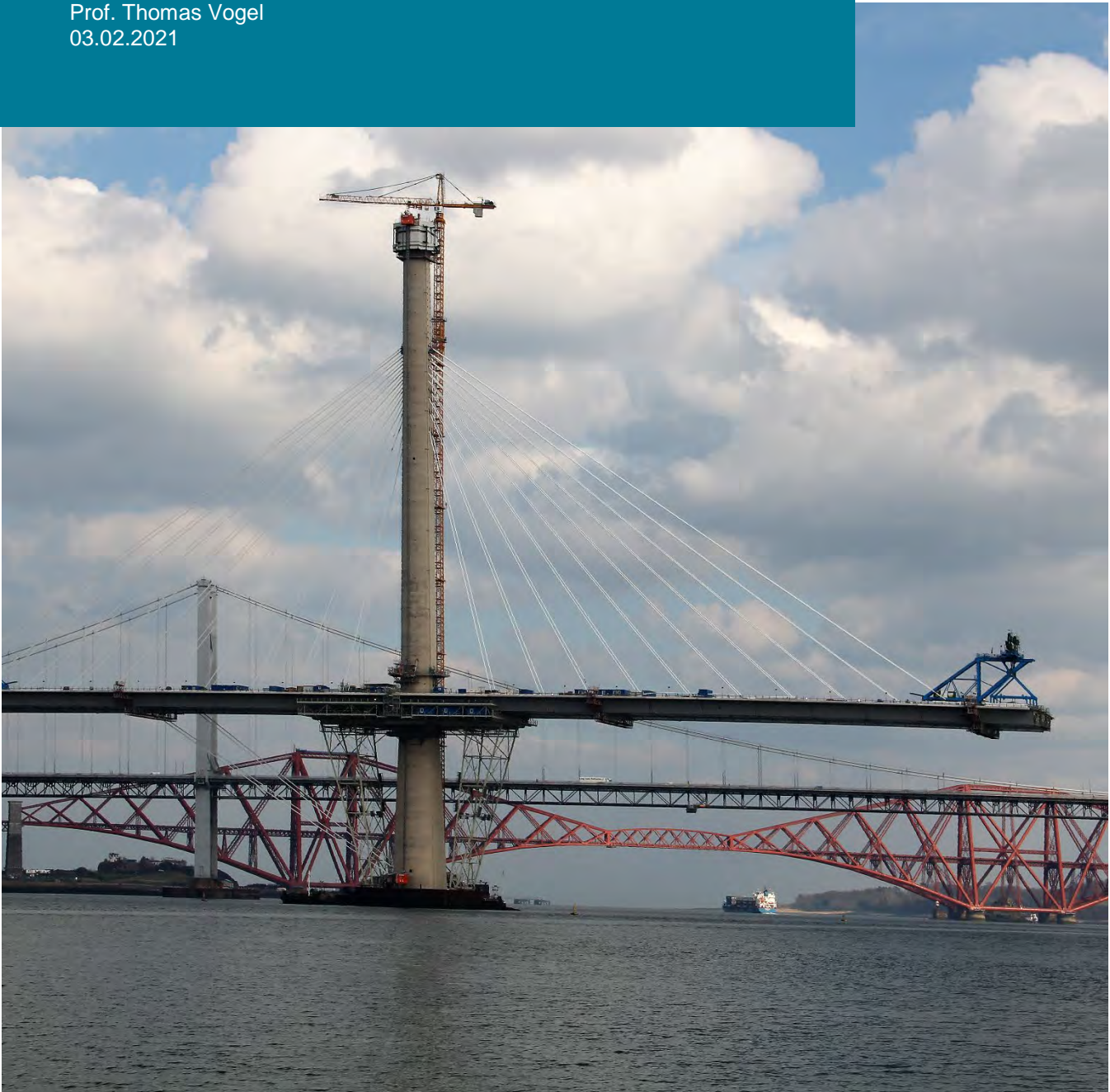


Tragwerke – Tradition und Trend, Pflicht und Kür

Nicht gehaltene Abschiedsvorlesung vom 16. November 2020

Prof. Thomas Vogel
03.02.2021



Dokumentenstatus

Version	Status	Datum	Änderungen	Bearbeiter
E1	Erster Gesamtentwurf	08.01.2021		TV
E2	Zweiter Gesamtentwurf	11.01.2021	Einarbeitung Lektorat	KEV, TV
E3	Dritter Gesamtentwurf	01.02.2021	Grösse Abbildungen, lockerer Umbruch	TV
V1 IBK	Version Homepage IBK	03.02.2021	Letzte Korrekturen	TV

Zum Titelbild

Die Brücken über den Firth of Forth haben mich mein ganzes berufliches Leben begleitet.

Die **Forth Bridge** (Eisenbahnbrücke, Bau 1882-1890) hatte ich bereits während meines Studiums besucht, als ich mit dem Britrail Pass in Schottland unterwegs war.

Die **Forth Road Bridge** (Bau 1958-1964) konnte ich während eines Kongressbesuchs im Juli 2012 aus der Nähe inspizieren, da dort ein SondPrint System installiert war, um die fortlaufenden Drahtbrücke aufzuzeichnen (vgl. 4.12.2).

Die **Queensferry Crossing** schliesslich wurde 2010 bis 2017 erbaut, und mein Kollege Mario Fontana und ich hatten im April 2016 Gelegenheit, die Baustelle mit den Studierenden der Vorlesung Brückenbau zu besuchen; auf Einladung unseres Alumnus Florian Dieterle, der an der Projektierung beteiligt war.

Vorwort und Danksagung



"Es hat nicht sollen sein"

Dieser Satz aus der Oper "Der Trompeter von Säckingen" von Joseph Viktor von Scheffel (1826-86) war die Quintessenz des Absage-Mails, das alle, die sich für meine Abschiedsvorlesung entweder an- oder ausdrücklich abgemeldet hatten, am 26./27.10.2020 erhielten.

Nachdem die Schweiz die erste Welle der Corona-Pandemie im Frühjahr 2020 glimpflich überstanden hatte, bereitete sich die ETH Zürich auf das kommende Herbstsemester vor. Unter den akademischen Veranstaltungen sollten zwar Einführungs- und Abschiedsvorlesungen Priorität geniessen, aber die räumlichen Randbedingungen liessen nicht viel Spielraum. Am 28.08.2020 wurde den neu berufenen und scheidenden Professorinnen und Professoren mitgeteilt, dass im Auditorium Maximum noch 88 Personen zugelassen seien, die die Vortragenden zudem noch selber hätten auswählen sollen. Unter diesen Umständen verzichtete ich – wie alle meine Kollegen in derselben Situation – auf eine Abschiedsvorlesung. Hinterher liess mir dieser Entscheid jedoch keine Ruhe, und ich begann, einen alternativen Veranstaltungsort zu suchen. Als Einwohner von Bülach war mir die Stadthalle wohl bekannt. Abklärungen zeigten, dass eine Halle, die maximal 2'400 Personen fasst, unter Corona-Bedingungen durchaus hätte 300 Personen aufnehmen können, und sogar ein Apéro wäre unter den damaligen Bedingungen möglich gewesen.

Nur das Corona-Virus hielt sich nicht an die definierten Grenzwerte, und diese wurden wohl den Sommer über schweizweit auch extensiv ausgelegt, so dass die erwartete zweite Welle früher und intensiver eintraf als erwartet. Bereits das Verbot von stehenden Apéros vom 19.10.2020 liess die Veranstaltung grenzwertig erscheinen und die bevorstehende Einschränkung der maximalen Personenzahl auf 50 führte zur eingangs erwähnten Absage. Diese erfolgte auch aus eigener Einsicht, da das Ausreizen behördlicher Vorschriften für nicht lebenswichtige Ereignisse wohl kaum ein erfolgsversprechendes Vorgehen ist.

Ich danke insbesondere der Rektorin der ETH Zürich, die mich in meinem unkonventionellen Vorgehen durchwegs unterstützt hat, aber auch der Verwaltung der Stadthalle Bülach für die unkomplizierte Auflösung des Vertrags.

Diese Publikation sollte ermöglichen, dass das, was ich Ihnen/euch gerne vorgetragen hätte, trotzdem noch unter die Leute kommt. Da für eine schriftliche Fassung die zeitliche Begrenzung eines Vortrags weniger relevant ist, habe ich mir erlaubt, einzelne Passagen etwas auszudehnen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Danksagung	3
Inhaltsverzeichnis	4
1 Einführung	6
2 Meine Herkunft	7
2.1 Eine Ingenieurfamilie	7
2.2 Oskar Howald	7
3 Lehre	8
3.1 Aus der Praxis schöpfen	8
3.2 Eigenes Studium	9
3.3 Betreuung Projektarbeiten	9
3.4 Neue Inhalte	10
3.4.1 Erhaltung von Tragwerken	10
3.4.2 Naturgefahren	11
3.5 Entwurfskompetenz	11
4 Forschung	14
4.1 Forschungsfelder	14
4.2 Tragwiderstand ungenügender Details	14
4.2.1 Ungenügende Betonüberdeckung	14
4.3 Grossversuche an Brücken	15
4.3.1 Steilerbachbrücke Sufers	15
4.3.2 Viadukt Wassnerwald	16
4.3.3 ZEBRA	18
4.4 Schallemissionsanalyse	20
4.4.1 Zerstörungsfrei Prüfmethode	20
4.4.2 Grundlagen	20
4.4.3 Ortung	21
4.4.4 Feldanwendungen	23
4.5 Verstärkungen	23
4.5.1 Klebebewehrungen	23
4.6 Glasbau	24
4.6.1 Nachbruchverhalten	24
4.6.2 Stösse	25
4.7 Robustheit	25
4.7.1 Definition	25
4.7.2 Geschichte	25
4.7.3 Forschungsbeiträge	26
4.8 Steinschlagschutzgalerien	27
4.8.1 Methodik	27
4.8.2 Neues Dimensionierungsverfahren	28
4.9 Ermüdung und magnetische Streufeldmessung	29
4.10 Noch laufende Dissertationen	30
4.11 Entwicklung des Doktorats	31
4.12 Weitere Episoden	32

4.12.1	Synergien bei diversen Themen	32
4.12.2	Ponte Moesa/Soundprint	33
4.12.3	Viadukt Wassnerwald / Schwertransporte Kanton Uri	34
4.12.4	Steinschlagversuche in Japan	36
5	Engagement für die ETH	37
5.1	Hochschulversammlung	37
5.2	Prorektor Doktorat	38
5.3	Departementsvorsteher und Sprecher der Departementsvorsteher(innen)	39
6	Neben und nach der ETH	40
6.1	Holz bearbeiten	40
6.2	Experimentieren	41
6.2.1	Pergola	41
6.2.2	Laube	42
6.3	Saxofon	43
6.4	Imkerei	43
6.5	Ferien auf Hausbooten	44
7	Schluss	45
7.1	Wie geht es weiter?	45
7.2	Dank	45
Anhang		46
	Lebenslauf	46
	Quellenverzeichnis	47
	Bildnachweise	51

1 Einführung

Sehr geehrte Frau Rektorin, liebe Kolleginnen und Kollegen, liebe Studierende, liebe Verwandte und Bekannte, Freundinnen und Freunde aus verschiedenen Bereichen, werte Anwesende.

Ich begrüße Sie zu meiner Abschiedsvorlesung mit dem Titel

Tragwerke – Tradition und Trend, Pflicht und Kür

Erlauben Sie mir zu diesen fünf Begriffen ein paar einleitende Bemerkungen:

Tragwerke:

Tragwerke stehen im Mittelpunkt jedes Ingenieurs und jeder Ingenieurin im klassischen Ingenieurbau. Brücken stehen häufig im Vordergrund, weil diese eindeutig dem Ingenieurbau zugeordnet werden, die Architektur also eher eine untergeordnete Rolle spielt, jedermann ihre Funktion versteht und in der Regel auch gutheisst und infolge der öffentlich-rechtlichen, professionellen Bauherrschaft Forschungsgelder auch verfügbar sind. Was sich bei Brücken bewährt, kann sich nachher oft auch im Hochbau, der vom Volumen her wesentlich bedeutender ist, durchsetzen.

Tradition:

Unter diesem Titel möchte ich Ihnen einen kleinen Einblick in meine Herkunft geben.

Trend:

Der Trend ergibt sich aus dem Rückblick auf die letzten 28 Jahre, die im Zentrum meiner Ausführung stehen werden. Ich möchte dies eher episodenhaft machen und nicht chronologisch.

Wie die weltweiten Ereignisse dieses Jahres zeigen, ist der Trend aber keine Garantie dafür, dass es immer so weitergeht und ich werde auch keine Prognosen machen.

Pflicht:

Die Pflicht hebe ich nicht explizit hervor, sondern ihre Erfüllung ist die Grundlage jeder erfolgreichen weitergehenden Tätigkeit.

Kür:

Unter diesem Stichwort möchte ich Ihnen abschliessend ein paar Dinge zeigen, die über das rein Funktionale hinausgehen.

2 Meine Herkunft

2.1 Eine Ingenieurfamilie

Ich komme aus einer Ingenieurfamilie; mein Vater **Otto Vogel** (Abb. 1 a)) war Forstingenieur und Stadtförster in Rheinfelden im Fricktal. Als ETH-Ingenieur war er der bestausgebildete Mitarbeiter der Gemeindeverwaltung und vertrat die Ortsbürgergemeinde auch bei übergeordneten Themen wie Regionalplanung und Baurechtsverhandlungen. Er war mir ein Vorbild im langfristigen Denken, das bei Förstern immanent ist, beim Engagement für den Wald und für seine Arbeitgeberin sowie im sorgfältigen Umgang mit öffentlichen Geldern.

Die beiden Brüder meiner Mutter waren beide auch ETH-Ingenieure, **Rudolf Howald** (Abb. 1 b)) führte als Kulturingenieur ein eigenes Ingenieur- und Geometerbüro in Dielsdorf, **Hans Peter Howald** (Abb. 1 c)) arbeitete als Bauingenieur beim Baudepartement des Kantons Aargau und realisierte als nebenamtlicher Stadtmann von Brugg eine Umfahrung, die die Altstadt von Brugg vom Durchgangsverkehr entlastete.

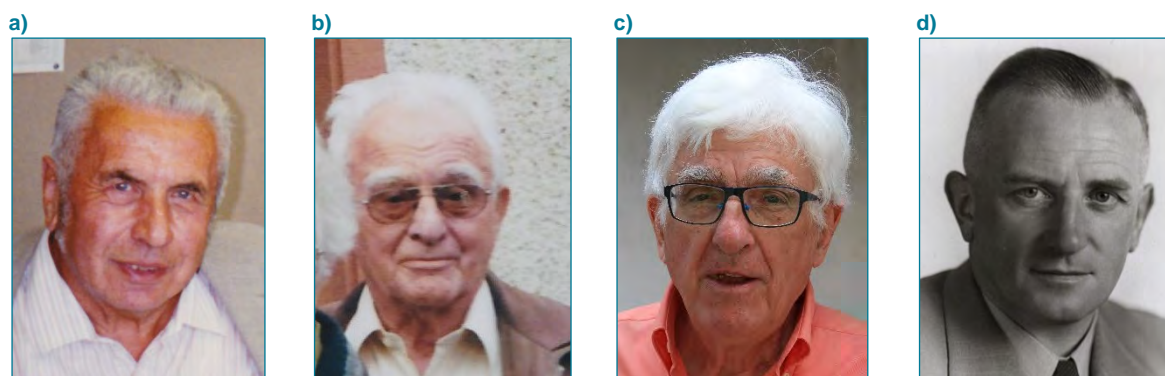


Abb. 1 Ingenieure in meiner Familie; a) Vater Otto Vogel-Howald (1922-2003), b) Onkel Rudolf Howald-Brast (1925-2013), c) Onkel Hans Peter Howald-Fauser (*1939), d) Grossvater Oskar Howald-Schmid (1897-1972)

2.2 Oskar Howald

Oskar Howald (Abb. 1 d)) , mein Grossvater mütterlicherseits, war Agronom ETH, Direktor des Schweizerischen Bauernverbands, Privatdozent und später Professor für landwirtschaftliche Betriebslehre am damaligen Polytechnikum, der heutigen ETH. In all diesen Ämtern habe ich meinen Grossvater in Erinnerung als einen, der mit Hilfe seiner Frau immer irgendwelche Textfahnen korrigierte und zeitweise am Radio zu hören war, aber uns Enkeln auch das Jassen beibrachte. Ich durfte ihn auch einmal begleiten, als er seinen bereits weitgehend erblindeten Vorgänger, den legendären "Bauernpapst" **Ernst Laur** in Effingen am Bözberg besuchte.¹

Eine erste Episode:

Als ich im Rahmen der Berufungsverhandlungen beim damaligen Präsidenten **Jakob**

Nüesch zum Interview geladen war, sagte dieser als Abschluss: "Jetzt freut sich Ihre Familie sicher, dass Sie Professor an der ETH werden." Meine Antwort: "Das ist nichts Neues, sondern beinahe eine Familientradition." Danach stellte sich heraus, dass Herr Nüesch als Agronomiestudent natürlich bei meinem Grossvater studiert hatte.

¹ An der ETH lernte ich später auch eine Urenkelin von Ernst Laur und einen Enkel des Stellvertreters meines Grossvaters im Bauernverband kennen.

3 Lehre

In den ersten Jahren an der ETH beanspruchte mich die Lehre vollkommen. Ich bezog mein Büro sogar zwei Monate früher, um – unbezahlt – meine ersten Stahlbeton-Vorlesungen vorzubereiten, zuerst mit einer handschriftlichen Autografie, die nach und nach definitiver und formaler wurde.

3.1 Aus der Praxis schöpfen



Abb. 2 Wichtige Objekte aus der Ingenieurpraxis; a) Vorderrheinbrücke Zignau GR, b) Viamala-Zentrum Thusis, Parkrampe, c) Viamala Zentrum Thusis, Baugrube, d) Betriebsgebäude Sihlpost Zürich, e) Viadotto Preonzo Claro TI

Anfangs konnte ich aus meiner über zehnjährigen Praxis aus dem Vollen schöpfen, merkte aber bald, dass die Praxis zwar interessante Fallbeispiele lieferte (Abb. 2), die mit der Zeit aber auch Staub ansetzten und sich nicht für Prüfungsfragen eignen.

3.2 Eigenes Studium

Mehr gab das eigene Studium her und da ich ein fleissiger Student gewesen war, der die meisten Vorlesungen besucht und die Übungen selbst gelöst hatte, war ich in dieser Hinsicht gut dokumentiert.

3.3 Betreuung Projektarbeiten

Eigentlich mehr Freude als die Vorlesungen bereiteten mir immer die Projektarbeiten auf allen Ebenen, d.h. Semester- und Diplomarbeiten in den früheren sowie Bachelor-, Projekt- und Masterarbeiten in den heutigen Studienplänen.

Da in meiner aktiven Zeit als Professor die Abschlussarbeit von sechs Wochen Diplomarbeit in mehreren Schritten auf vier Monate Masterarbeit ausgedehnt wurde, sind heute auch forschungsnahen Arbeiten möglich und immer üblicher.

Die Studierenden schätzen es jedoch, wenn mindestens einige Professorinnen und Professoren noch aktuelle projektbezogene Arbeiten anbieten. Abb. 3 und Abb. 4 zeigen ein paar Highlights.

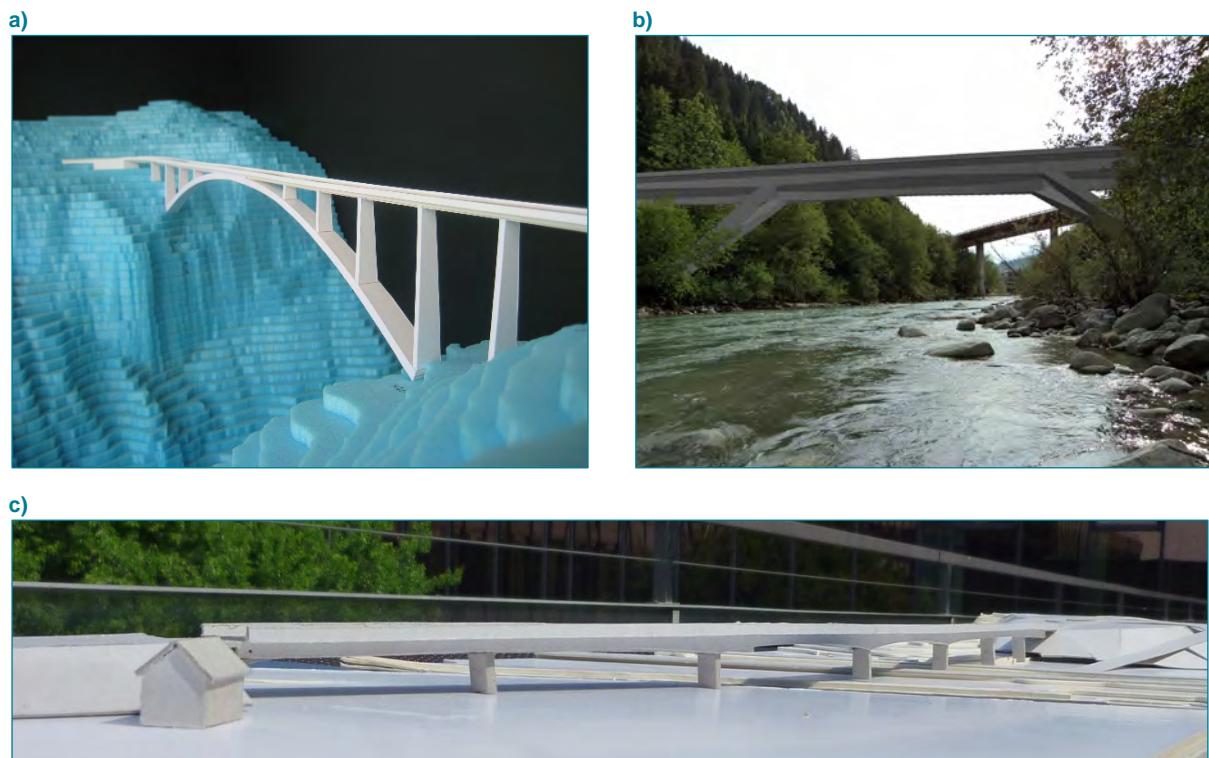


Abb. 3 Von Studierenden bearbeitete Brückenprojekte aus der Praxis (Modellfotos); a) Taminabrücke Pfäfers SG, b) Vorderrheinbrücke Tavanasa GR, c) Brücke Thur – Südostbahn, Wattwil SG

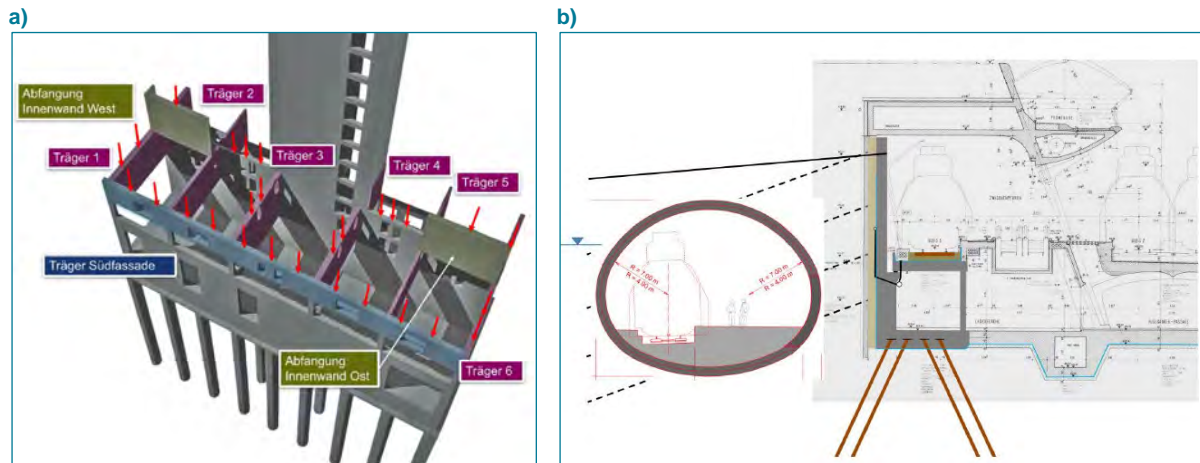


Abb. 4 Von Studierenden bearbeitete Hoch- und Untertagauprojekte aus der Praxis; a) Hochhaus Ost Depot Hard, Zürich, b) 4. Gleis Bahnhof Stadelhofen, Zürich

3.4 Neue Inhalte

Die zu haltenden Vorlesungen waren an sich gegeben und wir verteilten sie innerhalb des Instituts auch jeweils wieder anders.

3.4.1 Erhaltung von Tragwerken

Durch die eigene Forschung zu bestehenden Tragwerken und die Mitarbeit beim entsprechenden Normenwerk des SIA war eine Umwidmung der bestehenden Vorlesung "Konstruktion" in eine neue mit dem Titel "Erhaltung von Bauwerken" angebracht. Diese wurde zum Gefäss für alle möglichen Inhalte, die den heutigen Bauingenieurinnen und -ingenieuren in diesem Bereich auf ihren Weg mitgegeben werden können (Abb. 5).

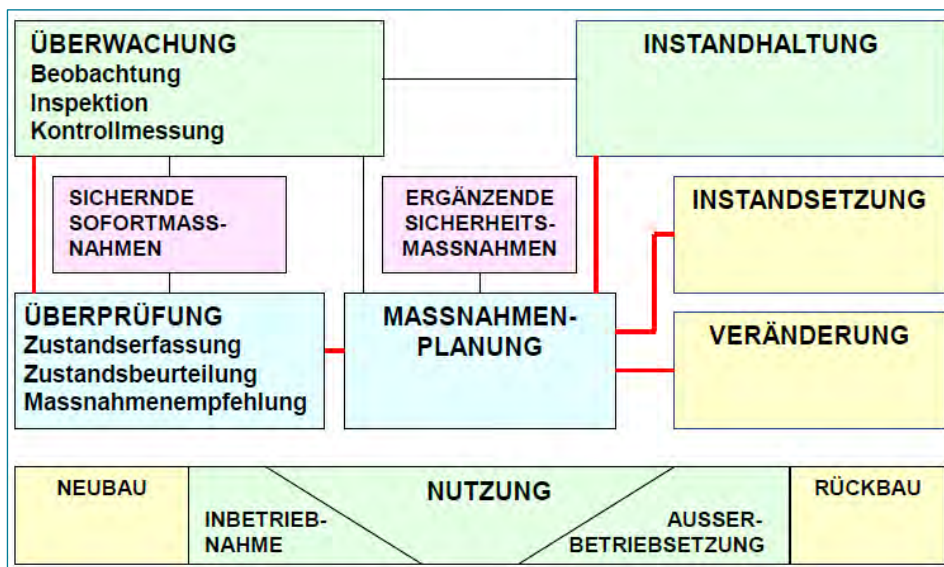


Abb. 5 Beziehungen zwischen den verschiedenen Elementen der Erhaltung von Tragwerken

3.4.2 Naturgefahren

Die Beschäftigung mit Steinschlageinwirkungen auf Schutzgalerien eröffnete mir den Zugang zum Bereich der Naturgefahren, die leider an der ETH nirgends prominent verankert sind, sondern sehr fragmentiert gelehrt werden. Zumindest in der Weiterbildung können wir hier Gegensteuer geben. Ein Kurs für ein Certificate of Advanced Studies (CAS) wurde durch **Dr. Oliver Stebler** erarbeitet und hätte eigentlich dieses Jahr erstmals stattfinden sollen, wurde aber infolge Corona auf nächstes Jahr verschoben. Tabelle 1 zeigt die Titel der Module und die vorgesehenen Dozierenden².

Tabelle 1 CAS ETH in Naturgefahren-Risikomanagement (CAS ETH NGRM); vorgesehene Module und Dozierende

Modul	Dozierende (Detailänderungen vorbehalten)
1) Integriertes Naturgefahren-Risikomanagement	Prof. Dr. David Bresch, Dr. Marc Wüest, Prof. Dr. Bruno Sudret, Dr. Stefano Marelli, Dr. Gian Reto Bezzola, Dörte Aller, Dr. Jan Kleinn, , Dr. Matthias Oplatka, Prof. Dr. Adrienne Grêt-Regamey, Dr. Christian Wilhelm
2) Prozesse	Prof. Dr. Reto Knutti, Dr. Erich Fischer, Prof. Dr. Heini Wernli, Prof. Dr. Robert Boes, Dr. Dieter Rickenmann, Prof. Dr. Ioannis Anastasopoulos, Prof. Dr. Stefan Wiemer, Prof. Thomas Vogel
3) Digitalisierung	Prof. Dr. Christof Appenzeller, Dr. Saskia Willemse, Dr. Jan Beutel, Prof. Dr. Martin Raubal, Dr. Peter Kiefer, Prof. Dr. Daniel Farinotti, Prof. Dr. Fabian Walter, Prof. Dr. Jürg Schweizer, Prof. Dr. David Bresch, Dr. Gabriela Aznar Siguan, Mathias Zesiger, Dr. Yves Bühler, Prof. Dr. Andreas Wieser, Dr. Lorenz Meier
4) Klimawandel/Naturgefahren und Bevölkerungsschutz; Praxisprojekt	Dr. Catherine Berger, Markus Meile, Oliver Kaupp, Christoph Werner, Dominik Schwerzmann, Rainer Büchel, Prof. Dr. David Bresch, Prof. Dr. Reto Knutti, Dr. Stefan Brem, Bruno Spicher, Dr. Christoph Hegg, Josef Eberli, Dr. Peter Binder, Klaus Pilz Abschlussexkursion: Prof. Dr. David Bresch, Dr. Christian Wilhelm, Prof. Thomas Vogel, Prof. Dr. Fabian Walter

3.5 Entwurfskompetenz

Eine weitere Herausforderung war, die immer wieder geforderte und kaum je gelebte Entwurfskompetenz der Bauingenieurinnen und Bauingenieure zu stärken. Versuche mit beigezogenen Architekten aus der Praxis waren nie so richtig erfolgreich.

a)



b)

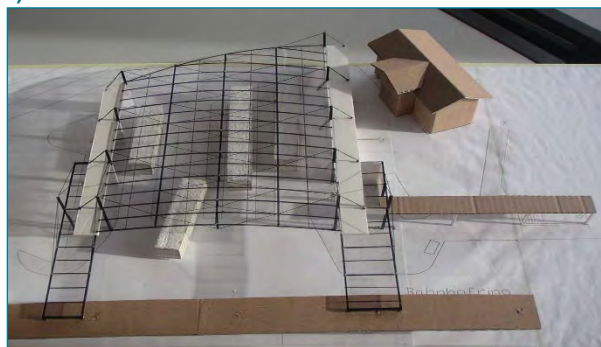


Abb. 6 Kleine Entwurfsobjekte (Modellfotos); a) Fahrradunterstand beim Freibad/ Stadthalle Bülach, b) Überdachung des Bushofs Bülach

Während zehn Jahren versuchte ich – zusammen mit **Heinrich Figi** und beigezogenen Architektinnen und Architekten – zuerst im vierten Studienjahr und später im ersten Mastersemester den Entwurf zu

² Weitergehende Informationen: <https://baug.ethz.ch/weiterbildung/cas-in-naturgefahren-risikomanagement.html>

lehren; zuerst an kleinen Objekten wie Vordächern und Veloständern, bei denen die statischen Fragestellungen jedoch untergeordnet waren (Abb. 6), später bei Grossprojekten wie Ortsumfahrungen im Kanton Graubünden (Abb. 7), die die Studierenden häufig total überforderten [1].

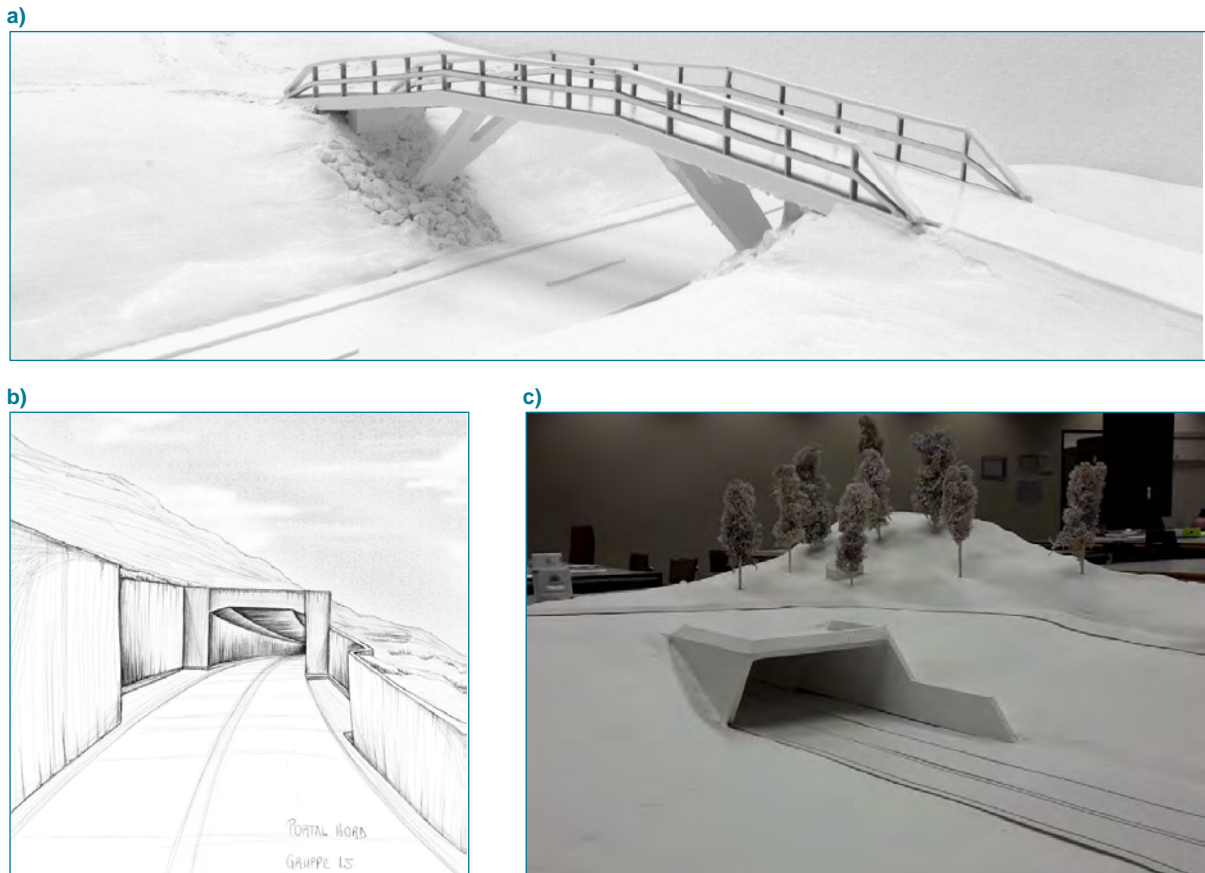


Abb. 7 Kunstbauten der Umfahrung Cunter/Savognin GR; a) Überführung, b) Tunnelportal Nord, c) Tunnelportal Süd

Mit dem Vorziehen ins fünfte Semester des Bachelorstudiengangs scheint jetzt eine gute Lösung gefunden. Die Studierenden lechzen nach Lehrstoff, der direkt mit der späteren Praxis zu tun hat und sind noch offen für neue Methoden wie Modellbau und Panel-Diskussionen. Das dazu eingeführte Rollenspiel hatte einen schweren Start; einige Studierende weigerten sich schichtweg, in einer Diskussion eine fiktive Rolle einzunehmen ("wir sind an der ETH nicht an einer PH"), aber inzwischen haben wir eine Form gefunden, die auch die nach wie vor vorhandenen "Rechner im stillen Kämmerlein" nicht blossstellt und vor allem auch die Studentinnen anspricht (Abb. 8).

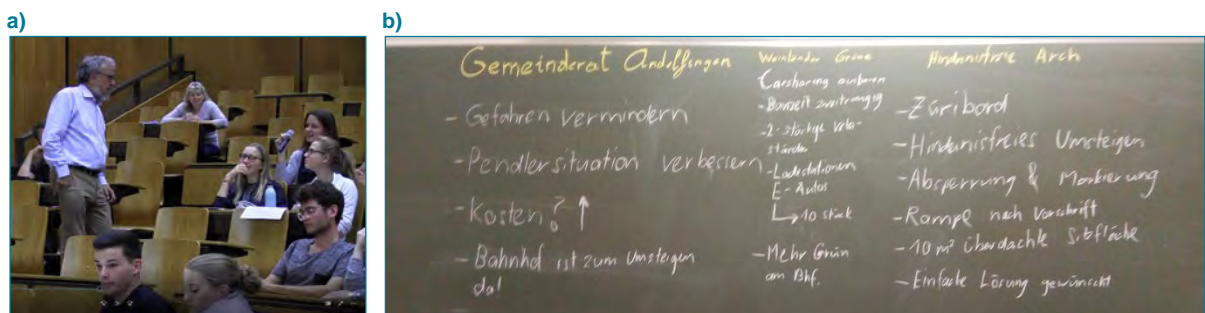


Abb. 8 Identifizierung von Partikulärinteressen; a) Rollenspiel, b) Resultierende Stichworte für die Nutzungsvereinbarung

Besonders motiviert hat die Aufgabe im Herbstsemester 2019, einen Aussichtsturm auf dem benachbarten Käferberg zu entwerfen (Abb. 9).

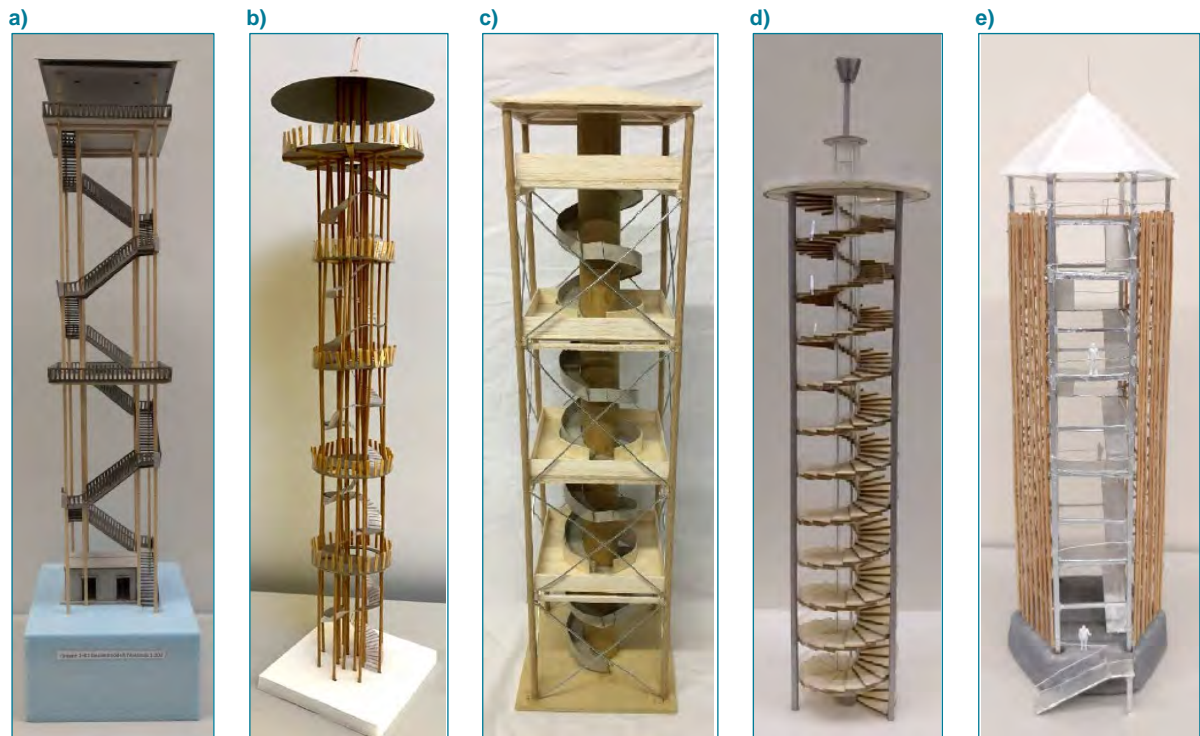


Abb. 9 Aussichtsturm auf dem Käferberg Zürich; a) bis e) Modellfotos Gruppen 1-01, 1-02, 1-05 1-06 und 2-01

In den letzten Jahren hat mich insbesondere **Fernando Ortiz** bei dieser Lehrveranstaltung unterstützt.

4 Forschung

Zu Beginn hatte meine Forschung einen schweren Start. Da ich selber ohne Doktorat in die Praxis einstieg, waren mir anfangs sowohl das Einwerben von Forschungsgeldern als auch das Formulieren von Forschungsfragen fremd. Durch *learning by doing* kamen aber über all die Jahre doch einige bemerkenswerte Resultate zusammen.

4.1 Forschungsfelder

Für die Wahl eines Dissertationsthemas zeichnete ich meinen zukünftigen Doktorandinnen und Doktoranden immer dieselbe Skizze mit drei Kreisen auf (Abb. 10):

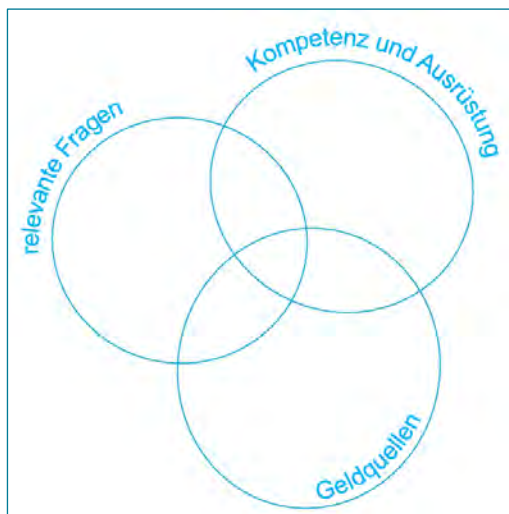


Abb. 10 Venn-Diagramm der Forschungsthemen

- Wo gibt es ungeklärte relevante Fragen?
- Wo sind wir kompetent und gut ausgerüstet?
- Wo gibt es Geldquellen?

Wir versuchten jeweils den Bereich zu treffen, in dem sich die Kreise überschneiden. Daraus sind über die Jahre verschiedene Forschungsbereiche entstanden.

4.2 Tragwiderstand ungenügender Details

Bei Neubauten kann erwartet werden kann, dass normengemäss gebaut wird. Somit ist der Tragwiderstand von Tragwerken, bei denen Normen nicht eingehalten wurden, höchstens bei Schadenfällen und den zum Glück seltenen Einstürzen ein Thema.

4.2.1 Ungenügende Betonüberdeckung

Bei bestehenden Bauten ist dies jedoch anders. Die Betonüberdeckung von Stahlbetonbauten wurde früher als lästiger Ballast betrachtet und erst später wurde seine Bedeutung für die Dauerhaftigkeit erkannt. **Marcus Schenkel**, mein erster Doktorand, untersuchte die Tragfähigkeit von Stössen und Verankerungen mit minimaler Überdeckung (Abb. 11). Die Ergebnisse seiner Arbeit [2], [3] flossen später wie viele andere auch in die einschlägige SIA-Norm [4] ein.

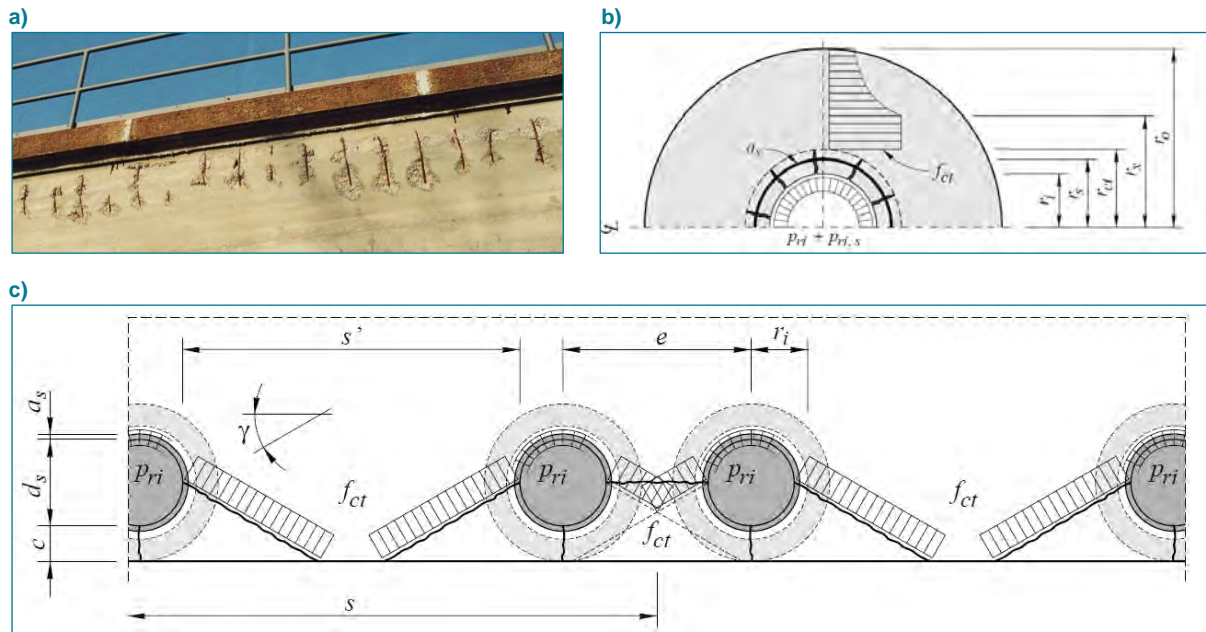


Abb. 11 Tragfähigkeit von Stößen und Verankerungen mit minimaler Überdeckung; a) Schadensbild bei ungenügender Überdeckung, b) Elastisch-plastisch gerissener Zugring um einen Bewehrungsstab im Verankerungsbereich, c) Versagensmechanismus bei ungenügender Überdeckung

4.3 Grossversuche an Brücken

4.3.1 Steilerbachbrücke Sufers

Um den Tragwiderstand von bestehenden Tragwerken zu quantifizieren, macht es Sinn, solche auch zu Bruch zu bringen. Das ist allenfalls dann möglich, wenn Bauwerke ohnehin abgebrochen werden müssen. Ein erstes solches Objekt war die Steilerbachbrücke über eine Bucht des Stausees von Sufers. Da die Bucht weitgehend verlandet war, konnte die Brücke durch eine kürzere ersetzt werden und stand für einen Grossversuch zur Verfügung (Abb. 12).



Abb. 12 Steilerbachbrücke Sufers GR

Die Versuchsplanung und -durchführung war das Gesellenstück von **Stefan Köppel**, beanspruchte aber alle meinen damaligen Assistenten und das Bauhallenteam. Durch das Endfeld der Brücke wurden neun Erdanker gebohrt und mit hydraulischen Pressen versehen (Abb. 13).



Abb. 13 Erdanker mit hydraulischen Pressen

Nach Erreichen der Maximallast konnten die Verformungen im weiteren Verlauf des Versuchs bei abnehmender Last weiter gesteigert werden, bis der Bruch durch Versagen der Bügel in drei der sechs Stege eintrat (Abb. 14, [5]).

Nachdem wir das Feld geräumt hatten, wurde die Brücke vollständig abgebrochen. Die Lastwagen, die als erstes den Asphaltbelag abtransportierten, fuhren wieder über die Brücke, auch über das eigentlich bereits zu Bruch gebrachte Endfeld.

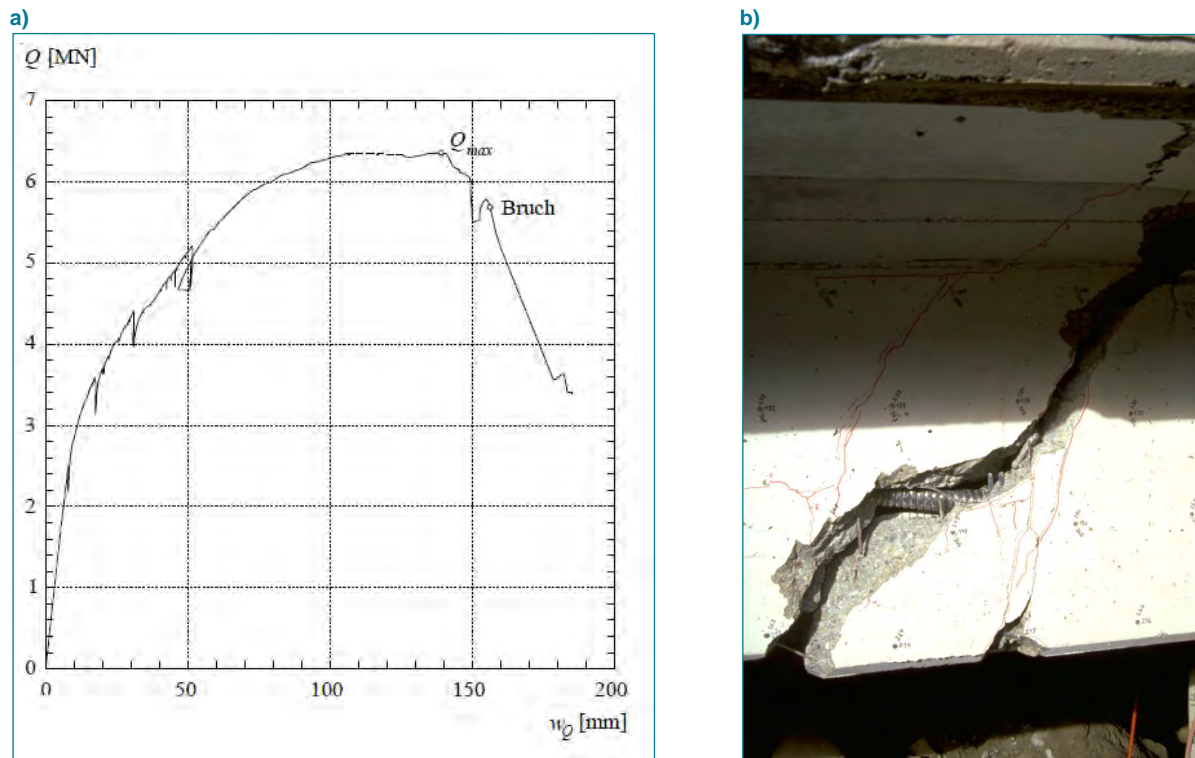


Abb. 14 Belastung bis zum Bruch; a) Aufgebrachte Last und Durchbiegung im belasteten Schnitt, b) klaffender Diagonalschnitt unter der Last

Eine zweite Episode:

Am zweiten Versuchstag, dem 30.10.1996, war auch ein Team vom **Schweizer Fernsehen** vor Ort, aber der Träger wollte einfach nicht versagen und der maximale Pressenhub war schon beinahe erreicht. Die Kameracrew wurde ungeduldig, da es bereits eindunkelte. Dann endlich bei 6'360 kN wurde die Höchstlast erreicht. Der Bruch kündigte sich durch Betonabplatzungen neben der Lasteinleitung über die ganze Brückenbreite an, insbesondere auch bei den Konsolköpfen; dort muss man also hinschauen, wenn man eine Ankündigung des Bruchs erwartet.

4.3.2 Viadukt Wassnerwald

Eine weitere Brücke die sich für Bruchversuche im Massstab 1:1 anbot, war der Viadukt Wassnerwald im Kanton Uri. Er bestand aus vorgefertigten und vorgespannten Trägern, die zum Teil infolge Lecks in der Fahrbahnplatte total versalzen waren. Andere Träger waren weitgehend intakt und sechs davon wurden von der Bauherrschaft an die ETH auf den Höngerberg geliefert.

Mein Doktorand **Daia Zwicky** baute neben der Bauhalle einen sogenannten Freiluft-Belastungsstand, bestehend aus Fundamentplatten, Auflagerklötzen und vier Erdankern (Abb. 15). Der Ausdruck "bauen" war allerdings streng verboten, hätten wir doch sonst die Bauabteilung der ETH einbeziehen müssen. Deshalb liefen alle Erd-, Betonier- und Ankerarbeiten unter "Forschungseinrichtung", bezahlt

aus dem Berufungskredit. Erst mit dem Aushub für die Balkenzentrifuge von Kollege Anastasopoulos im Jahr 2019 wurden diese Bauteile wieder entfernt, die nur im Versuchsbericht von Daia Zwicky [6], nicht aber in Plänen der ETH dokumentiert waren.



Abb. 15 Freiluft-Belastungsstand für Träger des Viadukt Wassnerwald UR

Bei Bruchversuchen an bestehenden Tragwerken und Tragelementen gibt es wenig Freiheitsgrade; eigentlich kann man nur die Art der Belastung wählen, alles andere ist ja schon da. Natürlich wollten wir, dass die Träger auf Schub versagen sollten, hatten sie doch einen schlanken Steg und fast keine Bügel. Das gelang uns jedoch trotz fünf verschiedener Lastanordnungen nicht; es gab immer einen Biegebruch und Daia Zwicky musste die Zielsetzung seiner Dissertation [7] grundsätzlich ändern. Schliesslich konnte er schön zeigen, wie das Rissbild der Träger gut mit den Spannungsfeldern übereinstimmte, die er nach den Regeln der Plastizitätstheorie in den Trägern anordnete (Abb. 16).

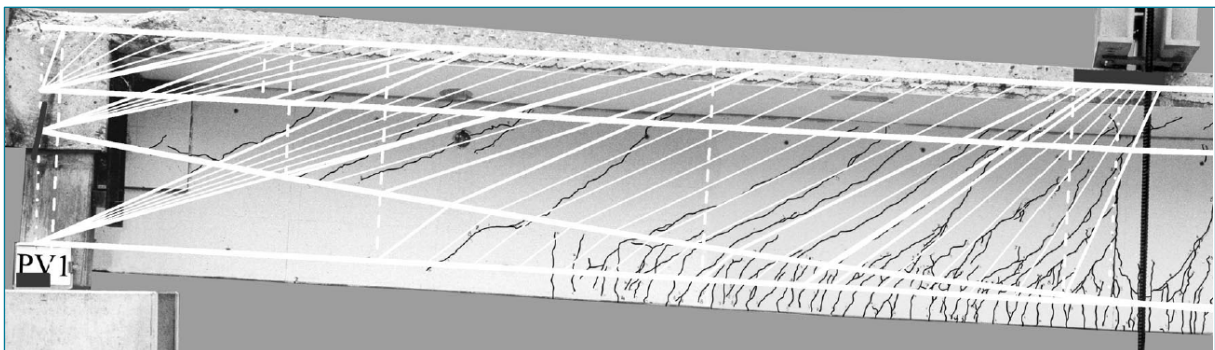


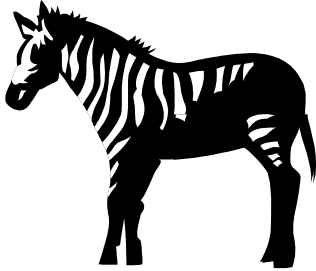
Abb. 16 Gute Übereinstimmung von Rissbild und Tragmodell mit Spannungsfeldern

Eine dritte Episode:

Den letzten Träger brauchten wir als Demonstrationsobjekt für den Tag der offenen Tür am 12.05.2001. Als Teil einer Diplomarbeit für zwei Diplomanden sollte der Träger an jenem Samstagnachmittag zu Bruch gebracht werden. Das Aufbringen der Last durch Erdanker ist an sich nicht ideal, da durch diese viel Energie im System gespeichert wird und die Anker nach Erreichen der Bruchlast nicht sofort entlastet werden, sondern erst, wenn die Durchbiegung des Trägers den Spannweg erreicht hat. Umso eindrücklicher ist jedoch der Bruchvorgang, da es wirklich knallt. **Prof. Dr. Olaf Kübler**, Physiker und damaliger Präsident der ETH, war zugegen und erwähnte dieses Erlebnis mir gegenüber noch Jahre später.

4.3.3 ZEBRA

Ab 1997 wurden verschiedene Brücken des Nationalstrassennetzes abgebrochen, einerseits dort, wo die Bahn 2000 Neubaustrecke parallel zur Autobahn A1 verlief und deshalb alle ihre Überführungen zu kurz waren, andererseits durch die Erweiterung des pionierhaften Autobahnstücks von Luzern nach Horw, wo auch einige Brücken ersetzt wurden. Dies war der Anlass für ein Forschungsprojekt, das erlauben sollte, solche abzubrechenden Brücken zerstörend zu untersuchen. Zusammen mit der Empa suchten wir solche Objekte bei allen Kantonen und Autobahnämtern, den Bahnen und grösseren Städten.



Wenn man mit einer grösseren Community kommunizieren will, ist ein guter Projektname die halbe Miete. Unser Projekt hiess ZEBRA für *ZustandsErfassung von BRücken bei deren Abbruch* und wurde zuerst von **Tomaž Ulaga** und **Werner Köhler** und schliesslich von **Reto Bargähr** betreut, der auch den Abschlussbericht verfasste. Wie in der Medizin, die auch erst durch das (erlaubte oder unerlaubte) Sezieren von Leichen zu einer Wissenschaft wurde, ist das Lernen aus Einstürzen und Abbrüchen elementar, um die effektive Tragweise von Tragwerken und ihre zeitliche Entwicklung zu verstehen.

Anlass für Abbrüche von Brücken, die ihre Nutzungsdauer noch nicht erreicht hatten, waren einerseits die Überdeckung von Autobahnen in Siedlungsnähe und andererseits der Ausbau der Infrastruktur überall dort, wo sie ihre Kapazität erreicht hatte (Abb. 17).

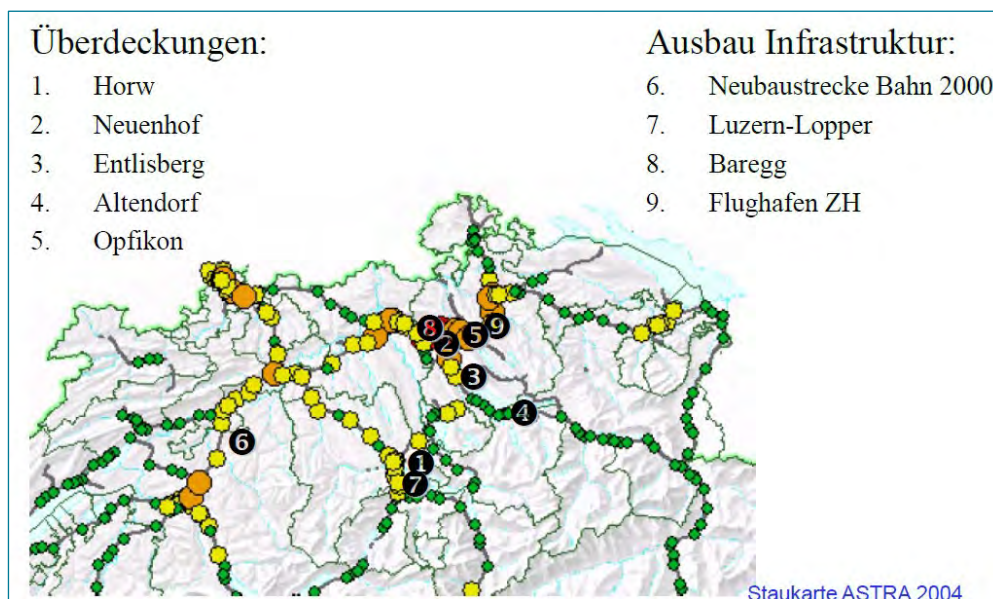


Abb. 17 Schwerpunkte der Bautätigkeiten, die zum vorzeitigen Abbruch von Brücken führten

Die Ziele des Forschungsprojekts waren:

- eine Rahmenorganisation für die Zustandserfassung von Abbruchobjekten zu schaffen
- eine zentrale Sammlung und Verarbeitung der Daten zu gewährleisten
- bauteilspezifische Vorgehensweisen zu erarbeiten
- neue Erkenntnisse über relevante Schädigungs- und Versagensmechanismen Erkenntnisse für die Überprüfungen ähnlicher Objekte zu gewinnen.

Nach etwa sieben Jahren hatten wir 89 Objekte erfasst, von denen dann 82 auch abgebrochen wurden. Unsere Untersuchungen reichten von Nichtstun über eine minimale Fotodokumentation und eigene Berichte bis zu aufwändigen Spezialuntersuchungen (Abb. 18).

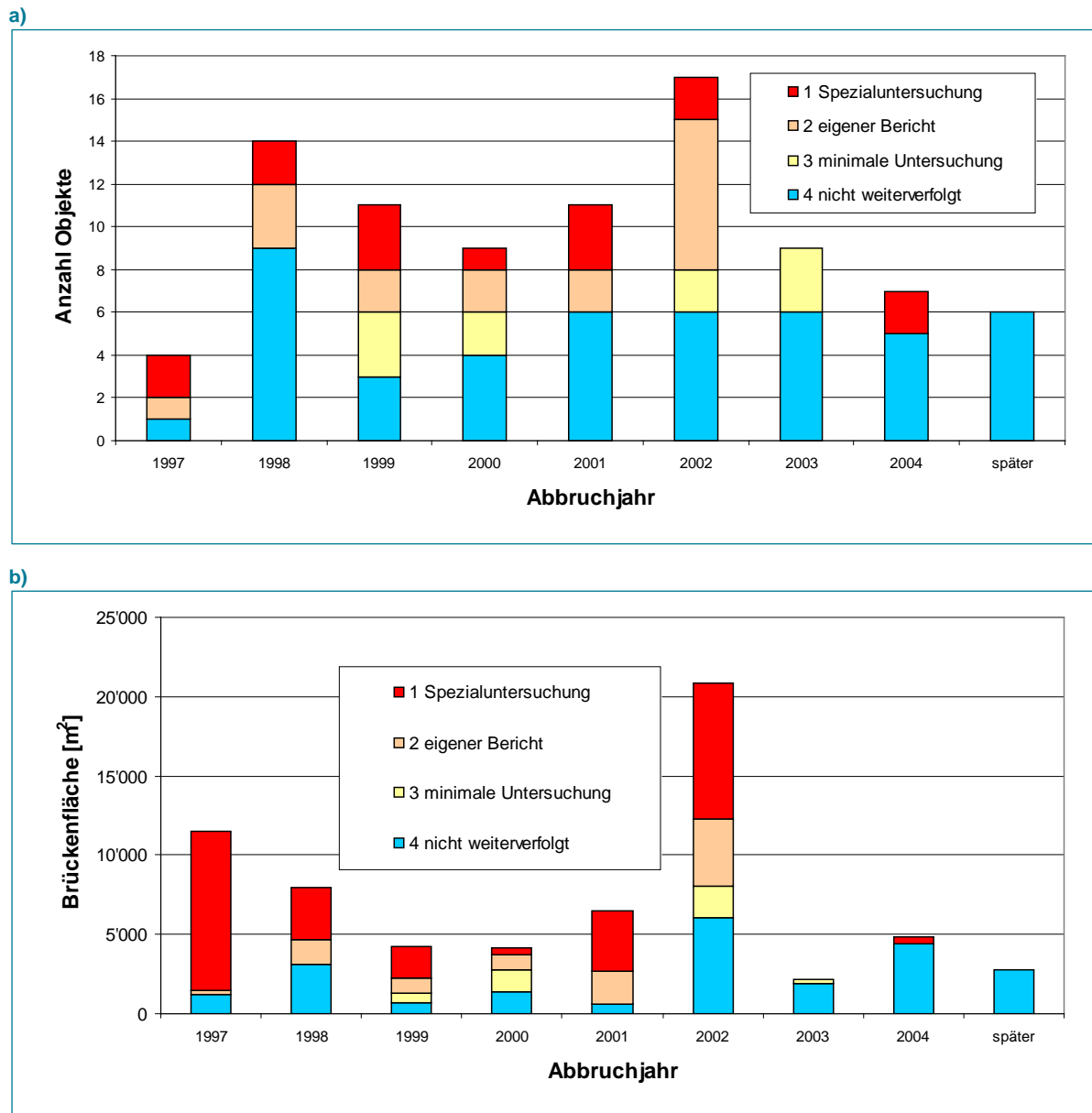


Abb. 18 Erfasste Abbrüche pro Jahr; a) Anzahl Objekte, b) Brückenfläche

Erfassungsthemen waren der Zustand schwer zugänglicher, kritischer oder gefährdeter Tragelemente, der Erfolg früherer Instandhaltungs- und Instandsetzungsmassnahmen, die Effizienz und Zuverlässigkeit von zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden, sowie die Übereinstimmung von planmässigen und effektiven Abmessungen von Tragkonstruktionen und Belägen.

Als Nebenprodukt bekamen wir einen guten Überblick über die Eignung der verschiedenen Abbruchmethoden unter laufendem Verkehr (Abb. 19, [8]).



Abb. 19 Abbruch der Überführung Burggasse bei Altdorf SZ durch Zersägen auf Hilfsjochen

4.4 Schallemissionsanalyse

4.4.1 Zerstörungsfrei Prüfmethode

Da man Tragwerke nicht fragen kann, wie es ihnen geht, gleicht die Beschäftigung mit ihnen eher der Methodik eines Tierarztes, als der eines Humanmediziners. Viele Methoden der zerstörungsfreien Prüfung wurden zuerst für die Medizin entwickelt und später für Tragwerke übernommen. Der Beton mit seiner verborgenen Bewehrung und Vorspannung erweist sich in dieser Hinsicht als schwieriges und nicht einfach zu durchdringendes Material.

Es gibt eine Vielzahl von Methoden und der Schlüssel zum Erfolg führt über deren geschickte Kombination. Da man in der Forschung nicht überall an der Spitze dabei sein kann, haben wir eine Methode weiterentwickelt, die noch weitgehend unerforscht war: die Analyse der Schallemissionen (Abb. 20).

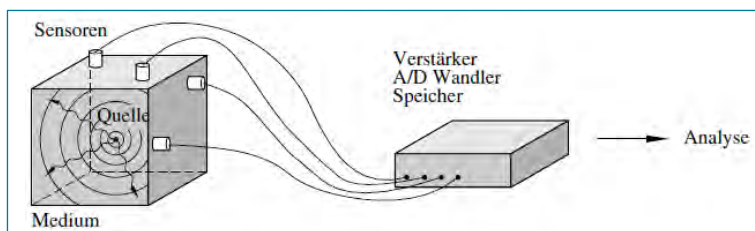


Abb. 20 Prinzip Schallemissionen

4.4.2 Grundlagen

Wie der Name sagt, zeichnet man an der Oberfläche Schallwellen auf, die jedes Baumaterial bei Belastung oder Zerstörung aussendet und versucht, diese zu interpretieren. Pionierarbeit leistete **Stefan Köppel**, der an einfachen Versuchskörpern (Abb. 21) bis zu den grossen Trägern vom Wassnerwald Schallwellen aufzeichnete und ihre Quellen ortete (Abb. 22 , [9], [10]).

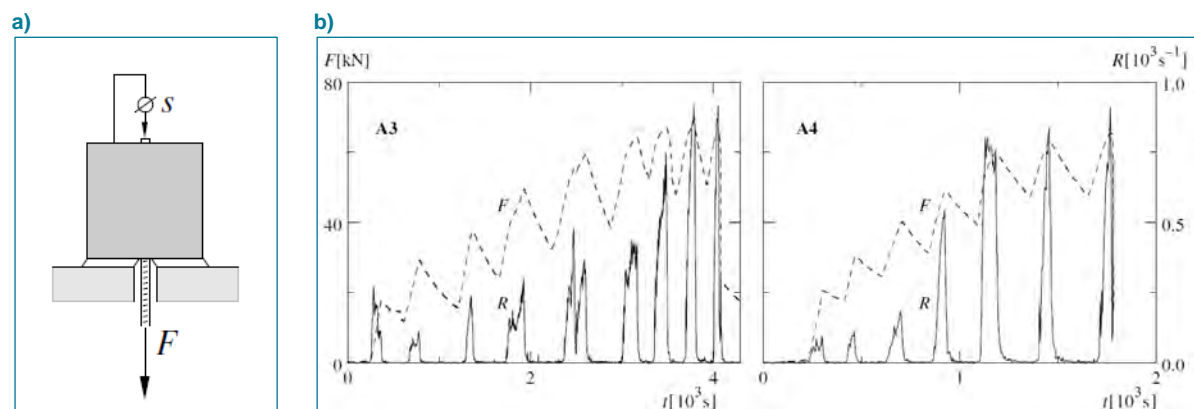


Abb. 21 Ausziehversuch; a) Testanordnung, b) Laststeigerung (gestrichelt) und Signalrate für zwei Versuche

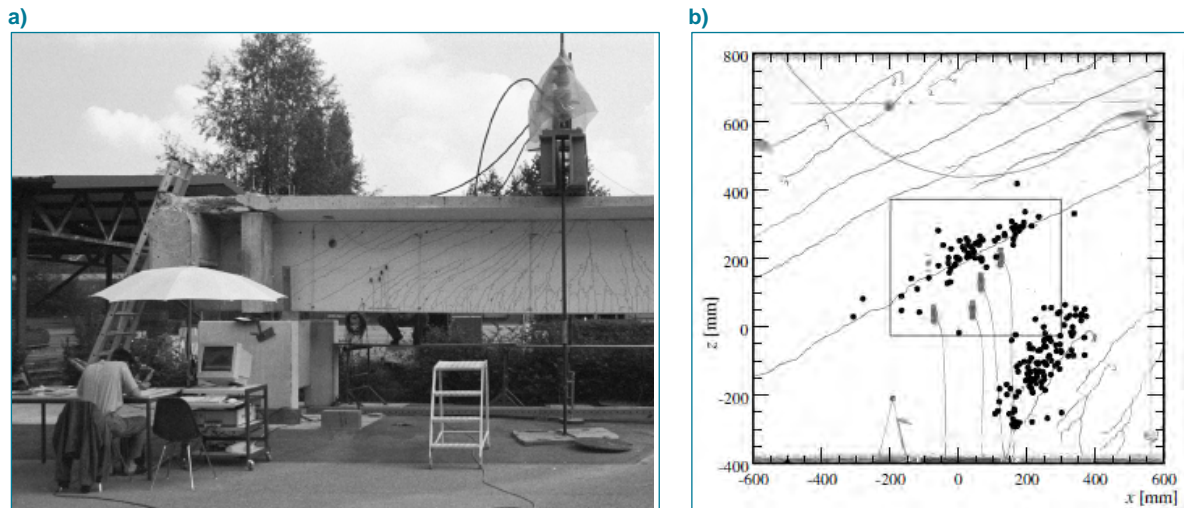


Abb. 22 Grossversuch; a) Testanordnung, b) Lokalisierte Ereignisse und Rissbild

4.4.3 Ortung

Die Methodik ist weitgehend dieselbe wie in der Geophysik, wo Erdbebenherde geortet und die ablaufenden Vorgänge analysiert werden (Abb. 23 a)). So führte auch bei mir die Geophysikerin **Barbara Schechinger** die Arbeiten im Labor weiter und modellierte die Wellenausbreitung im Beton mit injizierten und nicht injizierten Hüllrohren von Spanngliedern (Abb. 23 b), [11]).

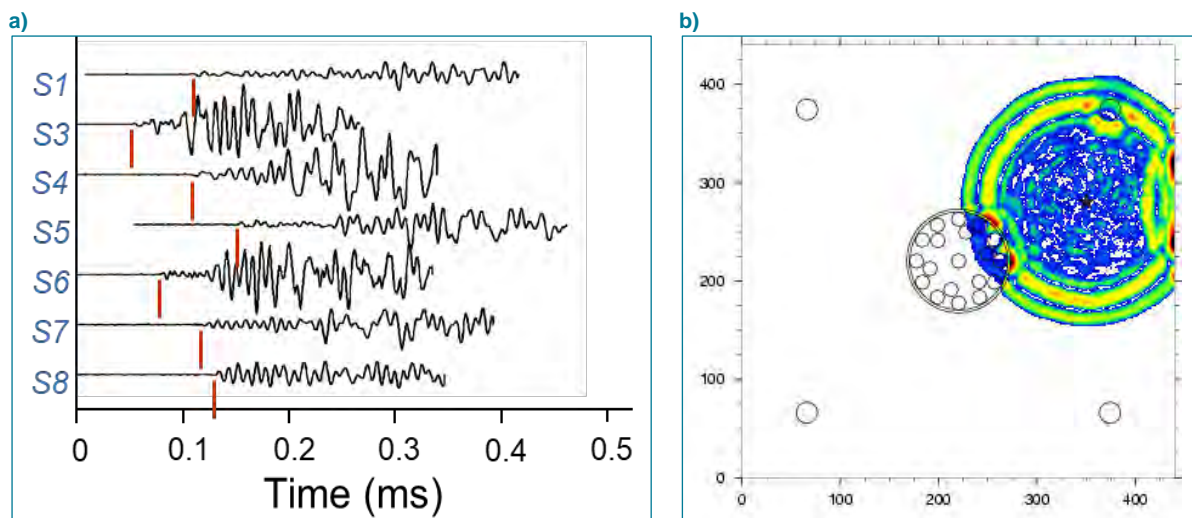


Abb. 23 Ortung; a) Bestimmung der Ankunftszeiten der Signale als Grundlage, b) Numerische Modellierung eines vorge-spannten Betonquerschnitts und Simulation der Wellenausbreitung

Georg Kocur modellierte den Beton numerisch bereits dreidimensional, einerseits durch rechnerisches Auffüllen eines Volumens mit grossen und kleinen Gesteinskörnern, andererseits durch Dichtewerte und Risse von Betonbalken, die er an einem Computer-Tomografen des Universitätsspitals bestimmen liess. Durch Inversion der Schallausbreitung konnte er von den detektierten Signalen auf die Zonen der Signalquellen schliessen (Abb. 24, [12]).

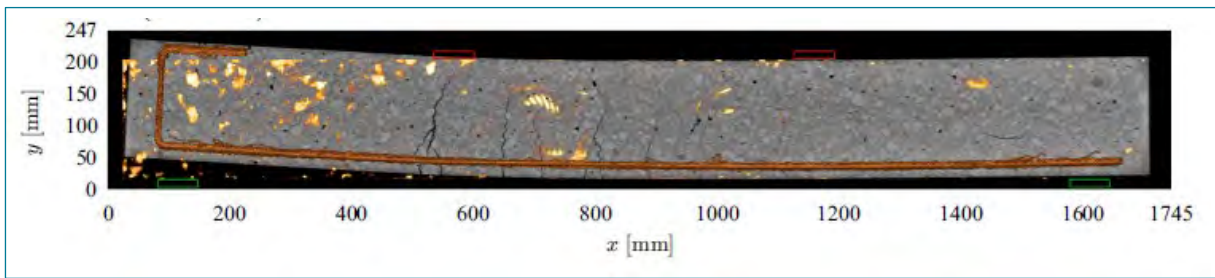


Abb. 24 Numerische Modellierung eines Betonbalkens auf Grund einer Tomografie, Simulation der Signalquellen

In der Zusammenarbeit mit Universitätsspital Zürich war nie von Geld die Rede; wir konnten den Tomografen zu Randzeiten nutzen und revanchierten uns mit Kuchen für die Kaffeepause. Seit wir die gewonnenen Resultate in wissenschaftlichen Publikationen veröffentlichten, werde ich dauernd eingeladen, in medizinischen Journals zu publizieren oder an entsprechenden Kongressen vorzutragen.

Stephan Gollob entwickelte schliesslich eine Methodik, wie der schnellste und nicht unbedingt kürzeste Weg der Schallwellen modelliert und damit die Ortung verbesserte werden kann (Abb. 25, [13]).

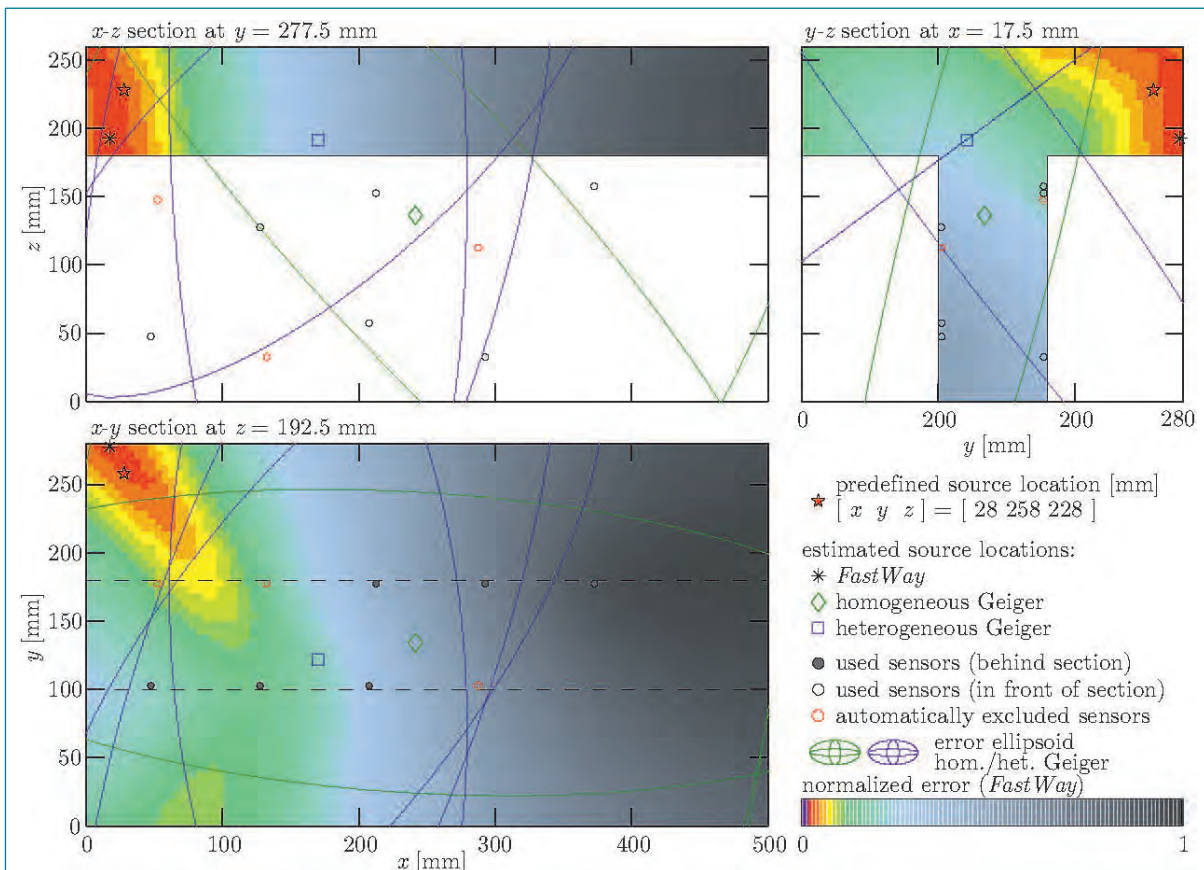


Abb. 25 Lokalisierung einer Signalquelle (roter Stern) im Betonbalken eines Biegeversuchs mit verschiedenen Methoden

4.4.4 Feldanwendungen

Stefan Fricker führte Untersuchungen an einem abzubrechenden Brückenobjekt aus, worauf noch zurückzukommen sein wird ([14], → 0).

Gosia Felux suchte sich die Hermetschloo Brücke über die Bahngleise zwischen Zürich und Schlieren aus, an der sie die Schallemissionen aus dem normalen Autoverkehr auswertete (Abb. 26, [15]).

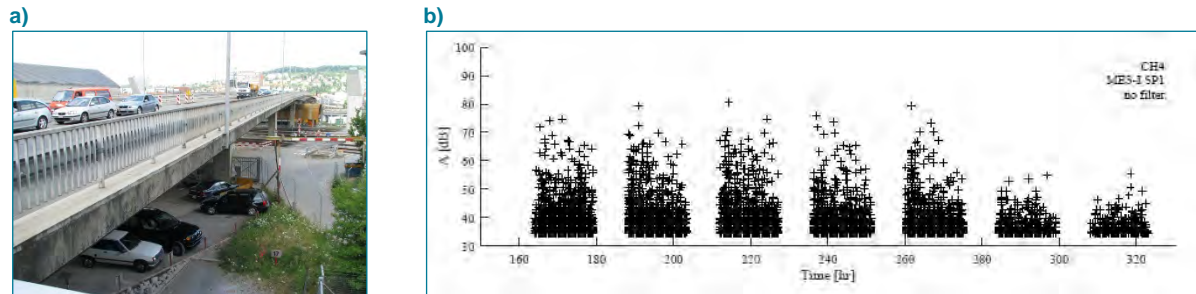


Abb. 26 Detektion von Schallemissionen unter Verkehr; a) Hermetschloo Brücke Zürich/Schlieren; b) Amplituden der gemessenen Signale während einer Woche

4.5 Verstärkungen

Bei der Beschäftigung mit bestehenden Bauten kommt man früher oder später zum Punkt, an dem Verstärkungen zum Thema werden.

4.5.1 Klebebewehrungen

Eine effiziente Methode für bestimmte Anwendungen sind Klebebewehrungen, die seit den 1970ern an der Empa weiterentwickelt wurden, zuerst mit Stahl lamellen, später mit kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK). Mein Doktorand **Tomaž Ulaga** bekam die Gelegenheit, an er Empa an einem Projekt mitzuarbeiten, das thermoplastische Lamellen aus CFK verwendete. In seiner Dissertation [16], für die er die Silbermedaille der ETH erhielt, entwickelte er ein Modell weiter, dass von Prof. Walraven von der TU Delft entwickelt worden war (Abb. 27). Die Erkenntnisse seiner Dissertation [17] waren eine wichtige Grundlage für die Vornorm SIA 166 "Klebebewehrungen" von 2004, deren Arbeitsgruppe ich präsidieren durfte (Abb. 28).

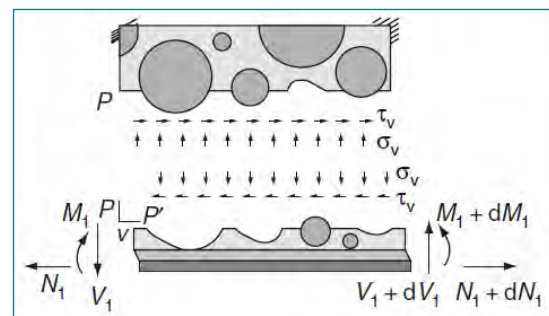


Abb. 27 Modell für das Versagen des Betons mit einer aufgeklebten Lamelle

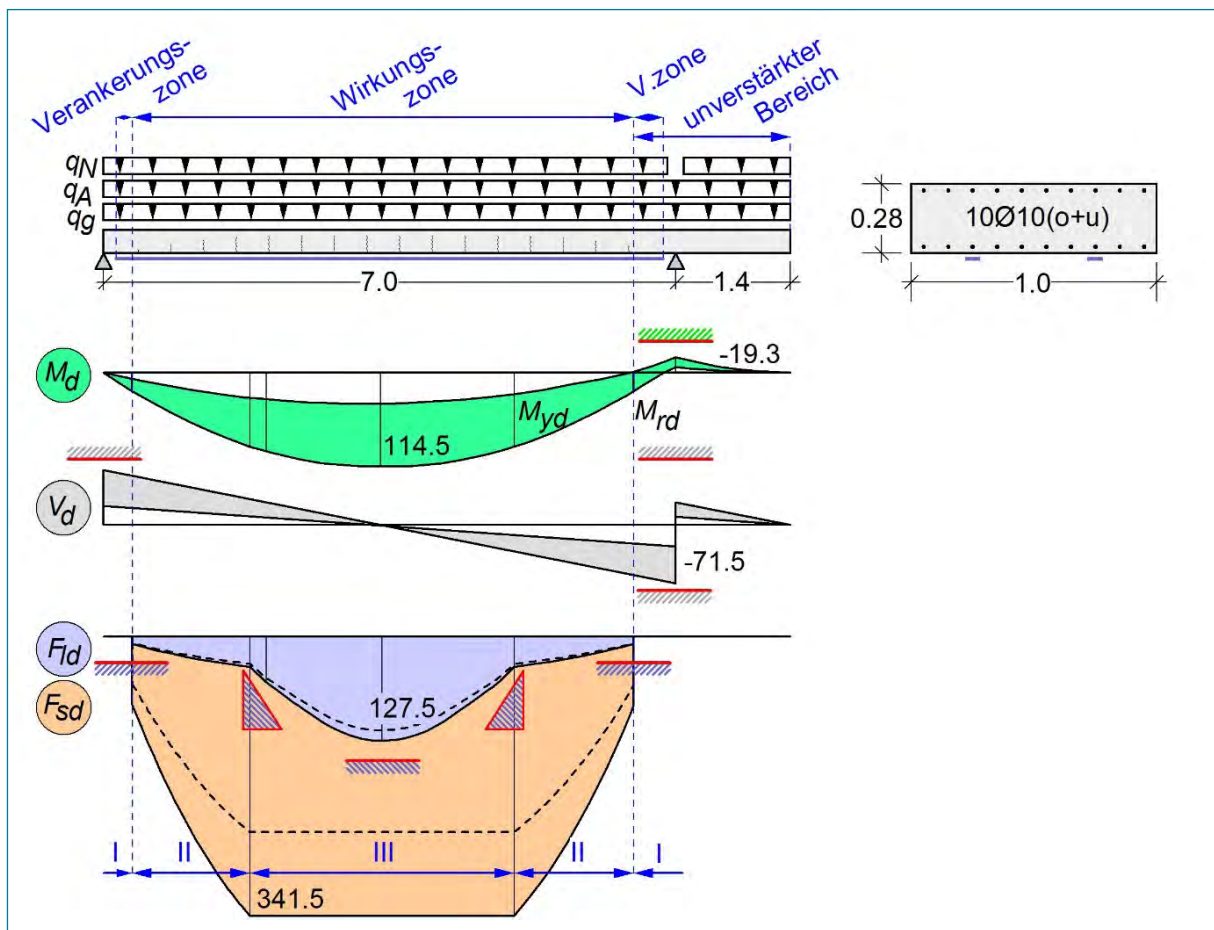


Abb. 28 Wirkungsweise einer aufgeklebten Lamelle und zu führende Nachweise

4.6 Glasbau

Die Tatsache, dass für den Bau des Postautoterminals in Chur (Abb. 29) Ingenieure aus Grossbritannien zugezogen werden mussten, zeigte auf, dass es sich wohl lohnen würde, auch in der Schweiz Kompetenzen im Glasbau aufzubauen.



Abb. 29 Postautoterminal in Chur

4.6.1 Nachbruchverhalten

Mein erster Doktorand in diesem Gebiet war **Alexander Kott**, der das Nachbruchverhalten von Verbundsicherheitsglas untersuchte. Traditionellerweise beschäftigen sich die Stahlbauer mit Glasbau, da die Rahmen und Fassungen meistens aus Metall bestehen. Eine Verbundglasscheibe verhält sich aber eher wie eine Betonplatte mit der Folie als Bewehrung, nachdem die am stärksten auf Zug beanspruchte Scheibe gebrochen ist [18]. Als Massivbauer konnten wir daher die Mechanismus-Methode für Stahlbetonplatten einbringen (Abb. 30, [19]).

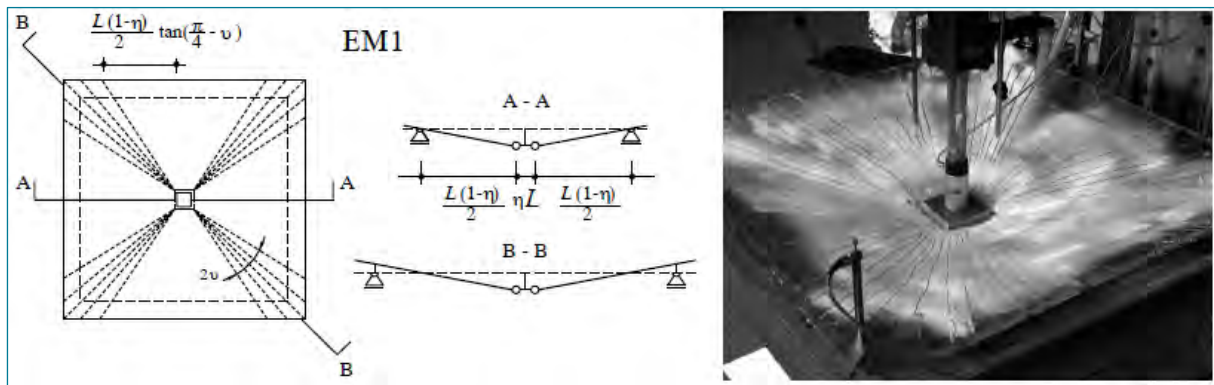


Abb. 30 Eckmechanismus bei vierseitig gelagerter Scheibe aus Verbundsicherheitsglas mit mittlerer Einzellast

4.6.2 Stösse

Im Bestreben Glasträger herzustellen, die länger sind als die einzelnen Glasscheiben, werden Stösse unumgänglich. **Erich Trösch** untersuchte alle Aspekte, die bei der Konstruktion von Verbundglasträgern für grosse Spannweiten wichtig sind (Abb. 31 a), [20] und **René Ringli** untersuchte die Stösse und den Kraftverlauf in den Stössen detailliert (Abb. 31 b), [21].

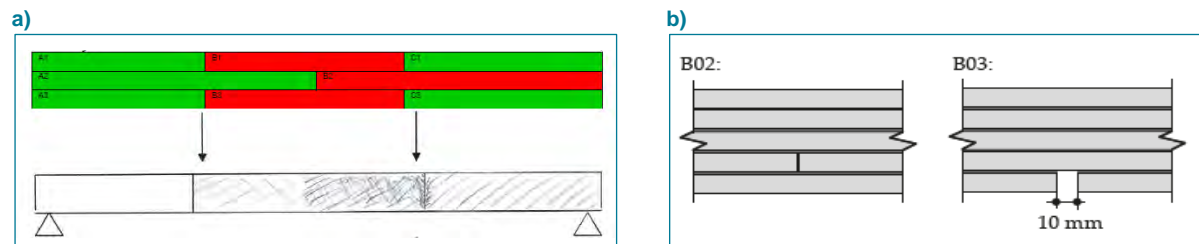


Abb. 31 Stösse in Verbundsicherheitsglas; a) Bruchbild eines Trägers mit 3 m Spannweite , b) Stossdetails

4.7 Robustheit

Auch übergeordnete Themen interessierten mich, wie die Robustheit.

4.7.1 Definition

Gemäss der Norm SIA 260 [22] ist die Robustheit "die Fähigkeit eines Tragwerks und seiner Bauteile, Schädigungen oder ein Versagen auf Ausmasse zu begrenzen, die in einem vertretbaren Verhältnis zur Ursache stehen."

4.7.2 Geschichte

Dieses Thema hatte verschiedene Boom-Phasen; zuerst 1968, als in London eine Ecke eines Hochhauses in Folge einer Gasexplosion einstürzte, dann 1995 beim Anschlag auf ein Regierungsgebäude in Oklahoma City, USA und schliesslich 2001 mit dem Einsturz der Twin Towers des World Trade Centers in New York City (Abb. 32).

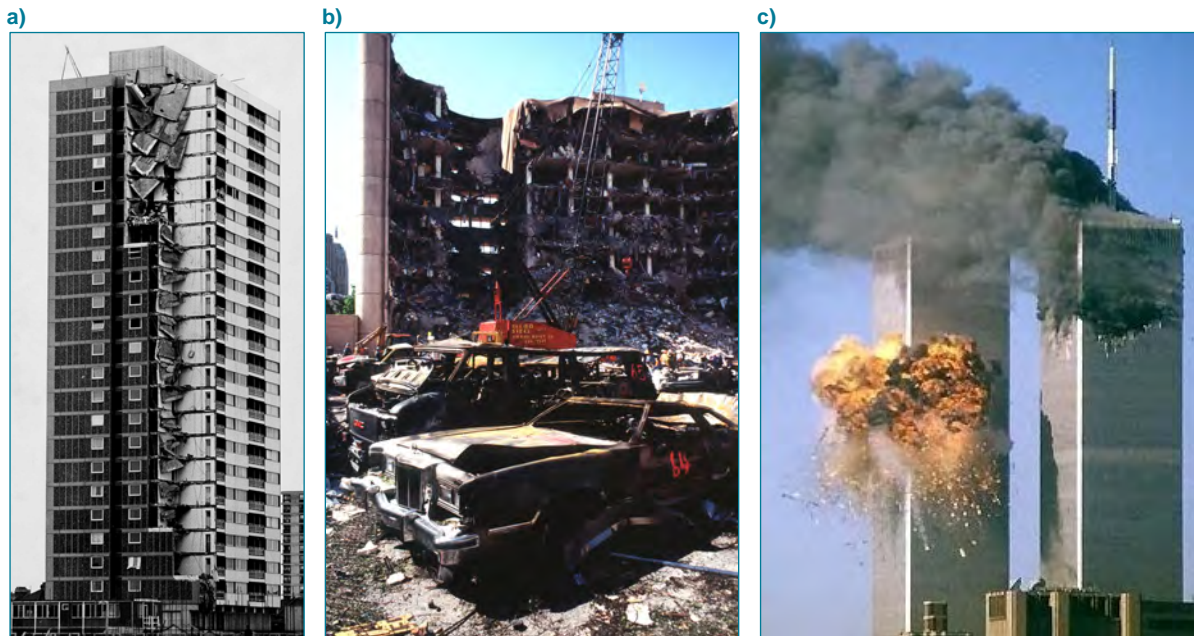


Abb. 32 Auslösende Ereignisse für die Robustheit-Forschung; a) Ronan Point, East London UK (1968), b) Alfred P. Murrah Federal Building, Oklahoma City, USA (1995), World Trade Center, New York City, USA (2001)

Erste Diskussionen unter den Professoren unseres Instituts zu diesem Thema und den zugehörigen Begriffen begannen nach 2001 und führten sowohl zu einem von **Prof. Dr. Michael H. Faber** geleiteten COST-Projekt und zu einer gemeinsam mit **Dr. Franz Knoll** verfassten Schrift in der Reihe der *Structural Engineering Documents* der Internationalen Vereinigung für Brücken- und Hochbau (IVBH), das später sogar ins Chinesische übersetzt wurde (Abb. 33, [23]).

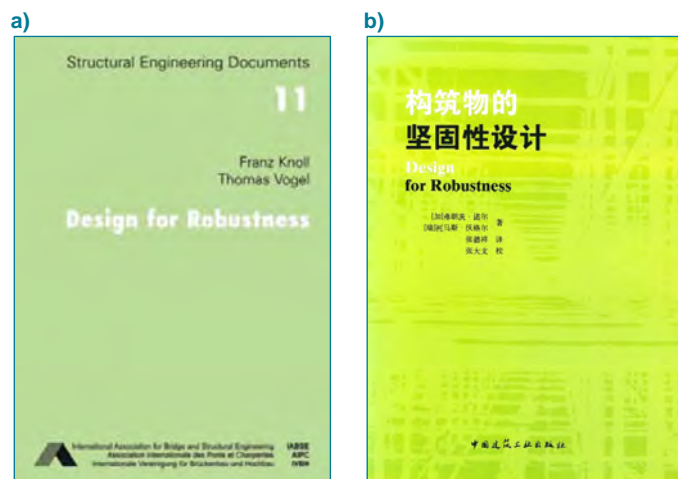


Abb. 33 Design for Robustness; a) Englische Ausgabe, b) Chinesische Ausgabe

4.7.3 Forschungsbeiträge

Aus konzeptionellen Überlegungen Forschungsfragen für Doktorarbeiten abzuleiten, war gar nicht so einfach. Einerseits versuchte **Hartwig Stempfle** am Beispiel von V-Stiel-Brücken einen systemtheoretischen Ansatz (Abb. 34 a), [24]), dann zeigte **Ingo Müllers**, dass man das dynamische Verhalten eines Gebäudes nach dem Ausfall einer Stütze im Prinzip numerisch modellieren kann (Abb. 34 b), [25]) und schliesslich zeigte **Borja Herraiz**, welche Tragreserven in Betondecken stecken, wenn man rechnerisch eine Stütze ausfallen lässt und grosse Deformationen in Kauf nimmt (Abb. 34 c), [26]).

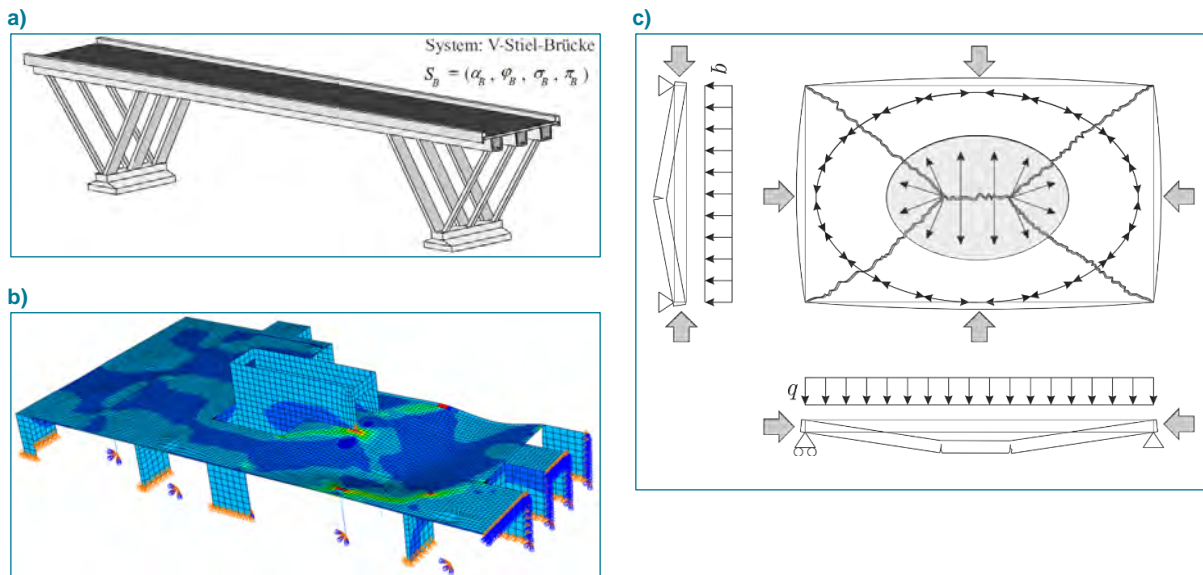


Abb. 34 Aspekte der Robustheit; a) Anwendung der Systemtheorie auf Brücken, b) Dynamisches Verhalten eines Gebäudes beim Ausfall einer Stütze, c) Tragverhalten von Betondecken bei grossen Deformationen

4.8 Steinschlagschutzgalerien

Drei spektakuläre Steinschlagereignisse im Jahr 2003 auf Ingenieurbauwerke, die nie oder nicht genügend auf Steinschlag bemessen worden waren, bewogen uns, in dieses Thema einzusteigen. Dazu musste am IBK zuerst die Praxis von dynamischen Versuchen, die über Jahrzehnte nicht mehr gepflegt worden war, wieder etabliert werden.



Abb. 35 Steinschlagereignisse 2003; a) Chüebalmtunnel der A8 bei Iseltwald BE, b) Steinschlagschutzgalerie Axenstrasse der A4 am Ölberg Süd SZ, c) Lawinenschutzgalerie Ripplistal der A2 bei Gurtellen UR

4.8.1 Methodik

Kristian Schellenberg evaluierte zuerst verschiedene Versuchsmethoden, um den Aufprall von Felsbrocken auf überdeckte Betonkonstruktionen zu simulieren. Dabei erwies sich der Fallversuch am geeignetsten. Solche führte er dann auch im Steinbruch Lochezeten am Walensee in Zusammenarbeit mit der WSL durch. Sein erarbeitetes Modell bestand aus einem Dreimassenschwinger und konnte das Verhalten von Betonplatten unter Steinschlageinwirkung recht gut erklären (Abb. 36 a), b), [27]).

Sara Ghadimi überprüfte das Modell mit Finite-Elemente-Berechnungen und konnte zeigen, dass ein Zweimassenschwinger auch genügt (Abb. 36 c), d), [28]).

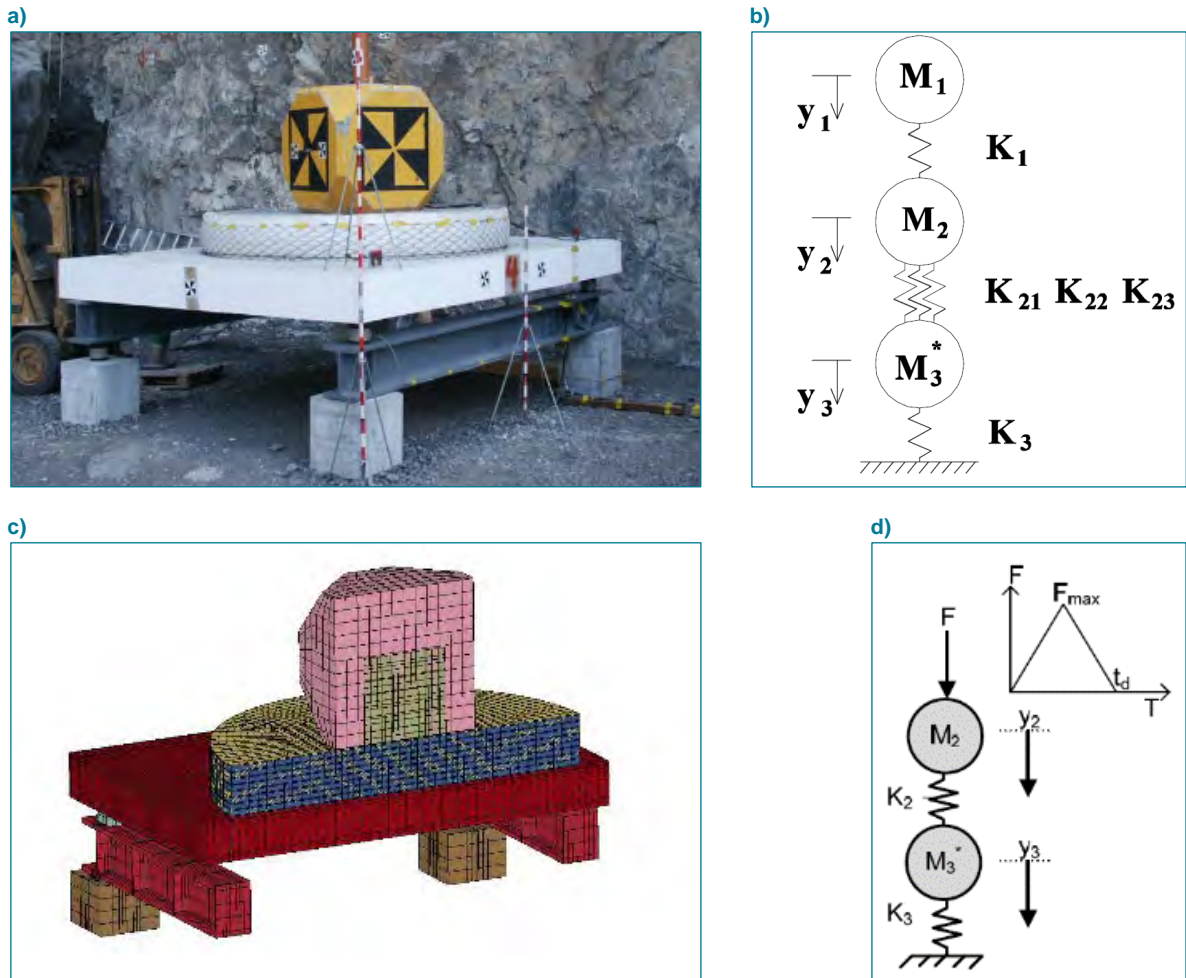


Abb. 36 Fallversuche auf überdeckte Betonplatten; a) Versuchsanordnung im Steinbruch Lochezen, b) Dreimassenschwinger von Kristian Schellenberg, c) Finite-Elemente-Modell von Sara Ghadimi, d) Zweimassenschwinger von Sara Ghadimi

4.8.2 Neues Dimensionierungsverfahren

Der schwierigste Teil ist das Verhalten der Überdeckung, die bei uns meistens aus anstehendem Lockermaterial, im Ausland häufig auch aus Sand besteht. Ausgehend von Grossversuchen in Japan, auf die auch noch zurückzukommen sein wird ($\rightarrow 0$), entwickelte **Christina Röthlin** ein Dimensionierungsverfahren, bei dem das anfängliche Verhalten der Überdeckung gar keine grosse Rolle mehr spielt, da – wie auch beim Erdbeben üblich – das Verformungsvermögen der Steinschlag-schutzgalerie mit ihrem Verformungsbedarf verglichen wird (Abb. 37, [29]).

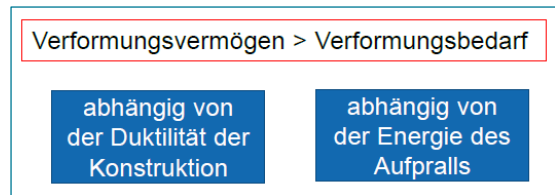


Abb. 37 Verformungsbasierte Bemessung von Steinschlagschutzgalerien

4.9 Ermüdung und magnetische Streufeldmessung

Für Betonbrücken des Nationalstrassennetzes, wo der Kreis der Finanzierbarkeit am einfachsten zu treffen ist, führte die Evaluation der beiden anderen Kreise von Abb. 10 regelmässig zum Thema Ermüdung. Unser eher rudimentäres Wissen über die Ermüdung von Stahlbeton hat zu sehr vorsichtigen Bestimmungen in den Normen geführt, und wenn die Tragwerke die Normen kennen und sich danach verhalten würden, müssten wir viel mehr Ermüdungsschäden haben, als wir effektiv entdecken.

Wir haben Ermüdungsfragen jeweils im Zweierteam bearbeitet. Der eine Doktorand konzentrierte sich auf die Erzeugung und Modellierung einer Ermüdungsbeanspruchung, der andere auf die zerstörungsfreie Detektion der aufgetretenen Brüche von Bewehrungsstäben. Dafür bot sich die magnetische Streufeldmethode an, da ein magnetisierter Bewehrungsstab dort Nord- und Südpol ausbildet, wo er gebrochen ist (Abb. 38 a)).

Das erste Tandem bestand aus **Patrick Fehlmann**, der Betonrahmen untersuchte, und **Thomas Wolf**, der die Bewehrungen permanent aufmagnetisierte, und die entstehenden Magnetfelder vermass (Abb. 38 b), c), [30], [31], [32]).

Das zweite Tandem bestand aus **Christian Spathelf**, der in verschiedenen Richtungen bewehrte Betonplatten ermüdete (Abb. 39 a)), und **Holger Diederich**, der schrittweise einen Messwagen entwickelte, der auch ohne schweren Metallkern ein Magnetfeld induzieren konnte und der die Detektion der Magnetfelder bis zur automatisierten Mustererkennung vorantrieb (Abb. 39 b), c), [33], [34]).

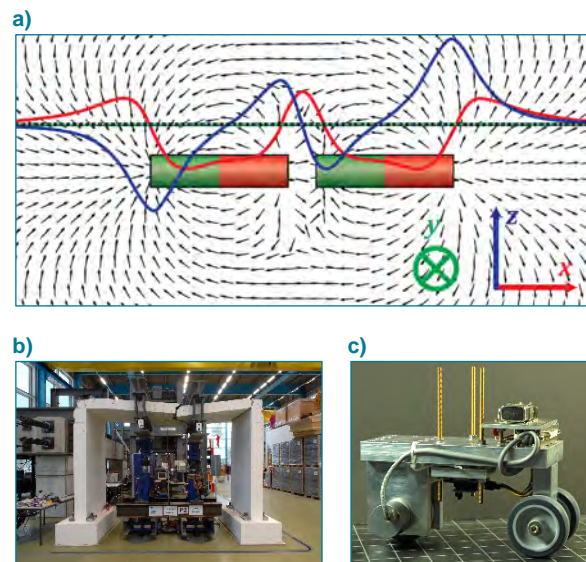


Abb. 38 Ermüdungsversuche an Stahlbetonrahmen; a) Prinzip der magnetischen Streufeldmethode, b) Versuchsaufbau, c) Messwagen

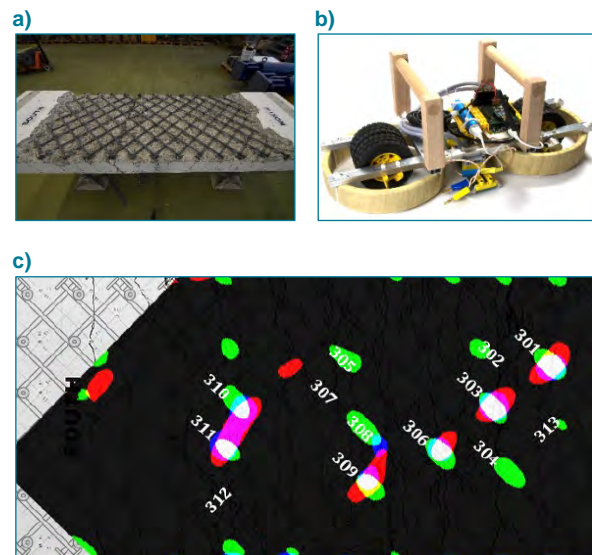


Abb. 39 Ermüdungsversuche an Stahlbetonplatten; a) Platte nach dem Versuch mit freigelegter Bewehrung, b) Messwagen mit Magnetspulen, c) Detektierte Ermüdungsbrüche

4.10 Noch laufende Dissertationen

Im Moment sind bei mir noch zwei Doktorandinnen tätig, die nächstes Jahr abschliessen sollten:

Yasmin Lemcherreq beschäftigt sich auch mit Ermüdung, aber nicht des Betonstahls, sondern des Verbunds zwischen Stahl und Beton [35].

Salma Mozaffari untersucht digitale Methoden, wie Fachwerkmodelle und Spannungsfelder auch in dreidimensionalen massigen Betontragwerken verwendet werden können, um einen vernünftigen Krafftfluss zu erzeugen und die erforderliche Bewehrung entsprechend einzulegen [36].

Schliesslich betreue ich mit **Bernhard Schranz** noch einen Doktoranden an der Empa, der den Einsatz von "Memory Stahl" zur Verstärkung von Tragwerken untersucht, d.h. Stahl, der durch Erhitzen einen vorherigen Zustand wieder einnimmt, und dadurch eine Vorspannung ausüben kann [37].

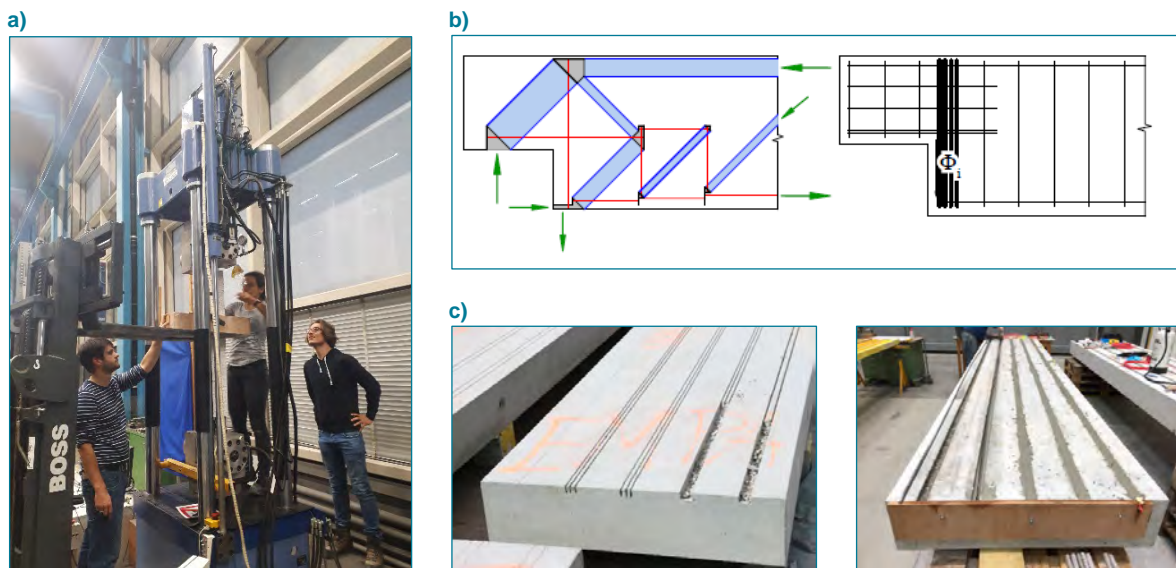


Abb. 40 Laufende Dissertationen; a) Ermüdungsverhalten des Stahl-Beton-Verbunds, b) Räumliche Fachwerkmodell und Spannungsfelder, c) "Memory-Stahl" zur Verstärkung von Tragwerken

4.11 Entwicklung des Doktorats³

Das Doktorat hat sich seit meiner Berufung an die ETH entscheidend verändert. Zu Beginn brauchte ich meine Stellen um Assistenten anzustellen, die die Lehre trugen. Von einer Dissertation sprach man allenfalls mit jenen, die sich in der Assistentenrolle bereits bewährt hatten, mit dem Resultat, dass sich Anstellungsdauern von sechs Jahren und mehr ergaben. Deshalb suchte ich schon bald – wie auch meine Kollegen im Institut – nur noch Doktorierende in einer Zahl, die sich noch finanzieren liess und erlaubte, die Lehrbelastung auf genügend Schultern zu verteilen. Mit der Anstellung von Absolventen anderer Studienrichtungen und von andern, auch fremdsprachigen Universitäten, liessen sich nicht mehr alle für alle Lehraufgaben einsetzen.

Zu Beginn waren die Themen praktisch nur experimentell, d.h. eine Forschungsfrage wurde in ein Versuchsprogramm umgesetzt, dieses durchgeführt und sauber und ausführlich dokumentiert. Die Versuchsprognose vor und die Resultate nach den Versuchen dienten der Erarbeitung und Validierung eines Modells und bildeten den Kern der Dissertation.

Wenn Zeit blieb wurden Modell und Resultate auch in wissenschaftlichen Zeitschriften publiziert.

Dieser letzte Punkt ist inzwischen zum Hauptkriterium geworden. Bereits der Forschungsplan wird an speziellen PhD-Symposien vorgestellt, vorläufige Resultate, wenn möglich in einer renommierten Zeitschrift veröffentlicht und die letzten Erkenntnisse unter Repetition des bereits publizierten auch noch irgendwo untergebracht. Versuchsberichte liegen zeitlich kaum mehr drin und so gehen alle Resultate, die im Format der Zeitschriftenartikel keinen Platz haben, langfristig verloren.

Es ist deshalb nur folgerichtig, die Publikationen zum Gegenstand sogenannter kumulativer Dissertationen oder Paper-Dissertationen zu machen. Allerdings sind dann in jedem Paper noch andere Autoren involviert und es wird immer schwieriger zu eruieren, wer was an das Gesamtergebnis beigetragen hat.

³ Dieses Kapitel hätte ich der Zuhörerschaft der Abschiedsvorlesung nicht zugemutet, da eher langweilig und schlecht illustrierbar.

4.12 Weitere Episoden

In der Folge möchte ich einige weitere Episoden zum Besten geben, die ihren Ursprung in der Forschung hatten.

4.12.1 Synergien bei diversen Themen

Bei der geschilderten Art, wie die Themen zusammen mit den Doktorierenden ausgewählt wurden (\rightarrow 4.1), ergab sich die grosse Diversität, wie ich sie soeben aufgezeigt habe. Damit waren meine Doktorierenden häufig auf sich gestellt und hatten kaum fachliche Gesprächspartner in der eigenen Gruppe, sondern mussten sich diese anderswo, auch international, suchen.

Umso mehr freute es mich, wenn ganz unverhofft Synergien auftraten. Zum Beispiel wurde der Stoss zweier elastischer Kugeln bereits von Heinrich Hertz (1847-1894) untersucht und der Stoss auf einen elastischen Halbraum ist ein Spezialfall davon (Abb. 41, [38]).

Sowohl meine Steinschlagspezialistinnen und -spezialisten gingen von dieser Theorie aus, als auch Georg Kocur, der Stahlkugeln auf Stahlplatten springen liess um Sensoren für Schallemissionssignale zu kalibrieren (Abb. 42).

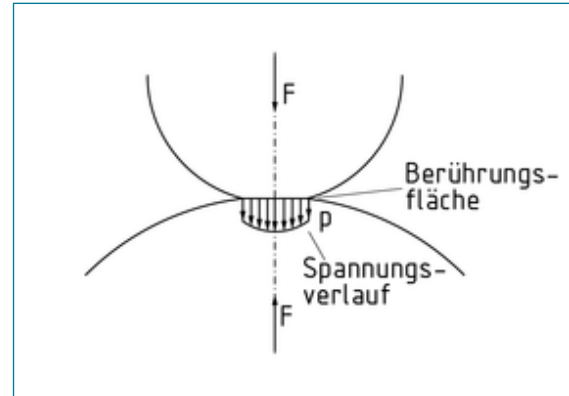


Abb. 41 Elastische Stosstheorie von Heinrich Hertz

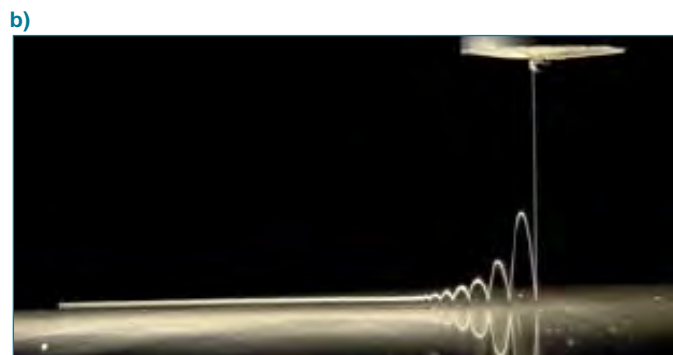
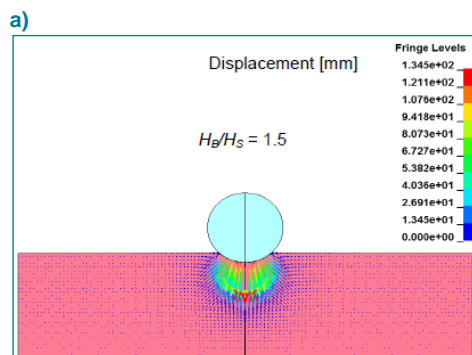


Abb. 42 Anwendungen der Hertz'schen Stosstheorie; a) Steinschlag auf Lockergesteinsschicht, b) Stahlkugel auf Schallemissionssensor

4.12.2 Ponte Moesa/Soundprint

Der Ponte Moesa in Roveredo war eine Spannbetonbrücke aus dem Jahr 1952 mit bekannten Korrosionsschäden an den Spanngliedern (Abb. 43 a) und b)). Deshalb beschloss die AG Brückenforschung des Bundesamts für Strassen, das kommerziell angebotene Schallemissions-System Sound-Print anzuwenden, um allfällige Drahtbrüche detektieren und deren Signale von andern unterscheiden zu können (Abb. 43 c)). Wir wurden mit der wissenschaftlichen Begleitung betraut und bereiteten uns vor, einzelne Drähte der Spannglieder zu Bruch zu bringen und alle möglichen sonstigen Geräusche an der Brücke zu erzeugen. Den zweiten Punkt gaben wir bald auf, da das Aufzeichnungssystem deutlich unterscheiden konnte, ob ein Klopfen, Hämmer oder sonst etwas stattfand oder eben ein Drahtbruch (Abb. 43 d)).

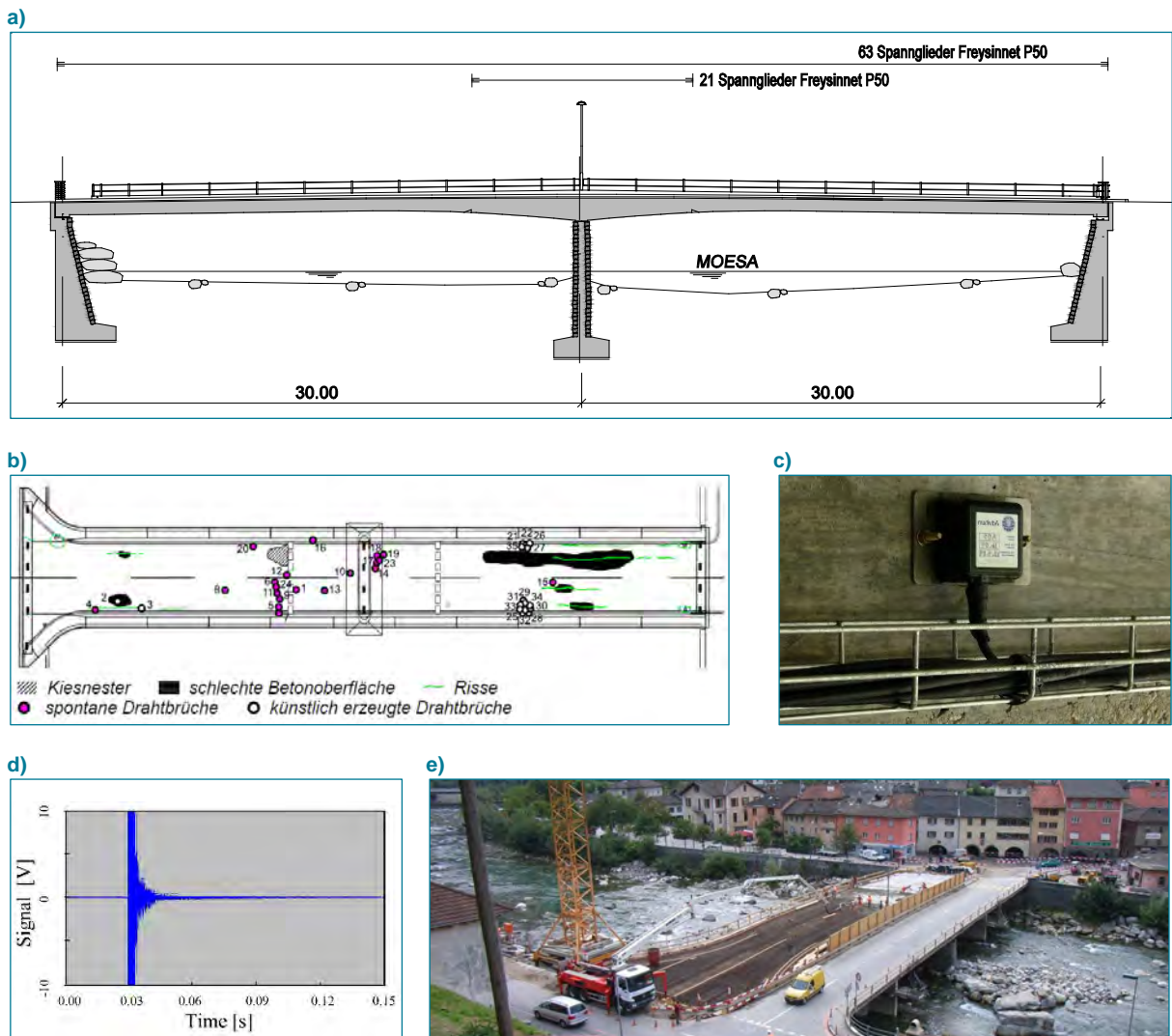


Abb. 43 Ponte Moesa in Roveredo GR; a) Längsschnitt, b) Grundriss mit Ergebnissen der visuellen Inspektion und Drahtbrüche, c) Sensor an Seitenfläche montiert, d) Signal eines Drahtbruchs, f) Betonieren der Fahrbahnplatte der Nachfolgebrücke

Das Zerstören einzelner Drähte sollte natürlich ohne verräterische mechanische Manipulation geschehen, und so liessen wir uns von **Dr. Fritz Hunkeler** Korrosionszellen bestehend aus Autobatterie und Salzsäurebehälter bauen, die einen 7 mm Draht innert 24 Stunden durchkorrodieren liess (Abb. 44).

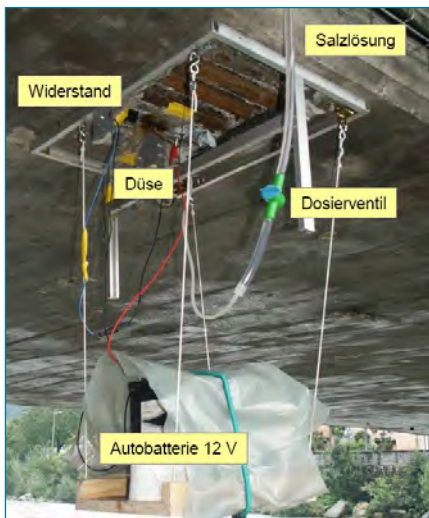


Abb. 44 Vorrichtung zum Durchkorrodieren von Spanndrähten

Der verantwortliche Ingenieur erlaubte uns anfänglich, vier der über 750 Drähte durchzukorrodieren. Bereits bevor eine der Korrosionszellen zum Einsatz kam, wurden uns zwei spontane Spannstahlbrüche gemeldet. Sofort reduzierte sich die Zahl der erlaubten provozierten Brüche von vier auf zwei, die dann von SoundPrint auch erkannt und geortet werden konnten [39].

In der Folge wurde ca. jeden Monat ein Drahtbruch gemeldet und die Brücke, die ursprünglich noch zehn Jahre hätte in Betrieb bleiben sollen, wurde zuerst unterspriesst und später ersetzt (Abb. 43 e)). Der Abbruch gab Gelegenheit noch viele weitere Drähte elektrochemisch durchzukorrodieren und die Schallemissionen zu erfassen bzw. erfassen zu lassen. Der Abbruch ergab für Stefan Fricker auch die Gelegenheit, zusammen mit **Dr. Heidi Ungricht** zebramässig Korrosionszustand und Vorspannung der Spanndrähte sowie Verfüllungsgrad der Hüllrohre praktisch flächendeckend zu erfassen [40].

4.12.3 Viadukt Wassnerwald / Schwertransporte Kanton Uri

Im Kanton Uri war ich 1997 bis 2005 Experte für die Instandsetzung der Kunstbauten zwischen Wassen und Göschenen, unter anderem auch der Trutzigbrücke oberhalb von Wassen (Abb. 45 a)). Durch Ausnützen der Tragreserven gelang es bei dieser Brücke weitgehend, auf Verstärkungen zu verzichten.

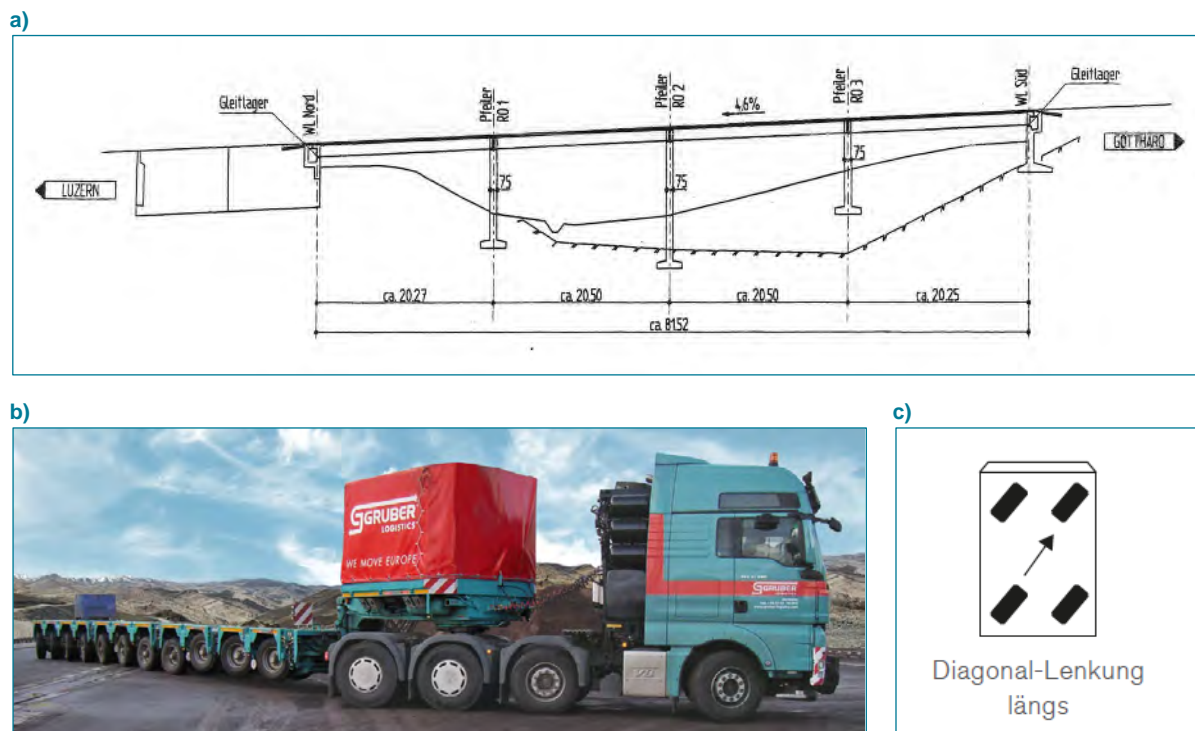


Abb. 45 Trutzigbrücke oberhalb Wassen UR; a) Längsschnitt, b) Schwertransport (Symbolbild), c) Diagonalstellung der Räder

Ein Jahr nach Abschluss der Instandsetzungsarbeiten erfuhr **Heribert Huber**, der Brückeningenieur des Kantons Uri, an einem Donnerstag, dass die Kantonspolizei für das kommende Wochenende einen Schwertransport mit 195 t über die Gotthardautobahn für das Kernstück einer Tunnelbohrmaschine bewilligt hatte, das über den See transportiert worden war und in Flüelen soeben auf ein Spezialfahrzeug umgeladen wurde (Abb. 45 b)). Er lud auf Freitagnachmittag die verantwortlichen Ingenieure und mich zu einer Krisensitzung ins Bahnhofbuffet Zürich ein.

Die Vorbereitung auf die Sitzung war relativ einfach, da die Trutzigbrücke aus vorgefertigten Trägern bestand, wie der Viadukt Wassnerwald, von dem wir sechs Träger zu Bruch gebracht hatten. So kannten wir nicht nur die effektive Bruchlast, sondern auch die Last, bei der sich die ersten Risse bilden. Die Tragfähigkeit der Brücke war überhaupt kein Problem und die Risslast war seit der Erstellung im Jahr 1978 noch nie erreicht worden. Es wäre schade gewesen nach 24 Jahren mit einem Schwertransport Risse zu erzeugen. Heribert Huber hatte bereits einen Gerüstbauer aufgebeten, da er erwartete, dass wir Klebebewehrungen vorschlagen würden, um die Brücke zu verstärken. Wir kamen jedoch zum Schluss, dass Klebebewehrung nicht viel nützen, sondern eher das Beobachten der Betonoberfläche behindern würden. Die Lösung war ein möglichst diagonales Befahren der Brücke, so dass sich alle Träger an der Lastaufnahme beteiligen konnten (Abb. 45 c)). Es wurden lediglich Deformationen gemessen, mit denen später das Tragmodell aktualisiert und noch mancher Schwertransport bewilligt werden konnte (Abb. 45 b)).

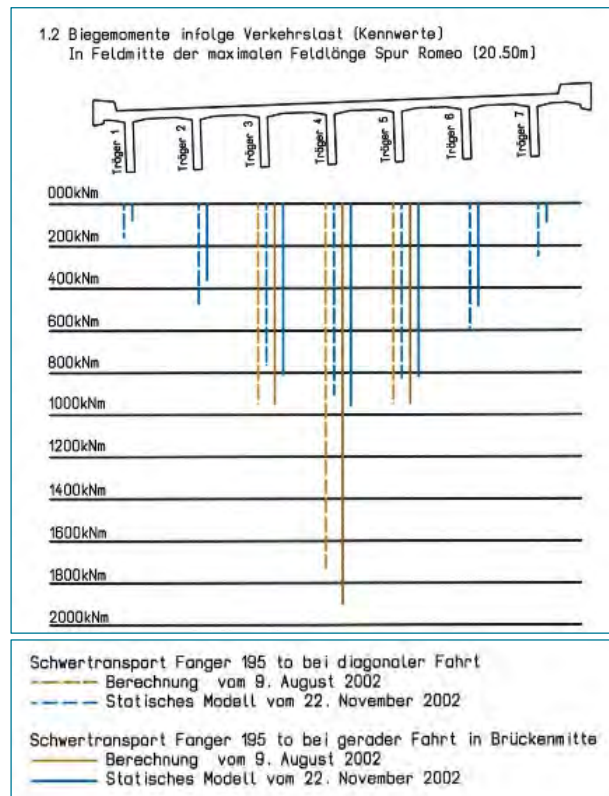


Abb. 46 Verteilung der Verkehrslast auf die sieben vorgefertigten Träger

Am Vorabend war es bei mir spät geworden und ich war etwas müde; ein Zustand, den ich aus meinen früheren Militärdiensten kannte, der aber nicht davon abhielt schwerwiegende Entscheide zu treffen.

Die Sitzung dauerte etwas länger als vorgesehen und ich rief meine Frau an und teilte ihr mit, dass ich mit Heribert Huber im Bahnhofbuffet sitze und wohl etwas später nach Hause kommen würde. Ihre Reaktion war: "Bist du betrunken?", denn für sie war der Name Heribert Huber vor allem mit den Apéros im Rahmen der IVBH verknüpft.

Meine Antwort: "Nein, stocknüchtern aber etwas müde."

4.12.4 Steinschlagversuche in Japan

In der Steinschlagforschung gab es früh eine Zusammenarbeit mit japanischen Forschern um **Prof. Dr. Norimitsu Kishi** von der Universität in Sapporo, die von **Dr. Kristian Schellenberg** initiiert und aufrechterhalten wurde. In seiner Teilzeitanstellung als Oberassistent bei mir, gleiste er ein gemeinsames Forschungsprojekt mit Prof. Kishi und seinen Mitarbeitern auf, an dem sich auch die Schweizer Brückenforschung finanziell beteiligte.

Das Versuchsprogramm umfasste Fallversuche mit Fallkörpern von 2 bis 10 t Masse mit Fallhöhen von 5 bis 30 m auf ein 12 m langes Stück Galerie im Massstab 1:1 mit drei verschiedenen Überdeckungen. **Christina Röthlin** dislozierte für ein paar Monate nach Sapporo um die Versuche zu begleiten. Ich selber hätte gerne auch längere Zeit in Japan verbracht, aber wie es so läuft, blieb am Schluss noch ein Zeitfenster von etwa vier Tagen für Hin- und Rückreise und Tests. Das heisst, der Professor aus Zürich reiste an für die letzten drei Fallversuche mit Fallmasse 10 t auf eine Kiesüberdeckung. Zwei Tests mit Fallhöhe 15 m und allenfalls ein Abschlusstest mit Fallhöhe 30 m (Abb. 47).



Abb. 47 Steinschlagversuchsanlage Kakuyama in Ebetsu (Hokkaido), Japan

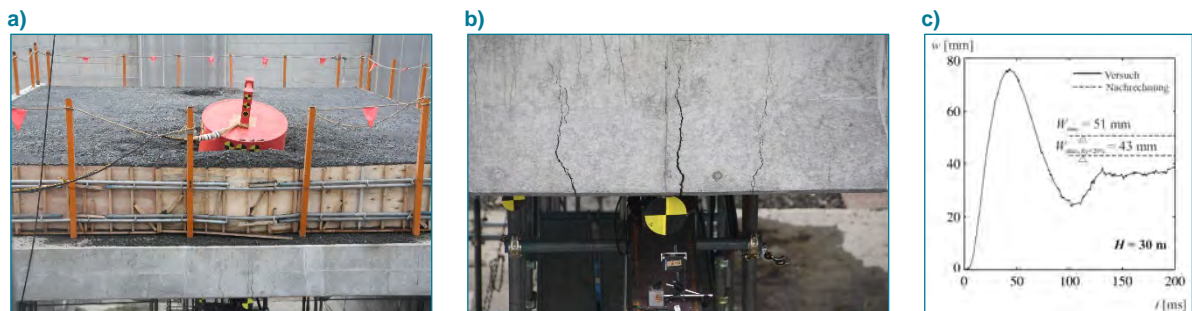


Abb. 48 Letzter Fallversuch auf Kiesüberdeckung mit Fallmasse 15 t und Fallhöhe 30 m; a) Eingedrungener Fallkörper, b) Risse in der Galeriedecke, c) Durchbiegung im Zeitverlauf

Die Durchbiegung erreichte schliesslich kurzfristig 76 mm, von denen 35 mm permanent verblieben (Abb. 48, [41]).

Ob dieser letzte Test auch durchgeführt wird, wurde weitgehend mir überlassen, da die Japaner wohl auch um ihre vielen Abstandsmessgeräte (LVDTs) fürchteten, die unterhalb der Galeriedecke in einem Abstand von 200 mm angebracht waren. Die vorhergehenden Versuche mit halber Fallhöhe ergaben maximale Durchbiegungen von 17 und 37 mm. Eine grobe Abschätzung ergab, dass wir es wohl wagen konnten. Da kurz vorher ein Platzregen niedergegangen war, war die Beobachtungsplattform mit einem Zeltdach überdeckt worden, das den Blick auf den Fallkörper in über 30 m Höhe behinderte. Das Ausklinken des Fallkörpers war deshalb nicht beobachtbar, sondern nur hörbar und der Fallkörper trat erst nach über zwei Sekunden ins Gesichtsfeld; die längsten zwei Sekunden meines Lebens.

5 Engagement für die ETH

Ich habe mich nicht nur für das engere Fachgebiet interessiert, sondern im Institut von Anfang an übergeordnete Aufgaben übernommen, wie z. B. das Ressort "Bild und Grafik" im Institut.

5.1 Hochschulversammlung

Auch in der Abteilung II und später im Departement riefen übergeordnete Aufgaben. **Prof. Dr. Hans Rudolf Schalcher** fragte mich 1997 an, ob ich nicht die Professorenschaft in der Hochschulversammlung, dem Mitwirkungsorgan der ETH, vertreten wolle. Dort beschäftigten wir uns mit Indikatoren für die kriteriengestützte Zuteilung der Budgetmittel, bevor wir überhaupt wussten, dass man denen so sagt.

Zwei Jahre später war ich Präsident der Hochschulversammlung und wir formulierten die ersten Leistungsaufträge für die ETH und definierten darin, was Globalbudget und Autonomie eigentlich bedeuten⁴ (Abb. 49).

Die Zielvereinbarung beruht auf dem Grundsatz der gegenseitigen Verpflichtung über vier Jahre, wobei beide Seiten alles unternehmen, um Mittel und Leistungen sowie Ziele aufeinander abzustimmen. Die im revidierten ETH-Gesetz festgeschriebene Autonomie bedeutet, dass es ganz im Ermessen der ETH Zürich steht, neue Aufgaben zu übernehmen oder bestehende Aufgaben abzugeben. Die Einflussnahme von aussen darf nur indirekt über die Bemessung des Globalbudgets erfolgen, wobei aber die Zuordnung der Ressourcen auf einzelne Aufgaben Sache der ETH Zürich ist.

Abb. 49 Ausschnitt aus der ersten Leistungsvereinbarung 2000-2003 von ETH-Rat und ETH Zürich mit von der Hochschulversammlung eingebrachter Definition der Autonomie der Hochschulen

Höhepunkte waren sicher die Audienz bei Bundesrätin Ruth Dreifuss (03.09.2001) im Zuge der Revision des ETH-Gesetzes von 2003 und das Aufsetzen der Vereinbarung für die Vertretung der beiden Hochschulversammlungen von Zürich und Lausanne im ETH-Rat, die bis heute funktioniert (Abb. 50).

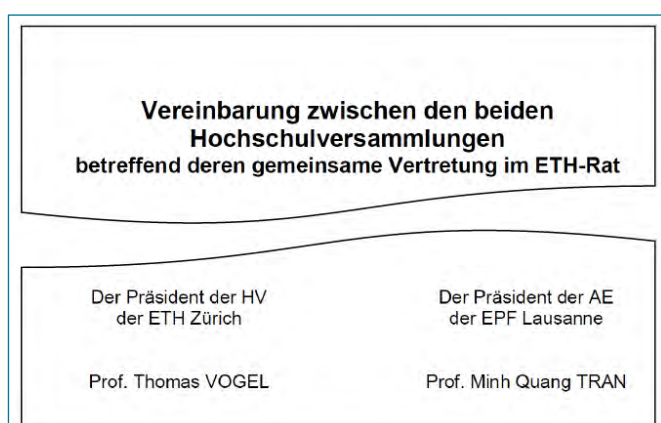


Abb. 50 Kopf und Unterschriften der Vereinbarung, die festlegt, wie die gemeinsame Vertretung der Hochschulversammlungen von EPFL und ETH Zürich nominiert werden soll

⁴ Wie sehr sich die Verhältnisse seit damals verändert haben, zeigt die Tatsache, dass heute die Strategischen Ziele des Bundesrats für den ETH-Bereich für die BFI-Periode 2017–2020 den damaligen Leistungsauftrag des Bundesrates an den ETH-Bereich ersetzen.

5.2 Prorektor Doktorat

Nachdem ich 2005 als Präsident der Hochschulversammlung zurückgetreten war, verschwand ich für ein paar Jahre in der Versenkung, d.h. Lehre und Forschung in der Professur, bis mich die damalige Rektorin **Prof. Dr. Heidi Wunderli-Allenspach** 2008 anfragte, ob ich Prorektor für das Doktorat werden wolle. Meine spontane Reaktion: "Das geht doch nicht; ich habe ja selber nicht doktriert." Sie hat mich dann überzeugen können, dass die Erfahrung als Doktorvater und Studiendelegierter auch reichen könnte. Es brauchte dann jedoch zwei Anläufe in der Schulleitung, bis ich schliesslich gewählt wurde und das Amt acht Jahre unter drei Rektorinnen bzw. Rektoren ausübte (Abb. 51 a)-c)).

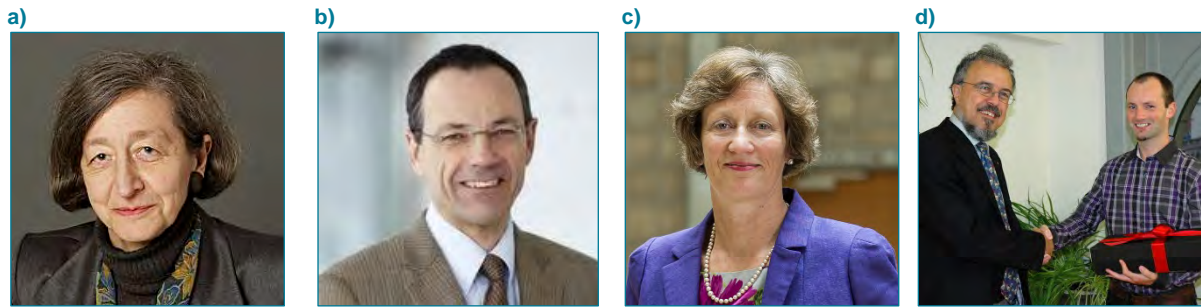


Abb. 51 Rektorinnen und Rektoren während meiner Zeit als Prorektor für das Doktorat; a) Prof. Dr. Heidi Wunderli-Allenspach, b) Prof. Dr. Lino Guzzella, c) Prof. Dr. Sarah M. Springman, d) Verleihung des 20'000. Dokortitels an den Umweltnaturwissenschaftler Kay Steinkamp

Wichtige Meilensteine waren

- das ETH-weite Durchsetzen des Forschungsplans mit einer Kombination von Überzeugung, sanftem Druck, Förderung des Wettbewerbs unter den Departementen und vorübergehender Einschränkung des Promotionsrechts in Einzelfällen.
- detaillierte Statistiken zur Erfolgsquote im Doktorat und zu Gründen für das Scheitern
- Ablösung des Fast Tracks im Doktorat, der nie so richtig funktioniert hatte, durch das Direktdoktorat
- Etablierung eines regelmässigen Erfahrungsaustauschs mit den Ombudspersonen und den Beratungsstellen des Mittelbaus
- Vorbereitung des Doppeldoktorats mit der Universität Zürich.

In meine Amtszeit fiel auch die Verleihung des 20'000. Dokortitels seit Gründung der ETH Zürich (Abb. 49 d)).

5.3 Departementsvorsteher und Sprecher der Departementsvorsteher(innen)

Als schliesslich unser Departementskollege **Ueli Weidmann** per anfangs 2016 in die Schulleitung berufen wurde, brauchte das D-BAUG innert drei Monaten einen neuen Vorsteher. Anstatt die Forschungsaktivitäten, die doch etwas unter den Nebenämtern gelitten hatten, nochmals hochzufahren, bot sich mir eine ideale Gelegenheit als Departementsvorsteher meine vielfältigen Erfahrungen und Kontakte nochmals sinnvoll anzuwenden.

Ein Höhepunkt meiner Amtszeit war sicher der ETH-Tag 2016 mit der Verleihung der Ehrendoktorwürde an meinen Studienkollegen Max Meyer (Abb. 52 a)).

Ende Juli durfte ich dieses Amt an meinen Nachfolger **Paolo Burlando** übergeben.

Wie viele andere hätte ich mir die letzten Monate meiner Amtszeit etwas anders vorstellen können, als nicht nur die Vorlesungen, sondern auch alle möglichen Sitzungen aus dem Home-Office zu absolvieren (Abb. 52 b) und c)).



Abb. 52 Vorsteher des Departements Bau, Umwelt und Geomatik; a) ETH Tag 2016, b) Corona Videotagebuch aus dem D-BAUG (8.5.2020), c) Vorlesung aus dem Home-Office

Da die Departementsvorsteher(innen) relativ häufig wechseln, gehörte ich in der Departementsvorsteherkonferenz bald zu den Altgedienten und übernahm deshalb im Juni 2017 das Amt des Sprechers in einer interessanten Zeit mit interdisziplinären Initiativen, Präsidentenwechsel und Umorganisationen.

6 Neben und nach der ETH

Es gab für mich immer auch ein Leben *neben* der ETH. Dieses ist in der Regel nicht Thema einer Abschiedsvorlesung, und ich führe hier vor allem auf, was für das Leben *nach* der ETH von Belag ist.

6.1 Holz bearbeiten

Schon immer habe ich mit Holz gearbeitet und viele Spielzeuge unserer zwei Kinder und Möbel nach Mass selbst hergestellt. Auch eine zweistöckige Baumhütte aus Lärchenholz war gefordert (Abb. 53).

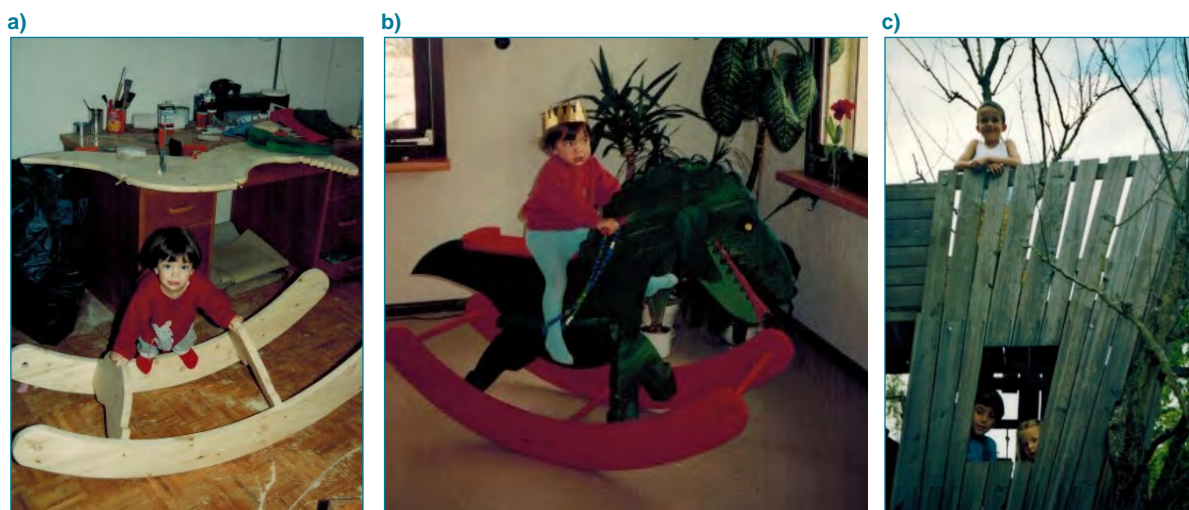


Abb. 53 Arbeiten mit Holz; Gampel-Dinosaurier, a) im Entstehen und b) im Gebrauch, c) Zweistöckige Baumhütte aus Lärchenholz

Später waren es dann auch Kulissen des Kindertanztheaters⁵, bei dem unsere Tochter – unter anderem in dieser Halle⁶ – mitspielte und mitinszenierte (Abb. 54).

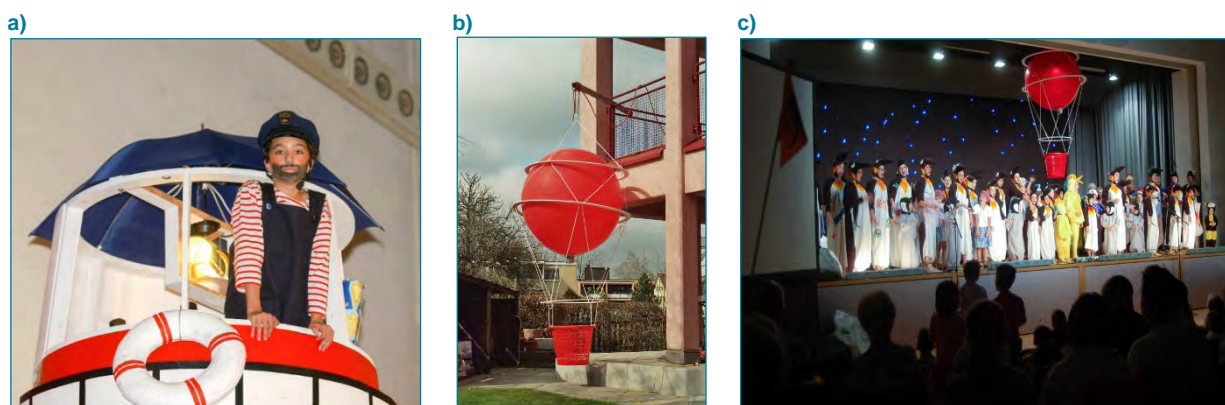


Abb. 54 Bühnenbau und Requisiten für das Kindertheater Doris Sturzenegger; a) Leuchtturm für "Isola Paradiso" (2003), "Feliz, der letzte Kaiser" (2007); Ballon b) im Test und c) auf der Bühne

⁵ Kindertanztheater Doris Sturzenegger
<https://kindertanztheater.ch/>

⁶ Stadthalle Bülach

6.2 Experimentieren

Da es heute kaum mehr möglich ist, neben einer Professur in einem Ingenieurbüro tätig zu sein, versuchte ich auf andere Weise Tragwerke selber zu entwerfen und zu realisieren.

Eine ideale Spielwiese bot unser Garten, der zum Haus gehört, das wir 2002 in Bülach kaufen konnten.

6.2.1 Pergola

Erst ging es darum, unserem Sitzplatz wieder Schatten zu verschaffen, nachdem der Sturm Lothar eine grosse schattenspendende Linde gefällt hatte. Da der angenehmste Schatten von Pflanzen kommt, ging es darum, eine Konstruktion zu entwerfen, die sich auf die vorhandenen Kalkquader abstützt und die Sicht auf das Gartenhäuschen nicht behindert. Die Lösung war eine Stahlkonstruktion nach dem Prinzip *Velorad mit Speichen*, die verschiedenen Kletterpflanzen Halt bietet. Für die Auswahl der Pflanzen orientierten wir uns am MFO-Park in Oerlikon und über die Jahre entstand ein farbenfrohes Schattendach (Abb. 55).

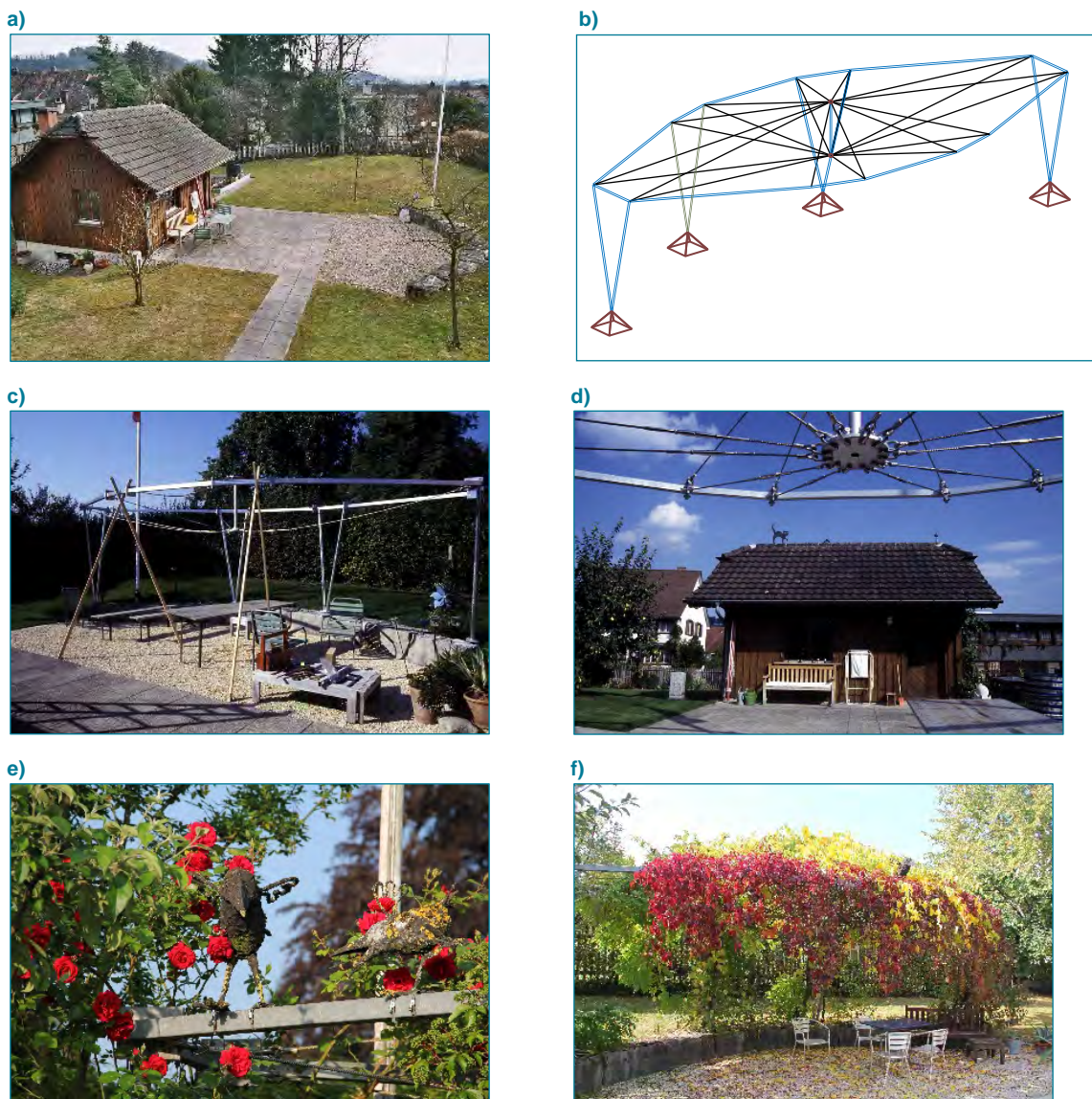


Abb. 55 Pergola als Schattenspender für Sitzplatz; a) Situation ohne Schatten, b) Tragkonstruktion, c) Montagezustand, d) Freie Sicht aufs Gartenhäuschen, e) Flora und "Fauna", f) Farbenpracht im Herbst

6.2.2 Laube

Nicht möglichst schnell, sondern im Tempo der Natur zu bauen, faszinierte mich auch sonst und führte zum nächsten Projekt. Anstatt Bäume zu fällen und sie nachher nach allen Regeln der Kunst vor dem Vermodern zu schützen, sollten sie von Anfang an in eine Form gebracht werden, die ein Tragwerk ergibt. Statt 99 Luftballons sollen 94 Spitzahorn-Stecklinge eine Kuppel bilden. Weitere vier sind vorgesehen, beidseits langfristig eine Leiter zu bilden, so dass auch die Aussenseite der Kuppel erreichbar bleibt (Abb. 56).



Abb. 56 Entwicklung der Laube aus Spitzahorn-Stecklingen; a) Pflanzung im März 2012, b) Wintereinbruch Oktober 2012, c) Oktober 2013, d) Oktober 2017, e) November 2018, f) Oktober 2020

Eine unserer zwei Katzen heisst **Hemingway** oder kurz **Hemi** und hält sich besonders gern in der Kuppel auf, da sie bei Bedarf nach allen Seiten flüchten kann. Deshalb nennen wir die Kuppel nun auch *Hemisphäre*.

6.3 Saxofon

Ein weiteres Hobby ist das Saxofonspiel. In einem Sabbatical im Jahr 2006 entwickelte ich nicht nur neue Forschungsideen, sondern mietete ein Tenorsaxofon und nahm Stunden in der Musikschule. Drei Jahre später ergab sich die Gelegenheit, bei der sich in Gründung befindlichen **Big Band Zürich**⁷ einzusteigen, die 2010 mit ersten Konzerten auftrat (Abb. 57).

a)



b)



c)



Abb. 57 Tenorsaxofon bei verschiedenen Auftritten; a) Big Band Zürich 2018 auf dem Bauschänzli in Zürich, b) Big Band Zürich am Winzerfest 2013 in Döttingen AG, c) Saxofon Workshop an den Musik-Kurswochen Arosa 2016

6.4 Imkerei

Mit der Imkerei ergab sich ein weiteres Hobby. Ich hatte bereits zwei Imkerkurse besucht und die Frage stellte sich, ob ich jetzt wieder alles vergessen, oder doch eigene Bienen anschaffen sollte, obwohl ich ja eigentlich noch keine Zeit dafür hatte. Ich entschied mich für das zweite und machte meine ersten praktischen Erfahrungen mit schwärmenden Bienenvölkern, im Jahr 2019 vor allem über Ostern. Im 2020 war es kein Problem, im Home-Office zwischen zwei Zoom-Sitzungen halt auch einmal einen Schwarm einzufangen. Die Honigernte entschädigt dann jeweils für die Stiche, die einen Allergiker auch mal in die Notaufnahme des Spitals bringen können (Abb. 58).

a)



b)



c)



Abb. 58 Meine Imkerei; a) Gartenhäuschen mit vorgelagerten Magazinen, b) Rosmarinbusch in der Anflugschneise, c) Einfangen eines Bienenschwarms

⁷ <https://www.bigbandzh.ch/>

6.5 Ferien auf Hausbooten

Wenn der Mai vorbei ist, kann sich auch ein Imker erlauben, seine Bienen für längere Zeit sich selber zu überlassen. In den letzten Jahren habe ich zusammen mit meiner Frau und zuweilen mit weiteren Personen meine Ferien auf Hausbooten in den verschiedensten Ländern verbracht. Dies ist die totale Entschleunigung; man bewegt sich mit etwa 8 km/h mit seiner schwimmenden Ferienwohnung in interessanter Umgebung mit vielerlei spannenden Brücken- und Wasserbauten und kann diese aus lohnender Perspektive fotografieren.

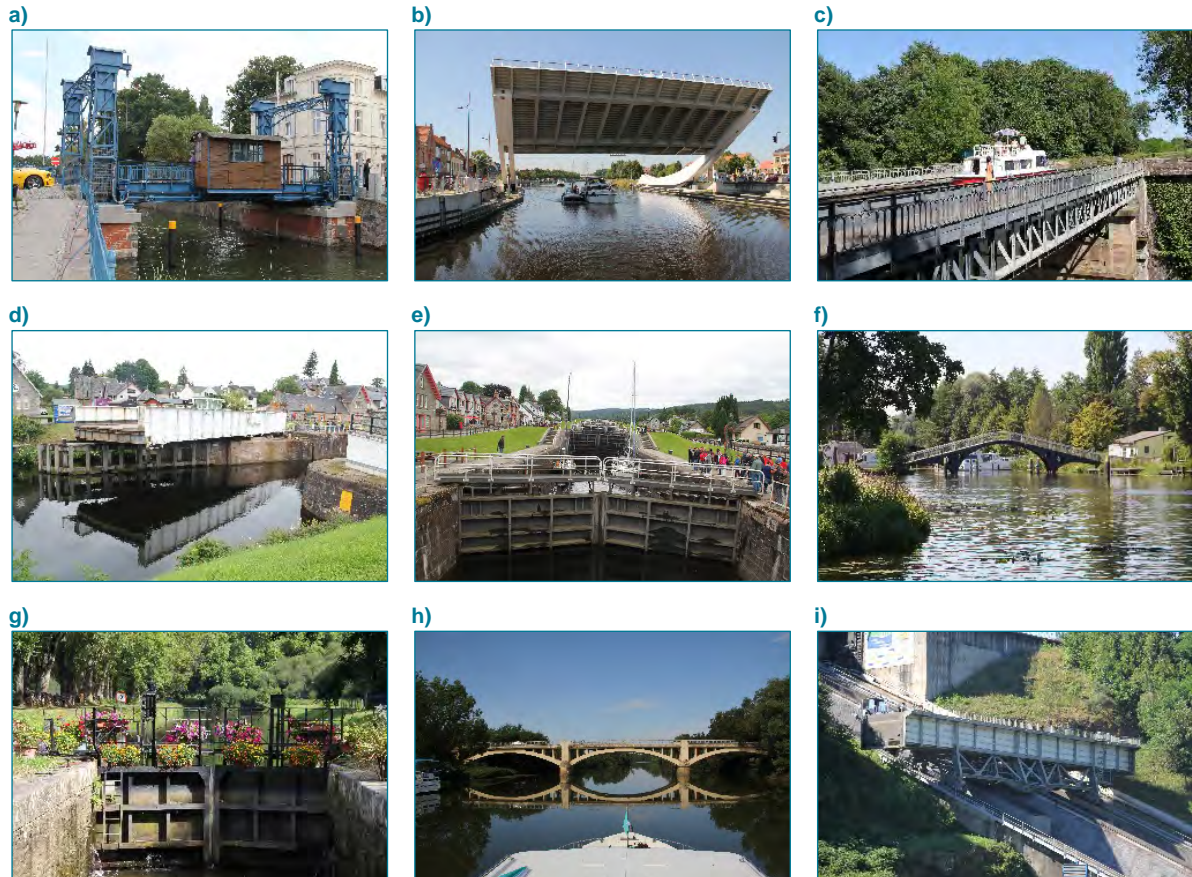


Abb. 59 Brücken und Wasserbauten, vom Hausboot aus fotografiert; a) Hubbrücke Plau am See, Mecklenburgische Seenplatte D 2011, b) Hubbrücke über die Reie in Brügge, Flandern B 2012, c) Kanalbrücke La Forge, Vogesen/Lothringen F 2013, d) Drehbrücke in Fort Augustus, Schottland UK 2015, e) Schleusentreppe in Fort Augustus, Schottland UK 2015, f) Bodenstrombrücke in Zehdenick, Mecklenburgische Seenplatte D 2017, g) Schleuse bei Josselin, Bretagne F 2018, h) Pont Seille bei Sermoyer, Burgund/Saône F 2019, i) Schiffshebewerk Saint-Louis/Arzwiller, Vogesen/Lothringen 2020

7 Schluss

7.1 Wie geht es weiter?

Mir wird es sicher nicht langweilig. Nebst den erwähnten Hobbies, die alle noch ausbaubar wären, werde ich ab Februar nächsten Jahres zuweilen Ja sagen können, wenn eine neue interessante Aufgabe an mich herangetragen wird.

Zwei solche haben mit der Legislaturperiode 2020-2024 bereits begonnen; einerseits die **Beschwerdekommision des ETH-Bereichs**⁸, der ich schon seit anfangs dieses Jahres angehöre und andererseits die **Rüstungskommission**, die beratende Kommission des Bundesamtes für Rüstung (armasuisse)⁹, die mich als Immobilien- und Infrastrukturfachmann haben wollte.

Ein drittes Amt ist das Präsidium der **waterkiosk foundation**¹⁰, das ich kürzlich antreten durfte. Diese hat zum Ziel in Tansania die lokale Bevölkerung soweit zu bringen, dass sie verschiedene Techniken zur Aufbereitung von Trinkwasser mit Solarenergie selber anwenden kann.

7.2 Dank

Schliesslich bleibt mir zu danken: Zuerst der ETH und ihren Repräsentanten, die mir das geschilderte Wirken ermöglichte, dann meinen ehemaligen und jetzigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und schliesslich meiner Familie, vor allem natürlich meiner Ehefrau **Kristiana Eppenberger Vogel**, die mich immer im Hintergrund unterstützte und zu Gunsten von mir und meinen Aufgaben Vieles zurückgestellt hat, und schliesslich Ihnen und euch allen, die gerne an meine Abschiedsvorlesung gekommen wären und sich schliesslich die Zeit genommen haben, diesen Text zu lesen.

⁸ <https://www.ethrat.ch/de/eth-rat/beschwerden-meldungen/eth-beschwerdekommision>

⁹ https://www.admin.ch/ch/d/cf/ko/Gremien_interessenbindung_10555.html

¹⁰ <https://www.waterkiosk.org/de/>

Anhang

Lebenslauf

1.10.1955	geboren in Aarau
ab 1959	wohnhaft in Rheinfelden AG
1963-1971	Besuch der Primar- und Bezirksschule in Rheinfelden
1971-1975	Besuch des Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Gymnasiums Basel, Abschluss mit der Maturität Typ C
1975-1980	Bauingenieurstudium an der ETH Zürich
1977	Militärdienst (Abverdienen Korporal, Offiziersschule)
1980	Schlussdiplom; Diplomarbeit bei Prof. Dr. P. Dubas in Stahlbrückenbau
1981-1985	Sachbearbeiter und Projektleiter im Ingenieurbüro H. Rigendinger, vorm. Dr. C. Menn, in Chur
1986-1992	projektierender Ingenieur im Ingenieurbüro Guzzi AG in Zürich
1986	Prokura
1987	Beförderung zum Vizedirektor
1989	Beförderung zum Direktor
Juni - September 1992	freiberufliche Tätigkeit, Vorbereitung auf Professur
1. Oktober 1992	Berufung als ausserordentlicher Professor für Baustatik und Konstruktion an die ETH Zürich
1. Oktober 1995	Beförderung zum ordentlichen Professor für Baustatik und Konstruktion
Wintersemester 1998/99	Sabbatical an der Chalmers Universität in Göteborg, Schweden
1999-2001	Studiendelegierter "Bauingenieurwissenschaften" im Departement Bau, Umwelt und Geomatik
1996-1998	Vorsteher Institut für Baustatik und Konstruktion
2004-2006	Vorsteher Institut für Baustatik und Konstruktion
Sommersemester 2006	Sabbatical zu Hause
2013-2014	Vorsteher Institut für Baustatik und Konstruktion
April 2008-März 2016	Prorektor für das Doktorat der ETH Zürich
Januar 2016-Juli 2020	Vorsteher des Departements Bau, Umwelt und Geomatik (D-BAUG)
31.01.2021	Emeritierung

Quellenverzeichnis

- [1] Vogel Thomas, Figi Heinrich (2008): **Conceptual Design in the Education of Civil Engineers;** Proceedings, IABSE Congress 'Creating and Renewing Urban Structures –Tall Buildings, Bridges and Infrastructure, Chicago, 17.-19.09.2008, IABSE Report Vol. 17., September 2008
- [2] Schenkel Marcus, Vogel Thomas (1997): **Versuche zum Verbundverhalten von Bewehrung bei mangelhafter Betondeckung;** IBK Bericht, vol. 228, Basel: Birkhäuser, 1997.
[DOI: 10.3929/ethz-a-001800366](https://doi.org/10.3929/ethz-a-001800366)
- [3] Schenkel Marcus (1998): **Zum Verbundverhalten von Bewehrung bei kleiner Betondeckung;** IBK Bericht, vol. 237, Zürich: Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH, 1998.
[DOI: 10.3929/ethz-a-002000034](https://doi.org/10.3929/ethz-a-002000034)
- [4] SIA 269/2 (2011). **Erhaltung von Tragwerken – Betonbau;** Norm, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2011.
- [5] Köppel Stefan, Vogel Thomas (1997). **Feldversuch Steilerbachbrücke;** IBK Bericht, vol. 231, Zürich: Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 1997.
[DOI: 10.3929/ethz-a-001853810](https://doi.org/10.3929/ethz-a-001853810)
- [6] Zwicky Daia, Vogel Thomas (2000): **Bruchversuche an ausgebauten Brückenträgern aus Spannbeton;** IBK Bericht, vol. 258, Zürich: Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2000.
[DOI: 10.3929/ethz-a-004179647](https://doi.org/10.3929/ethz-a-004179647)
- [7] Zwicky Daia (2002): **Zur Tragfähigkeit stark vorgespannter Betonbalken;** IBK Bericht, vol. 275, Zürich: vdf Hochschulverlag AG and der ETH Zürich, 2002.
[DOI: 10.3929/ethz-a-004488188](https://doi.org/10.3929/ethz-a-004488188)
- [8] Vogel Thomas, Bargähr Reto (2006): **Zustandserfassung von Brücken bei deren Abbruch (ZEBRA);** vol. 608, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen, Bern, 2006.
- [9] Köppel Stefan, Vogel Thomas (2000): **Schallemissionsmessungen bei Versuchen an Stahlbeton;** IBK Bericht, vol. 259, Zürich: Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2000.
[DOI: 10.3929/ethz-a-004179654](https://doi.org/10.3929/ethz-a-004179654)
- [10] Köppel Stefan (2002): **Schallemissionsanalyse zur Untersuchung von Stahlbetontragwerken;** IBK Bericht, vol. 272, Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2002.
[DOI: 10.3929/ethz-a-004318850](https://doi.org/10.3929/ethz-a-004318850)
- [11] Schechinger Barbara (2006): **Schallemissionsanalyse zur Überwachung der Schädigung von Stahlbeton;** IBK Bericht, vol. 295, Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2006.
[DOI: 10.3929/ethz-a-005189524](https://doi.org/10.3929/ethz-a-005189524)
- [12] Kocur Georg Karl (2012): **Time reverse modeling of acoustic emissions in structural concrete;** IBK Bericht, vol. 347, Zurich: Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Institute of Structural Engineering, 2012.
[DOI: 10.3929/ethz-a-009753022](https://doi.org/10.3929/ethz-a-009753022)
- [13] Gollob Stephan (2017): **Source localization of acoustic emissions using multi-segment paths based on a heterogeneous velocity model in structural concrete;** Dissertation ETH Zurich, No. 24146, 2017.
[DOI: 10.3929/ethz-a-010870031](https://doi.org/10.3929/ethz-a-010870031)

- [14] Fricker Stephan (2010): **Schallemissionsanalyse zur Erfassung von Spanndrahtbrüchen bei Stahlbetonbrücken**; IBK Bericht, vol. 329, Zürich: ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), 2010.
[DOI: 10.3929/ethz-a-006512388](https://doi.org/10.3929/ethz-a-006512388)
- [15] Felux Małgorzata W. (2017): **Acoustic emission monitoring on bridges under regular operating conditions**; IBK Bericht, vol. 373, Zürich: ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), 2017.
[DOI: 10.3929/ethz-b-000169739](https://doi.org/10.3929/ethz-b-000169739)
- [16] Ulaga Tomaž (2003): **Betonbauteile mit Stab- und Lamellenbewehrung: Verbund- und Zuggliedmodellierung**; IBK Bericht, vol. 280, Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2003.
[DOI: 10.3929/ethz-a-004568673](https://doi.org/10.3929/ethz-a-004568673)
- [17] SIA 166 (2004). **Klebebewehrungen**; Vornorm, Ausgabe 2004, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein Zürich.
- [18] Kott Alexander, Vogel Thomas (2006): **Versuche zum Trag- und Resttragverhalten von Verbundsicherheitsglas**; IBK Bericht, vol. 296, Zürich: ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion, 2006.
[DOI: 10.3929/ethz-a-005287655](https://doi.org/10.3929/ethz-a-005287655)
- [19] Kott Alexander (2007): **Zum Trag- und Resttragverhalten von Verbundsicherheitsglas**; IBK Bericht, vol. 299, Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2007.
[DOI: 10.3929/ethz-a-005453898](https://doi.org/10.3929/ethz-a-005453898)
- [20] Trösch Erich (2015): **Tragverhalten von überlappend laminierten Verbundglasträgern für grosse Spannweiten**; Dissertation ETH Zürich, No. 22724, 2015.
[DOI: 10.3929/ethz-a-010536361](https://doi.org/10.3929/ethz-a-010536361)
- [21] Ringli René M. (2016): **Zum Kraftfluss in gestossenen Biegeträgern aus Verbundsicherheitsglas**; IBK Bericht, vol. 367, Zürich: Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich, 2016.
[DOI: 10.3929/ethz-a-010675213](https://doi.org/10.3929/ethz-a-010675213)
- [22] SIA 260 (2013). **Grundlagen der Projektierung von Tragwerken**; Norm, Ausgabe 2013, Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [23] Knoll Franz, Vogel Thomas (2009): **Design for Robustness**; Structural Engineering Documents, No 11, IABSE Zurich, May 2009.
- [24] Stempfle Hartwig (2008): **Systemtheorie im Brückenbau**; IBK Bericht, vol. 307, Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2008.
[DOI: 10.3929/ethz-a-005557146](https://doi.org/10.3929/ethz-a-005557146)
- [25] Müllers Ingo (2007): **Zur Robustheit im Hochbau: Stützensausfall als Gefährdungsbild für Stahlbetontragwerke**; IBK Bericht, vol. 304, Zürich: vdf Hochschulverlag, 2007.
[DOI: 10.3929/ethz-a-005475290](https://doi.org/10.3929/ethz-a-005475290)
- [26] Herraiz Gómez Borja (2016): **Robustness of flat slab structures subjected to a sudden column failure scenario**; IBK Bericht, vol. 368, Zürich: ETH Zürich, 2016.
[DOI: 10.3929/ethz-a-010747984](https://doi.org/10.3929/ethz-a-010747984)
- [27] Kristian Schellenberg (2009): **On the design of rockfall protection galleries**; IBK Bericht, vol. 315, Zürich: ETH Zürich, 2009.
[DOI: 10.3929/ethz-a-005816027](https://doi.org/10.3929/ethz-a-005816027)
- [28] Sara Ghadimi Khasraghy (2012): **Numerical simulation of rockfall protection galleries**; IBK Bericht, vol. 334, Zürich: ETH Zürich, 2012.
[DOI: 10.3929/ethz-a-007243367](https://doi.org/10.3929/ethz-a-007243367)

- [29] Christina Röthlin (2017): **Stahlbetonplatten von Steinschlagschutzgalerien**; Dissertation ETH Zürich, No. 24322, 2017.
[DOI: 10.3929/ethz-b-000171116](https://doi.org/10.3929/ethz-b-000171116)
- [30] Patrick Fehlmann, Thomas Wolf, Thomas Vogel (2011): **Versuche zum Ermüdungsverhalten von Stahlbetonbrücken**; IBK Bericht, vol. 332, Zürich: ETH Zürich, 2011
- [31] Patrick Fehlmann (2012): **Zur Ermüdung von Stahlbetonbrücken**; IBK Bericht, vol. 335, Zürich: ETH Zürich, 2012.
[DOI: 10.3929/ethz-a-007216527](https://doi.org/10.3929/ethz-a-007216527)
- [32] Thomas Wolf (2012): **Zur Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode**; IBK Bericht, vol. 346, Zürich: ETH Zürich, 2012.
[DOI: 10.3929/ethz-a-009753054](https://doi.org/10.3929/ethz-a-009753054)
- [33] Christian Spathelf (2018): **Fatigue Performance of Orthogonally Reinforced Concrete Slabs**; IBK Bericht, vol. 375, Zürich: ETH Zürich, 2018.
[DOI: 10.3929/ethzhttps://doi.org/10.3929/ethz-b-000253703-b-000253703](https://doi.org/10.3929/ethzhttps://doi.org/10.3929/ethz-b-000253703-b-000253703)
- [34] Holger Diederich (2016): **Zerstörungsfreie Prüfung der Bewehrung von Betonbauteilen mithilfe der magnetischen Streufeldmethode**; IBK Bericht, vol. 369, Zürich: ETH Zürich, 2016.
[DOI: 10.3929/ethz-a-010793127](https://doi.org/10.3929/ethz-a-010793127)
- [35] Lemcherreq Yasmin, Vogel Thomas (2020): **Fatigue of Bond: Experimental Investigation Using Pull-out Tests with Distributed Fibre Optical Sensors**; Proceedings, fib Symposium 2020 Shanghai/online, 22.-24.11.2020, fib Lausanne, November 2020.
- [36] Mozaffari Salma, Akbarzadeh Masoud, Vogel Thomas: **Graphic statics in a continuum: strut-and-tie models for reinforced concrete**, Computers and Structures, Elsevier, Vol. 240, 106335, November 2020.
[DOI: 10.1016/j.compstruc.2020.106335](https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2020.106335)
- [37] Schranz Bernhard, Czadersky Christoph, Shaverdi Moslem, Michels Julien, Vogel Thomas: **Strengthening and prestressing of bridge decks with ribbed iron-based shape alloy bars**, Engineering Structures, submitted 17.08.2020.
- [38] Hertz Heinrich (1881): **Ueber die Berührung fester elastischer Körper**; Journal für reine und angewandte Mathematik, Vol. 92, pp. 156-171.
[DOI: 10.1515/crll.1882.92.156](https://doi.org/10.1515/crll.1882.92.156)
- [39] Fricker Stefan, Vogel Thomas (2007): **Feldversuche mit dem akustischen Überwachungssystem SoundPrint**; vol. 609, UVEK, Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bern, Februar 2007.
- [40] Fricker Stefan, Vogel Thomas, Ungricht Heidi, Hunkeler Fritz (2010): **Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch**; Forschungsauftrag AGB 2005/014, vol. 643, UVEK, Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bern, Juni 2010.
- [41] Röthlin Christina, Kurihashi Yusuke, Yamaguchi Satoru, Konno Hisashi, Kishi Norimitsu and Vogel Thomas (2015): **Drop Weight Tests on Full-Scale Specimen of Rockfall Protection Galleries**; IBK Bericht, vol. 362, Zürich: ETH Zürich, Oktober 2015.
[DOI: 10.3929/ethz-a-010562994](https://doi.org/10.3929/ethz-a-010562994)
- [42] Marti Bauunternehmung AG (1994): **Die Zürcher Sihlpost – Eine Baudokumentation**; Zürich, Dezember 1994.
- [43] Bänziger + Köppel + Partner (2003): **Objekt SZ 104 Überführung Etzelstrasse, Gemeinde Altendorf**; Bericht Begleitung und Dokumentation Brückenabbruch, Buchs 28. Januar 2003.

- [44] Vogel Thomas (Hrsg.) **Klebebewehrung. Einführung in die Norm SIA 166**; Tagungsunterlagen, SIA-Dokumentation D 0209/d, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, August 2004.
- [45] Chikatamarla, Ravikiran (2006): **Optimisation of cushion materials for rockfall protection galleries**; Dissertation ETH Zürich, No. 16315, 2006.
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005166443>
- [46] ASTRA (2003): **"Steinschlag": Naturgefahr für die Nationalstrassen**; Schlussbericht der ASTRA-Expertengruppe.

Bildnachweise

Nummer	Legende	Bildautor(in)
Titelbild	Drei Brücken über den Firth of Forth aus drei Jahrhunderten	Autor
Seite 3	Autor	D-BAUG / Miriam Otte
Abb. 1	Ingenieure in meiner Familie	
	a) Vater Otto Vogel-Howald (1922-2003)	Regula Gerber-Vogel
	b) Onkel Rudolf Howald-Brast (1925-2013)	Regula Gerber-Vogel
	c) Onkel Hans Peter Howald-Fauser (*1939)	Regula Gerber-Vogel
	d) Grossvater Oskar Howald-Schmid (1897-1972)	ETH Bibliothek
Abb. 2	Wichtige Objekte aus der Ingenieurpraxis	
	a) Vorderrheinbrücke Zignau GR	Autor
	b) Viamala-Zentrum Thusis, Parkrampe	Autor
	c) Viamala Zentrum Thusis, Baugrube	Autor
	d) Betriebsgebäude Sihpost Zürich	Aquarellierte Bleistiftzeichnung von Alfred Koella, 1994, aus [42]
e) Viadotto Preonzo Claro TI	Autor	
Abb. 3	Von Studierenden bearbeitete Brückenprojekte aus der Praxis (Modellfotos)	
	a) Taminabrücke Pfäfers SG	Tino Tschenett (Master-Arbeit FS 2009)
	b) Vorderrheinbrücke Tavanasa GR	August Eilinger (Master-Arbeit FS 2013)
	c) Brücke Thur – Südostbahn, Wattwil SG	Roger Gämperli (Master-Arbeit FS 2010)
Abb. 4	Von Studierenden bearbeitete Hoch- und Untertagbauprojekte aus der Praxis	
	a) Hochhaus Ost Depot Hard, Zürich	François Borner (Master-Arbeit FS 2018)
	b) 4. Gleis Bahnhof Stadelhofen, Zürich	Manuel Breitenmoser, Simon Hug (Projektarbeit HS 2015)
Abb. 5	Beziehungen zwischen den verschiedenen Elementen der Erhaltung von Tragwerken	Autor nach Empfehlung SIA 162/5 und Norm SIA 260
Abb. 6	Kleine Entwurfsobjekte (Modellfotos)	Entwurf (WS 2003)
	a) Fahrradunterstand beim Freibad/ Stadthalle Bülach	Salem Blum, Christian Matzinger, Andreas Naeff (Gruppe 02)
	b) Überdachung des Bushofs Bülach	David Felix, Samuel Roos, Frédéric Steiner (Gruppe 05)
Abb. 7	Kunstabauten der Umfahrung Cunter/Savognin GR	Seminararbeit Entwurf (HS 2016)
	a) Überführung	Tobias Aebi, Raphael Fröhlich, Jonas Nägeli, Carolin Sieger (Gruppe 17)
	b) Tunnelportal Nord	Iris Schneider, Fabian Kastner, Cyprien Hoelzl, Sandro Peng; (Gruppe 15)
	c) Tunnelportal Süd	Lea Bressan, Martin Brunner, Sebastian Wehrli, Emanuel Zweifel (Gruppe 9)
Abb. 8	Identifizierung von Partikulärinteressen	
	a) Rollenspiel	LET ETH: "Teaching at ETH" (Ausschnitt Video)
	b) Resultierende Stichworte für die Nutzungsvereinbarung	Assistenz Pro. Vogel
Abb. 9	Aussichtsturm auf dem Käferberg Zürich	Projektarbeit/Entwurf (HS 2019)
	a) Modellfoto Gruppe 1-01	Yanick Graf, Simon Käslin, Rafael Koch, Joel Regenass
	b) Modellfoto Gruppe 1-02	Pascale Lindauer , Alexandre Milliet , Isabel Stang, Julien Theux
	c) Modellfoto Gruppe 1-05	Olivia Beck, Carmen Buff, Lisa Keller, Matthias Schneider

Nummer	Legende	Bildautor(in)
	d) Modellfoto Gruppe 1-06	Jérôme Pfaffen, Simon Rohrbach, Patrick Obrist, Federico Sosa
	e) Modellfoto Gruppe 2-01	Alice Ferrari, Ellen Fulton, Morena Giulieri, Dilek Kisa
Abb. 10	Venn-Diagramm der Forschungsthemen	Autor
Abb. 11	Tragfähigkeit von Stössen und Verankerungen mit minimaler Überdeckung	
	a) Schadensbild bei ungenügender Überdeckung	Autor
	b) Elastisch-plastisch gerissener Zugring um einen Bewehrungsstab im Verankerungsbereich	Marcus Schenkel [3]
	c) Versagensmechanismus bei ungenügender Überdeckung	Marcus Schenkel [3]
Abb. 12	Steilerbachbrücke Sufers	Autor
Abb. 13	Erdanker mit hydraulischen Pressen	Autor
Abb. 14	Belastung bis zum Bruch	
	a) Aufgebrachte Last und Durchbiegung im belasteten Schnitt	Versuchsbericht [5]
	b) Klaffender Diagonalriss unter der Last	Autor
Abb. 15	Freiluft-Belastungsstand für Träger des Viadukt Wassnerwald UR	Daia Zwicky
Abb. 16	Gute Übereinstimmung von Rissbild und Tragmodell mit Spannungsfeldern	Daia Zwicky [7]
Abb. 17	Schwerpunkte der Bautätigkeiten, die zum vorzeitigen Abbruch von Brücken führten	Autor
Abb. 18	Erfasste Abbrüche pro Jahr; a) Anzahl Objekte, b) Brückenfläche	Schlussbericht [8]
Abb. 19	Abbruch der Überführung Burggasse bei Altendorf SZ durch Zersägen auf Hilfsjochen	Technischer Bericht [43]
Abb. 20	Prinzip Schallemissionen	Stefan Köppel [9]
Abb. 21	Ausziehversuch; a) Testanordnung, b) Laststeigerung (gestrichelt) und Signalrate für zwei Versuche	Stefan Köppel [10]
Abb. 22	Grossversuch; a) Testanordnung, b) Lokalisierte Ereignisse und Rissbild	Stefan Köppel [10]
Abb. 23	Ortung a) Bestimmung der Ankunftszeiten der Signale als Grundlage b) Numerische Modellierung eines vorgespannten Betonquerschnitts und Simulation der Wellenausbreitung	Barbara Schechinger (Doktorprüfung)
Abb. 24	Numerische Modellierung eines Betonbalkens auf Grund einer Tomografie, Simulation der Signalquellen	Georg Karl Kocur (Doktorprüfung)
Abb. 25	Lokalisierung einer Signalquelle (roter Stern) im Betonbalken eines Biegeversuchs mit verschiedenen Methoden	Stephan Gollob [13]
Abb. 26	Detektion von Schallemissionen unter Verkehr	
	a) Hermetschloo Brücke Zürich/Schlieren	Małgorzata W. Felux (Vortrag)
	b) Amplituden der gemessenen Signale während einer Woche	Felux Małgorzata W. [15]
Abb. 27	Modell für das Versagen des Betons mit einer aufgeklebten Lamelle	Tomaž Ulaga [16]
Abb. 28	Wirkungsweise einer aufgeklebten Lamelle und zu führende Nachweise	Tomaž Ulaga (Präsentation [44])
Abb. 29	Postautoterminal in Chur	Autor
Abb. 30	Eckmechanismus bei vierseitig gelagerter Scheibe aus Verbund-sicherheitsglas mit mittiger Einzellast	Alexander Kott [19]
Abb.31	Stösse in Verbundsicherheitsglas	
	a) Bruchbild eines Trägers mit 3 m Spannweite	Erich Trösch [20]
	b) Stossdetails	René Ringli [21]
Abb. 32	Auslösende Ereignisse für die Robustheit-Forschung	
	a) Ronan Point, East London UK (1968)	www.imacleod.com

Nummer	Legende	Bildautor(in)
	b) Alfred P. Murrah Federal Building, Oklahoma City, USA (1995)	www.de.academic.ru
	c) World Trade Center, New York City, USA (2001)	www.photobucket.com
Abb. 33	Design for Robustness a) Englische Ausgabe, b) Chinesische Ausgabe	IVBH [23]
Abb. 34	Aspekte der Robustheit	
	a) Anwendung der Systemtheorie auf Brücken	Dissertation Stempfle [24]
	b) Dynamisches Verhalten eines Gebäudes beim Ausfall einer Stütze	Ingo Müllers (Doktorprüfung)
	c) Tragverhalten von Betondecken bei grossen Deformationen	Borja Herraiz (Doktorprüfung)
Abb. 35	Steinschlagereignisse 2003	
	a) Chüebalmtunnel der A8 bei Iseltwald BE	Ravikiran Chikatamarla [45]
	b) Steinschlagschutzgalerie Axenstrasse der A4 am Ölberg Süd SZ	Ravikiran Chikatamarla [45]
	c) Lawinenschutzgalerie Ripplistal der A2 bei Gurtellen UR	ASTRA [46]
Abb. 36	Fallversuche auf überdeckte Betonplatten	
	a) Versuchsanordnung im Steinbruch Lochezen	Kristian Schellenberg [27]
	b) Dreimassenschwinger von Kristian Schellenberg	Kristian Schellenberg [27]
	c) Finite-Elemente-Modell von Sara Ghadimi	Sara Ghadimi (Doktorprüfung)
	d) Zweimassenschwinger von Sara Ghadimi	Sara Ghadimi [28]
Abb. 37	Verformungsbasierte Bemessung von Steinschlagschutzgalerien	Autor
Abb. 38	Ermüdungsversuche an Stahlbetonrahmen	
	a) Prinzip der magnetischen Streufeldmethode	Holger Diederich [34]
	b) Versuchsaufbau	Patrick Fehlmann, Fotos Grossversuche
	c) Messwagen	Thomas Wolf, Fotos Messwagen
Abb. 39	Ermüdungsversuche an Stahlbetonplatten	
	a) Platte nach dem Versuch mit freigelegter Bewehrung	Christian Spathelf, Fotos Plattenversuche
	b) Messwagen mit Magnetspulen	Holger Diederich [34]
	c) Detektierte Ermüdungsbrüche	Holger Diederich [34]
Abb. 40	Laufende Dissertationen	
	a) Ermüdungsverhalten des Stahl-Beton-Verbunds	Alessandro Hodel (Projektarbeit MSc HS 2019)
	b) Räumliche Fachwerkmodell und Spannungsfelder	Mozzafari et al. [36]
	c) "Memory-Stahl" zur Verstärkung von Tragwerken	Schranz et al. [37]
Abb. 41	Elastische Stosstheorie von Heinrich Hertz	https://glossar.item24.com/glossarindex/artikel/item/hertzsche-pressung-1.html
Abb. 42	Anwendungen der Hertzschen Stosstheorie	
	a) Steinschlag auf Lockergesteinsschicht	Sara Ghadimi [28]
	b) Stahlkugel auf Schallemissions-Sensor	Georg Karl Kocur [12]
Abb. 43	Ponte Moesa in Roveredo GR; a) Längsschnitt b) Grundriss mit Ergebnissen der visuellen Inspektion und Drahtbrüche c) Sensor an Seitenfläche montiert d) Signal eines Drahtbruchs f) Betonieren der Fahrbahnplatte der Nachfolgebrücke	Stefan Fricker et al. [40]
Abb. 44	Vorrichtung zum Durchkorrodieren von Spanndrähten	Stefan Fricker et al. [40]
Abb. 45	Trutzigbrücke oberhalb Wassen UR	
	a) Längsschnitt	Technischer Bericht A. Rotzetter und Partner
	b) Schwertransport (Symbolbild)	

Nummer	Legende	Bildautor(in)
	c) Diagonalstellung der Räder	Tii Group STRASSENTRANSPORT MODULARE FAHRZEUGE https://www.scheuerle.com/fileadmin/data_all/brochures/tii-group-strasse-modular-de.pdf
Abb. 46	Verteilung der Verkehrslast auf die sieben vofabrizierten Träger	Technischer Bericht A. Rotzetter und Partner
Abb. 47	Steinschlagversuchsanlage Kakuyama in Ebetsu (Hokkaido), Japan	Autor
Abb. 48	Letzter Fallversuch auf Kiesüberdeckung mit Fallmasse 15 t und Fallhöhe 30 m	
	a) Eingedrungener Fallkörper	Autor
	b) Risse in der Galeriedecke	Autor
	c) Durchbiegung im Zeitverlauf	Christina Röthlin [29]
Abb. 49	Ausschnitt aus der ersten Leistungsvereinbarung 2000-2003 von ETH-Rat und ETH Zürich mit von der Hochschulversammlung eingebrachter Definition der Autonomie der Hochschulen	Autor
Abb. 50	Kopf und Unterschriften der Vereinbarung, die festlegt, wie die gemeinsame Vertretung der Hochschulversammlungen von EPFL und ETH Zürich nominiert werden soll	Autor
Abb. 51	Rektorinnen und Rektoren während meiner Zeit als Prorektor für das Doktorat	
	a) Prof. Dr. Heidi Wunderli-Allenspach	https://www.volksblatt.li/nachricht.aspx?id=37455&src=sda
	b) Prof. Dr. Lino Guzzella	ETH Zürich /Giulia Marthaler
	c) Prof. Dr. Sarah M. Springman	ETH Zürich / Oliver Bartenschlager
	d) Verleihung des 20'000. Dokortitels an den Umweltnaturwissenschaftler Kay Steinkamp	ETH Zürich / Lars Gubler
Abb. 52	Vorsteher des Departements Bau, Umwelt und Geomatik	
	a) ETH Tag 2016	ETH Zürich / Oliver Bartenschlager
	b) Corona Videotagebuch aus dem D-BAUG (8.5.2020)	Oliver Stebler
	c) Vorlesung aus dem Home-Office	Autor
Abb. 53	Arbeiten mit Holz; Gampel-Dinosaurier a) im Entstehen und b) im Gebrauch, c) Zweistöckige Baumhütte aus Lärchenholz	Autor
Abb. 54	Bühnenbau und Requisiten für das Kindertheater Doris Sturzenegger	
	a) Leuchtturm für "Isola Paradiso" (2003)	https://kindertanztheater.ch/projekte
	"Feliz, der letzt Kaiser" (2007), Ballon b) im Test und	Autor
	c) auf der Bühne	https://kindertanztheater.ch/projekte
Abb. 55	Pergola als Schattenspender für Sitzplatz a) Situation ohne Schatten, b) Tragkonstruktion, c) Montagezustand, d) Freie Sicht aufs Gartenhäuschen e) Flora und "Fauna" f) Farbenpracht im Herbst	Autor
Abb. 56	Entwicklung der Laube aus Spitzahorn-Stecklingen a) Pflanzung im März 2012 b) Wintereinbruch Oktober 2012 c) Oktober 2013 d) Oktober 2017 e) November 2018 f) Oktober 2020	Autor
Abb. 57	Tenorsaxofon bei verschiedenen Auftritten	
	a) Big Band Zürich 2018 auf dem Bauschänzli in Zürich	Big Band Zürich /René Bachmann
	b) Big Band Zürich am Winzerfest 2013 in Döttingen AG	Big Band Zürich
	c) Saxofon Workshop an den Musik-Kurswochen Arosa 2016	Arosa Kultur
Abb. 58	Meine Imkerei	

Nummer	Legende	Bildautor(in)
	a) Gartenhäuschen mit vorgelagerten Magazinen	Autor
	b) Rosmarinbusch in der Anflugschneise	Autor
	c) Einfangen eines Bienenschwarms	Gregor Vogel
Abb. 59	<p>Brücken und Wasserbauten, vom Hausboot aus fotografiert</p> <p>a) Hubbrücke Plau am See, Mecklenburgische Seen-platte D 2011</p> <p>b) Hubbrücke über die Reie in Brügge, Flandern B 2012</p> <p>c) Kanalbrücke La Forge, Vogesen/Lothringen F 2013</p> <p>d) Drehbrücke in Fort Augustus, Schottland UK 2015</p> <p>e) Schleusentreppe in Fort Augustus, Schottland UK 2015</p> <p>f) Bodenstrombrücke in Zehdenick, Mecklenburgische Seenplatte D 2017</p> <p>g) Schleuse bei Josselin, Bretagne F 2018</p> <p>h) Pont Seille bei Sermoyer, Burgund/Saône F 2019</p> <p>i) Schiffshebewerk Saint-Louis/Arzwiller, Vogesen/Lothringen 2020</p>	Autor

ETH Zürich
 Institut für Baustatik und Konstruktion
 Stefano-Frascini-Platz 5
 8093 Zürich

<https://ibk.ethz.ch/de/>

© ETH Zürich, Februar 2021