Abaugebiete nach den genehmigten sowie beantragten Rahmenbetriebsplänen mit sich überschneidenden Obertrage-Betriebsbereichen nach der StörfallIV und Anlagen nach § 19g WHG nicht vorhanden war.

Die Deutsche Steinkohle AG stellte freundlicherweise das Kartenmaterial der Rahmenbetriebspläne mit den prognostizierten Senkungslinien zur Verfügung (**Abbildungen 9.7.1.1 und 9.7.1.2**). Da von annähernd allen Anlagen mit sicherheitsrelevanten Stoffen in Nordrhein-Westfalen Daten über Stoffe und Stoffmengen sowie Rechts- und Hochwerte nach dem Gauss-/Krügerkoordinatensystem beim Landesamt für Umweltschutz zur Verfügung standen, wurde eine Auswahl von ca. 180 Betriebsbereichen, welche unter die StörfallIV fallen, getroffen. Entsprechend diesen Daten wurde anschließend nach unseren Vorgaben von der Abteilung „Bergbau und

Energie in NRW“ der Bezirksregierung Arnsberg (ehemaliges Landesoberbergamt NRW) ein Raster der Betriebsbereiche gemäß StörfallIV über eine Karte mit Eintragungen der Bergaugebiete und Darstellung der einzelnen zugeordneten Senkungsnüllränder gelegt (**Abbildung 9.7.1.3** und **9.7.1.4**). Es zeigte sich, dass nur eine geringe Anzahl von Betriebsbereichen innerhalb der tatsächlichen bzw. vorgesehenen Abaugebiete liegen.

Die Namen der betroffenen Betreiber konnten aus rechtlichen Gründen nicht in diese Karten übernommen werden, so dass die Eintragungen mit den zugehörigen ATs-Nummern erfolgten.

Aufgrund seiner vielfältigen Anlagenstrukturen wurde als geeignetste Modellregion der Chemiepark Marl (Chemiepark/Ats Nrn. u.a. 152577 und 563967) im Bergaugebiet Auguste Victoria / Blumenthal ausgewählt.



**Abbildung 9.7.1.1:** Durch die Entwicklung des Steinkohlenbergbaus erwartete Bergsenkungen

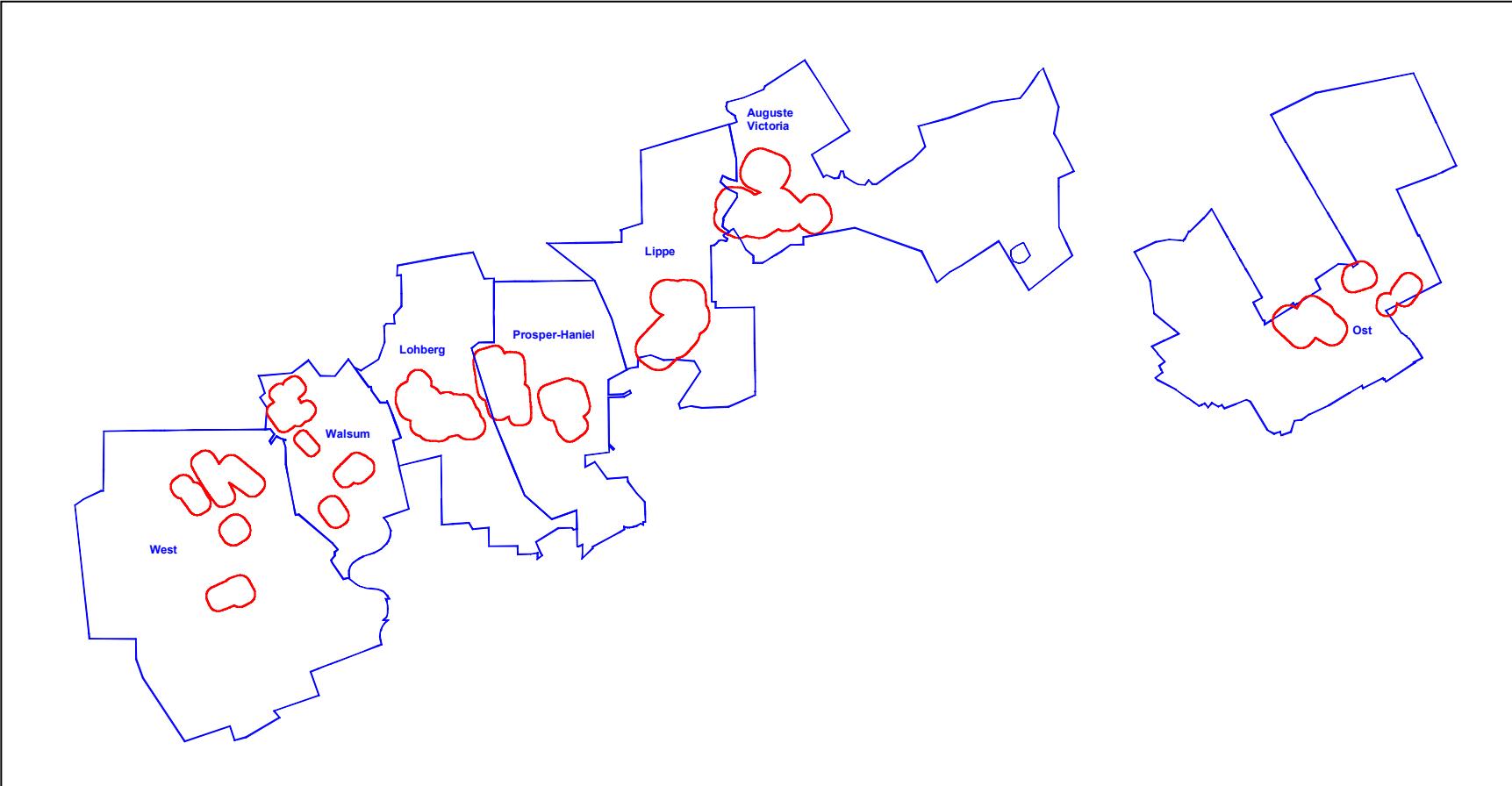


Abbildung 9.7.1.2: Senkungslinien gemäß Rahmenbetriebsplänen

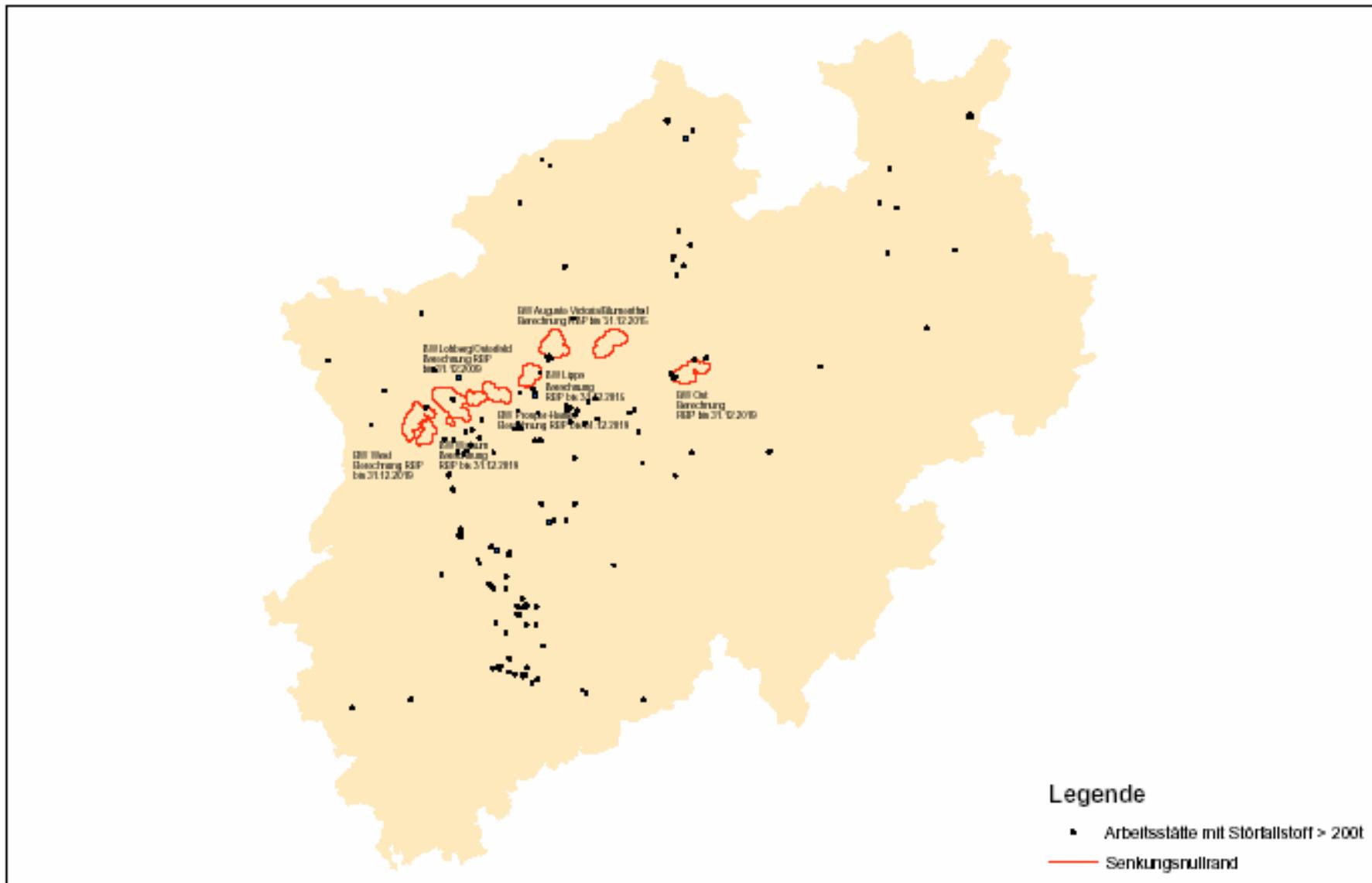


Abbildung 9.7.1.3: Betriebsbereiche mit Stoffen nach StörfallV > 200 t und Senkungsnullrändern (I)

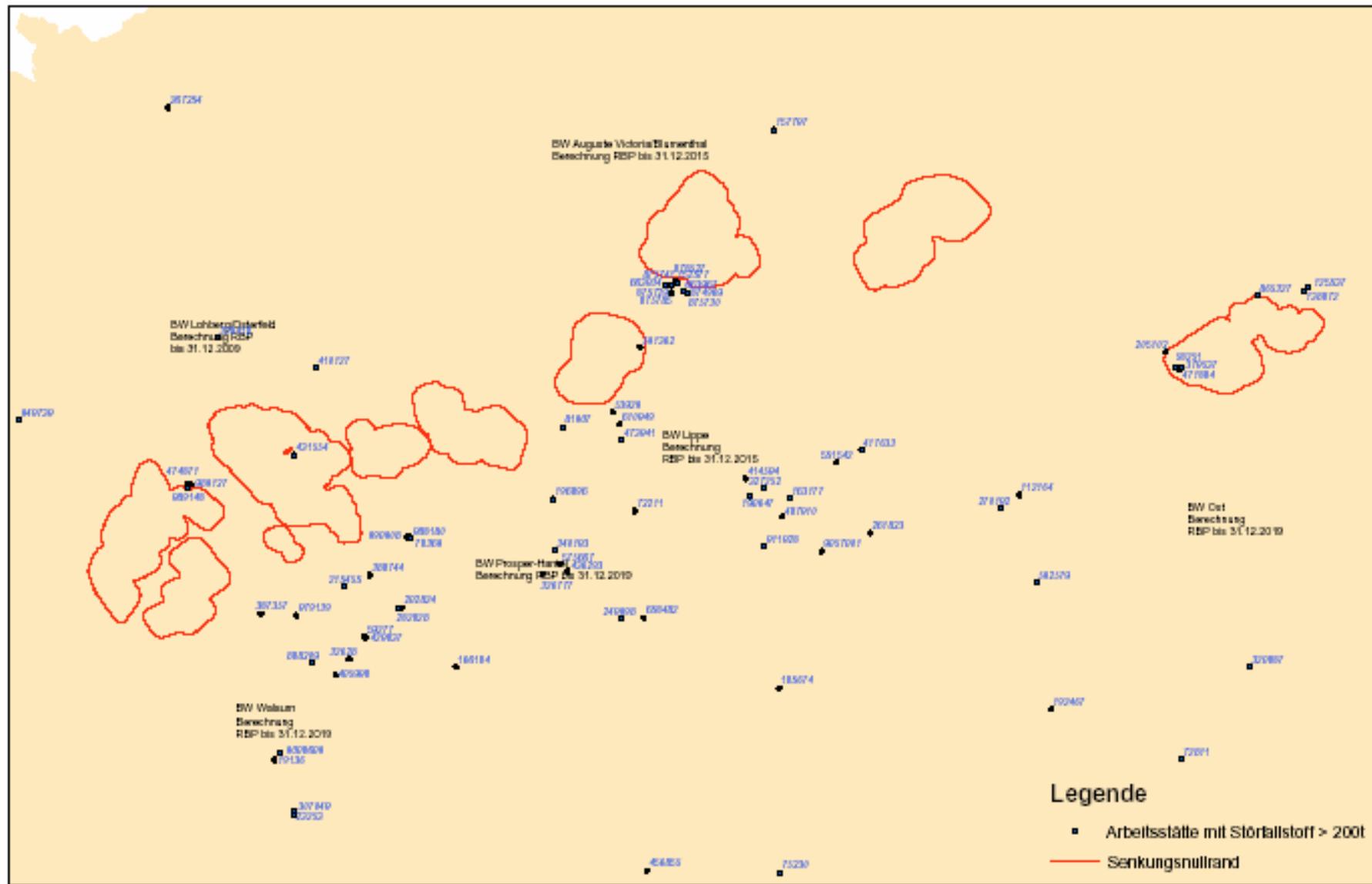


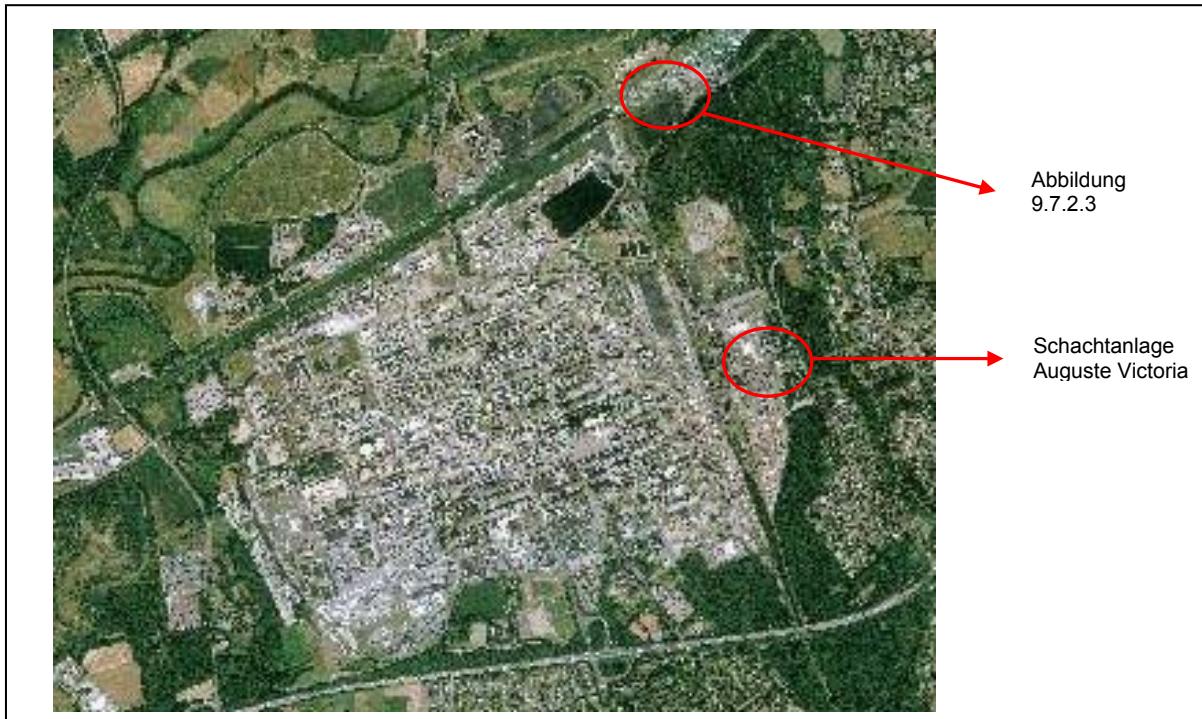
Abbildung 9.7.1.4: Betriebsbereiche mit Stoffen nach StörfallV > 200 t und Senkungsnullrändern (II)

### 9.7.2 Der Chemiepark Marl

Der Chemiepark Marl im nördlichen Ruhrgebiet ist Sitz 30 verschiedener Unternehmen insbesondere einer größeren Anzahl der Degussa AG. Auf einem Areal von ca. 6,5 km<sup>2</sup> arbeiten heute rund 10.500 Menschen im Chemiepark (**Abbildungen 9.7.2.1** und **9.7.2.2**). Im Chemiepark fallen 11 Betriebsbereiche unter die erweiterten Pflichten und 1 Betriebsbereich unter die Grundpflichten der Störfall-Verordnung.



**Abbildung 9.7.2.1:** Chemiepark Marl



**Abbildung 9.7.2.2:** Luftbild des Chemieparks Marl

Das Areal des Chemieparks liegt in unmittelbarer Nachbarschaft des Schachtes Auguste Victoria 3/7 des Verbundbergwerks Auguste Viktoria/Blumenthal der Deutschen Steinkohle AG DSK. Als der Industriestandort Marl mit Gründung der Chemischen Werke Hüls GmbH im Jahr 1938 im nördlichen Ruhrgebiet an der Lippe auf der grünen Wiese entstand, war der Bergbau in dieser Region bereits seit ungefähr 40 Jahren aktiv. Obwohl aufgrund des damaligen Kohleabbaus keine unmittelbaren Auswirkungen auf das Werksgelände zu erwarten waren, wurden dennoch vorsorglich umfangreiche Vorkehrungen – meist in Form von konstruktiv durchgebildeten Zerrplatten – zur Aufnahme der Beanspruchungen aus möglichen Bergsenkungen getroffen.

Mit der Teufung neuer Schächte in den 60er Jahren führten die verstärkten bergbaulichen Tätigkeiten in dieser Region in den östlichen Randbereichen des Werkareals zu Bergsenkungen in einer Größenordnung von 6 – 8 m, die Mitte der 70er Jahre im Wesentlichen abgeklungen waren.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sieht ein noch nicht genehmigter Rahmenbetriebsplan den Abbau weiterer Kohleflöze in dieser Region bis zum Jahr 2015 vor. Im Zuge dieser geplanten Abbautätigkeiten sind Senkungen von bis zu 6,5 m nicht auszu-

schließen (siehe Abbildung 9.7.1.1). Entsprechend dem vorgelegten Rahmenbetriebsplan liegt der Chemiepark Marl an der Grenze des Einwirkungsbereichs.

Die Besonderheit des Standortes, die unmittelbare Nähe von Chemiepark und Bergwerk, hat schon frühzeitig zu einer Sensibilisierung des Anlagenbetreibers für das Thema Bergsenkungen beigetragen. Aus diesem Grund wurden zur Sicherung von Anlagen und Gebäuden gegen Einwirkungen aus dem Bergbau auf Grundlage der vom Fachnormenausschuss für Bauwesen aufgestellten Richtlinien für die *Ausführung von Bauten im Einflussbereich des untertägigen Bergbaus* eigene werksinterne Standards (Hüls-Normen; VEBA-Normen) entwickelt. Diese sind für andere Gesellschaften nicht frei verfügbar.

Vor ungefähr 30 Jahren wurde eine feste Kommission ins Leben gerufen, in der mindestens einmal jährlich ein Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen Anlagenbetreiber und Bergbautreibenden stattfand. In dieser Runde wurden u.a. die zu erwartenden bergbaulichen Einwirkungen auf die baulichen Anlagen des Chemieparks und mögliche präventive Maßnahmen erörtert. Seitdem Anlagenbetreiber und Bergbautreibender (DSK) zu einem Konzern gehören findet ein ständiger Informationsaustausch zwischen Betreibern der Anlagen und Vertretern der DSK statt.

Es existieren Messprogramme, nach denen öffentlich bestellte Vermesser (vormals VEBA) entsprechende Untersuchungen durchführen. Im Süd-Osten des Geländes sind die Senkungen vollkommen abgeklungen. Der Nord-Osten befindet sich z.Zt. in einer Phase des Abklingens mit zu erwartenden Setzungen von < 10 cm über ein bis 3 Jahre.

Die nachfolgend aufgeführten Beispiele zeigen eine Auswahl von in der Vergangenheit durch den Betreiber der Anlage getroffenen Maßnahmen, welche die Standsicherheit sensibler Anlagenbereiche bei Einwirkungen aus Bergsenkungen (Schieflistung, Zerrungen, Pressungen usw. ) gewährleisten sollen.

**Abbildung 9.7.2.3 und 9.7.2.4** zeigen Kugeln im Kugeltanklager II des Chemieparks Marl zur Aufnahme von Flüssiggasen. Das Kugeltanklager II befindet sich im Nordosten des Chemieparks. In diesem Bereich wurden in der Vergangenheit Bergsenkungen von bis zu 8 m festgestellt. Im vorliegenden Fall wurde zur Vermeidung einer zusätzlichen Beanspruchung der Kugelbehälter durch Kräfte infolge eingeprägter Bodenverschiebungen aus Bergsenkungen die Behälter im unteren Bereich schwimmend auf eine Schale gelegt. Durch die Trennung von Unterkonstruktion und Behälter ist sichergestellt, dass mögliche durch Bergsenkungen auftretende Krafteinwir-

kungen nur in die Unterkonstruktion eingeleitet werden. Durch diese konstruktive Maßnahme ist die Funktionsfähigkeit der Behälter sichergestellt.



**Abbildung 9.7.2.3:** Kugeltanklager mit sogenannter Eierbecherfundamentierung im Chemiepark Marl.



**Abbildung 9.7.2.4:** Kugeltanklager II des Chemieparks Marl

Bei anderen Kugelbehältern, die konventionell auf Stützen stehen, ist durch die Vorrichtung einer Hydraulik-Ringleitung die Möglichkeit einer Nachjustierung gegeben. In den Stützenfüßen fest installierte Dehnmessstreifen erfassen alle Bewegungen der Kugelbehälter. Auf der Grundlage dieser ständigen Überwachung (Monitoring) werden im Bedarfsfall an die Ringleitung Hydraulik-Stempel angeschlossen, mit denen dann einzelne Stützen gezielt angehoben werden können.

Neben diesen besonderen Sicherungsmaßnahmen gegen Einwirkungen aus Bergsenkungen sind – wie bereits erwähnt – alle baulichen Anlagen auf sogenannten Zerrplatten gegründet. Diese sind konstruktiv so ausgebildet, dass die im Boden auftretenden waagerechten Zerrungs- und Pressungskräfte von der Bodenplatte aufgenommen und nicht in die oberhalb der Zerrplatte befindliche Konstruktion eingeleitet werden. Auch bei sensiblen Neubauten im östlichen Bereich werden, obwohl die Senkungen weitgehend abgeklungen sind, stets solche Zerrplatten vorgesehen. Darüber hinaus wurde durch eine sinnvolle Fugenanordnung bei Bauwerken und durch Einbau geeigneter Kompensatoren, z.B. bei Rohrleitungssystemen, die Beanspruchung minimiert.

Für den Industriepark liegen alle erforderlichen Sicherheitsberichte (§ 29 a BImSchG geprüft) und ein Alarm- und Gefahrenabwehrplan sowie desweiteren ein spezieller Katastrophenschutzplan vor. Das im Chemiepark Marl praktizierte Sicherheitskonzept gegen Bergsenkungen hat in der Vergangenheit, wie uns vom Betreiber versichert wurde, zu keinen Standsicherheitsproblemen aufgrund von Bergsenkungen geführt.

## 9.8 Zusammenfassung

Im Kapitel 9 wurden die Einwirkungen infolge von Bodensenkungen aus untertägigem Bergbau auf Bauwerke allgemein sowie insbesondere auf Betriebsbereiche in der Bundesrepublik Deutschland erörtert. Die zu erwartenden Bodenbewegungen werden von Bergbautreibenden ermittelt, welche anschließend von den zuständigen Bergbehörden unabhängig überprüft werden. Art und Umfang der Sicherung einer baulichen Anlage gegen bergbauliche Einwirkungen werden dann im gegenseitigen Einvernehmen allein vom Bergbautreibenden und dem Betreiber einer baulichen Anlage festgelegt.

---

Die zu erwartenden Bodenbewegungen werden vom Bergbautreibenden ermittelt und dessen Ergebnisse werden anschließend von den zuständigen Bergbehörden unabhängig überprüft. Art und Umfang der Sicherung einer baulichen Anlage gegen bergbauliche Einwirkungen werden dann im gegenseitigen Einvernehmen vom Bergbautreibenden und dem Betreiber einer baulichen Anlage festgelegt.