

## **Gutachten**

### **zur Prognose von Sprengerschütterungsimmissionen durch Gewinnungs- sprengungen im künftigen Rhyolith-Tagebau Niemberg / Brachstedt**

---

Auftraggeber/Be-  
treiber des Tagebaues:

Mitteldeutsche Baustoffe GmbH  
Hauptverwaltung  
Köthener Str. 13  
06192 Sennewitz

Auftragnehmer:

Geotechnisches Sachverständigenbüro Dr.-Ing. habil. B. Müller  
Leipziger Str. 18  
04416 Markkleeberg

Sachverständiger/  
Bearbeiter:

Doz. Dr.-Ing. habil., Dipl.-Geol. B. Müller  
Dipl.-Geoph. Th. Hohlfeld

Bearbeitungsnummer:

9015

Leipzig, den 02.06.1999

  
Dr. B. Müller

- Sachverständiger für Böschungen,  
Bodendynamik und Sprengtechnik -

  
Th. Hohlfeld

### **Inhaltsverzeichnis:**

1. Veranlassung und Aufgabenstellung
  
2. Vorgesehene tagebautechnische Bedingungen
  - 2.1 Geographischer Überblick
  - 2.2 Gewinnung von Rhyolith im künftigen Tagebau
  
3. Bebauung und bautechnische Gegebenheiten im Umfeld des Tagebaues
  
4. Sprengbarkeit und Erschütterungsempfindlichkeit des zu sprengenden Gebirges
  
5. Grundlagen der Beurteilung von Erschütterungen
  - 5.1 Prognose von Erschütterungen
  - 5.2 Einwirkung von Erschütterungen auf bauliche Anlagen
  - 5.3 Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden
  
6. Festlegung der Rahmenbedingungen für den Tagebau Niernberg
  - 6.1 Empfehlungen zur Bohr- und Sprengtechnologie
  - 6.2 Prognose der Sprengerschütterungsimmissionen im Umfeld des künftigen Rhyolith-Tagebaues Niernberg/Brachstedt
  - 6.3 Vermeidung von Steinfluggefahr
  
7. Schlußfolgerungen und Empfehlungen

### **Literaturverzeichnis und verwendete Unterlagen:**

- [1] Mitteldeutsche Baustoffe GmbH: Aktennotiz der Koordinierungsberatung vom 14. 12. 1998.
  
- [2] DORSTEWITZ + PARTNER: Vorstudie zum Rahmenbetriebsplan Hartsteintagebau Niernberg / Brachstedt. Dr.U.-E. Dorstewitz+Partner -Beratende Ingenieure- Rohstoffe · Bewertung · Technologische und wirtschaftliche Fragen. Goslar, im Oktober 1998.
  
- [3] Topographische Karte Niernberg 1:10000, Blatt M-33-13-A-c-2, 1998, Landesamt für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt.
  
- [4] Topographische Karte Oppin 1:10000, Blatt M-33-13-A-c-1, 1998, Landesamt für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt.

- [5] Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt: Geologische Karte Halle und Umgebung.  
1 : 50000, 1. Auflage 1995, Halle.
  
- [6] DIN 4150,  
Teil 3, Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen, (Nov. 1996).
  
- [7] DIN 4150,  
Teil 2, Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden,  
(Dez. 1992).
  
- [8] DIN 4150,  
Teil 1 -Vorabzug 1997-
  
- [9] FLESCHE, R.: Baudynamik, praxisgerecht - Band I, Berechnungsgrundlagen, Bauverlag  
GmbH, Wiesbaden - Berlin 1993.
  
- [10] HAUPT, W.: Bodendynamik, Grundlagen und Anwendungen. Fr. Vieweg & Sohn,  
Braunschweig/Wiesbaden 1986.
  
- [11] HEINZE, H. (Herausg.): Sprengtechnik - Anwendungsgebiete und Verfahren -  
2. überarb. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig - Stuttgart 1993.
  
- [12] LICHTER, P. und GÜTIG, B.: Sprengerschütterungen. Sprengschule Dresden, Niederlassung  
Verkehrsbau Berlin GmbH, 63 S., 1990.
  
- [13] LÜDELING, R. und HINZEN, K.H.: Erschütterungsprognose und Erschütterungskataster -  
Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Sprengerschütterungen. Nobel-Hefte, 52 (1986), H 2,  
S. 105 - 123.
  
- [14] MÜLLER, B.: Erarbeitung der Sprengtechnologie für verschiedene Festgebirge und die Beur-  
teilung des Sprengergebnisses. - Nobel-Hefte 5, (1990), H 3 / 4, S. 92-102.
  
- [15] MÜLLER, B.: Gründungsschäden an historischen Gebäuden durch Grundwasserentspan-  
nung und -absenkung. Proc. 10. Nationale Tagung für Ingenieurgeologie, Freiberg 1995.
  
- [16] MÜLLER, B., HOHLFELD, Th. Und KAISER, J.: Die rechnerische Prognose von Sprenger-  
schütterungsimmissionen in Abhängigkeit von der Sprengtechnik. Nobel-Hefte 2/3, (1998),  
S. 103-114.
  
- [17] PFEFFERKORN, W.: Rißschäden am Mauerwerk. 2. Aufl., Schadensfreies Bauen, Bd. 7,  
IRB-Verlag 1996.

- [18] STEIGER, A.: Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke. Die neue Schweizer Norm SN 640 312 a - Nobel-Hefte, H1 (1993), S. 37 - 47.
  
- [19] STEINHAUSER, P.: Mitteleuropäische Erschütterungsnormen im Vergleich. - In: Steinwachs, M.: Ausbreitung von Erschütterungen im Boden und im Bauwerk.-3. Jahrestagung DGEB, Trans Tech Publ., Clausthal.
  
- [20] THUM, W.: Sprengtechnik im Steinbruch und Baubetrieb. - Bauverlag Wiesbaden 1970.
  
- [21] UVV „Sprengarbeiten“  
VBG 46, Stand 01.10.1994, Steinbruch-Berufsgenossenschaft.
  
- [22] UVV „Steinbrüche, Gräbereien und Haldenabtragungen“  
VBG 43 mit DFA vom 01.10.1984, Steinbruch-Berufsgenossenschaft.
  
- [23] Geotechnisches Sachverständigenbüro Dr.B.Müller: Gutachten zur rechnerischen Prognose von Sprengerschütterungsimmissionen in Abhängigkeit von der Sprengtechnologie im Tagebau Petersberg für die Ortslage Frößnitz 1997. Leipzig, den 02.12.1997.
  
- [24] Geotechnisches Sachverständigenbüro Dr. B. Müller: Standsicherheitseinschätzung der Festgesteinsböschungen im künftigen Tagebau Niemberg. Leipzig, den 11. 06. 1999.

**Anlagenverzeichnis:**

- Anl.1: Ausschnitt aus den topographischen Karten Niemberg und Oppin mit der Eintragung des zukünftigen Abbaufeldes, M: 1:10000
- Anl.2: Ausschnitt aus den topographischen Karten Niemberg und Oppin mit der Eintragung des 100m- und 300m- Sprengbereiches um den künftigen Tagebau sowie den zu berücksichtigenden, wichtigsten Bauwerken, M: 1:10000
- Anl.3: Fotodokumentation wichtiger Gebäude im Umfeld des künftigen Rhyolith-Tagebaues Niemberg / Brachstedt (allgemeine Beweissicherung)

## 1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Mit dem Schreiben vom 05.01.1999 erhielt das Geotechnische Sachverständigenbüro Dr.B.Müller von der Mitteldeutschen Baustoffe GmbH, vertreten durch den Geschäftsführer Herrn Ohlemann, den Auftrag, im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens zum Betreiben des künftigen Tagebaues Niemberg die bei den Gewinnungssprengungen zum Lösen und Zerkleinern des Festgebirges entstehenden Sprengerschütterungsimmissionen für das Umfeld des entstehenden Rhyolith-Tagebaues abzuschätzen und die mögliche Beeinflussung der im Nahbereich von  $\leq 500$  m vorhandenen Bebauung der Ortslage Brachstedt, OT Wurp, OT Hohen sowie die am Bergwerksfeld vorbeiführende Gasleitung einschließlich des Flugplatzes Oppin zu beurteilen.

Folgende Zielstellungen sollen mit dem Gutachten erarbeitet werden:

- Auswirkungen der bei den Sprengarbeiten im künftigen Tagebau verursachten Sprengerschütterungsimmissionen
- Erarbeitung einer Erschütterungsprognose mit Hinweisen und Empfehlungen zur Bohr- und Sprengtechnologie unter Berücksichtigung der DIN 4150, Teil 2 und 3
- Aufstellen einer Lademengen - spezifische Sprengwirkung - Abstands - Tabelle
- Erfassung und Beurteilung der umliegenden Gebäude und Gasleitung im Rahmen einer allgemeinen Beweissicherung
- vereinfachte dynamische Beurteilung des Baugrundes
- Empfehlungen zur Reduzierung von Sprengerschütterungen und Vermeidung von Steinflug in der Umgebung des künftigen Tagebaues

Die für die Untersuchung erforderlichen Geländearbeiten wurden im März und April 1999 durchgeführt.

## 2. Vorgesehene tagebautechnische Bedingungen

### 2.1 Geographischer Überblick

Der geplante Neuaufschluß des Rhyolith-Tagebaues befindet sich ca. 700m südlich von Brachstedt, OT Hohen und etwa 850m westnordwestlich von Niemberg bzw. nordöstlich vom Flughafen Oppin (Anlage 1). Die geplante Abbaufäche beträgt ca. 54 ha und liegt in der nordwestlichen Fortsetzung des 139,5m hohen Bergzuges vom Burgstetten. Das ursprünglich geplante Abbauggebiet schloß das Gebiet um den Burgstetten mit ein, wurde aber aufgrund vorwiegend naturschutz- und archäologischer Beweggründe vorerst nicht in das Abbaukonzept einbezogen.

Morphologisch wird der flachwellig zergliederte Berggrücken durch den leichten Anstieg von ca. 112m im Westen bis zum höchsten Teil von etwa 129m im Osten des geplanten Abbaufeldes gekennzeichnet. Auf dem östlichen, höchsten Teil des Gebietes befindet sich ein gemischter Laubwald, in dem

zwei kleinere Aufschlüsse im Rhyolith vorhanden sind. Der restliche, weitaus größere Teil des Abaufeldes wird als Weidefläche bzw. landwirtschaftlich genutzt.

Die größeren Ortschaften und Siedlungen sind mehr als 500 m entfernt, so daß nur einzelne Grundstücke wie das der Fam. Baldamus im Norden der Lagerstätte, die nächstliegenden Gebäude der Ortsteile Wurp/Gemeinde Brachstedt, die nur 20 m von der Bewilligungsfeldgrenze entfernte Gasleitung im Südosten sowie der unmittelbar im Südosten angrenzende Flugplatz Oppin bei der allgemeinen Beweissicherung zu berücksichtigen sind.

## 2.2 Gewinnung von Rhyolith im künftigen Tagebau

Der Aufschluß des Tagebaues Niemberg beginnt im Süden mit geringer Abraumbedeckung. Die Aufbereitung des gesprengten Haufwerkes erfolgt vorerst mindestens bis zum Aufschluß einer zweiten Sohle mit einer semimobilen Anlage. Zu einem späteren Zeitpunkt wird der Regelbetrieb eingerichtet und im Süden der Lagerstätte, an den Flugplatz angrenzend eine stationäre Aufbereitungsanlage aufgebaut.

Der kesselartige Tagebau soll nach der Konzeption in [2] von Süden im östlichen Teil nach Norden und danach in die westliche Richtung aufgeweitet werden.

Die Wandhöhen werden etwa 20 m betragen und um 70° geneigt sein [24].

Das bisher tiefste Abbauniveau wird mit 50 m HN angegeben und soll später durch eine Abraumkippe von Osten her aufgefüllt werden.

Zur Bohr- und Sprengtechnologie der erforderlichen Großbohrlochsprengungen für die Gewinnung von Rohhaufwerk sind bisher keine Angaben bekannt. Im Rahmen dieses Gutachtens werden dazu Empfehlungen abgeleitet. Die Anlage 2 zeigt die maximal mögliche Ausdehnung des Rhyolith-Tagebaues, so daß alle erforderlichen Entfernungen zu den Gebäuden und Objekten entnehmbar sind. Das anfallende Wasser wird im Tagebautiefsten über einen Pumpensumpf zum Vorfluter des kleinen Gewässers Reide im Süden geleitet.

## 3. Bebauung und bautechnische Gegebenheiten

Der geplante Tagebau befindet sich bis auf wenige Ausnahmen mehr als 500 m von den einzelnen Ortschaften entfernt:

- Niemberg ≥ 800 m (Südosten)
- Brachstedt, OT Hohen ≥ 600 m (Norden)
- Brachstedt, OT Wurp ≥ 600 m (Westnordwesten)
- Gebäude vom Flugplatz Oppin ≥ 750 m (Südsüdwesten)
- Oppin ≥ 1700 m (Südwesten).

Es sind deshalb für die nähere Betrachtung ausgewählt worden (Anlage 2 - rot gekennzeichnet):

- Gehöft der Familie Baldamus  $\geq 300$  m
- Gebäude an der alten Mühle/Verbindungsstraße Niemberg - OT Wurp  $\geq 530$  m
- nächstliegende Wohnhäuser OT Wurp  $\geq 570$  m
- Gasleitung der Verbundnetz - Gas AG  $\geq 18$  m

Von sicherheitlicher Bedeutung für die Durchführung der Bohr- und Sprengarbeiten sind die

- Landebahnen des Flugplatzes Oppin  $\geq 515$  m
- Verbindungsstraße Niemberg - Brachstedt  $\geq 35$  m

In der Anlage 2 sind die wichtigsten, zu berücksichtigenden Bauwerke für die Erschütterungsprognose rot gekennzeichnet und ihre räumliche Lage ist zu entnehmen. Die vorhandenen Gebäude sind entsprechend ihrer Art und Nutzung nach Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 3 zuzuordnen (Tab.1). Nach der DIN 4150, Teil 3 gelten die in Tabelle 1 aufgeführten Anhaltswerte für die zulässige Schwinggeschwindigkeit je nach Gebäudeart der Zeilen 1-3. Dazu wurden die wichtigsten Gebäude und Anlagen in Tabelle 2 erfaßt.

Die fotografische Dokumentation in der Anlage 3 vermittelt den Zustand der wichtigsten Gebäude in der Nachbarschaft des künftigen Tagebaues und kann als allgemeine Beweissicherung zur aktuellen Situation im März 1999 herangezogen werden.

Die an der Verbindungsstraße zwischen den OT Wurp und Hohen der Gemeinde Brachstedt liegenden Gebäude an der alten Mühle (Anl.3, Bilder 2-6) sind etwa 515m vom Abbaufeld entfernt.

Diese sind auf verwittertem Rhyolith gegründet und offenbar nur bereichsweise unterkellert. Der größte Teil der Bauwerke ist auf Streifenfundamente gesetzt, die in einer geringen Tiefe von 0,6...1,0 m u.G. auf dem Festgestein errichtet worden sind. Die Putz- und Feuchtigkeitsschäden deuten auf eine nicht mehr intakte horizontale Abdichtung (Anlage 3, Bild 3 und 4). Der Rißschaden an dem Mauervorbau ist der unterschiedlichen Gründungstiefe geschuldet (Anlage 3, Bild 4). Die Rißbildungen am Wohnhaus neben der Mühle haben verschiedene Ursachen (Anlage 3, Bilder 5 und 6). Baugrunddynamisch ist der vorhandene Festgesteinsbaugrund als optimal zu kennzeichnen.

Die in Anlage 2 ebenfalls rot gekennzeichneten nächstgelegenen Häuser des OT Wurp liegen bereits deutlich weiter als 500m vom vorgesehenen Abbaufeld entfernt, so daß eine Gefährdung durch Sprengerschütterungsimmissionen wenig wahrscheinlich ist. Diese sind nur deshalb baugrunddynamisch beachtenswert, weil sie in einer holozänen, wasserreichen Aue liegen und als erschütterungsempfindlich eingestuft werden müssen.

Tabelle 1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit  $v_i$  zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen (nach [1])

Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_i$ in mm/s			
	Fundament			Deckenebene des obersten Vollgeschosses
	Frequenzen			alle Frequenzen
	< 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100*) Hz	
Zeile 1 Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 - 40	40 - 50	40
Zeile 2 Wohngebäude und in ihrer Konstruktion u./o. ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5	5 - 15	15 - 20	15
Zeile 3 Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind (z.B. unter Denkmalschutz stehend)	3	3 - 8	8 - 10	8
*) Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.				

Von besonderem Interesse ist das Gehöft der Fam. Baldamus, das in der Dorfstr. 26 in Brachstedt, Ortsteil Hohen liegt und sich im 300m-Sprengbereich befindet (Anlage 3, Bilder 7-22).

Das Gehöft besteht aus einem Wohnhaus, einer alten, fast baufälligen Scheune und den Neben- bzw. Stallgebäuden. Am Wohnhaus sind Putz-, Nässe- und Rißschäden festzustellen, die sich insbesondere auf den Westgiebel und die hofseitige Fassade konzentrieren (Bilder 10,11,12,13). Vor allem der hofseitige Sockelbereich leidet unter starken Putz-, Salz- und Nässeschäden (Bilder 12,13). Am Neben- oder Stallgebäude sind ebenfalls umfangreiche Schäden festzustellen, so z.B. Putz- und Nässeschäden (Bilder 14-16) sowie Rißschäden (Bild 17). Die an der Ostseite des Grundstückes gelegene Scheune weist erhebliche Schäden auf, die besonders an der Ost-, Westfassade sowie dem südlichen Giebel zutage treten (Bilder 19 - 22). Auf dem Grundstück befindet sich ein 20m tiefer Brunnen, mit dem die Familie teilweise ihre Wasserversorgung gewährleistet.

Das Wohngebäude ist unterschiedlich tief gegründet. Die Westhälfte hat keinen Keller. Auf der Osthälfte ist ein Keller vorhanden, der offenbar durch die Baugrundverhältnisse begünstigt eingebaut werden konnte. Generell sind das Wohnhaus und die Nebengebäude außer an der Scheune auf Festgestein (Rhyolith) gegründet. Im übrigen Anteil sind weiche bis steife Geschiebemergel- bzw. -

lehme im Baugrund genutzt worden. Der Lehmboden war im Kellerbereich vorhanden. Danach ist das Wohnhaus unterschiedlich tief auf Streifenfundamenten errichtet. Der meiste Anteil der Gründungsflächen besteht aus gut tragfähigem, schwach erschütterungsempfindlichen Rhyolith. Die Rißschäden sind altersbedingt, durch die verwendeten Baustoffe verursacht, infolge der Setzungsunterschiede und durch nicht einheitliche Baugrundverhältnisse entstanden.

Für die Erschütterungsprognose ist insbesondere das Wohnhaus der Familie Baldamus maßgebend. Für die nur 20m vom Abbaufeld im Südosten vorbeiführende erdverlegte Gasleitung wurden in die Prognoserechnung die Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit  $v_i$  der DIN 4150, Teil 3 [6] zugrunde gelegt (vergl. Tabelle 2). Zum Bauzustand der Rohrleitung konnte nur in Erfahrung gebracht werden, daß diese vor mehr als 10 Jahren verlegt worden ist. Aus diesem Grunde muß eine altersbedingte Abschwächung der zulässigen Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 3 erfolgen, die mit 20% angesetzt und der Zeile 2 nach Tabelle 2 zugeordnet wird. Gegebenenfalls ist in Absprache mit dem Betreiber der bauliche Zustand der Rohre später durch eingehendere Untersuchungen zu ermitteln. Der größte Teil ist im weichen Geschiebemergel bzw. -lehm eingebettet; im Nahbereich zum künftigen Tagebau liegen die Rohre auf der Verwitterungszone des Festgesteines.

Tabelle 2: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit  $v_i$  zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf erdverlegte Leitungen [nach 6]

Zeile	Leitungsbaustoffe	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_i$ in mm/s auf der Rohrleitung
1	Stahl, geschweißt	100
2	Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Metall mit und ohne Flansche	80
3	Mauerwerk, Kunststoff	50

Nicht zuletzt muß der später entstehende stationäre Aufbereitungsbetrieb beachtet werden, der nach Tabelle 1 in die Zeile 1 einzuordnen wäre.

In der Tabelle 3 werden die wichtigsten Gebäude und die Rohrleitung zusammengestellt, die für die Erarbeitung der Erschütterungsprognose von Bedeutung sind.

Zur Beurteilung der Erschütterungswirkungen auf Menschen in Gebäuden gehören die nächstliegenden Bebauungen zum Einwirkungsort in die Kategorie „Mischgebiet, Dorfgebiet bzw. Kerngebiet“ (nach DIN 4150, Teil 2).

Tabelle 3: Wichtige Gebäude und Rohrleitung in der Umgebung des vorgesehenen Rhyolith-Tagebaues Niemberg / Brachstedt

Bauwerk / Gebäude	Zeile nach Tabelle 1 bzw. 2	minimale mögliche Entfernung zum Sprengort (m)
Gehöft der Fam. Baldamus	2 (Tab. 1)	≥ 300
Verbindungsstraße OT Wurp - Hohen Gebäude an der alten Mühle	2 (Tab. 1)	≥ 530
nächstgelegenes Gehöft OT Wurp	2 (Tab. 1)	≥ 570
Gasleitung	2 (Tab. 2)	18
Aufbereitung/Sozialgebäude	1 (Tab. 1)	≥ 30

#### 4. Sprengbarkeit und Erschütterungsempfindlichkeit des zu sprengenden Gebirges

Das zum Abbau vorgesehene Festgestein ist ein feinkristalliner, dichter Rhyolith mit einem typischen porphyrischen Korngefüge. Das nicht verwitterte Gestein ist rotbraun bis violettbraun. Die allgemeine Zusammensetzung kann wie folgt angegeben werden:

- Grundmasse, dicht, felsitisch 64,2 - 73,1 %
- Orthoklas, rötlich bis weiß 6,5 - 14,9 %
- Plagioklas, milchig bis grünlichweiß 5,7 - 13,7 %
- Quarz, zerbrochen, dunkelgrau 2,9 - 9,9 %
- Glimmer (Biotit) 1,2 - 3,0 %

Das Trennflächengefüge des Vulkanites wechselt von säulig zu meist plattiger Absonderung und hat meist eine geringe Klufthäufigkeit, d.h. die durchschnittlichen Kluftabstände streuen von 0,2 bis 0,6 m. In stark plattigen Bereichen ist eine mittlere Klufthäufigkeit mit 0,06 - 0,2 m maßgebend. Auf den größeren Störungszonen sind kaolinisierte, bindig zersetzte Materialien zu erwarten, die die Qualität des Gesteines beeinträchtigen.

Das Festgestein hat folgende Eigenschaften:

- Rohdichte  $\varnothing$  2,51 g/cm<sup>3</sup> (2,42 - 2,57 g/cm<sup>3</sup>)
- spezifische Schallhärte 12,1 - 13,4 · 10<sup>6</sup> kg/m<sup>2</sup>s.

Aus den ermittelten Werten ergibt sich eine Sprengbarkeit von durchschnittlich [nach 11, 14]:

**schwer sprengbar.**

Stellenweise werden auf der 1. Sohle Abschnitte leicht sprengbar sein, die in Störungs- und Engkluffzonen aufgefahren werden.

Die Erschütterungsempfindlichkeit des Untergrundes wird nach [15] wegen der guten Baugrundverhältnisse für die Gebäude im Nahbereich als gering und für Wohnbauten in der Ortslage Wulp als hoch infolge der überwiegend weichen Böden angesehen. Die erdverlegte Rohrleitung ist in mitteldichtem Kies-Sand eingebettet.

Gebäude und Bauwerke die auf wasserreichen, weichen Lockergesteinen gegründet sind, erleiden höhere Erschütterungen als solche, die auf Festgebirge errichtet worden sind.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß recht günstige dynamische Baugrundverhältnisse im Nahbereich und damit eine geringe Erschütterungsempfindlichkeit vorhanden sind.

Es darf erwartet werden, daß für diese Gebäude Frequenzen  $\geq 20$  Hz auftreten werden. Im Bereich der Rohrleitung dürften die Frequenzen um 10 bis 15 Hz liegen.

## 5. Grundlagen der Beurteilung von Erschütterungen

### 5.1 Prognose von Erschütterungen

Das auslösende Moment für die verschiedensten Erschütterungen sind beispielsweise folgende dynamische Belastungen des Bau- und Untergrundes [9, 10, 15, 17, 18]:

- Impulsartige Lasteinwirkungen wie Sprengarbeiten in Naturstein-Tagebauen, beim Felsabtrag, Bauwerksabbruch, Erdbeben;
- Stochastische Lasteinwirkungen wie Schwingungen durch Schienen- und Straßenverkehr, Rammarbeiten, Vibrieren, Windanregung bei Hochbauten, Preßluftgeräte, hydraulische Abbauhämmer, Bagger;
- Periodische/Harmonische Lasteinwirkungen wie mechanische, maschinerezeugte Schwingungen von rotierenden Maschinen mit Unwuchten wie Kompressoren, Vor- und Nachbrechern, Pumpen, Stanzen, Pressen.

Es ist in der Praxis leider üblich, daß man den Sprengarbeiten die größte Schadenswirkung und empfindlichste Belästigung zuordnet, weil die Sekundärmissionen wie Scheibeklirren, Klappern von Glasgegenständen sowie Geschirr, dumpfes Grollen usw. Schreckeffekte, Störungen von Schlaf, Angst vor Gebäudeschäden etc. bei den betroffenen Bewohnern oder Anliegern oder Setzungen von Bauwerken u.ä. hervorrufen.

Nicht nur aus diesen Gründen ist es erforderlich und in der Bundesrepublik durch die gültigen Normen [6, 7, 8] festgeschrieben, daß man die Einwirkungen von Erschütterungen auf

- Bauwerke jeder Art
- den Menschen in Gebäuden

- den Untergrund und
- sensible Maschinensysteme

prognostizieren, beurteilen und messen muß.

In einem bekannten Entwurf der DIN 4150, Teil 1 [8] wird für die Vorabschätzung von Sprengerschütterungen auf der Grundlage bisheriger Erkenntnisse die Abstands -Mengen - Beziehung in ihrer allgemeinen Form

$$v_i = k \cdot L^b \cdot r^{-m} \quad (1)$$

erlaubt.

Es bedeuten:

$v_i$	=	Schwinggeschwindigkeit (mm/s)
$k, b$ und $m$	=	empirisch ermittelte Kennwerte, die je nach geologisch-geomechanischen Bedingungen und der zur Anwendung gebrachten Sprengtechnologie ihre Größe wechseln [11, 12, 13] (dimensionslos)
$L$	=	Lademenge pro Zündzeitstufe (kg)
$r$	=	Abstand Sprengort - Meßstelle oder Objekt (m)

Die Gleichung ist nicht dimensionsgerecht und gilt nur als mögliche rechnerische Regel zur Ermittlung der Lademengen/Zeitstufe in Abhängigkeit von der Entfernung Sprengort - Objekt bzw. der jeweils zulässigen Schwinggeschwindigkeit.

In Abänderung dieser grundlegenden Beziehung (1) sind von verschiedenen Autoren empirische Formeln zur Prognose der Erschütterungen angeboten worden, die man für die Verhältnisse im vorgesehenen Rhyolith-Tagebau prinzipiell verwenden könnte [11, 12, 13]:

$$v_i = 517 \cdot L^{0,55} \cdot r^{-1,34} \quad \text{(allgemeine Beziehung)} \quad (2)$$

für alle Gesteine)

$$v_i = 206 \cdot L^{0,8} \cdot r^{-1,3} \quad \text{(für kristalline Gesteine)} \quad (3)$$

$$v_i = 16 \cdot \frac{\sqrt{0,01 \cdot L}}{(0,01 \cdot r)^{[1,4786+0,1314 \log(0,01 \cdot r)]}} \quad (4)$$

$$v_i = 1350 \cdot \left( \frac{L \cdot 1/3}{r} \right)^{1,5} \quad (5)$$

Die Beziehungen (1) bis (5) beinhalten als Einflußfaktoren für die Schwinggeschwindigkeit nur die Entfernung  $r$  und die Lademenge pro Zeitstufe  $L$  und berücksichtigen nicht den Einfluß anderer wichtiger sprengtechnischer Größen. Zudem basieren diese Beziehungen auf Messungen von Sprengerschütterungsimmissionen bei denen die Bohr-, Spreng- und Zündtechnik nicht dem heutigen Stand entspricht [16].

Für die Entstehung von Sprengerschütterungsemissionen ist jedoch die Gestaltung und Konzeption der gesamten Sprenganlage mit ihren verschiedenen Parametern von vorrangiger Bedeutung [14, 16]. Jede bohr-, spreng- und zündtechnischen Neuentwicklung muß dabei berücksichtigt werden. Dieser Tatsache wurde in einer weiterentwickelten Beziehung unter Hinzunahme wichtiger sprengtechnologischer Größen in die bisherige Abstands-Mengen-Gleichung Rechnung getragen und folgende verallgemeinerte Gleichung aufgestellt:

$$v_i = k \cdot L^b \cdot S_g^{-c} \cdot r^{-m} \quad (6)$$

Hierin bedeutet die Größe  $S_g$  die sogenannte spezifische Sprengwirkung nach [16]:

$$S_g = \sqrt{\frac{L_g \cdot \xi \cdot Q_{ex} \cdot \rho_s \cdot A_{vg} \cdot W_{zg}}{Z_s \cdot A_{sg} \cdot A_{fg} \cdot t_g}} \quad (\text{Ns/m}^3) \quad (7)$$

In der Gleichung (7) bedeuten:

$S_g$	=	spezifische Sprengwirkung der gesamten Sprenganlage ( $\text{Ns/m}^3$ )
$L_g$	=	Gesamtlademenge (kg)
$\xi$	=	Füllungsgrad
$Q_{ex}$	=	Explosionswärme des Sprengstoffes (J/kg)
$\rho_s$	=	Sprengstoffdichte ( $\text{kg/m}^3$ )
$A_{vg}$	=	verspannte Fläche der gesamten Sprenganlage ( $\text{m}^2$ ) = $(2l_B \cdot w) + (w \cdot a_B \cdot n_B)$
$W_{zg}$	=	durchschnittliches Zerkleinerungsverhältnis $\frac{a_B \cdot q \cdot h_w}{w^2}$ ( $\text{kg/m}^3$ )
$Z_s$	=	spezifische Schallhärte des Gesteins des Sprengmediums ( $\text{kg/m}^2\text{s}$ )
$A_{sg}$	=	Abschlagsflächen der gesamten Sprenganlage ( $\text{m}^2$ ) = $l_B \cdot a_B \cdot n_B$
$A_{fg}$	=	freie Fläche der gesamten Sprenganlage ( $\text{m}^2$ ) = $(w \cdot a_B \cdot n_B) + (l_B \cdot a_B \cdot n_B)$
$t_g$	=	Verzögerungszeit der gesamten Sprenganlage (s)
$a_B$	=	Bohrlochabstand (m)
$q$	=	spezifischer Sprengstoffverbrauch ( $\text{kg/m}^3$ )
$w$	=	Vorgabe (m)
$l_B$	=	Länge des Bohrloches (m)
$n_B$	=	Anzahl der Bohrlöcher
$h_w$	=	Wandhöhe (m)

Die Einbeziehung der spezifischen Sprengwirkung in die Bewertung, Berechnung und Prognose von Sprengerschütterungen gestattet erstmals eine Verringerung der Erschütterung durch gezielte Veränderungen der Bohr-, Spreng- und Zündtechnik herbeizuführen.

## 5.2 Einwirkung von Erschütterungen auf bauliche Anlagen

Die Einwirkungen von Erschütterungen werden nach der DIN 4150, Teil 3 [6] geregelt (Tab.1). Je nach Frequenzbereich und Gebäudeart werden Anhaltswerte der maximalen Schwinggeschwindigkeit in irgendeiner Schwingungsebene (x, y, z) zugelassen, die entweder im Bereich des Fundamentes bzw. der Deckenebene des obersten Vollgeschosses eines Bauwerks zu ermitteln sind oder für diese gelten. Die Gefährlichkeit von Schwingungen hinsichtlich einer möglichen Schadenswirkung erhöht sich mit abnehmender Frequenz .

Um eine objektive Beurteilung der Schadenswirkung, die international noch vielfach umstritten ist, zu ermöglichen, wird auf die zahlreichen Aufsätze verwiesen [9, 10, 11, 12, 13, 18]. Der relativ hohe Sicherheitszuschlag der DIN-Anhaltswerte im internationalen Vergleich zeigt, daß die DIN 4150, Teil 3 strenge Festlegungen vorgibt [19]. Im europäischen Rahmen werden höhere Werte zugelassen [18, 19].

Schäden als Folge von Erschütterungseinwirkungen entstehen dann, wenn die im Material oder Bauteil stets vorhandenen Spannungen zusammen mit den sich überlagernden dynamisch eingetragenen Zusatzspannungen die Zugfestigkeit des Baustoffes überschreiten.

Für den Laien sei hier nochmals darauf hingewiesen, daß die normale Nutzung von Wohngebäuden durch Gehen, Türeenschlagen, Treppensteigen, Waschmaschinenlauf u. dgl. Erschütterungsstärken von bis zu 5 mm/s, das Einschlagen eines Nagels oder Bohren eines Dübelloches bis zu 20 mm/s und eine tanzende Gruppe auf einer Deckenebene noch viel höhere Werte hervorrufen können. Kirchenglocken erzeugen beim Läuten in einem Turm mit Schwinggeschwindigkeiten von bis zu 20 mm/s etwa ebenso hohe Erschütterungen wie Straßenfahrzeuge und Straßenbahnen auf Brücken oder schlechten, unregelmäßigen Fahrbahndecken.

Es muß letztlich erwähnt werden, daß die Messung der Schwinggeschwindigkeit eine Ersatzgröße für die Auswirkung der dynamischen Einwirkungen darstellt. Für die genauere Beurteilung wäre es besser, man würde Dehnungsmessungen an den Gebäuden und Bauwerksteilen durchführen.

Für erdverlegte Rohrleitungen wird zur Festlegung der Sicherheitsbedingungen unter Druck stehender Gasleitungen folgender Ansatz gewählt:

Die Sprengerschütterungen werden als Sonderfall betrachtet. Als zulässige Spannung kann eine Größenordnung von 20 MN/m<sup>2</sup> zugrunde gelegt werden. Danach ergibt sich für erdverlegte Stahlrohre mit der angegebenen zulässigen Spannung eine Schwinggeschwindigkeit von 300 mm/s [9]. Um mögliche ungünstige Einflüsse, Alterungserscheinungen und dergl. zu berücksichtigen, wird für die vorhandene Gasleitung ein Anhaltswert von

**80 mm/s**

vorgegeben. Dieser liegt deutlich auf der sicheren Seite (Tabelle 2).

### 5.3 Einwirkungen von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden

Bei der Planung von Sprengarbeiten ist nicht nur der vorbeugende Erschütterungsschutz hinsichtlich der Schäden baulicher Anlagen zu berücksichtigen, sondern insbesondere die Reaktion und das subjektive Empfinden der Menschen, wenn sie Erschütterungen ausgesetzt sind.

Die Erschütterungen sind nicht nur die von der eigentlichen Sprengung erzeugten, sondern meist Sekundärmissionen in Form von vibrierenden Fenstern, Türen, Kästen, Klappern von Gegenständen, dumpfem Dröhnen usw. Die Erschütterungen der Sprengungen regen die Fußböden, Decken und Wände zu Schwingungen an, die ihrerseits die umgebenden Luftvolumina in Schwingungen versetzt.

Es entstehen Schallwellen, die je nach Frequenzbereich hörbar oder als Infraschall nicht hörbar sind. Nicht zuletzt wurde aus diesen Gründen in DIN 4150, Teil 2 aus dem Schwingweg oder der Schwinggeschwindigkeit und der Frequenz der Erschütterungen die Wahrnehmungsstärke KB definiert, die letztlich ein Maß für die Belästigung des Menschen bei Erschütterungen in Gebäuden sein soll und durch Vergleich mit dem in der DIN 4150, Teil 2 vorgegebenen Anhaltswert bewertet wird [7].

Der KB-Wert wird in Abhängigkeit von der baulichen Nutzung der Umgebung, nach der Dauer und der Häufigkeit der Einwirkung sowie der Tageszeit seines Auftretens eingestuft.

Nähere Darstellungen zu dieser Problematik finden sich in [7, 9, 10, 11]. Ein Rechenwert wurde insbesondere wegen der dadurch möglichen Vergleichbarkeit, Bezugsmöglichkeit und objektiven Beurteilung bei gerichtlichen Auseinandersetzungen eingeführt.

Die Messung von Schwingungsgrößen zur Berechnung der KB-Werte ist im Gegensatz zu den Messungen für Gebäude nicht auf dem Fußboden der zu untersuchenden Räume, sondern in Deckenmitte des obersten Vollgeschosses an den Stellen stärkster Schwingungen in vertikaler Richtung ( $v_z$ ) vorzunehmen.

Nach dem Weißdruck der DIN 4150, Teil 2 vom Dezember 1992 wird bei zeitlich nur sehr kurz einwirkenden Sprengerschütterungen der KB-Wert in den Anhaltswert  $A_0$  umgerechnet:

$$A_0 = KB \cdot 0,6 \quad (8)$$

Diese Norm beschäftigt sich ausschließlich mit dem Fernhalten von Belästigungen und der Zumutbarkeit für Menschen beim Aufenthalt in Gebäuden gegenüber Erschütterungen, ohne einen medizinischen Beweis der Schädigung des Menschen durch derartige Einwirkungen anzuführen. Es ist bekannt, daß Erschütterungen von Menschen, insbesondere wenn sie plötzlich und unvorbereitet einwirken, besonders unangenehm empfunden werden, da der menschliche Körper dafür ein ausgeprägtes Warnsystem besitzt.

In den meisten Fällen entsteht noch kein Schaden an baulichen Anlagen, obwohl der betroffene Mensch die Einwirkungen durch die Erschütterung als "unerträglich" verspürt. Sprengerschütterungen werden daher, vielleicht auch wegen des spontanen Impulses, von Menschen eher abgelehnt und als belästigend empfunden, als gleichgroße Schwingungen, die von anderen Erschütterungsquellen, wie z. B. vom Straßenverkehr ausgehen.

Die scheinbar logische, aber meist irriige Schlußfolgerung aus dem subjektiven Empfinden ist dann diese, daß im Gebäude ein Schaden entstanden sein muß. Es wird deshalb vielfach von Nutzen

sein, die Anwohner von jedem geplanten Vorhaben in Kenntnis zu setzen, bevor mit Sprengarbeiten begonnen wird.

Erschwert wird die Arbeit mit den Anwohnern und Betroffenen allerdings durch die bereits erwähnte Tatsache, daß der Zusammenhang zwischen Erschütterungsbelastungen und der dadurch ausgelösten Beanspruchung des Menschen medizinisch nicht geklärt ist. So gesehen, sind die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 willkürliche Festlegungen, die eher ein demokratisches Rechtsempfinden unterstützen, als einer fachlichen, objektiven Beurteilung standhalten.

Schwingungsmechanisch ist der Körper des Menschen kein starres, homogenes System. Er setzt sich aus Einzelorganen mit unterschiedlicher Masse und Elastizität, verbunden durch Bindegewebe, Muskeln und Sehnen mit unterschiedlicher Dehnbarkeit zusammen. Daneben hängen die dynamischen Eigenschaften des Körpers von der Körperhaltung und der Muskelspannung ab. Die Wirkung der Schwingungen innerhalb des Körpers wird durch Relativverschiebungen der Organe und Muskelgruppen gegeneinander bestimmt. Dadurch werden die verschiedensten Symptome ausgelöst, die immer dann am stärksten sind, wenn spezifische Organe bei bestimmten Frequenzen in Resonanz geraten.

Eben diese Resonanzerscheinungen können beispielsweise bei Sprengerschütterungen wegen der kurzen Einwirkzeit von wenigen Millisekunden nicht eintreten, so daß Schädigungen des menschlichen Körpers, wie sie bei Ganzkörper- und Hand-Arm-Schwingungen bei der Arbeit in und mit vibrierenden Geräten entstehen, theoretisch auszuschließen sind.

Daraus kann die gutachterliche Schlußfolgerung abgeleitet werden, daß die Beurteilung von Erschütterungen auf Gebäude und Bauwerke einen vorrangigen Stellenwert erhalten muß und die Belästigung von Menschen in Gebäuden durch Erschütterungen im Umfeld der Tagebaue insbesondere durch

- Information der Anwohner
- fachtechnisch-psychologische Betreuung der Anlieger
- begleitende Erschütterungsmessungen in den beschwerdeführenden Bereichen oder kritischen Gebäuden
- Zeitabsprache für die Sprengungen/Signalgebung beim Sprengen
- Einladung zu einer Betriebsbesichtigung oder Sprengung
- sofortiges Reagieren bei Beschwerden

praktisch abzubauen ist.

Mit dieser Vorgehensweise hat man nach den Erfahrungen der Gutachter mehr Erfolg, als mit der Einhaltung von Kennwerten, die der Laie ohnehin kaum nachvollziehen oder verstehen kann.

## 6. Festlegung der Rahmenbedingungen für den Tagebau Niemberg

### 6.1 Empfehlungen zur Bohr- und Sprengtechnologie

Wie bereits erwähnt, hat die Art der Sprengung mit der ausgelegten Bohr-, Zünd- und Sprengtechnologie eine große Bedeutung für die Sprengerschütterungsimmissionen. Wegen der guten Vergleichbarkeit der felsmechanischen Verhältnisse und der Sprengbarkeit mit denen vom Tagebau Petersberg wird vorerst die dort zur erfolgreichen Anwendung gebrachte Bohr-, Spreng- und Zündtechnik für die Durchführung der Zertrümmerungs- bzw. Großbohrlochsprengungen empfohlen. Die Beschreibung der Sprengbarkeit zeigte, daß die oberste 1. Sohle bis etwa 20 m unter Gelände schwer, stellenweise leicht und die tieferen Sohlen überwiegend schwer sprengbar sein werden. Deshalb werden aus den Erfahrungen vom Tagebau Petersberg, die in Tabelle 4 aufgeführten Bohr-, Spreng- und Zündparameter abgeleitet, ohne die eine Erschütterungsprognose nicht möglich ist.

Tabelle 4: Empfehlungen für die wichtigsten Bohr-, Spreng- und Zündparameter im künftigen Tagebau Niemberg [nach 23, 24]

Parameter	Dimension	Wert/Bemerkung/Streuung
Wandhöhe	m	15 - 20
Bohrlochneigung	(°)	70 - 75
Bohrlochdurchmesser	mm	89 - 115
Sprengstoffe	-	Emulsionssprengstoffe, patroniert, vorwiegend gepumpt obere Sohlen - pulverförmige Sprengstoffe gelatinöse Sprengstoffe als Schlagladung, in Sonderfällen
spezifischer Sprengstoffverbrauch	kg/m <sup>3</sup>	0,200 - 0,500
Vorgabe	m	2,5 - 5,0
Bohrlochabstand	m	2,5 - 4,0
Anzahl der Reihen	-	2 - 4
Zündung	-	elektrisch, nichtelektrisch, elektronisch im Bohrlochtiefsten, mit/ohne Booster
Zündfolge	-	progressiv, stumpfwinklig zum Ausbruch

Neben diesen Parametern sollten folgende Grundsätze wenn es die Randbedingungen erlauben beibehalten werden:

- volle Ausladung der Bohrlöcher durch Einsatz von gepumpten, flüssigen Emulsions- und pulverförmigen Sprengstoffen ist gleichbedeutend mit einem hohen Füllungsgrad
- Beibehaltung der redundanten Zündung möglichst mit dem Einsatz von TNT-Boostern ohne Sprengschnur

- Erhöhung des gezündeten Seitenverhältnisses von mindestens 1...1,2
- Vermeidung von unterladenen Sprengungen
- Einstellen der Abbaurichtung, ohne daß flache bis mittelsteile Haupttrennflächenscharen aus der Böschung einfallen

## 6. Prognose der Sprengerschütterungsimmissionen im Umfeld des künftigen Rhyolith-Tagebaues Niemberg / Brachstedt

Die im weiteren abgeleiteten gutachterlichen Aussagen stellen wegen der zwangsläufig fehlenden Messungen eine Prognose dar, die in jedem Falle beim späteren Tagebaubetrieb durch entsprechende Erschütterungsmessungen zu belegen bzw. überarbeiten sind.

Nach den erarbeiteten Erkenntnissen ist von folgenden Rahmenbedingungen auszugehen:

- Die Sprengbarkeit des Rhyolith-Festgebirges ist überwiegend als schwer gelegentlich als leicht sprengbar in den verwitterten Bereichen und Störungszonen insbesondere der 1. bis 2. Sohle zu kennzeichnen.
- Die Bohr-, Zünd- und Sprengtechnik kann wegen ähnlicher Bedingungen am Petersberg vergleichsweise übertragen werden (Tabelle 4).
- Die Frequenzen der Schwinggeschwindigkeiten werden Werte von 10-50Hz erreichen, wobei Frequenzen von 20-40Hz überwiegen dürften, so daß für die nahegelegenen Gebäude und die Gasleitung die in Tabelle 5 aufgeführten Anhaltswerte der zulässigen Schwinggeschwindigkeiten anzusetzen sind.

Tabelle 5: Anhaltswerte für die zulässige Schwinggeschwindigkeit in mm/s für eine Frequenz von 20 Hz

Bauwerk	Anhaltswerte der zulässigen Schwinggeschwindigkeit	
	Fundament/Oberfläche über Leitung	Deckenmitte oberstes Vollgeschoß
Wohngebäude	8 mm/s	15 mm/s
Gasleitung	80 mm/s	-
Aufbereitung/Sozialgebäude	30 mm/s	40 mm/s

- Für den künftigen Rhyolith-Tagebau Niemberg/Brachstedt kann die unter vergleichbaren Bedingungen ermittelte Prognosebeziehung des Tagebaues Petersberg verwendet werden:

$$v_i = 491 \cdot L^{0,45} \cdot S_g^{-0,6} \cdot r^{-1,2} \quad (9)$$

Die Prognosebeziehung muß später auf der Grundlage von Erschütterungsmessungen

präzisiert und den tatsächlichen Bedingungen angepaßt werden.

- Werden die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 und die vorgefundenen Verhältnisse berücksichtigt, sind als Randbedingungen für die zumutbare Belästigung der Menschen in den Gebäuden durch Erschütterungswirkung einzuhalten:

Ereignisse	KB-Wert	≅ Schwinggeschwindigkeit Deckenmitte des obersten Vollgeschosses
Mischgebiet bei einem Einzeleignis <u>pro Woche</u> mit Vorwarnung am Tage	10	≅ 14,3 mm/s (= v <sub>zmax</sub> )
Mischgebiet bei mehreren Einzeleignissen <u>pro Tag</u> ohne Vorwarnung	8	≅ 11,9 mm/s (= v <sub>zmax</sub> )

Der Übertragungsfaktor zwischen Fundament und der Deckenmitte im obersten Vollgeschoß wird nach unseren Erfahrungen wegen der überwiegend 1-2-geschossigen Bauwerke und der vorhandenen guten Baugrundverhältnisse um den Faktor 2 schwanken.

Mit der aus [23] übertragenen Prognoseformel (9) und den aufgeführten Randbedingungen können die vorläufigen Anhaltswerte für die empfohlene spezifische Sprengwirkung sowie die zulässigen Lademengen pro Zündzeitstufe in Beziehung zum Abstand Sprengort - Bauwerk berechnet werden (Tabelle 6).

Zwischenwerte in Tabelle 6 können nach der Formel (10) berechnet werden:

$$L = 0,45 \sqrt{\frac{v_l}{491 \cdot r^{-1,2} \cdot S_g^{-0,6}}} \quad (10)$$

Generell sollten die Sprengungen so ausgelegt werden, daß eine möglichst hohe spezifische Sprengwirkung erzielt werden kann. Auf diese Weise kann die Lademenge pro Zeitstufe erhöht werden (vergleiche Werte in der Tabelle 6).

Tabelle 6: Empfohlene Lademengen/Zündzeitstufe (kg/ZZS) und spezifische Sprengwirkung  $S_g$  in Abhängigkeit von der Entfernung r Sprengort - Meßort / Bauwerk / Gasleitung sowie der zulässigen Schwinggeschwindigkeit

r (m) Abstand Sprengort- Meßort (Fundament/ Geländeober- fläche Gaslei- tung)	Lademenge pro Zünd- zeitstufe (kg) bei einer max. zulässigen Schwing- geschwindigkeit von 8 mm/s (Erwartungswert bei 20Hz / Wohnhaus)		Lademenge pro Zündzeitstu- fe (kg) bei einer max. zuläs- sigen Schwinggeschwindig- keit von 30 mm/s (Erwartungswert bei 20 Hz / Aufbereitung / Sozialgebäu- de)		Lademenge pro Zündzeitstu- fe (kg) bei einer max. zuläs- sigen Schwinggeschwindig- keit von 80 mm/s (bei $\geq$ 10Hz / Gasleitung)	
	$S_g=2 \text{ Ns/m}^3$	$S_g=6 \text{ Ns/m}^3$	$S_g=2 \text{ Ns/m}^3$	$S_g=6 \text{ Ns/m}^3$	$S_g=2 \text{ Ns/m}^3$	$S_g=6 \text{ Ns/m}^3$
10	0,14	0,58	2,55	11,03	22,54	97,53
20	0,86	3,71	16,19	70,03	<b>143,13*</b>	619,30
30	2,53	10,95	<b>47,72*</b>	206,48	422,00	1825,90
40	5,45	23,57	102,78	444,68	908,84	3932,31
50	9,88	42,74	186,34	806,26	1647,83	7129,76
100	62,72	271,39	1183,21	5119,46	10463,08	
150	184,93	800,16	3488,50	15093,88		
200	398,28	1723,24	7512,93			
250	722,12	3124,44	13621,84			
300	<b>1174,25*</b>	5080,69				
350	1771,27	7663,85				
400	2528,89	10941,89				
450	3462,08					
500	4585,19					
550	5912,05					
600	7456,03					
650	9230,10					
700	11246,88					
750	13518,68					
800	16057,48					

\*) fett hervorgehoben - geringstmögliche Werte für die einzelnen Bauwerke bei entsprechender Annäherung des Tagebaues und vergleichsweise schlechten Sprengwirkungen

Die in Tabelle 6 verwendeten spezifischen Sprengwirkungen enthalten die extremen Wertegruppen für  $S_g = 2$  bzw.  $6 \text{ Ns/m}^3$ . Sie beziehen sich auf übliche Großbohrlochsprengungen im Festgebirge aus Rhyolith [23].

Nach den Angaben in Tabelle 6 können die zulässigen Lademengen bzw. die spezifischen Sprengwirkungen für die Großbohrlochsprengungen entnommen werden, wobei andere Sprengwirkungen in Beziehung (9) einsetzbar sind. Die kleinsten möglichen Lademengen bei der geringsten Entfernung des Abbaufeldes vom jeweiligen Objekt und den vergleichsweise schlechtesten spezifischen Sprengwirkungen sind in Tabelle 6 fett hervorgehoben.

In der Praxis wird man die Werte in der Tabelle 6 zwangsläufig nicht ausreizen, zumal die Bedingungen im Tagebau Niemberg durch die geringe bzw. weit entfernte Bebauung geradezu ideal sind. Aus zerkleinerungstechnischen Gründen wird die Lademenge pro Zeitstufe auf 1000 kg begrenzt und sollte den Wert nicht überschreiten. Es muß je nach Lage der Sprengung im Tagebau entschieden werden, inwieweit der bohr- und sprengtechnische Rahmen entweder durch das Wohnhaus im Norden, durch die stationäre Anlage oder die Gasleitung eingeschränkt wird. Werden die Anhaltswerte der Tabelle 6 unter Beachtung aller Hinweise eingehalten, kann gutachterlich garantiert werden, daß weder Gebäudeschäden noch unzumutbare Belästigungen von Menschen in diesen Bauwerken entstehen können.

Aus der Tabelle 6 kann ferner entnommen werden:

- Es ist für die Durchführung der Sprengungen besser eine gute spezifische Sprengwirkung zu erreichen, weil dadurch Erschütterungen reduziert und der Sprengerfolg garantiert werden.
- Die Rohrleitung hat nur im Nahbereich bis 40 m eine einschränkende Auswirkung auf die Sprenganlage.
- Es ist die Bohr- und Sprengtechnik den Entfernungen zum Gebäudekomplex der Familie Baldamus sowie zur späteren Aufbereitungsanlage auszurichten.
- Die Größenordnung der Sprengung ist so auszulegen, daß nur eine Sprengung pro Woche erfolgt. Auf diese Weise kann der größere KB-Wert genutzt werden. Es sollten generell 2- und Mehrreihensprengungen ausgeführt werden.

Man ist in der Lage, die Sprengerschütterungen so zu beeinflussen, daß ein Bohr- und Sprengbetrieb ohne negative Beeinträchtigung der Umwelt möglich ist. Begünstigend kommt im vorliegenden Fall hinzu, daß die Wohnbauten in größerer Entfernung liegen.

Nach diesen Ergebnissen können von gutachterlicher Seite gegen das Betreiben des Rhyolith-Tagebaues keine Bedenken erhoben werden.

### 6.3 Vermeidung von Steinfluggefahr

Der Vermeidung von Steinfluggefahr wird beim Aufschluß des Tagebaues größere Bedeutung haben, weil sich im Nahbereich folgende Objekte befinden:

- Straße Niemberg - Brachstedt
- Flugplatz Oppin.

Aus diesem Grunde werden nach dem heutigen Stand der Technik Hinweise erarbeitet, um derartige Ereignisse zu vermeiden.

Wenn man bei den Sprengarbeiten Steinflug verursachen sollte, so ist das meist eine Folge von örtlichen oder punktuellen Überladungen. Nach unseren Untersuchungen haben derartige Bereiche oder Sprenganlagen lokal eine spezifische Sprengwirkung  $S_g \geq 35 \text{ Ns/m}^3$ .

In der Regel wird die spezifische Sprengwirkung durch einen spezifischen Sprengstoffeinsatz von  $1,5 \text{ kg/m}^3$  und/oder bei einer Vorgabe  $\leq 2,0 \text{ m}$  erhöht, so daß der eigentlichen Berechnung eine genaue Erfassung aller Bohr-, Spreng- und Zündparameter vorangestellt werden muß.

Davon spielen die geometrischen Bedingungen wie Bohrlochneigung, Vorgabe, Verspannung und die vor der Sprengung vorhandene Auflockerung oder Rißbildung eine entscheidende Rolle für die Auslösung eines Steinfluges. Mit der Berechnung der spezifischen Sprengwirkung (7) kann die Gefahr eines zu weiten Auswurfes resp. Steinfluges bei bekannten Eingangsgrößen auch vor der Sprengung eingeschätzt werden. Nach den bisherigen Erfahrungen darf die spezifische Sprengwirkung nicht größer als  $35 \text{ Ns/m}^3$  sein. Wie schnell die Bedingungen für einen Steinflug erreicht werden, sei durch das Beispiel in Tabelle 7 erläutert.

Tabelle 7: Erhöhung des spezifischen Sprengstoffverbrauches durch geringere Vorgaben bei Mehrausbruch

Vorgabe	Bohrlochdurchmesser	Bohrlochabstand	Ladmenge/Bohrmeter (Emulsionssprengstoff)	spezifischer Sprengstoffver- brauch
m	mm	m	kg	$\text{kg/m}^3$
3	89	3	7,5	0,833
2	89	3	7,5	1,25
1,5	89	3	7,5	1,67
1	89	3	7,5	2,50
0,5	89	3 (Halbraum)	7,5	15,0

Die Berechnungen zeigen, daß die volle Ausladung der Bohrlöcher dann problematisch wird, wenn durch Mehrausbrüche oder lokale Auflockerung in der freien Böschungsoberfläche die Vorgaben kleiner werden als vorgesehen. Diesem Umstand kann man heute dadurch begegnen, daß man vor der Sprengung die Spur der Bohrlöcher an der freien Böschungsoberfläche in Bezug zum eigentli-

der Sprengung die Spur der Bohrlöcher an der freien Böschungsoberfläche in Bezug zum eigentlichen Bohrloch geometrisch genau vermisst. Dazu werden Vermessungen mit einem Laser-System (z.B. Geofennel oder MdL) durch die Sprengstofflieferanten/-betriebe angeboten, mit denen in kurzer Zeit der geometrische Zustand der Böschungen erfaßbar ist.

Obwohl allgemein bekannt ist, daß man beim Niederbringen von Bohrlöchern mit Bohrabweichungen rechnen muß, gibt es bisher keine sicheren Erfahrungen über die Größe der Abweichungen. Eine Bohrlochverlaufsmessung ist heute gleichermaßen möglich mit dem in England entwickelten System des „Boretrak“, mit den Geräten eines Thüringer Herstellers oder anderer Meßgeräte.

Diese Meßgeräte arbeiten mit elektrolytischen Schwerkraftsensoren und können in Bohrlöchern von  $\geq 60^\circ$  Bohrlochneigung eingesetzt werden. Sicher ist, daß Bohrlochabweichungen in erster Linie von der Genauigkeit beim Ansetzen des Bohrloches auf der Tagebausohe abhängen. Die Abweichungen eines Bohrloches betragen beispielsweise bei  $1^\circ$  von der Sollneigung in 10 m Tiefe etwa 0,18 m und in 30 m 0,54 m. In Skandinavien rechnet man grundsätzlich mit einem Bohrfehler A, der nach folgender Beziehung ermittelt wird:

$$A = 0,05 \text{ m} + 0,03 \text{ m} \cdot \text{Bohrlochtiefe} \quad (11)$$

Daraus ergeben sich nachstehende Abweichungen:

10 m Bohrtiefe =	0,35 m
20 m Bohrtiefe =	0,65 m
30 m Bohrtiefe =	0,95 m

Aus dieser Erkenntnis wird die Bedeutung der Wandhöhen für die Steinfluggefahr deutlich. Bis 20 m ist eigentlich eine solche Gefahr bei genügender Vorgabe weitestgehend einzuschränken. Aus diesem Grunde wird empfohlen, diese Größenordnung für den Tagebau zu wählen, wenn es die Standortsicherheitsbedingungen zulassen [24].

Verallgemeinert kann festgestellt werden, daß folgende Hauptursachen für eine Steinfluggefahr auftreten können:

- Nichteinhaltung der erforderlichen Mindestbesatzlänge; Besatz muß steinfrei sein
- Bohr- und Vermessungsfehler
- klufftbedingte Wandausbrüche oder Auflockerungen
- Überladung von Bohrlöchern mit geringerer Vorgabe als geplant
- Sprengstoffanreicherung infolge Bohrlöcherweiterung oder Spaltenfüllung

Steinflug erfolgt aus einer Großbohrlochsprengung stets in Wurfriechtung der Sprengung. Nach dem Stand der Technik ist durch eine

- genaue Erfassung der wichtigsten Parameter vor der Sprengung
- exakte Vermessung von Bruchwänden und Bohrlöchern

- angepaßte Bohr- und Sprengtechnologie sowie der
- Überrechnung der spezifischen Sprengwirkung

der Steinflug theoretisch vermeidbar. Die Sprengungen sollten dennoch mit dem Flughafen Halle-Oppin abgestimmt werden, damit die Flugzeuge nicht gerade beim Anflug über den Tagebau während einer Sprengung gelangen.

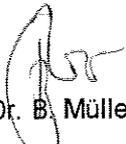
## 7. Schlußfolgerungen und Empfehlungen

1. In diesem Gutachten wird eine Bohr-, Spreng- und Zündtechnologie empfohlen, die wegen der Vergleichbarkeit der Bedingungen sowie Sprengbarkeit des rhyolithischen Festgebirges aus den Erfahrungen vom Tagebau Petersberg übernommen werden kann. Zu den Parametern werden weitere Hinweise für die Durchführung abgeleitet, die letztlich dazu dienen, die Erschütterungen zu reduzieren und den Steinflug zu verhindern.
2. Die Einhaltung der Werte der spezifischen Sprengwirkung und Lademenge pro Zeitstufe nach Tabelle 6 unter Beachtung der Entfernungen zu den einzelnen Gebäuden bzw. zur Gasleitung garantiert, daß weder Schädigungen der Bausubstanz noch eine unzumutbare Belästigung der Menschen in den Gebäuden auftritt. Es sollte aus zerkleinerungstechnischen Gründen die Lademenge pro Zeitstufe 1000 kg nicht überschreiten.
3. Die Gasleitung im Südosten des Abbaufeldes mit einer Entfernung von  $\geq 18$  m vom Tagebau, die späteren Gebäude der Aufbereitung und des Betriebes sowie das Gehöft der Familie Baldamus mit einer Entfernung von  $\geq 300$  m zum geplanten Neuaufschluß besitzen vergleichsweise zu anderen wesentlich weiter entfernten Gebäuden nach Zeile 2 der DIN 4150, Teil 3 die größte Bedeutung. Die Gasleitung ist nur im Nahbereich  $\leq 40$  m, das Wohnhaus vorwiegend bei der Festlegung der Bohr- und Sprengparameter zu beachten.
4. Die Angaben der Tabelle 6 berechtigen zu der Schlußfolgerung, daß für den Tagebaubetrieb sehr günstige Rahmenbedingungen bestehen. Die Abbautätigkeit wird nur in Sonderfällen einzuschränken sein.
5. Es wird empfohlen, nach Aufnahme des Gewinnungsbetriebes Erschütterungsmessungen durchführen zu lassen, damit die Prognosebeziehung auf die lokalen Bedingungen angepaßt werden kann. Danach kann u.U. die Lademengen-spezif. Sprengwirkung-Abstandstabelle (6) korrigiert und optimiert werden. Die Werte der Tabelle 6 sind als vorläufig anzusehen.
6. Sollten dennoch bestimmte, nicht vorhersehbare Erschütterungsprobleme bekannt werden, kann der Gutachter den Gewinnungsbetrieb bei der Erarbeitung einer optimalen Bohr-, Spreng- und Zündtechnik unterstützen. Es konnte mit dem Gutachten aufgezeigt werden, daß man die Sprengerschütterungen durch die Erhöhung der spezifischen Sprengwirkung, die gleichbedeutend mit der Verbesserung der Sprengtechnik ist, deutlich reduzieren kann.
7. Die empfohlene Wandhöhe von 20 m ist sowohl für die Gewährleistung der Standsicherheit als auch zur Vermeidung der Steinfluggefahr eine bestätigte Größenordnung.

8. Der genehmigenden Behörde wird empfohlen, die vorläufige spezifische Sprengwirkung - Lademengen - Abstandstabelle 6 in den Genehmigungsbescheid zu übernehmen und dem Betreiber gleichzeitig die Möglichkeit einzuräumen, Messungen der tatsächlichen Sprengerschütterungsimmissionen durchführen zu lassen. Danach ist Tabelle 6 entsprechend zu verbessern. Die abgeleitete Bohr- und Sprengtechnik mit den Angaben der Tabelle 6 kann als Grundlage für den Sonderbetriebsplan gelten. Als Höchstgrenze für die Lademenge pro Zeitstufe gilt 1000 kg.

9. Die Sprengzeiten sollten mit den Verantwortlichen des Flughafens Halle-Oppin abgestimmt werden, um einen Überflug während einer Sprengung zu vermeiden.

10. Aus gutachterlicher Sicht bestehen gegen das Vorhaben keinerlei Bedenken, wenn die genannten Empfehlungen eingehalten werden. Bei Einhaltung aller Hinweise ist das Auftreten von Gefahren für die Bausubstanz, die Gasleitung und den Flughafen oder erhebliche Belästigungen der Anwohner im Sinne des BImSCHG nicht abzuleiten.



Dr. B. Müller

- Sachverständiger für Böschungen  
und Bodendynamik -