



Tunnelbau 2017

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

DGGT 
Deutsche Gesellschaft
für Geotechnik e. V.
German Geotechnical Society

Taschenbuch für den **Tunnelbau 2017**

Kompendium der Tunnelbautechnologie
Planungshilfe für den Tunnelbau

Herausgegeben von der DGGT ·
Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.

unter Mitwirkung von
Dr. rer. nat. K. Laackmann (Federführung)
Prof. Dr.-Ing. H. Balthaus
Dipl.-Ing. O. Braach
Dipl.-Ing. M. Breidenstein
Ltd. Baudirektor Dipl.-Ing. R. Frenzl
Dipl.-Ing. W.-D. Friebel
Dipl.-Ing. G. Glatzle
Ministerialrat Dipl.-Ing. K. Goj
Prof. Dr.-Ing. habil. A. Hettler
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. B. Maidl
Dipl.-Ing. M. Meissner, M.BC.
Dipl.-Ing. E. Scherer
Dipl.-Ing. S. Schwaiger
Dipl.-Ing. D. Stephan
Prof. Dr.-Ing. M. Thewes
Dr.-Ing. G. Wehrmeyer
Dr.-Ing. B. Wittke-Schmitt

41. Jahrgang

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Brand

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de>
abrufbar.

© 2016 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publisher.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor
Satz: BELTZ Bad Langensalza GmbH, Bad Langensalza
Druck und Bindung:

Printed in the Federal Republic of Germany.
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Print ISBN: 978-3-433-03168-1
ePDF ISBN: 978-3-433-60777-0
ePub ISBN: 978-3-433-60775-6
eMobi ISBN: 978-3-433-60776-3
oBook ISBN: 978-3-433-60774-9


Vorwort zum einundvierzigsten Jahrgang

Der Tunnelbau gehört sicher zu den anspruchsvollsten Aufgaben im konstruktiven Ingenieurbau und erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Fachleuten aus unterschiedlichen Disziplinen. Kaum ein Tunnel gleicht einem anderen – Tunnel sind Unikate, und die Verfahren zur Errichtung von Tunnelbauwerken müssen auf die speziellen Randbedingungen vor Ort abgestimmt werden. Bei dieser Anpassung sind in den vergangenen Jahrzehnten eine Vielzahl von Innovationen entwickelt worden. Das Taschenbuch für den Tunnelbau spiegelt diese Entwicklung seit mehr als vier Jahrzehnten wider. Es greift aktuelle Entwicklungen auf, zeigt Lösungen für Problemstellungen und dokumentiert so den erreichten Stand der Technik.

Bei der Auswahl und Beschaffung der Beiträge werden Herausgeber und Verlag von einem Beirat unterstützt, der alle am Tunnelbau Beteiligten vertritt und sich aus Vertretern der Bauherren, Bauindustrie, beratenden Ingenieure, Maschinenhersteller und Zulieferer sowie der Hochschule und Wissenschaft zusammensetzt. Mit dieser Ausgabe wird Herr *Stephan* sich aus dem Beirat zurückziehen, um seinen Ruhestand zu genießen. Herausgeber und Verlag danken Herrn *Stephan* herzlich für sein langjähriges, ehrenamtliches Engagement im Herausgeberbeirat des Taschenbuchs für den Tunnelbau, dem er seit der Ausgabe 1998 angehört, und wünschen ihm alles Gute für seinen neuen Lebensabschnitt.

Die Beiträge in der Ausgabe 2017 behandeln die Themenbereiche Baugruben und Tunnelbau in offener Bauweise, konventioneller und maschineller Tunnelbau, Tunnelbetrieb und Sicherheit, Forschung und Entwicklung, Vertragswesen, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz sowie Praxisbeispiele. Ein Einkaufsführer zum Thema Tunnelbaubedarf rundet das Buch ab.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre und freuen uns über Rückmeldungen sowie Themenanregungen und Beitragsvorschläge für zukünftige Ausgaben aus Ihren Reihen. Wenden Sie sich dazu bitte an die Mitglieder des Herausgeberbeirats oder an die Redaktion des Verlags Ernst & Sohn.



(Dr.-Ing. B. Wittke-Schmitt)



(Dr. rer. nat. K. Laackmann)

Inhalt

Baugruben und Tunnelbau in offener Bauweise

| | |
|--|----------|
| I. Schutzgalerie gegen Naturgefahren an der B 21 – Planung und Ausführung | 1 |
| <i>Thomas Zumbrunnen, Bernd Gebauer, Bernhard Ettelt, Karl Goj</i> | |
| 1 Einleitung..... | 2 |
| 2 Maßnahmenabwägung und Ausgestaltung der Schutzbauwerke | 4 |
| 3 Einwirkungen und Lastansätze | 6 |
| 4 Planung der Überschüttung und der Dämpfungsschicht..... | 12 |
| 5 Auswahl der Tragkonstruktion..... | 12 |
| 6 Betriebstechnische Ausstattung | 15 |
| 7 Entscheidung für die Fertigteilvariante..... | 16 |
| 8 Tragwerksreserve | 27 |
| 9 Brandschutz | 28 |
| 10 Zusammenfassung..... | 30 |

Konventioneller Tunnelbau

| | |
|---|-----------|
| I. Bau des 3. TA des bergmännischen Stadtbahn- tunnels für die U12 in Stuttgart unter schwierigsten geologischen Verhältnissen | 33 |
| <i>Richard Gradnik, Sebastian Müller, Claus-Dieter Hauck, Fritz Grübl, Thomas Rumpelt, Manfred Kicherer</i> | |
| 1 Die Gesamtmaßnahme U12 | 34 |
| 2 Grundlagen des Stadtbahnbaus | 36 |
| 3 Bergmännischer Tunnel – Entwurf und Ausschreibung..... | 38 |

| | | |
|---|---|----|
| 4 | Ausführung und Ausführungsplanung | 43 |
| 5 | Vortrieb – Ausführung..... | 46 |
| 6 | Zusammenfassung – Vortrieb | 54 |
| 7 | Ausführung der Innenschale | 55 |
| 8 | Zusammenfassung – Gesamtbaustelle..... | 56 |

Maschinelles Tunnelbau

| | | |
|-----------|---|-----------|
| I. | Tunnel Rastatt: Schildvortriebe in Kombination mit Baugrundvereisungen | 61 |
| | <i>Martin Geiger, Marc Kemmler, Joachim Wehner (†), Thomas Grundhoff, Heiko Neher, Andreas Schaab, Wolfgang Orth, Gerhard Wehrmeyer</i> | |
| 1 | Projektbeschreibung | 64 |
| 2 | Vortriebs- und Maschinenkonzept | 68 |
| 3 | Vereisungsmaßnahme FFH-Gebiet Federbach | 78 |
| 4 | Vereisungsmaßnahme unter der Rheintalbahn | 87 |
| 5 | Fazit..... | 107 |

Tunnelbetrieb und Sicherheit

| | | |
|-----------|--|------------|
| I. | Ein Echtzeit-Sicherheits-Management-System für Straßentunnel (ESIMAS) – Von der Forschung bis zur Anwendung | 109 |
| | <i>Anne Lehan, Klaus Eismann, Werner Balz, Peter Ermer</i> | |
| 1 | Einleitung..... | 110 |
| 2 | Ausgangslage und Zielsetzung | 112 |
| 3 | Projekt | 114 |

| | | |
|---|--------------------------------------|-----|
| 4 | Erkenntnisse..... | 128 |
| 5 | Überführung in den Regelbetrieb..... | 133 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 135 |

II. Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT 2016) – Perspektiven für die Sicherheit in Straßentunneln..... 139
Wolfgang Baltzer, Martin Kostrzewa

| | | |
|---|--------------------|-----|
| 1 | Einleitung..... | 140 |
| 2 | Die RABT 2016..... | 141 |
| 3 | Ausblick..... | 164 |

Forschung und Entwicklung

I. Prozesssimulation für die Leistungsermittlung und -planung beim maschinellen Tunnelbau..... 166
Alena Conrads, Markus Thewes, Markus Scheffer, Markus König

| | | |
|---|---|-----|
| 1 | Einleitung..... | 168 |
| 2 | Besonderheiten der Logistik im maschinellen Tunnelbau..... | 169 |
| 3 | Verschleiß und Wartung der Abbauwerkzeuge..... | 171 |
| 4 | Prozesssimulation im maschinellen Tunnelbau..... | 176 |
| 5 | Fallbeispiel – Auswertung verschiedener Wartungsstrategien..... | 189 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick..... | 195 |
| | Danksagung..... | 196 |

| | |
|--|-----|
| II. Building Information Modeling (BIM) im maschinellen Tunnelbau | 199 |
| <i>Markus König, Jochen Teizer, Arnim Marx, Frank Schley, Konstantinos Kessoudis</i> | |
| 1 Einleitung..... | 200 |
| 2 Grundlagen der BIM-Methodik | 203 |
| 3 Informationsmodelle für den Tunnelbau..... | 213 |
| 4 Exemplarischer Anwendungsfall: Wehrhahn-Linie in Düsseldorf | 222 |
| 5 Exemplarischer Anwendungsfall: BIM-Pilotprojekte | 226 |
| 6 Zusammenfassung und Ausblick | 232 |

Vertragswesen, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz

| | |
|---|-----|
| I. Technische Bewertung von Angeboten im Vergabeverfahren von Tunnelprojekten | 236 |
| <i>DAUB-Arbeitskreis</i> | |
| 1 Einführung | 237 |
| 2 Anforderung an die Ausschreibung..... | 242 |
| 3 Prinzip der Wertung..... | 246 |
| 4 Zuschlagskriterien | 250 |
| 5 Beispiele..... | 261 |
| | |
| II. Dynamisches Berechnungsmodell für die Ermittlung der Bauzeit am Beispiel des Alabstiegstunnels | 273 |
| <i>Stefan Kielbassa, Adalbert Gering</i> | |
| 1 Einleitung..... | 274 |
| 2 Der Alabstiegstunnel der Neubaustrecke Stuttgart-Ulm..... | 275 |

| | | |
|---|------------------------------------|-----|
| 3 | Vertragsmodell/Ausschreibung | 279 |
| 4 | Zusammenfassung und Ausblick | 285 |

Praxisbeispiele

| | | |
|-----------|---|------------|
| I. | Erfahrungen bei Druckluftarbeiten unter Anwendung von Sauerstoff | 286 |
| | <i>Stephan Assenmacher, Wolfgang Förster,</i> | |
| 1 | Einleitung | 287 |
| 2 | Projekte und Projektbesonderheiten | 288 |
| 3 | Herrentunnel Lübeck, Deutschland | 289 |
| 4 | Flughafen-S-Bahn Hamburg, Deutschland | 290 |
| 5 | Nord-Süd-Stadtbahn Köln, Los Nord | 293 |
| 6 | Tunnel Jenbach H8, Jenbach, Österreich | 294 |
| 7 | Tunnel XFEL, Hamburg, Deutschland | 297 |
| 8 | Corrib Gas Tunnel, Irland | 298 |
| 9 | Sammler Isebeek, Hamburg, Deutschland | 299 |
| 10 | Relevante Aspekte für das Auftreten einer Drucklufterkrankung | 300 |
| 11 | Geometrische Restriktionen | 300 |
| 12 | Psychologische Aspekte | 302 |
| 13 | Physische Aspekte | 303 |
| 14 | Planung | 305 |
| 15 | Gesundheitsgerechtes individuelles Verhalten bei Druckluftarbeit | 306 |
| 16 | Schlussfolgerungen und Bewertungen | 308 |
| 17 | Ergebnisse und Empfehlungen | 310 |

II. Druckluftvortrieb im gering durchlässigen Tonstein zur Steuerung der vortriebsbedingten Senkungen312

*Martin Wittke, Walter Wittke, Günther Osthoff,
Thomas Berner, DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH*

| | | |
|---|---------------------------------|-----|
| 1 | Einleitung..... | 313 |
| 2 | Baugrundverhältnisse | 315 |
| 3 | Bauwerk | 317 |
| 4 | Prognose der Senkungen..... | 318 |
| 5 | Druckluftstützung | 321 |
| 6 | Erfahrungen beim Vortrieb | 326 |
| 7 | Zusammenfassung | 330 |

Tunnelbaubedarf

| | |
|--|-----|
| Nach Warenuntergruppen gegliedertes Lieferantenverzeichnis..... | 333 |
|--|-----|

Inserentenverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Alphabetisches Verzeichnis der Inserenten..... | 345 |
|--|-----|

Autorenverzeichnis351

Baugruben und Tunnelbau in offener Bauweise

I. Schutzgalerie gegen Naturgefahren an der B 21 – Planung und Ausführung

Mit der 139 m langen Schutzgalerie Saalachsee wurde ein neuartiges Konzept für Schutzgalerien verwirklicht. Während Schutzgalerien häufig als reine Lawinengalerien gebaut werden, wurde die Galerie Saalachsee so konzipiert, dass auch Steinschlag- und Murereignisse bis zu festgelegten Jährlichkeiten beherrscht werden können. Dies dient nicht nur dem Schutz der Verkehrsteilnehmer auf der Bundesstraße 21 (B 21) südlich von Bad Reichenhall, sondern auch dem Schutz des Bauwerks. Damit soll die Verfügbarkeit der wichtigen Verkehrsverbindung deutlich erhöht werden. Die Bauweise der Schutzgalerie erfolgte unter Verwendung von Fertigteilen, was die Verkehrsbeeinträchtigungen während der Bauzeit deutlich reduzierte. Auf betriebstechnische Einrichtungen nach den Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT) [1] konnte aufgrund der besonderen Konzeption der Schutzgalerie weitgehend verzichtet werden.

Protective gallery against natural hazards alongside the federal road B 21 – Design and realization

The Saalachsee avalanche protection gallery near Bad Reichenhall in Bavaria with a length of 139 m is based on an innovative concept, that ensures protection not only against avalanches, as

Autoren: Dipl.-Ing. (FH) M. Sc. Thomas Zumbrunnen, Staatliches Bauamt Traunstein, Abt. Georisiken, Tunnelbau und alpine Sonderbauweisen, Traunstein, Dipl.-Ing. Bernd Gebauer, Ing.-Büro Dipl.-Ing. Bernd Gebauer Ingenieur GmbH, München, BD Dipl.-Ing. Univ. Bernhard Ettelt, Zentralstelle für Brücken- und Tunnelbau Autobahndirektion Südbayern, München, Ministerialrat Dipl.-Ing. Karl Goj, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern für Bau und Verkehr, München

many similar structures, but also against geological risks like debris flow surges and rockfall events up to calculated annualities. This design enhances not only the safety of the road users, but serves in addition to improve the safety of the structure during such events. Furthermore, the availability of the important traffic connection, the federal road B 21, is increased. In order to shorten the building phase, the construction was mounted in a reinforced concrete building technique using pre-cast concrete segments in order to minimize traffic obstructions. The design of the building was furthermore optimized in order to minimize operational installations without infringement of the relevant standards.

1 Einleitung

Auf der B 21/E 641 (Bild 1) kommt es bedingt durch die Lage an den hohen und steilen Süd- und Osthängen des Ristfeucht- und Rabensteinorns sowie den Nord-West-Hängen des Lattengebirges mit seinen steil aufragenden Felswänden des Predigtstuhls, des Vogelspitz und des Luegerhorns (Bild 2), aufgrund von Lawinen-, Steinschlag- oder Murereignissen immer wieder zu Unfällen und längeren Sperrungen. Nach mehreren Steinschlagereignissen mit Verletzten und mehreren Sperrungen der Straße wegen Lawinenabgängen und größeren Murereignissen wurde entschieden, ein integrales Schutzkonzept gegen gravitative Naturgefahren für die B 21 mit dem Ziel zu entwickeln, die regionalen und überregionalen verkehrlichen Anforderungen ganzjährig sicherzustellen. Integrales Schutzkonzept bedeutet, dass anders als bei einer reinen Lawinengalerie, Gefahren durch Lawinen aber auch aus Sturz- und Wildbachprozessen innerhalb festgelegter Grenzen durch das Bauwerk abgewendet werden und die Verfügbarkeit der Straße damit deutlich erhöht wird.

I. Schutzgalerie gegen Naturgefahren an der B 21



Bild 1. Lage der Schutzgalerie an der B 21/E 641

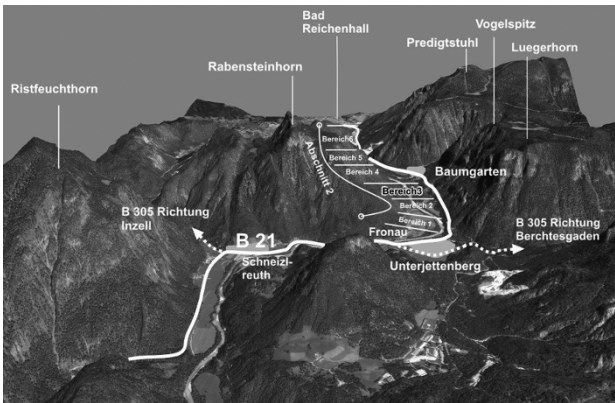


Bild 2. Topografische Darstellung B 21, Kleines Deutsches Eck

Im Hinblick auf die Komplexität und Größe des Gesamtprojekts und um eine zeitnahe Umsetzung zu ermöglichen, war es notwendig, eine Prioritätenreihung innerhalb des Projekts vorzunehmen. Hierfür wurde die Gesamtstrecke in zwei Abschnitte unterteilt. Im Abschnitt zwischen Schneizleuth und Bad Reichenhall war das vorrangige Planungsziel eine uneingeschränkte Erreichbarkeit der Gemeinde Schneizleuth von der Kreisstadt Bad Reichenhall aus, u. a. um die Notfallversorgung sicherzustellen und zur Erhöhung der Verfügbarkeit der Straße für den überregionalen, grenzüberschreitenden Verkehr. Innerhalb dieses Abschnitts wurden wiederum sechs Bereiche gebildet, die an die hohen Felswände des Ramsaudolomits und Dachsteinkalks angrenzen. Aufgrund der ungleichen Verwitterung der beiden Gesteinsformationen kommt es hier zu einem gehäuften Vorkommen von Stein- und Blockschlag. Die Ursachen hierfür liegen in langfristiger Materialentfestigung und Verwitterung an Trennflächen. Gefördert werden diese Vorgänge durch Frosteinwirkung, Temperatursausdehnung und Wurzelsprengungen.

2 Maßnahmenabwägung und Ausgestaltung der Schutzbauwerke

Derzeit existiert in Deutschland keine eingeführte Methodik für eine risikobasierte Beurteilung, Prävention oder Bewältigung gravitativer Naturgefahren. Des Weiteren fehlen verbindliche Vorschriften und Richtlinien für die Ausbildung und die Bemessung von Schutzbauwerken gegen diese Gefahren. Aus diesem Grund wurde bei den Planungen der Maßnahme an der B 21 für die auftretenden Prozessarten (Murgang, Lawine, Fels- bzw. Blocksturz) ein Maßnahmenvergleich für verschiedene Jährlichkeiten durchgeführt, in dem die voraussichtlichen Kosten der Maßnahmen dem zu erwartenden Nutzen gegenübergestellt wurden.

Für die Untersuchungen wurde der Streckenabschnitt in sechs Gefahrenbereiche unterteilt. Ausschlaggebend für die Unterteilung war dabei die räumliche Lokalisierung und Abgrenzbarkeit der jeweiligen Prozessarten. Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse zeigt, dass die Straße im Bereich 3 (unterhalb

des Vogelspitz) am stärksten durch Naturgefahren betroffen ist (Bild 3). Der Schutz dieses Bereichs wurde somit als vordringlich behandelt. Bei der Abwägung spielten neben der reinen Gefahrenbetrachtung auch das daraus resultierende Schadenspotenzial und somit Faktoren wie die Verkehrsbelastung (DTV), Verkehrsbedeutung, Umleitungsmöglichkeit usw. eine entscheidende Rolle, was einer Risikoanalyse bereits sehr nahekommt.

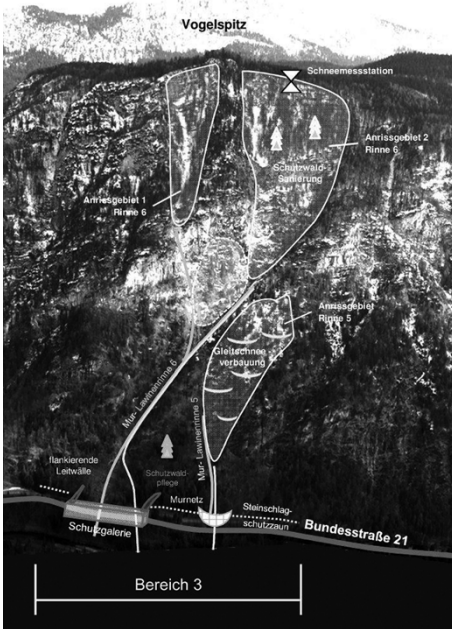


Bild 3. Schematische Darstellung der geplanten Schutzbauwerke im Bereich 3 für das Schutzkonzept mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von $T < 100$ Jahre für Lawinen- und Murereignisse und $T < 50$ Jahre für Steinschlagereignisse [2]

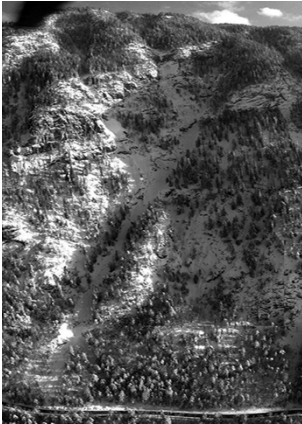


Bild 4. Lawinenrinnen im Bereich 3 des Schutzabschnitts

In dem ca. 320 m langen Bereich 3 überlagern sich in einem vergleichsweise kurzen Abschnitt drei Prozessarten. Im Maßnahmenvergleich stellte sich in einem 139 m langen Kernbereich eine Schutzgalerie mit flankierenden Leitwällen als sicherste und wirtschaftlichste Lösung dar. Die verbleibende, nicht durch die Galerie gesicherte Strecke des Bereichs kann mit Schutzzäunen, Murnetzen und einer Anrissverbauung für eine Nebenrinne gut geschützt werden (Bild 4).

3 Einwirkungen und Lastansätze

Wie für die Beurteilung und Prävention von Naturgefahren fehlen in Deutschland auch verbindliche Vorschriften und Richtlinien für die Ermittlung und Bestimmung von Lastansätzen für Schutzbauwerke gegen Steinschläge, Murereignisse und Lawinen. So musste für die Ausgestaltung, Konstruktion und Bemessung der Bauwerke auf österreichische und schweizerische Richtlinien zurückgegriffen werden. Das führte vor allem bei der anschlie-

ßenden Berücksichtigung und Einbindung der ermittelten Einwirkungen und Lasten in die statische Berechnung nach den neuen Eurocodes und der konstruktiven Ausbildung des Tragwerks zu vertieften Einzelfallbetrachtungen und einer intensiven Abstimmung mit dem verantwortlichen Prüferingenieur.

Für die Ermittlung der Einwirkungen aus Stein- und Blockschlagereignissen wurden nach einer gutachterlichen Begehung (inkl. Befliegung) der Hang- und Wandbereiche oberhalb der Bundesstraße, Ausbruchsgebiete mit zugehörigen Ausbruchsblockgrößen für zehnjährige und 50-jährige Ereignisse festgelegt. Basierend auf diesen Festlegungen wurden 3-D-Steinschlagsimulationen durchgeführt (Bild 5). Mit den gewonnenen Ergebnissen wurde eine Umgriffermittlung und eine erste Abschätzung der auftretenden Energien und Sprunghöhen durchgeführt.

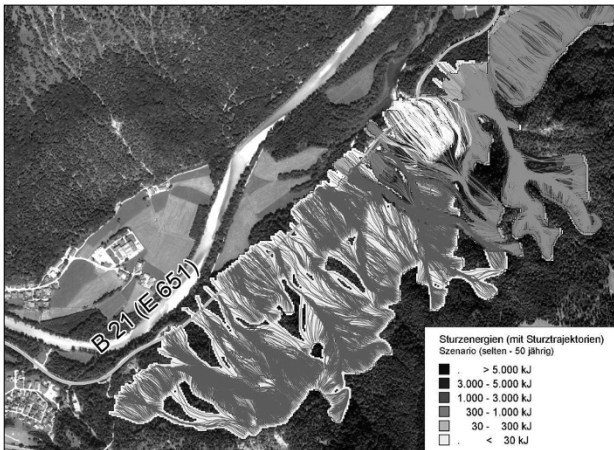


Bild 5. Darstellung der Sturztrajektorien und der Sturzenergien aus der 3-D-Simulation $T \leq 50$ Jahre [3]

Für die Festlegung der Einwirkungen aus Lawineneignissen wurden bei jedem Lawenstrich mehrere Szenarios untersucht. Basierend auf einem Schneehöhengutachten [4] und einer gutachterlichen Stellungnahme des bayerischen Landesamts für Umwelt [5] wurden für jeden Lawenstrich Simulationen mit unterschiedlichen Schneehöhen und Umgriffen der Anrissgebiete sowie mit verschiedenen Lawinenarten (Fließlawine, Staublawine, Nassschneelawine) durchgeführt. Anhand einer relativ detaillierten Aufzeichnung einer Schadlawine aus dem Jahr 2002 konnten in Verbindung mit dem Schneehöhengutachten diese Simulationsergebnisse referenziert und den verschiedenen Szenarios die zugehörigen Auftretenswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Zur Ermittlung des maßgeblichen Lawinumgriffs wurden im Anschluss jeweils die Fließhöhenenergebnisse der 30- und

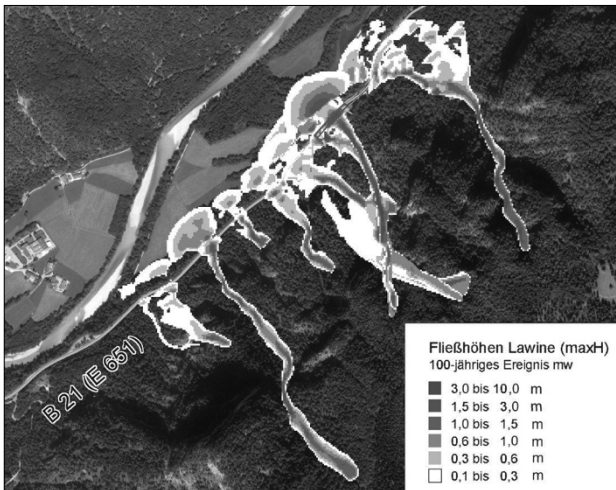


Bild 6. Darstellung der überlagerten Fließhöhenenergebnisse aus den Simulationen Lawine ($T \leq 100$ Jahre) [3]

der 100-jährlichen Szenarios überlagert (Bild 6). Zur Ermittlung der Maximallast wurde für die betreffenden Jährlichkeiten eine räumliche Extremwertuntersuchung durchgeführt. Anhand der Ergebnisse wurden im Anschluss über die Festlegungen der ASTRA-Richtlinie 12 007 [6] die Einwirkungen aus der Prozessart Lawine bestimmt.

Noch schwieriger, als bei den Sturz- und Lawinenprozessen, gestaltete sich die Ermittlung der Einwirkungen aus der Prozessart Mure. Dem Staatlichen Bauamt Traunstein war zwar bekannt, dass es im untersuchten Streckenabschnitt an einigen Steilrinnen bereits zu Vermurungen der Straße gekommen war, hierüber existierten jedoch keine Aufzeichnungen mehr. Auch spezielle Niederschlagsaufzeichnungen lagen nicht vor. Aus diesem Grund wurde zu Planungsbeginn versucht, an zwei Rinnen auf der Grundlage der Ermittlung der Einzugsgebiete, den Niederschlagswerte aus dem KOSTRA-Atlas des Deutschen Wetterdienstes und einer allgemeinen Geschiebeabschätzung aus einem gutachterlichen Begehungsprotokoll [3] mittels des Programms RAMMS (debris flow) Mursimulationen durchzuführen. Die hierbei erzielten Ergebnisse mussten jedoch als sehr unsicher eingestuft werden. Eine Jährlichkeitszuweisung der Ergebnisse konnte aufgrund der Unsicherheiten nicht erfolgen.

Erst als es 2010 zwischen Bad Reichenhall und Unterjettenberg zu einem Starkniederschlagsereignis kam, bei dem es gleich an mehreren Wildbächen und Rinnen zu Murgängen mit einer bis dato nicht für möglich gehaltenen Verschüttung der Straße gekommen war (Bild 7), konnten die für eine Simulation erforderlichen Daten erhoben werden.

Die entstandenen Murkegel und Ablagerungsmassen der Ereignisse wurden detailliert aufgenommen und ausgewertet. Zudem wurde ein aktuelles Niederschlagsgutachten [7] unter Einbeziehung österreichischer Messstationen erstellt. Aufgrund dieser neuen Daten konnten im Anschluss für die maßgeblichen Rinnen genaue Simulationen für 30- und 100-jährige Ereignisse durchgeführt werden.



Bild 7. Murereignis im Sommer 2010 zwischen Bad Reichenhall und Unterjettenberg

Diese Simulationen führten letztlich zu einer Umplanung der Geländemodellierung oberhalb der Galerie. So wurden die Gerinneüberleitung und die Gestaltung der seitlichen Ablenkwälle, die über die Galerie führen, überarbeitet.

Im Anschluss wurde der gesamte Galeriebereich (inkl. Gerinne, Wälle usw.) in das bestehende 3-D-Geländemodell eingebunden. Mit diesem aktualisierten Geländemodell wurde die Murgangssimulation im Bereich der Galerie wiederholt (Bild 8) und die Einwirkungen für die Prozessart Murgang festgelegt.

Anhand des neuen Geländemodells wurden zudem Geländeschnitte entlang der ungünstigsten Sturztrajektorien der 3-D-Simulation-Steinschlag (50-jähriges Ereignis) erzeugt. Anhand dieser Schnitte wurden 2-D-Steinschlagsimulationen durchgeführt. Mit den hierdurch gewonnenen Daten konnten abschließend über die Regelungen der ASTRA-Richtlinie 12 006 [8] die Ersatzkräfte und somit die Einwirkungen für die Prozessart Steinschlag ermittelt werden.

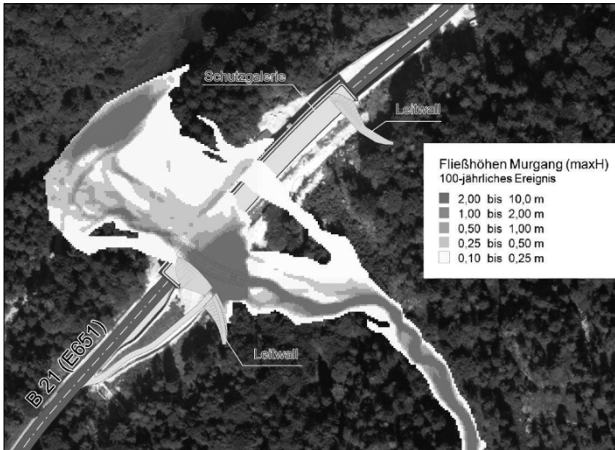


Bild 8. Darstellung der Fließhöhenenergie aus den Simulationen Murgang nach der Geländemodellierung [3]

Nach diesen Untersuchungen standen für die drei auftretenden Prozessarten Murgang, Lawine und Stein- bzw. Blockschlag die ausschlaggebenden Einzeleinwirkungen mit den zugehörigen Lastannahmen fest. Im Anschluss mussten jedoch noch Festlegungen für die Lastfallkombinationen getroffen werden. Zur Festlegung der anzusetzenden Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte wurde für die spätere Berechnung und Bemessung des Schutzbauwerks nach den Eurocodes [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16] in Abstimmung mit dem Prüfenieur ein umfassendes Lastbild erstellt. In einem zugehörigen Einwirkungsbericht wurden die aus dem Lastbild entstandenen Festlegungen zu den Lastfallkombinationen sowie zu den Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten abschließend fixiert und im Folgenden als Grundlage für alle weiteren Berechnungen und Bemessungen der Schutzgalerie verwendet.

4 Planung der Überschüttung und der Dämpfungsschicht

Die Planung der Höhe, der Neigung und der Gefällebruchkanten der Überschüttung erfolgte gemäß den Angaben der Richtlinie ASTRA 12 007 [6]. Ziel war es, die Umlenkstrecke der Lawinen und die damit verbundene vertikale Umlenkkraft möglichst weit bergseitig der Galerie zu verlegen und dadurch die Kräfte auf das Bauwerk gering zu halten.

Der Verlauf der Oberkante der Überschüttung ergab sich durch die Verschneidung des ideellen Geländeverlaufs mit den örtlichen Geländeprofilen. Diese Geometrie wurde danach durch iterative Simulationen und Berechnungen weiter optimiert.

Die Dicke der Dämpfungsschicht wurde unter Berücksichtigung baupraktischer Aspekte so gewählt, dass die Überschüttung mit der geplanten Schichtenfolge Schutzschicht auf Bauwerk/Dämpfungsschicht/Deckschicht mit der geplanten Geometrie hergestellt werden kann.

Als Material der Dämpfungsschicht wurde der im Zuge der Baumaßnahme abgebaute Hangschutt als lockere Schüttung eingebaut. Die Eignung dieses Materials wurde bodenmechanisch untersucht und durch Simulationsberechnungen bestätigt.

5 Auswahl der Tragkonstruktion

Im Zuge der Entwurfsplanung wurden für die Galerie eine reine Ortbetonkonstruktion und eine Fertigteilkonstruktion mit Ortbetonergänzungen untersucht. Die Ortbetonvariante bestand aus 14 jeweils 10 m langen Blöcken, die Fertigteilvariante aus 13 Blöcken mit einer Länge von 10 bis 12,5 m. Bei beiden Varianten war für die Fundamente, die bergseitige Wand der Galerie, die Brüstungsmauer und die Stützen Ortbeton vorgesehen. Im Gegensatz zur reinen Ortbetonvariante mit ihren zwei $1,0 \times 0,6$ m starken Stützen pro Galerieblock, musste für die Variante mit Fertigteilen die Stützenszahl auf vier Stützen ($0,5 \times 0,7$ m) pro Block erhöht werden (Bild 9 und 10). Nur so konnte eine Fertigteilkonstruktion