

Die Rolle der Geologie in den neuen Schweizer Tunnelnormen

Roland Wyss¹

1 Einleitung

Die neuen SIA-Tunnelnormen wurden am 12. November 2004 an einer SIA-Tagung in Bern einem zahlreichen Fachpublikum vorgestellt.

Die neuen Normen 197, 197/1, 197/2 und 198 kamen im September 2002 erstmals in die Vernehmlassung. Nach der Überarbeitung dieser ersten Fassungen erfolgte eine zweite Vernehmlassung im Januar 2004. Eine Arbeitsgruppe aus dem Vorstand der Schweizerischen Fachgruppe für Ingenieurgeologie (SFIG/GSGI) hat sich intensiv an beiden Vernehmlassungen beteiligt.

Die neuen SIA-Tunnelnormen lösen die bisherige SIA 198 Untertagbaunorm aus dem Jahr 1993 ab. Die neue Tunnelnorm besteht aus fünf Teilen:

- Norm SIA 197, Projektierung Tunnel, Grundlagen
- Norm SIA 197/1, Projektierung Tunnel, Bahntunnel
- Norm SIA 197/2, Projektierung Tunnel, Strassentunnel
- Norm SIA 198, Untertagbau, Ausführung.
- Norm SIA 118/198, Allgemeine Bedingungen für den Untertagbau

Mit den neuen SIA-Normen 197, 197/1 und 197/2 wurde – gegenüber der bisherigen Norm – der Teil der Projektierung wesentlich erweitert. So werden in den Normen 197/1 und 197/2, die Bahntunnel respektive die Strassentunnel vertieft behandeln.

Die neue SIA-Norm 198 hat die technischen Bestimmungen der bisherigen Norm weitge-



C. Jeckelmann

hend übernommen, es wurden aber neue Erkenntnisse berücksichtigt und Ergänzungen vor allem bezüglich Vortriebsverfahren und Bauhilfsmassnahmen vorgenommen.

Die neue SIA-Norm 118/198 beinhaltet die allgemeinen Vertragsbedingungen zur Norm SIA 198 und ist damit auch eine Ergänzung der Norm 118, Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten.

Die neuen SIA-Normen wurden in Normenkommissionen bearbeitet, die hauptsächlich durch Bauingenieure aus der Verwaltung, der Projektierung und aus Unternehmungen bestückt waren. In den Kommissionen für die Normen 197, 198 und 118/198 waren auch je ein Geologe vertreten.

¹Dr. Roland Wyss GmbH, Geologische Beratungen, Rebstrasse 3, 8500 Frauenfeld
Tel.: 052 721 79 00, wyss@rwgeo.ch

Eine, für den Geologen, wichtige Ergänzung zu den neuen Tunnelnormen stellt die bisherige SIA-Empfehlung 199, Erfassen des Gebirges im Untertagbau, aus dem Jahr 1998 dar.

2 Die neuen SIA-Tunnelnormen

2.1 SIA-Norm 197, Projektierung Tunnel, Grundlagen

Der Hauptfokus dieser Grundlagen-Norm ist die Projektierung von Verkehrstunneln. Für andere Untertagbauwerke wie Wasser- und Leitungsstollen, Kavernen oder Schächte sind die Normen sinngemäss anwendbar.

Grundlage für eine Projektierung eines Tunnels bildet eine *Nutzungsvereinbarung*. Diese umschreibt unter anderem:

- Die vorgesehene Nutzung des Bauwerkes,
- die Anforderung an die Dichtigkeit,
- den Einfluss des Bauwerkes auf die Umwelt,
- den Einfluss der Umwelt auf das Bauwerk.

Als Grundsatz wird weiter festgehalten, dass «die Kenntnis der Beschaffenheit des Gebirges von grosser Bedeutung» ist (Kap. 2). Die Beschaffenheit des Gebirges ist gemäss den objektspezifischen Anforderungen abzuklären.

Für die verschiedenen Planungsphasen werden die projektbezogenen Ziele skizziert und die Leistungen definiert (s. Tab. 1).

Die geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Berichte sind gemäss SIA-Empfehlung 199 zu erstellen.

Das Hauptkapitel 3, «Gebirge (Baugrund)», das sich mit geologischen Aspekten beschäftigt, umfasst lediglich zwei Seiten. Dabei wird an erster Stelle darauf hingewiesen, dass die geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse des Gebirges einen entscheidenden Einfluss auf das Projektkonzept und die Bauverfahren haben. Baugrunduntersuchungen müssen die

wesentlichen geologischen Verhältnisse *phasengerecht* erfassen. Sie sind deshalb schon in frühen Phasen der Projektierung erforderlich.

Es wird eine klare Trennung von *Beschreibung* und *Beurteilung* des Gebirges verlangt.

Im geologischen Bericht sind die geologischen und tektonischen Verhältnisse zu beschreiben. Der hydrogeologische Bericht beschreibt die lokalen und regionalen hydrogeologischen Verhältnisse. Der zu erwartende Wasserandrang (initial, permanent, Schwankungsbereich) ist zu ermitteln. Die Zuverlässigkeit der Beschreibung und die zu erwartenden Abweichungen sind anzugeben.

Als Ergänzung zur Beschreibung des Gebirges sind die Gefährdungen, die während der Bauausführung oder der Bewirtschaftung des Tunnels auftreten können, zu erkennen.

Die geotechnischen Verhältnisse der Locker- und Festgesteine sind ausreichend zu beschreiben. Ebenfalls sind die Ergebnisse der Laborversuche darzustellen und zu *bewerten*. Es ist zu unterscheiden, ob sich die Angaben auf das Gestein oder das Gebirge beziehen.

Phasen	Teilphasen	Ziele (projektbezogen)	Gebirge, Baugrund
Projektierung	Strategische Planung	Definition des Leitbildes	
	Vorstudie	Nachweis der Machbarkeit	Geologische, hydrogeologische und geotechnische Berichte auf Grund vorhandener Dokumente erstellen. Erkundungen vorschlagen.
	Vorprojekt, Generelles Projekt ¹⁾	Optimale bauliche Lösung	Geologische, hydrogeologische und geotechnische Berichte auf Grund aktueller Ergebnisse revidieren. Ergänzende Erkundungen vorschlagen.
	Auflageprojekt, Ausführungsprojekt ¹⁾	Bewilligtes Projekt	Geologische, hydrogeologische und geotechnische Berichte auf Grund aktueller Ergebnisse revidieren. Evtl. ergänzende Erkundungen vorschlagen.
	Bauprojekt, Detailprojekt ¹⁾	Baureifes Projekt	Zusammenfassende geologische, hydrogeologische und geotechnische Berichte erstellen.
Ausführung	Ausschreibung	Vergabereife Ausschreibungsunterlagen	-
	Ausführungsprojekt	Ausführungsreifes Projekt	Tatsächliche Verhältnisse erfassen und beurteilen. Geologische, hydrogeologische und geotechnische Berichte gegebenenfalls aktualisieren.
Bewirtschaftung	Nutzung und Betrieb	Sicherer Gebrauch	
	Erhaltung	Verfügbarkeit über vorgesehene Dauer	

¹⁾ Für Nationalstrassen

Tab. 1: Planungsphasen und Leistungen im Bereich Gebirge, Baugrund.

Die Erdgasführung ist im geologischen Bericht zu beurteilen.

Im Gebirge mit schlecht voraussehbaren geologischen und hydrogeologischen Problemzonen sind Vorauserkundungen mit Bohrungen und/oder geophysikalischen Messungen, die während des Vortriebes ausgeführt werden, eine erforderliche Ergänzung.

Der geologische Bericht dient auch als Grundlage für das Konzept der Materialbewirtschaftung.

Die bei der Bauausführung angetroffenen geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse sind in zweckmässiger Weise zu erfassen und zu dokumentieren. Diese Dokumente bilden einen *wesentlichen Bestandteil* der Bauwerksakten.

Bezüglich der Umwelt ist der Grundsatz festgelegt, dass im Projekt gemäss Vorsorgeprinzip alle erforderlichen Massnahmen vorzusehen sind, um die Auswirkungen des Tunnels auf die Umwelt so weit wie möglich zu vermindern. Dies während der Ausführung aber vor allem bei der Bewirtschaftung der Anlage (Nutzung, Betrieb, Erhaltung). Für die Geologie relevante Themen sind dabei vor allem:

- Beeinträchtigung von Grundwasserträgern, Wasserfassungen oder Quellen;
- Belastung der Grund- und Oberflächengewässer durch Abwässer aus dem Tunnel (Betriebswasser, evtl. Bergwasser);
- Beeinträchtigung der Landschaft und der Natur durch das Bauwerk (Tunnel und Nebenanlagen).

Die Auswirkungen auf die Umwelt und die Massnahmen sind im Bericht zur Umweltverträglichkeit zu dokumentieren.

Die Projektierung des Tragwerks hat in der Norm einen besonderen Stellenwert (Kapitel 7). Im Folgenden sind die für die Geologie wichtigsten Punkte kurz zusammengefasst:

- Als Tragwerk ist die Gesamtheit der Bauteile und des Gebirges zu verstehen, das für das Gleichgewicht und die Formerhaltung des Bauwerks notwendig ist.

- Das Tragwerkskonzept, die Bemessung und die Bauverfahren sind, soweit möglich, aufgrund vergleichbarer Erfahrungen zu überprüfen und zu beurteilen.
- Ist eine Vorhersage des Tragwerksverhaltens mit vorab durchgeführten Gebirgsuntersuchungen [...] nicht möglich, ist für die Projektierung, die Bauausführung und allenfalls für die Nutzung des Bauwerks die Beobachtungsmethode anzuwenden.
- Das Tragwerk soll bei angemessener Zuverlässigkeit wirtschaftlich, robust und dauerhaft sein.
- Die Gewährleistung einer angemessenen Zuverlässigkeit erfordert u.a. die Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Erfassung des Gebirges [...].
- Ereignisse bzw. Einflüsse können eine Gefährdung in der Bau- und Nutzungsphase verursachen: Niederbruch, Tagbruch, Bergschlag, instabile Ortsbrust, Wassereinbruch, echter Gebirgsdruck, Queldruck, innere Erosion, Wasserdruck, Eisdruck. Abweichungen von angenommenen Werten der Gesteins- bzw. Gebirgseigenschaften, Veränderungen der Gesteins- bzw. Gebirgseigenschaften durch Wasseraufnahme, Entspannung, Auflockerung.

Um Gefährdungen zu vermeiden, kann zum Beispiel die Linienführung eines Projekts geändert werden.

Charakteristische Gebirgswerte (Baugrundwerte) sind nach SIA 267, Geotechnik zu bestimmen. Das Gebirgsmodell als Teil des Tragwerkmodells umfasst in idealisierter Weise gemäss SIA 199 die geologische Struktur des Gebirges, unterteilt in Homogenbereiche mit den dazugehörigen Gesteins- und Gebirgseigenschaften.

Bei Tunnel im Lockergestein oder mit geringer Überdeckung, in Strecken mit Störzonen oder am Übergang Lockergestein/Fels bzw. Tagbau/Untertagbau ist die höhere Empfindlichkeit auf die Wirkung von Erdbeben zu berücksichtigen.

Im Kapitel 8, Bauliche Anlagen, wird sehr ausführlich auf das Thema Abdichtung (8.6) und Entwässerung (8.7) eingegangen.

2.2 SIA-Norm 197/1 und 197/2

Die neuen Normen 197/1, Projektierung Tunnel, Bahntunnel und 197/2, Projektierung Tunnel, Strassentunnel behandeln Besonderheiten, die bei der Projektierung von Bahn- bzw. Strassentunneln zu berücksichtigen sind. Bezüglich der Geologie wird auf die Norm 197 verwiesen.

2.3 SIA-Norm 198, Untertagbau, Ausführung

Die neue SIA-Norm 198 behandelt die technischen Aspekte der Ausführung von Untertagbauten.

Im Kapitel «Verständigung» werden einige wesentliche Fachausdrücke definiert und die Nomenklatur, wie sie für die Profile der verschiedenen Vortriebsarten verwendet wird, illustriert.

Im Kapitel 3 «Ausführung» werden neben anderen Themen insbesondere Bohrungen und Vorauserkundungen im Vortrieb, Vortriebsverfahren sowie Bauhilfsmassnahmen näher erläutert.

Die Gründe für Vorausbohrungen im Vortrieb sind: Erkundung des Gebirges vor der Ortsbrust (=Vorauserkundung) und Drainage des Gebirges. Bohrungen sind direkte Vorauserkundungen, geophysikalische oder ähnliche Methoden gelten als indirekte Vorauserkundungen. Erkundungs- und Pilotstollen werden nicht als eigentliche Vorauserkundungen angesehen, da sie als Bauwerk gelten.

Das Konzept der Vorauserkundung und der Drainage ist im Projekt definiert. Für jede Bohrung ist ein Bohrrapport zu erstellen, dessen Umfang objektspezifisch festgelegt wird. Daten von Vorauserkundungen müssen umgehend ausgewertet und interpretiert werden.

Die Vortriebsverfahren werden grundsätz-

lich in zwei Hauptgruppen unterteilt:

- Vortrieb im Fels,
- Vortrieb im Lockergestein.

Es wird dabei ausdrücklich festgehalten, dass eine scharfe Abgrenzung zwischen Fels (Festgestein) und Lockergestein bezüglich der vortriebsrelevanten Eigenschaften nicht immer möglich ist.

Als Vortriebsverfahren gelten:

- Sprengvortrieb im Fels (SPV),
- TBM-Vortrieb im Fels (TBM),
- Maschinenunterstützter Vortrieb mit Hilfe von Teilschnittmaschinen, Baggern, Rippergeräten usw. im Fels oder im Lockergestein (MUF bzw. MUL),
- Schildmaschinenvortrieb im Lockergestein (SM).

Das Vortriebsverfahren wird aufgrund des Gebirges (Baugrund), des Bergwassers (Grundwasser), der Randbedingungen wie Topografie, Umwelt, benachbarte Bauten etc. sowie der Projektmerkmale wie Normalprofil, Vortriebslänge etc. bestimmt.

Im Einzelnen werden die verschiedenen Vortriebsverfahren näher erläutert.

Eine Bauhilfsmassnahme ist eine «voraussehlende Massnahme als Teil des Vortriebs zur Wahrung der Arbeitssicherheit und der Standsicherheit des Ausbruchs». Ihr Einsatz ist abhängig von den geologischen/hydrogeologischen Verhältnissen. Bauhilfsmassnahmen können als Einzelmassnahme oder als systematische Massnahme eingesetzt werden. Im Abschnitt Bauhilfsmassnahmen ist festgehalten, dass bei nicht eindeutig bekannten geologischen und hydrologischen Verhältnissen in der Regel Voruntersuchungen anzuordnen sind.

Im Kapitel 4, «Ausführungsprüfung und Überwachung» ist die geologische, hydrogeologische und geotechnische Überwachung in der Ausführungsphase umschrieben. Diese umfasst insbesondere:

- Den Vergleich der angetroffenen Bedingungen mit den gemäss SIA 199 definierten Homogenbereichen, mit dem Ziel,

- rechtzeitig Anpassungen oder Änderungen der Ausbruch- und Sicherungsarbeiten anordnen zu können;
- den rechtzeitigen Einsatz und die Optimierung von nötigen Vorauserkundungsmassnahmen;
- die Aufnahmen für die Erstellung des Schlussberichts (gemäss SIA 199);
- die Lieferung des geologischen Inputs für die Auswertung der geotechnischen Messungen.

Im Abschnitt Materialbewirtschaftung des Kapitels 6 ist angegeben, nach welchen Kriterien das Ausbruchmaterial regelmässig kontrolliert werden muss:

- Geologische Natur des Materials,
- Petrographie (vorhandene nachteilige Bestandteile),
- Weiterverwendung gemäss Vorgaben Projekt,
- Vorhandensein von kontaminiertem Material oder von gesundheits- oder umweltschädigenden Eigenschaften und/oder Bestandteilen.

2.4 Norm SIA 118/198, Allgemeine Bedingungen für den Untertagbau

Die neue SIA-Norm 118/198 enthält in Ergänzung zur Norm SIA 118 Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten, detaillierte Regeln betreffend Abschluss, Inhalt und Abwicklung von Verträgen über Bauarbeiten im Bereich der Tragwerke (allgemeiner Teil) bzw. im Bereich des Untertagbaus (besonderer Teil).

Auf diese Vertragsnorm wird hier nicht weiter eingegangen.

3 SIA-Empfehlung 199, Erfassen des Gebirges im Untertagbau

Die SIA-Empfehlung 199 stammt aus dem Jahr 1998. Sie «regelt die Erarbeitung von Grundlagen zur Beschreibung der geologischen, hydrogeologischen und geotechni-

schen Verhältnisse sowie die Beurteilung des Gebirges bei der Projektierung, Ausführung und Nutzung von bergmännisch zu erstellenden Untertagbauten». In der Empfehlung wird klar zwischen der Beschreibung und der Beurteilung des Gebirges unterschieden. Die Beurteilung des Verhaltens des Gebirges im Hinblick auf die Planung geeigneter Massnahmen erfolgt auf der Grundlage von Gefährdungsbildern.

Es werden vier Klassen von Ausbruchmaterial definiert.

Form und Inhalte von geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Berichten sind festgelegt.

Die SIA-Empfehlung 199 ist eine wichtige Richtlinie und ein Werkzeug für den im Untertagbau tätigen Geologen. In Anbetracht zahlreicher Bauvorhaben in schwierigen Baugrundverhältnissen, der neuen Technologien im Untertagbau und sowie der neuen Normen 197 und 198, scheint eine Überarbeitung und Erweiterung dieser Empfehlung notwendig.

4 Fazit

In den beiden Normen SIA 197, Projektierung, Tunnel und SIA 198, Untertagbau, Ausführung, sind geologische, hydrogeologische und geotechnische Aspekte in verschiedenen Kapiteln behandelt. Die Bedeutung der Geologie für die Projektierung eines Bauwerkes wird zwar unterstrichen, ist jedoch nicht konsequent in die Normen eingeflossen.

So stellen sich aus der Sicht der Geologie verschiedene Fragen: Hat sich die Linienführung eines Tunnels der Geologie anzupassen oder kann in allen Gebirgsverhältnissen ein Tunnel gebaut werden? Welche Bearbeitungstiefe ist für die entsprechende Projektphase notwendig? Aufgrund welcher Prognose (optimistisch/pessimistisch/wahrscheinlich) wird eine Kostenschätzung gemacht?

Wie gut werden geologische Berichte von Projektierenden oder Unternehmern gelesen? Inwiefern verursacht tatsächlich die Geologie Mehrkosten, wie dies oft in den Medien berichtet wird?

Die Frage der Wasserhaltung in Tunnels im Lichte des heute geltenden Gewässerschutzgesetzes wird nicht eingehend behandelt. In Anbetracht der bestehenden «Wegleitung zur Umsetzung des Grundwasserschutzes bei Untertagebauten» des BUWAL ist dies bedauerlich.

Die Vertretung der Geologie in der neuen SIA-Tunnelnorm scheint auf den ersten Blick etwas mager. Betrachtet man jedoch die entsprechenden Kapitel, welche den Baugrund explizit behandeln oder sucht man in anderen Kapiteln nach geologischen Inhalten, so stellt man fest, dass die Geologie, obwohl formal nicht prominent vertreten, inhaltlich doch eine wesentliche Stellung einnimmt. Es ist nun an uns Geologinnen und Geologen, diese Plattform zu nutzen und durch kompetente Mitarbeit in den verschiedenen Projektphasen einen wesentlichen Beitrag zum guten Gelingen der Projekte zu leisten.

Wichtigste Grundlagen

SIA-Normen und Empfehlungen

- Norm SIA 197: Projektierung Tunnel, Grundlagen
- Norm SIA 197/1: Projektierung Tunnel, Bahntunnel
- Norm SIA 197/2: Projektierung Tunnel, Strassentunnel
- Norm SIA 198: Untertagbau, Ausführung
- Empfehlung SIA 199: Erfassen des Gebirges im Untertagbau (1998)
- Norm SIA 260: Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- Norm SIA 261: Einwirkungen auf Tragwerke
- Norm SIA 261/1: Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen
- Norm SIA 267: Geotechnik
- Norm SIA 261/1: Geotechnik – Ergänzende Festlegungen
- Empfehlung 431: Entwässerung von Baustellen

Gesetze

- Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz USG), SR 814.01
- Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV), SR 814.011
- Bundesgesetz über den Schutz von Gewässern (Gewässerschutzgesetz GSchG), SR 814.20
- Gewässerschutzverordnung (GSchV), SR 814.201

Richtlinien, Wegleitungen und weiterführende Literatur

- Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie), BUWAL 1999
- Abfall- und Materialbewirtschaftung bei UVP-pflichtigen und nicht UVP-pflichtigen Projekten, BUWAL 2003
- Grundwasserschutz bei Tunnelbauten, Grundlagenbericht, BUWAL 1994
- Wegleitung zur Umsetzung des Grundwasserschutzes bei Untertagebauten, BUWAL 1998
- Verhütung von Unfällen durch Brände und Explosionen bei der Erstellung von Untertagebauten in Erdgas führenden Gesteinsschichten. Technisches Merkblatt SUVA.
- Arbeitsgruppe «Gasführung im Untergrund» 2002: Grundlagen zur Charakterisierung der Erdgasgefährdung bei Untertagebauten. Arbeitsgruppe der SFIG/GSGI: Dr. R. Wyss, Dr. E. Greber, Dr. M. Freimoser, Dr. F. Schenker, R.-T. Haarpainter; Bull. angew. Geol., Vol. 7/1, 45–65.

Verdankung

Den Kollegen in der SFIG-Arbeitsgruppe zur Vernehmlassung der neuen Tunnelnormen, Hans-Jakob Ziegler, Tomaso Lardelli und Beat Rick, sei für die interessanten Diskussionen und die Anregungen für den vorliegenden Artikel herzlich gedankt.