

Dokumentation

D 0253

s i a

Neues aus der Forschung zu Brücken, Geotechnik und Tunnel

Nouveaux acquis de la recherche sur les ponts, la géotechnique et les tunnels

schweizerischer
ingenieur- und
architektenverein

société suisse
des ingénieurs
et des architectes

società svizzera
degli ingegneri
e degli architetti

swiss society
of engineers
and architects



Dokumentation
D 0253

Neues aus der Forschung zu Brücken, Geotechnik und Tunnel

April 2024

Nouveaux acquis de la recherche sur les ponts, la géotechnique et les tunnels

Avril 2024

ASTRA Bundesamt für Strassen
OFROU Office fédéral des routes

FBH Fachgruppe für Brückenbau und Hochbau
GPC Groupe spécialisé des ponts et charpentes

FGU Fachgruppe für Untertagbau
GTS Groupe spécialisé pour les travaux souterrains

GS Geotechnik Schweiz
GS Géotechnique Suisse



schweizerischer ingenieur- und architektenverein
société suisse des ingénieurs et des architectes
società svizzera degli ingegneri e degli architetti
swiss society of engineers and architects

Dokumentation D 0253



Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Société suisse des ingénieurs et des architectes
Postfach / Case postale, CH-8027 Zürich

Umschlagfoto: Creugenat Viadukt, Jura
Layout: Ronny Hunger

ISBN 978-3-03732-056-3

Dokumentation SIA D 0253

Neues aus der Forschung zu Brücken, Geotechnik und Tunnel
Nouveaux acquis de la recherche sur les ponts, la géotechnique et les tunnels

Copyright © 2024 by SIA Zurich

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das der Übersetzung, sind vorbehalten.

Tous les droits de reproduction, même partielle, de copie intégrale ou partielle, d'enregistrement sur ordinateur et de traduction sont réservés.

Die in den Artikeln erwähnten Forschungsberichte stehen kostenlos unter www.mobilityplatform.ch zur Verfügung.

Vorwort

Armand Fürst	Neues aus der Forschung zu Brücken, Geotechnik und Tunnel (BGT) des ASTRA	6
--------------	---	---

Inhalte

Jürg Röthlisberger	Trends der Mobilität der Zukunft	8
Demis Karagiannis	Einfluss der Querbiegung auf den Schubwiderstand von Betonbrücken	16
Florence Bieri	Zur Variabilität des Gebirgsverhaltens beim Tunnelbau im druckhaften Gebirge	27
Ioannis Anastasopoulos	Abschätzung der Tragfähigkeit von Pfahlfundationen unter kombinierter seismischer Belastung	35
Aurelio Muttoni	Résistance à l'effort tranchant d'éléments en béton armé sans armature transversale ; Vérification des dalles de roulement des ponts routiers	43
Ueli Angst	Kritischer Chloridgehalt im Stahlbeton: Neue Messmethode zur verfeinerten Zustandsbeurteilung von Stahlbetonbauwerken	50
Michela Bazzi	QuAntuM: Einfluss der Vortriebsmethode im Fels auf die Qualität des Ausbruchmaterials bezüglich Wiederverwendbarkeit und Entsorgung sowie auf die Menge der belasteten Rückstände	53
Matthias Ryser	Gefährdungsanalyse bestehender Stützmauern	62
David Perozzi	Bruchverhalten von Winkelstützmauern; Boden-Wand Interaktion	72
Severin Haefliger	Tragwiderstand und Verformungsvermögen von Winkelstützmauern bei lokaler Korrosion der Bewehrung	79
Thomas Vogel	Grundlagen zur Überprüfung und Bemessung von Steinschlagschutzgalerien	88
Sara Zingg	Statische Auswirkung, Machbarkeit und Ausführungsaspekte von Gebirgsdrainagen im Untertagbau	100
Matthias Schubert	Weiterentwicklung des Bemessungskonzeptes für neue und bestehende Lawingalerien	108
Aurelio Muttoni	Influence de la durée et de la vitesse de chargement sur la résistance des structures en béton ; Contribution à l'actualisation des dispositions constructives des ouvrages en béton armé	114
Thomas Fries	Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln	125
Renato Salvi	Transjurane A16 (1988-2017) : Quel paysage pour une autoroute, ou quelle autoroute pour quel paysage ?	135

Verfasser

Georgios Anagnostou	Prof. Dr., ETH Zürich Institut für Geotechnik, 8093 Zürich
Ioannis Anastasopoulos	Prof. Dr., ETH Zürich Professur für Geotechnik, 8093 Zürich
Ueli Angst	Prof. Dr., ETH Zürich Institut für Baustoffe, 8093 Zürich
Michela Bazzi	Lombardi AG, 6512 Bellinzona-Giubiasco
Florence Bieri	Dr., B+S AG, 3000 Bern
Carolina Boschmann	Dr., VersuchsStollen Hagerbach AG, 8893 Flums
Bernhard Elsener	Prof. em., ETH Zürich Professur für Dauerhaftigkeit und Korrosion, 8093 Zürich
Katharina Fischer	Dr., Matrisk GmbH, 8910 Affoltern am Albis
Thomas Fries	ILF Beratende Ingenieure AG, 8048 Zürich
Severin Haefliger	Dr., dsp Ingenieure + Planer AG, 8610 Uster
Maik Hömke	Dr., Bundesamt für Strassen ASTRA, 3063 Ittigen
Demis Karagiannis	Dr., dsp Ingenieure + Planer AG, 8610 Uster
Walter Kaufmann	Prof. Dr., ETH Zürich Institut für Baustatik und Konstruktion, 8093 Zürich
Stefan Margreth	WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 7260 Davos
Alexandru Marin	Dr., ETH Zürich Institut für Geotechnik, 8093 Zürich
Aurelio Muttoni	Prof. em., EPFL ENAC, 1015 Lausanne
David Perozzi	Dr., ETH Zürich Professur für Geotechnik, 8093 Zürich
Alexander M. Puzrin	Prof. Dr., ETH Zürich Institut für Geotechnik, 8093 Zürich
Jürg Röthlisberger	Bundesamt für Strassen ASTRA, 3063 Ittigen
Matthias Ryser	Dr. Vollenweider AG, 8048 Zürich
Lampros Sakellariadis	Dr., ETH Zürich Institut für Geotechnik, 8093 Zürich
Renato Salvi	Renato Salvi Architect, 1950 Sion
Mark Schaer	WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF, 7260 Davos
Matthias Schubert	Dr., ETH Zürich, Matrisk GmbH, 8910 Affoltern am Albis
Thomas Vogel	Prof. em., ETH Zürich Professur für Baustatik und Konstruktion, 8093 Zürich
Matthias Wagner	Tecnotest AG, 8803 Rüschlikon
Sara Zingg	Dr., Lombardi AG, 6343 Rotkreuz

Vorwort

Neues aus der Forschung zu Brücken, Geotechnik und Tunnel (BGT) des ASTRA

Die Anforderungen an Brücken, Geotechnik und Tunnel sind im Schweizer Nationalstrassennetz hoch und vielfältig. Einen wichtigen Beitrag zur Erfüllung dieser Anforderungen erfüllt die Forschungsarbeit des ASTRA. In einer Tagung werden die neusten Ergebnisse vorgestellt.

Armand Fürst; Maik Hömke

Das Schweizer Nationalstrassennetz ist seit den 1950-Jahren kontinuierlich gewachsen. Es verfügt heute über eine Länge von 2254.5 km und hat einen Wiederbeschaffungswert von 137 Mrd. Franken. Davon entfallen 44 Mrd. Franken auf die Kunstbauten und 36 Mrd. Franken auf die Tunnelinfrastruktur. Um den Wert zu erhalten, wurde in der Vergangenheit jährlich etwa eine Mrd. Franken in den Netzerhalt investiert. Während der Unterhalt der Kunstbauten mit Kosten

von ca. 220 Mio. Franken pro Jahr beinahe konstant geblieben ist, sind die Unterhaltskosten für die Tunnelinfrastruktur von 19 Mio. im Jahr 2010 auf ca. das Achtfache im Jahr 2022 gewachsen [1]. Aktuell wird damit jedes Jahr ungefähr 0.5% des Wiederbeschaffungswerts in den Werterhalt der Kunstbauten und Tunnelinfrastrukturen investiert.

Systematische Forschung zur Unterstützung

Bereits zu Beginn der Bauarbeiten am Nationalstrassennetz in den 1950er-Jahren wurde erkannt, dass die Konzeption und der Bau durch systematische Forschung unterstützt werden muss [2]. Anfänglich widmeten sich diese vor allem dem Neubau und es standen nur geringe Mittel von jährlich ca. 100'000 Franken zur Verfügung. Bis Mitte der 1970er-Jahre wurden die Forschungsgelder sukzessive auf ca. 2 Mio. Franken erhöht. Ungefähr 25 Jahre nach der Inbetriebnahme der ersten Abschnitte zeigten sich erste Schadensbilder am Strassennetz und an seinen Kunstbauten. Auch neuere Brückenobjekte zeigten Schäden, die einerseits auf

die Schwarzräumung und andererseits auf Mängel beim Bau zurückzuführen waren [4]. Das führte zu Instandsetzungen, die insbesondere auf den Strecken im Mittelland starke Verkehrsbehinderungen zur Folge hatten [3]. Da die Kenntnisse zu den Schadensmechanismen und zu den Strategien der Schadensbehebung noch sehr lückenhaft waren, wurde das ASB, der Vorläufer des Bundesamtes für Strassen ASTRA, im Jahr 1984 beauftragt, die Grundlagen für entsprechende Forschungsarbeiten zu evaluieren und auszuarbeiten. Das erfolgte unter Mitwirkung einer neuen Arbeitsgruppe für Brückenunterhaltsforschung (AGBUF).

Forschungserkenntnisse als Basis für Normen

Seit 1987 wurden Forschungsprojekte mit Bezug zum Brückenunterhalt jährlich mit einer Summe von ca. 1.4 Mio. Franken unterstützt [2]. Die Resultate dieser Arbeiten führten zu einem besseren Verständnis der Schadensmechanismen, deren Erkennung und zu adäquaten Massnahmen für die Schadensbehebung. Dank dem gewonnenen Wissen konnten Empfehlungen, Richtlinien und Normen für den Unterhalt von Brückenbauten erarbeitet werden, die schliesslich zur Basis der aktuellen Erhaltungsnormen wurden. Ab den 1990er-Jahren erweiterte sich der Fokus der Brücken-

forschung auf den Neubau. Die zugehörige neu konzipierte Arbeitsgruppe trug den Namen Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB). Neben den Forschungsprojekten zu den Kernthemen des Brückenbaus widmete sich die AGB auch der Geotechnik, den Naturgefahren und mit der Forschung zu Tagbautunnel am Rand des Tunnelbaus. Die verfügbaren Mittel für die Brückenforschung veränderten sich bis zur Neuordnung der Strassenforschung im Jahr 2020 kaum, und es konnten zahlreiche Forschungsprojekte finanziert werden, die sich sowohl auf den Neubau als auch auf den Unterhalt

und die Überwachung von Kunstbauten allgemein auswirken. Die gewonnenen Resultate prägten das nationale Normenwerk für den Neubau sowie die Erhaltung und anschliessend, dank der aktiven Schweizer Vertretungen, auch das Europäische Normenwerk.

Mit dem zunehmenden Bedarf von Unterhaltsarbeiten an der Tunnelinfrastruktur zeigte sich in diesem Bereich spezifischer Bedarf an Forschung. Aus diesem Grund konzipierte das ASTRA im Jahr 2013 einen entsprechenden Forschungsbe-

reich mit der zugehörigen Arbeitsgruppe für Tunnelforschung (AGT), die mit vergleichbaren Aufgaben wie die AGB betraut war. Während der Zeit bis zur Neuordnung der Forschung wurden mehrere Forschungsprojekte finanziert, die sich dem Tunnelbau und den Betriebs- sowie den Sicherheitseinrichtungen widmeten. Die Schlussberichte der jeweiligen Projekte stellen wertvolle Erkenntnisse für den Bau und Unterhalt der Tunnelinfrastruktur bereit.

Neue Schwerpunkte in der Strassenforschung

Die neuen Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Strassenverkehr haben das ASTRA bewogen, die entsprechenden Schwerpunkte ab 2020 neu zu ordnen: Mit den Veränderungen im Fahrzeugpark, der starken Zunahme des Verkehrs und den Anforderungen an die Verbesserung der Nachhaltigkeit eröffneten sich neue Themenfelder, die gezielter Forschung bedürfen. In der Folge wurde die AGB und die AGT in eine Arbeitsgruppe vereinigt und ihr auch die Geotechnikforschung zugeordnet. Die neue Arbeitsgruppe Brücken, Geotechnik und Tunnel (AG BGT) ist weiterhin einer der Teilbereiche der Ressortforschung des Bundes zum Thema nachhaltiger Verkehr unter der Federführung des ASTRA. Sie verfolgt das Ziel, neue, effiziente und nachhaltige Strategien für den Ausbau, den Unterhalt und die Überwachung der Kunstbauten und Tunnel zu entwickeln.

Die Finanzierung der Forschungsprojekte erfolgt aus dem Mitteltopf der Ressortforschung des ASTRA, der gemäss dem Bundesgesetz (MinVG Art. 37) aus der Mineralölsteuer alimentiert wird. Dem Teilbereich der BGT-Forschung stehen heute jährliche Mittel von ungefähr 1.4 Mio. Franken zur Verfügung, die für die Finanzierung von Projekten verwendet werden, die mehrheitlich den vom ASTRA festgelegten Forschungsschwerpunkten zuzuordnen sind.

In der ersten Periode nach der Neuordnung konnten erneut viele interessante und vielversprechende Forschungsprojekte finanziell unterstützt werden. Diese sind über die drei Themen Brückenforschung, Tunnelforschung und Geotechnikforschung verteilt und konnten teilweise bereits abgeschlossen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sind interessant und für die Praxis in vielen Bereichen von Bedeutung.

Umsetzung der Forschungsergebnisse

Für die Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis werden verschiedene Gefässe verwendet. Zentral ist dafür die Publikation in Berichtsform, die dem Fachpublikum kostenlos zur Verfügung steht. Wichtige Ergebnisse fliessen auch in die Richtlinien und Arbeitsanweisungen des ASTRA und in das fachspezifische Normenwerk. Um der Praxis den Zugang zu den Resultaten zu erleichtern, wurde letztmals im März 2014 über die neusten Ergebnisse der Forschung im

Rahmen einer Tagung informiert. Nach zehn Jahren ist es an der Zeit, die Wissenschaft und die Praxis näher zusammen zu bringen. Deshalb wird im April 2024 die Tagung «Neues aus der Brücken-, Geotechnik- und Tunnelforschung» durchgeführt. Sie gewährt wichtige Einblicke in das Schaffen der Forschenden und ist ein Muss für Fachleute, die mit dem Bau und Unterhalt von Kunstbauten und Tunnels betraut sind.

Literaturverzeichnis

- [1] Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Strassen: «Netzzustandsbericht der Nationalstrassen», Ausgaben 2019 und 2022.
- [2] M. Donzel, «Einführung in die Brückenforschung des Bundesamtes für Strassen», Dokumentation D 0173, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), 28. Mai 2012, pp. 7-15.

- [3] Pflughard, Ueli, «Schäden an Nationalstrassen – die Lebensdauer der Bauwerke», Schweizer Ingenieur und Architekt, Band 104 (1986) Heft 25, pp 628-629.
- [4] NZZ, «Zwang zum Abbruch der Elmenrütviadukte», Nr. 92, Mittwoch, 18. April 1984.



Die in den Artikeln erwähnten Forschungsberichte stehen kostenlos unter www.mobilityplatform.ch zur Verfügung.

ISBN 978-3-03732-056-3