



Faszination Stahl- und Verbundbau

Dr. Joachim Kretz – Fachlicher Beirat

Die Bezeichnung „fachlicher Beirat“ als Funktion in einem Software Unternehmen impliziert neben Fachkenntnis auch die Fähigkeit, dieses Wissen in verschiedenster Form weiterzugeben. Dr. Joachim Kretz, bei mb-news Lesern geschätzt wegen seiner qualifizierten Fachartikel, hat sich sein Ingenieurwissen in jahrzehntelanger Erfahrung, im Finden von Lösungen für hochkomplizierte Problemstellungen und im Entwickeln und Anwenden von qualitativ bester Bausoftware angeeignet.

Dieses Wissen, diese Erfahrung möchten wir als renommiertes Software Unternehmen in der Zukunft noch mehr einsetzen und davon profitieren. Wir stellen Ihnen Dr. Kretz vor und haben einige außergewöhnliche Ingenieurfragestellungen und deren Lösung in dieser mb-news für Sie dargestellt, die jeden Tragwerksplaner interessieren dürften.

1 Interview

mb-news: Herr Dr. Kretz, erzählen Sie uns in wenigen Stichworten Ihren Ausbildungsweg und beruflichen Werdegang.

Dr. Kretz: Nach dem Schulabschluss und anschließendem Grundwehrdienst begann ich im WS 1979/80 mein Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Kaiserslautern mit der Vertiefungsrichtung Konstruktiver Ingenieurbau und den Schwerpunkten Statik und Stahlbau. Die Möglichkeit, während des Studiums statt der obligatorischen Studienarbeiten an Wettbewerben teilnehmen zu können, habe ich im Team – teilweise zusammen mit Architekturstudenten – erfolgreich genutzt:

- 1982: 1. Rang beim Förderpreis des Deutschen Stahlbaus (zusammen mit Monika Mrziglod-Hund, Alfred Pirrung und Michael Schumacher)
- 1984: 3. Rang beim Förderpreis des Deutschen Stahlbaus (zusammen mit Monika Mrziglod-Hund, Alfred Pirrung und Michael Schumacher)
- 1985: 1. Preis beim Schinkelwettbewerb (zusammen mit Alfred Pirrung)

Den heutigen Studenten kann ich nur empfehlen, diese Möglichkeiten wahrzunehmen, weil es mich um besondere Erfahrungen reicher gemacht hat. Im Jahr 1986 schloss ich das Studium mit dem Diplom ab. Die Promotion erfolgte 1999 bei Prof. Dr.-Ing. H. Bode, Universität Kaiserslautern zum Thema „Zur Zeitfestigkeit von Verbundträgern mit Profilblechen“.

Berufstätigkeit:

- 1986 - 1990: Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Dr.-Ing. H. Bode im Fachgebiet Stahlbau, Universität Kaiserslautern
- 1990 - 1994: Mitinhaber des Ingenieurbüros Kretz & Schanzenbach Engineering
- 1991 - 1994: Geschäftsführender Gesellschafter der Kretz & Schanzenbach Software GmbH
- 1994 - 2004: Geschäftsführender Gesellschafter der Kretz Software GmbH
- Seit 1995: Inhaber des Ingenieurbüros Dr. Kretz
- Seit 2004: Fachlicher Berater der Firmen Kretz Software GmbH sowie der mb AEC Software GmbH

Um über aktuelle Forschungsvorhaben und Tätigkeiten im Bereich des Bauwesens informiert zu sein und ggf. aktiv daran teilnehmen zu können, bestehen Mitgliedschaften in nachfolgenden Ausschüssen bzw. Arbeitskreisen:

- Seit 1997: Mitarbeit im Normenausschuss Bauwesen (NABau) NABau-AA 08.99.99 „Verbundbau“
- Seit 1997: Mitglied im Arbeitsausschuss Verbundbau des Deutschen Stahlbaus
- Seit 2000: Mitglied im Arbeitsausschuss Brandschutz des Deutschen Stahlbaus
- Seit 2001: Vorsitzender des Arbeitskreises Brückenbau der Beratenden Ingenieure der Ingenieurkammer Rheinland Pfalz
- Seit 2014: Mitglied im Arbeitskreis Software des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins

mb-news: Verbundbau ist ein großes Thema bei Ihnen – was fasziniert Sie an diesem speziellen Bereich der Tragwerksplanung? Wie sind Sie zu diesem Schwerpunktthema Verbundbau gekommen? Und wie kam es zur Entwicklung eigener Programme (Kretz-Software)?

Dr. Kretz: Jeder Baustoff für sich hat Stärken, aber auch gewisse Schwächen. So weist der Stahl eine hohe Zug- und Druckfestigkeit auf, verliert aber unter Brandeinwirkung relativ schnell an Tragfähigkeit. Der Beton als preisgünstiger und beliebig formbarer sowie feuerwiderstandsfähiger Baustoff muss unter Druck gesetzt werden, um seine Stärken zu entfalten. Auf Zug ist er durch Bewehrung zu verstärken. Konstruiert man nur mit den Einzelbaustoffen, so können auch nur dessen Vorteile genutzt werden. Bei optimierter Verbindung der Einzelbaustoffe zu einem neuen, ideellen Verbundquerschnitt werden gezielt die positiven Eigenschaften aller Materialien genutzt (hohe Tragfähigkeit, verbesserte Feuerwiderstandsfähigkeit). Mich fasziniert, dass bei geschickter Kombination der einzelnen Werkstoffe zu einem neuen, ideellen Querschnitt, Verbundquerschnitte entstehen, die deutlich geringere Abmessungen besitzen als die reinen Stahl- oder Betonquerschnitte und darüber hinaus noch wesentlich leistungsfähiger (tragfähiger) sind. Gute Verbindungen zahlen sich aus!

Software als nützliches Hilfsmittel für den Ingenieur schafft die Möglichkeit, Varianten zu berechnen und so für eine gegebene Situation eine optimierte Lösung zu finden. Und beim Stahl-Betonverbund muss ja nicht Schluss sein; es gibt also noch viel zu tun.

Schon während des Studiums, als wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für Stahlbau und als freier Mitarbeiter in einem Ingenieurbüro, wurde ich mit der Königsdisziplin des Ingenieurbaus, dem Brückenbau, konfrontiert. Wer schon einmal selbst eine mehrfeldrige Verbundbrücke über alle Bauzustände bis hin zum Endzustand ohne besondere Hilfsmittel (lediglich Stabwerksprogramme) „von Hand“ bemessen und nachgewiesen hat, kann den dafür erforderlichen Aufwand nachvollziehen. Für viele unterschiedliche Zeitpunkte müssen Querschnittswerte, Schnittgrößen, Verformungen, Spannungen, etc. berechnet und mit dem nachfolgenden Bauzustand überlagert werden. Ein immenser Aufwand (im Unterschied zu den heute verfügbaren Spezialprogrammen).

Um diese Vorgänge / Berechnungen zu verkürzen und zu optimieren, begann die Entwicklung entsprechender Hilfsprogramme. Angefangen von reinen Querschnittsermittlungen bis hin zu einer vollständigen Bemessung für Durchlaufträgersysteme.

Im Laufe der Zeit war in die Entwicklung dieser Module so viel Energie und Aufwand investiert worden, dass sich die „Investitionen“ nur über einen Vertrieb noch rechnen konnten. Bis zu ersten marktreifen Programmversionen war es aber noch ein weiter Weg!

mb-news: Das Ingenieurbüro Dr. Kretz beschäftigt sich oft mit sehr besonderen Fragestellungen. Erzählen Sie uns ein bisschen zu den Projekten, die Sie in dieser mb-news vorstellen möchten.

Dr. Kretz: Das Ingenieurbüro Dr. Kretz ist auf den Gebieten Hoch-, Industrie- und Brückenbau tätig. Dies vornehmlich im Stahl- und Stahlverbundbau. In den letzten Jahren hat sich das Tätigkeitsfeld auf Glas- und Fassadenkonstruktionen erweitert. Anhand von einigen kurzen Projektvorstellungen soll nachfolgend ein kleiner Einblick in die unterschiedlichen Aufgabenstellungen gegeben werden.

Als erstes Projekt wird eine Stahlkonstruktion als Filtergehäuse mit Kamin aus dem Bereich der Umwelttechnik betrachtet. Dabei handelt es sich für die numerische Berechnung um eine Kombination von Schalen- und Stabtragwerken. Diese Art von Filterkonstruktionen werden weltweit aufgestellt, so dass bei einer Bemessung / Nachweisführung zwar immer ähnliche Konstruktionen betrachtet werden, die Bemessung aber nach den länderspezifischen Normenwerken zu erfolgen hat. Neben den unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (Wind, „Schnee“) sind für die Bemessung stets die temperaturabhängigen (Heißgase) Festigkeitsabminderungen zu berücksichtigen.

Das zweite Projekt kommt aus dem Bereich der temporären Bauhilfsmittel, dem Gerüstbau (hier Arbeitsgerüste). Eigentlich sind diese Tragwerke einfache ebene bzw. räumliche Stabtragwerke. Eine normgerechte Nachweisführung und Bemessung ist jedoch nur unter Berücksichtigung der realitätsnahen Steifigkeiten der Bauteile, insbesondere der Steifigkeiten der Verbindungen möglich. Dabei handelt es sich um nichtlineare Momenten-Verdrehungskennlinien und Normalkraft-Dehnungskennlinien. Aufgrund der hohen Schlankheit der Gerüste ist bei der Schnittgrößenermittlung der Gleichgewichtszustand stets am verformten System unter Berücksichtigung der lokalen und globalen Imperfektionen und der Anschlusscharakteristiken zu ermitteln.

In einer der folgenden mb-news werden noch zwei weitere Projekte vorgestellt:

Große Kräfte mit relativ kleinen Querschnitten sicher zu übertragen zeigen die Ausführungen zum dritten Projekt, Verbundstützen bei Hochhäusern. Neben den im normalen Hochbau typischen Verbundstützenquerschnitten (teilweise einbetonierte Stahlprofile, ausbetonierte Hohlprofile, etc.) werden bei Hochhäusern oft Sonderformen von Stützenquerschnitten eingesetzt. Im betrachteten Projekt (HighLight Munich Business Towers) wird über die Hauptaussteifungsstütze (HAS) im Erdgeschoss eine Druckkraft von 94.000 kN über einen Verbundquerschnitt von 1060 mm Durchmesser übertragen. Um sich eine Vorstellung von der Größenordnung der Kraft zu machen, kann man sich die Kraft auch als die Gewichtskraft von 9.400 „übereinander gestapelter“ VW-Käfer (1 VW-Käfer entspricht ca. 1 to) vorstellen, die über den Verbundstützenquerschnitt übertragen werden! Diese Sonderquerschnitte sind nicht mit den einfachen Näherungsverfahren für Verbundstützen nachzuweisen; hier bedarf es einer Berechnung nach dem Allgemeinen Nachweisverfahren.

Dass auch kleine (2.0 mm Durchmesser) Querschnittsabmessungen hohe Anforderungen an die Berechnung stellen können, soll das vierte Projekt, ein Seilnetz als Spielfläche in einer Kita, zeigen. Die richtige Erfassung des Tragsystems und damit die wirklichkeitsnahe Ermittlung des Kraftverlaufs in der Konstruktion, ist Voraussetzung für eine zutreffende Ermittlung der vorhandenen Sicherheit. Und diese Sicherheit muss – wie bei anderen Konstruktionen auch – gewährleistet sein.

Die Beschreibungen der einzelnen Projekte erheben keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit (dies ist bei der Kürze des Artikels auch nicht möglich). Vielmehr sollen lediglich einige Besonderheiten des jeweiligen Projektes vorgestellt werden. Dazu werden zum besseren Verständnis einige Berechnungsanforderungen und -grundlagen angegeben.

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir zum nächstmöglichen Zeitpunkt eine/n engagierte/n Mitarbeiter/in für die Bereiche:

Entwicklung, Qualitätssicherung, Vertrieb / Consulting, Hotline



Freuen Sie sich auf ein spannendes Aufgabengebiet in einem aufstrebenden, innovativen Unternehmen. Es erwartet Sie ein offenes, von Teamgeist und Erfolgsorientierung geprägtes Arbeitsklima sowie ein auf langfristige Zusammenarbeit angelegter Arbeitsplatz mit attraktiven Konditionen.

Auch als Berufseinsteiger sind Sie bei uns willkommen.

Weitere Informationen finden Sie unter www.mbaec.de/karriere



Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen unter Angabe Ihrer Gehaltsvorstellung sowie eines möglichen Eintrittstermins richten Sie bitte an:
mb AEC Software GmbH · Personalabteilung · Europaallee 14 · 67657 Kaiserslautern · personal@mbaec.de

2 Ingenieurbüro Dr. Kretz - Projektauszug

2.1 Stahl-Filterkonstruktion

Im Bereich der Umwelttechnik werden Filterkonstruktionen zu Reinigungszwecken eingesetzt. Diese Filterkonstruktionen bestehen üblicherweise aus einem Filtergehäuse zur Aufnahme eines Elektronassfilters und einem aufgesetzten Kamin (Bild 2). Neben den eigentlichen Filterelementen werden weitere Elemente der Anlagentechnik für den Filterprozess auf den verschiedenen Ebenen im Filterinnern angeordnet. Je nach Standort und Aufgabe der Filterkonstruktion variieren sowohl die Geometrie (Rundfilter, Ovalfilter) als auch die Abmessungen.

Der Außendurchmesser des dargestellten Filtergehäuses beträgt 7.65 m bei einer Höhe von 19.50 m. Auf dem Filterdach ist ein Kamin (Ø 1.80 m) mit einer Höhe von 32.50 m angeordnet, so dass sich die Gesamthöhe zu 52.0 m ergibt. Auf + 6.20 m bindet ein Rohgaskanal mit $b/h = 3.40 \times 1.70$ m in das Filtergehäuse ein. Im Filterinnern ist eine Zentralstütze angeordnet, die aus 3 tragenden Einzelrohren besteht. Zur Stabilisierung (Beulen) werden über die Filterhöhe und im Kamin horizontale Aussteifungsringe angeordnet. Die dünnwandigen Filterbleche werden in vertikaler Richtung durch Filterwandstützen ausgesteift. Im Filterinnern befinden sich Arbeitsbühnen und Bühnen (Ausführung in Edelstahl) für die Anlagentechnik.

Vertikallasten:

Die Vertikallasten setzen sich aus den Eigengewichten der Konstruktion und der Einbauten sowie den prozessbedingten Verkehrslasten (Schmutz, Wasser) zusammen. Die Lasten werden dabei als Einzel-, Flächen- und Linienlasten in das FE-Modell eingearbeitet. Die Bühnenbeanspruchungen werden an die Zentralstützen und die Filteraußenwand und von dort in die Gründung weitergeleitet.

Windlasten:

Für Kreiszyylinder bestimmen sich die Windbeanspruchungen (für Deutschland) nach DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.9. Für Bauwerke über 25 m Höhe ist ein höhenabhängiger Geschwindigkeitsdruck anzunehmen. Die Bestimmung der Druckbeiwerte, die u.a. über die Reynoldszahl und einen Abminderungsfaktor ψ_λ bestimmt werden, sind darüber hinaus vom Umfangswinkel α abhängig (Bild 1).

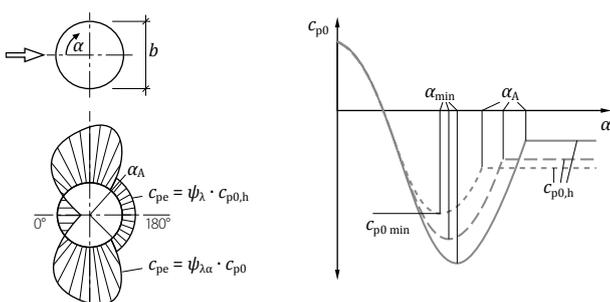


Bild 1. Druckverteilung über einen schlanken, zylindrischen Querschnitt nach DIN EN 1991-1-4



Bild 2. Visualisierte Konstruktion eines Rundfilters mit Kamin

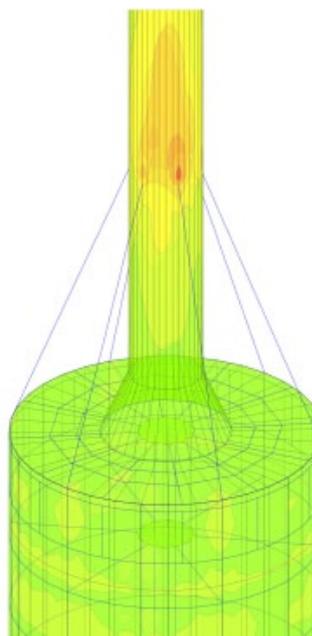


Bild 3. Vergleichsspannungen (Ausschnitt) der Schalenstruktur

Eine auszugsweise Auswertung einer Winddruckverteilung für das Filtergehäuse ist der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmen.

Winkel α	Beiwert $C_{p,0}$ bzw. $C_{p,0,h}$	Abminderungsfaktor $\Psi_{\lambda\alpha}$	Druckbeiwert C_p	Staudruck q	Winddruck w [kN/m ²]
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,89	1,00	0,89	1,00	0,89
20°	0,59	1,00	0,59	1,00	0,59
30°	0,14	1,00	0,14	1,00	0,14
40°	-0,38	1,00	-0,38	1,00	-0,38
50°	-0,88	1,00	-0,88	1,00	-0,88
60°	-1,26	1,00	-1,26	1,00	-1,26
70°	-1,47	1,00	-1,47	1,00	-1,47
80°	-1,48	0,99	-1,46	1,00	-1,46
90°	-1,29	0,93	-1,20	1,00	-1,20
100°	-0,98	0,81	-0,80	1,00	-0,80
110°	-0,80	0,75	-0,60	1,00	-0,60
120°	-0,80	0,75	-0,60	1,00	-0,60
130°	-0,80	0,75	-0,60	1,00	-0,60
140°	-0,80	0,75	-0,60	1,00	-0,60
150°	-0,80	0,75	-0,60	1,00	-0,60
160°	-0,80	0,75	-0,60	1,00	-0,60
170°	-0,80	0,75	-0,60	1,00	-0,60
180°	-0,80	0,75	-0,60	1,00	-0,60

Tabelle 1. Windbeanspruchung auf einen zylindrischen Filter

Betriebsdruck:

Im Bereich des Filters ist ein Betriebsdruck als innerer Überdruck zu berücksichtigen. Aus den Lastfällen „Eigengewicht der Konstruktion“, „Eigengewicht der Einbauten“, „Verkehrslasten“, „Wind in x- und y-Richtung“ sowie innerer Überdruck lassen sich die maßgebenden Lastkombinationen nach Theorie II. Ordnung bilden.

Nachweise/Bemessung:

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind im Wesentlichen die Einhaltung der zulässigen Verformungen (maßgebende Stelle = Kaminkopf) sowie ein ausreichender Widerstand gegen die Schwingungsanfälligkeit des schlanken Kamins nachzuweisen.

Die GZT-Nachweise für die Flächenelemente sind anhand der Vergleichsspannungen zu überprüfen. Die Maximalbeanspruchungen treten erwartungsgemäß in Bereichen von lokalen Lasteinleitungsstellen (Bild 3) und/oder in den Eckbereichen von Öffnungen auf. Zur Einhaltung der zulässigen Beanspruchungen werden diese Bereiche ggf. lokal verstärkt. Dies kann durch Aussteifungselemente oder Erhöhung der Materialdicke erfolgen.

Die dünnwandigen Filterwände sind infolge der relativ hohen Druckkräfte stabilitätsgefährdet. Zur Einhaltung der Stabilitätskriterien sind deshalb die Anordnung von horizontalen Aussteifungsringen (im Filter- und Kaminbereich) sowie die Anordnung von vertikalen Filterwandstützen erforderlich (vgl. Visualisierung in Bild 2).

Der ungestörte Kraftfluss in den Zentralstützen ist durch die horizontale Einmündung weiterer Profile nicht mehr gegeben. Infolge von Querschnittsschwächungen sind solche Stellen anfällig für ein Stabilitätsversagen. Im Rahmen einer Stabilitätsanalyse ist eine ausreichende Sicherheit nachzuweisen. Im Bereich des zu erwartenden Versagens sollte mit einer feineren Elementdiskretisierung gerechnet werden.

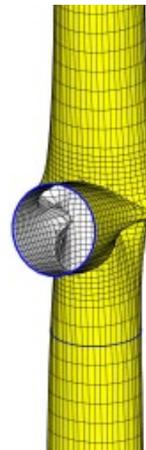


Bild 4. Stabilitätsuntersuchung einer Zentralstütze im Bereich der Anbindung einer horizontalen Rohreinbindung

Die Stabelemente der Konstruktion (Kaminabstützung, Filterwandstützen, etc.) können mit den aus DIN EN 1993-1-1 bekannten Regeln auf Stabilität nachgewiesen werden. Dabei sind die Besonderheiten / Anpassungen für Edelstahl zu beachten. Wegen der (i.d.R.) auftretenden Zugkräfte ist auch der Verankerung der Filterkonstruktion ein besonders Augenmerk zu schenken.

2.2 Gerüste - Arbeitsgerüste

Arbeitsgerüste sind Gerüste, von denen aus Arbeiten (Montage, Demontage, etc.) verrichtet werden. Der Gerüstbau ist eine elementierte Bauweise, bei der vorgefertigte Gerüstbauteile eines Gerüstsystems zur Ausführung kommen. Diese Gerüstsysteme müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung besitzen, in der eine Regelausführung beschrieben ist. Diese Regelausführung, für die auf der Grundlage der abZ (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung) der Standsicherheitsnachweis erbracht ist, gilt je nach Zulassung für Aufbauhöhen bis ca. 24 m über Gelände. Davon abweichende Ausführungen bedürfen eines gesonderten Nachweises, wobei die erforderlichen Kennwerte in der jeweiligen Zulassung angegeben sind. Bild 5 zeigt beispielhaft die wesentlichen Elemente für Systemgerüste im Arbeits- und Schutzgerüstbau.

Das hier beschriebene Arbeitsgerüst bedarf eines gesonderten statischen Nachweises, da es mit einer Gerüsthöhe von ca. 84 m nicht mehr der Regelausführung entspricht.

Die technischen Regeln für Arbeits- und Schutzgerüste liegen mit der DIN EN 12811-1 vor. In dieser Norm sind die konstruktiven Anforderungen und die Nachweis- und Bemessungsformate für diese Gerüste zusammengefasst. Nach deutschem Baurecht sind darüber hinaus Restnormen (DIN 4420-1, DIN 4420-2, DIN 4420-3 und DIN 4420-4) in Ergänzung zur DIN 12811-1 zu berücksichtigen.

Entwurf, Bemessung und Einsatz von temporären Bauhilfsmitteln erfordern ergänzende, über die aus dem konstruktiven Ingenieurbau bekannten Überlegungen hinausgehende, Untersuchungen und Nachweise. Dies betrifft neben der Art und Größe der Nutzlasten vor allem die Verbindungsmittel und Knotenkonstruktionen.

Anmerkungen zu den Lastansätzen

(ohne nähere Erläuterungen):

Gerüste werden hinsichtlich ihrer Lastklasse eingestuft. Damit sind die anzusetzenden Lastarten und Lastgrößen normmäßig definiert (siehe DIN 4420 und 12811).

Die Angaben in DIN EN 12811-1 decken sämtliche Einsatzfälle für den Windlasten von Arbeitsgerüsten ab. Die Interaktion zwischen der auf das Gerüst anzusetzenden Windlast und der Durchlässigkeit φ_B des hinter dem Gerüst stehenden Gebäudes wird durch den Lagebeiwert c_s erfasst.

In den Berechnungen sind nach [1] entsprechend den möglichen Arbeitsabläufen auf Arbeitsgerüsten zwei Niveaus der Windbeanspruchung zu berücksichtigen:

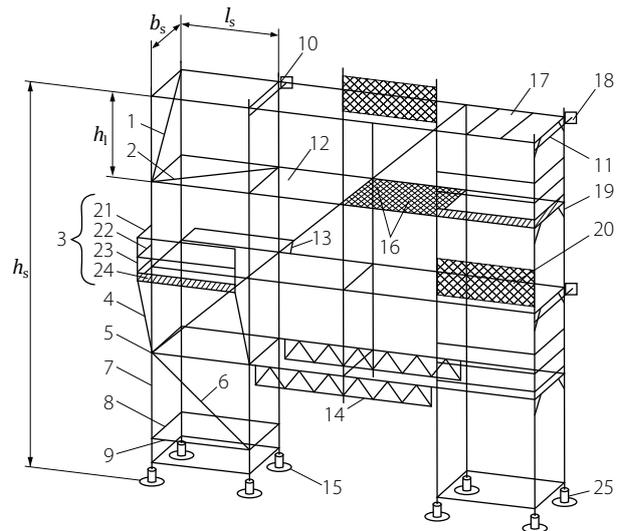
- Arbeitswind mit einem Staudruck von 0.20 kN/m^2 in Verbindung mit der vertikalen Verkehrslast, da bei den damit verbundenen maximalen Windgeschwindigkeiten von 65 km/h ein Arbeiten auf dem Gerüst noch möglich ist
- Maximaler Wind ohne oder mit einem Teil der Verkehrslast. Der Windansatz entspricht den Windbeanspruchungen gemäß DIN EN 1991-1-4, ggf. reduziert mit dem Staufaktor 0.70 , der auf den Staudruck anzuwenden ist, für den Fall, dass das Gerüst maximal zwei Jahre an einem Standort errichtet ist.

Durch einen pauschalen Zuschlag von 20% in vertikaler Richtung und 10% in horizontaler Richtung, jeweils bezogen auf die bewegten Massen, sind dynamische Effekte, wie sie aus einem üblichen Arbeitsprozess resultieren, zu berücksichtigen.

Knotenkonstruktionen und Verbindungsmittel:

Eine ganz wesentliche Forderung des Gerüstbaus sind einfach schließbare und einfach lösbare Verbindungsstrukturen. Bei Verwendung dieser einfach montierbaren und demontierbaren Knotenkonstruktionen ist für eine statische Berechnung die Notwendigkeit gegeben, das Last-Verformungsverhalten wirklichkeitsnah zu berücksichtigen. Damit dies möglich ist, sind für die Systemgerüste die erforderlichen Kennwerte der jeweils gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zu entnehmen.

Insbesondere bei der Analyse schlanker und damit stabilitätsgefährdeter Systeme ist es zwingend erforderlich, diese Eigenschaften zutreffend abzubilden und deren Einfluss auf das globale Tragverhalten zu erfassen.



Legende

h_s	Höhe des Arbeitsgerüsts
b_s	Gerüstfeldbreite, von Ständermitte zu Ständermitte
l_s	Gerüstfeldbreite, von Ständermitte zu Ständermitte
h_1	Abstand benachbarter horizontaler Ebenen
1	Vertikalaussteifung (Querdiagonale)
2	Horizontalaussteifung (Horizontaldiagonale)
3	Seitenschutz
4	Konsolstrebe
5	Knoten
6	Vertikalaussteifung (Längsdiagonale)
7	Ständer
8	Querriegel
9	Längsriegel
10	Kupplung
11	Gerüsthalter
12	Belagfläche
13	Konsole
14	Überbrückungsträger
15	Fußplatte
16	Belagteil
17	Horizontalrahmen
18	Gerüstanker
19	Vertikalrahmen
20	Geflecht
21	Geländerholm
22	Zwischenholm
23	Bordbrett
24	Geländerpfosten
25	Fußspindel

Bild 5. Wesentliche Elemente für Systemgerüste im Arbeits- und Schutzgerüstbau nach [1]



Bild 6. Foto eines ca. 84 m hohen Arbeitsgerüsts (hinter grüner Einnetzung); Foto Kretz

Modulgerüstknoten:

Auf der Grundlage der eingeführten technischen Baubestimmungen sind die Knotenkonstruktionen von Modulgerüsten alleine nicht nachweisbar; dazu sind allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen erforderlich. Darin sind Momenten-Verdrehungs-Beziehungen angegeben.

An einem Gerüstknoten können die in Bild 8 angegebenen Drehfedern, die die Momenten-Verdrehungs-Charakteristiken wiedergeben, auftreten.

Die Drehfedersteifigkeit, d.h. die Momenten-Verdrehungs-Charakteristik eines Gerüstknotens in der vertikalen Ebene bei negativem Biegemoment ist in Bild 9 beispielhaft nach der abZ Nummer Z-8.22-843 für das Modulsystem plettac contour dargestellt.

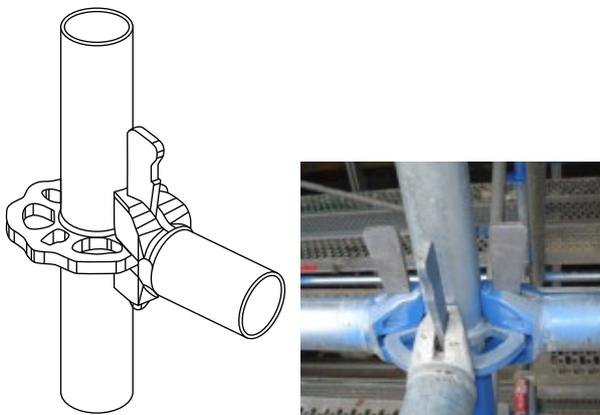
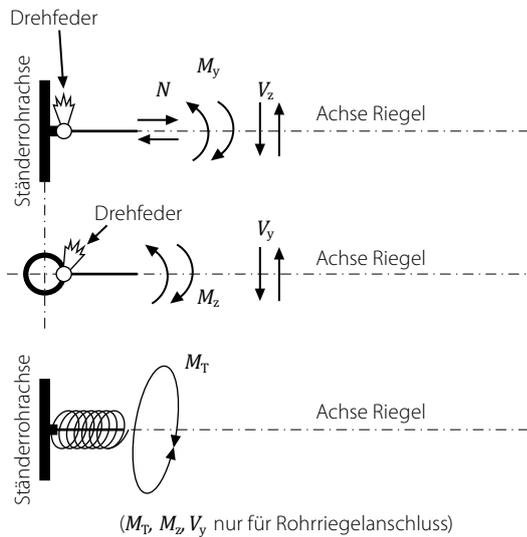


Bild 7. links: Prinzipskizze eines Modulgerüstknotens rechts: Modulgerüstknoten - Ausführung



(M_y, M_z, V_y nur für Rohrriegelanschluss)

Bild 8. Mögliche Drehfedern eines Gerüstknotens

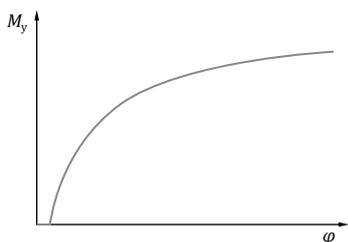


Bild 9. Drehfedersteifigkeit im Auflager-Riegelanschluss in der vertikalen Ebene bei negativem Biegemoment

Diagonalenanschlüsse:

Die Bestimmung von Tragfähigkeit und Steifigkeit für exzentrisch angeschlossene Anschlüsse im Modulknoten ist sehr komplex. Die entsprechenden Kennlinien (Wegfedersteifigkeiten) werden deshalb aus Versuchsauswertungen bestimmt. Das statische System einer solchen Verbindung ist Bild 10 zu entnehmen.

Aus Versuchsauswertungen werden die entsprechenden Kennlinien (Wegfedersteifigkeiten) bestimmt.

Gerüstkupplungen:

Mit Gerüstkupplungen werden Gerüstbauteile wie z. B. Gerüstrohre, miteinander, oder Gerüstrohre mit anderen Profilen kraftschlüssig verbunden (Bild 11).

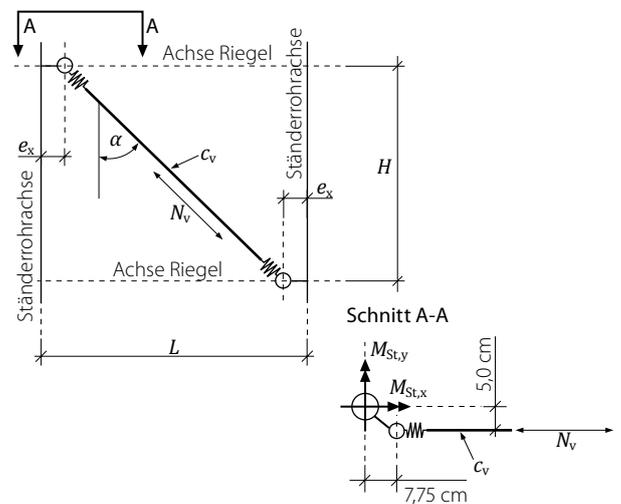


Bild 10. Prinzipskizze des statischen Systems der Vertikaldiagonalen eines Gerüstknotens



Bild 11. Gerüstkupplungen

Hinsichtlich des Tragmechanismus werden nach [1] unterschieden:

- **Normkupplungen:** Verbindungen von zwei rechtwinklig kreuzenden Gerüstrohren. Normalkupplungen können sechs Schnittgrößen übertragen. Diese werden durch Längskräfte in Richtung der Stabachsen, durch Kräfte senkrecht zur Ebene der sich kreuzenden Rohre, durch ein in dieser Ebene wirkendes Biegemoment und durch Torsionsmomente erzeugt.
- **Drehkupplungen:** Verbindungen von zwei unter beliebigem Winkel kreuzenden Gerüstrohren. Sie sind mit Ausnahme des Biegemomentes M_{Nd} den gleichen Beanspruchungen wie Normalkupplungen unterworfen.

Desweiteren werden Stoßkupplungen, Halbkupplungen und Reduzierkupplungen unterscheiden, auf die im Rahmen des Artikels aber nicht näher eingegangen wird. Die Beanspruchungen einer Normkupplung sind prinzipiell aus Bild 12 ersichtlich.

Auch für die Gerüstkupplungen werden die Feder- und Dehnsteifigkeitscharakteristiken in der abZ des Gerüstsystems angegeben. Beispielhaft ist die Momenten-Verdrehungscharakteristik einer Normkupplung in Bild 13 dargestellt.

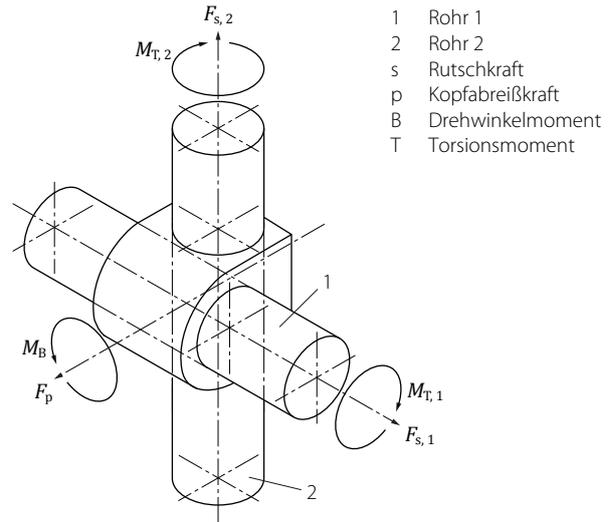
Berechnungsmodell / Geometriemodellierung unter Berücksichtigung der Imperfektionen:

Die Wahl eines geeigneten Berechnungsmodells bildet die Grundlage zur Ermittlung der maßgebenden Beanspruchungen. Das Berechnungsmodell muss neben der Berücksichtigung der federnden, nichtlinearen Anschlusscharakteristiken bei der Geometriemodellierung auch die sich ergebenden Exzentrizitäten berücksichtigen. Die Exzentrizitäten ergeben sich einerseits planmäßig aus der Konstruktion der Gerüstmodule (z.B. exzentrische Stabanschlüsse in den Knotenpunkten) und andererseits durch die unplanmäßigen Exzentrizitäten infolge von Imperfektionen der Gerüstkonstruktion. Diese Imperfektionen umfassen folgende Anteile:

- Lasteinleitungsimperfektionen
- Globale Vorverformungen infolge der Spiele zwischen den Gerüstbauteilen
- Lokale Vorkrümmungen der unter Druck stehenden Bauteile

Globale Vorverformungen infolge der Spiele zwischen den Gerüstbauteilen:

Für den einfachen Zusammenbau der Gerüstkomponenten auf der Baustelle sind Spiele an den Knotenpunkten erforderlich. Diese erzeugen bei Gerüstsystemen Imperfektionen bzw. Vorverformungen, die sowohl Versätze als auch relative Schiefstellungen zwischen den einzelnen Bauteilen des Gerüsts umfassen. Die Größe des Vorverformungswertes ist für das jeweilige Verbindungsdetail anhand der geometrischen Nennmaße der Gerüstkomponenten zu bestimmen. Diese Vorverformungen können beispielsweise direkt im geometrischen Modell über Verrückungen der Knotenpunkte von der Idealgeometrie und entsprechende Knotenkupplungen (Bild 14) im mechanischen Modell abgebildet werden.



- 1 Rohr 1
- 2 Rohr 2
- s Rutschkraft
- p Kopfabreißkraft
- B Drehwinkelmoment
- T Torsionsmoment

Bild 12. Prinzipskizze der Beanspruchung einer Normkupplung

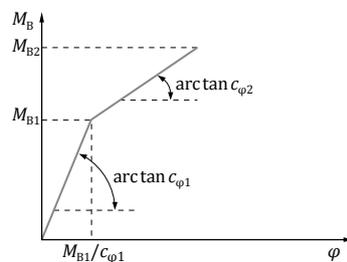


Bild 13. Momenten-Verdrehungscharakteristik einer Normkupplung

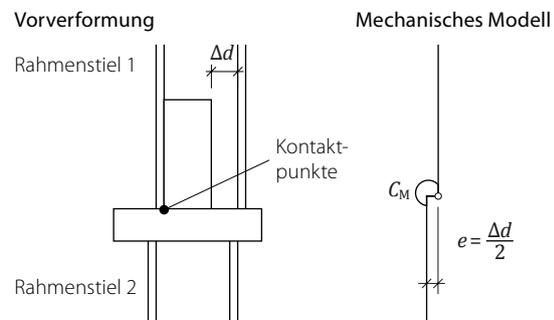


Bild 14. Prinzipskizze für Vorverformungen infolge Versatz bei einer Stoßverbindung (Spiel) nach [1]

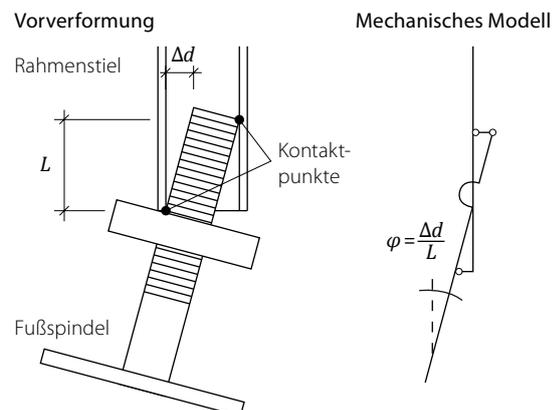


Bild 15. Prinzipskizze für Vorverformungen infolge Schiefstellung der Fußspindel nach [1]

Lokale Vorkrümmungen der unter Druck stehenden Bauteile:

Zusätzlich zu den „globalen“ Vorverformungen sind bei der rechnerischen Analyse die lokalen Vorkrümmungen der unter Druckbeanspruchung stehenden Tragelemente der Gerüstkonstruktion zu berücksichtigen. Diese sind gemäß DIN EN 1993-1-1 (EC 3) in die Berechnung einzuführen. Diese Vorkrümmungen stellen Ersatzimperfektionen gemäß EC 3 dar, die neben den geometrischen Imperfektionen (geom. Vorverformungen) auch die strukturellen Imperfektionen (Eigenspannungen, etc.) enthalten. In Bild 16 ist beispielhaft eine mögliche lokale Vorkrümmung eines Gerüstsystems dargestellt.

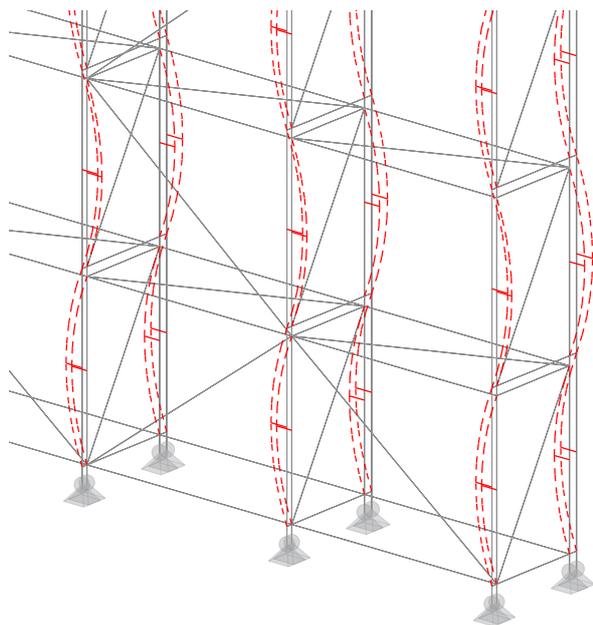


Bild 16. Mögliche „lokale“ Vorkrümmung eines Gerüstsystems (Ausschnitt)

Gesamtvorverformungsfigur:

Die Ermittlung der für die Traglast maßgebenden Gesamtvorverformungsfigur stellt eine wesentliche Schwierigkeit bei der Geometriemodellierung unter Berücksichtigung der globalen und lokalen Vorverformungen dar. Ganz wesentlich ist, dass mehrere Vorverformungsfiguren untersucht werden, da sich diese sowohl in Abhängigkeit der Lastkombination als auch hinsichtlich des nachzuweisenden Bauteils unterscheiden können.

Steifigkeitsermittlung:

Die Ermittlung der elastischen Steifigkeit der stabförmigen Gerüstbauteile stellt keine große Schwierigkeit dar, da sich diese gemäß dem gültigen technischen Regelwerk über die Querschnittswerte und den Elastizitätsmodul bzw. die Schubsteifigkeit des Werkstoff ermitteln lässt. Die Steifigkeitsermittlung der Knotenpunkte ist hingegen sehr viel komplexer. Für sämtliche an einem Knoten angreifenden Komponenten müssen die Federcharakteristiken dem gültigen Regelwerk bzw. der abZ des eingesetzten Systemgerüsts entnommen und in das Berechnungsmodell eingearbeitet werden. Je nach Lastkombination können dann die Steifigkeiten im System aktiviert und zur Bestimmung der Beanspruchungen herangezogen werden.

Sofern die Gründungsverhältnisse es ermöglichen, darf nach DIN EN 12811-1 für die Fußspindel eine elastisch-plastische Federcharakteristik berücksichtigt werden. Die Größe der Drehfedersteifigkeit ist in diesem Fall mit $c_M = 2000 \text{ kN/rad}$ einzusetzen.

Berechnungs- und Nachweisverfahren:

Die Gerüstberechnungen sind wegen der hohen Schlankheit der Systeme nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der zuvor aufgelisteten Imperfektionen und der Dreh- und Dehnfedercharakteristiken in den Knotenkonstruktionen durchzuführen.

Nachweisführung:

Mit den durch das Berechnungsmodell unter Berücksichtigung aller Nichtlinearitäten in den Steifigkeiten ermittelten Beanspruchungen ist der Nachweis zu führen, dass diese resultierenden Beanspruchungen die jeweiligen Widerstände der Bauteile und die ihrer Verbindungen nicht übersteigen. Die Nachweisbedingungen dazu sind in DIN EN 12811-1 für die Knotenverbindungen und für die stabförmigen Bauteile in DIN EN 1993-1-1 angegeben und werden hier nicht weiter erläutert.

Gerüstmodellierung:

Das in Bild 6 abgebildete Hochhaus wurde auf den Längsseiten (2 x ca. 100 m) und den Stirnseiten (2 x ca. 54 m) mit ca. 84 m hohen Arbeitsgerüsten eingerüstet. Ein Teilsystem davon wird nachfolgend auszugsweise bzgl. der Konstruktion und des Berechnungsmodells vorgestellt.

Betrachtet wird ein Ausschnitt aus einem unteren Teilbereich (von OK Gelände bis 44 m Höhe) eines Gerüstsystems auf der Längsseite des Gebäudes.

Gerüstbeschreibung:

Eingesetzt wurde ein Systemrahmengerüst Layer Blitz100 gemäß Zulassung Z8.1-840 mit Feldweiten von ca. 2.57 m. Die Einstufung erfolgte in die Lastenklasse 4. Daraus ergaben sich die auf das Gerüstsystem anzusetzenden Belastungen gemäß DIN EN 12811-1.

Die Aussteifung in Längsrichtung erfolgte mit Diagonalen aus Rohren Ro48.3x3.2 in S 235. Aufgrund der Gerüsthöhe wurden die Vertikalkräfte so groß, dass zur sicheren Lastabtragung jeder Rahmenzug auf der Innen- und Außenscheibe mit Zusatzstielen Ro48.3x3.2 in S 235 zu verstärken war. Die Rahmenstiel-Zusatzstiel-Kopplung erfolgte mit Kupplungen SW A DIN EN 74. Angebonden wurde das Gerüstsystem an das Gebäude über doppelte Längsriegel Ro48.3x3.2 in S 235, Anschluss-Stiele RA B nach DIN EN 74, und Ankerrohre bzw. Gerüsthalter (vgl. Bild 17a). Mindestens in jeder zweiten Gerüstlage wurde das Gerüst am Gebäude mittels Gerüsthalter befestigt. In Bild 17 wird das modellierte Teil-Gerüstsystem grafisch dargestellt, während im Bild 17a ein Ausschnitt der visualisierten Struktur im Bereich einer Anbindung an das Gebäude mittels Ankerrohren und Gerüsthalter (Lager) zu sehen ist.

In der Ausschnitts-Visualisierung sind die doppelten Längsrohre, an die die Ankerrohre mit der zu berücksichtigenden Anschlusscharakteristik (Federcharakteristik in der grafischen Darstellung und Visualisierung leider nicht sichtbar!) angeschlossen sind, deutlich zu erkennen. Darüber hinaus lassen sich die Kopplung der Vertikalstiele (Standard-Rahmenstiel gekoppelt mit Zusatzstiel) sowie die exzentrisch über Drehkupplungen angeschlossenen Diagonalen erkennen. Die exzentrischen Anschlüsse sind ebenfalls in Bild 17b aus einer anderen Perspektive sichtbar.

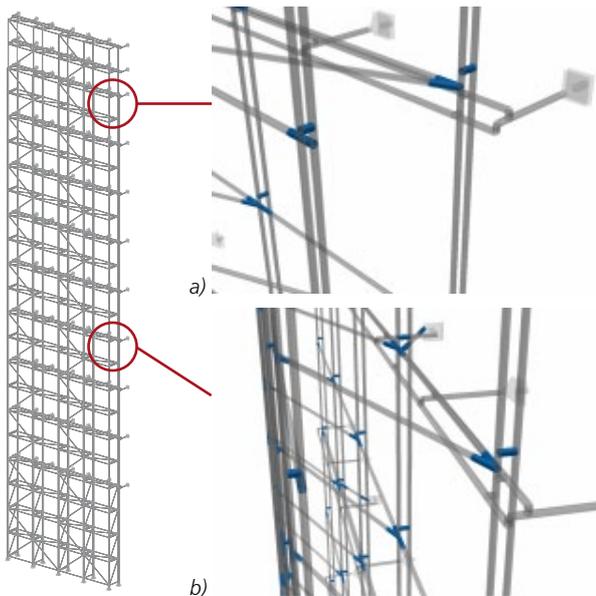


Bild 17. Unteres Teil-Gerüstsystem ($h = 44 \text{ m}$)
 a). Ausschnitts-Visualisierung im Bereich einer Anbindung an das Gebäude mittels Gerüstanker
 b). Ausschnittsvisualisierung Gerüstsystem (exzentrische Verbindungen)

mb-news: Herr Dr. Kretz, inwieweit fließen die Erfahrungen aus der Praxis des Ingenieurbüros in die Entwicklung der CoStruc-Programme mit ein?

Dr. Kretz: Nicht nur in die Entwicklung der CoStruc-Programme fließen die Erfahrungen der Ingenieurtätigkeit ein, sondern generell in die Entwicklung der mb WorkSuite. Auch bei den oben vorgestellten Projekten sind Ingenieur Erfahrungen eingeflossen.

Musste für die ersten Filterberechnungen die Windbeanspruchung der Kreiszyylinder noch selbst ermittelt (Tabellekalkulation) und dann mühsam als Belastung im Modell eingetragen werden, so kann zwischenzeitlich die Windlastbestimmung auf „Knopfdruck“ von MicroFe erzeugt werden. Eine wertvolle Funktion für jeden Anwender mit entsprechender Aufgabenstellung. Die Berechnungsmöglichkeiten des FEM-Programms für die Gerüstberechnungen, in dem alle Federcharakteristiken zur Lösung der Aufgabenstellung berücksichtigt werden können, beeindruckt. Als konstruktive Kritik ist jedoch anzubringen, dass diese Leistungsfähigkeit in der grafischen und visualisierten Ausgabe gar nicht ersichtlich ist. Es werden keine Symbole für eine Federcharakteristik ausgegeben.

Die Entwicklung des allgemeinen Nachweisverfahrens für Verbundstützen (Projekte Hochhäuser; ausführlichere Projektbeschreibung in der nächsten mb-news) geht auf konkrete Aufgabenstellungen des Ingenieurbüros zurück. Hierzu folgende Anmerkungen:

Seitens der ausführenden Stahlbaufirma DSD erhielt das damalige Ingenieurbüro Kretz & Schanzenbach Engineering den Auftrag zur Erstellung der prüffähigen statischen Berechnung zur Tragkonstruktion des Hochhauses der Commerzbank in Frankfurt. Wie der Prüfenieur des Projektes (Prof. Dr.-Ing. G. König) zu Recht forderte, waren die Verbundstützen nur unter Ansatz des allgemeinen Nachweisverfahrens nachweisbar. Eine solche Berechnungsmöglichkeit war zu diesem Zeitpunkt im Büro nicht verfügbar. Also wurde diese Berechnungsmöglichkeit (aufbauend auf den bis zu diesem Zeitpunkt bereits vorhandenen Entwicklungen) für dieses Projekt implementiert. Während Dr.-Ing. J. Schanzenbach zusammen mit Dipl.-Ing. Petra Licht die statische Bearbeitung vorbereitete und ausführte, wurden die Berechnungsgrundlagen von mir dokumentiert und anschließend von Dipl.-Inform. Rolf Heinen (Danke für die hervorragende Implementierung) in ein ausführbares Programm umgesetzt. Zur Überprüfung, dass diese komplexen Berechnungen auch richtig implementiert wurden, wurden viele Vergleichsberechnungen von Dr.-Ing. R. Bergmann (Ruhr-Universität Bochum) durchgeführt. Die sehr gute Übereinstimmung führte dann zur Validierung des Programms.

Die aktuellen CoStruc-Module verwenden bei dehnungsbegrenzten Berechnungen und Berechnungen von Normalkraft und zweiachsiger Biegung diese Berechnungsgrundlagen noch immer.

Durch die Projektbearbeitung im eigenen Ingenieurbüro und die Mitarbeit in Arbeitskreisen und Ausschüssen werde ich permanent mit neuen Anforderungen und Herausforderungen konfrontiert. Entweder kann die Aufgabe mit Bekanntem gelöst werden oder die nächste Herausforderung steht an, die dann auch wieder in neue Entwicklungen einfließen kann.

Alle Projekte wurden mit den Programmen MicroFe, Euro.Sta oder CoStruc bearbeitet. Abschließend möchte ich aber noch sagen, dass die Software nur ein Hilfsmittel, wenn auch ein sehr wichtiges, für den Ingenieur sein kann. Entscheidend für die Güte und Brauchbarkeit der erzeugten Ergebnisse ist der Ingenieur selbst, der dieses Hilfsmittel anwendet bzw. seine fachliche Qualifikation.

Dr.-Ing. Joachim Kretz
 mb AEC Software GmbH
 mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] Hertle, R.; Linhard, J.: Gerüstbau – Vereinheitlichte Europäische Regeln und deren Anwendung. In „Stahlbau Kalender 2015“, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2015.
- [2] Sauerborn, N.; Kretz, J.: Verbundstützen. In „Stahlbau Kalender 2010“, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2010.