

Hauptsponsoren • Main Sponsors



AFRY Schweiz AG, Zürich



Emch+Berger Gruppe, Bern



Amberg Engineering AG
VersuchsStollen Hagerbach AG



Frutiger AG, Thun



Avesco AG, Langenthal



Gähler und Partner AG,
Ennetbaden



B+S AG, Bern



Gasser Felstechnik AG,
Lungern



Basler & Hofmann AG, Zürich



Heitkamp Construction
Swiss GmbH, Dierikon



Bellini Personal AG, Zürich



Herrenknecht AG,
Schwanau (DE)



Belloli SA, Grono
Rowa Tunnelling Logistics AG,
Wangen SZ



Holcim (Schweiz) AG, Zürich



csc costruzioni sa, Lugano



IM Maggia Engineering AG,
Locarno
IUB Engineering AG, Bern

Sponsoren • Sponsors



Implenia Schweiz AG, Opfikon



PORR SUISSE AG, Altdorf



Lombardi AG,
Bellinzona-Giubiasco,
Rotkreuz, Fribourg



Renzo Tarchini
Cantieri & Contratti SA,
Lugano



Marti Technik AG, Moosseedorf



Robert Aebi AG, Regensdorf



Marti Tunnel AG, Moosseedorf



SABAG Biel/Bienne Stahlcenter



Master Builders Solutions
Schweiz AG, Holderbank



Sika Schweiz AG, Zürich



Pini Group SA, Grono



WSP Ingénieurs Conseils SA,
Lausanne

Co-Sponsoren • Co-Sponsors

A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel
ACO AG, Netstal
Bekaert (Schweiz) AG, Baden
CSD INGENIEURE AG, Freiburg
EBP Schweiz AG, Zürich
GIPO AG, Seedorf

Gruner SA, Renens
ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich
Infra Tunnel SA, Marin
JAUSLIN STEBLER AG, Muttenz
Liebherr-Baumaschinen AG, Reiden
Locher Ingenieure AG, Zürich

MAPEI SUISSE SA, Sorens
MARECHAL GmbH, Willstätt-Sand (DE)
Promat AG, Münchwilen
Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Aarau
Société Suisse des Explosifs (SSE), Brig
VMT GmbH, Bruchsal (DE)

Tunnelbau lehren – für Tunnelbau begeistern

Die Ausbildung im Untertagbau an der ETH Zürich

Die Ausbildung im Untertagbau ist fester Bestandteil des Studiums der Bauingenieurwissenschaften an der ETH Zürich. Im Bachelor werden die Grundlagen der Felsmechanik und des Tunnelbaus vermittelt. In den Vorlesungen und projektbezogenen Arbeiten des Masters werden Grundlagen vertieft, die Methode der finiten Elemente angewendet und die geotechnischen Fragestellungen von Bauverfahren beleuchtet.

1. Einleitung

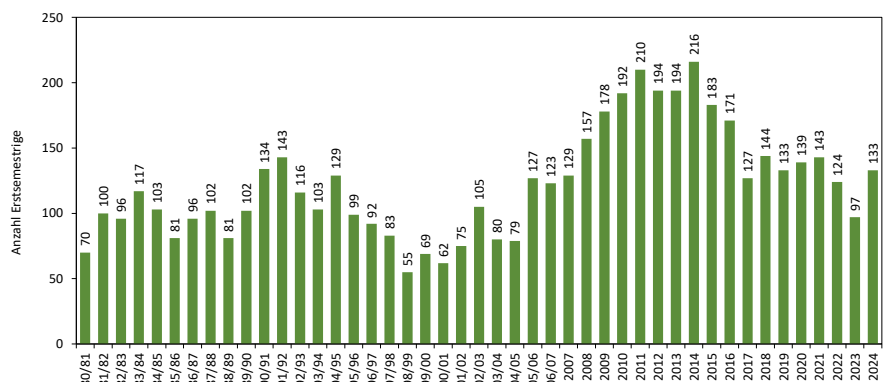
Die Ausbildung im Untertagbau ist fester Bestandteil des Studiums der Bauingenieurwissenschaften an der ETH Zürich. Die fundierte und umfangreiche Ausbildung im Untertagbau ist ein entscheidender Faktor für die Errungenschaften und die internationale Anerkennung der Schweiz im Tunnelbau.

Der vorliegende Beitrag präsentiert einen kurzen geschichtlichen Rückblick (Kapitel 2), geht auf die Studierendenzahlen der letzten Jahre ein und stellt das aktuelle Lehrangebot des Studiums der Bauingenieurwissenschaften im Allgemeinen (Kapitel 3) sowie im Untertagbau im Speziellen (Kapitel 4) dar.

2. Geschichtlicher Rückblick

Der Tunnelbau gehörte bereits in den Anfängen des Polytechnikums zum Unterrichtsstoff. So unterrichtete bereits Carl Culmann (Professor von 1855 bis zu seinem Tod 1881) zuletzt jede Woche drei Stunden «Erdbau, steinerne Brücken und Tunnelbau» [1]. Auch in der Folge waren die Tunnelbauer am Polytechnikum gut vertreten. Eduard Gerlich unterrichtete, nach seiner Tätigkeit als stellvertretender Oberingenieur bei der Gotthardbahn-Gesellschaft, von 1882 bis 1903 Eisenbahnbau und -betrieb. Friedrich Hennings, welcher u.a. als Oberingenieur für den Bau der Albulabahn tätig war, lehrte von 1903 bis 1920 Strassen- und Eisenbahnbau. Speziell muss Charles Andreae erwähnt werden. Charles Andreae, der von 1913 bis 1918 Oberingenieur der Nordseite des 2. Simplontunnels war, unterrichtete von 1921 bis 1928 Strassen-, Eisenbahn- und Tunnelbau und veröffentlichte zahlreiche Publikationen zu Gebirgsdruck und Tunnelbau [z. B. 2, 3, 4]. Auf Charles Andreae folgten die Verkehrsexperten Erwin Thomann und Kurt Leibbrand sowie Max Stahel als Professoren für Strassen- und Eisenbahnbau. So unterrichtete z. B. Max Stahel im Sommersemester 1961 «Ausgewählte Kapitel aus Strassen- und Tunnelbau» [5] und im Wintersemester 1961/62 «Sprengtechnik und Tunnelbau» [6].

Im Jahre 1964 wurde das Institut für Strassenbau an der ETH (ISETH) aufgeteilt: Martin Rotach übernahm die Verkehrsplanung und Transporttechnik, Hans Grob das ISETH, welches fortan Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau hiess. Dieses behandelte neben dem Strassenbau vertieft Probleme des Untertagbaus, der Felsmechanik und des Eisenbahnbaus [7]. 1980 wurde Kalman Kovári, welcher seit 1968 am ISETH tätig war und sich mit den grundlegenden Fragen der Felsmechanik sowie mit der wissenschaftlichen Erfassung des Tunnelbaus befasste, Titularprofessor. Die Professur für Untertagbau wurde 1990 mit seiner Wahl zum ordentlichen Professor am Institut für Geotechnik, welches aus dem Institut für Grundbau und Bodenmechanik hervorging, ins Leben gerufen. Felsmechanik und Tunnelbau sind seither fest im Lehrplan der ETH verankert. Georg Anagnostou (Professor von 2003 bis 2025) baute das Lehrangebot aus und setzte die Vorgaben der Bologna-Reform erfolgreich im Bereich der Lehre des Untertagbaus um. Mit der Neubesetzung der Professur für Untertagbau durch den Autor hat die ETH die Wichtigkeit der Lehre und Forschung im Bereich des Tunnelbaus für die Schweiz bekräftigt.



1 Anzahl Erstsemestriige im Studium der Bauingenieurwissenschaften vom Wintersemester 1980/81 bis Herbstsemester 2024

Enseigner la construction de tunnels – susciter l’enthousiasme pour la construction de tunnels

La formation en travaux souterrains à l’EPF de Zurich

La formation en travaux souterrains fait partie intégrante des études de génie civil à l’EPF de Zurich. Le programme de Bachelor aborde les bases de la mécanique des roches et de la construction de tunnels. Les cours magistraux et les projets appliqués du programme de Master permettent d’approfondir ces bases, d’appliquer la méthode des éléments finis, et de se pencher sur les questions géotechniques des différents méthodes de construction.

Insegnare la costruzione di gallerie – suscitare entusiasmo per la costruzione di gallerie

La formazione nel settore dei lavori in sotterraneo presso il Politecnico Federale di Zurigo

La formazione nell’ambito dei lavori in sotterraneo è parte integrante dello studio dell’ingegneria civile presso il Politecnico Federale ETH di Zurigo. Nel corso di laurea triennale vengono insegnati i fondamenti della meccanica delle rocce e della costruzione di gallerie. Nelle lezioni e nei lavori basati su progetti del corso di laurea magistrale si procede con l’approfondimento delle basi, all’applicazione del metodo degli elementi finiti e all’esame delle problematiche geotecniche dei diversi metodi di costruzione.

Teaching tunnel construction – sparking enthusiasm for tunnel construction

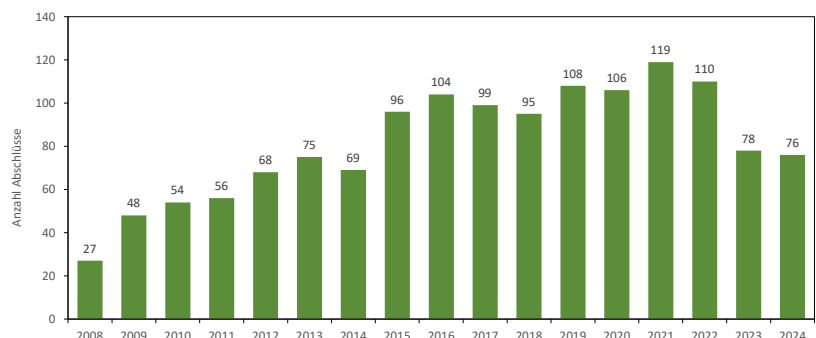
Underground construction education at ETH Zurich

Underground construction education is an inherent part of the Civil Engineering study programme at ETH Zurich. The Bachelor’s degree programme teaches the fundamentals of rock mechanics and tunnel construction. In the lectures and project works of the Master’s programme, the basics are expanded, the finite element method is applied and the geotechnical issues related to construction methods are addressed.

3. Das Studium der Bauingenieurwissenschaften

Das Studium der Bauingenieurwissenschaften an der ETH Zürich ist nach wie vor attraktiv, verzeichnet aber gegenüber den Jahren 2008 bis 2016 mit jeweils über 150 Studienanfängerinnen und -anfängern einen leichten Rückgang an Studierenden (Bild 1). Dies ist auch an der Anzahl der Abschlüsse seit 2023 zu erkennen (Bild 2).

Die ETH-Studienabgängerinnen und -abgänger zeichnen sich durch solide Grundlagenkenntnisse und ein breites Fachwissen aus. Im Bachelor-Studiengang [8] wird viel Wert auf die mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer (Semestern 1 bis 3 in Bild 3) und auf die bauingenieurspezifischen Grundlagen (Semestern 3 bis 6) gelegt. Unabhängig von den später im Master-Studiengang gewählten Vertiefungen haben alle Studierenden im Bachelor-Studiengang die Grundlagen aller späteren Vertiefungsfächer belegt.



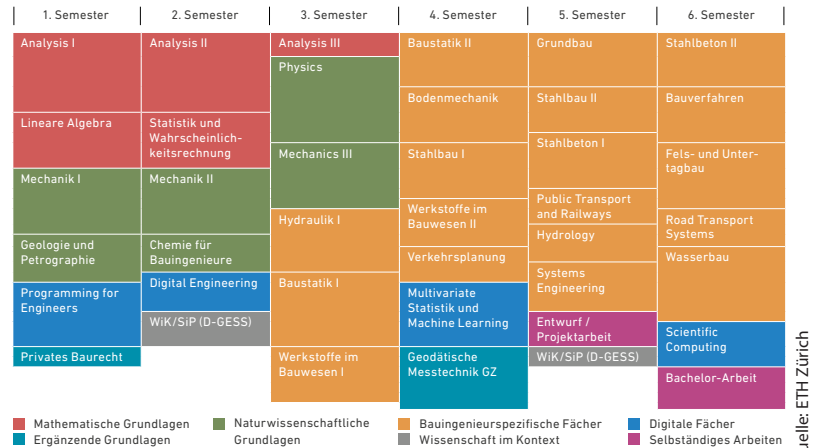
2 Anzahl Abschlüsse Master-Studium Bauingenieurwissenschaften von 2008 bis 2024

Im Master-Studiengang [9] können sich die Studierenden für zwei von den sechs Vertiefungsrichtungen «Bau- und Erhaltungsmanagement», «Konstruktion», «Geotechnik», «Verkehrssysteme», «Wasserbau und Wasserwirtschaft» sowie «Werkstoffe und Mechanik» entscheiden. Nebst den Vertiefungsfächern wird der Stundenplan durch Wahlfächer, digitale Fächer, selbständige Arbeiten, projektbasierte Lehrveranstaltungen und Wissenschaft im Kontext vervollständigt (Bild 4). Im 4. Semester des Master-Studiengangs schreiben die Studierenden ihre Masterarbeit.

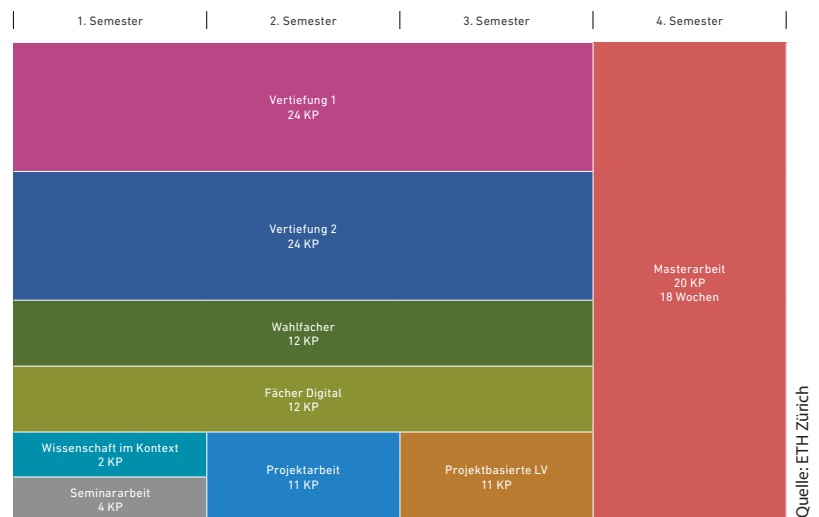
Das Lehrangebot des Studiums der Bauingenieurwissenschaften wird laufend an neue Bedürfnisse angepasst. In den letzten Jahren hat die ETH grossen Wert auf die Integration von digitalen Fächern (wie z. B. Digital Engineering, Machine Learning, Scientific Computing) in die Curricula gesetzt (Bilder 3 und 4). Absolventinnen und Absolventen sollen über ein fundiertes theoretisches und methodisches Grundlagenwissen in digitalen Technologien und rechnergestützten Werkzeugen verfügen.

3.1. Untertagbau im Bachelorstudium

Im Bachelor-Studium der Bauingenieurwissenschaften absolvieren alle Studierenden im 6. Semester die Vorlesung «Fels- und Untertagbau» (4 Wochenlektionen mit Total 6 Kreditpunkten). Das Ziel der Vorlesung «Fels- und Untertagbau» ist, allen Bauingenieurinnen und Bauingenieuren die Grundlagen der Felsmechanik und des Tunnelbaus zu vermitteln. Im ersten Teil der Lehrveranstaltung werden die Problemstellungen und Massnahmen des Felsbaus eingeführt und die Studierenden lernen, wie felsmechanische Nachweise geführt werden. Im zweiten Teil der Lehrveranstaltung lernen die Studierenden die Grundzüge der Projektierung, das Erkennen von Gefährdungen, die wichtigsten Gegenmassnahmen, das systematische Vorgehen bei der Massnahmenplanung, die Beurteilung der Massnahmen und die Grundzüge der Tunnelstatik (Spannungsanalyse, Gebirgskennlinie, Bestimmung von Auflockerungsdruck und Nachweis der Ortsbruststabilität im Lockergestein und Fels).



3 Fächer des Bachelor-Studiums Bauingenieurwissenschaften



4 Aufbau Master-Studium Bauingenieurwissenschaften (KP = Kreditpunkte)

Bauverfahren des Tunnelbaus werden in der Vorlesung «Bauverfahren» von Stefan Moser am Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement im 6. Semester eingeführt.

3.2. Untertagbau im Masterstudium

Im Master-Studiengang werden die Lehrveranstaltungen «Underground Construction» I, II und III angeboten. In den Vertiefungsvorlesungen lernen und üben die Studierenden für gegebene geologische Verhältnisse und ausführungstechnische Randbedingungen, Gefährdungen, Ausbruchmethoden, Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen zu entwerfen und, bei Bedarf unter Zuhilfenahme von numerischen Methoden, zu dimensionieren. Weiter werden die mechanischen Grundlagen (z. B. druckhaftes und quellendes Gebirge) vertieft sowie die Funktionsweise und die geotechnischen Fragestellungen von Bauverfahren (z. B. maschinelle Vortriebe im Fels und Lockergestein) und Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirme, Injektionen, Gefrierverfahren, Jet-Grouting, Wasserhaltung und Brustanker) beleuchtet. Die Vertiefung im Masterstudium bietet weiter die Möglichkeit, verschiedene ausgewählte Themen näher zu beleuchten (z. B. Tagbautunnel, Kavernenbau, Schachtbau, städtischer Tunnelbau usw.).

Weitere Lehrveranstaltungen der Professur für Untertagbau sind die Vorlesung «Planning of Underground Space» von Antonia Cornaro und der Kurs «Sprengtechnik» unter der Leitung von Michael Kapp. In «Planning of Underground Space» werden interdisziplinäre Fragestellungen im Zusammenhang mit der nachhaltigen Nutzung des unterirdischen Raums in Städten beleuchtet. Im Kurs «Sprengtechnik» lernen die Studierenden die Grundlagen der Sprengtechnik und wenden diese in praktischen Übungen an.

Ergänzend zu den Vorlesungen ist die Projektarbeit ein wesentlicher Bestandteil der Ausbildung im Untertagbau. Im Rahmen der Projektarbeit haben die Studierenden die Möglichkeit, am Beispiel eines realen Tunnelbauprojektes ein Vorprojekt zu erarbeiten. Dabei setzen sich die Studierenden mit der gestellten Aufgabe vom Standpunkt der Geotechnik, der Statik und der Bauausführung

eingehend auseinander. Die Aufgabe beinhaltet eine Gefährdungsbildanalyse, den Entwurf von Normalprofilen, des Vortriebs- und Sicherungskonzeptes sowie die Erstellung eines Bauprogramms. Erfahrene Ingenieurinnen und Ingenieure aus der Industrie unterstützen bei der Betreuung. Mit dieser Arbeit lernen die Studierenden nicht nur die Fach- und Methodenkompetenzen in eine Projektierung umzusetzen, sondern stärken auch ihre Sozial- und Persönlichkeitskompetenzen, indem sie Lösungen in der Gruppe diskutieren, präsentieren und mit den Betreuungspersonen argumentieren.

Als Masterarbeit im Untertagbau können die Studierenden entweder eine projektbasierte Arbeit, ähnlich wie die oben beschriebene Projektarbeit, eine Arbeit zusammen mit der Industrie oder eine Forschungsarbeit im Rahmen der Forschungsschwerpunkte der Professur schreiben.

Mit Exkursionen zu Tunnelbaustellen, die im Masterstudium angeboten werden, erhalten die Studierenden einen intensiven Einblick in die Tunnelbaupraxis. Die lehrreichen Führungen durch die Baustellen hat schon manche Studentin oder Studenten dazu bewogen, sich nach abgeschlossenem Studium für eine Tätigkeit im Untertagbau zu bewerben.

4. Schlusswort

Die Absolventinnen und Absolventen mit einem Bachelor-Abschluss in Bauingenieurwissenschaften kennen die Grundlagen der Felsmechanik und des Tunnelbaus. Die Absolventinnen und Absolventen mit einem Master-Abschluss und der Belegung der angebotenen Untertagbau-Lehrveranstaltungen können bei der Planung von Baumassnahmen in Untertagbau das streng systematische, iterative Vorgehen anwenden, das vom Erfassen des Gebirges, über das Beurteilen der Gefährdung sowie die Wahl und Beurteilung der Wirksamkeit einer Massnahme bis zum finalen Festlegen der Massnahmenpakete reicht. Sie verfügen über die fundierten geotechnischen Kenntnisse, welche für die Beurteilung der Gefährdungen und der Wirksamkeit der Massnahmen erforderlich sind. Sie sind in der Lage Berechnungsmodelle, die nur so komplex sind, wie es die jeweilige Entwurfsituation verlangt, zu verwenden und interpretieren. Sie verstehen die massgebenden geotechnischen Mechanismen und können effiziente und zuverlässige Massnahmen planen.

Nebst den Fach- und Methodenkompetenzen haben sie u.a. mit der Bearbeitung von projektbezogenen Arbeiten und Gruppenarbeiten ihre Sozial- und Persönlichkeitskompetenzen entwickelt und sind in der Lage, sich in kurzer Zeit in Projektteams zu integrieren.

Literatur

- [1] Eidgen. Polytechnische Schule: «Programm der Eidgen. Polytechnischen Schule für das Wintersemester 1881/1882».
- [2] Andraea, Ch.: «Der Bau langer, tiefliegender Gebirgstunnel». Julius Springer, Berlin 1926.
- [3] Andraea, Ch.: «Gebirgsdruckerfahrungen und Baumethoden im schweizerischen Tunnelbau». Internat. Fachtagung für Gebirgsdruckfragen im Bergbau und im Tunnelbau. Leoben 1950, Urban-Verlag Wien.
- [4] Andraea, Ch.: «Der Einfluss der Überlagerungshöhe auf die Dimensionierung des Mauerwerks tiefliegender Tunnel». SBZ 1925.
- [5] Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: «Programm und Stundenplan für das Sommersemester 1961».
- [6] Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: «Programm und Stundenplan für das Wintersemester 1961/62».
- [7] Grob, H., Huschek, S., Scazziga, I., Giger, P., und Kovári, K.: «Das Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau (IETH) heute», in: SIA, 1980, Jg. 98 (1980), Nr. 52, S. 1370.
- [8] Studienreglement 2022 für den Bachelor-Studiengang Bauingenieurwissenschaften Departement Bau, Umwelt und Geomatik vom 7. April 2022. RSETHZ 323.1.0200.15. <https://rechtssammlung.sp.ethz.ch/Dokumente/323.1.0200.15.pdf>
- [9] Studienreglement 2020 für den Master-Studiengang Bauingenieurwissenschaften Departement Bau, Umwelt und Geomatik vom 29. Oktober 2019. RSETHZ 324.1.0200.11. <https://rechtssammlung.sp.ethz.ch/Dokumente/324.1.0200.11.pdf>