Sämann GmbH & Co. KG
Steinbruch Kämpfelbach-Ersingen

Erschütterungsprognose zur Beurteilung der Sprengerschütterung in der Nachbarschaft des Steinbruchs Kämpfelbach-Ersingen

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Tudeshki
Universitätsprofessor für Tagebau
und internationalen Bergbau

Clausthal, Februar 2018

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 1

2 Sprengerschütterungen 3

2.1 Einwirkungen auf Gebäude 3

2.2 Einwirkungen auf Menschen im Gebäude 5

3 Prognose der Erschütterungen 6

3.1 Sprengtechnische Parameter 7

3.2 Einwirkungen auf Gebäude 7

3.3 Einwirkungen auf Menschen im Gebäude 8

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Immissionsorte zum Steinbruch 6

Abbildung 2: Abbauverfahren bei Annäherung an die nördliche Abbaugrenze 8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit vi zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen 4

Tabelle 2: Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen nach DIN 4150-2 5

1 Zusammenfassung

Ziel des vorliegenden Gutachtens ist die Prognose der durch den Sprengbetrieb im Steinbruch Kämpfelbach-Ersingen zukünftig verursachten Erschütterungen in relevanten Bauwerken im Umkreis des Steinbruchs.

Die Gewinnung des Rohstoffes erfolgt durch Bohr- und Sprengarbeit. Hierzu werden entlang der zu gewinnenden Böschungen 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 der zu Grunde liegenden Abbauplanung sowie von Erfahrungen bei Sprengungen in der Kalksteingewinnung eine Prognose hinsichtlich der zu erwartenden Erschütterungen in Bauwerken, die im Umkreis des Steinbruchs liegen, vorgenommen.

Für die Beurteilung der Sprengerschütterungen wurden die folgenden, der Erweiterungsfläche des Steinbruchs Kämpfelbach-Ersingen am nächsten gelegenen baulichen Objekte als Immissionsorte betrachtet:

IO 1 Sondergebiet der Garten- und Gerätehütten (Kleingartenanlage)
IO 2 Biogasanlage / Landwirtschaftlicher Betrieb
IO 3 Schelmenäcker 71
IO 4 Laierbergstraße 40

Zur Beurteilung der Sprengerschütterungen wurde die DIN 4150 herangezogen, die bei den einzuhaltenden Anhaltswerten nach Gebäudearten bzw. deren Nutzung unterscheidet. Auch wenn für die Kleingartenanlage oder die Biogasanlage/Landwirtschaftlicher Betrieb die höheren Grenzwerte für Mischgebiete oder gewerblich genutzte Gebäude herangezogen werden könnten, wurden zur Erhöhung der Prognosesicherheit bei allen vier betrachteten Immissionsorten die geringeren Grenzwerte für Wohnbebauung als Obergrenze berücksichtigt.

Zur Bestimmung der Einwirkungen bauliche Anlagen wurden die Berechnungsverfahren der DIN 4150-3 verwendet. Zur Einhaltung einer maximal zulässigen Schwingungsgeschwindigkeit von 5 mm/s (bei 10 Hz) ist ein minimaler Abstand zwischen Sprengort und Immissionsort von 127 m erforderlich für den Fall, dass die Lademenge pro Zündzeitstufe 112 kg beträgt. Für eine geteilte Ladesäule mit 60 kg Sprengstoff je Zündzeitstufe soll ein Minimalabstand zur Bebauung von 93 m eingehalten werden.

Die zur Beurteilung der Sprengimmissionen betrachteten Immissionsorte Biogasanlage, Schelmenäcker 71, Laierbergstraße 40 befinden sich in Abständen von rund 500 m bis 900 m zur Sprengstelle, so dass die Grenzwerte sicher unterschritten werden.

An die Kleingartenanlage (IO 1) nähert sich der Steinbruch bis auf ca. 50 m an. Der Grenzwert von 5 mm/s wird sicher unterschritten, wenn ab einem Abstand von rund 100 m zur nördlichen Abbaugrenze bzw. 150 m zum IO 1 mit geteilter Ladesäule (60 kg pro Zündzeitstufe) gesprengt wird. Ab einer Annäherung an die nördliche Ecke des Erweiterungsfeldes auf unter 50 m bzw. 100 m zum IO 1 ist eine Überschreitung des Grenzwertes möglich. Es wird daher empfohlen zu diesem Zeitpunkt eine Messstation zur Ermittlung der auftretenden Sprengerschütterungen zu installieren und in Abhängigkeit der Messergebnisse ggfs. die Gewinnungstechnik anzupassen. Möglichkeiten der Anpassung bestehen durch eine weitere Reduzierung der Sprengstoffmenge je Zündzeitpunkt oder durch die Umstellung auf eine sprengstofflose Gewinnung, d.h. direkte Gewinnung mittels Hydraulikbagger.

Zur Bestimmung der Einwirkungen auf Menschen im Gebäude wurden die Berechnungsverfahren der DIN 4150-2 verwendet.

Aufgrund der großen Entfernungen zum nächstgelegenen Sprengort an der Grenze des Erweiterungsfeldes wird für die Immissionsorte Biogasanlage/Landwirtschaftlicher Betrieb, Schelmenäcker 71 und Laierbergstraße 40 ein KB_{Fmax}-Wert jeweils kleiner als 1 ermittelt, der damit deutlich unterhalb der in der DIN 4150-2 aufgeführten Anhaltswerte für reine Wohngebiete (A_o=3) und auch für besonders schutzbedürftige Gebäude liegt.

Bei Anwendung der vorstehend genannten Vorgaben zur stufenweisen Anpassung der Gewinnungstechnik bei Annäherung an die nördliche Grenze der Erweiterungsfläche ergibt sich für die Kleingartenanlage bei einer Entfernung von 150 m ein KB_{Fmax}-Wert von 2,73 und bei 100 m ein KB_{Fmax}-Wert von 3,00, so dass der in der DIN 4150-2 aufgeführte Anhaltswert für reine Wohngebiete (A_o=3) eingehalten wird.

Analog zu den vorstehenden Erläuterungen zu Einwirkungen auf Gebäude ist bei einer weiteren Annäherung an die Abbaugrenze eine Überschreitung des Anhaltswertes am Immissionsort Kleingartenanlage möglich, so dass Messungen der auftretenden Sprengerschütterungen und ggfls. Anpassungen der Gewinnungstechnik durchgeführt werden sollen.

2 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"

2.1 Einwirkungen auf Gebäude

Die DIN 4150, „Erschütterungen im Bauwesen", Teil 3 "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 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 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 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 1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit vi 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 der Schwingung

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 im Kalkstein.

2.2 Einwirkungen auf 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. auch Sprengerschütterungen, gilt die Anforderung als eingehalten, wenn die maximal bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (oberen) Anhaltswert A_0 nach Tabelle 2 ist.

Wenn Sprengungen werktags mit Vorwarnung der unmittelbar Betroffenen in den Zeiten von 7^{00} bis 13^{00} oder von 15^{00} bis 19^{00} erfolgen, gelten in Gebieten nach Tabelle 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_O	A_U	A_R	A_O
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 2: Anhaltswerte 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:

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

mit:

c = 0,6 nach DIN 4150, Teil 2

f = Vorzugsfrequenz in Hz

3 Prognose der Erschütterungen

Abbildung 1 zeigt die Lage der nächstgelegenen baulichen Objekte (Immissionsorte) und deren Abstände zu der Erweiterungsfläche des Steinbruchs Kämpfelbach-Ersingen.

IO 1	Kleingartenanlage
IO 2	Biogasanlage / Landwirtschaftlicher Betrieb
IO 3	Schelmenäcker 71
IO 4	Laierbergstraße 40

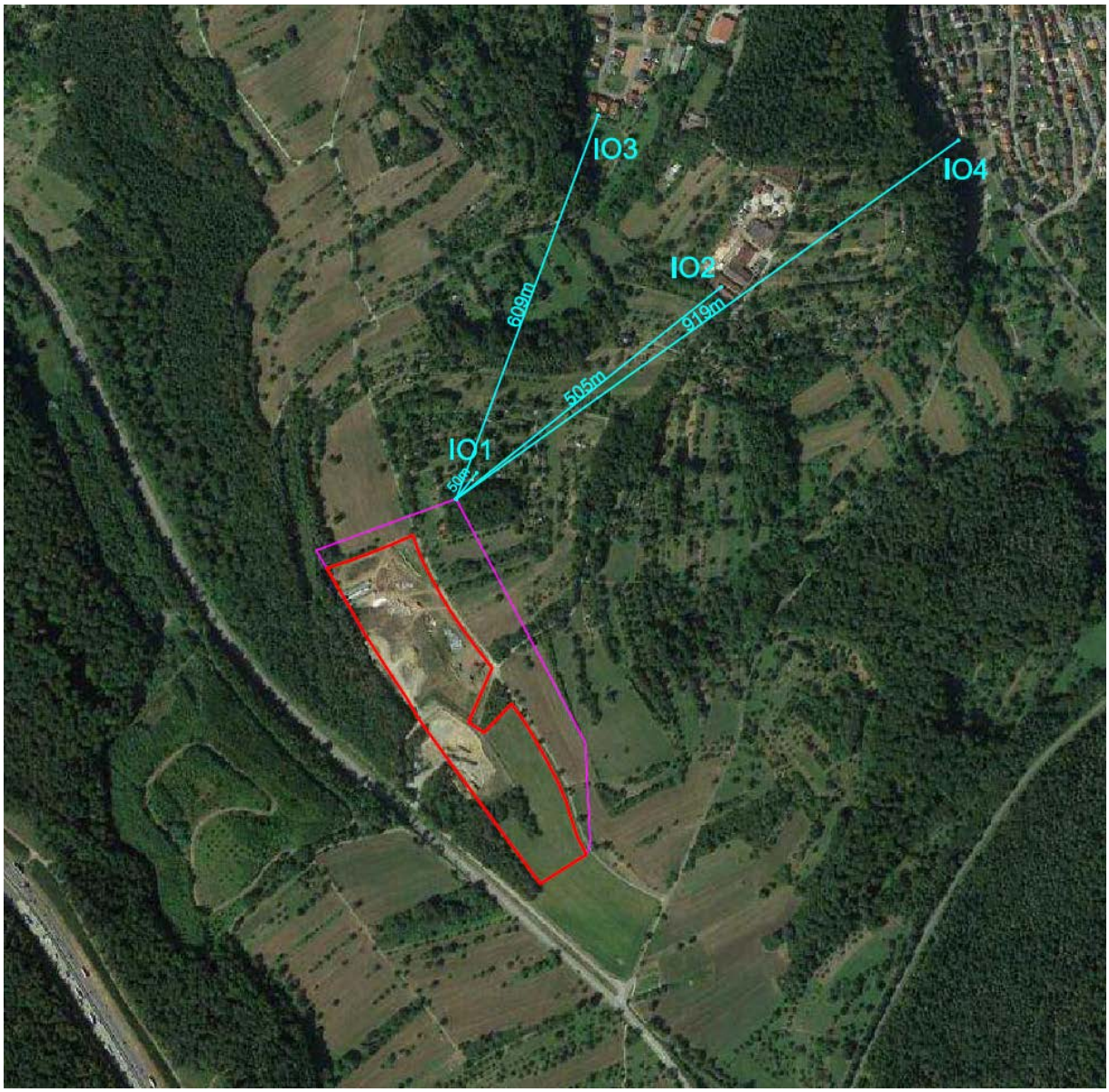

Abbildung 1: Lage der Immissionsorte zum Steinbruch

Zur Beurteilung der Sprengerschütterungen wurde die DIN 4150 herangezogen, die bei den einzuhaltenden Anhaltswerten nach Gebäudearten bzw. deren Nutzung unterscheidet. Auch wenn für die Kleingartenanlage oder die Biogasanlage/Landwirtschaftlicher Betrieb die höheren Grenzwerte für Mischgebiete oder gewerblich genutzte Gebäude herangezogen werden könnten, wurden zur Erhöhung der Prognosesicherheit bei allen vier betrachteten Immissionsorten die geringeren Grenzwerte für Wohnbebauung als Obergrenze berücksichtigt.

3.1 Sprengtechnische Parameter

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

- Höhe der Abbauwand: bis 20 m
- Bohrlochlänge: bis 21 m
- Besatzlänge: 3 m
- Länge der Sprengstoffsäule: max. 18 m
- Bohrlochdurchmesser: 89 mm
- Mittlerer Seitenabstand: bis 4 m
- Mittlere Vorgabe: bis 4 m
- Sprengstoffmenge je Zündzeitstufe
    - Regelbetrieb: bis 112 kg
    - Geteilte Ladesäule mit 60 kg

Das Layout der Sprenganlage wird stets so angelegt, dass die Wurfrichtung des gesprengten Haufwerks die Gefahr von Steinflug in Richtung B10 und Kleingartenanlage minimiert. Dies bedeutet, dass die Wurfrichtung während der ersten 3 Abbauphasen im südlichen Teil des Abbaufeldes zunächst in Richtung Nordwest und anschließend nach Nordosten zeigt. In den weiteren Abbauphasen bis zum Abbauende an der nördlichen Abbaugrenze zeigt die Wurfrichtung durchgehend nach Nordosten.

3.2 Einwirkungen auf Gebäude

Zur Bestimmung des erforderlichen Abstands zwischen den Bauobjekten und dem Steinbruch wurde das in Kapitel 2.1 genannte Berechnungsverfahren verwendet. Unter Berücksichtigung der zu Grunde liegenden Konstante k von 60 wurde für die einzuhaltende Schwinggeschwindigkeit von 5 mm/s ein Abstand von 127 m bei 112 kg Sprengstoff je Zündzeitstufe und von 93 m bei 60 kg Sprengstoff je Zündzeitstufe berechnet.

Die zur Beurteilung der Sprengimmissionen betrachteten Immissionsorte Biogasanlage/Landwirtschaftlicher Betrieb, Schelmenäcker 71 und Laierbergstraße 40 befinden sich in Abständen zwischen rund 500 m und 900 m und damit einem Vielfachen des minimal zulässigen Abstandes zur Sprengstelle, so dass der Grenzwert sicher unterschritt wird.

Im Fall des IO 1 Kleingartenanlage nähert sich der Steinbruch bis auf ca. 50 m an. Demnach wird der Grenzwert von 5 mm/s sicher unterschritten, wenn ab einem Abstand von rund 100 m zur nördlichen Abbaugrenze bzw. 150 m zum IO 1 mit geteilter Ladesäule (60 kg pro Zündzeitstufe) gesprengt wird (orange schraffierter Bereich in Abbildung 2). Ab einer Annäherung an die nördliche Ecke des Erweiterungsfeldes auf unter 50 m bzw. 100 m zum IO 1 ist eine Überschreitung des Grenzwertes möglich (gelb schraffierter Bereich in Abbildung 2). Es wird daher empfohlen zu diesem Zeitpunkt eine Messstation zur Ermittlung der auftretenden Sprengerschütterungen zu installieren und die Gewinnungstechnik in Abhängigkeit der

Messergebnisse anzupassen. Möglichkeiten der Anpassung bestehen durch eine weitere Reduzierung der Sprengstoffmenge je Zündzeitpunkt oder durch die Umstellung auf eine sprengstofflose Gewinnung, d.h. direkte Gewinnung mittels Hydraulikbagger.

geteilte Ladesäule (60 kg pro Zündzeitstufe)

reduzierte Sprengstoffmenge pro Zündzeitstufe oder sprengstofflose Gewinnung

Abbildung 2: Abbauverfahren bei Annäherung an die nördliche Abbaugrenze

3.3 Einwirkungen auf Menschen im Gebäude

Zur Bestimmung der Einwirkungen auf Menschen im Gebäude wurde das in Kapitel 2.2 genannte Berechnungsverfahren verwendet.

Aufgrund der großen Entfernungen zum nächstgelegenen Sprengort an der Grenze des Erweiterungsfeldes wird für die Immissionsorte Biogasanlage/Landwirtschaftlicher Betrieb, Schelmenäcker 71 und Laierbergstraße 40 ein KB_{Fmax}-Wert jeweils kleiner als 1 ermittelt, der damit deutlich unterhalb der in der DIN 4150-2 aufgeführten Anhaltswerte für reine Wohngebiete und auch für besonders schutzbedürftige Gebäude (A_o=3) liegt.

In Bezug auf den Immissionsort Biogasanlage/Landwirtschaftlicher Betrieb kann ergänzt werden, dass die DIN 4150 keine gesonderte Berücksichtigung von Tierhaltungsbetrieben vorsieht. Landwirtschaftliche Gebiete fallen unter Mischgebiete, für die ein Anhaltswert von A_0=5 gilt. Bei einem berechneten KB_{Fmax}-Wert von 0,81 ist davon auszugehen, dass die zu erwartenden Sprengerschütterungen zu keinen negativen Auswirkungen auf die Tierhaltung führen.

Für die Berechnungen der Einwirkungen auf Menschen im Gebäude sind bereits die vorstehend genannten Anpassungen an die Gewinnungstechnik bei Annäherung an die nördliche Grenze der Erweiterungsfläche eingegangen. Bis zu einem Abstand von 100 m zur Abbaugrenze bzw. 150 m zu der Kleingartenanlage wird eine Sprengstoffmenge von 112 kg je Zündzeitstufe

verwendet, so dass sich ein KB_{Fmax}-Wert von 2,73 ergibt. Unter Berücksichtigung der reduzierten Lademenge von 60 kg je Zündzeitstufe bis zu einem Abstand von 50 m zur Abbaugrenze bzw. 100 m zu der Kleingartenanlage berechnet sich der KB_{Fmax}-Wert zu 3,00. Bei Anwendung der Vorgaben zur Gewinnungstechnik wird somit der in der DIN 4150-2 aufgeführte Anhaltswert für reine Wohngebiete (A_o=3) eingehalten.

Analog zu den vorstehenden Erläuterungen zu Einwirkungen auf Gebäude ist bei einer weiteren Annäherung an die Abbaugrenze eine Überschreitung des Anhaltswertes für Einwirkungen auf Menschen im Gebäude am Immissionsort Kleingartenanlage möglich, so dass Messungen der auftretenden Sprengerschütterungen durchgeführt und ggfs. Anpassungen der Gewinnungstechnik vorgenommen werden sollen. An dieser Stelle ist anzumerken, dass aus der technischen Fachinformation „Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen“ der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2005) hervorgeht, dass bei einem Vergleich von ermittelten Schwingstärken mit den Anhaltswerten, die gemessenen Werte um 15% zu reduzieren sind, da mit Messunsicherheiten in dieser Größe gerechnet werden muss.

Clausthal-Zellerfeld, den 28. Februar 2018

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