

Spannungsumlagerungen an der Ortsbrust und Beanspruchung des Tunnelausbaus

T 2215

T 2215

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Spannungsumlagerungen an der Ortsbrust und Beanspruchung des Tunnelausbaus

von

Stefan Kielbassa

Bericht Nr. 89 - 58

aus dem Institut für Statik
der Technischen Universität für Statik
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. H. Duddeck

Braunschweig 1989

Diese Arbeit entstand am Institut für Statik der Technischen Universität Braunschweig im Rahmen eines Forschungsvorhabens, das dankenswerterweise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt wurde.

Sie ist die vom Fachbereich für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität Braunschweig genehmigte Dissertation des Verfassers.

Eingereicht: 30. Januar 1989

Mündliche Prüfung: 13. Juni 1989

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing.E.h. H.Duddeck
Prof. Dr.-Ing. W. Rodatz
Prof. Dr.-Ing. H.-L. Jessberger

ISBN 3-926031-58-1

Die Berichte können durch das Institut für Statik der Technischen Universität Braunschweig, Beethovenstr. 51, 3300 Braunschweig, Postfach 3329, bezogen werden.

Inhalt

1	Einführung	1
1.1	Ziel der Arbeit	1
1.2	Zum Inhalt	1
1.3	Zur Entwicklung der 3d-Modelle	3
2	Berechnungsmodelle zum Auffahren unterirdischer Hohlräume	6
2.1	Formulierung des Problems	6
2.2	Ermittlung der Entlastung	7
2.3	Ebene Tunnelmodelle	8
2.4	3-d-Modell des Tunnelvortriebs	9
3	Zur Methode der Finiten Elemente	14
3.1	Lösungsstrategie des Weggrößen-Verfahrens	14
3.2	Formulierung auf Elementebene	14
3.3	Übergang zur Gesamtstruktur	15
	3.3.1 Lineare Probleme	16
	3.3.2 Nichtlineare Probleme	17
4	Lösung des Tunnelbauproblems mit der FEM	20
4.1	Ablauf der FEM-Berechnung	20
4.2	Linke Seite - Ausbau der Elemente	20
4.3	Rechte Seite - Ausbruchslasten	21
4.4	Besonderheit beim Tunnelvortrieb	22
	4.4.1 Stationärer Zustand beim Vortrieb	22
	4.4.2 Die Ausbruchslasten	23
	4.4.3 Die Superposition der Inkremente	25
	4.4.4 Ablauf der Vortriebssimulation	26
	4.4.5 Vorteile	27
4.5	Zum Anfangszustand beim Tunnelvortrieb	27
	4.5.1 Unterfahrungen	27
	4.5.2 Teilausbrüche	28
	4.5.3 Übersicht möglicher Anfangszustände	29
4.6	Rechenzeiten und Speicherbedarf	31

5	Auswahl des Elementtyps	38
5.1	Die Grundgleichungen der Elastizitätstheorie des dreidimensionalen Körpers	38
5.2	Beschreibung des 3d-Elementes	39
5.3	Auswahlkriterien	41
5.4	Ausbruchslasten für das 20-Knoten-Element	41
5.5	Eignungsprüfung für das Tunnelbauproblem	43
5.5.1	Kreistunnel	44
5.5.2	Tunnel mit Maulprofil	51
5.5.3	Bewertung der Elementeigenschaften	55
6	Berechnung eines Laborversuchs zur Simulation des Ausbruchs an der Ortsbrust	58
6.1	Ziel der Untersuchung	58
6.2	Versuchsbeschreibung	59
6.3	Messungen	60
6.4	FEM-Modell	61
6.4.1	Systemdaten	61
6.4.2	Geometrie und Randbedingungen	62
6.4.3	Ablauf der Berechnung	64
6.5	Anfangs- und Endzustand	66
6.6	Wirkung des Ausbruchs	71
6.7	Vergleich von Rechenergebnissen und Messungen	71
6.7.1	Verformungen	71
6.7.2	Normalkräfte im Ausbau	74
6.8	Schlußfolgerungen	76
7	Testbeispiele zum Tunnelvortrieb	78
7.1	Kreistunnel ohne Ausbau	78
7.1.1	Systemkennwerte und exakte Lösung	78
7.1.2	FEM-Modell	78
7.1.3	Konvergenz der Vortriebssimulation	79
7.1.4	Ergebnisse	82
7.2	Kreistunnel mit Ausbau	86
7.2.1	Systemdaten und Vergleichslösung	86
7.2.2	Modelle für die eigene 3-d-Rechnung	87
7.2.3	Ergebnisse der eigenen 3d-Rechnung	88

III

8	Berechnungen mit dem 3d-Modell	92
8.1	Übersicht	92
8.2	Kreistunnel	92
8.2.1	Systemdaten	92
8.2.2	Verformungen	94
8.2.3	Spannungen im Gebirge	98
8.2.4	Beanspruchung des Ausbaus	106
8.3	Genauigkeit der Ergebnisse	110
8.3.1	Einfluß der Diskretisierung	110
8.3.2	Zur Gestaltung des Ausbruchsbereiches	111
8.3.3	Zur Wahl der Steifigkeit der Ausbruchselemente	112
8.4	Einfluß ausgewählter Parameter	113
8.4.1	Steifigkeitsentwicklung des Betons	113
8.4.2	Gebirgssteifigkeit	116
8.4.3	Ungestützte Länge	119
8.4.4	Abschlagslänge	122
8.5	Nichtkreisförmige Tunnelquerschnitte	125
8.5.1	Ausbruchsgometrie und Spritzbetonsicherung	125
8.5.2	Finite-Element-Netze	128
8.5.3	Maulprofil mit Sohlgewölbe	129
8.5.4	Abgetreppte Ortsbrust	132
8.5.5	Kalotten-Vortrieb ohne Sohlgewölbe	134
8.5.6	Kalotten-Vortrieb mit Sohlgewölbe	135
8.5.7	Bemerkungen	136
9	Berechnungen mit 2d-Ersatzmodellen	138
9.1	Grundgedanke der Ersatzmodelle	138
9.2	Bekannte Ersatzmodelle	139
9.2.1	Teillastverfahren	139
9.2.2	Verminderte Ausbausteifigkeit	140
9.2.3	Steifer Kern	140
9.2.4	Bewertung der Modelle	141
9.3	Eigenes Anpassungsverfahren	142
9.3.1	Zur Vorgehensweise	142
9.3.2	Das ebene Modell	143
9.3.3	Herleitung der Beiwerte	144
9.3.4	Ablauf des Analyseverfahrens	148
9.3.5	Aufbereitung der Eingangsdaten aus der 3d-Berechnung	150
9.3.6	Testbeispiel	153
9.3.7	Kreistunnel mit Simulation des Vortriebs	154
9.4	Übertragung auf Maulprofile	163

IV

9.4.1	Zum Tragverhalten des Maulprofils	163
9.4.2	Testbeispiel	169
9.4.3	Tunnel mit Maulprofil und Vortriebssimulation . . .	170
9.5	Systematische Analyse der 3d-Berechnungen	176
9.5.1	Einfluß der Steifigkeitsentwicklung des Betons	176
9.5.2	Einfluß der ungestützten Länge	176
9.5.3	Einfluß des Seitendruckbeiwertes und der Querdehn- zahl des Gebirges	180
9.6	Zusammenfassung	183
10	Berechnung eines Bauwerks	184
10.1	Lage und Geologie	184
10.2	Gebirgseigenschaften	185
10.3	Ablauf des Vortriebs	186
10.4	Spritzbetonschale	188
10.5	Messungen in der Bauzeit	188
10.6	FEM-Modell	190
10.7	Spannungsumlagerungen an der Ortsbrust	191
10.8	Vergleich der FEM-Ergebnisse mit den Messungen beim Ka- lottenvortrieb	195
10.8.1	Oberflächensetzungen	195
10.8.2	Firstsetzungen	196
10.8.3	Extensometermessungen	197
10.8.4	Betondruck	198
10.8.5	Fugendruck	201
10.9	Anwendung eines 2d-Ersatzmodells	204
10.10	Diskussion	208
	Zusammenfassung	209
	Summary	211
	Sommaire	213