

# **Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf) - Phase 3**

**Band 3.19.2 der Antragsunterlage: Fachgutachten**

## **Senkungsprognose**

Vorhabenträger:

K+S Minerals and Agriculture GmbH  
Werk Werra, Standort Hattorf  
Hattorfer Straße  
36269 Philippsthal

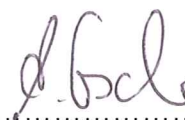


Verfasser:

M. Eng. Andreas Fischer  
Dipl.-Ing. Jörg Hofmeister  
Dr. Jan-Peter Schleinig  
Dr. Frieder Tonn  
K+S Minerals and Agriculture GmbH  
34131 Kassel



Dr. Tonn



Fischer

## Impressum

Fassung vom November 2013

Ansprechpartner: Dr. Frieder Tonn

Telefon: + 49 6620-793073

e-Mail: [frieder.tonn@kali-gmbh.com](mailto:frieder.tonn@kali-gmbh.com)

Web: [www.kali-gmbh.com](http://www.kali-gmbh.com)



**Untersuchungsgegenstand:**

Prognose der durch die Konvergenz der Grubenbaue bedingten Oberflächen-senkungen im Bereich der Rückstandshalde und ihrer Erweiterung bis zum Jahr 3018.

**Ergebnisse Im Überblick:**

- Die Ausbildung eines **Senkungszentrums nordwestlich der Rückstandshalde** wird prognostiziert.
- Im Zeitraum 2018 bis 2168 wird eine maximale Senkung von 79 cm prognostiziert.
- Für den Zeitraum **2018 bis 3018** (1000 Jahre) wird eine **maximale Senkung von 147 cm** ausgewiesen.
- Die mit dem Prognosezeitraum wachsende Unsicherheit ist zu beachten.

Werk Werra  
Standort Hattorf

# **Haldenerweiterung HA**

## **AP 4.3: Senkungsprognose**

Dezember 2012

Bearbeiter:  
M. Eng. Andreas Fischer  
Dipl.-Ing. Jörg Hofmeister  
Dr. Jan-Peter Schleinig  
Dr. Frieder Tonn



K+S KALI GmbH  
34131 Kassel

**Inhaltsverzeichnis:**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Veranlassung und Grundlagen .....                            | 3  |
| 2   | Modell zur Senkungsprognose.....                             | 3  |
| 2.1 | Das Berechnungsprogramm SENK (IfG, 2008).....                | 3  |
| 2.2 | Bestimmung der Eingabedaten und Validierung des Modells..... | 5  |
| 3   | Ergebnisse der Berechnungen.....                             | 6  |
| 3.1 | Ergebnisse der Modellkalibrierung .....                      | 6  |
| 3.2 | Ergebnisse der Senkungsprognose.....                         | 7  |
| 4   | Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....                  | 9  |
|     | Quellenverzeichnis .....                                     | 10 |

## 1 Veranlassung und Grundlagen

Im Rahmen der Haldenerweiterung der Rückstandshalde Hattorf sind die Auswirkungen der Konvergenz der Grubenbaue auf die Halde und ihre geplante Erweiterung zu beschreiben. Die Untersuchungsergebnisse sollen in die begleitenden Arbeitspakete einfließen.

Die Berechnungen der Senkungen erfolgen mit dem am Institut für Gebirgsmechanik, Leipzig, entwickelten Berechnungsprogramm SENK, das bereits in verschiedenen Werken der K+S Gruppe auf der Grundlage vorliegender Senkungsmessungen validiert wurde. Im Bereich der Rückstandshalde Hattorf und der geplanten Haldenerweiterung wurde der untertägige Abbau in flacher Lagerung geführt. Über diesen Baufeldern werden die an der Tagesoberfläche auftretenden Senkungen durch Nivellements-messungen seit 1980 erfasst. Auf der Basis der konkreten Hohlraumsituation und der beobachteten Senkungsentwicklung erfolgte die Kalibrierung und fortführend die Prognose des Senkungsgeschehens.

## 2 Modell zur Senkungsprognose

### 2.1 Das Berechnungsprogramm SENK (IfG, 2008)

Die rheologischen Eigenschaften des Salzgesteins führen zu Konvergenz der offenen bzw. versetzten untertägigen Grubenhohlräume und zu einer Absenkung der Tagesoberfläche. Dieser Senkungsprozeß verläuft bis zum Verschluß der Abbauhohlräume.

Unter Berücksichtigung der untertägigen Abbauparameter,

- Teufe:  $H$ ,
- Auffahrungsbeginn und –dauer:  $t_0$ ;  $t_{BAU}$ ,
- gebaute Mächtigkeit:  $h$ ,
- Abbauverluste:  $s_v$ ,

des Versatzes und der das Hohlraumkonvergenzverhalten beschreibenden Größen

- Volumenkonvergenzrate:  $\eta_0$ ,
- Spannungsrelaxationskoeffizient:  $n$ ,
- Grenzwinkel:  $\gamma$ ,
- Zeitdauer der Übertragung der untertägigen Konvergenz nach übertage:  $t_t$ ,

lassen sich mit dem oben genannten Berechnungsprogramm SENK übertägige Senkungen sowie deren zeitlicher Verlauf annähernd prognostizieren. Dazu wird ein zu betrachtendes Abbaufeld in quadratische Teilbaublöcke  $k$  ( $k = 1 \dots m$ ) mit der Rasterlänge  $b$  unterteilt. Das zu einem untertägigen Teilbaublock  $k$  gehörende Volumen  $V_k$  ist

$$V_k = b^2 h_k^* (1 - (s_V)_k) \quad (1)$$

Die theoretischen Ansätze zur Berechnung der übertägigen Senkungen gehen von diesen untertägigen Volumenelementen  $V_k$  aus (Koordinaten des Teilbaublockes: Teufe  $H_k$ ; Lage im Grubenfeld  $x_k, y_k$ ). Bezeichnet man die resultierende Konvergenz mit  $Q_k$ , so läßt sich die Konvergenzgeschwindigkeit des betrachteten Volumenelementes in Abhängigkeit von der Konvergenzrate  $\eta$  und dem konvergierenden Volumen durch folgende lineare Differentialgleichung beschreiben (SCHÖBER & SROKA, 1983):

$$\frac{dQ_k}{dt} = \eta * (V_k - Q_k) \quad (2)$$

Untersuchungen zeigen (u.a. LUX, 1986), daß die Konvergenzraten infolge einer Relaxation der durch die Hohlraumschaffung im Anstehenden aufgebauten Gebirgsspannungen mit zunehmender Standzeit abgebaut werden. Das zeitabhängige Verhalten der Konvergenzraten kann durch folgende Beziehung beschrieben werden:

$$\eta = \eta_0 * \left(1 - \frac{Q_k}{V_k}\right)^n \quad (3)$$

wobei  $n$  der Exponent der nichtlinearen Spannungsabhängigkeit ist.

Auf der Basis grundlegender gebirgskinematischer Gesetzmäßigkeiten ist davon auszugehen, daß eine punktuelle untertägige Hohlraumkonvergenz  $Q_k$  im zuzuordnenden übertägigen Einwirkungsbereich die Ausbildung einer Senkungsmulde in Form einer Gaußschen Glockenkurve bewirkt. Dabei berechnet sich die Größe der Senkung nach DZEGNIUK & FENK & PIELOK (1987):

$$s_k(r) = \frac{Q_k}{R^2} * \exp\left(-\pi * \frac{r^2}{R^2}\right) \quad (4)$$

mit  $s_k(r)$  Senkung im Abstand  $r$  von Mittelpunkt des konvergierenden untertägigen Volumens

$$r^2 = (x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 \quad (5)$$

mit             $R$ :    Einwirkungsradius mit  $R = H_k \cdot \operatorname{ctg} \gamma$ ,  
                  $\gamma$ :    Grenzwinkel in Grad,  
                  $H_k$ :    Teufe des  $k$ -ten Baublocks.

Die Gesamtsenkungen über einem Baufeld erhält man durch Superposition der entsprechenden Beiträge von allen Teilbaublöcken. Die Berechnung dieser Werte erfolgt für ein übertägiges Punktraster im betrachteten Einwirkungsbereich, die dann mit Hilfe verschiedener Programme als Isokatabasen dargestellt werden können.

## 2.2 Bestimmung der Eingabedaten und Validierung des Modells

Zur Prognose des Senkungsgeschehens im Bereich der Rückstandshalde und ihrer Erweiterungsfläche wurden die Abbaue und Strecken des Grubengebäudes in ca. 16.000 Einheiten unterteilt und dafür die Teufe, die gebaute Mächtigkeit, die Abbauverluste, der Auffahrungszeitraum und der Versatz bestimmt. Der Gesamthohlraum setzt sich aus versetztem und offenem Hohlraum zusammen. Der Versatz wird unterteilt in einen Steinsalz- und UTV-Versatz, wobei für den Steinsalzversatz ein Porenanteil von 25 % und für den UTV-Versatz ein Porenanteil von 50 % angesetzt wurde.

Grundlage für die Erfassung der einzelnen Volumenelemente bilden die standortspezifischen Angaben entsprechend Abschnitt 2.1. Darüber hinaus werden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Absenkungsfaktor:  $a = 90 \%$  (akzeptierter Wert in der Bergschadenskunde)
- Grenzwinkel:  $\gamma = 44^\circ$  (K+S-interne Erfahrungen)
- Exponent der nichtlinearen Spannungsabhängigkeit:  $n = 1$  (K+S- und IfG-interne Erfahrungen)
- Konvergenzrate: teufenabhängig zwischen 4 und 11 mm/a

Die Berechnungen umfassen mehrere Zeiträume. Zunächst erfolgte eine Rückrechnung der seit der Vermarkung der Höhenfestpunkte bis zum Jahr 2009 aufgelaufenen Senkungen. Diese Werte wurden mit den Ergebnissen der vorliegenden Nivelementsmessungen verglichen (Kalibrierung). In einem nachfolgenden Schritt erfolgte



die Prognose der Senkungen ab dem Jahr 2018 für jeweils 30, 150 und 1.000 Jahre. Die Prognoseunsicherheiten nehmen bei größer werdenden Zeiträumen zu.

### 3 Ergebnisse der Berechnungen

#### 3.1 Ergebnisse der Modellkalibrierung

Der Vergleich der mit dem Programm SENK berechneten Senkungen mit den in situ bestimmten Senkungen erfolgte anhand vier übertägiger Höhenfestpunkte im Bereich der Rückstandshalde und ihrer geplanten Erweiterungsfläche. Bild 1 zeigt die Topographie sowie die Lage der Rückstandshalde Hattorf mit geplanter Erweiterungsfläche und die Lage der Höhenfestpunkte.

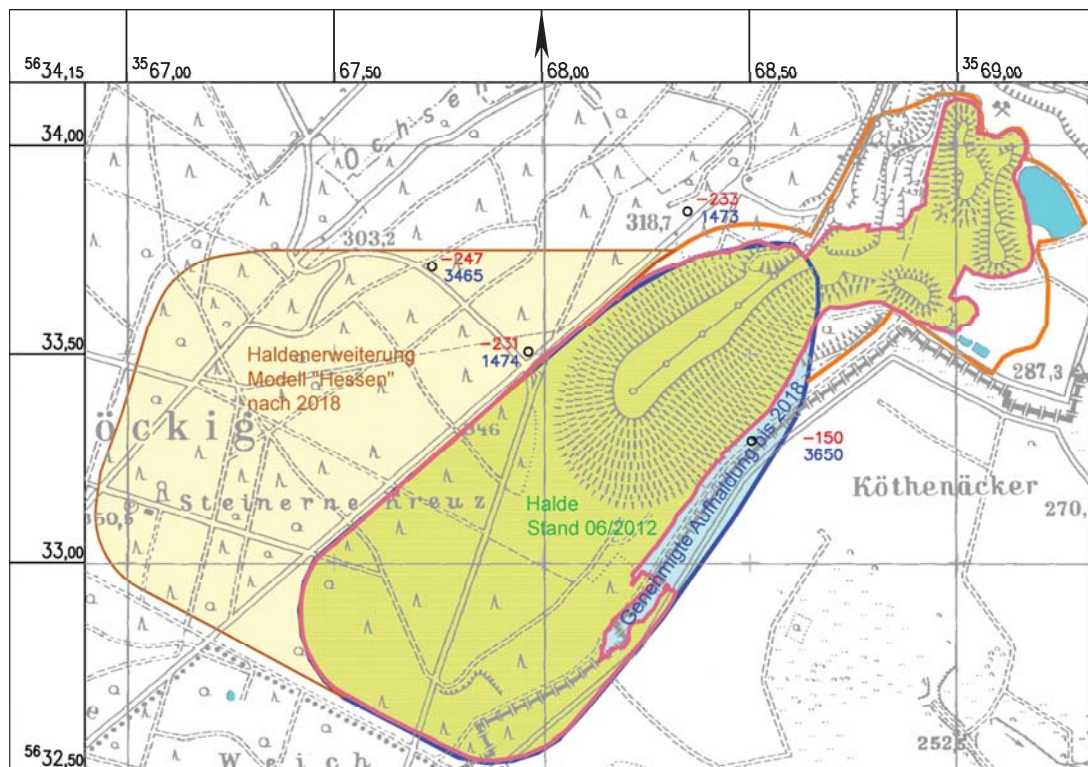


Bild 1: Topographie, Lage der Halde mit Erweiterungsfläche sowie der Höhenfestpunkte mit Höhenänderung im Jahr 2009

Durch die Kalibrierung des Modells an den in situ-Messungen konnte das bisherige Senkungsverhalten nachvollzogen werden (Tab. 1). Es ist zu erwarten, dass eine Prognose mit dem Modell und den gewählten Parametern plausible und nachvollziehbare Ergebnisse liefert.

| Pkt.-Nr. | Beobachtungszeit-<br>raum in Jahren | gemessene<br>Senkung in m | berechnete<br>Senkung in m |
|----------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1473     | 28                                  | 0,233                     | 0,250                      |
| 1474     | 28                                  | 0,231                     | 0,229                      |
| 3465     | 29                                  | 0,247                     | 0,269                      |
| 3650     | 29                                  | 0,150                     | 0,136                      |

Tab. 1: Vergleich der gemessenen und berechneten Senkungen

### 3.2 Ergebnisse der Senkungsprognose

Orientierend an einem möglichen Beginn der Haldenerweiterung im Jahr 2018 wurden die Senkungen für die Jahre 2018 – 2048 (30 Jahre), 2018 – 2168 (150 Jahre) sowie 2018 – 3018 (1.000 Jahre) berechnet und in den Bildern 2 – 4 dargestellt.

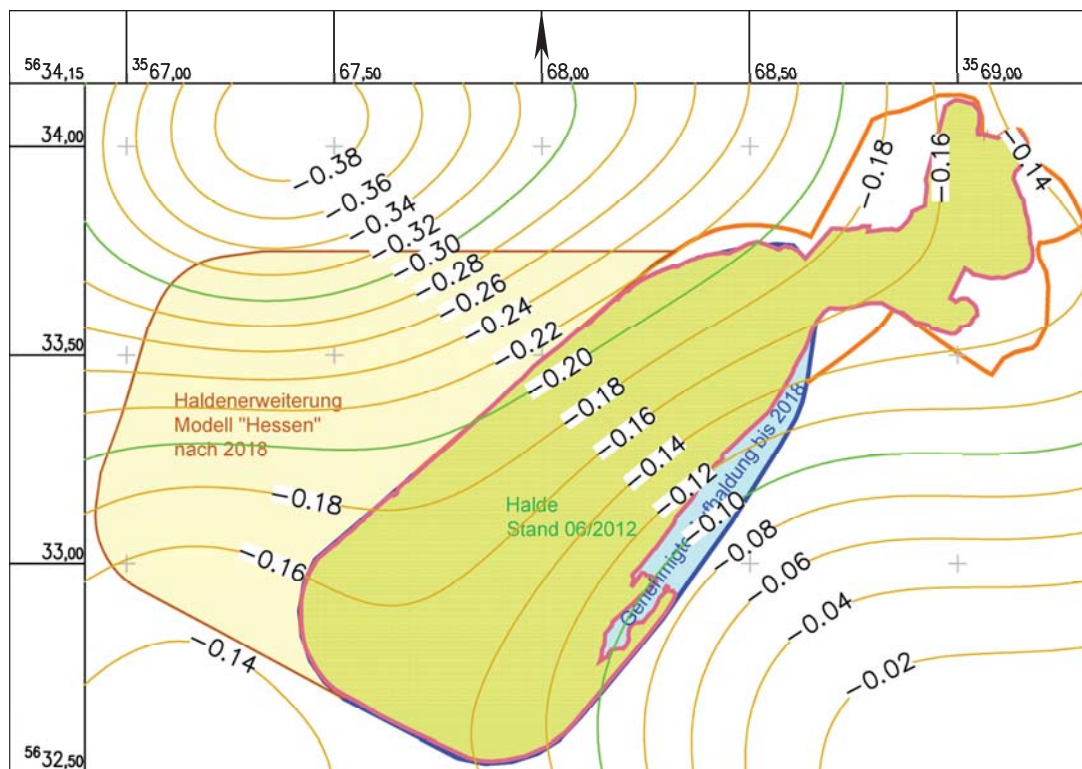


Bild 2: Prognostizierte Senkungen in m im Zeitraum 2018 – 2048 (30 Jahre)

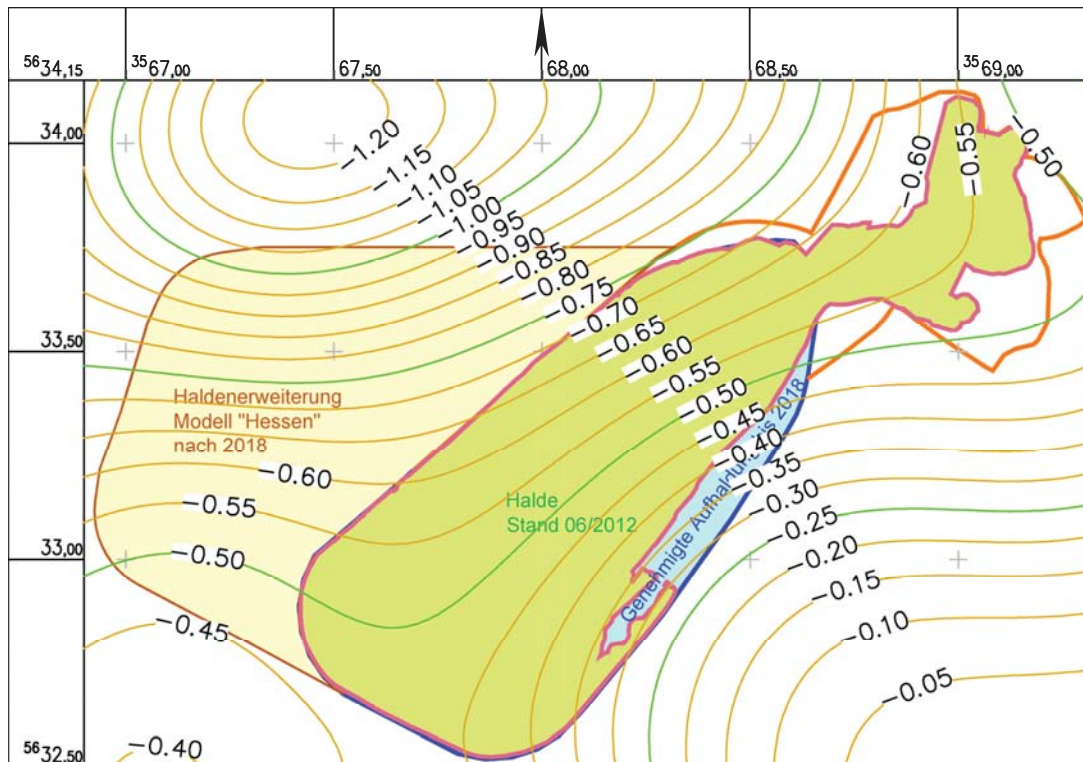


Bild 3: Prognostizierte Senkungen in m im Zeitraum 2018 – 2168 (150 Jahre)

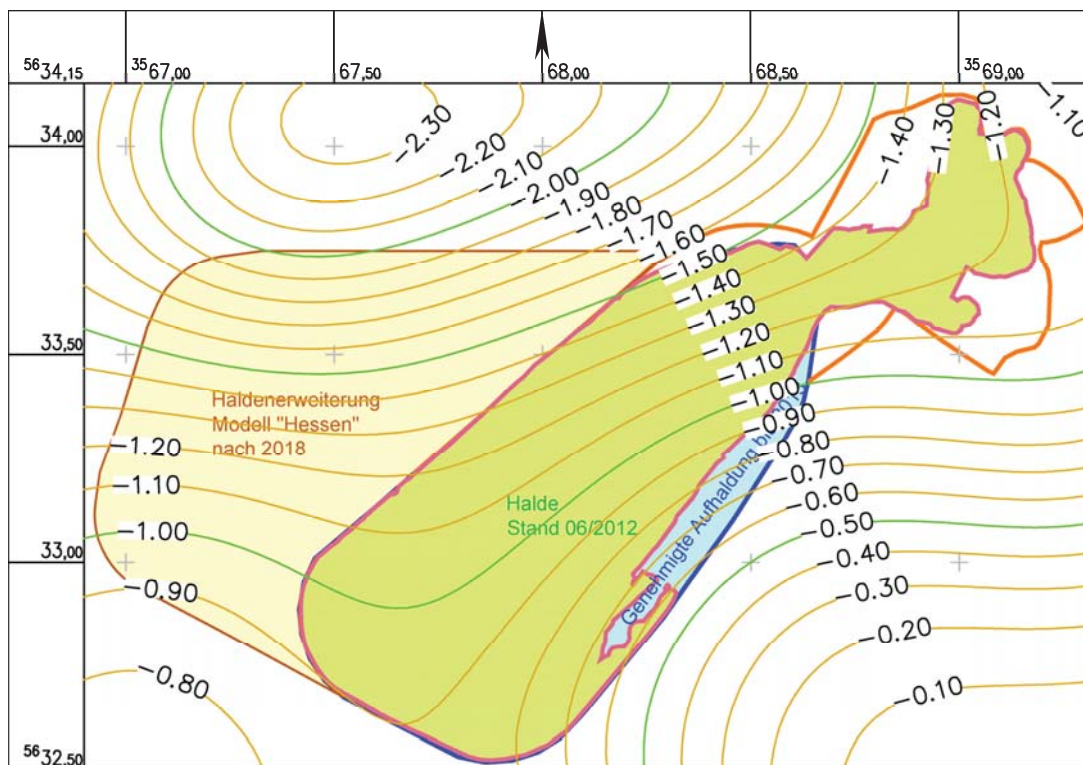


Bild 4: Prognostizierte Senkungen in m im Zeitraum 2018 – 3018 (1.000 Jahre)

Wie erwartet bildet sich ein Senkungszentrum nordwestlich der Rückstandshalde und ihres Erweiterungsbereiches aus, das auf den Abbau auf insgesamt 3 Sohlen in diesem Bereich zurückzuführen ist. Aus den Ergebnissen lassen sich folgende Senkungsdifferenzen für die Fläche der Rückstandshalde Hattorf und ihrer Erweiterung ableiten:

- Zeitraum 2018 – 2048: ca. 26 cm,
- Zeitraum 2018 – 2168: ca. 79 cm,
- Zeitraum 2018 – 3018: ca. 147 cm.

Es wird nochmals darauf verwiesen, dass mit zunehmendem Prognosezeitraum die Unsicherheit der Aussagen steigt.

#### **4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Die Aufgabe des Arbeitspaketes 4.3 bestand in der Abschätzung der aus den Grubenbauen zu erwartenden, konvergenzbedingten Senkungen an der Tagesoberfläche im Bereich der Rückstandshalde und ihrer Erweiterung. Dazu wurde das Berechnungsprogramm SENK, das am Institut für Gebirgsmechanik Leipzig für Senkungsprognosen über Grubenräumen der flachen Lagerung entwickelt wurde, angewandt. In einem ersten Schritt wurden die standortspezifischen Daten eingeführt und das Modell anhand der übertägig gemessenen Senkungen erfolgreich kalibriert. Auf dieser Basis erfolgte eine Prognose der zu erwartenden Senkungen an der Tagesoberfläche im Bereich der Rückstandshalde Hattorf und ihrer Erweiterung bis zum Jahr 3018. Die so ermittelten Isokatabasen beschreiben das zu erwartende Senkungsgeschehen.



---

## Quellenverzeichnis

- IfG (2008): Verfahren zur Prognose der Senkungen und der damit verbundenen bergschadenkundlichen Beanspruchungen an der Tagesoberfläche über untertägigen Abbausystemen. unveröffentlichter Bericht des Instituts für Gebirgsmechanik Leipzig, 2008
- SCHÖBER, F. & SROKA, A. (1983): Die Berechnung von Bodenbewegungen über Kavernen unter Berücksichtigung des zeitlichen Konvergenz- und Gebirgsverhaltens, Kali und Steinsalz Bd. 8 (1983), Heft 10
- LUX, K.-H. (1986): Hohlraumbau im Salzgebirge, Glückauf Verlag Essen, 1986
- DZEGNIUK, B.; FENK, J.; PIELOK, J. (1987): Analyse und Prognose von Boden- und Gebirgsbewegungen im Flözbergbau, Freiburger Forschungshefte A 729, Leipzig