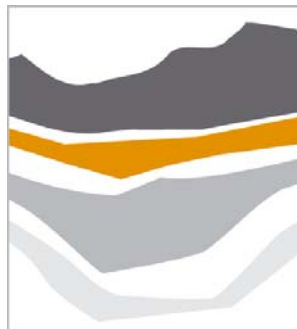


**Basalt-Actien-Gesellschaft
Südwestdeutsche Hartsteinwerke
*Tagebau Ellenberg / Abbaufeld Gollenberg***

***Erschütterungsprognose
zur Beurteilung der Sprengerschütterung
in der Nachbarschaft des Abbaufeldes Gollenberg***



Prof. Dr.-Ing. habil. H. Tudeshki
Mining Technology Consulting



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einführung	1
2.1	Erschütterungsbeeinflussende Parameter	2
2.2	Abstand zwischen Detonationsstelle und Immissionsort	3
2.3	Verzögerungszeit.....	3
2.4	Art des Sprengstoffes und Lademenge pro Zündzeitstufe.....	4
2.5	Sprengtechnische Parameter	5
3	Sprengerschütterungen	6
3.1	Einwirkungen auf Gebäude	6
3.2	Einwirkungen auf den Menschen im Gebäude	8
4	Prognose der Erschütterungen	9

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Verteilung der Schwingungsfrequenzen bei Steinbruchsprengungen	2
Abbildung 2-2: Lage und der Abstand der Immissionsorte	3
Abbildung 2-3: Schwingungsgeschwindigkeit vs. Verzögerungszeiten.....	4

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen	7
Tabelle 3-2: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach DIN 4150-2	8
Tabelle 4-1: berechnete Schwinggeschwindigkeiten und KB_{Fmax} -Werte.....	9



1 Zusammenfassung

Die Gewinnung des Rohstoffes innerhalb der beantragten Erweiterungsfläche Gollenberg soll durch Bohr- und Sprengarbeit erfolgen. Hierzu werden entlang der zu gewinnenden Strossenabschnitte systematisch Bohrungen niedergebracht. Nach dem Einbringen von Sprengmitteln in die Bohrungen und Fertigstellung der gesamten Sprenganlage wird die Sprengung vorgenommen. Unter Berücksichtigung der anzuwendenden Sprengparameter wie Bohrlochgeometrie und -anordnung, Art des Sprengmittels und des spezifischen Sprengstoffverbrauches wurde unter Einbeziehung von Erfahrungen bei Sprengungen in der Festgesteinsgewinnung eine Prognose hinsichtlich der bei der Erweiterung zu erwartenden Erschütterungen in den nächstgelegenen Immissionsorten vorgenommen.

Bei den Erschütterungsprognosen wurden die geologischen Gegebenheiten sowie die bekannten Abstände zu den zu schützenden Objekten zu Grunde gelegt.

Die Berechnungen zeigen, dass bei der Einhaltung der in diesem Gutachten zu Grunde gelegten Sprengparameter die Erschütterungen und deren Auswirkungen auf Gebäude und Anwohner unterhalb der Anhaltswerte der DIN 4150 liegen. Die berechneten Schwinggeschwindigkeiten liegen unterhalb des in der DIN 4150 bei Ansatz von Frequenzen kleiner 10 Hz angegebenen Grenzwertes von 5 mm/s für Wohngebiete.

Die Berechnungen zeigen weiterhin, dass es bei der Sprengarbeit im Rahmen der vorgesehenen Erweiterung an den betrachteten Immissionsorten zu keiner Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150 bzw. nach den Richtwerten der Erschütterungsleitlinien kommen wird.

2 Einführung

Die Gewinnung von festen Rohstoffen erfordert den Einsatz von Sprengstoffen, welche jedoch verfahrensbedingt mit Erschütterungen, Geräuschentwicklung und Steinfluggefahr begleitet sind. Die Vermeidung bzw. Reduzierung von Konfliktpotentialen zwischen den Rohstoffgewinnungsbetrieben und den Schutzgütern einerseits sowie die Erhöhung der Arbeitssicherheit sind daher als integraler Bestandteil der Planung jedes Betriebes in dem Sprengstoffe zum Einsatz kommen zu sehen.

Dieses Ziel ist, neben dem Verständnis für die Theorie der Entstehung von negativen Umweltauswirkungen (speziell Erschütterungen), durch die Auswahl geeigneter Sprengparameter in der Regel erreichbar.

Im Folgenden werden zunächst die die Erschütterungsintensität beeinflussenden Parameter und deren Wirkung erläutert. Anschließend erfolgt eine Übertragung der Erkenntnisse auf die lagerstättenbezogenen und raumbedeutsamen Voraussetzungen des Rohstoffgewinnungs-



betriebes der Firma BAG Südwestdeutsche Hartsteinwerke am Standort Ellenberg / Abbaufeld Gollenberg.

2.1 Erschütterungsbeeinflussende Parameter

Die Einflussfaktoren können grundsätzlich in die Gruppe der kontrollierbaren und nicht kontrollierbaren Faktoren unterteilt werden. Zu den unbeeinflussbaren Faktoren zählen die Geologie und geomechanischen Eigenschaften des zu sprengenden Gesteins sowie die von Erschütterungen betroffene Umgebung des Betriebes. So unterscheiden sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die Amplitude der Wellen in Abhängigkeit der Homogenität und Festigkeit des Gesteins, durch das sich eine Welle fortpflanzt. Mit zunehmendem Abstand zwischen Sprengstelle und zu schützendem Objekt nehmen die Sprengparameter, wie z. B. Geometrie der Bohrungen, weniger Einfluss auf die Erschütterungsintensität als die Untergrundverhältnisse. In der Nähe des Detonationsortes ist der Einfluss der Sprengparameter und Geometrie größer als die Eigenschaften des Untergrundes.

Einen entscheidenden Einfluss auf das Schadenspotential einer Erschütterung übt die Frequenz der Erschütterungswelle aus. Langfristige Untersuchungen zeigen, dass die Frequenz der Sprengungen in Steinbrüchen zwischen 5 bis 50 Hz liegt, wobei der Anteil der Frequenzen kleiner 10 Hz weniger als 4% beträgt. Etwa 95% der gemessenen Frequenzen liegen zwischen 10 Hz und 35 Hz.

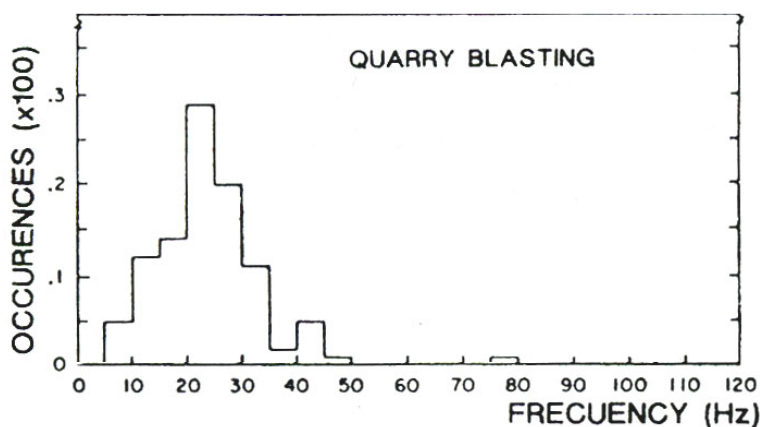


Abbildung 2-1: Verteilung der Schwingungsfrequenzen bei Steinbruchsprengungen¹

Im Rahmen mehrerer sprengtechnischer Gutachten im Jahr 2005 wurden in 7 ausgewählten Wohnobjekten in der Nachbarschaft des Tagebaus Jettenbach 179 gezielte Messungen vorgenommen. Die dort ermittelten Frequenzen lagen zwischen 8 Hz und 143 Hz. Zur Gewährleistung einer Prognosesicherheit wird bei den Berechnungen dieses Gutachtens von einer ungünstigen bevorzugten Frequenz von 10 Hz ausgegangen.

¹ Quelle: Jimeno et.al., Drilling and Blasting of Rocks, A.A. Balkema /Rotterdam 1995

2.2 Abstand zwischen Detonationsstelle und Immissionsort

Die Lage und der Abstand der Immissionsorte, welche dem Abbaufeld Gollenberg am nächsten liegen, sind in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

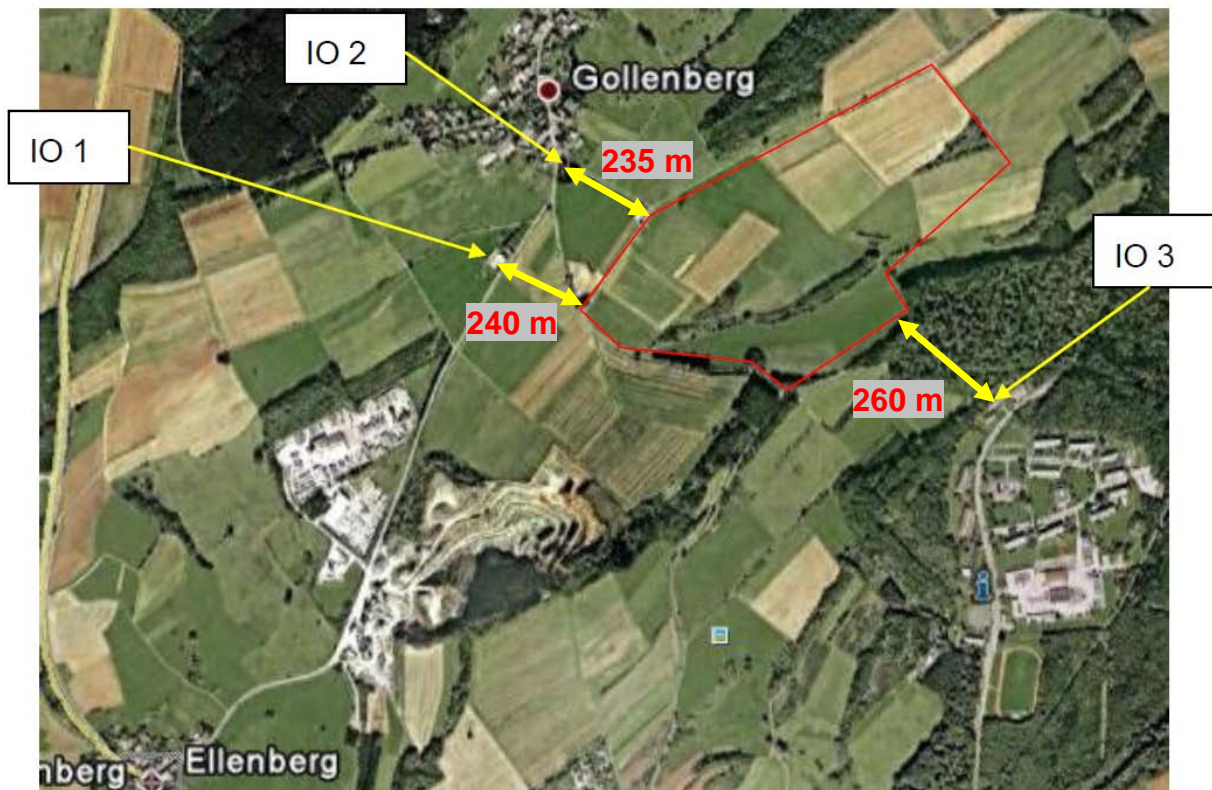


Abbildung 2-2: Lage und der Abstand der Immissionsorte

2.3 Verzögerungszeit

Die Verzögerungszeit verhindert das Entstehen von Welleninterferenzen und somit starke Erschütterungen. Mit zunehmender Verzögerungszeit nimmt die bei der Detonation entstehende Partikelgeschwindigkeit ab. Mit Verzögerungszeiten von mehr als 20 ms nähert sich die Kurve wie in Abbildung 2-3 dargestellt ist, asymptotisch einem Endwert zu.

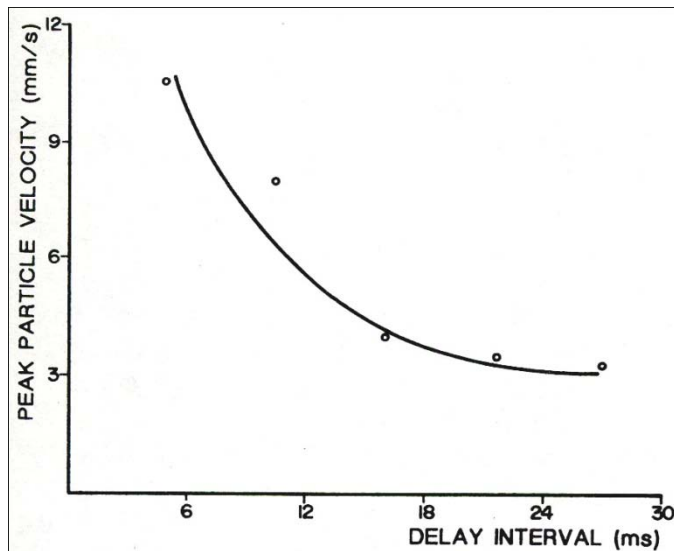


Abbildung 2-3: Schwingungsgeschwindigkeit vs. Verzögerungszeiten²

2.4 Art des Sprengstoffes und Lademenge pro Zündzeitstufe

Analog zum Gewinnungsbetrieb im derzeitigen Tagebau Ellenberg wird auf dem Abbaufeld Gollenberg ein patronierter gelatinöser Gesteinsprengstoff in Verbindung mit einem elektrischen Zündsystem zum Einsatz kommen. Aktuell wird das Produkt ERGODYN 30E EPC Deutschland Sprengstoffe GmbH mit einem Patronendurchmesser von 65 mm eingesetzt.

Die Magnitude eines Erschütterungsereignisses ist abhängig von der Lademenge pro Zündzeitstufe Q . Die Lademenge je Zündzeitstufe übt somit den größten Einfluss auf die Intensität einer Erschütterung aus. Die Gesamtmenge des detonierten Sprengstoffes spielt hierbei keine Rolle, sofern die Verzögerungszeiten der jeweiligen Stufen ausreichend groß gewählt werden damit keine Interferenz der einzelnen Wellen entstehen kann.

Unter Berücksichtigung der aus der Abbauplanung bedingten geometrischen Rahmenbedingungen sowie den nachstehend aufgeführten sprengtechnischen Parametern wird im Regelbetrieb eine maximale Lagemenge von 85 kg Sprengstoff je Zündzeitstufe zur Detonation gebracht.

² Quelle: Jimeno et.al., Drilling and Blasting of Rocks, A.A. Balkema /Rotterdam 1995



2.5 Sprengtechnische Parameter

Bei den Berechnungen werden die nachstehenden sprengtechnischen Parameter zu Grunde gelegt:

- Bohrlochlänge: max. 20 m
- Bohrlochdurchmesser: 93 mm
- Unterbohrung: keine
- Besatzlänge: 3 m
- Mittlerer Seitenabstand: 3 m
- Mittlere Vorgabe: 3 m
- Sprengstoffmenge je Zündzeitstufe: max. 85 kg
- Sprengstoffart: gelatinöser Gesteinssprengstoff, z.B. ERGODYN 30E
- Zündsystem: Elektrisch
- Zündzeitverzögerung: 25 ms



3 Sprengerschütterungen

Bei der Detonation des Sprengstoffes in einem Bohrloch breitet sich die dabei erzeugte Energie kreisförmig um die Ladung (Bohrloch) aus, ein Teil der Energie wird zum Zertrümmern und Werfen der Bohrlochvorgabe genutzt, ein Teil aber wird ungenutzt in Form von Sprengerschütterungen an die Umgebung abgegeben.

Diese Sprengerschütterungen (Energie) werden von dem Material, das durchlaufen wird abgebaut, d.h. mit der Zunahme der Entfernung zwischen Sprengstelle und Objekt werden die auftretenden Sprengerschütterungen kleiner. Die Größe der auftretenden Sprengerschütterungen wird von folgenden Faktoren bestimmt:

- maximale Sprengstoffmenge pro Zündzeitstufe
- Abstand Sprengstelle - Objekt
- Lage der Sprengstellen zum Objekt

Die an einem Gebäude auftretenden Sprengerschütterungen werden nach DIN 4150, "Erschütterungen im Bauwesen", beurteilt:

- DIN 4150, Teil 3, "Einwirkungen auf bauliche Anlagen"
- DIN 4150, Teil 2, "Einwirkungen auf Menschen im Gebäude"

3.1 Einwirkungen auf Gebäude

Die DIN 4150, „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 3, Ausgabe Feb. 1999, "Einwirkungen auf bauliche Anlagen", sagt unter anderem folgendes zur Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungen (Sprengerschütterungen) aus:

Aus zahlreichen Messungen der Schwinggeschwindigkeit an Gebäudefundamenten wurden Erfahrungswerte gewonnen, die einen Anhalt für die Beurteilung kurzzeitiger Bauwerkserschütterungen geben.

Für die Beurteilung wird der größte Wert der drei Einzelkomponenten der Schwinggeschwindigkeit am Fundament v_i herangezogen. In der Tabelle 3-1 sind für die verschiedenen Gebäudearten Anhaltswerte für v_i am Fundament und in der Deckenebene des obersten Vollgeschosses angegeben.

Die Anhaltswerte gelten für kurzzeitige Erschütterungen, sofern deren Häufigkeit für Ermüdungserscheinungen unerheblich ist. Werden die Anhaltswerte der Tabelle 3-1 eingehalten, so treten Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach bisheriger Erfahrung nicht auf. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind. Abschnitt 1 dieser Norm sagt unter anderem folgendes aus:



Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Bauwerksteilen durch Erschütterungen im Sinne dieser Norm ist z.B.

- eine Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen oder
- eine Verminderung der Tragfähigkeit von Decken.

Bei Gebäuden nach Tabelle 3-1, Zeilen 2 und 3, ist eine Verminderung des Gebrauchswertes auch gegeben, wenn z.B.

- Risse im Putz von Wänden auftreten,
- bereits vorhandene Risse im Gebäude vergrößert werden oder
- Trenn- und Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen.

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s			
		Fundament			Deckenebene des obersten Vollgeschosses
		Frequenzen			
		kleiner 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100 Hz	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnliches	20	20 - 40	40 - 50	40
2	Wohngebäude	5	5 - 15	15 - 20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind.	3	3 - 8	8 - 10	8

Tabelle 3-1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen

Eine überschlägige Berechnung der zu erwartenden Sprengerschütterung ist u.a. über die Koch'sche Formel möglich.

$$v_i = \frac{k \cdot \sqrt{L}}{r}$$

mit:

v_i = größte Einzelkomponente

L = max. Sprengstoffmenge / Zündzeitstufe

r = Entfernung Sprengstelle - Objekt

k = Konstante

Bei der Erstellung von Erschütterungsprognosen wird, sofern keine Messwerte vorliegen, von einem Erfahrungswert von $k = 60$ ausgegangen. Dieser deckt sich mit Erfahrungswerten für Sprengungen in der Festgesteinsgewinnung.



3.2 Einwirkungen auf den Menschen im Gebäude

Zur Beurteilung werden die auftretenden Schwingungen in den Räumen herangezogen, in denen sich Menschen allgemein zum Zeitpunkt der Sprengungen aufhalten.

Aus diesen Messergebnissen wird ein KB_{Fmax} -Wert ermittelt und mit Anhaltswerten der Tabelle "Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen" verglichen.

Bei selten auftretenden und nur kurzzeitig einwirkenden Erschütterungen bis zu 3 Ereignissen je Tag, z.B. Sprengerschütterungen, gilt die Anforderung als eingehalten, wenn die max. bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (oberen) Anhaltswert A_0 nach Tabelle 3-2 ist.

Wenn Sprengungen werktags mit Vorwarnung der unmittelbar Betroffenen in den Zeiten von 7⁰⁰ bis 13⁰⁰ oder von 15⁰⁰ bis 19⁰⁰ erfolgen, gelten in Gebieten nach Tabelle 3-2, Zeile 3 und 4 auch die A_0 -Werte nach Zeile 1, wenn nur 1 Ereignis pro Tag stattfindet, in Ausnahmefällen (wenige Male pro Jahr) dürfen die KB_{Fmax} -Werte bis zu 8 betragen.

Die Vorwarnung erfolgt in der Regel durch akustische Signalgebung oder außerhalb des Absperrbereiches auch durch andere Maßnahmen.

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_U	A_R	A_0	A_U	A_R	A_0
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und ggf. Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete §9 BauNVO)	0,4	0,2	6	0,3	0,15	0,6
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete §8 BauNVO)	0,3	0,15	6	0,2	0,1	0,4
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	0,1	5	0,15	0,07	0,3
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet §3 BauNVO, allgemeines Wohngebiet §4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete §2 BauNVO)	0,15	0,07	3	0,1	0,05	0,2
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	0,05	3	0,1	0,05	0,15

Tabelle 3-2: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach DIN 4150-2

Zur Beurteilung der Wirkung der Erschütterungen kann der KB_{Fmax} -Wert anhand der Schwinggeschwindigkeit v_i näherungsweise mittels der folgenden Formel berechnet werden:

$$KB_{Fmax} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v_i}{1 + \left(\frac{5,6}{f}\right)^2} \cdot c$$

mit:

$c = 0,6$ nach DIN 4150, Teil 2

$f =$ Vorzugsfrequenz in Hz



4 Prognose der Erschütterungen

Für die Bauwerke in der näheren Umgebung des Abbaufeldes Gollenberg wurden die Abstände zwischen den Immissionsorten (IO) und den Sprengstellen aktuell aufgenommen. Das der Sprengstelle im Steinbruch am nächsten liegende Bauobjekt (IO 2) befindet sich in einer Entfernung von 235 m. Hierfür ergaben die Berechnungen bei Bohrlöchern von max. 20 m Länge und einer Zündzeitstufe pro Bohrung eine Schwinggeschwindigkeit von 2,35 mm/s. Somit liegt die maximale zu erwartende Schwinggeschwindigkeit deutlich unterhalb des in DIN 4150 bei Ansatz von Frequenzen kleiner 10 Hz angegebenen Grenzwerts von 5 mm/s für Wohngebiete. Für den Immissionsort 1 ergeben die Berechnungen eine Schwinggeschwindigkeit von 2,30 mm/s und für den Immissionsort 3 eine Schwinggeschwindigkeit von 2,13 mm/s.

Die Ermittlung des Anhaltswertes für die Beurteilung der Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzter Räume ergibt einen maximalen KB_{Fmax} -Wert von 1,52 für den IO 2, 1,49 für den IO 1 und 1,37 für den IO 3. Die Gebäude in der Nachbarschaft des Abbaufeldes Gollenberg sind der Zeile 3 der DIN 4150 Teil 2 einzuordnen. Der Anhaltswert beträgt $A_0=5$. Bei den zugrunde gelegten Sprengparametern und Geometrien werden die Anhaltswerte der DIN 4150 nicht überschritten.

Immissionsort	minimaler Abstand in m	max. Sprengstoffmenge je Zündzeitstufe in kg	größte Einzelkomponente v_i in mm/s	KB_{Fmax} Obergeschoss
1	240	85	2,30	1,49
2	235	85	2,35	1,52
3	260	85	2,13	1,37

Tabelle 4-1: berechnete Schwinggeschwindigkeiten und KB_{Fmax} -Werte

Insgesamt ist festzuhalten, dass bei der Einhaltung der im Rahmen dieses Gutachtens für das Abbaufeld Gollenberg zu Grunde gelegten Sprengparameter die Anhaltswerte der DIN 4150 nicht überschritten werden.

Clausthal-Zellerfeld, den 2. November 2011

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. H. Tudeshki