

Defizite der Ingenieurausbildung

Volker Wetzke

In: Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004), H.5, S.412-416. ISSN 0005-9900

„Noch einer der glaubt, an der öffentlichen Kritik der Bauingenieurausbildung teilnehmen zu müssen“, denkt jetzt wahrscheinlich der eine oder andere Leser. Stimmt, nur das in diesem Fall der Kritisierende kein „alter Hase“ im Geschäft ist, mit mehreren Jahrzehnten Berufserfahrung – im Ingenieurbüro und/oder an einer Hochschule. Hier schreibt ein junger Ingenieur, der nach nur drei Jahren Berufserfahrung als Bauingenieur versucht, seine universitäre Ausbildung hinsichtlich einer möglichst guten Vorbereitung auf den Ingenieuralltag zu hinterfragen. So bietet sich auch eine ganz andere Perspektive; keine Kritik des Ingenieurwachstums aus Sicht eines Dritten. Nein, hier kritisiert der Ingenieurwachstum selbst.

Die Kritik soll dabei natürlich nicht als „Rundumschlag“ erfolgen, schließlich kann und will die Breite einer universitären Lehre nicht gezielt das Aufgabenfeld eines Einzelnen im späteren Ingenieurbüro treffen. So wird jeder junge Ingenieur das eigene Studium etwas anders reflektieren, mit Mangel hier und Überschuss dort. Trotzdem zählt sich der Verfasser mit seiner Tätigkeit als Tragwerksplaner zu einer Ausbildungs-Zielgruppe des Studienganges Bauingenieurwesen einer Universität und will an dieser Stelle zwei Defizite seines Studiums ansprechen:

im Entwerfen - hier im Sinne von Gestalten und

im Zeichnen – hier insbesondere im Freihandzeichnen,

...also eher Ausbildungsschwerpunkte der Architekten, wollte man meinen. Besonders das Zeichnen findet bei der öffentlichen Diskussion um eine bessere Ingenieurausbildung kaum Erwähnung.

Diese Auffassung entstand nach einer 1 ½ -jährigen Tätigkeit in einem kleineren Berliner Ingenieurbüro und weiteren 1 ½ Jahren in einem größeren Londoner Büro. Der diesbezügliche Erfahrungsaustausch mit anderen jungen Ingenieuren in ähnlichen Betätigungsfeldern – mit Abschlüssen an ganz unterschiedlichen Hochschulen - bestätigte diesen Eindruck und ermutigte zu dieser Kritik.

Defizite

Die Defizite im Entwerfen und Zeichnen wurden erst im Londoner Büro in ihrer ganzen Breite offensichtlich, wo die Tätigkeit am Zeichenbrett (nicht Zeichenmaschine) dominierte. Nur in Ausnahmefällen ging es dabei jedoch um das Anfertigen von Ausführungs- oder Werkstattzeichnungen. Der Regelfall waren Freihandzeichnungen für die Vor- und Entwurfsplanung neuer Wohngebäude (Bild 1), aber auch Aufmaßzeichnungen in Sanierungsobjekten (Bild 2). Diese sollten die bürointerne Diskussion mit Kollegen, aber auch die externe mit Bauherren und Planungspartnern erlauben, gingen also über eine schnelle Handskizze hinaus. Leider waren Freihandzeichnungen aber nie Gegenstand der universitären Ausbildung des Verfassers gewesen. Die Herausforderung bestand demnach neben der ingenieurmäßigen Lösungsfindung auch in ihrer zeichnerischen Umsetzung. Es fehlten grundlegende Fertigkeiten, um die eigenen Gedanken - aufs Wesentliche reduziert - aufzeichnen zu können, eben oder räumlich, mit erläuternden Bemerkungen und überschlüssigen statischen Berechnungen zu versehen, selbsterklärend und übersichtlich. Damit nicht genug.

Noch in London kam der erste Brückenwettbewerb, ganz klein und firmenintern, der Gewinner sollte später das Büro am eigentlichen landesweit ausgeschriebenen Wettbewerb vertreten. Drei bis vier

Ingenieure bildeten ein Team, ein Architekt kam beratend hinzu. Eine Fußgängerbrücke mit knapp 25m war zu entwerfen. Aus statischer Sicht gab es bei dieser Last und kurzen Spannweite praktisch keine Einschränkung, die clevere Idee und deren gute Umsetzung waren gefragt, natürlich nicht nur konstruktiv, sondern auch gestalterisch. Genau hier lag das Problem. Unsere Entwurfsansätze hätten zwar allesamt gebaut werden können, gestalterisch gaben sie aber nichts her. Als der Architekt im Team erkannte, dass seine Überarbeitung der Entwürfe mehr Schadensbegrenzung als Feinschliff war, übernahm er den Entwurf, wir dimensionierten die Bauteile. Wir Ingenieure hatten unsere Brücke verloren. Der fertige Entwurf, letztlich eine Architektenbrücke, konnte im firmeninternen Wettstreit aber auch nicht überzeugen.

Zeigte nicht dieser kleine Wettbewerb eindrucksvoll, dass die Arbeit eines Bauingenieurs über die des Rechnens hinausgeht? Warum bekommen Ingenieure in ihrem Studium nicht ein Mindestmaß an architektonischem Grundwissen vermittelt?

Zwei Defizite also, zum einen die Fähigkeit zum Gestalten, zum anderen die Fertigkeit zum Freihandzeichnen. Ist für beide kein Platz mehr in der modernen Ingenieurausbildung?

Rückblick

„Wer in die Zukunft wirken will, muss wissen, wo die Gegenwart herkommt.“ proklamierte Fritz Wenzel kürzlich im Rahmen eines Rundgespräches zur Geschichte der Bautechnik an der BTU Cottbus. In diesem Sinne soll kurz die heutige Verankerung von Entwerfen und Zeichnen mit der aus den Anfängen der naturwissenschaftlich fundierten Ingenieurausbildung verglichen werden. Diese Anfänge finden wir an der 1794 begründeten École Polytechnique und dort bei Jean-Nicolas-Louis Durand (Bild 3), der von 1795 bis 1830 das Zeichnen und Gestalten als Teil seines Architekturkurses für die Polytechniker lehrte. Seine Positionierung zu den Inhalten einer Ingenieurausbildung entstand zwar schon vor ca. 200 Jahren unter ganz anderen gesellschaftlichen Randbedingungen als den heutigen, als Vergleich sei sie an dieser Stelle trotzdem erlaubt.

Jean-Nicolas-Louis Durand (1760 -1834) wuchs in bescheidenen Verhältnissen im Pariser Quartier Sainte-Geneviève auf. Parallel zu seinen Lehrjahren in verschiedenen Architektur-Ateliers besuchte Durand bis 1782 Kurse an der Académie Royale d'Architecture. 1793 gründete er zusammen mit seinem Partner Thibault ein eigenes, erfolgreiches Atelier und wurde schließlich für eine Lehrtätigkeit an der eben begründeten École Polytechnique empfohlen. Dort begann er, den Architekturkurs für Ingenieure sowohl inhaltlich als auch didaktisch neu zu ordnen. Das Resultat dieser Arbeit erschien in insgesamt drei Lehrbüchern, wobei sein zweites Lehrbuch „Précis des Leçons d'Architecture données à l'École Polytechnique“ zu den erfolgreichsten Architekturabhandlungen überhaupt zählt. Es enthält den methodischen Kerngedanken seines Entwurfsverfahrens.

Durands architekturtheoretischer Ansatz reflektiert zum einen den Erkenntnisprozess der Aufklärung im ausgehenden 18. Jahrhundert und zum anderen die Aufgabenstellung im nachrevolutionären Frankreich zu Beginn der Industrialisierung. Im Gegensatz zu früheren Architekturabhandlungen diskutiert er weder Säulenordnungen noch metaphysische Kosmos-Architektur-Mensch-Harmonie-Beziehungen. Bei Durand bestimmen Funktionalität und Wirtschaftlichkeit den Entwurfsansatz. Mit dieser Reduzierung der Architektur auf Zweckerfüllung und Sparsamkeit gilt er als Begründer der rationalistischen Architekturtheorie. Darüber hinaus richten sich seine Schriften weder an potentielle Bauherren noch an Berufskollegen, sondern direkt an den Studenten. Ausgangspunkt eines Durand'schen Entwurfs bildet der aus funktioneller und konstruktiver Sicht ausgearbeitete Grundriss, aus

welchem Schnitte und Aufrisse des Gebäudes abgeleitet werden. Durands Entwurfsverständnis soll im Wesentlichen für die gesamte Moderne gültig bleiben.

Gestalten

Die Bedeutung, die Durand einer fundierten Ausbildung von Ingenieuren in der Architektur beimisst, lässt sich mit folgendem Zitat verdeutlichen:

“Die Architekten sind nicht die einzigen, die Bauten zu errichten haben; auch die Ingenieure verschiedener Richtung, Artillerieoffiziere u.a.m., sehen sich oft in diese Situation versetzt. Man könne sogar beifügen, dass heutzutage die Ingenieure häufiger Gelegenheit haben, große Bauunternehmen durchzuführen als die eigentlichen Architekten. Diese bauen in der Tat oft ihr Leben lang nichts anderes als Privathäuser, während jene von Amts wegen mit dem Bau von Spitälern, Gefängnissen, Kasernen, Arsenalen, Lagerhäusern, Brücken, Häfen, Leuchttürmen und einer Fülle weiterer Bauaufgaben ersten Ranges betraut werden... Sie bedürfen deshalb des Wissens und Könnens in der Architektur wenigstens ebenso sehr wie die Architekten von Beruf.“ [1]

Vermutlich erkannte Durand bereits in einer Epoche, in der sich die Berufsbilder Architekt und Ingenieur gerade profilierten, einen Trend, dessen Auswirkungen gerade in jüngster Zeit immer wieder diskutiert wurden. Die vielen Schnittstellen beider Berufsbilder, die einst die Qualität des Baumeisters ausmachten, wurden nach und nach zugunsten immer tiefer gehender Spezialisierungen aufgegeben. „Mehr Ausbildung – weniger Bildung“ fasst Lorenz diese Entwicklung in [4] zusammen. Hatte Durand allein im ersten Studienjahr noch 225 Lektionen (je 1 Stunde, A.d.Verf.) für seinen Architekturkurs zur Verfügung [7], so scheinen heute Themen der Architektur in der Ingenieurausbildung weitestgehend ausgeblendet. Mit Ausnahme einiger weniger Universitäten wird Gestalten in der heutigen Ingenieurausbildung nicht mehr thematisiert. Dabei ist Durands These noch so aktuell wie vor 200 Jahren, ja sogar brisanter als damals, sind die Dimensionen moderner Ingenieurbauwerke doch mit denen zu Durands Zeiten kaum mehr zu vergleichen. Entsprechend größer sind auch die Auswirkungen auf die ländliche oder urbane Umwelt geworden, entsprechend gewichtiger neben dem konstruktiven Entwurf auch die gestalterische Lösung. Umso notwendiger ist demnach auch eine Ausbildung der Bauingenieure im Gestalten, bestimmt doch mit zunehmender Spannweite mehr und mehr die Konstruktion, also der Ingenieur, den Entwurf. Auf die künstlerische Überarbeitung im Sinne eines Feinschliffs – eben nicht im Sinne von Schadensbegrenzung - durch einen Architekten soll nicht verzichtet werden, dieser Feinschliff kann aber nur gelingen, wenn der Entwurfsansatz des Ingenieurs diesen auch ermöglicht.

Bei den Architekten bildet die Tragwerkslehre einen festen und selbstverständlichen Teil ihrer Ausbildung. Auch hier wird letztlich ein Ingenieur das Tragwerk dimensionieren, der Architekt bekommt jedoch während seiner Ausbildung statisch-konstruktive Grundlagen vermittelt, die ihn befähigen, bereits bei der Entwurfserarbeitung die wesentlichen Elemente für den Lastabtrag zu berücksichtigen. Dem Ingenieur wird dadurch eine spätere Entwurfsbearbeitung überhaupt erst möglich.

Heißt das nicht im Umkehrschluss für den Ingenieurentwurf, dass auch dem Bauingenieur während seiner Ausbildung Grundlagen zum gestalterischen Entwerfen vermittelt werden müssen? Heißt das nicht auch, dass bereits im frühen Entwurfsstadium eines Ingenieurbauwerkes der Aspekt Gestaltung berücksichtigt werden muss, um einem Architekten die spätere Entwurfsbearbeitung zu ermöglichen? Denn die Reduktion des Entwurfsansatzes auf Funktion, Konstruktion und Wirtschaftlichkeit im Sinne von „...die Gestaltung bekommen wir schon in den Griff ...“ wird später viel zu oft als Schadensbegrenzung für den Architekten enden.

„Brücken – wie alle Konstruktionen und Tragwerke – entwerfen bedeutet, wenn das gestalterische Vermögen des Ingenieurs nicht ausreicht, mit dem Architekten einen fruchtbaren Dialog zu führen...“ schreibt Stiglat treffend in [8]. Wo soll das „gestalterische Vermögen“ der Ingenieure aber herkommen, bedenkt man das heutige Ausbildungsprofil der Bauingenieure? Talent, Gefühl, ... - zumindest Durand wollte sich vor 200 Jahren nicht auf die Veranlagung seiner Studenten verlassen und bestand auf eine qualifizierte Ausbildung angehender Ingenieure in der Architektur. Diese ermöglicht dann auch den Dialog des Ingenieurs mit dem Architekten – insbesondere den fruchtbaren Dialog, den es nur geben kann, wenn ein Partner weiß, wovon der andere redet.

Um Missverständnissen vorzubeugen: Der Ingenieur soll dabei nicht zum Architekten ausgebildet, das Bauwerk nicht zur Skulptur umgestaltet werden. Es geht vielmehr um die Vermittlung von Fähigkeiten, damit im Sinne eines ganzheitlichen Entwurfes die gestalterische Qualität des Bauwerks bereits im Entwurfsansatz berücksichtigt werden kann (Bild 4). Das nur spannungstechnisch optimierte Tragwerk ist noch kein Garant für ein schönes Bauwerk.

Nicht allein der Entwurf von Ingenieurbauwerken, sondern jeder normale Hochbau bietet dem Bauingenieur die Gelegenheit zur Gestaltung oder Mitgestaltung. Man denke z.B. an sichtbare Stahl- oder Holzkonstruktionen nachträglicher Dachgeschossaufbauten. Die Wahl passender Querschnitte oder die Gestaltung von Anschlussdetails ergibt sich dort nicht zwangsläufig allein aus der Konstruktion. Sie müssen bewusst gewählt bzw. gestaltet werden. Aber nicht nur Tragwerksplaner, selbst der Bauleiter vor Ort kann noch in einem späten Stadium der Bauausführung durch schnelle oder unüberlegte Entscheidungen das gestalterische Gesamtkonzept eines Gebäudes ruinieren. Die Notwendigkeit zum Gestalten besteht also prinzipiell für Bauingenieure, wenn auch auf unterschiedlichen Gebieten. Gestalten sollte demnach auch ganz selbstverständlicher Bestandteil ihrer Hochschulausbildung sein.

Zeichnen

Der kreative Prozess des Gestaltens setzt eine handwerkliche Fertigkeit voraus – das Zeichnen, insbesondere das Freihandzeichnen. Mit Freihandzeichnen meint der Verfasser nicht nur die schnelle Skizze auf einem „Stück Papier“, sondern auch die formale Freihandzeichnung auf Transparentpapier, aufgespannt auf einem Zeichenbrett. Hatte Durand für zeichnerische Arbeiten noch 87 Stunden, später sogar 150 Stunden zur Verfügung [7], so wird das Zeichnen in der heutigen Ingenieurausbildung eher stiefmütterlich behandelt. Zumindest deuten darauf die Studienpläne der Universitäten. Die meisten vermitteln zwar das Zeichnen im Sinne von „Technisches Darstellen“, wo wichtige Darstellungsmethoden, z.B. die Tafelprojektionen gelehrt werden. Das Freihandzeichnen jedoch taucht explizit kaum auf, wird also – wenn überhaupt – nur versteckt als Teilbereich eines übergeordneten Faches vermittelt. Im Computerzeitalter scheinen Bleistift und Skizzenpapier vom Studentenschreibtisch verbannt. Oft unterstützen die Lehrstühle diesen Trend und lehnen Handzeichnungen als „altbacken“ ab. So verwundert es nicht, dass kaum noch ein Bauingenieurstudent ein Zeichenbrett besitzt. Es verwundert auch nicht, dass in den Bewerbungsunterlagen der Absolventen zwar die Liste der dem Studenten vertrauten Software immer länger wird, kaum ein Absolvent dagegen seine beste Freihand – Zeichnung zu einem Vorstellungsgespräch mitbringt. Es gibt nämlich keine.

„Die Zeichnung dient dazu, sich über die eigenen Ideen Rechenschaft zu geben, gleichgültig, ob man Architektur studiert oder ob man Bauprojekte komponiert; die Zeichnung dient ferner dazu, Ideen so festzuhalten, dass man sie jederzeit bequem überprüfen und nötigenfalls berichtigen kann; die Zeichnung dient schließlich dazu, die Ideen dem Bauherrn oder den Unternehmern mitzuteilen...“[1] brachte es Durand auf den Punkt. Und genau für diese Ideen, also die eigentliche Entwurfsphase, sind

Freihandzeichnungen noch heute eine schnelle, billige, aber auch elegante Darstellungsmethode und Teil des „täglichen Brotes“ in Tragwerkplanungsbüros. Dort erst müssen viel zu oft die heutigen Absolventen unserer Hochschulen die eigentliche Sprache der Ingenieure und Architekten lernen – das Zeichnen mit Papier und Bleistift.

„Ein Umdenk- und Lernprozeß soll in der Ausbildung von Bauingenieuren eingeleitet werden, der Entwerfen und Gestalten von Ingenieurbauwerken und die Fähigkeit zur ingenieuren Kreativität lehrbar und erlernbar macht,...“, schreibt Jesberg in [2]. Aus Sicht des Verfassers führt dieser Anspruch an einer Ausbildung im Freihandzeichnen nicht vorbei. Ingenieuren Kreativität beschreibt nämlich nicht nur die Fähigkeit zum schöpferischen Denken, sondern auch die Fertigkeit, das Ergebnis dieses Denkprozesses auszudrücken, und zwar als Zeichnung und im Entwurfsprozess natürlich als Freihandzeichnung.

Seit einigen Jahren geben die sinkenden Studentenzahlen bei den Bauingenieuren Anlass zur Ursachenforschung. Längst ist bekannt, dass die Alleinverantwortung dafür nicht bei der Konjunkturlaute in der Bauindustrie liegt. Der Bauingenieur hat ein Imageproblem. Auf der Suche nach neuen Leitbildern fallen Schlagworte wie „soziale Kompetenz“, „Verantwortungsbewusstsein“, „Teamfähigkeit“, ..., auch „Kommunikationsfähigkeit“. Apropos Kommunikationsfähigkeit, wie kommuniziert denn ein Bauingenieur? Zumindest in Deutschland natürlich in Deutsch, manchmal auch in Englisch, überall auf der Welt aber durch Zeichnungen, der Muttersprache der Architekten wie der Ingenieure. Eine gute Zeichnung sagt mehr als viele Seiten Text, in welcher Sprache auch immer. Eine Zeichnung ist international. Der kommunikative Bauingenieur muss demnach vor allem Eines beherrschen, das Zeichnen. Wo, wenn nicht an den Hochschulen, muss er diese Sprache lernen?

Ausblick

„Wie also in die Zukunft wirken...?“, um Wenzels Zitat aufzugreifen. Wie das Zeichnen und das Gestalten wieder integrieren in die Ingenieurausbildung von morgen? Jeder weiß, dass die Stundenpläne der Studierenden voll sind und dass kein Hochschullehrer auch nur eine einzige Minute seiner bestehenden Lehrveranstaltungen kampflos hergeben wird.

Trotzdem sollte es doch möglich sein, zwei Semester-Wochen-Stunden (SWS) für einen Grundkurs im Freihandzeichnen frei zu planen – wenn man es nur möchte, idealerweise direkt zu Studienbeginn. Während der folgenden Semester hätte jeder Student ausreichend Gelegenheit, seine Fertigkeiten im Freihandzeichnen zu vertiefen. Vorausgesetzt natürlich, alle Hochschullehrer hinterfragen einmal kritisch, ob nicht die eine oder andere – vielleicht sogar die meisten – der sowieso abverlangten Zeichnungen als Freihandzeichnungen eingefordert werden könnten, egal, ob es sich dabei um Entwurfs-, Konstruktions- oder Detailzeichnungen handelt (Bild 5 - 7). Sollte darüber hinaus wirklich eine CAD-Zeichnung erforderlich oder sinnvoll sein, so wird das Erstellen einer solchen umso leichter fallen, schließlich beherrscht man den Prozess – zumindest formal – schon per Hand. Andere Prioritäten also, das Freihandzeichnen als Pflicht und die CAD – Zeichnung als Kür. Back to basics.

Die Integration des Gestaltens in das Studium ist dagegen etwas schwieriger. Wieder steht das Zeitproblem, wieder wären anderwärtige Lehrveranstaltungen zu kürzen. Ein Grundkurs allein, wie beim Freihandzeichnen, wird hier nicht ausreichen. Vier SWS, besser sogar sechs, gelten wohl als Minimum.

Darüber hinaus stellt sich eine noch ganz andere Frage: Wer soll „Gestalten für Bauingenieure“ überhaupt unterrichten – Architekten oder Ingenieure? Natürlich Architekten, wollte man meinen, schließlich ist das deren Job. Analysiert man jedoch – wie Menn in [6] – den Entwurfsansatz von Architekten

und Ingenieuren, so ist dieser grundsätzlich verschieden. Steht bei Architekten die Formfindung im Vordergrund, so starten Ingenieure mit der Auswahl eines geeigneten Tragwerks. Womit die Frage schon beantwortet wäre, denn beim Entwurf eines Ingenieurbauwerkes kann es nur darum gehen, ein geeignetes Tragsystem „in Form“ zu bringen und nicht umgekehrt.

Zusammengefasst handelt es sich also um die inhaltliche Umschichtung einiger SWS sowie um die Auswahl geeigneten Lehrpersonals – lösbarer Aufgaben, meint der Verfasser. Überfällige allemal, bedenkt man, dass die hier diskutierten Probleme nicht neu sind, insbesondere der Vorwurf an die Ingenieure, keinen Anspruch mehr auf Mitgestaltung zu erheben.

Doch es gibt Aussicht auf Besserung, vorausgesetzt, die momentan viel diskutierten und anstehenden Studienreformen (Diplom) oder die Einführung neuer Studiengänge (Bachelor, Master) brechen eingefahrene Strukturen endlich auf und reformieren das Studium auch im Sinne des Wortes. Dazu gehört u.a. die kritische Reflexion bisheriger Studieninhalte bzw. -schwerpunkte und ggf. deren Neuverteilung. Diese Chance gilt es zu nutzen. Eine angemessene Integration von Freihandzeichnen und Gestalten kann dabei die Grundlage dafür bilden, dass sich kommende Bauingenieurs-generationen wieder als Partner des Architekten bei der Entwurfserarbeitung fühlen. Nur aus diesem Gefühl heraus kann und wird es auch wieder einen Anspruch auf Mitgestaltung geben.

Literatur

- [1] Germann, G.: Einführung in die Geschichte der Architekturtheorie. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft 1987
- [2] Jesberg, P.: Portrait: Die Forschergruppe Ingenieurbau. Beratende Ingenieure 24 (1994)
- [3] Kühn, Chr.: Stilverzicht – Typologie und CAAD als Werkzeuge einer autonomen Architektur. In: Bauwelt Fundamente 116. Braunschweig: Vierweg 1998
- [4] Lorenz, W.: „Das Schwierige hingegen, die Wirklichkeit“ – Bildung und Ausbildung im *Bauingenieurwesen im Umbruch*. In: Ingenieurbaukunst in Deutschland Jahrbuch 2003/2004
- [5] Marg, V.: Formsetzen und Formfinden – Gemeinsames Entwerfen von Ingenieuren und Architekten. In: Bauen mit Stahl. Dokumentation 656
- [6] Menn, Chr.: Ingenieur- oder Architekturbrücken? Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003)
- [7] Pfammatter, U.: Die Erfindung des modernen Architekten. Berlin: Birkhäuser 1997
- [8] Stiglat, K.: Dialog tut not. Brücken – nur ein Problem der Gestaltung. deutsche bauzeitung 123 (1989)
- [9] Belz, W.: Zusammenhänge. Köln: Müller 1993
- [10] Frei Otto (Hrsg.): Konstruktion, Ein Vorschlag zur Ordnung und Beschreibung von Konstruktionen. In: Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke; 23, Bd.3
- [11] Kuff, P.: Tragwerke als Elemente der Gebäude- und Innenraumgestaltung. Stuttgart: Kohlhammer 2001
- [12] Yee, R.; Stanley, P.: The golden proportion and its use in the aesthetic design of bridges. Civil Engineering 120 (1997)
- [13] Zeichnungen des Verfassers aus seiner Tätigkeit bei Alan Baxter & Associates, London

Autor

Dipl.-Ing. Volker Wetzka, Wehrpromenade 1, 03042 Cottbus, seit 2002 wiss. Mitarbeiter am Lehrstuhl Bautechnikgeschichte und Tragwerkserhaltung der BTU Cottbus