

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Nr. 2364

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn
vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau

Prof. Dr. -Ing. Werner Leins
Dr. -Ing. Wolfgang Thum
Dipl. -Ing. Jürgen Becker
Dipl. -Ing. Jürgen Raue

Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau
der Rhein. - Westf. Techn. Hochschule Aachen

Ermittlung der Sprengzähigkeit
von Gesteinen



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 1973

ISBN 978-3-531-02364-9

ISBN 978-3-663-19761-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-663-19761-4

© 1973 by Springer Fachmedien Wiesbaden

Ursprünglich erschienen bei Westdeutscher Verlag, Opladen 1973

Gesamtherstellung: Westdeutscher Verlag

V O R W O R T

Auch heute noch entzieht sich die Sprengtechnik weitgehend einer exakten wissenschaftlichen Behandlung und ist auf empirische Werte angewiesen. Die Ursachen dafür liegen teils an der besonderen Reaktionskinetik der Sprengstoffe, teils an den verhältnismäßig geringen Kenntnissen über den Wirkungsmechanismus beim Sprengen, insbesondere über das Verhalten der Gesteine unter Sprengwirkung.

Die Erforschung der grundlegenden Zusammenhänge ist auf der Sprengstoffseite weiter fortgeschritten als der wissenschaftliche Erkenntnisstand über das Sprengverhalten der Gesteine.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen Beitrag zur Erweiterung dieser Erkenntnis zu liefern. Sie ist das Ergebnis von Untersuchungen, die am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen durchgeführt und durch die Förderung des Landes Nordrhein-Westfalen ermöglicht wurden, das die erforderlichen finanziellen Mittel zur Verfügung stellte.

Außerdem haben das Wissenschaftliche Laboratorium der Dynamit Nobel AG., Leverkusen, und das Werk Stolberg der Dolomitwerke GmbH., Wülfrath, der Arbeit wertvolle Unterstützung zuteil werden lassen.

Allen beteiligten Institutionen und Personen sei hierfür an dieser Stelle herzlich gedankt.

Aachen, im Dezember 1972

Werner Leins

I N H A L T

	Seite
1. Einleitung	1
2. Aufgabenstellung	3
3. Theoretische Grundlagen	6
3.1 Sprengstoffphysikalische Grundlagen	6
3.2 Sprengmechanische Grundlagen	11
3.3 Die Sprengzähigkeit von Gesteinen	18
4. Experimentelle Untersuchungen	26
4.1 Voruntersuchungen	26
4.11 Sprengmittel	26
4.12 Gesteine	28
4.121 Allgemeines	28
4.122 Mineralogisch-petrographische Untersuchung	28
4.123 Physikalisch-technologische Kenndaten	31
4.2 Meßverfahren	34
4.21 Biegependel - Versuchsanlage nach Springorum [42]	35
4.22 Elektronisches Impulsmeßsystem Ra 4	39

	Seite	
4.3	Meßergebnisse	43
4.31	Ergebnisse der Messung mit dem Biegependel	43
4.32	Ergebnisse der Messung mit dem Impulsmesser	46
4.4	Vergleich der Ergebnisse Biegependel - Impulsmesser	49
5.	Auswertung und Interpretation der Ergebnisse	51
5.1	Allgemeines	51
5.2	Lineare Regressionsanalysen	52
5.21	Die Sprengzähigkeit als Funktion technologischer Kenngrößen	52
5.22	Die Sprengzähigkeit als Funktion bezogener Energiewerte	54
5.3	Die Kraftanstiegsgeschwindigkeit v_k	60
5.4	Der Einfluß der Probenlänge auf die Sprengzähigkeitswerte	66
5.5	Versuch einer Spannungsbilanz	72
6.	Zusammenfassung	74
	Literatur	77
	Abbildungen	83
	Anlagen	99

FORMELZEICHEN UND INDIZES

A_{\max}	= maximaler Ausschlag	[kp]
a	= Ausschlag des Biegependels	[cm]
B_{xy}	= Bestimmtheitsmaß	[%]
c	= Schallgeschwindigkeit	[m/sec]
c_D	= Dehnwellengeschwindigkeit	[m/sec]
c_l	= Longitudinalwellengeschwindigkeit	[m/sec]
c_{tr}	= Transversalwellengeschwindigkeit	[m/sec]
\emptyset	= Durchmesser	[mm]
D	= Detonationsgeschwindigkeit	[m/sec]
d	= Koeffizient	
d_i	= Mittlere Siebmaschenweite	[mm]
δ	= Differenz der auf den Nullwert bezogenen Impulswerte	[%]
Δ	= Fehler	[%]
Δp	= Drucksprung = $p_1 - p_0$	[kp/cm ²]
ΔR_i	= Differenz der Siebrückstände	[%]
$\dot{\Delta\sigma}$	= Spannungsgradient	
Δv	= Schergefälle	[m/sec·cm]
E_A	= Spezifischer Energieaufwand	[kcal]
$E_{A,m}$	= Massebezogener Energieaufwand	[cal/g]
$E_{A,V}$	= Volumenbezogener Energieaufwand	[cal/cm ³]
$E_{A,O}$	= Oberflächenbezogener Energieaufwand	[cal/m ²]
E_d	= Energie des Detonationsstoßes	[kcal]
E_D	= Dynamischer Elastizitätsmodul	[kp/cm ²]

E_G	= Energie des Gasdruckes	[kcal]
E_{st}	= Statischer Elastizitätsmodul	[kp/cm ²]
e	= innere Energie	[kp·cm/g]
e_o	= innere Energie vor der Unstetigkeit	[kp·cm/g]
e_l	= Innere Energie nach der Unstetigkeit	[kp·cm/g]
ϵ	= Dehnung	[%]
F	= Fläche	[cm ²]
F_q	= Querschnittsfläche	[cm ²]
f	= Ausschlag des Biegependels	[cm]
G_t	= Schubmodul	[kp/cm ²]
H	= Enthalpie	[kp·cm/g]
I	= Trägheitsmoment	[cm ⁴]
I	= Restimpuls	[g/cm·sec]
$I_{o,sp}$	= Spezifischer Impuls des Nullversuches	[g/cm·sec]
I_{sp}	= Spezifischer Impuls am Biegependel	[g/cm·sec]
$I_{sp,Ra4}$	= Spezifischer Impuls am Impulsmesser	[g/cm·sec]
k	= Konstante, Korrekturfaktor	
l	= Länge des Kragarms	[cm]
m_o	= Massenfluß vor der Unstetigkeit	[g·m/cm ³ ·sec]
m_l	= Massenfluß nach der Unstetigkeit	[g·m/cm ³ ·sec]
μ	= Querdehnungszahl	
P	= Kraft	[kp]
P	= Impulsfluß	[dyn/cm ²]
p	= absoluter Vertrauensbereich	

p_0	= Druck vor der Unstetigkeit	[kp/cm ²]
p_1	= Druck nach der Unstetigkeit	[kp/cm ²]
Q	= Kompressionsmodul	[kp/cm ²]
q	= Relativer vertrauensbereich	[%]
R	= Gaskonstante	
ρ	= Dichte	[g/cm ³]
ρ_k	= Dichte der Gesteinskörner	[g/cm ³]
ρ_s	= Schwadendichte	[g/cm ³]
ρ_{sp}	= Sprengstoffdichte	[g/cm ³]
s	= Standardabweichung	
s^2	= Varianz	
σ_D	= Druckfestigkeit	[kp/cm ²]
σ_{sp}	= Spaltzugfestigkeit	[kp/cm ²]
σ_z	= Zugfestigkeit	[kp/cm ²]
σ_o	= obere Grenze des Vertrauensbereiches	
σ_u	= untere Grenze des Vertrauensbereiches	
t	= Zeit	[sec]
t_{max}	= Zeit bis zum maximalen Ausschlag	[sec]
t_{ges}	= Gesamtzeit des Ausschlages	[sec]
Δt	= Zeitdifferenz	[sec]
T_E	= Explosionstemperatur	[°K]
τ	= Spezifisches Volumen	[cm ³ /g]
\ddot{u}_i	= Übertragungsfaktoren	
v	= Varianzzahl	[%]
v_k	= Kraftanstiegsgeschwindigkeit	[kp/sec]

v_0	= Geschwindigkeit vor der Unstetigkeit	[m/sec]
v_1	= Geschwindigkeit nach der Unstetigkeit	[m/sec]
v_D	= Detonationsgeschwindigkeit	[m/sec]
v_s	= Schwadengeschwindigkeit	[m/sec]
\bar{x}	= Arithmetischer Mittelwert	