

**Beiheft
zum Bericht der Naturhistorischen
Gesellschaft Hannover**

Die Tunnel im Nordabschnitt der Schnellbahnstrecke Hannover—Würzburg

von

HORST GEISSLER

mit

7 Abbildungen, 3 Tabellen, 19 Tafeln und 3 Anlagen



Beih. Ber. naturhist. Ges. Hannover

11

1—73

Hannover 1994

ISSN 0374-6054

NATURHISTORISCHE GESELLSCHAFT
HANNOVER

Gegründet 1797
Gesellschaft zur Pflege der
Naturwissenschaften

30655 Hannover, Stilleweg 2

Vorstand und Beirat

Vorstand: gewählt März 1993 bis März 1996
(für 3 Jahre)

1. Vorsitzender:	Dr. Jens Dieter BECKER-PLATEN
2. Vorsitzender:	Dr. Hartmut SCHÜTTE
Schatzmeister:	Dr. Wolfgang IRRLITZ
Schriftführer:	Dr. Curt H. v. DANIELS (Geowissenschaften) Prof. Dr. Joachim KNOLL (Biologie)

Beirat: gewählt März 1993 bis März 1998
(für 5 Jahre)

Dr. Gerhard BOENIGK
Dr. Bernhard HAUBITZ
Dipl.-Ing. Dietrich LÜDERWALDT
Dr. Christian NEUMANN-REDLIN
Prof. Dr. Hannfrit PUTZER
Prof. Dr. Heinrich REXHÄUSER
Dr. Dr. Günther WEGNER
Klaus WÖLDECKE

Beiheft zum Bericht der
Naturhistorischen Gesellschaft Hannover
Nr. 11

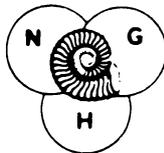
B e i h e f t
zum
**Bericht der Naturhistorischen
Gesellschaft Hannover**

**Die Tunnel im Nordabschnitt
der Schnellbahnstrecke Hannover—Würzburg**

von
HORST GEISSLER

mit
7 Abbildungen, 3 Tabellen, 19 Tafeln und 3 Anlagen

Im Auftrag des Vorstandes herausgegeben
von C. H. v. DANIELS



Beih. Ber. naturhist. Ges. Hannover

11

1—73

Hannover 1994

Die Herausgabe dieses Beiheftes ermöglichten durch finanzielle Zuwendungen:

Bundesbahndirektion Hannover
Calenberg-Grubenhagensche Landschaft
Hochtief AG, Niederlassung Hannover

Der Vorstand der Naturhistorischen Gesellschaft dankt für die gewährte Unterstützung.

VORWORT

Mit dem Beiheft über die Geologie der Tunnel im Nordabschnitt der DB-Schnellbahnstrecke zwischen Hannover und Würzburg werden der interessierten Öffentlichkeit die wichtigsten geowissenschaftlichen Erkenntnisse, die im Rahmen der Verwirklichung dieses „Jahrhundertbauwerks“ erarbeitet wurden, vorgelegt.

Mancher wird die Strecke schon im ICE gefahren sein, begeistert oder auch ein wenig beklommen. Große Bauwerke werden von den einen als Landschaftszerstörung geißelt, von anderen als Wohltat für unsere moderne Industriegesellschaft empfunden. Dieser Konflikt begleitet uns allenthalben und ist nicht immer einvernehmlich lösbar. Für eine umweltschonende Trassenführung im Bergland sind Tunnel ein notwendiges Bauelement als Alternative zu landschaftsverbrauchenden tiefen Geländeinschnitten (vgl. Taf. 1).

Ein Grund für die mancherorts fehlgeleiteten Bewertungen unterschiedlicher Sachverhalte ist das mangelnde Wissen über die tatsächlichen Gegebenheiten am Ort des jeweiligen Geschehens, oft genug überlagert von bestimmten Wunschvorstellungen und von der Angst um die Zukunft unseres Lebensraumes.

Beim Bau der DB-Schnellbahnstrecke Hannover-Würzburg wurde baubegleitend teilweise eine ausgezeichnete Öffentlichkeitsarbeit betrieben. Eine zusammenfassende geowissenschaftliche Darstellung aber gibt es bisher nicht, und sie ist sicherlich auch im Zuge der Bauarbeiten weder möglich noch sinnvoll gewesen.

Heute, nachdem das Gesamtbauwerk fertiggestellt und die Diskussion um das Für und Wider abgeflacht, aber nicht beendet ist, erscheint es angebracht, die „Tunnelgeologie“ des Nordabschnitts dieser Strecke einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Auf diese Weise kann auf der einen Seite belegbares Datenmaterial zur Verfügung gestellt und andererseits dokumentiert werden, „daß nichts zu verheimlichen ist“.

Wir betrachten dies als einen Beitrag zu dem dringend notwendigen Konsens zwischen Ökologie und Ökonomie.

J. D. BECKER-PLATEN

A B B I L D U N G E N

- Abb. 1: Arbeitsschritte im Ausbruchprofil eines Tunnels (Ulmenstollenvortrieb).
 Abb. 2: Regelquerschnitt eines Eisenbahntunnels mit Spritzbetonaußenschale und Stahlbetoninnenschale.
 Abb. 3: Erdfallschote im Tunnelbereich, Beispiel Leinebuschtunnel.
 Abb. 4: Klutfrosen ausgewählter Tunnel.
 Abb. 5: Gipsablagung im Oberen Buntsandstein des Hellebergtunnels.
 Abb. 6: Lageplan einer Laughöhle im Hopfenbergtunnel.
 Abb. 7: Geologische Dokumentation im Rauhebergtunnel.

T A B E L L E N

- Tab. 1: Stratigraphische Übersicht mit Angaben zur Schichtmächtigkeit nach der Geologischen Karte 1:25000
 Tab. 2: Festigkeit und Verwitterung der Gesteine im Hellebergtunnel (aus BRÜNING & GEISSLER 1989)
 Tab. 3: Hydrogeologische Bewertung der im Projektgebiet anstehenden Gesteine (nach GRIMMELMANN 1981a)

T A F E L N

- Taf. 1: Nordportal des Wadenbergtunnels und Mahmilchtalbrücke
 Taf. 2: Bild 1: Laughöhle im Hopfenbergtunnel
 Bild 2: Nordportal des Hellebergtunnels
 Taf. 3: Bild 1: Kriebergtunnel: Tunnelquerschnitt mit Kalotte und zwei Ulmenstollen
 Bild 2: Offene Bauweise im Südabschnitt des Rauhebergtunnels
 Taf. 4: Bild 1: Wasserführender „Gelbkalk“ im Rauhebergtunnel an der Grenze Buntsandstein/Muschelkalk
 Bild 2: Sohlbergtunnel: Hangzerreißungsspalten im Solling-Bausandstein
 Taf. 5: Längsprofil Escherbergtunnel
 Taf. 6: Längsprofil Eichenbergtunnel
 Taf. 7: Längsprofil Eggebergtunnel
 Taf. 8: Längsprofil Riesenbergtunnel
 Taf. 9: Längsprofil Hellebergtunnel
 Taf. 10: Längsprofil Wadenbergtunnel
 Taf. 11: Längsprofil Hopfenbergtunnel
 Taf. 12: Längsprofil Sohlbergtunnel
 Taf. 13: Längsprofil Kriebergtunnel
 Taf. 14: Längsprofil Leinebuschtunnel
 Taf. 15: Längsprofil Endelskamptunnel
 Taf. 16: Längsprofil Mackenrodtunnel
 Taf. 17: Längsprofil Rauhebergtunnel
 Taf. 18: Längsprofil Mündener Tunnel
 Taf. 19: Längsprofil Mühlenkopftunnel

A N L A G E N

- Anl. 1: Ausschnitt aus der Geologischen Übersichtskarte von Niedersachsen 1:500000
 Anl. 2: Geologisches Profil der DB-Neubaustrecke Hannover-Würzburg 1:100000, Abschnitt Hannover-Kassel
 Anl. 3: Legende zu den geologischen Tunnellängsschnitten

I N H A L T

	Seite
0 Kurzfassung	6
1 Einleitung	6
2 Geologie	8
2.1 Untersuchungen	8
2.2 Stratigraphie und Petrographie	10
2.3 Tektonik	16
2.4 Verwitterung	18
2.5 Hydrogeologie	20
2.6 Ingenieurgeologische Problemstellungen	22
3 Tunnelbaulose	22
3.1 Escherbergtunnel	22
3.2 Eichenbergtunnel	26
3.3 Eggebergtunnel	28
3.4 Riesenbergtunnel	29
3.5 Hellebergtunnel	32
3.6 Wadenbergtunnel	36
3.7 Hopfenbergtunnel	38
3.8 Sohlbergtunnel	42
3.9 Kriebergtunnel	44
3.10 Leinebuschtunnel	49
3.11 Endelskamptunnel	52
3.12 Mackenrodtunnel	54
3.13 Rauhebergtunnel	56
3.14 Mündener Tunnel	60
3.15 Mühlenkopftunnel	63
4 Zusammenfassung	66
5 Schriftenverzeichnis	68

0 KURZFASSUNG

Die Schnellbahnstrecke Hannover-Würzburg der Deutschen Bundesbahn verläuft auf ihrem Weg von Hannover nach Kassel mit einer Länge von 133 Kilometern auf niedersächsischem Gebiet. Davon wurden über 33 Kilometer in 15 Tunneln, 8,2 Kilometer auf 96 Eisenbahnbrücken, 35 Kilometer in Einschnitten und 45 Kilometer auf Dämmen gebaut (WEBER & WESE-MÜLLER 1982).

Im Zuge der Planung hatten geologische Vorerkundungen eine große Bedeutung u. a. für die Trassenwahl, für Prognosen mit Einfluß auf die konstruktive Ausbildung der Tunnel, für Art und Umfang der Sicherungsmaßnahmen beim Vortrieb sowie für die Festlegung geeigneter Vortriebsweisen.

Aus den geologischen Besonderheiten der auf der neuen Bahntrasse überwiegend anstehenden quartären und mesozoischen Gesteine ergaben sich teilweise bautechnische Probleme, z. B. im Zusammenhang mit Gebirgsentfestigung, Hangzerreißung, Sulfat- und Karbonatkarst und dem Auftreten quellfähiger Tonminerale. Im Ergebnis der geologischen Vorerkundung und der geologischen Dokumentation bei den Bauarbeiten konnten andererseits auch die Kenntnisse über die Geologie im südniedersächsischen Gebiet erweitert werden.

1 EINLEITUNG

Nach einer mehrjährigen Planungsphase baute die Deutsche Bundesbahn in den achtziger Jahren die Schnellbahnstrecken Hannover-Würzburg und Mannheim-Stuttgart. Für die Vorerkundung, die Erarbeitung der Planfeststellungsunterlagen, die technische Planung der Erd- und Kunstbauwerke sowie die Überwachung der Bauarbeiten wurden Ingenieurbüros, Gutachter und Prüfungenieure beauftragt. Während bei der Bahnbauzentrale etwa 1000 Mitarbeiter beschäftigt waren, arbeiteten schätzungsweise weitere 2000 Ingenieure und Techniker aus der freien Wirtschaft an der Planung und Überwachung der Neubaumaßnahmen mit. Die Bauleistungen selbst wurden von deutschen und österreichischen Baufirmen durchgeführt, die bei einem Jahresumsatz von 2 Milliarden DM knapp 20 000 Arbeiter und Ingenieure beschäftigten (LINKERHÄGNER & LEICHNITZ 1985).

An der Bahnbauzentrale der Deutschen Bundesbahn in Hannover wurde eine Projektgruppe Hannover-Würzburg Nord eingerichtet. Sie koordinierte die Planung und Realisierung der Tunnelbauwerke, wie auch der übrigen Baulose auf niedersächsischem Gebiet. Der Projektgruppe stand für jeden Tunnel ein Team, bestehend aus einem Ingenieur für Planung und Entwurf, je einem Sachverständigen für Ingenieurgeologie und Tunnelbau sowie einem Prüfungenieur zur Seite.

Die Trasse der Neubaustrecke auf niedersächsischem Gebiet ist 133 km lang und quert das Bergland zwischen Hildesheim und Göttingen und südwestlich von Göttingen bis zur Fulda. In diesen Abschnitten wurden 15 Tunnel aufgeföhren (Liste S. 7, Anlagen 1 und 2 sowie Umschlagrückseite).

Der weitaus größte Teil der Tunnelstrecken wurde bergmännisch, d. h. unter Tage, aufgeföhren und der Rest in offener Bauweise hergestellt. Die Ausbruchquerschnitte betrug bahntechnisch bedingt (Abspannstrecken) und in Abhängigkeit von den Gebirgsverhältnissen zwischen 104 m² und 145 m², in Sonderfällen sogar bis zu 180 m².

Der Ausbruch beim konventionellen Spreng- oder Baggervortrieb war im allgemeinen in drei Arbeitsschritte gegliedert: Zuerst wurde das gewölbte Tunneldach, die ca. 6 Meter hohe und 12 Meter breite Kalotte, ausgebrochen und gesichert. Anschließend folgten nacheinander der mittlere und untere Teil des Querschnitts (Strosse und Sohle). Je nach Tunnelänge und geologi-

Ingeniergeologische Bearbeitung
(V = Vorgutachten, B = Bauzeitliche Beratung)

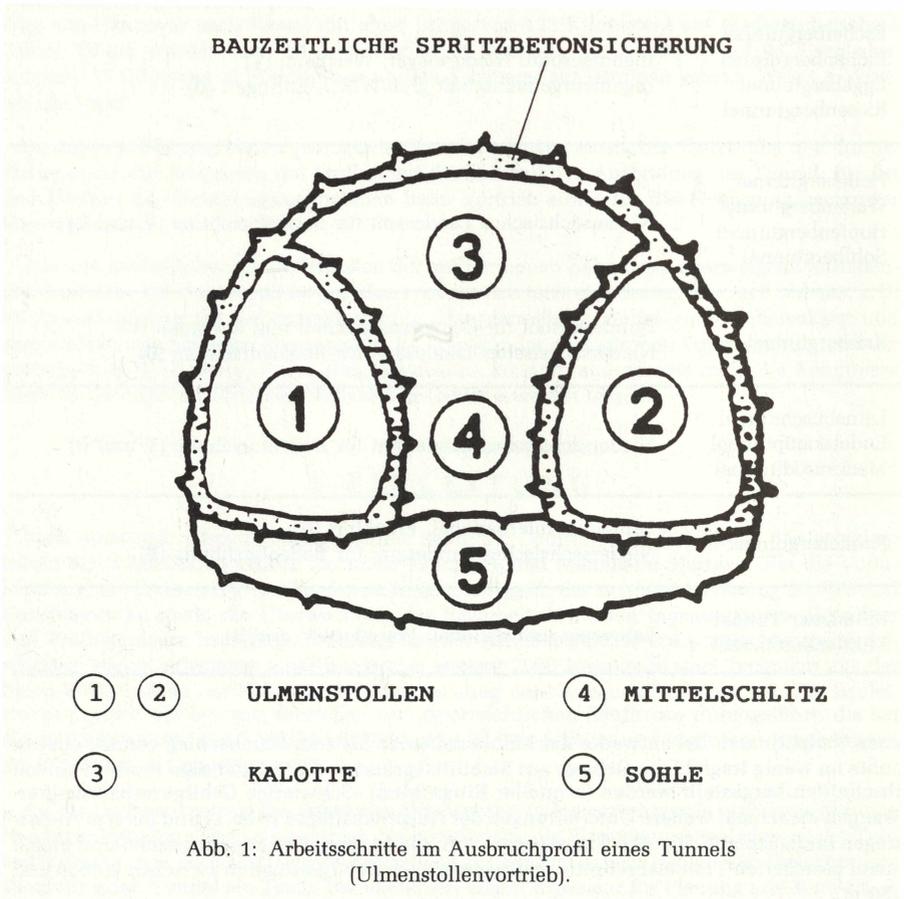
Escherbergtunnel Eichenbergtunnel Eggebergtunnel Riesenbergtunnel	Ingenieurbüro Niedermeyer, Westheim (V) Ingenieurgemeinschaft gbm/WIRO, Ettlingen (B)
Hellebergtunnel Wadenbergtunnel Hopfenbergtunnel Sohlbergtunnel	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (V und B)
Kribergtunnel	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (V) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (B)
Leinebuschtunnel Endelskampftunnel Mackenrodtunnel	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (V und B)
Rauhebergtunnel	Lahmeyer International, Frankfurt (V) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (B)
Mündener Tunnel Mühlkopftunnel	Lahmeyer International, Frankfurt (V und B)

schen Verhältnissen lief entweder der Kalottenvortrieb bis zum Durchschlag voraus; oder es mußte im wenig tragfähigen Gebirge aus Stabilitätsgründen das vollständige Profil in kurzen Abschnitten hergestellt werden (schneller Ringschluß). Schwierige Gebirgsverhältnisse erzwangen manchmal weitere Unterteilungen der Ausbruchfläche (Abb. 1) und diverse Anpassungen im Bauablauf. Die Abschlagslängen, d. h. die Längen der ausgebrochenen und gleich darauf gesicherten Tunnelabschnitte, betragen je nach Gebirgssituation zwischen 0,60 m und 2,50 m.

Die vorläufige (bauzeitliche) Sicherung der ausgebrochenen Hohlräume erfolgte nach den Grundsätzen der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT), bei der der kraftschlüssigen und flexiblen Sicherung mit Spritzbeton und der meßtechnischen Überwachung der Verformungen des aufgefahrenen Hohlraumes eine besondere Bedeutung zukommt. Das Wesen der NÖT besteht darin, daß die ausbruchsbedingten Auflockerungen des Gebirges und der Ausbau des geschaffenen Hohlraumes in ein zeitliches Verhältnis gesetzt werden. Zur langfristigen Sicherung des Tunnels wird schließlich eine 30 bis 40 Zentimeter dicke Stahlbetoninnenschale eingebaut (Abb. 2).

Im folgenden wird für alle Tunnel zwischen Hannover und Kassel eine zusammenfassende Beschreibung unter Berücksichtigung der geologischen und der hydrogeologischen Situation sowie der Sondermaßnahmen beim Vortrieb und der bauzeitlich durchgeführten ingenieur-geologischen Erkundungen gegeben. Die Angaben über die nicht vom NLFb bearbeiteten Tunnel (s. o.) sind den der Deutschen Bundesbahn vorgelegten Abschlußberichten der jeweiligen Ingenieurbüros entnommen.

Das angefügte Literaturverzeichnis soll dem Leser ermöglichen, sich detailliert zum Thema zu informieren, ohne daß auf alle aufgeführten Arbeiten im Text Bezug genommen wird.



2 GEOLOGIE

2.1 Untersuchungen

Im Zuge der Trassierung der Neubaustrecke Hannover-Würzburg auf niedersächsischem Gebiet wurden bereits im Vorplanungsstadium geologische Untersuchungen durchgeführt (Vorgutachten der BGR und des NLFb). Für die detaillierte Bauwerksplanung erfolgte dann eine systematische Bauwerkserkundung. Diese umfaßte in der Regel eine geologische Kartierung, geophysikalische Felduntersuchungen, Schürfe, Bohrungen sowie Labor- und Feldversuche (GEISSLER 1983). Während des Vortriebs wurde die geologische Situation permanent dokumentiert. Das Kernstück dieser Aufnahme war eine Kartierung der Ortsbrust (GEISSLER & LEICHNITZ 1988). Mit dem Ziel der hydrogeologischen Beweissicherung wurden abseits der Trasse außerdem Vollbohrungen abgeteuft und zu Grundwassermeßstellen ausgebaut.

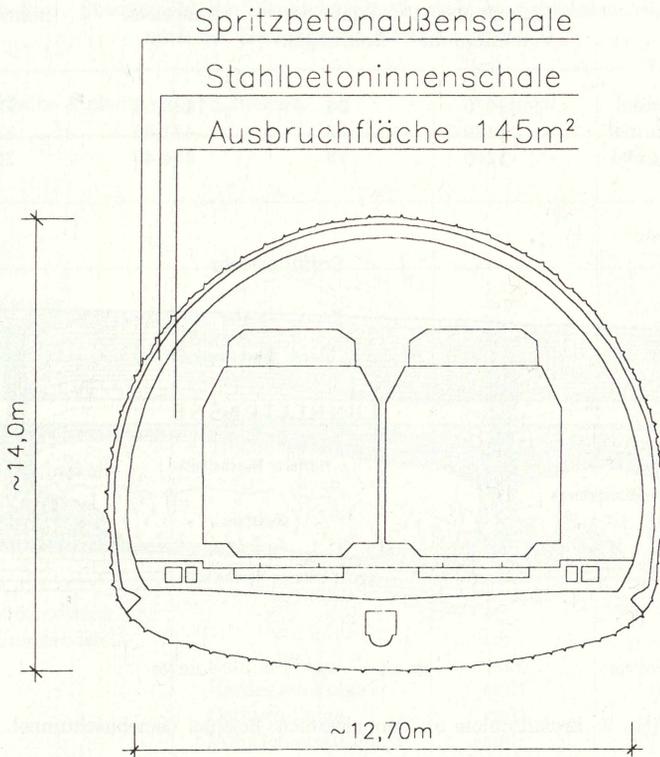


Abb. 2: Regelquerschnitt eines Eisenbahntunnels mit Spritzbetonaußenschale und Stahlbetoninnenschale.

Die Bohrabstände und die Anordnung der Bohrpunkte waren auf die geologische Situation und die Erfordernis des jeweiligen Bauwerks abgestimmt. Im allgemeinen wurden die Tunnelstrecken im Abstand von 200 m abgebohrt. In den Portalbereichen mit geringerer Überdeckung betragen die Bohrabstände nicht mehr als 50 m. Zur Eingrenzung von Detailfragen wurden zusätzliche Bohrungen angesetzt.

Die Erkundungsbohrungen reichten mindestens 10 m unter die geplante Tunnelsohle, teilweise aus verschiedenen Gründen sehr viel tiefer. Besonders hoch war der relative Aufwand (Bohrmeter pro Tunnelkilometer) für jene Tunnel, bei denen aufgrund der geologischen Situation im tieferen Untergrund Auswirkungen aus einer Gebirgsverkarstung auf das Bauwerk nicht auszuschließen waren (Erdfallgefahr, s. Abb.3). Nachfolgend ist der Untersuchungsaufwand (Kernbohrungen) für einige Tunnelbauwerke aufgelistet:

Bauwerk	Länge incl. Voreinschnitte (m)	Anzahl der Bohrungen	Bohrmeter	Bohrmeter/km
Hellebergtunnel	1950	28	1239,00	635,40
Wadenbergtunnel	560	11	330,15	589,55
Hopfenbergtunnel	950	15	772,75	760,80
Sohlbergtunnel	1815	16	784,15	432,00

Bauwerk	Länge incl. Voreinschnitte (m)	Anzahl der Bohrungen	Bohrmeter	Bohrmeter/km
Leinebuschtunnel	1970	24	1438,00	730,00
Endelskamptunnel	1170	17	441,80	377,60
Mackenrodttunnel	1260	13	364,40	289,20

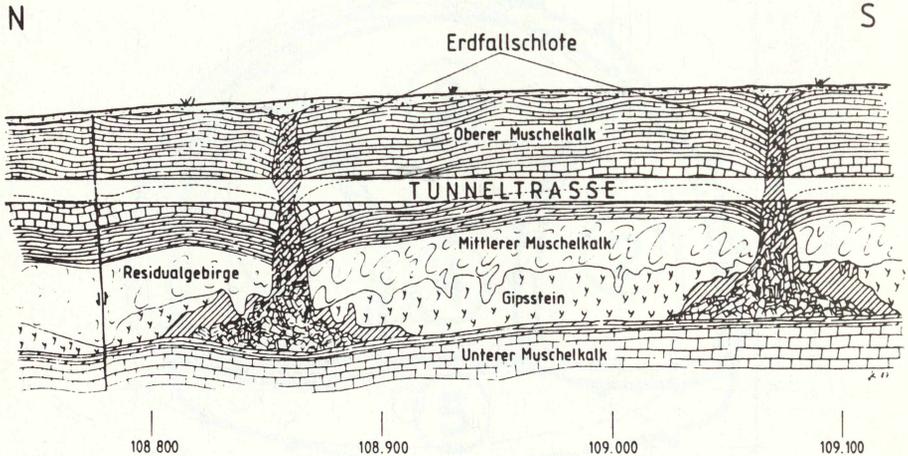


Abb. 3: Erdfallschlote im Tunnelbereich, Beispiel Leinebuschtunnel.

Ergänzend zu den Erkundungen mittels Kernbohrungen wurden sowohl von der Geländeoberfläche als auch später von der Tunnelsohle aus geophysikalische Messungen (überwiegend Seismik) durchgeführt.

Ein zutreffendes Bild vom Trennflächengefüge des ungestörten Gebirges konnte mittels vergleichender Untersuchungen in geeigneten Großaufschlüssen (z. B. Steinbrüchen und Felsböschungen) gewonnen werden.

Die geotechnischen und felsmechanischen Eigenschaften der anstehenden Gesteine wurden in Feld- und Laborversuchen untersucht. Während zur Bestimmung des Gebirgsverformungsverhaltens Dilatometerversuche im offenen Bohrloch durchgeführt wurden, konnten andere Parameter, wie diverse Festigkeiten, das Last-Setzungsverhalten und das Quellverhalten nur im Laborversuch an entsprechend ausgewählten Bohrproben ermittelt werden. Es wurden außerdem röntgenographische Mineraluntersuchungen und hydrochemische Analysen durchgeführt.

2.2 Stratigraphie und Petrographie

Die gesamte an der Neubaustrecke Hannover-Würzburg vorkommende Schichtfolge im Festgestein reicht vom Unteren Buntsandstein bis zum Mittleren Keuper (Tab. 1). Sie ist durchgehend im Hellebergtunnel auf wenig mehr als 1,5 km Länge aufgeschlossen (Anl.2 und Taf.9), während die anderen Bauwerke jeweils nur Teile der Abfolge berühren.

Tabelle 1. Stratigraphische Übersicht mit Angaben zur Schichtmächtigkeit nach der Geologischen Karte 1 : 25 000

Stratigraphische Einheit	Schichten	Symbol	Mächtigkeit
Quartär		q	bis 100 m
Tertiär		t	bis > 25 m
Mittlerer Keuper Unterer Keuper		km ku	rd. 200 m 35—40 m
Oberer Muschelkalk	Ceratitenschichten Trochitenkalk	mo	ca. 40 m
Mittlerer Muschelkalk		mo2 mo1 mm	ca. 10 m 40—50 m + 30 m Sulfatlager
Unterer Muschelkalk		mu	ca. 100 m
Oberer Buntsandstein Mittlerer Buntsandstein	Solling-Folge Hardeggen-Folge Detfurth-Folge Volpriehausen-Folge	so	120—300 m
Unterer Buntsandstein		sm	
		smS	75—120 m
		smH	0—180 m
		smD	25—110 m
	smV	120—200 m	
	su		
	Bernburg-Folge	suB	120—145 m
	Calvörde-Folge	suC	160—180 m

Buntsandstein

Die Schichtfolge des **U n t e r e n B u n t s a n d s t e i n** wird vom Hangenden zum Liegenden in

- Bernburg-Folge (suB*) und
- Calvörde-Folge (suC)

gegliedert (SUBKOMMISSION PERM-TRIAS 1993 und RÖHLING 1993).

Die Bernburg-Folge (suB) setzt sich aus einer sehr monotonen, zum größten Teil ausgeprägt feinschichtigen Wechsellagerung von rotbraunen-hellrotbraunen Feinsandsteinen und dunkelrotbraunen tonigen Schluffsteinen zusammen. Graufarbene Partien im oberen Teil enthalten auch cm — bis etwa 10 cm dicke Kalksteinbänkchen (BRÜNING 1986).

Die Calvörde-Folge (suC) ist im Escherbergtunnel in Form von rotbraunen, plattigen bis dünnbankigen, mürben Schluff- und Feinsandsteinen angetroffen worden (REIK et al. 1989). Die Schichtmächtigkeiten betragen 0,5 cm bis 40 cm.

* nicht zu verwechseln mit dem heute nicht mehr gültigen Symbol für Bröckelschiefer

Neue Ergebnisse zur Feingliederung des Unteren Buntsandstein finden sich bei RÖHLING 1993.

Die Gesteinsfolge des Mittleren Buntsandstein läßt sich nach BOICK 1956 gliedern in

- Solling-Folge (smS)
- Hardeggen-Folge (smH)
- Detfurth-Folge (smD)
- Volpriehausen-Folge (smV)

Volpriehausen-Folge

Der tiefste Komplex des Mittleren Buntsandstein gliedert sich in Volpriehausen-Aviculachichten (smVA), Volpriehausen-Wechselfolge (smVW) und Volpriehausen-Sandstein (smVS).

Der Übergang vom Liegenden (suB) zum Volpriehausen-Sandstein ist sehr deutlich. Bei letzterem handelt es sich um einen dm-gebankten, rotbraunen Mittel- bis Grobsandstein (untergeordnet Schluff- und Tonsteinlagen). Die Hangendgrenze ist durch einen zunehmenden Schluffanteil gekennzeichnet.

Ein durchlaufendes Merkmal der Volpriehausen-Wechselfolge ist eine mm- bis cm-Wechselagerung rötlichbrauner, toniger Schluffsteine mit feinkörnigen Sandsteinen. Sich wiederholende Einschaltungen dünner (cm), graugrüner, schluffig-toniger Horizonte, sowie dicker (mehrere dm) Sandsteinlagen ermöglichen eine weitere Untergliederung der Schichtenfolge (RÖHLING 1991).

Detfurth-Folge

Die Detfurth-Folge setzt sich zusammen aus der Detfurth-Wechselfolge (smDW) und dem Detfurth-Sandstein (smDS). Letzterer besteht aus einer Oberbank, einem Zwischenmittel und einer Unterbank.

Die Detfurth-Wechselfolge bildet einen einheitlichen Komplex aus schichtigen, schluffig-feinsandigen Sedimenten, in die vielfach cm- bis dm-starke, violettfarbene feste Sandsteinplatten und -linsen eingelagert sind. Mit 27 m ist die Detfurth-Wechselfolge im Kriebertunnel bedeutend geringermächtig als noch im nördlich benachbarten Sohlbergtunnel. Dies liegt an der direkten, erosiv-transgressiven Auflagerung der Solling-Folge („H“-Diskordanz, TRUSHEIM 1961) unter Fortfall der Hardeggen-Folge. Unter der Solling-Folge fehlt im Kriebertunnel ein Schichtstoß von 24,5 m Mächtigkeit verglichen mit dem Sohlbergtunnel.

Die bankigen Sandsteine des Detfurth-Basissandstein (smDS) sind vorherrschend fein- bis mittelkörnig, lagenweise auch mittel- bis grobkörnig. Das smDS-Zwischenmittel ist ein massiger, polyedrisch brechender Schluffstein.

Hardeggen-Folge

Die Hardeggen-Folge (smH) beginnt im Liegenden mit flaserigen Schluffsteinen mit orangefarbenen Grobsandstein-Linsen. Darüber folgen durchgängige Lagen von Grobsandstein im Wechsel mit Fein- bzw. Mittelsandstein. Zum Hangenden hin sind zunehmend dunkelrotbraune Schluffsteinlagen eingeschaltet. Die Hardeggen-Folge endet schließlich mit schluffig-tonigen Sedimenten.

Die Hardeggen-Folge fehlt paläogeographisch bedingt im Bereich des Kriebertunnels vollständig.

Solling-Folge

Die Solling-Folge zeigt den folgenden Internbau:

Tonige Grenzschichten	(smS4)
Solling-Bausandstein	(smSS)
Horizont der roten Tone	(smST2)
Horizont der grauen Tone	(smST1)
Solling-Basissandstein	(smS1B)

Das hellgraue Hauptgestein des Solling-Basissandstein (smS1B) ist ein sandiger Schluff- bis schluffiger Feinsandstein mit grobkörnigen Anteilen in Lagen und Nestern. Der Kalkgehalt ist schwach bis mäßig.

Die grauen Tone (smST1) werden aus grünlich-grauen, schluffigen Tonsteinen mit mm-dünnen Feinsandsteinlinsen gebildet.

Die roten Tone (smST2) bestehen in ihrem tieferen Teil aus massigen, polyedrisch brechenden, dunkelrotbraunen Schluffsteinen. Zum Hangenden hin enthält das Sediment zunehmend feinsandige Anteile.

Die Schichtfolge des Solling-Bausandstein (smSS) wird von dickbankigen, überwiegend feinkörnigen, hellrötlich-braunen Sandsteinen geprägt, in die eine mehrere Meter mächtige Schluffsteinfolge mit vereinzelt quarzitischen Sandsteinbänken eingeschaltet ist.

Die Tonigen Grenzschichten (smS4) beschließen die Solling-Folge und damit den Mittleren Buntsandstein. Es handelt sich um Schluff- bis Tonsteine mit lagenweise geringen karbonatischen Einschaltungen und plattigen Sandsteinen im tieferen Teil. Die Obergrenze liegt am Top der etwa 20 cm dicken sogenannten Rötbasisbank oder Röt fossilbank, die aus manganfleckigem, kavernoësem, gelbem Kalksandstein besteht.

Der **O b e r e B u n t s a n d s t e i n** (Röt) läßt sich bei ungestörter Lagerung in 4 Abschnitte gliedern (HINZE 1967). Im Hellebergtunnel ist die Schichtenfolge verfaltet und gestört, so daß hier eine Grenzziehung zwischen Röt 1 und Röt 2 problematisch ist. Insgesamt handelt es sich beim Röt um Tone und Tonsteine mit lagenweise eingeschaltetem Gipsstein. Im Ergebnis der Auslaugung des Gipses (Subrosion) entstanden Kavernen und Residualbildungen.

Röt 1 und Röt 2 (so1/so2)

Die feinschichtig aufgebauten Röttone dieser beiden Abschnitte (60 m) sind rötlich-braun und graugrün, z. T. schluffig, selten sandig. Nahe der Rötbasis ist ein kompaktes Gipslager von 20 bis 30 m Mächtigkeit mit deutlichen Ablaugungserscheinungen am Top ausgebildet.

Im oberen Teil der Folge kommt im Hellebergtunnel nochmals massiger Gipsstein mit tonigen Schlieren und einem 1 bis 2 m dicken Lösungssaum aus Residualtonen von unten her ins Tunnelprofil (km 58,885 bis km 58,879). Unsicher ist, ob es sich um einen oberen Gipschhorizont oder eine tektonische Wiederholung des Röt-Basisgipses handelt.

Röt 3 (so3)

Das Röt 3 ist ca. 40 m mächtig und aus massigen, rotbraunen Tonsteinen mit graugrünen Lagen aufgebaut.

Röt 4 (so4)

Beim Röt 4 handelt es sich um eine enggeschichtete Wechselfolge rotbraun-violetter und graugrüner Tonsteine mit einer Mächtigkeit von ca. 60 m.

Mit den zumeist grauen sog. Myophorienschichten schließt der Obere Buntsandstein ab (SUBKOMMISSION PERM-TRIAS 1993).

Muschelkalk

Die Basis der Sedimentfolge des **U n t e r e n M u s c h e l k a l k** (PAUL & FRANKE 1977) bildet ein ca. 3 m mächtiger Dedolomit („Grenzgelbkalk“). Der „Grenzgelbkalk“ des Helleberg-tunnels ist ein dickbankiger, dichter dolomitischer Kalkstein, der im Gegensatz zu dem des Rauheberg-tunnels weder verkarstet noch teilweise zersetzt ist. Oberhalb der anschließenden Basiskonglomeratbänke folgen überwiegend plattige mikritische Kalk- und Kalkmergelsteine (Wellenkalk) mit Einschaltungen von bankigen Kalksteinen, Mergelsteinen und Dolomiten (Werksteinbänke).

Der Untere Muschelkalk ist in diesem Sinne gegliedert (STEIN 1966, 1968):

Schaumkalkbänke	(muS)
Wellenkalk 3	(muW3)
Terebratelbänke	(muT)
Wellenkalk 2	(muW2)
Oolithbänke	(muO)
Wellenkalk 1 und Basiskonglomeratbänke	(muW1)

Das „Normalsediment“ des Wellenkalk ist eine monotone Folge welliger Kalkmergelsteine, in die einzelne Pakete von Mergelkalksteinen mit weitgehend ebenflächigen Schichtfugen eingeschaltet sind. Die Bankmächtigkeit liegt zwischen 1 cm und einigen Dezimetern. Ausgesprochen ebenflächige, durchgängige Tonmergellager sind lediglich im Wellenkalk 3 (muW3) ausgebildet.

Der Horizont der Oolithbänke setzt sich aus einer geringer mächtigen, stellenweise fehlenden Oberen Oolithbank, zwischengeschalteten, z. T. dolomitischen Gelbkalken, einem Wellenkalk-Zwischenmittel und einer mehr oder weniger bankig entwickelten Unteren Oolithbank aus harten und festen, dichten Kalksteinen zusammen.

In der Oberen Terebratelbank herrschen im Liegendteil meist dichte, feste und harte Kalksteine, im Hangendteil hingegen meist Schillkalksteine vor. Die Untere Terebratelbank ist die karbonatreichste und deshalb härteste Bankfolge des Unteren Muschelkalk. Ihre Kalksteine sind überwiegend dicht oder feinstkörnig.

Den hangenden Abschluß des Unteren Muschelkalk bildet der Bereich der Schaumkalkbänke (muS). Es handelt sich um bankige, gelbe Kalksteine (Gelbkalk) an der Basis und ebenplattige, ± dolomitische, graue Mergelkalke mit Schillkalkbänkchen.

Die Basisschichten des **M i t t l e r e n M u s c h e l k a l k** (Lit.: FRANKE, PAUL & SCHRÖDER 1977) bildet eine bankige Folge aus Dolomiten und Mergelsteinen.

Darüber folgt toniges Residualgebirge im unregelmäßigen Wechsel mit Auslaugungsbreccien. Beides sind Rückstände ehemals vorhandener Salinargesteine, von denen ein stark subrodierter, verkarsteter Gipssteinhorizont teilweise erhalten geblieben ist. Der Gipsstein, der örtlich immerhin noch eine Mächtigkeit von 30 m erreicht, weist Lösungshohlräume auf. Das Gipslager ist an Basis und Top unregelmäßig abgelautet und weist typische Schlotten und

Taschen auf, die mit weichem, z. T. wassergesättigtem Residualgestein gefüllt sind. Den oberen Abschluß des Mittleren Muschelkalk bildet eine bankige Abfolge aus Dolomiten und Mergelsteinen mit vereinzelt Zellenkalkbänken.

Der **O b e r e Muschelkalk** wird vom Hangenden zum Liegenden aus

- den Ceratitenschichten (mo2) und
- dem Trochitenkalk (mo1)

aufgebaut (KLEINSORGE 1935 und GROETZNER 1962).

Der Trochitenkalk ist größtenteils aus Bänken eines grobspätigen, massigen Kalksteins aufgebaut. An der Basis und im mittleren Teil des Horizontes treten dünnere Bänke eines dichten, z. T. flaserigen Kalksteins bzw. Kalkmergelsteins auf.

Die Ceratitenschichten (mo2) bestehen aus einer unregelmäßigen Wechsellagerung aus dichtem, grauem Kalkstein und Tonstein, der in frischem Zustand dunkelgrau ist. Mit zunehmendem Verwitterungsgrad des Tonsteins überwiegen olivbraune bis gelbliche Farben. Die Mächtigkeit der Bänke und Lagen liegt im Zentimeter- und Dezimeterbereich.

Keuper

Der **U n t e r e Keuper** (ku) beginnt mit strukturlosen bis feingeschichteten, grauen Ton- bis Schluffsteinen mit sandigen Einschaltungen. Stratigraphische Abgrenzungen innerhalb der im Hellebergtunnel angefahrenen, intensiv gestörten Muldenstruktur waren nicht zweifelsfrei möglich. Dennoch läßt sich das Normalprofil des Unteren Keuper mit Unterem Lettenkohlsandstein, Hauptdolomit, Unteren Bunten Mergeln mit Anoplophora-Sandstein, Hauptlettenkohlsandstein und Oberen Bunten Mergeln i. w. nachvollziehen. Den oberen Abschluß bildet der sogenannte Grenzdolomit, eine ca. 10 cm dicke Bank eines gelblichen, leicht verkarsteten Dolomitmergelsteins.

Den im nördlichen Abschnitt des Hellebergtunnels angefahrenen tiefsten Teil des **M i t t l e r e n Keuper** (km) bilden Schichten aus dunkelbraunem, lagenweise graugrünem Tonstein, der nur teilweise feingeschichtet ist.

Tertiär

Tertiärsedimente (t) wurden im Escherbergtunnel angetroffen. Es handelt sich um Sedimente des Oligozän. Die drei in Deutschland ausgeschiedenen Stufen sind mittels mariner Mikrofauna nachweisbar. Größere Verbreitung im Bereich zwischen km 29,1 und km 29,5 erreicht der mitteloligozäne Septarienton mit Mächtigkeiten bis 20 m (freundliche Mitteilung F. GRAMANN, NLFb).

Quartär

Quartärzeitliche Lockergesteine (q) stehen in den Tunnelbaulosen häufig in Voreinschnitten und in sehr seicht liegenden Tunnelabschnitten an.

Im Raum zwischen Kreiensen und Northeim, wo die neue Bahntrasse die Schichtenaufwölbung der Salzkissenstruktur Ahlshausen quert, erreichen die quartärzeitlichen Ablagerungen mit mehr als 50 m ihre größte Mächtigkeit. Sie können hier in stratigraphisch-lithofazieller Hinsicht in vier größere Einheiten gegliedert werden (BRÜNING & GEISSLER 1986; zur Alterseinstufung siehe bei JORDAN & SCHWARTAU 1993):

1. Ältere Fließerden und Hangschutt-Sedimente
(Schluff, sandig, schwach tonig, mehr oder weniger kiesig bis steinig)
2. „Beckenton“-Ablagerungen
(grauer Ton, im oberen Teil massig, kompakt, im unteren Teil feinschichtig)
3. Jüngere Fließerde-Ablagerungen
(vom Kornaufbau den älteren Fließerde-Ablagerungen ähnlich)
4. Löß und umgelagerte Lößsedimente

Eine quartärzeitliche Füllung haben vielfach auch die im Trassenbereich angeschnittenen Erdfälle (vgl. Leinebuschtunnel).

2.3 T e k t o n i k

Mit dem Escherberg-, dem Eichenberg- und dem Eggebergtunnel durchfährt die Neubau-
strecke zwischen km 29 und km 40 diagonal den SE-NW streichenden Höhenzug des Hildes-
heimer Waldes. Der Hildesheimer Wald stellt einen salztektonisch aufgepreßten Buntsandstein-
sattel dar, der auf den äußeren Flanken von Muschelkalk und Keuper überlagert wird (KOCKEL
1984). Der an Störungen abgesetzte Sattelkern hat durch die Erosion des Buntsandsteins in Ver-
bindung mit der Subrosion des aufgedrungenen Zechsteinsalzes eine Reliefumkehr erfahren.
Die Sattelflanken sind heute als Buntsandstein-Höhenrücken erhalten, der Sattelkern ist eine
mit tertiären und quartären Sedimenten gefüllte Senke (REIK et al. 1989).

Der Riesenbergtunnel durchfährt die SE-NW streichende Westflanke des Rhüdener Sattels.
Der Sattelkern des salztektonisch aufgepreßten Rhüdener Sattels wird von Buntsandstein, die
Sattelflanken werden von Muschelkalk gebildet, wobei die westliche Flanke zur Sackwald-
mulde einfällt (REIK et al. 1988).

Der Hellebergtunnel durchörtert den SW-Rand der Sackmulde, die hier im Mahmilchtal von
dem Zechsteinaufbruch der Leinetal-Achse begrenzt wird.

Nordöstlich der nördlichen Ausläufer des Leinetal-Grabensystems befindet sich zwischen
den NW-SE streichenden tektonischen Großstrukturen der Hilsmulde und des Leinetal-Sattels
die Orxhausener Mulde. An der Nordostflanke und der Südwestflanke der Orxhausener Mulde,
die im Westen durch S-N-Brüche abgeschnitten ist, streichen Schichten des Muschelkalk in den
Tunnelbereichen des Wadenberges und des Hopfenberges zu Tage aus.

Der Sohlbergtunnel durchörtert die NE-Flanke und der Kriebergtunnel die Südflanke des
über einem im Zechstein nachgewiesenen (Tiefbohrung Northeim Z 1) Salzkissen aufgewölbten
Buntsandsteinsattels, dessen Scheitel im Bereich der Ortslage Ahlshausen zu suchen ist (JOR-
DAN et al. 1986).

Entsprechend dem zwiebelschalenförmigen Aufbau einer derartigen Gewölbstruktur treten
in deren Kern die ältesten Gesteine zu Tage, an welche sich mit umlaufendem Streichen die
jüngeren Schichten anlagern.

Beim Durchörteren des Kriebergtunnels wurde ein ca. 200 m breiter, grabenartiger Einbruch
mit streng herzynischer Richtung und Sprunghöhen von 110 m und 50 m registriert.

Regionaltektonisch gesehen wird die Sattelstruktur im SE von den nördlichen Ausläufern des
Leinetalgrabens und im SW von dem Salzderheldener Salzsattel abgeschnitten. Andererseits
geht sie nach N in die Orxhausener Keupermulde und nach NW in die Hilsmulde über.

Zwischen Harz und Rheinischem Schiefergebirge liegt als ein Teil des Leinetal-Graben-
systems der Göttinger Leinetalgraben. Dieser wird im Osten von der Eichsfeldscholle und im

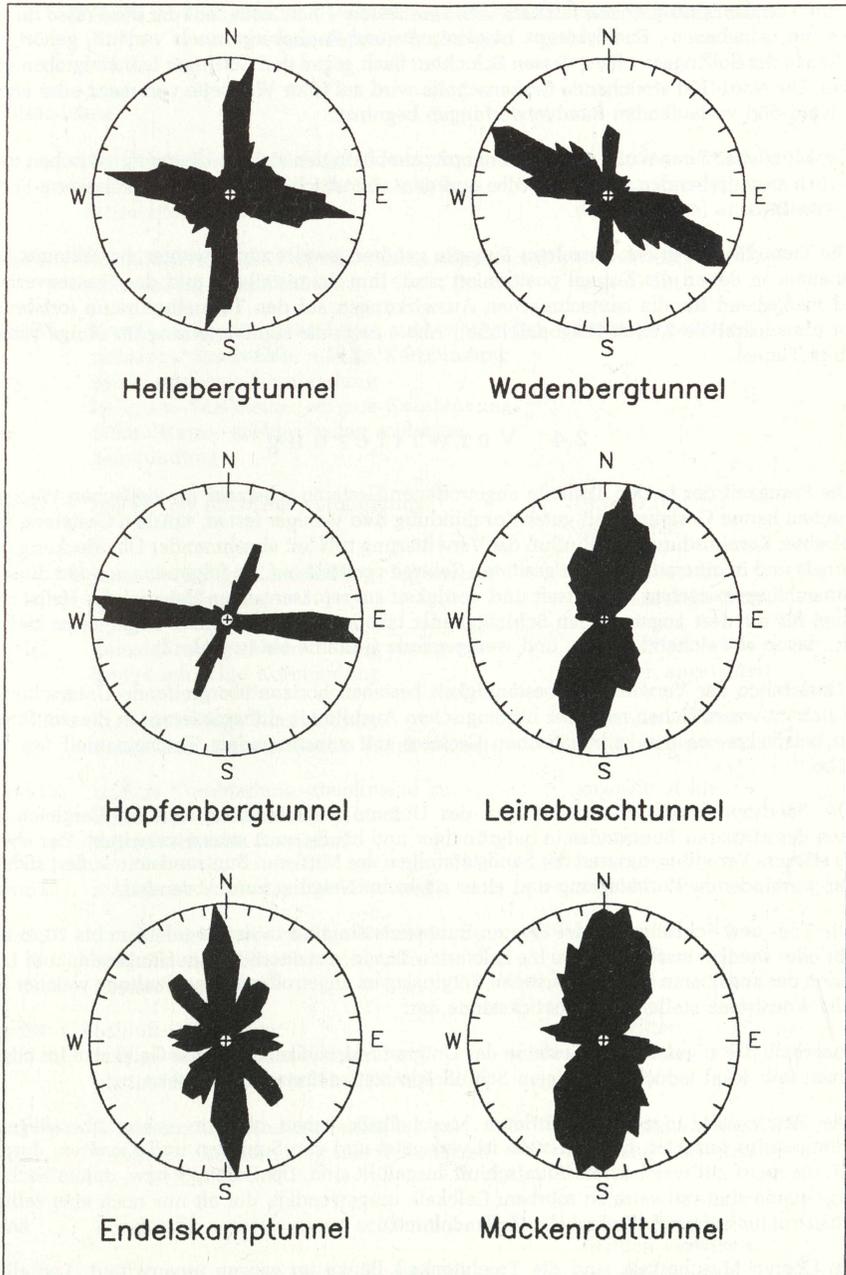


Abb. 4: Klutfrosen ausgewählter Tunnel.

Westen von der Sollingscholle flankiert. Die Dransfelder Hochfläche, auf der die Trasse im Bereich des Leinebusch-, Endelskamp-, Mackenrodt- und Rauheberg隧nells verläuft, gehört zur Ostflanke des Sollinggewölbes, dessen Schichten flach gegen den Göttinger Leinetalgraben einfallen. Die Nord-Süd streichende Grabenscholle wird auf ihrer Westseite von mehr oder weniger Nord-Süd verlaufenden Randverwerfungen begrenzt.

Der Müндener Tunnel und der Mühlenkopftunnel befinden sich im Übergang zwischen dem nördlich anschließenden Sollinggewölbe und dem südöstlich angrenzenden Unterwerra-Sattel (SCHENK 1981).

Die Trennflächen in den einzelnen Tunneln gehören jeweils zum Inventar der tektonischen Einheiten, in denen die Tunnel positioniert sind. Ihre Raumstellung und der Trassenverlauf sind maßgebend für die bautechnischen Auswirkungen auf den Tunnelhohlraum (ortsbrust- oder ulmenparallele Klüfte, Diagonalklüfte). Abb.4 zeigt die Kluffverteilung für einige ausgewählte Tunnel.

2.4 Verwitterung

Die Festigkeit der in den Tunneln angetroffenen Gesteine schwankt im vielfachen Wechsel zwischen harten Gesteinen mit guter Kornbindung und weniger festen, mürben Gesteinen mit schlechter Kornbindung. Der Einfluß der Verwitterung tritt mit abnehmender Überdeckung des Tunneln und in einem tektonisch gestörten Gebirge verstärkt auf. Im folgenden werden die Zusammenhänge zwischen Gesteinsart und -festigkeit am repräsentativen Beispiel des Helleberg-tunnel für die dort angetroffenen Schichtglieder tabellarisch beschrieben. Lagenweise stellen sich, davon abweichend, festere und weniger feste Gesteine ein (s. Tab. 2).

Hinsichtlich der Verwitterungsbeständigkeit bestehen horizontübergreifende Unterschiede, die sich im wesentlichen nach der lithologischen Ausbildung differenzieren. In diesem Sinne sind beispielsweise die karbonatischen Gesteine mit zunehmendem Tonsteinanteil fest bis mürbe.

Die Sandstein-Tonstein-Wechselfolgen des Unteren Buntsandstein sind im Vergleich zu denen des Mittleren Buntsandstein tiefgründiger und häufig auch stärker verwittert. Der ebenfalls stärkere Verwitterungsgrad der Sandsteinfolgen des Mittleren Buntsandstein äußert sich in einer verminderten Kornbindung und einer stärkeren Neigung zum Absanden.

Die Ton- und Schluffsteine des Oberen Buntsandstein sind in der Regel 10 m bis 20 m tief mehr oder weniger stark zu steifen bis halbfesten Tönen verwittert. Die im Hangenden und Liegenden des angelösten bzw. verkarsteten Rötgipslayers angetroffenen Residualtone weicher bis steifer Konsistenz stellen Lösungsrückstände dar.

Innerhalb der angefahrenen Gesteine des Unteren Muschelkalk sind die Gelbkalke im allgemeinen fest, lokal jedoch zu tonigem Schluff von steifer Konsistenz zersetzt.

Die Residualbildungen des Mittleren Muschelkalk haben ohnehin schon überwiegend Lockergesteinscharakter. Der Gipsstein ist verkarstet und von Schlotten und Kavernen durchsetzt, die meist mit weichem Residualschluff ausgefüllt sind. Die Dolomite bzw. dolomitischen Mergelsteine sind teilweise zu mürbem Gelbkalk umgewandelt, der oft nur noch eine zellige Gerüststruktur aufweist (Zellenkalk, Zellendolomit).

Im Oberen Muschelkalk sind die Trochitenkalk-Bänke im ganzen unverwittert. Lediglich Lösungsbänder an den gesteinsbildenden Trochiten bzw. eisenoxidische Beläge auf Trennflächen sind zu beobachten. Die Tonsteine der Ceratitenschichten sind besonders verwitterungsempfindlich.

**Tabelle 2: Festigkeit und Verwitterung der Gesteine im Hellebergtunnel
(aus BRÜNING & GEISSLER 1989)**

Buntsandstein

su	Sandstein: gute bis mäßige Kornbindung Schluffsteine: mäßige, seltener schlechte Kornbindung	meist unverwittert mit Annäherung an das Südportal angewittert
smVS	Kornbindung von oben nach unten abnehmend oben mäßig, unten schlecht	unverwittert bis angewittert
smVW	Kornbindung in cm-dm-Lagen stark wechselnd rotbraune Sandsteine: mäßige Kornbindung, selten schlechte Kornbindung hellgraue Sandsteine: oft gute Kornbindung Schluffsteine: mäßige, selten schlechte Kornbindung	meist unverwittert
smDS	mäßige bis schlechte Kornbindung	unverwittert bis angewittert
smDW	zumeist mäßige Kornbindung, lagenweise gute Kornbindung	unverwittert bis schwach angewittert
smH	zumeist mäßige Kornbindung, unten verbreitet schlechte Kornbindung	unverwittert bis schwach angewittert
smSB	gute bis mäßige Kornbindung, dünne Basislagen schlechte Kornbindung	oben unverwittert unten angewittert
smST1	mäßige Kornbindung, abnehmend zu schlechter Kornbindung in stark durchfeuchteten Bereichen	angewittert bis unverwittert
smST2	mäßige bis schlechte Kornbindung	angewittert
smSS	Sandstein: zumeist mäßige Kornbindung Schluffstein: mäßige bis schlechte Kornbindung	angewittert angewittert
smS4	Schluff-, Tonsteine: mäßige bis schlechte Kornbindung plattige Sandsteine: mäßige Kornbindung	angewittert
so1 + so2	Gipsstein: Kornbindung mäßig bis gut Tonsteine: Kornbindung überw. schlecht Ton: weich bis steif	angewitt., kavernös verwittert bis zersetzt
so3	Kornbindung überwiegend schlecht	angewittert bis deutlich verwittert
so4	durchweg schlechte Kornbindung, graue Schichtabschnitte mit geringerer Festigkeit als rotbraune Gesteine	angewittert

Fortsetzung Tabelle 2

Muschelkalk

mu	Festigkeit lagenweise wechselnd, von der Sohle zur Firste stark abnehmend frischer Kalkstein mit guter Kornbindung	tiefer Bereiche: unverwittert bis schwach angewittert in Firstnähe: angewittert, verkarstet
mm	Basisdolomit: z. T. gute Kornbindung Residualsedimente und Tonsteine: schlechte Kornbindung, z. T. Lockergesteinseigenschaften	schwach angewittert stark verwittert
mo1	fest bis sehr fest; gute bis sehr gute Kornbindung	unverwittert bis schwach angewittert auf Klufflächen
mo2	fest bis mäßig fest; Kalkstein: gute bis sehr gute Kornbindung Tonsteine: Kornbindung mäßig bis schlecht	unverwittert, lagenweise angewittert

Keuper

ku/km	Kornbindung: mäßig bis schlecht lagenweise (Dolomit-Kalkstein): gut	nach Norden zunehmend deutlicher Einfluß oberflächennaher Verwitterung
-------	------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------

Sowohl die Gesteine des Keuper als auch die des Tertiär sind im Bereich der Tunnelbaumaßnahmen über weite Bereiche stark oder sehr stark verwittert; insbesondere sind die Tonsteine zumeist zersetzt.

2.5 Hydrogeologie

Die in den Tunnelbereichen anstehenden Gesteinsfolgen sind in Tab. 3 hinsichtlich ihrer petrographischen Beschaffenheit, durchschnittlichen Mächtigkeit und Durchlässigkeit zusammengestellt.

Am besten durchlässig oder wasserwegsam sind die Sandsteine des Mittleren Buntsandstein (vor allem der Bausandstein der Sollingfolge) und die verkarsteten Teile des Gipssteins im Oberen Buntsandstein und Mittleren Muschelkalk, die stellenweise Karsthohlräume enthalten. Im Bereich von Verwerfungen können jedoch auch Gesteine, die ansonsten eine mittelmäßige Wasserwegsamkeit besitzen, gute Grundwasserleiter sein. Als Grundwassernichtleiter sind alle überwiegend tonig-mergeligen Gesteine anzusehen.

In Bereichen, wo Grundwasserleiter und wenig durchlässige tonige Gesteine aufeinanderfolgen, sind sogenannte Grundwasserstockwerke ausgebildet. Zwischen diesen bestehen örtlich, vor allem in verkarsteten Gebieten und an Verwerfungen, hydraulische Verbindungen. Die übereinander liegenden Grundwasserleiter entwässern, in Abhängigkeit von ihrer Höhenlage zum nächstgelegenen Geländeeinschnitt, teilweise in unterschiedliche Richtungen. Hauptvorfluter für die Tunnel sind die Leine (Spiegelstand zwischen Edesheim und Erzhausen etwa zwischen 107 und 97 m + NN sowie südlich von Göttingen > 150 m + NN) und im südlichen Trassenabschnitt die Werra und die Fulda (Spiegelstände ca. 126 bis 127 m + NN).

**Tabelle 3: Hydrogeologische Bewertung der im Projektgebiet anstehenden Gesteine
(nach GRIMMELMANN 1981a)**

Stratigraphische Einheit	Petrographische Beschaffenheit	Mächtigg. (in m)	Durchlässigkeit (Wasserwegsamkeit)
Quartär (q)	Ton, Schluff, Sand, Kies	0—> 60	gut bis gering
Unterer Jura (ju)	überw. Ton- und Schluffstein	> 100	gering
Keuper (k)	Ton-, Mergel- und Sandstein	> 100	gering bis mittel-mäßig
Oberer Muschelkalk Ceratitenschichten (mo2)	Kalk-, Mergel- und Tonstein	50	gering bis gut
Oberer Muschelkalk Trochitenkalk (mo1)	Kalkstein	14	gut
Mittlerer Muschelkalk (mm)	Ton-, Mergel-, Kalk- und Gipsstein	70	generell gering, gut in klüftigen Kalkbänken und verkarstetem Gips
Unterer Muschelkalk (mu)	Kalk- und Mergelstein	100	gut bis mittelmäßig
Oberer Buntsandstein (so)	Ton-, Schluff-, Sand- und Gipsstein	~200	generell gering, gut in verkarstetem Gipsstein
Mittlerer Buntsandstein (sm)	Sand-, Schluff- und Tonstein	> 350	gut in klüftigem Sandstein, gering in tonigen Partien
Unterer Buntsandstein (su)	überwiegend Ton- und Schluffstein, untergeordnet Sandstein	> 300	generell gering, mittelmäßig bis gut in klüftigem Sandstein

Infolge von Grundwasserentzug durch den Tunnelbau wurde teilweise die ursprüngliche hydrogeologische Situation verändert. Dabei kam es bereichsweise zu einer Beeinflussung bestehender Grundwasserentnahmeeinrichtungen, d.h. von Brunnen und Quellen (GEISLER, HANISCH & LEICHNITZ 1987).

Hinsichtlich der chemischen Beschaffenheit in den Tunneln angetroffener Grundwässer sind für weite Teile des Mittleren und Unteren Buntsandstein Wässer mit einer Gesamthärte < 16° dH und einem Sulfatgehalt < 100 mg/l und für den Unteren und Oberen Muschelkalk

Wässer mit einer Gesamthärte $> 16^\circ$ dH und einem Sulfatgehalt < 100 mg/l charakteristisch. Im Ablaugungsbereich gipsführender Schichten im Oberen Buntsandstein und im Mittleren Muschelkalk weisen die Grundwässer in der Regel Gesamthärten von über 20° dH und Sulfatgehalte über 250 mg/l auf.

2.6 Ingenieurgeologische Problemstellungen

Die Tunnel wurden zu einem großen Teil in wechselfesten Gesteinen mit überwiegend flacher Schichtlagerung aufgeföhren. Die Baugrundeigenschaften reichten von hartem, standfestem Fels bis zu vollständig entfestigtem und aufgelockertem Gebirge. Im Zusammenspiel der daraus resultierenden schwierigen Gebirgsverhältnisse und der aufzuföhrenden großen Querschnitte mit ihren ungewöhnlöh großen freien Stützweiten mußten teilweise besondere tunnelbautechnische Probleme gelöst werden.

Wegen der Auslaugung lösungsföhiger Horizonte im Untergrund (Subrosion), durch die großflöhliche Senkungen des Gelöhdes und bis zur Gelöhdeoberflöh durchschlagende Einbruchsschlote (Erdföhle) auftreten können, waren beim Entwurf und Bau spezielle Sicherungskonzepte und -maßnahmen erforderlich (GEISLER et al 1982).

Dies galt auch dort, wo im Ergebnis von Volumenvergrößerungen des Gebirges durch Wasseraufnahme Schwelldrücken entgegengewirkt werden mußte, um Sohlhebungen oder auch der Zerstörung des Sohlgewölbes entgegenzuwirken. Entsprechende Überlegungen waren angezeigt, wenn das Gebirge quellföhige Tonminerale oder Anhydrit enthielt, der bei seiner chemischen Umwandlung in Gips eine erhebliche Volumenzunahme erföhrt.

Bei der Durchhörterung des Überganges von wasserstauendem zu gut durchlöhligem Gebirge galt es, Wassereinbrüche in den Vortriebsraum und die Destabilisierung des wirksamen Gebirgstragringes zu beherrschen.

Besonders ungünstige Gebirgsverhältnisse für den Tunnelvortrieb ergaben sich in kiesigsteinigen Lockersedimenten mit häufiger stärkerer Wasserföhung sowie in stark sandigen Lagen und Linsen mit oft ausgeprägter Neigung zum Auslaufen im Sinne des sog. Schwimmsandeffekts (BRÜNING & GEISLER 1986).

3 TUNNELBAULOSE

Die Streckenbeschreibung bezieht sich im nachfolgenden, da Baustationierungen sich an wechselnden Vortriebsrichtungen orientieren, auf die Trassenkilometrierung, die von Norden nach Süden fortschreitet.

3.1 Escherbergtunnel

Der 3687 m lange Escherbergtunnel (Portalfußpunkte km 29,4965 und km 33,1835) unterföhrt die nordöstliche Flanke des Höhenzuges Hildesheimer Wald westlich von Hildesheim bis zum Beustertal. Die maximale Firstüberdeckung des Tunnels betröhgt 95 Meter. Der nördlichste Tunnelabschnitt wurde auf 105 Meter Länge in offener Bauweise hergestellt. Die südlich anschließenden 253 Meter wurden bergmännisch aufgeföhren. Daran anschließend folgten erneut ein 561 Meter langer Streckenteil in offener Bauweise, der 2618 Meter lange, bergmännische Hauptteil des Tunnels und bis zum Südportal nochmals 150 m in offener Bauweise.

Die Vortriebsarbeiten begannen im April 1985 bei km 30,4 von Norden her mit zwei der Kalotte um ca. 30 Meter vorauseilenden Ulmenstollen. Erst durch diese Aufteilung des gesam-

ten Tunnelquerschnittes in kleine Teilausbrüche war das entfestigte Gebirge im ca. 300 Meter langen Anfahrbereich beherrschbar. Die Ulmenstollen dienten außerdem der Vorentwässerung des Gebirges. Ab Mai 1986 erfolgte von Süden her, ebenfalls in Teilbereichen mit vorausseilenden Ulmenstollen, ein Gegenvortrieb in Richtung des durchgehend nordwärtigen Tunnelgefälles von 1,2482 %. Die Kalotte wurde am 4.7.1987 bei km 32,663 durchgeschlagen. Im Oktober 1987 wurden die Ausbrucharbeiten abgeschlossen. Der Aushub für die Baugruben der Voreinschnitte und der in offener Bauweise erstellten Tunnelabschnitte erfolgte in mehreren Etappen zwischen Frühjahr 1986 und Herbst 1988.

Die bergmännisch vorgetriebenen Teile des Escherbergtunnels sind auf 47 Blättern im Maßstab 1:100 dokumentiert worden.

Geologie

Der Escherbergtunnel wurde in den Gesteinen des Mittleren und Unteren Muschelkalk, des Quartär, des Tertiär, des Oberen (Röt), des Mittleren und des Unteren Buntsandstein gebaut (Taf. 5).

Der bergmännisch vorgetriebene Tunnelabschnitt zwischen km 29,602 und km 29,855 durchörterte von Norden nach Süden die folgenden Schichten des Unteren Muschelkalk:

Schaumkalkbänke	km 29,602 bis km 29,647
Wellenkalk 3	km 29,612 bis km 29,687
Terebratelbänke	km 29,647 bis km 29,709
Wellenkalk 2	km 29,667 bis km 29,855
Horizont der Oolithbänke	km 29,812 bis km 29,855

Im bergmännisch aufgefahrenen Abschnitt zwischen km 30,416 und km 33,034 verteilen sich die angetroffenen Schichtglieder wie folgt:

Röt- und Tertiärtone	km 30,416 bis km 30,506
Oberer Buntsandstein (Röt) — Ton- und Gipssteine	km 30,506 bis km 30,776
Tertiär/Quartär	km 30,656 bis km 30,716
Mittlerer Buntsandstein	
— Solling-Folge	km 30,676 bis km 31,056
— Hardeggen-Folge	km 31,016 bis km 31,126
— Detfurth-Wechselfolge	km 31,086 bis km 31,296
— Detfurth-Sandstein	km 31,266 bis km 31,396
— Volprieausen-Wechselfolge	km 31,376 bis km 31,916
— Volprieausen-Sandstein	km 31,886 bis km 32,056
Unterer Buntsandstein	
— Bernburg-Folge	km 32,016 bis km 33,034
— Calvörde-Folge	km 33,006 bis km 33,034 (nur im Sohlbereich)
Quartär (von oben ins Profil reichend)	km 32,786 bis km 32,806 km 32,886 bis km 32,966

Die Raumorientierung der im Gebirge ausgebildeten Trennflächen ist innerhalb des Escherbergtunnels uneinheitlich. Im Abschnitt zwischen km 29,602 und km 29,855 fallen die Schichten des Muschelkalk mit 25° bis 30° nach Nordosten ein. Das Einfallen flacht innerhalb dieses

Bereiches nach Süden hin ab (60—70/15). Im Buntsandsteingebirge ist die Raumstellung der Schichtflächen wie folgt orientiert:

km 30,416 bis km 31,556	durchschnittlich 50/35
bis km 32,466	30—60/05—20
bis km 32,916	im wesentlichen söhlig
bis km 33,034	30—50/20—40

Davon abweichend sind im Röt, in der Solling- und der Bernburg-Folge verschiedene Einfallrichtungen bei generell steilerem Schichtfallen auffällig.

Das Muschelkalkgebirge ist eng bis mittelständig geklüftet. Die Hauptkluftrichtungen sind

K1 (Kleinklüfte)	210—240/60—80
K2 (Großklüfte)	310—330/70—90
untergeordnet	120/20.

Das Buntsandsteingebirge wird durch Klüfte der folgenden Hauptrichtungen gegliedert:

K1 (Klein- u. Großklüfte, Störungen)	210—250/50—75
K2 (Großklüfte als Harnischflächen)	300—340/70—90
K3 (Großklüfte in der Solling-Folge)	179—190/80—90

Im nördlichen und südlichen Teil des Buntsandstein-Bereiches ist das Gebirge bei geringer Überdeckungsmächtigkeit intensiv gefaltet, zerbrochen und verwittert.

Hydrogeologie

In der bergmännisch aufgefahrenen Strecke zwischen km 29,602 und km 29,855 (Muschelkalk) tauchte der Tunnelquerschnitt teilweise in den Grundwasserkörper ein. Nach Ende des Vortriebes schüttete dieser Abschnitt 3 bis 5 Liter pro Sekunde. Während die Tunnellaubung in der Kalotte mit einzelnen Tropfwasserstellen nur bergfeucht war, trat aus der Kalottensohle örtlich bis 1 Liter pro Sekunde Wasser aus.

Im Tunnelabschnitt zwischen km 30,416 und km 33,034, der grundwassererfülltes Gebirge durchhörte, waren durchgehend stärkere und schwächere Wasserzuläufe an Schicht- und Klufflächen sowie aus Hohlräumen zu beobachten. Die Wasserschüttung ging deutlich zurück, nachdem die voreilenden Vortriebe von Kalotte oder Ulmenstollen bereits eine Vorentwässerung und Absenkung des Grundwasserspiegels bewirkt hatten. Nachdem im Frühjahr 1988 die Betonsohle eingebracht war, wurden in den Putzschächten der Mitteldrainage folgende Abflussumengen gemessen:

km 30,416 bis km 30,816	Röt/Tertiär/Quartär	0,5 l/s
bis km 31,016	Solling-Folge	0,7 l/s
bis km 31,216	Hardeggen-Folge	0,0 l/s
bis km 31,396	Detfurth-Folge	1,5 l/s
bis km 32,016	Volpriehausen-Folge	8,5 l/s
bis km 32,666	Bernburg-Folge	15,3 l/s
bis km 33,034	Bernburg-Folge	2,0 l/s

Zu Beginn des Jahres 1989 flossen über die Drainagen aus dem gesamten Escherbergtunnel (3687 m) 30 bis 35 l/s ab.

Sonderbaumaßnahmen

Vortrieberschwernisse ergaben sich in den Anfahrestrecken infolge der bei geringmächtiger Tunnelüberdeckung starken Gebirgszerrüttung und der teilweise, z. B. südlich km 30,416, starken Wasserführung. Hier war zur Beherrschung des Gebirges eine zusätzliche Aufteilung des Ausbruchquerschnittes mithilfe von vorauseilenden Ulmenstollen, die gleichzeitig eine Vorentwässerung des Gebirges bewirkten, erforderlich.

Im Bereich des Quartärtroges (km 32,786 bis km 32,806 und km 32,888 bis km 32,966) machten die anstehenden Locker- und an K1- und K2-Klüften schollenartig zerlegten Festgesteine eine besonders vorsichtige Arbeitsweise erforderlich.

Im Zusammenhang mit Zerstörungen an der temporären Spritzbetonsohle zwischen km 32,776 und km 32,899 im Oktober 1987 wurden zur Untersuchung der Quellfähigkeit des Gebirges zunächst ergänzende Laboruntersuchungen durchgeführt. Diese wurden jedoch nicht weiterverfolgt, als sich Ausführungsmängel als Schadensursache herausstellten.

Auf der Ostböschung des nördlichen Voreinschnittes (km 29,200 bis km 29,602) trat im Keupergebirge (km 29,200—km 29,260) und in den Ceratitenschichten (km 29,280—km 29,340) flächenhaft Sickerwasser aus. Auf dem nördlichen Teil der Westböschung waren zwischen Lößlehmdecke und anstehendem Keuper periodische Wasseraustritte zu beobachten. Auf der Ostseite der Einschnittsohle flossen bei km 29,340 aus dem Trochitenkalk bis zu 4 l/s Wasser, an der Grenze Unterer und Mittlerer Muschelkalk ca. 2 l/s Wasser aus. Die Quellen wurden gefaßt und dem Bahnseitengraben zugeleitet.

Zwischen km 29,200 und km 29,225 ist wegen der dort starken Verwitterung und Vernässung der Keuperonsteine ein Bodenaustausch vorgenommen worden.

In der Baugrube offene Bauweise Escherberg Mitte (km 29,855 bis km 30,416) waren an der Grenze Muschelkalk — Röt an einigen Stellen Wasseraustritte bis zu 2 l/s zu beobachten. Das Wasser wurde gefaßt und in die Tunnelentwässerung eingeleitet.

Bei den Ausbrucharbeiten und während der Standzeit der Baugrube kam es nach stärkeren Regenfällen zu Böschungsrutschungen in der Westböschung zwischen km 30,200 und km 30,390 und in der Ostböschung zwischen km 30,270 und km 30,400. Die Rutschungen wurden durch Stützungs- und Abflachungsmaßnahmen stabilisiert. Die Einschüttung der Tunnelröhre erfolgte dann mit den zuvor vor Ort ausgehobenen Gesteinen.

In der Baugrube für den südlichen Voreinschnitt und den in offener Bauweise erstellten Abschnitt Süd (km 33,034 bis km 33,440) wurden in der Sohle bei km 33,050—33,070 und in der Ostböschung nahe dem Tunnelanschlag Schlotfüllungen (gelblichbrauner, stark toniger, schwach sandiger, steifer Schluff mit inkohlten Baumresten) angefahren. Während des Aushubes bis zur Kalottensohle kam es in der westlichen Böschung bei km 33,040 zu einem kleineren Böschungsbruch. Bei böschungsauswärtigem Schichtfallen, d. h. bei in Richtung des Einschnittes gerichteter Neigung der Schichtflächen, mußten dieser Bereich und beim Restaushub auch die südliche Nachbarschaft mit Ankern gesichert werden. Bauzeitliche Sicherungsmaßnahmen wurden auch im Schlotbereich am östlichen Böschungsfuß nahe dem Tunnelanschlag erforderlich. Auf der Trasse mußte bereichsweise ein Bodenaustausch durchgeführt werden, nachdem der Untergrund durch den bauzeitlichen Fahrbetrieb aufgeweicht worden war.

Die Tunnelröhre im Bereich der offenen Bauweise wurde mit 3 Metern Schotter und darüber in max. 0,50 m dicken Lagen mit Ausbruchmaterial des bergmännischen Südvortriebes eingeschüttet.

Hydrogeologie

Der Eichenbergtunnel taucht nahezu auf ganzer Länge in den Grundwasserkörper ein. Auf die gesamte Tunnellänge verteilt fanden sich an Schicht- und Klufflächen immer wieder unterschiedlich starke Wasserzuläufe.

Im Vortriebsbereich der Kalotte wurden jeweils bis etwa 20 Meter hinter der Ortsbrust die folgenden Abflußmengen gemessen:

km 34,923 in Richtung km 35,023	von 1—3 l/s auf 5 l/s ansteigend
km 35,023 bis km 35,051	aus der Kalottensohle
km 35,053 bis km 35,123	stärkerer Wasserzulauf aus Ortsbrust
km 35,123 bis km 35,323	und Firste (Störung)
km 35,323 bis km 35,403	bis 5 l/s aus d. westl. Kalottensohle
km 35,403 bis km 35,493	Tropfwasser
km 35,493 bis km 35,873	mit der Stationierung zunehmende Schüttung
km 35,873 bis km 35,953	aus der westl. Kalotte
km 35,953 bis km 36,063	flächenhafte Wasserzutritte bis 5 l/s
	unregelm. verteilt flächenhaftes
	Tropf- und Fließwasser aus der Laibung (1—3 l/s)
	bis 10 l/s, flächenhaftes Sickerwasser aus der
	Kalottensohle
	2—4 l/s

Beim Aushub von Strosse und Sohle zeigte sich eine andere Verteilung der Wasserzuläufe:

Strosse

km 34,923 bis km 35,145	nachgezogener Aushub wegen Frost
km 35,145 bis km 35,159	3,5 l/s
km 35,159 (kurzfristig)	10 l/s
km 35,162 bis km 35,302	6—7 l/s
km 35,302 bis km 35,344	4 l/s
km 35,344 bis km 35,911	< 2 l/s
km 35,911 bis km 36,062	2—3 l/s

Sohle

km 34,940 bis km 35,151	3—4 l/s
km 35,151 bis km 35,153	15 l/s
km 35,153 bis km 35,279	7—8 l/s
km 35,279 bis km 35,435	2—4 l/s
km 36,040 bis km 36,062	3 l/s

Nach Abschluß der Betonierarbeiten flossen aus dem Eichenbergtunnel in Abhängigkeit von den Jahreszeiten zwischen 5 l/s und 10 l/s Wasser ab.

Sonderbaumaßnahmen

In der Anfahrtstrecke war das Gebirge aufgrund der geringmächtigen Überdeckung stark zertrübt und deutlich verwittert und somit eingeschränkt tragfähig. Zur Erzielung eines schnellen Ringschlusses wurde hier zwischen Nordportal und km 35,135 im Zuge des Kalottenvortriebs eine temporäre Sohle eingebaut. Im erweiterten Bereich der tektonischen Störungen erfolgte zwischen den km 35,243 und km 35,395 ebenfalls eine provisorische Sohlsicherung des Kalottenquerschnittes.

Im mittleren und portalnahen Bereich des nördlichen Voreinschnittes (km 34,780 bis km 34,923) hatten Sohlwasseraustritte (je < 2 l/s) das Auflager für den Gleisunterbau bauzeitlich derart aufgeweicht, daß ein Bodenaustausch erforderlich wurde.

Am 21. 6. 1985 ereignete sich in der Ostböschung des nördlichen Voreinschnittes ein Böschungsbruch. Dabei waren Gesteinspakete auf 20°—30° hangauswärts geneigten, vernähten und mit Ton und Glimmer belegten Schichtflächen abgeglitten. Der ursprünglich im Verhältnis $n = 1 : 1,8$ geböschte Einschnitt wurde auf der Ostseite abgeflacht ($n = 1 : 2,75$). Die Westböschung ist nach wie vor im Verhältnis $n = 1 : 1,8$ (Lockergestein) und $n = 1 : 1,5$ (Festgestein) geneigt.

3.3 Eggebergtunnel

Der Eggebergtunnel ist 332 Meter lang (Portalfußpunkte km 36,7555 und km 37,0875). Er unterfährt, wie auch der nördlich benachbarte Eichenbergtunnel die Südwestflanke des Hildesheimer Wald-Sattels. Die maximale Firstüberdeckung beträgt 28 Meter. Der Eggebergtunnel wurde der Trassenkilometrierung entgegenlaufend von Süden nach Norden mit 1,2493 % steigend aufgefahren.

Der Kalottenvortrieb begann am 25. Januar 1985 vom Voreinschnitt Süd aus in bergmännischer Bauweise mit dem Kalottenvortrieb. Der Durchschlag der Kalotte erfolgte am 19. April 1985. Nach dem anschließenden Strossen- und Sohlausbruch waren die Vortriebsarbeiten am 9. Juni 1985 abgeschlossen. Der nördliche Voreinschnitt wurde zwischen März und August 1985 ausgehoben.

Der bergmännisch vorgetriebene Teil des Eggebergtunnels ist auf 4 Blättern im Maßstab 1 : 100 ingenieurgeologisch aufgenommen worden.

Geologie

Im Eggebergtunnel wurden von Süden nach Norden nacheinander Teile des Unteren Muschelkalk und des Oberen Buntsandstein (Röt) durchörtert. Die Schichten fallen nach Südwesten ein. Die aufgefahrenen Schichtglieder verteilen sich im Tunnel wie folgt (Taf.7):

U n t e r e r M u s c h e l k a l k :

Horizont der Oolithbänke km 37,0875 bis km 37,0495 in der Firste
(Mächtigkeit 7 m)

Wellenkalk 1 km 37,0575 bis km 36,9355 in der Firste
(Mächtigkeit 20 m)

Basiskonglomerate km 36,9675 bis km 36,8835 in der Firste
(Mächtigkeit ca. 15 m)

O b e r e r B u n t s a n d s t e i n (R ö t) km 36,9205 bis zum nördlichen Tunnelende

Das aus den im Eggebergtunnel gemessenen Werten gemittelte Schichtfallen beträgt 215/25. Lokale Steilstellungen bis 60° finden sich in der Strosse bei km 36,8815 und im nördlichen Voreinschnitt.

Die im Eggebergtunnel aufgeschlossenen Schichten sind eng- bis mittelständig geklüftet. Großklüfte, die sich über mehrere Meter Länge erstrecken, sind selten. Sie finden sich in Teilbereichen des Wellenkalk (um km 37,0025) und in den Dolomitsteinen am Top des Oberen Buntsandstein. Die Dolomitsteinbänke sind teilweise von Spalten durchzogen, die bis zu 50 cm breit und mit Lockergestein verfüllt sind.

Geologie

Der Riesenbergtunnel durchörtert große Teile der Schichtenfolge des Oberen Muschelkalk. Die Schichtpakete fallen, von tektonisch bedingten Verstellungen abgesehen, überwiegend flach bis sehr flach in südwestliche bis westliche Richtungen ein (Taf.8).

Vom nördlichen Anschlag bis km 48,698 wurde das liegende Schichtglied des Oberen Muschelkalk, der Trochitenkalk (mo1), aufgeföhren. Der Tunnel verlöhft in diesem Abschnitt knapp unterhalb der Grenze zu den hangenden Ceratitenschichten (mo2), die zwischen km 48,520 und km 48,532 sowie zwischen km 48,652 und km 48,674 vorübergehend von oben in das Kalottenprofil hineinreichen.

Südlich km 48,698 verbleiben die Ceratitenschichten kontinuierlich im Ausbruchprofil. Sie treten im Firstbereich in den Tunnelquerschnitt ein, erreichen die Kalottensohle bei km 48,958, die Tunnelsohle bei km 49,308 und nehmen von da an bis zum Südportal den gesamten Tunnelquerschnitt ein.

Das Schichtfallen ist im allgemeinen mit 05° bis 20° nach Südwesten gerichtet (220—240/05—20). Schichtverstellungen mit nordöstlichem (040—090/20—70) und nordwestlichem (300—330/10—40) Einfallen sind an Mulden und Sättel gebunden, deren Achsen flach nach Nordwesten bzw. Südosten abtauchen.

Die kompetenten Bänke des Trochitenkalk reagieren bei tektonischer Beanspruchung, wenn sie nicht an Brüchen geringfügig versetzt sind, mit Schichtverbiegungen, die weitspannig angelegt sind. In den Ceratitenschichten ist dagegen, besonders ausgeprägt südlich km 49,058, eine deutliche Tendenz zu kleinräumiger Biegefaltung zu beobachten.

Gleichermaßen weisen beide Horizonte grundlegende Unterschiede hinsichtlich der Ausbildung und Ausdehnung von Klüften auf. Der Trochitenkalk ist abseits von Störungen und lokalen Scherzonen mittelständig geklüftet. Auf den Klüftflächen finden sich in Form dunkelrotbrauner und rostroter oder auch schwarzer Beläge aus Eisen- oder Manganoxiden die Rückstände zirkulierender Kluftwässer. Manche Klüfte sind zu mehrere Zentimeter breiten Spalten aufgeweitet. Die Spalten sind teilweise mit Lehm und Mergel gefüllt. Während die Bänke des Trochitenkalk meist von Großklüften durchzogen werden, halten die Klüfte in den Ceratitenschichten selten mehr als wenige Zentimeter oder Dezimeter durch.

Die Klüfte im Riesenbergtunnel orientieren sich an zwei bevorzugten Streichrichtungen.

Am häufigsten verbreitet sind (bc-) Längsklüfte, die parallel zu den Ebenen der Faltenachsen in nordwestlich-südöstlicher Richtung streichen und teils nach Nordosten, teils nach Südwesten einfallen:

K 1 040—060/60—80 und 220—240/60—80

(ac-) Querklüfte streichen entsprechend der gegebenen Faltengeometrie in nordöstlich-südwestlicher Richtung. Sie fallen teils nach Nordwesten teils nach Südosten ein:

K 2 310—330/70—90 und 120—150/70—90

Andere Klufrichtungen finden sich untergeordnet bei den Kleinklüften.

Verwitterungserscheinungen beschränken sich im Trochitenkalk auf die eingeschalteten Mergelsteinlagen, die unter der Einwirkung des Bergwassers aufweichen. Die Tonsteine der Ceratitenschichten sind ebenfalls sehr verwitterungsempfindlich.

Hydrogeologie

Der Riesenbergtunnel wurde auf ganzer Länge im Hauptgrundwasserkörper aufgeföhren. Aufgrund der gesteinsbedingt unterschiedlichen Gebirgsdurchlässigkeit waren die Schicht- und Kluftwasseraustritte jedoch horizontgebunden.

Im Trochitenkalk waren an der Ortsbrust sowohl Kluftwasserzutritte als auch auslaufendes Schichtwasser oberhalb abdichtender Mergellagen zu beobachten. Die Ceratitenschichten waren im tektonisch zerrütteten Gebirge zwischen km 49,058 und km 49,238 verstärkt wasserführend.

Im rückwärtigen Bereich der Ortsbrust betrug der maximale Bergwasserandrang maximal 2—3 l/s. Ansonsten war das Gebirge überwiegend bergfeucht.

Zu Zeiten starker Niederschläge und der Schneeschmelze wirkte sich die geringe Überdeckung des Riesenberg隧nns in Gestalt großflächiger Tropf- und Sickerwasserzutritte aus der Tunnelaibung aus.

Sonderbaumaßnahmen

An der ungesicherten Ortsbrust bestand teilweise die Gefahr von Ablösungen des Gebirges entlang überhängender K 2-Kluftflächen. Unter anderem aus diesem Grunde wurden die Abschlaglängen auf maximal 1,90 m begrenzt und betragen teilweise nur 0,80 m.

Insbesondere im Tunnelabschnitt zwischen km 49,058 und km 49,238 ist das Gebirge stark entfestigt. Hier zirkuliert Bergwasser bevorzugt entlang der zerrütteten Faltenachsebenen. Nach der Arbeitsruhe zum Jahreswechsel 1986/1987 traten am 9. Januar 1987 nach vier Abschlägen bei Baustation 743,5 m (km 49,2015) starke Risse in der Spritzbetonschale auf. Der Vortrieb wurde eingestellt und die Kalotte zwischen den Baustationen 710 m (km 49,168) und 743 m (km 49,201) mit Holzstempeln und anderen Stützmaßnahmen gesichert. Mit dem Ziel einer nachhaltigen Verbesserung der Trageigenschaften des anstehenden Gebirges zwischen km 49,163 und km 49,213 wurden von über Tage aus Injektionen durchgeführt. Im Schutze der ergriffenen Sicherungsmaßnahmen wurde der Schadensbereich dann in der Zeit von Ende März bis Mitte April 1987 überfirstet. In der Folge der durchgeführten Injektionsmaßnahmen trat im Tunnelbereich von km 49,108 bis km 49,173 verstärkt Wasser aus.

Die in der Spritzbetonschale gemessenen Bewegungen nahmen zu, als der Trochitenkalk durchfahren und der Tunnelquerschnitt allseits von den Ceratitenschichten umgeben war. Mit nach Süden hin abnehmender Überdeckung wurde beobachtet, daß die Setzungen langsamer abklagen und ruckartige Bewegungen in der Schale auftraten. In diesem Zusammenhang wurde zur Erhöhung der bauzeitlichen Stabilität zwischen km 49,058 und km 49,686 sowie km 49,702 und km 49,736 beim Kalottenausbruch eine provisorische Sohle eingezogen.

Der nördliche Tunnelvoreinschnitt (km 48,300 bis km 48,458) befindet sich auf dem Gelände des ehemaligen Trochitenkalk-Steinbruches Netze. Besonders im nördlichen Teil des Voreinschnittes (km 48,300—km 48,350) wurde hier zur Vereinheitlichung der Geländeformen Material aus dem Steinbruchbetrieb aufgefüllt.

Ausgelöst durch starke Niederschläge zur Jahreswende 1986/1987 kam es in der im Verhältnis $n = 1:2,5$ geneigten Ostböschung des südlichen Voreinschnittes (km 49,780—km 50,000) zwischen der Anschlagwand und km 49,880 zu Ausrutschungen in den Ceratitenschichten. Als Gleitflächen waren die in den spitzwinkelig zur Trassenachse streichenden Faltschenkeln auf $\alpha > 20^\circ$ aufgestellten Schichtflächen wirksam. In der Böschung zeigten sich Abrisse mit Sprunghöhen von bis zu 70 cm und Öffnungsweiten von maximal 30 cm.

Die Ostböschung wurde zur Erzielung einer langfristigen Standsicherheit zwischen km 49,760 und km 49,880 auf eine Neigung $n = 1:3$ abgeflacht. Die aus der Böschungsfäche austretenden Wässer (Schüttungsmengen bis 2 l/s) wurden über Rigolen der Fußentwässerung zu geleitet.

Eine weitere Rutschung in der Ostböschung ereignete sich im April 1988 zwischen km 49,960 und km 50,000. Das abgerutschte Material blieb unterhalb des Abrisses auf den dort flacher als $\alpha = 20^\circ$ geneigten Schichten liegen.

In der Westböschung zeigten sich immer wieder begrenzte Instabilitäten im stark durchweichten Lößlehm. Mit dem Ziel, die Böschung zu entwässern, waren hier ingenieurbio-logische Maßnahmen vorgesehen.

3.5 Hellebergtunnel

Der Hellebergtunnel (Portalfußpunkte km 58,032 und km 59,673) liegt im Streckenabschnitt Hannover-Göttingen westlich von Bad Gandersheim (TK25: 4125 Einbeck). Er quert auf insgesamt 1641 m Länge die Südwest-Flanke der Sackmulde, einer von NW nach SE streichenden regionalgeologischen Struktur. Der Hellebergtunnel unterfährt das Waldgebiet des Helleberges und nördlich davon landwirtschaftlich genutzte Flächen (Taf.2, Bild 2). Die maximale Überdeckung wird mit ca. 70 m im südlichen Tunnelabschnitt erreicht. Nach Norden hin geht die Deckgebirgsmächtigkeit im Bereich einer bis in den Tunnelquerschnitt reichenden Lockergesteinsmulde sowie am Nordportal auf < 20 m zurück (Taf. 9).

Der bergmännische Vortrieb erfolgte in der Zeit vom Mai 1986 bis Februar 1988. Der Tunnel wurde vom südlichen Anschlagpunkt bei km 59,654 steigend (3,368 %) in Richtung des Schichtfallens von Süden nach Norden aufgeföhren. Der Gegenvortrieb (N-Vortrieb) begann bei km 58,054. Von insgesamt 116,5 Meter Gegenvortrieb erfolgten 36,5 m im Schutz eines sog. Kärntner Deckels aus Stahlbeton. Der Tunnelausbruch war in drei aufeinander folgende Teil-ausbrüche gegliedert (Kalotte, Strosse, Sohle). In Abhängigkeit von der geologischen Situation wurde der jeweils zulässige Kalottenvorlauf festgelegt, wobei der Parallelbetrieb aus Stand-sicherheitsgründen nicht immer aufrecht erhalten werden konnte.

Der bergmännisch vorgetriebene Teil des Hellebergtunnels ist auf 20 Blättern im Maßstab 1:100 ingenieurgeologisch dokumentiert worden.

Geologie

Der Hellebergtunnel durchfährt von Süd nach Nord nacheinander Gesteine des Unteren, Mittleren und Oberen Buntsandstein (Röt), des gesamten Muschelkalk sowie des Unteren und Mittleren Keuper. Das ist auf wenig mehr als 1,5 km Länge die gesamte an der Neubaustrecke Hannover-Würzburg vorkommende Schichtfolge, von der die anderen Bauwerke jeweils nur Teile beröhren (Taf. 9).

Die gleichmäßige mittelsteile Schichtlagerung im südlichen Tunnelabschnitt weicht nach dem Durchörtern des Mittleren Buntsandstein im mittleren und nördlichen Abschnitt einem tektonisch gestörten Verband mit Störungsbahnen und Schichtverbiegungen in den tonigen Gesteinen des Röt und Keuper.

Die Gesteine des Unteren Buntsandstein (Bernburg-Folge, suB) stehen im südlichen Vorein-schnitt sowie im Tunnel bis km 59,549 an.

Die Gesteinsfolge des Mittleren Buntsandstein wurde in folgenden Tunnelabschnitten ange-troffen:

Volpriehausen-Folge	(km 59,564 bis km 59,259)
Defurth-Folge	(km 59,274 bis km 59,157)
Hardeggen-Folge	(km 59,174 bis km 59,104)
Solling-Folge	(km 59,124 bis km 58,964)

Im weiteren Tunnelverlauf wurden aufgefahrene:

Oberer Buntsandstein, Röt	(km 58,977 bis km 58,644)
Unterer Muschelkalk	(km 58,657 bis km 58,444)
Mittlerer Muschelkalk	(km 58,464 bis km 58,331)
Oberer Muschelkalk	(km 58,349 bis km 58,222)
Unterer Keuper	(km 58,227 bis km 58,074)
Mittlerer Keuper	(ab km 58,081)

Quartärzeitliche Ablagerungen (q) greifen zwischen km 58,554 und km 58,454 von oben in das Tunnelprofil ein. In den untersten 1 bis 2 m bestehen sie aus Muschelkalkhangschutt und -fließerde mit hohem Steinanteil. Darüber folgt steifer bis halbfester Ton und Schluff.

Die Festigkeit der im Hellebergtunnel angetroffenen Gesteine schwankt im vielfachen Wechsel zwischen harten Gesteinen mit guter Kornbindung und weniger festen, mürben Gesteinen mit schlechter Kornbindung (vgl. Tab. 2). Der Einfluß der Verwitterung tritt mit abnehmender Überdeckung des Tunnels nördlich etwa km 58,954 in einem überdies tektonisch gestörten Gebirge verstärkt auf.

Die mit dem Hauptvortrieb in gleichmäßiger Lagerung (im Mittel etwa 40/30—40) aufgefahrene Schichtenfolge reicht bis etwa km 58,754. Der nördlich anschließende Tunnelteil zeigt gefaltete und ab km 58,504 tektonisch gestörte Schichten mit flexurartigen Verbiegungen im Röt 4 und Mittleren Muschelkalk sowie einer Einmuldung des Unteren Keuper.

Bei den im Hellebergtunnel gemessenen Klüften dominieren N-S und E-W streichende Elemente (vgl. Abb. 4).

Die Störungen haben tonige Mylonitbeläge von cm- bis wenige dm-Dicke, z. T. etwas breitere Auflockerungszonen und begleitende Klüfte.

Hydrogeologie

Der Grundwasserspiegel liegt stellenweise mehr als 40 m über dem Niveau der Strecke. Die im Tunnel angefahrenen und als exponierte Kluftwasserleiter geltenden Horizonte Solling-Bausandstein (smSS) und Trochitenkalk (mo1) erwiesen sich bauzeitlich als ausgesprochen gering wasserführend. Ihre Entwässerung erfolgt offenbar anderenorts (Taleinschnitte, Quellen) auf tieferem Niveau. Sie können der Tunnelrainierung jedoch zu Zeiten eines stark erhöhten Niederschlagsangebots kurzzeitig erheblich mehr Wasser zuführen.

Auffälliger Bergwasserzutritt war während des Vortriebs

- bereichsweise im Unteren Buntsandstein
- im Detfurth-Sandstein (smDS)
- an der Basis der Hardegsen-Folge (smH)
- an der Basis des Röt (so1)
- lokal in kleinklüftigen dolomitischen Tonsteinen des Mittleren Muschelkalk (mm)
- und in den Ceratitenschichten (mo2) feststellbar.

Besonders die Bereiche starken Fließwassers zeigten sehr bald nach dem Öffnen eine deutliche Tendenz, leerzulaufen. Die Gesamtwasserführung des Hellebergtunnels schwankte bauzeitlich zwischen 15 und 30 l/s. Eine nach Streckenabschnitten differenzierte Aufstellung der bei der Auffahrung beobachteten Wasserzutritte gibt die nachfolgende Liste.

Tunnelabschnitt	Wasserzutritt bei der Auffahrung
km 58,054—km 58,224	0,1—0,5 l/sec vereinzelt bis 0,1 l/sec
km 58,224—km 58,244	max. 3—5 l/sec
km 58,244—km 58,314	max. 2—3 l/sec
km 58,314—km 58,369	bergfeucht
km 58,369—km 58,374	bis 0,3 l/sec
km 58,374—km 58,454	trocken bis bergfeucht
km 58,404	Quelle 2—3 l/sec
km 58,454—km 58,744	Tropfwasser bis 0,5 l/sec
km 58,744—km 58,784	feucht
km 58,784—km 58,834	bis 0,5 l/sec
km 58,834—km 58,874	feucht
km 58,874—km 58,894	bis 5 l/sec
km 58,894—km 58,944	Tropfwasser 0—0,5 l/sec
km 58,944—km 58,954	max. 10 l/sec
km 58,954—km 58,974	trocken
km 58,974—km 59,014	ca. 0,5 l/sec
km 59,014—km 59,064	ca. 1 l/sec
km 59,064—km 59,144	0—0,5 l/sec
km 59,144—km 59,164	3—4 l/sec
km 59,164—km 59,234	1 l/sec
km 59,234—km 59,259	2—4 l/sec
km 59,259—km 59,519	Tropf- bis Fließwasserzutritte 0,5—1 l/sec
km 59,519—km 59,569	ca. 1 l/sec
km 59,569—km 59,609	max. 2—3 l/sec, ansonsten 1—2 l/sec
km 59,609—km 59,654	max. 1 l/sec

Sonderbaumaßnahmen

Am Top des Röt 1-Gipslayers waren bei km 58,947 im östlichen First- und Kämpferbereich weiche, z. T. wasserführende Residualschluffe angefahren worden (vgl. Abb. 5). Aus Sorge um die Beherrschbarkeit des Gebirges auf ca. 5 m Tunnelstrecke wurden, zusätzlich zu den Maßnahmen einer vorausseilenden Sicherung (Spieße) und einer intensiven Gebirgsentwässerung, 57 t Zement in einer Zement-Bentonit-Suspension verpreßt.

Bei km 58,879 traten über verkarstem Gipsstein Setzungen bis 20 cm auf. Aus diesem Grunde erfolgten in der Kalottensohle Zement-Bentonit-Injektionen über ein Verpreßfeld mit Manschettenrohren. Die eingebrachte Feststoffmenge betrug 307 t. Bis etwa km 58,644 (Grenze Röt/Muschelkalk) erfolgte der weitere Vortrieb mit einer temporären Kalottensohle.

Im Bereich geringer Tunnelüberdeckung in quartärem Lockergestein (um km 58,504) wurde die Firste mittels langer Injektionsrohrspieße gesichert. Mit Hilfe einer Verrohrung des Bachlaufes in der oberhalb befindlichen Geländedepression sollte der Durchfeuchtung des Deckgebirges entgegengewirkt werden.

Der Gegenvortrieb von Nord nach Süd erfolgte auf 36,5 m Länge zunächst im Schutze eines gewölbten Stahlbetondeckels (Kärntner Deckel). Jenseits des Deckels ereignete sich beim Vortrieb im mürben Keupergestein bei km 58,1295 ein Deckgebirgsnachbruch in der Position einer tektonischen Spezialmulde mit konzentrierter Wasserführung. Der Einbruchtrichter wurde mit

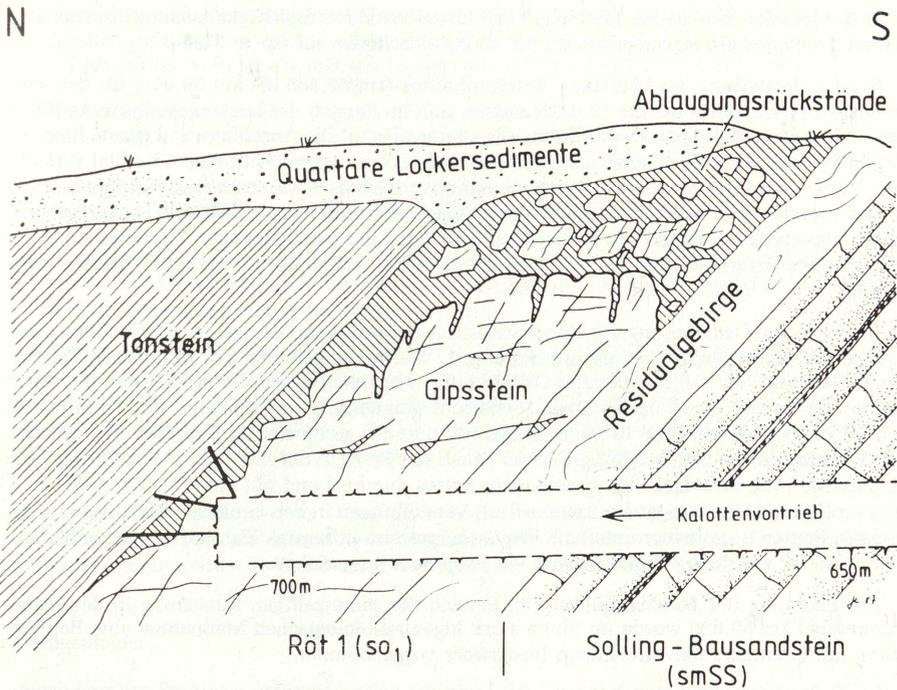


Abb. 5: Gipsablaugung im Oberen Buntsandstein des Hellebergtunnels.

bewehrtem Spritzbeton gesichert und das umgebende Gebirge mittels Zement-Bentonit-Injektionen (260 t) vergütet. Außerdem wurde versucht, das Gebirge mit Vakuumlanzen von unter Tage und mittels Vakuumbrunnen vom Gelände aus zu entwässern.

Der Suche nach möglichen Subrosions Hohlräumen unter der Tunnelsohle dienten feinseismische Messungen nach dem Geosonar-Verfahren in den Abschnitten

km 58,964 bis km 58,764 und
km 58,447 bis km 58,267.

Die flachseismischen Messungen lieferten, wie schon die Befunde an der Geländeoberfläche, keine Hinweise auf Inhomogenitäten im Gebirge, so daß eine nähere Erkundung mittels Bohrungen unterbleiben konnte.

Zum Zwecke der Vorentwässerung im Portalbereich des nördlichen Voreinschnittes (km 58,00 bis km 59,654) wurde eine obere Reihe von Vakuumlanzen im Abstand von 1,50 m gebohrt. Nach Ablauf einer Vorentwässerungszeit von 14 Tagen begannen die Aushubarbeiten. Beim Aushub wurde festgestellt, daß im östlichen Bereich der Deckelbaugrube Wasser zufließte. Daraufhin wurde eine zweite Lanzenreihe gesetzt.

Mit dem Ziel einer dauerhaften Entwässerung des im wassergesättigten Zustand fließfähigen Lößbodens sind auf der Ost- und der Westböschung des nördlichen Voreinschnittes Sickerschlitzte (Breite: 1,50 m; Tiefe: 2,00 m) im Abstand von ca. 15 Metern angeordnet. An der Lößbasis wurden örtlich Sickerpackungen eingebaut.

Im Sohlbereich erfolgte zur Erzielung einer ausreichenden Tragfähigkeit analog zum benachbarten Erdbaulos ein Bodenaustausch mit Kalksteinschotter auf 0,5 m Tiefe.

Bei der Herstellung des südlichen Voreinschnittes (km 59,585 bis km 59,950) für den südlichen Tunnelanschlag bei km 59,6225 zeigten sich im Bereich der Lockergesteinsdecke Fließerscheinungen auf der bereits profilierten Böschungsfäche. Die Anschlagwand querte hier den Einflußbereich eines Bachlaufes, der nordöstlich des Voreinschnittes in einem Kerbtal verläuft. Zur Vermeidung des für die Instabilitäten verantwortlichen Wasserzustroms wurde der Bachlauf in ausreichender Entfernung oberhalb mittels einer Rohrleitung gefaßt. Die Lockergesteinsböschung wurde mit einer Fußvorschüttung fixiert und der bergmännische Tunnelanschlag im anstehenden Festgestein von Stat. km 59,6225 nach Stat. km 59,6470 (Firstpunkt) bergauswärts verlegt.

An der hohen Ostböschung des Voreinschnittes entstanden im Gefolge der Lösearbeiten unerwünschte oberflächliche Gebirgsauflockerungen. Die Gesamtstabilität der im unteren Teil mit einer Neigung von 1:0,5 geplanten Ostböschung war dadurch jedoch nicht gefährdet, auch wenn sich bei km 59,890 nach starken Niederschlägen entlang von Störungs- und Klufflächen ein lokaler Nachbruch über 13 Meter Länge (ca. 350 m³) ereignete. Im Interesse einer leichteren Wartung der großen Böschungsfächen wurde das Profil in der Zeit vom 23.6.1986 bis Ende September 1986 innerhalb des anstehenden Felses durchgehend mit einer Neigung von $n = 1:1$ profiliert (Abflachungen im unteren Teil, Versteilungen in den zunächst mit $n = 1:1,8$ geneigten Partien unmittelbar unterhalb des Lockergesteinsauflagers). Zur Aufnahme nachfallenden Gesteins wurde am Böschungsfuß ein Fangraum eingerichtet.

Zur Fixierung der Bodenauffüllung im Bereich der seinerzeitigen Rutschung in der Ostböschung bei km 59,890 wurde im Sinne einer ingenieurbiologischen Maßnahme eine Bepflanzung mit besonders tiefwurzelndem Buschwerk vorgenommen.

Im Dezember 1988 zeigten sich in der zunächst im Verhältnis $n = 1:1$ geneigten Westböschung starke Auflockerungen. Bei km 59,800 kam es zu einer schmalen und flachen Ausrutschung hangauswärts geneigter und am Fuß nicht ausreichend abgestützter Gesteinspakete. Im Februar 1989 wurde die Westböschung zwischen km 59,740 und dem südlichen Baulosende hinter einem 2 m breiten Fangraum auf eine Neigung $n = 1:1,5$ abgeflacht.

3.6 W a d e n b e r g t u n n e l

Allgemeines

Der Wadenbergtunnel (Portalfußpunkte km 60,559 und km 60,979) durchfährt von Norden nach Süden auf insgesamt 420 m Länge den Wadenberg zwischen Mahmilchtal und Gandetal westlich von Bad Gandersheim (Taf. 1).

Der bergmännische Anschlag erfolgte am 6. 10. 1986 bei km 60,620; der Durchschlag des vollständigen Profils am 5. 5. 1987 bei km 60,955. Im Zusammenhang mit Standsicherheitsproblemen der Westböschung des Voreinschnittes wurde der Tunnel um 44 m (4 Blöcke) in offener Bauweise nach Norden verlängert.

Der bergmännisch vorgetriebene Teil des Wadenbergtunnels ist auf 5 Blättern im Maßstab 1:100 ingenieurgeologisch dokumentiert worden.

Geologie

Der Wadenbergtunnel durchörtert auf seiner gesamten Länge Gesteine des Unteren Muschelkalk.

Aufgrund einer flexurartigen Aufwölbung und örtlich zu beobachtenden Vertikalversatzes an tektonischen Störungen wurden einzelne Schichtglieder wiederholt aufgefahren. Es sind dies in der Reihenfolge vom stratigraphisch Hangenden zum Liegenden (Taf. 10):

die Schaumkalkbänke (muS)	km 60,945 bis km 60,955
der Wellenkalk 3 (muW3)	km 60,620 bis km 60,800
	km 60,860 bis km 60,955
die Terebratelbanke (muT)	km 60,620 bis km 60,955
der Wellenkalk 2 (muW2)	km 60,620 bis km 60,895

Im Firstbereich des Tunnels, dessen Überdeckung zwischen 10 m und 28 m beträgt, macht sich die relative Oberflächennähe bemerkbar. Die Gelbkalke sind hier teilweise zu einem tonigen Schluff weicher bis steifer Konsistenz zersetzt.

Im nördlichen Tunnelabschnitt bis etwa km 60,800 fallen die Schichten mit Neigungen von $\alpha = 15^\circ$ bis 25° im wesentlichen nach Osten ein. Jenseits einer tektonisch bedeutsamen Störung mit geringem Vertikalversatz, vermutlich aber einem erheblichen Horizontalverschiebungsbeitrag, herrscht flaches Schichtfallen ($\alpha < 10^\circ$) in westliche Richtungen vor. Die Großklüfte streichen überwiegend in NW-SE-Richtungen. Untergeordnet kommen auch tunnelachsparallele N-S-Klüfte vor (vgl. Abb. 4).

Die angefahrenen tektonischen Störungen orientieren sich an den Hauptkluftrichtungen. Sie sind im mittleren Tunnelabschnitt zwischen km 60,710 und km 60,800 als den Querschnitt durchsetzende mylonitische und brekziöse, bis 1,0 m breite Zonen erkennbar.

Hydrogeologie

Nachdem der Bergwasserspiegel in den während der Voruntersuchungen abgeteufte Bohrungen nur im Bereich der maximalen Überdeckung knapp über der Firste gemessen wurde, erwies sich das beim Vortrieb aufgefahrne Gebirge durchweg als trocken. Schichtwasserausstritte konnten nicht festgestellt werden; lediglich bei Baustation 159 (km 60,779) trat entlang einer mylonitisierten Störungsbahn schwaches Tropfwasser aus.

Sonderbaumaßnahmen

Das Gebirge erwies sich hinsichtlich der Vortriebsarbeiten als problemlos und in bezug auf seine Trageigenschaften als standsicher. Dadurch war es möglich, die Kalotte bis Baustation 279 voreilen zu lassen, ehe ein zeitgleich laufender Strossenvortrieb nachgezogen wurde. Die Setzungen waren insgesamt, auch in den Abschnitten mit tektonischen Störungen, gering.

Im Bereich einer die Tunnelachse querenden, oberflächennah verlegten Gasleitung im Südteil des Tunnels wurden vor, während und nach dem Unterfahren unbedenkliche Oberflächensetzungen bis max. 10 mm gemessen.

Aufgrund lokaler Schichtverteilungen in der Westböschung des nördlichen Voreinschnittes (km 60,500 bis km 60,654) wurden im Zusammenhang mit dem Standsicherheitsnachweis die Gebirgskennziffern überprüft. Es wurden Gesteinsproben entnommen und Klufscherversuche durchgeführt. Der Reibungswinkel auf den Scherflächen (Schichtflächen) wurde mit $\psi = 24^\circ$ ($c' = 0$) ermittelt. Zwischen km 60,565 und km 60,603 war bei hangauswärtigen Schichtneigungen von $\alpha = 20^\circ$ bis 25° , teilweise glatter Schichtoberfläche und tonigen Belägen die Standsicherheit der Westböschung nicht nachzuweisen. Für den Bauzustand wurden hier die folgenden, temporären Sicherungsmaßnahmen durchgeführt:

- SN-Anker ohne Vorspannung, Länge $l = 8$ m in den oberen 9 Lagen
- 50 Mp-Freispiellanker in den unteren 6 Lagen bis zur Baugrubensohle.

Die für den Endzustand erforderliche Sicherheit wurde erreicht, indem der Portalfußpunkt von Stat. km 60,603 in nördlicher Richtung bis Stat. km 60,559 verschoben und der Tunnel zur Überbrückung des instabilen Abschnittes um vier Blöcke (44 m) nach Norden verlängert wurde.

Die Portalhinterfüllung erfolgte überwiegend mit gebrochenem, lagenweise verdichtetem Muschelkalkmaterial, das jedoch nicht in ausreichender Menge zur Verfügung stand. Deshalb wurden die oberen 3 bis 4 Meter mit Löß angefüllt. Nachdem im Gefolge starker Niederschläge Mitte Dezember 1988 bei km 60,513 eine Lößrutschung aufgetreten war, zeigte sich im Januar 1989 in der Lößdecke des gesamten Voreinschnittes, insbesondere im Bereich der Portalhinterfüllung, eine starke Wassersättigung mit der Tendenz zum Bodenfließen. Zur Stabilisierung wurde die Lößdecke bis $b = 7,00$ m hinter der Böschungskante umlaufend abgetragen und durch gebrochenes Buntsandsteinmaterial aus dem südlichen Voreinschnitt des Helleberg隧nells ersetzt.

3.7 Hopfenbergtunnel

Der Hopfenbergtunnel (Portalfußpunkte km 63,429 und km 64,190) durchfährt auf insgesamt 761 m Länge den Hopfenberg nahe der Ortschaft Kreiensen südwestlich von Bad Gandersheim.

Der bergmännische Vortrieb erfolgte zwischen April 1986 und April 1987. Der Tunnel wurde vom südlichen Anschlagpunkt bei km 64,1785 in nördlicher Richtung aufgefahren. Im Zusammenhang mit Standsicherheitsproblemen im nördlichen Voreinschnitt wurde der Tunnel im Anschluß an den bergmännischen Durchschlag bei km 63,440 um 44 m (4 Blöcke) nach Norden in offener Bauweise verlängert.

Der bergmännisch vorgetriebene Teil des Hopfenbergtunnells ist auf 10 Blättern im Maßstab 1:100 ingenieurgeologisch dokumentiert.

Geologie

Der Hopfenbergtunnel durchörtert von Süden nach Norden Gesteine des Unteren, Mittleren und Oberen Muschelkalk. Durch die tektonisch gestörte Abfolge im südlichen Tunnelabschnitt wird der stratigraphische Grenzbereich Unterer/Mittlerer Muschelkalk wiederholt angefahren (Taf. 11).

In der Reihenfolge vom stratigraphisch Hangenden zum Liegenden verteilen sich die einzelnen Schichtglieder im Tunnel wie folgt:

Oberer Muschelkalk

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| — Ceratitenschichten (mo2) | km 63,440 bis km 63,596 |
| — Trochitenkalk (mo1) | km 63,552 bis km 63,717 |

Mittlerer Muschelkalk (mm)

km 63,588 bis km 64,129

Unterer Muschelkalk

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------------------------|
| — Schaumkalkbänke (muS) | km 63,981 bis km 64,020
km 64,082 bis km 64,1785 |
| — Wellenkalk 3 (muW3) | km 64,134 bis km 64,1785 |

Die Schichten fallen im gesamten Tunnel überwiegend flach (3° bis 10° , ausnahmsweise auch 15° bis 20°) nach NNE ein. Lediglich in Bereichen flexurartiger Verbiegungen wurde südliches Einfallen gemessen. Die Großklüfte sind überwiegend diagonal zur Tunnelachse in

NE-SW-Richtungen orientiert. Zusätzlich wurden ortsbrustparallele E-W-Klüfte registriert (vgl. Abb. 4).

Die Störungen streichen ausnahmslos NE-SW bzw. WNW-ESE. Sie sind als den Querschnitt durchsetzende, teilweise mylonitisierte, cm bis 5 m (km 64,082) breite Zonen erkennbar. Der Vertikalversatz an diesen Störungen reicht von wenigen Dezimetern bis über 10 m.

Hydrogeologie

Vor Beginn der Bauarbeiten wurden Grundwasserstockwerke in verschiedenen Niveaus festgestellt, die untereinander über Klüfte und Verwerfungen in Verbindung stehen. Der Druckspiegel lag nur in einem kleinen Teil des Tunnels geringfügig über dem Niveau der Strecke.

Beim Vortrieb waren weite Strecken des Tunnels bergfeucht mit unregelmäßig verteilten Tropfwasserausstritten, die sich zum Teil im Gefolge von Niederschlägen verstärkten.

Fließwasser in der Größenordnung 0,1—0,5 l/s, örtlich mit der Tendenz zum Leerlaufen, war zunächst entweder an tektonische Störzonen (km 63,960) oder lokale Wasserleiter (Zellenkalk bei km 63,800) gebunden.

Mit dem Einsetzen der oberflächennah zerrütteten Ceratitenschichten traten dem Tunnel durchgehend Fließwässer in der o. g. Menge zu.

Unterhalb des gut geklüfteten, sehr gut durchlässigen, beim Vortrieb durchweg trockenen Trochitenkalks waren einzelne Schlufftaschen und -linsen im Residualgebirge wassergesättigt.

Sonderbaumaßnahmen

Während des Vortriebs im Residualschluff des Mittleren Muschelkalk traten bei Baustation 237,50 (km 63,941) unvermittelt hohe Kalottensetzungen (5 cm in 8 Stunden) auf. Mit Hilfe einer temporären Kalottensohle und Injektionen unter den Kalottenfüßen konnten die Bewegungen zum Stillstand gebracht werden.

Zur Vergütung des Untergrundes wurden mit weichem Residualschluff gefüllte Abschnitte im Sohlbereich bis 4 m tief im Sinne eines Bodenaustausches durch Magerbeton ersetzt. Um innerhalb des Residualgebirges einen schnellen Ringschluß ohne die problematische Reaktivierung von Lastumlagerungen im Gebirge zu erzielen, wurde der Kalottenvorlauf auf 40 m begrenzt. In der Regel wurden Strosse und Sohle sogar im Abstand von 25 m nachgezogen. Wegen der dennoch aufgetretenen hohen Nachsetzungen wurden zwischen Baustation 219 und 245 (km 63,9595 und km 63,9335) in der Sohle Zementinjektionen über 6 m lange Manschettenrohre durchgeführt.

Der Gipsstein, der im Hopfenbergtunnel örtlich eine Mächtigkeit von 30 m erreicht, weist Lösungshohlräume z. T. erheblicher Dimensionen auf. So wurde im Zuge des Strossenvortriebs bei km 63,868 eine Höhle angefahren (Taf. 2, Bild 1). Die begehbare Höhle verlief ca. 2 Meter westlich der Tunnellaubung, querte den Tunnelquerschnitt bei km 63,848 (= Baustation 330) und erstreckte sich 5 Meter östlich des Tunnels noch ca. 20 Meter nach Norden (Abb. 6; vgl. GEISSLER 1987). Aus dem möglichen Nachbruch des Deckgebirges über derartigen Hohlräumen resultiert das Erdfallrisiko im Trassenbereich des Hopfenbergtunnels. Zeichen der Erdfalltätigkeit in diesem Gebiet sind die beim Vortrieb angefahrenen Erdfallschlotfüllungen sowie die trichterartigen Eintiefungen im Gelände über dem Tunnel. Der Mittelbereich der Gipshöhle bei km 63,848 wurde mit Strosse und Sohle überfahren, nachdem zuvor der tunnelparallele Westteil mit 185 m³ Dämmaterial verfüllt worden war. Der Ostabschnitt des Hohlraumes wurde anschließend mit 110 m³ Verfüllgut versetzt. Zur Vergütung des Untergrundes in der Nachbar-

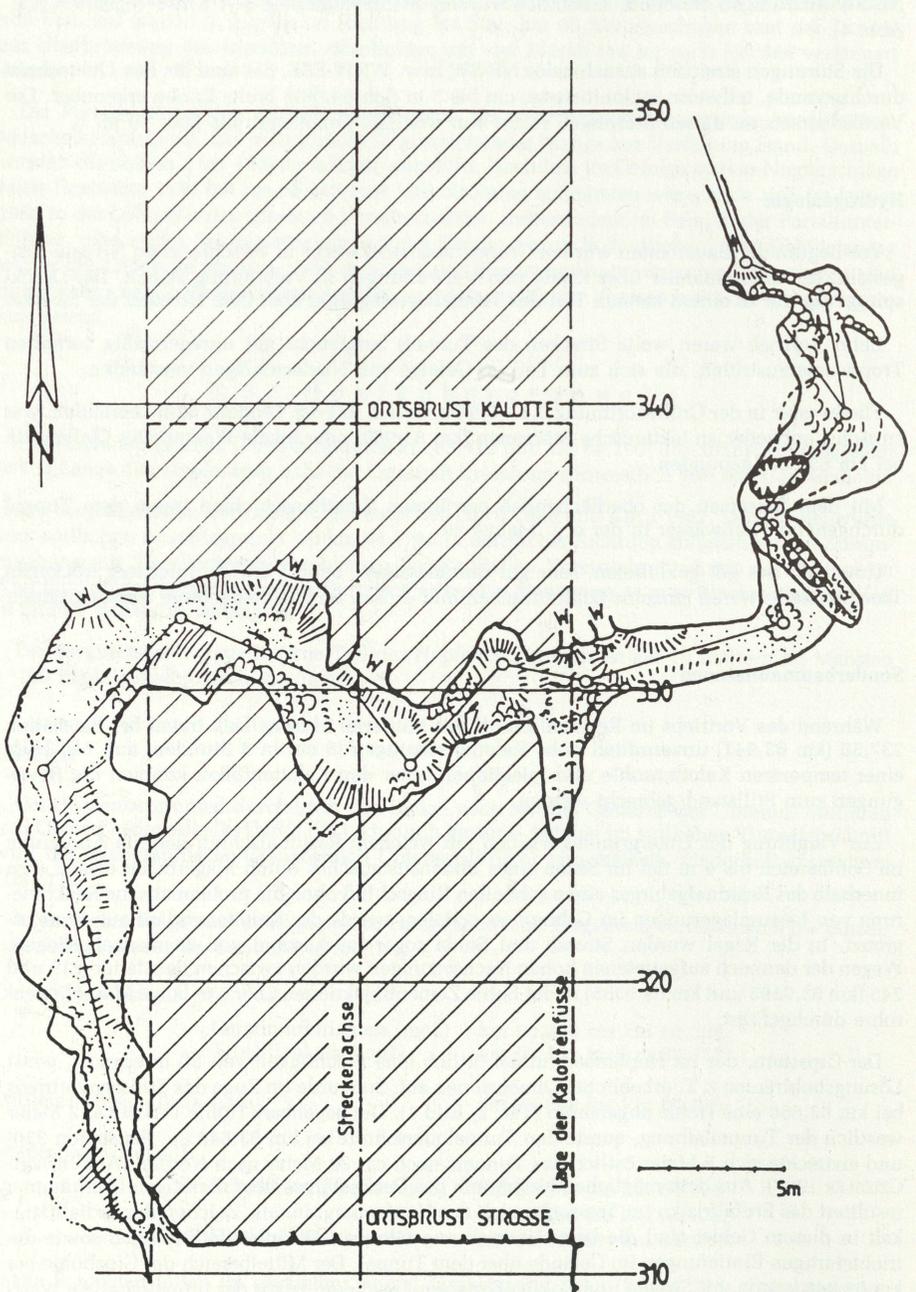


Abb. 6: Lageplan einer Laughöhle im Hopfenbergtunnel.

schaft der Höhle wurden zwischen den Baustationen 310 und 350 (km 63,868 und km 63,828) Sohle und untere Ulmen mit einer Zementsuspension über Manschettenrohre verpreßt.

An den folgenden Stationen konnte das Sollprofil aufgrund geologischer Schwächezonen beim Ausbruch nicht eingehalten werden:

Baustation 197 bis 202 (km 63,9815—km 63,9765)	102 m ³ Nachbruch zwischen Firste und östlichem Kämpfer durch Auslaufen einer wassergesättigten Schlufflinse
Baustation 421 bis 427 (km 63,7575—km 63,7515)	52 m ³ Mehrausbruch im westlichen Kämpfer in der Nachbarschaft einer tektonischen Störung
Baustation 672 bis 674 (km 63,5065—km 63,5045)	30 m ³ Nachbruch innerhalb der oberflächennah zerrütteten Ceratitenschichten

Zur Überprüfung von Hinweisen (Inhomogenitäten im Gebirge), die sich aufgrund geophysikalischer Untersuchungen zur Hohlräumerkundung ergeben hatten, wurden zwischen km 63,9405 und km 63,9095 sowie zwischen km 63,8635 und km 63,8555 von der Tunnelsohle aus insgesamt 4 Kernbohrungen abgeteuft. Hohlräume wurden nicht gefunden.

Der Bodenaushub für den nördlichen Voreinschnitt (km 63,300—km 63,525) wurde am 6. 10. 1986 in einer Schönwetterphase ohne die vertraglich vorgesehene, ausreichende Vorentwässerung begonnen. Nach einer Arbeitsunterbrechung am 17. 10. 1986 wegen starker Niederschläge, bis dahin waren ca. 40 000 m³ ausgehoben, kam es am 27. 10. 1986 zu einer ersten Rutschung, die sich von der westlichen Voraushubböschung bis zur Stirnböschung des Portalkessels fortsetzte. Es erfolgten lokale Sanierungsmaßnahmen. Bis zum 22. 1. 1987 war dann ein ca. 5 m tiefer Drainschlitz an der Böschungsschulter, der nach Erreichen der Aushubsohle über Sickerstützscheiben an die Fußentwässerung angeschlossen werden sollte, fertiggestellt. Er erreichte jedoch nicht überall, wie es geplant war, die Quartärbasis. Noch ehe die an diesen Stellen beobachteten Wasseraustritte mittels Querschlägen an die Sickerstützscheiben angeschlossen waren, und nachdem der Aushub am 26. 2. 1987 die Felsoberfläche erreicht hatte, traten an der Stirnböschung und auf der Westseite des Portalkessels Risse mit bis zu 50 cm Öffnungsweite auf. Die östliche Böschung wies im Löß flache Oberflächenrutschungen auf.

Ende September 1987 waren Aushub, Sickergräben im Abstand von 15 m und ein Stützfuß fertiggestellt. Abweichend vom nördlich benachbarten Erdbaulos wurden die Sickergräben aus ökonomischen Erwägungen nicht mit Leinekies, sondern mit Ausbruchmaterial vom Wadenbergtunnel (Unterer Muschelkalk) gefüllt. Aufgrund erheblicher Festigkeitsunterschiede der im Sohlbereich anstehenden Boden- und Felshorizonte erfolgte (ebenfalls mit Wadenbergmaterial) ein Bodenaustausch zwischen Station km 63,300 u. km 63,350 von 1,50 m Tiefe und zwischen Station km 63,350 u. km 63,500 von 1,00 m Tiefe.

Mitte Januar 1989 kam es in der Ostböschung bei km 63,350 zu einer Rutschung zwischen zwei Sickerstützkörpern. Die Abrißkante befand sich etwa in halber Böschungshöhe. Die Sanierung erfolgte durch Bodenaustausch mit gebrochenem Material 5/70 mm.

Mit dem Ziel einer möglichst flachen Böschungsgestaltung über dem Tunnelportal wurde der Tunnel um vier Blöcke (44 m) nach Norden verlängert. Dabei ergibt sich für die Portalhinterfüllung in Nord-Süd-Richtung eine Geländeneigung von ca. $n = 1:4$. Die temporäre Anschlagswand im Portalkessel hatte eine konstruktive Sicherung mit Spritzbeton (10 cm) und SN-Ankern ($l = 4$ m). Zur Entwässerung des Löß wurden auch hier Sickerschlitze und Quersickerscheiben eingebaut. Ein umlaufender Drainschlitz, der beidseits in den ersten (südlichsten) Sickerschlitz eingeführt wird, nimmt das über die Ackerdrainagen zugeführte Wasser auf. An der Quartärbasis ist bereichsweise ein Stützkörper, bestehend aus Ausbruchmaterial des Wadenbergtunnels, vorgeschüttet.

3.8 Sohlbergtunnel

Allgemeines

Der Sohlbergtunnel quert im Gebiet der Gemeinde Kreiensen auf 1729 m Länge die Nordflanke des Ahlshäuser Buntsandstein-Gewölbes. Die maximale Überdeckung hat der Tunnel mit 76 m in seinem südlichen Abschnitt.

Der Sohlbergtunnel wurde durchgehend in bergmännischer Bauweise hergestellt. Die Vortriebsarbeiten begannen Anfang Juni 1984 mit dem Hauptvortrieb (steigend) im Norden. Am 25. 8. 1985 erfolgte der Kalottendurchschlag bei der Baustation 1659,5 m. Die Ausbrucharbeiten der Strosse waren im November 1985 beendet.

Die Vortriebsstationierung schreitet entsprechend der Hauptvortriebsrichtung von Norden nach Süden fort. Die Baustation 0 liegt bei km 66,6755.

Der bergmännisch vorgetriebene Sohlbergtunnel ist auf 21 Blättern im Maßstab 1 : 100 ingenieurgeologisch dokumentiert.

Geologie

Der Sohlbergtunnel durchörtert von Norden nach Süden die Gesteine des Mittleren Buntsandstein an der ungestörten Nordflanke der Ahlshäuser Buntsandsteinaufwölbung vom Hangenden zum Liegenden und zwar (Taf. 12)

- die mittleren und tieferen Schichten der Solling-Folge
- die gesamte Hardegsen- und Detfurth-Folge sowie
- die höheren und mittleren Teile der Volpriehausen-Folge.

Volpriehausen-Folge (km 67,395 bis km 68,350)

Der Basissandstein (smVS) und die tieferen Partien der Wechselfolge (smVW) wurden im Sohlbergtunnel nicht mehr aufgeschlossen. Die Schichtfolge beginnt am Fußpunkt des Südporthals etwa 45 m über der Grenze Unterer/Mittlerer Buntsandstein in der Volpriehausen-Wechselfolge.

Detfurth-Folge (km 67,005 bis km 67,492)

Die Detfurth-Folge wird gegliedert in:

Detfurth-Wechselfolge (smDW)	km 67,005 bis km 67,348
Detfurth-Sandstein (smDS)	km 67,254 bis km 67,492

Hardegsen-Folge (km 66,915 bis km 67,080)

Solling-Folge (km 66,675 bis km 66,990)

Die Gliederung der Solling-Folge erfolgt vom Hangenden zum Liegenden in

Solling-Bausandstein (smSS):	23,5 m im Tunnel erschlossen
Rote Basisschichten (smST2):	11,0 m
Graue tonige Basisschichten (smST1):	6,5 m
Basissandstein (smSB):	1,5 m

Die Schichtlagerung ist im nördlichen Portalbereich bis in die Mitte des Tunnels sehr gleichmäßig mit Fallwerten von etwa 10° bis 12° nach NNE. Sie wird dann allmählich flacher bis zu Werten von 5° nach NNE. Im südlichen Portalbereich fallen die Schichten wieder mit etwa 10° nach NNE. Die Streichrichtung liegt sehr konstant bei etwa 110° .

Die gleichmäßige Schichtabfolge des Sohlbergtunnels wird durch zwei gestörte Bereiche unterbrochen:

Zwischen Station 150 (km 66,8255) und 160 (km 66,8355) versetzt eine Abschiebung (110/70 SSW) mit einem Versatzbetrag von 9 m Gesteine der nördlichen Hochscholle gegen die Gesteine in der südlichen Tiefscholle. Etwa 6,5 m Mylonit markieren die Gleitbahn. Die Gesteine der Hochscholle sind von der Störung infolge von Schichtumbiegen hinsichtlich ihrer Festigkeitseigenschaften negativ beeinflusst. Durch eine kleine Quertalung ist die Störung an der Oberfläche zu identifizieren.

Von Station 965 (km 67,6405) bis 1005 (km 67,6805) wurde ein tektonisch stark beanspruchtes Gebirgsstück gequert. Zwischen einer nördlichen Hauptstörung (120/70 SW) mit 6,3 m Abschiebung der südlichen Scholle und einer südlichen Hauptstörung (150/90) mit 17 m Abschiebung der nördlichen Scholle ist ein tektonischer Graben ausgebildet. Der Internbau dieser kleinen Grabenscholle ist durch weitere Störungen und lokale Schichtverteilungen zusätzlich kompliziert. Die Versatzbeträge der einzelnen Störungen konnten anhand der Feinstratigraphie der Volpriehausen-Wechselfolge zweifelsfrei ermittelt werden.

Eine kleinere Störung mit 0,5 m Versatz wurde bei Station 1170 (km 67,8455) durchfahren. Großklüftung tritt im Solling-Bausandstein (smSS) in Form von offenen bzw. verlehnten Hangzerreißungsspalten mit Öffnungsweiten bis 50 cm auf (vgl. Taf. 4, Bild 2). Innerhalb der Volpriehausen-Wechselfolge (smVW) war eine engständige Scharung der Großklüfte zu beobachten:

Station 1095—1125 (km 67,7705—km 67,8005) Streichrichtung 140°

Station 1280—1300 (km 67,9555—km 67,9755) Streichrichtung 170°

Station 1340—1375 (km 68,0155—km 68,0505) Streichrichtung 150°

sowie in der Nähe des Südportals, wo offene und verlehnte Klüfte vorherrschen.

Die Großklüfte im gesamten Sohlbergtunnel sind überwiegend in der NW-SE-Richtung orientiert.

Hydrogeologie

Der Grundwasserspiegel liegt nur im zentralen Abschnitt des Tunnels geringfügig oberhalb der Strecke, überwiegend jedoch darunter. Die aus dem Gebirge zusitzenden Wassermengen sind gering. Aus dem Umfeld der Störung zwischen Station 150 und 160 (km 66,8255 und km 66,8355) läuft dem Tunnel etwa 1 l/s zu. Die Wasserzutritte halten nach Süden bis etwa Station 270 (km 66,9455) an, folgen den höheren und mittleren Abschnitten der Schichtfolge von smST1 und laufen mit ihr zur Firste hin aus dem Tunnelprofil. Das Maximum der mit in Summe 1 bis 2 l/s anzusetzenden Wassermenge kommt bemerkenswerterweise aus den Tonsteinen (smST1), wo infolge engständiger Schichtung und Kleinklüftung offenbar genügend Wasserwege vorhanden sind.

Im Bereich der eingesunkenen Grabenscholle fließt örtlich etwa 0,1 l/s zu, als Summe des gesamten Bereiches etwa 1 l/s. Die übrigen Tunnelabschnitte sind normal bergfeucht.

Sonderbaumaßnahmen

Im nördlichen Voreinschnitt (km 66,600—km 66,680) wurden im anstehenden Gebirge Hangzerreißungsspalten mit Öffnungsweiten bis 50 cm festgestellt. Sie wurden mit dem Ziel einer kraftschlüssigen Verspannung des Gebirges im Hangenden des Tunnelleingangsbereiches in der Zeit vom 12.—14. 6. 1984 mit insgesamt ca. 20 m³ Beton verfüllt. In der nördlichen Anfangsstrecke des Tunnels (Station 0—70 bzw. km 66,6755—km 66,7455) erfolgte der Kalottenvortrieb in den tiefsten kompakten Sandsteinbänken der Solling-Folge. Besondere Erschwernis bildeten auch hier offene Klüfte infolge intensiver Hangzerreißung. Klüfte in dm- bis m-Abständen bewirken eine Separierung von Kluffkörpern im First- und Kämpferbereich.

Bei Station 9—14 (km 66,6845—km 66,6895) lösten sich die kompakten Sandsteinbänke unterhalb eines 1—2 m über der Firste verlaufenden dünnen Ton-/Schluffsteinbandes (Mehrausbruch).

Bei Station 149 (km 66,8245) ereignete sich während des Stellens von Kalottenbogen 141 ein größerer Nachbruch von 5 m Höhe im westlichen Firstbereich. Eine nahezu quer zur Tunnelachse verlaufende, 70° nach SSW einfallende Störung wurde hier, aus der stark aufgelockerten Hochscholle kommend, unterfahren. Aus dem über der Firste lagernden stückig-blockigen Bausandstein erfolgte der Nachbruch in der Auflockerungszone der Störung. Die oberflächennahe Verwitterung reichte bei nur 18 m Überdeckung bis in den Tunnelquerschnitt. Der Vortrieb mit betonierter Kalottensohle und Stützkern erfolgte vorübergehend im Schutz eines Injektionschirmes.

3.9 Krieberg tunnel

Allgemeines

Mit einer Länge von 2960 m quert der Krieberg tunnel die Südflanke des Ahlshäuser Buntsandstein-Gewölbes (TK 25: 4225, Northeim West). Er unterfährt ein im südlichen und nördlichen Teil landwirtschaftlich genutztes Gelände und ein Waldgebiet im mittleren Teil, den Osthang des Krieberges. In diesem mittleren Teil wird mit etwa 83 m die größte Überlagerungshöhe erreicht. In der südlichen und vor allem in der nördlichen Eingangsstrecke ist die Überlagerungshöhe mit 10—20 m sehr gering.

Der bergmännische Vortrieb erfolgte über 2490 m; 470 m wurden im Norden in offener Bauweise errichtet. Die Vortriebsstationierung schreitet entsprechend der Hauptvortriebsrichtung von km 72,3916 (= Baustation 0) nach Norden voran. Die Vortriebsarbeiten begannen im Süden im Juni 1984 und im Norden bei km 69,9350 im Dezember 1984. Durch einen Verbruch im Gegenvortrieb am 17. 2. 1986 verzögerte sich der endgültige Durchschlag, der dann mit dem Ausräumen des Verbruchkörpers im April 1987 erfolgte.

Der bergmännisch aufgefahren Teil des Krieberg tunnels ist auf 32 Blättern im Maßstab 1:100 ingenieurgeologisch dokumentiert.

Geologie

Der Krieberg tunnel ist aus geologischer Sicht gekennzeichnet durch einen südlichen Eingangsbereich (Tunnelmeter 0—140 bzw. km 72,3916 bis km 72,2516) mit ganz bzw. teilweise im Ausbruchprofil vorhandenen Lockergesteinsablagerungen des Quartär, einen mittleren Teil (Tunnelmeter 140—2077 bzw. km 72,2516 bis 70,3146) in Gesteinen des Unteren und Mittleren Buntsandstein und den nördlichen bergmännischen Abschnitt (Tunnelmeter 2077—2490 bzw. km 70,3146 bis km 69,9016) mit Vortrieb in quartärzeitlichen Lockerablagerungen (Taf. 13).

Die ältesten Schichten wurden im Kriebertunnel bei der Baustation 1770 (km 70,6216) erreicht (Bernburg-Folge des Unteren Buntsandstein). Von diesem Punkt aus nach Süden erfolgt mit etwa 12° südsüdwestlichem Schichteinfallen der Übergang in jüngere Sedimente. In lückenloser Abfolge wurden aufgeschlossen: Oberste 45 m des Unteren Buntsandstein, die Gesteine des Mittleren Buntsandstein mit Volpriehausen-Folge, Detfurth-Folge, Solling-Folge. Mit einer Mächtigkeit von 27 m ist im Kriebertunnel die Detfurth-Wechselfolge bedeutend geringmächtig als im Sohlbergtunnel. Dies liegt an der direkten, erosiv-transgressiven Auflagerung der Solling-Folge unter Fortfall der Hardeggen-Folge. Unter der Solling-Folge bzw. der Hardeggen-Diskordanz fehlt im Kriebertunnel ein Schichtstoß von 24,5 m Mächtigkeit verglichen mit dem Sohlbergtunnel. Kurz über der Rötbasisbank (als der höchsten Lage des Mittleren Buntsandstein) endet die konkordante Abfolge. Das darüber liegende Rötgipslager wurde im Ulmenstollen Süd und im Voreinschnitt Süd zu stark verkarsteten Teilen angetroffen. Die nördlich von Tunnelmeter 1770 (km 70,6216) angetroffenen Festgesteinsbereiche stellen eine tektonische Wiederholung von Teilen der Volpriehausen-Folge dar.

Die einzelnen präquartären Schichtglieder verteilen sich im Kriebertunnel wie folgt:

Unterer Buntsandstein Bernburg-Folge (suB)	Stat. 1530 bis Stat. 1770 (km 70,8616 bis km 70,6216)
Mittlerer Buntsandstein Volpriehausen-Wechselfolge (smVW)	Stat. 720 bis Stat. 1440 (km 71,6716 bis km 70,9516) und Stat. 1770 bis Stat. 1990 (km 70,6216 bis km 70,4016)
Volpriehausen-Sandstein (smVS)	Stat. 1400 bis Stat. 1580 (km 70,9916 bis km 70,8116) und Stat. 1990 bis Stat. 2085 (km 70,4016 bis km 70,3066)
Detfurth-Wechselfolge (smDW)	Stat. 475 bis Stat. 660 (km 71,9166 bis km 71,7316)
Detfurth-Sandstein (smDS)	Stat. 610 bis Stat. 760 (km 71,7816 bis km 72,6316)
Solling-Folge (sm S)	Stat. 85 bis Stat. 510 (km 72,3066 bis km 71,8816)
Oberer Buntsandstein	Stat. 0 bis Stat. 160 (km 72,3916 bis km 72,2316))

Die mit dem Hauptvortrieb von Süden in gleichmäßiger Lagerung vom Hangenden zum Liegenden aufgefahrene Schichtenfolge (= S ü d s c h o l l e), im Mittel etwa 110/12 SSW raumorientiert, endet bei Tunnelmeter 1770 (km 70,6216). Zwischen Tunnelmeter 1770 und 1806 (km 70,6216 und 70,5856) wurde ein stark gestörtes, von Bewegungsbahnen, auch flacheren Gleitbahnen durchzogenes Gebirgsstück gequert. Das Gestein ist intensiv kleinklüftig zerlegt und engständig von harnischgestreiften Bewegungsflächen durchzogen.

Es schließt sich nach Norden zwischen Tunnelmeter 1806 und 1955 (km 70,5856 und km 70,4366) und eine eingesunkene G r a b e n s c h o l l e an (mehr als 100 m gegen die Südscholle und mehr als 40 m gegen die Nordscholle verworfen). Die Schichten fallen hier nur mehr mit 2°—3° nach SSW ein. Zwischen den Tunnelmetern 1955 und 1990 (km 70,4366 und km 70,4016) schließt sich ein weiteres intensiv gestörtes Gebirgsstück an. Der Grad der tek-

tonischen Beanspruchung ist hier sehr ähnlich dem südlich der Grabenscholle anzutreffenden Störungsbereich. Im restlichen Festgesteinsabschnitt von Tunnelmeter 1990 (km 70,4016) bis zum Übergang in die quartärzeitlichen Lockergesteinsablagerungen bei Meter 2077 (km 70,3146) herrscht wieder eine sehr gleichmäßige Schichtlagerung vor (Nordscholle, im Mittel etwa 110/03 SSW). Innerhalb der Südscholle wurden etwa 20 weitere, zumeist kleinere Störungen durchfahren (Versatzbeträge dm bis wenige m). Hervorzuheben ist besonders eine Störung mit 8,5 m Versatzbetrag bei Tunnelmeter 1628 (km 70,7630). All diese Störungen haben tonige Mylonitbeläge von cm- bis wenige dm-Dicke, z. T. etwas breitere Auflockerungszonen und begleitende Klüfte. Der nördliche Abbruch der Südscholle bei Tunnelmeter 1770 (km 70,6216) ist mit einem 3—4 m breiten Störungsmylonit die intensivste Zerrüttungszone im gesamten Festgesteinsbereich des Tunnels.

Die wichtigsten Störungen sind streng herzynisch (Streichrichtung zwischen 110° und 130°) ausgerichtet. Nur im Südeil des Tunnels sind wenige Störungen mit anderen Streichrichtungen angetroffen worden. Mit der Annäherung an die Grabenscholle von Süden nach Norden erfolgt eine deutliche Drehung der Hauptkluftrichtungen.

Einen erheblichen Einfluß auf den Fortgang der Tunnelbauarbeiten hatten die bereichsweise anstehenden Lockergesteine, die deshalb hier — ergänzend zu Kap. 2 — noch einmal tunnelspezifisch näher beschrieben werden:

Quartärzeitliche Ablagerungen Kriberg-Süd

Der Vortrieb auf den südlichen 85 Tunnelmetern erfolgte zum größten Teil in quartärzeitlichen Lockergesteinsablagerungen über dem verkarsteten Röt-Gipsstein. Zwischen den Stationen 85 und 140 (km 72,3066 und km 72,2516) laufen diese Ablagerungen allmählich zur Firse des Tunnels aus dem Profil. Die quartärzeitlichen Sedimente bestehen zum größten Teil aus schwach tonigem, schwach sandigem Schluff. Bereichsweise ist der Sand in Linsen angeichert. Im höheren Teil des Profils ist abschnittsweise ein hoher kiesig-steiniger Anteil vorhanden (Muschelkalk- und Buntsandstein-Material), der bei Station 50 (km 72,3416) karbonatisch zementiert ist.

Bei den anstehenden Sedimenten handelt es sich um Residualbildungen im Grenzbereich zum Gips und um Fließerde-Ablagerungen mit verbreitet starker Beteiligung von Lößlehm, eventuell auch von Material hoher Leine-Terrassen. Die Sedimente sind mehr oder weniger deutlich schichtig, mit cm- bis m-Materialwechsellagen, und fallen durchgehend, zwischen den Stationen 25 und 45 (km 72,3666 und km 72,3466) im Randbereich tiefreichender Gipsauslaugung sogar steil bis sehr steil, nach Osten. Verbiegungen und Sackungen infolge Subrosion sind weitverbreitet. Die stärker bindigen Abschnitte zeigten beim Vortrieb zumeist steife Konsistenz. Mit steigender Korngröße ging das Material in einen aufgelockerten Verband mit schlechtem Kornzusammenhalt über.

Quartärzeitliche Ablagerungen Kriberg-Nord

Im Bereich der offenen Bauweise und zwischen Tunnelmeter 2077 und 2490 (km 70,3146 und km 69,9016) im nördlichen Teil des bergmännischen Tunnels liegt das Bauwerk ebenfalls innerhalb quartärzeitlicher Ablagerungen, die im Zentrum der nahezu kreisförmigen Ahlshäuser Buntsandstein-Aufwölbung eine mehr als 50 m mächtige Quartärfüllung über flach lagernden Festgesteinsschichten bilden. Die quartärzeitlichen Ablagerungen gliedern sich im Bereich des bergmännischen Vortriebs wie folgt:

- 1—4 m „Lößablagerungen“ aus Schluff, schwach sandig, sehr schwach tonig
- 20—23 m (nach Süden etwa bei Tunnelmeter 2130 an der Oberfläche auskeilend):
 Jüngere (= obere) Fließerdeablagerungen aus Schluff, schwach sandig, schwach bis sehr schwach tonig, lagenweise stark sandig und in Sandlinsen übergehend, lagenweise stark kiesig-steinig (Buntsandstein-Material).
 Mehrere Meter (im Zentrum der Struktur mit mehr als 30 m erbohrt, nach Süden auskeilend und schüsselförmig aufgebogen):
 Beckenablagerungen aus grauem Ton, im oberen Teil massig, kompakt, im tieferen Teil feinschichtig
- bis ca. 30 m (mit maximaler Verbreitung am Rande des ansteigenden Buntsandsteins):
 Ältere (= untere) Fließerdeablagerungen aus Schluff, sandig, sehr schwach tonig, mehr oder weniger kiesig und steinig.

In der unteren Mitte des Komplexes der jüngeren (= oberen) Fließerdeablagerungen findet sich ein in lockerem Zusammenhang befindliches System von Sandlinsen mit horizontaler Erstreckung der einzelnen Linsen im m- bis etwa 10 m-Bereich. Die Sandlinsen sind oft unscharf abgrenzbar, in den seltensten Fällen rein sandig (fein-mittelsandig), i. d. R. stark schluffig-sandig. Der Abstand dieses Sandlinsen-Niveaus zur Oberkante Beckenton ist mehr oder weniger konstant, um die 6—10 m, im Mittel etwa 8 m. Durch die schüsselförmige Lagerung des Beckentons ergibt sich gleichfalls eine schwach ausgebildete schüsselförmige Anordnung des Sandlinsen-Niveaus.

Die älteren Fließerden und Hangschutt-Sedimente liegen in den Randbereichen des Beckens dem Buntsandstein mit z. T. steilem Relief auf.

Hydrogeologie

Die hydrogeologische Situation vor dem Auffahren des Tunnels war dadurch gekennzeichnet, daß der Solling-Bausandstein mit seinen großflächigen obertägigen Ausstrichflächen einen weitgehend freien Grundwasserspiegel hatte, die tieferen Horizonte Detfurth- und Volpriehausen-Sandstein dagegen gespanntes Grundwasser mit Druckspiegelhöhen beträchtlich über der Tunnelfirste aufwiesen. Kluftgrundwasser mit ähnlicher Spiegelhöhe lief auch aus der Grabenscholle dem Tunnel zu. Während des Vortriebs wurden die gespannten Grundwässer auf das Niveau des Tunnels abgesenkt. Die Horizonte liefen gewissermaßen leer. Das fertige Bauwerk entwässert etwa 15 l/s zum Südportal.

Im einzelnen ergaben sich die folgenden Beobachtungen zur Wasserführung: Aus der Lockergesteinsüberdeckung des Südteils trat, verstärkt auf der Ostseite zwischen Tunnelmeter 30 und 40 (km 72,3616 und km 72,3516), unscharf abgrenzbar und flächig verteilt, Tropf- bis Fließwasser von max. 1 l/s zu. Der Gipskörper, dessen Karstwasserspiegel während der gesamten Bauzeit abgesenkt wurde, lieferte in seinen Randbereichen auf der Westseite zwischen Tunnelmeter 15 und 20 (km 72,3766 und km 72,3716 sowie bei Stat. 40 (km 72,3516) 0,5 bis 1,0 l/s. Die Tonigen Grenzschichten (smS4) waren stark durchfeuchtet. Im Solling-Bausandstein wurde bei Tunnelmeter 140 (km 72,2516) im östlichen Sohlbereich eine Kluftquelle mit 2 l/s aufgeschlossen. Die übrigen Teile des Solling-Bausandsteins waren normal bergfeucht. Aus den Basisschichten der Solling-Folge traten geringe bis mäßige Wassermengen zu, lokal 0,1—0,5 l/s.

Die Wasserführung in den übrigen Horizonten des Mittleren und Unteren Buntsandstein stellt sich wie folgt dar:

- smDW: Tropfwasser bis schwaches Fließwasser, nach unten zunehmend
- smDS: großflächig schichtige Wasserzutritte, örtlich 0,5 bis 1,0 l/s, stark auslaufend, konstante Dauermenge insgesamt etwa 2—3 l/s
- smVW: insgesamt wenig bis sehr wenig Tropfwasser bis schwaches Fließwasser aus Klüften; dicke Sandsteinlagen mit etwas Schichtwasser; im tieferen Teil sind einige Abschnitte nahezu normal bergfeucht. Kluftwasser etwa 1 l/s bei Tunnelmeter 780—800 (km 71,6116—71,5916) und aus stark klüftigem Bereich bei Tunnelmeter 1260 (km 71,1316) in den Schichten der Grabenscholle (Stat. 1806 bis 1955 bzw. km 70,5856 bis km 70,4366) starke Kluftwasserführung mit mehreren l/s, besonders bei Tunnelmeter 1845 und 1880 (km 70,5466 u. km 70,5116); auf Dauer zwischen 5 und 10 l/s
- smVS: großflächig schichtige Wasserzutritte etwas größerer Intensität als im smDS, lokal bis 3 l/s, stark auslaufend; konstante Dauermenge etwa 3—5 l/s in den smVS-Schichten der Nordscholle nur Tropfwasser aufgrund des dort sehr kleinen Einzugsgebietes
- suB: schwaches bis sehr schwaches Tropfwasser

Die beiden Störungszonen nördlich und südlich der Grabenscholle ergaben mäßige bis starke Tropfwasserzutritte. Die vielfach verlehnten, mylonitischen Störungen dichten die wassererfüllte Grabenscholle nach beiden Seiten hin ab.

Im nördlichen Bereich der Quartärablagerungen ergibt sich ein wasserführendes bis -gesättigtes Gebirge im Hangenden und ein lediglich normal bergfeuchter Zustand im Liegenden des als Wasserstauer wirkenden Beckentons ohne zirkulierendes Wasser.

Sonderbaumaßnahmen

Die z. T. sehr ungünstigen Gebirgsverhältnisse machten beim bergmännischen Vortrieb besondere Vortriebskonzepte erforderlich. Die ersten 144 m des Hauptvortriebs (steigend von Süden nach Norden) wurden zunächst mit einem Ausbruchprofil von 43 m² als Ulmenstollen auf der Westseite aufgeföhren. Schrittweise wurden dann, westseitig dem Ulmenstollen aufsitzend, das Kalottengewölbe, die östliche Strossenseite und zuletzt das Sohlgewölbe hergestellt. Im Mittelteil des Tunnels erfolgte im Buntsandstein ein Vortrieb mit vorauseilender Kalotte und nachlaufendem Strossenvortrieb, teilweise über Mittelschlitze, teilweise arbeitstechnisch bedingt bzw. zur gebirgsschonenden Überwindung der Störungsbereiche zwischen Tunnelmeter 1770 und 1990 (km 70,6216 und km 70,4016) mit senkrechter Strossenortsbrust. Der Gegenvortrieb (fallend von Norden nach Süden) begann mit zwei kleinen Ulmenstollen: einem vorklaufenden, bergseitigen, westlichen Stollen und einem nachgezogenen, talseitigen, östlichen Stollen (Taf. 3, Bild 1). Der Vortrieb beider Ulmenstollen wurde mit dem Erreichen und der vollständigen Einbindung in das Festgestein abgesetzt. Die Profilaufteilung mit zwei Ulmenstollen sollte, ebenso wie die vom Gelände aus niedergebrachten voreilenden Vakuumlanzen, die Vorentwässerung der quartären Lockersedimente bewirken. Von der Geländeoberfläche aus wurde seitlich der Trasse — dem Grundwasserstrom zugewandt — eine Reihe aus Vakuumlanzen angeordnet. Mit dieser Maßnahme wurde eine, zumindest teilweise Konsolidierung des Bodens vor dem Aufföhren des Tunnels erzielt. Allerdings ging mit der Stabilisierung des Korngefüges die Bildung mehr oder weniger feiner Risse einher. Für die Sanierung eines solchermaßen aufgelockerten Gebirges kamen nur Injektionsmaßnahmen in Betracht. Von der Korngröße her ist das überwiegend schluffige Material eigentlich als „nicht injizierbar“ anzusprechen. Das Injektionsgut drang jedoch in Form von Schmitzen und Linsen in das Lockergebirge ein und bewirkte so eine gewisse Konsolidation des zum Fließen neigenden Bodens.

Durch den Injektionsdruck wurde eine Verdrängung von Porenwasser erreicht und somit die Wirksamkeit der Vakuumfilter unterstützt.

Am 17. 02. 1986 ereignete sich im Bereich des Gegenvortriebs beim Nachziehen der Kalotte über dem fertiggestellten Ulmenstollen bei km 70,215 beginnend ein Verbruch, der sich rückschreitend über 55 m Länge bis km 70,160 fortsetzte. Das verbrochene Material wurde von über Tage ausgeräumt bzw. unterhalb eines auf Bohrpfählen gegründeten Betondeckels gelöst. Der Übergangsbereich zwischen dem aus dem anstehenden Festgestein kommenden Hauptvortrieb von Süden und dem bis zur südlichen Stirnwand der Verbruchbaugrube anstehenden quartären Lockergestein wurde im Schutze eines Injektionsschirms bewältigt.

Im Zuge der Erdarbeiten im Bereich der offenen Bauweise (km 69,465—km 69,950) und der Freilegung des bergmännischen Anschlags Nord wurde der anstehende Lößboden mittels auf den Böschungsschultern eingebauter Vakuumfilter vorentwässert. In Abhängigkeit vom Ergebnis der baubegleitenden Lastplattenversuche erfolgte ein Bodenaustausch von 0,5 m bis 1,0 m Tiefe (Kies 0/32 über Kalkschotter), und unter der Sohlplatte des Tunnels wurde ein umfangreiches Entwässerungs- und Drainagesystem aus mit Kies verfüllten Längs- und Quergräben installiert.

Die Vorentwässerung der Portalbaugrube im südlichen Voreinschnitt (km 72,375—km 72,800) erfolgte mittels Pumpbrunnen unter Ausnutzung der aus den Voruntersuchungen vorhandenen Pegel. Im Nord-West-Bereich wurden zusätzliche Pumpbrunnen hergestellt und in Betrieb genommen. In Portalnähe steht verkarsteter Gipsstein an, der sich im Untergrund nach Süden bis etwa km 72,570 erstreckt. Dieser Bereich ist wegen des hohen Grades der Erdfallgefährdung mit einer entsprechend ausgelegten bewehrten Betonplatte überbrückt. Der verkarstete Gipskörper entwässert in einer Überlaufquelle, die im Zuge des Aushubs im unteren Teil der Ostböschung bei etwa km 72,435 freigelegt wurde. Die Quelfassung wird in eine unmittelbar benachbarte Kaskade eingeleitet. Zur Vermeidung von Erosionen am Kaskadenbauwerk (km 72,440) wurde im Einlaufbereich eine Oberflächenabdichtung (Tonpackung) vorgenommen. Im oberhalb befindlichen Tal (Karstsenke mit Erdfällen) wurden Thyssen-Halbschalen verlegt. Damit soll vermieden werden, daß Oberflächenwasser in frisch gefallene Erdfalltrichter eindringen und Erosionsschäden im Bahnkörperbereich verursachen kann. Bauzeitlich beobachtete Wasseraustrittsstellen in den Voreinschnittsböschungen wurden mit dem Ziel, künftige Ausspülungen und Erosionen zu vermeiden, gefaßt. In diesem Zusammenhang wurde der Boden flach ausgekoffert, ein Filtervlies eingebaut und mit Steinmaterial angedeckt. Der Anschluß an den Bahnseitengraben ist durch kleine Rigolen gewährleistet. Eine bauzeitlich unterhalb der Kreisstraße in der Ostböschung aufgetretene Rutschung wurde mittels einer Steinpackung saniert. Zum Schutz der Böschungsoberfläche im Bereich der Portalhinterfüllung, wo bauzeitlich wassergesättigter Boden in Form flacher Gleitkörper abgerutscht war, dienen Sickerschlitzte, Rigolen und eine Fußvorschüttung.

3.10 Leinebuschtunnel

Allgemeines

Der Leinebuschtunnel durchfährt auf insgesamt 1740 m Länge das Hochplateau des Großen Leinebusch nordöstlich der Ortschaft Jühnde.

Der bergmännische Vortrieb erfolgte zwischen Februar 1984 und August 1985. Der Tunnel wurde vom nördlichen Anschlagpunkt bei km 108,525 in südlicher Richtung steigend aufzufahren. Die Baustation 0 wurde bei km 108,445 festgelegt. Der Gegenvortrieb von Süden erstreckte sich über 344 m Länge von km 110,102 bis km 109,758.

Im Zusammenhang mit Standsicherheitsproblemen im nördlichen Voreinschnitt wurde der Tunnel gegenüber der ursprünglichen Planung um 55 m bis km 108,390 nach Norden in offener Bauweise verlängert.

Der bergmännisch vorgetriebene Teil des Leinebuschtunnels ist auf 20 Blättern im Maßstab 1:100 ingenieurgeologisch dokumentiert worden.

Geologie

Der Leinebuschtunnel durchörtert von Norden nach Süden Gesteine des Oberen und Mittleren Muschelkalk. In der Reihenfolge vom stratigraphischen Hangenden zum Liegenden verteilen sich die einzelnen Schichtglieder im Tunnel wie folgt (Taf. 14):

Oberer Muschelkalk

— Ceratitenschichten (mo2)	km 108,525 bis km 108,945
— Trochitenkalk (mo1)	km 108,525 bis km 108,608 km 108,649 bis km 109,400

Mittlerer Muschelkalk (mm) km 108,907 bis km 110,100

Aus dem möglichen Nachbruch des Deckgebirges über Laughohlräumen im Gipslager des Mittleren Muschelkalk resultiert das Erdfallrisiko im Trassenbereich des Leinebuschtunnels. Zeichen der Erdfalltätigkeit in diesem Gebiet sind die beim Vortrieb angefahrenen Erdfallschlotfüllungen sowie die trichterartigen Eintiefungen im Gelände unweit der Tunneltrasse.

Die Schichten fallen im gesamten Tunnel überwiegend flach (3° bis 10° , lokal auch 15° bis 30°) in nördliche Richtungen ein. Die Großklüfte sind überwiegend parallel zur Tunnelachse in NE-SW-Richtungen orientiert. Zusätzlich wurden diagonale NNE-SSW-Klüfte und ortsbrustparallele NW-SE-Klüfte registriert (Abb. 4).

Die Störungen streichen N-S bis NW-SE und nur in einem Ausnahmefall NE-SW. Sie sind als den Querschnitt durchsetzende, teilweise mylonitisierte, cm bis m breite Zonen erkennbar. Der Vertikalversatz an diesen Störungen reicht von wenigen Dezimetern bis über 5 m.

Hydrogeologie

Im Zuge der Erkundungsarbeiten wurden Grundwasserstockwerke in verschiedenen Niveaus festgestellt, die untereinander über Klüfte und Verwerfungen in Verbindung stehen. Der Druckspiegel des Grundwasserkörpers im Unteren Muschelkalk liegt ca. 40 m unter den Grundwasserspiegeln des Oberen Muschelkalk durchgehend unter dem Trassenniveau im Leinebuschtunnel. Die höheren Grundwasserstockwerke wurden bis zu 30 m über der Tunnelfirste erbohrt. Beim Vortrieb waren weite Strecken des Tunnels bergfeucht mit unregelmäßig verteilten Tropfwasseraustritten, die sich zum Teil im Gefolge von Niederschlägen verstärkten. Fließwasser in der Größenordnung 0,1–0,5 l/s, örtlich mit der Tendenz zum Leerlaufen, war entweder an tektonische Störzonen oder lokale Wasserleiter gebunden. In den Ceratitenschichten (mo2) und an den Erdfallrändern waren Wasserzutritte bis zu 3 l/s zu beobachten. Der Trochitenkalk (mo1), der aufgrund der guten Wegsamkeit seiner Klüfte als ausgesprochener Grundwasserleiter gilt, war beim Vortrieb überwiegend trocken. Lediglich bei Bau-Station 420 trat Wasser ($< 0,2$ l/s) in der Sohle aus; und zwischen den Bau-Stationen 870 und 930 erstreckte sich an der Basis des Oberen Muschelkalk ein schmales Band mit Tropf- und Fließwasseraustritten (max. 0,05 l/s).

Einzelne Schlufflinsen im Residualgebirge des Mittleren Muschelkalk waren wassergesättigt. Bei den Vortriebsarbeiten galt es hier, Einbrüche von Schlamm in den aufgefahrenen Querschnitt zu verhindern.

Sonderbaumaßnahmen

Bei Bau-Station 282 (km 108,727) brach das Deckgebirge in einem stark zerrütteten und wasserführenden Abschnitt bis über Tage nach. Die Verfüllung des Verbruchschlotes erfolgte oberhalb einer Betonplombe in „Sandwich-Bauweise“ mittels Kies und Beton von über Tage aus. In der Folge konnten ähnliche Bereiche, insbesondere Erdfallsschlote, in kleinen Querschnitten unter Sicherung von Laibung und Ortsbrust und mittels Einbau einer temporären Kalottensohle ohne Zwischenfälle durchfahren werden.

Zwischen den Bau-Stationen 1630 (km 110,075) und 1685 (km 110,130) wurde der obere Teil des Gipslayers im Mittleren Muschelkalk aufgefahren. Die hier in die Gipsoberfläche eingreifenden und mit tonig-schluffigem Residualgebirge gefüllten Schloten und Taschen wurden ausgeräumt und mit Magerbeton verfüllt.

Bei ca. Bau-Station 1590 (km 110,035) mußte der Gegenvortrieb unterbrochen werden, als das anstehende Residualgebirge bei Fließ- und Sickerwasserzutritten von ca. 10 l/s nicht mehr sicher zu beherrschen war. Mittels einer Vorentwässerung über Entlastungsbohrungen und vorlaufender Zementinjektionen (im Sinne von Verdrängungsinjektionen) gelang es, dem Gebirge die erforderlichen Trageigenschaften zu verleihen.

Im gesamten Bereich des Gegenvortriebs (km 109,758 bis km 110,102) war es aufgrund der unzureichenden Standfestigkeit des Residualgebirges erforderlich, den Ringschluß möglichst kurzfristig herzustellen. Der schnelle Übergang vom Kalottenquerschnitt mit temporärer Sohle zum Gesamtquerschnitt mit Sohlaufschale wurde über eine durchgehende Strossenortsbrust ohne befahrbaren Mittelschlitz erreicht.

Zur Sicherung gegen potentielle Erdfälle wurde der Innenausbau konstruktiv so ausgebildet, daß beim Auftreten eines Erdfalls bis 10 m Durchmesser die Gleislage nicht abrupt gestört wird, und der Tunnel tragfähig bleibt.

Aufgrund der Lage des nördlichen Voreinschnittes (km 108,040 bis 108,520) in den rutschempfindlichen Ceratitenschichten mit Erdfallerscheinungen und aufgrund der unmittelbaren Nähe zu einem oberhalb der Ostböschung in quartären Lößablagerungen verlaufenden Bachbett gestaltete sich der Aushub ausgesprochen schwierig.

Zur Sanierung einer bauzeitlichen Rutschung in der Südostböschung im Februar 1984, bei der zeitweilig auch die Gefahr eines Durchbruches des stark wasserführenden Baches in die Baugrube bestand, wurde der Bach zunächst mit einer Kunststoff-Folie abgedichtet und später verrohrt. Die Rutschmassen wurden ausgeräumt und die zurückgenommene Böschungfläche mit Spritzbeton und SN-Ankern gesichert. Außerdem wurden Zusatzdrainagen eingebaut und die Entlastungsrisse (offene Spalten) auf der Böschungsschulter versiegelt. Nach erneuten Rißbildungen beim Endausbruch im April 1985 wurde zwischen km 108,400 und 108,470 eine Nachsicherung mit 2–3 Lagen SN-Ankern und Spritzbetongurten sowie eine Verrohrung des Baches erforderlich.

Auf der Westseite kam es zwischen km 108,390 und 108,430 zu Teilbeweglichkeiten auf den hangauswärts geneigten Schichtflächen. Die Rutschmassen wurden ausgebaut, ohne daß eine weitere bauzeitliche Sicherung erfolgte. Zur Überbrückung der instabilen Böschungsbereiche zu beiden Seiten der Bahntrasse wurde der Leinebuschtunnel gegenüber der ursprünglichen Planung um 5 Blöcke (55 m) nach Norden bis km 108,390 verlängert.

Im Bereich eines in der Fahrsohle angeschnittenen, mit konsolidierten Versturzmassen gefüllten Erdfallsschlotes (km 108,390 bis km 108,410) wurde zur Vermeidung von Setzungsunterschieden ein Bodenaustausch mit Magerbeton B 10 (Tiefe 2,00 m unter Bauwerkssohle) vorgenommen. Weitergehende Baumaßnahmen in diesem Bereich wurden nicht für erforderlich gehalten, nachdem der Erdfall mittels radiometrischer und mikropaläontologischer Untersuchungen als fossil eingestuft werden konnte und eine Reaktivierung deshalb für unwahr-

scheinlich anzusehen war. Im Zuge der Herstellung einer Feuerwehrrzufahrt mit Wendeplatz wurde ein Teil der Westböschung nachträglich, unter Beibehaltung der ursprünglichen Neigung $n = 1:2,5$, zurückverlegt.

Im südlichen Voreinschnitt (km 110,100 bis 110,230) resultierte die Problematik beim Aushub und bei der Sicherung des Voreinschnittes aus der vorgefundenen geologischen Situation sowie aus dem einschnittnahen Verlauf des Hägergrabens oberhalb der westlichen Böschungschulter. Aufgrund der unregelmäßigen Oberflächenmorphologie des angeschnittenen Gipslagers mit unregelmäßigem Wechsel zwischen festen Gipsrücken und dazwischen eingetieften Schloten und Taschen, die mit z. T. sehr weichem Material gefüllt sind, ergab sich zur Vereinheitlichung der Auflagereigenschaften die Notwendigkeit eines Bodenaustausches in den Weichzonen. Aufgrund der unregelmäßigen Trageigenschaften im Bereich der Bauwerkssole und z. T. ungeeigneter Festigkeiten des Rohplanums erfolgte ein Bodenaustausch bis zu 1,50 m Tiefe. Maßnahmen, die zur Entwässerung der Westböschung durchgeführt wurden, umfaßten einen Hanggraben, Quersickerscheiben mit durchlaufenden Sickerpackungen am Böschungsfuß sowie die Bepflanzung mit speziellen Gehölzen.

3.11 Endelskamptunnel

Allgemeines

Der Endelskamptunnel unterfährt auf insgesamt 673 m Länge westlich der Gemeinde Jühnde einen flachen morphologischen Rücken, der ursprünglich mittels eines Einschnittes gequert werden sollte. Die Firstüberdeckung ist mit max. 20 m relativ gering.

Der bergmännische Vortrieb begann im Dezember 1983 mit einem Kalottenvortrieb vom nördlichen Anschlagpunkt bei km 110,755 aus. Von Süden her wurde ein kurzer Gegenvortrieb von ca. 10 m Länge ausgeführt. Der Durchschlag erfolgte im Juli 1984, und die Vortriebsarbeiten endeten mit dem Strossenvortrieb im September 1984.

Der bergmännisch vorgetriebene Teil des Endelskamptunnels ist auf 8 Blättern im Maßstab 1:100 ingenieurgeologisch dokumentiert worden.

Geologie

Der Endelskamptunnel durchörtert von Norden nach Süden Gesteine des Mittleren und des Unteren Muschelkalk (Taf. 15). In der Reihenfolge vom stratigraphisch Hangenden zum Liegenden verteilen sich die einzelnen Schichtglieder im Tunnel wie folgt:

Mittlerer Muschelkalk (mm)	
— Residualgebirge des abgelaugten Gipslagers	km 110,755 bis km 110,808
— Basisschichten	km 110,755 bis km 111,325
Unterer Muschelkalk	
— Schaumkalkzone (muS)	km 111,172 bis km 111,399

Die im Firstbereich des nördlichen Tunnelabschnittes angetroffenen Residualsedimente stellen die Rückstände ehemals vorhandener und nunmehr abgelaugter Salinargesteine dar. Das Residualgebirge im Endelskamptunnel setzt sich aus schluffigen und tonigen Lockergesteinen zusammen.

Der größte Teil des Tunnels wurde in den Basisschichten des Mittleren Muschelkalk aufgeföhren. Diese bestehen aus tonigen, kalkigen und dolomitischen Mergelsteinen mit Dolomit-

steinbänken. In der Nähe des Nordportals waren diese Gesteine von Bändern derben Coelestins (SrSO_4) durchzogen.

Im südlichen Teil des Tunnels waren, in der Sohle beginnend und zum Portal allmählich immer mehr in den Querschnitt hineinwandernd, ebenflächig bankige, z. T. plattige Kalkmergelsteine und Dolomite der Schaumkalkzone (muS) aufzufahren. Die Schaumkalkzone repräsentiert die oberste Partie des Unteren Muschelkalk.

Das Schichtfallen ist mit maximal 5° bis 10° gleichmäßig nach Norden bzw. Nordosten gerichtet. Die Großklüfte sind überwiegend diagonal zur Tunnelachse in N-S- bzw. E-W-Streichrichtungen orientiert. Weitere Maxima weisen die tunnelparallelen NE-SW- und die ortsbustparallelen NW-SE-Klüfte auf (vgl. Abb. 4). Aufgrund der oberflächennahen Position des Tunnels haben als Folge der Gebirgsauflockerung Klüfte örtlich > 5 cm Öffnungsweite. Die Klüfte sind entweder offene Spalten oder tragen bis zu 5 cm dicke Lehmbelege. Das im Tunnel aufzufahrende Gebirge ist nicht tektonisch gestört. Eine Störung mit geringen Versatzbeträgen von wenigen Dezimetern verläuft außerhalb des Tunnels querschnittsparallel am südlichen Portalfuß.

Hydrogeologie

Die Oberfläche des Hauptgrundwasserkörpers liegt unterhalb der Tunnelsohle. Beim Vortrieb waren weite Strecken des Tunnels bergfeucht mit mehr oder weniger horizontgebundenen Tropf- bzw. geringen Fließwasseraustritten. Der Wasserandrang konzentrierte sich überwiegend auf den First- und Kämpferbereich und zeigte als Folge der geringmächtigen Überlagerung und der damit verbundenen kleinklüftigen Zerlegung des Gebirges eine deutliche Niederschlagsabhängigkeit. Niederschläge wirkten sich mit etwa zwei- bis dreitägiger Verzögerung in Form verstärkten Bergwasserandrangs im Tunnel aus. Die maximal angetroffenen lokalen Wassermengen waren geringer als 1 l/sec, wenn man vom Bereich der wassergesättigten Lockersedimente in der Firste des Tunnelnordabschnittes (hier 1 bis 2 l/sec) absieht.

Sonderbaumaßnahmen

Im nördlichen Anfahrbereich wurde die Kalotte auf 80 m Länge unterteilt, weil hier die Landesstraße L 559 bei nur geringmächtiger Lockergesteinsbedeckung unter Aufrechterhaltung des Verkehrs unterfahren werden mußte.

Bei km 110,925 kam es zu einem größeren Nachbruch (63 m^3). Eine stark wassergesättigte, im Firstbereich angeschnittene „Schlammrinne“ an der Basis des Residualgebirges floß innerhalb weniger Minuten aus. Obwohl die Überlagerung nur 15 Meter betrug, konnte der Durchbruch bis über Tage vermieden werden. Mit Injektionsmaßnahmen vom Tunnel und von der Geländeoberfläche aus wurde diese Zone stabilisiert. Der Zementverbrauch betrug insgesamt 85 Tonnen.

In den Bereichen nördlicher Voreinschnitt und offene Bauweise (km 110,230 bis km 110,755) wurden an verschiedenen Stellen Entwässerungsmaßnahmen erforderlich. Unterläufigkeiten des Hägergrabens über die im Gebirge vorhandenen Trennflächen führten zu konzentrierten Wasseraustritten in der Westböschung nördlich km 110,300. Für den Endzustand war vorgesehen, der Unterläufigkeit durch eine Abdichtung des Grabenbettes zu begegnen. Zusätzlich waren Sanierungsmaßnahmen in Form von ingenieurb biologischen Sicherungen und mit einem Flächenfilter in Vorbereitung als am 7. 7. 1986 ein Böschungsabriß erfolgte. Zum Versagen der Böschungsstabilität kam es aufgrund des horizontgebundenen Strömungsdruckes. Zur Abfangung des den ehemaligen Lauf des Hägergrabens begleitenden Grundwasserstromes wurde etwa 12 bis 15 m oberhalb der Krone der westlichen Einschnittsböschung ein einschnitts-

paralleler Sickerschlitz bis in ca. 3 bis 4 m Tiefe unter Gelände hergestellt (km 110,180 bis 110,280). Der Sickerschlitz entwässert bei km 110,273 über einen Drainschlitz mit Drainleitung zur Planumsdrainage. Nach Herstellen des Sickerschlitzes wurde die Rutschung saniert. Das gerutschte Material wurde gegen einen Flächenfilter und steiniges Material ausgetauscht. In den benachbarten, nicht gerutschten Bereichen zwischen dem Portal des Leinebuschtunnels und km 110,420 wurde das nässende Residualgebirge am Böschungsfuß gegen drainfähiges Reibungsmaterial (Reibungsfuß) ausgetauscht. Zusätzlich wurden im Abstand von 8 Metern, vorzugsweise an konzentrierten Wasseraustritten, Sickerscheiben von ca. 80 cm Breite angeordnet. Zur Erfassung evtl. höherliegender intermittierender Wasseraustritte wurden die Sickerscheiben bis mindestens 2 m über die bei der Herstellung sichtbaren Wasseraustritte geführt. Das so abgefangene Wasser wird der Seitendrainage im Planum zugeführt. Die beschriebenen Maßnahmen wurden zusätzlich durch ingenieurbiologische (biotechnische) Maßnahmen ergänzt.

Den südlich km 110,500 beobachteten Vernässungen der Ostböschung wurde mittels ingenieurbiologischer Maßnahmen begegnet. Eine bauzeitlich aufgetretene Rutschung im Bereich der Wasserhebeanlage (Ostböschung km 110,250) wurde durch eine Vorschüttung saniert. Außerdem wurde ein drainierender Reibungsfuß zwischen der Bach-Wegebrücke und der Wasserhebeanlage ausgeführt.

Nach einer Standzeit von 28 Monaten brach in der Südostecke der nördlichen Anfahrbaugrube des Endelskammtunnels in einem Teilbereich von 10 m x 10 m infolge Entfestigung des wasserführenden Gebirges die aus Spritzbeton und SN-Ankerung bestehende Portalsicherung. Aufgeweichter Boden floß aus. Der Bereich wurde von einer vorgeschütteten Arbeitsebene aus nachgesichert und später im Zuge der Portalhinterfüllung überschüttet.

Aufgrund der uneinheitlichen Trageigenschaften in der Bauwerkssohle und z. T. ungenügender Festigkeiten des Rohplanums erfolgte baulosübergreifend bis km 110,330 ein Bodenaustausch bis zu 1,50 m Tiefe.

3.12 Mackenrodttunnel

Allgemeines

Der Mackenrodttunnel unterfährt auf insgesamt 849 m Länge südwestlich der Gemeinde Jühnde ein Hochplateau, in dem ursprünglich ein offener Einschnitt vorgesehen war. Die Firstüberdeckung ist mit max. 18 m gering. Der Mackenrodttunnel wurde bergmännisch von km 112,723 (nördlicher Anschlag) in südlicher Richtung fallend aufgefahren. Von Süden her wurde ein Gegenvortrieb von ca. 40 m Länge ausgeführt. Mit dem Kalottenvortrieb wurde im Juli 1984 begonnen (Kalottendurchschlag im Januar 1985). Der volle Querschnitt war im März 1985 über die gesamte Tunnellänge aufgefahren. Vom April 1985 bis Februar 1986 wurde der Tunnel für Erdtransporte aus dem südlichen Voreinschnitt und dem südlich benachbarten Baulos 482 (Rauheberg tunnel) genutzt. Anschließend erfolgte der Einbau der Innenschale.

Der bergmännisch vorgetriebene Teil des Mackenrodttunnels ist auf 10 Blättern im Maßstab 1:100 ingenieurgeologisch dokumentiert.

Geologie

Der Mackenrodttunnel durchörtert ausschließlich Gesteine des Unteren Muschelkalk (Taf. 16). Die einzelnen Schichtglieder verteilen sich im Tunnel wie folgt:

Wellenkalk 1 (muW1)	km 112,723 bis km 113,285 km 113,439 bis km 113,454
Oolithzone (muO)	km 112,723 bis km 112,829 km 113,143 bis km 113,353 km 113,453 bis km 113,472
Wellenkalk 2 (muW2)	km 113,200 bis km 113,440 km 113,452 bis km 113,475

Der Tunnel verläuft wenig oberhalb des Oberen Buntsandstein (Röt), dem ablaugungsfähige Salinarhorizonte zwischengeschaltet sind. Hinweise auf eine daraus resultierende Erdfallgefahr konnten weder an der Geländeoberfläche noch im aufgefahrenen Gebirge festgestellt werden. Es ist nicht ganz auszuschließen, daß die sanfte Depression der Schichtenfolge um km 112,760 das Ergebnis subrosiver Vorgänge im Liegenden des Tunnels ist.

Der gesamte Schichtenverband ist im Mackenrodtunnel flexurartig aufgewölbt. Der Scheitel einer Sattelstruktur trennt bei etwa km 113,00 sehr flach nordöstlich fallende von mit 10° bis 20° südwestlich fallenden Schichten.

Die Großklüfte sind überwiegend diagonal zur Tunnelachse in N-S- bzw. E-W-Streichrichtungen orientiert. Tunnelparallele NE-SW-Klüfte und ortsbrustparallele NW-SE-Klüfte sind ebenfalls vorhanden, was sich in in der Kluffrosendarstellung (Abb. 4) durch die Ausbildung eines relativ breiten Fächers der N-S-Elemente dokumentiert. Aufgrund der oberflächennahen Position des Tunnels haben zahlreiche Klüfte als Folge der Gebirgsauflockerung Öffnungsweiten bis 5 cm, in den Portalbereichen sogar bis 10 cm. Die Spalten sind meist mit tonigem Schluff ausgefüllt.

Während die nordöstliche Tunnelhälfte weitgehend tektonisch ungestörtes Gebirge aufgefahren hat, wird der südwestliche, jenseits des Scheitels einer sattelartigen Aufwölbung gelegene Tunnelabschnitt von mehreren Störungsbahnen gequert. Die maximalen Vertikalversatzbeträge an den Störungen werden im südlichen Portalbereich mit ca. 25 m erreicht. Die Störungen streichen NW-SE. Bei km 113,115 und ca. km 113,300 wurden tunnelparallel verlaufende Elemente beobachtet.

Hydrogeologie

Die Oberfläche des Hauptgrundwasserkörpers liegt unterhalb der Tunnelsohle. Dementsprechend war das aufgefahrene Gebirge weitestgehend trocken bzw. bergfeucht. Tropfwasserausstritte im First- bzw. Kämpferbereich wurden lediglich bei km 112,800 bzw. km 113,415 registriert.

Sonderbaumaßnahmen

Im Bereich der bei km 113,050 querenden Störung kam es in stark aufgelockertem Gebirge zu einem Nachbruch von ca. 25 m³ in der Firse. Der Mehrausbruch wurde mit Spritzbeton ausgeglichen.

Bei den Aushubarbeiten im nördlichen Voreinschnitt (km 112,650 bis 112,693) wurde im Wellenkalk 1 eine ca. 5 m³ große Kaverne angefahren und mit Beton verfüllt.

Der ausgeprägten Verwitterungsanfälligkeit der in den Böschungen beider Voreinschnitte anstehenden Gesteine, insbesondere der „Gelbkalke“ der Oolithzone und der Schaumkalkzone, wurde durch gezielte biotechnische Maßnahmen im Rahmen der Oberflächenbegrünung Rechnung getragen.

Im südlichen Voreinschnitt und dem Bereich der offenen Bauweise (km 113,476 bis km 113,910) wiesen die im Verhältnis 1 : 0,6 geneigten Felsböschungen Bereiche mit einer stärkeren Auflockerung auf:

Südostböschung	km 113,555 bis km 113,575
	km 113,675 bis km 113,685
	km 113,710 bis km 113,740
Nordwestböschung	km 113,565 bis km 113,575
	km 113,750 bis km 113,865

Es handelt sich jeweils um den Ausstrich von z. T. zersetzten Gelbkalken und/oder tektonischen Störungen. Obwohl die Gesamtstabilität der Böschungen nicht in Frage stand, waren zur Vermeidung von Erosionsschäden, insbesondere an der Vorderkante der befahrbaren Bermen, lokale Sonderbaumaßnahmen erforderlich. Diese bestanden aus einer Abdeckung der Gelbkalk-Ausbisse auf den Bermen mit Betonplomben sowie biotechnischen Maßnahmen in den Böschungsf lächen. Als Aufwuchshilfe für die in den Gelbkalkschluffen konzipierten Bepflanzungen sollten Netze installiert werden. Die Bermenabdeckung (Betonplomben) wurde planmäßig vorgenommen. Jedoch entsprach die aufgebraachte Seilnetz sicherung gegen Steinschlag nicht der o. g. Gesamtkonzeption. Aufgrund des Fehlens einer wirksamen biotechnischen Sicherung über zwei Winter kam es zu erheblichen Erosionsschäden in den unteren Böschungsteilen, so daß eine Abflachung beider Böschungen überlegt wurde. Eine flachere Böschungsbildung unter Einhaltung der Planfeststellungsgrenzen hätte den Wegfall der planerisch vorgegebenen, befahrbaren Berme zur Folge gehabt.

Vor dem Hintergrund der nach wie vor gegebenen Gesamtstabilität wurde schließlich das folgende Sicherungskonzept festgelegt und im Jahre 1988 realisiert:

- Massive ingenieurbio logische Maßnahmen gewährleis ten weitgehenden Schutz vor progressiver Oberflächenerosion
- Unvermeidbarer Nachfall wird von einem Fangraum mit Fangzaun aufgenommen. Der sich im Laufe der Zeit einstellende Schuttkegel am Böschungsfuß soll stabilisierend im Sinne einer Fußvorschtüttung wirken. Es ist deshalb nicht vorgesehen, den Fangraum von Zeit zu Zeit zu räumen.

Im Zusammenhang mit Ablösungen lokal begrenzter Gebirgskörper im Bereich von tektonischen Störungen in der östlichen Ausrundung des Portalkessels wurde der Tunnel gegenüber der ursprünglichen Planung um 3 Blöcke à 11 m in offener Bauweise nach Süden verlängert. Der instabile Bereich wurde im Zuge der Rückverfüllung der Tunnelbaugrube überschüttet, so daß Hangsicherungsmaßnahmen entfallen konnten.

3.13 Rauhebergtunnel

Allgemeines

Der Rauhebergtunnel durchfährt von Süden nach Norden auf insgesamt 5211 m Länge die Dransfelder Hochfläche unmittelbar nördlich der Werraüberquerung. Der nördliche Abschnitt (km 114,3995 bis km 118,5865) wurde in bergmännischer und der südliche Abschnitt (km 118,5865 bis km 119,6100) in offener Bauweise (Taf. 3, Bild 2) hergestellt. Der Tunnelanschlag war am 20. 12. 1983, der Durchschlag erfolgte am 24. 4. 1987.

Der bergmännisch vorgetriebene Teil des Rauhebergtunnels ist auf 53 Blättern im Maßstab 1 : 100 ingenieur geologisch dokumentiert. Als Baustation 0 wurde der südliche Anschlag des bergmännisch erstellten Tunnelabschnittes (km 118,5865) festgelegt.

Geologie

Der Rauhebergtunnel durchörtert von Süden nach Norden Ablagerungen und Gesteine des Quartär, des Röt (Oberer Buntsandstein) und des Unteren Muschelkalk. Im Bereich der offenen Bauweise wurden auch Lagen des Mittleren Buntsandstein angeschnitten (Taf. 17).

Die stratigraphischen Einheiten verteilen sich im Rauhebergtunnel wie folgt:

Solling-Folge des Mittleren Buntsandstein	km 119,380 bis km 119,600
Röt 1	km 119,170 und km 119,380 km 118,4765 bis km 118,2865
Röt 2	km 118,2915 bis km 117,6115
Röt 3	km 117,7905 bis km 117,0915 km 116,9415 bis km 116,7815
Röt 4	km 117,1665 bis km 115,9265
Unterer Muschelkalk	km 116,0615 bis zur nördlichen Baugrenze

Ein Großteil des offen gebauten Tunnels und die ersten 100 m des bergmännischen Teils befinden sich in Ablagerungen des Quartär. Die fluviatilen Sande und Gerölle einer alten Werra-Hochterrasse verzahnen sich mit pleistozänen Fließerden, die überwiegend aus Muschelkalk-Schluff bestehen. Diesen Sedimenten liegt im Bereich der offenen Bauweise und des nördlichen Voreinschnittes eine max. 8 m bzw. 4 m mächtige Lößdecke auf.

Die überwiegend flach lagernden mesozoischen Schichten des Rauhebergtunnels sind infolge tektonischer und subrosiver Vorgänge lokal bis 35° verstellt. Die Großklüfte sind überwiegend in NW-SE-Richtungen orientiert. Tektonische Störungen und mit nachgebrochenem Deckgebirge gefüllte Erdfallschlote wurden im Tunnel mehrfach angefahren (Abb. 7 und Taf. 17).

Hydrogeologie

In der Wechsellagerung von Fließerden und Sanden der ersten 100 m des bergmännisch angefahrenen Tunnels trat verbreitet Schichtenwasser aus den hier stark schluffigen Sandlagen aus. Bei einzelnen Sickerstellen bis zu 0,1 l/s erreichte die Gesamtmenge in der Kalotte zeitweise etwa 1 l/s. Die Fließerden dagegen waren weitgehend trocken. Im Bereich der offenen Bauweise lieferten die Terrassensande und -kiese etwas größere Mengen. Speziell nach Tauwetterperioden schütteten die basalen Kiese bis zu 1 l/s aus einzelnen Quellen.

Bei Stat. 99 (km 118,4875) kam es am 1. 4. 1984 in der Sohle zu einer schlagartigen Druckentlastung gespannten Wassers. Nach Augenzeugenberichten wurde eine Gesteinsplatte (Röt 1-Tonstein) von etwa 1/2 m Durchmesser und 20 cm Stärke bis an die linke Ulme geschleudert. Danach ergoß sich während mehrerer Stunden eine Fontäne von etwa 1 m Höhe mit Spitzenwerten von etwa 40 l/s in den Tunnel. Nach einigen Tagen hatte sich die Schüttung auf 2 l/s reduziert und in den darauffolgenden Jahren konnten noch 1 bis 1,5 l/s gemessen werden.

Das Röt gilt als weitgehend wasserundurchlässig. Dies traf im Rauhebergtunnel auch für große Bereiche zu, jedoch wurden auch Strecken angefahren, in denen im Vortriebsbereich der Kalotte bis zu 3 l/s Kluftwasser austraten. Diese vergleichsweise geringe Menge hatte wegen der Wasserempfindlichkeit der in solchen Zonen verwitterten Ton- und Schluffsteine erhebliche Auswirkungen auf die Vortriebsarbeiten (schwierige Wasserhaltung und Schlammabfuhr). Am gravierendsten war die Beeinträchtigung zwischen Stat. 1830 und 1870 (km 116,7565 und km 116,7165), wo innerhalb des sonst unverwitterten Röt 4 eine solche wasserführende Strecke durchörtert werden mußte.

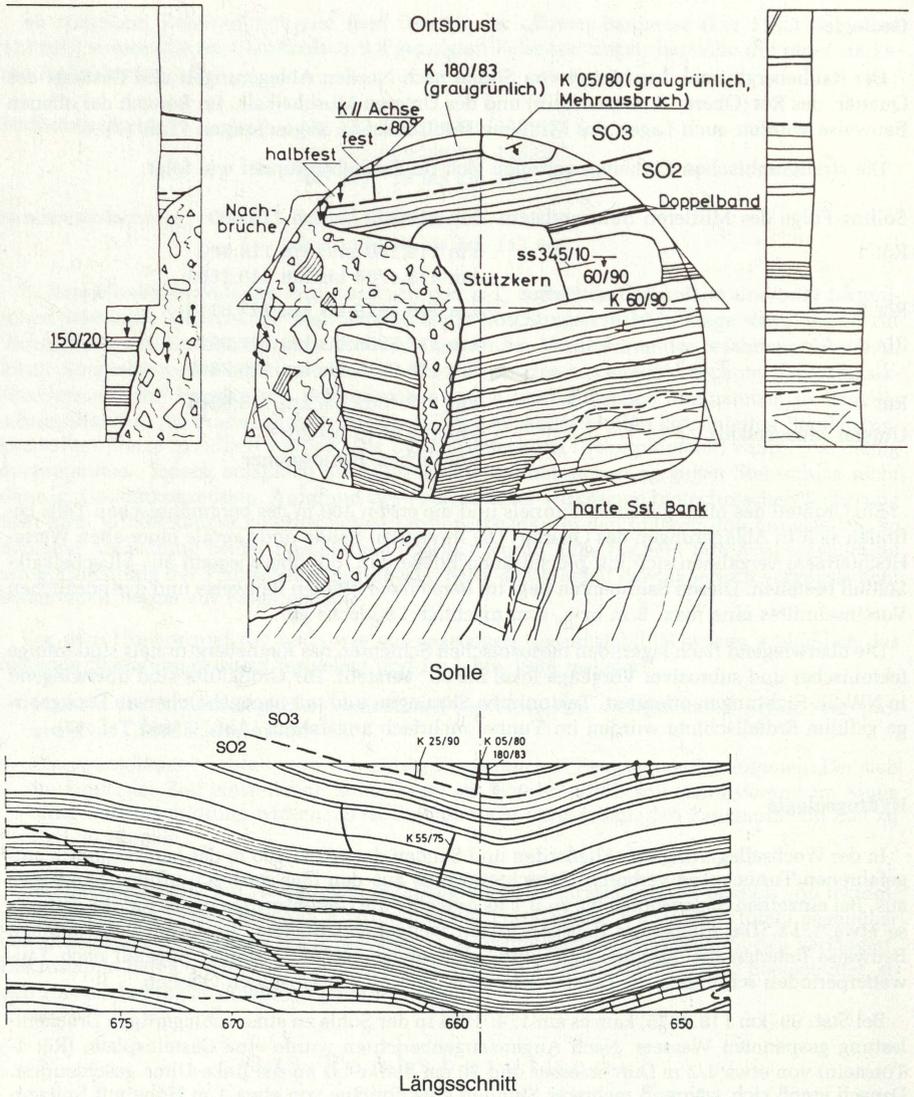


Abb. 7: Geologische Dokumentation im Rauhebergtunnel.

Im Grenzbereich Röt/Muschelkalk fuhr der Tunnel aus weitgehend undurchlässigen Ton- und Schluffsteinen kommend in mergelige Kalksteine und Kalkmergelsteine, die zu Verkarstung neigen. Voraussende Erkundungsbohrungen förderten bei Erreichen des Grenzgebirgskalks (Taf. 4, Bild 1) zunehmende Mengen druckhaften Wassers, das durch hohe Schwebstoffgehalte ocker- bis orange-gelb gefärbt war. Bald reichten die für eine Grenzmenge von 60 l/s vorgehaltenen Abwasserleitungen und der Vorfluter außerhalb des Tunnels nicht mehr aus. Den Pegel-

meßstellen zufolge stand der Bergwasserspiegel damals 25 bis 30 m über der Firste (entsprechend 2,5 bis 3,0 bar). Im Laufe mehrerer Wochen wurden aus großkalibrigen Entlastungsbohrungen Wassermengen von insgesamt bis zu 370 l/s gefördert und in neu verlegten Rohrleitungen abgeführt. Der Vortrieb war etwa 6 Wochen unterbrochen, bis der Bergwasserspiegel auf Firstniveau abgesenkt war. In dieser Zeit wurden ca. 3 Millionen Kubikmeter Wasser abgeleitet.

Im Gegensatz zur extremen Wasserführung des Grenzgelbkalks zeigte sich der Wellenkalk beim Auffahren bereichsweise völlig trocken. Dort jedoch, wo wasserführende Großkluft- und Störungssysteme den Unteren Muschelkalk durchziehen, flossen nach Tauwetter, verbunden mit starken Regenfällen speziell im Sohlbereich, bei lokalen Schüttungen von bis zu 5 l/s, in der Summe bis etwa 500 l pro Sekunde aus. Normalerweise pendelte die aus dem Muschelkalk (incl. Grenzgelbkalk) geförderte Gesamtwassermenge zwischen 70 und 200 l/s.

Da auf Dauer eine völlige Drainierung des Südteils der Dransfelder Hochfläche mit derartigen Dauerabflußmengen nicht hingenommen werden kann, war der Tunnelabschnitt im Muschelkalk wasserdicht und druckfest auszuführen. Nach eingehenden Untersuchungen der hydrogeologischen Verhältnisse muß nach Wiederanstau und bei einem anzunehmenden Jahrhundert-Niederschlag von 100 mm/d von einem maximal möglichen Bergwasserspiegel 70 m über Tunnelfirste ausgegangen werden. Im drainierten Tunnelabschnitt südlich km 116,1775 wird bei dauerhaft funktionierenden Drainagen eine tunnelnahe Absenkung des hydrostatischen Druckes erhalten bleiben.

Sonderbaumaßnahmen

Im Bereich geringer Gebirgsüberlagerung kam es bei Stat. 394 (km 118,1925) zu einem Tagbruch von etwa 10 m Durchmesser. Ein Zusammenspiel von niedrigen Gebirgsfestigkeiten bei Wasserzutritt und Unzulänglichkeiten in der Bauausführung haben wahrscheinlich zum Zusammenbruch von Gebirgstragring und Spritzbetonschale geführt. Der Verbruchtrichter wurde von oben her ausgeräumt und mit bewehrtem und geankertem Spritzbeton gesichert. Nach einer statischen Neuberechnung unter Zugrundelegung der vollen Auflast wurde die Außenschale des Tunnels neu erstellt und anschließend der Schacht wieder verfüllt.

Um sicherzustellen, daß sich auch im Bereich des verkarsteten Grenzgelbkalks an der Basis des Muschelkalk ein wirksamer Gebirgstragring im Sinne der NÖT ausbilden kann, wurden Injektionen zur Sanierung des tunnelnahen Gebirges vorgenommen. Insgesamt wurden nahezu 300 t Zement auf ca. 110 m Tunnellänge verpreßt. Damit konnte eine weitgehende Verfüllung der Hohlräume im Firstbereich erreicht werden. Das ergibt sich aus den festgestellten Wegen des Verpreßgutes (Zementaustritte) und der Gegenüberstellung des rechnerischen und des verpreßten Hohlraumvolumens.

Im Bereich des hohen Wasseraufkommens an der Grenze Röt/Muschelkalk wurde von der Kalotte aus ein Vorausstollen über 106 m Länge vorgetrieben. Dieser sollte die Vorentwässerung beschleunigen und Aufschluß über die vortriebstechnische Beherrschbarkeit des Gebirges geben.

Bei der Profilierung der Ostböschung im nördlichen Voreinschnitt (km 113,910 bis km 114,400) traten im Oktober 1985 bei km 114,200 kleinere Ablösungen auf. In diesem Zusammenhang wurde erstmals diskutiert, daß auf Grund hangauswärtiger Schichtneigungen und einer lokalen Muldenstruktur die Gesamtstabilität nicht gegeben sein könnte. Ausgelöst durch einsetzendes Tauwetter kam es dann Anfang Dezember 1985 ausgehend von km 114,200 auf einer Länge von ca. 350 m (km 114,050—km 114,400) zu Abrutschungen auf sehr ebenen mit nassem schluffigem Ton belegten Schichtflächen. Die obere Abrisikante reichte dabei in den außerhalb der planfestgestellten Bauflächen gelegenen Wald hinein. Die Gesamtmassen der Rutschung wurden auf ca. 160 000 m³ geschätzt. Nachdem 6 Sanierungskonzepte in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht untersucht worden waren, entschied sich die DB für eine

Abflachung der Ostböschung im Sinne eines Felsabtrags auf den Schichtflächen. Nach einer längeren Unterbrechung der Erdarbeiten bis 1. 8. 1986 wurde mit den Arbeiten zur Abflachung der Böschung begonnen. Als am 28. 4. 1987 ein Niveau von 16 m über der Schienenoberkante erreicht war, wurde infolge festgestellter Schichtunterschneidungen erneut ein Nacharbeiten der Böschungsoberfläche erforderlich. In der östlichen Ausrundung des Portalkessels (Übergang zur Stirnböschung) ließen sich solche Schichtunterschneidungen nicht vermeiden. Die Sicherung erfolgte in diesem Bereich mittels Bohrpfählen, die in der Zeit vom 1. 10. 1987 bis 18. 12. 1987 gebohrt und betoniert wurden.

Anfang März 1987 in der Westböschung aufgetretene Ausspülungen in der Lößdeckschicht und im zersetzten Gelbkalk führten zu dem Entschluß, auch Abflachungen eines Großteils der Westböschung vorzunehmen.

Im nördlichen Portalkessel ergaben sich wegen der steilen Neigung des Portalbauwerkes Stabilitätsprobleme im teilweise entfestigten Gebirge. Die oberhalb des Portalkragens umlaufende Berme wurde mit Steinkästen (Gabionen), die durch ein Stahlseil miteinander verbunden sind, befestigt.

In der Baugrube des in offener Bauweise erstellten südlichen Tunnelabschnittes wurden durchweichte Partien, vor allem im Residualgebirge und am Übergang zum anstehenden Sandstein, vor dem Aufbringen des Unterbetons ausgekoffert und durch Beton B 5 ausgetauscht. Zum Ausgleich möglicher Setzungen erfolgte eine Überhöhung der Fundamentstreifen um 3 cm. In den Böschungen ausbleißende Sandlagen wurden teilweise mit bewehrtem Spritzbeton gesichert. Eine aufwendige Ankersicherung wurde im Bereich der unmittelbar westlich der Baugrube stehenden Feldscheune erforderlich.

3.14 M ü n d e n e r T u n n e l

Allgemeines

Der Mündener Tunnel unterfährt, im Norden unmittelbar neben der Bundesautobahn A 7 im Werratal beginnend (km 120,974), den Mündener Staatsforst, das Steinbachtal und den Lutterberg. Das Südportal liegt bei km 131,499 im Ickelsbachtal (Gemarkung Landwehrhagen). Mit 10525 m Länge ist der Mündener Tunnel der längste Eisenbahntunnel in Niedersachsen. Seine maximale Überdeckung ist bei km 123,550 173 Meter mächtig.

Der Mündener Tunnel wurde von mehreren Angriffspunkten aus teils nach Norden, teils nach Süden vorgetrieben.

Die Vortriebsarbeiten begannen im April 1985 und liefen gleichzeitig vom Ickelsbachtal (Nullstation km 131,499) und von einem Zwischenangriff im Steinbachtal sowohl in nördlicher (Nullstation km 126,7115) als auch in südlicher Richtung (Nullstation km 126,7885). Von der Werra aus wurde ein ca. 500 m langer Gegenvortrieb in der Kalotte durchgeführt. Der 77 m lange Einschnitt im Steinbachtal wurde nach dem Betonieren der Tunnelschale wieder verfüllt (offene Bauweise). Die bergmännischen Vortriebsarbeiten waren am 10.8.1988 abgeschlossen, die Innenschale war am 14. 6. 1989 fertig betoniert.

Die bergmännisch vorgetriebenen Teile des Mündener Tunnels sind auf insgesamt 132 Blättern im Maßstab 1 : 100 ingenieurgeologisch in Form von Längsschnitten dokumentiert. Darüber hinaus befinden sich überhöhte geologische Längsschnitte (M 1 : 5000/1000) sowie diverse Ortsbrustaufnahmen der Kalotte in der Bauakte. Die geologische Situation der Baugruben der in offener Bauweise hergestellten Tunnelabschnitte liegt, wie für die Voreinschnitte, auf Karten im Maßstab 1 : 500 vor.

Geologie

Der Mündener Tunnel durchörtert über den größten Teil seiner Länge die Gesteine der Hardeggen-Folge (smH). Im nördlichen Tunnelabschnitt wurde die überlagernde Solling-Folge (smS) angefahren. Im Bereich des Nordportals schneiden Tertiärtone von oben in die Kalotte des Tunnelquerschnittes (Taf. 18).

Die einzelnen Schichtglieder verteilen sich im Tunnel wie folgt:

Tertiär/Solling-Folge	km 120,974 bis km 121,084
Solling-Folge	km 121,084 bis km 121,865
Solling-Folge/Hardeggen-Folge	km 121,865 bis km 121,955
Hardeggen-Folge	km 121,955 bis km 122,350
Solling-Folge/Hardeggen-Folge	km 122,350 bis km 122,635
Hardeggen-Folge	km 122,635 bis km 131,499

Die Hardeggen-Folge ist im Bereich des Mündener Tunnels ca. 180 m mächtig. Die Basis der Hardeggen-Folge wurde auf der gesamten Tunnelstrecke nicht erreicht.

Die Solling-Folge erreicht im Bereich des Mündener Tunnels eine Mächtigkeit von ca. 120 m.

Bei den im nördlichen Voreinschnitt und in der Firste des Nordportalbereichs mit einer Mächtigkeit von ca. 7 m angetroffenen, i.w. ungeschichteten Tertiärablagerungen (t) handelt es sich um graue bis blaugraue Tone. Diese haben einen gewissen Feinsandanteil, der sowohl im Sediment fein verteilt als auch in dünnen Lagen angereichert ist. Je nach dem Grad der Durchfeuchtung sind die Tone steif bis halbfest oder weich (DIN 4022 T 1 9/87).

Die im Mündener Tunnel aufgefahrenen Schichten weisen weitgespannte flache Mulden und Sättel auf. Dabei lagern sie bei unterschiedlichem Streichen abschnittsweise nahezu söhlig, während in anderen Streckenteilen Schichtneigungen von bis zu 20° vorkommen.

Anhand von 2070 Kluftrichtungen, die während des Kalottenvortriebs über die gesamte Tunnellänge durchgeführt worden sind, werden eine Nordwest-Südost und eine etwa Nord-Süd streichende Hauptkluftrichtung deutlich. Die Klüfte stehen überwiegend steil und sind in Abhängigkeit von der Gesteinsausbildung als Groß-, Mittel- oder Kleinklüfte ausgebildet. Die Kluffugen sind makroskopisch überwiegend geschlossen und nur in den Tunneleingangsbereichen oder in tektonischen Störungszonen bis zu 2 Zentimetern weit geöffnet.

Die Raumstellung der Störungen entspricht im wesentlichen der der vorherrschenden Kluftrichtungen (NW-SE und N-S). N-S streichende Störungen treten überwiegend im südlichen Tunnelteil auf. Die Beträge des vertikalen Versatzes an den Störungsbahnen betragen zwischen einigen Dezimetern und nachweislich mehr als 85 Metern. Glatte, nahezu geschlossene Störungsfugen treten ebenso auf, wie bis zu mehreren Metern breite Störungsbrekzien und Mylonite. Bedeutende Störungen wurden in folgenden Tunnelabschnitten angetroffen:

km 121,790	(1,0 m sandiger Mylonit, Zerrüttung im Randbereich)
km 122,760	(Versatzbetrag von mindestens 20 Metern und 0,5 m breiter Zerrüttungsstreifen)
km 122,760—km 123,761	(5 Bereiche jeweils mit scharig angeordneten, mylonitischen oder brekziösen Störungsbahnen)
km 126,136	(mehr als 50 m Vertikalversatz)
km 126,361	(Längs- und Radialrisse in der Spritzbetonschale)

km 126,788—km 127,038	(lokal 14 m brekziös und mylonitisch)
km 127,526—km 127,576	(Vertikalversatzbeträge von mehr als 12 m,
km 128,098—km 128,130	Scharung von Einzelstörungen, Brekzien u.
km 128,478—km 128,516	Mylonite von 0,5 m und Zerrüttungsstreifen
km 129,007—km 129,036	bis 1,5 m)
km 130,239—km 130,254	(Randstörungen eines tektonischen Grabens
km 130,449—km 130,482	mit Zerrüttungszonen bis 2 m Breite und
	Brekzien bis 1 m Mächtigkeit, Risse im
	Spritzbeton)
km 131,439—km 131,481	(tunnelparallel streichende Störungszone)

Neben der tektonischen Beanspruchung des Gebirges sind auch Subrosionserscheinungen von erheblicher tunnelbautechnischer Relevanz. Ein Subrosionsschlot, der mit m³-großen Gebirgsschollen aus Material der Solling-Folge und des Röt gefüllt ist, wurde bei km 121,698—km 121,728 mit der nördlichen Hälfte des Tunnelprofils angefahren.

Hydrogeologie

Der Hauptgrundwasserspiegel ist auf das Niveau der Vorfluter Werra und Fulda eingestellt und liegt 50 bis 60 m unterhalb der Tunneltrasse. Örtlich (km 130,300) flossen dem aufgefahrenen Hohlraum jedoch aus schwebenden Grundwasserlinsen bis zu 15 l/s mit rasch abnehmender Tendenz zu. Der Einfluß stärkerer und länger anhaltender Niederschläge machte sich im Tunnel bis zu Überlagerungshöhen von 50 m bemerkbar, wobei die Durchfeuchtung des Gebirges teilweise zu einer Reaktivierung bereits abgeklungener Verformungen führte.

Zwischen km 122,236 und 122,641 wurde eine Grundwasserlinse angeschnitten, die oberhalb der Grenze Hardeggen-/Solling-Folge anstand. Dies führte an der Ortsbrust zu Wasserzutritten bis zu 3 l/s, wobei sowohl punktförmige Kluftwasserzutritte als auch linienhafte Sickerwasserzutritte zu beobachten waren.

Nachdem der Tunnel aufgefahren war, betrug die über die Tunnel drainagen abgeführte Gesamtwassermenge zwischen 15 l/s und 25 l/s. Langfristig wird mit nur lokal begrenztem und geringem Wasserzulauf gerechnet.

Sonderbaumaßnahmen

Im Zusammenwirken mit der starken Entfestigung und Kaolinitisierung der Solling-Sandsteine führten die Wasserzutritte zwischen km 122,236 und km 122,641 zu Schwierigkeiten beim Kalottenvortrieb. Für die Strossenauffahrung wurde deshalb das Gebirge voreilend mit Schachtbrunnen bis unter die Tunnelsohle entwässert.

In hochtektonisiertem und durch Hangzerreißung stark gestörtem Gebirge kam es beim Aufahren der Strosse zum Versagen der Kalottenaußenschale und damit verbunden zu Firstsetzungen von maximal 500 mm zwischen km 126,853 und km 126,888. Nach einer Sofortsicherung durch den Einbau von Holzstempeln erfolgte die Sanierung mittels gebirgsvergütender Injektionen und anschließender Überfirstung des betroffenen Tunnelbereichs. Die querschlägige intensive Durchtrennung des Gebirges mit Großklüften führte zwischen km 127,323 und 127,393 sowie zwischen km 127,538 und km 128,088 jeweils etwa 30—60 Minuten nach dem Abschlag zu einem Nachbrechen der Kalotten-Ortsbrust. Zur Stabilisierung der Ortsbrust wurde diese mit einem stehengebliebenen Stützkern verstärkt.

Im nordöstlichen Voreinschnitt des Mündener Tunnels (km 120,865—km 121,006) werden in der Nordwestböschung und in der Stirnböschung Sandsteinbänke von halbfesten bis steifen

Tertiärtonen und im Hangenden des Niveaus 198 m NN von halbfestem bis steifem Lößlehm überlagert. Wegen starker Vernässungen im Portalkessel wurden die Tertiärtonen und der Lößlehm mit dem Ziel einer langfristig zu garantierenden Standsicherheit der Böschungen ausgekoffert und durch eine Basaltvorschüttung mit eingebauten Drainageleitungen ersetzt.

In der nordöstlichen Anschlagböschung im Voreinschnitt Steinbachtal (km 126,711 bis km 126,788) geriet nach dem Auffahren des Kalottenvortriebs der über dem Tunnel anstehende Gebirgsbereich in Bewegung, wobei Setzungen von bis zu 100 mm und talwärtige Horizontalbewegungen bis zu 61 mm gemessen wurden. Mit zusätzlich eingebauten Ankerlagen konnte dieser mobilisierte Hangabschnitt beherrscht werden. In der südwestlichen Anschlagböschung traten Risse in der Spritzbetonsicherung und im Oberbau der B 496 auf, als im Zuge der Ausubarbeiten für die Baugrube das Tunnelfirstniveau erreicht wurde. Mithilfe eines daraufhin installierten Oberflächenmeßpunktnetzes wurde ermittelt, daß die Anschlagböschung auf einer Länge von 150 m in Bewegung geraten war. Durch zusätzliche Erkundungsbohrungen im Rutschungsbereich konnte nachgewiesen werden, daß die Rutschmasse maximal 18 m dick war und die Hangschuttdecke sowie die tonige Gleitschicht in der Auflockerungszone des anstehenden Festgesteins umfaßte. Die Gleitebene wies eine talwärtige Neigung von 8° auf und strich in der Anschlagböschung im Niveau der Tunnelfirste aus. Der im Zuge der Voruntersuchungen installierte Inklinometer war infolge der Hangbewegungen abgeschert worden und damit nicht mehr brauchbar. Mittels geodätischer Messungen wurden Verschiebungsbeträge von mehr als 0,5 m ermittelt. Mit einer aufwendigen Rückverankerung der Anschlagböschung konnte die Bewegung des Hanges zum Stillstand gebracht werden. Nach Fertigstellung der Innenschale wurde das Steinbachtal mit Tunnelausbruchmaterial aus der Solling-Folge (Tonsteinanteil < 20 %) wiederverfüllt.

3.15 M ü h l e n k o p f t u n n e l

Allgemeines

Bevor die Neubaustrecke Hannover-Würzburg die Fulda quert und hessisches Gebiet erreicht, wird ausgehend vom Ickelsbachtal der Mühlenkopf mit einem 1343 m langen Tunnel durchfahren. Der Mühlenkopftunnel (km 131,79885 bis km 133,1055) hat mit 10 m bis 30 m eine für einen bergmännisch vorgetriebenen Tunnel relativ geringe Überdeckung und verläuft abschnittsweise parallel zum Fuldahang in tunnelbautechnisch ungünstiger Lehnenlage.

Der Tunnel wurde in den Jahren 1983 bis 1987 gebaut. Der Vortrieb erfolgte fallend von Norden nach Süden vom Nordportal im Ickelsbachtal und von einem Zwischeneinschnitt (km 132,314 bis km 132,427) aus. Der Zwischeneinschnitt war erforderlich geworden, weil hier in einem Bereich stark kaolinitisierter Sandsteine das Kalottengewölbe im Schutz einer Bohrpfahlwand in einer Baugrube hergestellt werden mußte (offene Bauweise). Im Süden wurde der Tunnel im Schutze einer voreilenden Firstsicherung ohne den sonst üblichen Gegenvortrieb durchgeschlagen, weil es im teilweise bereits abgerutschten Gebirge des Fuldahanges angezeigt war, auf die Herstellung eines Voreinschnittes zu verzichten.

Die bergmännisch vorgetriebenen Teile des Mühlenkopftunnels sind auf insgesamt 13 Blättern im Maßstab 1 : 100 ingenieurgeologisch in Form von Längsschnitten dokumentiert. Darüber hinaus befinden sich geotechnische Längsprofile (M 1 : 1000) sowie diverse Ortsbrustaufnahmen in der Bauakte. Die geologische Situation der Baugruben und der in offener Bauweise hergestellten Tunnelabschnitte liegt, wie für die Voreinschnitte, auf Karten im Maßstab 1 : 1000 vor.

Geologie

Der Mühlenkopftunnel und seine Voreinschnitte durchörtern von Norden nach Süden, im stratigraphischen Sinne vom Liegenden zum Hangenden, Festgesteinschichten der Hardegsen-Folge und der Solling-Folge (Mittlerer Buntsandstein). Die Festgesteine werden im nördlichen Voreinschnitt von quartären und im Zwischeneinschnitt zusätzlich von tertiären Lockergesteinen überlagert (Taf. 19):

Quartär/Hardegsen-Folge (q/smH)	km 131,725 —km 131,7885
Hardegsen-Folge (smH)	km 131,7885—km 132,019
Solling-Folge/Hardegsen-Folge (smS/smH)	km 132,019 —km 132,314
Quartär/Tertiär/Solling-Folge (q/t/smS)	km 132,314 —km 132,432
Solling-Folge (smS)	km 132,432 —km 132,454
Hardegsen-Folge (smH)	km 132,454 —km 133,105

Die Hardegsen-Folge steht zwischen km 131,7885 und km 132,019 und ab km 132,454 im gesamten Tunnelquerschnitt und im Tunnelabschnitt km 132,019 bis km 132,314 in Strosse und Sohle an.

Die im Zwischeneinschnitt vorkommenden Tertiärsedimente sind graublau, steife bis feste Tone. Darüber lagert Quartär in Form von Decklehen mit steinig-blockigem Hangschutt und schluffigen Feinsanden. Im nördlichen Voreinschnitt ist das Quartär als pleistozäner Solifluktionsschutt mit einer mittleren Mächtigkeit von 5 Metern ausgebildet. Es handelt sich dabei um umgelagertes, meist steiniges bis blockiges Buntsandsteinmaterial in tonig-schluffiger Matrix.

Das Schichteinfallen ist im vorderen Teil des nördlichen Voreinschnittes zum Ickelsbachtal geneigt. Im mittleren und portalnahen Bereich lagern die Festgesteine sählig bis flach nach Südwesten geneigt (max. 10°). Im Tunnel lagern die Schichten sählig oder fallen mit ca. 5° bis 15° nach Südwesten. Im Bereich von Störungszonen ist der Schichtverband oft nach WSW verkippt oder anderweitig gestört. Am Südportal ist der Schichtverband an einer tektonischen Störung und in einer Zone intensiver Hangzerreißung mit etwa 20° nach Norden verkippt.

Die bankbezogene Klüftung der Gesteine mit Trennfugenabständen zwischen 0,1 bis 1,0 m ist im nördlichen Voreinschnitt überwiegend steil (70-90°) angelegt und Nord-Süd bzw. Ost-West ausgerichtet. Aus ihr ergeben sich Kluftkörper mit Kantenlängen zwischen 10 cm und 100 cm. Die Klüfte sind meist im mm- bis cm-Bereich geöffnet. Ihre Flächen sind rau, eben bis leicht gewellt und mit Fe/Mn-Oxiden besetzt. Die Trennfugen sind selten mit Ton oder Schluff verfüllt. Der mittlere Abstand der Großklüfte beträgt ca. 2,5 m.

In der Tunnelstrecke zwischen km 131,788 und km 132,019 ist der Schichtverband eng bis mittelständig durchtrennt. Im Bereich der weiteren Portalzone tritt verstärkt sehr engständige (0,1—0,2 m Kluftabstand) Klüftung auf. Das Gebirge ist dort zwischen km 131,788 und km 131,810 intensiv durchtrennt. Es besitzt eine hohe Teilbeweglichkeit der einzelnen meist kubisch bis plattig ausgebildeten Kluftkörper mit Kantenlängen von 0,1 bis 1,0 m und kennzeichnet einen Tunnelabschnitt mit starker Gebirgsauflockerung (Hangzerreißung und vollkommene Durchtrennung des Gebirges).

Zwischen km 132,019 und dem Zwischeneinschnitt (km 132,314) betragen die Kluftabstände bei den Sandsteinen 0,1 bis 0,5 m und bei den Tonsteinen 0,5 bis 1,0 m. Die Klüfte streichen bei steilem Einfallen (70° bis 90°) Nord-Süd und Ost-West. Insbesondere die Ost-West streichenden, großräumig angelegten Trennflächen sind hier in einer Lehnenposition des Tunnels Elemente des Phänomens der Hangzerreißung mit z. T. erheblichen Öffnungsweiten.

Im Südabschnitt des Mühlenkopftunnels (km 132,432 bis km 133,098) sind die Sandsteine der Solling-Folge sehr engständig bis mittelständig (Abstände zwischen 0,2 m—1,0 m) durchtrennt. Der Einfluß der Hangzerreißung ist an Ost-West streichenden Trennflächen zu beobachten.

ten. Bei den ab km 132,454 im Tunnelquerschnitt anstehenden Gesteinen der Hardeggen-Folge dominieren in der Kalotte fein- bis mittelkörnige, dünn- bis dickbankige Sandsteine mit einem Kluftabstand zwischen 0,1 m bis 0,5 m. Die Öffnungsweiten der Trennfugen liegen bei wenigen Millimetern im ungestörten Gesteinsverband. Unter dem Einfluß der Hangzerreißung wurden Kluftweiten bis zu 20 cm festgestellt. Die mit Sandsteinen oder Tonsteinen faziell verzahnten Sandstein/Tonstein-Wechselfolgen im Strossen- und Sohlbereich sind sehr eng- bis mittelständig von von steilen Klüften durchtrennt.

Innerhalb einer Scherzone zwischen km 132,628 und km 132,658 dominieren Ost-West streichende Hangzerreißungselemente, die im Zusammenwirken mit dem Nord-Süd streichenden Kluftsystem eine hohe Beweglichkeit der Kluftkörper im Tunnelquerschnitt verursachen.

Zwischen km 132,0485 und km 132,0635 wurde eine grabenähnliche, aus Mylonit und Gesteinsbrekzien aufgebaute, durchfeuchtete Verwerfungszone durchfahren. Ausgeprägte Verwerfungszone charakterisieren des weiteren das Gebirge im Tunnelabschnitt zwischen km 132,1085 und km 132,1735. Innerhalb dieser Strecke wird das Gebirge von mehreren, annähernd Nord-Süd streichenden Störungen durchzogen. Weitere tektonisch gestörte Gebirgsabschnitte befinden sich in folgenden Bereichen:

km 132,2085—km 132,2335 (Graben)
 km 132,2885—km 132,3135

Der Zwischeneinschnitt (132,314 bis 132,432) ist aus tektonischer Sicht eine aus mehreren Schollen zusammengesetzte Grabenzone. Im Bereich der Anfahrszone für den Südabschnitt des Mühlenkopftunnels (km 132,432) ist das Gebirge von annähernd trassenparallelen und querschlägigen, steilstehenden Störungen im Abstand von 2 m bis 10 m in ein Schollenmosaik zerlegt. Zwischen km 132,455 und km 132,6085 sind im Abstand von etwa 2—15 m zwanzig Einzelstörungen mit Versatzbeträgen im m-Bereich ausgebildet. Zwischen km 132,6285 und km 132,6585 folgt eine staffelbruchartige Störungszone, die etwa diagonal den Tunnel kreuzt. Störungszonen wurden weiterhin von km 132,7685 bis km 132,8185, von km 132,9085 bis km 133,0385 und bei km 133,0735 angefahren. Im Bereich des Tunnelsüdportals ist eine nach Süden einfallende Störungsfläche festgestellt worden.

Neben der tektonischen Beanspruchung des Gebirges und der Hangzerreißung waren auch Verwitterungserscheinungen beim Mühlenkopftunnel von erheblicher tunnelbautechnischer Relevanz. Verwitterungserscheinungen sind u. a. die Kaolinitisierung von Sand- und Schluffsteinen sowohl in der Hardeggen- als auch in der Solling-Folge. Die Tonsteine sind häufig zu weich-plastischen Tonen entfestigt. Die Verwitterungserscheinungen sind entlang ausgeprägter Trennflächen besonders tiefreichend. An unterschiedlich durchlässigen Grenzschichten und Störungen sind Verwitterungsvorgänge bei verstärkter Wasserführung bevorzugt ausgebildet.

Hydrogeologie

Das durchhörte Gebirge hat infolge der ausgeprägten und tiefreichenden Durchtrennung eine hohe Durchlässigkeit und gute Drainageeigenschaften. Der Hauptgrundwasserspiegel liegt etwa 25—30 m unter der Tunnelsohle auf Fuldaniveau (ca. 130 m NN).

Freies Bergwasser trat nur in geringen Mengen (bis 0,5 l/s) als Kluft- oder Schichtwasser lokaler Aquifere auf.

Sonderbaumaßnahmen

Die schwierigen Gebirgsverhältnisse im Hangzerreißungsbereich des Ickelsbachtals führten im November 1983 im nördlichen Anfahrbereich beim Kalottenvortrieb über 50 m Tunnel-

strecke zu Sackungen mit Vertikalbewegungen von mehr als 30 cm und Horizontalbewegungen von > 5 mm. Der Vortrieb wurde eingestellt und die Kalotte mit Holzstempeln und anderen Stützmaßnahmen gesichert. Der Hang wurde mit 47 Stück Verpreßankern von 30 m Länge gesichert, und mit dem Ziel einer nachhaltigen Verbesserung der Trageigenschaften des anstehenden Gebirges wurden von über Tage aus Injektionen durchgeführt. Im Schutze der ergriffenen Sicherungsmaßnahmen wurde der Schadensbereich dann überfirstet.

Starke Verformungen (Vertikalbewegungen max. 220 mm, Horizontalbewegungen max. 10 mm) traten auch beim Kalottenvortrieb in dem tektonisch stark beanspruchten Tunnelabschnitt um km 132,0835 auf. Hier wurde das Gebirge mittels Zementinjektionen verbessert.

Zwischen km 132,1085 und km 132,1565 traten beim Strossenvortrieb Konvergenzen in der Größenordnung von 8 cm auf. Der Bereich wurde zuerst mit Holz- und anschließend mit 3—4 m breiten Betonriegeln ausgesteift und dann mit 8 m langen Ankern nachgeankert.

Zwischen km 132,246 und km 132,3120 traten starke Verformungen auf. Deshalb wurde das Gebirge in diesem Bereich mittels Zementinjektionen verbessert und die Tunnelaußenschale überfirstet. Außerdem wurden nach erfolgtem Sohlschluß 7 Stück Spritzbetonmanschetten eingebaut und die Innenschale von geplanten 30 cm auf 40 cm Dicke verstärkt.

Der Durchschlag am Südportal wurde mit verstärktem Ausbau und voreilender Sicherung von innen nach außen ohne Gegenvortrieb ausgeführt. Dadurch konnte die problematische Herstellung eines Voreinschnittes im rutschgefährdeten Prallhang der Fulda vermieden werden.

Im Oktober 1984 traten im mittleren und südlichen Teil des Zwischeneinschnittes (km 132,314—132,427) im quartären Deckgebirge über einem graublauen, steifen bis festen Tertiärton oberflächennahe Rutschungen auf. Der Vortrieb mußte eingestellt und das Baukonzept geändert werden. Zur Stabilisierung der temporären Baugrube des Tunnels wurde als Sonderbaumaßnahme eine ca. 120 m lange Bohrpfahlwand etwa 10 m tief in Buntsandsteinschichten gegründet. Im Schutze dieser in zwei Ebenen rückverankerten Stützwand wurde die Tunnelkalotte in offener Bauweise erstellt, begleitet von nachläufigen Sohl- und Strosseninjektionen. Anschließend wurde das Bauwerk im Zwischeneinschnitt mit Ausbruchmaterial überschüttet. Die Innenschalendicke wurde in diesem Bereich zwischen 50 cm und 70 cm Dicke ausgebildet.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Nachdem der zwischen Hannover und Rethen gelegene Teilabschnitt nach 6 Jahren Bauzeit bereits im Jahre 1979 in Betrieb genommen worden war, baute die DB in den Jahren 1981 bis 1991 den übrigen auf niedersächsischem Gebiet liegenden Teil ihrer neuen Schnellbahnstrecke Hannover-Würzburg. Neben Erdbauwerken und Brücken wurden im niedersächsischen Bergland insgesamt 15 Tunnel vorgetrieben. Während der Ausbrucharbeiten erfolgte Abschlag für Abschlag eine Dokumentation der angetroffenen geologischen Situation. Die Ausbruchquerschnitte der Tunnel betragen je nach dem von den geologischen Gegebenheiten abhängigen Sicherungs- und Ausbaufwand zwischen 104 m^2 und $> 180 \text{ m}^2$.

Der Escherbergtunnel (Länge: 3687 m) unterfährt die nordöstliche Flanke des Höhenzuges Hildesheimer Wald westlich von Hildesheim bis zum Beustertal und wurde in den Gesteinen des Mittleren und Unteren Muschelkalk, des Quartär, des Tertiär, des Oberen (Röt), des Mittleren und des Unteren Buntsandstein gebaut.

Der Eichenbergtunnel (Länge: 1157 m) unterfährt die Südwestflanke des Höhenzuges Hildesheimer Wald und durchschneidet von Norden nach Süden Schichten des Unteren und Mittleren Buntsandstein.

Der Eggebergtunnel (Länge: 332 m) unterfährt die Südwestflanke des Hildesheimer Wald-Sattels. Von Süden nach Norden wurden nacheinander Teile des Unteren Muschelkalk und des Oberen Buntsandstein (Röt) durchörtert.

Der Riesenbergtunnel (Länge: 1322 m) unterfährt nordwestlich des Fleckens Lamspringe die Westflanke des Rhüdener Sattels. Dabei durchörtert er große Teile der Schichtenfolge des Oberen Muschelkalk.

Der Hellebergtunnel (Länge: 1641 m Länge) quert westlich der Stadt Bad Gandersheim in der Südwest-Flanke der Sackmulde die Schichtenfolge der Trias vom Unteren Buntsandstein bis zum Mittleren Keuper.

Der Wadenbergtunnel (Länge: 420 m Länge) durchfährt westlich der Stadt Bad Gandersheim den Wadenberg zwischen Mahmilch- und Gandetal in Gesteinen des Unteren Muschelkalk.

Der Hopfenbergtunnel (Länge: 761 m Länge) unterfährt westlich der Stadt Bad Gandersheim und nahe der Ortschaft Kreiensen den Hopfenberg. Der Hopfenbergtunnel durchörtert Gesteine des Unteren, Mittleren und Oberen Muschelkalk.

Der Sohlbergtunnel (Länge: 1729 m) quert im Gebiet der Gemeinde Kreiensen die Nordflanke des Ahlshäuser Buntsandstein-Gewölbes. Beim Vortrieb wurden Gesteine des Mittleren Buntsandstein von der Volpriehausen-Folge bis zur Solling-Folge durchörtert.

Der Kriebergtunnel (Länge: 2960 m) durchfährt die Südflanke des Ahlshäuser Buntsandstein-Gewölbes in Gesteinen des Quartär, des Oberen, Unteren und Mittleren Buntsandstein.

Der Leinebuschtunnel (Länge: 1740 m) durchfährt das Hochplateau des Großen Leinebusch nordöstlich der Ortschaft Jühnde. Beim Vortrieb wurden Gesteine des Mittleren und Oberen Muschelkalk durchörtert.

Der Endelskamptunnel (Länge: 673 m) unterfährt westlich der Gemeinde Jühnde im Bereich der Dransfelder Hochfläche einen flachen morphologischen Rücken, der aus Gesteinen des Unteren und Mittleren Muschelkalk aufgebaut ist.

Der Mackenrodtunnel (Länge: 849 m) unterfährt südwestlich der Gemeinde Jühnde ein Hochplateau, in dessen Untergrund Unterer Muschelkalk ansteht.

Der Rauhebergtunnel (Länge: 5211 m) unterfährt nördlich der Werra nahe bei der Ortschaft Lippoldshausen die Dransfelder Hochfläche in Gesteinen des Mittleren und Oberen Buntsandstein, des Unteren Muschelkalk und des Quartär.

Der Mündener Tunnel (Länge: 10525 m) verläuft südlich bis südwestlich der Stadt Hannoversch Münden zwischen Werra und Fulda überwiegend in Gesteinen des Mittleren Buntsandstein. Im Bereich des Nordportals reichen Tertiärtonne vom Deckgebirge in das Tunnelprofil hinein.

Der Mühlenkopftunnel (Länge: 1343 m) wurde zwischen den Gemeinden Landwehrhagen und Wahnhausen oberhalb der Fulda in Gesteinen des Mittleren Buntsandstein vorgerieben.

L I T E R A T U R

- BOIGK, H. (1956): Vorläufige Mitteilung über eine neue Gliederung des Mittleren Buntsandsteins im Raume Südhannover. — Geol. Jb. **72**: 325—340, 3 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- BRÜNING, U. (1986): Stratigraphie und Lithofazies des Unteren Buntsandsteins in Südniedersachsen und Nordhessen. — Geol. Jb., **A 90**: 3—125, 18 Abb., 9 Tab., 8 Taf.; Hannover.
- BRÜNING, U. (1989): Höhlen und Erdfälle im Mittleren Muschelkalk Südniedersachsens — Die Hopfenberghöhle bei Kreiensen. — North. Jb. 54. Jg.: 9—27, 6 Abb.; Northeim.
- BRÜNING, U. & GEISSLER, H. (1986): Quartärprofile entlang der DB-Schnellbahnneubaustrecke Hannover-Würzburg im südniedersächsischen Bergland und ihr möglicher Zusammenhang mit Subrosionen. — unveröff. Vortrag 23. Wiss.Tag. der Dtsch. Quartärvereinigung e.V.(DEUQUA) am 16.—18. September 1986 in Celle.
- BRÜNING, U. & GEISSLER, H. (1988): Zusammenfassende Beschreibung der geologischen Situation Sohlbergtunnel. — unveröffentlichter Bericht NLFb; Hannover.
- BRÜNING, U. & GEISSLER, H. (1988): Zusammenfassende Beschreibung der geologischen Situation Kriegergtunnel. — unveröffentlichter Bericht NLFb; Hannover.
- BRÜNING, U. & GEISSLER, H. (1989): Zusammenfassende Beschreibung der geologischen Situation Hellebergtunnel. — unveröffentlichter Bericht NLFb; Hannover.
- DRESCHER, J. (1984): Einfluß der Gesteinsinformation des Muschelkalkes (Trias) auf die Tunnelplanung der DB-Neubaustrecke Hannover-Würzburg. — Forschung + Praxis, U-Verkehr und unterirdisches Bauen, **29**: 175—179, 3 Bilder, 3 Tab.; Essen.
- DRESCHER, J. & GEISSLER, H. (1989): Tunnelgeologie — Vergleich zwischen Prognose und Realität. — Ber. 7. Nat. Tag. Ing.-Geol.: 121—131, 8 Abb.; Bensheim.
- DUDDECK, H., GEISSLER, H. und SCHREWE, F. (1992): Tunnelbau in Erdfallgebieten. — Archiv für Eisenbahntechnik (AET), **44**; Hestra Verlag Darmstadt.
- FRANKE, W., PAUL, J. & SCHRÖDER, H.-G. (1977): Exkursion I der Geotagung '77, Göttingen. — Exkursionsführer II der Tagung der Dt. Geol. Ges. und Paläont. Ges. 1977: 41—62, 8 Abb., 1 Tab.; Göttingen.
- GEISSLER, H. (1982): Ingenieurgeologisches Gutachten Leinebuschtunnel und Voreinschnitte. 95 S., unveröffentlichtes Gutachten NLFb; Hannover.
- GEISSLER, H. (1982): Ingenieurgeologisches Gutachten Endelskamptunnel und Voreinschnitte. 60 S., unveröffentlichtes Gutachten NLFb; Hannover.
- GEISSLER, H. (1982): Ingenieurgeologisches Gutachten Mackenrodtunnel und Voreinschnitte. 106 S., unveröffentlichtes Gutachten NLFb; Hannover.
- GEISSLER, H. (1983): Ingenieurgeologisch-geotechnische Untersuchungen für Bauwerke der Neubaustrecke Hannover-Würzburg der Deutschen Bundesbahn im Leinebergland. — Ber. 4. Nat. Tag. Ing.-Geol.: 87—89, 11 Bilder, 3 Tabellen; Goslar.
- GEISSLER, H. (1986): Sulfatkarst im Untergrund von Ingenieurbauwerken sowie Konzepte für Sanierungsmaßnahmen. — Mitt. Ing.- und Hydrogeologie: **24**: 93—117, 12 Abb., 2 Tab.; Aachen.
- GEISSLER, H. (1987): Über eine Karsthöhle im Hopfenbergtunnel der Bundesbahn-Neubaustrecke Hannover-Würzburg. — Ber. naturhist. Ges. Hannover, **129**: 93—102, 8 Abb.; Hannover.
- GEISSLER, H. (1988): Zusammenfassende Beschreibung der geologischen Situation Rauhebergtunnel. — unveröffentlichter Bericht NLFb; Hannover.

- GEISSLER, H. (1989): Zusammenfassende Beschreibung der geologischen Situation Wadenbergtunnel. — unveröffentlichter Bericht NLfB; Hannover.
- GEISSLER, H. (1989): Zusammenfassende Beschreibung der geologischen Situation Hopfenbergtunnel. — unveröffentlichter Bericht NLfB; Hannover.
- GEISSLER, H. (1989): Zusammenfassende Beschreibung der geologischen Situation Leinebuschtunnel. — unveröffentlichter Bericht NLfB; Hannover.
- GEISSLER, H. (1989): Zusammenfassende Beschreibung der geologischen Situation Endelskamp-tunnel. — unveröffentlichter Bericht NLfB; Hannover.
- GEISSLER, H. (1989): Zusammenfassende Beschreibung der geologischen Situation Mackenrodt-tunnel. — unveröffentlichter Bericht NLfB; Hannover.
- GEISSLER, H., HANISCH, J. & LEICHNITZ, W. (1987): Sanierung des Gebirgstragrings in einem stark wasserführenden Tunnelabschnitt mittels Injektion-Neubaustrecke Hannover-Würzburg der Deutschen Bundesbahn, Rauhebergtunnel. — Ber. 6. Nat. Tag. Ing.-Geol.: 283—289, 8 Abb.; Aachen.
- GEISSLER, H. & LEICHNITZ, W. (1988): Ingenieurgeologische Betreuung beim Tunnelvortrieb als Beitrag zur Bauwerksoptimierung und Schadensminimierung. — Felsbau, **6/3**: 120—124, 10 Bilder; Essen.
- GEISSLER, H. & LENZ, K.-L. (1981): Ingenieurgeologisches Gutachten Wadenbergtunnel und Voreinschnitte. — 57 S., unveröffentlichtes Gutachten NLfB; Hannover.
- GEISSLER, H. & LENZ, K.-L. (1982): Ingenieurgeologisches Gutachten Hopfenbergtunnel und Voreinschnitte. — 86 S., unveröffentlichtes Gutachten NLfB; Hannover.
- GEISSLER, H. & LEPPER, J. (1982): Ingenieurgeologisches Gutachten Hellebergtunnel und Voreinschnitte. — 106 S., unveröffentlichtes Gutachten NLfB; Hannover.
- GEISSLER, H. & LEPPER, J. (1982): Ingenieurgeologisches Gutachten Sohlbergtunnel und Voreinschnitte. — 65 S., unveröffentlichtes Gutachten NLfB; Hannover.
- GEISSLER, H., MÖKER, H., SAUER, G. & SCHREWE, F. (1982): Tunnelplanung der Deutschen Bundesbahn in erdfallgefährdetem Gebiet — NBS Hannover-Würzburg, Leinebusch-Tunnel. — Rock Mechanics, Suppl. **12**: 63—73, 5 Abb., 1 Tab.; Wien.
- GRIMMELMANN, W. (1981a): Hydrogeologisches Gutachten zum Abschnitt 2, km 54,17—75,50 der Bundesbahnneubaustrecke Hannover-Würzburg. — unveröffentlichtes Gutachten NLfB; Hannover.
- GRIMMELMANN, W. (1981b): Hydrogeologisches Gutachten zum Abschnitt 4, km 102,5—113,9 der Bundesbahnneubaustrecke Hannover-Würzburg. — unveröffentlichtes Gutachten NLfB; Hannover.
- GROETZNER, H.-P. (1962): Stratigraphisch-fazielle Untersuchungen des Oberen Muschelkalks im südöstlichen Niedersachsen zwischen Weser und Oker. — TH Braunschweig: 124 S., 4 Abb., 1 Tab., 9 Taf.; Braunschweig.
- HEMMETER, G. & SÜSS, R. (1987): The Krieberg Tunnel — The "New Austrian Tunnelling Method" in Soft Ground. — RTR Special "Rail Road Construction": 31—34, 10 Fig.; Hestra-Verlag Darmstadt (ISSN 0079.9548).
- HINZE, C. (1967): Der Obere Buntsandstein (Röt) im südniedersächsischen Bergland. — Geol. Jb., **84**: 637—716, 4 Abb., 2 Taf., 1 Tab.; Hannover.
- JORDAN, H., mit Beiträgen von BÜCHNER, K.-H., NIELSEN, H. & PLAUMANN, S. (1986): Halotektonik am Leinetalgraben nördlich Göttingen. — Geol. Jb., **A 92**: 66 S., 13 Abb., 8 Tab., 2 Taf.; Hannover.

- JORDAN, H. & SCHWARTAU, W. (1993): Das Lößprofil von Ahlshausen und weitere tiefe Quartäraufschlüsse entlang der Bundesbahn-Neubaustrecke bei Northeim, Südniedersachsen. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **43**: 110—122, 9 Abb., 3 Tab.; Hannover.
- KAISER, K. (1989): Ingenieurgeologische Dokumentation Mündener Tunnel. — unveröffentlichter Bericht Lahmeyer International; Frankfurt/Main.
- KLEINSORGE, H. (1935): Paläogeographische Untersuchungen über den Oberen Muschelkalk in Nord- und Mitteldeutschland. — *Mittl. geol. Staatsinst. Hamburg*, **15**: 57—106, 1 Taf.; Hamburg.
- KOCH, G. (1982): Geologische Bearbeitung der geplanten Bundesbahn-Neubaustrecke Hannover/Würzburg durch den westlichen Hildesheimer Wald. — unveröff. Diplomarbeit: 402 S., 34 Abb., 54 Tab., 2 Taf., 17 Anl.; Karlsruhe.
- KOCKEL, F. (1984): Der strukturelle Bau des Hildesheimer Waldes — eine Neuinterpretation geologischer und geophysikalischer Befunde. — *Geol. Jb.*, **A 75**: 489—499, 8 Abb., 1 Taf.; Hannover.
- LEICHNITZ, W. (1987): Tunnelbau im grundwasserführenden Gebirge des Rauhebergs. — *Die Bundesbahn 10/1987*: 895—898, 6 Bilder; Hestra-Verlag Darmstadt.
- LEICHNITZ, W. (1987): Verbruch beim Bau des Kribergtunnels, NBS,H/W Aufwältigung. — Sonder-Tunnel: 91—94, 6 Bilder, Symposium Sanierung von Tunnelbauwerken März 1987; München.
- LEICHNITZ, W. & REIK, G. (1987): Erfahrungen aus der ingenieurgeologischen Betreuung von Tunnelbaustellen der Deutschen Bundesbahn. — *Ber. 6. Nat. Tag. Ing.-Geol.*; Aachen.
- LEICHNITZ, W. & SCHLITT, H. (1987): Verbruch beim Bau des Kribergtunnels — Ablauf und Ursachen. — *IV. Kolloquium für Bauverfahrenstechnik der Ruhr-Universität Bochum*.
- LEICHNITZ, W. & SCHIFFER, W. (1988): Umstellung des Vortriebs- und Ausbauverfahrens infolge unerwartet hohen Grundwasserzufflusses: Beispiel Rauheberg tunnel. — *Forschung + Praxis, U-Verkehr und unterirdisches Bauen*; Essen.
- LEICHNITZ, W. & SCHREWE, F. (1986): Analyse von Schadensereignissen bei Neubaustrecken-Tunneln der Deutschen Bundesbahn. — *Felsmechanik-Symposium RWTH Aachen*, 9 S., 11 Abb.; Aachen.
- LEPPER, J., unter Mitarbeit von MENGELING, H. und mit Beiträgen von GROETZNER, J.-P., HAUBOLD, C., JORDAN, H., LEIBER, C., RHODE, P., SPONAGEL, H. & THIEM, W. (1991): Beiheft zur Geologischen Wanderkarte Mittleres Weserbergland mit Naturpark Solling-Vogler. — *Beih. Ber. naturhist. Ges. Hannover*, **10**, 58 S., 32 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- LINKERHÄGNER, W. & LEICHNITZ, W. (1985): Tunnelbau bei den Neubaustrecken der Deutschen Bundesbahn. — *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, **34**; Hestra-Verlag Darmstadt.
- MOEKER, H. (1982): Ingenieurgeologisches Gutachten Kriberg tunnel, Bereich offene Bauweise und nördlicher Voreinschnitt. — unveröffentl. Gutachten NLfB; Hannover.
- NIEDERMEYER, S., REIK, G., KUNZ, F., KREZDORN, D., EFFENBERGER, K., NICKEN, G., ROTHENGATTER, P. & KOCH, G. (1981): Ingenieurgeologisches Gutachten Eggeberg tunnel. — 79 S., unveröffentl. Gutachten Ingenieur-Geologisches Institut Dipl.-Ing. S. Niedermeyer; Westheim/Hannover.
- NIEDERMEYER, S., REIK, G., KUNZ, F. (1982): Ingenieurgeologisches Gutachten Escherberg tunnel. — unveröffentl. Gutachten Ingenieur-Geologisches Institut Dipl.-Ing. S. Niedermeyer; Westheim/Hannover.

- NIEDERMEYER, S., REIK, G., KUNZ, F. (): Ingenieurgeologisches Gutachten Eichenbergtunnel. — unveröffentlichtes Gutachten Ingenieur-Geologisches Institut Dipl.-Ing. S. Niedermeyer; Westheim/Hannover.
- NIEDERMEYER, S., REIK, G., KUNZ, F. (): Ingenieurgeologisches Gutachten Riesenbergtunnel. — unveröffentlichtes Gutachten Ingenieur-Geologisches Institut Dipl.-Ing. S. Niedermeyer; Westheim/Hannover.
- PAUL, D.(1981): Ingenieurgeologisches Gutachten Lutterbergtunnel. — 74 S., unveröffentlichtes Gutachten Lahmeyer International GMBH; Frankfurt/Main.
- PAUL, J. & FRANKE, W. (1977): Sedimentologie einer Transgression: Die Röt/Muschelkalkgrenze bei Göttingen. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **3**: 148—177, 7 Abb., 5 Tab.; Stuttgart.
- PROJEKTGRUPPE NBS HANNOVER der Bahnbauzentrale Bundesbahndirektion Hannover (1987): Tunnelbau im Nordabschnitt der Neubaustrecke Hannover-Würzburg. — Sonderheft, 23 S.; Hannover.
- REIK, G. (1986): Ingenieurgeologisches Gutachten Halsberg. — unveröffentlichtes Gutachten Gesellschaft für Baugeologie und Meßtechnik mbH; Rheinstetten.
- REIK, G., KUNZ, F., ROTHENGATTER, P. & GRUNDNER-CULEMANN, C. (1989): Ingenieurgeologischer Abschlußbericht Escherbergtunnel. — unveröffentlicher Bericht Ingenieurgesellschaft gbm/WIRO; Rheinstetten.
- REIK, G., KUNZ, F., ROTHENGATTER, P. & GRUNDNER-CULEMANN, C. (1988): Ingenieurgeologischer Abschlußbericht Eichenbergtunnel. — unveröffentlicher Bericht Ingenieurgesellschaft gbm/WIRO; Rheinstetten.
- REIK, G., KUNZ, F. & ROTHENGATTER, P. (1986): Ingenieurgeologischer Abschlußbericht Eggebergtunnel. — unveröffentlicher Bericht Ingenieurgesellschaft gbm/WIRO; Rheinstetten.
- REIK, G., KUNZ, F., ROTHENGATTER, P. & GRUNDNER-CULEMANN, C. (1988): Ingenieurgeologischer Abschlußbericht Riesenbergtunnel. — unveröffentlicher Bericht Ingenieurgesellschaft gbm/WIRO; Rheinstetten.
- REUM, H. (1982): Ingenieurgeologisches Gutachten Kriebertunnel. — unveröffentlichtes Gutachten BGR, 115 S., Anhang in 6 Teilen; Hannover.
- RÖHLING, H.-G. (1991): A Lithostratigraphic subdivision of the Early Triassic in the Northwest German Lowlands and the German Sector of the North Sea, based on Gamma Ray and Sonic Logs. — Geol. Jb., **A 119**: 3—24, 1 Abb., 12 Anl.; Hannover.
- RÖHLING, H.-G. (1993): Der Untere Buntsandstein in Nordwest- und Nordostdeutschland. — Ein Beitrag zur Vereinheitlichung der stratigraphischen Nomenklatur. — Geol. Jb., **A 142**: 149—183, 12 Abb.; 9 Tab.; Hannover.
- SCHENK, V. (1981?): Ingenieurgeologisches Gutachten Mühlenkopftunnel. — unveröffentl. Gutachten Lahmeyer International GMBH; Frankfurt/Main.
- SCHENK, V. (1981): Ingenieurgeologisches Gutachten Lutterbergtunnel. — 74 S., unveröffentlichtes Gutachten Lahmeyer International GMBH; Frankfurt/Main.
- SCHENK, V. (1981): Ingenieurgeologisches Gutachten Mündener Staatsforst-Tunnel. — 91 S., unveröffentlichtes Gutachten Lahmeyer International GMBH; Frankfurt/Main.
- SCHENK, V. & al.(1989): Ingenieurgeologische Erkenntnisse beim Bau flachliegender Tunnel der NBS Hannover-Würzburg im Mittleren Buntsandstein. — Ber. 7. Nat. Tag. Ing.-Geol.: 133—147, 11 Abb.; Bensheim.

- SCHENK, V. & SCHRANZ, H. (1981): Ingenieurgeologisches Gutachten Rauheberg-Tunnel. — 72 S., unveröffentlichtes Gutachten Lahmeyer International GMBH; Frankfurt/Main.
- SCHRANZ, H. (1986): Ingenieurgeologische Dokumentation Mühlenkopftunnel — unveröffentlichter Bericht Lahmeyer International; Frankfurt/Main .
- SCHREWE, F. (1986): Die Tunnel der Neubaustrecke Hannover-Würzburg zwischen Hannover und Kassel. — *Forschung + Praxis, U-Verkehr und unterirdisches Bauen*, **30**: 199–202, 3 Bilder; Essen.
- SEIBERT, D. & GEISSLER, H. (1983): Subsidence features and the design of tunnels for the new Hanover-Würzburg rail link in the Bad Gandersheim-Kreiensen area. — RTR Sonderausgabe "Transport Consulting": 75–77, 3 Fig.; Hestra-Verlag Darmstadt (ISSN 0079.9548).
- STEIN, V. (1966): Der Untere Muschelkalk zwischen dem Göttinger Wald und dem Elfas. — *Wiss. Arb. 2. Staatsprüf. beim Nieders. L.-Amt Bodenforsch.*: 74 S., 20 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- STEIN, V. (1968): Stratigraphische Untersuchungen im Unteren Muschelkalk Südniedersachsens. — *Z. dt. geol. Ges.*, **117**: 819–828, 1 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- SUBKOMMISSION PERM-TRIAS (1993): Beschlüsse zur Festlegung der lithostratigraphischen Grenzen Zechstein/Buntsandstein/Muschelkalk und zu Neubenennungen im Unteren Buntsandstein in der Bundesrepublik Deutschland. — *Nachr. dt. geol. Ges.*, **49**: 76–81; Hannover.
- TRUSHEIM, F. (1961): Über Diskordanzen im Mittleren Buntsandstein Norddeutschlands zwischen Weser und Ems. — *Erdöl-Z.*, **77**, 9: 361–367, 7 Abb.; Wien, Hamburg.
- WEBER, H. & WESEMÜLLER, H. (1982): Die Neubaustrecke Hannover-Würzburg in Niedersachsen. Ein Projekt wird Realität. — Sonderdruck Die Bundesbahn, **10**, 711–715, 9 Abb.; Hestra-Verlag Darmstadt.

K A R T E N

- Geol. Karte Niedersachsen 1:000, Erl. Blatt 4025 Freden. — 168 S., 20 Abb., 18 Tab., 7 Kt.; Hannover (HARMS, F.-J.) 1984.
- Geol. Karte Niedersachsen 1:25000, Erl. Blatt 4125 Einbeck. — 107 S., 12 Abb., 18 Tab., 6 Kt.; Hannover (JORDAN, H.) 1993.
- Geol. Karte Niedersachsen 1:25000, Erl. Blatt 4224 Lauenburg. — 113 S., 6 Abb., 8 Tab., 3 Taf., 1 Kt.; Hannover (HOFRICHTER, E.) 1976.
- Geol. Karte Niedersachsen 1:25000, Erl. Blatt 4225 Northeim West. — 144 S., 13 Abb., 13 Tab., 7 Kt.; Hannover (JORDAN, H.) 1986.
- Geol. Karte Niedersachsen 1:25000, Erl. Blatt 4325 Nörten-Hardenberg. — 148 S., 12 Abb., 13 Tab., 8 Kt.; Hannover (JORDAN, H.) 1984.
- Geol. Karte Preußen u. benachb. dt. Ländern 1:25000, Erl. Blatt 3825 Hildesheim. — 72 S., 3 Abb.; Berlin (DAHLGRÜN, F.) 1930.
- Geol. Karte Preußen u. benachb. dt. Ländern 1:25000, Erl. Blatt 3925 Sibbesse. — 53 S., 2 Abb.; Berlin (KOENEN, A.v.) 1930.
- Geol. Karte Preußen u. benachb. dt. Ländern 1:25000, Erl. Blatt 4026 Lamspringe — 79 S.; Berlin (GRUPE, O.) 1915.

- Geol. Karte Preußen u. benachb. dt. Ländern 1:25000, Erl. Blatt 4125 Einbeck. — 30 S.; Berlin (KOENEN, A. v.) 1900.
- Geol. Karte Preußen u. benachb. dt. Ländern 1:25000, Erl. Blatt 4126 Bad Gandersheim. — 24 S.; Berlin (KOENEN, A. v.) 1895.
- Geol. Karte Preußen u. benachb. dt. Ländern 1:25000, Erl. Blatt 4524 Jühnde [jetzt: Scheden]. — 19.S; Berlin (KOENEN, A. v.) 1900.
- Geol. Karte Preußen u. benachb. dt. Ländern 1:25000, Erl. Blatt 4623 Kassel-Ost. — 34 S.; Berlin (BEYSLAG, F.) 1906.
- Geol. Karte Preußen u. benachb. dt. Ländern 1:25000, Erl. Blatt 4624 Hedemünden. — 17 S.; Berlin (BEYSLAG, F.) 1886.
- JORDAN, H. (1979): Geologische Wanderkarte Leinebergland, 1:100000; Hannover.

DANKSAGUNG

Die Deutsche Bahn AG, vormals Deutsche Bundesbahn, Herr Prof. F. Schrewe, hat das Vorhaben, die Geologie der neuen Bahntunnel zusammenfassend zu beschreiben, nicht nur durch seine Zustimmung zur Auswertung bahneigener Unterlagen unterstützt, sondern auch durch eine finanzielle Zuwendung mit ermöglicht.

Prof. Dr. J. Drescher und Prof. Dr. H. Jordan haben das Manuskript durchgesehen. Ihnen und anderen Kollegen, wie Dr. C. von Daniels, Prof. Dr. F. Gramann, Dr. J. Lepper und Dr. H.-G. Röhlting, verdanke ich wertvolle Anregungen und fachliche Hinweise.

Herrn A. Vormeister möchte ich für die stets hilfsbereite Unterstützung bei der Erstellung eines großen Teils der Anlagen danken.

Manuskript eingegangen: 21. April 1994

Anschrift des Autors: Dr. Horst Geißler
 Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
 Stilleweg 2
 D-30655 Hannover



Nordportal des Wadenbergtunnels und Mahmilchtalbrücke

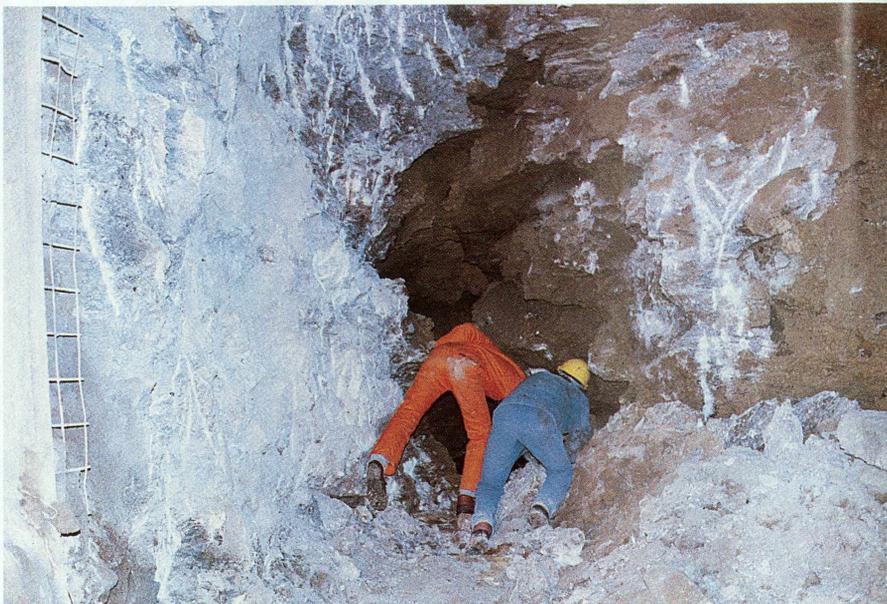


Bild 1: Laughöhle im Hopfenbergtunnel



Bild 2: Nordportal des Hellebergtunnels

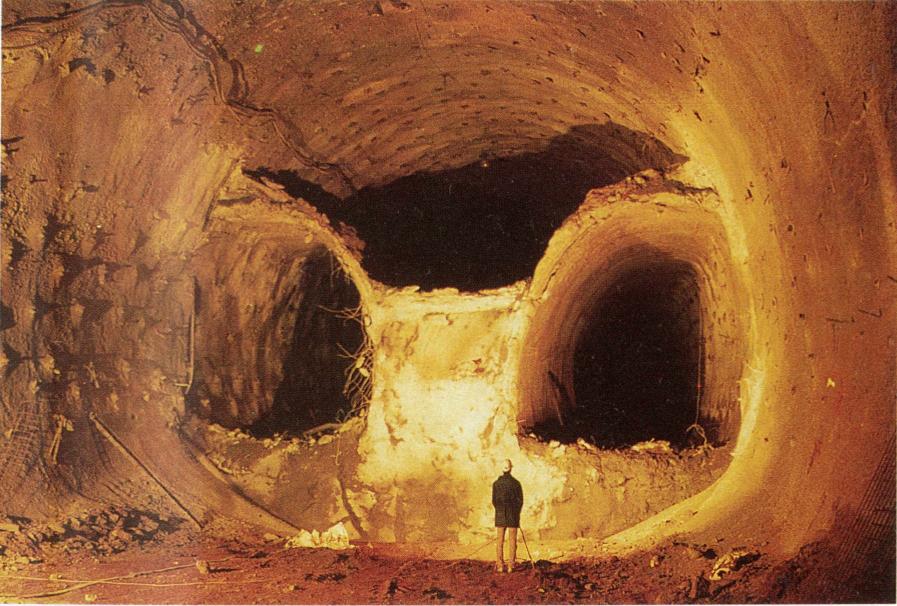


Bild 1: Kriegergtunnel: Tunnelquerschnitt mit Kalotte und zwei Ulmenstollen

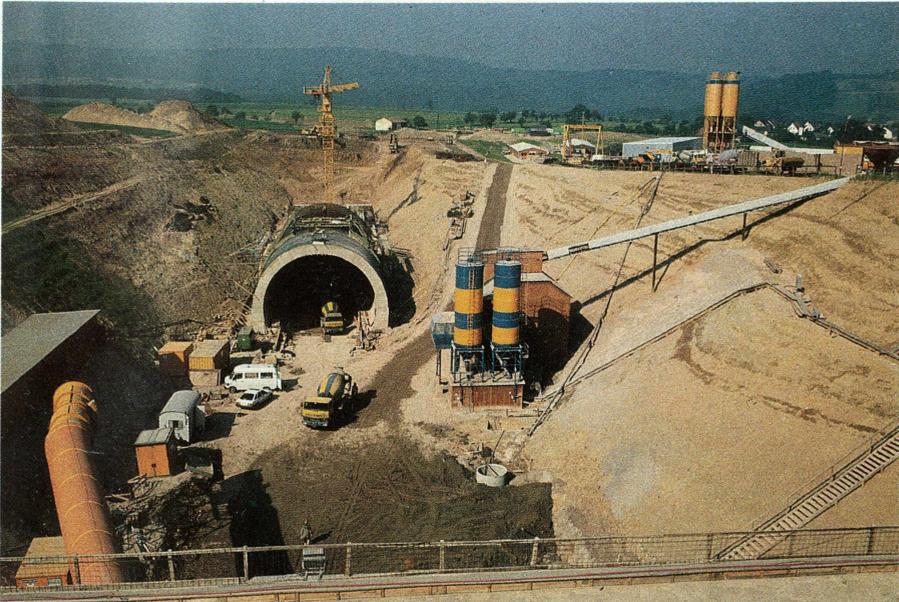


Bild 2: Offene Bauweise im Südabschnitt des Rauheberggtunnels (Foto: J. HANISCH)



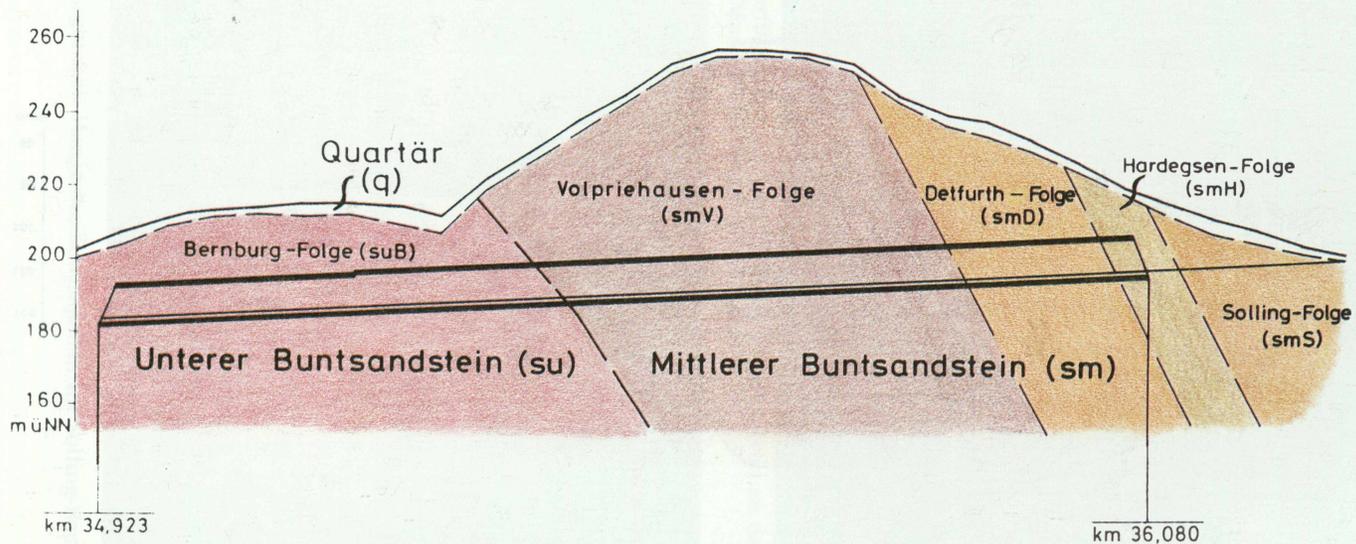
Bild 1: Wasserführender „Gelbkalk“ im Rauhebergtunnel an der Grenze Buntsandstein/Muschelkalk (Foto: J. HANISCH)



Bild 2: Sohlbergtunnel: Hangzerreißungsspalten im Solling-Bausandstein

NNW

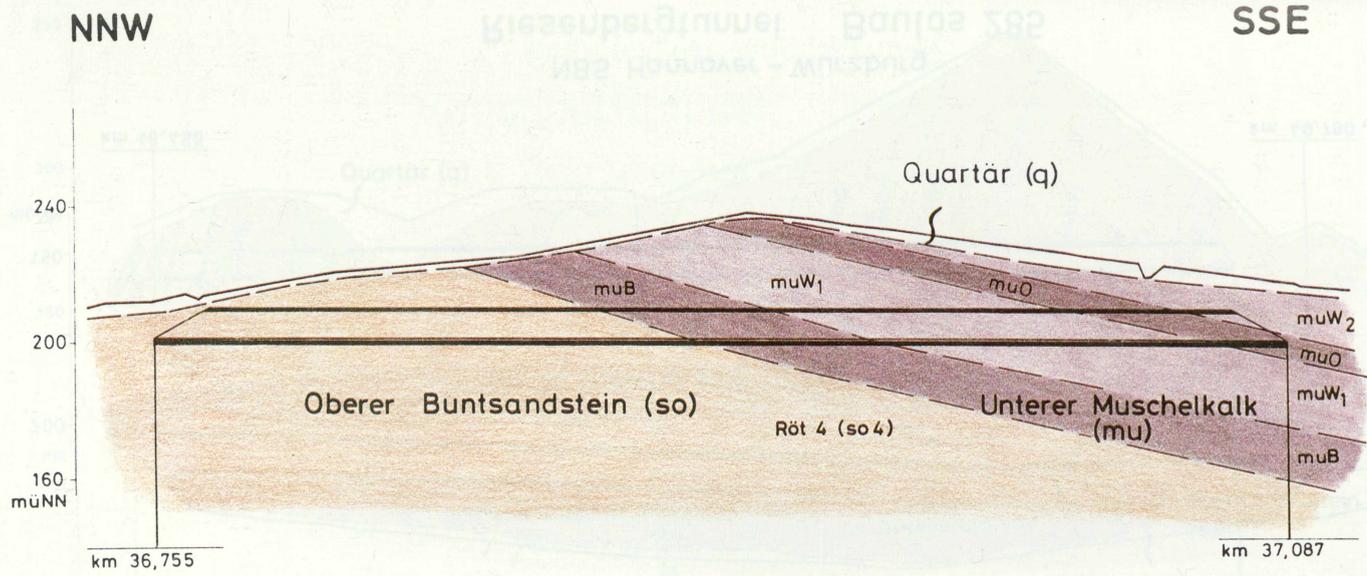
SSE



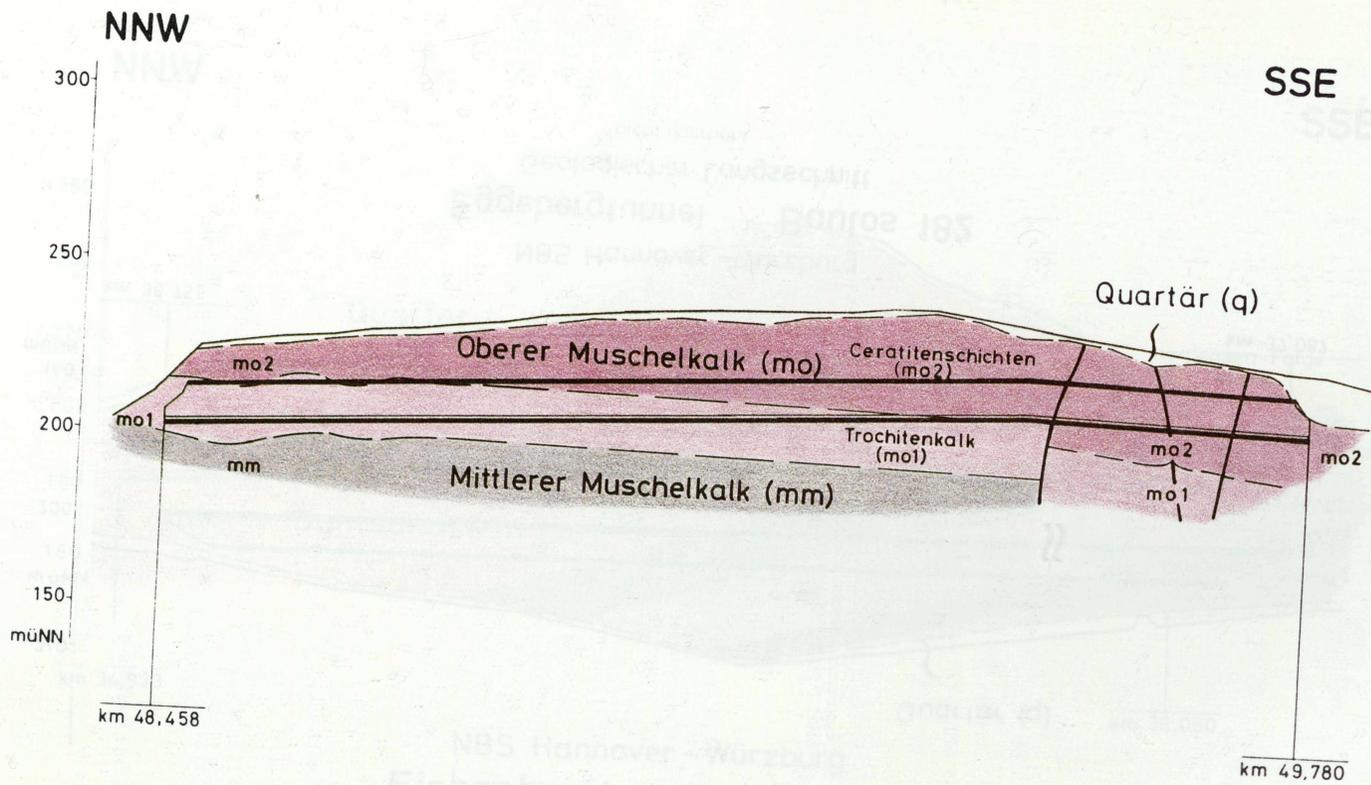
NBS Hannover - Würzburg
Eichenbergtunnel Baulos 181

Geologischer Längsschnitt

4 - fach überhöht

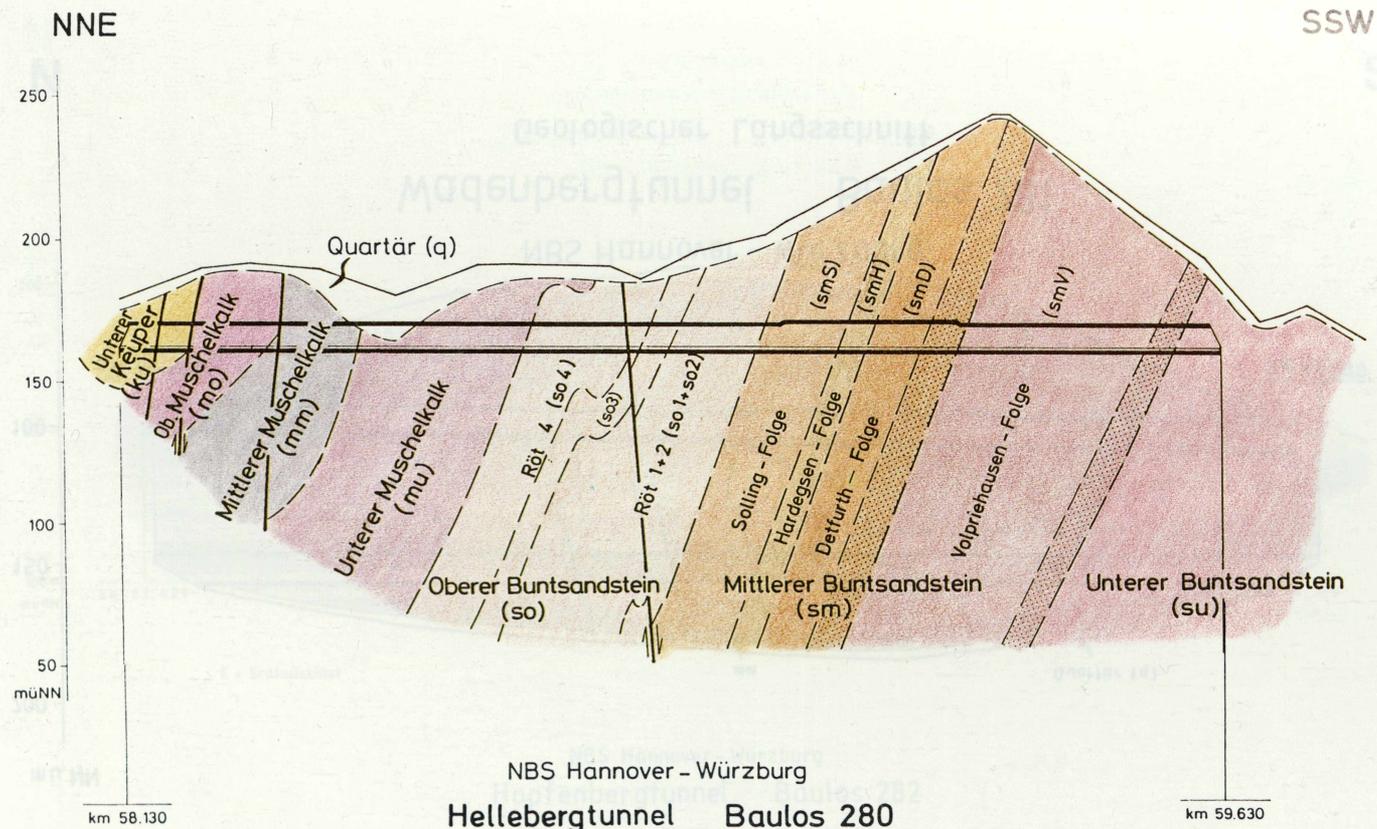


NBS Hannover - Würzburg
Eggeberg tunnel Baulos 182
 Geologischer Längsschnitt
 nicht überhöht

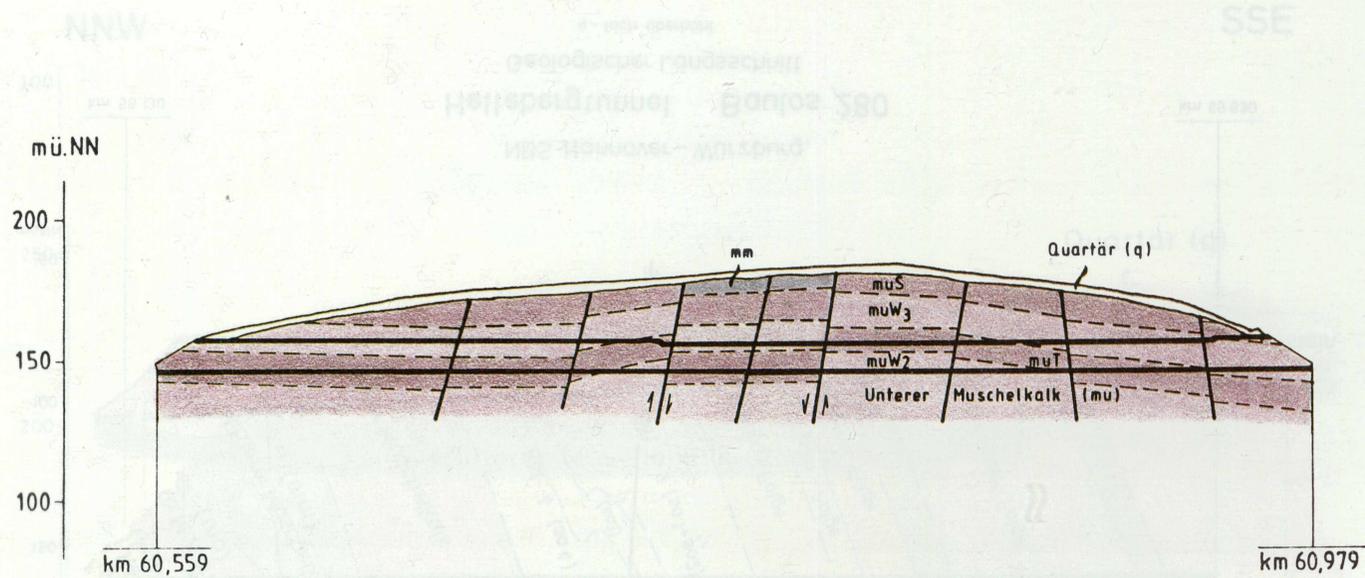


NBS Hannover - Würzburg
Riesenbergtunnel Baulos 285
 Geologischer Längsschnitt

4 - fach überhöht



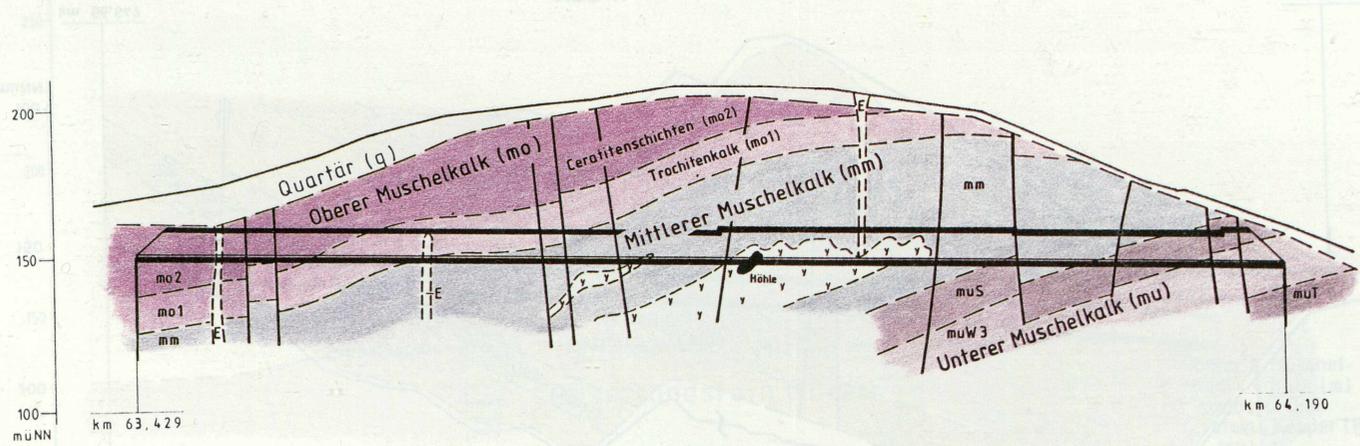
NBS Hannover - Würzburg
Hellebergtunnel Baulos 280
 Geologischer Längsschnitt
 4 - fach überhöht



NBS Hannover - Würzburg
Wadenbergtunnel Baulos 281
 Geologischer Längsschnitt

N

S



E = Erdfallschlot

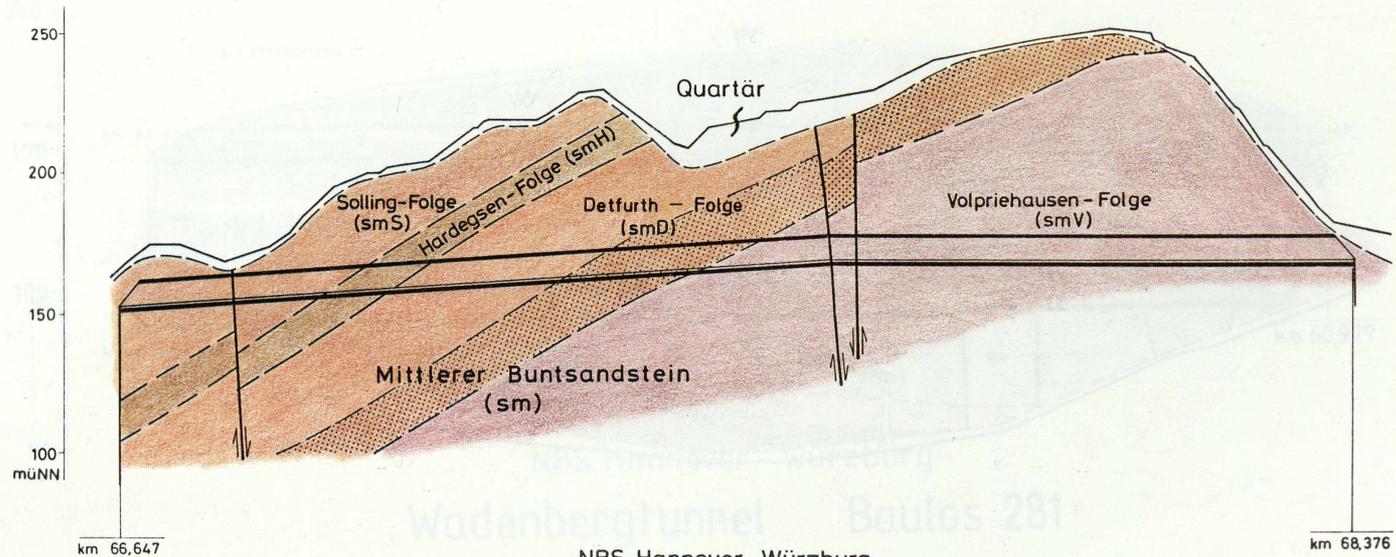
NBS Hannover - Würzburg
Hopfenbergtunnel Baulos 282
Geologischer Längsschnitt

2 - fach überhöht

Tafel 11

NNE

SSW



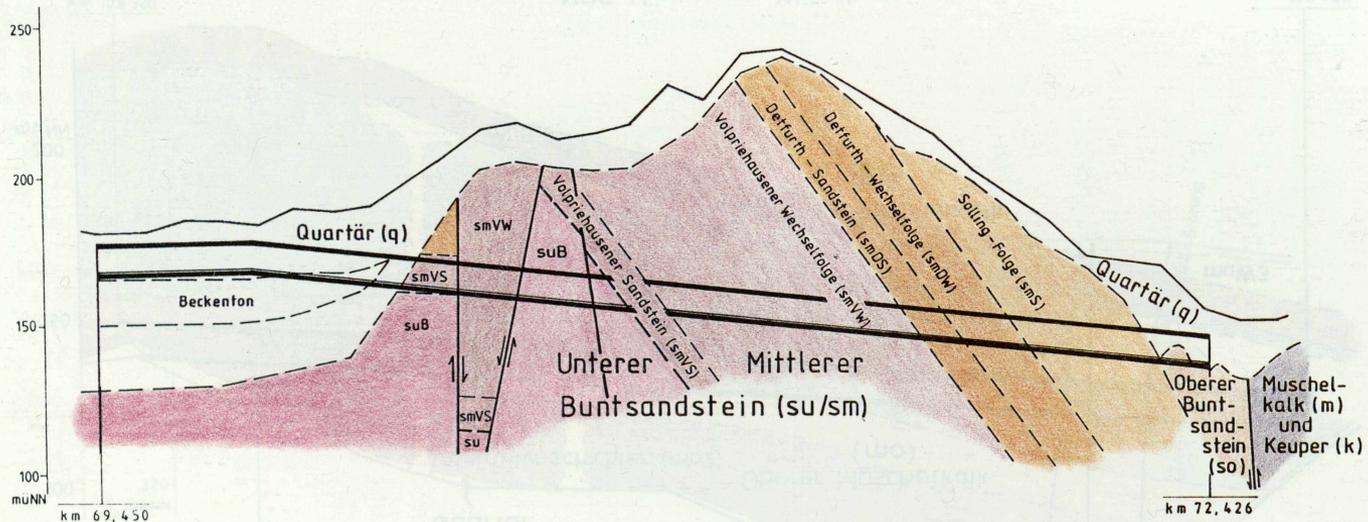
NBS Hannover - Würzburg
Sohlbergtunnel Baulos 283

Geologischer Längsschnitt

4-fach überhöht

N

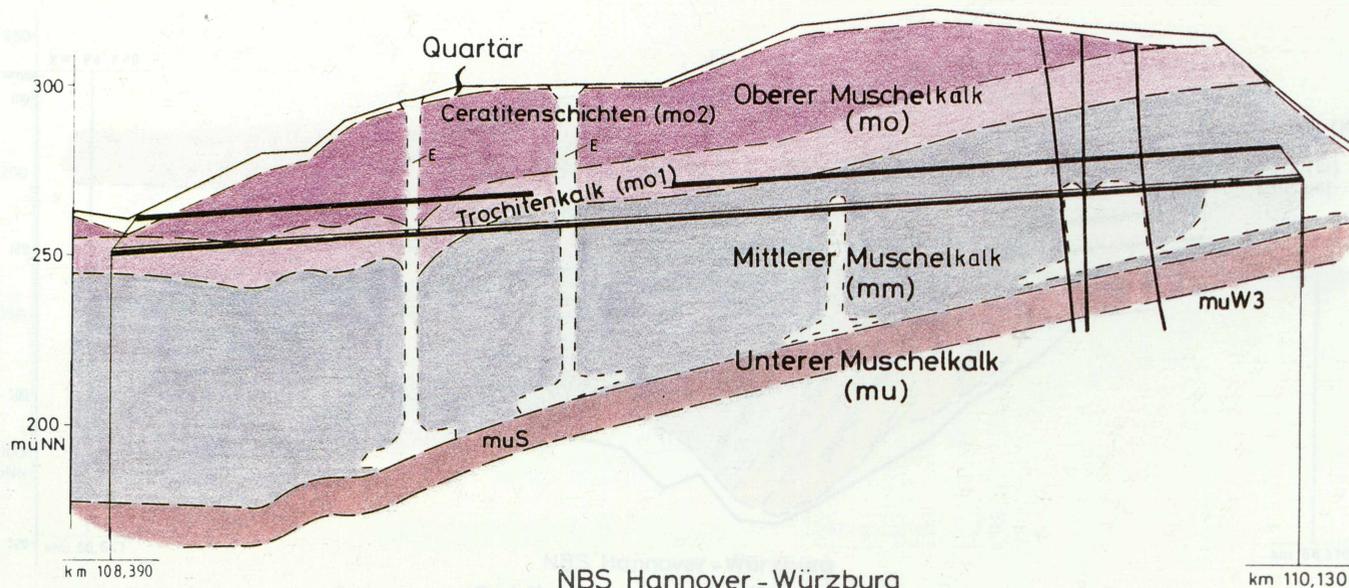
S



NBS Hannover - Würzburg
 Kribergtunnel Baulos 284
 Geologischer Längsschnitt
 8 - fach überhöht

NE

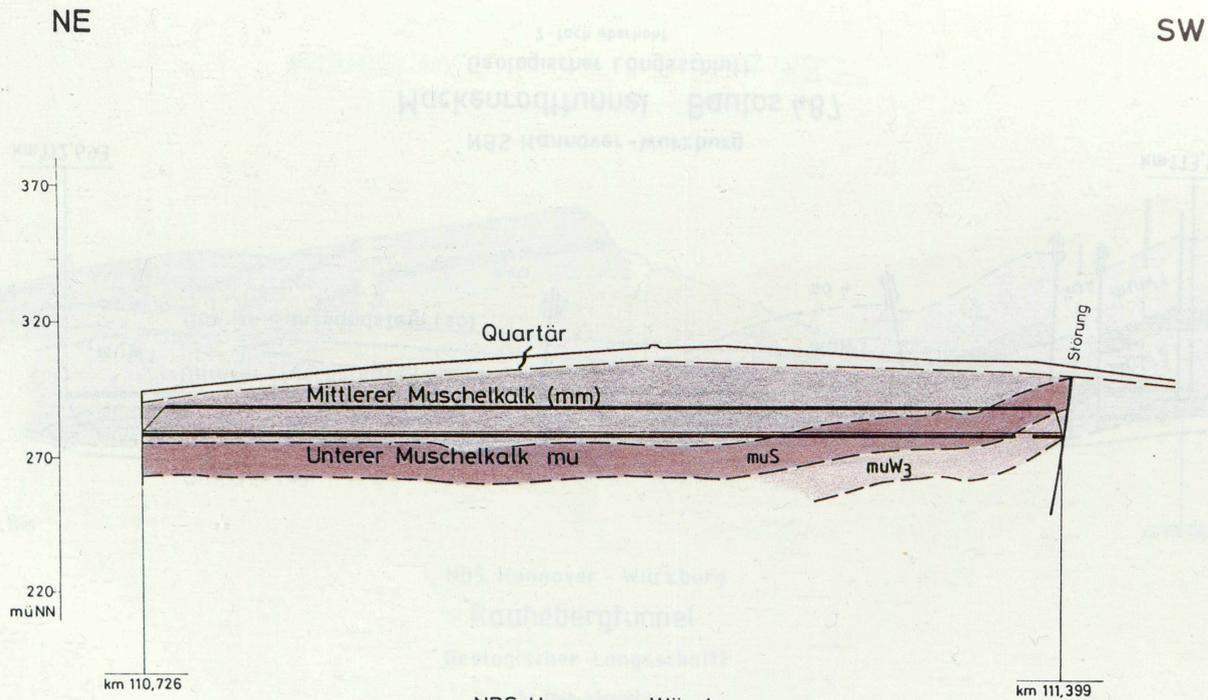
SW



NBS Hannover - Würzburg
Leinebuschtunnel Baulos 481

Geologischer Längsschnitt

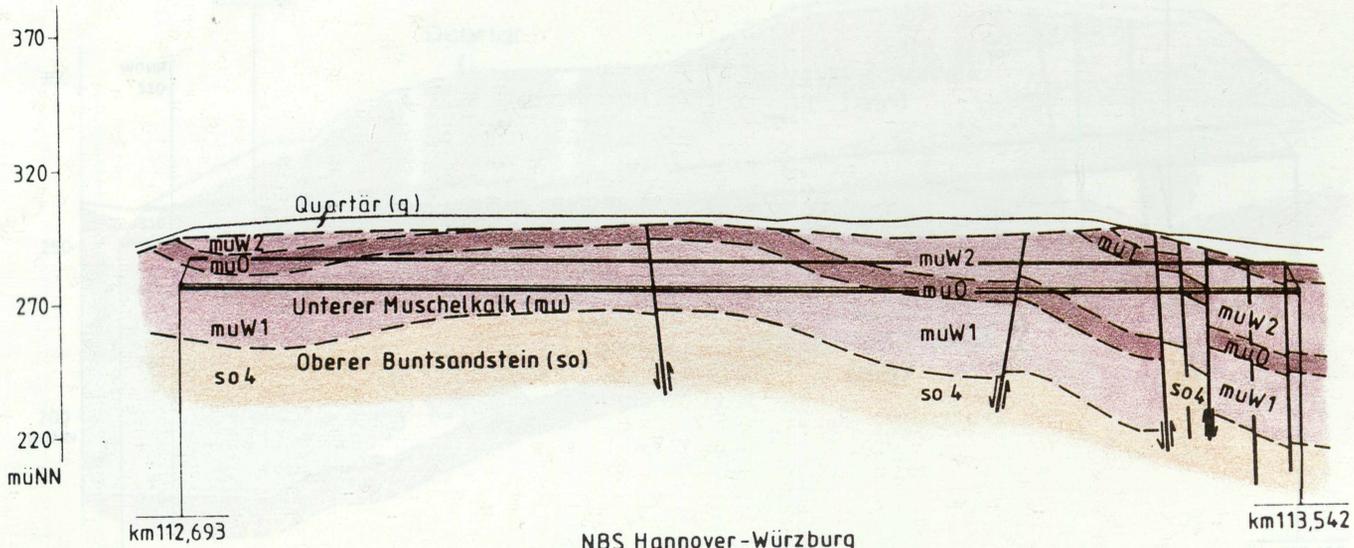
5-fach überhöht



NBS Hannover - Würzburg
Endelskamptunnel Baulos 486
 Geologischer Längsschnitt
 2-fach überhöht

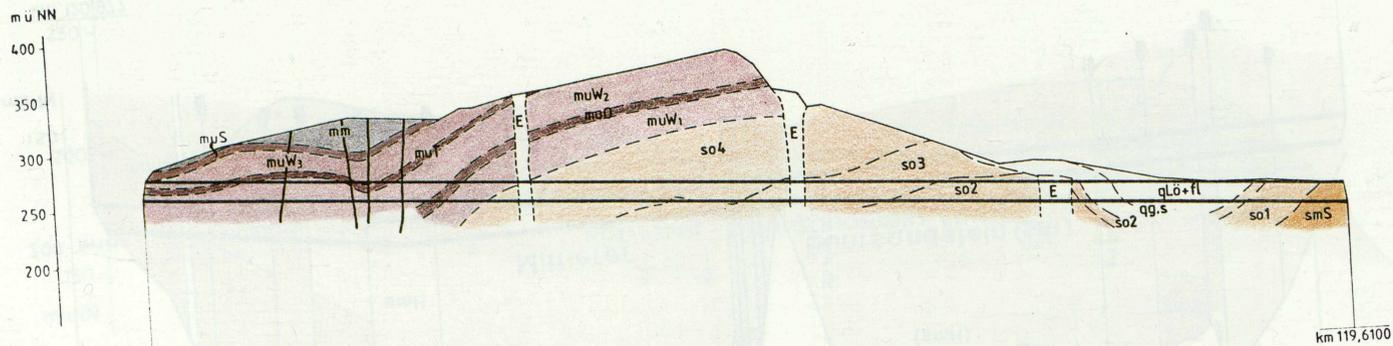
NE

SW



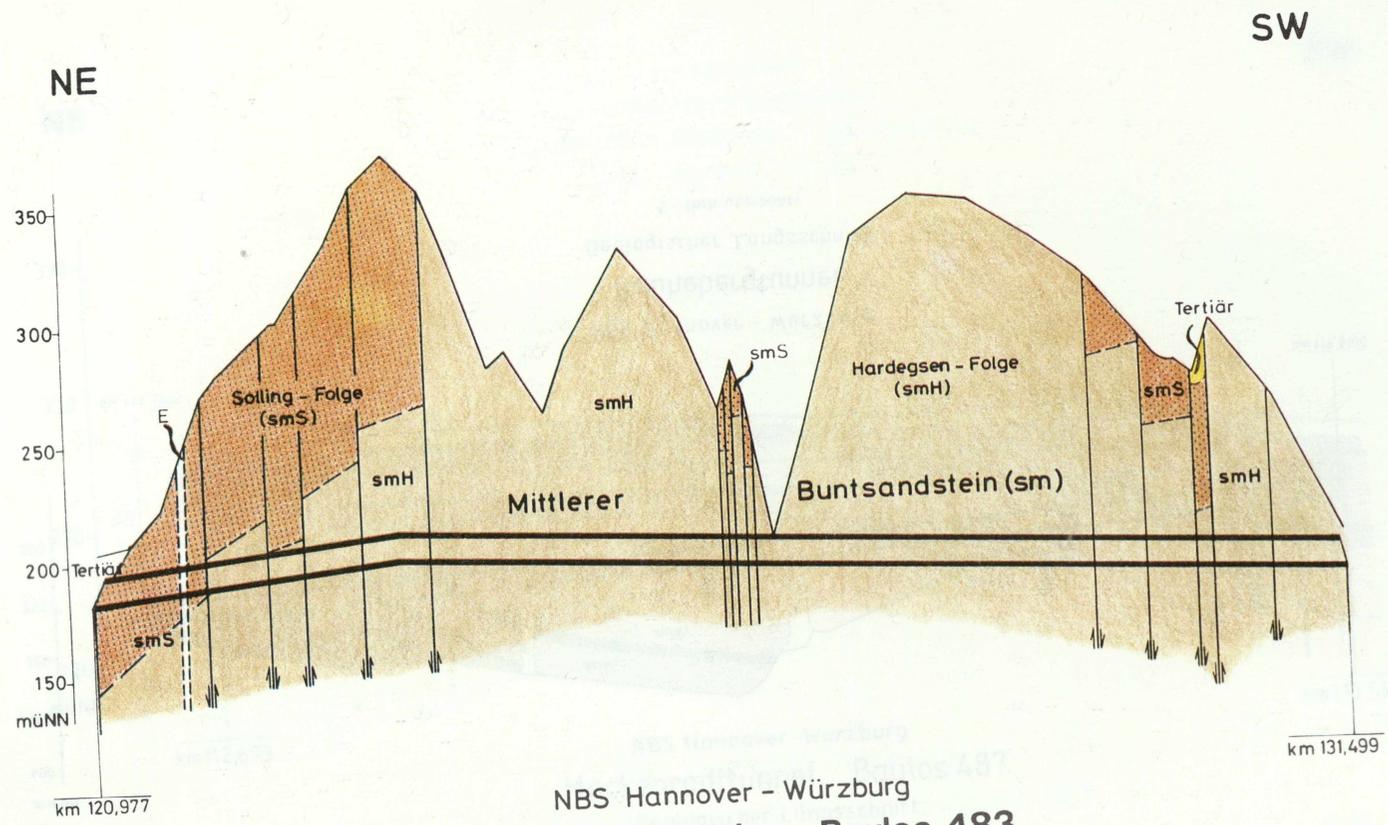
NBS Hannover-Würzburg
Mackenrodttunnel Baulos 487
Geologischer Längsschnitt

2-fach überhoht

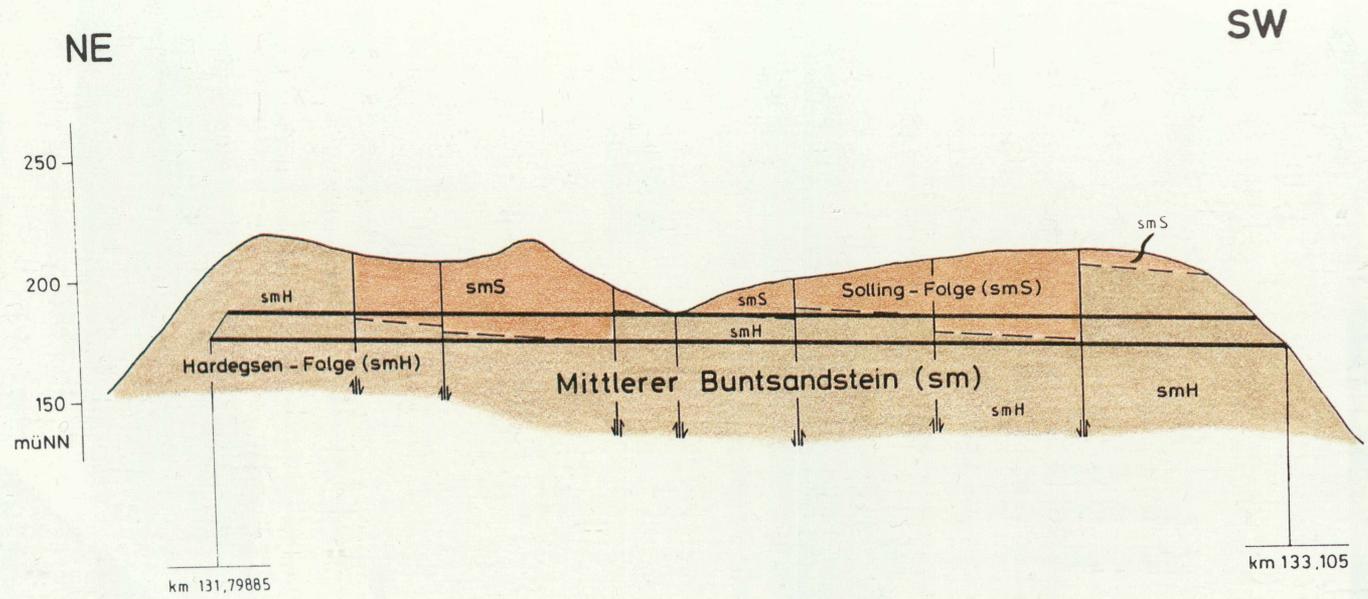


NBS Hannover - Würzburg
 Rauhebergtunnel
 Geologischer Längsschnitt

5-fach überhöht



NBS Hannover - Würzburg
Mündener Tunnel Baulos 483
 Geologischer Längsschnitt
 20 - fach überhöht



NBS Hannover - Würzburg
Mühlentopftunnel Baulos 485
 Geologischer Längsschnitt
 3 - fach überhöht



100

nschiefer, z.T.
Quarzit;
hle

andstein,
schiefer,
ilkstein

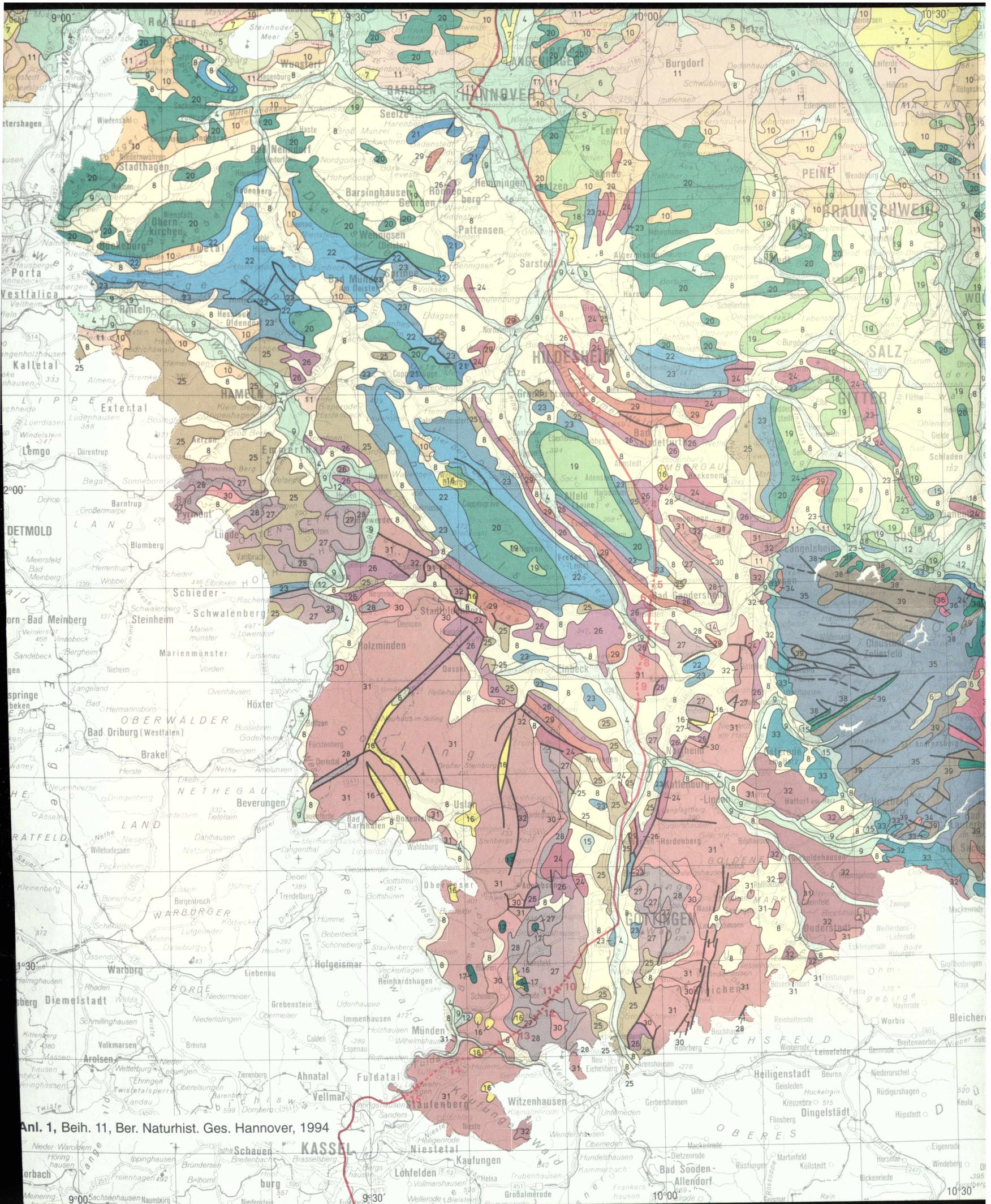
undgebirge
(lter)

örungen,
inge

ermutete

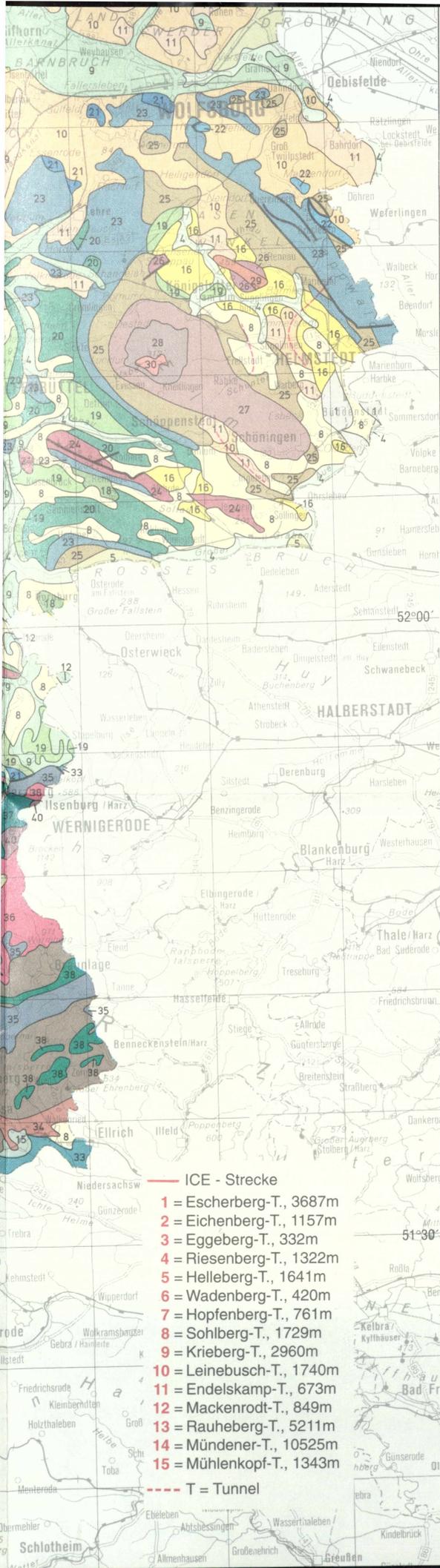
30 km





Anl. 1, Beih. 11, Ber. Naturhist. Ges. Hannover, 1994

Ausschnitt aus der Geologischen Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 500 000



KÄNOZOIKUM

- | | | | |
|---------|-------------------|----|------------------------------------------------|
| Quartär | Holozän | 4 | Flussablagerungen (Auen) |
| | | 5 | Niedermoortorf, z.T. Mudde |
| | | 6 | Hochmoortorf |
| | Weichsel-Kaltzeit | 7 | Flugsand und Dünen |
| | | 8 | Löss, Lösslehm, Sandlöss |
| | | 9 | Niederterrasse, z.T. Schwemmfächer |
| | | 10 | Geschiebelehm |
| | Saale-Kaltzeit | 11 | Schmelzwasserablagerungen |
| | | 12 | Mittelterrasse |
| | | 13 | Staubeckenablagerungen (meist Lauenburger Ton) |
| | Elster-Kaltzeit | 14 | Schmelzwasserablagerungen |
| | | 15 | Oberterrasse |
| | Tertiär | 16 | Ton, Schluff, Sand, z.T. Kies, Braunkohle |
| | | 17 | Basalt |

MESOZOIKUM

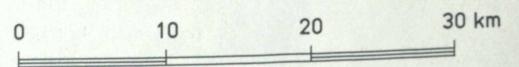
- | | | |
|--------|----|----------------------------|
| Kreide | 18 | Kreide, ungegliedert |
| | 19 | Oberkreide |
| | 20 | Unterkreide |
| Jura | 21 | Jura, ungegliedert |
| | 22 | Oberer Jura |
| | 23 | Mittlerer und Unterer Jura |

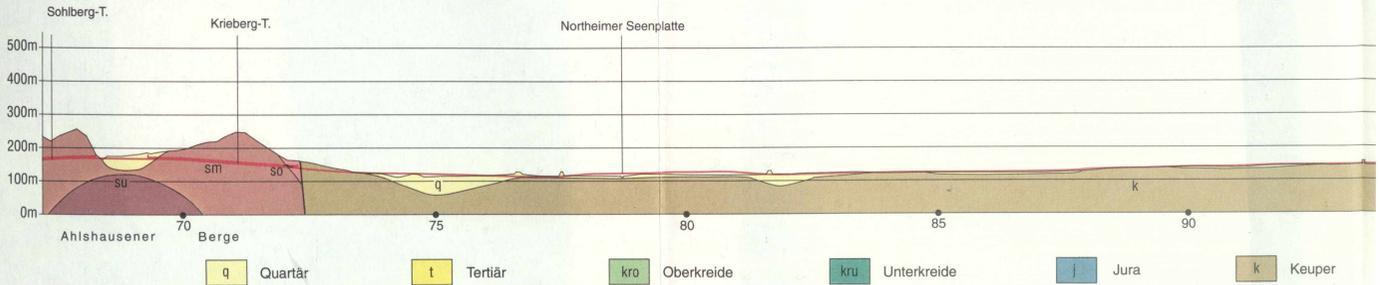
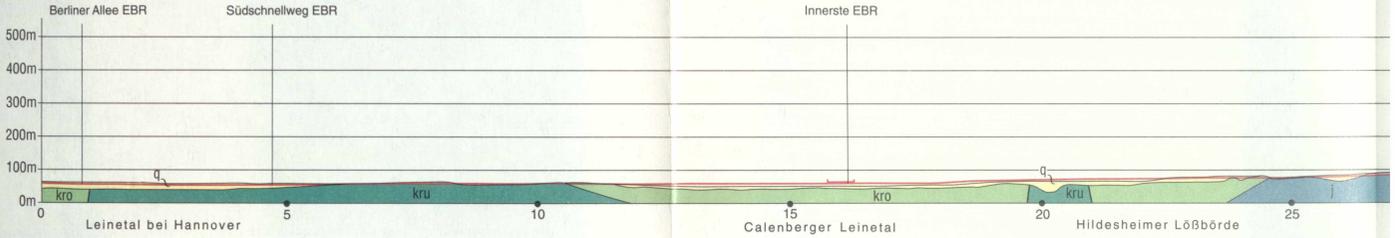
- | | | |
|-------|-----------------------|----------------------------------|
| Trias | 24 | Trias, ungegliedert |
| | 25 | Keuper |
| | 26 | Muschelkalk, ungegliedert |
| | 27 | Oberer und Mittlerer Muschelkalk |
| | 28 | Unterer Muschelkalk |
| | 29 | Buntsandstein ungegliedert |
| | 30 | Oberer Buntsandstein |
| | 31 | Mittlerer Buntsandstein |
| 32 | Unterer Buntsandstein | |

PALÄOZOIKUM UND GRUNDGEBIRGE

- | | | |
|--------|----|--------------------------------------------------------------------------|
| Perm | 33 | Zechstein |
| | 34 | Rotliegendes |
| Karbon | 35 | Grauwacke, Tonschiefer, z.T. Kieselschiefer, Quarzit; örtlich Steinkohle |
| | 36 | Granit |
| | 37 | Gabbro |
| | 38 | Diabas |
| Devon | 39 | Tonschiefer, Sandstein, Quarzit, Kieselschiefer, Grauwacke, Kalkstein |
| | 40 | Eckergneis (Grundgebirge unbekannter Alters) |

Kartengrundlage:
 Übersichtskarte von Niedersachsen (ÜKN) 1:500 000,
 Ausgabe 1981/1992 (Neubau - Strecke)
 Vervielfältigt mit Erlaubnis des Herausgebers:
 Niedersächsisches Landesverwaltungsamt
 -Landesvermessung- B4-05/84
 Nachdruck mit Genehmigung des NLFb
 vom 25.04.1994
 Automationsgestützte Kartographie:
 Graphikzentrum BGR/NLFb





Profil der DB-Neubaustrecke Hannover-Würzburg 1 : 100000, überhöht

Abschnitt Hannover-Kassel

Entwurf: H.JORDAN, P.ROHDE, H.GEISSLER (NLfB)

Escherberg-T. Beuster EBR Eichenberg-T. Eggeberg-T.

Kassemühle-TB.

Riesenberg-T.

Osternode-TB.

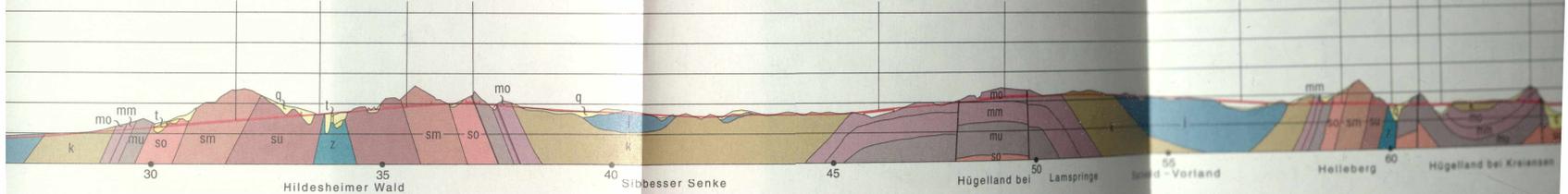
Helleberg-T.

Mahrensch-TB

Waldenberg-T.

Gandels-TB.

Huyberg-T. Au



Leine EBR

Grundbach-TB.

Leinebusch-T.

Endelskamp-T.

Mackenrodt-T.

Rauheberg-T.

Wern-T.

Mündener-T.

Bf Göttingen

Dransfelder Hochfläche

Kaufunger Wald

125 km

130 km

mo mm Oberer und Mittlerer Muschelkalk

mu Unterer Muschelkalk

so Oberer Buntsandstein

sm Mittlerer Buntsandstein

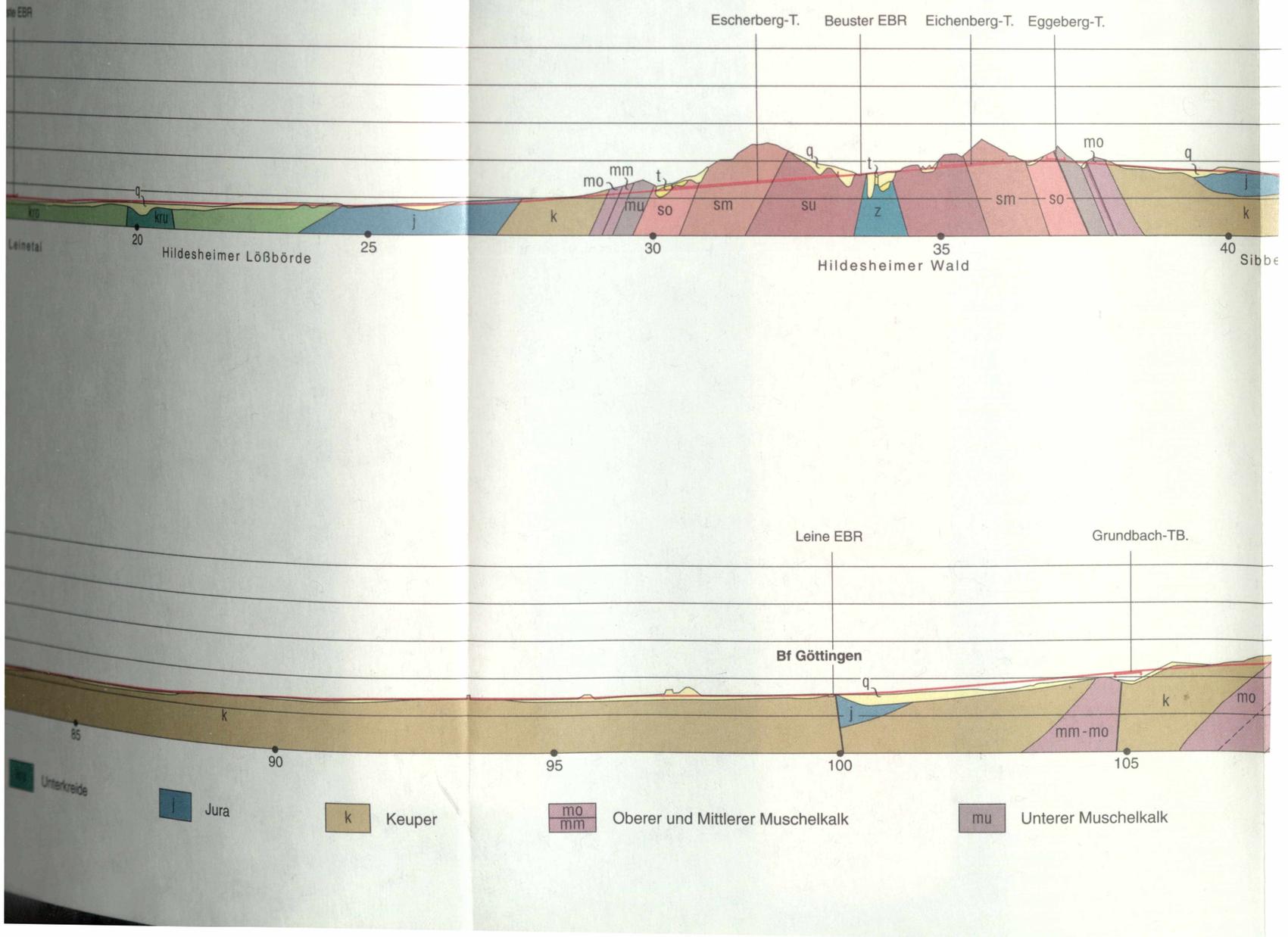
unterer Buntsandstein

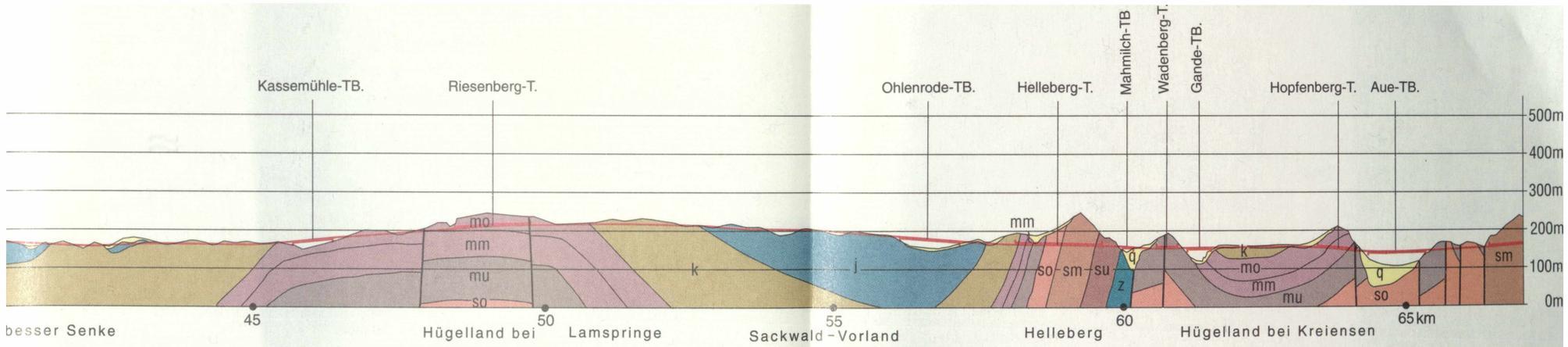
Zechstein

Geologisches Profil der DB-Neubaustrecke Hannover-Würzburg 1 : 10000

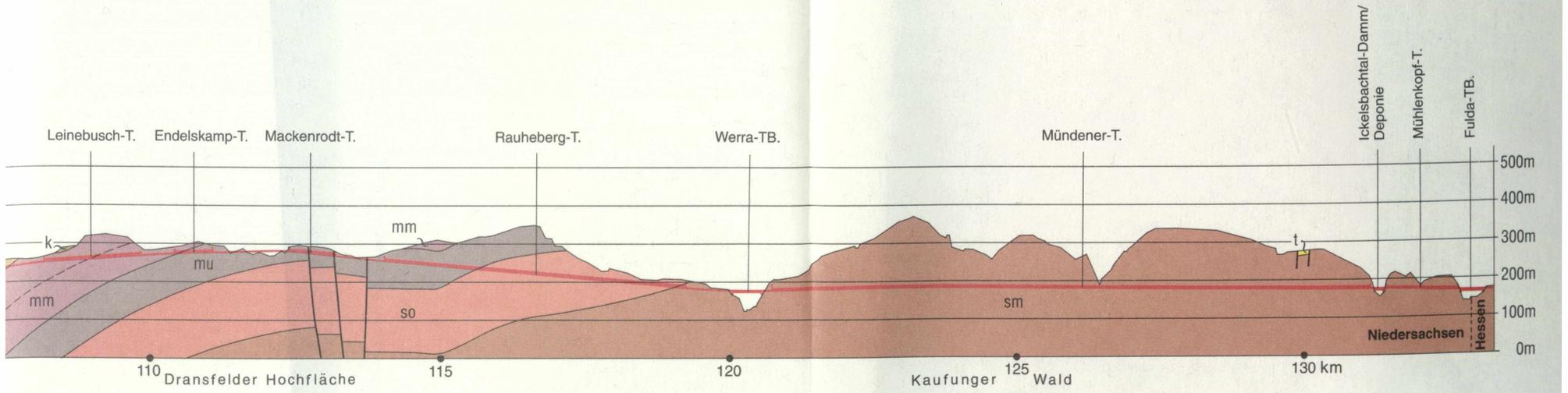
Abschnitt Hannover-Kassel

Entwurf: H.JORDAN, P.ROHDE, H.GEISSLER (NlfB)





T. = Tunnel
 EBR = Eisenbahnbrücke
 TB. = Talbrücke



so Oberer Buntsandstein
 sm Mittlerer Buntsandstein
 su Unterer Buntsandstein
 z Zechstein

LEGENDE zu den geologischen Tunnellängsschnitten

Quartär			q				
	Tertiär			t			
Keuper			ko	Oberer Keuper			
			km	Mittlerer Keuper			
			ku	Unterer Keuper			
Muschelkalk	Oberer M.		mo2	Ceratitenschichten			
			mo1	Trochitenkalk			
	Mittlerer M.		mm	Mittlerer Muschelkalk			
	Unterer M.		muS	Schaumkalk - Zone			
			muW3	Wellenkalk 3			
			muT	Terebratel - Bänke			
			muW2	Wellenkalk 2			
			muO	Oolith - Zone			
		muW1	Wellenkalk 1				
		muB	Basiskonglomerat				
Buntsandstein	Oberer B.		so4	Röt 4			
			so3	Röt 3			
			so2	Röt 2			
			so1	Röt 1			
	Mittlerer B.		smS	Solling - Folge			
			smH	Hardeggen - Folge			
			smD	Detfurth — Folge ungegliedert			
			smDW	Detfurth — Wechselfolge			
			smDS	Detfurth — Sandstein			
			smV	Volpriehausen - Folge ungegliedert			
			smVW	Volpriehausener Wechselfolge			
			smVS	Volpriehausener Sandstein			
	Unterer B.		suB	Bernburg - Folge			
			suC	Calvörde - Folge			
	E			Erdfälle		Störung	

NATURHISTORISCHE GESELLSCHAFT HANNOVER

(Geschäftsstelle: Frau I. KUHN, Frau G. GÖDECKE, Stilleweg 2
30655 Hannover, Tel.: 05 11-6432470)

1. Ordentliche Mitglieder zahlen als Beitrag für ein Jahr 25,— DM zuzüglich 20,— DM für KULTURRING-Bezieher, Schüler und Studenten 15,— DM zuzüglich 20,— DM für KULTURRING-Bezieher.

Bezug der Veröffentlichungen der NGH ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.

2. Überweisung der Mitgliedsbeiträge wird erbeten auf das Konto Nr. 101031664 bei der Norddeutschen Landesbank Hannover (BLZ 25050000) oder auf das Postgirokonto Hannover Nr. 6665-307 (BLZ 25010030).
3. Zuwendungen an die NGH sind vom Finanzamt gem. § 4 Abs. 1 Ziff. 6 KStG als gemeinnützig anerkannt worden. Sie können daher von der Steuer abgesetzt werden.
4. Die »Berichte« der Naturhistorischen Gesellschaft erscheinen in der Regel einmal im Jahr, die »Beihefte« in unregelmäßiger Folge.



Mitgliederwerbung!

Für die Werbung eines neuen Mitgliedes gewährt die Naturhistorische Gesellschaft Hannover als **P r ä m i e** wahlweise einen Bericht oder ein Beiheft ihrer erhältlichen Veröffentlichungen oder einen Regenschirm mit NGH-Emblem.

Beitrittsformulare können von der Geschäftsstelle bezogen werden.

Hannover

o Springe

o Sarstedt

Escherbergtunnel
Eichenbergtunnel
Eggebergtunnel



Hildesheim

Leine

Riesenbergtunnel
Hellebergtunnel
Wadenbergtunnel
Hopfenbergtunnel
Sohlbergtunnel
Kriebergtunnel

o Lamspringe

o Gandersheim

Einbeck o

o Northeim

Leinebuschtunnel
Endelskamptunnel
Mackenrodtunnel
Rauhebergtunnel

Göttingen

Münden

Fulda

Werra

Mündener Tunnel
Mühlkopftunnel

Kassel

