

1 Einführung, Begriffe

Der Tunnelbau ist eine der interessantesten, aber auch schwierigsten Ingenieurdisziplinen. Er vereinigt Theorie und Praxis zu einer eigenen Ingenieurbaukunst. Der Ingenieurtunnelbau wird heute weitgehend von Bauingenieuren betrieben, doch sollte sich jeder bewusst sein, dass Statik- und Massivbaukenntnisse allein nicht ausreichen. Geologie, Geomechanik, Maschinentechnik und insbesondere Bauverfahrenstechnik gehören gleichwertig dazu. Tunnel und Kavernen sind schon natürlich entstanden oder auch von Tieren genutzt worden, bevor der Mensch sie künstlich für seine lebensnotwendigen Bedürfnisse geschaffen hat, zum Beispiel für Wohnzwecke, als Lager, Versteck oder für den Verkehr (Tabelle 1.1). Der Ingenieurtunnelbau des 20. Jahrhunderts konnte auf das bereits vorhandene Fachwissen des Bergbaus zurückgreifen. Hier ist *Georg Agricola* als geistiger Vater

Tabelle 1.1 Historischer Überblick über ausgewählte bemerkenswerte Tunnel

	Baujahr	Länge [m]	Bauweise
Wasserversorgung von Jerusalem (Hiskia)	700 v. Chr.	540	Hammer und Meißel
Eupalinos-Tunnel (Samos)	500 v. Chr.	1.052	Hammer und Meißel
Malpas-Tunnel, Kanal von Languedoc (Frankreich)	1679 bis 1681	175	Tuffstein, z. T. durch Feuersetzen gelöst
Claudiustunnel (Italien)	1. Jhd. n. Chr.	ca. 5.650	Quanatbauweise, Hammer und Meißel
Mont Cenis-Eisenbahntunnel (Frankreich, Italien)	1857 bis 1870	12.200	Sprengvortrieb
St. Gotthard-Eisenbahntunnel Zentralalpen (Schweiz)	1872 bis 1878	14.990	Stoßbohrmaschine, Sprengvortrieb
Mont Blanc-Straßentunnel (Frankreich, Italien)	1959 bis 1964	11.600	Sprengvortrieb
Kraftwerk Niagara-Fälle (Kanada)	1950 bis 1958		Sprengvortrieb
Gotthard-Straßentunnel	1969 bis 1980	16.322	Sprengvortrieb
Arlberg-Tunnel (Österreich)	1974 bis 1978	13.972	Sprengvortrieb
Seikan-Tunnel (Japan)	1964 bis 1984	22.292	Anfangs Tunnelbohrmaschine, dann Sprengvortrieb
Landrücken-Tunnel DB	1983 bis 1986	10.710	Spritzbetonbauweise, Sprengvortrieb
Tunnel unter dem Ärmelkanal	1986 bis 1993	50.450	Schildvortrieb $\varnothing = 8,72$ m
Elbtunnel 4. Röhre	1997 bis 2002	2.561	Schildvortrieb $\varnothing = 14,20$ m
Rennsteigtunnel, Straßentunnel	1998 bis 2003	7.900	Spritzbetonbauweise, Sprengvortrieb
Lötschbergtunnel SBB	1999 bis ca. 2007	34.600	Spritzbetonbauweise, TBM-Vortrieb
Gotthard-Basistunnel SBB	1999 bis ca. 2011	57.000	Spritzbetonbauweise, TBM-Vortrieb

anerkannt, der 1556 sein umfangreiches Werk über das Berg- und Hüttenwesen, *De re metallica*, Libri XII, veröffentlichte (Agricola, 1977).

Eine Gegenüberstellung von Baustellendaten der verschiedenen Gotthardtunnel zeigt, dass auch früher schon enorm kurze Bauzeiten zu erreichen waren. Die Anzahl der Unfälle hat sich durch die Modernisierung der Technologien im Tunnelbau allerdings erheblich verringert (Tabelle 1.2). Wie kann es sein, dass alle drei Tunnel, deren Längen keine erheblichen Unterschiede aufweisen, in einer Bauzeit von ca. zehn Jahren fertiggestellt wurden, obwohl mehr als hundert Jahre zwischen deren Bau liegen? Im alten Eisenbahntunnel 1872 wurden durch einen intelligenten Baubetrieb Hunderte von Vortriebsorten geschaffen, um die vielen tausend Mineure unterzubringen.

Tabelle 1.2 Die Baustellendaten der verschiedenen Gotthardtunnel

Projekt	Bauzeit	Länge [km]	Querschnitt [m ²]	Vortriebs- geschwindigkeit [m/Tag]	Baukosten [Mill. sFr]	Anzahl der Arbeiter	Schwer- verletzte	Unfalltote
Eisenbahn- tunnel	1872/1881	14,9	45	3,5 bis 4	55,5	2.500 bis 4.000	260 i. M. 8 %	177 i. M. 5,4 %
Straßentunnel	1969/1980	16,3	69 bis 83	6	560	bis 700	25 i. M. 3,5 %	12 i. M. 1,7 %
Basistunnel	1999/ca. 2011	57,0	67	bis 20	rd. 10.000	bis 1.800		ca. 5

Dies brachte in der Gesamtheit eine kurze Bauzeit. Im neueren Eisenbahntunnel 1999 mit ca. 57 km Länge wurden mit zusätzlichen Angriffsstellen und Schächten Zugänge für neue Vortriebsorte geschaffen und damit die Gesamtleistung so erhöht, dass die Bauzeit reduziert werden konnte.

Die bedeutendsten Alpendurchstiche haben bereits vor 1900 zu einer ersten Blütezeit des Tunnelbaus geführt und den Eisenbahn-Ingenieur und Herzoglich Braunschweigerischen Oberbergmeister *Franz Ržiha* 1867 veranlasst, mit seinem Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst (Ržiha, 1987), den Ingenieur-tunnelbau vom Bergbau getrennt als eigene Fachdisziplin darzustellen. Diese Blütezeit dauerte noch bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts an, danach gab es bis 1960 nur noch wenige spektakuläre Tunnelprojekte. Mit dem Bau des Mont-Blanc-Tunnels 1964 begann dann eine Phase in Europa, die mit den Tunneln der Tauernautobahn, dem neuen Arlberg-Tunnel und dem neuen Gotthard-Tunnel

2.3.3 Deutsche oder Kernbauweise

Als älteste Bauweise in die Literatur eingegangen, wurde die Deutsche Bauweise ursprünglich in Frankreich beim Bau der Tunnel Tronquoy im Jahre 1803 und Pouilly im Jahr 1824 mit einem stehengebliebenen Kern entwickelt. Mit dem Bau des Königsdorfer Tunnels im Jahr 1837 und des Triebitzer Tunnels im Jahre 1842 wurde das Bauverfahren unter äußerst schwierigen Gebirgsverhältnissen gegenüber der damaligen Englischen Bauweise vervollkommen (Bild 2.5). Weitere bekannte Tunnelbauwerke unter schwierigen Gebirgsverhältnissen, wie der Bau der Semmering-Bahn von 1848 bis 1851, folgten der Deutschen Kernbauweise.

Entlang dem Ausbruchrand werden kleine beherrschbare Querschnitte aufgeföhren, in der Regel unten beginnend und nach oben weiterführend. In diesen Querschnitten wird die endgültige Sicherung nachgezogen. So entsteht ein in diesen Teilbereichen hergestelltes, später zusammenhängendes Gewölbe. Der Kern (7) bleibt stehen, bis das Gewölbe (VI) trägt und dient als Abstützung der Rüstung, aber auch als Brustsicherung, da er die Brustfläche erheblich verkleinert und dadurch besser stützt. Es sind viele Variationen bekannt, mit vorgezogenem Erkundungsstollen in der Sohle oder Firste.

Vorteile:

- Sohlstollen wird als Erkundungsstollen für den Gebirgsaufschluss genutzt, gleichzeitig dient er der Wasserentlastung für die weiteren Ausbrüche.
- Geringere Setzungen durch Abstützmöglichkeiten auf dem Kern.
- Weniger seitendruckanfällig wegen Abstützung zum Kern.
- Kern stützt den Brustbereich ab; Einsparung von Brustverbau.
- Aufsetzen des Kalottengewölbes auf feste Widerlager, deshalb setzungsmindernd.
- Wirtschaftlicher Kernaussbruch.

Nachteile:

- Verspannung und Gebirgsauflockerung durch Überschneiden der sich bildenden Schutzhüllen im Gebirge.
- Häufige Unterfangung und dadurch bedingte Umlagerungen erhöhen das Risiko und die Setzungen.
- Später Sohlschluss, wenn die Sohle nicht vorgezogen wird.
- Teures Aufföhren der Teilquerschnitte, teures Einbringen der Sicherung.
- Großer Zeitaufwand.

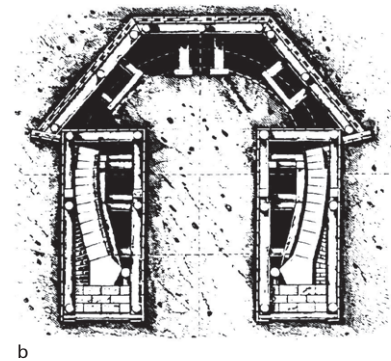
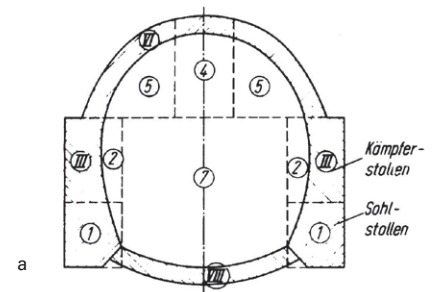
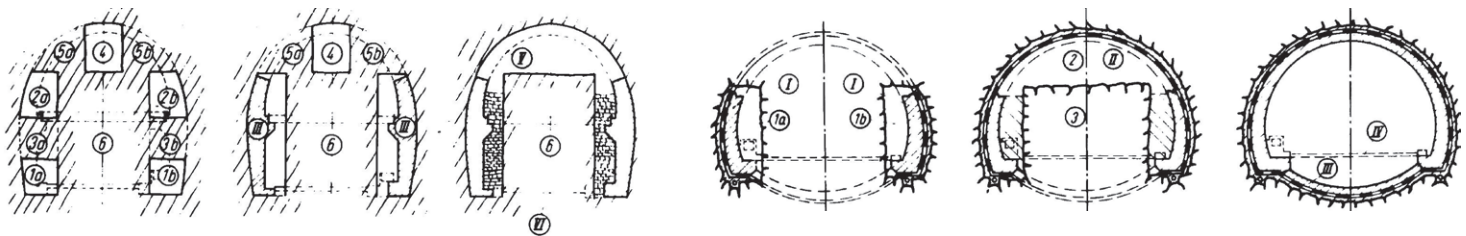


Bild 2.5 Die Deutsche Bauweise:
a Arbeitsfolgen für Ausbruch und Sicherung
Die arabischen Ziffern geben die Ausbruchfolge an, die römischen Ziffern die Sicherungsfolge.
b Klassische Anwendung beim Triebitzer Tunnel 1842/44, nach Ržiha

Bild 2.6 Deutsche Bauweise. Kiesbergtunnel in Wuppertal, 1967. Die arabischen Ziffern geben die Ausbruchfolge, die römischen Ziffern die Betonierfolge an

Bild 2.7 Deutsche Bauweise. Hölzertunnel bei Weinsberg, 1970. Die arabischen Ziffern geben die Ausbruchfolge an, die römischen Ziffern die Betonierfolge



Es kann zu Verbrüchen, bei geringen Überlagerungen auch zu Tagesbrüchen kommen. Die Lasten auf der Sicherung können eine Größenordnung von 20 bis 30 m erreichen, sich sogar noch im Ortsbrustbereich durch eine Gewölbewirkung in Längsrichtung erhöhen.

Während die Ankerung eher geeignet ist, die Gebirgsentfestigung von kritischen in weniger kritische Bereiche der Hohlraumumgebung zu verlagern, wirken Maßnahmen wie steifes Kalottengewölbe, Kalottenfußverbreiterung, Injektionen oder auch Kalottensohlgewölbe einer Ausbreitung von Gebirgsentfestigung direkt entgegen, da diese Maßnahmen einen erhöhten Ausbauwiderstand im Kalottenfußbereich sicherstellen und so eine Ausbreitung der entfestigten Zonen und damit auch das Maß der Verformungen reduzieren.

6.2 Verbrüche

Der Bau von Tunneln ist ganz ohne Gebirgsbewegungen nicht zu vollziehen. Diese Bewegungen sind auch erforderlich, weil sich beim Freilegen der Ortsbrust mit den Bewegungen um den Hohlraum ein natürliches Gebirgsgewölbe bildet, das den größten Anteil der Tragwirkung übernimmt. Mit dem Auffahren einhergehender Sicherungsmaßnahmen, z. B. Spritzbeton, dienen mehr der Randverstärkung als der wirklichen Aufnahme der hohen Drücke aus der Überlagerung. Je nach Gebirgsart und Überdeckung pflanzen sich diese Bewegungen bis hin zur Oberfläche fort und führen zu Setzungen oder gar zu Verbrüchen. Je nach Anforderungen, z. B. Oberflächenbebauung, können zu große Setzungen vermindert werden durch entsprechende sofortige Sicherungen – heute meist Spritzbeton – und Kontrollmaßnahmen. Geraten diese Bewegungen außer Kontrolle, sind Verbrüche nicht mehr zu vermeiden. Die Erfahrungen zeigen, dass in den meisten Fällen die Qualität der handwerklichen Ausführung schuld daran ist, aber auch Fehleinschätzungen bei der Planung.

Ist ein Tunnel mit einer Betoninnenschale fertiggestellt, ist er sicher. Es gibt kaum Beispiele, dass ein fertiger Tunnel eingestürzt ist, selbst bei Erdbeben nicht. Eine Auswahl an Beispielen von mir betreuter Baustellen soll auf die Vielfalt der Ursachen hinweisen.

6.2.1 Verbruch am Richthof-Tunnel (Neubaustrecke südlich von Kassel)

Als zuständiger Prüfenieur wurde ich 1983 nach Mitternacht über einen Verbruch informiert, machte mich per Auto auf den Weg und erreichte die Baustelle vor dem Morgengrauen. Die Beteiligten saßen schon in der Besprechung und warteten auf mich. Sobald es Tag wurde, besichtigten wir das Loch im Wald. Großer Schaden war nicht entstanden. Die Begehung der Verbruchsstelle unter Tage zeigte, dass der Verbruch weitgehend auf den Ortsbrustbereich beschränkt war. Eine Ursache konnte in dieser Nacht von allen Beteiligten nicht gefunden werden, alles war eigentlich normal abgelaufen, doch plötzlich brach ein neu mit Spritzbeton gesicherter Abschnitt ein. Das Personal konnte rechtzeitig die Verbruchsstelle verlassen. Die Baufirma schlug vor, das Loch von oben mit Magerbeton zu schließen, unten aufzuräumen und den Vortrieb weiterzuführen. Eine übliche Vorgehensweise, gegen die ich keine Einwände hatte. Meine Erfahrungen auch in ähnlichen Situationen am Landrücken-Tunnel zeigten, dass dies bei entsprechend vorsichtiger Vorgehensweise die kostengünstigste Lösung ist. Mit den vorgeschlagenen Zusatzmaßnahmen war es auch sicher. Doch der Vertreter des Bauherrn wollte die Ursachen erkunden, da er kei-

ne Zusatzkosten der Firma übernehmen wollte. Also wurden zusätzliche Gutachter herangezogen, die die Verbruchstelle akribisch auf Fehler, z. B. Qualität des Spritzbetons, Bewehrung etc., untersuchen. Die Baustelle stand über ein Jahr still ohne weiteren Vortrieb. Die Kosten lagen am Ende bei weit über 10 Mio. DM, und diese musste nun der Bauherr übernehmen. Hätte man sich in der Nacht des Verbruchs mit der Firma geeinigt, wäre man mit weniger als 100.000 DM ausgekommen.

Später wurde ich aufmerksam, weil auf der Neubaustrecke nach der ca. dreiwöchigen Weihnachtspause an mehreren Tunnelbaustellen Verbrüche auftraten. Ich ging dieser Serie nach, und im Zuge einer Dissertation wurde die Ursache gefunden.

Die bei einem Vortrieb einhergehenden Gebirgsbewegungen werden auf die Spritzbetonsicherung übertragen. Der frische Spritzbeton kann die Kräfte nicht aufnehmen und entzieht sich durch Deformationen dieser Belastung. Dieses System funktioniert bei einem kontinuierlichen Vortrieb. Stoppt der Vortrieb für drei Wochen, stellt sich in der Ortsbrust ein Gleichgewichtszustand ein. Werden die Vortriebsarbeiten nach der Weihnachtspause wieder aufgenommen, werden die Kräfte aus der Gebirgsüberlagerung auf den abgebundenen Spritzbeton übertragen, da der frische Spritzbeton sich diesem entzieht. Der abgebundene Spritzbeton ist jedoch darauf nicht berechnet, wird überlastet, und es kommt zum Versagen, d. h., die Sicherung bricht, und es kommt zu unkontrollierten Bewegungen und letztlich zum Verbruch.

Mit diesen Ergebnissen wird auch die Forderung untermauert, niemals in Bereichen unter Bebauung größere Vortriebsunterbrechungen zuzulassen – übrigens ist dies auch eine Forderung beim Einsatz von Schildvortrieben, einer Art wandernder Sicherung. Nur so kann verhindert werden, dass ein Schild durch den vollen Überlagerungsdruck eingeklemmt wird.

6.2.2 Verbruch am Autobahntunnel Hemberg

Ein weiteres Phänomen für das Auftreten von Verbrüchen sind die Anstiche zu Beginn und die Ausfahrten am Ende des Vortriebs – so am Tunnel Hemberg 1997, ein verhältnismäßig kurzer Tunnel, der während des Vortriebs keine Besonderheiten aufwies, bis auf den Verbruch auf den letzten Metern vor dem Durchschlag. Auch hier wurde ich nach Mitternacht zur Baustelle gerufen, um meinen Aufgaben als Prüflingenieur nachzukommen. Die guten Vortriebsleistungen während der gesamten Ausführung hatten das Baustellenpersonal unvorsichtig gemacht. Die Überdeckung wurde am Ende des Tunnels immer geringer, ein GebirgsGewölbe konnte sich nicht mehr bilden, doch am Vortriebskonzept wurde nichts geändert. So kam es zu einem Verbruch, und ich fand am frühen Morgen bei meiner Tunnelbegehung das Wurzelwerk einer Eiche im Tunnelquerschnitt (Bild 6.3). Die Behebung war einfach, nicht einmal die Presse hatte etwas bemerkt.



Bild 6.3 Verbruch Hemberg-Tunnel

6.2.3 Verbruch U-Bahntunnel München Kreillerstraße

Dieser Verbruch unterscheidet sich von den bisher vorgestellten, denn zusätzlich zu dem Sachschaden wurden mehrere Personen getötet.

Im Zuge des U-Bahnbaus sollte 1995 im Bereich Kreillerstraße eine U-Bahnstation bergmännisch aufgefahren werden. Die Baugrundverhältnisse im Stadtgebiet München waren gut erkundet. Eiszeitliche Sedimente, Sande, Kiese sowie Mergel bis hin zu gesteinshartem Nagelfluh traten auf. Allerdings gab es zwei unterschiedliche Grundwasser-

9 Tunnelbauer aus Leidenschaft – über den Autor

9.1 Von außen betrachtet

Dazu ein Auszug aus der Laudatio von Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. *Heinz Duddeck* anlässlich meiner Emeritierung im September 2003 im Audimax der Ruhr-Universität Bochum (Bild 9.1) (Duddeck, 2003).

Im Buchenland ist er geboren, in der ostkarpatischen Bukowina. *Anton Maidl* und *Christina Kübeck* sind seine Eltern. Deren Vorfahren: aus Niederbayern eingewandert, als das Buchenland 150 Jahre lang bis 1918 österreichisch war. Apolda, Freiberg, Dresden, München sind die Stationen seiner Ausbildung. 28 Jahre alt ist er, als er seinen ersten Tunnel baut.

Noch nicht ganz 36, als die Ruhr-Universität ihn zum ordentlichen Professor ernennt. Und nun: 29 Jahre lang lehrt und forscht, redet und schreibt, berät und betreut er in immer größer werdenden Kreisen Tunnelbau und Baubetrieb und Bauverfahren. Und wirbelt in Hörsälen, Büros, auf Baustellen und in fernen Universitäten durch die Welt, wird bei so vielen Tunneln um Rat und Planungshilfe gefragt, erobert mit Temperament und Charme Menschen und Gremien. Ist trunken vor Glück auf den Bergspitzen dieser Welt, begeistert sich am Großen Riff vor Australien und am Eupalinos Tunnel zu Zeiten *Polykrates* auf Samos. Wird Dr. honoris causa, gleich mehrfach, Beratender Professor in China und sogar Ehrenbürger eines kolumbianischen Dorfes. Was für ein Lebensweg!

Seine jungen Jahre sind vom Krieg und seinen Folgen schwer gezeichnet. Weil *Hitler* und *Stalin* sich 1940 Polen aufteilen, müssen die Bukowina-Deutschen in den Warthegau trecken. Zwei Jahre ist *Bernhard* alt. 1945 wird die Familie vertrieben. Sie kommt nach Eberstedt in Thüringen. Flüchtlingsnot bestimmt auch die Schulausbildung: *Bernhard* besucht eine Kleinschule. Er lernt in Apolda Stahlbauschlosser bis zum Gesellenbrief. Da entdecken die Berufsschullehrer, dass er wohl zu mehr befähigt ist. Sie schicken ihn auf die Arbeiter- und Bauernfakultät nach Freiberg. Mit diesem Abitur studiert er an der TU Dresden Bauingenieurwesen. Doch nur bis zum Vordiplom. Er mupft auf. Die Stasi durchsucht heimlich sein Studentenzimmer, nimmt ihm den Personalausweis weg. Er flieht kurz vor dem Mauerbau 1961 über Berlin nach München. Aus dem Lager Friedland schreibt er an seine Mutter, dass er wohl nur zum Straßenfeger taugt.

Unter vielen Entbehrungen, aber auch mit viel Eigeninitiative ist er trotz dieses sehr typischen Nachkriegsschicksals mit 25 Jahren Diplom-Ingenieur der TU München. Er lernt im Examenjahr beim Skiausflug eines Münchner Krankenhauses die OP-Schwester *Ulrike Ruhland* kennen. Sie heiraten 1963, wohnen auf einer 14. Etage, Übungschancen für einen Bergsteiger, wenn er den Fahrstuhl nicht nimmt. *Julia* und *Ulrich* (beide in München geboren) und *Nadine* heißen die drei Kinder.



Bild 9.1 Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. *Heinz Duddeck* während der Laudatio im Audimax der Ruhr-Universität Bochum

Nach zwei Jahren Statiker und Bauleiter in Münchner Firmen wird er 1965 Wissenschaftlicher Assistent bei Professor *Burkhardt* am Institut für Tunnelbau und Betriebswissenschaft. Er betreut die Lehrveranstaltungen des Honorarprofessors *Leopold Müller*, Salzburg. Da lernt er nicht viel über Finite-Elemente, doch sehr viel über das intuitive Verstehen von Tunnelbauzuständen. Weil er Führungseigenschaften zeigt, wird er 1966 Bauleiter eines Eisenbahntunnels in Thailand. Der 28-Jährige lässt sich einen Vollbart wachsen, damit er mehr Respekt ausstrahle. Zielstrebig und fleißig promoviert er trotz der Thailand-Baustelle schon 1967 und ist zwei Jahre später mit 31 Jahren nach der Habilitation Privatdozent für Tunnelbau an der TU München. Die Hochtief AG holt ihn 1969 nach Essen für Bauleitertätigkeiten. In diesen vier Jahren steigt er bis zum Leiter einer technischen Abteilung auf.

An der Ruhr-Universität lehrt er seit 1970, zunächst nur Fertigungstechnik als Privatdozent. Am 20. März 1974, 35 Jahre alt, wird er auf den VI. Lehrstuhl des Konstruktiven Ingenieurbaus „Planung und Herstellen von Ingenieurbauten“ berufen. Später, 1981, schreibt er: „Bei Übernahme der Professur stellte ich fest, dass meine Themenvorstellungen nicht in die festen Strukturen der Fachrichtungen passten ...“. Forschungsberichte von Hochschulen werden von Firmen „weder gelesen noch zur Lösung schwieriger Aufgaben herangezogen.“ Es müsse nicht nur „die auf schmalem Steg laufende Selbstzweckforschung, sondern auch die anwendungsorientierte Technologie-Forschung gefördert“ werden. Interdisziplinäre Forschung sei notwendig.“ Schon 1975 heißt der nun 5. Lehrstuhl „Bauverfahrenstechnik und Baubetrieb“. Vier wissenschaftliche Assistenten und zwei technische Mitarbeiter sind die Grundausrüstung. Doch recht bald arbeiten 12 bis 16 Ingenieure an Forschungsvorhaben über Stahlfaserspritzbeton, Offshore-Konstruktionen, Mischbauweisen.

Dies ist die Zeit, in der *Wolfgang Zerna* als einer der Gründungsdekane davon träumt, aus Bochum ein MIT für Deutschland zu machen, in dem eine Elite nur Konstruktiven Ingenieurbau lehrt und lernt. *Bernhard Maidl*: „... freilich rechnen können die Bochumer Studenten“. Als die Studentenzahlen stark abnehmen, weil kein Vollstudium des Bauingenieurs angeboten wird, fragt sich *Bernhard Maidl*, 1979 als Dekan, warum die Gesamthochschulen mehr Studienanfänger haben als Bochum. Also kommen allmählich all die anderen Fächer, *Wolfgang Zerna* sagt „das sonstige Gemüse“, dazu. Eine experimentelle Forschungsmöglichkeit entsteht erst spät im Versuchsstand Lottental. Der Kanzler Seel sagte in dieser Zeit: „Bochum sei eine Uni, die zuerst gebaut und dann geplant wurde“.

Bernhard Maidl hat von Anfang an große Lehrerfolge. In all den Jahren wählen 30 bis 40, oft sogar 50 % aller Studierenden des 7. Semesters sein Fach als Vertiefung. 15 bis 20 % aller Absolventen sind es bei den Diplomarbeiten. In den 24 orange-roten Jahresberichten kann man die Lehr- und Forschungsleistungen nachlesen. Über 300 Diplomarbeiten sind es in diesen 29 Jahren, 34 Promotionen, 1 Habilitation. Lehraufträge und Praxiskontakte, viele Gastdozenten und eigene Verbindungen zu in- und ausländischen Universitäten machen den Lehrstuhl sowohl für die Studierenden als auch für die Praxis attraktiv. Denn hier werden aktuelle Probleme aufgegriffen und in die Praxis getragen: Stahlfaserbeton, Roboter für Spritzbeton, Prognosemodelle, Qualitätsmanagement, Versinterungsprobleme bei Tunneldränagen.