

Schildvortrieb mit Tübbingausbau

Eine umweltschonende, sichere Baumethode

Herausgeber

Wissenschaftsstiftung Deutsch-Tschechisches Institut
(WSDTI)

Mechanised Tunnelling and Segmental Lining

For safe and environment friendly tunnelling

Published by

German-Czech Scientific Foundation
(WSDTI)

Dieses Buch soll der weiteren Forschung und Entwicklung,
der Aus- und Weiterbildung sowie der Baupraxis dienen.

The purpose of this book is to serve continuing research and development,
initial and further training, and practical tunnelling.

Der Inhalt im Überblick

Overview of contents

Zur Einführung	2	Introduction	2
Bauliche Anlagen des unterirdischen Bauraumes	2	Underground structures	2
Infrastrukturmaßnahmen der Zukunft	3	Infrastructure of the future	3
Tunnelbau in Deutschland und international	5	Tunnelling in Germany and internationally	5
Pionierarbeit in der Wirtschaft	13	Innovation in the industry	13
Kontinuierlicher Vortrieb im Softground	13	Continuous tunnelling in soft ground	13
TIMBY	14	TIMBY	14
Tunnelsanierung	15	Tunnel rehabilitation	15
Anforderungen an herzustellende unterirdische Infrastrukturbawerke	16	Requirements for underground infrastructure	16
Dichtigkeitsklasse	16	Sealing category	16
Korrosion schläft nie	16	Corrosion is a constant threat	16
Angriffe, Angriffsgrad	17	Attack, degree of attack	17
Biogene Schwefelsäure-Korrosion in teilgefüllten Abwasserkanälen	18	Biogenic sulphuric acid corrosion in partly filled sewers	18
Brand in Straßentunneln	20	Fire in road tunnel	20
Reinigung der Abluft von Straßentunneln	22	Cleaning the exhaust air of road tunnels.....	22
Nutzungsdauer	22	Useful life.....	22
Überwachung und Analyse der Lebensdauer von Tunnelbauwerken	23	Monitoring and analysis of the life of tunnel structures	23
Einleitung	23	Introduction	23
Konzepte der Bauwerksüberwachung	25	Concepts of tunnel monitoring	25
Geotechnische Instrumentierung	26	Geotechnical instrumentation	25
Überwachung struktureller Verformungen	27	Monitoring of structural deformations	26
Dauerhaftigkeitsparameter und Korrosion	29	Durability parameters and corrosion	29
Analytische Modellierung und strukturelle Kennwertermittlung	31	Analytical modelling and determination of structural parameters	31
Schlussfolgerung	34	Conclusions	34
Physik im Einsatz für die Tunnelsicherheit	36	Physics for tunnel safety	36
Integrative Sicherheitssysteme erfordern eine gezielte Planung über physikalische Simulation und Modellbildung	36	Integrated safety systems based on physical simulation and modelling	36
Gefahrenpotenzial und Risiko	36	Danger potential and risk	36
Komplexität des unterirdischen Bauens	37	Complexity of underground structures	37
Risikoabwehr durch Risikoanalyse	38	Risk defence by risk analysis	38
Brand im Tunnel	39	Fire in tunnels	39
Physikalisches Projekt – Modellbildung unterschiedlicher Fragestellungen	40	Physical project – modelling of different problems	40
Szenarien vom ersten Spatenstich bis zum späteren Betrieb	40	Scenarios from ground breaking to tunnel operation	40
Aerodynamische Fragen	41	Aerodynamic questions.....	41
Hochgeschwindigkeit als Sonderfall aerodynamischer Simulation	42	High-speed rail traffic as a special problem in aerodynamic simulation	42
Thermodynamik.....	42	Thermodynamics.....	42
Mikrometeorologie – natürliche Strömung	43	Micrometeorology – natural air flow	43
Brandschutzbekleidungen für den Tübbingausbau von Verkehrstunneln	45	Fire protection for segmental lining of traffic tunnels	45
Offene und geschlossene Bauverfahren	51	Cut-and-cover, and closed construction methods	51
Projektdaten	52	Project data	52
Auswahl umweltschonender, sicherer Bauverfahren zur Herstellung unterirdischer Infrastruktur (Verkehrstunnel, Ver- und Entsorgungstunnel)	53	Selection of environment friendly, reliable techniques for building underground infrastructure (traffic tunnels, utility tunnels)	53
Einleitung	53	Introduction	53
Grundlagen	54	General	54
Entwicklung eines möglichen vergleichenden Bewertungsmodells	55	Development of a possible comparative assessment model	55
Zusammenfassung und Ausblick	59	Summary and outlook	59

Schildvortriebe im Locker- und Festgestein	61	Shield drives in soft ground and hard rock	61
Ingenieurgeologische und felsmechanische Untersuchungsmethoden	61	Geo-engineering and rock mechanics testing methods	61
Ingenieurgeologische Untersuchungsmethoden	61	Geo-engineering test methods	62
Felsmechanische Untersuchungsmethoden	62	Rock mechanics testing methods	62
Geologische und hydrogeologische Erscheinungsformen	63	Geological and hydrogeological forms	63
Tunnelbohrmaschinen (TBM) und ihre Einsatzkriterien	66	Tunnel Boring Machines (TBM) and criteria for their use	66
Ortsbruststützung beim maschinellen Tunnelvortrieb	70	Working face support for machine tunnel driving	70
Natürliche Stützung	70	Natural support	70
Mechanische Stützung	70	Mechanical support	70
Druckluftstützung	71	Compressed air support	70
Erddruckstützung	71	Earth pressure support	71
Flüssigkeitsstützung	72	Slurry support	73
Seismische Vorauserkundung des Baugrundes aus der Tunnelbohrmaschine (TBM)	74	Seismic advance investigation of construction ground from TBM	74
Funktionsprinzip	74	Functional principle	74
Entwicklungsgeschichte des SSP-Systems	75	Development history of the SSP system	75
Messbeispiele abgeschlossener Projekte	76	Measurement examples from completed projects	76
Ausblick	77	Outlook	77
Cutting Tools	78	Cutting tools	78
Einführung	78	Introduction	78
Schälmesser	79	Scraper tool	79
Räumer	80	Gauge cutters	80
Schneidrollen (Diskenmeißel)	80	Disc cutters	90
Werkzeugwechsel	81	Tool change	81
Pflichtenheft der TBM	82	TBM specification	82
Mechanische Schwingungen beim maschinellen Tunnelvortrieb – Vibrationen und Schall	83	Mechanical vibrations in machine tunnel driving – vibrations and sound	83
Allgemeines	83	General	83
Schwingungsemissionen durch Tunnelbohrmaschinen (TBM)	83	Vibration emissions by tunnel boring machines (TBM)	83
Erschütterungen	84	Vibrations	84
Schall	84	Sound	84
Dämpfung	84	Attenuation	85
Grenzwerte	85	Limits	85
Erschütterungsemissionen im Lockergestein am Beispiel der 4. Röhre des Elbtunnels in Hamburg	86	Vibration emissions in soft ground, the example of the 4th Tube of the Elbe Tunnel in Hamburg	86
Erschütterungsemissionen im Hartgestein am Beispiel des Gotthard-Basistunnels	88	Vibration emissions in hard rock, the example of the Gotthard Base Tunnel	88
Förderkreisläufe beim maschinellen Tunnelvortrieb	92	Muck pumping circuits for TBMs	92
Einleitung	92	Introduction	92
Allgemeine Auslegungskriterien	92	General design criteria	92
Betrieb	97	Operation	97
Hauptbaugruppen / Ausrüstung auf der Maschine	98	Main assemblies/equipment on the machine	98
Aushubkontrolle	104	Muck monitoring	103
Zusammenfassung	105	Summary	105
Einsatz von Förderbandanlagen bei EPB-Vortrieben	106	The use of conveyor belt systems with EPB drives	106
Transportsysteme im Tunnelbau	110	Transport systems in tunnel building	110
Systeme für den Materialtransport	110	Systems for material transport	110
Versorgungs- und Wartungsfahrzeuge	111	Supply and maintenance wagons	111
Systeme für den Personentransport	111	Personnel transport	111
Ausbausysteme	112	Lining systems	112
Fördertechnische Komponenten	112	Rail system components	112
Separationstechnik	115	Separation equipment	115

Vermessungstechnik – Geräte im Einsatz bei maschinellen Tunnelvortrieben	120	Geodetic instrumentation for use on machine bored tunnels	120
Einführung	120	Introduction	120
Entwicklung fortgeschrittener Steuerleitsysteme	121	Development of advanced tunnel guidance systems	121
Ringbaufolgeberechnungen	123	Ring sequencing calculations	123
Schildschwanzluftmessung	125	Tailskin clearance measurement	125
Schalungs- und Tübbing-Vermessung	126	Mould and segment measurement	126
Konvergenz-Messsysteme für Messringe	129	Ring convergence measurement	129
Tunnelvermessung	131	Tunnel survey	131
Kontrollierter Bohrprozess	131	Controlled boring process	131
Schlussfolgerungen	132	Summary	132
Herstellungstoleranz, Bautoleranz und Vermessungstoleranz	134	Final tolerance, build tolerance and survey tolerance	134
Herstellungstoleranz	134	Final tolerance	134
Bautoleranz	134	Build tolerance	134
Vermessungstoleranz	135	Survey tolerance	135
Toleranzfortpflanzung	135	Tolerance propagation	135
Messunsicherheit, Vertrauensniveau und Standardabweichung	135	Measurement uncertainty, confidence level, standard deviation	135
Tunnelbauhandbuch	137	Tunnelling manual	137
Process-Controlling beim hoch technisierten Schildvortrieb	138	Process controlling in high-tech shield drives	138
Einleitung	138	Introduction	138
Systemverhalten und Beobachtungsmethode	138	System behaviour and monitoring method	138
Teil- und Schlüsselprozesse	139	Sub-processes, key processes	139
Process-Controlling beim hoch mechanisierten Schildvortrieb	140	Process controlling in highly-automated TBMs	140
FEM-Simulation des Schildvortriebs	143	FEM simulation of shield driving	143
Computerbasierte Echtzeit-Datenanalyse	145	Computer-based real-time data analysis	146
Wissensbasierte Datenanalyse: Entwicklungstrends	147	Knowledge-based data analysis – development trends	147
Zusammenfassung	148	Summary	148
Schachtabsenkanlagen mit Tübbingausbau	150	Shaft sinking systems with segmental lining	150
Schachtabsenkanlage VSM 8000	150	Shaft sinking system VSM 8000	150
Schachtabsenkanlage VSM 7700 / 5500	152	Shaft sinking system VSM 7700 / 5500	152
Grenzen des Rohrvortriebes durch Versagen der Ringraumstützung	156	Limits to pipe jacking from failure of annular gap support	156
Einleitung	156	Introduction	156
Vortriebswiderstand: Mantelreibung	157	Advance resistance: jacket friction	157
Aufgabe und Bedeutung des Ringspaltes	158	Function and importance of the annular gap	158
Einfluss der Gebirgseigenschaften auf die Mantelreibung und das Gelingen des Vortriebs; Grenzen des Vortriebs	159	Influence of ground properties on jacket friction, and success in jacking; limits to jacking	159
Zusammenfassung	163	Summary	163
Entwurf und Ausführung des Stahlbeton-Tübbingausbaues	165	Design and execution of reinforced concrete lining segments	165
Ein Hinweis vorweg	165	Preliminary note	165
Ringteilung und Tübbingabmessungen	165	Ring system and segment dimensions	165
Beispiel „kleiner Tunnel“	166	Example “small tunnel”	166
Beispiel „großer Tunnel“	166	Example “big tunnel”	166
Statisches System und konstruktive Durchbildung	169	Static system and design	169
Betonqualität	170	Concrete quality	170
Bewehrung und Alternative	171	Reinforcement and alternatives	171
Statische Berechnung einschaliger Tübbingtunnel	173	Structural engineering for single-layer segmental linings	173
Einleitung	173	Introduction	173
Einwirkungen	173	Impacts	173
Berechnungsmodelle	178	Calculation models	178
Fazit	180	Summary	180
Fugenausbildung und Ausrüstung der Tübbinge	182	Joint formation and fittings for segments	182

Dichtungsprofile für den Tübbingausbau	184	Gasket profiles for segment lining.....	184
Anforderungen an moderne Tübbingdichtungen	184	Requirements for modern segment gaskets	184
Herstellung	184	Manufacture	184
Konstruktion und Material	184	Design and material.....	184
Toleranzen	188	Tolerances	188
Prüfungen	189	Tests	189
Montage	192	Assembly.....	192
Qualitätsüberwachung	193	Quality monitoring	193
Sonderprofile	193	Special profiles	193
Verschluss von Fugen und Aussparungen	196	Closing joints and recesses	196
Einbautoleranzen.....	196	Installation tolerances.....	196
Verpressung der Schildspur.....	196	Grouting the tailskin track.....	196
Konvergenzen	197	Convergences	197
Sondertübbinge.....	197	Special segments	197
Reparaturkonzept im Tunnel	198	Repair concept in the tunnel	198
Nachdichtung von Tunneln mit einschaligem Tübbingausbau	199	Grouting of tunnels with single-layer segmental lining	199
Einleitung.....	199	Introduction	199
Fugen und Risse in Tübbingtunneln	199	Joints and cracks in segment-lined tunnels	199
Nachdichtungssysteme für Tübbingfugen und Risse	201	Re-sealing systems for segment joints and cracks.....	201
Praktische Anwendung von Nachdichtsystemen	207	Practical application of re-sealing systems	207
Regelwerke	211	Regulations	211
Zusammenfassung	212	Summary	212
Herstellung der Stahlbeton-Tübbinge	216	Manufacture of reinforced concrete segments	216
Generelle Anforderungen.....	216	General requirements.....	216
Bauzeit und Produktionsmengen.....	216	Manufacturing time and production quantities	216
Produktionseinheiten pro Tag	216	Manufacturing units per day	216
Schalungskonzept	217	Mould concept.....	217
Konzeption der Fertigungsanlage	218	Concept of production plant	218
Allgemeine Beschreibung von Tübbing-Fabrikationsanlagen	219	General description of segment production plants	219
Umlaufanlage.....	219	Carousel system	219
Kapazität der Umlaufanlage.....	219	Capacity of the carousel plant	219
Alternative: Stationäre Tübbingproduktionsanlage	221	Alternative solution: stationary segment plants	221
Beschreibung der Tübbingschalungen	222	Description of segment moulds	222
Beschreibung der Hauptschalungskomponenten	224	Description of main mould components	224
Anforderungen an den Beton aus dem Herstellungsprozess	226	Requirements for concrete manufacturing process	226
Eignungsversuche und Probefertigung	227	Suitability tests and trial production	227
Reifung, Kennzeichnung, Lagerung, Transportlogistik	228	Maturing, marking, storage, transport logistics	228
Reifung	228	Maturing	228
Kennzeichnung	228	Marking	228
Lagerung	228	Storage	228
Transportlogistik	229	Transport logistics	229
Reparaturen im Betonwerk.....	229	Repairs at the concrete works	229
Belastungsversuche an Tübbingen	231	Load tests on segments	231
Allgemeines.....	231	General	231
Scherversuche.....	231	Shear tests	231
Versuch zur Verdrehsteifigkeit der Längsfuge	231	Test of torsional stiffness of longitudinal joint.....	231
Scheibendruckversuch	232	Ring pressure test	232
Scheiteldruckversuch	232	Crown pressure test	232
Abplatzversuch	233	Spalling test	233
Versuch zur Lastübertragung	233	Load transfer test	233
Großversuche mit Original-Tübbingringen	233	Full-scale tests with original segment rings	233

Qualitätssicherung der Stahlbeton-Tübbinge	239	Quality assurance of reinforced concrete segments	239
Zertifizierte Produktion	239	Certified production	239
Individualisierung	239	Individualisation	239
DRS-System (data recording system)	239	DRS system (data recording system)	239
Geometrische Toleranzen der Tübbinge und Tübbingringe	241	Geometric tolerances of segments and segment rings	241
Einführung	241	Introduction	241
Geometrie des Tübbingrings	241	Geometry of segment ring	241
Messverfahren	242	Measurement procedure	242
Festlegung der Toleranzen am Einzeltübbing und am aufgebauten Ring	244	Specification of tolerances on individual segment and assembled ring	244
Äußere Einflüsse auf die Messwerte	245	External influences on measurement data	245
Vorgehen bei Überschreitung der Herstelltoleranzen	245	Procedure if manufacturing tolerances are exceeded	245
Prüfhäufigkeit	247	Inspection frequency	247
Geometrische Qualitätssicherung in der Tübbingherstellung	248	Geometrical quality assurance in segment manufacture	248
Aufgaben und Zielsetzung der geometrischen Qualitätssicherung (QS)	248	Tasks and goals of geometrical quality assurance (QA)	248
Beschreibung der geometrischen Anforderungen und Kriterien	249	Description of geometrical requirements and criteria	249
Auswahl geeigneter Messtechnik	251	Selection of appropriate measurement equipment	251
Beschreibung zum Analyseverfahren	253	Description of analysis procedure	253
Geometrische QS in den Phasen der Segment-Produktion	255	Geometrical quality assurance in segment production phases	255
Schlussbetrachtung und Ausblick	258	Conclusions and outlook	258
QM-Plan	260	QM Plan	260
Einzelheiten zur Qualitätssicherung der Tübbinge und zum Reparaturkonzept im Betonwerk	261	Details of quality assurance of segments and repair concept at concrete works	261
Qualitätsmanagement-Plan (QM-Plan), Risiko- und Prozessmanagement	261	Quality Management Plan (QM Plan), risk and process management	261
Reparaturkonzept im Betonwerk	264	Repair concept at concrete plant	264
Aspekte der Bemessung von faserverstärkten Tübbingen	266	Design aspects of SFRC tunnel segments	266
Einleitung	266	Introduction	266
Stahlfaserbeton für Tunnelschalen	268	Steel fiber reinforced concrete for tunnel lining	268
Aspekte zur Bemessung von Tübbingelementen	269	Design aspects for precast tunnel segments	269
Schlussfolgerungen	273	Concluding remarks	273
Tübbinge aus Polymerbeton	276	Polymer concrete segments	276
Erläuterungen zum Werkstoff	276	Notes on the material	276
Tunnelbau in Polymerbeton	277	Tunnel lining made of polymer concrete	277
Weltweite Infrastrukturinvestitionen	278	Global infrastructure investments	278
Einschaliger / Zweischaliger Ausbau	279	Single / Two-layer lining	279
Ermittlung der Schildaußendurchmesser bei unterschiedlichen Ausbaumethoden	279	Determination of shield outer diameter for different lining methods	279
Beispiele	279	Examples	279
Ermittlung der Herstellungskosten von Stahlbeton-Tübbingen	280	Determination of manufacturing cost of reinforced concrete segments	280
Beispielkalkulation DN 10.000 mm / 450 mm / 2.000 mm	280	Example calculation DN 10,000 mm / 450 mm / 2,000 mm	280
Hinweise auf zu beachtende Normen, Vorschriften und Richtlinien	282	Notes on standards, regulations and guidelines to be observed	282
Schlussbetrachtungen	283	Concluding note	283
Literaturhinweise	284	Literature	284
Verzeichnis der Autoren	286	List of contributors	286