

WG Heave Phenomena – Insights, Knowledge Transfer, Research Topics, Results

Even before the Act on the Financing of the Phase Out of Subsidised Hard Coal Mining came into force at the end of 2018, the effects of mine flooding on mining damage were increasingly becoming the focus of public attention. In order to pool knowledge on the possible effects of mine flooding on the surface in advance, the working group “Heave phenomena due to mine and groundwater rise” was estab-

lished on 14th September 2006 by a resolution of the board and the advisory board of the Deutscher Markscheider-Verein e.V.. The working group (www.dmv-ev.de/arbeitskreise/bodenbewegungen.html) is made up of representatives from active mining companies, rehabilitation mining, mining administrations, universities and specific institutions.

AK Hebungerserscheinungen – Erkenntnisse, Wissenstransfer, Forschungsthemen, Ergebnisse

Bereits vor dem Inkrafttreten des Gesetzes zur Finanzierung der Beendigung des subventionierten Steinkohlenbergbaus zum Jahresende 2018 rückten die bergschadenkundlichen Auswirkungen der Flutung der Bergwerke verstärkt in den öffentlichen Fokus. Um schon im Vorfeld das Wissen zu den möglichen Auswirkungen der Grubenflutungen auf die Tagesoberfläche zu bündeln, wurde am 14. September 2006 durch einen Beschluss des Vor-

stands und des Beirats des Deutschen Markscheider-Verein e.V. der Arbeitskreis „Hebungerscheinungen infolge von Gruben- und Grundwasseranstieg“ ins Leben gerufen. Der Arbeitskreis (www.dmv-ev.de/arbeitskreise/bodenbewegungen.html) setzt sich aus Vertretern der aktiven Bergbauunternehmen, des Sanierungsbergbaus, der Bergverwaltungen, der Hochschulen und spezifischer Institutionen zusammen.

1 Working group “Heave phenomena due to mine and groundwater rise”

Following the foundation of the working group “Uplift phenomena due to mine and groundwater rise” (AK Hebungerscheinungen) by the Deutscher Markscheider-Verein e. V. (DMV), the current state of knowledge and understanding of the issue of flood-induced uplift and its effects was initially focussed on. From the outset, the exchange of information and experience was at the centre of the work.

Initially, the effects of mine water uplift processes and sump measures in the

- Döhlen Basin,
- Uranium ore mining Schlema-Alberoda,
- Ruhr mining district,
- Lusatian and Central German lignite mining district,
- Rhenish lignite mining district

were dealt with. This also included major planning projects such as the construction of the Emscher wastewater canal.

In 2008, the North Rhine-Westphalian mining authority presented a monitoring concept for the phase following the closure of coal mining in the Ruhr, whereby a discontinuity register is being set up to

1 Arbeitskreis „Hebungerscheinungen infolge von Gruben- und Grundwasseranstieg“

Nach der Gründung des Arbeitskreises „Hebungerscheinungen infolge von Gruben- und Grundwasseranstieg“ (AK Hebungerscheinungen) durch den Deutscher Markscheider-Verein e. V. (DMV) wurden zunächst der aktuelle Erkenntnis- und Wissensstand zur Frage der flutungsbedingten Hebungen und deren Auswirkungen in den Blick genommen. Von vornherein stand der Informations- und Erfahrungsaustausch im Zentrum der Arbeit.

So wurden anfänglich die Auswirkungen von Grubenwasseranstiegsprozessen und Sumpfungmaßnahmen im

- Döhlener Becken,
- Uranerzbergbau Schlema-Alberoda,
- Ruhrrevier,
- Lausitzer und Mitteldeutschen Braunkohlenrevier,
- Rheinischen Braunkohlenrevier

behandelt. Dazu gehörten auch große Planvorhaben wie der Bau des Emscher-Abwasserkanals.

Im Jahr 2008 stellte die Bergbehörde Nordrhein-Westfalen ein Monitoringkonzept für die Phase nach Einstellung des Steinkohlen-

identify possible critical areas. Since 2014, the focus has been on the concept developed in North Rhine-Westphalia and the Saarland for the long-term optimisation of mine dewatering. Legal aspects of mine and groundwater rises have also been discussed. Other issues such as the stability of backfilled shafts and near-surface mining under the influence of flooding were also discussed.

In addition to the classic measurement methods, the possibilities of monitoring the surface using radar interferometry are also being discussed intensively and critically. Monitoring results from the Königsborn and Warndt mines and the French coal mines are reported on in this context. The findings from the flooding processes in the Schlema-Alberoda and Dresden-Gittersee uranium ore mines are given a great deal of attention. Furthermore, information is regularly provided on the uplift phenomena in the vicinity of the flooded or flooding open-cast lignite mines in the Lusatian and Central German lignite mining areas. Topics such as the slope movement in the Nachterstedt opencast mine and the results of levelling in the Rhineland, where overlapping groundwater subsidence and mine water rises occur, are also discussed.

In view of the imminent termination of coal mining in the Ruhr, the working group intensively discussed the operating plan procedure for mine water rises and the special issues relating to mine surveying. From 2010/2011, monitoring methods, multi-sensor data and GIS-based modelling have become increasingly important in the work of the working group when monitoring changes in ground level.

The findings of this working group were incorporated into the development of mine-specific heave models, which were presented and intensively discussed in the AK Hebungerscheinungen.

In addition, the members have published the knowledge gained in the working group in many publications in specialist journals as authors or co-authors as well as in dissertations.

The working group also deals with similar topics outside of mining. Information, e.g., was gathered on site about the uplift caused by geothermal drilling in Staufen im Breisgau and the ground movement problems in Lüneburg as a result of salt extraction. Other topics were and are the results of the various ground movement services of the surveying authorities and the Federal Institute for Geology and Natural Resources.

The working group sees itself as a platform for information and discussion of current findings on ground movements as a result of mine water rises and promotes the exchange of experience and knowledge on the use of new measurement methods and technologies.

Through regular meetings, the members of the working group are always informed about the current status on the topics of ground movements during mine flooding and their monitoring as well as the necessary authorisation procedures and can contribute the knowledge gained to the respective institutions and companies.

In the following, the findings from the former Erkelenz coalfield, salt extraction in Lüneburg and the former uranium ore mine in Schlema-Alberoda are presented as examples of the uplift problem.

2 Work examples of the AK Hebungerscheinungen

2.1 Findings from the Erkelenz hard coalfield

Following the closure of hard coal mining in the Heinsberg district of North Rhine-Westphalia in 1997, ground movement anomalies occurred on the surface over a distance of around 9 km in the fol-

bergbaus an der Ruhr vor, wobei zwecks Identifizierung möglicher kritischer Bereiche ein Unstetigkeitskataster aufgebaut wird. Seit 2014 steht das in Nordrhein-Westfalen und im Saarland erarbeitete Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung im Fokus. Diskutiert wurden und werden auch rechtliche Aspekte des Gruben- und Grundwasseranstiegs. Es kamen weitere Problemstellungen wie die Standsicherheit verfüllter Schächte und unter Flutungseinfluss geratender tagesnaher Bergbau hinzu.

Neben den klassischen Messverfahren wird auch intensiv und kritisch über die Möglichkeiten der Überwachung der Tagesoberfläche mit Hilfe der Radarinterferometrie diskutiert. Über Monitoringergebnisse im Bereich der Bergwerke Königsborn und Warndt sowie der französischen Steinkohlenbergwerke wird in diesem Zusammenhang berichtet. Breiten Raum nehmen die Erkenntnisse aus den Flutungsprozessen der Uranerzgruben Schlema-Alberoda und Dresden-Gittersee ein. Weiterhin wird regelmäßig über die Hebungerscheinungen im Umfeld der gefluteten bzw. in Flutung befindlichen Braunkohlentagebaue des Lausitzer und Mitteldeutschen Braunkohlenreviers informiert. Es werden auch Themen wie die Böschungsbewegung im Tagebau Nachterstedt und die Ergebnisse der Leitnivelements im Rheinland, wo Überlagerungen von Grundwasserabsenkungen und Grubenwasseranstiegen auftreten, diskutiert.

Im Hinblick auf die sich abzeichnende Beendigung des Steinkohlenbergbaus an der Ruhr erörterte der Arbeitskreis intensiv das Betriebsplanverfahren bei Grubenwasseranstiegen sowie die besonderen markscheiderischen Fragestellungen. Ab 2010/2011 nehmen bei der Arbeit des Arbeitskreises Monitoringverfahren, multisensorale Daten und GIS-gestützte Modellierungen bei der Überwachung von flächenhaften Höhenänderungen einen immer breiteren Raum ein.

Die Erkenntnisse dieses Arbeitskreises gingen in die Entwicklung der bergwerksspezifischen Hebungsmodele ein, die im AK Hebungerscheinungen vorgestellt und intensiv diskutiert wurden.

Zudem haben die Mitglieder die im Arbeitskreis erworbenen Erkenntnisse in vielen Publikationen in den Fachzeitschriften als Autoren oder Co-Autoren sowie in Dissertationen veröffentlicht.

Der Arbeitskreis befasst sich auch mit ähnlich gelagerten Themen außerhalb des Bergbaus. So informierte man sich vor Ort über die in Staufen im Breisgau durch Geothermiebohrungen ausgelösten Hebungen sowie die Bodenbewegungsprobleme in Lüneburg infolge der Salzgewinnung. Weitere Themen waren und sind die Ergebnisse der verschiedenen Bodenbewegungsdienste der Vermessungsverwaltungen und der Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe.

Der Arbeitskreis versteht sich als Plattform für Informationen und Diskussionen aktueller Erkenntnisse zu Bodenbewegungen infolge von Grubenwasseranstiegen und fördert den Erfahrungs- und Wissensaustausch über den Einsatz neuer Messverfahren und -technologien.

Durch die regelmäßigen Treffen sind die Mitglieder des Arbeitskreises immer über den aktuellen Stand zu den Themen der Bodenbewegungen bei Flutung von Bergwerken und deren Monitoring sowie zu erforderlichen Genehmigungsverfahren informiert und können die gewonnenen Erkenntnisse in die jeweiligen Institutionen und Unternehmen einbringen.

Nachfolgend werden beispielhaft für die Hebungssproblematik Erkenntnisse aus dem ehemaligen Erkelenzer Steinkohlenrevier, der Salzgewinnung in Lüneburg und des ehemaligen Uranerzbergbaus in Schlema-Alberoda dargestellt.

lowing years, in some cases causing massive damage to buildings, which, according to extensive research, could be attributed to the rise of mine water in the area of the abandoned mine. (1)

The evaluation of regional water level and elevation data initially revealed that the abandonment of underground dewatering had led to large-scale changes in elevation at the surface with uplifts of up to 0.3 m. In the course of further investigations, which also included the results of specially designed measurement observations, findings were finally obtained that contribute to a better assessment of possible damage potential in the context of other mine closures and, if necessary, to the early recognition of specific problems. (1)

In particular, it should be noted that the ground heave extends beyond the area of the former subsidence zone, with discontinuities also developing away from former problem zones and outside the former impact area (Figure 1). In relation to the relatively small absolute changes in height, a high intensity of damage has been recorded in the area of the slowly but continuously developing ground levels, which has led to a loss of substance in buildings as well as damage to transport routes and pipework systems in several localities. Subsequent safety measures could no longer be realised everywhere due to the advanced development of the damage in some cases. (1)

Although, depending on the hydro-geological conditions, not every mining area can be expected to suffer specific damage-relevant consequences in the event of mine water rising, developments in the Erkelenz mining district have shown that a corresponding monitoring concept is regularly required for precautionary reasons. In addition to the complete recording of water levels, it is particularly important to carry out area-wide observations, which can be consolidated in a targeted manner in the event of a concrete initial suspicion. However, public transparency is also required in order to be able to promptly categorise newly emerging damage patterns. (1)



Fig. 1. Earth tread formation in the Erkelenz district between two localities (left) and on a building (right).
Bild 1. Erdstufenbildung im Erkelenzer Revier zwischen zwei Ortslagen (l.) und an einem Gebäude (r.).
Photos/Fotos: DMV/VBHG

2.2 Soil movements in Lüneburg

The working group visited the city of Lüneburg in 2013 to familiarise itself with the special phenomenon of local ground movements.

There are ground movements in Germany as a result of natural processes and mining activities in the broadest sense that are hardly known to the public. These include uplift and subsidence of the surface in Lüneburg. There is evidence that salt mining has been taking place here since the 10th century in the form of a salt works, now a salt museum (Figure 2). In the 15th and 16th centuries in particular, brine extraction helped the town to become wealthy. In the course of the long history of salt mining, significant buildings were affected by damage. In 1860, e.g., a large church that stood on the edge of the subsidence area had to be demolished. In fact, the entire western part of Lüneburg's historic city centre is located in the subsidence area. By 1980, a subsidence of 2 m had destroyed around 180 houses. The phenomenon and its causes were not taken seriously for a long time. In 1963, the Lüneburger

2 Beispiele für die Arbeit des AK Hebungserscheinungen

2.1 Erkenntnisse aus dem Erkelenzer Steinkohlenrevier

Nach der im Jahr 1997 erfolgten Einstellung des Steinkohlenbergbaus im Kreis Heinsberg in Nordrhein-Westfalen sind in den Folgejahren an der Tagesoberfläche über eine Erstreckung von etwa 9 km Bodenbewegungsanomalien mit teils massiven Gebäudeschäden aufgetreten, die nach umfangreichen Recherchen dem Anstieg des Grubenwassers im Bereich des aufgegebenen Bergwerks zuzuordnen waren. (1)

Die Auswertung regionaler Pegel- und Höhendaten hat zunächst ergeben, dass die Aufgabe der untertägigen Wasserhaltung zu großräumigen Höhenveränderungen an der Tagesoberfläche mit Hebungen bis zu 0,3 m geführt hat. Im Zuge weitergehender Untersuchungen, in die u. a. auch Ergebnisse speziell angelegter Messbeobachtungen eingeflossen sind, wurden schließlich Erkenntnisse gewonnen, die einen Beitrag dazu leisten, im Rahmen sonstiger Bergwerksstilllegungen ein mögliches Schadenspotential besser abzuschätzen und konkrete Probleme ggf. frühzeitig erkennen zu können. (1)

Festzustellen ist insbesondere, dass die Geländehebungen über den Bereich des ehemaligen Bergsenkungsgebiets hinausreichen, wobei sich Unstetigkeiten auch abseits früherer Pro-

blemzonen sowie außerhalb des früheren Einwirkungsbereichs ausgeprägt haben (Bild 1). Im Verhältnis zu den relativ geringen absoluten Höhenveränderungen ist im Bereich der sich langsam, aber kontinuierlich entwickelnden Erdstufen eine hohe Schadensintensität zu verzeichnen, die in mehreren Ortslagen sowohl zu einem Substanzverlust von Gebäuden als auch zu Schäden an Verkehrswegen und Leitungssystemen geführt hat. Nachträgliche Sicherungsmaßnahmen waren aufgrund der teils fortgeschrittenen Schadensentwicklung nicht mehr überall realisierbar. (1)

Wenngleich im Falle eines Grubenwasseranstiegs in Abhängigkeit der hydro-geologischen Verhältnisse nicht in jedem Abbaugbiet mit konkreten schadensrelevanten Folgen zu rechnen ist, hat die Entwicklung im Erkelenzer Revier gezeigt, dass aus Gründen der Vorsorge regelmäßig ein entsprechendes Monitoringkonzept erforderlich ist. So sind neben einer vollständigen Erfassung von Pegelständen insbesondere flächig angelegte Messbeobachtungen von Bedeutung, die im Fall eines konkreten Anfangsverdachts

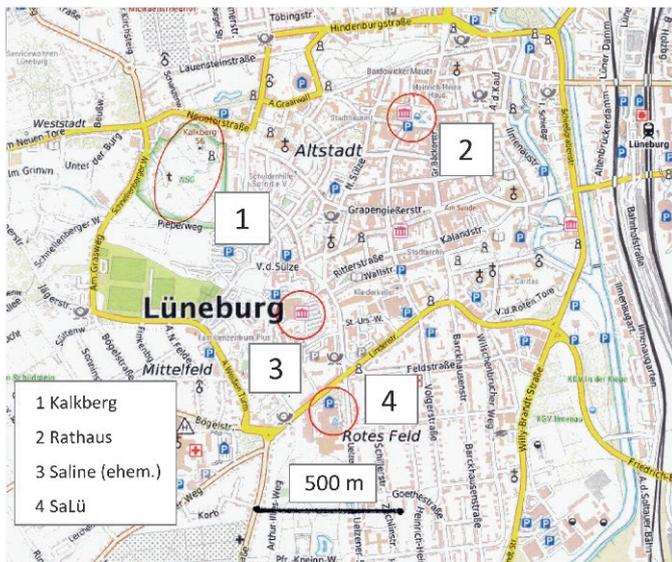


Fig. 2. City map of Lüneburg. // Bild 2. Plan der Stadt Lüneburg.
Source/Quelle: GeoBasis-DE/BKG, bearbeitet

Landeszeitung newspaper ran the headline “The subsidence devil is rumbling again” and linked the damage to the buildings to the work of “subsidence goblins”.

Lüneburg's subsoil is characterised by a salt dome with an area of around 1.2 km². The salt level is at a depth of 35 to 70 m. At the surface, the so-called Kalkberg, which is part of the Gipshut, can be seen above the salt dome. The Kalkberg (Figure 2) is located directly west of the historic city centre. The gypsum from the Kalkberg was mined in open-cast mines until 1922. Within the salt dome there is a steeply inclined Zechstein anhydrite with a diameter of around 300 m. The anhydrites originally found here were transformed into gypsum by seepage water and the soluble colliery salts were leached out. Both processes led to soil movements.

The city of Lüneburg has been monitoring the subsidence area for height changes for more than 70 years. The fixed point field currently comprises around 300 points (2). The subsidence structure has been very inconsistent over the years. Levelling results from the years 1986 to 1998 show local partial subsidence depressions on the west and east sides of the Kalkberg in the area of the overall subsidence depression. During this period, the area of the old town centre near the town hall (Figure 2) was particularly affected. Subsidence and total damage to buildings had already occurred here in the 1970s. Since 2000, a shift of the movement centre to the northern area has been registered. Buildings have also been demolished here. Unsteady deformations of the surface have occurred since 1486 in the form of more than 50 documented sinkholes in the area of the salt dome. The area between the Kalkberg and the town hall, i.e. the centre of the old town, is particularly affected.

Both the salt works, which ceased operations in 1980, and the Lüneburg brine baths (SaLü), which opened a year later (Figure 2), are located south of Kalkberg. While industrial brine extraction in the phase since 1850 amounted to between 12,000 and 37,000 t/a of dry salt, the brine bath only extracts around 2,000 to 3,000 t/a of dry salt (equivalent to 1,000 to 1,500 m³) from the deposit.

The effects of ground movements on the surface during the day can be visualised in figure 3. Horizontal ground displacements are associated with subsidence processes, but also with anhydrite swelling.

gezielt verdichtet werden können. Um neu auftretende Schadensbilder zeitnah zuordnen zu können, bedarf es jedoch auch einer öffentlichen Transparenz. (1)

2.2 Bodenbewegungen in Lüneburg

Der Arbeitskreis besuchte die Stadt Lüneburg im Jahr 2013, um sich mit dem besonderen Phänomen der örtlichen Bodenbewegungen vertraut zu machen.

Es gibt in Deutschland Bodenbewegungen infolge natürlicher Prozesse und bergbaulicher Tätigkeiten im weitesten Sinn, die in der Öffentlichkeit kaum bekannt sind. Dazu gehören Hebungen und Senkungen der Tagesoberfläche in Lüneburg. Hier findet nachweislich bereits seit dem 10. Jahrhundert Salzbergbau in Form einer Saline, heute Salzmuseum statt (Bild 2). Vor allem im 15. und 16. Jahrhundert verhalf die Solegewinnung der Stadt zu Reichtum. Im Verlauf der langen Historie des Salzabbaus waren bedeutende Bauwerke von Schäden betroffen. So musste im Jahr 1860 eine große Kirche abgebrochen werden, die am Rand des Senkungsgebiets stand. Tatsächlich befindet sich die gesamte westliche Altstadt Lüneburgs im Senkungsgebiet. Bis 1980 wurden bei 2 m Senkung ca. 180 Häuser zerstört. Das Phänomen und seine Ursachen wurden lange Zeit nicht recht ernst genommen. So titelte die Lüneburger Landeszeitung im Jahr 1963 „Der Senkungsteufel rumort wieder“ und bringt die Gebäudeschäden mit dem Werk von „Senkungskobolden“ in Verbindung.

Der Untergrund von Lüneburg ist geprägt durch einen Salzstock mit einer Fläche von etwa 1,2 km². Der Salzspiegel befindet sich in einer Teufe von 35 bis 70 m. An der Tagesoberfläche zeigt sich über dem Salzstock der sogenannte Kalkberg, der Teil des Gipshuts ist. Der Kalkberg (Bild 2) liegt unmittelbar westlich der Altstadt. Der Gips des Kalkbergs wurde bis in das Jahr 1922 im Tagebau abgebaut. Innerhalb des Salzstocks befindet sich ein steilstehender Zechsteinanhydrit mit einem Durchmesser von etwa 300 m. Die ursprünglich hier anstehenden Anhydrite wurden durch Sickerwässer in Gips umgewandelt und die löslichen Zechsteinsalze ausgelaut. Beide Prozesse führten zu Bodenbewegungen.

Die Stadt Lüneburg lässt das Senkungsgebiet schon seit mehr als 70 Jahren auf Höhenveränderungen beobachten. Aktuell umfasst das Festpunktfeld etwa 300 Punkte (2). Die Senkungsstruktur zeigt sich über die Jahre sehr uneinheitlich. Ergebnisse von Nivellements aus den Jahren 1986 bis 1998 zeigen im Bereich der Gesamtsenkungsmulde lokale Teilsenkungsmulden auf der West- und Ostseite des Kalkbergs. Im genannten Zeitraum war insbesondere auch der Bereich der Altstadt in der Nähe des Rathauses (Bild 2) betroffen. Hier war es auch schon in den 1970er Jahren zu Senkungen und Totalschäden an Gebäuden gekommen. Seit 2000 wird eine Verlagerung des Bewegungszentrums in den nördlichen Bereich registriert. Auch hier sind schon Gebäude abgerissen worden. Zu un stetigen Verformungen der Tagesoberfläche ist es seit 1486 in Form von mehr als 50 dokumentierten Erdfällen im Bereich des Salzstocks gekommen. Hiervon besonders betroffen ist auch der Bereich zwischen dem Kalkberg und dem Rathaus, also der Kernbereich der Altstadt.

Sowohl die Saline, die im Jahr 1980 ihren Betrieb einstellte, als auch das ein Jahr später eröffnete Solebad Lüneburg (SaLü) (Bild 2) befinden sich südlich des Kalkbergs. Während die industrielle Soleförderung in der Phase seit 1850 zwischen 12.000 und

On behalf of the city of Lüneburg, the engineering firm CDM Consult, Bochum, investigated the ground movements and their causes (3). In 2004, relatively high subsidence increases of up to 30 cm/a were detected in a residential area. The work served to assess the risks to buildings and the risk of sinkholes. In 2007, a core hole was drilled near a sinkhole (2005) with a final depth of 120 m (–91 m AMSL) in the investigation area, which is around 1,700 m away from SaLü. Three cavities, each 50 cm high, were found in the gypsum rock below 65 m below ground level. A rod extensometer with six anchor points was installed in the borehole.

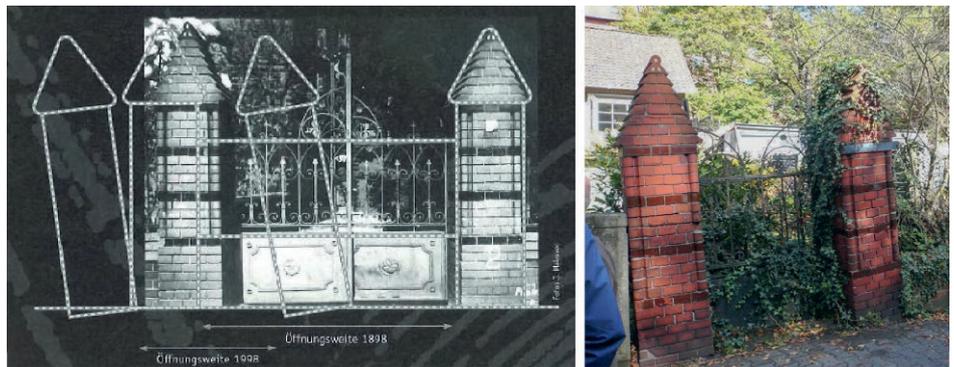


Fig. 3. Garden gate in Frommestr. (listed building): On the left the condition in 1898, on the right the severely deformed gate with complete overthrust of the gate wings in 2007.
Bild 3. Gartentor in der Frommestr. (unter Denkmalschutz stehend): Links der Zustand im Jahr 1898, rechts das stark deformierte Tor mit vollständiger Überschiebung der Torflügel im Jahr 2007.
Source/Quelle: Deutsches Salzmuseum, DMV/VBHG

The investigations came to the conclusion that the subsidence rate correlates with the precipitation, but not with the production rate of the SaLü. The main conclusions are (4):

- Precipitation constantly leads to dissolution processes in weak zones of the gypsum cap and to the formation of caverns and hollow layers in the order of cubic metres.
- The collapse of caverns in the gypsum cap leads to subsidence of the surface above the cavern.
- A thick clay layer above the gypsum cap leads to a slowing down of the fracture movement towards the surface.
- The process leads to new and more powerful waterways.
- The process will probably continue as long as there are areas susceptible to loosening.

In the risk assessment, it is assumed that a major sinkhole is indicated by an increased subsidence rate, particularly at the extensometer. In this respect, the continuation of the height measurements and the expansion of the extensometer observations were suggested as sensible measures at the time.

In the interests of the city of Lüneburg and the citizens in the areas affected by ground movements, an understanding of the process must be built up through appropriate monitoring measures and utilised for risk management. In view of the complex issues involved, public relations work also poses a challenge. In this context, the information provided by the German Ground Motion Service (BBD) and the European Ground Motion Service (EGMS) can also be helpful. It would go beyond the scope of this report to go into the interesting results of these two platforms.

2.3 Uplift of the surface due to flooding at the Schlema-Alberoda uranium ore mine

The Schlema-Alberoda uranium ore mine of Wismut GmbH is an example of the occurrence of surface uplift due to flooding. The Schlema-Alberoda uranium ore mine is located in the Westergebirge mountains between the towns of Aue, Schneeberg and Hartenstein. Bad Schlema with its districts of Oberschlema, Niederschlema and Wildbach as well as the Alberoda district of the town of Aue-Bad Schlema are located in the approximately 22 km² area affected by the mine. The most important body of water is the Zwickauer Mulde, which flows through the area from south

37.000 t/a Trockensalz betrug, entnimmt das Solebad der Lagerstätte nur etwa 2.000 bis 3.000 t/a Trockensalz (entsprechen 1.000 bis 1.500 m³).

Die Auswirkungen der Bodenbewegungen an der Tagesoberfläche lassen sich plakativ durch Bild 3 veranschaulichen. Horizontale Bodenverschiebungen sind mit den Senkungsprozessen, aber auch mit der Anhydritquellung verbunden.

Im Auftrag der Stadt Lüneburg untersuchte das Ingenieurbüro CDM Consult, Bochum, die Bodenbewegungen und ihre Ursachen (3). So wurden im Jahr 2004 relativ hohe Senkungszuwächse von bis zu 30 cm/a in einem Wohngebiet festgestellt. Die Arbeiten dienten der Beurteilung der Risiken für Gebäude und des Erdfallrisikos. Im Jahr 2007 wurde im Untersuchungsgebiet, das etwa 1.700 m vom SaLü entfernt liegt, eine Kernbohrung in der Nähe eines Erdfalls (2005) mit einer Endteufe von 120 m (–91 m NHH) hergestellt. Im Gipsgestein wurden drei Hohlräume von je 50 cm Höhe unterhalb von 65 m unter Geländeoberkante (GOK) festgestellt. Im Bohrloch wurde ein Stangen-Extensometer mit sechs Ankerpunkten installiert.

Die Untersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass die Senkungsrate mit dem Niederschlag korreliert, aber nicht mit der Förderrate des SaLü. Die wesentlichen Schlussfolgerungen sind (4):

- Niederschläge führen ständig zu Lösungsprozessen in Schwächezonen des Gipshuts und zur Bildung von Kavernen und Hohlräumen in Kubikmeter-Größenordnung.
- Der Zusammenbruch von Kavernen im Gipshut führt zu Senkungen der Tagesoberfläche über der Kaverne.
- Eine mächtige Tonlage oberhalb des Gipshuts führt zu einer Verlangsamung der Bruchbewegung in Richtung auf die Tagesoberfläche.
- Der Prozess führt zu neuen und leistungsstärkeren Wasserwegsamkeiten.
- Der Prozess wird vermutlich so lange andauern, wie lösungsanfällige Bereiche vorhanden sind.

In der Risikobeurteilung wird davon ausgegangen, dass sich ein größerer Erdfall durch eine erhöhte Senkungsgeschwindigkeit, insbesondere auch am Extensometer andeutet. Insofern wurden seinerzeit die Fortführung der Höhenmessungen und die Auswei-

to north. The territory can be described as a densely populated mountainous landscape characterised by centuries of mining. The Schlema-Alberoda uranium ore deposit was mined from 1946 to 1990. A total of approximately 49.5 M m³ of rock was extracted and 80,500 t of uranium were mined in the ore. When mining ceased, the approximately 2,000 m deep pit began to be flooded.

The first significant flood-induced uplifts were recorded at the surface above the Niederschlema-Alberoda partial deposit in 1998. This is where the phase of flood-induced ground movements begins. At this time, approximately 60 % of the cavity created by mining in the partial deposit was flooded. As the flood water level rose, the heave increased and reached its maximum in May 2020 of 107 mm compared to 1998 and 113 mm compared to 1996. In the period from September 2009 to August 2011, the flood water level was lowered by 23 m for technological reasons. This led to subsidence of up to 12 mm (Figure 4).

In order to explain the uplift phenomena above the complex gangue ore deposit, an initial analysis of the correlation between the uplift caused by flooding and the subsidence caused by mining was carried out. The results showed that there is no significant correlation. The comparison of the uplifts to the mining areas, on the other hand, showed that the centre of uplift is located above the greatest thickness built in the ore-bearing zone. Different thicknesses caused different amounts of uplift at the surface. It was therefore necessary to develop a prediction model that takes into account the thickness of the rock mass disturbed by the effects of mining, the level of flooding water and the mechanical properties of the rock.

The model "uplift due to expansion of the excavated and flooded rock mass" was developed to forecast the expected uplift as a function of the flood water level. The model is based on increasing pore water pressure as the mine water rises. This pore water pressure leads to a decrease in the effective normal stresses and thus to the elongation of the flooded rock mass. The model is also based on the fact that not only the actual mining areas in the ore-bearing zone, but also the surrounding rock mass disturbed by mining-related deformations is considered to be a disturbed zone.

zung der Extensometer-Beobachtungen als sinnvolle Maßnahmen angeregt.

Im Interesse der Stadt Lüneburg und der Bürgerinnen und Bürger in den von Bodenbewegungen betroffenen Bereichen muss durch angepasste Monitoringmaßnahmen ein Prozessverständnis aufgebaut und für das Risikomanagement genutzt werden. Angesichts der komplexen Fragestellungen stellt auch die Öffentlichkeitsarbeit eine Herausforderung dar. In diesem Zusammenhang können auch die Informationen des Bodenbewegungsdienstes Deutschland (BBD) und des European Ground Motion Service (EGMS) hilfreich sein. Es würde den für diesen Bericht verfügbaren Rahmen sprengen, auf die interessanten Ergebnisse dieser beiden Plattformen einzugehen.

2.3 Hebungen der Tagesoberfläche durch Flutung an der Uranerzgrube Schlema-Alberoda

Ein Beispiel für das Auftreten von Hebungen der Tagesoberfläche durch Flutung ist die Uranerzgrube Schlema-Alberoda der Wismut GmbH. Die Uranerzgrube Schlema-Alberoda befindet sich im Westerzgebirge zwischen den Ortschaften Aue, Schneeberg und Hartenstein. In dem ca. 22 km² großen, von der Grube beeinflussten Gebiet befindet sich Bad Schlema mit seinen Ortsteilen Oberschlema, Niederschlema und Wildbach sowie der Ortsteil Alberoda der Stadt Aue-Bad Schlema. Das bedeutendste Gewässer ist die das Areal von Süd nach Nord durchfließende Zwickauer Mulde. Das Territorium kann als dicht besiedelte Gebirgslandschaft bezeichnet werden, die durch über Jahrhunderte währenden Bergbau geprägt ist. Von 1946 bis 1990 wurde die Uranerzgrube Schlema-Alberoda abgebaut. Insgesamt wurden ca. 49,5 Mio. m³ Gestein gelöst und 80.500 t Uran im Erz gefördert. Mit Einstellung des Bergbaus begann die Flutung der ca. 2.000 m tiefen Grube.

Über der Teillagerstätte Niederschlema-Alberoda wurden 1998 erste signifikante flutungsbedingte Hebungen an der Tagesoberfläche ermittelt. Hier setzt die Phase der flutungsbedingten Bodenbewegungen ein. Zu diesem Zeitpunkt waren ca. 60 % des bergmännisch geschaffenen Hohlraums der Teillagerstätte geflutet. Mit steigendem Flutungswasserspiegel nahmen die Hebungen zu und erreichten im Mai 2020 ihr Maximum von 107 mm in Bezug zu 1998 und 113 mm in Bezug zu 1996.

Im Zeitraum von September 2009 bis August 2011 wurde der Flutungswasserspiegel aus technologischen Gründen um 23 m abgesenkt. Dies führte zu Senkungen bis zu 12 mm (Bild 4).

Zur Erklärung der Hebungserscheinungen über der komplexen Gangerzgrube erfolgte eine erste Analyse des Zusammenhangs zwischen den flutungsbedingten Hebungen und den abbaubedingten Senkungen. Im Ergebnis musste festgestellt werden, dass es keinen signifikanten Zusammenhang gibt. Die Gegenüberstellung der Hebungen zu den Abbaubereichen dagegen zeigte, dass sich das Hebungszenrum über der größten in der erzführenden Zone gebauten Mächtigkeit befindet. Unterschiedlich gebaute Mächtigkeiten verursachten unterschiedliche Hebungsbeiträge an der Tagesoberfläche. Somit musste ein Prognosemodell, das die Mächtigkeit

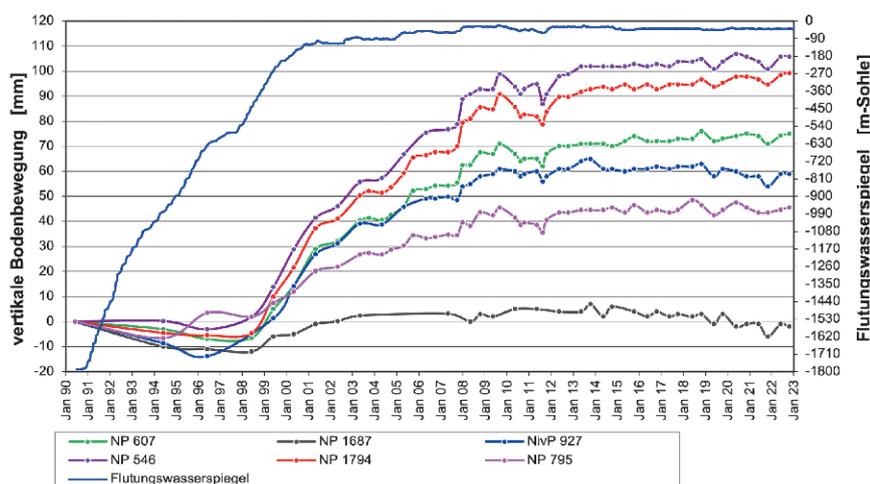


Fig. 4. Time-subsidence function of selected levelling points above the Niederschlema-Alberoda partial deposit in relation to 1990. // Bild 4. Zeit-Senkungs-Funktion ausgewählter Nivellementpunkte über der Teillagerstätte Niederschlema-Alberoda in Bezug zu 1990. Source/Quelle: Wismut

When applying the model for flooding the Niederschlema-Alberoda part of the mine, uplifts of up to 15 cm are expected up to the maximum collapse.

Since the end of 2011, as the mine water has to be treated before being discharged into the receiving water, the flooding water level has been maintained with fluctuations in the near-daily area of the mine. These level fluctuations can also be seen on the surface during the day in the form of subsidence and uplift. When the flood water level rises, the surface reacts immediately with uplift, especially in the area of the maximum thickness of the rock body. In the case of larger amounts of subsidence, subsidence can be detected at the surface of the day. If the flood water level stagnates or fluctuates slightly, continuous subsidence of up to 5 mm was detectable above the mining area between May 2020 and November 2021. These result from the slow dewatering process of the fissures and crevices, whereas refilling of the fissures and crevices takes place relatively quickly, and as a result the uplifts are detectable promptly and are not long-lasting. Due to the relatively even distribution of vertical ground movements, the average inclinations are less than 1 mm/m.

The Surfer 8.02 software was used to calculate the distribution of uplifts over the Niederschlema-Alberoda sub-deposit in relation to the year 1998. Since 2000, the location of the uplift centre has remained unchanged (Figure 5).

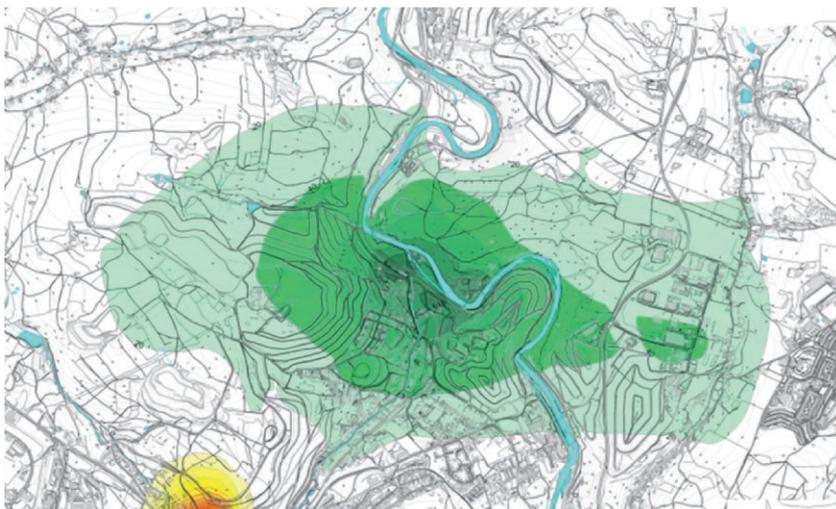


Fig. 5. Heave distribution over the Niederschlema-Alberoda partial deposit in relation to 1998.
Bild 5. Hebungverteilung über der Teillagerstätte Niederschlema-Alberoda in Bezug zu 1998.
Source/Quelle: Wismut

des durch die Abbauauswirkungen gestörten Gebirgskörpers, die Einstauhöhe des Flutungswassers und die mechanischen Eigenschaften der Gesteine berücksichtigt, entwickelt werden.

Für eine Prognose der in Abhängigkeit vom Flutungswasserspiegel zu erwartenden Hebungen wurde das Modell „Hebungen durch Dehnung des durchbauten und gefluteten Gebirgskörpers“ entwickelt. Grundlage des Modells ist ein zunehmender Porenwasserdruck bei Anstieg des Grubenwassers. Dieser Porenwasserdruck führt zur Abnahme der wirksamen Normalspannungen und somit zur Dehnung des gefluteten Gebirgskörpers. Dem Modell liegt weiterhin zugrunde, dass nicht nur die eigentlichen Abbaubereiche in der erzführenden Zone, sondern auch das durch abbaubedingte Deformationen gestört umgebende Gebirge als zerrüttete Zone betrachtet wird.

Bei Anwendung des Modells für die Flutung des Grubenteils Niederschlema-Alberoda werden bis zum maximalen Einstau Hebungen bis 15 cm erwartet.

Seit Ende des Jahres 2011 wird, da das Grubenwasser vor Einleitung in die Vorflut behandelt werden muss, der Flutungswasserspiegel mit Schwankungen im tagesnahen Bereich der Grube gehalten. Diese Pegelschwankungen zeigen sich auch an der Tagesoberfläche in Form von Senkungen und Hebungen. Bei Anstieg des Flutungswasserspiegels reagiert die Tagesoberfläche, insbesondere im Bereich der maximal durchbauten Mächtigkeit

des Gebirgskörpers, unmittelbar mit Hebungen. Bei größeren Absenkungsbeträgen sind zeitnah an der Tagesoberfläche Senkungen nachweisbar. Stagniert der Flutungswasserspiegel bzw. bei geringfügigen Schwankungen waren über dem Abbaubereich zwischen Mai 2020 und November 2021 kontinuierliche Senkungen bis 5 mm nachweisbar. Diese resultieren aus dem langsamen Entwässerungsprozess der Klüfte und Spalten, wogegen eine Wiederauffüllung der Klüfte und Spalten relativ schnell erfolgt, und demzufolge die Hebungen zeitnah nachweisbar und nicht langanhaltend sind. Aufgrund der relativ gleichmäßigen flächenhaften Verteilung der vertikalen Bodenbewegungen sind die durchschnittlichen Schiefklagen kleiner 1 mm/m.

Mittels der Software Surfer 8.02 wurde die Verteilung der Hebungen über der Teillagerstätte Niederschlema-Alberoda in Bezug zum Jahr 1998 berechnet. Seit dem Jahr 2000 ist das Hebungszentrum von der Lage her unverändert (Bild 5).

References / Quellenverzeichnis

- (1) Baglikow, V. (2011): Schadensrelevante Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs – Erkenntnisse aus dem Erkelenzer Steinkohlenrevier. In: Markscheidewesen 118 (2011) Nr. 2, S. 10 – 16.
- (2) Hansestadt Lüneburg (ohne Datum): Online: www.hansestadt-lueneburg.de/bauen-und-mobilitaet/senkung.html, zuletzt aufgerufen 04.12.2023.
- (3) Trapp, T.; Küster, M. (2009): Fortgang und Risikoanalyse zu einer Senkungsstruktur in einem Wohngebiet am Rande des Lüneburger Salzstocks. In: Glückauf 145 (2009) Heft 10, S. 488 – 494.
- (4) CDM Consult GmbH (2007): Ochtmisser Kirchsteig in Lüneburg. Gutachten. Fortführung der gutachterlichen Bewertung der Senkungsstruktur. Bericht 3-Kurzfassung.

Authors / Autoren

Dr.-Ing. Olaf Wallner, Prof. Dr.-Ing. Peter Goerke-Mallet, Dr.-Ing. Volker Baglikow, AK Hebungerscheinungen, Deutscher Markscheider-Verein e. V. (DMV), Peine