

# **Gutachterliche Stellungnahme**

**Diabas-Tagebau Erweiterungsplanung Huneberg  
Harzer Pflastersteinbrüche Telge & Eppers  
Niederlassung der KEMNA BAU Andreae GmbH & Co. KG**

**Dipl.-Ing. (FH) D. Grothe**

**Bürenbrucher Weg 3b  
58239 Schwerte**

Bei der IHK zu Ostwürttemberg öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Sprengtechnik und Immissionsbeurteilungen bei übertägigen und untertägigen Gesteinssprengungen.



## Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeines.....	3
1.1	Auftraggeber .....	3
1.2	Allgemeine Erläuterungen .....	3
1.3	Auftrag und Vorgehensweise .....	3
1.4	Quellen als Grundlage zur Gutachtenerstellung.....	4
2.	Betriebsbeschreibung.....	5
2.1	Abbauführung .....	5
3.	Betriebsbeschreibung.....	6
3.1	Umgebungssituation .....	6
3.2	Sprengtechnik.....	7
3.3	Bohrtechnik.....	8
3.4	Zündtechnik .....	9
3.5	Sprengbereich und Absperrung .....	9
4	Immissionsprognose .....	11
4.1	Sprengerschütterungen - Allgemeines - .....	11
4.2	Beurteilungsgrundlage für Sprengerschütterungsimmissionen .....	12
4.3	Schutzwürdige Objekte .....	16
4.4	Prognoseformeln .....	17
4.5	Ermittlung der spezifischen Gebirgsbeiwerte .....	18
4.6	Immissionsprognose und Lademengenberechnungen.....	19
4.7	Steinflug – Ursachen und Vermeidung - .....	20
5.	Gutachterliche Stellungnahme und abschließende Empfehlungen.....	22
5.1	Auflistung der Empfehlungen für die Genehmigungsbehörden: .....	23
8.	Quellenangaben.....	25
9.	Anlagenverzeichnis .....	26

## **Gutachterliche Stellungnahme**

Sprengingenieur  
Dipl.-Ing. (FH) Dirk Grothe  
Bürenbrucher Weg 3b  
58239 Schwerte

Bei der IHK zu Ostwürttemberg öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Sprengtechnik und Immissionsbeurteilungen bei übertägigen und untertägigen Gesteinssprengungen.

### **1. Allgemeines**

#### **1.1 Auftraggeber**

Harzer Pflastersteinbrüche Telge & Eppers  
Niederlassung der KEMNA BAU Andreae GmbH & Co. KG  
Am Güterbahnhof 5  
38667 Bad Harzburg

#### **1.2 Allgemeine Erläuterungen**

Die Harzer Pflastersteinbrüche Telge & Eppers, Niederlassung der KEMNA BAU Andreae GmbH & Co. KG betreibt in Niedersachsen den Tagebau Huneberg zur Gewinnung von Diabas als Rohmaterial für die Produktion von Schottern und Splitten.

Zur Sicherung der Rohstoffversorgung ist beabsichtigt, den bestehenden Diabas-Tagebau Huneberg aufgrund seines Auslaufens um eine Fläche von ca. 51 ha zu erweitern [1], siehe Topographische Übersichtskarte Anlage 1.

Der anstehende Diabas wird mit Hilfe von Gewinnungssprengungen bei senkrechten Wandhöhen von bis zu 30 m hereingewonnen. Die Sprengarbeiten werden gemäß der derzeit gültigen technischen Regel der Berufsgenossenschaften im Sinne von Großbohrlochsprengungen teilweise in Kombination mit Sohlbohrlöchern durchgeführt. In Abhängigkeit von der Abbauführung und den betrieblichen Anforderungen sind auch niedrigere Wandhöhen zulässig.

#### **1.3 Auftrag und Vorgehensweise**

Der Unterzeichner ist von der Fa. Telge & Eppers mit der Ausarbeitung einer gutachterlichen Stellungnahme beauftragt, die Auswirkungen der Gewinnungssprengungen im Hinblick auf die auftretenden Sprengerschütterungen auf den Radaustollen und die schützenswerten Objekte im näheren Umkreis zu beurteilen.

Im Einzelnen umfasst diese Ausarbeitung:

- Beschreibung der derzeitigen Sprengtechnik,
- Sprengtechnische Immissionsprognose,
- Empfehlungen zur Sprengtechnik.

Für Sprengarbeiten gilt die DGUV-Regel 113-016 formals als Technische Regel BGR/GUV-R 241 bezeichnet.

Die gutachterlichen Empfehlungen in der vorliegenden Stellungnahme orientieren sich unter Einhaltung der geltenden Gesetze und Regelwerke auch an der Kernaussage des BImSchG „nicht mehr Emissionen zu erzeugen als nach dem Stand der Technik unvermeidbar sind“.

#### **1.4 Quellen als Grundlage zur Gutachtenerstellung**

Nachfolgende Unterlagen wurden dem Unterzeichner von der Auftraggeberin zur Verfügung gestellt:

- Erschütterungsmessbericht, Herrn Dipl.-Ing. Ronny Zschemisch Maxam Deutschland GmbH, Juni 2014
- Diverses maßstäbliches Kartenmaterial
- Geologisches Gutachten über den von den Harzwasserwerken geplanten Radau-Oker-Stollen, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover, April 1973
- Auswertung und Beurteilung der Sprengerschütterungsmessungen vom 16.08.1998 – 19.03.1999 in der Waldgaststätte „Kästehaus“ und an der Felsformation mit der Bezeichnung „Mausefalle“ von Dipl.-Ing. Horst Rauter, 1999
- Schreiben, Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Braunschweig zur Anwendung der neuen Vorschrift BGR/GUV-R 241 vom 22.08.2012 im Diabastagebau-Huneberg.

Weiterhin wurden folgende Unterlagen vom Unterzeichner mit benutzt:

- DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen
  - Teil 1: Vorermittlungen von Schwingungsgrößen
  - Teil 2: Einwirkung auf Menschen in Gebäuden
  - Teil 3: Einwirkung auf bauliche Anlagen
- DIN 45669 Messung von Schwingungsimmissionen
  - Teil 1: Schwingungsmesser Anforderungen, Prüfung
  - Teil 2: Messverfahren
- Erschütterungs-Leitlinie des Länderausschuss für Immissionsschutz „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen“

## **2. Betriebsbeschreibung**

### **2.1 Abbauführung**

Es ist geplant die Erweiterungsfläche des Diabas-Tagebaues Huneberg in nord-östlicher Richtung zu erschließen. Nach derzeitiger Planung ist die Erweiterungsfläche in 5 Abbaubereiche unterteilt, welche sukzessive erschlossen werden, Anlage 2. Die abgeschätzten Abbaueiträume sind in Tabelle 1 zusammengefasst, diese sind jedoch stark von der zukünftigen Abbaumenge abhängig und können von der derzeitigen Planung abweichen.

<b>Erweiterungsplan Huneberg Ost Erschließung der Teilfelder</b>	
Gewinnungs-Teilfeld 1	Abbaueitraum 1 - 10 Jahre
Gewinnungs-Teilfeld 2	Abbaueitraum 11 - 20 Jahre
Gewinnungs-Teilfeld 3	Abbaueitraum 21 - 30 Jahre
Gewinnungs-Teilfeld 4	Abbaueitraum 31 - 40 Jahre
Gewinnungs-Teilfeld 5	Abbaueitraum 41 - 50 Jahre

Tabelle 1: Abbaubereiche

Die Verfahrensschritte zum Gesteinsabbau gliedern sich dabei wie folgt:

1. Vorbereitende Arbeiten wie z. B. Abraum abtragen
2. Bohren
3. Sprengen
4. Laden und Fördern
5. Brechen und Klassieren

Der Aufbereitungsprozess mit Brech- und Klassiervorgängen ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung und wird hier nur vollständigshalber aufgeführt. Die Reduzierung von Sprengemissionen ist wegen der Vielzahl der Einflussfaktoren ein sehr komplexes Thema und darüber hinaus sehr stark von der angewandten Sprengtechnik, deren Ausführung vor Ort und den geologischen und hydrologischen Bedingungen abhängig.

### **3. Betriebsbeschreibung**

#### **3.1 Umgebungssituation**

Der bestehende Tagebau Huneberg und die Erweiterungsfläche befinden sich in einem geschlossenen Waldstück südwestlich der Gemeinde Bad Harzburg. Östlich vom Steinbruch befindet sich in einer Entfernung von ca. 1 km die Bundesstraße B4 und westlich in einer Entfernung von ca. 4 km die Bundesstraße B498. Im Norden der Erweiterungsfläche, im Bereich der Teilfläche 4 und 5, unterquert der Radaustollen die Erweiterungsfläche. Dieser wird vorraussichtlich in ca. 30 Jahren teilweise mit dem Gesteinsabbau überfahren.

Aufgrund der Größe der einzelnen Teil-Erweiterungsflächen können die jeweiligen Auswurfrichtungen der Bruchwände zum jetzigen Zeitpunkt nicht genau festgelegt werden. Aus der geplanten nord-westlichen Generalabbaurichtung wird sich aber bei der Durchführung von Sprengarbeiten eine Hauptauswurfrichtung in süd-östlicher Richtung ergeben. Es sind Wandhöhen bis zu 30 m geplant. Ausgehend vom aktuellen Höhenprofil von bis zu +645 m N.N. im Erweiterungsgebiet ergeben sich bis zur beantragten Abbautiefe von +505 m N.N. mindestens 5 Abbausohlen.

Aus der Anlage 3 (Übersichtplan Sprengwesen 1 : 25.000) ergeben sich nachfolgend als IO's (Immissions-Orte) bezeichnet aufgeführte schutzwürdige Objekt, die im Einflussbereich von Sprengarbeiten liegen können. Hierbei sind nur diejenigen Objekte berücksichtigt, die zu dem zukünftigen Abbau am nächsten gelegen sind. Es gilt hierbei der Grundsatz, dass bei Einhaltung der Anhaltswerte im Nahbereich diese im Regelfall auch im Fernbereich eingehalten werden.

Die Entfernungen der Grundstücks- bzw. Objektgrenzen beziehen sich auf die kürzesten horizontalen Distanzen zu der beantragten Abgrabungsgrenze bzw. in vertikaler Richtung zum unter dem Abbaufeld verlaufenden Radaustollen.

#### **Radaustollen**

Der in den 1970er Jahren aufgefahrene und seit 1981 betriebene Radaustollen dient als sogenanntes Überleitungsbauwerk; durch den 4750 m langen Stollen werden Teilabflüsse der Radau in die Okertalsperre oder den Oker-Grane-Stollen abgeleitet. Auf einer Länge von ca. 350 m in einem Niveau von +390 m NN, d.h. rund 115 m unterhalb der bei ca. +505 m NN geplanten und möglichen untersten Abbausohle unterquert der Stollen die Erweiterungsfläche siehe Anlage 4.

Der überwiegende Teil des Stollens wurde mit einer Tunnelvortriebsmaschine mit einem Bohrkopfdurchmesser von 2,3 m aufgefahren. Die letzten ca. 900 m in Richtung östliches Stollenmundloch wurden konventionell mittels Bohr- und Sprengarbeiten aufgefahren.

Teile des Stollens sind mittels Spritzbeton ausgebaut. Der größere Teil, vor allem im maschinell aufgefahrenen Bereich, nutzt ausschließlich die Tragwirkung des Gebirgskörpers ohne weiteren Ausbau [2].

#### **Marienteich-Baude**

In südlicher Richtung, an der B4 gelegen, befindet sich in einer Entfernung von 1.200 m zum geplanten Gesteinsabbau die "Marienteich-Baude". Hierbei handelt es sich um ein als Ausflugslokal genutztes Gebäude. Dieses ist eingeschossig, wobei das Obergeschoss ausgebaut ist.

#### **Kästehaus**

Nordwestlich von der Erweiterungsfläche in einer Entfernung von ca. 2.900 m befindet sich das Ausflugslokal „Kästehaus“ mit den Gesteinsformationen „Kästeklippen“. Hierbei handelt es sich um Gesteinsformationen, die durch „Wollsackverwitterung“ geprägt sind und teilweise unter Naturdenkmal stehen. In einer gutachterlichen Stellungnahme wurde 1999 von Herrn Dipl.- Ing. Horst Rauter [3] das als Ausflugslokal „Kästehaus“ und die Felsformation „Mausefalle“ bewertet. Die Entfernung zum geplanten Gesteinsabbau beträgt ca. 2.800 m.

In der Tabelle 2 sind die schützenswerten Objekte [IO] der Umgebung aufgeführt.

Schützenswerte Objekte		Entfernung
IO 1	Überleitungsbauwerk Radaustollen (horizontal)	115 m
IO 2	Gebäude Marienteich-Baude (vertikal)	1200 m
IO 3	Kästehaus (vertikal)	2900 m
IO 3	Kästeklappen (vertikal)	2800 m

Tabelle 2: Abstände zu den schützenswerten Objekten

### 3.2 Sprengtechnik

Am 11.03.2014 wurde im bisherigen Abbaufeld eine Großbohrlochsprengung durchgeführt, bei der die Sprengerschütterungen im Bereich des Radaustollens gemessen wurden. Der Messbericht der Fa. Maxam von Herrn Dipl.-Ing. Ronny Zschemisch liegt vor, Anlage 5.

**Laut Aussage des Messberichtes betrug die Entfernung zwischen Messstelle und Sprengstelle ca. 2000 m. Die maximale Lademenge pro Zündzeitstufe lag bei 2052 kg. Bei der Erschütterungsmessung vom 11.03.2014 wurde der Triggerwert von 0,5 mm/s nicht erreicht, die Schwinggeschwindigkeit hat somit unter 0,5 mm/s gelegen.**

Die Sprengparameter der Sprengung vom 11.03.2014 sind dem Messbericht entnommen und in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengefasst.

Gewinnungssprengung vom 11.03.2014	
Wandhöhe	ca.27 m
Bohrlochdurchmesser	115 mm
Bohrlöcher 1. Reihe	31
Anzahl Reihen	2
Unterbohrung	1,00 m
Anzahl Sohlbohrlöcher	30
Max. Lademenge pro Bohrloch	250 kg
Max. Lademenge pro Zündzeitstufe	2052 kg
Gesamtlademenge	15008 kg
Ausbruchsvolumen	33791 m <sup>3</sup>
Spez. Sprengstoffaufwand	0,444 kg/m

Tabelle 3: Sprengparameter Gewinnungssprengung vom 11.03.2014

Die Sprengtechnik sollte immer dem neuesten Stand der Technik entsprechen, um übermäßige Immissionen zu vermeiden. Betriebsübliche Sprengarbeiten im Tagebau Huneberg umfassen derzeit und zukünftig Gewinnungssprengungen im Bohrlochsprengverfahren (allgemeine Sprengarbeiten und Großbohrlochsprengungen mit Wandhöhen bis 30 m) sowohl in Einreihen- als auch in Mehrreihenform.

Die Bohrlochtiefen richten sich nach der Höhe der jeweiligen Gewinnungsstrossen, der gewählten Bohrlochneigung, einer eventuell gewählten Unterbohrung und ob Sohlbohrlöcher eingesetzt wurden. Die Gewinnungsstrossen werden durch die Bestimmungen der BGV Steinbrüche, Haldenabtragungen und Gräbereien auf vorgegebene senkrechte Strossenhöhe von 30 m begrenzt.

Es wird die Empfehlung ausgesprochen, dem Betrieb genehmigungsrechtlich die Möglichkeit zu geben, neu zugelassene Sprengstoffe und Zündmittel einsetzen zu können, wenn die jeweils gültigen Anhaltswerte mit Anwendung dieser Technik sicher eingehalten bzw. gesenkt werden können und/oder damit wirtschaftliche Verbesserungen erreichbar sind.

### **Empfehlung 01 (für die Genehmigungsbehörde)**

*Grundsätzlich sollten alle mit einer EG-Baumusterprüfbescheinigung (CE-Zeichen) versehenen und darüber hinaus von der in Deutschland zur Verwendung BAM-zugelassenen (Identifikationsnummer) Sprengstoffe und Zündmittel bei den Sprengarbeiten zum Einsatz kommen können. Dieses betrifft sowohl patronierte als auch lose Sprengstoffe und Zündsysteme.*

Im Tagebau Huneberg werden überwiegend pumpfähige Emulsionssprengstoffe mit einer Verstärkungsladung aus patroniertem Gesteinssprengstoff, sowie eine über die gesamte Länge der Ladesäule geführte Sprengschnur eingesetzt. Der spezifische Sprengstoffaufwand [q] liegt meist zwischen 350 – 500 g/m<sup>3</sup>.

### **3.3 Bohrtechnik**

Die richtige Anordnung und Herstellung der Laderäume haben entscheidenden Einfluss auf das Sprengergebnis, die technische Sicherheit und den Umweltschutz.

*Welche Bohrgeräte zukünftig im Tagebau Huneberg eingesetzt werden, kann zu diesem Zeitpunkt nicht verbindlich festgelegt werden. Es hat sich jedoch in der Vergangenheit in diesem Tagebau gezeigt, dass sowohl moderne Imlochhammer- als auch Außenhammer-Bohrgeräte richtungsgenau bohren können.*

Für Bohrlochsprengungen (Allgemeine Sprengarbeiten – und Großbohrlochsprengungen) sind Bohrpläne zu empfehlen, die folgende Angaben enthalten sollten:

- Zeichnung der Bohranlage
- Bohrlochabstand
- Vorgabe
- Bohrlochnummerierung
  - Bohrlochtiefen
  - Bohrlochneigungswinkel
  - Bohrlochdurchmesser
  - Lageposition (Nord-Süd-Ausrichtung)

Über die Bohrarbeiten sollte ein Bohrprotokoll geführt werden, in dem Informationen über den Zustand der Bohrlöcher, über Besonderheiten des Gebirges (Klüfte, Lehm, Hohlräume) festgehalten werden, um die Lade- und Sprengarbeiten der örtlichen Situation anpassen zu können.

Den Stand der Technik in der BRD stellen zur Zeit Bohrlochdurchmesser von 76 bis 140 mm dar.

Die Wahl des Bohrlochdurchmessers ist von vielen Faktoren abhängig, wie z.B. den geologischen Verhältnissen, dem Sprengzweck, der angewandten Sprengtechnik, den Immissionsbedingungen und der Leistungsfähigkeit des Bohrgerätes. Bei den nachfolgenden Berechnungen wird der derzeitig verwendete Standarddurchmesser von 115 mm berücksichtigt.

### **Empfehlung 02 (für die Genehmigungsbehörde)**

*Grundsätzlich können alle für Bohrlochsprengungen sinnvolle und technisch realisierbare Bohrlochdurchmesser zwischen 76 mm und 140 mm eingesetzt werden sofern die Lademengen-Abstandstabelle berücksichtigt wird.*

### **Empfehlung 03 (für den Betrieb)**

*Bei der Verwendung von horizontalen Bohrlöchern an den Füßen der Bruchwände ist seitens des Betriebes in einer Gefährdungsbeurteilung die besondere Erfordernis zu begründen und auszuführen, welche besonderen Maßnahmen zum Schutz gegen Steinfall während des Herstellens der Bohrlöcher und bei den Ladearbeiten erforderlich sind.*

### **3.4 Zündtechnik**

Zurzeit kommen elektrische Kurzzeitzünder zum Einsatz; dieses Zündverfahren besteht heute im Regelfall aus der Kombination eines Momentzünders und **20** Kurzzeitzündern mit einem Zündintervall von **25 ms**. Bei einzelnen Systemen stehen je nach Hersteller zwischen 5 und 10 weitere Zeitstufen in einem Intervall von 50 ms zur Verfügung.

Über das elektrische Standardzündverfahren hinaus sollte grundsätzlich die Möglichkeit bestehen, alle in Deutschland von der BAM zur Verwendung zugelassenen Zündverfahren und –systeme einsetzen zu können. Das sollte auch zukünftig in Deutschland zugelassene Verfahren und Systeme beinhalten. Die neue DGUV-Regel 113-016 lässt dieses Zündverfahren grundsätzlich zu, der Verwender muss für die Anwendung grundsätzlich geschult sein.

### **Empfehlung 04 (für die Genehmigungsbehörde)**

*Über den Betriebszeitraum eines Steinbruches können sich die Unfallverhütungsvorschriften bzw. Berufsgenossenschaftlichen Regeln z.B. durch Angleichung an den fortgeschrittenen Stand der Technik, ändern.*

*Zwecks Vermeidung späterer aufwendiger Änderungsanzeigen oder wesentlicher Änderungen gemäß BImSchG, die den Steinbruchbetrieb stark einschränken können, sollte dieses bei der Genehmigerteilung soweit wie möglich berücksichtigt werden. Die Einhaltung der jeweils gültigen Unfallverhütungsvorschriften oder Ersatzregelungen ist immer vorgegeben und versteht sich von selbst.*

Nachfolgend sind die Möglichen der Zündungsarten für Bohrlöcher beschrieben, die den heutigen Stand der Technik berücksichtigen, auf das zündtechnische Teilen von Ladesäulen wird an dieser Stelle nicht eingegangen, da hierzu voraussichtlich keine Notwendigkeit besteht.

1. Zündung aus dem Bohrlochtiefsten ohne Sprengschnur
2. Zündung vom Bohrlochmund mit Sprengschnur
3. Zündung aus dem Bohrlochtiefsten mit Sprengschnur
4. Redundante Zündung aus dem Bohrlochtiefsten ohne Sprengschnur
5. Redundante Zündung aus dem Bohrlochtiefsten mit Sprengschnur

Diese Zündungstechniken stellen die Standardverfahren gemäß der derzeit gültigen DGUV-Regel 113-016 dar.

### **3.5 Sprengbereich und Absperrung**

Die Berufsgenossenschaften bestimmen in der DGUV-Regel 113-016 einen kreisförmigen Regelsprengbereich von **300 m** um die jeweiligen Sprengstellen. In diesem Umfeld sollen sich keine Personen ohne Deckung im Freien aufhalten.

Bei der Größe des Sprengbereichs von **300 m** handelt es sich um eine sog. Kann-Bestimmung.

Der verantwortliche Sprengberechtigte kann in Abstimmung mit dem Unternehmer

- den Sprengbereich verkleinern, wenn durch geeignete Maßnahmen das Auftreten von Streuflug ausgeschlossen ist oder
- er **muss** diesen erweitern, wenn mit dem Auftreten von Streuwirkung zu rechnen ist.

Der Sprengbereich ist so zu bemessen, dass außerhalb der Begrenzung Personen oder Sachgüter durch die Sprengwirkung nicht gefährdet werden können.

1. Eingewiesene Absperrposten müssen den Sprengbereich im Abstand von 300 m zur Sprenganlage weiträumig absperren.
2. Die im Kapitel 4.6 (Steinfluggefahren) erwähnten Endbesatzlängen sind einzuhalten. Spritzflug aus den Bohrlochmündern auszuschließen, bedeutet die einfachste Aufgabe eines verantwortlichen Sprengberechtigten durch ausreichend und ordnungsgemäß eingebrachten Endbesatz.
3. Bei der Anwendung von Sohlbohrlöchern sind diese ausreichend mit Besatzmaterial abzudecken, es wird empfohlen zusätzlich Besatzpatronen in die Sohlbohrlöcher einzubringen.

**Empfehlung 05 (für die Genehmigungsbehörde)**

*Vor Aufnahme der Sprengarbeiten im Erweiterungsgebiet sollte der Betrieb einen geeigneten und sicher einzuhaltenden Absperrplan vorlegen. Dieser muss gewährleisten, dass sich im Umkreis von 300 m keine Menschen bzw. Fahrzeuge aufhalten. Die Absperrposten sollten (nachweislich) betrieblich eingewiesen sein.*

*Zwischen dem verantwortlichen Sprengberechtigten und den Sperrposten muss die jederzeitige Verständigung gewährleistet sein. Funkkontakt zum verantwortlichen Sprengberechtigten bzw. zu den Absperrposten untereinander ist zu empfehlen.*

## **4 Immissionsprognose**

Bei der Durchführung von Gewinnungssprengungen entstehen zwangsläufig Emissionen, da sich die Gesamtenergie der Sprengstoffumsetzung in zwei Hauptenergieanteile aufteilt:

- In einen Wirkanteil, der in sprengtechnisch gewünschter Form zur Ablösung, Zerkleinerung und zum Werfen einer bestimmten Gesteinsmasse benötigt wird und
- in einen nicht unerheblichen Anteil an Verlustenergie. Neben einem kleinen Anteil, der als thermische (Wärmeabstrahlung) und akustische (Luftschall) Energie in der Atmosphäre verlorengeht, wird der weitaus größte Anteil der Verlustenergie an das anstehende Gestein als elastische Wellen in Form von spürbaren Erschütterungen (Körperschall) abgegeben.

Die bei Sprengungen entstehenden Sprengemissionen lassen sich nicht vermeiden, sondern nur reduzieren, wenn deren Ursprung bekannt ist und geeignete Gegenmaßnahmen getroffen werden.

### **4.1 Sprengerschütterungen - Allgemeines -**

#### **Emissionen**

Während im direkten Einwirkungsbereich von Sprenganlagen die Energie wie geplant und erwünscht den anstehenden Diabas auflockert und die Vorgaben werfen, können in entfernteren Bereichen Bodenschwingungen auftreten.

Als Schwingung wird eine zeitliche Veränderung von physikalischen Größen bezeichnet, wenn diese Veränderung im betrachteten Zeitraum nicht monoton verläuft. Durch Sprengarbeiten im anstehenden Boden entstehen somit seismische Wellen, deren Weiterleitung durch den Untergrund die Ursache für Erschütterungen sind. Man unterscheidet dabei zwei Hauptwellenarten: Raum- und Oberflächenwellen.

Beide Wellenarten sind im Wesentlichen durch die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Frequenz charakterisiert.

In der Theorie werden für geringe Entfernungen zwischen Erschütterungserreger (Sprengung) und Messort die Raumwellen (Transversal- und Kompressionswellen), und für einen größeren Abstand (> 100 m) die Oberflächenwellen als maßgeblich für die Erschütterungsbetrachtung herangezogen.

#### **Immissionen**

Bei der Einwirkung von externen Erschütterungsquellen (z.B. Sprengungen) werden die einzelnen Teile des Gebäudes über die Fundamente in unterschiedlicher Weise zu Schwingungen angeregt. Dadurch treten dynamische Spannungen in den Bauteilen auf. Überschreiten diese die Elastizitätsgrenze des Materials, kommt es zur Rissbildung [4].

Für die Beurteilung dieser Schwingungen sind folgende Faktoren ausschlaggebend:

- Maximale Schwinggeschwindigkeit
- Schwingfrequenzen
- Schwingungsdauer
- Bauliche und statische Beschaffenheit des Einwirkortes

#### **4.2 Beurteilungsgrundlage für Sprengerschütterungsimmissionen**

Die Beurteilungsgrundlage von Erschütterungsimmissionen bildet seit Jahrzehnten die Deutsche Industrie Norm DIN 4150 - Erschütterungen im Bauwesen - in ihrer jeweils gültigen Form.

Diese dreiteilige Norm bestehend aus,

- Teil 1 Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Weißdruck 06/2001)
- Teil 2 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Weißdruck aus 06/1999
- Teil 3 Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Weißdruck 2/1999

wird in gewissen Zeitabständen überarbeitet. Somit fließen die jeweils neuesten Erkenntnisse in Bezug auf den Immissionsschutz in die Anhaltswerte ein und der Stand der Technik wird jeweils wiedergegeben.

Die messtechnische Erfassung, Aufzeichnung und Auswertung von Sprengerschütterungsimmissionen ist nach der DIN 45669 (Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung) durchzuführen. Für jedes Schwingungsereignis ist die Schwinggeschwindigkeit durch spezielle Erschütterungsmessgeräte in mm/s und die maßgeblichen Schwingfrequenzen des Ereignisses in Hertz (Hz) festzustellen.

Weitere Größen wie Schwingwege und Schwingbeschleunigungen lassen sich ebenfalls messtechnisch erfassen oder aus Messwerten rechnerisch ableiten.

##### **4.2.1 Einwirkungen auf Gebäude**

Nachfolgend sind die zulässigen Schwinggeschwindigkeiten und Frequenzbereiche gemäß Niedersächsisches Ministerialblatt Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen aufgeführt. Diese Tabelle entspricht im Wesentlichen der Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 3.

Laut den Ausführungen der DIN 4150 Teil 3 (5.1) ist davon auszugehen, dass wenn die Anhaltswerte der Tabelle 2 eingehalten oder unterschritten werden, keine schädlichen Umwelteinwirkungen im Sinne des BImSchG vorliegen. "Die Anhaltswerte der Tabelle 2 kennzeichnen für den überwiegenden Teil der heute vorhandenen Gebäude eine Schwelle, bei deren Einhaltung eine Verminderung der bestimmungsgemäßen Nutzbarkeit als Folge von Erschütterungseinwirkungen nach den bisherigen Erfahrungen nicht auftritt. Bei der Überschreitung der Immissionswerte nimmt aber das Risiko derartiger Beeinträchtigungen zu."

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v, in mm/s				Vertikale Deckenschwingung
		Fundament Frequenz			Oberste Deckenebene, horizontal	
		1 Hz - 10 Hz	10 Hz - 50 Hz	50 Hz - 100 Hz*	alle Frequenzen	
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 - 40	40 - 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 - 15	15 - 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 - 8	8 - 10	8	Einzelfall Betrachtung

\* Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.

Tabelle 4: Tabelle 1 (der DIN): Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungswirkungen auf Gebäude in mm/s (Auszug aus der DIN 4150 Teil 3)

\*\*\*Die Immissionswerte für Frequenzen von 10 bis 50 Hz sowie von 50 bis 100 Hz sind durch lineare Interpolation zwischen den Immissionswerten der jeweiligen Zeilen zu ermitteln.

In der DIN 4150 Teil 3 ist dieser Passus weitergehend formuliert: "Werden die Anhaltswerte nach Tabelle 1 (der DIN) eingehalten, so treten Schäden im Sinne der Verminderung des Gebrauchswertes, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach den bisherigen Erfahrungen nicht auf. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind."

**In der Tabelle 1 der DIN werden in der Zeile 1 Anhaltswerte für gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten angegeben. Im Absatz 5.1 wird dazu angemerkt, dass für Ingenieurbauwerke in massiver Bauweise die Anhaltswerte nach Tabelle 1, Zeile 1, bis auf das 2-fache angehoben werden dürfen, sofern keine Gefahren aus bodenmechanischen Vorgängen entstehen können.**

#### **4.2.2 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden**

Die Erschütterungs-Leitlinie lehnt sich auch hier bezüglich der Immissionswerte sehr stark an die DIN 4150 Teil 2 an. Unter Punkt 3 verweist sie ausdrücklich darauf, dass die Tabelle 3 Immissionswerte für Situationen angibt, in denen Erschütterungsquellen über mehrere Monate und Jahre auf Immissionsorte einwirken. Für vereinzelt auftretende (kurzzeitige) Erschütterungen gilt eine Sonderregel.

#### **Sonderregelung für kurzzeitige Erschütterungen**

Unter Punkt 6.5 "quellenspezifische Regelungen" geht die DIN 4150 Teil 2 aus 6/1999 in Ihren Unterpunkt 6.5.1 auf selten auftretende, kurzzeitige Erschütterungen ein.

Danach sind als selten und kurzzeitig einwirkende Erschütterungen solche Ereignisse einzuordnen, die eine Einwirkungsdauer von wenigen Sekunden pro Ereignis (bis zu drei Ereignisse je Tag) haben. Hierunter fallen eindeutig Sprengerschütterungen.

Nach den Ausführungen dieser Sonderregelung gelten die Anforderungen der DIN als eingehalten, wenn die maximale Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  kleiner oder gleich dem (oberen) Anhaltswert  $A_0$  nach Tabelle 1 ist. Diese Regelung kann in Anlehnung an die DIN 4150, Teil 2 Anwendung finden, sofern nur maximal 3 Ereignisse pro Tag stattfinden, wobei mehrere Sprengungen unmittelbar aufeinander folgend als ein Ereignis gelten, sofern nicht mehr als 15 Sprengungen in einer Woche erfolgen.

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leitende der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete §9 BauNVO).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete §8 Bau NVO).	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete §7 BauNVO, Mischgebiete §6 BauNVO, Dorfgebiete §5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet §3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete §4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiet §2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungen, z.B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

Tabelle 5: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen, z.B. in Büroräumen, die nicht der verursachenden Anlage zuzurechnen sind. (Quelle: DIN 4150 Teil 2, Seite 4)

Wenn die Sprengungen werktags mit Vorwarnung der unmittelbar Betroffenen in den Zeiten von **7:00 bis 13:00 Uhr** oder von **15:00 bis 19:00 Uhr** erfolgen, gelten in den Gebieten nach der o. g. Tabelle 3, Zeilen 3 und 4, auch die  $A_0$ -Werte bzw. nach Zeile 1 ( $A_0 = 6$ ), wenn nur ein Ereignis pro Tag stattfindet.

**In Ausnahmefällen (wenige Male im Jahr, z.B. bis zu 10-mal) dürfen die  $A_0$ -Werte bis zu 8 betragen.**

Die Vorwarnung erfolgt in der Regel durch akustische Signalgebung (z.B. Sprengsignale) oder außerhalb des Absperrbereichs durch andere Maßnahmen.

Nachfolgend ist gemäß der DIN der Rechenweg aufgezeigt, um von gemessenen vertikalen Schwinggeschwindigkeiten in der Deckenmitte des obersten Vollgeschosses die Anhaltswerte ermitteln zu können. (s. Gleichungen 6 und 7 aus DIN 4150 Teil 2).

**Formel 1**

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{\max}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}}$$

**Formel 2**

$$IW = A_0 = KB \cdot c_F = KB \cdot c_F$$

Darin bedeuten:

$V_{\max}$  = höchste Schwinggeschwindigkeit auf der Deckenebene (mm/s)

$f_0$  = Bezugsfrequenz 5,6 Hz

$f$  = Schwingfrequenz gemessen oder sonst mit 10 Hz im Ansatz

$c_F$  = Konstante (hier mit 0,6 angenommen)

$A_0$  = Immissionswerte (IW) / Anhaltswerte ( $A_0$ )

Der  $c_F$  - Wert kann der Tabelle 3 der DIN 4150 Teil 2 Zeile 4 entnommen werden und gilt für Einzelereignisse von kurzer Dauer. Für diese Einzelereignisse kann dieser Wert zwischen 0,6 und 0,8 liegen. Dabei dokumentiert dieser mittlere Erfahrungswerte, wobei Abweichungen von +/- 15 % auftreten können.

Der Wert  $c_F$  von 0,6 ist anwendbar, wenn keine Resonanzbeteiligung an den Bauwerksteilen zu erwarten ist, wobei Erschütterungen aus Einzelereignissen in der Regel nicht zu ausgeprägten Resonanzerscheinungen von Gebäuden und Bauteilen führen (s. DIN 4150 Teil 1 unter 5.5.5, so dass dieser  $c_F$  – Wert bei Sprengungen für ausgesteifte Baukonstruktionen von Gebäuden im Regelfall angenommen werden kann.

### Beurteilung

Nach der Erfahrung des Unterzeichners hat sich für Ein- bis Zweigeschossige Gebäude ein Überhöhungsfaktor von  $\bar{U} = 3,0$  bewährt, wobei eine mittlere Frequenz von 10 Hz berücksichtigt wird. **Hierdurch ergibt sich für die Immissionsprognose eine zusätzliche deutliche Sicherheit.**

In der Deckenmitte des obersten Vollgeschosses wären zur Einhaltung des  $A_0$ -Wertes von 6 Schwinggeschwindigkeiten bis zu 16,2 mm/s bei einem  $c_F$ -Faktor von 0,6 und einer Frequenz von 10 Hz zulässig.

Nachfolgende Berechnungen verdeutlichen die am Fundament als Anhaltswerte zulässigen Schwinggeschwindigkeitswerte:

$IW_0=6$

F=10 Hz	Deckenmitte $V_{\max}=16,21$ mm/s	Überhöhungsfaktor 3,0	$V_{\max}$ am Fundament <b>5,40 mm/s</b>
---------	--------------------------------------	--------------------------	---

$IW_0=8$

F=10 Hz	Deckenmitte $V_{\max}=21,61$ mm/s	Überhöhungsfaktor 3,0	$V_{\max}$ am Fundament <b>7,20 mm/s</b>
---------	--------------------------------------	--------------------------	---

Der Überhöhungsfaktor betrachtet die Auswirkungen der Fundamentanregungen auf das oberste Vollgeschoss (Bezug: Maximalwert).

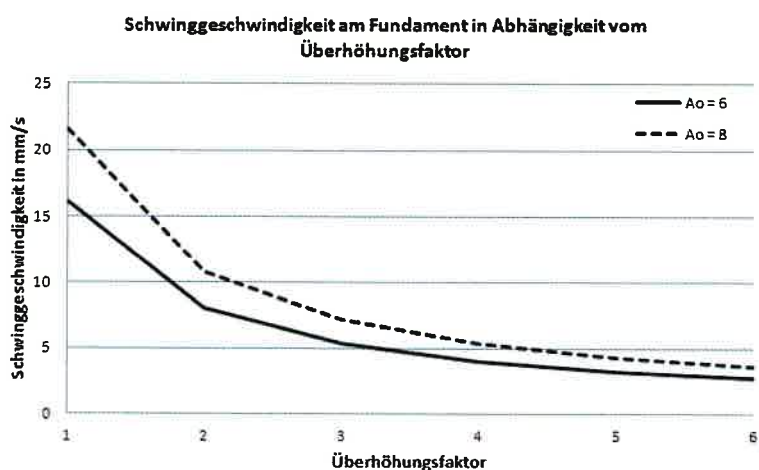


Abb. 1: Einzuhaltende Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit verschiedener Anhaltswerte und Überhöhungsfaktoren.

Wegen der ausschließlich erlaubten 20,0 mm/s Schwinggeschwindigkeit auf der Deckenmitte des obersten Vollgeschosses, ergibt sich eine maximal mögliche Schwinggeschwindigkeit am Gebäudefundament (bei einem  $A_0$ -Wert von 8) von 6,67 mm/s, aufgrund der großen Entfernungen zwischen Abbaubereich und schützenswerten Objekten sind niederfrequente Erschütterungswellen zu erwarten, daher wird für die weiteren Berechnungen ein Maximalwert von 5,00 mm/s am Gebäudefundament den Berechnungen zu Grunde gelegt.

Die Abbildung 1 verdeutlicht, welche maximale Schwinggeschwindigkeit am Fundament in Abhängigkeit vom Überhöhungsfaktor für die Anhaltswerte ( $A_0 = 6$  und  $A_0 = 8$ ) möglich wären, damit auch die Forderungen des Normteiles 2 der DIN 4150 erfüllt werden.

**Demzufolge kann für die Wohngebäude unter Berücksichtigung der Normteile 2 und 3 für den maßgeblichen Anhaltswert von  $A_0 = 6$  eine maximale Schwinggeschwindigkeit ( $V_{\max}$ ) am Fundament von 5,00 mm/s der Immissionsprognose zu Grunde gelegt werden.**

#### **Empfehlung 06 (für die Genehmigungsbehörde)**

Da bei der weiteren Erschütterungsbetrachtung ausschließlich ein  $A_0$ -Wert von 6 berücksichtigt wird, ist eine Festlegung von Sprengzeiten nicht notwendig. Dies entspricht der bisherigen Handhabung und kann nach Ansicht des Unterzeichners so beibehalten werden.

*J.P.*

### **4.3    Schutzwürdige Objekte**

#### **Radaustollen**

Bei dem Radaustollen handelt es sich um ein gewerblich genutztes Bauwerk gemäß Zeile 1 der DIN 4150. Gemäß Absatz 5.1 der DIN 4150 Teil 3 können für Ingenieurbauwerke in massiver Bauweise die Anhaltswerte nach Tabelle 1, Zeile 1 bis auf das 2-fache angehoben werden, sofern keine Gefahren aus bodenmechanischen Vorgängen entstehen können. Diese können hier aufgrund der geologischen Verhältnisse ausgeschlossen werden.

**Von der Firma Harzer Pflastersteinbrüche Telge & Eppers wurde mir per e-Mail vom 23. Juli 2014 eine Stellungnahme der Harzwasserwerke bzgl. des Radaustollens weitergeleitet. Darin heißt es, "Durch jährliche Erschütterungsmessungen ist nachzuweisen, dass die durch die Sprengungen ausgelösten Schwinggeschwindigkeiten im Radaustollen 30 mm/s im Frequenzbereich 10-50 Hz nicht überschreiten", so der Inhaber/Nutzer des Stollens.**

Die DIN würde höhere Werte zulassen, wenn das 2-fache der Werte der Zeile 1 angesetzt werden. Für die vom Betreiber geforderte jährliche Messung wird zunächst der konservativere Wert von 30 mm/s bei Frequenzen zwischen 10 – 50 Hz festgelegt. Da zu erwarten ist, dass die am Radaustollen auftretenden Sprengerschütterungen überwiegend in dem genannten Frequenzbereich von 10 – 50 Hz auftreten.

#### **Kästehaus und Felsformation „Mausefalle“**

Vom Sprengsachverständigen Herrn Dipl.- Ing. Horst Rauter wurden im Zeitraum 16.08.1998 – 19.03.1999 Erschütterungsmessungen an der Waldgaststätte „Kästehaus“ und an der Felsformation „Mausefalle“ durchgeführt.

Das Kästehaus wurde dabei von Herrn Rauter der Zeile 2, Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 3 zugeordnet. Für die Felsformation „Mausefalle“ wurde kein Anhaltswert festgelegt. Hier wurde lediglich auf die Zeile 3, Tabelle 1 der DIN verwiesen, die für besonders erschütterungsempfindliche bzw. unter Denkmalschutz stehende Gebäude anzuwenden ist. Desweiteren wurde festgestellt, dass die DIN keine Aussagen für Felsformationen, wie z.B. der „Mausefalle“ oder natürlich entstandene Höhlen trifft.

Aus dem Übersichtsplan Anlage 3 geht hervor, dass sich mit dem Abbau in dem neu zu erschließenden Abbaufeld der Abstand zum Kästehaus und den Kästeklippen gegenüber dem bisherigen Abbaufeld vergrößern wird. Bei den damaligen Messungen hat der Sachverständige Herr Dipl.-Ing. Rauter einen maximalen Messwert von 0,6 mm/s ermittelt und festgestellt, „Die Messergebnisse liegen in einem Bereich, der mit Sicherheit den Erschütterungsschutz für das „Kästehaus“ und die Felsformation „Mausefalle“ gewährleistet.“ [3]

Da sich zukünftig der Abstand zum Kästehaus und den Kästeklippen, zu denen auch die Felsformation „Mausefalle“ gehört weiter vergrößern wird, werden diese im weiteren Verlauf dieser Stellungnahme nicht näher berücksichtigt.

#### **Marienteich-Baude**

Bei dem als Ausflugslokal "Marienteich-Baude" genutztem Gebäude handelt es sich ein eingeschossiges Gebäude, bei dem das Obergeschoss ausgebaut ist. Dieses Gebäude wird der Zeile 2 – „Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten“-gemäß DIN 4150 Teil 3 zugeordnet.

#### **4.4   Prognoseformeln**

Grundlage für die anzuwendenden Prognoseformeln bildet die DIN 4150 Teil 1 – Vorermittlung von Schwingungsgrößen -. Für die Immissionsprognose werden zwei unterschiedliche Grundgleichungen benutzt, die den Einfluss der Lademenge je Zündzeitstufe und die Immissionshöhe zur Entfernung zwischen Emissionsort (Sprenganlage) und Immissionsort (Bauwerk) in Beziehung setzen und die mit der DIN 4150 Teil 1 korrespondieren. Sie beinhalten seit vielen Jahren den Stand der Technik.

##### **Koch`sche Gleichung**

Diese wurde von Professor Koch beim Bau der Biggetalsperre - damals wurden später überflutete Häuser als Versuchsobjekte benutzt - aus praktischen Messreihen entwickelt und stellt heute immer noch den Stand der Technik dar:

$$V_i = K \cdot \frac{\sqrt{L}}{R}$$

Darin bedeuten:

- $V_i$  = maximale Schwinggeschwindigkeit (mm/s)
- $L$  = Höchstlademenge/Zündzeitstufe (kg)
- $R$  = kürzeste Entfernung Sprengstelle - Immissionsort (m)
- $K$  = Gebirgsbeiwert  
Üblicherweise setzt man bei derartigen Vorabschätzungen  
 $K = 100$  ein, sofern keine Erfahrungs- bzw. Meßwerte vorliegen

Die Koch`sche Gleichung bietet für den Nahbereich eine gute Prognosesicherheit. Der Gebirgsbeiwert  $K$  wird (sofern keine Messwerte aus dem Gebirge vorliegen) mit **100** angenommen.

### Formeln nach BGR

1986 wurde das Resultat eines Forschungsauftrages in den Nobel-Heften veröffentlicht, das federführend von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) bearbeitet wurde und die Vorermittlung von Sprengerschütterungsemissionen zum Thema hatte.

Die Autoren Dr. Lüdeling und Dr. Hinzen veröffentlichten zwei Formeln sowohl für Sediment- als auch kristalline Gesteine, die sich im wesentlichen durch unterschiedliche Exponenten voneinander abheben:

$$v_i = K \cdot L^{0,8} \cdot R^{-1,3}$$

Hier: Formel für kristalline Gesteine

$V_i$ , L und R haben die gleiche Bedeutung wie in der Koch'schen Gleichung.

Sofern keine Erfahrungs- bzw. Messwerte vorliegen wird der Gebirgsbeiwert K im kristallinen Gestein mit dem Wert **206** angenommen.

Mit Hilfe von Erschütterungsmessungen im anstehenden und zu beurteilenden Festgestein kann der Gebirgsbeiwert K in Abhängigkeit von L und R für jede Situation individuell errechnet werden.

Die BGR-Formel hat sich besonders für den Fernbereich als gute Möglichkeit zur Vorabschätzung bewährt. Im Nahbereich unter 100 m ist die Verwendung der Koch'schen Formel zu bevorzugen.

**Da bei der späteren Überführung des Radaustollens die Sprengarbeiten auf den ca. 115 m unter des Abbauniveaus liegenden Stollen nicht wie bei größeren Entfernungen vorherrschenden Oberflächenwellen dominierend sind, bildet die Koch'sche Formel die Grundlage für die Immissionsprognose am Radaustollen.**

**Aufgrund der Entfernung von deutlich mehr als 100 m zu den schützenswerten Objekten „Kästehaus“ und „Marienbaude“ kommt hier die BGR-Formel für kristalline Hartgesteine zur Anwendung. Bei allen Prognoserechnungen ist jedoch die BGR-Formel für kristalline Hartgesteine die Prognoseformel nach Koch gegenübergestellt.**

#### 4.5 Ermittlung der spezifischen Gebirgsbeiwerte

Da bei der späteren direkten Überführung des Radaustollens neben den Oberflächenwellen auch eine Wirkung der Raumwellen stattfindet, wird die Koch'sche Formel mit einem K-Faktor von 100 mit einem zusätzlichen Sicherheitsfaktor von  $S_i = 1,4$  angewendet, Formel 3.

$$v_i = 140 \cdot \frac{\sqrt{L}}{R} \quad \text{Formel 3}$$

Dadurch beinhaltet die Immissionsprognose deutliche Sicherheiten.

#### **4.6 Immissionsprognose und Lademengenberechnungen**

Laut Sprengprotokoll wurden bei der Großbohrlochsprengung am 11.03.2014 bis zu 4 Kopfbohrlöcher und 4 Sohlbohrlöcher mit einer Zündzeitstufe (Stufe 8) gezündet. Die maximale Lademenge pro Zündzeitstufe betrug 2052 kg.

Ausgehend von einer maximalen Wandhöhe von 30 m, bei der die Kopfbohrlöcher und Sohlbohrlöcher mit einem Durchmesser von 115 mm gemeinsam gezündet werden, ergeben sich maximale Lademengen pro Zündzeitstufe. Aus der Anzahl gemeinsam gezündeter Kopf- und Sohlbohrlöcher errechnen sich unterschiedliche maximale Lademengen pro Zündzeitstufe für verschiedene Sprengzonen in Abhängigkeit von den schützenswerten Objekten.

#### **Empfehlung 08 (für die Genehmigungsbehörde)**

##### **Einführung von Sprengzonen mit Lademengenbegrenzungen**

*Sprengzone 1: max. 600 kg / Zündzeitstufe*

*Sprengzone 2: max. 1.200 kg / Zündzeitstufe*

*Sprengzone 3: max. 2.400 kg / Zündzeitstufe*

##### **Sprengzone 1: 600 kg / Zündzeitstufe**

Durchgängige Ladesäule mit pumpfähigen Emulsionssprengstoffen, bei der ein Kopfbohrloch und ein Sohlbohrloch mit einer Zündzeitstufe gezündet werden.

##### **Sprengzone 2: 1.200 kg / Zündzeitstufe**

Durchgängige Ladesäule mit pumpfähigen Emulsionssprengstoffen, bei der zwei Kopfbohrlöcher und zwei Sohlbohrlöcher mit einer Zündzeitstufe gezündet werden.

##### **Sprengzone 3: 2.400 kg / Zündzeitstufe**

Durchgängige Ladesäule mit pumpfähigen Emulsionssprengstoffen, bei der je nach Wandhöhe bis zu 4 Kopfbohrlöcher und zusätzlich bis 4 Sohlbohrlöcher mit einer Zündzeitstufe gezündet werden.

Aus den Schwinggeschwindigkeits-Abstandstabellen, Anlage 6, geht hervor, welcher minimale Abstand zwischen Sprengstelle und den schutzwürdigen Objekten eingehalten werden muss.

Die Entfernungen zwischen Sprengstelle und den schützenswerten Objekten bezieht sich auf die horizontalen Abstände. Dies wird auch für den Radaustollen in Bezug auf die Sprengzonen 2 und 3 empfohlen. Lediglich bei der späteren möglichen Überfahrung wird der vertikale Abstand berücksichtigt. Hieraus ergibt sich eine zusätzliche Sicherheit, weil der tatsächliche resultierende Abstand größer ist.

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung der Anlage 7, aus der für verschiedene maximale Lademengen pro Zündzeitstufe einzuhaltende Abstände aufgeführt sind. In der Anlage 8 sind diese Sprengzonen graphisch dargestellt.

<b>Schwinggeschwindigkeits-Abstandstabelle</b>			
<b>Auszug aus der Anlage 7</b>			
	<b>max. Lademenge pro Zündzeitstufe</b>	<b>Abstand zum Radaustollen</b>	<b>Abstand zur Marienbaude</b>
<b>Sprengzone 1</b>	600 kg	115 m	900 m
<b>Sprengzone 2</b>	1200 kg	165 m	1400 m
<b>Sprengzone 3</b>	2400 kg	230 m	2150 m

Tabelle 6: Zusammenfassung der Anlage 7 Schwinggeschwindigkeits-Abstandstabellen

*D.J.*

**Empfehlung 9 (für die Genehmigungsbehörde)**

Da die Sprengraster mit der Verwendung unterschiedlicher Sprengstoffe, Bohrlochtiefen etc. stark variieren, empfiehlt sich im Genehmigungsbereich keine festen Sprengraster festzuschreiben.

**Radaustollen**

Es ist zu empfehlen, durch jährliche Erschütterungsmessungen nachzuweisen, dass die zulässigen Anhaltswerte am „Radaustollen“ eingehalten werden.

**Marienteich Baude**

Mit Aufnahme der Sprengarbeiten im neuen Abbaufeld verringert sich zunächst die aktuelle Entfernung bevor sie sich mit fortschreitendem Abbau wieder vergrößert. Es wird daher empfohlen, bei Aufnahme der Sprengarbeiten im Erweiterungsfeld Huneberg-Ost Kontrollmessungen am IO 2 „Marienteich-Baude“ durchzuführen.

**Empfehlung 10 (Für die Genehmigungsbehörde)**

Werden 75 % des Anhaltswertes erreicht, wird empfohlen dies bei der Sprengplanung zu berücksichtigen. Der Betrieb, bzw. Planer der Sprengarbeiten hat z.B. die Möglichkeit bei Erreichen des Warnwertes Maßnahmen zur Reduzierung der Sprengerschütterungen einzuleiten. Dies kann z.B. durch eine Umstellung der Zündtechnik oder einer Reduzierung der maximalen Lademenge pro Zündzeitstufe erfolgen.

*Anmerkung:*

*Grundsätzlich sind die Sprengerschütterungen eingehalten, wenn die Vorgaben im Genehmigungsbescheid und der DIN 4150 bzw. der Erschütterungs-Leitlinie unterschritten werden. Maßgeblich hierfür sind die Messwerte der Erschütterungsüberwachung. Nach Auffassung des Unterzeichners besteht die Möglichkeit von der Lademengen-Abstandstabelle abzuweichen, wenn der messtechnische Nachweis erbracht wird, dass diese sicher eingehalten werden.*

**Diese müssen aber angepasst werden, wenn eine Unterschreitung des Anhaltswertes nicht sicher gewährleistet ist. Ausschlaggebend sind auch hier die tatsächlichen Messergebnisse bezogen auf die Anhaltswerte gemäß Genehmigungsbescheid und der DIN 4150.**

**4.7 Steinflug – Ursachen und Vermeidung -**

Auftretender Steinflug ist in aller Regel das Ergebnis von örtlichen oder punktuellen Überladungen.

Der spezifische Sprengstoffeinsatz ( $\text{kg}/\text{fm}^3$  Festgestein - bezogen auf ein mit Sprengstoff gefülltes Bohrloch - ) liegt bei aufgetretenem Steinflug, insgesamt oder örtlich, wesentlich über dem sprengtechnisch ermittelten Wert. Der spezifische Sprengstoffeinsatz ist u. a. abhängig vom Gestein, der Geologie, dem angestrebten Sprengerfolg und beträgt bei den meisten Gewinnungssprengungen über Tage zwischen  $0,2$  und  $0,8 \text{ kg}/\text{fm}^3$ .

Nach allgemeinen Erfahrungen tritt bei Gewinnungssprengungen ein über das normale Maß hinausgehender, unkontrollierter Steinflug bei einem spezifischen Sprengstoffeinsatz von etwa  $2 \text{ kg}/\text{fm}^3$  und mehr ein, wobei die örtlichen Bedingungen wie Einschussgrad der Ladung, Verspannung der Vorgabe, mechanische Eigenschaften des Einschussmediums und dgl. eine wichtige Rolle spielen, von den topographischen Bedingungen einmal ganz abgesehen.

Werden unzureichende Vorgaben (in der Regel kleiner als ca. 2,5 bis 3,5 m je nach Bohrl Lochdurchmesser und verwendeter Sprengstoffart) festgestellt, sind die entsprechenden Sprengstoffladesäulen geeignet „zu strecken“, wodurch sich der spezifische Sprengstoffaufwand in den kritischen Bereichen reduziert.

Sofern die Vorgaben in den kritischen Bereichen nicht exakt feststellbar sind, sind diese Bohrlöcher nicht mit Sprengstoff zu besetzen.

Auftretender Steinflug aus Bruchwandbereichen erfolgt in Wurfri chtung der Sprengungen. Dabei ist die Hauptstreurichtung allseitig in einem Winkel von 45° auf die jeweilige Bohrl Lochachse projiziert.

Spritzflug aus den Bohrl Lochmündern von Kopfbohrlöchern ist bei ordnungsgemäßer Durchführung von Gewinnungssprengungen sehr leicht und sicher vermeidbar, wenn die Endbesatzlänge in etwa der Vorgabe entspricht und der Endbesatz aus steinfreiem, feuchtem Steinmaterial, wie z. B. Bohrklein, Brech- oder Natursand verdichtet aufgebracht wird.

#### **Empfehlung 11 (für die Genehmigungsbehörde)**

*Folgende Empfehlungen können für Sprengarbeiten ausgesprochen werden:*

- *Bei Sprengarbeiten im Regelsprengbereich von 300 m sollte bei einem Bohrl Lochdurchmesser von 115 mm eine Endbesatzlänge von mindestens 3,8 m gewählt werden. Bei anderen Bohrl Lochdurchmessern ist die Endbesatzlänge entsprechend anzupassen.*
- *Es ist von der Fa. Harzer Pflastersteinbrüche Telge & Eppers dafür Sorge zu tragen, dass sich innerhalb des Regelsprengbereichs von 300 m während der Durchführung der Sprengung keine Personen im Freien ohne Aufsuchen von Deckungsräumen aufhalten. Dieses ist durch eingewiesenes Personal sicherzustellen. Hierfür sollten die Absperrposten mit Funkgeräten ausgestattet sein, es wird empfohlen einen Absperrplan anzufertigen.*

Sofern die Sprengarbeiten nach den allgemein gültigen Regeln der Sprengtechnik (Stand der Technik) und der gesetzlichen Bestimmungen sowie der notwendigen Sorgfalt erfolgen, ist keine Steinfluggefahr über die Abbaugrenzen hinaus zu befürchten.

## **5. Gutachterliche Stellungnahme und abschließende Empfehlungen**

Die gutachterliche Stellungnahme im Rahmen der beantragten Erweiterung des Tagebaus Huneberg-Ost der Fa. Harzer Pflastersteinbrüche Telge & Eppers wurde auftragsgemäß erstellt.

Die erforderlichen Betrachtungen für einen wirksamen Immissionsschutz bezüglich der Sprengarbeiten sind anhand der derzeit gültigen Regelwerke sowie unter Einberechnung von Sicherheiten erfolgt.

Berücksichtigung fanden dabei die jeweils maximal möglichen Immissionsauswirkungen bezogen auf die jeweils geringsten Entfernungen zwischen Emissions- und Immissionsort.

Aufgrund der durchgeführten Erschütterungsprognose und den unter allen Umständen dauerhaft einzuhaltenden Anhaltswerten wurden die zukünftigen Sprengarbeiten in der Erweiterungsfläche des Tagebaus Huneberg-Ost in verschiedene Sprengzonen mit Lademengenbegrenzungen eingeteilt. Es handelt sich hier um Sprengarbeiten im sogenannten Großbohrlochsprengverfahren mit Bohrlochtiefen größer 12 m, teilweise unter Verwendung von Sohlbohrlöchern.

Es wurde darauf hingewiesen, dass bei der Verwendung von Sohlbohrlöchern die Anforderungen der DGUV-Regel 113-016 einzuhalten sind.

Für alle schutzwürdigen Objekte (inklusive des Ableitebauwerks Radaustollen sowie der minimalen Entfernung zu schützenswerten Objekten im näheren Umfeld des Tagebaus sind bei Einhaltung

- der gesetzlichen Vorschriften und Bestimmungen (Auflagen zur Planung, Kontrolle, Ausführung und Dokumentation von Sprengarbeiten),
- des jeweils aktuellen Stands der Technik sowie
- den ausgeführten Empfehlungen

**Überschreitungen** der in den einschlägigen gültigen Regelwerken zulässigen Anhalts- und Immissionswerte (Erschütterungen) sowie Beeinträchtigungen durch Steinflug für die Nachbarschaft bei der Durchführung von Sprengarbeiten mit großer Sicherheit **auszuschließen**.

Für die Sprengerschütterungen geht dieses aus den erstellten Lademengen- und Abstandstabellen sowie den Tabellen zu den zu erwartenden Schwinggeschwindigkeiten in den entsprechenden Sprengzonen hervor. Hierbei wurde die aktuelle Sprengtechnik entsprechend den bisherigen Erfahrungen berücksichtigt.

Die Anhalts- bzw. Immissionswerte werden laut der im Rahmen des Gutachtens durchgeführten Immissionsprognose sowohl für die Einwirkungen auf Gebäude als auch auf Menschen in Gebäuden entsprechend der DIN 4150 Teil 3 und 2 sowie der Erschütterungs-Leitlinie eingehalten.

## **5.1 Auflistung der Empfehlungen für die Genehmigungsbehörden:**

### **Empfehlung**

Grundsätzlich sollten alle mit einer EG-Baumusterprüfbescheinigung (CE-Zeichen) versehenen und darüber hinaus von der in Deutschland zur Verwendung BAM-zugelassenen (Identifikationsnummer) Sprengstoffe und Zündmittel bei den Sprengarbeiten zum Einsatz kommen können. Dieses betrifft sowohl patronierte als auch lose Sprengstoffe und Zündsysteme.

### **Empfehlung**

Grundsätzlich können alle für Bohrlochsprengungen sinnvolle und technisch realisierbare Bohrlochdurchmesser zwischen 76 mm und 140 mm eingesetzt werden, sofern die Lademengen-Abstandstabelle berücksichtigt wird.

### **Empfehlung**

Über den Betriebszeitraum eines Steinbruches können sich die Unfallverhütungsvorschriften bzw. Berufsgenossenschaftlichen Regeln z.B. durch Angleichung an den fortgeschrittenen Stand der Technik ändern.

Zwecks Vermeidung späterer aufwendiger Änderungsanzeigen oder wesentlicher Änderungen gemäß BImSchG, die den Steinbruchbetrieb stark einschränken können, sollte dieses bei der Genehmigungserteilung soweit wie möglich berücksichtigt werden. Die Einhaltung der jeweils gültigen Unfallverhütungsvorschriften oder Ersatzregelungen ist immer vorgegeben und versteht sich von selbst.

### **Empfehlung**

Vor Aufnahme der Sprengarbeiten im Erweiterungsgebiet sollte der Betrieb einen geeigneten und sicher einzuhaltenden Absperrplan vorlegen. Dieser muss gewährleisten, dass sich im Umkreis von 300 m keine Menschen bzw. Fahrzeuge aufhalten. Die Absperrposten sollten (nachweislich) betrieblich eingewiesen sein.

Zwischen dem verantwortlichen Sprengberechtigten und den Sperrposten muss die jederzeitige Verständigung gewährleistet sein. Funkkontakt zum verantwortlichen Sprengberechtigten bzw. zu den Absperrposten untereinander ist zu empfehlen.

### **Empfehlung**

In Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Sprengstelle und schützenswerten Objekten werden sogenannte Sprengzonen eingeführt:

- Sprengzone 1: max. 600 kg / Zündzeitstufe
- Sprengzone 2: max. 1.200 kg / Zündzeitstufe
- Sprengzone 3: max. 2.400 kg / Zündzeitstufe

**Empfehlung**

Da die Sprenggraster mit der Verwendung unterschiedlicher Sprengstoffe, Bohrlochtiefen etc. stark variieren, empfiehlt sich im Genehmigungsbereich keine festen Sprenggraster festzuschreiben.

**Empfehlung**

Werden 75 % des Anhaltswertes erreicht, wird empfohlen dies bei der Sprengplanung zu berücksichtigen. Der Betrieb, bzw. Planer der Sprengarbeiten hat z.B. die Möglichkeit bei Erreichen des Warnwertes Maßnahmen zur Reduzierung der Sprengerschütterungen einzuleiten. Dies kann z.B. durch eine Umstellung der Zündtechnik oder einer Reduzierung der maximalen Lademenge pro Zündzeitstufe erfolgen.

**Anmerkung:**

Grundsätzlich sind die Sprengerschütterungen eingehalten, wenn die Vorgaben im Genehmigungsbescheid und der DIN 4150 bzw. der Erschütterungs-Leitlinie unterschritten werden. Maßgeblich hierfür sind die Messwerte der Erschütterungsüberwachung. Nach Auffassung des Unterzeichners besteht die Möglichkeit von der Lademengen-Abstandstabelle abzuweichen, wenn der messtechnische Nachweis erbracht wird, dass diese sicher eingehalten werden.

**Diese müssen aber angepasst werden, wenn eine Unterschreitung des Anhaltswertes nicht sicher gewährleistet ist. Ausschlaggebend sind auch hier die tatsächlichen Messergebnisse bezogen auf die Anhaltswerte gemäß Genehmigungsbescheid und der DIN 4150.**

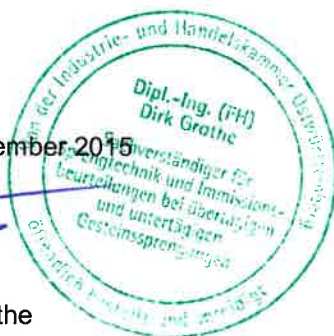
**Empfehlung**

Folgende Empfehlungen können für Sprengarbeiten ausgesprochen werden:

- Bei Sprengarbeiten im Regelsprengbereich von 300 m sollte bei einem Bohrllochdurchmesser von 115 mm eine Endbesatzlänge von mindestens 3,8 m gewählt werden. Bei anderen Bohrllochdurchmessern ist die Endbesatzlänge entsprechend anzupassen.
- Es ist von der Fa. Harzer Pflastersteinbrüche Telge & Eppers dafür Sorge zu tragen, dass sich innerhalb des Regelsprengbereichs von 300 m während der Durchführung der Sprengung keine Personen im Freien ohne Aufsuchen von Deckungsräumen aufhalten. Dieses ist durch eingewiesenes Personal sicherzustellen. Hierfür sollten die Absperrposten mit Funkgeräten ausgestattet sein es wird empfohlen einen Absperrplan anzufertigen.

Schwerte, den 16. November 2015

Dipl.-Ing. (FH) Dirk Grothe



Bei der IHK zu Ostwürttemberg öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Sprengtechnik und Immissionsbeurteilungen bei überlagerten und unterlagerten Gesteinssprengungen.

## **8. Quellenangaben**

- [1] Scoping Unterlagen
- [2] R. Zschemisch: Erschütterungsmessbericht, Juni 2014
- [3] H. Rauter: Auswertung und Beurteilung der Sprengerschütterungsmessungen vom 16.08.1998 – 19.03.1999 in der Waldgaststätte „Kästehaus“ und an der Felsformation mit der Bezeichnung „Mausefalle“, 1999
- [4] W. Haupt: Praktische Probleme bei Gebäudeerschütterungen, Tagungsband Wave 94 in Bochum, S. 47 – 57.
- [5] Dr. F Herrmann, Dr. C. Hinze, Dr. H Jordan: Geologisches Gutachten über den von den Harzwasserwerken geplanten Radau-Oker-Stollen, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover, April 1973



**9. Anlagenverzeichnis**

- Anlage 1 Topographische Übersichtskarte 1 : 12.500
- Anlage 2 Abbauplanung Huneberg-Ost 1 : 5.000
- Anlage 3 Übersichtsplan Sprengwesen 1 : 25.000
- Anlage 4 Auszug aus Geologischem Gutachten über den von den Harzwasserwerken geplanten Radau-Oker-Stollen – Längsprofil
- Anlage 5: Messbericht Fa. Maxam vom 23. Juli 2014
- Anlage 6: Schwingegeschwindigkeits-Abstandstabellen
- Anlage 7: Lademengen-Abstandstabellen
- Anlage 8: Graphische –Darstellung Sprengzonen