

Computergestützte Methode für das Entwerfen von Tragkonstruktionen

Dissertation zum Erlangen des Grades

Doktor-Ingenieur

im Fachbereich Bauingenieurwesen
der Bergischen Universität Gesamthochschule Wuppertal

1. Bericht: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Pegels
2. Bericht: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Schwalbenhofer
3. Bericht: Prof. Dr.-Ing. Ralf Wörzberger

vorgelegt von Dipl.-Ing. Michael Maas aus Arnsberg

Tag der mündlichen Prüfung: 02. Februar 2001

Vorwort

Viele Menschen haben ganz wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ihnen gilt mein herzlicher Dank.

Prof. Dr.-Ing. Ralf Wörzberger initiierte das Projekt Modulare Wissensvermittlung unter Nutzung moderner Informationstechniken an der Fachhochschule Münster. Forschungsvorhaben an Fachhochschulen sind nach wie vor eher die Ausnahme. Dementsprechend stellt bereits die Initiierung einen besonderen Kraftakt dar. Ralf Wörzberger hat diesen erfolgreich auf sich genommen, wofür ich ihm sehr dankbar bin. Er ermutigte mich zur Ausarbeitung, begleitete die Bearbeitung und ließ mir den zur Umsetzung erforderlichen Freiraum.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Schwalbenhofer und Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Pegels fanden großes Interesse an meiner Arbeit. Karl Schwalbenhofer schlug mir die Durchführung des Promotionsverfahrens an der BUGH Wuppertal vor und übernahm die Begutachtung. Georg Pegels berichtete als Mitglied des Fachbereiches Bauingenieurwesen federführend. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Held übernahm den Vorsitz in meinem Promotionsverfahren.

Prof. Dr. h.c., Dr.-Ing. E.h., Dipl.-Ing. Stefan Polónyi beriet mich mit großem Interesse an der Arbeit und setzte dabei für den Verlauf der Ausarbeitungen entscheidende Akzente.

Christoph Spiekermann war mir ein kritischer und hilfreicher Diskussionspartner. Er übernahm mit Unterstützung durch Holger Drenker die Erstellung der in den Werkzeugen enthaltenen Grafiken.

Mein Freund und Kollege Olaf Sängler war bei technischen Fragen stets ansprechbar.

Mit Martin Backhaus, Peter Bluth, Jörg Böing, Anja Cosfeld, Maike Frischbutter, Jörg Linneemannstöns, Michael Schreiner, Anke Schulte, Christina Thum, und Carsten Wormland wirkten im Projektverlauf zahlreiche Studentische Mitarbeiter an der Umsetzung der Konzepte mit. Ganz herzlicher Dank gebührt in diesem Zusammenhang den Informatikstudenten Wolfgang Keller und André Peterka. Sie haben die konkretisierten Aufgabenstellungen sehr eigenständig und mit großem Engagement programmtechnisch umgesetzt.

Wiltrud Konrad übernahm die textlichen Korrekturen.

Meine Familie und meine Freunde gaben mir den erforderlichen moralischen Rückhalt.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Barbara. Die bei ihr erfahrene Unterstützung moralisch, kritisch, stärkend und fachlich hilfreich zu nennen ist nicht genug.

Computer aided method for the design of structural systems

Abstract

During the planning phase of general building construction, the structural design plays an important role. Due to the multiplicity of requirements the building must fulfill, the structural design should be developed through dialogue between the architect and the civil engineer.

This thesis examines initially the design process of those involved in the planning phase, with particular emphasis on the conception of the structural design. The tools used in this process, particularly with regard to Information Technology, will be investigated. Furthermore, the influence of these tools on the training of architects and civil engineers will be shown.

The analysis of the design process highlights the following problem in the conception phase. The designers are required to make statements regarding quantities, form and costs at a very early stage. Answers established on a secure planning-basis cannot be given at this phase of the working process. Instead, the designers are reliant on the use of estimates.

The development of appropriate tools documented in this thesis serves as an aid in the conception phase of the design process.

Two complementary programs were developed and specimen modules established to aid in specific queries. A branch of the development is the program VORWEIS. It enables the predimensioning of various structural elements of building construction.

In the case of regularly occurring scenarios it is possible, with a minimum of input, to obtain very precise statements concerning the dimensions of structural elements. It is so conceived to be of use to both engineers and architects. Due to the variety of solutions, simple decisions in the planning of the structural design can be made easier than before.

The second branch of development is the Computer based training software TRAGKO. The software here is based on "Knowledge-Modules" which, through the use of modern Information Technology, can be used to convey the fundamentals of knowledge. A possible application is the acquisition of general information in order to carry out more specific analysis with the program VORWEIS.

With these programs it is possible to improve efficiency in the planning stage both in practice and in training. In particular, design-alternatives can be assessed more thoroughly than before.

Michael Maas

Bei der Planung von Aufgaben des allgemeinen Hochbaus kommt dem Entwurf der Tragkonstruktion eine bedeutende Rolle zu. Aufgrund vielschichtiger Anforderungen an das Bauwerk sollte der Tragwerksentwurf im Dialog zwischen Architekt und Bauingenieur entstehen.

Die vorliegende Arbeit untersucht zunächst die Entwurfsprozesse der Planungsbeteiligten, vorwiegend während der Konzeption des Tragwerkes. Es wird geprüft, welche Werkzeuge, insbesondere welche modernen Informationstechnologien, zum Einsatz kommen. Auch die Einflüsse dieser Hilfsmittel auf die Ausbildung von Architekten und Bauingenieuren werden aufgezeigt.

Die vorgenommene Analyse des Entwurfsprozesses zeigt u.a. die im Folgenden erläuterte Problematik in den Konzeptphasen des Entwurfes auf. Die Entwurfsverfasser sind aufgefordert, sehr früh Aussagen bezüglich Mengen, Gestaltung und Kosten zu treffen. Antworten auf der Basis gesicherter Planungsgrundlagen können in dieser Phase der Bearbeitung nicht gegeben werden. Hier sind die Planer auf Schätzungen angewiesen.

Die in dieser Arbeit dokumentierte Entwicklung geeigneter Werkzeuge dient vorrangig dazu, in der Konzeptphase der Planung Hilfestellungen geben zu können.

Es wurden zwei sich ergänzende Programme entwickelt und exemplarisch Module als Hilfsmittel zu bestimmten Fragestellungen erstellt.

Ein Zweig der Entwicklungen ist das Programm VORWEIS. Es dient der Vordimensionierung verschiedener Bauelemente des Hochbaus. Für häufig auftretende Fälle können, mit einem Minimum an Eingabeaufwand, sehr genaue Aussagen bezüglich der Bauteilabmessungen getroffen werden. Es ist so konzipiert, dass es sowohl von Bauingenieuren als auch von Architekten eingesetzt werden kann. Aufgrund einer Ergebnisausgabe in Varianten können einfache Tragsystementscheidungen leichter als bisher getroffen werden.

Der zweite Zweig der Entwicklung ist die Wissensvermittlungssoftware TRAGKO. Hier wurden Module mit "Wissensinhalten" geschaffen, die unter Nutzung der Möglichkeiten moderner Informationstechniken Grundlagenwissen vermitteln. Unter anderem können Nutzer sich bei Bedarf hiermit Informationen erschließen, die für den gezielten Einsatz von VORWEIS hilfreich sind.

Im Planungsablauf können mit diesen Programmen in der Praxis wie in der Ausbildung Effizienzsteigerungen erzielt werden. Insbesondere unterschiedliche Entwurfsvarianten können damit fundierter als bisher beurteilt werden.

Michael Maas

1	Einleitung und Zielsetzung		Inhalte
1.1	Einleitung	9	
1.2	Aufbau und Zielsetzung	10	
2	Planungsprozesse von Ingenieuren	12	
2.1	Zweck der Betrachtungen	12	
2.2	Wissenschaftliche Gesichtspunkte	13	
2.3	Zur Konstruktionsmethodik	15	
2.3.1	Prozessablaufmodelle	15	
2.3.2	Zum Problem der Lösungsfindung	18	
2.3.3	Planungsprozesse von Architekten und Bauingenieuren im Hochbau	22	
2.4	Planungsprozesse nach HOAI	24	
2.4.1	Grundlagenermittlung der Architekten	25	
2.4.2	Planungskonzept und Kostenschätzung der Architekten	25	
2.4.3	Grundlagenermittlung der Bauingenieure	26	
2.4.4	Vorplanung der Bauingenieure	26	
2.4.5	Entwurfsplanung der Architekten	27	
2.4.6	Entwurfsplanung der Bauingenieure	28	
2.4.7	Genehmigungsplanung	28	
2.4.8	Ausführungsplanung	28	
2.5	Regelbasierte Leistungen im Planungsprozess	28	
3	Rechnerunterstützung der Konstruktionsprozesse bei Hochbauaufgaben	31	
3.1	Rechnerunterstützung der Vorplanung (Konzeptphase)	32	
3.1.1	Architekten	32	
3.1.2	Bauingenieure	32	
3.2	Rechnerunterstützung der Entwurfsphase	33	
3.2.1	Architekten	33	
3.2.2	Bauingenieure	33	
3.3	Rechnerunterstützung in der Genehmigungsplanung	34	

3.4	Rechnerunterstützung in der Ausführungsplanung	35
3.5	Zu integrativen Ansätzen	36
3.6	Rechnerunterstützte Anteile von Leistungen im Planungsprozess	38
4	Ausbildungsbezüge	40
4.1	Aspekte der Aufgaben und Möglichkeiten der Ausbildung	40
4.2	Zur besonderen Problematik der beruflichen Fortbildung	43
4.3	Zur Didaktik und Effizienz der klassischen Medien	45
5	Rechnerunterstützung in der Ausbildung	48
5.1	Einsatz von multimedialen Werkzeugen	48
5.2	Vorhandene Rechnerunterstützung in der Ausbildung	49
6	Modularer Wissens- und Informationstransfer: Idee, Konzept und Mehrwert	53
6.1	Erkenntnisse für die computergestützte Tragwerksplanung	53
6.2	Planungsunterstützung mit Hilfe zweier Softwareentwicklungen	57
6.3	Methodik der Entwicklung	59
6.3.1	Kooperationsmodell	59
6.3.2	Aktualisierung von Inhalten Hybrid Solution	61
6.4	Methodik der Recherche	62
7	Softwarekonzeption	64
7.1	Werkzeugeinsatz	64
7.1.1	Rahmenbedingungen zur Konzeption	64
7.1.2	Entwicklungsumgebungen	65

7.2	Aspekte der Kommunikation im Programm TRAGKO	68
7.2.1	Konzeption der Masken	68
7.2.2	Navigation	69
7.3	Inhalte und Anwendungsmöglichkeiten von TRAGKO	73
7.4	Aspekte der Kommunikation im Programm VORWEIS	80
7.4.1	Bauelementeiste	80
7.4.2	Modulabhängige Navigationsmenüs	81
7.4.3	Navigationsbaum	82
7.4.4	Online-Hilfe	85
7.4.5	Die Kommunikation betreffende Entscheidungen bezüglich der Regelbasis	86
7.4.6	Konzeption der VORWEIS - Masken	94
7.4.7	Titelmaske	96
7.4.8	Konstruktionsangaben	96
7.4.9	Belastungsangaben	98
7.4.10	Ergebnisdarstellung	101
7.5	Aspekte der Verarbeitung im Programm VORWEIS	102
7.5.1	Merkmale und Besonderheiten der Regelbasis	102
7.5.2	Konzeption und Architektur der Programmmodule	105
7.6	Übersicht implementierter Module	119
7.6.1	Verglasungen für nicht senkrechten Einbau	120
7.6.2	Vollwand- und Fachwerkträger aus Stahl	120
7.6.3	Stahlträger ohne und mit Unterspannung	121
7.6.4	Stahlbetonbalken und Plattenbalken	122
7.6.5	Holzrahmen	123
7.6.6	Stahlstützen	124
7.6.7	Holzstützen	124
7.6.8	Betonwände	125

8	Unterstützung des tragkonstruktiven Entwerfens Ein Beispiel	
	Variantenuntersuchungen anhand des Stadtbahnhofes Ruhr-Universität Bochum	126
8.1	Glaseindeckung	126
8.2	Variante: Binder ohne Nebenträger	129
8.3	Variante: Binder mit Nebenträger	131
8.3.1	Binder als Walzträger mit Rechteck-Hohlprofil	131
8.3.2	Binder als Fachwerkträger aus Rundrohrwalzprofilen	132
8.3.3	Binder als Unterspannter Träger mit einem Rundrohrwalzprofil als Obergurt	133
9	Evaluierung	135
10	Ausblicke	139
10.1	Quantitative Erweiterungen	139
10.2	Strukturelle Erweiterungen	140
10.3	Kommunikative Erweiterung	143
10.4	Schlussbetrachtung	145
11	Literaturhinweise	147

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Einleitung

„Entwerfen bedeutet Entscheiden, unter verschiedenen Alternativen auswählen. Die Wissenschaft konstatiert lediglich, sie entscheidet nicht, sie kann höchstens eine Entscheidungshilfe bieten. Die Wissenschaft ermöglicht uns, den Nachweis zu führen, aber zum Entwerfen brauchen wir Vorweise“ [Polónyi 87]

„Wenn wir heute sicher und wirtschaftlich bauen können, so ist eine der Hauptgrundlagen dafür die Baustatik, diese besondere, auf der Wirklichkeit der Arbeitsbedingungen eines Tragwerkes aufgebaute Art der Mechanik, die im Wesentlichen in der Zeit von wenig mehr als einem Jahrzehnt von einem einzigen Mann, eben von Navier, geschaffen wurde.“ [Stüssi 40]

Das behandelte Thema “Computergestützte Methode für das Entwerfen von Tragkonstruktionen“ entstand als Weiterentwicklung der Bearbeitung des 1996 durch Wörzberger initiierten Projektes “Modulare Wissensvermittlung unter Nutzung moderner Informationstechnologien“ [Wörzberger 01].

Die Motivation für diese Arbeit ist die Erkenntnis, dass eine gelungene Tragkonstruktion neben ihren wirtschaftlichen und technischen Vorteilen die Qualität eines Entwurfes entscheidend mitbestimmen kann. Für den gelungenen Tragwerkentwurf sind Hochbauingenieure und Architekten in gleichem Maße verantwortlich.

Dies wird heute nicht immer als selbstverständlich angesehen. Die Berufsfelder des Bauingenieurwesens und der Architektur haben sich als spezialisiertere Teilbereiche aus der baumeisterlichen Einheit früherer Zeiten herausgebildet. Die Spaltung musste im 19. Jahrhundert vorgenommen werden, da die für die Baustatik im heutigen Sinne anwendbar verfassten mechanischen Zusammenhänge verfügbar wurden. Neben den damit verbundenen und zweifellos überwiegenden Vorteilen dieser Spaltung (siehe nebenstehend) ergeben sich auch Problemfelder. So wurde eine Reduzierung von einer zuvor vorhandenen Vielfalt der Konstruktionen auf einfache, statisch bestimmte Lösungen vorgenommen. Der Einfluss der Nachweismethodik auf die Entwürfe der Tragwerke ist bis heute an vielen Beispielen erkennbar.

Heute kann der Computer durch die automatisierte Nachweisführung helfen, der Gestaltung größere Freiräume “zurückzugeben“. Der Grad der statischen Unbestimmtheit ist praktisch unbegrenzt. Dies ist für die frühen Phasen im Planungsablauf wichtig und muss sich auch auf die Ausbildung von Bauingenieuren und Architekten auswirken.

Das behandelte Thema bewegt sich bezüglich seiner Inhalte in dem Spannungsfeld zwischen den Fachdisziplinen Architektur und Bauingenieurwesen. Das Thema ist somit Forschungsgegenstand des Fach- und Lehrgebietes Tragkonstruktionen und wurde in diesem Umfeld bearbeitet.

Es gibt – wie sich zeigen lässt – keinen eindeutigen, allgemein anerkannten Weg, wie das Entwerfen von Tragkonstruktionen durch Computer bestmöglich unterstützt werden kann. Der prinzipielle Nutzen moderner Informationstechnologien im Bauplanungsablauf ist jedoch heute unumstritten. Der in dieser Arbeit beschrittene Weg stellt eine Variante von sicherlich vielen parallel möglichen Varianten der Rechnerunterstützung beim Entwerfen von Tragkonstruktionen vor. Klar scheint in jedem Fall der Handlungsbedarf, da sowohl von Seiten der Konstruktionsmethodik als auch von Seiten der Hard- und Softwareentwicklung die Basis für neue Ansätze in der Entwurfsunterstützung geschaffen wurden.

1.2 Aufbau und Zielsetzung

In der vorliegenden Dissertation werden im zweiten Kapitel zunächst Planungsprozesse analysiert. Dabei werden auf der Basis der Parallelen in den Ablaufstrukturen der Planungsprozesse aller konstruktiv tätigen Ingenieure die Besonderheiten der Arbeitsteilung von Bauingenieuren und Architekten herausgearbeitet. Das in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) implizierte Ablaufmodell bietet für diese Arbeit die Grundlage der weiteren Betrachtungen. Darüber hinaus wird das beim Planen vollzogene Problemlöseverhalten des Menschen auf der Basis verfügbarer Forschungsergebnisse diskutiert.

Im dritten Kapitel wird eine Bestandsaufnahme der gegenwärtigen Situation durchgeführt. Es wird geklärt, wie und mit welchem Erfolg der Computer von den Planungsbeteiligten in den verschiedenen Phasen der Bauablaufplanung z. Z. verwendet wird. Die Analyse zeigt eine Diskrepanz zwischen den prinzipiellen Möglichkeiten moderner Werkzeuge und deren gegenwärtigem Einsatz. Diese Diskrepanz bezieht sich insbesondere auf die Tragwerkentwicklung in den frühen Planungsphasen.

Das vierte Kapitel stellt den Bezug auf die gegenwärtige Ausbildungssituation von Bauingenieuren und Architekten her. Das allgemein angestrebte Ziel vorausgesetzt, mit der Ausbildung optimiert und vorausschauend auf die beruflichen Anforderungen vorzubereiten, werden hier die strukturellen Parallelen zur Situation der beruflichen Praxis aufgezeigt.

Im fünften Kapitel wird der gegenwärtige Stand der Rechnerunterstützung in der Ausbildung analysiert. Aus der Problemanalyse heraus versucht der Ansatz der Modularen Wissenserschließung, mit Hilfe der dazu entwickelten und im sechsten Kapitel beschriebenen Methode, Möglichkeiten der Effizienzsteigerungen und der didaktischen Aufarbeitung durch den gezielten Einsatz der modernen Informationswerkzeuge zu nutzen. Dabei geht es nicht um die Entwicklung neuer Planungsstrategien. Vielmehr soll auf der Basis der verfügbaren deskriptiven Theorien eine konkrete Entwurfsunterstützung erarbeitet werden.

Die dazu entwickelten Softwareanwendungen VORWEIS und TRAGKO werden im siebten Kapitel vorgestellt. Ihre Einsatzmöglichkeiten werden hier ausführlicher erläutert.

Die nachfolgenden Kapitel zeigen ein Anwendungsbeispiel, evaluieren die bisherigen Umsetzungen und erläutern die langfristigen Ziele der Entwicklung.

2. Planungsprozesse von Ingenieuren

2.1 Zweck der Betrachtungen

Rechnerunterstützung im Planungsprozess anbieten zu können, macht die theoretische Beschreibung dieses Prozesses erforderlich.

In diesem Kapitel soll dementsprechend das Wesen des Planungsprozesses erfasst werden. Das Konstruktive Entwerfen ist ein Vorgang, bei dem das Denken, mit seinen Möglichkeiten und Beschränkungen, die zentrale Rolle spielt. Die Einbeziehung des Rechners in den Planungsprozess erfordert die Auseinandersetzung mit der Arbeit und der Denkweise des Entwerfenden. Nur so kann sichergestellt werden, dass eine geeignete Entwicklung bedarfsgerechter Werkzeuge erfolgt.

Deskriptive Ansätze müssen analysiert werden. So können die idealen Abläufe innerhalb der Wissenschaftsdisziplin "Konstruktionsmethodik" erkannt werden.

Ziel der folgenden Ausführungen ist dabei nicht die vertiefte Analyse einzelner Aspekte des Planungsablaufes, sondern die Ermittlung der Anteile, deren Ergebnisorientierung genau beschreibbar ist. Solche Anteile lassen sich prinzipiell rechnergestützt bearbeiten.

Zunächst werden die Planungsprozesse konstruktiv tätiger Ingenieure, unabhängig von der Fachdisziplin, auf der Basis vorhandener wissenschaftlicher Abhandlungen beschrieben. Dies dient vorrangig dem Zweck einer Annäherung an die wissenschaftlich noch wenig erforschten Begriffe des "Konzipierens" und des "Entwerfens".

Im weiteren werden exemplarisch zwei Modelle vorgestellt, die sich speziell mit den Planungsabläufen von Bauingenieuren und Architekten beschäftigen.

Eines der vorgestellten Modelle bietet die Basis der weiteren Betrachtungen.

2.2 Wissenschaftliche Gesichtspunkte

“Aus der Sicht der modernen Naturwissenschaft ist der Entwurf nichts, aus der Sicht der Ingenieure jedoch alles. Er stellt die bewusste Anwendung der Mittel dar, mit denen sich ein vorgefasstes Ziel erreichen lässt, das Eigentliche des Ingenieurwesens“.

Edwin T. Layton jun. [Layton 76]

Die in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Modelle bilden einen kleinen Ausschnitt der vielfältigen Versuche, die bisher unternommen wurden, den Planungsprozess unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten zu beschreiben. In diesem Zusammenhang verwendete Begriffe wie „Entwerfen“ und „Konzipieren“ werden erst seit den 60er Jahren intensiver erforscht. Dennoch konnten sie bis heute nicht eindeutig definiert werden. Es sei vorweggenommen, dass dies als wesentliches Indiz für die nicht eindeutige Deskriptionsfähigkeit dieser Begriffe gewertet wird.

Zunächst kann aber eine Annäherung an die Problematik erfolgen. Im Allgemeinen erfolgt eine solche Annäherung über die Entwicklung von deskriptiven Modellen. Mit der Modellierung wird zugleich immer auch eine Abstraktion des eigentlichen Sachverhaltes vorgenommen. Die Abstraktion scheint erforderlich, wie vorhandene Abhandlungen zur benannten Thematik zeigen. Diese Tatsache bekräftigt die zuvor genannte These.

Die Methoden, Erkenntnisse zu gewinnen, sind Deduktion und Induktion [Polónyi 81]. Deduktion ist „derjenige Weg des Denkens, der vom Allgemeinen zum Besonderen, von einem allgemeinen Satz zu einem speziellen führt“. Die Induktion schließt „vom Einzelnen, Besonderen auf etwas Allgemeines“ [Schischkoff 74]. Da der deduktive Ansatz (Hypothese) nur partiell belegt werden kann, das induktive Vordringen ins Allgemeine immer mehr Vernachlässigungen erforderlich macht, sind sichere Erkenntnisse lediglich in der Mathematik und in sehr eng abgegrenzten Wissensgebieten denkbar [Polónyi 81]. Ein Entwurf entsteht durch induktives Vorgehen. Anders ausgedrückt heißt dies, dass beim Entwerfen eine Annahme so lange als richtig angenommen wird, wie sie sich nicht als falsch erweist. Die wissenschaftliche Arbeitsweise sieht vor, Hypothesen so lange zu widerlegen, bis ihre Richtigkeit bewiesen ist. Dennoch sehen einige Bauingenieure ihre Tätigkeit gerne als exakte Wissenschaft an. Sie gehen dabei von ihrer Kenntnis der axiomatisch begründeten und logisch aufgebauten Mechanik aus und beschreiben damit nur einen Teil ihrer Tätigkeit.

Die statische Analyse und der damit verbundene axiomatisch aufgebaute Prozess kann erst einsetzen, nachdem eine Konstruktion festgelegt wurde. Diese kann dann, unter Berücksichtigung der nötigen Randbedingungen, in ein Statisches System überführt werden. Auch dieser Vorgang erfordert Abstraktion. Die Analyse kann somit erst einsetzen, wenn die Konstruktion entworfen ist, also ein vornehmlich synthetischer Vorgang durchgeführt wurde.

Trotz der angeführten Problematik der Beschreibbarkeit sind theoretische Grundüberlegungen unerlässlich. Sie bilden die Voraussetzung für rechnergestützte Hilfestellungen beim Konzipieren. Sollen "wissenschaftliche" Grundüberlegungen zu Planungsprozessen angeführt werden, so sollte zunächst der Begriff geklärt sein.

Eine Definition für Wissenschaft lautet: „die nach Einzelgebieten geordnete, methodisch ausgebauten Erkenntnis“ [Brockhaus 97]. Gelingt es also, den Planungsprozess methodisch zu beschreiben, so wäre er "Wissenschaft". Alle deskriptiven Modelle unterliegen aber, wie oben erwähnt, einer mehr oder weniger starken Abstraktion. Dementsprechend ist die Definition auf den Planungsprozess nur eingeschränkt anwendbar.

Auch Kollár [Kollár 90] kommt, um ein Beispiel zu nennen, zu der Erkenntnis, dass das ingenieurmäßige Entwerfen nicht zu den "mathematischen" Wissenschaften gehört. Er geht aber weiter davon aus, dass der Ingenieur verschiedene nötige Wissenschaftszweige beherrschen muss, um technisch einwandfreie Konstruktionen vorschlagen zu können. Er nennt in diesem Zusammenhang die Fähigkeit, "intuitiv" vorzugehen, als eine weitere wichtige Eigenschaft ingenieurmäßigen Denkens und Handelns. Auch er schlägt deshalb vor, das Entwerfen als wesentliches Element eines Planungsprozesses teils als Wissenschaft und teils als Kunst zu betrachten.

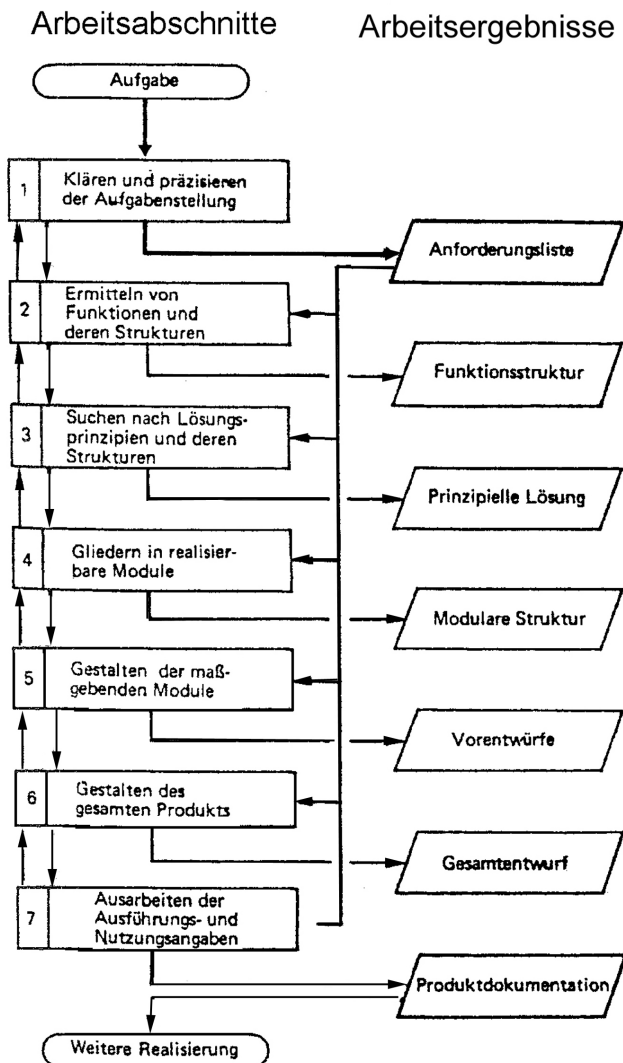


Abb. 2.3.1-1 Systemtechnisches Konstruieren nach VDI 2221

2.3 Zur Konstruktionsmethodik

2.3.1 Prozessablaufmodelle

Die Konstruktionsmethodik als Wissenschaftsdisziplin beschäftigt sich mit dem Planungsprozess im Tätigkeitsbereich von Ingenieuren. Es werden Modelle des Planungsprozesses formuliert.

Die entwickelten Modelle – von denen hier exemplarisch ein kleiner Ausschnitt gezeigt werden soll – teilen den Planungsprozess i.d.R. grob in drei Abschnitte:

Konzipieren, Entwerfen, Ausarbeiten

Die Erfassung der Aufgabenstellung ist diesen Abschnitten vorgeschaltet.

Das Konzipieren ist der abstrakte, einordnende Umgang mit der Aufgabenstellung. In diesem Planungsabschnitt wird gedanklich geklärt, wie die Anforderungen prinzipiell erfüllt werden können.

Das Entwerfen ist der Planungsabschnitt, in dem das Abstrakte in etwas Reales überführt wird. Über die Zeichnung und i.d.R. textlichen Ergänzungen wird die entwickelte Lösung dargestellt. Das Ausarbeiten beinhaltet eine weitere Konkretisierung des Entwurfes. Details werden entwickelt, Dimensionen festgelegt, Materialgütern, Oberflächen etc. werden bestimmt.

Der Planungsprozess ist iterativ. Synthese (Idee, Zeichnung), Analyse (Berechnung) und Evaluation wechseln sich gegenseitig ab und beeinflussen einander [Rottke 98].

Die Analyse entwickelter Lösungen oder von Zwischenergebnissen spielt im Planungsablauf also eine wesentliche Rolle. Deshalb ist es sinnvoll, nach Analysehilfsmitteln zu suchen. Diese sollten mit wenig Aufwand Aussagen über qualitativ gefundene und noch festzulegende Lösungen machen können.

Die verschiedenen Modelle [Abb. 2.3.1-1 / 2.3.1-2 / 2.3.1-3] berücksichtigen den iterativen Charakter durch die dargestellten Rücksprünge oder Symboldarstellungen.

Sie können als allgemein verständliche und akzeptierte Beschreibungen eines technischen Problemlöseverfahrens angesehen werden. Sie erfüllen die Forderungen nach Allgemeinheit und Kommunizierbarkeit und sind potenziell spezifizierbar für konkrete Aufgaben [Ayrle 90]. Auch M.J. Frenchs veranschaulicht mit seinem sehr stark abstrahierten Modellansatz die Abläufe beim Entwurf [Abb. 2.3.1-3].

Eugen S. Ferguson [Ferguson 93] kritisiert diese Darstellungsform des Entwurfes wie folgt: „Das Entwerfen ist immer ein von Zufällen bestimmter Vorgang und unterliegt im Laufe seiner Entwicklung unvorhersehbaren Komplikationen und Einflüssen. Das genaue Ergebnis des Vorgangs lässt sich nicht aus seinen anfänglichen Zielen herleiten. Ein Entwurf ist nicht, wie einige Lehrbücher uns glauben machen wollen, ein formaler, schrittweise ablaufender Vorgang, der sich in einem Blockdiagramm zusammenfassen lässt. Angefangen mit einem Block mit dem Namen FORDERUNG gibt ein solches Diagramm ... vor, den Entwerfer durch den Vorgang der Erfindung und Analyse von etwas Neuem leiten zu können... Blockdiagramme setzen die Aufteilung der Entwürfe in einzelne Teile voraus, von denen jedes *verarbeitet* werden kann, bevor man sich dem nächsten zuwendet. Obwohl viele Entwerfer glauben, ein Entwurf sollte auf diese Weise entstehen, auch wenn er das nicht tut, ist es klar, dass ein geordnetes Verhalten etwas ganz anderes ist als das übliche chaotische Wachstum eines Entwurfs“. Ferguson geht auch davon aus, dass die Vision, die einem Entwurf zugrunde liegt, schon lange bevor ein Bedürfnis danach besteht, im Kopf eines Entwerfers steckt.

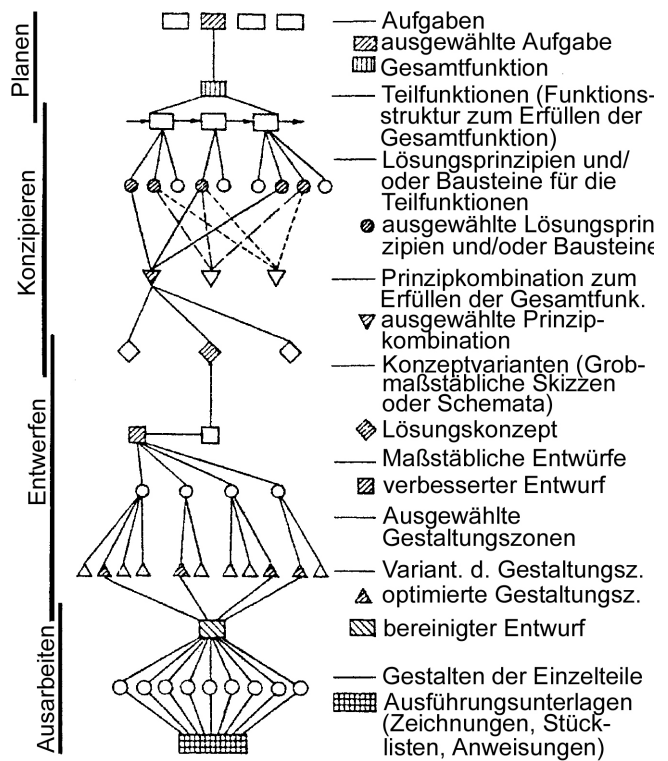


Abb. 2.3.1-2 Produktorientiertes Konstruieren nach VDI 2221

Allen Modellen ist gemeinsam, die realen Vorgänge des menschlichen Denkens und Handelns nur ungenügend, in stark abstrahierter Form zu beschreiben. Es wird versucht, das ganzheitliche intuitiv-assoziative Arbeiten in rational-systematische Methoden zu überführen [Rohpol 83].

Einige weiterführende Ansätze erkennen und beschreiben die Problematik, die sich ergibt, wenn der Planungsprozess, wie in den zuvor angeführten Beispielen, nur von einer objektbezogenen Betrachtungsweise ausgeht. So wird in einigen Untersuchungen seit Mitte der 80er Jahre verstärkt gefordert, den Menschen in den Mittelpunkt der Betrachtungen zu rücken. Ihm soll als Subjekt der Handlungsabläufe mehr Beachtung als bisher zuteil werden. Für den Planungsablauf werden seine kreativen und kognitiven Fähigkeiten als entscheidende Einflussfaktoren erkannt.

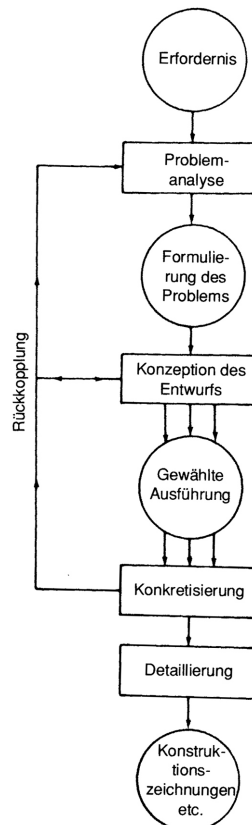


Abb. 2.3.1-3 Iterativer Planungsablauf

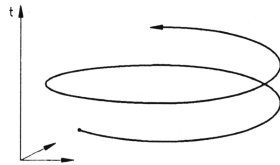


Abb. 2.3.1-4 Entwurfsprozess nach Rudolph/Kröplin

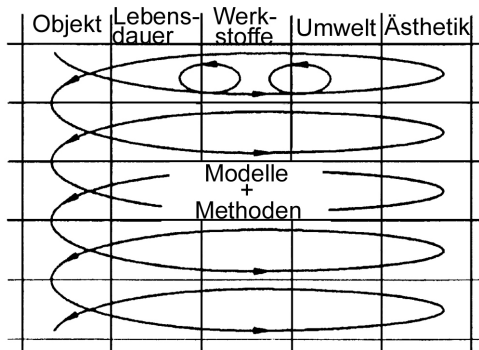


Abb. 2.3.1-5 Modelle und Methoden

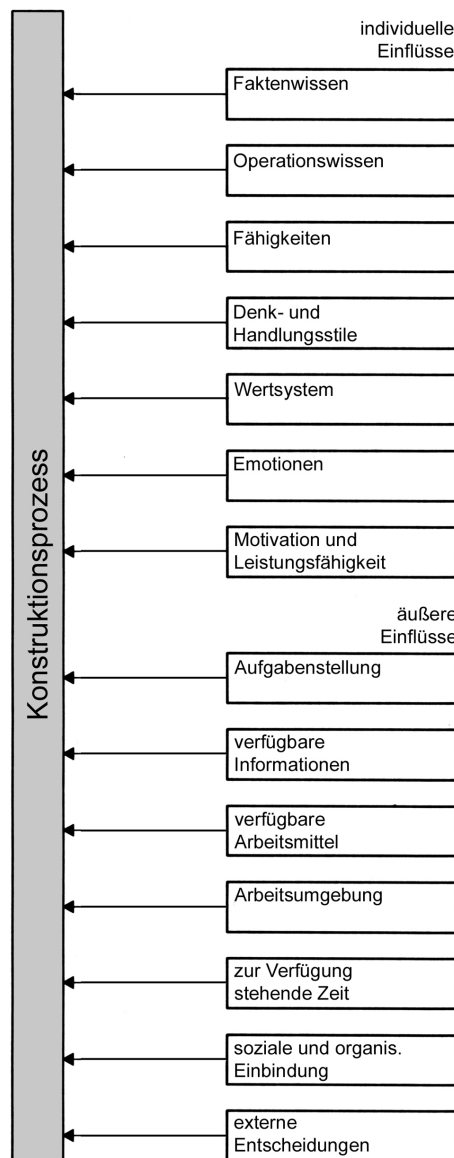


Abb. 2.3.1-6 Einflussgrößen auf Konstruktionsprozesse

Vor dem Hintergrund, dass das Entwerfen ein zielgerichteter Prozess ist, lässt er sich in Abhängigkeit der Zeit beschreiben. Kröplin [Rudolph/Kröplin 94]. sieht, wie in Abb. 2.3.1-4 gezeigt, den Entwurfsprozess als schleifenartiges, iteratives Vorgehen. Innerhalb der Spirale gibt es kleinere Schleifen. Jede Iteration innerhalb der Spirale beschreibt die "Notwendigkeit, Situationen und Entscheidungen im Hinblick auf die Aufgabenstellung zu bewerten und Auswirkungen sowie Risiken und Kopplungen in anderen Teilbereichen abzuschätzen".

Die Darstellung beschreibt, da sie den iterativen Charakter aus Suchen und Bewerten in den Vordergrund rückt, den realen Entwurfsprozess treffender, als die vorangestellten Beispiele. Gleichzeitig führen sie mit dieser Form der Modellierung dem Betrachter die geringe Konkretisierungsfähigkeit der Planungsabläufe vor Augen.

Es scheint somit fragwürdig, eine einzelne allgemeingültige, sich über alle oder zumindest mehrere Planungsphasen erstreckende Modellvariante, als sinnvolle Grundlage zur Entwicklung von Hilfsmitteln anzuerkennen. Diese implizieren eine Zwangsläufigkeit, die so nicht existent ist.

Als wesentlich sinnvoller erscheint es, den kognitiven Fähigkeiten und den kreativen Bedürfnissen der Planer angepasste und sich diesen unterordnende Bausteine zu entwickeln. Diese müssen dann in einen vorzugebenden organisatorischen Rahmen eingebunden werden.

Dazu wird zunächst vertiefend die Frage erörtert, welche äußeren und welche individuellen Einflüsse unser planungsbezogenes Handeln bestimmen.

K. Ehrlenspiel [Ehr/ Dylla 91] hat dazu ein Diagramm entwickelt, welches inhaltlich der Abb.2.3.1-6 entspricht.

Werden die Inhalte des Diagramms z. B. in Bezug auf das Wettbewerbsverfahren von Architekten gewertet, so kann davon ausgegangen werden, dass mehrere Entwerfer als äußeren Einfluss die gleiche Aufgabenstellung erhalten. Alle anderen genannten äußeren Einflüsse werden dagegen bei den Wettbewerbern differieren. Es ist also keineswegs davon auszugehen, dass der Konstruktionsprozess nur von den Einflüssen, die die Person des Entwerfenden kennzeichnen, bestimmt wird. Hinzu kommen die inneren Einflüsse, deren gravierender Einfluss im Hinblick auf eine individuelle Entwurfslösung leichter einsehbar ist.

Durchgeführte Untersuchungen bezüglich des individuellen Vorgehens beim Konstruieren stehen damit vor einer weiteren Schwierigkeit. Über die Betrachtung des Faktors "Mensch" hinaus, müsste in einer vollständigen deskriptiven Theorie des Konstruktionsprozesses der Faktor "Umfeld" Berücksichtigung finden. In erfolgten Untersuchungen wurde versucht, die äußeren Einflüsse konstant zu halten. Damit geht wiederum zwangsläufig eine Abstraktion der realen Bedingungen einher.

Abbildung 2.3.1-7 zeigt, um ein Beispiel zu nennen, einen Entwurf, der die äußere und innere Einflussnahme des Ingenieurs sehr deutlich werden lässt. Joseph B. Strauss war einer der führenden Erbauer von Wipp- oder Rollklappbrücken. Den gezeigten Entwurf, der an das Konstruktionsprinzip der Klappbrücken angelehnt ist, schlug er 1924 als Brücke über das Goldene Tor der Bucht von San Francisco vor. „Strauss bemühte sich acht Jahre lang erfolglos um finanzielle und politische Unterstützung; er erhielt sie erst, als er zu einer herkömmlichen Hängebrücke überging, und wurde dann der leitende Ingenieur des Unternehmens“ [Ferguson 93].

Entscheidend ist, den Planungsprozess als einen nicht linear ablaufenden Vorgang von abstrakt zu konkret zu erkennen. Es ist vielmehr ein ständiger Wechsel zwischen abstrakten und konkreten Elementen zu erwarten. Dieser Wechsel geht einher mit dem ständigen Wechsel zwischen dem Ganzen bzw. zwischen größeren Einheiten und deren Details.

2.3.2 Zum Problem der Lösungsfindung

Praktische Probleme sind sehr komplex und vielschichtig. Die bisher angesprochenen Planungsprozessmodelle beschreiben Abläufe ohne Aussagen darüber zu treffen, wie die Lösungsfindung im Rahmen eines solchen Prozesses funktioniert.

Rutz [Rutz 85] nennt in diesem Zusammenhang das Versuchs-Irrtums-Verhalten (VI-Verhalten) und das logische Schließen als die beiden Extremformen des Denkens. Dazwischen gibt es unendlich viele verschiedene Ausprägungen. Er geht davon aus, dass ein gerichtetes, zielorientiertes "trial and error" Verhalten für praktische Probleme am geeignetsten ist.



Abb. 2.3.1-7 Alternativentwurf zur Golden-Gate-Brücke –1924 aus [Ferguson 93]

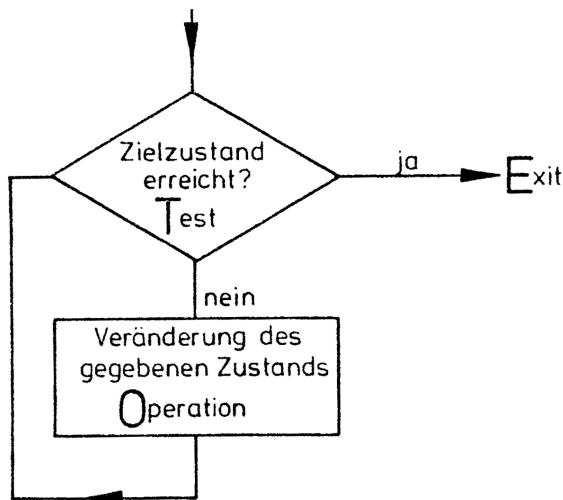


Abb. 2.3.2-1 TOTE - Modell

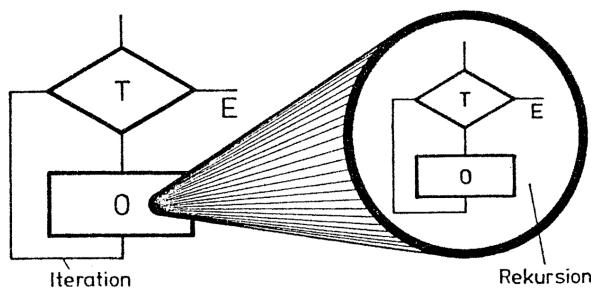


Abb. 2.3.2-2 Iteration und Rekursion [Rutz 85]

Diese Ansicht ist schon deshalb zu unterstützen, weil der Vorgang des logischen Folgerns beim Entwerfen nicht zu einem Ziel führen kann, da kein eindeutiges Ergebnis am Prozessende steht.

Das sogenannte "trial and error" Verhalten erzeugt den iterativen Charakter des Planungsprozesses. Es entspricht dem 1960 von Miller / Galanter / Pribram [Miller 60] entwickelten TOTE – Modell.

Das TOTE – Modell [Abb. 2.3.2-1] arbeitet in den nachfolgend benannten Phasen [Seidel 89]. Es wurde nach den Anfangsbuchstaben seiner vier Phasen benannt.

Test: Prüfen eines Sachverhalts
Operation: Reaktion auf das Prüfergebnis
Test: Rückmeldung (feedback) des Operationserfolges
 Reicht der Operationserfolg nicht aus, wird die Operationsphase wiederholt, ansonsten beendet:

Exit

Das TOTE – Modell wird als das Grundmodell des menschlichen Denkens betrachtet.

Beim Konstruieren handelt es sich um ein sehr stark iteratives und rekursives Vorgehen. Die Iterationen dienen dabei dem ständigen Wechsel der Konkretisierungsebenen und der angewendeten Strategien. Die Rekursionen ermöglichen erst die Lösung komplexer Systeme. Durch die ineinandergeschachtelte Anwendung eines Grundschemas können die Probleme aufgebrochen und in bearbeitbare Teilschritte zergliedert werden [Rutz 85]. In Analogie zur Rekursion (= zurückgehend bis zu bekannten Werten [Duden5]) vertieft der Planer sich soweit, bis er zu ihm vertrauten Lösungselementen kommt. Durch die Rekursion wird also die Ebene der Problembehandlung gewechselt [Abb. 2.3.2-2]. Die Iteration entsteht durch die wiederholte gedankliche Überprüfung einer im Rahmen der Operationsphase gefundenen Lösung. Innerhalb der Operation (Lösung suchen und Lösung finden) müssen u.U. Teillösungen auch für zuvor noch nicht bewusst vorhandenen Probleme gefunden werden. Es können also weitere TOTE – Abschnitte durchlaufen werden.

Auf dieser Basis kann somit jedes noch so komplexe, konstruktive Problem auf gedanklicher Ebene in kleine, beliebig viele "Wissenseinheiten" oder "Makros" zerlegt werden.

Solche Makros (Beispiel: Konstruktionsdetail) können auch Teil des Erfahrungsschatzes eines Planers sein. Im Rahmen einer Lösungssuche können vorhandene Makros in einen neuen Kontext eingesetzt werden.

Da es so gut wie keine Aufgabenstellungen gibt, in denen alle Teilprobleme mit grundsätzlich neuen Ansätzen gelöst werden müssen, wird die Entwicklung der Gesamtlösung wesentlich beschleunigt.

Bisher wurde allgemein die Struktur des intuitiven Problemlöseverhaltens erläutert. Mit dem in Abb. 2.3.2-3 gezeigten Diagramm implementiert Rutz das TOTE – Modell in einen Ablaufplan zur konstruktiven Problemlösung. Abb. 2.3.2-4 zeigt die darin enthaltene Strukturierung. Hierbei findet ein neuer, bisher noch nicht angesprochener Aspekt der Entwurfsarbeit Berücksichtigung. Die in der Regel aus bekannten Teilaspekten bestehende, gefundene Lösung einer Problemstellung kann oder soll in den meisten Fällen nicht direkt in einem neuen Kontext verwendet werden. Zunächst muss die Lösung für die neue Aufgabenstellung angepasst werden. Dies bedeutet, dass ein auf konkreter Ebene vorhandenes neues Problem (TOTE 2)[Abb. 2.3.2-4] infolge des gelösten Problems (TOTE 1) entstanden ist. Erst wenn beide Abschnitte des allgemeinen Ablaufplans erfolgreich durchlaufen wurden, kann von einer wirklichen Lösungsfindung in Bezug auf das zu planende Objekt gesprochen werden. Es darf auch davon ausgegangen werden, dass das Problem des Anpassens das schwierigere Problem darstellt. Bei der Lösungsfindung (TOTE 1) können Beispiele der eigenen Erfahrung oder vorhandener Literatur, sowie weitere verfügbare Hilfsmittel verwendet werden. Dies kann bei entsprechend feiner Untergliederung in kleinere Teilprobleme bis zu Grundlagenbetrachtungen gehen. Für diese wurden dann häufig verfügbare Vorleistungen (Musterdetails, Musterberechnungen, eigene ähnliche Vorleistungen etc.) erbracht. Nicht so im Bereich der Lösungsanpassung. Das Anpassen ist oft die eigentliche Schwierigkeit. In dieser Phase muss das eigentlich Neue entstehen. Die Chance des Gelingens dieser Anpassung steigt mit der Häufigkeit der Zergliederung des Problems in Teilaspekte des Problems. Die Problemlösung ist dann weniger komplex.

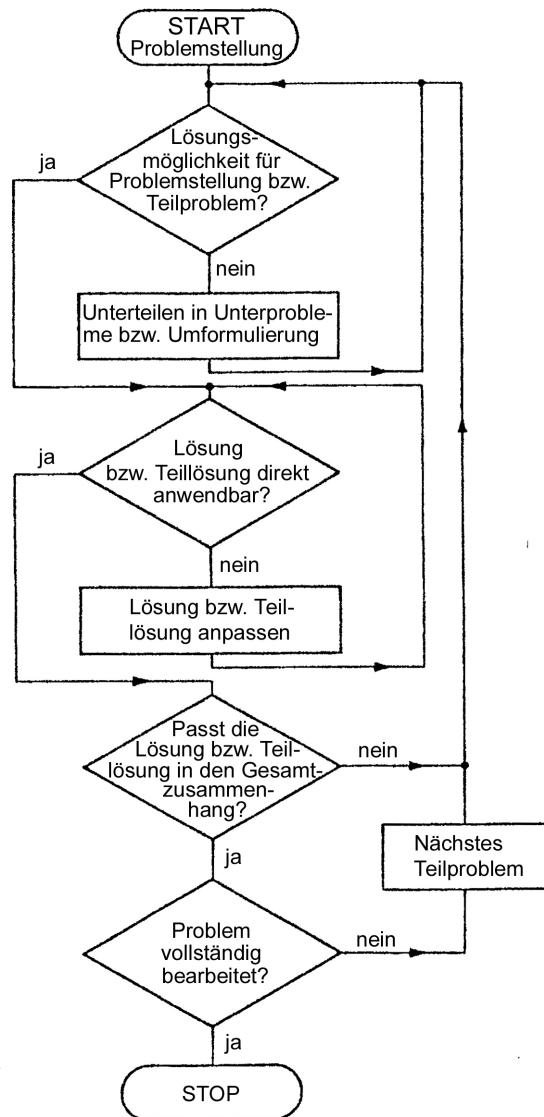


Abb. 2.3.2-3 Allgemeiner Ablaufplan konstruktiver Problemlösungen [Rutz 85]

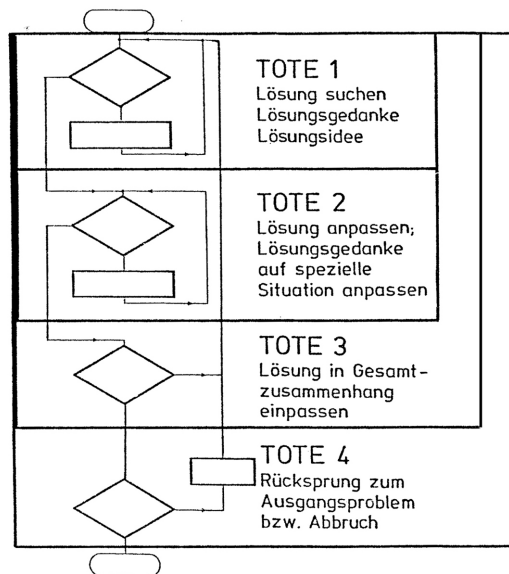


Abb. 2.3.2-4 Struktur des allgemeinen Ablaufplans

Konnte ein Teilproblem gelöst werden, ist es in den Gesamtzusammenhang der Problemstellung einzuordnen und in diesem Zusammenhang einer weiteren Tauglichkeitsprüfung zu unterziehen (TOTE 3). Anschließend sind die weiteren Teilprobleme entsprechend zu behandeln (TOTE 4), bis das Problem insgesamt erfolgreich gelöst werden konnte. Die Bereiche TOTE 1 und TOTE 2 bilden also die eigentlich gestaltenden Aspekte der Problemlösung. TOTE 3 und TOTE 4 bilden den organisatorischen Rahmen und sorgen für den strukturellen Zusammenhalt der Teilaspekte der Lösung.

In den für das weitere Vorgehen wesentlichen Bereichen der Konstruktionsmethodik sind die nachfolgend zusammengefassten Merkmale hervorzuheben. Zunächst wurden Ablaufdiagramme mit organisatorischem Charakter vorgestellt. Diese ordnen den Planungsablauf, setzen die Idee zur Lösung eines Problems aber als gegeben voraus. Die Einflüsse des Individuums als Subjekt des Prozesses finden keine Berücksichtigung. Dennoch bilden solche Ablaufdiagramme eine wichtige Gliederungshilfe, auch wenn es darum geht, Störungen im Planungsablauf zu lokalisieren und ggf. Hilfen zu entwickeln.

Der planende Mensch muss, neben seinen übergeordnet organisatorischen Tätigkeiten, *Lösungen finden* und *Lösungen anpassen*. Es ist noch zu prüfen, wie er dabei unterstützt wird und wie er unterstützt werden kann.

2.3.3 Planungsprozesse von Architekten und Ingenieuren im Hochbau

Die Planung von Bauwerken unterliegt im Wesentlichen den Planungspartnern Architekt und Bauingenieur. Dem Architekten obliegt die Erfüllung von Anforderungen an die Nutzung und die Gestaltung. Dem Bauingenieur obliegt die Planung der tragenden Konstruktion. Darüber hinaus gibt es viele Überschneidungen der Fachdisziplinen. Zunächst sind z. B. Aspekte der Bauphysik, der Ökonomie und der Ökologie von beiden Planungspartnern zu berücksichtigen. Die Überschneidungen reichen aber auch weit in die Fachdisziplin des Planungspartners hinein. So entwirft der Architekt nicht unter Ausschluss des Tragwerkes. Das Tragwerk ist i.d.R. ein wesentlicher Bestandteil seiner Gesamtkonzeption. Andersherum hat der Bauingenieur bei seiner Einflussnahme auf die Planung des Tragwerkes die Belange der Nutzung zu berücksichtigen. So ist der Tragwerkplaner auch dazu verpflichtet, "über seinen speziellen Aufgabenbereich hinaus Bedenken anzumelden, wenn die ihm zugeleitete Planung des Architekten auf der Hand liegende Mängel aufweist oder sich ihm Zweifel an der Gebrauchstauglichkeit dieser Planung aufdrängen müssen" (vgl. OLG Köln, BauR 1986, 714ff) [Heiermann 90].

Im Sinne der im vorigen Abschnitt beschriebenen organisatorischen Ablaufpläne wurden auch spezielle Ablaufdiagramme für die Planung von Hochbauten entwickelt. Im Folgenden werden exemplarisch zwei sehr unterschiedliche Ansätze erläutert.

Evelin Rottke hat das im Abschnitt 2.3.2 beschriebene Ablaufmodell von Kröplin in Bezug auf den tragkonstruktiven Entwurf von Architekten und Bauingenieuren weiterentwickelt [Rottke 98] [Abb. 2.3.3-1]. Sie beschreibt dabei auch die Rolle der Fachplaner und hier insbesondere die des Tragwerkplaners. Der Tragwerkplaner nimmt danach ab der Entwurfsphase Einfluss auf die Entwicklung der Tragkonstruktion. Durch die berufliche Praxis wird die Richtigkeit des beschriebenen Modells in der Regel bestätigt. Besser und demzufolge erstrebenswert ist es, bereits die Konzeptphase arbeitsteilig zu gestalten. Nur so ist gewährleistet, dass ein in konstruktiver Hinsicht vorteilhaftes Konzept in der Entwurfsplanung weiterverfolgt wird.

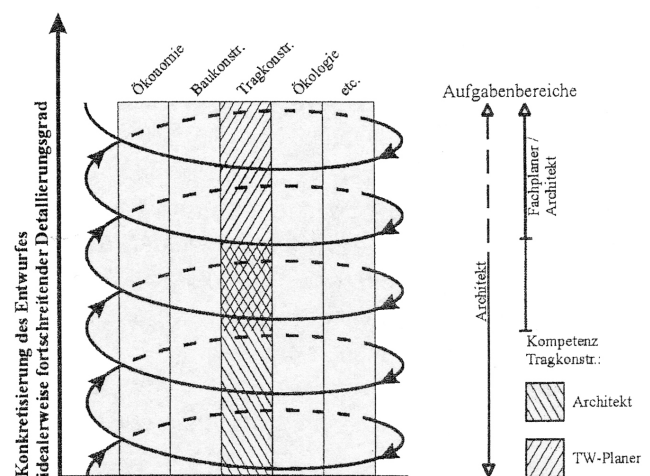


Abb. 2.3.3-1 Entwurfsphasenmodell [Rottke 98]

Im ungünstigsten Fall wird der Tragwerkplaner erst hinzugezogen, wenn der Entwurf weitestgehend festgelegt wurde. Es können dann, abgesehen von sehr einfachen Entwurfsaufgaben, nur in Ausnahmefällen gute Ergebnisse erwartet werden. Das Modell zeigt den iterativen Charakter des Planungsablaufs in Form der Spirale. Zur zeitlichen Einordnung noch zu formulierender Planungshilfen, ist das Diagramm jedoch zu wenig konkret.

Ein wesentlich konkreteres Modell, wonach der Tragwerkplaner bereits in der Konzeptphase der Planungen hinzugezogen werden sollte, ist der Planungsablauf, wie er in der Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure (HOAI) beschrieben ist [HOAI 96]. Dieses Planungsmodell beschreibt den idealen Planungsablauf und trifft auch konkrete Aussagen zur arbeitsteiligen Planung von Architekt und Bauingenieur. Es bildet deshalb die Grundlage zur Einordnung vorzusehender Maßnahmen und wird dementsprechend im folgenden Abschnitt ausführlicher behandelt.

2.4 Planungsprozesse nach HOAI

Die Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure (HOAI) basiert auf einem zeitlich linearen Planungsprozessmodell. Gemäß § 15 (Leistungsbild Objektplanung für Gebäude, Freianlagen und raumbildenden Ausbauten) und § 64 (Leistungsbild Tragwerkplanung) wird der Planungsprozess in die nachfolgend benannten 9 Phasen gegliedert [HOAI 96]:

1. Grundlagenermittlung
2. **Vorplanung**
3. **Entwurfsplanung**
4. **Genehmigungsplanung**
5. **Ausführungsplanung**
6. Vorbereitung der Vergabe
7. Mitwirkung bei der Vergabe
8. Objektüberwachung
9. Objektbetreuung und Dokumentation

Durch die im Abschnitt 2.3.1 vorgenommenen Analysen konnte die begrenzte Realitätsnähe von Ablaufbeschreibungen dieser Form festgestellt werden. Dennoch sind die Beschreibungen in dieser Form unerlässlich. Sie bieten den Planungsbeteiligten, insbesondere bei dem heute praktisch immer vorhandenen arbeitsteiligen Planen, eine wesentliche Hilfestellung. Sie ermöglichen die Definition von Schnittstellen und entsprechenden Qualitäts- und Quantitätsstandards der Teilleistungen. Im Rahmen der hier vorzunehmenden Betrachtungen gibt die Gliederung [Abb. 2.4-1] eine Hilfestellung zur Einordnung der später zu beschreibenden Werkzeuge in die Teilleistungen des Planungsprozesses.

Die HOAI setzt die Tätigkeiten von Architekten und Ingenieuren in den einzelnen Leistungsphasen in Beziehung. Diese Beziehungen und die jeweiligen Tätigkeitsbereiche werden in Abb. 2.4-1 dargestellt. Das Diagramm gibt keine Hinweise auf die Leistungen des bei größeren Hochbauaufgaben vorgeschriebenen Prüfingenieurs. Der Prüfingenieur nimmt bei den bisherigen Betrachtungen eine Sonderstellung ein. Er greift beim idealtypischen Planungsablauf nicht in den kreativen Prozess ein. Dennoch erfordert der reale Planungsablauf seitens des Tragwerkplaners teilweise Entscheidungen, deren "Richtigkeit" sich nicht direkt aus den verfügbaren Regelwerken ableiten lässt.

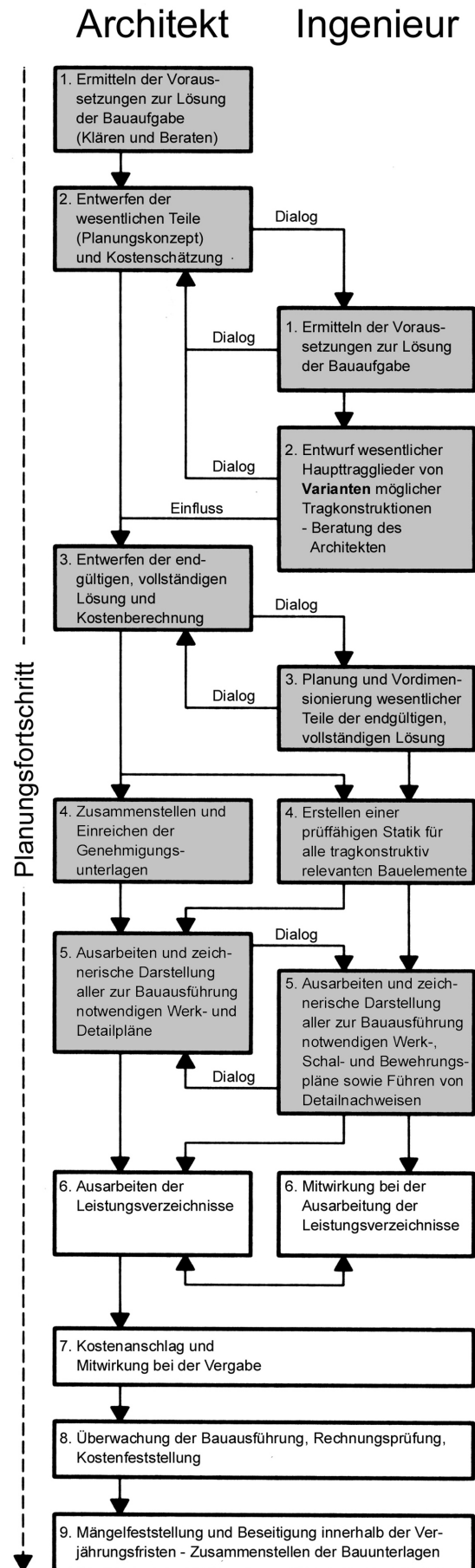


Abb. 2.4-1 Planungsprozess nach HOAI

Hier kann es sinnvoll sein, den Prüflingenieur vorzeitig in die Entscheidungsfindungen der Leistungsphasen 3 bis 5 einzubinden. Der Prüflingenieur nimmt dann Einfluss auf den Planungsprozess. Sowohl in diesem Fall als auch beim idealtypischen Planungsablauf gemäß HOAI, also bei reiner Prüfung der Leistungen der Genehmigungs- und der Ausführungsphase, kann auch dieser „Planungsbeteiligte“ von den zu beschreibenden Entwicklungen profitieren.

Für die weitere Vorgehensweise sind die grau hinterlegten Felder der Leistungsphasen 1 bis 5 von Bedeutung. Diese Phasen sind konstruktionsbestimmend. Es soll zunächst dargelegt werden, welche Tätigkeitsmerkmale die einzelnen Leistungsphasen kennzeichnen. Dabei werden nur die für die weiteren Untersuchungen relevanten Merkmale benannt. Auf dieser Basis können dann die im Kapitel 3 beschriebenen Rechnerunterstützungen in verschiedenen Leistungsphasen bewertet werden. Damit kann eine Problematik aufgezeigt und lokalisiert werden.

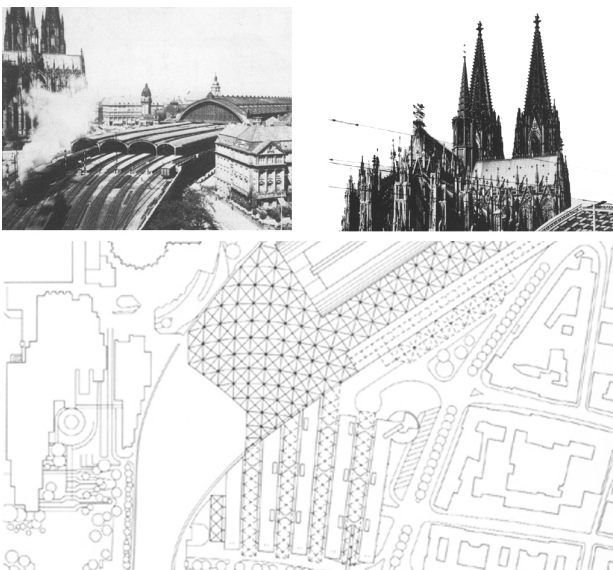


Abb. 2.4.1-1 Planungsrandbedingungen

2.4.1 Grundlagenermittlung der Architekten

Im Rahmen der Grundlagenermittlung (Leistungsphase 1) klärt der Architekt die Aufgabenstellung. In die Überlegungen zur Lösung der Aufgabe werden unter anderem Randbedingungen, wie die Beschaffenheit des Grundstückes, eventuell vorhandene Bausubstanz und die umgebene Bebauung, berücksichtigt. Abb. 2.4.1-1 verdeutlicht diese Einflüsse am Beispiel der Vorhallendächer des Kölner Hauptbahnhofes.

2.4.2 Planungskonzept und Kostenschätzung der Architekten

In Leistungsphase 2 wird ein Planungskonzept erarbeitet. Dabei werden alternative Lösungsmöglichkeiten entwickelt und bewertet [Abb. 2.4.2-1]. Hierzu sollen die Planungsleistungen von Fachplanern berücksichtigt werden. Der Bewertung sind gemäß HOAI u. a. die Einflussfaktoren des in Abb. 2.4.2-2 dargestellten Schemas zugrunde zu legen. Diese Planungsphase spielt in Bezug auf die Kosten der Bauaufgabe eine zentrale Rolle. Aus der theoretisch unendlich großen Menge möglicher Lösungen muss schnell auf sehr wenige, sehr gut geeignete Lösungen fokussiert werden.

Aus diesem Umfeld muss eine Lösung weiterverfolgt werden. Gelingt diese Fokussierung erst nach sehr intensiven Untersuchungen vieler verschiedener Varianten, besteht die Gefahr zu großer Planungskosten. Der andere Extremfall wäre die direkte Übertragung der zuerst entwickelten Lösung in die nächste Planungsphase. Hierbei muss davon ausgegangen werden, dass die gefundene, nicht durch Vergleich mit anderen Varianten reflektierte Lösung alle an sie gestellten Forderungen nur mäßig erfüllt. Die Entscheidung für eine sich in späteren Bearbeitungsphasen als falsch oder in einigen Aspekten als nachteilig erweisende Entwurfsvariante lässt sich in den nachfolgenden Bearbeitungsphasen nur sehr eingeschränkt korrigieren. Dies bekräftigen sowohl die Untersuchungen von Richter [Richter 88], der das in Abb. 2.4.2-3 dargestellte Diagramm zu Kostenbeeinflussungsmöglichkeiten in unterschiedlichen Entwurfsphasen erstellte als auch diejenigen von Steinmann: „Die Entscheidungen der frühen Planung determinieren zu ca. 90% die Gesamtbaukosten und dies zu einem Zeitpunkt, wo erst ca. 2% der Herstellungskosten durch die entsprechenden Planungskosten entstanden sind“ [Steinmann 97].

2.4.3 Grundlagenermittlung der Bauingenieure

Der Tragwerkplaner klärt in Leistungsphase 1 die Aufgabenstellung in Bezug auf die Tragwerkplanung. Dabei berücksichtigt er die Gegebenheiten (z. B. Grundstückssituation, Baugrund, Grundwasserspiegel etc.) sowie die Konzepte des Objektplaners.

2.4.4 Vorplanung der Bauingenieure

Der Bauingenieur berät in vorwiegend statisch-konstruktiver Hinsicht. Er bezieht sich dabei auf die Varianten des Objektplaners und entwickelt ggf. Alternativvorschläge. Gemäß HOAI berücksichtigt er dabei die in Abb. 2.4.4-1 dargestellten Einflussfaktoren. Er legt u.a. Baustoffe, Bauarten, Herstellungsverfahren, Konstruktionsraster und die Gründungsart fest. Hierbei werden in dieser Phase gemäß HOAI keine quantitativen Aussagen erwartet. Bauteilabmessungen oder Massen können aber einen entscheidenden Einfluss auf die Wahl der Entwurfsvariante im Ganzen oder in Teilen haben. In Einzelfällen kann es vorkommen, dass verlässliche Aussagen zur Reali-

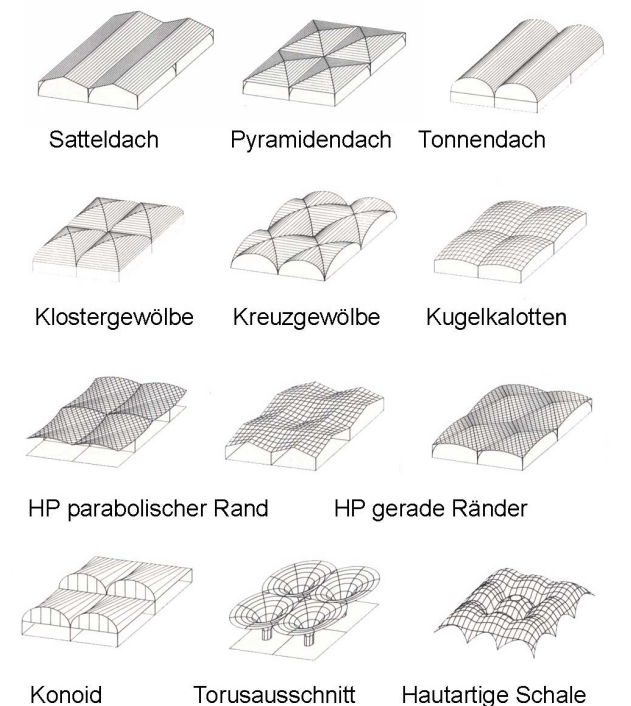


Abb.2.4.2-1 Varianten der Vorhallendächer Köln Hbf

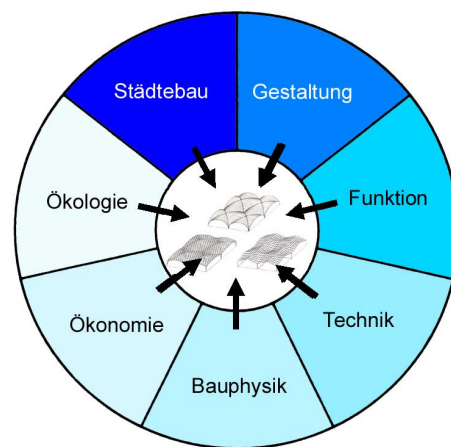


Abb.2.4.2-2 Einflussfaktoren auf Planungskonzepte

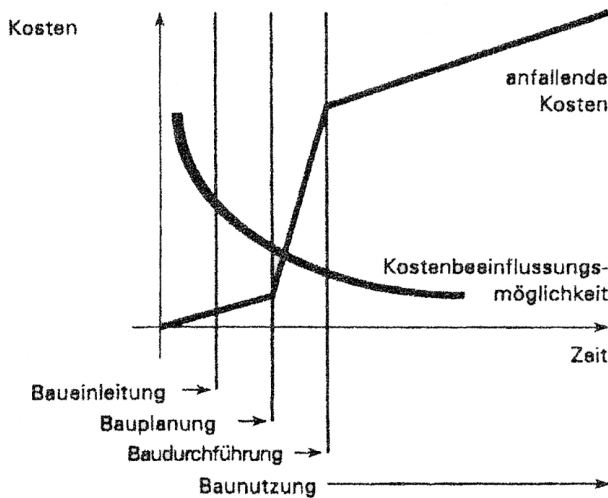


Abb.2.4.2-3 Kostenbeeinflussungsmöglichkeiten in unterschiedlichen Entwurfsphasen [Richter 88]

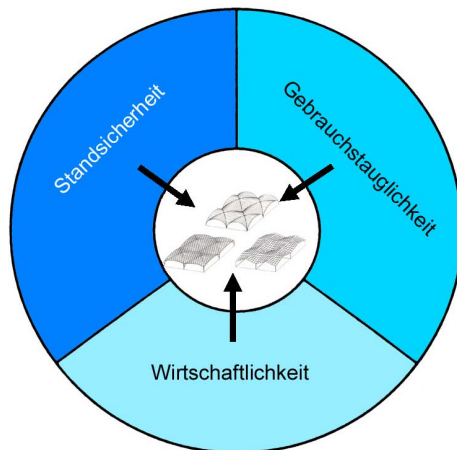


Abb.2.4.4-1 Einflussfaktoren der Bauingenieure auf die Planungskonzepte

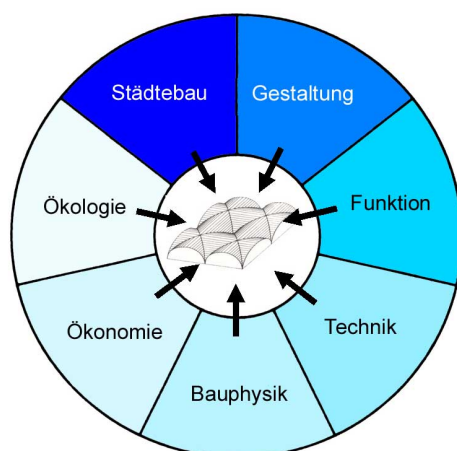


Abb.2.4.5-1 Einflussfaktoren auf den Entwurf

sierungsfähigkeit einer Entwurfsvariante erst im Anschluss an analytische Untersuchungen möglich werden. Hier ergibt sich ein Konflikt. Dieser offensichtliche Schwachpunkt dürfte hier bereits erwartet werden. Wie im Abschnitt 2.3.1 erläutert, ist eine Ablaufstruktur, die nicht einmal den iterativen Charakter des Planungsprozesses - geschweige denn menschliche Einflüsse - berücksichtigt, nicht in der Lage, die realen Abläufe wirklichkeitsnah zu modellieren. Der sich ergebende Konflikt ist somit ein Ergebnis der starren organisatorischen Ablaufstruktur im Planungsmodell der HOAI. Dass dieses Modell dennoch als Grundlage für weitere Maßnahmen herangezogen wird, liegt in seiner Stellung für die praktisch tätigen Planer begründet. Sollen Hilfestellungen in Form von Werkzeugen erarbeitet werden, so sollten diese auch in den Ablaufplan eingegliedert werden können, der den Planungsbeteiligten als Basis ihrer Schnittstellenfestlegungen und ihrer Abrechnungen dient.

2.4.5 Entwurfsplanung der Architekten

In Leistungsphase 3 (Entwurfsplanung) wird, wiederum unter Berücksichtigung der in Abb. 2.4.5-1 dargestellten Einflussgrößen, die gewählte Entwurfsvariante ausgearbeitet und dargestellt. Eine Kostenberechnung wird erstellt. In vielen Fällen werden, vor allem in jüngerer Zeit, hierzu schon Teilleistungen aus den Leistungsphasen 6 und 7 vorgezogen (Firmenangebote). Dadurch kann größere Kostensicherheit erlangt werden. Sowohl für die Kostenberechnung, die durch Aufstellen von Mengengerüsten oder Bauelementkatalogen erfolgen sollte, als auch für die Entwurfsdarstellung sollten Bauteilabmessungen, Mengen und Materialgütern bekannt sein. Eine prüffähige Statik liegt jedoch noch nicht vor. In dieser Phase findet i.d.R. schon ein intensiver Dialog mit dem Tragwerkplaner statt. Dennoch muss der Tragwerkplaner aus Gründen der Effizienz mit der Dimensionierung warten, bis ihm eine relativ verlässliche Planungsgrundlage vorliegt. Diese besteht aus den Entwurfsplänen, die ihm wiederum erst am Ende dieser Planungsphase übergeben werden können. Dementsprechend unsicher ist die Basis der Kostenberechnung. Auch hierzu ist zu prüfen, inwieweit mit Hilfe geeigneter Lösungskonzepte ein Beitrag zur Verbesserung der gegenwärtigen Situation geleistet werden kann.

2.4.6 Entwurfsplanung der Bauingenieure

In dieser Phase erarbeitet der Tragwerkplaner die geeignete Tragwerklösung für die ausgewählte Entwurfsvariante. Es erfolgt eine Vordimensionierung zur entwickelten Lösung.

Unter Berücksichtigung der Belange der Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und der Wirtschaftlichkeit werden Materialien ausgewählt, die tragenden Querschnitte festgelegt, Konstruktionsarten gewählt und relevante Details ausgearbeitet [Abb. 2.4.6-1/ 2.4.6-2].

2.4.7 Genehmigungsplanung

Im Rahmen der Genehmigungsplanung stellt der Architekt die für den Bauantrag erforderlichen Unterlagen zusammen. Dazu erstellt der Tragwerkplaner für alle tragkonstruktiv relevanten Bauelemente die Statische Berechnung. Dies geschieht auf der Basis der abgeschlossenen Entwurfsplanung.

2.4.8 Ausführungsplanung

Im Rahmen der Ausführungsplanung werden zum einen die Ergebnisse der Genehmigungsplanung zeichnerisch dokumentiert. Zum anderen werden Details ausgearbeitet, dargestellt und durch den Tragwerkplaner bemessungstechnisch analysiert.

2.5 Regelbasierte Leistungen im Planungsprozess von Hochbauaufgaben

Im Abschnitt 2.4 konnten Probleme analysiert und lokalisiert werden, die sich auch im idealtypischen Planungsablauf nach dem Modell der HO-AI ergeben. Demnach ergibt sich ein Kernproblem insbesondere in der Konzeptphase, aber auch in der Entwurfsphase des Planungsablaufs. Zur Wahl der geeigneten Entwurfsvariante sind tragkonstruktive Betrachtungen im Regelfall unerlässlich. Verlässliche Aussagen zum Tragverhalten können nur auf der Basis von Vordimensionierungen vorgenommen werden. Eine Ausnahme bildet hier sicherlich die für viele Anwendungsfälle vorhandene Möglichkeit des Schätzens von erforderlichen Abmessungen oder Materialgütern.

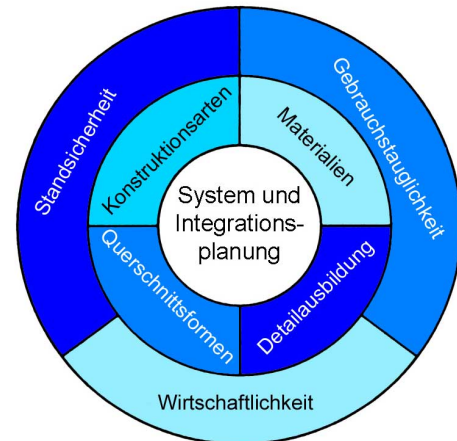


Abb.2.4.6-1 Einflussfaktoren auf die System- und Integrationsplanung

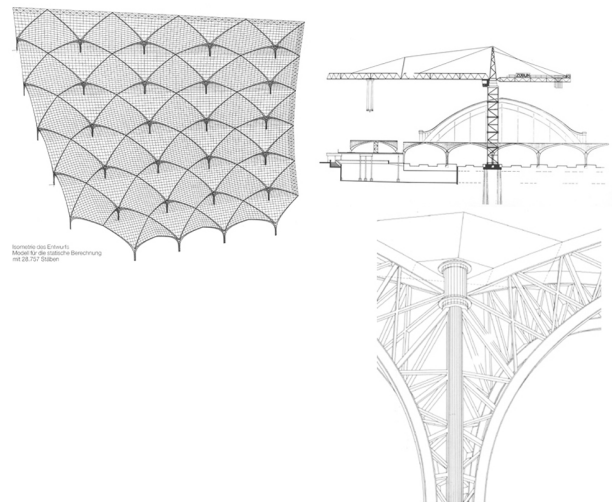


Abb.2.4.6-2 Festlegungen zur Tragwerklösung

Die Verlässlichkeit dieser Möglichkeit ist zum einen abhängig von der Art der Konstruktion (z. B. ähnliche Situationen bekannt). Ganz sicher kann aber gesagt werden, dass nur ein sehr erfahrener Tragwerkplaner auf dieser Grundlage agieren kann. Eine Vordimensionierung kann aus Gründen der Effizienz – und so sieht es auch die HOAI vor – erst mit den Planunterlagen der Entwurfsplanung erfolgen. Sich daraus ergebende Änderungen können den Entwurf maßgeblich beeinträchtigen. In Einzelfällen kann es sogar zu einer Neuplanung kommen (z. B. wenn der Architekt die gewünschte Entwurfsabsicht aufgrund von überraschenden Ergebnissen der tragkonstruktiven Untersuchungen als nicht erzielt erachtet). Erschwerend kommt hinzu, dass der „idealtypische“ Planungsablauf, wie er sich gemäß HOAI darstellt, in der Praxis in der Regel nicht vorkommt. Im Abschnitt 2.3 konnte der iterative Charakter des Prozesses, sowie der gravierende Einfluss der Planungsbeteiligten als kreative Individuen belegt werden.

Sollen für die sich ergebenden Problemstellungen rechnergestützte Hilfestellungen erarbeitet werden, muss zunächst abgeschätzt werden, ob die zu erbringenden Leistungen im Verhältnis zu denen anderer Leistungsphasen stark regelbasiert sind oder nicht. Hiervon ist die prinzipielle Begrenztheit der Rechnerunterstützung abhängig (siehe dazu auch [Schmitt 93]). Regelbasierte Leistungen in dem hier beschriebenen Sinne sind diejenigen Leistungen, deren Ergebnis sich einer Regel entsprechend analytisch ermitteln lässt.

Die Grundlage für die in Abb. 2.5-1 getroffenen Aussagen sind die Angaben der HOAI zu den zu erbringenden Leistungen und die Reflexion der prozessbestimmenden Einflüsse. Die Aussagen beziehen sich nur auf die Leistungsphasen 2 bis 5, da diese den Konstruktionsentwurf vollständig erfassen. Das gezeigte Diagramm hat sowohl für die Planungsleistungen der Bauingenieure als auch für die der Architekten Gültigkeit.

Für die Bearbeitungen in Leistungsphase 1 sind ganz wesentlich die unveränderbaren Rahmenbedingungen entscheidend. Diese ergeben sich aus der Bauaufgabe und den vorgefundenen Bedingungen des Standortes. Die Erarbeitung des Entwurfskonzeptes in Leistungsphase 2 erfolgt unter Berücksichtigung vieler bewusst oder auch unbewusst einfließender Regeln. Diese ergeben sich aus den in Abb. 2.4.2-2 dargestellten Anforderungen.

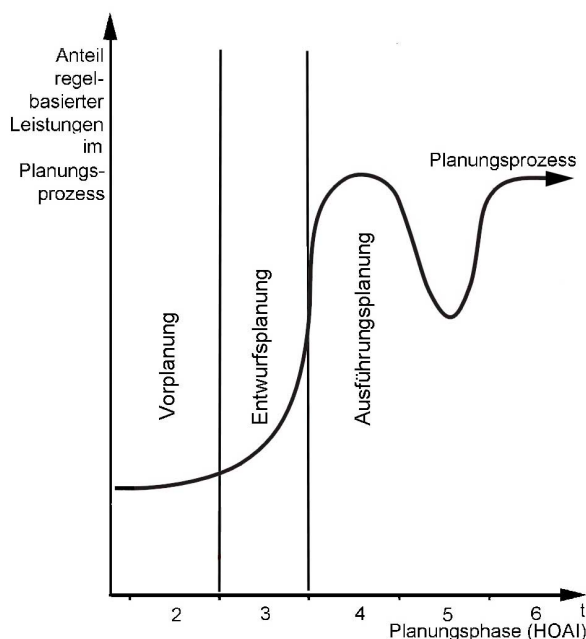


Abb. 2.5-1 Anteil regelbasierter Leistungen im Planungsprozess von Hochbauaufgaben

Im Rahmen der Anforderungen kann aber eine unbegrenzte Anzahl von Konstruktionsvarianten und Kombinationen von Teilen einzelner Varianten entwickelt werden. Die Ergebnisse sind im wesentlichen das Resultat der kreativen und kognitiven Fähigkeiten der Planungsbeteiligten. Deshalb haben Regeln hier nur einen beschränkten Einfluss auf die Entwicklungen.

Während der Entwicklungen in Leistungsphase 3 gilt dies in ähnlicher, wenn auch etwas abgeschwächter Form. Das gewählte Entwurfskonzept wird ausgearbeitet. Hierbei gibt es neben den intuitiv gewählten Einflussgrößen (z. B. Stützraster, Materialgüte) regelbasierte Abhängigkeiten (z. B. Deckendicke).

Im Laufe der Genehmigungsplanung ist ein in großen Teilen regelbasiertes Wissen (Regelwerke etc.) umzusetzen. Nicht regelbasiertes Wissen wird vorwiegend dann erforderlich, wenn im Rahmen der Nachweisverfahren Problemstellungen erkennbar werden. Intuitiv geprägte Entscheidungen sind dann dem neuerlichen Anwenden von regelbasiertem Wissen vorzuschalten.

Im Planungsablauf nach Leistungsphase 5 ergeben sich wiederum größere kreative Freiheiten. Im Zuge der Werkplanung werden z. B. konstruktive Details ausgearbeitet und dargestellt. Gleichzeitig ist diese Phase in großem Umfang regelbasiert. Neben Regelwerken, die den Stand der anerkannten Techniken widerspiegeln sollen, vollzieht sich die Konstruktionsdarstellung weitgehend regelbasiert. Im Bereich der Darstellungstechniken hat sich eine Symbolsprache etabliert, die in weiten Teilen international und interdisziplinär Verwendung findet. Das Wesen dieser Symbol- oder Formensprache ist z. B. in Kuttig [Kuttig 93, S.21 ff] beschrieben.

Die nachfolgenden Leistungsphasen (Ausarbeiten der Leistungsverzeichnisse, Kostenanschlag, Bauüberwachung und Mängelbeseitigung) lassen, aufgrund der im idealtypischen Fall abgeschlossenen Planung, nur verhältnismäßig geringe Freiräume für nicht regelbasierte Entscheidungen.

3 Rechnerunterstützung der Konstruktionsprozesse bei Hochbauaufgaben

Das im Abschnitt 2.5 gezeigte Diagramm gibt alleine noch keinen Hinweis darauf, ob eine Werkzeugentwicklung für die insbesondere in der Konzeptphase der Planung benannten Probleme erfolgversprechend ist. Erkennbar ist, dass in den frühen Planungsphasen der kreativ-kognitive Anteil an der Planungsleistung sehr hoch ist. Da sich dieser Anteil nicht auf den Computer übertragen lässt, ist eine entsprechende Rechnerunterstützung auch nur in sehr begrenztem Umfang möglich. Es muss zunächst geklärt werden, ob der regelbasierte Anteil der Leistung auch rechnergestützt bearbeitet wird. Später muss dann über die Möglichkeiten der Umsetzung kognitiver Anteile nachgedacht werden.

Aussagen in diesem Bereich können, ähnlich den Aussagen zum Planungsprozess selber, nur allgemeiner Natur sein. Selbstverständlich kann ein Planungsprozess auch gänzlich ohne EDV-Unterstützung ablaufen.

Der Einsatz planungsunterstützender Software im Bauwesen ist nicht neu. Die Geschichte der Ingenieursoftware ist auch die Geschichte des Computers selbst. Der Bauingenieur Konrad Zuse ist der Erfinder und Konstrukteur des ersten funktionsfähigen, frei programmierbaren und auf dem binären Zahlensystem arbeitenden Rechners, dem Z3, der im Mai 1941 in Berlin fertiggestellt wurde. Zuse hatte das Ziel, planerisch denkende Menschen von der Ausführung reproduzierbarer Rechenoperationen zu entlasten.

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Beschreibung üblicher Unterstützungen. Damit Aussagen zur Rechnerunterstützung an die Aussagen bezüglich der regelbasierten Leistungen angelehnt werden können, erfolgt die Beschreibung auch hier in Abhängigkeit der Leistungsphasen gemäß HOAI.

3.1 Rechnerunterstützung in der Vorplanung (Konzeptphase)

3.1.1 Architekten

Generell bestehen unterschiedliche Möglichkeiten, zur Konstruktionsplanung Rechnerunterstützung in Anspruch zu nehmen. Die verbreitetste Unterstützung stellen CAD-Systeme dar. Sie dienen der Darstellung und unterstützen den Konstrukteur bei der Behandlung komplexer Geometrien. Kritisch ist auch hier die nur für den Einzelfall zu beantwortende Frage nach der Effizienz in dieser Planungsphase. CAD-Systeme verlangen immer die Angabe genauer Abmessungen. Gerade beim Arbeiten mit mehreren Varianten kann die Arbeit daher sehr schnell unwirtschaftlich werden. Dementsprechend wird in dieser Planungsphase häufig noch ganz auf Rechnerunterstützung verzichtet.

Oft und in zunehmendem Maße dient der Einsatz der CAD-Software auch der sogenannten fotorealistischen Darstellung der Entwurfsvarianten. Diese sind für Präsentationen von Bedeutung. In Wettbewerbsverfahren wie auch im Rahmen anderer akquisitorischer Aktivitäten wird so versucht, den Entwurf in einer schnell verständlichen Form zu präsentieren. Die Stärke dieser Darstellungen liegt aber auch in der Möglichkeit für Nicht-Fachleute (in erster Linie die Bauherren), aktiver am Planungsprozess mitzuwirken. Sie, die sie die in weiten Teilen normierten Symbole der Plandarstellungen nicht kennen, erhalten eine erstmals symbolfreie und damit ihnen zugängliche Form der Darstellung.

3.1.2 Bauingenieure

Wie im Abschnitt 2.4.4 erläutert, werden in dieser Leistungsphase gemäß HOAI keine quantitativen Aussagen verlangt. Um aber dem wiederum geforderten Einfluss von Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Wirtschaftlichkeit auf Entscheidungen gerecht werden zu können, werden vorwiegend Faustformeln oder Faustwerte in die Überlegungen einbezogen. Es liegt nahe, dass hier, insbesondere bei wenig erfahrenen Beratern, mit mehr oder minder großen Unsicherheiten zu rechnen ist. Die Alternative ist der Einsatz von Nachweisprogrammen. Hierbei ist der Eingabeaufwand für die vorwiegend beratende Tätigkeit zumeist unverhältnismäßig hoch.

Wenn, wie in der planerischen Praxis üblich, im Anschluss an eine statische Analyse der Objektplaner signalisiert, dass er aufgrund der damit verbundenen Aussage eine andere Lösung anstreben wird, ist dies zwar ein wichtiges Teilergebnis, aber auch ein teures. Werden so unterschiedliche Aspekte in unterschiedlichen Varianten bewertet, kann dieses Vorgehen, auch wenn die Aussagen mit vereinfachten Lastannahmen und Systembedingungen erzielt wurden, unter ökonomischen Aspekten in der Regel nicht vertreten werden.

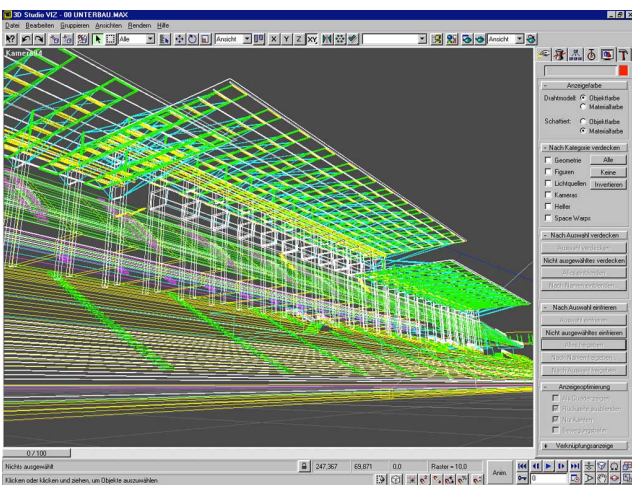


Abb. 3.2.1-1 Konstruktions- und Darstellungssoftware

3.2 Rechnerunterstützung in der Entwurfsphase

3.2.1 Architekten

Wie unter 2.4.5 beschrieben, wird in Leistungsphase 3 die gewählte Entwurfsvariante ausgearbeitet und dargestellt. Hierzu stehen geeignete CAD-Programme zur Verfügung [Abb. 3.2.1-1]. Diese müssen hier nicht näher erläutert werden.

Die für Bauingenieure bestimmten kommerziellen Nachweisprogramme erwiesen sich zunächst für eigene tragkonstruktive Analysen der Architekten als unbrauchbar, wie auch Untersuchungen von Rottke [Rottke 98] zeigen. Die Nachweisprogramme haben ihr Erscheinungsbild jedoch in den letzten Jahren stark verändert. Insbesondere, nachdem im Anschluss an die Veröffentlichung des Betriebssystems Windows 95 "echte" Windowsprogramme entwickelt wurden. Diese zumeist mit sehr weitgehenden grafischen Eingabeunterstützungen ausgestatteten Programme ermöglichen erstmals auch den Architekten den Zugang zu diesen Programmen. Damit haben Architekten zumindest in begrenztem Umfang die Möglichkeit, eigene Analysen durchzuführen. In der Praxis wird davon jedoch noch kein erkennbarer Gebrauch gemacht. Über die diesbezüglichen Gründe soll im 4. Kapitel (Ausbildungsbezüge) noch gesprochen werden.

3.2.2 Bauingenieure

Für die festgelegte Konstruktion werden häufig kommerziell verfügbare Nachweisprogramme eingesetzt. Der Entstehungsprozess der Konstruktion wird durch diese Programme nicht unterstützt.

Der Genauigkeitsgrad einer Eingabe ist den Erfordernissen an eine Nachweissoftware entsprechend hoch. Alle, auch für den erst im Rahmen der Genehmigungsplanung erforderlichen Statischen Nachweis geforderten Eingabedaten, müssen für die jetzt benötigte Vordimensionierung angegeben werden. In dieser Planungsphase findet jedoch noch umfangreicher Dialog mit dem Architekten statt. Vieles kann noch nicht abschließend festgelegt werden. Dementsprechend werden die Dimensionierungen mit Hilfe von Nachweisprogrammen unter der Annahme von dem Planungsstand entsprechenden Vereinfachungen durchgeführt. In der Regel wird damit eine hinreichende Genauigkeit erzielt, um verlässliche Aussagen treffen zu können. Die Modellierung ist jedoch selten genau genug, um im Rahmen der Genehmigungsplanung weiterverwendet werden zu können. Die Modellierung muss im Rahmen der Genehmigungsplanung dann wiederholt oder mit vergleichbarem Aufwand angepasst werden.

3.3 Rechnerunterstützung in der Genehmigungsplanung

Zur Erstellung der Statischen Berechnung werden eine Vielzahl unterschiedlicher und spezialisierter Baustatik-Programme verwendet. Berechnungs- und Bemessungsprogramme sind die wesentlichste Unterstützung für den Tragwerkplaner. Die ersten Programmentwicklungen bezogen sich auf die Übernahme statischer Berechnungen. Dies lag nahe, da es sich bei der Statischen Berechnung i.d.R. um einen sehr zeitintensiven, fehleranfälligen und gleichzeitig einen methodisch normierten Leistungsanteil handelt. Die Berechnungsprogramme ermitteln Kraft- und Weggrößen. In der Regel wird hierzu das Weggrößenverfahren (Stabwerke) implementiert. In erweiterter Form (Flächen- und Raumtragwerke) wird die allgemeine Finite-Elemente-Methode angewendet. Die Anwendung dieses sehr berechnungsintensiven Verfahrens ist für das Bauwesen erst durch den Computereinsatz relevant geworden. Es ermöglicht den Planern, insbesondere bei aufwendigen Tragstrukturen, wesentlich realitätsnähere Modellierungen bei oft stark vermindertem Zeitaufwand. Mit den verfügbaren Programmen kann praktisch jede Struktur modelliert werden. Des Weiteren werden Programme für die Bauteilbemessung eingesetzt.

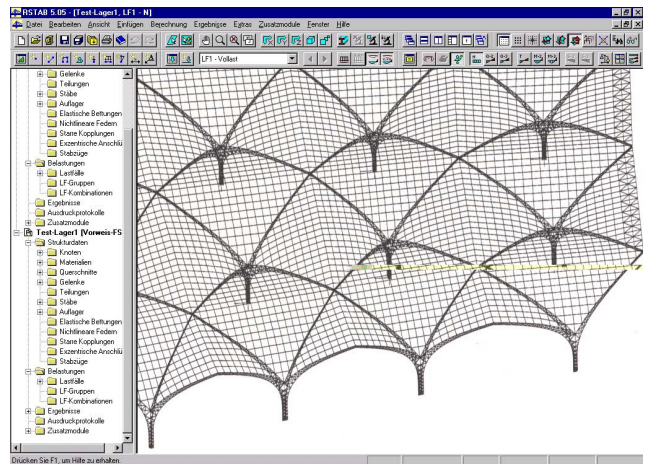


Abb. 3.2.1.1 Nachweisprogramme

Zum Teil sind diese Programme isoliert verfügbar. D. h., die geometrischen und die stoffbezogenen Größen eines definierten Bauelementes (z. B. Stütze) werden zusammen mit den Belastungen (z. T. auch als innere Kraftgrößen) vorgegeben. Die Software führt dann den Statischen Nachweis auf der Basis verfügbarer Normen.

Es stehen auch Programme zur Verfügung, die integrativ strukturiert sind, d.h. die Ergebnisse der Statischen Berechnung können direkt zur Bemessung weiterverwendet werden. Dies ist in der praktischen Anwendung im Hinblick auf die Frage nach der Effizienz nicht immer vorteilhaft. Da die Stabilitätsfragen in der Regel mit Hilfe der Berechnung nach Theorie II. Ordnung analysiert werden, müssen Vorverformungen angegeben werden. Diese Vorgaben richtig zu treffen kann bei komplexen Strukturen sehr schwierig sein. Das Programm führt, wenn in der Eingabe keine Plausibilitätsfehler vorhanden sind, die Berechnung durch. Hier liegt die Versuchung nahe, den in der Regel anschaulich grafisch dargestellten, folgerichtigen Ergebnissen einer fehlerhaften Eingabe Glauben zu schenken. Der Statiker hat sich in diesem Bereich der Tätigkeiten zunehmend vom Analytiker zum Interpretieren der statischen Analyse gewandelt. Abschließend kann festgestellt werden, dass diese durch den Statischen Nachweis geprägte Planungsphase weitgehend rechnergestützt abgewickelt wird.

3.4 Rechnerunterstützung in der Ausführungsplanung

Für zeichnerische Darstellungen stehen umfangreiche CAD-Programme zur Verfügung. Diese sind zum Teil zur Unterstützung einzelner Teilleistungen mit speziellen Applikationen ausgestattet (Erstellung von Schal- und Bewehrungsplänen etc.). Details werden teilweise mit Rechnerunterstützung nachgewiesen. Für mehr oder weniger standardisierte Anschlussdetails (z. B. Kopfplattenanschluss im Stahlbau) stehen spezielle Nachweisprogramme zur Verfügung. Viele auf Sonderlösungen zugeschnittene Detailkonstruktionen müssen aber in Ermangelung geeigneter Modellierungsmöglichkeiten weitgehend ohne Softwareunterstützung berechnet werden. Auch eine komplette dreidimensionale Finite-Elemente-Generierung ist theoretisch möglich. Diese steht jedoch bezüglich des Eingabeaufwandes i.d.R. in keinem vernünftigen Verhältnis zu ihrem Nutzen. Dieses Problem trifft speziell auf das Bauwesen zu, da hier individuelle Planungen für sehr kleine

Stückzahlen vorgenommen werden. Im Maschinenbau, der sich in den meisten Bereichen mit der Planung von Serienprodukten befasst, verschiebt sich das Verhältnis zugunsten eines höheren Planungsaufwands.

3.5 Zu integrativen Ansätzen

Warum gibt es keine durchgängige Planungssoftware, die alle Leistungsphasen einbezieht? Beucke stellt zum Stand der Integration von Statik und Bemessung im Konstruktionsprozess fest: "Es gibt zwar viele nützliche Werkzeuge für Teilaufgaben, aber ein überzeugendes, durchgängiges Konzept ist nicht verfügbar. Es ist auch zweifelhaft, ob dies auf der Basis der heute einsetzbaren Software-Technologien überhaupt erreichbar ist. Bisherige Ansätze für eine Integration der genannten Arbeitsabläufe sind noch nicht überzeugend und haben nur sehr begrenzten Erfolg gehabt. Andererseits war die Einführung der EDV aber fast immer mit der Erwartung verbunden, eine Integration der Arbeitsabläufe zu erreichen Dieses Ziel lässt sich im Bauwesen vermutlich nur mit neuen Software-Konzepten erreichen" [Beuke 96]. Im Anschluss an die insbesondere im Kapitel 2 durchgeführten Analysen zu den Arbeitsabläufen der Planungsbeteiligten muss das von Beucke und vielen anderen benannte Ziel hinterfragt werden. Offensichtlich scheitern die vielfältigen Integrationsversuche nicht an fehlenden Softwarekonzepten. Es ist die Struktur des Planungsprozesses selber, die zu individuell abläuft, als dass sie durch eine Software diktiert werden könnte. Durchgängige Softwarelösungen erfordern "durchgängige Planungsabläufe". Diese können nun ihrerseits, wird vordergründig die Effizienz gesehen, als wünschenswert betrachtet werden. Ein Beispiel für eine Softwarelösung mit dem Ziel der Durchgängigkeit ist das 1999 von der Firma Nemetschek vorgestellte Produkt Allstar 2000. Es ist auf die notwendig direkte Zusammenarbeit von Architekt und Bauingenieur mit diesem Programm ausgelegt. Das Programm soll sowohl die Entwurfsphase als auch die Ausführungsplanung unterstützen. Mit diesem Programm wird das gesamte Gebäude objektorientiert aus Trägern, Stützen, Decken, Wänden, Fundamenten etc. gebildet und grafisch modelliert. Wenn Bauteilabmessungen vom Architekten festgelegt werden können, werden sie eingegeben.

Ansonsten nutzt ein Bauingenieur das Programm nebst Eingabedaten des Architekten, um direkt durch das Programm eine den tragkonstruktiven Erfordernissen entsprechende Dimensionierung der Bauelemente vornehmen zu lassen. Die Besonderheit des Systems wird bei notwendigen Änderungen in späteren Planungsphasen deutlich. So hat beispielsweise der Wegfall einer zuvor geplanten Stütze Auswirkungen auf die Lastabtragung. Ein zuvor dimensionierter Unterzug hat nach dem Wegfall einer Innenstütze ggf. eine doppelt so große Stützweite. Das System ermittelt die daraufhin erforderlichen Unterzugabmessungen und arbeitet die damit verbundenen Änderungen automatisch ein. Es aktualisiert direkt die Mengen und damit die Kostenermittlung. Dazu müssen die Änderungen allerdings auf kleine Eingriffe beschränkt sein. Das System kann nun keine kognitiv-konstruktiven Aspekte einfließen lassen. Die Frage, ob der entsprechende Unterzug noch die sinnvollste Konstruktion darstellt, wird nicht beantwortet. Auch ganzheitliche Überlegungen fließen nicht ein. Eine Deckenuntersicht, in der in einem Feld ein Unterzug seine Abmessungen ändert, kann formalästhetisch bedenklich sein. Der Schal- und Bewehrungsaufwand erhöht sich usw. Zudem ist es sehr problematisch, dass solche Analysen erst durchgeführt werden können, wenn die Gesamtmodellierung des Tragwerkes weitgehend abgeschlossen ist. Ist dies aber der Fall, ist die Überprüfung von Tragwerksalternativen (Unterspannte Träger, Fachwerke, Verbundträger etc.) genauso aufwendig wie bisher. Sollen mehrere Varianten mit einem solchen Softwarepaket untersucht werden, kann die Konzeptphase sehr schnell unwirtschaftlich werden. Zur Förderung und Erhaltung anspruchsvoller Baukultur können solche Lösungen, zumindest unter Einbeziehung der frühen Planungsphasen, nur wenig beitragen. Dennoch bewegt sich in diesem Bereich der Forschungsaktivitäten sehr viel. Es ist deshalb kaum prognostizierbar, wie erfolgreich Konzepte in dieser oder ähnlicher Art zukünftig umgesetzt werden können.

3.6 Rechnerunterstützte Anteile von Leistungen im Planungsprozess

Prinzipiell sind es die regelbasierten Leistungsanteile, für die rechnergestützte Modellierungen gefunden werden können. Gerhard Schmitt zufolge kann eine Eigenschaft der menschlichen Repräsentation, wenn sie genau definierbar ist, in ähnlicher Weise durch eine Computerrepräsentation abgebildet werden [Schmitt 93].

Jede Leistung besteht aus regelbasierten und kreativ-kognitiven Anteilen. Im Abschnitt 2.5 wurden die regelbasierten Anteile einzelner Planungsphasen qualitativ zueinander ins Verhältnis gesetzt. Die Ergebnisse wurden in Abb. 2.5.1 dargestellt.

Hier sollen nun, auf der Basis dieses Diagramms, die sich aus den Analysen zur vorhandenen Rechnerunterstützung ergebenden Anteile der Planungsleistungen ergänzt werden. Sofern dem Rechner nicht kreative Anteile der Leistung übertragen werden, er also keine konstruktiven Entscheidungen fällen soll, muss der rechnergestützte Anteil einer Leistung in jedem Fall als Teilmenge aus den regelbasierten Anteilen hervorgehen.

Für die Planungsleistungen im Rahmen der Konzeptphase konnte in Bezug auf die Belange der Tragkonstruktion eine große Diskrepanz zwischen den zu behandelnden Aspekten und dem Einsatz moderner Werkzeuge festgestellt werden. Dies ist sowohl seitens der Objekt- als auch seitens der Tragwerkplanung zu beobachten. Die Gründe liegen auf der Hand; der Anteil der regelbasierten Leistungen ist hier gering und die verwendeten Werkzeuge nehmen keine Rücksicht auf die speziellen Belange dieser Planungsphasen. Dementsprechend kann auch der ohnehin geringe Anteil nur unzureichend rechnergestützt bearbeitet werden.

In der Entwurfsphase wird das ausgewählte Konzept zumeist rechnergestützt dargestellt. Vordimensionierungen werden nur teilweise rechnergestützt bearbeitet, weil erforderliche Modellierungen mit der auf die fertige Konstruktion ausgerichteten Nachweissoftware aufwendig sind. In dieser Phase werden aber zumeist Teilaspekte computergestützt im Sinne eines Nachweises analysiert und damit bewertet. Die Diskrepanz zwischen dem tatsächlichen Einsatz und dem möglichen Einsatz von Computerunterstützung verringert sich.

Als wesentlich besser stellt sich das Verhältnis im Rahmen der Genehmigungsplanung dar. Dies liegt im wesentlichen darin begründet, dass

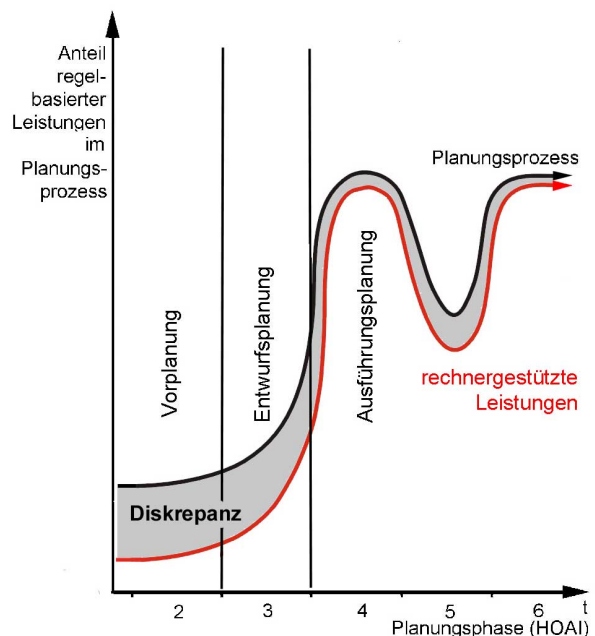


Abb. 3.6-1 Diskrepanz zwischen regelbasierten Leistungen in verschiedenen Planungsphasen und der z. Z. eingesetzten Rechnerunterstützung

die verwendete Nachweissoftware für eben die Nachweisführung auf der Basis festgelegter Konstruktionen entwickelt wurde. Dies wiederum liegt im relativ hohen regelbasierten Anteil dieser Leistungsphase selber begründet, der die Softwareentwickler anregte, diese mit Hilfe der Computer zu unterstützen.

In der Ausführungsplanung kommt es wieder zu einer geringeren Ausprägung der Unterstützung. Zwar werden nahezu alle Darstellungen CAD-gestützt erstellt. Aber gerade im Bereich der Detailentwicklung ist auch sehr viel Entwurfsarbeit zu verrichten. Geeignete Software für Detailnachweise ist z. Z. nur im Bereich standardisierter Detailpunkte verfügbar.

Auf die sich anschließenden Leistungsphasen muss hier nicht weiter eingegangen werden, da der Konstruktionsentwurf mit Leistungsphase 5 abgeschlossen wird.

Die getroffenen Aussagen können naturgemäß nur einen ersten Anhaltspunkt bezüglich der tatsächlichen Verhältnisse liefern. Die Größenverhältnisse genauer empirisch festzulegen, bedürfte es Erhebungen, die den Rahmen dieser Arbeit weit überstiegen. Die damit einhergehende Unsicherheit bezieht sich nicht nur auf den Vergleich der Leistungsphasen miteinander, sondern insbesondere auch auf die Abgrenzung der regelbasierten Anteile und die Frage der anteiligen Rechnerübernahme. Dies zu werten fällt in den Aufgabenbereich von Psychologen und könnte sicherlich Inhalt eigener Forschungsarbeiten sein. Das unter diesen Umständen zu wertende Ergebnis [Abb. 3.6-1] der Betrachtungen kann somit wie folgt zusammengefasst werden: je geringer der regelbasierte Anteil der Leistung ist, desto schwieriger ist es offensichtlich, für diesen Anteil geeignete Rechnerunterstützung bereitzustellen. Insbesondere für die Konzeptphase und teilweise auch für die Entwurfsphase sind die Maßnahmen bisher unzureichend.

4. Ausbildungsbezüge

4.1 Aspekte der Aufgaben und Möglichkeiten der Ausbildung

Das Ziel jeder Ausbildung ist die Vorbereitung. Hochschulen sollen in erster Linie auf die in der beruflichen Praxis im Rahmen ihrer Fachdisziplin zu erwartenden beruflichen Anforderungen vorbereiten. Hochschulausbildung darf nicht nur auf Veränderungen der beruflichen Praxis reagieren, sondern sie hat auch die Aufgabe, aktiv zukünftige Veränderungen mitzugestalten. In diesem Kapitel werden Aspekte der Aufgaben und Möglichkeiten zu den entwurfsbezogenen Ausbildungsinhalten von Bauingenieuren und Architekten angesprochen. Außerdem sollen kurz die Ausbildungsmöglichkeiten und deren Grenzen mit Unterstützung durch klassische Medien angesprochen werden. Auf dieser Basis werden dann Lösungen entwickelt und vorgeschlagen.

Aufgrund der in den Kapiteln 2 und 3 vorgenommenen Betrachtungen des praktischen Planungsablaufes konnten Mängel bezüglich der Nutzungsmöglichkeiten moderner Hilfsmittel festgestellt werden. Diese fanden sich vorwiegend in den frühen Planungsphasen.

Erfahrene Entwerfer, sowohl auf Seiten der Bauingenieure als auch auf Seiten der Architekten, haben in der Regel Arbeitsweisen entwickelt, mit denen sie die ihnen gestellten Aufgaben erfolgreich bearbeiten. Oft verfügen sie über ein breites Basisrepertoire konstruktiver Lösungen und Teillösungen, welches ihnen die Arbeit in diesen frühen Planungsphasen stark erleichtert. In Einzelfällen finden sehr erfahrene Entwerfer eine geeignete Entwurfslösung intuitiv, ohne die Entwicklung und Prüfung unterschiedlicher Varianten. Nicht so die Studierenden. Studierenden fällt das Finden von Entwurfslösungen naturgemäß schwerer als erfahrenen Praktikern. Bezüglich der Architekturausbildung kann dementsprechend beobachtet werden, dass der Konzeption und dem Entwurf von Bauwerken, also die Teilleistungen der Leistungsphasen 2 und 3, ein anteilig wesentlicher größerer Zeitraum zugestanden wird, als dies im praktischen Planungsprozess der Fall ist. Auch in der Ausbildung der Bauingenieure verzerrt sich die Gewichtung von Ausbildungsinhalten gegenüber den Leistungsanteilen im praktischen Planungsprozess.

Allerdings liegt der Schwerpunkt eindeutig bei den nachfolgenden Planungsphasen 4 (Genehmigungsplanung) und 5 (Ausführungsplanung). Dies ist erforderlich, um das umfangreiche Faktenwissen (z. B. materialgebundene Berechnungsmethoden) im Rahmen der zur Verfügung stehenden Ausbildungszeit vermitteln zu können. Das im 2. Kapitel aufgezeigte Kernproblem des Konstruierens: das, dem erfahrenen Entwerfer vertrautere - *Lösung finden - Lösung anpassen* – wird dabei oft nur indirekt behandelt und gefördert. Auch in diesem Bereich könnten Studierende mit geeigneten Hilfsmitteln, vor allem im Grundstudium, eigenständiger agieren und gezielter entwerfen.

Wenn also bezüglich der Situation im praktischen Planungsprozess Mängel aufgedeckt wurden, müssen die Impulse zur Veränderung zuerst in die Hochschulausbildung der Architekten und Bauingenieure einfließen.

In diesem Zusammenhang muss auch geklärt werden, welche inhaltlichen Anpassungen vorgenommen werden sollen.

Die Verkürzung von Ausbildungszeiten ist ein wichtiges gesellschaftspolitisches Ziel. Alle Bemühungen um die Anpassung an neue Möglichkeiten sind letztlich nicht hilfreich, wenn, wie in vielen Fällen, nur zusätzlich zu den klassischen Lehrinhalten neue hinzukommen. Soll über Vorteile eines, über das bisherige Maß hinausgehenden Einsatzes neuer Hilfsmittel nachgedacht werden, so ist auch über die anzupassenden Inhalte nachzudenken.

Hierzu muss in Teilen differenziert werden, zwischen Ausbildungsaspekten von Architekten und Ausbildungsaspekten von Bauingenieuren. Bezüglich der konstruktionsbezogenen Inhalte sind jedoch weitreichende Überschneidungen vorhanden. Das Ziel beider ist im Rahmen eines Planungsteams die Entwicklung des Bauwerks als Ganzes. Noch wesentlicher – und auch dies muss in der Ausbildung bedacht werden - rückt die Entwurfsarbeit der Bauingenieure bei den sog. Ingenieurbauwerken in den Vordergrund. Dies sind i. d. R. Bauwerke, bei denen Bauingenieure die Objektplanung übernehmen, da deren Zweckanspruch gegenüber anderen Entwurfsaspekten deutlich überwiegt. Dennoch, ob gewollt oder nicht, lässt sich das Geschaffene nicht auf seine Zweckerfüllung reduzieren. Alle Bauwerke beeinflussen ihre Umgebung in vielfacher Hinsicht und gehören deshalb zur Architektur.

Zur Anpassung von Lehrinhalten an die damals neuen Möglichkeiten der Computerberechnung forderte Polónyi bereits in einem Vortrag auf der Constructa '90 [Polónyi 90] eine „Entrümpelung“

der Lehrinhalte. In Bezug auf die Ausbildung der Bauingenieure sagte er: „Es reicht, wenn die Studenten wissen, unter welchen Voraussetzungen, mit welchen Annahmen Czerny seine Tabellen errechnet hat und wie sie mit diesen Tabellen umgehen müssen. Aber mich beschäftigt in letzter Zeit die Frage, ob wir das überhaupt noch lehren sollten. .. Wir lehren ja auch nicht mehr, wie man mit dem Rechenschieber rechnet, da wir Elektronikrechner haben.“ Heute, zehn Jahre später, hat sich die Ausbildung der Bauingenieure dahingehend geändert, dass vorwiegend die Grundlagen der finiten Computerberechnung gelehrt werden. Viele, vor allem viele grafische Verfahren, werden dementsprechend nicht mehr gelehrt.

In der Tragkonstruktionsausbildung der Architekten können diese Grundlagen jedoch aufgrund ihrer Komplexität nicht vermittelt werden. Die unzureichende Konsequenz hieraus ist in vielen Fällen, die inhaltlich abgespeckten Versionen der veralteten Ingenieurausbildung zu vermitteln. D. h., z. B. Näherungsverfahren zur Bauteilbemessung werden geübt, die in der Bauingenieurausbildung bereits ersetzt wurden. Dies kann kaum den Ausbildungszielen dienlich sein. Das im Zuge der europäischen Harmonisierung der Normen eingeführte neue Sicherheitskonzept, mit vielen mehr oder weniger auf die Computerberechnung zugeschnittenen Berechnungsmethoden, würde diese Problematik ohne methodische und inhaltliche Anpassung weiter verschärfen.

Zum Erkennen tragkonstruktiver Zusammenhänge ist in der Ausbildung der Architekten zunächst die Vermittlung der mechanischen Grundlagen erforderlich.

Mit modernen Hilfsmitteln, die auch auf die Bedürfnisse von Architekten abgestimmt sind, kann der gesamte Bereich der Bauteilbemessungen stark reduziert werden. Architekten müssen nicht befähigt werden, Vordimensionierungen mit Hilfe von Tabellenwerken und auf bestimmte Fälle zugeschnittene Ablaufdiagramme vorzunehmen. Sie müssen Lastflüsse qualitativ beurteilen können. Das heißt, um ein Beispiel zu nennen, Studierende im Grundstudium der Fachrichtung Architektur sollten durchaus an die Bemessung eines Stahlbetonbalkens herangeführt werden. Nur so kann gewährleistet werden, dass sein Tragverhalten wirklich verstanden wird. Wurde es verstanden, so sind Begriffe wie Nulllinie und Wirkungsweisen, wie die der Betondruckzone und die der Bewehrungsstäbe in der Zugzone bekannt. Dann sollte es in der

Ausbildungsfolge genügen, den Plattenbalken, mit seinen lagerungsabhängigen Vorteilen dem Rechteckquerschnitt gegenüber, allgemein zu erläutern. Um einen solchen Vorteil dann quantifizieren zu können, ist es sinnvoll, moderne Werkzeuge einzusetzen.

Gleichzeitig vergrößern sich die Möglichkeiten. Die „Schranke“, nur statisch bestimmte Systeme bearbeiten zu können, entfällt. Eine Software kann die entwickelten Systeme unabhängig vom Grad ihrer statischen Bestimmtheit behandeln. Schädlich wäre – um wiederum ein Beispiel zu nennen – eine Ausbildung, die den Einsatz eines Fachwerkträgers dem eines unterspannten Trägers vorzieht, weil die Architekten gelernt haben, damit umzugehen.

Auf die Ausbildung der Bauingenieure hat ein Hilfsmittel, das vorwiegend die frühen Planungsphasen unterstützt, deutlich weniger Einfluss, da die Ausbildungsschwerpunkte hier eher in den nachfolgenden Planungsphasen (LPH 4-5) liegen. Dennoch kann es auch hier, im Rahmen komplexer Konstruktionsaufgaben, Unterstützung bieten.

4.2. Zur besonderen Problematik der beruflichen Fortbildung

In der Vorrede zu seinem ersten Buch der „Zehn Bücher über Architektur“ schreibt der römische Baumeister Vitruv um 33 v. Chr. an den Imperator Caesar: „Weil ich bemerkte, dass Du schon viel gebaut hast, jetzt noch baust, habe ich festumrissene Vorschriften zusammengestellt, damit Du bei ihrer Beachtung die Beschaffenheit der Bauten, die Du schon geschaffen hast und noch schaffen wirst, selbst beurteilen kannst, denn ich habe in diesen Büchern *alle* Lehren der Baukunst dargelegt“. Der Umfang der zehn Bücher ist heute in nur einem Buch abgedruckt [Vitruv]. Unser heutiges sogenanntes Informationszeitalter hat demgegenüber den Begriff „life long learning“ geprägt. Hiermit ist nicht nur die Tatsache umrissen, dass ein Hochschulstudium es nicht mehr leisten kann, einem Studierenden das gesamte verfügbare Wissen seines Faches zu vermitteln. Vielmehr unterliegen die erforderlichen Informationen auch einer großen Dynamik, die es erforderlich macht, Ausbildungskonzepte anzupassen oder neu zu entwickeln. Diese Konzepte sollen dann die besondere Problematik der Ausbildungsfortführung nach dem Studienabschluss berücksichtigen. Um dies leisten zu können, müssen zunächst die

besonderen Merkmale der beruflichen Fortbildung erkannt werden.

Studierende erarbeiten Lösungen anhand von mehr oder weniger fest umrissenen, vorgegebenen Problemstellungen. Stufenweise werden die zur Lösungsfindung erforderlichen Hilfsmittel, Werkzeuge und Methoden seitens der Lehrenden bereitgestellt bzw. vermittelt. In der beruflichen Praxis der Ingenieure ergeben sich die Aufgabenstellungen dagegen entkoppelt vom Kenntnisstand des Bearbeiters. Aufgrund der immer schnelleren Entwicklung neuer Materialverbindungen, Verfahrenstechniken und Werkzeuge (insbesondere im Hard- und Softwarebereich) kommt es zunehmend zu Problemstellungen, die zur Zeit der Ausbildung eines nun praktisch Tätigen in dieser Form nicht existent waren. Erschwerend kommt in der Phase der praktischen Tätigkeit hinzu, dass den Ingenieuren i.d.R. sehr viel weniger Zeit zur Erschließung neuer Informationen zur Verfügung steht, als den Studierenden.

Somit ist es wichtig, für diese Gruppe der Informationssuchenden problemorientierte, schnell zugängliche Informationsquellen zu entwickeln. Die "Informationseinheiten" (Module) müssen möglichst klein sein, da der Suchende im Gegensatz zum Studierenden i.d.R. weniger Hintergrundinformationen, als vielmehr sehr konkrete Unterstützungen sucht. Dementsprechend sollen sie in möglichst großer Zahl zur Verfügung stehen. Hier kommt der Methodik der Informationsrecherche eine besondere Bedeutung zu. Die Recherche muss zunächst möglichst konkret auf bestimmte Fragestellungen unterschiedlichster Art eingehen können. Im weiteren Verlauf der Informationserschließung muss, was genauso für die Ausbildung innerhalb des Studiums gilt, die Möglichkeit gegeben sein, sich problemorientiert zu vertiefen.

4.3 Zur Didaktik und Effizienz der klassischen Medien

Alle verfügbaren Medien werden im Bereich der Wissensvermittlung mit mehr oder minder großem Erfolg eingesetzt. Dabei gibt es für jedes Medium eigenschaftsbedingte Einsatzschwerpunkte. Hier sollen zunächst die für die Ausbildung Wichtigsten benannt und bewertet werden. So kann die Erfordernis des Einsatzes neuer Medien eingeschätzt werden.

Bücher und andere Schriften ermöglichen den zeit- und ortsunabhängigen Einsatz von Bildern und Texten. Mit einem Buch lassen sich allerdings keine individuell auftretenden Problemstellungen behandeln. So können Berechnungsmethoden zwar allgemein oder anhand von Beispielen vorgestellt werden, die Umsetzung des Gezeigten auf eigenen Problemstellungen, also das *Anpassen einer gezeigten Lösung*, kann dieses Medium nicht leisten. Auch die gerade im Wissenschaftsbereich erfolgreich eingesetzten Animationen oder Versuchsdurchführungen lassen sich nur indirekt durch die Kombination feststehender Bilder und die textliche Erklärung darstellen.

Ein Schwerpunkt des Literaturstudiums liegt, besonders in der Ausbildung der Architekturstudenten, im Recherchieren von Ausführungsbeispielen. Diese Vorgehensweise ist prinzipiell sehr effektiv, denn für viele Problemstellungen gibt es gebaute Lösungen. Literatur unterstützt also das *Finden einer Lösung*. Ein Problem ist jedoch der große Zeitaufwand, die entsprechenden Literaturquellen zu finden. Auch das *Anpassen einer Lösung* kann in Form textlicher Regeln bzw. Empfehlungen unterstützt werden. Meistens findet dies jedoch völlig entkoppelt voneinander statt. Dadurch muss der informationssuchende Studierende, wenn ihm noch der globale Überblick zur Literatur seines Fachgebietes fehlt, (im günstigsten Fall) zweimal recherchieren: zum *Lösung suchen* und zum *Lösung anpassen*.

Die Rolle der Bilder und Grafiken geht dabei weit über die reine Abbildung vorhandener oder entworfenen Gegebenheiten hinaus. Bilder können z. B. Einsicht fördern, was nicht heißt, dass die Bildaussage richtig sein muss.

Dies wissenschaftlich zu belegen, würde hier zu weit führen. Stattdessen soll das folgende Beispiel dies verdeutlichen.

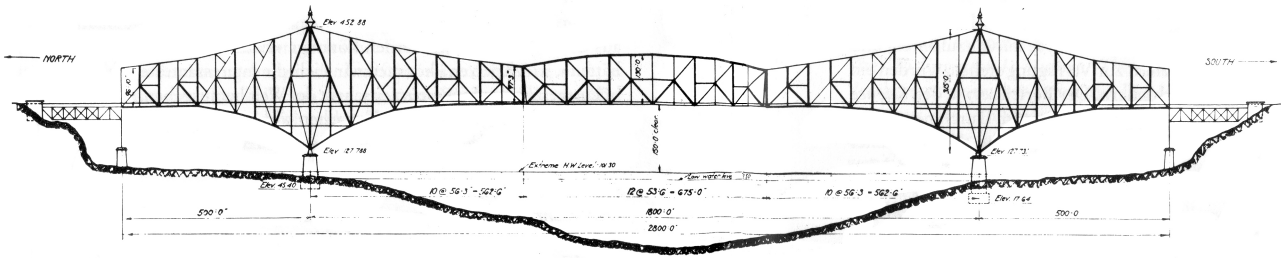


Abb. 4.3-2 zeigt das Südende einer stählernen Eisenbahnbrücke mit Ausleger und Gerberträger, die 1907 bei Quebec über den St. Lorenz-Strom gebaut wurde. Die Brücke stürzte noch in der Bauphase am 29.08.1907 ein. 74 Arbeiter wurden bei dem Unglück getötet. Einer der druckbeanspruchten Stäbe im Untergurt des landseitigen Auslegers knickte aus und brachte den Rest des Feldes zum Einsturz. Die verantwortlichen Ingenieure hatten sich auf ihre Berechnungen verlassen, ohne die Ergebnisse zu reflektieren. Sie hatten das Phänomen des Drillknickens nicht berücksichtigt. Hätten die Ingenieure die im Rahmen der Berichterstattung erstellte Bildmontage [Abb. 4.3.4] vorher gesehen (die Eigenlast des Kreuzers Brooklyn war etwa dieselbe wie die berechnete Axialkraft auf dem Gurtträger), wäre die Brücke so sicher nicht entstanden. Die dargestellten Trägerquerschnitte [Abb. 4.3-4 unten rechts] vergleichen den Querschnitt des ausgeknickten Gurtes mit dem der New Yorker Hell-Gate-Brücke und dem der Brücke über den Firth of Forth. Solche Darstellungen sind prädestiniert für den Einsatz in der Ausbildung.

Filme ermöglichen sowohl den Einsatz von Text und Bild als auch den des gesprochenen Wortes. Versuche und Animationen können anschaulich vorgeführt werden. Der Einsatz von Filmen in der Lehre erlebte mit der Verbreitung der Videotechnik in den 70er Jahren eine Blütezeit. Als ein bedeutendes Beispiel kann ein Projekt der TU Berlin genannt werden. Unter dem Titel "Audiovisuelle Informationsvermittlung in der Architekturausbildung" wurde ein mit ca. 5.000.000 DM sehr kostenintensives Vorhaben gefördert. Die entwickelten Filme dienten der Vermittlung der Grundlagen der Tragwerklehre. Im Anschluss an eine Lehrereinheit wurden Testbögen verteilt, in denen die Studierenden Fragen zum behandelten Thema zu beantworten hatten. Das Berliner Projekt war langfristig nicht erfolgreich. Die Filme werden nicht mehr verwendet. Gründe hierfür finden sich u.a. in der Tatsache, dass ein Film keine Rücksicht auf die Vorkenntnisse des Betrachters

Abb. 4.3-1 Zeichnung einer stählernen Eisenbahnbrücke mit Ausleger und Gerberträger, die in der Nähe der Stadt Quebec 1907 über den St. Lorenz-Strom gebaut wurde

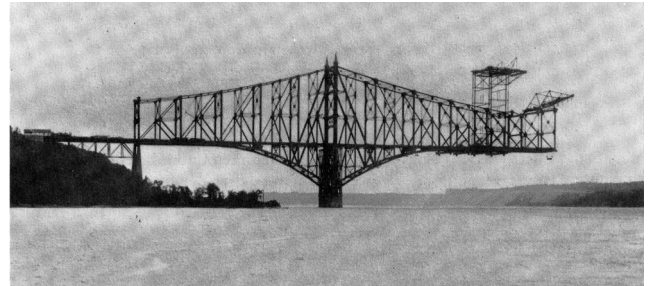


Abb. 4.3-2 Das Südende der Brücke einige Tage vor dem Einsturz [Ferguson 93]

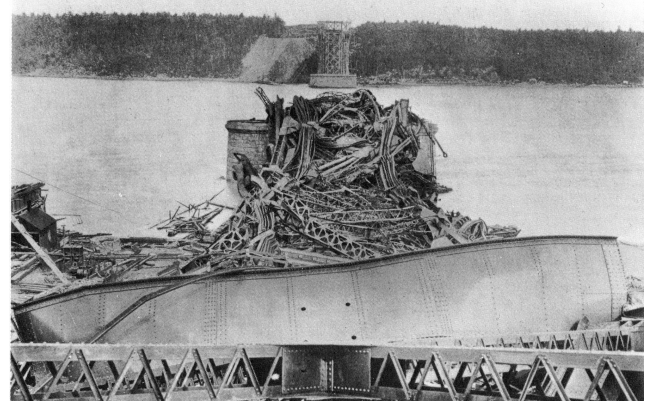


Abb. 4.3-3 Trümmer der Brücke nach dem Einsturz [Ferguson 93]

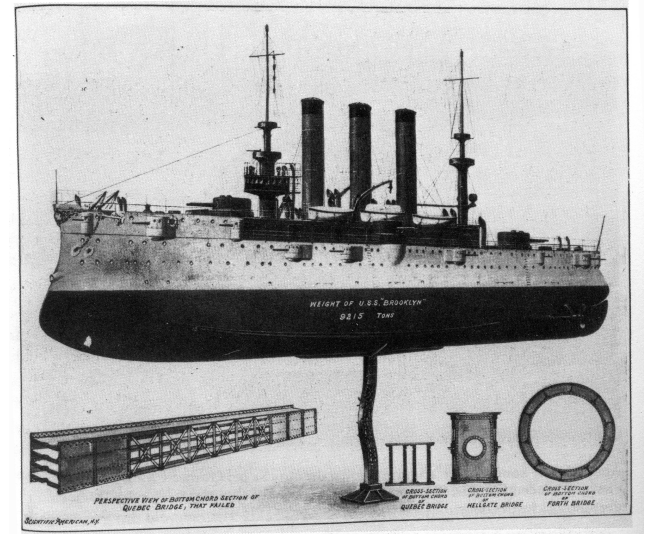


Abb. 4.3-4 Bildmontage zum Phänomen des Drillknickens (1907 in der Zeitschrift *Scientific American* erschienen)

nimmt. Er folgt einem linearen, zeitabhängigem Konzept. Von diesem kann er, um auf die vielleicht auch durch ihn aufgeworfenen Fragestellungen zu reagieren, nicht abweichen. Zudem kann auf das individuelle Lernverhalten des Betrachters nicht eingegangen werden. Unverständnis an einer Stelle kann dazu führen, dass der darauffolgende Informationsgehalt nicht verstanden werden kann. Der Film bietet dann keine zusätzlichen Erklärungen.

Modelle sind vereinfachte Darstellungen, die je nach der mit ihnen zu treffenden Aussage, abstrakter oder realer sein können. Wie technische Zeichnungen fokussieren auch Modelle die Anschauung auf bestimmte Teilaspekte der Planung (Städtebau, Tragwerk etc.). Modelle geben ihrem Betrachter die Möglichkeit der eigenen Perspektivwahl und werden dadurch im allgemeinen schneller verstanden als eine Zeichnung.

Ein besonderer Vorteil von Modellen ist die Tatsache, dass sie haptisch sind. Diese Eigenschaft kann durch kein anderes Medium ersetzt werden.

Hörsaalveranstaltungen bilden einen Schwerpunkt der Wissensvermittlung im Studium. Hier kommen oft mehrere Medien zum Einsatz. Studierende haben bedingt die Möglichkeit, auf den Verlauf der Vorlesung Einfluss zu nehmen. Der Referent kann auf Fragen reagieren und die Geschwindigkeit anpassen. Deshalb ist und bleibt die Vorlesung wesentlicher Bestandteil eines Studiums. Allerdings kann gerade bei einer größeren Hörergruppe nicht immer auf die Probleme Einzelner eingegangen werden. Dazu kommt die zeitliche Bindung der Studierenden an den Lehrplan. Ein bestimmter Inhalt wird in der Regel nur einmal jährlich behandelt.

5 Rechnerunterstützung in der Ausbildung

Von Seiten der verfügbaren Hard- und Software sind die Voraussetzungen vorhanden, die Vorteile multimedialer Informationssysteme auch gezielt in der Lehre zu nutzen. Dieses Kapitel dient dem Zweck, den Status quo auf diesem Gebiet aufzuzeigen. Hieraus lässt sich der Bedarf an weitergehenden bzw. abweichenden Entwicklungen ableiten.

5.1 Einsatz von multimedialen Werkzeugen

Lehren und Lernen sind kommunikative Prozesse. Diese können mit Hilfe der Medientechnologien unterstützt und dadurch rationalisiert werden. Der Computer hat dabei die Rolle des Mediums der Medienintegration übernommen. Der für die Medienintegration verwendete Begriff Multimedia beinhaltet in diesem Zusammenhang, dass die eingesetzten Medien animiert sowie interaktiv einsetzbar sind und außerdem asynchron, also unabhängig von Zeit und Ort individuell eingesetzt werden können. Einzig die haptische Bewertung, die gebaute Modelle ermöglichen, kann nicht auf den Rechner übertragen werden.

Der Einsatz von multimedialer Software zur Entwurfsunterstützung ist jedoch kein für alle Belange der Ausbildung hinreichendes Patentrezept. Multimediale Softwareanwendungen sind für die Vermittlung von Fakten geeigneter als für die Entwicklung von Strukturwissen (siehe dazu [Glötz 97]). In der Ingenieurausbildung, aber auch in allen anderen Fachdisziplinen, haben wir es mit beiden Ausprägungen zu tun. Es stellt sich also insbesondere die Frage, ob auch das Strukturwissen sinnvoll computergestützt gefördert werden kann.

Zumindest für den Bereich der Tragkonstruktionsausbildung kann festgestellt werden, dass ein großer Teil der Inhalte konservierbar und didaktisch optimierbar ist. Die Unterstützung dieser Anteile (Faktenwissen) liegt nahe. Darüber hinaus kann Software aber auch bei der Erschließung von Strukturwissen unterstützen. Die Studierenden können das Vorgehen für dargestellte Entwurfsprozesse nachvollziehen und die Eignung der enthaltenen Struktur für eigenes Vorgehen überprüfen. So können beispielsweise gebaute Beispiele Schritt für Schritt analysiert

werden, womit dann auch die Methodik einer Analyse vorgegeben wird und durch die Studierenden dadurch erlernt werden kann.

Hypertexte lösen einen zu erschließenden Wissensabschnitt in kleine, portionierte Einheiten auf. Dabei steckt der Wissenssuchende den Rahmen des Wissensabschnittes aufgrund der nichtlinearen Struktur selber ab. Er kann sich also problemorientiert und interessenorientiert und damit auch eigenverantwortlicher vertiefen. Die Ausbildung der Ingenieure sollte, wie im Kapitel 4.3 gezeigt, von der Anschauung unterstützt und in Teilen auch geprägt sein. Bezüglich der Ausbildung von Architekten ist ein rein analytisches Vorgehen im Fach Tragkonstruktionen in der sehr begrenzten Zeit nicht möglich. Darüber hinaus ist es hier, wie in vielen Teilbereichen der Bauingenieurausbildung auch, nicht wünschenswert. Schließlich sollen Planer ausgebildet werden, die auch auf Seiten der Bauingenieure unter einem hohen gestalterischen Anspruch zu entwerfen befähigt sind. Gestalten bedeutet, in Alternativen arbeiten – die „richtige“ Entwurfslösung lässt sich, wie bereits gezeigt, nicht errechnen und dementsprechend auch nicht rein analytisch vermitteln. Basierend auf diesen Erkenntnissen kann davon ausgegangen werden, dass über den Einsatz von interaktiven Animationen oder in einem bestimmten Kontext integrierte, kurze Videofiles in Kombination mit den anderen medien-spezifischen Möglichkeiten sowohl das Faktenwissen als auch das Strukturwissen gefördert werden kann.

5.2 Vorhandene Rechnerunterstützung für die Ausbildung

Für den Einsatz in der Lehre werden zur Unterstützung der Entwurfsarbeiten seit längerem schon kommerzielle Programme verwendet. Längst hat sich in der Ingenieurausbildung der Einsatz von CAD-Software bewährt. Zum Teil wurden dazu neue, didaktische Konzepte entwickelt (z. B. [Anderl 98]). In der Ausbildung der Bauingenieure ist darüber hinaus die Unterstützung durch Baustatik-Software selbstverständlich geworden. Noch nicht selbstverständlich ist dagegen die Unterstützung bei Konzept- und Entwurfsphasen mit Werkzeugen, die über reine Darstellungshilfen (CAD) hinausgehen. Dennoch sind in jüngerer Zeit in diesem Bereich Entwicklungen entstanden, deren Einsatzschwerpunkte anhand exemplarisch ausgewählter Beispiele kurz vorgestellt werden.

Das Programm CASDET [Birindelli/Piccolotto 92] [Abb. 5.2-1] wurde 1992 an der ETH-Zürich entwickelt. Es ist eine auf die fachlichen Belange der Baumechanik und Statik ausgerichtete Lernsoftware. Mit dieser Anwendung können z. B. Schnittgrößenverläufe ermittelt und Parameterstudien durchgeführt werden. Es dient damit rein der Erschließung von baumechanischem Grundlagenwissen.

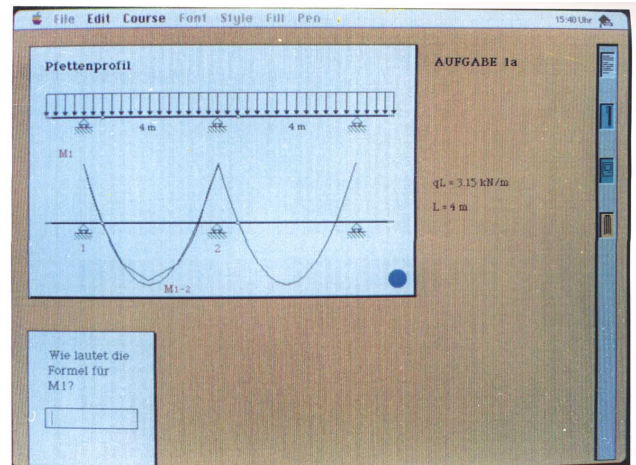


Abb. 5.2-1 Maske der Software CASDET (ETH-Zürich)

Das von Heller [Heller 98] entwickelte Programm WinDim dient der Bauteilvordimensionierung. Dabei können sehr anschaulich unterschiedliche, in die Berechnung einfließende Parameter eingestellt werden [Abb.5.2-2]. Das Programm setzt allerdings die bekannte Konstruktion voraus, d.h., es werden keine Alternativen möglicher Lösungen angeboten.

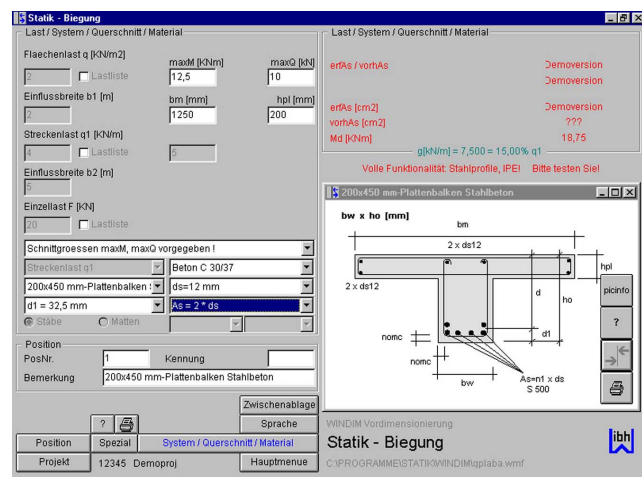


Abb. 5.2-2 Maske der Software WINDIM (Prof. Dr.-Ing. Heller)

Das von Hinz [Hinz 98] konzipierte Programm BIGSOLVE wird seitens des Autors als "Teachware" bezeichnet. Sie wird diesem Anspruch gerecht, wenn die Aspekte der Statik und Festigkeitslehre zu berücksichtigen sind. Gegenüber den meisten Nachweisprogrammen bietet das Programm Generatoren für häufig verwendete Tragsysteme (z. B. Fachwerkträger). Ermittelt werden dann Kraft- und Weggrößen. Es werden keine Bemessungen durchgeführt.

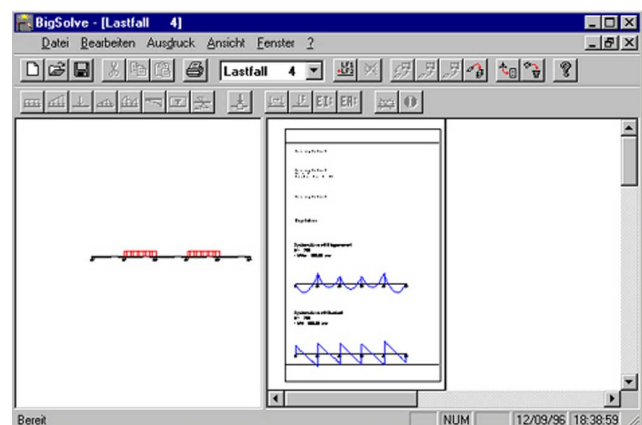


Abb. 5.2-3 Maske der Software BIGSOLVE (TU-München)

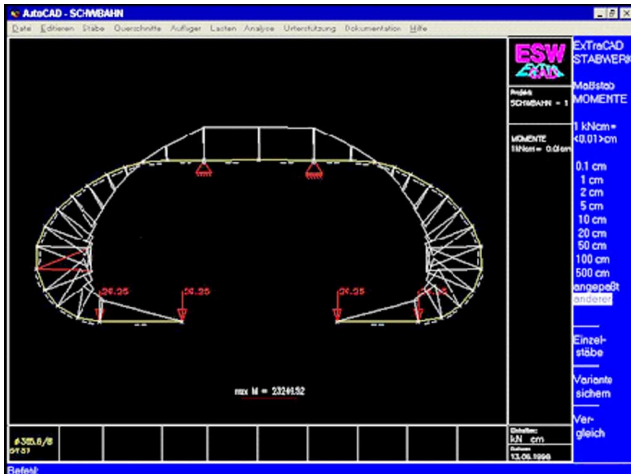


Abb. 5.2-4 ExTraCAD: Entwurfsunterstützung [Rottke 98]

Darüber hinaus gibt es jüngere Entwicklungen von entwurfsunterstützenden Konstruktionsanalyseprogrammen, die auf die Belange von Architekten zugeschnitten sind. Ein solches Programm ist die an der RWTH-Aachen entstandene Software ExTraCAD. Das Programm wird seit Mitte der 80er Jahre entwickelt und ständig erweitert. Mit diesem Programm können Studierende der Fachrichtung Architektur schon seit längerer Zeit auf der Basis von CAD-Eingaben (Auto CAD) durch Angabe von Systeminformationen (Auflager, Material etc.) tragkonstruktive Analysen vornehmen.

Das Programm ermittelt für zweidimensionale Systeme Verformungen und Schnittgrößen und enthält Animationen (z. B. zu kinematischen Ketten). Architekten haben mit solch einem Werkzeug neue Möglichkeiten erhalten, vertiefende Einblicke in tragkonstruktive Zusammenhänge ihrer Entwürfe zu gewinnen. Damit ist es insbesondere für den Einsatz in der Tragwerklehre geeignet. Als Hauptproblem für den praxisbezogenen Einsatz durch Architekten ist wohl der relativ hohe Zeitaufwand für die Eingaben zu werten. Die Analysen werden in einem Tätigkeitsbereich vollzogen, der in der beruflichen Praxis vorwiegend durch Bauingenieure abgedeckt wird. Insbesondere wenn mehrere Varianten zu untersuchen sind, ist der Einsatz unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten schwer vertretbar. Die Entwurfsunterstützung durch den Tragwerkplaner ist dann in der Regel effektiver. Der Entwicklungsbeginn des Programms geht auch auf eine Zeit zurück, in der Programme zur Systemanalyse eine rein numerische Eingabe hatten. Darüber hinaus boten die Programme i.d.R. keine Unterstützung bei der Ermittlung von Vorwerten (z. B. Flächenträgheitsmoment für nicht rechteckige Querschnitte). Dementsprechend, und das belegen auch die damals vorgenommenen Studien [Rottke 98], waren die verfügbaren Programme für die Architekturausbildung ungeeignet.

Allerdings haben die Nachweisprogramme sich gerade in diesem Bereich stark verändert (siehe Ausführungen unter Abschnitt 3.2.1). Deshalb müssen die angeführten Untersuchungen aus heutiger Sicht neu überdacht werden. Die verfügbaren grafischen Oberflächen sind in vielen Fällen so gut strukturiert, dass eine begrenzte statische Analyse (z. B. keine Th. II. Ordnung etc.) auch einem Studierenden der Fachrichtung Architektur ermöglicht wird. Voraussetzung ist, die Methodik einer statischen Analyse und die Symbole der statischen Systeme zu kennen.

Die damit vorhandenen Möglichkeiten sind vereinzelt bereits in die Ausbildungskonzepte eingeflossen. So ersetzen beispielsweise an der Architektur fakultät der BUGH Wuppertal etwa 70 % der Studierenden im Hauptstudium die zuvor erforderlichen Handrechnungen zur Dimensionierung von Tragstrukturen durch Studien mit professionellen FEM-Programmen.

Einige Lösungen wurden speziell für den Einsatz in frühen Planungsphasen ausgelegt. Der Eingabeaufwand ist in der Regel durch Systemvorgaben gegenüber allgemeinen 3-D-FEM-Programmen vermindert.

Alle Programme unterstützen das *Anpassen einer Lösung* (vgl. Kapitel 2.3.2). Dazu können mit unterschiedlich hohem Eingabeaufwand Parameterstudien durchgeführt werden. Es werden zumeist Kraft- und Weggrößen angezeigt. Eine Vordimensionierung erfolgt, wenn überhaupt, erst im zweiten Bearbeitungs- und Betrachtungsschritt. Die Arbeit, vor allem in der Konzeptphase und zum Teil auch in der Entwurfsphase, sollte sich auf die entwurfsrelevanten Aspekte konzentrieren können, ohne weitreichende Exkursionen in die Baumechanik unternehmen zu müssen. Dazu sind direkte Hinweise auf Fragen der Machbarkeit, wie sie durch direkte Dimensionierungen beantwortet werden, hilfreich. Insbesondere Studierenden der Architektur steht bei Entwurfsaufgaben kein Planungspartner zur Verfügung. Eine direkte Unterstützung ist hier erforderlich, um mehr Zeit für die kognitiv-kreativen Leistungsanteile zu gewinnen.

Allen Unterstützungen ist gemeinsam, dass sie nicht das *Finden einer Lösung* (vgl. Kapitel 2.3.2) unterstützen. Eine Entwurfslösung bzw. Teillösung muss zunächst gefunden sein und kann dann, wenn auch mit vereinfachten Eingaben, geprüft werden. Die Werkzeuge können keine Alternativen, weder in Bezug auf das Material noch in Bezug auf Systemvarianten, anbieten. Das Wesen der Konzeptentwicklung ist jedoch die Arbeit mit Varianten. Das Ermitteln einer Lösung mit vereinfachtem Eingabeaufwand heißt im allgemeinen auch, dass bestimmte Phänomene (z. B. seitliches Ausweichen aus der betrachteten Ebene) unberücksichtigt bleiben. Insbesondere für Studierende wäre es wichtig, Hintergrundinformationen über z. B. Vor- oder Nachteile oder zu erwartende Auswirkungen der nicht berücksichtigten Phänomene anschaulich und umfangreich abfragen zu können.

6 Modularer Wissens- und Informationstransfer: Idee, Konzept und Mehrwert

6.1 Erkenntnisse für die computergestützte Tragwerksplanung

“Erfolgreiches, computergestütztes Entwerfen erfordert Wachsamkeit und dieselbe visuelle Kenntnis und ein intuitives Gefühl für Stimmigkeit, auf das Entwerfer sich immer verlassen haben, wenn sie wichtige Entscheidungen in Bezug auf ihren Entwurf trafen [Ferguson 93]“.

Im 2. Kapitel wurden zwei wesentliche Arten der Konstruktionsmethodik unterschieden. Zum einen wurde anhand organisierender Konstruktionsablaufpläne die Strukturierung eines Planungsablaufs vorgestellt. Gleichzeitig konnte aber auch gezeigt werden, dass die Planungsabläufe allein mit Hilfe organisierender Konstruktionsablaufpläne nicht realistisch beschrieben werden können. Es müssen zusätzlich die Einflüsse der menschlichen, iterativ strukturierten Denkprozesse Berücksichtigung finden.

Die Betrachtungen zur vorhandenen Rechnerunterstützung, die sich an den organisatorischen Ablaufplan nach HOAI §15 und §64 [HOAI 96] anlehnten, zeigten eine Diskrepanz zwischen den aktuellen Möglichkeiten des rechnerunterstützten Entwerfens und der tatsächlichen gegenwärtigen Umsetzung. Dadurch wird eine zielgerichtete Werkzeugentwicklung ermöglicht, die Unterstützung in eben genau den Phasen des Planungsprozesses bietet, für die der Bedarf erkannt wurde.

Im Rahmen der Ausbildung weicht ein Planungsablauf an den Stellen, wo er gefordert wird, sehr viel stärker von den Zielvorgaben eines organisierenden Ablaufplanes ab, als dies bei erfahrenen Berufspraktikern der Fall ist. Das *Finden einer Lösung* kann bei Studierenden noch nicht in der Form vorausgesetzt werden, wie dies später getan wird. Dementsprechend verschiebt sich die im Studium eingesetzte Zeit im Architekturstudium stark zugunsten von Leistungen der Konzept- und Entwurfsphase. Im Bauingenieurstudium findet solch eine Verschiebung zugunsten von Leistungsanteilen der Genehmigungs- und Ausführungsphase statt.

Im Rahmen der Ausführungen zur vorhandenen Rechnerunterstützung in der Ausbildung konnte gezeigt werden, dass insbesondere die Belange im Architekturstudium unzureichende Unterstützung finden. Neuere Ansätze unterstützen hier lediglich das *Anpassen einer Lösung*. Das *Finden einer Lösung* ist Voraussetzung für die

Nutzung der vorhandenen Werkzeuge. Basierend auf den im 2. Kapitel angeführten Aussagen soll eine Methode zur Entwurfsunterstützung vorgestellt werden, die sowohl das *Finden einer Lösung*, als auch das *Anpassen einer gefundenen Lösung* unterstützt. Die Entwurfslösung als Ganzes wird dabei als die Summe ihrer Teillösungen im Rahmen einer ganzheitlichen Entwurfsidee aufgefasst.

Die vorzustellende Methode soll ein effizientes und zielgerichtetes Problemlösen ermöglichen. Auf den Planungsprozess wirken, wie bereits festgestellt wurde, viele und schwer begrenzbar äußere und innere Einflüsse ein. Deshalb erscheint, und das belegen auch die angeführten vorhandenen Werkzeuge, die Suche nach einer allgemeingültigen umfassenden Planungsmethode als fragwürdig. Es erscheint sinnvoller, spezielle, den Bedürfnissen des kreativen Menschen angepasste Bausteine für das technisch-schöpferische Arbeiten zu verwenden. Sowohl für das Finden als auch für das Anpassen dieser Teillösungen können Bausteine entwickelt werden. Abb. 6.1-1 zeigt eine Lösungsentwicklung auf der Basis des TOTE-Modells (vgl. Kapitel 2.3.2) [Rutz 85]. Dieses beschreibt das dem Planen zugrundeliegende Versuch – Irrtum – Verhalten. Jedes Problem wird in Teilprobleme (z. B. Bauelemente) zerlegt, für das in der Regel eine Lösung vorhanden ist und gefunden werden muss. Grundsätzlich neue Lösungen werden äußerst selten entwickelt. Diese gefundene Lösung muss dann in der Regel noch auf die individuelle Situation angepasst werden. Beide Phasen dieses Vorgehens können durch jeweils geeignete Werkzeuge unterstützt werden.

Das *Finden* einer als geeignet erkannten Lösung ist u.U. auch von den verfügbaren Informationen zu z. B. Einsatzgrenzen, Grundlageninformationen o. Ä. abhängig. Dementsprechend eignet sich hierzu eine "Wissenstransfersoftware". Die Aufgabe der Software ist nicht zu verwechseln mit den sogenannten "wissensbasierten Systemen". Dabei geht es nicht um die in der KI-Forschung (siehe z. B. Smith 90, Kohler 90) seit etwa 20 Jahren angestrebte "durchgängige" Planungsunterstützung durch den Computer. Die Gründe dafür, dass solche Lösungen bis heute nicht in Reichweite gerückt sind, liegen zu einem gewichtigen Teil im eingangs beschriebenen individuellen Planungsverhalten.

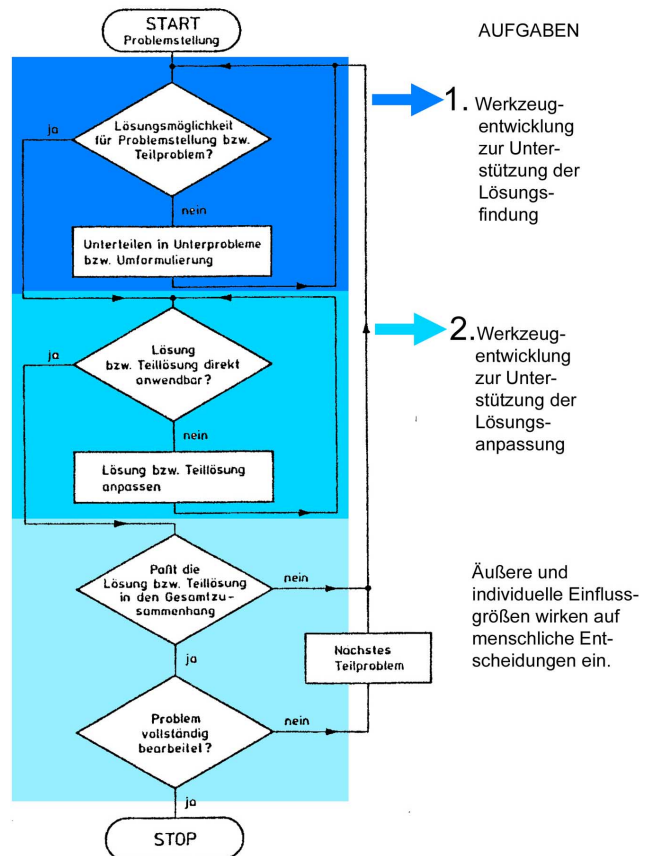


Abb. 6.1-1 Inhaltliche Aufgaben einer rechnerbasierten Entwurfsunterstützung

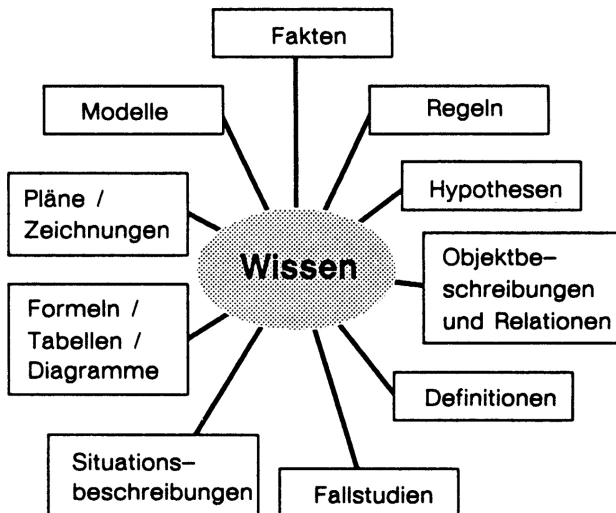


Abb. 6.1-2 Wissensausprägungen [Hartmann 90]

Den Rahmen einer "Wissenstransfersoftware" exakt zu definieren, ist nicht möglich, da Wissen anthropomorph ist [Hartmann 90]. Um sich dem Begriff wenigstens nähern zu können, führt Hartmann diverse Repräsentationsformen von Wissen an [Abb. 6.1-2]. Die Auflistung verdeutlicht, dass Wissen weit mehr umfasst als Fakten. Gleichzeitig lässt es die Unvollständigkeit der Darstellung und die Komplexität der Thematik erahnen. Eine Wissenstransfersoftware muss sich dementsprechend gezielt auf Teilbereiche der Thematik konzentrieren. Sie kann sich bezüglich ihrer Inhalte in frühen Entwicklungsphasen an den Lehrkonzepten der Hochschulausbildungen orientieren.

Eine zweite zu entwickelnde Software, die das Entwerfen von Tragkonstruktionen durch *Anpassung* gefundener Lösungen unterstützen soll, bewegt sich in Grenzbereichen zwischen regelbasierter Umsetzung des anerkannten Standes der Technik und intuitiven Erwägungen, die das Wesen von Vordimensionierungen bestimmen. Dennoch können in diesem Bereich große Anteile der Leistungen rechnerunterstützt werden. Lässt sich eine Anpassung numerisch beschreiben (andere Stützweite etc.), wird sofort klar, dass diese computergestützt durchgeführt werden kann. Dementsprechend soll auch für diesen Bereich ein geeignetes Werkzeug eingesetzt werden können. Das Entwerfen soll nicht indirekt über die Analysemöglichkeit von Kraft- oder Weggrößen, sondern direkt über ein Angebot ähnlicher Konstruktionsvarianten oder unterschiedlicher Materialgüten mit entsprechenden Bauteilabmessungen unterstützt werden. Nur so können bei der Erwägung von Varianten des Tragwerkentwurfes, insbesondere wenn eine große Zahl möglicher Varianten entwickelt wurde, gesicherte Erkenntnisse zu o.g. Fragestellungen gewonnen werden, ohne die Effizienz des Entwurfsprozesses zu gefährden.

Die Werkzeuge müssen in einen ebenfalls vorzustellenden organisatorischen Rahmen eingebunden werden. Die Entwurfslösung als die Summe ihrer Teillösungen aufzufassen bedeutet, dass der zuvor beschriebene Problemlösezyklus im Allgemeinen mehrfach angewandt werden muss. Dies geschieht in mehreren Ebenen des Planungsprozesses. D.h., im Rahmen eines Teillöseprozesses können weitere untergeordnete Probleme zu lösen sein. Durch den Einsatz moderner Medientechnologien, die das problemorientierte Wechseln von Ebenen durch Hyperlinks in der beschriebenen Form ermöglichen, wird dieses Ziel erreicht. Das verfügbare Wissen kann für einen effektiven Einsatz besser strukturiert werden. Hinzu kommen die didaktischen Vorteile eines Mediums der Medienintegration.

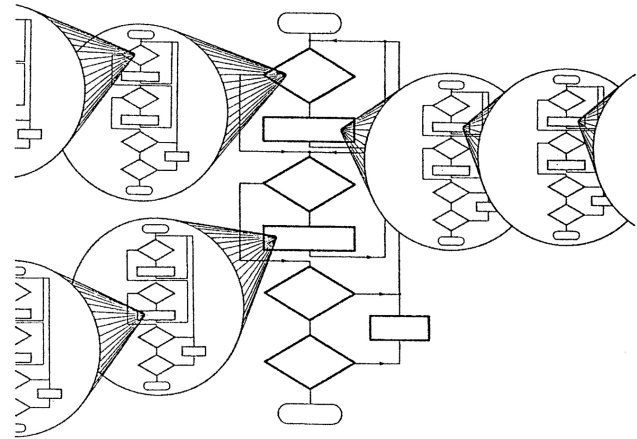


Abb. 6.1-3 Ineinanderschachtelung der Problemlösezyklen [Rutz 85]

Aufgrund der Komplexität und der immer erforderlichen kognitiven und kreativen Fähigkeiten beim Entwerfen im Allgemeinen und dementsprechend auch beim Entwerfen von Tragkonstruktionen, kann sich eine angestrebte Computerunterstützung immer nur auf einzelne Aspekte des Prozesses beziehen. Es darf und es muss dementsprechend ein Weg eingeschlagen werden, der eine für den von ihm definierten Einsatzbereich schlüssige Art der Unterstützung beschreibt. Gleichzeitig kann und will, aufgrund der im wesentlichen intuitiven Vorgehensweise beim Entwerfen, nicht der Anspruch erhoben werden, den einzig möglichen Weg zu wählen.

6.2 Planungsunterstützung mit Hilfe zweier Softwareentwicklungen

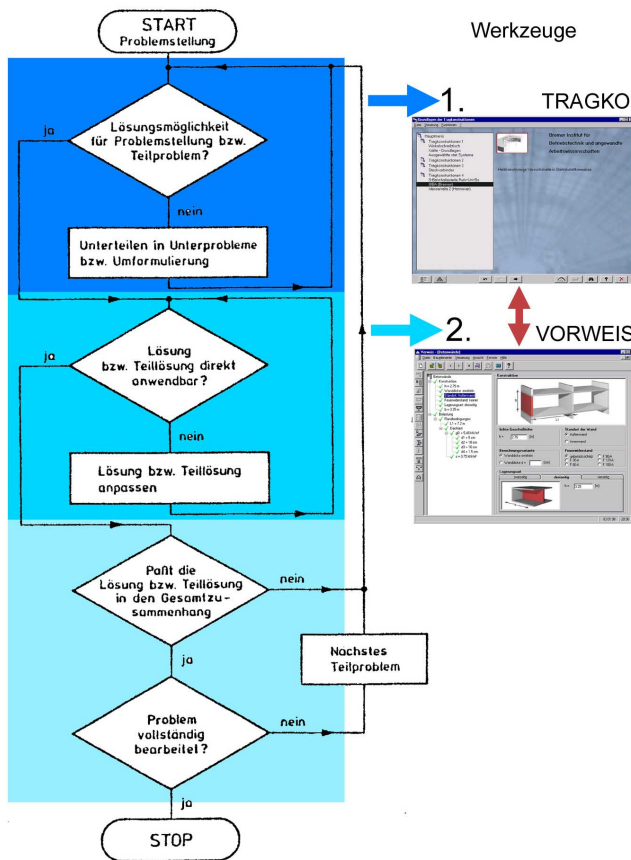


Abb. 6.2-1 Beziehung zwischen VORWEIS und TRAGKO

Die angestrebten Ziele können, wie unter 6.1. erläutert, mit Hilfe zweier Softwareanwendungen erreicht werden. Selbstverständlich wäre auch die Entwicklung einer Software möglich, die allen benannten Anforderungen entspricht. Da die Bedürfnisse der Anwender aber stark differieren (die Programme werden für unterschiedliche Problemstellungen mit unterschiedlichen Einsatzschwerpunkten entwickelt), erscheint dieser Weg geeigneter. Dieser Aspekt wird später genauer erläutert werden. Um den unterschiedlichen Belangen jeweils möglichst optimiert Rechnung tragen zu können, werden die Programme auf der Basis unterschiedlicher Entwicklungsumgebungen konzipiert.

Im Sinne des beschriebenen modularen Wissenstransfers werden die Anwendungen TRAGKO und VORWEIS entwickelt. Beide Programme sind eigenständige Anwendungen, die sich gegenseitig ergänzen. Mit dem Programm TRAGKO kann unter anderem Wissen vermittelt werden, dass für den sinnvollen Einsatz der Bauteildimensionierungssoftware VORWEIS hilfreich ist. Abb. 6.2-1 beschreibt, welche Rolle den Anwendungen bei der Erfüllung der Teilaspekte der Entwurfsunterstützung zukommt.

Mit TRAGKO, das vorrangig die Lösungsfindung unterstützt, wird eine multimediale Lernsoftware entwickelt. Das Programm dient in seinem jetzigen Entwicklungsstadium vorrangig der autodidaktischen Wissenserschließung der Grundlagen der Tragkonstruktionen. Es unterstützt Objekt- und Tragwerkplaner somit in erster Linie in der Vor- und Entwurfsplanung. Dazu werden Bausteine (Makros) entwickelt. Diese beinhalten Informationsaspekte einzelner Themengebiete. Es kann, in Bezug auf die Zielgruppen, davon ausgegangen werden, dass je mehr Wissen und Erfahrung Anwender haben, desto mehr "Makros" ihnen bereits gedanklich zur Verfügung stehen. Dementsprechend müssen auch für diese Nutzergruppe sehr konkrete und isolierte Einzelaspekte greifbar sein.

Das Programm VORWEIS dient der Bauteilvordimensionierung. Es wurden und werden Programmmodule für unterschiedliche, häufig im Hochbau verwendete Bauelemente entwickelt. Ziel dieses Entwicklungszweiges ist eine Software, die das Entwerfen der Tragelemente in der Weise unterstützt, dass bei einem Minimum an Eingabeaufwand in möglichst vielen Anwendungsfällen brauchbare zu erwartende Ergebnisse erzielt werden.

An die Software wird somit die Forderung gestellt, Statische Systeme für häufig auftretende Fälle vorzugeben. Außerdem sollen ohne zusätzliche Eingabeaufforderungen an den Nutzer ggf. unterschiedliche zu erwartende Lastfälle bzw. Lastkombinationen berücksichtigt werden.

Auch in Bezug auf die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit müssen Forderungen gestellt werden. Dabei steht nicht im Vordergrund, die maximalen Verformungen des Bauteils zu quantifizieren. Vielmehr sollen – im Sinne einer direkten Entwurfshilfe - die Bauteilabmessungen ermittelt werden, die auch die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit erfüllen. Ein weiterer Einfluss auf Bauteilabmessungen geht u.U. von den Brandschutzanforderungen an ein Bauteil aus. Für Bauelemente, für die dies zu erwarten ist, soll die VORWEIS-Software im Sinne der Ermittlung der real zu erwartenden Bauteilabmessungen auch eine Vorgabe der Brandschutzanforderungen seitens des Nutzers berücksichtigen.

Im Gegensatz zu den üblichen Möglichkeiten der Nachweisprogramme sollen in der VORWEIS-Software insbesondere keine Aussagen über innere Zustände des jeweiligen Tragsystems getroffen werden. Diese unterstützen den Entwurf nicht in der durch diese Anwendung angestrebten direkten Weise.

Die erforderlichen Eingaben sollen so weit reduziert werden, wie dies im Rahmen einer sinnvollen Vordimensionierung vertretbar ist. Das Programm wird so konzipiert, dass es neben Bauingenieuren auch von Architekten verwendet werden kann. Viele Randbedingungen werden dementsprechend entweder intern durch die Software festgelegt oder als Standardwerte angeboten, die Nutzer ohne eigene Angaben verwenden können. Dabei werden zunächst Bauteile der Materialien Stahl, Holz, Mauerwerk, Beton, Stahlbeton und Glas berücksichtigt.

6.3 Methodik der Entwicklung

Die Entwicklung eines Systems der modularen, rechnergestützten Entwurfsunterstützung ist inhaltlich sehr umfangreich. Es ist sogar davon auszugehen, dass es gar nicht begrenztbar ist, also nie einen inhaltlichen Abschluss findet. Dies ergibt sich aus der Erkenntnis, ein Wissensgebiet zu behandeln, welches sich selbst in stetigem Fluss befindet. Dementsprechend ist es wichtig, eine Entwicklungsmethodik aufzuzeigen, mit der es zunächst möglich ist, zu Beginn der Entwicklungsarbeit die wenigen verfügbaren Inhalte den Nutzern bereitzustellen. Zum anderen müssen neue Inhalte im Rahmen einer offenen Struktur ständige Erweiterungen und Anpassungen ermöglichen. Als wesentliche Voraussetzungen für ein langfristig erfolgreiches modulares Softwarekonzept zur Informationserschließung müssen die nachfolgend genannten Aspekte Berücksichtigung finden:

- gute Programmstruktur
(durch zentrale Regelung der Kommunikationselemente = Layout und Steuerungskonzept)
- offene Programmstruktur: Kooperationsmodell
- kontinuierliche Bearbeitung: Hybrid Solution

6.3.1 Kooperationsmodell

Um möglichst viele Wissensbeiträge auf einem sowohl inhaltlich als auch didaktisch hohen Niveau erstellen zu können, sind Kooperationen sinnvoll und erforderlich. Diese ergeben sich zudem auf Hochschulebene aus dem Bestreben heraus, hochschulübergreifende strukturelle Ausbildungsanpassungen ermöglichen zu wollen. Teil dieser Arbeit ist es demzufolge auch, ein Kooperationsmodell vorzustellen, das während der Bearbeitung bereits Verwendung fand. Dabei können große Synergieeffekte genutzt werden, ohne die Wahrung von individuellen Lehrkonzepten zu beeinträchtigen. Die Kooperationspartner können sich von schon vorhandenen Inhalten inspirieren lassen und eigene Akzente einfließen lassen. Der synergetische Vorteil des in Abb. 6.3.1-1 dargestellten Vorgehens ist in "Moderne Methoden der Kreativität" [Devret 72] wie folgt beschrieben: „Es bedarf sicherlich keiner scharfsinnigen und komplizierten Experimente, um die folgende Behauptung zu bewei-

sen: Das Wissens- und Ideenreservoir einer Gruppe ist größer als das eines einzelnen Individuums. Darüber hinaus hat die Gruppenbildung aber noch einen supra-additiven Effekt. Die neuen Kombinationen und Assoziationen sind zahlreicher, als sich nach der einfachen Addition dieser Ideen errechnen lässt.“

Das Diagramm [Abb. 6.3.1-1] beschreibt den Ablauf einer kooperativen Entwicklung, wie sie bereits mit der Fachhochschule Bochum, Fachbereich Bauingenieurwesen zum Programm TRAGKO durchgeführt wird [Becker 00].

Zu diesem Zweck wurde die Softwarebasis mit festgelegten Konventionen zu Layout, Steuerungs- und Kommunikationsmerkmalen übergeben. Der Kooperationspartner erstellt entsprechend seiner eigenen Bedürfnisse ein Inhaltsverzeichnis. Dieses wird dann mit den bereits vorhandenen Inhalten verglichen. Die fehlenden Beiträge – oder Teile daraus – erstellt der Kooperationspartner unter Berücksichtigung der genannten Konventionen. Auf diese Weise ist für die Baukonstruktionslehre am Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Bochum bereits eine CD-Rom unter dem Titel “Grundlagen, Begriffe und Systematik der Tragwerkplanung“ [Becker00] erschienen. Diese beinhaltet auch speziell für die Ausbildung der Bauingenieure entwickelte Inhalte. Durch solche Beiträge werden Bausteine (Module) als Teile eines Ganzen geschaffen. Durch die Verknüpfung solcher Expertenbeiträge, kann die Software eine inhaltliche Qualität erlangen, die durch Einzelpersonen nicht erreichbar wäre. Der Autor erstellt auch das von ihm gewünschte Inhaltsverzeichnis. Alle weiteren, in der individuellen Zusammenstellung nicht vorgesehenen Inhalte, sollen aus entsprechenden Inhalten heraus als vertiefende Verweise zur Verfügung gestellt werden. Mit einer so angepassten Software haben Nutzer die Möglichkeit, sich über die vorgeschlagenen Themen hinaus interessens- und problemorientiert zu vertiefen.

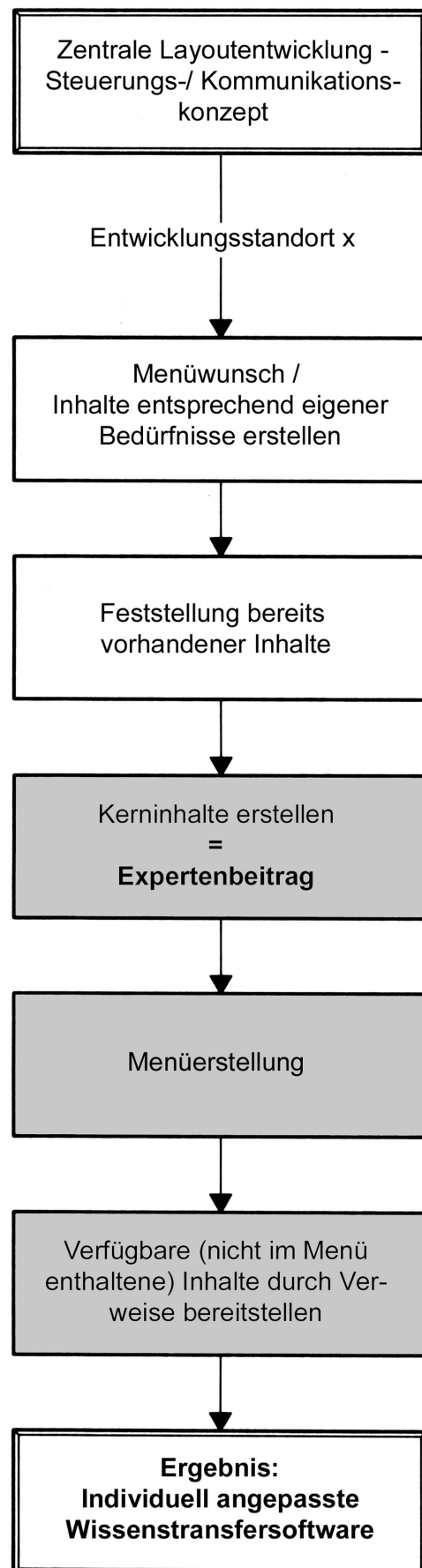


Abb. 6.3.1-1 Kooperationsmodell

6.3.2 Aktualisierung von Inhalten Hybrid Solution

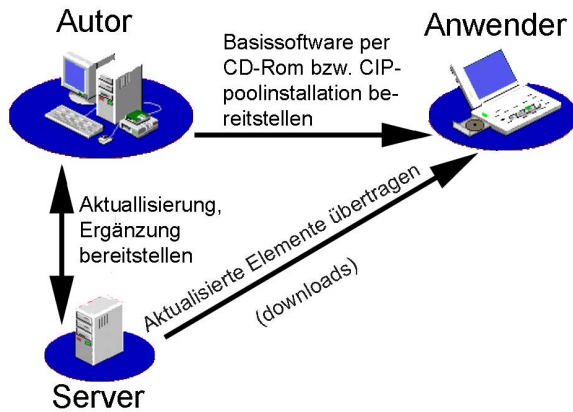


Abb. 6.3.2-1 Softwareaktualisierung

Aufgrund der – insbesondere bei der Anwendung TRAGKO – großen Datenmengen bleibt mittelfristig eine Verbreitung über CD-Rom erforderlich. Die Anwendung soll stetig weiterentwickelt werden. Ist ein neues Modul verfügbar bzw. wurden Inhalte eines Moduls aktualisiert, können diese auf einem zentralen Server (z. B. der Hochschule) abgelegt werden. Zusammen mit den aktualisierten Informationen zur Navigation (Links) können Nutzer sich diese Informationen einspielen (download). Somit können aktuelle Informationen in sehr kurzen Intervallen verfügbar gemacht werden.

6.4 Methodik der Recherche

Die vernetzte Struktur der Wissensvermittlungssoftware soll mehrere Einstiegsinhaltsverzeichnisse erhalten. Den Nutzern der Wissensvermittlungssoftware soll eine Vielzahl von Zugriffskriterien (in Form von Inhaltsverzeichnissen) zur Verfügung stehen, die ihren Bedürfnissen entsprechend angelegt werden. Abb. 6.4-1 zeigt ein erstelltes Inhaltsverzeichnis, welches strukturell den Lehrinhalten im Fach Bau- und Tragkonstruktionen an der Fachhochschule Düsseldorf angelehnt ist [Wörzberger 00]. Dieses kann als exemplarisch für andere Inhaltsverzeichnisse angesehen werden.

Es handelt sich bei der beschriebenen Struktur um eine n-dimensionale Inhaltsstruktur. Dabei ist n die Anzahl der Zugriffsmöglichkeiten auf verfügbare Module. Ein Modul, als anwählbare Einheit, ist in der vernetzten Struktur wesentlich kleiner als z. B. der übliche Inhalt eines linear strukturierten Buches. Der Inhalt kann beispielsweise dem einer einzelnen Vorlesung entsprechen.

Von den Modulen entkoppelt wird ein Inhaltsverzeichnis erstellt und gepflegt [Abb. 6.4-2].

Die einzelnen Module mit Wissensinhalten sind in den nebenstehenden Grafiken symbolisch, z. B. in der chronologischen Reihenfolge ihrer Erstellung, dargestellt. Das Inhaltsverzeichnis (in den Grafiken als Achse dargestellt) ist zunächst von den Modulen entkoppelt. Somit ist es möglich, Inhalte in beliebiger Reihenfolge und zu beliebigen Zeiten zu erstellen und bei Bedarf über das Inhaltsverzeichnis verfügbar zu machen. Dabei werden nicht alle Module verwendet, sondern nur die, die sich inhaltlich mit den eigenen Lehrinhalten eines kooperierenden Autors decken [Abb. 6.4-3]. Das in der Grafik hervorgehobene Modul enthält also beispielsweise einen Inhalt, der von der Nutzergruppe, für die das Inhaltsverzeichnis erstellt wurde, im vierten Fachsemester behandelt werden soll.

Für die Nutzung dieser einmal erstellten Module kann jetzt durch eine andere Nutzergruppe ein anderes Inhaltsverzeichnis verwendet werden. Diese müssen nicht zwingend Studierende sein. So könnten z. B. Entwerfer bei der Aufgabe, ein Tragwerk zu entwickeln, das eine bestimmte Stützweite zu überbrücken hat, Module nutzen, die sie über das Eingangskriterium „Stützweite“ finden könnten [Abb. 6.4-4]. Die gefundenen Module enthalten dann Informationen über je ein Tragwerk, das der gewünschten Anforderung

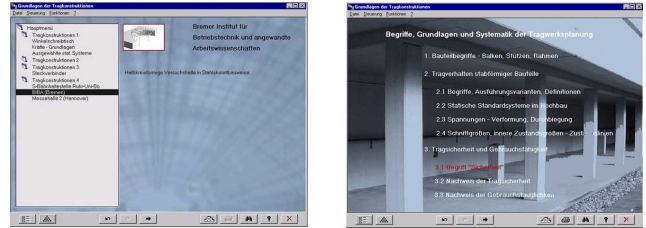


Abb. 6.4-1 Inhaltsverzeichnisse

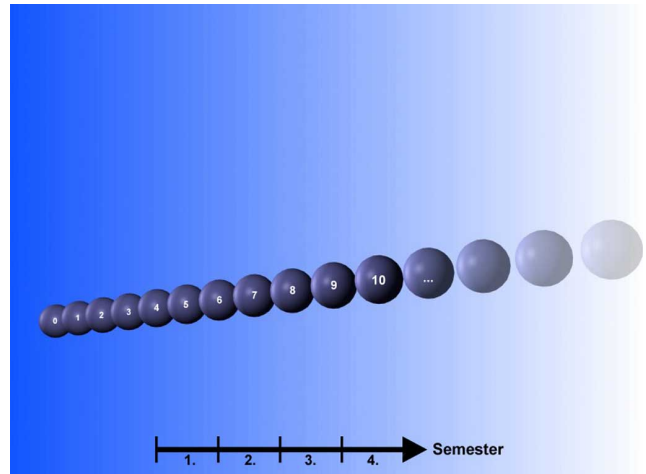


Abb. 6.4-2 Module – entkoppeltes Inhaltsverzeichnis

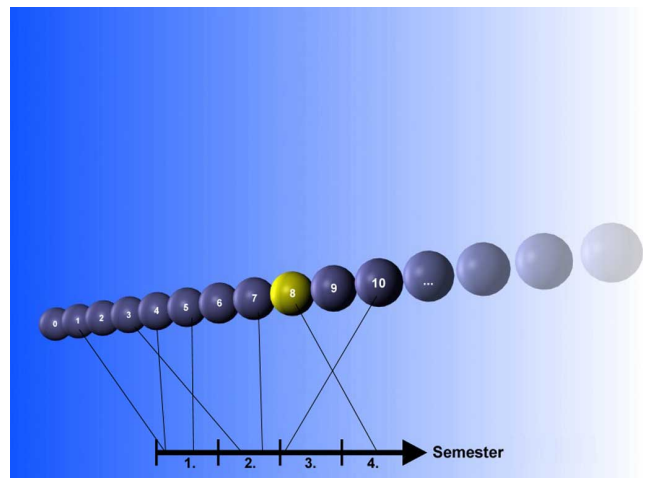


Abb. 6.4-3 Verknüpfung Module – Inhaltsverzeichnis

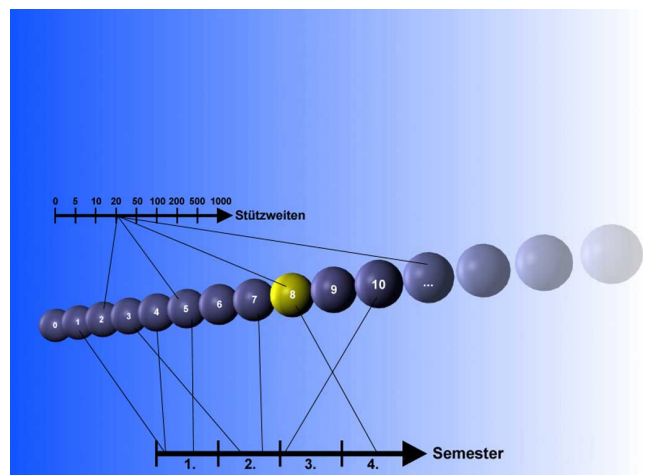


Abb. 6.4-4 Verknüpfung Module – Verzeichnisse

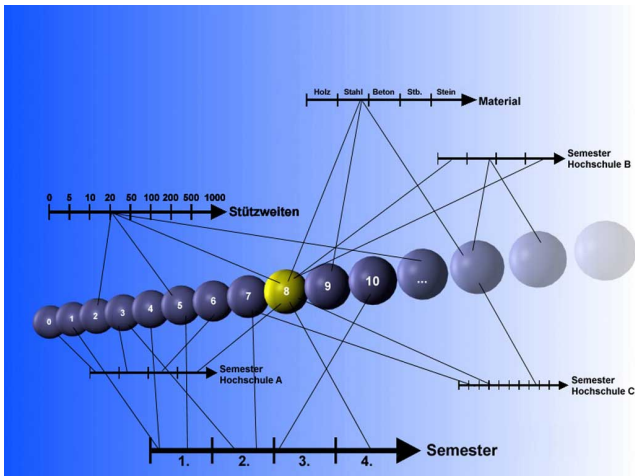


Abb. 6.4-5 Verknüpf. Module – Inhaltsverzeichnisse

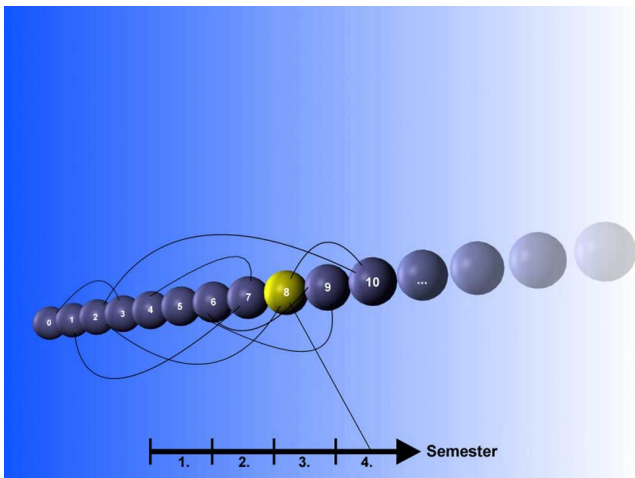


Abb. 6.4-6 Vertiefung über Hyperlinks

genügt. Das gelb markierte Modul enthält also Informationen über eine ca. 20 m weit spannende Tragkonstruktion.

Ein weiteres, unabhängiges Eingangskriterium könnte das Material sein, über dessen Einsatzgebiete sich Anwender informieren möchten. Auch hier kann unter anderem das einmal erstellte, hier hervorgehobene Modul Informationen bezüglich der vorhandenen Fragestellung enthalten. In der Form können somit beliebig viele Eingangskriterien verwendet werden [Abb.6.4-5].

Bezugnehmend auf die im Kapitel 2.3.2 getroffenen Feststellungen zum Prozess der Lösungsfindung kann die folgende These formuliert werden:

In der Regel wird es nicht ausreichen, die Operationsphase (= Lösung suchen und Lösung finden bzw. Lernen) des TOTE – Modells in der betrachteten Ebene zu wiederholen. Deshalb müssen im Sinne der Rekursionen vertiefende bzw. weiterführende Informationen abgerufen werden können. Tritt auf einer "tieferen" Ebene ein Erfolg ein, ist auch der Erfolg auf der "höheren" Ebene wahrscheinlicher.

Das über das benutzte Inhaltsverzeichnis gefundene Modul enthält zur Umsetzung der formulierten These seinerseits Links, die die Nutzer bei Bedarf in andere Module führen. Diese enthalten z. B. Aussagen zu vertiefenden Grundlagenthemen, zu gebauten Beispielen oder zu Produktinformationen [Abb. 6.4-6].

Das vorhandene Wissen und die vorhandene Erfahrung sind bei jedem Entwerfer unterschiedlich. Dies gilt für Studierende und, wenn auch auf einer anderen Ebene, für praktisch Tätige gleichermaßen. Wer einen größeren "background" besitzt, kann dementsprechend auf mehr bekannte Teillösungen oder "Makros" innerhalb seines Erfahrungsschatzes zugreifen. Er kann in bestimmten Bereichen zunächst wesentlich zielstrebig und abstrakter arbeiten. Die Navigation muss auf die Einflussgröße "background" eingehen können.

Damit wird ein problem-, interessens- bzw. fähigkeitsorientiertes Arbeiten ermöglicht.

7 Softwarekonzeption

7.1 Werkzeugeinsatz

7.1.1 Rahmenbedingungen zur Konzeption

Der Einsatz von Software verursacht heute wesentlich größere Kosten als der Einsatz der entsprechend notwendigen Hardware. 1994 veröffentlichte Pagel eine Studie, in der er eine Gegenüberstellung von Software- und Hardwarekosten vornahm [Pagel 94]. Gemäß dieser Studie stieg das Verhältnis der Kostenanteile im betrachteten Zeitraum von 1955 bis 1985 stetig und kehrte sich von ca. 15 % (Software) zu 85 % (Hardware) bis auf 85 % (Software) zu 15 % (Hardware) um. Diese Tendenz hielt auch in den nachfolgenden Jahren an.

Die Kosten für eine Software ergeben sich nur zu ca. $\frac{1}{3}$ aus den reinen Entwicklungskosten. Der wesentlich größere Kostenanteil entfällt mit ca. $\frac{2}{3}$ auf den Bereich Wartungsaufwand und Verbesserung.

Bei der traditionellen Softwareentwicklung sinken die Kosten einer Neuentwicklung nach dem Erreichen eines Höchstwertes zunächst wieder ab [Niesen 96-1 und 96-2] [Abb. 7.1.1-1]. In der Wartungsphase steigt der Kostenaufwand bei den sich praktisch immer ergebenden Änderungen jedoch stetig an. Aus diesem Grunde muss ein vorrangiges Ziel der Softwarekonzeption sein, die Kostenentwicklung der Postentwicklungsphase zu senken.

Es werden dazu entsprechende Konzepte erarbeitet und umgesetzt. Einzelne Module müssen erweiterbar oder austauschbar sein, ohne die Lauffähigkeit anderer Module zu beeinträchtigen. Dementsprechend wird eine objektorientierte Modellierung umgesetzt. Von dieser wird eine deutliche Aufwandsreduzierung und somit eine deutliche Kostenreduzierung erwartet.

Bei der objektorientierten Programmierung muss davon ausgegangen werden, dass der Aufwand zur Entwicklung zunächst höher ist, als dieser bei der traditionellen Entwicklungsform gewesen wäre [Abb. 7.1.1-2]. Die Grundkonzeption der einzelnen Module erfolgt bei TRAGKO und VORWEIS voneinander unabhängig und ist dementsprechend immer wieder neu zu beschreiben. Wie das Diagramm im rechten Bereich des Abschnittes "Entwicklung" zeigt, darf von der Implementierung angenommen werden,

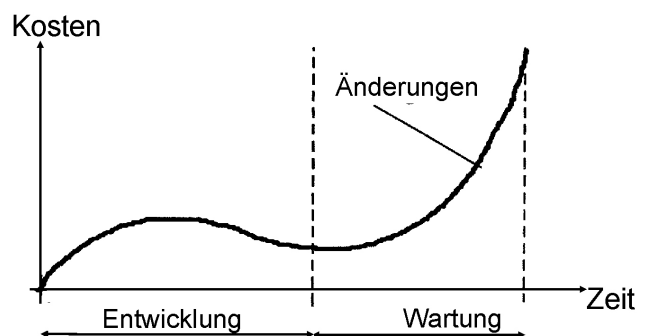


Abb. 7.1.1-1 Kostenentwicklung bei traditioneller Softwarekonzeption [Niesen 96-1 und 96-2]

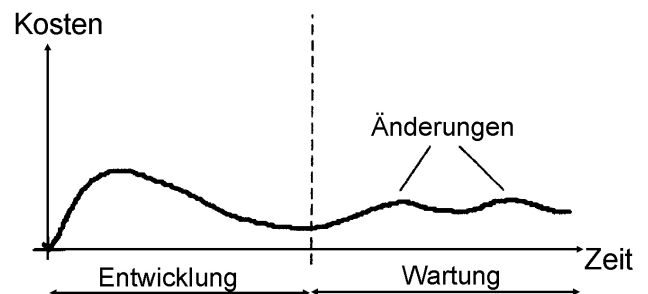


Abb. 7.1.1-2 Angestrebte Kostenentwicklung bei objektorientierter Modellierung [Niesen 96-1 und 96-2]

dass diese nun weniger aufwendig ist. Erforderliche Änderungen lassen, wie im Abschnitt „Wartung“ gezeigt, einen deutlich verringerten Aufwand erwarten.

Bei der Softwarekonzeption ist als ein weiteres wesentliches Merkmal für eine dauerhaft erfolgreiche Entwicklung zu berücksichtigen, dass technologische Veränderungen, insbesondere auf der Ebene der Betriebssysteme, auf die Möglichkeiten der Weiterverwendung und der Wiederverwertung von Programmteilen der Anwendungen großen Einfluss nehmen. Die jüngere Vergangenheit führte z. B. bei Verwendung der stark verbreiteten PC-Betriebssysteme von Microsoft zu sehr aufwendigen Umstrukturierungen bei den Softwareentwicklungen. Sowohl der Umstieg von MS-DOS auf MS-Windows 1.x - 3.x als auch der nächste Umstieg auf MS-Windows 9.x und Windows NT machten bei vielen Anbietern mehr oder weniger komplette Neuentwicklungen erforderlich.

Dementsprechend werden insbesondere die Module des VORWEIS-Programms – da diese einen umfangreichen Berechnungsteil enthalten – unter der Prämisse strukturiert, den numerischen Teil eines Moduls bei einer erforderlichen Anpassung nur möglichst geringfügigen Veränderungen unterziehen zu müssen.

Die Nutzeroberflächen sollen den sich in der Regel erweiterten Möglichkeiten anpassen können. Deshalb werden die „Berechnungskerne“ von der Programmierung der Dialogfelder getrennt behandelt, wodurch eine wichtige Voraussetzung zur Nachhaltigkeit der Programme geschaffen wird.

7.1.2 Entwicklungsumgebungen

Für die Softwareentwicklung stehen heute eine Reihe von professionellen Werkzeugen zur Verfügung. Diese Werkzeuge sind unabhängig von der Fachdisziplin, für die eine Software entwickelt werden soll. Wie im Kapitel 6.1 beschrieben, sind die Anforderungen an die beiden entwickelten Programme von unterschiedlichen Bedürfnissen geprägt. So kann es einerseits vorkommen, dass Nutzer Grundlagenwissen erlangen möchten, ohne eigene Problemstellungen durch Dimensionierungen anpassen zu müssen. Andererseits ist eine sehr häufige Form der Nutzung der ausschließliche Wunsch, die Machbarkeit einer gedanklich erarbeiteten Lösung durch eine Dimensionierung zu überprüfen. Diese Trennung der Bedürfnisse gibt einen

ersten Hinweis auf eine sinnvolle Trennung der Anwendungen. Ein entscheidender Grund ist jedoch die didaktische Notwendigkeit, sowohl die Gestaltung der Dialogfelder als auch die Navigation den unterschiedlichen Betrachtungsweisen anzupassen. So stehen bei der Entwicklung der TRAGKO-Software die informierenden Inhalte im Vordergrund. Ein Großteil der Maske soll deshalb der Text- und Bildinformation zur Verfügung stehen. Die Navigation erfolgt zum größten Teil in Form von Sprüngen zu anderen Seiten. Die Navigation innerhalb einer Seite muss den individuellen Anforderungen an deren Inhalte angepasst werden. Sie wird darum auch individuell gelöst (siehe Kapitel 7.2.2).

Anders verhält es sich bei der VORWEIS-Software. Diese Anwendung ist geprägt von einer in jedem Modul wiederkehrenden Struktur. Der Schwerpunkt der Tätigkeit seitens der Anwender liegt bei allen Modulen in der Vorgabe von Konstruktions- und Belastungsangaben. Sie sollen zwischen verschiedenen Angaben navigieren können und gleichzeitig über einen immer aktuellen, kompletten Bericht des Bearbeitungszustandes verfügen. Dazu wird ein Konzept entwickelt, bei dem $\frac{1}{3}$ der zur Verfügung stehenden Oberfläche für den verwendeten Navigationsbaum aufgewendet wird. Für Informationsgrafiken wird also weniger Raum zur Verfügung gestellt als in der TRAGKO-Software. Textinformationen wurden minimiert.

Um für diese unterschiedlichen Bedürfnisse jeweils optimierte Lösungen entwickeln zu können, wurden die im Folgenden kurz beschriebenen, unterschiedlichen Entwicklungsumgebungen verwendet. Beide Anwendungen werden unter dem Betriebssystem Microsoft Windows entwickelt. Da Microsoft Windows NT und Microsoft Windows 9x bzw. Windows 2000 und Windows ME die verbreitetsten PC-Betriebssysteme sind, werden die Anwendungen für die Lauffähigkeit unter diesen Systemen ausgelegt.

Zur VORWEIS-Entwicklung

Das Programm VORWEIS dient der Bauteilvor-dimensionierung. Es wurden und werden Programmmodule für unterschiedliche, häufig im Hochbau verwendete Bauelemente entwickelt. Durch einfache – sinnvoll reduzierte – Eingaben kann damit das Entwerfen von Tragkonstruktionen unterstützt werden.

Die VORWEIS-Software entsteht unter der Ent-

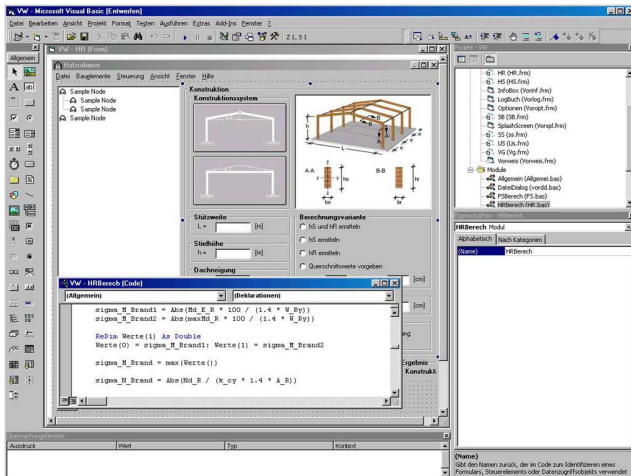


Abb. 7.1.2.1 Entwicklungsumgebung VORWEIS

wicklungsumgebung Microsoft Visual Basic 5.0 Enterprise Edition. Dieses Programm arbeitet in der Entwicklungsumgebung als Interpreter und im ausführbaren Programm als Compiler. Diese Konstellation ermöglicht komfortable Fehleranalysen bei gleichzeitig hohen Laufgeschwindigkeiten des ausführbaren Programms.

Das VORWEIS-Programm besteht im Wesentlichen aus dem umgebenden Hauptformular, dem VORWEIS-Fenster und den Modulen, die einzelne Bauelemente behandeln.

Bei dem Hauptformular handelt es sich um eine MDI-Form (Multiple Document Interface).

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass der Begriff "Modul" auch im Rahmen von Visual-Basic-Entwicklungen verwendet wird. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff aber in einem anderen als dem dortigen Kontext verwendet. Im Rahmen von Visual Basic Anwendungen wird der Begriff "Formular" für ein Fenster und dem zugehörigen Codeteil verwendet. Der Codeteil eines Formulars steht nur zur Verfügung, wenn das Formular geladen ist. Ein "Modul" besteht ausschließlich aus einem Codeteil. Ein solches "Modul" ist im gesamten Projekt verfügbar. Ein Modul im Sinne der beschriebenen Entwicklung ist ein Dokument, das alle für die Ein- und Ausgabe eines Bauteils benötigten Fenster enthält.

Zur TRAGKO-Entwicklung

Mit TRAGKO wird eine multimediale Lernsoftware entwickelt. Das Programm dient vorrangig der autodidaktischen Wissenserschließung der Grundlagen der Tragkonstruktionen. Es unterstützt Studierende sowie praktisch tätige Objekt- und Tragwerkplaner vorwiegend in der Vor- und Entwurfsplanung.

Das Programm wurde unter Asymetrix Toolbook II entwickelt. Toolbook basiert im Gegensatz zu anderen Multi-Media Entwicklungsumgebungen (Macromedia Director u.a.) auf einem „seitenbasierten“ Konzept. Dieses entspricht der in der TRAGKO-Anwendung verwendeten Struktur. Wichtige Kriterien für die Wahl dieser Autorensoftware waren die hier vorhandenen Möglichkeiten der einfachen Einbindung der multimedialen Daten (Grafik, Text und Video), insbesondere der folgenden Formate: JPG, GIF (Bild), RTF, DOC (Text), AVI und MPG (Video). Außerdem werden Möglichkeiten zur Einbindung „fremder“ Programme angeboten, was insbesondere für die Anbindung des VORWEIS-Programms entscheidend ist. Dabei werden u. a. die folgenden

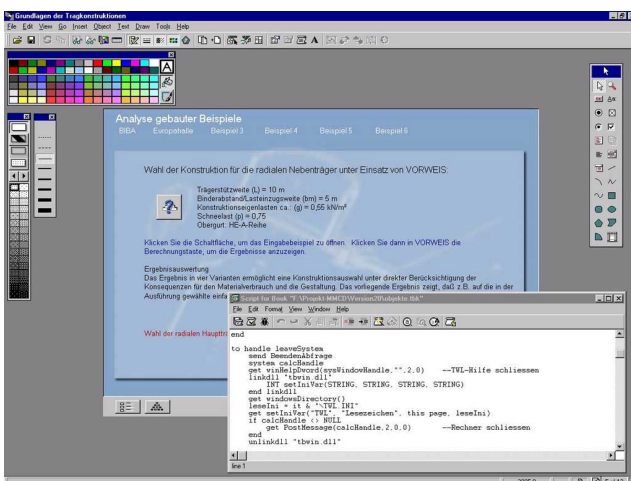


Abb. 7.1.2.2 Entwicklungsumgebung TRAGKO

in TRAGKO verwendeten Typen unterstützt: EXE – Dateien, Steuerelemente in Form von OCX – Komponenten, externe DLL - Dateien. Toolbox bietet eine visuelle Entwicklungsumgebung, die ein einfaches Gestalten des Benutzerinterfaces ermöglicht. Es besteht zudem die Möglichkeit, mittels der Programmiersprache OpenScript die Funktionalität der Anwendung zu beeinflussen.

7.2 Aspekte der Kommunikation im Programm TRAGKO

7.2.1 Konzeption der Masken

Die eingesetzten Medien werden entsprechend der im Kapitel 5.1 beschriebenen Möglichkeiten integriert, computeranimiert sowie interaktiv nutzbar gestaltet. Sie können asynchron, also unabhängig von Zeit und Ort, individuell genutzt werden.

Die Software wurde unter der Prämisse entwickelt, übersichtlich und benutzerfreundlich zu sein. Die Gestaltung wird bewusst sachlich gehalten. Die Anwender sollen ohne lange Einarbeitungszeit der Anwendung gegenüber eine "Vertrautheit" entwickeln. Dazu wurde ein Grundkonzept erarbeitet, welches die Basis der gesamten Entwicklung bildet. Dabei kommt den menschlichen Wahrnehmungsmechanismen besondere Bedeutung zu. Eine geöffnete Seite wird in der in Abb. 7.2.1-1 dargestellten Reihenfolge betrachtet. Demzufolge wurden die Seiten, unter Einräumung inhaltsspezifischer Varianten, strukturiert.

Funktionsbereiche [Abb. 7.2.1-1]:

1. Wichtigstes Erkennungsmerkmal der Seite (i.d.R. Grafik)
2. Zugehörige Information (i.d.R. Text)
3. Kapiteleiste
4. Bedienelemente

Die Navigations- und die Gestaltungsmerkmale bilden eine konzeptionelle Einheit. Diese drückt sich in festgelegten Konventionen aus. Die dargestellte Maske zeigt exemplarisch die Funktionsmerkmale einer innerhalb eines Moduls verfügbaren Seite.

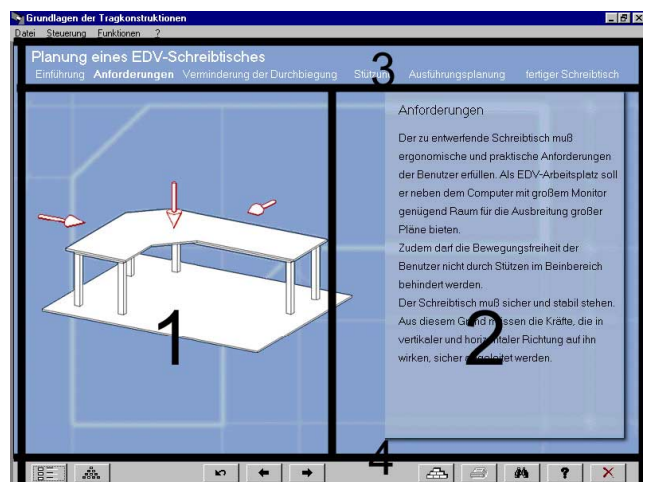


Abb. 7.2.1-1 Funktionsbereiche

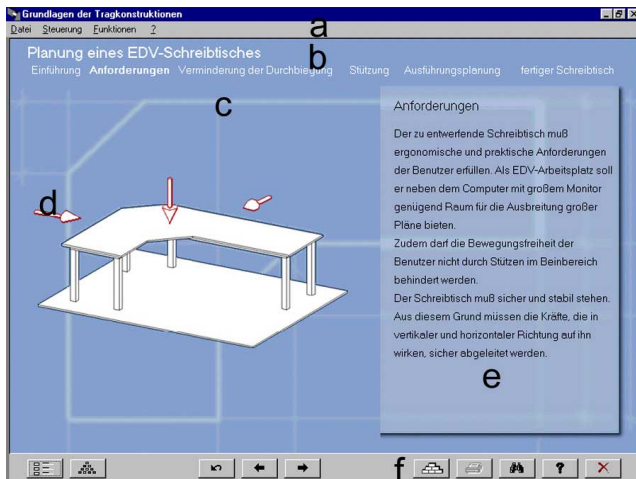


Abb. 7.2.1-2 Funktionsmerkmale

Funktionsmerkmale [Abb. 7.2.1-2]:

- a) Untergeordnete Menüleiste. Diese enthält, neben den Funktionen der Symbolleiste (f), Zusatzfunktionen, die weniger häufig benötigt werden.
- b) Zur Orientierungshilfe und zur vereinfachten Navigation werden alle im Modul erfassten Themen angezeigt. Per Mausklick auf die entsprechende Überschrift kann das Thema innerhalb des aktiven Moduls gewechselt werden. Das jeweils aktive Thema wird durch Fettschrift hervorgehoben.
- c) Der Hintergrund zeigt im gesamten Modul eine für dieses charakteristische Darstellung. Dadurch wird unerschwerlich eine zusätzliche Orientierungshilfe geboten.
- d) Rote Objekte signalisieren in der gesamten Anwendung ausführbare Aktionen.
- e) Textfeld, welches sich inhaltlich an die ausgeführte Aktion anpasst.
- f) Feststehende Symbolleiste

7.2.2 Navigation

Die Navigation ist inhaltlich von dem verwendeten Menü abhängig (siehe Kapitel 6.4), folgt aber strukturell immer demselben Konzept. Die wesentlichen Elemente der Navigation sind das Menü und die feststehende Symbolleiste [Abb. 7.2.1-2].

Das Menü [Abb. 7.2.-1: Beispielmaste] wird primär über den im linken Drittel der Maste implementierten Navigationsbaum gesteuert. In diesem können alle verfügbaren Module als 'Blätter' angezeigt werden. Die Baumstruktur in der Menüebene kann individuell strukturiert sein. In der vorgestellten Anwendung enthält das Menü eine Einteilung in vier Kapitel, die sich an vier Ausbildungssemestern der Tragkonstruktionslehre an der Fachhochschule Düsseldorf anlehnen. Wurde ein Modul ausgewählt (Hinterlegung mit schwarzem Balken), wird der neben dem Navigationsbaum zur Verfügung stehende Teil der Maste für eine Inhaltsübersicht zum im Baum angewählten Modul genutzt. Neben einer Übersichtsgrafik und textlichen Informationen zum Inhalt findet hier bereits eine Gliederung des gewählten Moduls statt. Die Anzahl der Gliederungsabschnitte ist modulabhängig. Jeder Abschnitt wird benannt und durch die Textfarbe rot, entsprechend der anwendungseinheitlichen Konventionen, als Hyperlink zu diesem Abschnitt ausgewiesen. Somit ist ein sehr zielgerichtetes Suchen möglich.

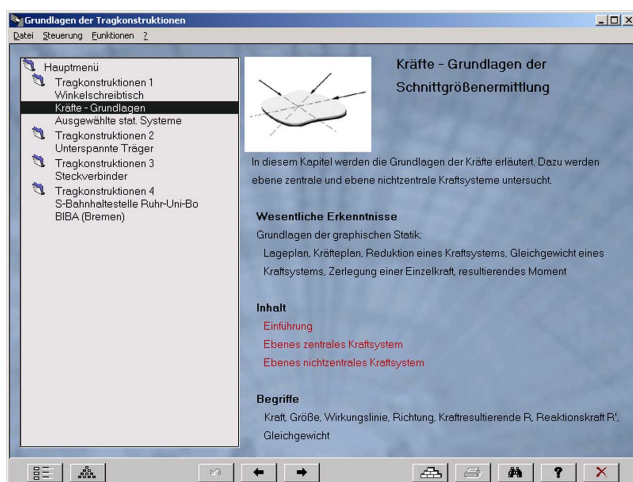


Abb. 7.2.2-1 Menü-Maste

Innerhalb eines ausgewählten Moduls erfolgt die Navigation hauptsächlich über die feststehende Symbolleiste (f). Darüber hinaus kann die Navigation innerhalb einer Seite erforderlich sein. Diese ist dann, im Rahmen festgelegter Konventionen, individuell den Bedürfnissen der entsprechenden Seite angepasst. Erläuterungen dazu erfolgen im Kapitel 7.3. Die Elemente der Symbolleiste ermöglichen die Nutzung der wichtigsten Funktionen. Sie werden dementsprechend kurz benannt.

- Hauptmenü: Die Anwahl führt aus jeder Ebene der TRAGKO-Anwendung zurück in die Menü-Ebene.

- Chronik: Die Chronik kann während der Programmnutzung jederzeit aktiviert werden. Sie stellt dann eine Auflistung der zuletzt angesehenen Seiten (max. 100) auf [Abb. 7.2.2-3]. Diese werden in umgekehrter Reihenfolge des Seitenaufrufes angezeigt, wobei die zur Zeit aktive Seite in der Liste oben erscheint. Innerhalb der Liste bisher gesehener Seiten kann eine gewünschte Seite angewählt werden. Diese wird dann schwarz hinterlegt und durch Anwahl des "Gehe zu" –Buttons reaktiviert. Die Chronik ist im Sinne des beschriebenen modularen Wissens-transfers ein unverzichtbares Element der Navigation. Ohne dieses Element könnte die im Kapitel 6.4 beschriebene Methodik der Recherche nur sehr unzureichend umgesetzt werden. Die Chronik bildet den "roten Faden" innerhalb der Anwendung. Sie ist erforderlich, um im Anschluss an einen interessens- oder problemorientierten Exkurs in andere Module zur Ausgangsposition zurückzufinden.

- Zuletzt angesehene Seite: Diese Funktion öffnet die vor der aktiven Seite zuletzt angesehene Seite. Wird die Funktion mehrfach hintereinander ausgeführt, werden die bisher geöffneten Seiten in umgekehrter Reihenfolge angezeigt. Diese Funktion wird auch durch die Chronik-Funktion abgedeckt, stellt aber für den häufig erforderlichen Fall des Zurückblätterns eine komfortable Alternative dar.

- Vorherige Seite: Die Funktion ermöglicht das Öffnen der, in der thematischen Abfolge des Moduls, vor der aktiven Seite befindlichen Seite. Dies geschieht unabhängig davon, ob die Seite schon einmal geöffnet war. Innerhalb der Modulebene wird hiermit das Blättern im Navigationsbaum ermöglicht.

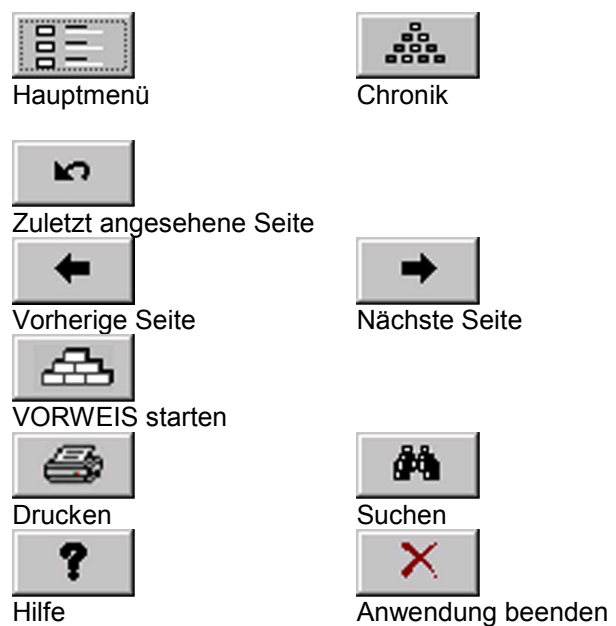


Abb. 7.2.2-2 Funktions-Buttons

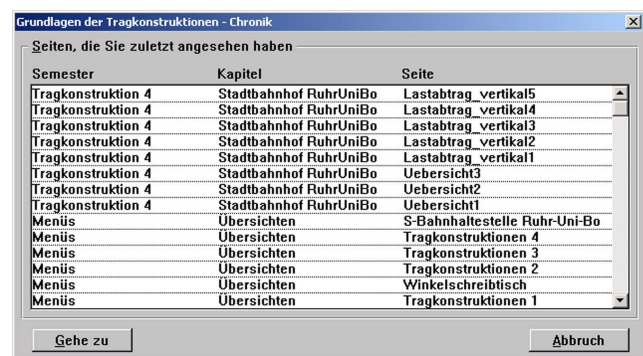


Abb. 7.2.2-3 Chronik

- Nächste Seite: Die Funktion ermöglicht, in Analogie zur Funktion `vorherige Seite`, das Öffnen der, in der thematischen Abfolge des Moduls, nach der aktiven Seite befindlichen Seite. Innerhalb der Modulebene wird auch hiermit das Blättern im Navigationsbaum ermöglicht.

- VORWEIS starten: Die eigenständige Programmentwicklung VORWEIS wird mit dieser Funktion gestartet. Damit können, im Rahmen der Recherchen, direkte *Lösungsanpassungen* in Bezug auf die Problemstellungen der Anwender eingebunden werden. Das VORWEIS-Programm wird mit dieser Funktion ohne Voreinstellungen geöffnet.

Im Unterschied dazu finden sich innerhalb der TRAGKO-Anwendung einige textliche Verweise (Hyperlinks) innerhalb behandelte Themen auf die VORWEIS-Anwendung. Werden diese aktiviert, öffnet das VORWEIS-Programm ein dem Thema angelehntes Modul mit vorhandenen VORWEIS-Beispieleingabewerten. Die entsprechende Berechnung kann dann nachvollzogen werden, die Einstellungen können aber wiederum auch eigenen Problemstellungen angepasst werden.

- Drucken: Die Druckfunktion ermöglicht das Drucken der aktiven Seite unter Berücksichtigung üblicher Einstellungsmöglichkeiten.

- Suchen: Die Suchfunktion gliedert sich in die beiden Funktionen Volltextsuche und Schlüsselwortsuche. Nach Aufruf der Suchfunktion wird der Dialog zur Volltextsuche geöffnet. Hier wird eine Schaltfläche zur Schlüsselwortsuche bereitgestellt. Schlüsselwörter müssen nicht im Text vorkommen und können daher nicht immer mit der Volltextsuche gefunden werden.

- Hilfe: Die Hilfe-Funktion öffnet eine für Windows-Anwendungen typische Online-Unterstützung zu allen funktionalen Aspekten der Anwendung.

- Anwendung beenden: Mit dieser Funktion wird das Programm beendet. Anders als bei der Programmbeendigung durch Schließen des Programmfensters, wird die zuvor aktuell geöffnete Seite automatisch als Lesezeichen gespeichert. Eine Lerneinheit kann somit jederzeit über die im Menü enthaltene Funktion "Lesezeichen" mit der letzten Seite der vorangegangenen Einheit begonnen werden.

Mit den beschriebenen Elementen der Navigation konnten die Voraussetzungen für eine entwurfsunterstützende Wissenstransfersoftware geschaffen werden, die sowohl Studierende in unterschiedlichen Ausbildungsphasen als auch konstruktiv tätige Bauingenieure und Architekten unterstützen kann. Die Abbildungen 7.2.2-4 und 7.2.2-5 verdeutlichen die dazu erforderlichen, und im Kapitel 6.4 abstrakt erläuterten, beiden prinzipiell unterschiedlichen Möglichkeiten der Informationsrecherche. Die Abbildungen zeigen dazu, lediglich schematisch vereinfacht, die elementaren Aspekte des Informationsfindungsprozesses. Insbesondere für Studierende, aber auch für sich weiterbildende Berufspraktiker kann ein weitgehend lineares Vorgehen sinnvoll sein. Diese Recherchemöglichkeit ist in Abb. 7.2.2-4 dargestellt. Sie entspricht i.d.R. dem für die jeweilige Nutzergruppe angepassten Inhaltsverzeichnis. Es kann also ein vom Autor des Inhaltsverzeichnisses gelegter "roter Faden" verfolgt werden, womit die Recherche derjenigen innerhalb eines Buches ähnelt. Abgesehen von den medientechnisch erweiterten Möglichkeiten gegenüber Printmedien besteht der Unterschied nur darin, dass der Anwender am Ende eines Moduls immer wieder in das Menü geführt wird. Dadurch wird ihm eine Orientierungshilfe gegeben. Diese geführte Form der Recherche ist insbesondere bei geringer themenbezogener Kompetenz seitens der Nutzer erforderlich.

Die interessens- oder problemorientierte Recherche wurde in der beschriebenen Form [Abb. 7.2.2-5] erst durch die Möglichkeiten einer multimedialen Softwareanwendung erreichbar. So greift ein Anwender über das Menü direkt auf die erste Seite eines Themenabschnitts innerhalb eines Moduls zu (z. B. Seite X.2.2 in der Abbildung). Von hier aus kann der Anwender die folgenden Seiten z. B. so lange linear durcharbeiten, bis ein Verweis ihn auf eine von ihm gewünschte Vertiefung, Analogie oder Ähnliches führt (von Seite X.2.y zu Seite 1.x.2). Die Anwendung enthält, über die in der Abbildung dargestellten Seiten hinaus, auch solche, die nur über Verweise erreicht werden können. Solche Seiten können Erläuterungen oder Beispiele enthalten, deren Betrachtung nur im Zusammenhang mit einer Ursprungsseite sinnvoll ist. Nach einem solchen Exkurs, wenn er mehrere Seiten umfasst, wird das Ursprungsthema über die Chronik reaktiviert.

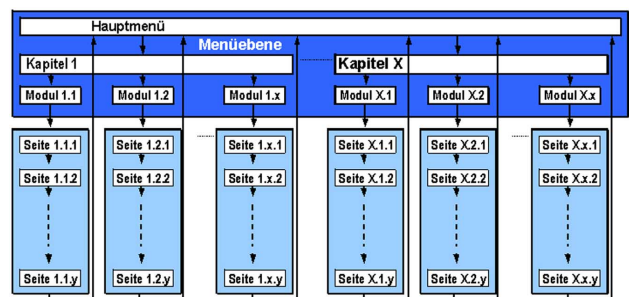


Abb. 7.2.2-4 Lineare Wissenserschließung

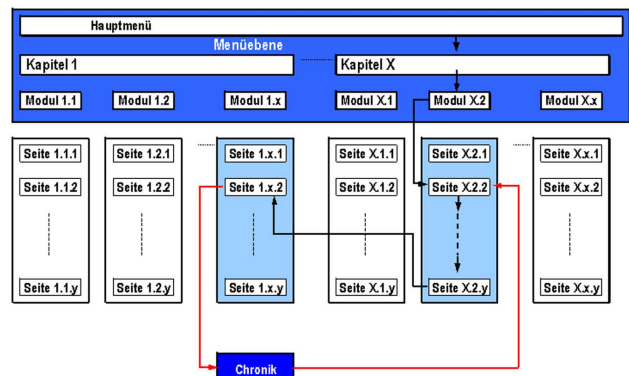


Abb. 7.2.2-5 Problemorientierte Wissenserschließung

7.3 Inhalte und Anwendungsmöglichkeiten von TRAGKO

Das Programmsystem TRAGKO behandelt Inhalte, deren Kenntnisse für den Entwurf von Tragkonstruktionen hilfreich sind. Dabei konnte die Methode der gezielten Informationerschließung seitens der Anwender, wie im Abschnitt 7.2.2 erläutert, optimiert werden. Die erstellten Module inhaltlich ausführlich zu beschreiben, würde den Rahmen der Ausführungen dieser Arbeit übersteigen. Es wird deshalb auf die entwickelte CD-Rom [Wörzberger/Maas 00] verwiesen. Die folgenden Betrachtungen sollen einen Einblick in das Spektrum der Themengebiete ermöglichen.

Es wurden exemplarisch Module entwickelt, die sich unter didaktischen Gesichtspunkten wie folgt gliedern lassen:

- Grundlagenthemen

Hier werden Bauteile (z. B. Träger, Stützen, Rahmen) sowohl allgemein als auch materialabhängig in Bezug auf ihre tragkonstruktiven Eigenschaften hin analysiert. Des Weiteren werden grundlegende mechanische Zusammenhänge erläutert. Abbildung 7.3-1 zeigt die Einführung in den Begriff der Dehnung. Dabei kann, bei Bedarf, zur Veranschaulichung des Sachverhaltes durch die Anwender ein Videoclip zugeschaltet werden. Im dargestellten Beispiel wird ein themenbezogener Laborversuch gezeigt. Das Kapitel ist ein Kooperationsbeitrag der Fachhochschule Bochum [Becker 00]. Das Modul dokumentiert, genauso wie die weiteren im Rahmen einer Kooperation entstandenen Module, die durch Übergabe der Navigations- und Nutzungskonzepte entstehende Einheitlichkeit der Anwendung.

- Induktiv orientierte Themen

Dies sind Themen, deren wissenschaftliche Aufarbeitung sich bewusst von der in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern oft bevorzugten deduktiven Vorgehensweise abheben (vgl. Kapitel 2.2). In dem in Abb. 7.3-2 gezeigten Modul wird eine in ihrer Komplexität sehr überschaubare Tragkonstruktion (EDV-gerechter Schreibtisch) entwickelt und analysiert. Dabei werden tragkonstruktive Eigenschaften diskutiert, Fachbegriffe eingeführt und ein Planungsablauf dar-

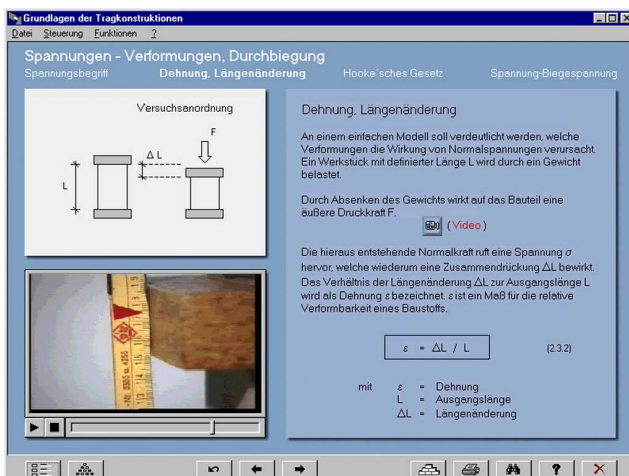


Abb. 7.3-1 Maske des Moduls "Spannungen – Verformungen, Durchbiegung"

gestellt, der sich in seiner Grundstruktur auch auf größere Bauvorhaben übertragen lässt. Zunächst wird die hier angestrebte Lösung eines räumlich ausgesteiften Schreibtisches vorab dargestellt. Damit wird, insbesondere für die Studierenden im Grundstudium, für die dieses Modul vorzugsweise entwickelt wurde, der Umfang der Bauaufgabe im Vorfeld umrissen. Dies scheint hier besonders vorteilhaft, da den Studienanfängern der Planungsprozess sowohl strukturell als auch inhaltlich noch nicht vertraut ist. Der Prozess wird dementsprechend im Verlauf des Moduls anhand einer sehr überschaubaren Aufgabe als Simulation vorgestellt. Dazu werden einführend die Anforderungen an die Bauaufgabe beschrieben. Anschließend werden Varianten für Tragelemente untersucht. Auch Details werden auf ihre tragkonstruktiven Eigenschaften hin in Varianten dargestellt, wobei das Verhalten der Konstruktion anschaulich erläutert wird. Darstellungsmöglichkeiten werden in Ausschnitten vorgestellt. Als ein Kernstück dieses Moduls kann die in den Abb. 7.3-2 und 7.3-3 dargestellte Seite zur Ausbildung der Stützung angesehen werden. Hier werden den Lernenden die wesentlichen Merkmale einer räumlichen Aussteifung vermittelt. Dazu wird zunächst keine analytische Lösung angegeben. Vielmehr ist es zur Schaffung des Problembewusstseins wichtig, die Studierenden das Konstruktionsverhalten "erfahren" zu lassen. Eine solche "Erfahrung" kann rechnergestützt besser simuliert werden, als dies mit Einzelbildern der Fall wäre (vgl. Kapitel 4.3).

In der Animation kann für jede der drei Seiten zwischen einer Holzscheibe (wandartige Lagerung) und Tischbeinen (punktförmige Lagerung) gewählt werden. Für die entsprechende Kombination wird dann, bei Angabe einer Belastungsrichtung durch den Anwender, das Verschiebungs- und Verdrehungsverhalten angezeigt. Im Textfeld erscheint die aktuell zugehörige Erläuterung. Dabei werden Begriffe wie Momentendrehpol verwendet, die, wie Evaluationen zeigen, auch von Studienanfängern intuitiv verstanden werden. Lernziel der Animation ist, durch das Nachvollziehen des jeweiligen Konstruktionsverhaltens die Systematik eines Aussteifungsprinzips (drei Wandscheiben und eine Deckenplatte) zu erkennen. Eine im Ausbildungsverlauf später angesiedelte mathematische Analyse wird vor dem Hintergrund des verstandenen Phänomens dann auch bewusster aufgenommen und verstanden. Am Ende des kompletten Planungsablaufes steht eine bezüglich der tragkonstruktiven Eigenschaften optimierte Lösung.

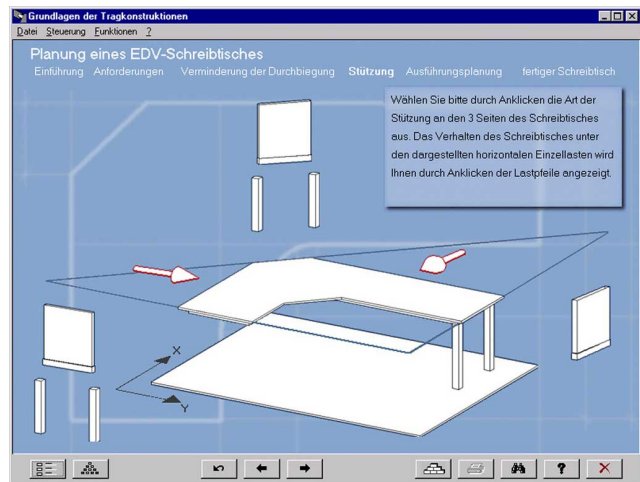


Abb. 7.3-2 Maske des Moduls "Planung eines EDV-Schreibtisches": Wahl der Stützung

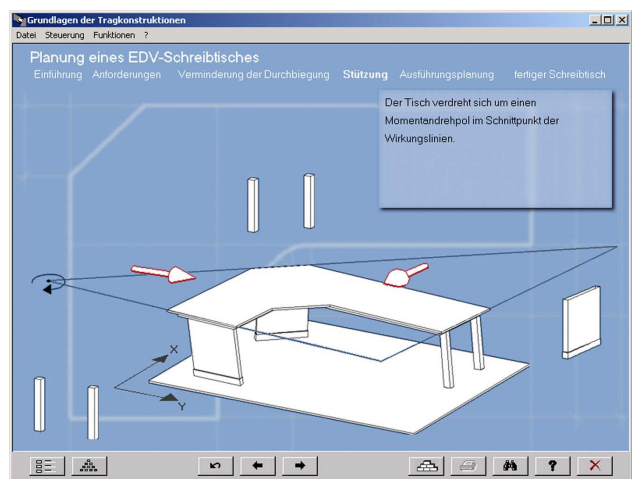


Abb. 7.3-3 Maske des Moduls "Planung eines EDV-Schreibtisches": Aktivierung einer Horizontallast

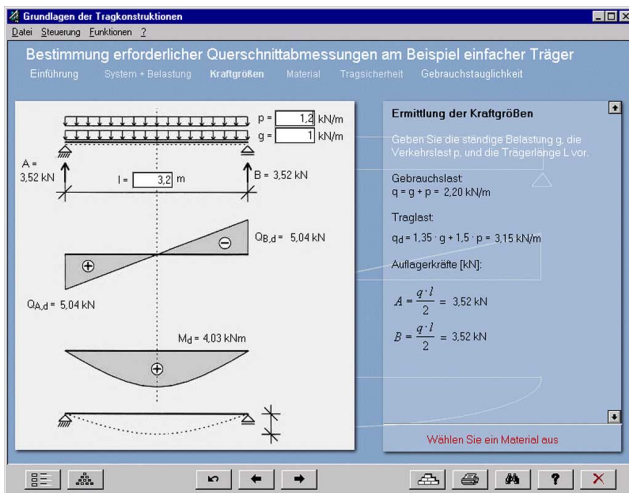


Abb. 7.3-4 Maske des Moduls "Bestimmung erforderlicher Querschnittsabmessungen am Beispiel einfacher Träger" zur System- und Belastungsangabe

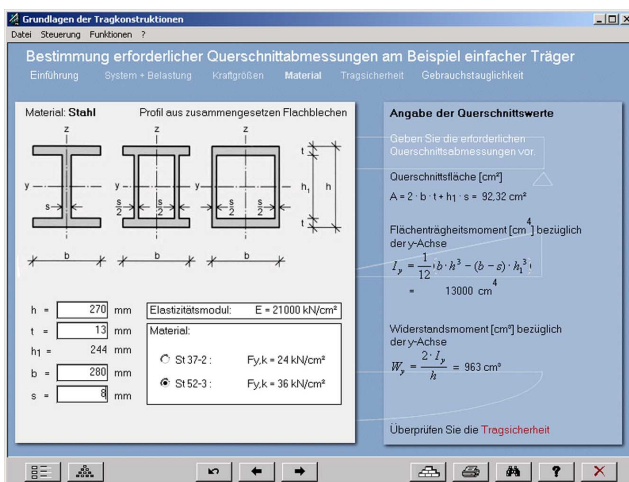


Abb. 7.3-5 Maske des Moduls "Bestimmung erforderlicher Querschnittsabmessungen am Beispiel einfacher Träger" zur Querschnitts- und Materialangabe

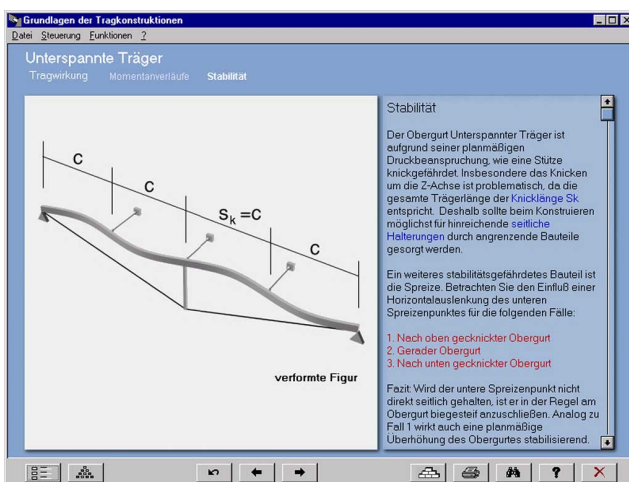


Abb. 7.3-6 Maske des Moduls "Unterspannte Träger"

• Übungsmodul / Parameterstudien

In solchen Modulen werden Abläufe von Berechnungsanalysen vorgestellt und erläutert. Der Nutzer kann in der Form "aktiv" werden, dass er die in die Berechnung einfließenden Parameter verändern kann und so die Auswirkung verschiedener Einflüsse auf die Tragfähigkeit eines Bauteiles studiert. Die Berechnung wird durch das Anzeigen der dynamischen (auf die Vorgaben reagierenden) Formeln und textlicher Hinweise (z. B. "der Nachweis ist erfüllt") transparent. Auf den in Abb. 7.3-4 und 7.3-5 gezeigten Masken und den folgenden Seiten dieses Kapitels werden Systeme sowie Material und Querschnittswerte eingefordert. Jeweils synchron zu den getätigten Eingaben werden die entsprechenden, bis dahin möglichen Berechnungen durchgeführt. Somit wird auch besonders einprägsam der direkte Zusammenhang zwischen den erforderlichen material- bzw. geometriebezogenen Angaben und den damit jeweils möglichen Aussagen zum System hergestellt.

• Tragelemente

Im tragkonstruktiven Bereich gibt es verschiedene Tragelemente, die als Teillösungen gebauter Tragwerke häufig verwendet werden. Hierzu gehören Grundelemente wie Stützen, Wandscheiben, Balken und Deckenplatten. Darüber hinaus gibt es immer wiederkehrende Formen, die sich auf der Suche nach optimierten Lösungen für verschiedene Anwendungsfälle herausgebildet haben. Hierzu gehören z. B. Fachwerke oder Unterspannte Träger, die als aufgelöste Balkentragwerke wirken. Tragelemente dieser Art sollen mit dem Programm VORWEIS, durch Dimensionierung, Material- oder Systemvarianten, auf die Problemstellung der Nutzer hin angepasst werden können. Dazu ist es seitens des Anwenders erforderlich zu prüfen, inwieweit seine Entwurfsaufgabe den Systemvoraussetzungen im VORWEIS entspricht. Module, die Tragelemente beschreiben, können hierzu Hintergrundinformationen liefern. Es wird das allgemeine Tragverhalten beschrieben. Zusätzlich werden mechanische Phänomene, die unter bestimmten Voraussetzungen auftreten, erläutert. Insbesondere die Voraussetzungen zur Anwendung von VORWEIS müssen erkannt werden. Abbildung 7.3-6 zeigt eine Maske des Moduls "Unterspannte Träger". Nachdem zuvor in diesem Modul Aspekte, wie die Statische Unbestimmtheit und die Wirkungsweise der Unterspannten Träger, auch durch Analogien am Einfeldträger beschrieben wurden, werden Sta-

bilitätsprobleme behandelt. Anwender können in der Animation die Auswirkung seitlicher Halterungen auf das Verhalten des Obergurtes "überprüfen". Das seitliche Ausweichen der Spreize wird mit Unterstützung dreier, durch den Anwender steuerbaren Animationen erläutert. Das Tragverhalten wird durch *Einsicht* (vgl. Kapitel 4.3) schnell verstanden.

- Analyse gebauter Beispiele, besonderer Tragelemente oder konstruktiver Details

Module mit diesen thematischen Schwerpunkten untersuchen die besonderen tragkonstruktiven Eigenschaften baupraktisch umgesetzter Lösungen. Um die Inhalte und deren Anwendung anschaulich darzustellen, soll anhand eines exemplarisch vorgestellten Beispiels (Abb. 7.3-7: Stadtbahnhof Ruhr-Universität Bochum) eine Analyse für Anwender nachvollziehbar gezeigt werden. Gleichzeitig soll anhand dieses Beispiels gezeigt werden, wie sich die in Abbildung 7.2.2-5 dargestellte Methodik der Recherche in der Umsetzung darstellt.

Im Rahmen der Einführung haben Nutzer zunächst die Möglichkeit, sich einen umfangreichen Überblick über das Bauwerk zu verschaffen. Ziel ist, Nutzer mit Hilfe der gewählten Darstellungstechnik möglichst schnell mit der Konstruktion vertraut zu machen. Hierzu ist besonders der integrierte, vom Anwender steuerbare Panorama-Viewer geeignet. Mit diesem Hilfsmittel hat der Anwender die Möglichkeit, von einem vorgegebenen Standpunkt aus in jede beliebige Richtung zu schwenken und ggf. Ausschnitte zu zoomen.

Danach erfolgt im Rahmen der Einführung die Tragwerkbeschreibung für einen betrachteten Ausschnitt der Konstruktion.

Die Tragwerkbeschreibung ist über die eingetragenen Hyperlinks [Abb. 7.3-8] gegliedert in die Abschnitte:

- Abtrag der Vertikallasten
- Abtrag der Horizontallasten in Längsrichtung
- Abtrag der Horizontallasten in Querrichtung

In der Darstellungsabfolge wird zunächst der Pfad „Vertikallastabtrag“ gewählt [Abb. 7.3-9]. Zur Analyse der vertikalen Lastabtragung wird die Bilddarstellung, gegenüber der in Abb. 7.3-8 verwendeten, zunächst weiter modelliert. Die Reduktion auf die am Lastabtrag beteiligten Elemente lenkt die Aufmerksamkeit (ähnlich einem Statischen System) auf diese.

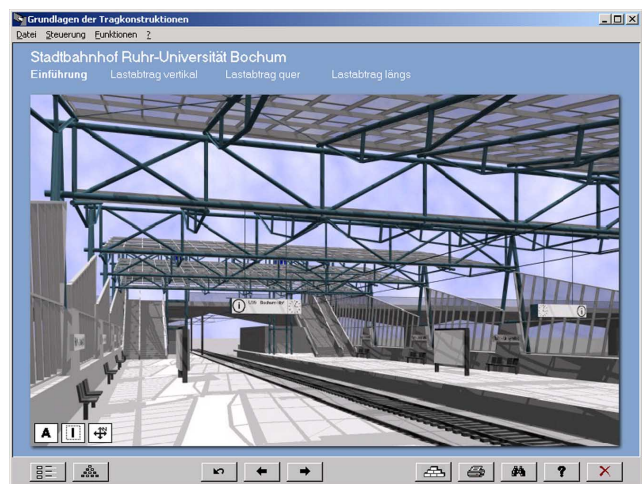


Abb. 7.3-7 Maske des Moduls "Stadtbahnhof Ruhr-Universität Bochum"

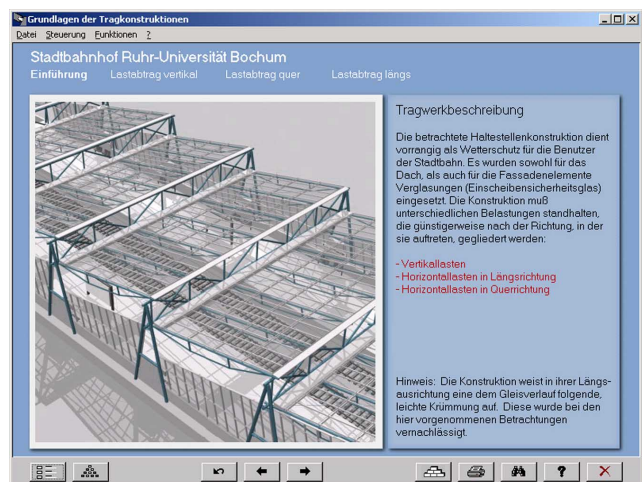


Abb. 7.3-8 Maske zur Tragwerkbeschreibung

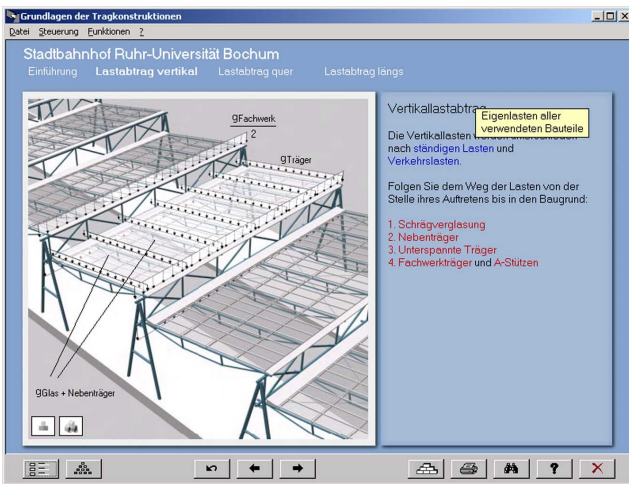


Abb. 7.3-9 Maske zur Vertikallastabtragung

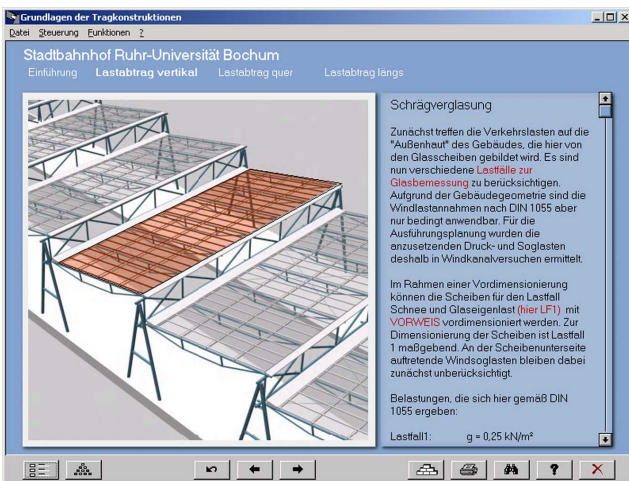


Abb. 7.3-10 Maske zur Schrägverglasung

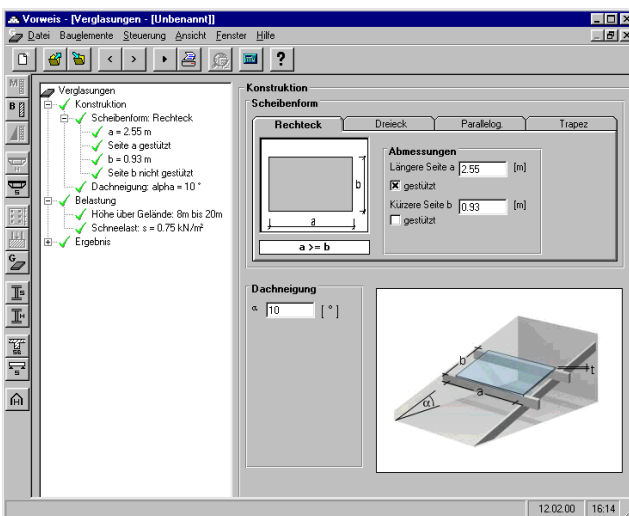


Abb. 7.3-11 VORWEIS – Konstruktionsmaske

Nun können die äußeren Lasten durch Aktivierung der Pop-Ups (blaue Textstellen) „angesetzt“ (grafisch dargestellt) werden. Die 3-D Darstellung ist, gerade in Bezug auf die vertrauten Darstellungstechniken von System + Belastung, nicht immer auf den ersten Blick anschaulicher. Deshalb wurde generell die Möglichkeit vorgesehen, in die 2-D Darstellung der gezeigten Situation zu wechseln. Da diese Navigationsmöglichkeit, wie die Hyperlinks, zu den modulabhängigen Einrichtungen gehört, wurden lokale Schaltflächen in die Bildfläche eingefügt [in der Bildfläche der Abb. 7.3-9 unten links].

Der vertikale Lastabtrag wird in vier Teilschritten verfolgt. Beim Überfahren (mit dem Mauszeiger) der entsprechenden Tragwerkteile in der Auflistung werden auch die entsprechenden Elemente in der Grafik farbig markiert. Ein Link führt zu dem jeweiligen Unterpunkt.

Zunächst wird die farbig markierte Verglasung bezüglich ihrer Beanspruchungen erläutert [Abb. 7.3-10]. Nutzer können auf der Vertiefung dienenden Seiten Informationen bezüglich der Lastfälle abfragen. Ein Link verbindet das Modul direkt mit dem VORWEIS – Programm. Dabei wird das Modul „Verglasungen für den nicht senkrechten Einbau“ als Lernhilfe direkt mit den zu diesem Beispiel gehörenden Eingabewerten aufgerufen [Abb. 7.3-11]. So wird der Umgang mit VORWEIS veranschaulicht. Die Nutzer erkennen, dass die Eingabe der Konstruktion sich hier auf wenige, geometrische Werte beschränkt. Die Werte können eigenen Problemstellungen angepasst werden (alternativ kann VORWEIS für weitere Betrachtungen jederzeit über das Icon in der Menüzeile aufgerufen werden). Die erforderliche Glasdicke kann festgelegt werden. Oder, was im frühen Entwurfsstadium wichtiger ist, bei gewünschter bzw. sinnvoller Glasdicke kann der erforderliche Nebenträgerabstand festgelegt werden (siehe dazu auch Kapitel 8.1). Eine Lastzusammenstellung mit Hilfe der Ergebnisse aus den möglichen VORWEIS-Dimensionierungen liefert hier, zusammen mit den Belastungen aus den Nebenträgern, die Belastung für die Unterspannten Träger [Abb. 7.3-12]. Diese können dann wiederum mit dem integrierten VORWEIS-Eingabebeispiel dimensioniert werden.

Der Link „Unterspannte Träger“ gibt dem Nutzer die Möglichkeit, sich von dieser Stelle aus in ein weiteres Kapitel zu begeben, das die Grundlagen der tragkonstruktiven Eigenschaften vertieft (siehe •Tragelemente). Beim Überfahren von blau unterlegten Textstellen werden die benannten Elemente in der Grafik farbig unterlegt. Das gelbe pop-up-Window gibt zusätzlich technische Informationen.

Im Modul „Stadtbahnhaltestelle“ kann im weiteren Verlauf der Rahmen, den die Fachwerkträger mit den A-Stützen bilden, analysiert werden [Abb. 7.3-13]. Die hier auftretenden Belastungen liefert die Ausgabemaske zur VORWEIS-Vordimensionierung der Unterspannten Träger.

Wird der Fachwerkträger, dessen Steifigkeit deutlich größer ist als die der A-Stützen, näherungsweise (auf der sicheren Seite liegend) als gelenkig gelagert angenommen, kann dieser nun auch mit VORWEIS vordimensioniert werden. Ein Link zur Detailanalyse verweist von hier aus in das Kapitel Steckverbinder. Dieses Kapitel beschreibt zwar ein Konstruktionsdetail der Stadtbahnhaltestelle, wird aber im Sinne des modularen Systems unter dem eigenständigen Kapitel „Details im Stahlbau“ angesiedelt.

Der Steckverbinder [Abb. 7.3-14] kommt hier in drei Varianten zur Anwendung. Es ergeben sich mit dieser Verbindungsart große Vorteile im Montageablauf. Dies wird für die drei Varianten mit Hilfe einer Bildfolge aus drei Montagezuständen verdeutlicht. In der abrufbaren 2D-Darstellung sind zusätzliche technische Informationen enthalten, die beim Überfahren mit dem Mauszeiger als Pop-Ups erscheinen. Durch Anschluss von Fachwerkobergurt und Fachwerkuntergurt an die A-Stütze entsteht, wie im Textabschnitt erläutert, ein biegesteifer Anschluss.

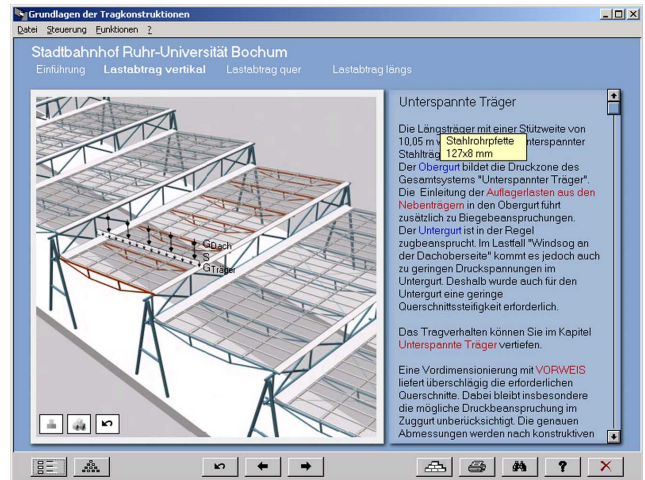


Abb. 7.3-12 Maske zu Unterspannten Trägern

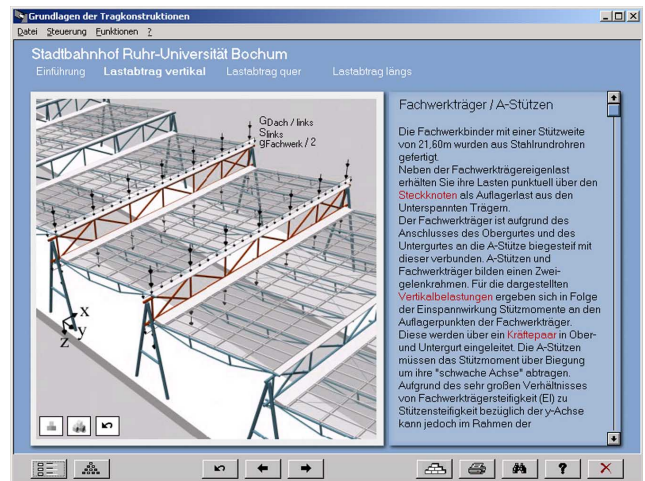


Abb. 7.3-13 Maske zum Rahmentragwerk Fachwerkträger / A-Stütze



Abb. 7.3-14 Maske zum Detail "Steckverbinder"



Abb. 7.3-15 Maske zum Horizontallastabtrag in Rahmenebene

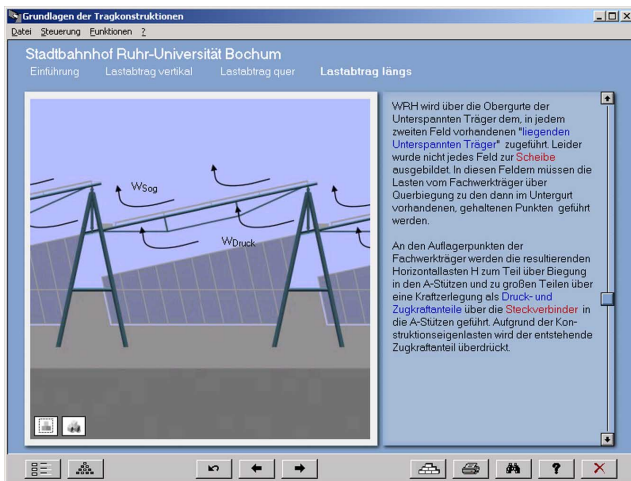


Abb. 7.3-16 Maske zum Horizontallastabtrag in Längsrichtung

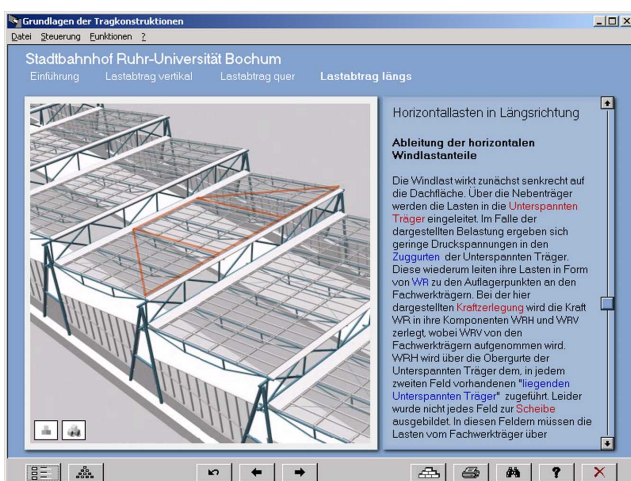


Abb. 7.3-17 Maske zum liegenden Unterspannten Träger

Ebenso können Aussteifungsmechanismen untersucht werden. Auftretende Horizontalkräfte werden in Querrichtung über Zweigelenrahmen abgetragen. Dabei kommt der biegesteifen Verbindung zwischen dem Fachwerkträger und den A-Stützen besondere Bedeutung zu. Zur Erläuterung der Wirkungsweise der biegesteifen Ecke wird neben dem vorhandenen Fall der Fall „gedachte Wirkung ohne Fachwerkdagonalen“ untersucht. Die Verzerrungen in den rechteckigen Feldern des Fachwerkträgers sind in Abbildung 7.3-15 deutlich erkennbar. Hier eignet sich die 2D-Darstellung besser als die auch verfügbare 3D-Darstellung. Bei der Durchführung der Animation für den Fall „mit Diagonalen“ ist eindeutig (Einsicht), dass das Tragverhalten deutlich verbessert ist. Die Einsicht entsteht insbesondere deshalb, weil der Anwender selbst per Mausklick „die Last aufbringt“ und scheinbar die direkte Reaktion erfährt. Der Mausklick auf das angegebene Eckdetail zeigt dann in einer Detaildarstellung den theoretischen Hintergrund. Die Diagonalen, ins-besondere die zugkraftbeanspruchten, verhindern hier die Parallelogrammverschiebung. Sie erzeugen die Scheibenwirkung. Dies wird in einer weiteren Maske gezeigt. Dort wird auf zwei Grundlagenkapitel verwiesen, die diese Phänomene vertieft behandeln.

Im Folgenden wird die Wirkung der Windkräfte in Längsrichtung analysiert. Im Anschluss an eine kleine Einführung bezüglich der auftretenden Kräfte gelangt der Anwender auf die in Abb. 7.3-16 dargestellte Seite.

Die Darstellungen innerhalb der Anwendung erläutern, wie aus den senkrecht zu den Dachflächen wirkenden Windlasten Horizontallastanteile entstehen. Diese Horizontallastanteile werden u.a. über Zugdiagonalen in der Dachfläche aufgenommen. Die am Lastabtrag beteiligten Elemente bilden einen liegenden Unterspannten Träger. Abb. 7.3-17 zeigt, wie dieser beim Überfahren der entsprechenden Textstelle grafisch hervorgehoben wird. Solche Maßnahmen dienen der Schulung des „inneren Auges“, wie Ferguson [Ferguson 93] den damit verbundenen Erkenntnisgewinn beschreibt. Das Erkennen tragkonstruktiver Zusammenhänge in dieser Form ist eine wesentliche Voraussetzung zum Entwerfen von Tragkonstruktionen.

7.4 Aspekte der Kommunikation im Programm VORWEIS

Das Programm VORWEIS dient, wie bereits im Kapitel 7.1.2 benannt, der Bauteilvordimensionierung. Durch einfache – sinnvoll reduzierte – Eingaben, mit vorgegebenen, häufig im Hochbau verwendeten Bauelementen, wird das Entwerfen von Tragkonstruktionen unterstützt. Dazu werden die zu durchlaufenden Phasen einer Vordimensionierung [Abb. 7.4-1] gegenüber denen einer Vordimensionierung mit bisher verfügbaren Werkzeugen deutlich vereinfacht. Im folgenden Abschnitt werden die dazu entwickelten, besonderen Kennzeichen der Entwurfsunterstützungssoftware vorgestellt.

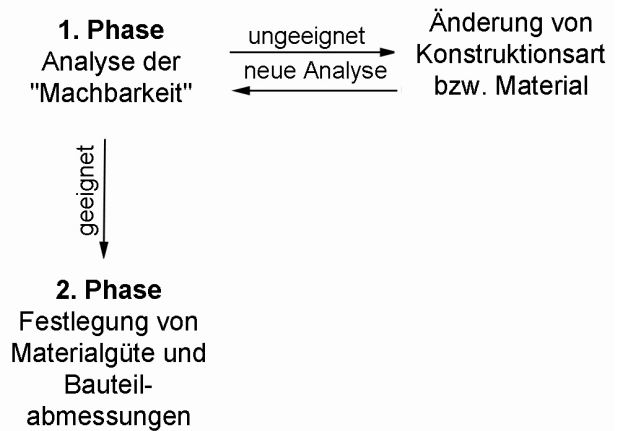


Abb. 7.4-1 Phasen der Vordimensionierung

7.4.1 Bauelementeiste

Die Bauelementeiste befindet sich an einem durch den Nutzer wählbaren Rand des Hauptfensters. Neben der Möglichkeit der Modulwahl über das Textmenü wird mit der Bauelementeiste – bei der üblichen Mausbedienung – eine schnellere und, durch die für Bauelemente eingeführten Symbole, übersichtlichere Modulwahl bereitgestellt. Das Hauptfenster wurde so strukturiert, dass die Buttons von 32 Modulen in 2 Spalten angeordnet werden können. Übersteigt die Zahl der Module diesen Grenzwert, so kann auch hier eine hierarchische Struktur vorgesehen werden. Diese kann durch "fly outs", wie sie in Abb. 7.4.1-1 rechts dargestellt sind, realisiert werden. In der aktuell realisierten Ebene der Modulbuttons werden dann Buttons eingesetzt, die Modulgruppen beschreiben (z. B. Stützen). Ein Button öffnet dann ein Menü, in dem sich die Modulbuttons befinden (z. B. Stahlstützen, Holzstützen, Stahlbetonstützen). Die auf den Buttons dargestellten Icons enthalten einen grafischen und einen textlichen Anteil. Der grafische Anteil beschreibt die Art des Tragelementes (z. B. Stütze). Der textliche Anteil beschreibt das Material: B = Beton; G = Glas; H = Holz; M = Mauerstein; S = Stahl; SB = Stahlbeton. Zum einen konnte somit erreicht werden, dass nicht für jedes Modul eine neue Grafik eingeführt werden muss. Aufgrund der geringen zur Verfügung stehenden Fläche (24x24 Pixel) wäre damit kein Vorteil zu erwarten, da die Unterscheidung für den ungeübten Nutzer weniger eindeutig sein würde. Zum anderen ist die in Abb. 7.4.1-1 rechts gezeigte Erweiterung ohne größere Umstellungen realisierbar.

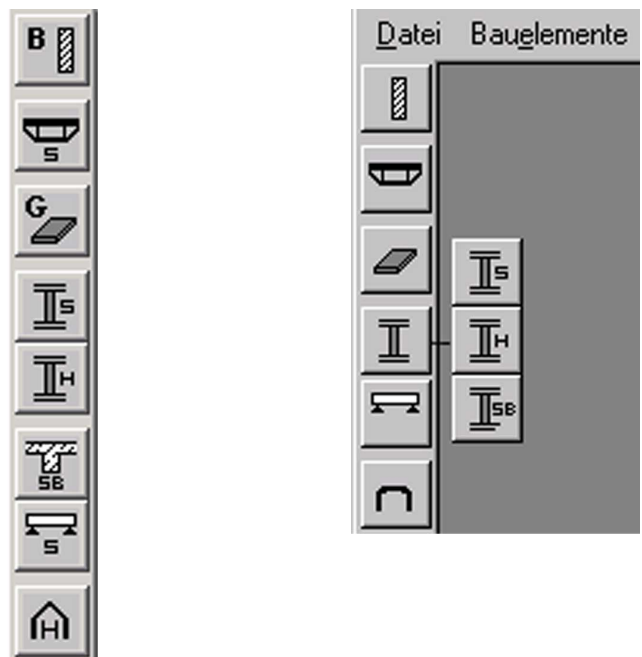


Abb. 7.4.1-1 VORWEIS – Bauelementeiste (links im aktuellen Zustand – rechts in weiteren Entwicklungsstufen)



Abb. 7.4.2-1 Optionen – Window



Abb. 7.4.2-2 Button: Datei neu

7.4.2 Modulabhängige Navigationsmenüs

Die Programmoberflächen sind durch den Wunsch geprägt, eine einfache Benutzerführung mit minimierter Einarbeitungszeit zu ermöglichen. Die Benutzerführung hat entscheidenden Einfluss auf die Akzeptanz der Anwendung. Das Programm ist für den Einsatz unter dem Betriebssystem Microsoft Windows konzipiert (vgl. Kapitel 7.1.2). Dementsprechend wurden die Oberflächen und die Benutzerführung (Tastenbelegung, Maussteuerung etc.) konsequent entsprechend den Windows-Designstandards strukturiert.

In allen Modulen wird die entwickelte Navigationsstruktur einheitlich verfolgt. Aufgrund der dennoch individuellen Erfordernisse an die Inhalte der einzelnen Module erhält jedes Modul sein eigenes, immer gleich erscheinendes Menü [Abb. 7.4.2-2 – 7.4.2-5]. Wird ein Formular geladen, wird auch das entsprechende, zum Modul gehörende Menü geladen. Die Struktur und damit die Erscheinung des Menüs ist in allen Modulen konstant.

Für das Steuerungsmenü wurde zur Nutzung durch den ungeübten Windows-Anwender, über die Einhaltung der Windows-Designstandards hinaus (Quickinfo durch Pop Ups), die Option "Texte in Symbolen" eingeführt [Abb. 7.4.2-1]. Für die Buttons ist damit die Anforderung verbunden, von der Standardgröße mit 24x24 Pixel-Punkten auf 40x56 Pixel-Punkte vergrößert zu werden. In der folgenden Einführung in die Funktions- und Navigationselemente werden, trotz der sicherlich untergeordneten Rolle der größeren Buttons, auch diese dargestellt.

Die Anwendung der Funktion "Datei neu" ist zur Programmanwendung nicht zwingend erforderlich. Sie kann aber u. U. zu einer größeren Übersichtlichkeit beitragen. Wird ein Modul nach dem Programmstart zum ersten Mal gestartet, entsprechen die Einstellungen innerhalb der Masken denjenigen der Auswahl von "Datei neu". Werden Einträge in den Eingabemasken vorgenommen und wird anschließend in ein anderes Modul gewechselt, so bleiben die Einträge erhalten. Wird das Modul mit veränderten Einstellungen erneut verwendet, besteht die Gefahr, z. B. von Standardwerten (Erläuterung siehe Kapitel 7.4.9) abweichende Einstellungen ungewollt in die Berechnung einfließen zu lassen. Die Anwendung der Funktion führt zu den Grundeinstellungen.

Bei den im Folgenden beschriebenen sechs Buttons handelt es sich um drei Funktionsgruppen. Diese sind in der VORWEIS-Maske (vgl. Abb. 7.4.6-1) als solche dadurch zu erkennen, dass zwischen ihnen kein Freiraum vorgesehen wurde.

Die Funktionen "Datei öffnen" und "Datei speichern" ermöglichen die Archivierung von Eingabeparametern. Dies kann z. B. bei der Durchführung von Parameterstudien hilfreich sein. Ergebnisse werden nicht gespeichert, da sie jederzeit neu erzeugt werden können.

Die im Menü eingeführten Buttons „zurück“ und „weiter“ sind Elemente der Navigation. Sie leiten die Anwender durch die einzelnen Masken des Programmmoduls. Die zu durchlaufenden Bereiche sind die Titelseite, die Konstruktionsseite, die Belastungsseiten und die Ergebnisseite.

Mit dem Button "Berechnen" wird der Berechnungsablauf gestartet. Gleichzeitig bewirkt diese Funktion das Umschalten auf die Ergebnismaske. Auch die Aktivierung der Schaltfläche "Drucken" führt die Berechnung aus. Für die Drucker Ausgabe wurden spezielle Seitenlayouts entwickelt.



Abb. 7.4.1-3 Button: Datei öffnen und Datei speichern



Abb. 7.4.1-4 Button: vorherige Maske und nächste Maske



Abb. 7.4.1-5 Button: Berechnen und Drucken

7.4.3 Navigationsbaum

Die Umsetzung von VORWEIS unter Visual Basic 5 ermöglichte den Einsatz eines Navigationsbaumes. Die Navigation zwischen verschiedenen Dialogfeldern kann in weiten Teilen auch über den Baum erfolgen. Der Baum zeigt alle getätigten Einträge, Ergebnisse von Zwischenrechnungen sowie nach Berechnungsausführung auch die Ergebnisse an, unabhängig von der zur Zeit aktivierten Maske. Neben der so erzielten Übersichtlichkeit kann die gewünschte Änderung eines bestimmten Wertes direkt durch Anklicken dieses Wertes im Baum eingeleitet werden. Die entsprechende Maske, in der der Wert eingegeben ist, wird aktiviert. So lassen sich z. B. Parameterstudien komfortabel ausführen (vgl. Kapitel 9). Die Symbole des Navigationsbaumes bilden eine Kombination aus formgebundenen Aussagen und farbgebundenen Aussagen. Die Form- und Farbsymbolik entspricht semantisch internationalen Designstandards [Kuttig 93]. Dies hat allgemein den Vorteil, dass die Wertung der getätigten Angaben durch den Nutzer gegenüber einer adäquaten sprachlichen Information

	Baelementesymbol (hier Stahlträger)
	Rotes Kreuz
	Roter Haken
	Rotes Warnsignal
	Gelber Warnhinweis
	Grüner Haken

Abb. 7.4.3-1 Symbole im Navigationsbaum

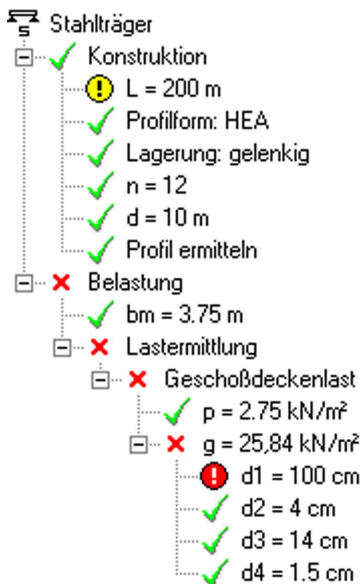


Abb. 7.4.3-2 Navigationsbaum – Beispiel 1

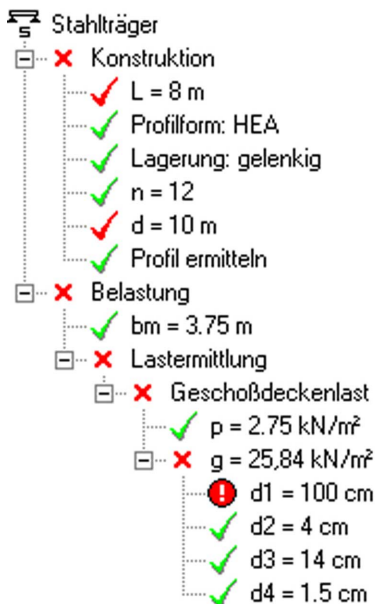


Abb. 7.4.3-3 Navigationsbaum – Beispiel 2

(fehlende Angabe, syntaktischer Fehler, Kontextfehler, Eingabeschränke überschritten usw.) wesentlich schneller getätigt werden kann. Durch die Reduzierung der Sprachbindung ergibt sich die Möglichkeit, das Programm mit vertretbarem Aufwand für den internationalen Einsatz zu erweitern.


Das Bauelementesymbol ist das einleitende Element des Navigationsbaumes. Es zeigt an, um welche Art eines Bauelementes es sich bei dem gewählten Modul handelt (z. B. Trägerarten). Der Buchstabe unter dem Symbol differenziert nach Materialien (hier: S = Stahl).


Die Farbe Rot differenziert formgebunden die Arten der fehlerhaften Eingaben. Dadurch ist für den Benutzer ein leichteres Analysieren des vorliegenden Fehlers möglich. Der Navigationsbaum ist, wie das VORWEIS-Modul selber auch, primär immer in die drei Hauptzweige "Konstruktion", "Belastung" und "Ergebnis" gegliedert. In dem gezeigten Beispiel ist die Ansicht des Ergebnisteils, aufgrund unkorrekter Eingaben, nicht möglich.


Das "rote Kreuz" kennzeichnet zum einen ein Feld, für das eine erforderliche Eingabe noch fehlt. In erster Linie aber steht das rote Kreuz für eine Fehlerhaftigkeit jedweder Art. Dabei verhält es sich dominant. Kommt es an einer Stelle zu einem unkorrekten Wert bzw. zu einer unkorrekten Wertekonstellation, so wird dies durch eines der roten Symbole angezeigt. In der nächst höheren Instanz (im nächsten Knoten) zeigt das rote Kreuz einen solchen Missstand auf und „reicht“ diesen bis in die höchste Instanz (Wurzel) durch.

Der "rote Haken" vereint, wie durch seine Symbolaussage deutlich wird, das Merkmal eines richtigen Aspektes mit dem eines falschen Aspektes. Er markiert einen Kontextfehler. Ein falscher Aspekt muss immer dominant sein, denn ein korrektes Ergebnis kann nur entstehen, wenn jeder Parameter der Eingabe korrekt ist. Deshalb ist das Symbol rot und signalisiert somit dem Nutzer, dass die Eingabe fehlerhafte Elemente aufweist. Der Haken als Merkmal eines richtigen Aspektes bedeutet, dass der betroffene Wert für sich betrachtet korrekt ist. Er steht aber im Widerspruch mit mindestens einem anderen, bis dahin als "richtig" ausgewiesenem Wert.

Auch dieser Wert erhält dann einen roten Haken. Der rote Haken tritt also immer mindestens paarweise auf. Abb. 7.4.3-3 zeigt ein Beispiel eines solchen Kontextfehlers. Während sowohl die Trägerstützweite von 8m als auch die Konstruktionshöhe von 10m jeweils einen konstruktiv unbedenklichen Eingabewert darstellen, repräsentiert die Kombination einen entarteten Fachwerkträger.

 Das "rote Warnsignal" hat zwei Einsatzbereiche. Es zeigt an, wenn Eingabeschranken nicht eingehalten werden. Offensichtlich nicht sinnvolle Eingaben, wie z. B. negative Längen oder nicht numerische Zeichen, werden in Form einer direkten Annahmeverweigerung durch die Definition des Feldtyps ausgeschlossen (z. B. nur reelle Zahlen größer Null). Schranken werden so gewählt, dass die Eingabe entweder als bautechnisch falsch erkannt wird (z. B. wenn die gewählte Breite eines Stahlbetonbalkens den korrekten Einbau mindestens eines Bewehrungsstabes und eines Bügels ausschließt) oder die Eingabe zu keinem Ergebnis mehr führen würde. Der zweite Einsatzbereich des roten Warnsignals ist die Anzeige eines zuvor berechneten Ergebnisses, nachdem ein Eingabeparameter verändert wurde. Damit wird also angezeigt, dass das zur Zeit sichtbare Ergebnis kein Resultat der aktuellen Parametereinstellungen ist.

 Der "gelbe Warnhinweis" dient – in Anlehnung an den "roten Warnhinweis" – dem Zweck, Schranken aufzuzeigen. Allerdings hat er einen eher didaktischen Charakter. Er soll die verstärkte Aufmerksamkeit des Anwenders auf sich ziehen. Befindet sich ein Eingabeparameter in einem technisch machbaren Wertebereich und erscheint gleichzeitig in bau- oder tragkonstruktiver Hinsicht als fragwürdig (z. B. Stahlbetonplatten mit $d > 40\text{cm}$), so wird mit Hilfe dieses Symbols dazu aufgefordert, den Wert zu überprüfen. Die Berechnung unter Berücksichtigung eines so gekennzeichneten Wertes ist grundsätzlich zulässig.

 Der "grüne Haken" zeigt im Falle eines Zahleneingabefeldes die korrekt getätigte Eingabe an. Im Falle von reinen Bildauswahlfeldern (z. B. Profilform bei Stahlmodulen) oder Optionsauswahlfeldern ohne Zahleneingabemöglichkeit kann eine fehlerhafte Eingabe seitens des Anwenders ausgeschlossen sein. Der grüne Haken ist dann ständiger Bestandteil der Baumanzeige. Dadurch behält der Nutzer die Gesamtübersicht über die zur Berechnung erforderlichen Angaben.

Der grüne Haken verhält sich grundsätzlich rezeptiv. D.h., nur wenn unterhalb eines Knotens alle Blätter im Baum, mit Ausnahme der durch den gelben Warnhinweis gekennzeichneten, sämtlich durch den grünen Haken bestätigt werden, wird der grüne Haken auch dem Knoten zugewiesen. Nur wenn alle Knoten den grünen Haken zeigen, kann die Berechnung gestartet werden.

7.4.4 Online-Hilfe

Die Online-Hilfe dient zum einen den für Softwareanwendungen typischen Erläuterungen. Dazu gehören die Einführung sowie Erläuterungen zu den Inhalten des Hauptfensters (Werkzeugleiste, Bauelemente, Statuszeile) und zu den Menüeinträgen (Datei, Bauelemente, Ansicht, Fenster, Hilfe). Darüber hinaus ist es aufgrund der im Sinne eines Expertensystems vorgesehenen Vereinfachungen gegenüber einer Analysesoftware für diese Anwendung besonders wichtig, ihre Inhalte transparent zu machen. Dementsprechend wurde als ein Kerninhalt eine modulbezogene Hilfe implementiert. Wird die Hilfe bei geöffnetem Modul angefordert, gelangt der Anwender direkt in den modulabhängigen Dialog [Abb.7.4.4-1]. Hier wurde zunächst ein allgemeiner Abschnitt mit Aussagen zu Inhalten und Anwendungsbereichen des Moduls eingeführt. Die zur Umsetzung verwendeten Berechnungsgrundlagen können abgerufen werden. Die Eingabe wird für jedes Feld separat erläutert. Es werden ggf. Eingabeschränken genannt oder Erläuterungen zum Verständnis der Inhalte gegeben. Diese Inhalte können auch über die Direkt-Hilfe des Menüs abgefragt werden.

Darüber hinaus wurde ein Abschnitt vorgesehen, der über die modulinternen Berechnungsvorgänge und ggf. über Vereinfachungen bzw. Voraussetzungen (z. B. Halterungen gegen seitliches Ausweichen) zur Anwendung informiert. Dadurch erhält der Anwender die Möglichkeit, die Anwendbarkeit der Ergebnisse auf die von ihm angestrebte Entwurfslösung zu bewerten. Die Ausgabefelder werden wiederum in einer separaten Maske erläutert.

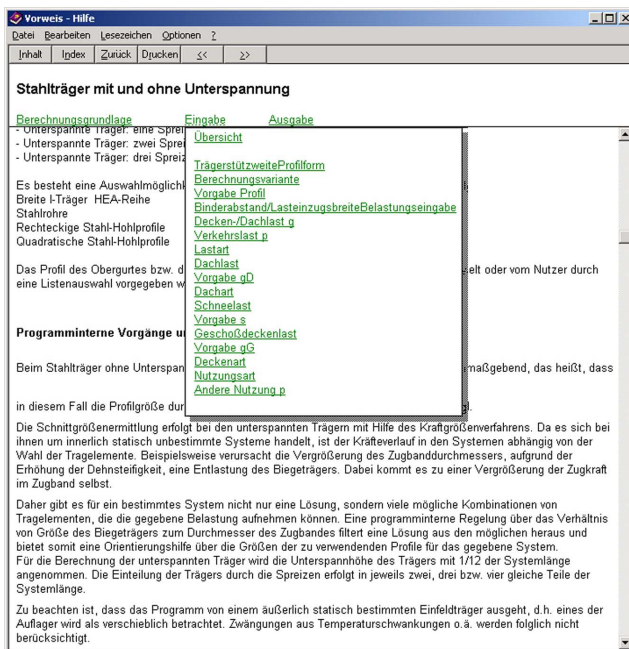


Abb. 7.4.4-1 Online-Hilfe-Dialog

7.4.5 Die Kommunikation betreffende Entscheidungen bezüglich der Regelbasis

Im Kapitel 6.2 wurden die Ziele der Vordimensionierungssoftware VORWEIS vorgestellt. Eine der vorrangigen Prämissen des Werkzeuges ist eine minimierte Eingabe. Im Sinne eines Expertensystems werden möglichst viele vertretbare Entscheidungen seitens der Anwendung vorweggenommen. Demzufolge sind die Kommunikation betreffende Entscheidungen bezüglich der verwendeten Regelbasen der Module zu treffen. Deren Wesen soll im Folgenden verdeutlicht werden.

Die Module sollen Bauteilabmessungen liefern, die sich im Rahmen der Genehmigungsplanung (Statische Berechnung) möglichst bestätigen und ggf. optimieren lassen. Aus diesem Grunde wurde in den Modulen, deren Elemente aus dem Werkstoff Holz vorgesehen sind, sowie im Modul der häufig sehr schlanken Betonwände die Option implementiert, Brandschutzanforderungen zu berücksichtigen. Bei Stahlkonstruktionen ist dies nicht vorgesehen, da diese bezüglich der Brandschutzanforderungen nicht dadurch ertüchtigt werden, dass die statisch konstruktiven Querschnittsabmessungen erhöht werden. Neben den zur Erfüllung der Brandschutzanforderungen F30 und F60 [Gassner 00] verfügbaren Beschichtungen werden Bekleidungen (F30 – F 180) verwendet.

Das Programm ist so ausgerichtet, dass Anwender im Rahmen ihrer Vordimensionierungen auf die Berücksichtigung unterschiedlicher Lastfälle verzichten können. Die VORWEIS-Anwendungen berücksichtigen die Lastfälle und Lastfallkombinationen, die für übliche Einsatzbereiche maßgebend werden. Je nach Modul kann dabei die Anzahl der zu untersuchenden Lastfälle stark variieren. Im Falle der Stahlträger werden beispielsweise alle Nachweise im Lastfall Volllast ($g + p$) geführt. Im Falle der implementierten Holzrahmen z. B. steht hingegen im Vorfeld nicht fest, welche Lastfallkombination aus Eigenlasten, Schneelasten (ganz- oder halbseitig) und Windlasten für die Bemessung der Stiel- und Riegelquerschnitte maßgebend werden. Dennoch werden alle in Frage kommenden Kombinationen intern untersucht. Auslastungen und erforderliche Querschnitte beziehen sich immer auf die maßgebende Kombination. Da die Entscheidungen immer individuell auf ein Modul bezogen werden

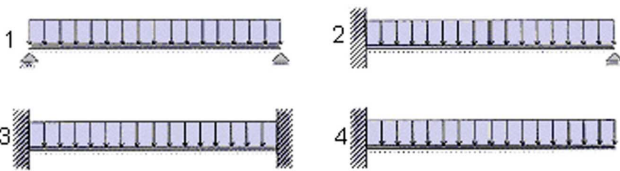


Abb. 7.4.5-1 Grundsysteme von Einfeldträgern unter Gleichstreckenlast

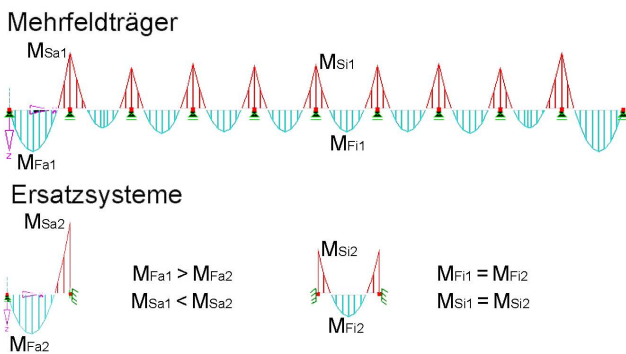


Abb. 7.4.5-2 Momentenverläufe unter Gleichstreckenlast

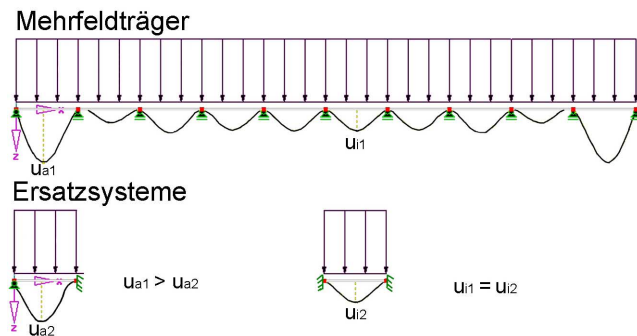


Abb. 7.4.5-3 Verformungen unter Gleichstreckenlast

und in vielen Fällen intuitiv getroffen werden müssen, wird für die weiteren Erläuterungen das FS-Modul (Vollwandträger, Ständerfachwerk und Strebenfachwerk aus Stahl) exemplarisch herangezogen.

Am Anfang der Modulbearbeitung steht die Frage nach der Erfordernis des geplanten Moduls. Ein entscheidendes Kriterium ist die Häufigkeit der Verwendung eines Bauelementes in der gebauten Umwelt. Ein Stahlträger beispielsweise ist ein häufig verwendetes Bauelement. Bezüglich der Fachwerkträger kann festgestellt werden, dass sie zur Überspannung sowohl von ein- als auch von mehrschiffigen Hallen, das am häufigsten verwendete Tragssystem darstellen [Füg].

Das Entwerfen von Tragkonstruktionen zielt als ein wesentliches Qualitätsmerkmal auf die Entwicklung wirtschaftlicher Lösungen ab. Häufig kann die wirtschaftlichste Lösung nicht beurteilt werden, da nicht klar ist, welches Tragsystem erforderlich wird. Der Balken auf zwei Stützungen stellt die einfachste Form eines vorwiegend senkrecht zu seiner Ausrichtung beanspruchten Tragsystems dar. Deshalb führt das FS-Modul als erste von drei Systemvarianten die Prüfung eines Einfeldträgers aus Stahl durch.

Neben der Trägerlänge ist das System des Trägers durch seine Auflagerbedingungen bestimmt. Im FS-Modul kann zwischen vier Grundsystemen (Einfeldträger unter Gleichstreckenlast) gewählt werden [Abb.7.4.5-1]:

1. Beidseitig gelenkige Lagerung
2. Einseitig eingespannte Lagerung
3. Beidseitig eingespannte Lagerung
4. Kragträger

Diese vier Grundsysteme wurden ausgewählt, da sich mit diesen für sehr viele Anwendungsfälle Aussagen bezüglich des Konstruktionsverhaltens treffen lassen. Neben dem Auftreten eines der berücksichtigten Systeme können auch Aussagen über Konstruktionen getroffen werden, die eines oder mehrere dieser Systeme als Teilsystem enthalten. Abbildung 7.4.5-2 zeigt im oberen Teil den Schnittkraftverlauf an einem Durchlaufträger mit gleichen Feldweiten und konstantem Material und Querschnittsverlauf unter Gleichstreckenlast. Solche Durchlaufträger finden im Hochbau vielfach Verwendung (z. B. im Form von Dachpfetten im Hallenbau). Mit Hilfe des FS-Moduls können z. B. für Mehrfeldträger sinnvolle Aussagen getroffen werden. Zur Bemessung ist das Randfeld maßgebend.

Das gezeigte, im VORWEIS-Programm implementierte Ersatzsystem entspricht mit dem maximalen Feldmoment von

$$\max M_{Feld} = \frac{9}{128} q \cdot l^2$$

und dem minimalen Stützmoment von

$$\min M_{Stütz} = -\frac{1}{8} q \cdot l^2$$

genau dem Schnittkraftverlauf im Zweifeldträger. Betrachtet man Durchlaufträger mit gleichen Feldlängen und unterschiedlichen Feldanzahlen, ergeben sich die extremalen Stützmomente für Zwei- (betragsmäßig größtes) und Dreifeldträger (betragsmäßig kleinstes). Bei der Berechnung mit elastischen Schnittgrößen ist hier das Stützmoment für die Bemessungen maßgebend.

Weiterführende Überlegungen könnten dann dazu führen, dass z. B. das Endfeld auf $L_{Rand} \approx 0,85 \cdot L_{Innen}$ verkürzt wird, wodurch eine annähernd gleiche Biegebeanspruchung erreicht wird [Heller 98]. Im deutlich häufigeren Fall werden die Systeme jedoch auf Grund der Nutzungsanforderungen nicht derart angepasst.

Die größte Ungenauigkeit würde in Bezug auf die Tragsicherheitsnachweise entstehen, wenn ein Dreifeldträger ersatzweise zu untersuchen ist. Mit

$$\min M_{Stütz} = -\frac{1}{10} q \cdot l^2$$
 ist das für die Bemessung

maßgebende Stützmoment um 20 % geringer als das des Ersatzsystems. Diese Abweichung erscheint zunächst recht groß. Betrachtet man allerdings die Biegemomente von z. B. Walzprofilen der HE-A Reihe im plastischen Zustand (VORWEIS führt die Nachweise nach dem Verfahren Elastisch-Plastisch), so zeigt sich, dass Abweichungen von einer Nennhöhenweite zu erwarten sind.

Beispiel: HE-A 280 $M_{pl,y,d} = 251 \text{ kNm}$

HE-A 300 $M_{pl,y,d} = 313 \text{ kNm}$

Differenz = 20 %

Eine auf der sicheren Seite liegende Abweichung erscheint in dieser Größenordnung im Rahmen einer Vordimensionierung als vertretbar. Gleichzeitig ist eine solche Ungenauigkeit seitens des Anwenders erkennbar, da er das Ersatzsystem gewählt hat. Sie kann somit in die Überlegungen im Hinblick auf die zu erwartenden Abmessungen einfließen.

Im Hinblick auf die Prüfung der Gebrauchstaug-

lichkeit lägen die Ergebnisse bei entsprechendem Einsatz jedoch nicht auf der sicheren Seite. Das programmintern verwendete Ersatzsystem minimiert, aufgrund der einseitigen Volleinspannung, die Verformungen [Abb. 7.4.5-3]. Die größten Verformungen und damit die größte Abweichung ergibt sich wiederum im Vergleich mit einem Dreifeldträger. Die maximale Verformung am Ersatzsystem beträgt lediglich 79% der Verformung im Randfeld des Dreifeldträgers. Solche Aspekte sind dann seitens der Anwender zu berücksichtigen. Im Eurocode 3 [EC3, Abschnitt 4.2.2] werden zulässige Verformungen nur als Empfehlung angegeben. VORWEIS berücksichtigt für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit $\frac{l}{300}$ für beidseitige Lagerungen und $\frac{l}{150}$ für Kragträger.

Ist der in Abb. 7.4.5-2 gezeigte Mehrfeldträger an den Endauflagern eingespannt, liefert eine Berechnung mit dem Ersatzsystem "beidseitig eingespannter Stab" exakte Ergebnisse. Auch für Innenfelder von Mehrfeldträgern nähern sich die Biegemomente sowie die Verformungen mit zunehmender Feldanzahl immer weiter an ($n \rightarrow \infty: u_{i1} = u_{i2}; M_{Fi1} = M_{Fi2}; M_{Si1} = M_{Si2}$).

Dies sind einfache Fälle, in denen sich komplexere Gesamtsysteme auf implementierte Ersatzsysteme reduzieren lassen. In dieser oder ähnlicher Form lassen sich viele weitere Anwendungsfälle finden. Mit diesen wird ein effizienter Einsatz mit minimierter Eingabe ermöglicht.

Die Bemessungen werden nach dem Verfahren Elastisch-Plastisch [DIN 18800] geführt. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Fachwerkträger in den Knotenpunkten (z. B. durch Dachpfetten) gegen seitliches Ausweichen gesichert sind. Bei der Ermittlung der Stabkräfte wird von einer gelenkigen Verbindung der Knotenpunkte ausgegangen. Die Streben, Ständer und Gurte von Fachwerkträgern sind im allgemeinen jedoch zumindest teilweise eingespannt. Aufgrund dieser Einspannung kann die Knicklänge der Stäbe reduziert werden. Im Eurocode 3 sind z. B. die Knicklängen für Stäbe von Stahlfachwerkträgern wie folgt geregelt [Rondal 92]:

Gurtstäbe – Knicken in der Ebene:

$$l_b = 0,9 \cdot \text{Systemlänge zwischen den Knoten}$$

Gurtstäbe – Knicken senkrecht zur Ebene:

$$l_b = 0,9 \cdot \text{Systemlänge}$$

zwischen den seitlichen Lagerungen

Füllstäbe – Knicken in der Ebene und senkrecht zur Ebene:

$$l_b = 0,75 \cdot \text{Systemlänge zwischen den Knoten}$$

Die sich hieraus ergebenden Vergünstigungen bleiben in der Anwendung unberücksichtigt. Auch in anderen Modulen der VORWEIS-Software werden Vergünstigungen ähnlicher Art i.d.R. nicht berücksichtigt. Dadurch ergeben sich berechnungsimmante "Reserven". Diese sollen ggf. der Statischen Berechnung im Rahmen der Genehmigungsplanung vorbehalten bleiben. Dies ist ein wesentlicher Aspekt der Vordimensionierung und gleichzeitig eine wesentliche Schwierigkeit bei der Entwicklung von VORWEIS. Abgesehen davon, dass solche Aspekte in der Online-Hilfe erläutert werden und somit transparent werden (vgl. Kapitel 7.4.4), können Nutzer diese nicht beeinflussen. Eine analog zu wertende Maßnahme ist die Konvention, im Rahmen der durch VORWEIS vorgenommenen Bemessung, die Stabquerschnitte der einzelnen Konstruktionselemente (Obergurt, Untergurt, Ständer, Streben) in Abhängigkeit ihrer Belastungsverteilung nicht zu optimieren. Ihre Dimensionierung richtet sich nur nach der Stelle der maximalen Beanspruchung. Diese Vorgehensweise ist dem Rahmen des durch das Programm VORWEIS abgesteckten Einsatzbereiches wesentlich zuträglicher, als eine Materialminimierung durchzuführen. In der Ausführung der Fachwerke werden aus fertigungstechnischen Gründen – und damit aus Kostengründen – die Gurte, wenn möglich, durchlaufend aus einem Walzprofil verarbeitet. Die materialoptimierte Verwendung unterschiedlicher Streben ist wahrscheinlicher, kann aber auch nicht vorausgesetzt werden. Die Vordimensionierung soll bei diesen Unwägbarkeiten tendenziell auf der gesicherten Seite der Aussagen bleiben.

Bei der Auswahl im VORWEIS-Modul implementierter Varianten der Fachwerke wurde wiederum nach dem Kriterium der Einsatzhäufigkeit solcher Systeme vorgegangen. Als Grundsysteme können Streben-, Pfosten-, Rauten-, und K-Fachwerke bezeichnet werden. Bevorzugt werden im allgemeinen und vor allem im modernen

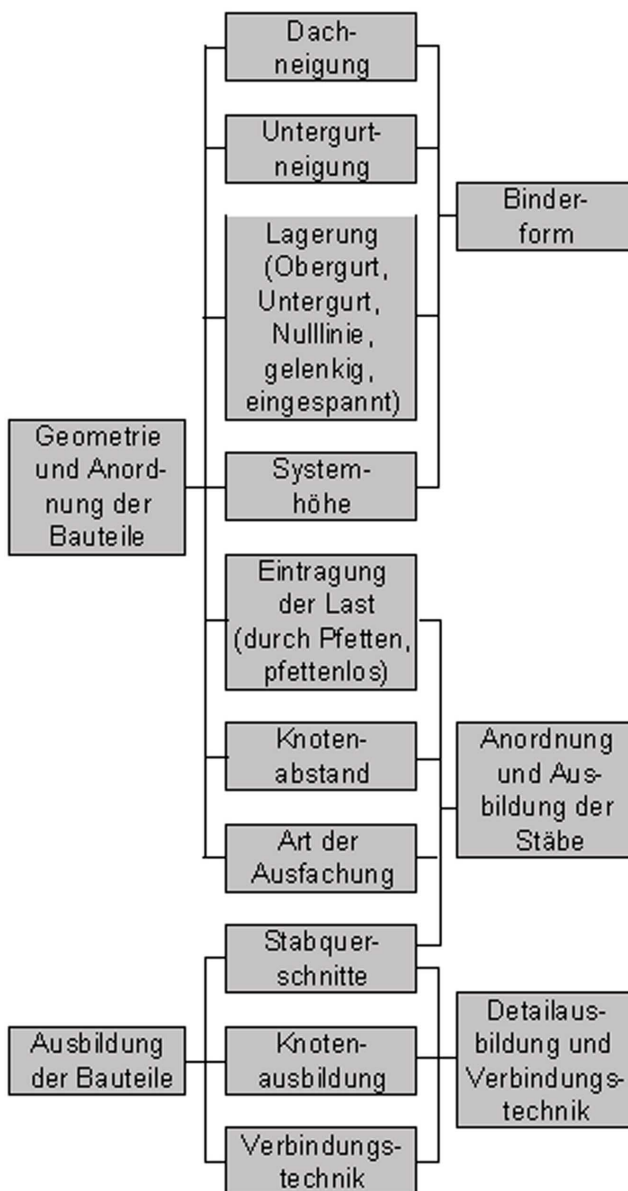


Abb. 7.4.5-4 Einflüsse auf die optimale Gestaltung von Fachwerkträgern [nach Füg]

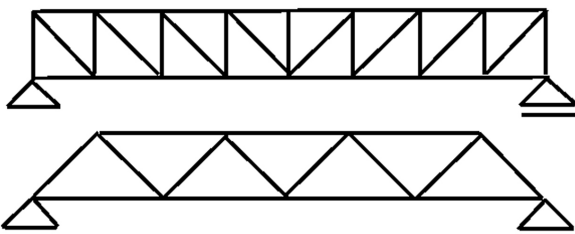


Abb. 7.4.5-5 Parallelgurtige Fachwerkträger

Architektur Stahlbau die Streben- und Pfostenfachwerke. Dementsprechend wurden diese Systeme im VORWEIS-Modul umgesetzt. Die ausgewählten Systeme werden ihrerseits so ausgebildet, dass systemimmanente Vorteile bei deren Verwendung Berücksichtigung finden. So wird ein didaktischer Anspruch seitens der Anwendung geltend gemacht. Dieser Aspekt wird in der ausgeführten Form des Ständerfachwerks deutlich. Es wurde so ausgewählt, dass für jede wählbare Lagerung die kürzeren Ständer als Druckstäbe und die längeren Streben als Zugstäbe verwendet werden. Somit werden wirtschaftlichere Ergebnisse erzielt.

Füg zeigt mit dem in Abb. 7.4.5-4 dargestellten Diagramm Einflüsse auf die optimale Gestaltung von Fachwerkträgern auf. Dabei wird klar, dass je nach Entwurfsabsicht u. U. sehr viele Einflüsse über Abschätzungen die „richtige“ Berücksichtigung im VORWEIS-Modul erfahren müssen. Dieser wesentliche Unterschied zu üblicher Nachweissoftware wird zur Erzielung der schnellen Aussagefähigkeit der Vordimensionierungssoftware bewusst kalkuliert.

Als Binderformen der beiden Fachwerkträgervarianten im VORWEIS wurden die gezeigten Grundformen mit geraden Gurten berücksichtigt [Abb. 7.4.5-5]. Die Satteldach-Trapezformen [Abb. 7.4.5-6] werden als Abwandlungen der implementierten Grundformen häufig für Dachtragwerke verwendet. Damit die Dächer u. a. gut zu entwässern sind, werden Gurtneigungen von 2% bis ca. 10% bevorzugt. Untergurte werden in den meisten Fällen horizontal ausgeführt. Im Rahmen der Vordimensionierung können bei den gezeigten Systemen die Konstruktionshöhen in Bindermitte angegeben werden. Diese sind für die Wahl der erforderlichen Gurte maßgebend. Somit können auch in diesen Fällen sinnvolle, genäherte Aussagen getroffen werden. Untersuchungen zur optimalen Systemhöhe bei minimalem Stahleinsatz ergaben bei parallelgurtigen und trapezförmigen Bindern Werte zwischen $\frac{1}{6}$ und $\frac{1}{7}$ [Füg]. Würde der Stahlverbrauch als ausschließliches Kriterium in die Regelung der Anwendung einfließen, müssten diese Werte in Form von Standardeinstellungen Berücksichtigung finden. Als vorteilhaft werden jedoch in der Bindermitte Höhen von $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$ der Stützweite angegeben. Für Durchlaufträger können die an-

gegebenen Werte um 15% bis 20% verringert werden; d.h., $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{15}$ der Stützweite können als günstige Höhe angesehen werden.

Wie gezeigt, ist es durchaus vorgesehen, Durchlaufträger näherungsweise durch ihre Ersatzsysteme abzubilden. Anwendern, die sich der wirtschaftlichen Proportionsverhältnisse nicht bewusst sind, werden Hilfestellungen geboten. So liegt der voreingestellte, aber veränderbare Standardwert für die Konstruktionshöhe bei $\frac{L}{12}$.

Eine Reihe von Einflussfaktoren ergeben sich aus nutzungstechnischen Ansprüchen (lichte Raumhöhen, technische Gebäudeausrüstung etc.). Deshalb sieht das VORWEIS-Modul optional die Angabe der Trägerhöhe durch die Eingabe vor. Dabei wird nicht, wie in Nachweisprogrammen üblich, die Statische Höhe vorgegeben. Statt dessen wird die Gesamthöhe eingefordert. Die Gesamthöhe ist für Entwurfsverfasser die nutzungsabhängig wichtige Kenngröße, die unter Umständen fixiert werden muss. Würde die Statische Höhe eingefordert, müssten sich Anwender iterativ – in mehreren Berechnungsgängen – auf die gewünschte Gesamthöhe zubewegen.

Im Diagramm der Gestaltungseinflüsse [Abb.7.4.5-4] gibt Füg für die Lagerungsarten Obergurt, Untergurt, Nulllinie, gelenkig und eingespannt an. Gelenkige bzw. eingespannte Lagerungen werden durch die Eingabe definiert. Eine Auflagerung in Höhe der Nulllinie des Binders ist mit einem erhöhten konstruktiven Aufwand verbunden. Sie ist deshalb eher unüblich. Im VORWEIS-Modul wird die sogenannte Untergurtlagerung (entsprechend Abb. 7.4.5-5) berücksichtigt. In der Praxis kommen auch Obergurtlagerungen häufig vor. Diese erleichtern die Einleitung von Horizontalkräften in die Ebene einer aussteifenden Dachscheibe. Das VORWEIS-Modul geht trotz der Untergurtlagerung von dem Vorhandensein einer solchen Aussteifungsebene aus. Konkret heißt dies, dass die Fachwerke als in ihren Knotenpunkten seitlich unverschieblich angesehen werden.

Die Eintragung der Last erfolgt pfettenlos auf die Obergurte. Für diese werden dementsprechend alle Spannungs- und Stabilitätsprobleme in der Ebene und senkrecht dazu berücksichtigt. Eine weitere Einflussgröße ist der Knotenabstand.

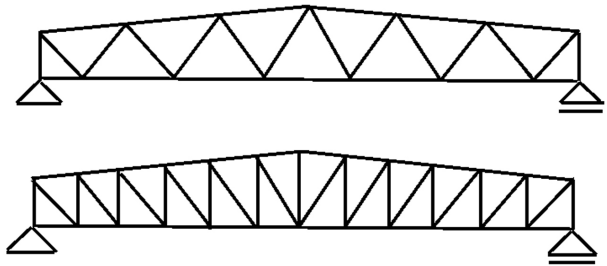


Abb. 7.4.5-6 Fachwerkträger mit Satteldach-Trapezform

Da Knotenverbindungen aufwendig sind, sollte die Stab- und Knotenanzahl gering gehalten werden. Demgegenüber steht die Forderung nach möglichst kurzen Druckstäben (z. B. im Obergurt). Je nach Art der verwendeten Querschnittsformen und nach Art der Knotengestaltung (Anschlusswinkel, Anschluss mit oder ohne Knotenblech etc.) verlagert sich die optimierte Form zu Gunsten der einen oder der anderen Prämisse. Im VORWEIS-Modul kann der Knotenabstand durch Angabe der Anzahl der Fachwerkfelder frei gewählt werden. Als Hilfestellung wird ein von der gewählten Lagerung abhängiger voreingestellter Startwert angegeben. Für den Träger auf zwei Stützungen wurde hier der Wert $n = 12$ gewählt. In Kombination mit dem Standardwert der Gesamthöhe $d = l/12$ ergeben sich somit Felder, die unter annähernd 45° geneigt sind.

Auf der Basis solcher Vorüberlegungen werden die Module, wie sie im folgenden Abschnitt beschrieben werden, entworfen.

7.4.6 Konzeption der VORWEIS – Masken

Die Konzeption der Masken im VORWEIS-Programm richtet sich sowohl in der Bedienung als auch in ihrer Erscheinung nach den Design-standards des Betriebssystems Microsoft Windows. Dies äußert sich z. B. in der Übernahme von Icons, Farben für Buttons und die Pop Up-Erläuterungen zu den Buttons wie in den Tastaturbelegungen (F1 = Hilfe etc.).

Nutzer, die bereits andere Anwendungen, die für dieses Betriebssystem erstellt wurden, kennen, können das Programm ohne Einweisung bedienen. Die Masken sind in die folgenden fünf Bereiche gegliedert [Abb. 7.4.6-1]:

1. Menüleiste: Die komplette Funktionalität der Programmsteuerung ist hier implementiert. Auch eine Steuerung ohne den Mauszeiger ist möglich.
2. Funktionsleiste (Erläuterung siehe Kapitel 7.4.2)
3. Bauelementeleiste (Erläuterung siehe Kapitel 7.4.1)
4. Navigationsbaum (Erläuterung siehe Kapitel 7.4.3)
5. Interaktionsbereich

Da auf die Bereiche 1-4 bereits ausführlich eingegangen wurde, soll das besondere Augenmerk hier auf dem Interaktionsbereich liegen. Dieser Bereich unterliegt in seiner Erscheinung und Funktionalität in vollem Umfang den sich aus den Anforderungen an das Modul ergebenden Bedingungen. Dennoch ergeben sich Konventionen, die auf alle Module anwendbar sind. Jede Konstruktion ist bestimmt durch die Angabe ihres Systems sowie der Querschnitts- und Materialkennwerte.

Das Material ist durch die Modulauswahl bereits festgelegt (Abb. 7.4.6-1 zeigt das Modul FS = Stahlträger und Stahlfachwerkträger). Diese Festlegung wird aus anwendungstechnischen Überlegungen heraus getroffen. In vielen Fällen lässt sich das Material von dem betrachteten System nicht sinnvoll entkoppeln. Fachwerkträger beispielsweise lassen sich aus Stahlbeton im Allgemeinen nicht wirtschaftlich erstellen und sind deshalb unüblich. Fachwerkträger aus Holz lassen sich unter Berücksichtigung der wiederum materialspezifischen Eigenschaften wirtschaftlich erstellen. Hierbei kann der Umstand berücksichtigt werden, dass bei Holzfachwerken weniger das Stielknicken (wie bei Stahlfachwerken) als

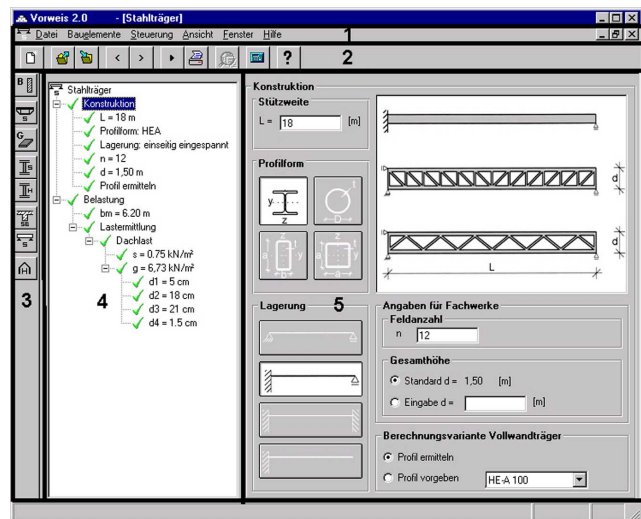


Abb.7.4.6-1 Abschnitte der VORWEIS – Konstruktionsmaske

vielmehr ein mit hohem Aufwand zu realisierender Zugkraftanschluss für deren wirtschaftliche Erstellung entscheidend ist. Als Konstruktionsvariante 1 (Ständerfachwerk) könnte dann ein System gewählt werden, bei dem die Druckstäbe diagonal, also lang, und die Zugstäbe vertikal, also kurz, ausgebildet werden. Da in ähnlicher Weise viele sinnvoll einsetzbare Konstruktionssysteme materialabhängig sind, ist die Bindung an ein Modul geboten.

Die Materialgüte ist dagegen in bestimmten Grenzen nicht systemabhängig. Sie wird in der Regel in Abhängigkeit der gewünschten Querschnittsabmessungen festgelegt. So ist z. B. im Holzbau bei vergleichsweise großen Querschnittsabmessungen der Einsatz von Brett-schichtholz geboten. Deshalb werden die Materialgüten im VORWEIS-Programm als Konstruktionsvarianten betrachtet. Für die häufig eingesetzten Materialgüten werden die Dimensionierungen durchgeführt und in der Ergebnismaske angezeigt.

Das Statische System wird modulintern maßgeblich vorgegeben.

Die Querschnittsangaben sind das wesentliche Ergebnis einer Bauteildimensionierung. Sie sind deshalb für die Regelanwendung Teil des Ergebnisses. Zur Bestimmung der erforderlichen Querschnitte müssen die sich aus der Konstruktionseigenlast und den äußeren Lasten ergebenden Belastungsgrößen bekannt sein. In Bezug auf die äußere Last heißt dies, dass sie ein Element der Nutzerangaben ist.

Da diese mechanischen Zusammenhänge für jedes Bauteil gelten, lässt sich hieraus eine klare Gliederung für die Masken aller Bauteile ableiten.

Zunächst wird nach der Modulauswahl eine Titelmasken geöffnet. Die folgende Maske fordert alle Angaben zur Konstruktion ein. Dabei wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit und Einfachheit die Konvention eingeführt, mit genau einem Dialogfeld alle Angaben zur Konstruktion vorzugeben.

Auf den folgenden Masken werden Angaben zur äußeren Belastung eingefordert. Selbstverständlich wäre es auch hier wünschenswert, mit nur einem Dialogfeld arbeiten zu können. Da dann aber eine große Anzahl von nun implementierten Anwendungsmöglichkeiten (siehe Kapitel 7.4.9) nicht hätte realisiert werden können, wurde darauf verzichtet. Im Anschluss an die in diesen Dialogfeldern geforderten An-

gaben kann die Berechnung gestartet werden. Die Ergebnisse werden wiederum in einer Maske dargestellt.

Exemplarisch wird im Folgenden gezeigt, wie alle Programmmodule, die einzelne Bauteile behandeln, strukturiert sind.

7.4.7 Titelmáske

Im Anschluss an den Aufruf eines Moduls erscheint zunächst eine Titelmáske. Hier wird in Form einer kurzen textlichen Übersicht erläutert, für welche Bauelemente und unter welchen wesentlichen Randbedingungen das Modul verwendet werden kann.

7.4.8 Konstruktionsangaben

Im Hochbau häufig auftretende Systeme werden modulintern vorgegeben. So entfällt ein Großteil der üblicherweise erforderlichen Eingabe. Am Beispiel des Moduls "Stahlträger und Stahlfachwerkträger (FS-Modul)" [Abb.7.4.8-1] heißt das, die drei durch das Modul parallel untersuchten Konstruktionsvarianten werden strukturell durch das Modul festgelegt (vgl. Kapitel 7.4.5). Die Strukturen werden in einer Übersichtsgrafik dargestellt. Diese Grafik zeigt weder die reinen Statistischen Systeme noch eine Konstruktionszeichnung. Elemente beider Darstellungsarten werden stattdessen so verknüpft, dass der Anwender einen maximalen Informationsgehalt in Bezug auf die von ihm zu tätigen Angaben erhält. Je nach Anforderung durch das entsprechende Modul kann dieses Ziel in unterschiedlichen Darstellungsarten erreicht werden. So werden beispielsweise im Modul "Betonwände" (BW-Modul) dreidimensionale Konstruktionsdarstellungen verwendet [vgl. Abb. 7.6.8-1]. Diese eignen sich besonders gut, die vorhandenen Linienlagerungen (zwei-, drei- oder vierseitig) sowie die Frage nach Innen- oder Außenwand zu differenzieren. Im FS-Modul wird die Lagerungsbedingung im Feld "Lagerung" [Abb.7.4.8-1] festgelegt. Die Info-Grafik in der Abb. rechts oben verhält sich dynamisch. Der angegebene Lagerungszustand wird in seiner Auswirkung auf jede der verfügbaren Konstruktionsvarianten direkt angezeigt. Der gezeigte einseitig eingespannte Stab wird also an der Seite der Einspannung in Form zweier horizontal unverschieblicher, gelenkiger Lager

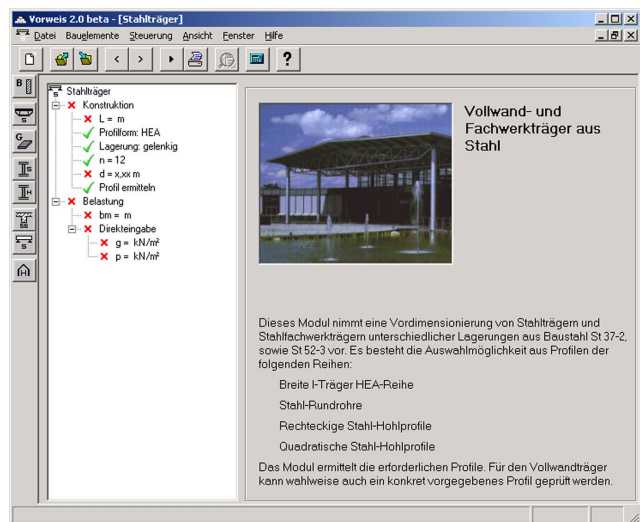


Abb. 7.4.7-1 Titelmáske des Moduls Stahlträger und Stahlfachwerkträger

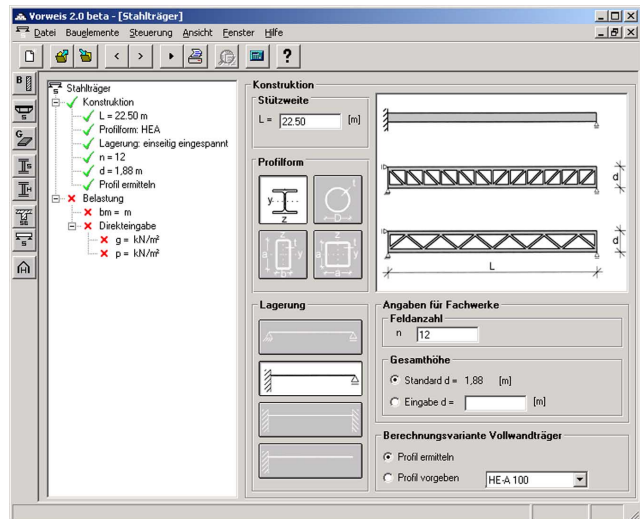


Abb.7.4.8-1 Konstruktionseingabemaske des Moduls Stahlträger und Stahlfachwerkträger

modelliert. Zur eindeutigen Darstellung eignen sich die standardisierten Symbole mechanischer Halterungsbedingungen. Das hohe Maß an Symbolik und grafischer Darstellung ist zum einen vorteilhaft, da sprachliche Verständigung die abstraktere, visuelle Kommunikation die direktere Form der Verständigung in Bezug auf die menschliche Wahrnehmungsfähigkeit ist. Das menschliche Gehirn denkt in erster Linie "grafisch". Worte werden unbewusst in visuelle Eindrücke übersetzt, die erst ein Verstehen ermöglichen [Funk 83]. Demzufolge verringert die weitgehend grafische Beschreibung die zur Erkennung eines Sachverhaltes erforderliche Zeit. Dementsprechend werden auch Schaltflächen nach Möglichkeit direkt mit Grafiken belegt (Profilform, Lagerung). Die vorwiegend grafische Information erleichtert zum anderen, wie auch die Symbole des Navigationsbaums, eine Übersetzung der Anwendung für den Einsatz außerhalb des deutschsprachigen Raumes.

Zahleneingabefelder wurden auf ein unverzichtbares Minimum reduziert. Können Werte in Abhängigkeit anderer Werte oder, weil sie in vielen Fällen Verwendung finden, direkt vorgeschlagen werden, so unterstützt eine Optionsauswahl die Eingabe mit einem Standardwert. Der Maskenausschnitt "Angaben für Fachwerke" ist komplett mit Vorwerten belegt. Es kann einem Anwender, der sich nur für die Ergebnisse eines vollwandigen Stahlträgers interessiert, nicht zugemutet werden, Angaben zu tätigen, die nur für die Fachwerke relevant sind. Sind die Fachwerke jedoch von Relevanz, können die Vorwerte Hilfestellungen für die Wahl der noch nicht festgelegten Konstruktionsvarianten bieten. Wie bereits im Kapitel 7.4.5 erwähnt, wird die Trägerhöhe d mit $\frac{1}{12}$ der eingetragenen Stützweite

vorgeschlagen. Zur Realisierung solcher bedingten Standardwerte werden eigene, vom eigentlichen Berechnungsablauf unabhängige Routinen verwendet. Diese sind erforderlich, um die Berechnungen vor der eigentlichen Programmlaufzeit, also vor dem Starten der Berechnung, immer aktuell im Dialogfeld anzeigen zu können. Die Voreinstellung $n = 12$ Felder führt, wenn die Vorberechnung gewählt wird, zu Diagonalstäben unter annähernd 45° (der exakte Wert liegt darunter, da die Systemachsen

einen geringeren Abstand als $\frac{1}{12}$ haben). Über die Optionsauswahl "Gesamthöhe" kann die Voreinstellung geändert werden.

Ein weiteres, für die benannten Ziele der Anwendung sehr wesentliches Merkmal von VORWEIS liegt in der Tatsache, dass Querschnittswerte nicht durch die Anwender angegeben werden müssen. Im betrachteten Beispiel ist lediglich eine Profilform aus z. Z. vier Walzprofilarten zu wählen. Diese Profilreihen wurden ausgewählt, da sie sich für die Verwendung in dem durch das Modul behandelten Fall besonders eignen. So wurde z. B. in der jetzigen, frühen Entwicklungsstufe als I-Träger-Variante die HEA-Reihe [DIN 1025] verwendet. Diese mittelbreiten I-Träger liefern insbesondere für die Beanspruchungskombination Druck und Biegung im allgemeinen wirtschaftliche Querschnitte. Für einen konkreten Anwendungsfall kann die für das Tragwerk zur Verfügung stehende (oder zum Teil auch für Installationen) vorzusehende Bauhöhe festgelegt sein. Für den Vollwandträger kann in dem Maskenabschnitt "Berechnungsvariante Vollwandträger" die Option "Profil vorgeben" gewählt werden. Zusammen mit der Wahlmöglichkeit der Fachwerkträgerhöhen können so direkte Vergleiche in Bezug auf die Mengen und auch in Bezug auf die Gestaltung vorgenommen werden. Die Option, ein Profil oder eine Querschnittsabmessung vorzugeben, wurde in allen Modulen vorgesehen. Die bei den Zahleneingabefeldern verwendeten Einheiten entsprechen den in der Bauplanung üblichen Größenordnungen (Stützweite [m], Querschnittsbreiten Holz [cm], Stahl [mm], etc.) und werden innerhalb der Berechnung angeglichen. Die Masken ordnen sich auch bezüglich dieses Aspektes den Bedürfnissen der Anwender unter.

7.4.9 Belastungsangaben

Eine besondere Schwierigkeit bereitet Studierenden, vor allem im Grundstudium, erfahrungsgemäß das Abschätzen von Belastungen. Auch Architekten in der beruflichen Praxis erstellen in der Regel keine Lastzusammenstellungen. Dementsprechend sind in vielen Fällen auch keine Erfahrungswerte zur Abschätzung von Belastungen vorhanden. Sind die Lasten dennoch bekannt, können sie in dem entsprechenden, hier nicht dargestellten Dialogfeld getrennt für g (Ständige Auflasten) und p (Verkehrslasten) angegeben werden. Zur Unterscheidung der gewünschten Option wird der eigentlichen Belastungseingabe eine Auswahlmaske vorgeschaltet

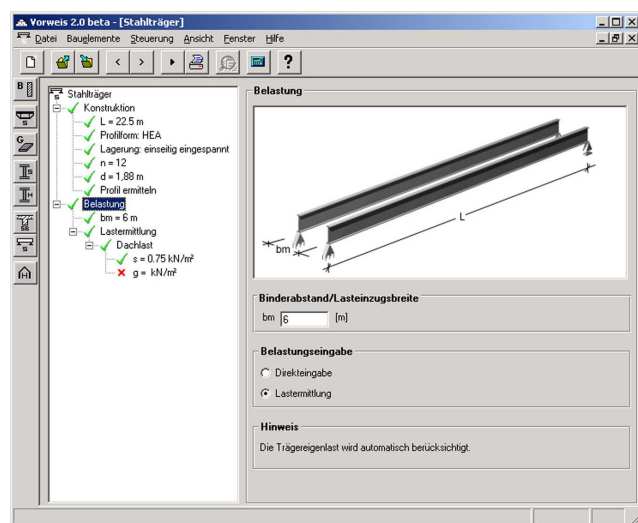


Abb.7.4.9-1 Maske des Moduls Stahlträger und Stahlfachwerkträger zur Belastungseingabeoption

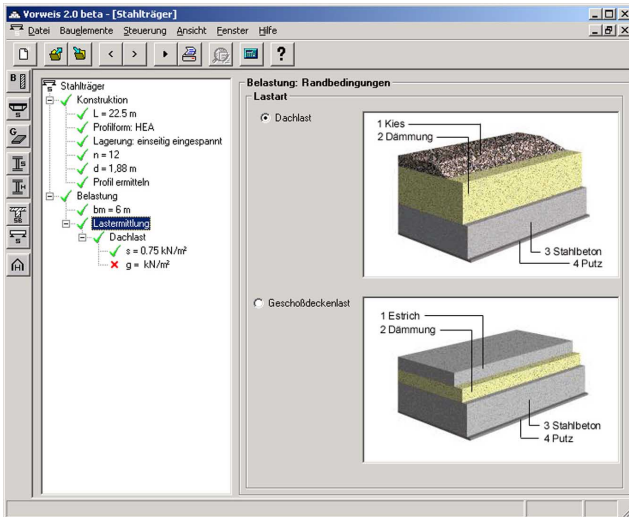


Abb. 7.4.9-2 Auswahl der Ständigen Auflast

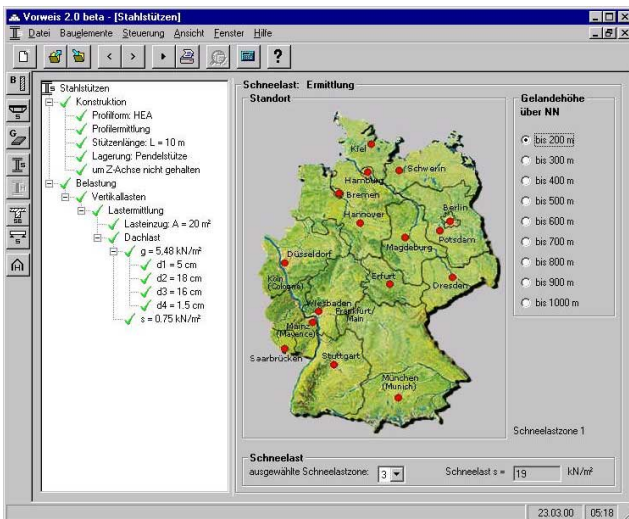


Abb. 7.4.9-3 Verkehrslastermittlung durch VORWEIS

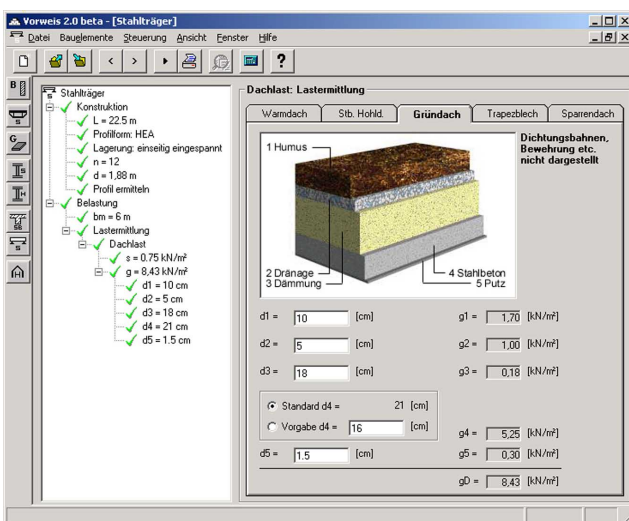


Abb. 7.4.9-4 Eigenlastermittlung durch VORWEIS

[Abb. 7.4.9.1]. Neben der Angabe zur Belastungsoption (Direkteingabe oder Lastermittlung) wird die Angabe einer Lasteinzugsbreite eingefordert. Somit können alle nachfolgenden Angaben auf einen Quadratmeter Dach- bzw. Deckenfläche bezogen werden. Anwender werden an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Konstruktionseigenlasten modulintern berücksichtigt werden. Dies ist, abgesehen davon, dass es wünschenswert ist, auch unerlässlich. Da die dimensionierte Konstruktion im VORWEIS der wesentliche Teil des Ergebnisses ist, kann die Konstruktionseigenlast erst im Anschluss an die Berechnungen angegeben werden. Die Eigenlast wird bei jeder internen Iteration der Berechnung ermittelt und entsprechend berücksichtigt.

Zur Belastungsermittlung besteht zunächst eine Auswahlmöglichkeit zur Unterscheidung, ob der zu dimensionierende Träger durch ein Dach oder durch eine Geschosdecke beansprucht wird [Abb. 7.4.9-2]. In Abhängigkeit davon werden in einer nachfolgenden Maske (nicht abgebildet) Standardwerte für Schneelasten oder Verkehrslasten durch Personen angeboten, die über eine Optionsauswahl wiederum angepasst werden können. In der vorliegenden Programmversion wird der Standardwert für Schneelasten mit $0,75 \text{ kN/m}^2$ vorgeschlagen. Dies ist der, auf einem Großteil der Flächen innerhalb der Bundesrepublik Deutschland, anzusetzende Wert. Für den Fall der direkten Verkehrslastangabe wurden die Eingabeschränken zulässiger Werte deutlich höher gelegt, als dies für übliche Schneelasten erforderlich wäre. Es wird damit die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, andere als die vorgesehenen Verkehrslasten zu simulieren. Die Optionsauswahl wird, um auch andere Bereiche sicher erfassen zu können, durch die dargestellte Maske ersetzt werden [Abb. 7.4.9-3]. Die für Visual Basic verfügbare Anwendung "life map" ermöglicht die Belegung der gezeigten Karte mit Wertebereichen. Hiermit kann die Schneelastzone per Mausklick gewählt werden.

Zur Ermittlung der Ständigen Lasten wählt der Nutzer, wenn z. B. Dachlasten zu berücksichtigen sind, aus einer Reihe üblicher Dachaufbauten eine Variante aus [Abb. 7.4.9-4]. Wird eine Geschosdeckenlast gewählt, werden entsprechend die Aufbauten verschiedener Geschosdecken zur Auswahl gestellt. Die implementierten Aufbauten wurden wiederum so ausgewählt, dass sie einen Großteil der im Hochbau auftretenden Fälle abdecken. Über die direkte

Lasteingabe kann natürlich auch jede andere Last berücksichtigt werden. Wird ein Aufbau gewählt, gibt das Modul als Voreinstellung für diesen baukonstruktiv sinnvolle Schichtdicken an, die wiederum veränderbar sind. Durch Eingabe des Wertes 0 kann eine Schicht "herausgenommen" werden. Das Modul aktualisiert bei jeder Änderung die komplette Lastzusammenstellung durch vorgeschaltete Berechnungsroutinen (s.o.). Aufgrund der zuvor geforderten Eingabe des Binderabstandes können u.a. beim dargestellten Beispiel des Gründachaufbaus Rückschlüsse auf die erforderliche Plattendicke [Abb. 7.4.9-4 (4)] geschlossen werden. Dementsprechend wird für diese Schichtdicke ein Standardwert angeboten und in Abhängigkeit des Binderabstandes aktualisiert. In Analogie zum gezeigten Beispiel werden, mit entsprechenden Anpassungen, für alle Module Unterstützungen zur Lastermittlung angeboten. So ist z. B. bei Stahlbetonplattenbalken die Stahlbetonplatte Teil der Konstruktion und kann dementsprechend bei den Belastungsangaben nicht mehr angepasst werden.

In einigen Modulen sind nicht nur vertikal wirkende Lasten, sondern auch Horizontallastanteile zu berücksichtigen. Liegt ein gewählter Fachwerkträger beispielsweise auf einer Fassadenstütze auf, würde diese vertikal durch den Fachwerkträger und horizontal durch Wind beansprucht. Die Vertikallast würde in diesem Fall direkt vorgegeben werden. Die Horizontallasten können optional wiederum ermittelt werden. Dazu ist zunächst die Belastungsrichtung auf das zu dimensionierende Bauteil vorzugeben [Abb. 7.4.9-5]. In einem weiteren Dialogfeld werden lediglich geometrische Angaben zur Einbausituation des Bauelementes vorgenommen [Abb. 7.4.9-6]. Das Modul nimmt dann die Lastungsermittlung vor. Nach Beendigung der Belastungseingabe wird die Berechnung gestartet.

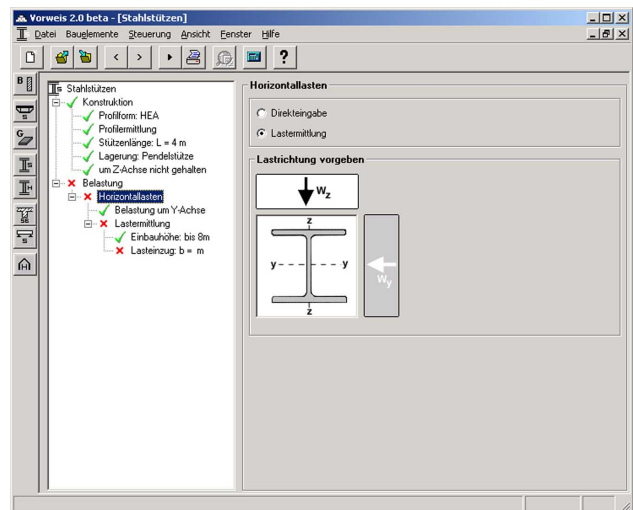


Abb. 7.4.9-5 Vorgabe der Belastungsrichtung

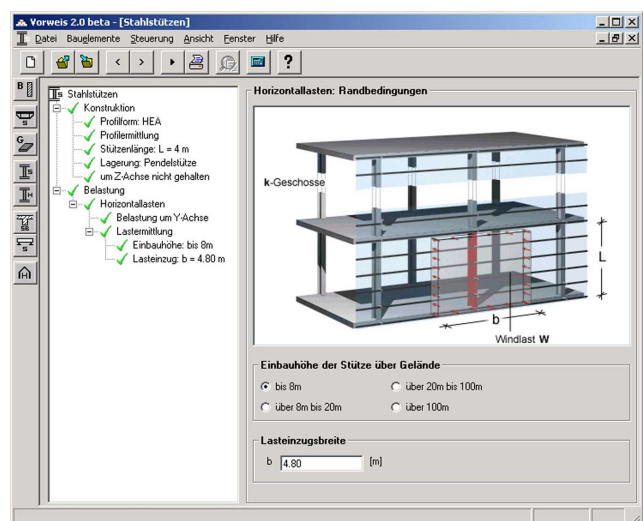


Abb. 7.4.9-6 Angabe der Windlast

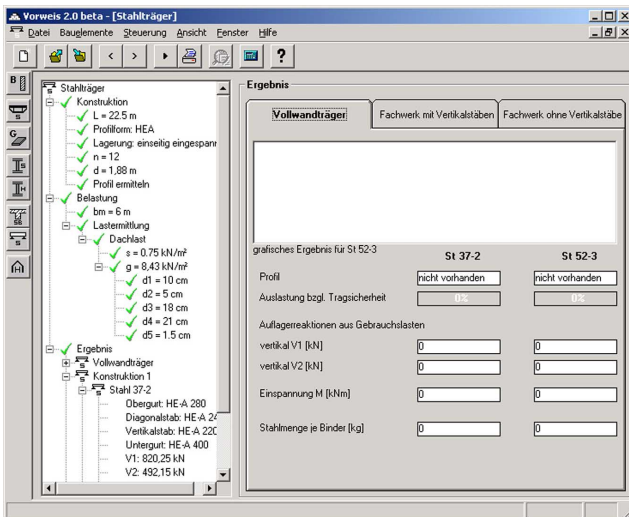


Abb. 7.4.10-1 Ergebnismaske Vollwandträger

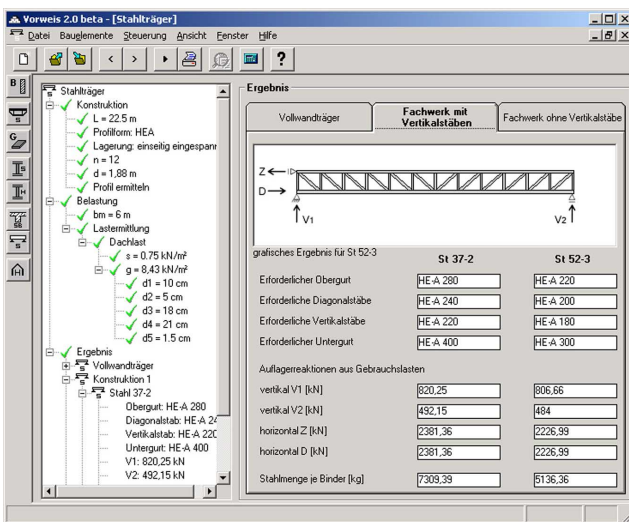


Abb. 7.4.10-2 Ergebnismaske Ständerfachwerk

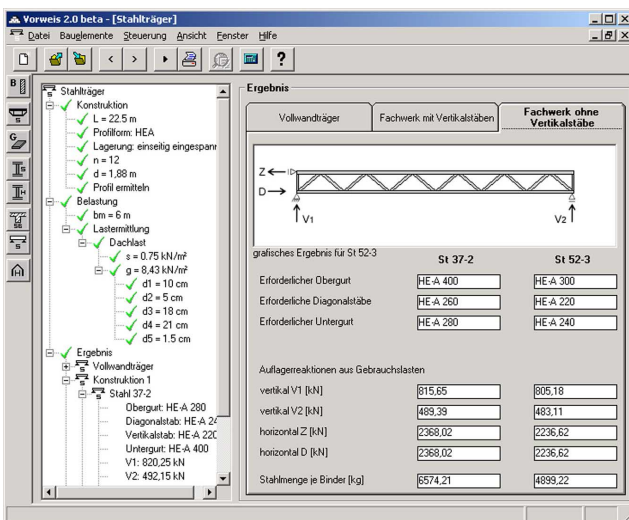


Abb. 7.4.10-3 Ergebnismaske Strebenfachwerk

7.4.10 Ergebnisdarstellung

Die Ausgabe erfolgt für System- und Materialvarianten. Die Anwender erhalten somit die Möglichkeit, die direkten Auswirkungen unterschiedlicher Konstruktionsvarianten und Materialqualitäten auf die Querschnittabmessungen und den Materialverbrauch zu vergleichen. Dadurch wird seitens der Anwendung eine direkte Entwurfsunterstützung angeboten.

Die Abbildungen 7.4.10-1 bis 7.4.10-3 zeigen die Ausgabemaske des Moduls "Stahlträger und Stahlfachwerkträger" (FS-Modul). Die Berechnung kann auch über die Anwahl der Druckerfunktion gestartet werden. Die Ergebnisse werden dann an den Drucker ausgeleitet. Zwischen den drei dimensionierten Konstruktionsvarianten kann über die Karteikartenauswahl gewechselt werden. Alle Ergebnisse werden zusätzlich im Navigationsbaum angezeigt. Für das in den vorhergehenden Abschnitten gewählte und durchgängig gezeigte Eingabebeispiel kann kein Walzprofilträger angeboten werden [Abb. 7.4.10-1]. Auf der Suche nach geeigneten Entwurfslösungen für eine vorhandene Bauaufgabe ist dies eine wichtige Aussage. Es kann natürlich ein zu konstruierender Vollwandträger verwendet werden. Es ist jedoch sinnvoll, sich mit aufgelösten Trägern zu beschäftigen. Zunächst werden jedoch, unabhängig vom vorhandenen Ergebnis, die Elemente der Ausgabemaske erläutert. Für jedes System wird das Ergebnis für die zwei üblichen Baustahlsorten St37-2 und St52-3 angegeben. Als wichtigstes Element der Ausgabe wird das erforderliche Trägerprofil angegeben. In der Maske des Vollwandträgers wird auch die Auslastung bezüglich des maßgebenden Tragsicherheitsnachweises angegeben. Zum einen ist dies erforderlich, da optional ein zu prüfendes Profil vorgegeben werden konnte. Zum anderen kann ein ermitteltes Profil, aufgrund der implementierten Verformungsbeschränkung auf $\frac{l}{300}$, größer angegeben werden, als dies aufgrund der Auslastungen bezüglich der Tragsicherheit erforderlich wäre. Für Anwender wird dieser Zusammenhang transparent. Es besteht somit, wenn andere Maßnahmen (z. B. Überhöhungen) den Verformungsnachweis entkräften sollen, die Möglichkeit, über die Profildirektvorgabe die Tragsicherheit voll auszunutzen. Das Ausgabefeld der Auslastung wird im Bereich bis 100% mit einem grünen Prozentbalken

hinterlegt. Bei Auslastungen über 100% wird das Feld rot hinterlegt. Das Farbkonzept lehnt sich damit an allgemeine Symbolstandards (rot = Warnsignal, grün = unbedenklich; vgl. Ampel etc.) und an die Symbolik im Navigationsbaum an.

Für die Fachwerkträgervarianten werden in Bauteilgruppen alle erforderlichen Profile angegeben. Die Ergebnisgrafiken sind dynamisch. D.h., die Ergebnisse werden in einem dem Ausgabefeld angepassten Maßstab skaliert und unverzerrt dargestellt. Sie unterstützen den Planer so bei der Beurteilung der Gestaltung der Konstruktion.

Neben Bauteilabmessungen werden die Auflagerkräfte als Gebrauchslasten angegeben. Damit können angrenzende Bauteile über die Belastungsdirekteingabe des entsprechenden Moduls dimensioniert werden.

Als weiteres Entscheidungskriterium für die im Entwurf praktisch immer auftretende Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer Lösung werden die Massen der dimensionierten Bauelemente jeder Variante angegeben. Damit können diese direkt miteinander und mit anderen Lösungsmöglichkeiten verglichen werden.

7.5 Aspekte der Verarbeitung im Programm VORWEIS

7.5.1 Merkmale und Besonderheiten der Regelbasis

Einzelne Abschnitte des Berechnungsablaufes werden innerhalb eines Moduls in einzelnen oder, bei komplexeren Strukturen, auch in mehreren Subroutines realisiert. Hinz [Hinz 98] und andere haben solche Teile der Berechnung als *Prozesskette* bezeichnet. Die Prozesskette stellt eine isoliert ablaufende Sequenz der Berechnung eines Bauteils dar. Die Prozesskette kann beispielsweise die Schnittgrößenermittlung oder eine unter bestimmten Umständen durchzuführende Querschnittsbemessungsmethode zum Inhalt haben [Abb. 7.5.1-1]. Solche Prozessketten können isoliert programmiert und verwendet werden. Hinz stellt die Vorteile einer konsequenten Bildung von Komponenten vor [Hinz 98]. Die Prozessketten können unabhängig voneinander programmiert werden. Es sind dann die Verknüpfungen zu definieren [Abb. 7.5.1-2].

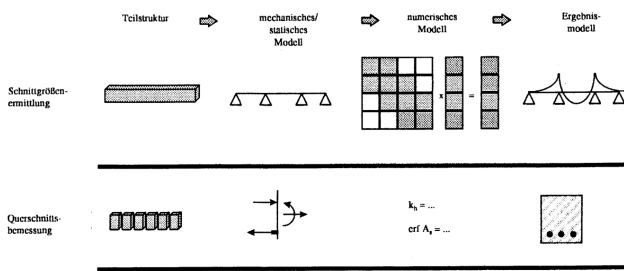


Abb. 7.5.1-1 Prozessketten [Hinz 98]

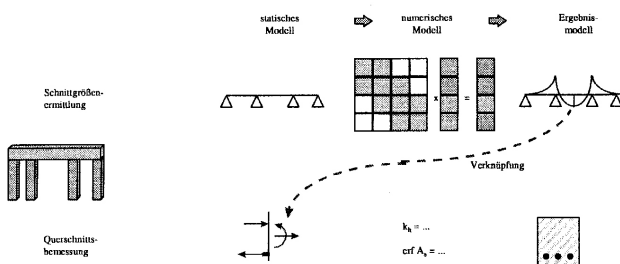


Abb. 7.5.1-2. Verknüpfung von Prozessketten.

Zur Erzielung der einfachen, auf ausgewählte Fälle angelegten Anwendereingabe sind die Verknüpfungen im VORWEIS-Programm bereits durch das Modul vorgegeben.

Der Vorteil der separaten Programmierung von Prozessketten liegt dennoch auf der Hand. Zum einen zerstören vorzunehmende Veränderungen innerhalb der Prozesskette nicht die Gesamtstruktur des Moduls. Zum anderen können viele der Prozessketten, insbesondere diejenigen, in denen die Lastermittlungen durchgeführt werden und diejenigen, in denen einzelne Tragsicherheitsnachweise geführt werden, in unterschiedlichen Modulen wiederverwendet werden.

Die im Kapitel 7.4.5 geforderten Vereinfachungen stellen eine besondere Schwierigkeit für die Umsetzung in der Anwendung dar. Nachweisprogramme, die für viele Problemstellungen der tragkonstruktiven Analyse zur Verfügung stehen, schöpfen ihre Inhalte im Wesentlichen aus zur Verfügung stehenden Regelwerken. Die Algorithmen zur Ermittlung der Kraft- und Weggrößen sind bekannt (z. B. die Methode der finiten Elemente). Auch die VORWEIS-Software bedient sich selbstverständlich der bekannten Methoden und Regelwerke. Zusätzlich müssen aber für die Anwendung zahlreiche nicht normierte Regelungen gefunden werden. Diese haben das Ziel, die Eingaben seitens der Nutzer so weit zu minimieren, wie dies im Rahmen einer Vordimensionierung sinnvoll ist. Da diese Regeln auf die Besonderheiten der einzelnen Module bezogen werden mussten, werden diese exemplarisch anhand umgesetzter Module erläutert. Der Berechnungsablauf erfolgt auf der Grundlage der verwendeten Regelwerke. Stimmt die zu entwickelnde oder die zu prüfende Tragkonstruktion in Belastung, Querschnitten und System mit den Eingaben in VORWEIS uneingeschränkt überein, so sind auch die Ergebnisse im Sinne der Regelbasis korrekt.

Als das beschriebene Projekt 1996 begonnen wurde, befanden sich die für die Bemessung von Bauteilen maßgebenden Regelwerke in der Phase der europäischen Globalisierung. In vielen Fällen konnte noch nicht geklärt werden, welche Regelung der parallel gültigen Regelwerke sich im einzelnen durchsetzen würde. So sollte beispielsweise 1992 mit Einführung des Eurocode 2 [EC 2] mittelfristig die Ablösung der nationalen DIN 1045 [DIN 1045] eingeleitet werden. Aufgrund der nicht uneingeschränkten

Akzeptanz der neuen Regelungen wurde dann mit Einführung der DIN 1045-1 1999, in Anlehnung an den EC 2, auf ein nationales Anwendungsdokument zurückgegriffen [Cheng 99].

Deshalb wurde versucht, die Regelbasis weitestgehend in den Hintergrund treten zu lassen, um eine an einzelne Module gekoppelte Umstellung vornehmen zu können. Ein wesentliches Merkmal der "neuen" Normung ist das Sicherheitskonzept. Dieses basiert auf der Einführung getrennter Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungs- und Widerstandsseite. Für die Bemessung von Stahlbauteilen wurde dieses Konzept bereits im November 1990 in die neu eingeführte DIN 18800 aufgenommen. Das Programm VORWEIS wurde so konzipiert, dass die Benutzerführung unabhängig vom verwendeten Regelwerk blieb. Das heißt, der Nutzer gibt in jedem Fall Gebrauchslasten vor. Der interne Ablauf ist nicht direkt sichtbar. Allerdings werden die Berechnungsgrundlagen in der jeweiligen Online-Hilfe (siehe Kapitel 7.4.4) angegeben. Die Ausgabewerte (Massen, Auflagerkräfte) sind ebenfalls Gebrauchswerte. Somit konnten zwei entscheidende Vorteile erreicht werden.

Früh entwickelte Module (z. B. das Modul HS = Holzstützen) konnten zunächst nach den älteren DIN-Normen (hier [DIN 1052]) erstellt werden. Später entwickelte Module (z. B. das Modul HR = Holzrahmen) basieren auf dem Nationalen Anwendungsdokument des Eurocode 5 [EC5-NAD]. Hierbei gelten die Lasten der z. Z. noch gültigen DIN 1055 [DIN 1055] als charakteristische Werte. Da sich hier für beide Regelungen etwa das gleiche Sicherheitsniveau ergibt [Info-Holz 95], ist die Verwendung der unterschiedlichen Normen im Rahmen einer Vorbemessung unerheblich.

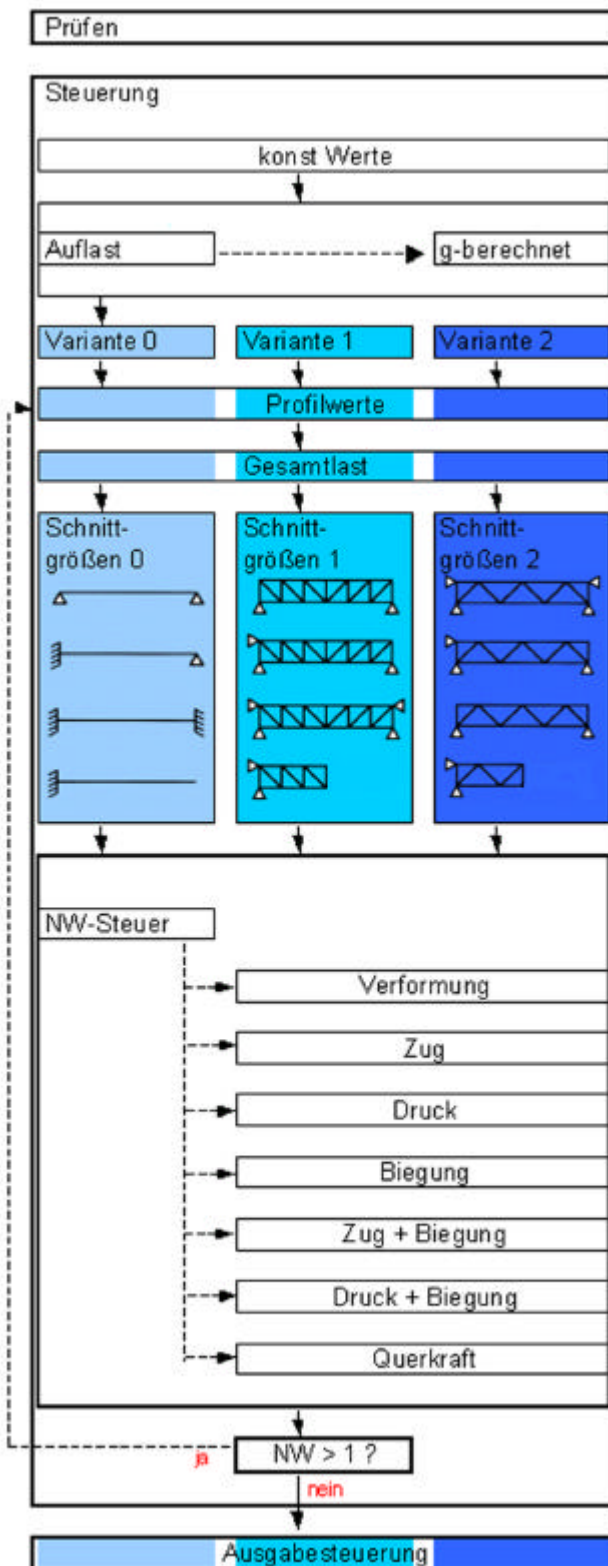


Abb. 7.5.2-1 Vereinfachtes Ablaufschema: Modul Stahlträger und Stahlfachwerkträger

7.5.2 Konzeption und Architektur der Programmmodule

Auch im Hinblick auf die interne Verarbeitung wurde das Konzept der modularen Struktur verfolgt. Zum einen wurden die Programme so konzipiert, dass möglichst große Teile der Struktur durch die Bildung von Prozessketten in anderen Modulen wieder Verwendung finden konnten. Dieses Konzept ist wiederum durch die einheitliche Strukturierung in den Masken ablesbar. Zum anderen sind die Module unabhängig voneinander programmiert. Dadurch ist das Einfügen anderer Expertenbeiträge jederzeit möglich.

Der Programmablauf, der in allen Modulen ähnlich strukturiert ist, wird exemplarisch anhand des Moduls "Stahlträger und Stahlfachwerkträger" aufgezeigt. Die Beschreibungen beziehen sich dabei nicht auf die Steuerungselemente, sondern auf den Berechnungsablauf. Die Berechnung erfolgt im gezeigten Modul gemäß den Regelungen der DIN 18800. Es wird vorausgesetzt, dass die Belastung als gleichmäßig verteilte Streckenlast den Walzträger bzw. den Obergurt der Fachwerkträger belastet. Die Trägeroberkanten werden als seitlich gehalten vorausgesetzt. Die Gurte der Fachwerke werden für diese Vordimensionierung als in den Knotenpunkten seitlich gehalten vorausgesetzt (vgl. Kapitel 7.4.5). Abb. 7.5.2-1 zeigt für das Modul eine Ablaufstruktur. Im weiteren Verlauf werden Auszüge aus den Ablaufdiagrammen vorgestellt und erläutert. Alle verwendeten Subroutines führen zu Beginn ihrer Bezeichnung eine zweistellige Ziffernkennzeichnung (FS = Fachwerk/Stahl). An allen Stellen, an denen die Bezeichnung FS-NAME verwendet wird, wird eine Subroutine des Moduls benannt.

Während der Eingabe von Parametern durch den Anwender, also vor der Laufzeit der Berechnung, erfolgt das Prüfen. Geprüft werden alle erforderlichen Eingaben, bei denen eine Fehlermöglichkeit gegeben ist. Eine Fehlermöglichkeit ist in der Regel bei Zahleneingabefeldern gegeben. Bei z. B. Optionsauswahlfeldern – wie bei der Auswahl der Profilform – ist eine fehlerhafte Eingabe im Sinne der Programmstruktur nicht möglich. Eine Prüfung erübrigt sich. Durch das Prüfen vor der eigentlichen Laufzeit ist gewährleistet, dass Fehler direkt bei ihrem Auftreten erkannt und behandelt werden können und außerdem im Navigationsbaum direkt angezeigt

werden können. Da das Prüfen also vor der eigentlichen Laufzeit der Berechnung erfolgt, ist das Prüfen als eigenes Berechnungsmodul realisiert. Abb. 7.5.2-2 zeigt das entsprechende Ablaufdiagramm. In allen Ablaufdiagrammen sind die zu verwendenden Variablen nach [e]ingabe, [v]erarbeitung und [a]usgabe unterschieden.

Auch FS-Prüfen enthält eine Baumstruktur. Da aber die Bedingungen für die Erfordernis der Prüfung eines Feldes in dem gleichen Maße von den Eingabekonstruktionen abhängen wie der Berechnungsablauf selber, kann hier auf die Darstellung der Verzweigungen verzichtet werden. Die gezeigte Unterteilung zwischen "absoluten Schranken" (linke Spalte) und "Warnhinweisen" (mittlere Spalte) dient dem Zweck einer differenzierten Ausagemöglichkeit im Navigationsbaum. Dabei bildet die mittlere Spalte eine Teilmenge der linken Spalte. Die Berechnung kann nur gestartet werden, wenn die absoluten Schranken eingehalten sind.

Zur Laufzeit werden zunächst die angegebenen Parameter eingelesen. Die Verarbeitung beginnt mit der Anwahl der angelegten Access Profil-Datenbank. In dieser sind die Kenngrößen der zur Verfügung stehenden Walzprofile abgelegt. Die erforderlichen Datensätze werden eingelesen. Dabei wird für den Vollwandträger (satznr(1)) unterschieden, ob der erste Datensatz ausgelesen werden soll oder die Berechnung für ein vom Nutzer vorgegebenes Profil erfolgt (vgl. Kapitel 7.4.8). Dann wird die Subroutine FS - Berechnungssteuerung zweimal, für Stahl St52-3 und St 37-2, aufgerufen [Abb. 7.5.2-3]. Die gewählte Reihenfolge ist dabei nicht willkürlich gewählt worden. Die Iterationen zur Ermittlung eines erforderlichen Profils erfolgen prinzipiell so, dass bei Nichterfüllung eines geführten Nachweises das nächstgrößere Profil gewählt wird. Die Berechnungen werden dann wiederholt. Wurden zur Erfüllung aller Nachweise jeder Trägervariante die entsprechenden Datensätze gefunden,

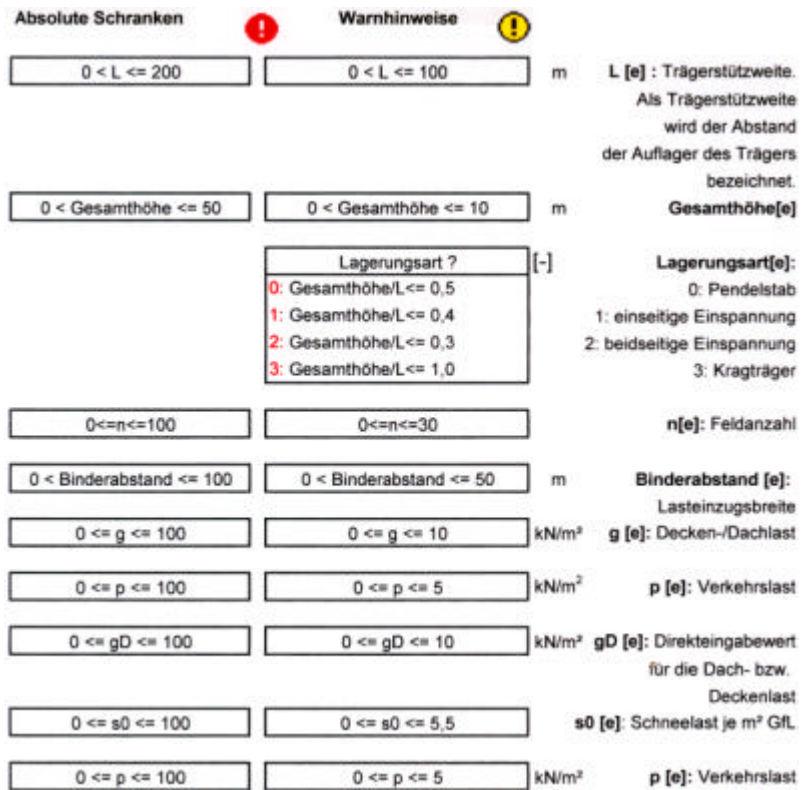


Abb. 7.5.2-2 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Prüfen

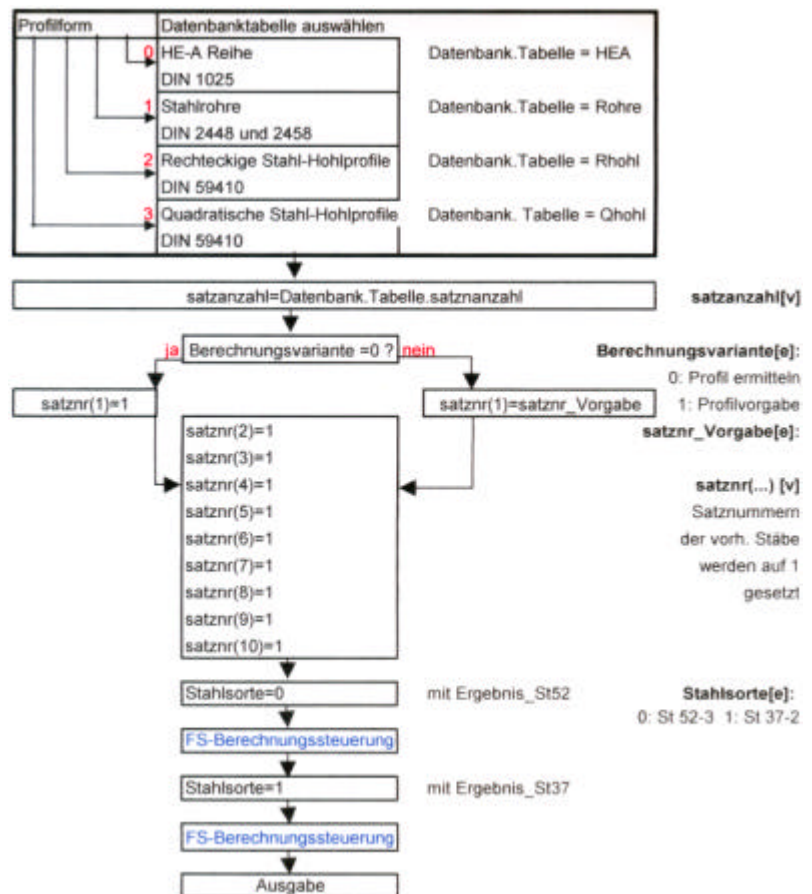


Abb. 7.5.2-3 Auszug aus dem Ablaufdiagramm zum Programmablauf

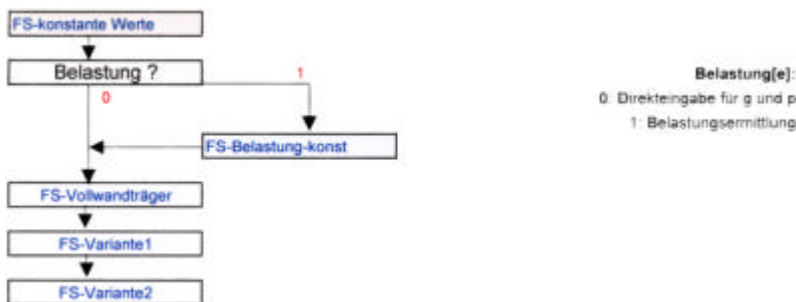


Abb. 7.5.2-4 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Berechnungssteuerung

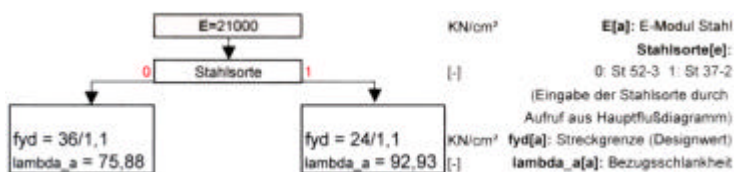


Abb. 7.5.2.5 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Konstante-Werte

ist die Berechnung für die Materialgüte St52-3 abgeschlossen. Da St52-3 die höherwertige Materialgüte ist, kann ausgeschlossen werden, dass die Berechnungen für den Baustahl St 37-2 geringere Stabquerschnitte liefern. Die aktuellen Satznummern aus der Berechnung mit St 52-3 werden deshalb an die Berechnung mit Stahl 37-2 übergeben. Somit kann die Anzahl der durchzuführenden Iterationen vermindert werden.

FS-Berechnungssteuerung

[Abb.7.5.2-4] steuert den gesamten Berechnungsablauf für die drei Systemvarianten dieses Moduls. Die darin zunächst aufgerufene Subroutine FS-Konstante-Werte [Abb. 7.5.2-5] stellt die materialspezifischen Daten bereit. Im Gegensatz zu den Trägereigenlasten ist die Auflast nur von den Angaben des Nutzers abhängig. Sie ist für alle zu berechnenden Varianten gleich und wird deshalb vor dem Aufruf der systemabhängigen Routinen bereitgestellt. Wird seitens des Anwenders eine Lastermittlung gewünscht (Option), so wird in der Berechnungssteuerung die Subroutine FS-Belastung-konst aufgerufen [Abb.7.5.2-6]. Wünscht der Anwender nur eine Ermittlung der vertikalen Verkehrslasten, kann die ständige Auflast g nach dessen Angaben eingelesen werden ($g = gD$).

Sollen die Eigenlastanteile der Auflast ermittelt werden, so wird von dieser Routine aus das Berechnungsmodul „Dach- und Deckenlasten für Träger“ aufgerufen. Das Berechnungsmodul nimmt dann, unter Berücksichtigung der durch den Nutzer getätigten baukonstruktiven Angaben, eine Lastermittlung vor. Es wird zunächst unterschieden, ob sich die vorgesehene Belastung aus einer Geschossdecke oder aus einem Dachaufbau ergibt. Der Vorteil dieser Unterscheidung wird bei der Ermittlung der Verkehrslast deutlich. Das Berechnungsmodul ist eigenständig und liefert, lediglich den Wert für die ermittelten Eigenlastanteile der Auflast. Durch den Einsatz des separierten Berechnungsmoduls kann dieses unverändert allen

Trägermodulen zur Verfügung gestellt werden. Das Berechnungsmodul wird nicht vorgestellt.

Die Ermittlung der Verkehrslasten ist direkt an die Nutzervorgabe "Dachlast oder Geschossdeckenlast" geknüpft. Es wird von der sinnvollen Koppelung ausgegangen, einer Dachlast eine Schnee- bzw. Windlast und einer Geschossdeckenlast eine Nutzung durch Personen zuzuordnen. Im Falle einer Geschossdeckenlast werden den durch den Anwender vorgegebenen Nutzungsarten Lasten gemäß DIN 1055 zugewiesen. Durch die direkte Eingabe können aber auch andere, nicht vorgesehene Nutzungsarten berücksichtigt werden. Im Falle einer Dachlast wird ebenfalls eine Verkehrslast p berücksichtigt. Die Voreinstellung entspricht der in der Bundesrepublik Deutschland in den meisten Fällen zu berücksichtigenden Schneelast ($s_0 = 0,75 \text{ kN/m}^2$) [DIN 1055]. Anwender können diesen Wert durch einen eigenen Eingabewert an andere Bedingungen anpassen. Soll eine Ermittlung der Dachlasten vorgenommen werden, so wird unterschieden, ob ein flachgeneigtes Dach (Dacharten 0;1;2;3) oder ein geneigtes Dach (Dachart 4) gewählt wurde. Im letzteren Fall wird, wie in Abb. 7.5.2-6 beschrieben gemäß DIN 1055, eine eventuelle Abminderung der Schneelast vorgenommen und ggf. ein vertikaler Windlastanteil berücksichtigt.

Für die erste Entwurfsvariante ("Variante 0" = Vollwandträger) wird im Anschluss die Subroutine zu deren Ablaufsteuerung, FS-Vollwandträger [Abb. 7.5.2-7], aufgerufen. Diese Routine steuert den Ablauf der in der Hauptschleife in der Regel iterativ abzuarbeitenden Aspekte und setzt die Ergebniswerte. Innerhalb der Routine wird zunächst die Subroutine FS-Profilwerte [Abb.7.5.2-8] gestartet. Die Variable ii differenziert die Datensätze für die unterschiedlichen Stäbe der betrachteten Systeme. Mit $ii=1$ ist der Vollwandträger als Gesamtsystem beschrieben. In Abhängigkeit der gewählten Profilform werden dort die erforderlichen Querschnittswerte der

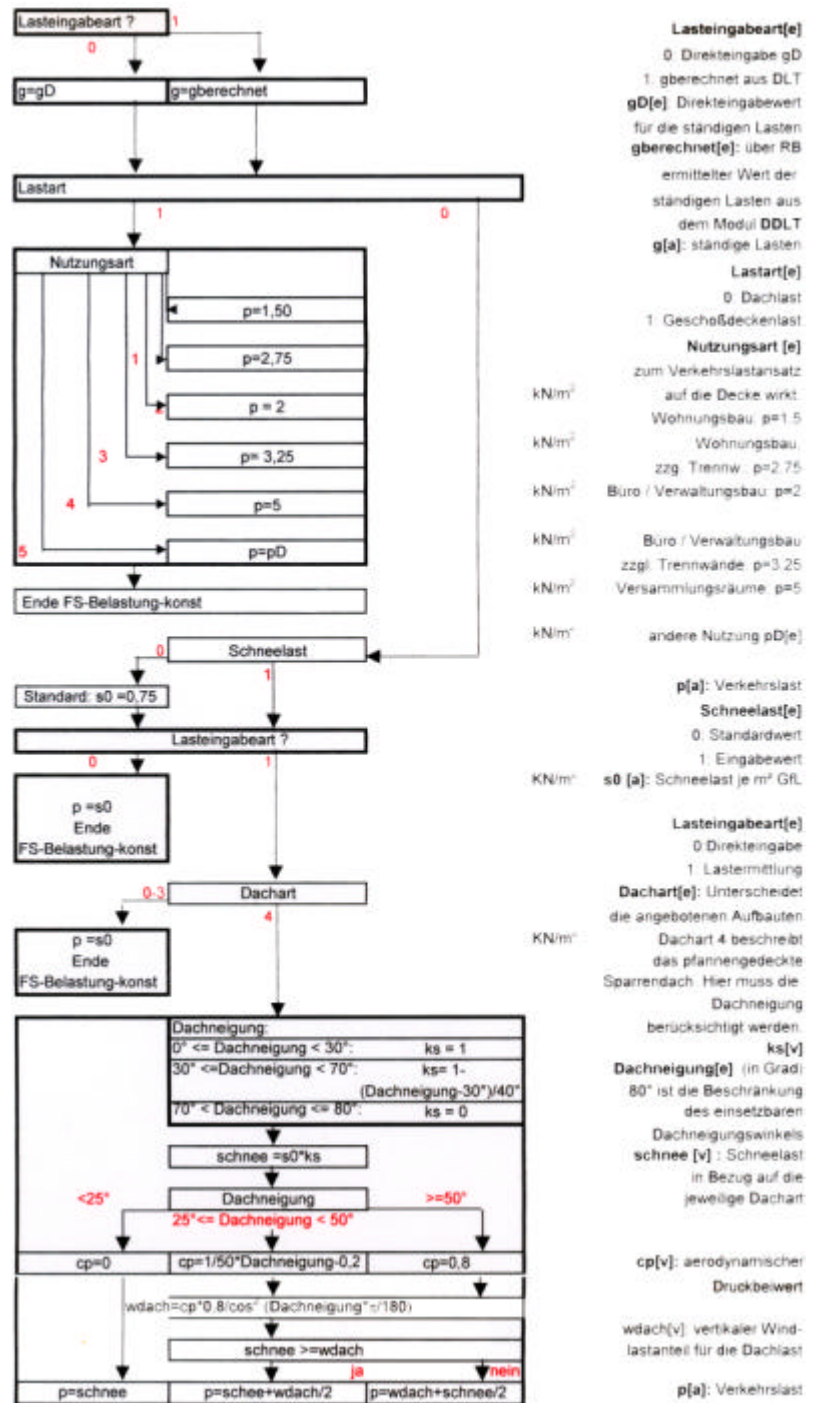


Abb. 7.5.2-6 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Belastung-Konst

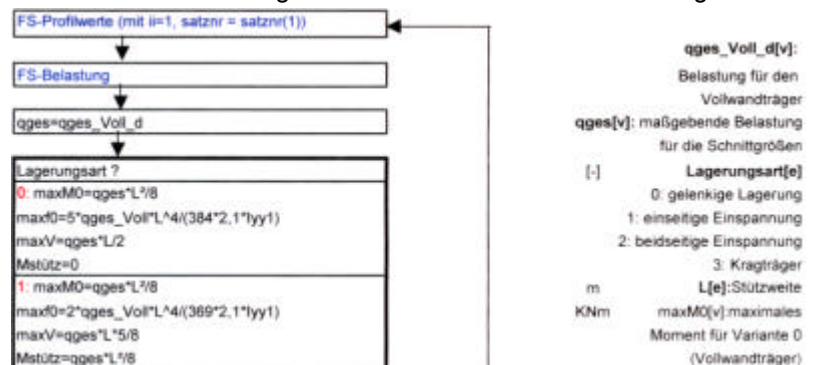
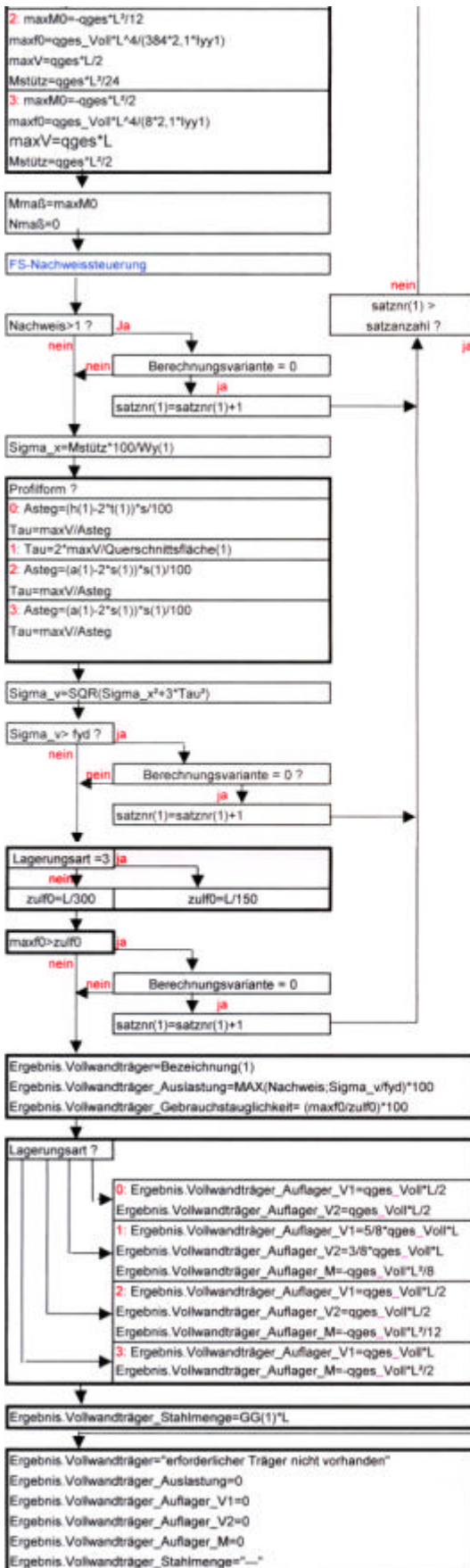


Abb. 7.5.2-7 Teil 1/2 Ablaufdiagramm zur FS-Vollwandträger



KN	maxV[v]: maximale Querkraft
m	maxf0[v]: maximale Durchbiegung für Konstruktion 0
cm ⁴	lyy1[e]: Trägheitsmoment für den Vollwandträger
KNm	Mstütz[v]: Stützmoment
KNm	Mmaß[v]: maßgebendes Moment
KN	Nmaß[v]: maßgebende Normkraft. Diese Schnittgrößen werden in FS-Nachweissteuerung benötigt
[-]	satznr(...)[a]: Satznummer für den Vollwandträger
[-]	satanzahl[e]: Satzanzahl
[-]	Berechnungsvariante[e]: 0 Profil ermitteln, 1: Profil vorgegeben
KN/cm ²	Sigma_x[v]: Normspannung am Auflagerend
cm ⁴	Wy[e]: Widerstandsmoment
	Profilform[e]: 0: HEA-Profile 1: Rohrprofil, 2: Rechteck-Hohlprofil, 3: quadratisches-Hohlprofil
cm ⁴	Asteg[v]: Stegfläche
mm	h(1): Querschnittshöhe
mm	t(1): Flanschkörnung
mm	s(1): Stegdicke
mm	a(1): Querschnittshöhe (Hohlprofile)
cm ²	Querschnittsfläche(1)[e]
KN/cm ²	Tau[v]: Schubspannung
KN/cm ²	Sigma_v[v]: Vergleichsspannung
KN/cm ²	fyd[e]: Streckgrenze (Designwert)
[-]	Lagerungsart[e]: 0: Pendelstab, 1: einseitige Einspannung, 2: beidseitige Einspannung, 3: Kragträger
m	fj: zulässige Durchbiegung für den Vollwandträger
m	j: maximale Durchbiegung
	Ergebnis[a] (Unterscheidung durch Aufruf aus dem Hauptflußdiagramm)
	qges_Voll[v]: Gebrauchslast des Vollwandträgers
	L[e]: Stützweite
	Nachweis[v]
Kg	GG(1)[e]: Eigenlast des Profils

ersten verfügbaren Satznummer (= kleinstes Profil der Reihe) aus der Access-Datenbank eingelesen. In FS-Vollwandträger wird dann die Subroutine FS-Belastung aufgerufen [Abb. 7.5.2-9]. Für die Konstruktionsvariante 0 (Vollwandträger) wird hier die Gesamtstreckenbelastung unter Gebrauchslasten und als Designwert ermittelt. Da die Trägereigenlast Einfluss auf die Schnittgrößenermittlung nimmt, muss die Streckenlast innerhalb der Hauptschleife ermittelt werden.

Damit liegen alle Voraussetzungen zur anschließenden Ermittlung der maßgebenden äußeren und inneren Kraftgrößen vor. Für das hier betrachtete System unter gleichmäßig verteilter Vertikalbelastung können die Berechnungsformeln in Abhängigkeit der unterschiedlichen Lagerungsarten aus Tabellenwerken (z. B. [Schneider 96]) entnommen werden. Im Anschluss werden die maßgebenden Schnittgrößen gesetzt, was für den Einfeldträger trivial erscheint, aber der einheitlichen Nachweissteuerung mit den anderen Systemen dienlich ist. Zur Nachweissteuerung wird innerhalb von FS-Vollwandträger die Subroutine FS-Nachweissteuerung aufgerufen [Abb. 7.5.2-10]. Im Rahmen der Berechnungen der Konstruktionsvariante 0 ist immer ein Moment $\neq 0$ in Verbindung mit einer Normkraft = 0 vorhanden. Dies hat den Aufruf von FS-Biegung zur Folge [Abb. 7.5.2-14]. Das Führen einzelner Nachweise in separaten Routinen hat innerhalb des Moduls den naheliegenden Vorteil, die einzelnen Nachweise für verschiedene Stellen und Lastsituationen in den Systemen verwenden zu können. Darüber hinaus werden die Subroutines als Bausteine auch in anderen Modulen verwendet. FS-Biegung führt den Biegespannungsnachweis nach dem Verfahren Elastisch-Plastisch [DIN 18800, 7.5.3] durch und speichert das Ergebnis. Im Anschluss daran wird der Vergleichspannungsnachweis bzw., wenn kein Stützmoment

Abb. 7.5.2-7 Teil 2/2 Ablaufdiagramm zur FS-Vollwandträger

vorhanden ist, ein Querkraftnachweis in FS-Vollwandträger geführt. Der Vergleichsspannungsnachweis hat hier eine Sonderstellung, da er nur für die Konstruktionsvariante 0 geführt werden muss.

Die Fachwerke haben im Berechnungsmodell immer Stabendgelenke und somit keine Stützmomente. Die Prüfung auf Erfüllung der Nachweise erfolgt innerhalb von FS-Vollwandträger. Ist ein Nachweis nicht erfüllt und soll das erforderliche Profil ermittelt werden, so wird die Profilsatznummer um 1 erhöht und die Hauptschleife erneut durchlaufen. Verliert diese Abfolge bis zum letzten verfügbaren Profil erfolglos, wird der Ergebnistext „erforderlicher Träger nicht vorhanden“ gesetzt. Sind die Nachweise erfüllt bzw. sollte ein konkret vorgegebenes Profil geprüft werden, wird die Berechnung mit dem aktuellen Profil fortgesetzt.

Im weiteren Verlauf erfolgt die Prüfung der Gebrauchstauglichkeit. Die Reaktion auf das Prüfergebnis entspricht auch hier den vorangestellten Prüfungen. Wird die Hauptschleife für keinen der Nachweise erneut durchlaufen (sollte ein konkretes Profil geprüft werden, wird jeder der beschriebenen Abschnitte generell nur einmal behandelt), werden die auszugebenden Ergebniswerte gesetzt.

Die angegebene Auslastung bezüglich der Tragsicherheit wird als das Maximum der Auslastungen aus den einzelnen Tragsicherheitsnachweisen (ohne Gebrauchstauglichkeitsnachweis) angegeben.

FS-Berechnungssteuerung [Abb. 7.5.2-4] leitet, im Anschluss an die Berechnungen der Konstruktionsvariante 0 (Vollwandträger), durch den Aufruf von FS-Variante1 [Abb. 7.5.2-18] die Berechnung der Ständerfachwerkstruktur ein. Hier wird zunächst die Subroutine FS-Profilwerte [Abb. 7.5.2-8] gestartet, um die erforderlichen Profilwerte des ersten Datensatzes der gewählten Profilform für die zu unterscheidenden Stabtypen einzulesen. Diese Stabtypen sind hier Obergurtstäbe, Untergurtstäbe, Ständer und

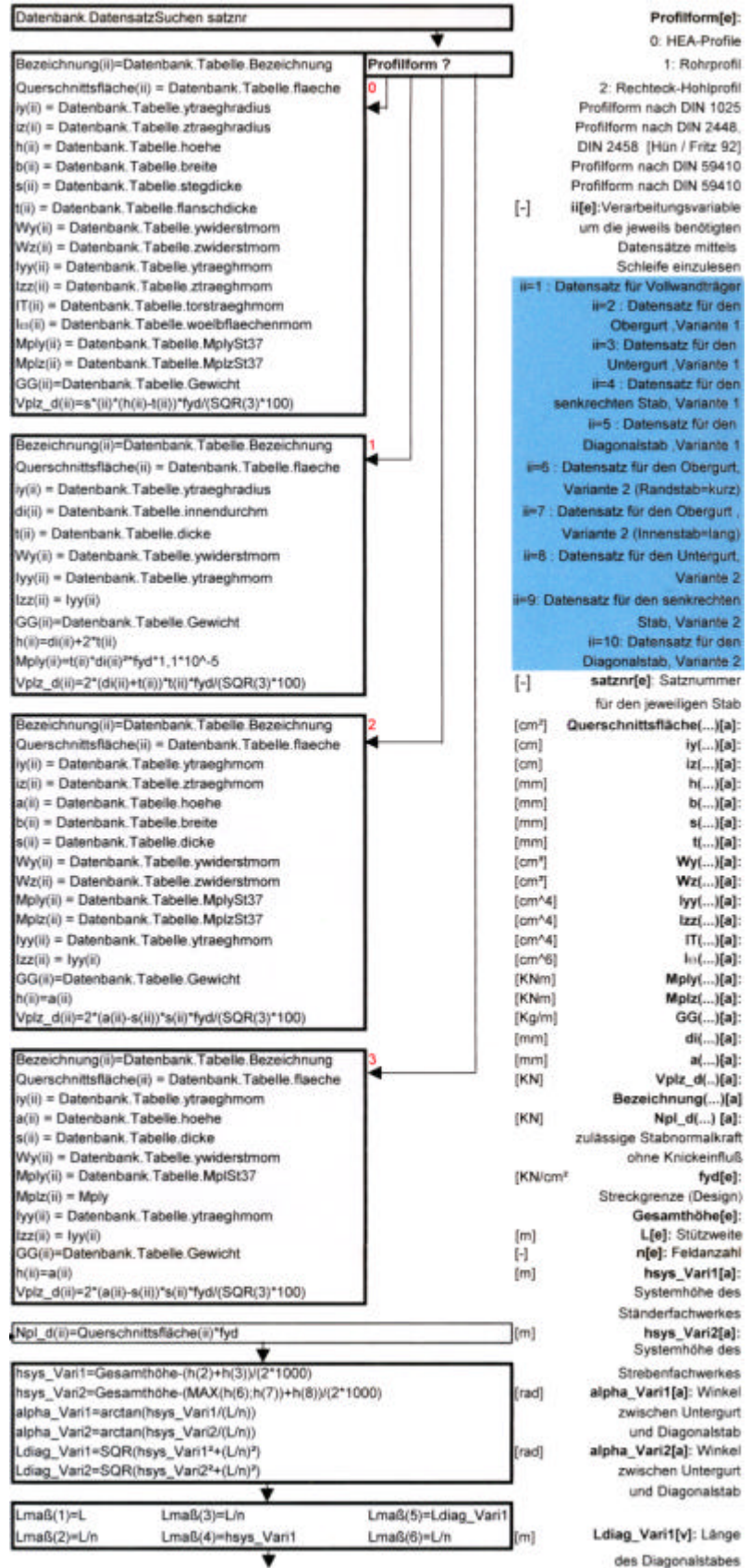


Abb. 7.5.2-8 Teil 1/2 Ablaufdiagramm zu FS-Profilwerte

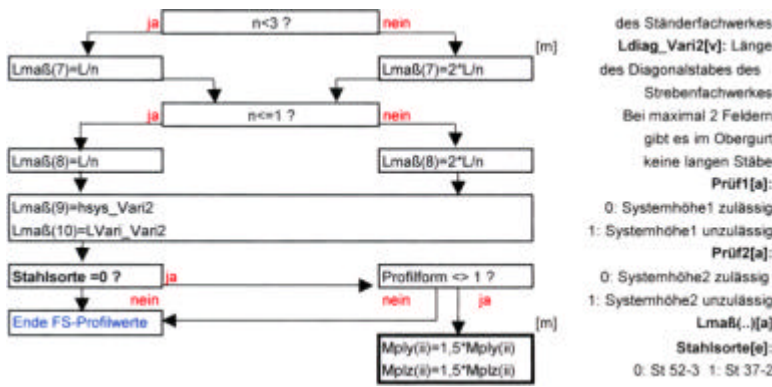


Abb. 7.5.2-8 Teil 2/2 Ablaufdiagramm zu FS-Profilwerte

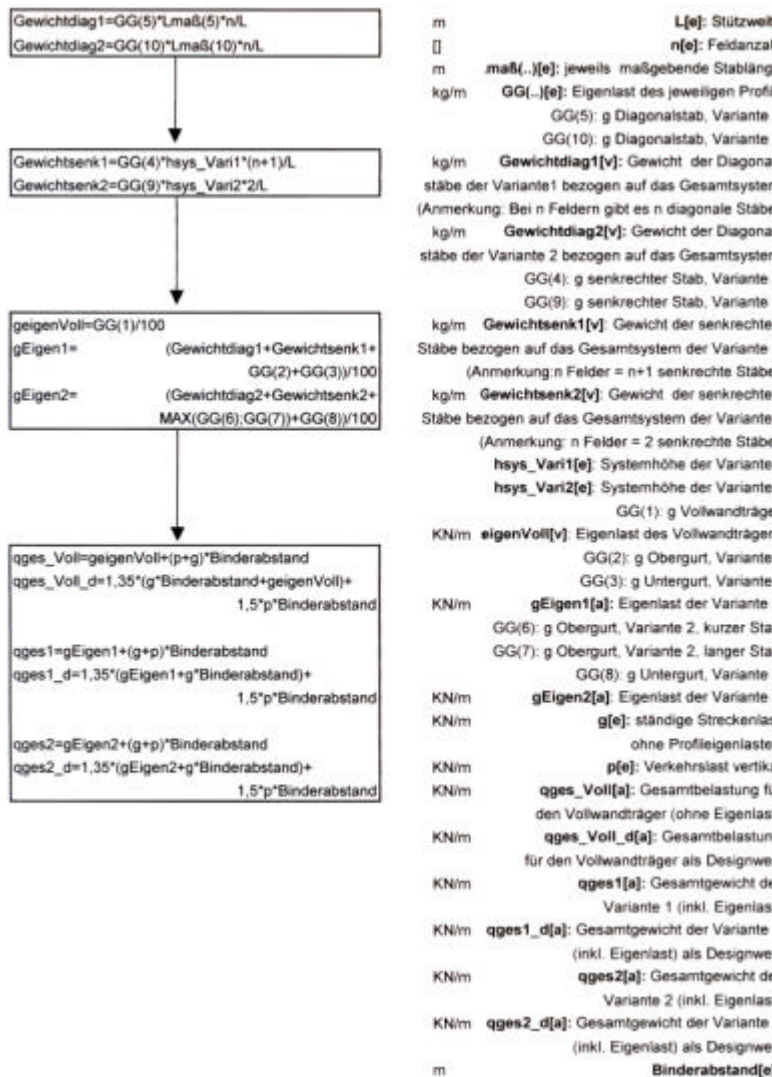


Abb. 7.5.2-9 Diagramm zur Subroutine FS-Belastung

Streben. Zudem werden einige geometrische Größen der Konstruktionsvariante 1 ermittelt. Neben der Statischen Höhe des Systems sind für die weiteren Berechnungen der Konstruktion der Neigungswinkel der diagonalen Streben sowie die Längen aller Einzelstäbe zu ermitteln. Aus den im Abschnitt 7.4 genannten Gründen der Nähe der Eingabe zur üblichen Problemstellung wird von Anwendern nicht die Eingabe der Statischen Höhen verlangt. Statt dessen besteht die Möglichkeit, die Gesamthöhe der gewünschten Konstruktion vorzugeben. Mit konstanter Gesamthöhe (Oberkante Obergurt bis Unterkante Untergurt) kann sich der Träger direkt oder im Laufe der Iterationen als nicht konstruierbar erweisen. Das ist dann der Fall, wenn die Summe aus Obergurthöhe und Untergurthöhe größer ist als die gesamte Konstruktionshöhe. Tritt dieser Fall auf, wird dies an die FS-Variante 1 weitergegeben. Diese setzt dann direkt die Ergebniswerte. In der Ausgabemaske der Variante 1 wird der Text: „ d muss erhöht werden“ übergeben. Im Falle der Fehlerfreiheit erfolgt die Ermittlung der aktuellen Gesamtbelastung aus der aktuell zu ermittelnden Trägereigenlast und der bekannten Auflast durch die Subroutine FS-Belastung. Auch die Eigenlasten der Konstruktion werden zur Vereinfachung der Berechnungen, auf der sicheren Seite liegend, als gleichmäßig verteilte Streckenlast auf den Obergurt angesetzt. Mit den aktuell bekannten System- und Belastungsangaben kann die Schnittgrößenermittlung (FS-Schnittgrößen-Vari1 [Abb. 7.5.2-19 bis 7.5.2-21]) eingeleitet werden. Diese Routine dient der Ermittlung der Stabnormalkräfte. Die Klassifizierung der Berechnung der Schnittgrößen erfolgt hier primär nach der Lagerungsart des Systems.



Lagerung 0 Es wird der Sonderfall berücksichtigt, dass der "Fachwerkträger" nur aus einem Feld besteht. In diesem Fall wirkt der Obergurt als reiner Biegeträ-

ger auf den beiden Ständern. Die Diagonalstrebe und der Untergurt bleiben aus dem betrachteten Lastfall unbelastet. Im üblichen Fall besteht der Fachwerkträger aus mehreren Feldern. Die Stabkräfte werden effizienter Weise, aus den im Kapitel 7.4.5 erläuterten Gründen, nur an den für die Bemessung maßgebenden Stellen ermittelt. Es wird unterschieden, ob eine gerade oder eine ungerade Feldanzahl vorliegt. Für beide Fälle ist unter der betrachteten Gleichstreckenlast bekannt, wo diese maßgebenden Stellen sich befinden. Ständer und Streben werden in Feldern, die an Auflager angrenzen, maximal beansprucht. Ober- und Untergurt werden in Trägermitte bzw. bei gerader Feldanzahl in den beiden an die Trägermitte angrenzenden Feldern maximal beansprucht. Da es sich um ein statisch bestimmtes System handelt, können die Schnittgrößen an den vorgegebenen Stellen direkt über die Gleichgewichtsbedingungen – hier mit Hilfe des Ritter'schen Schnittprinzips – ermittelt werden.

Lagerung 1

Ist der betrachtete Fachwerkträger einseitig eingespannt gelagert, liegt ein unsymmetrisches, statisch unbestimmtes System vor. Aufgrund der lediglich 1-fachen Unbestimmtheit bietet sich die Schnittgrößenermittlung nach dem Kraftgrößenverfahren (z. B. [Bochmann 88]) an. Im Berechnungsablauf wird zunächst eine Laufvariable iii definiert. Diese ermöglicht das Aufaddieren der Normalkraftanteile aus den einzelnen Stäben [Abb. 7.5.2-19]. Das gewählte, statisch bestimmte Hauptsystem entspricht dem der Lagerung 0. Das Gesamtsystem wird in zwei Abschnitten, dem linken und dem rechten Teilsystem, betrachtet. Zunächst wird ein Ritterschnitt in den jeweils ersten Feldern neben dem Auflager durchgeführt. Die Schnittgrößen im Eigen Spannungszustand aus der virtuellen Horizontalkraft $X = „1“$ werden für diese Felder ermittelt. Im nächsten Schritt werden die Schnittgrößen des Lastspannungszustandes in den Randfeldern ermittelt. Es handelt sich bei dem Hauptsystem unter nur vertikalen

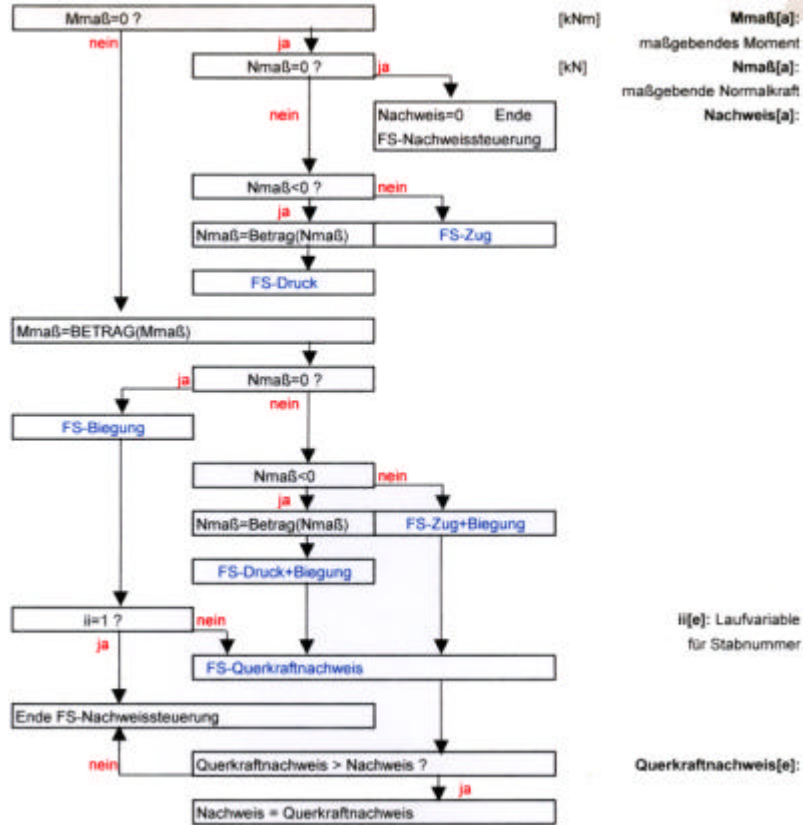


Abb. 7.5.2-10 Diagramm zur FS-Nachweissteuerung



Abb. 7.5.2-11 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Zug

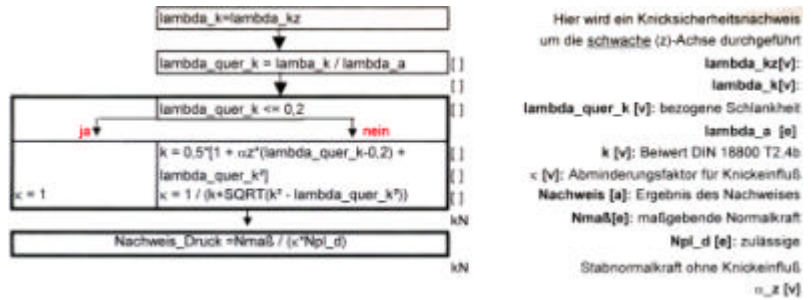


Abb. 7.5.2-12 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Druck

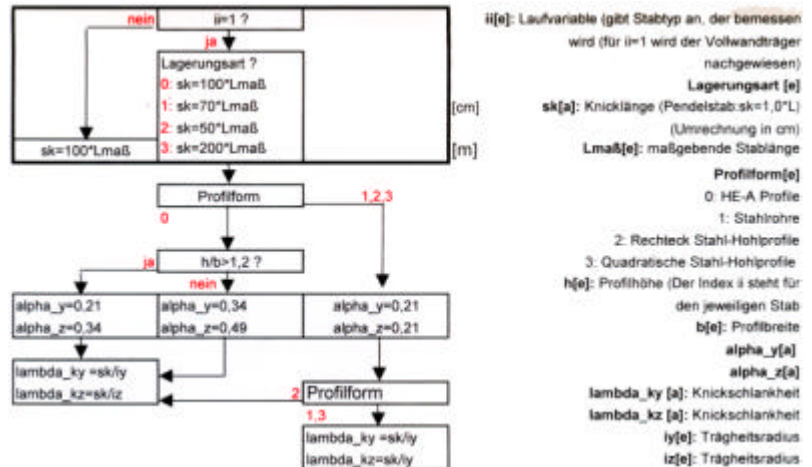


Abb. 7.5.2-13 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Druckbeiwerte



Abb. 7.5.2-14 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Biegung



Abb. 7.5.2-15 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Zug-Biegung



Abb. 7.5.2-16 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Querkräftenachweis

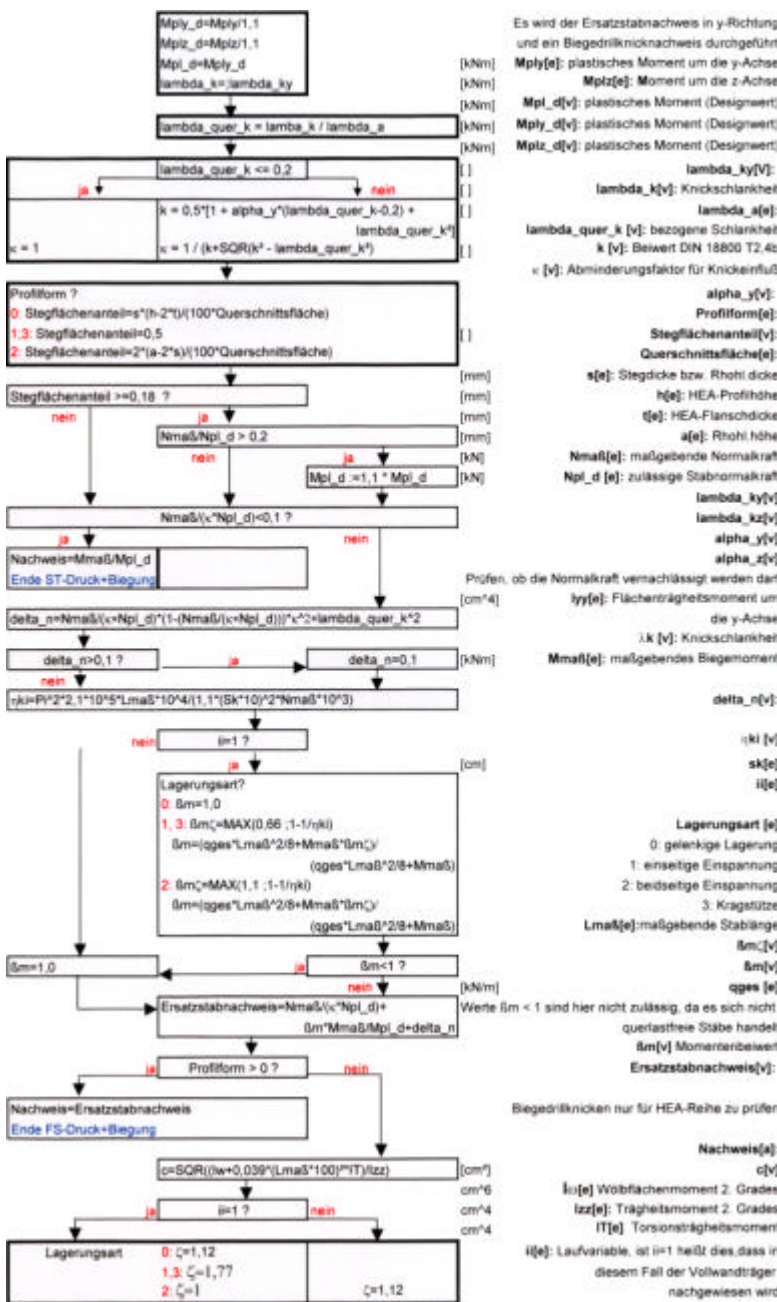


Abb. 7.5.2-17 Teil 1/2 Ablaufdiagramm zur FS-Druck-Biegung

Lasten um ein symmetrisches System unter symmetrischer Belastung, weshalb die Unterscheidung in ein linkes Teilsystem und ein rechtes Teilsystem entfällt. Mit Hilfe des Satzes der virtuellen Arbeit werden im ersten Durchlauf die Anteile der virtuellen Verformung ermittelt, die sich aus den Schnittgrößenanteilen der Randfelder an der Stelle a (oberes horizontales Lager) ergeben. Im Anschluss daran wird eine Laufvariable um 1 erhöht, um den gesamten zuvor beschriebenen Ablauf zu wiederholen. Dabei kommen nun die Schnittkraftanteile der 2. Felder additiv hinzu. Dieser Ablauf wird solange wiederholt, bis der Wert der Laufvariablen den Wert von $n/2$

überschritten hat. Für den Fall der ungeraden Feldanzahl wird ein gesonderter Durchlauf zur Ermittlung der Anteile aus dem mittleren Feld durchgeführt. Liegen die Verschiebungsgrößen vor, kann die Elastizitätsgleichung aufgelöst werden. Zur anschließenden Berechnung der realen Schnittkräfte kann die Laufvariable erneut verwendet werden. Sie wird dazu erneut mit dem Startwert 1 belegt. Nach dem Überlagerungsprinzip werden nun alle Normalkräfte der einzelnen Fachwerkstäbe, mit den äußeren Feldern beginnend bis zur Mitte hin, ermittelt.

Für die spätere Bemessung werden nun die einzelnen Stabzüge unterschieden (Obergurt, Ständer, Strebe, Untergurt). Zur Bemessung des maßgebenden Stabes werden für jeden Stabzug die maximalen (Zug) und minimalen (Druck) Schnittgrößen ermittelt.



Lagerung 2 Soll der betrachtete Fachwerkträger eine beidseitig eingespannte Lagerung erhalten, so ergibt sich diese durch die Anordnung entsprechender gelenkiger Lagerungen. Ober- und Untergurt werden jeweils beidseitig horizontal fixiert. Damit liegt ein symmetrisches, dreifach statisch unbestimmtes System vor.

Dennoch bietet sich auch hier die Schnittgrößenermittlung nach dem Kraftgrößenverfahren an. Das hier betrachtete System impliziert als Lastspannungszustand wiederum das Grundsystem der Lagerung 0. Ein Eigenspannungszustand ergibt sich auch hier aus der Lösung der Bindung eines oberen horizontalen Auflagers. Dieser ESZ (a) entspricht dem der Lagerung 1. Der ESZ (b) ergibt sich aus der Lösung der zweiten oberen horizontalen Lagerung. Der dritte ESZ (c) ergibt sich durch Lösung einer Horizontalbindung am Untergurt. Der zugehörige ESZ belastet lediglich den Untergurt mit einer konstanten, virtuellen Druckkraft von „1“. Auch hier wird zur Addition der Arbeitssatzanteile aus den einzelnen Feldern der Fachwerks die Laufvariable iii verwendet. Der Ablauf entspricht dem der Lagerungsvariante 1. Im ersten Durchlauf werden die Schnittgrößen der Randfelder ermittelt. In weiteren Durchläufen werden die Berechnungen feldweise zur Mitte hin fortgesetzt. Nach der Berechnung aller Verschiebungsgrößen wird mit Hilfe

der Lösungsgleichungen $A \cdot \bar{X} = \bar{b}$ der Lösungsvektor bestimmt. Schließlich werden wiederum alle Normalkräfte der einzelnen Fachwerkstäbe, mit den äußeren Feldern beginnend bis zur Mitte hin, ermittelt. Zur Bemessung des maßgebenden Stabes müssen auch hier für jeden Stabzug die maximalen (Zug) und minimalen (Druck) Schnittgrößen ermittelt werden.

Lagerung 3

Im Falle eines zu betrachtenden Kragträgers (Lagerung 3) befinden sich alle für die Bemessung maßgebenden Stellen im Randfeld zum Auflager hin. Somit können über einen Ritterschnitt alle erforderlichen Formeln zur Schnittgrößenermittlung angegeben werden.

Zurück in der Subroutine FS-Variante 1, die in der Hierarchie der Ablaufstruktur die nächst höhere Ebene bildet, wird festgelegt, dass die folgenden Betrachtungen sich auf den Obergurt

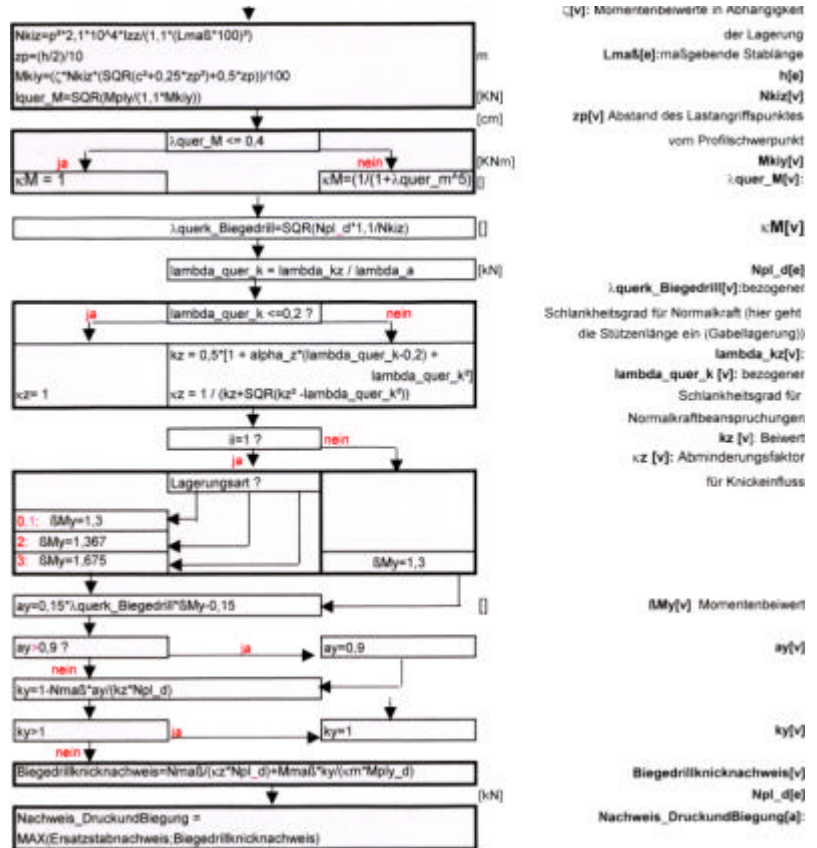


Abb. 7.5.2-17 Teil 2/2 Ablaufdiagramm zur FS-Druck-Biegung

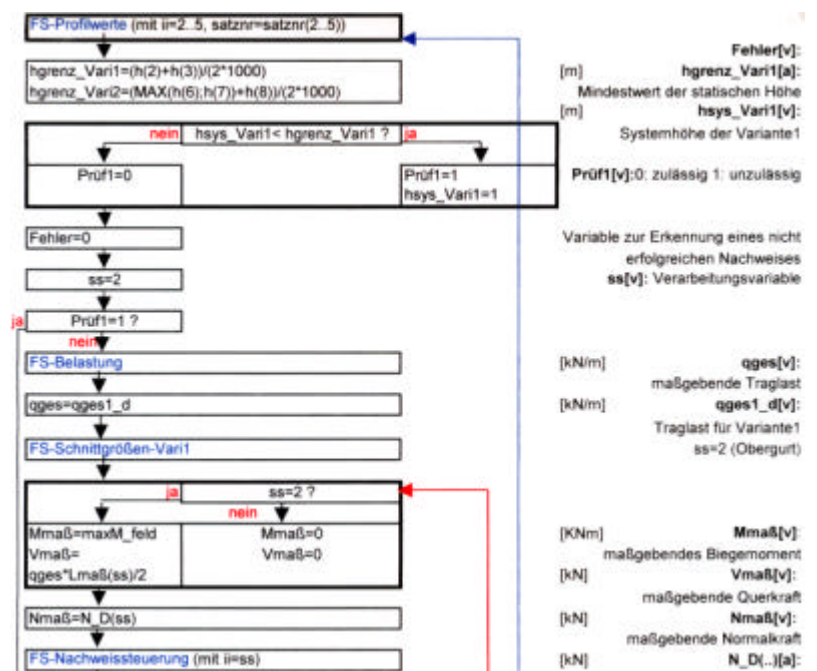


Abb. 7.5.2-18 Teil 1/2 Diagramm zu FS-Variante 1

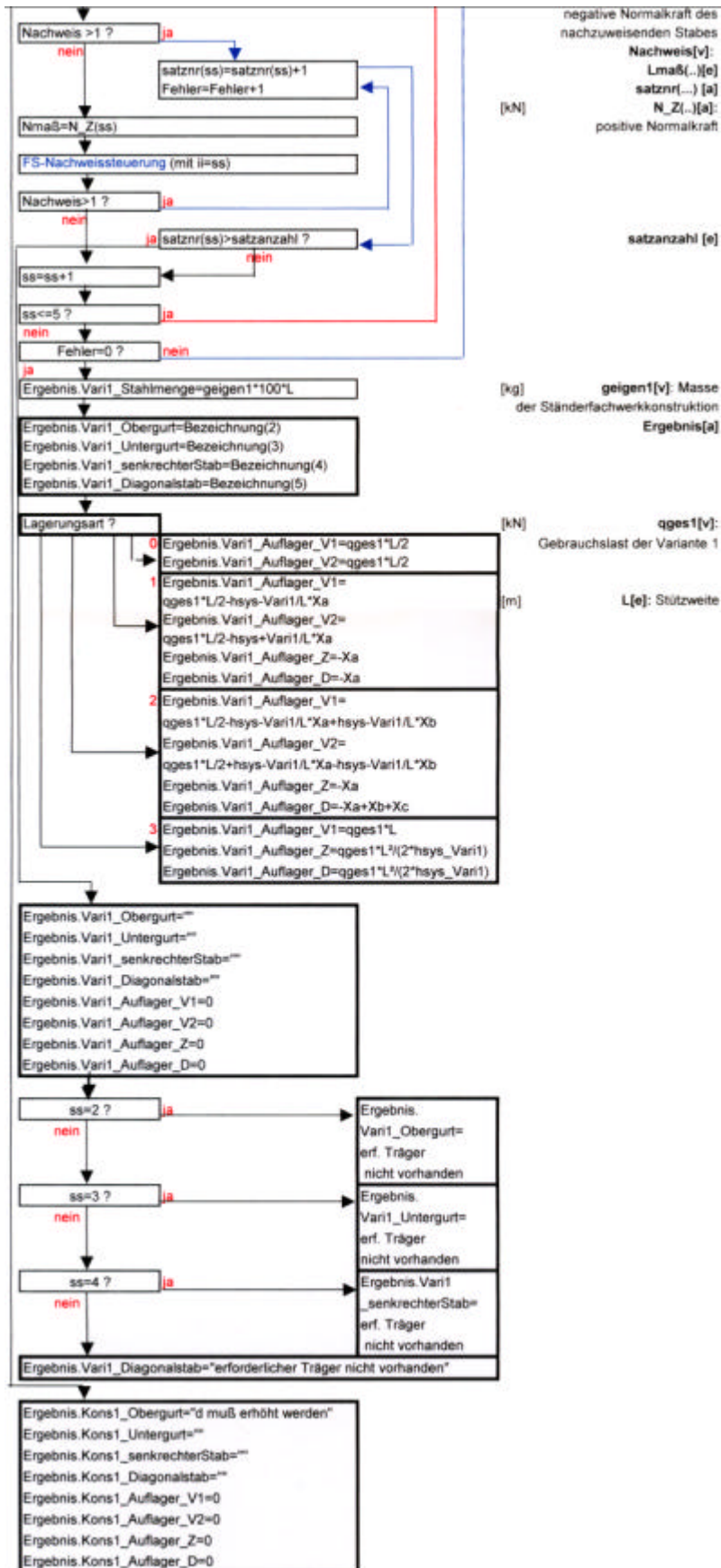


Abb. 7.5.2-18 Teil 2/2 Diagramm zu FS-Variante1

beziehen sollen. Die Gesamtbelastung wurde als Streckenlast auf dem Obergurt angesetzt. Für einen Einzelstab des Obergurtes ist, neben der Normalkraft, ein vorhandenes Biegemoment sowie eine Querkraft zu berücksichtigen. Die Nachweise sind mit den jeweils maßgebenden Schnittgrößen zu führen. Zunächst wird eine eventuell vorhandene Druckkraft im Obergurt berücksichtigt. Sollte keine Druckkraft vorhanden sein (Lagerung 3), wurde der Wert der Normalkraft in FS-Schnittgrößen-Variante1 zu Null gesetzt. Mit diesen Eingangswerten wird wiederum die untergeordnete Subroutine FS-Nachweissteuerung [Abb. 7.5.2-10] aufgerufen. Für den Obergurt der Variante 1 der betrachteten Systeme wird innerhalb der Nachweissteuerung geprüft und somit festgestellt, dass eine Biegebeanspruchung vorliegt und die maßgebende Normalkraft entweder den Wert 0 hat oder eine Druckkraft ist. Ist keine Druckkraft im Stab, wird die Subroutine FS-Biegung [Abb. 7.5.2.14] aufgerufen. FS-Biegung wurde bereits im Rahmen der Beschreibungen zur Vollwandträgerberechnung erläutert. Liegt eine Druckbeanspruchung vor, soll um die biegebeanspruchte Achse der Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren der DIN 18800 E3.4.2 und ggf. ein Nachweis auf Biegedrillknicken des Einzelstabes nach DIN 18800 3.4.3 ausgeführt werden. Senkrecht dazu wird für die reine Druckbeanspruchung der Nachweis auf Knicksicherheit geführt. Zunächst wird dazu die FS-Druckbeiwerte [Abb. 7.5.2-13] ausgeführt, mit deren Hilfe die noch nicht bezogenen Stabschlankheiten um die y- und die z-Achse ermittelt werden. FS-Druckbeiwerte wurde separat erstellt, da die berechneten Werte sowohl innerhalb der FS-Druck als auch innerhalb der FS-Druck+Biegung verwendet werden. Der Nachweis auf Biegedrillknicken ist nur für den Fall zu führen, dass seitens des Anwenders die Profilform 0 (HEA-Reihe) gewählt wurde. Alle anderen z. Z. implementierten Profilformen sind

nicht gefährdet zu biegedrillknicken [DIN 18800 E 303]. Im Anschluss an ggf. beide geführte Nachweise wird derjenige mit der größeren Auslastung bestimmt. Die größere Auslastung wird als maßgebende an die FS-Nachweissteuerung [Abb. 7.5.2-10] übergeben. Die dann aufgerufene FS-Druck [Abb. 7.5.2-12] führt den Knicksicherheitsnachweis um die Z-Achse der Profile. Die Nachweissteuerung filtert aus den durch die FS-Druck+Biegung und FS-Druck gelieferten Nachweisergebnisse den maßgebenden heraus. Nach dem dann folgenden Aufruf der FS-Querkraftnachweis [Abb. 7.5.2-16] wiederholt sich die Prüfung des maßgebenden Nachweises analog, um auch hier wieder nur den Maximalwert zu speichern. Dieser Wert wird in FS-Variante1 auf $>$ oder ≤ 1 geprüft. Ist der maßgebende Nachweis nicht erfüllt, wird die Satznummer des aktuellen Profils um 1 erhöht. Die gesamte Subroutine muss dann in jedem Fall noch einmal durchlaufen werden. Ist jedoch die damit gewählte Satznummer nicht mehr verfügbar, so werden die Ergebniswerte der Ausgabe gesetzt. In diesem Fall wird in das Ausgabefeld "erforderlicher Obergurt" der Ergebnismaske der folgende Text gesetzt: "erforderliches Profil nicht vorhanden". Ist die Satznummer verfügbar (Regelfall), wird zunächst die Verarbeitungsvariable ss erhöht. Mit den aktuellen Schnittgrößen werden im Rahmen einer internen Schleife nun die Nachweise für zunächst den Untergurt ($ss=3$), dann die Vertikalstäbe ($ss=4$) und die Diagonalstäbe ($ss=5$) geführt. Im Regelfall werden beim ersten Durchlauf, also mit der kleinsten Satznummer, alle Stäbe vergrößert. Wenn im Rahmen dieses Berechnungsablaufes nur ein Profil vergrößert wurde, so führt dies zur Wiederholung des gesamten Ablaufes innerhalb der Subroutine FS-Variante1. Dieses Vorgehen ist erforderlich, da es sich, je nach Lagerung des Tragwerks, um ein statisch unbestimmtes System handelt. Der Einfluss der Steifigkeitsverhältnisse auf die Ermittlung der Schnittgrößen ist zu

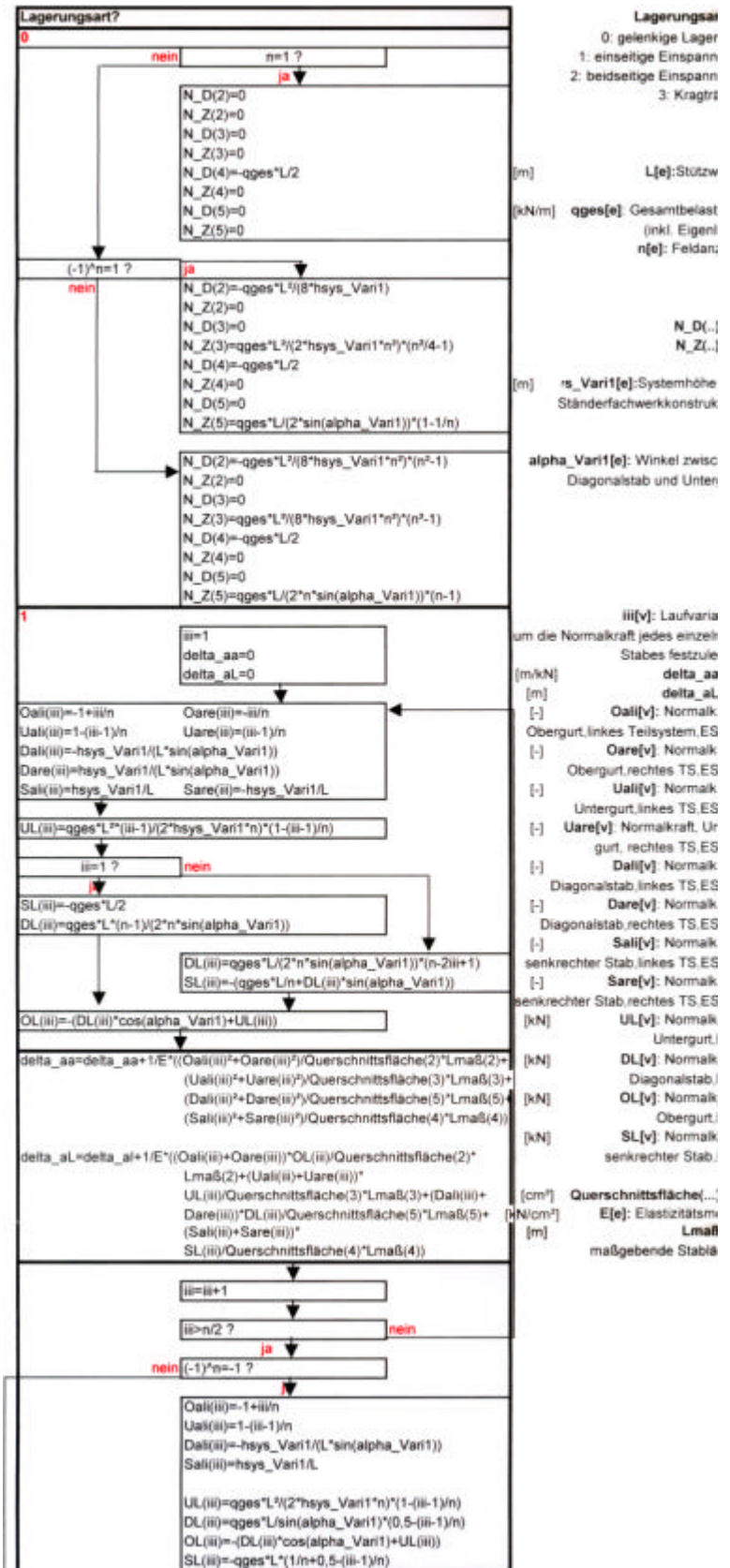
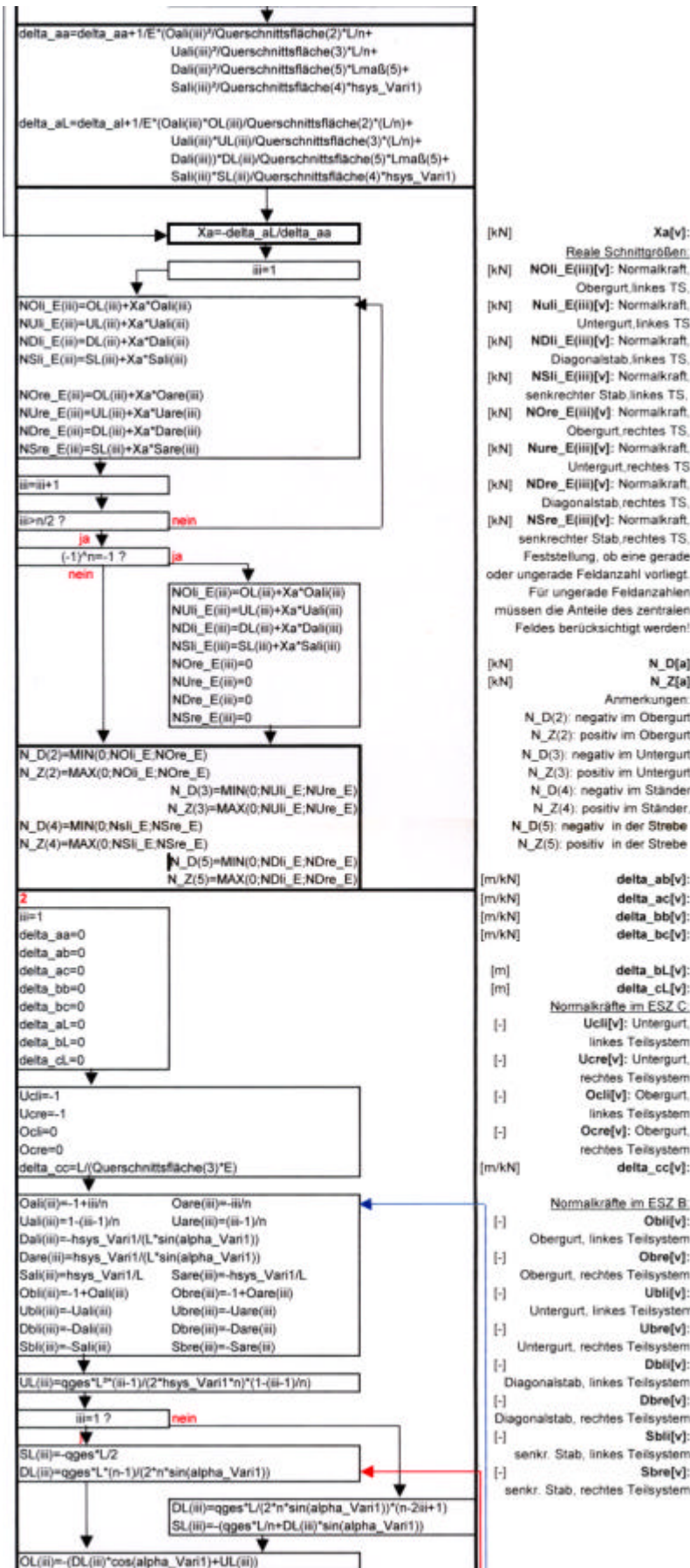


Abb. 7.5.2-19 Teil 1/4 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Schnittgrößen-Variante1



- [kN] Xa[v]:
- Reale Schnittgrößen:
- [kN] NOI_E(ii)[v]: Normalkraft, Obergurt,linkes TS.
- [kN] NUI_E(ii)[v]: Normalkraft, Untergurt,linkes TS.
- [kN] NDI_E(ii)[v]: Normalkraft, Diagonaltab,linkes TS.
- [kN] NSI_E(ii)[v]: Normalkraft, senkrechter Stab,linkes TS.
- [kN] NOre_E(ii)[v]: Normalkraft, Obergurt,rechtes TS.
- [kN] NUre_E(ii)[v]: Normalkraft, Untergurt,rechtes TS.
- [kN] NDre_E(ii)[v]: Normalkraft, Diagonaltab,rechtes TS.
- [kN] NSre_E(ii)[v]: Normalkraft, senkrechter Stab,rechtes TS.
- Feststellung, ob eine gerade oder ungerade Feldanzahl vorliegt. Für ungerade Feldanzahlen müssen die Anteile des zentralen Feldes berücksichtigt werden!
- [kN] N_D[a]
- [kN] N_Z[a]
- Anmerkungen:
- N_D(2): negativ im Obergurt
- N_Z(2): positiv im Obergurt
- N_D(3): negativ im Untergurt
- N_Z(3): positiv im Untergurt
- N_D(4): negativ im Ständer
- N_Z(4): positiv im Ständer.
- N_D(5): negativ in der Strebe
- N_Z(5): positiv in der Strebe
- [m/kN] delta_ab[v]:
- [m/kN] delta_ac[v]:
- [m/kN] delta_bb[v]:
- [m/kN] delta_bc[v]:
- [m] delta_bl[v]:
- [m] delta_cl[v]:
- Normalkräfte im FSZ C:
- [v] Ucli[v]: Untergurt, linkes Teilsystem
- [v] Ucre[v]: Untergurt, rechtes Teilsystem
- [v] Ocli[v]: Obergurt, linkes Teilsystem
- [v] Ocre[v]: Obergurt, rechtes Teilsystem
- [m/kN] delta_cc[v]:
- Normalkräfte im FSZ B:
- [v] Obli[v]: Obergurt, linkes Teilsystem
- [v] Obre[v]: Obergurt, rechtes Teilsystem
- [v] Ubli[v]: Untergurt, linkes Teilsystem
- [v] Ubre[v]: Untergurt, rechtes Teilsystem
- [v] Dbli[v]: Diagonaltab, linkes Teilsystem
- [v] Dbre[v]: Diagonaltab, rechtes Teilsystem
- [v] Sbli[v]: senkr. Stab, linkes Teilsystem
- [v] Sbre[v]: senkr. Stab, rechtes Teilsystem

berücksichtigen. Ist der maßgebende Nachweis, in der Regel nach mehrmaligem Durchlaufen der Hauptschleife, erfüllt, wird zur Berücksichtigung des Falles einer Stabzugkraft FS-Nachweissteuerung mit der Zugkraft als maßgebender Normalkraft erneut durchlaufen. Für den Obergurt führt die Verzweigung nun zum Aufruf der FS-Zug+Biegung [Abb. 7.5.2-15]. Hier wird der entsprechende Spannungsnachweis nach dem Verfahren Elastisch-Plastisch durchgeführt. Der Umgang mit dem Ergebnis verläuft in FS-Variante1 analog zur o. g. Beschreibung. Sind alle Stäbe der Konstruktionsvariante1 dimensioniert, werden als Ausgabevorbereitung, zum Teil in Abhängigkeit der Lagerung, alle erforderlichen Ergebniswerte berechnet.

Die Dimensionierung des Ständerfachwerks ist damit abgeschlossen.

FS-Berechnungssteuerung leitet im Anschluss die Berechnung der Fachwerkkonstruktion 2 (Strebenfachwerk) durch den Start der FS-Variante 2 ein. Der Ablauf entspricht strukturell dem der Konstruktionsvariante 1. Demzufolge wird er hier nicht mehr explizit angeführt.

Liegen auch die Ergebnisse des Strebenfachwerks vor, wird im Hauptflussdiagramm die Stahlsorte auf 1 gesetzt. Die Berechnungen werden dann mit der Stahlsorte St 37-2 wiederholt. Dabei werden, wie eingangs erwähnt, zur Verminderung der Anzahl durchzuführender Iterationen die aktuellen Satznummern aus der Berechnung mit St 52-3 übergeben. Die Ergebnisse werden immer für beide Stahlsorten angegeben.

Abb. 7.5.2-19 Teil 2/4 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Schnittgrößen-Variante1

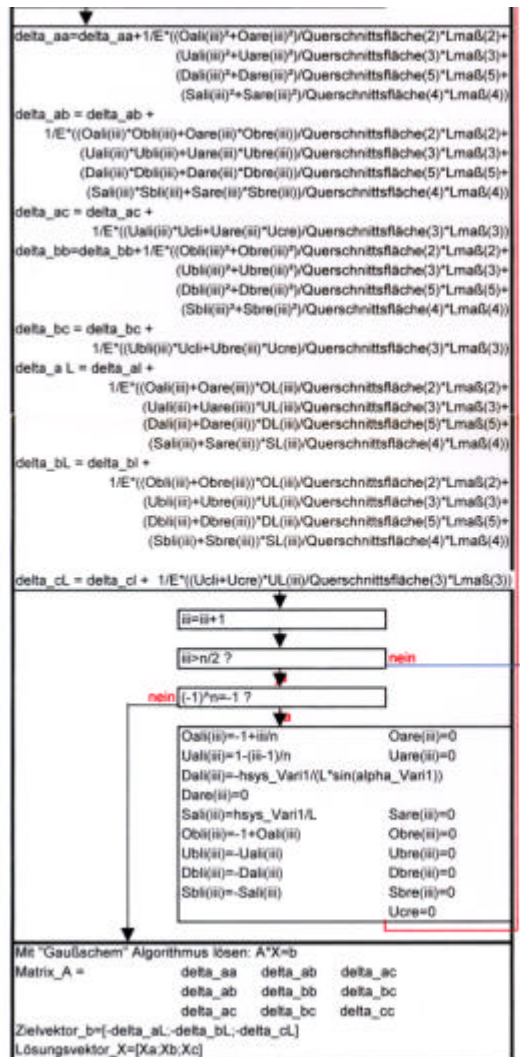


Abb. 7.5.2-19 Teil3/4 Ablaufdiagramm zur Subroutine FS-Schnittgrößen-Variante1

7.6 Übersicht implementierter Module

In den Kapiteln 7.4.5 bis 7.5.2 wurde exemplarisch die Struktur eines VORWEIS-Moduls beschrieben. Da sich die vorgestellte Vorgehensweise in analoger Form auf alle Modulbearbeitungen übertragen lässt, ist es ausreichend, die bisher implementierten Module und ihre Einsatzbereiche kurz zu benennen und ihre Auswahl zu begründen.

Wie in Kapitel 7.4.5 erläutert, ist ein wesentliches Auswahlkriterium für die Entwicklungen der VORWEIS-Module die Einsatzhäufigkeit bei Hochbauaufgaben. Die Struktur bzw. das Statische System von Hochbauten lässt sich in vielen Fällen in einfache Teilsysteme unterteilen (vgl. Kapitel 8). Diese werden i.d.R. aus einzelnen Bauelementen gebildet. Solche häufig verwendeten Bauelemente werden zur direkten Entwurfsunterstützung Gegenstand von VORWEIS-Modulen. Zur groben Gliederung der häufig verwendeten Elemente eignet sich eine Einteilung in vorwiegend biegebeanspruchte Bauelemente (Träger, Platten etc.), vorwiegend achsial beanspruchte Bauelemente (Stützen, Scheiben etc.), biege- und achsialbeanspruchte Bauelemente (Rahmen, u. U. Schalen etc.) und räumlich beanspruchte Elemente (z. B. Fundamente).

Im Rahmen der bisherigen Programmentwicklung wurden exemplarisch und zur Abdeckung eines möglichst weiten Spektrums innerhalb der genannten Bauelemente Module aus den verschiedenen Bereichen entwickelt. Einige Module wie z. B. "Fundamente", "Punktgestützte Deckenplatten" oder "Mauerwerke" wurden bisher nur in der hier nicht vorgestellten Version 1 von VORWEIS veröffentlicht. Die bisher in der Version 2 veröffentlichten Module werden nachfolgend vorgestellt. Sie beschreiben ein biegebeanspruchtes Element für Gebäudehüllen (Verglasungen für den nicht senkrechten Einbau), biegebeanspruchte Elemente (Stahlträger, Fachwerke, Unterspannte Träger, Stahlbetonbalken und -plattenbalken), achsial beanspruchte Elemente (Stahlstützen, Holzstützen und Betonwände) und biege- und achsialbeanspruchte Elemente (Holzrahmen).

Dazu wird jeweils die Konstruktionsseite und eine Ergebnismaske gezeigt. Auf die Belastungseingabe [vgl. Kapitel 7.4.9] soll hier nicht mehr eingegangen werden.

7.6.1 Verglasungen für den nicht senkrechten Einbau

Das Modul nimmt eine Vordimensionierung von liniengelagerten Verglasungen für den nicht senkrechten Einbau vor. Es werden für unterschiedliche Geometrien die erforderlichen Bauteildicken sowie die Glaseigenlasten angegeben. Die folgenden Glasarten werden als Ergebnisvarianten berücksichtigt:

- Spiegelglas
- Einscheibensicherheitsglas
- Einscheibensicherheitsglas emailliert
- Verbundsicherheitsglas aus Spiegelglas
- Verbundsicherheitsglas aus ESG
- Drahtglas

Für außen liegende Scheiben einer Isolierverglasung werden, aufgrund der vorgesehenen Scheibengröße, die zur Aufnahme der vorhandenen Belastungen notwendigen Glasdicken ermittelt. Voraussetzung der Berechnung ist die Annahme, dass die zulässige Durchbiegung einer Scheibe maximal ihrer Nenndicke entsprechen darf. Für innenliegende Scheiben wird diese Berechnung über die für den entsprechenden Scheibentyp zulässige Biegezugspannung durchgeführt.

Berechnungsgrundlagen :

- DIN 1055
- Technische Richtlinie des Glaserhandwerks Nr. 19: „Dickwahl von Glasscheiben für nicht senkrechten Einbau.“ [TechRicht 19 88]
- Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Überkopfverglasungen [DIBT 96]

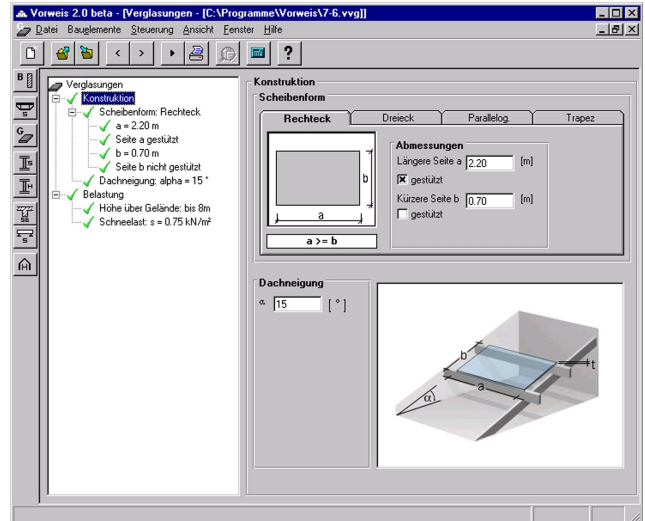


Abb. 7.6.1-1 Maske zur Konstruktionsangabe des VG-Moduls

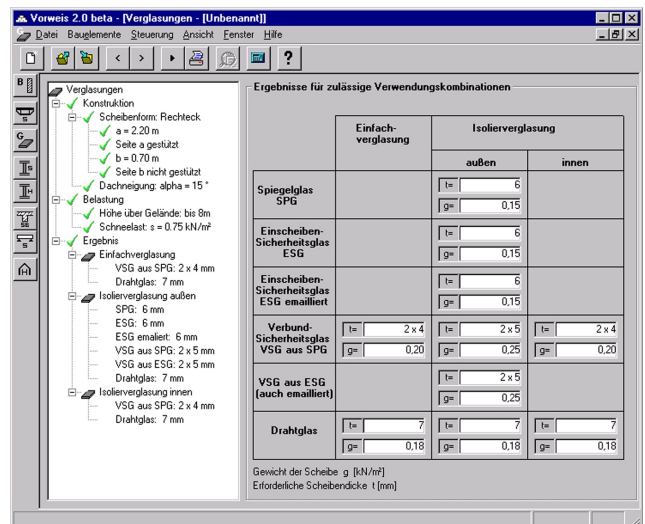


Abb. 7.6.1-2 Ergebnismaske des VG-Moduls

7.6.2 Vollwand- und Fachwerkträger aus Stahl

Das Modul nimmt eine Vordimensionierung von Vollwand- und Fachwerkträgern vor. Dabei erfolgt die Berechnung jeweils in Varianten für einen Vollwandträger, ein Ständerfachwerk und ein Strebenfachwerk. Für den Vollwandträger besteht die Möglichkeit, das Profil direkt vorzugeben. Es besteht eine Auswahlmöglichkeit aus 4 verschiedenen Profilarten, mit denen die Berechnungen durchgeführt werden können. Die Berechnung erfolgt für die Stahlsorten St 37-2 und St 52-3.

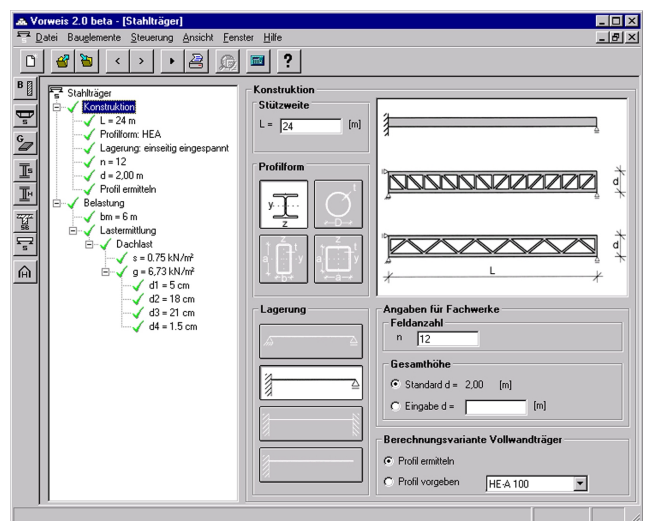


Abb. 7.6.2-1 Maske zur Konstruktionsangabe des FS-Moduls

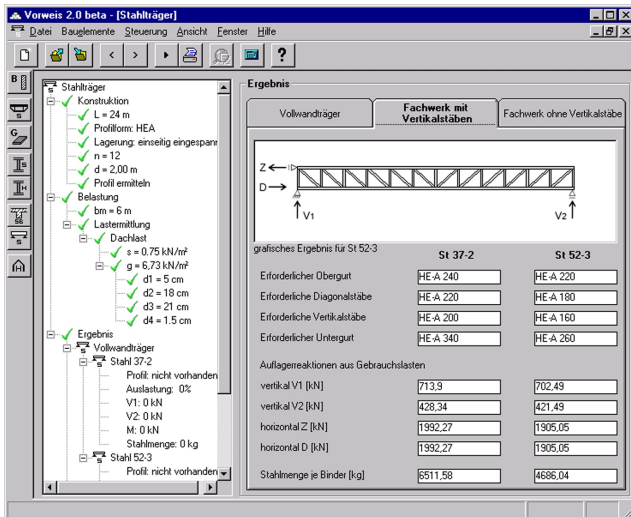


Abb. 7.6.2-2 Ergebnismaske des FS-Moduls

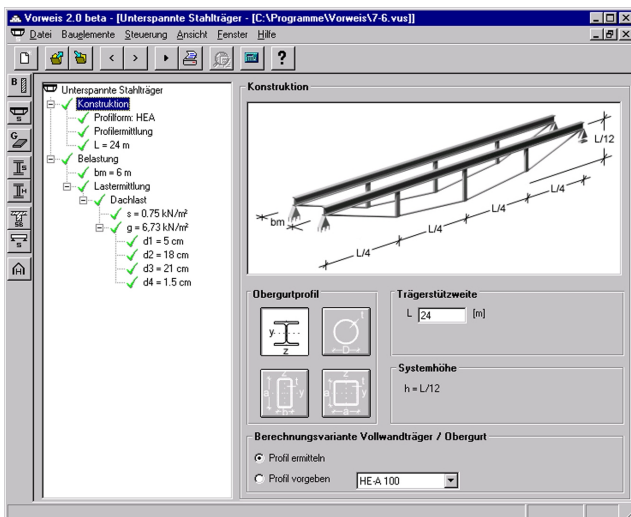


Abb. 7.6.3-1 Maske zur Konstruktionsangabe des FS-Moduls

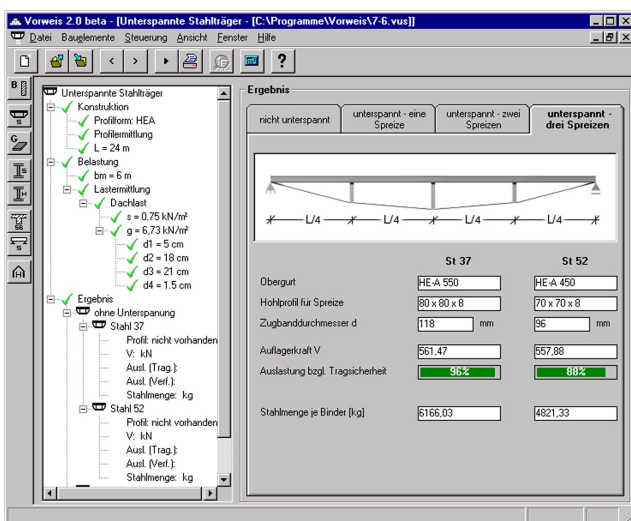


Abb. 7.6.3-2 Ergebnismaske des US-Moduls

Berechnungsgrundlagen:

- DIN 18800 T 1: Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion
- DIN 18800 T 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
- DIN 1055: Lastannahmen für Bauten

7.6.3 Stahlträger ohne und mit Unterspannung

Das Modul nimmt eine Vordimensionierung von Einfeldträgern aus Stahl-Walzprofilen der Güte St37-2 und St52-3 vor.

Dabei werden für jede Eingabe vier verschiedene Systeme betrachtet, für die die erforderlichen Querschnittsabmessungen ermittelt werden:

- Nicht unterspannte Träger
- Unterspannte Träger mit einer Spreize
- Unterspannte Träger mit zwei Spreizen
- Unterspannte Träger mit drei Spreizen

Es besteht eine Auswahlmöglichkeit zwischen Obergurten der folgenden vier Profilvereihen:

Breite I-Träger HEA-Reihe DIN 1025
 Stahlrohre DIN 2448 und 2458
 Rechteckige Stahl-Hohlprofile DIN 59410
 Quadratische Stahl-Hohlprofile DIN 59410

Das Profil des Obergurtes bzw. das des Vollwandträgers der gewählten Reihe kann ermittelt oder seitens des Nutzers durch eine Listenauswahl vorgegeben werden.

Berechnungsgrundlagen:

- DIN 18800 T 1: Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion
- DIN 18800 T 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
- DIN 1055: Lastannahmen für Bauten

7.6.4 Stahlbetonbalken und Stahlbetonplattenbalken

Das Modul nimmt eine Vordimensionierung von Stahlbetonbalken mit Rechteckquerschnitt sowie beidseitigen oder einseitigen Plattenbalken vor. Die Berechnung erfolgt für die Betonfestigkeitsklassen B25, B35, B45, B55 nach DIN 1045. Die Balkeneigenlasten werden programmintern berücksichtigt. Die vorhandenen Bauteilabmessungen können für einen konkret vorgegebenen Querschnitt überprüft werden oder die erforderliche Balkenhöhe für zugehörige Belastungen ermittelt werden.

Soll die erforderliche Höhe eines Balkens mit Rechteckquerschnitt ermittelt werden, so wird der Startwert der Balkenhöhe mit 10 cm angesetzt. Für Plattenbalken wird die vorgegebene Plattendicke als Startwert verwendet. Die Art der Bewehrung wurde programmintern auf Stabstahl mit Durchmesser $d_s = 25$ mm aus Baustahl BSt 500S festgelegt. Die Betonüberdeckung zur Berechnung der statischen Höhe wurde mit $\text{nom } c = 3,5$ cm festgesetzt. Die Balkenhöhen werden unter der Prämisse ermittelt, dass keine Druckbewehrung erforderlich wird. Aus konstruktiven Gründen wurde die Anzahl der zulässigen Bewehrungslagen in Abhängigkeit der aktuellen Balkenhöhe gestaffelt. Bis 50 cm Konstruktionshöhe wird eine einlagige Bewehrung vorgesehen, bei einer Höhe bis 100 cm eine zweilagige, bis 150 cm eine dreilagige und größer 150 cm sind höchstens vier Bewehrungslagen zugelassen. Dies gilt lagerungsabhängig sowohl für die Feldbewehrung als auch für die Stützbewehrung.

Berechnungsgrundlagen:

- DIN 1045: Beton und Stahlbetonbau
- DIN 1055: Lastannahmen für Bauten
- DafStb Heft 220: Bemessung von Beton- und Stahlbetonbauteilen [Heft 220]

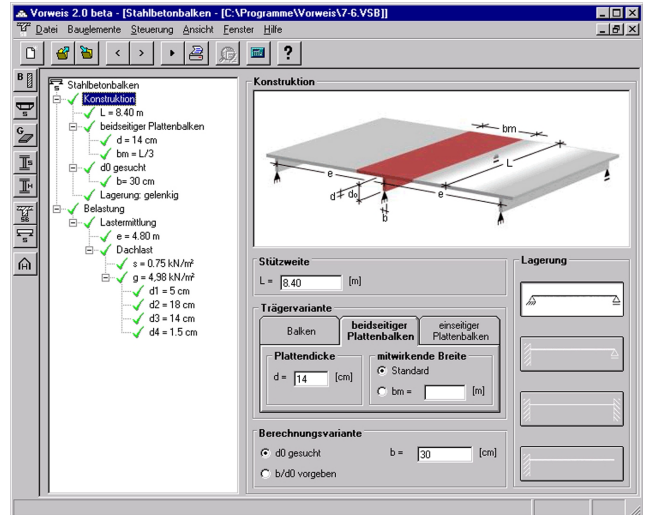


Abb. 7.6.4-1 Maske zur Konstruktionsangabe des SB-Moduls

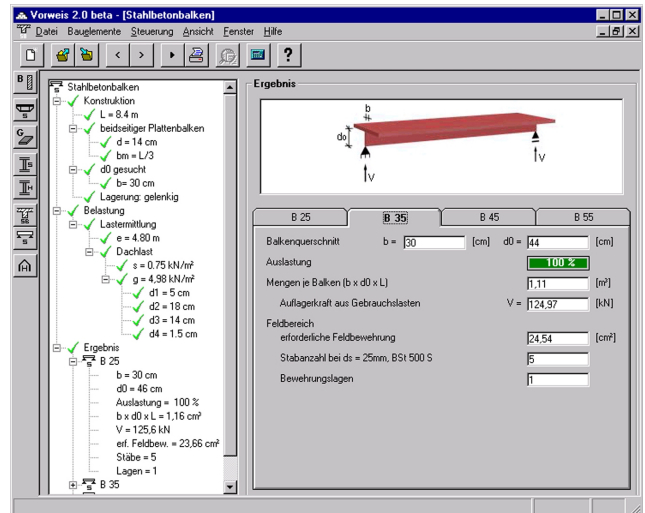


Abb. 7.6.4-2 Ergebnismaske des SB-Moduls

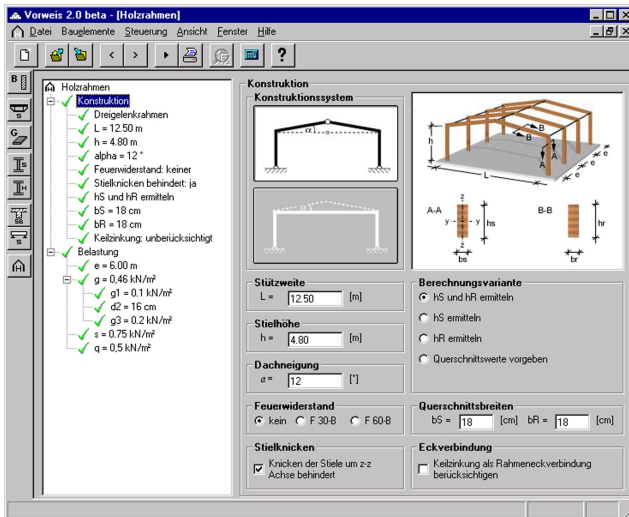


Abb. 7.6.5-1 Maske zur Konstruktionsangabe des HR-Moduls

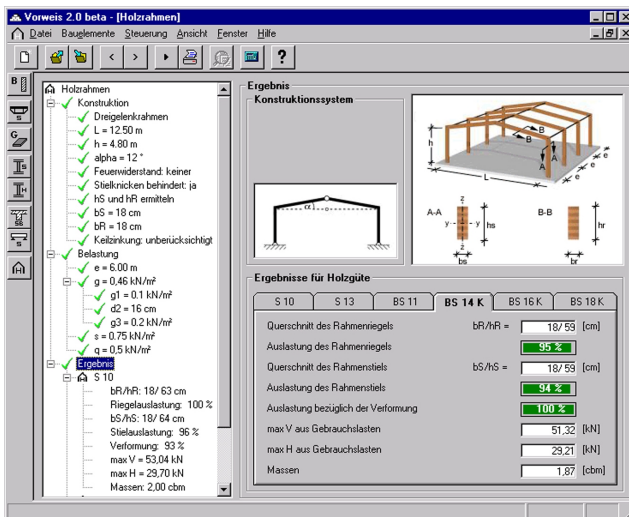


Abb. 7.6.5-2 Ergebnismaske des US-Moduls

7.6.5 Holzrahmen

Das Modul nimmt eine Vordimensionierung von Drei- und Zweigelenkrahmen aus Holz vor. Dabei berechnet oder überprüft es die erforderlichen Querschnittsabmessungen von in ihrer Ebene belasteten Holzrahmenkonstruktionen. Das Modul rechnet z. Z. mit konstanten Querschnittshöhen für Riegel und Stiele. Die Stiele von Drei- und Zweigelenkrahmen werden üblicherweise mit zum Auflager hin abnehmenden Querschnittshöhen ausgeführt. Dadurch wird der Materialbedarf wesentlich reduziert. Die Möglichkeit, dieses zu berücksichtigen, soll im VORWEIS-Modul in weiteren Bearbeitungsstufen realisiert werden.

Wird eine Ausführung mit veränderlichen Querschnittshöhen gewünscht, so ist bei der Anwendung des Moduls im momentanen Bearbeitungszustand für den Zweigelenkrahmen zu beachten, dass die berechneten Querschnittshöhen für den Rahmeneckbereich leicht zu vergrößern sind. Dies begründet sich in erster Linie im veränderten Momentenverlauf.

Es wird angenommen, dass die zu berechnende Holzkonstruktion nicht direkt der Witterung ausgesetzt ist und sich somit eine Gleichgewichtsholzfeuchte von unter 20 % einstellt. Daher wurde den Nachweisen die Nutzungsklasse 2 zugrundegelegt ($12 \% \leq u \leq 20 \%$). Die Berechnungen setzen eine ausreichende seitliche Halterung der inneren Rahmenecke voraus. Für die Knicklänge der Riegel aus der Rahmenebene wird angenommen, dass die Riegel in den Zehntelpunkten, mindestens jedoch in Abständen von 4 m, am oberen Binderrand gehalten werden.

Berechnungsgrundlagen:

- EC 5 [EC5] mit nationalem Anwendungsdokument
- DIN 1055 [DIN 1055]: Lastannahmen für Bauten
- DIN 4102 [DIN 4102]: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

7.6.6 Stahlstützen

Das Modul nimmt eine Vordimensionierung von Stahlstützen vor.

Die Berechnung erfolgt für die Stahlsorten St 37-2 und St 52-3.

Es stehen 4 verschiedene Walzprofilarten zur Auswahl. Als Belastungen werden sowohl zentrische Vertikallasten als auch verteilte Horizontallasten (z. B. Windlasten in Fassaden) berücksichtigt.

VORWEIS ermittelt die erforderlichen Abmessungen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, ein konkretes Profil vorzugeben und prüfen zu lassen.

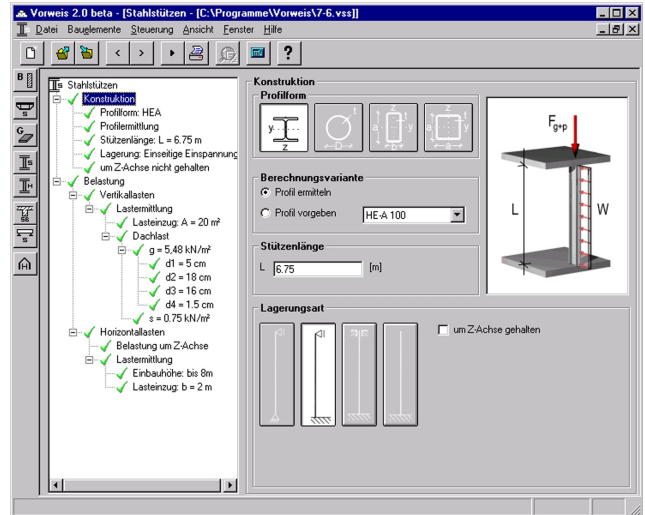


Abb. 7.6.6-1 Maske zur Konstruktionsangabe des HR-Moduls

Berechnungsgrundlagen

- DIN 18800 T 1: Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion
- DIN 18800 T 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
- DIN 1055: Lastannahmen für Bauten

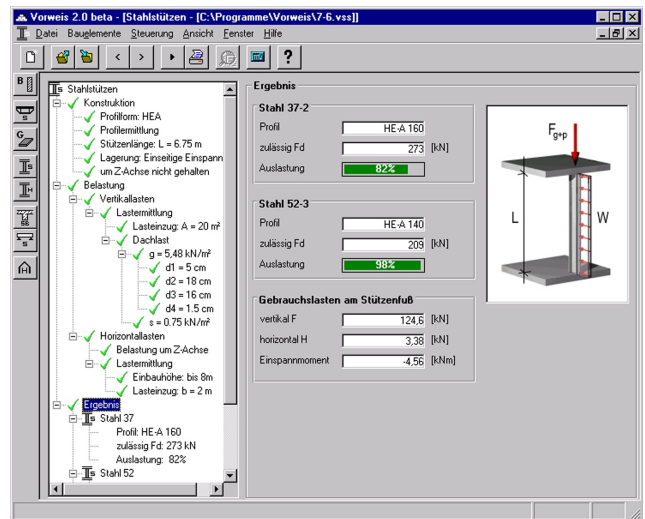


Abb. 7.6.6-2 Ergebnismaske des SS-Moduls

7.6.7 Holzstützen

Das Modul nimmt eine Vordimensionierung von Holzstützen als einteilige Stäbe vor.

Die Berechnungen erfolgen für Nadelholz der Sortierklassen S10 und S13 sowie für Brettchichtholz der Sortierklassen BS11, BS14, BS16 und BS18 [DIN 4074 Teil 1].

Als Belastungen werden – wie im Modul Stahlstützen – zentrische Vertikallasten und verteilte Horizontallasten (z. B. Windlasten in Fassaden) berücksichtigt. Bei der programminternen Berücksichtigung der Stützeigenlasten wird die Eigenlast für Nadelholz auf 6 kN/m³ und für Brettchichtholz auf 5 kN/m³ festgelegt.

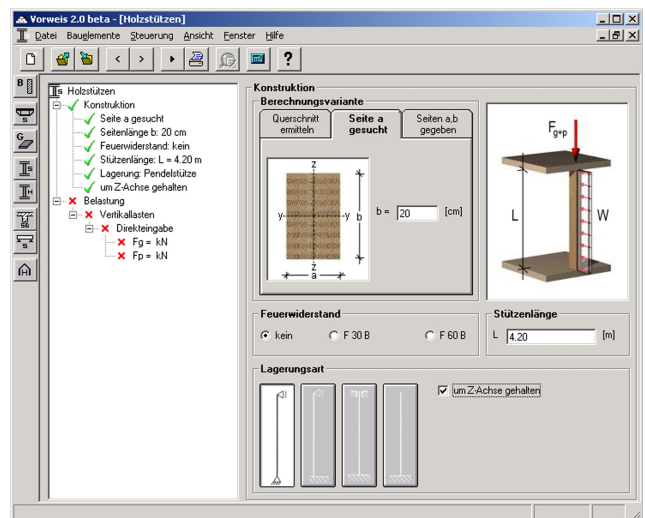


Abb. 7.6.7-1 Maske zur Konstruktionsangabe des HS-Moduls

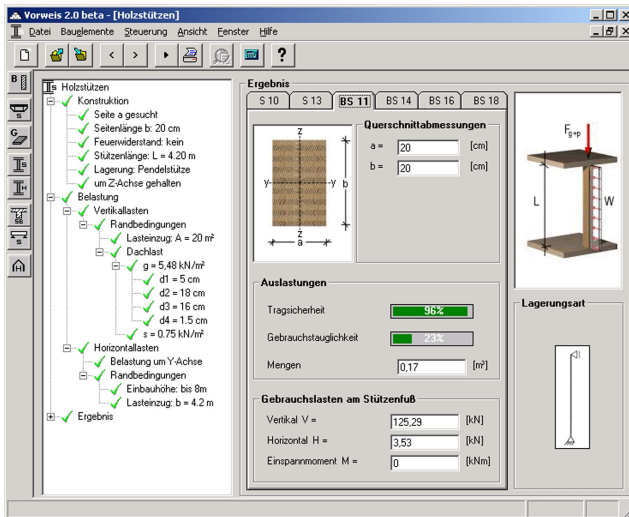


Abb. 7.6.7-2 Ergebnismaske des HS-Moduls

Zusätzlich können Brandschutzanforderungen in die Dimensionierung einfließen. VORWEIS ermittelt die erforderlichen Abmessungen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, ein konkretes Profil vorzugeben und prüfen zu lassen.

Berechnungsgrundlagen:

- DIN 1052 [DIN 1052]: Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung
- DIN 1055 [DIN 1055]: Lastannahmen für Bauten
- DIN 4102 [DIN 4102]: Brandschutz (Teil 4)
- DIN 4074 [DIN 4074] Teil 1: Sortierklassen

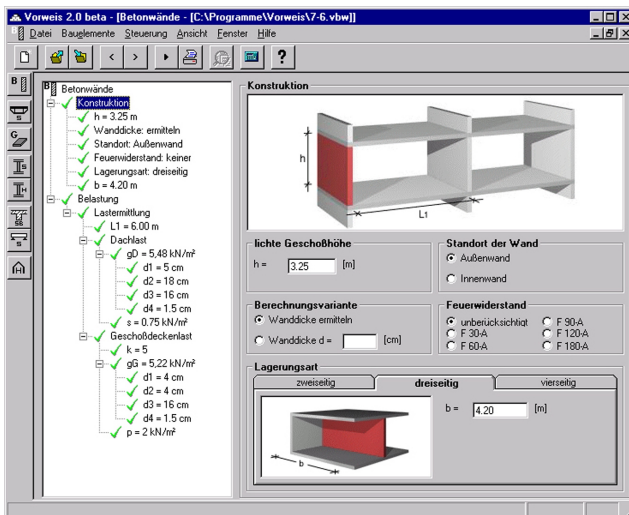


Abb. 7.6.8-1 Maske zur Konstruktionsangabe des BW-Moduls

7.6.8 Betonwände

Das Modul nimmt eine Vordimensionierung unbewehrter bzw. konstruktiv bewehrter Betonwände der Betonfestigkeitsklassen LB10, B15, B25 und B35 unter Berücksichtigung ihres Knickverhaltens vor. Ihre Schlankheit ist auf $\lambda = 70$ begrenzt.

Mindestdicken tragender Wände werden berücksichtigt:

Decke nicht durchlaufend (Außenwand)

Normalbeton: 12 cm

Leichtbeton: 18 cm

Decke durchlaufend (Innenwand)

Normalbeton: 10 cm

Leichtbeton: 12 cm

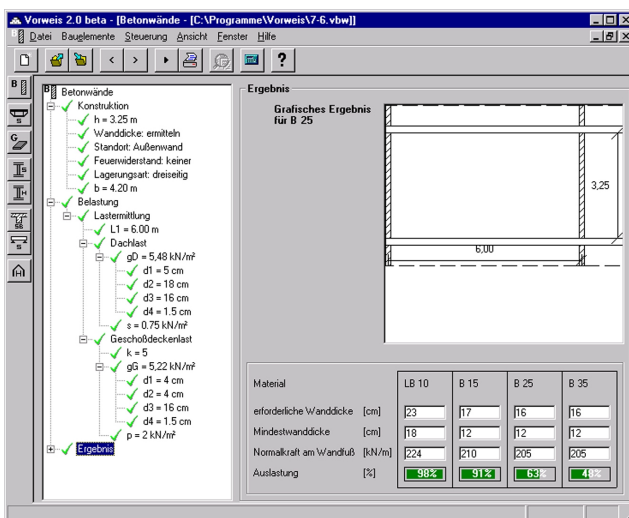


Abb. 7.6.8-2 Ergebnismaske des BW-Moduls

Durch Wahl einer Feuerwiderstandsklasse wird die in DIN 4102, Teil 4 geforderte Mindestwanddicke für unbedeckte, bis zu 100% ausgelastete Wände berücksichtigt.

Berechnungsgrundlagen:

- DIN 1045 [DIN 1045]: Beton und Stahlbetonbau
- DIN 1055 [DIN 1055]: Lastannahmen für Bauten
- DIN 4102 [DIN 4102]: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

8 Unterstützung des Tragkonstruktiven Entwerfens Ein Beispiel

Variantenuntersuchungen anhand des Stadtbahnhofes Ruhr-Universität Bochum

In diesem Kapitel sollen die Einsatzmöglichkeiten der vorgestellten Werkzeuge im Rahmen einer beispielhaften Bauaufgabe veranschaulicht werden. Gezeigt werden soll eine mögliche Entwicklung der Dachkonstruktion über den Bahnsteigen. Dabei werden keinesfalls alle möglichen Variationen von Tragrichtungen einzelner Bauelemente durchgespielt, sondern lediglich bestimmte Entwurfsgedanken, wie der Wunsch nach einer Sheddachkonstruktion mit dem gewählten Achsabstand, als gegeben angenommen. Die Entwicklung eines Dachelements wird in Ausschnitten mit Hilfe der vorhandenen Werkzeuge unterstützt. Das Bauobjekt – Stadtbahnhof Ruhr-Universität Bochum – wurde hierzu, aufgrund der klaren Gliederung seiner Tragstruktur, ausgewählt.

Die Objektplanung der 1993 fertiggestellten Überdachung oblag den Architekten agiplan (Mülheim), die Tragwerkplanung übernahmen das Ingenieurbüro IPP (Köln) und das Ingenieurbüro Baum und Weiher (Bergisch Gladbach).

“Aus den Vorgaben für kurze Bauzeiten, enge Montagetoleranzen und eine Montage bei laufendem Bahnbetrieb ergaben sich die Anforderungen an das System und die Details des Tragwerkes“ [Reichhardt 97].

Aus der Nutzung ergibt sich zunächst die Forderung, einen Witterungsschutz über den Bahnsteigen von etwa 70m Länge und 23m Breite zu entwickeln. Dementsprechend wird eine gerichtete Tragstruktur über die kürzere Stützweite geplant. Es entsteht das Konzept der verglasten Sheddallenkonstruktion mit schrägen Dachflächen.

8.1 Glaseindeckung

Aus den bauphysikalischen Erfordernissen heraus wird eine Eindeckung aus Einfachverglasung (Verbundsicherheitsglas) gewählt. Abb. 8.1-1 stellt die gewählte, glasgedeckte Sheddachform dar.



Abb. 8-1: Nachtfoto des Stadtbahnhofes Ruhr-Universität Bochum [Reichhardt 97]

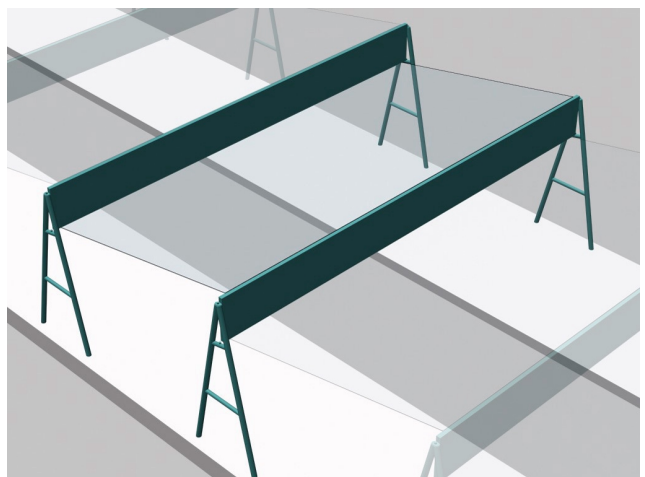


Abb. 8.1-1 – Hallenkonzept

Die Glasfläche ist durch eine Unterkonstruktion so weit zu gliedern, dass für die Schrägverglasung "sinnvolle" Stützweiten entstehen. Die Schranken der vorteilhaften Scheibengrößen können mit Hilfe des Moduls VG (Verglasungen für den nichtsenkrechten Einbau) der VORWEIS-Software ermittelt werden. Dazu muss festgestellt werden, dass es sich um eine Vor-dimensionierung handelt, da das VORWEIS-Modul nicht in der Lage ist, die durch die besondere Bauwerksgeometrie vorliegende Situation real zu modellieren. "Für die leichte Dachkonstruktion sind die Windlastannahmen nach DIN nur bedingt anwendbar; die anzusetzenden Druck- und Soglasten wurden in Versuchen ermittelt" [Reichhardt 97].

Das Modul berücksichtigt in Abhängigkeit der Dachneigung die Glaseigenlast sowie die gemäß DIN 1055 vorgesehenen Kombinationen aus Schnee- und Windlasten. Die unter Umständen maßgebenden Sogspitzen der Rand- und Eckbereiche bleiben unberücksichtigt. Die Belastungsermittlung erfolgt durch das Modul. Nutzer müssen lediglich die Einbauhöhe der Scheiben über Gelände klassifizieren (hier 8m-20m). Für die Schneelast kann der vorgeschlagene Standardwert verwendet werden.

Das Modul wurde auf Basis der Technischen Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Überkopf-Verglasungen [DIBt 96] und der Technischen Richtlinie des Glaserhandwerks Nr. 19 [TechRicht19 88] (Überkopf-Verglasungen, Glaserarbeiten, Bestandsaufnahme der Ausführungsvorschriften, Dickenwahl von Glasscheiben für nicht senkrechten Einbau) entwickelt. Es impliziert neben Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweisen auch zusätzliches Expertenwissen, welches Nutzern die Einsatzgrenzen aufzeigt. So wird z. B. die Forderung der Technischen Richtlinie "VSG-Scheiben aus Spiegelglas sind bei Stützweiten über 1,20m allseitig zu lagern" in der Form berücksichtigt, dass die Nutzer in der Ausgabe den Hinweis „nicht zulässig“ erhalten.

Der Objektplaner wählte im vorliegenden Fall eine Rechteckgeometrie mit Ausrichtung in Trassenrichtung (Längsrichtung). Die Möglichkeit einer Ausrichtung in die dazu orthogonale Richtung wird nicht weiter verfolgt.

Durch eine Teilung der Scheibenelemente in Längsrichtung in 4 Felder ergeben sich Scheibenlängen von 2,55m. Zur Frage der Stützweite der Scheiben soll eine Parameterstudie mit VORWEIS durchgeführt werden. Als Ergebnis wird jeweils die Tabelle der zulässigen Verwendungskombinationen mit den entsprechenden Ergebnissfeldern angezeigt. Für den betrachteten Fall unterstützt die Ausgabe der Varianten Anwender dadurch, dass ihnen für die aus bauphysikalischen Gründen gewählte Einfachverglasung nur das Verbundsicherheitsglas aus Spiegelglas angeboten wird [Abb.8.1-3]. Die Ausgabedicken entsprechen üblichen Lieferdicken der Hersteller. Anwender nutzen somit das eingebrachte Expertenwissen.

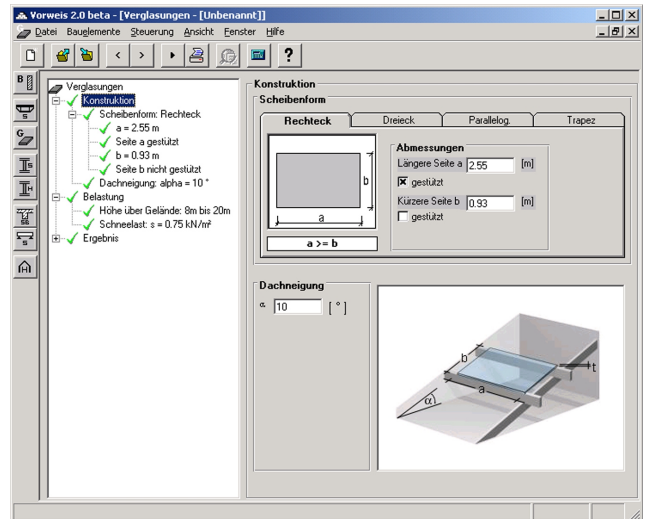


Abb. 8.1-2 – Konstruktionseingabemaske

Konstruktionsangaben

konstante Werte:

Geometrie: Rechteck; Seite a = 2,55m

Seite a gestützt (gemäß Infografik auf Abb.8.1-2)

Dachneigung $\alpha = 10^\circ$

Varianten z. B.:

Seite b = 2,55m, ungestützt

Ergebnis: nicht zulässig

Seite b = 2,55m, gestützt

Ergebnis: VSG mit $t = 2 \bullet 10\text{mm}$

Seite b = 2,00m, gestützt

Ergebnis: VSG mit $t = 2 \bullet 10\text{mm}$

Seite b = 1,86m, gestützt

Ergebnis: VSG mit $t = 2 \bullet 10\text{mm}$

Seite b = 1,50m, gestützt

Ergebnis: VSG mit $t = 2 \bullet 8\text{mm}$

Seite b = 1,24m, gestützt

Ergebnis: VSG mit $t = 2 \bullet 8\text{mm}$

Seite b = 0,93m, ungestützt

Ergebnis: VSG mit $t = 2 \bullet 5\text{mm}$

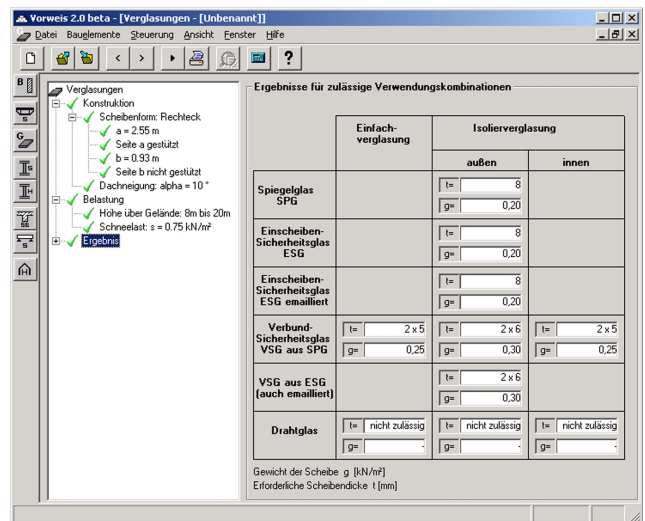


Abb. 8.1-3 – Ergebnismaske

Der Objektplaner kann nun abwägen, welche Stützweite er unter Berücksichtigung der zu erwartenden Scheibendicke wählt. Durch die gewählten Scheibenabmessungen wird maßgeblich der Preis für die Dachfläche determiniert. Hier wurde die Querrichtung mit relativ kleinen Stützweiten (0,93m) in 24 Felder gegliedert. Dementsprechend kamen Verglasungen VSG 10mm (2 • 5mm) zum Einsatz.

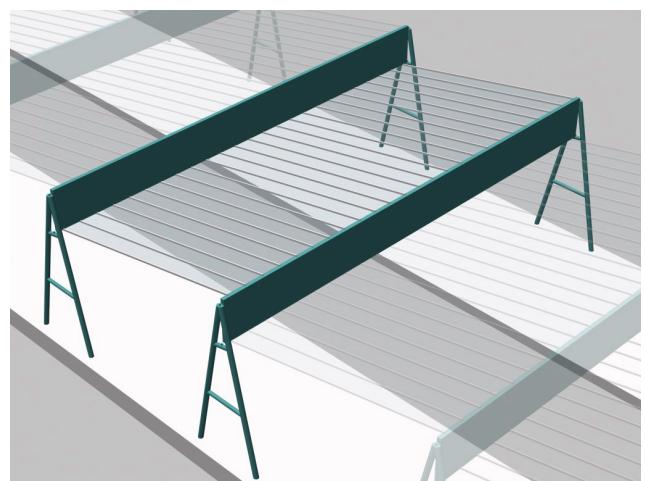


Abb. 8.1-4 – Hallenkonzept (Darstellung der Glas-halteleisten)

8.2 Variante: Binder ohne Nebenträger

Zunächst soll geprüft werden, welche Profile zu erwarten wären, wenn im Achsmaß von 0,93m Binder angeordnet würden. Wie in Abb. 8.1-3 gezeigt, erfolgt neben der Angabe der Scheibendicke t auch die Angabe der Glaseigenlast g . Die Trägereigenlast wird vom Modul eigenständig berücksichtigt. Damit ist die Lastzusammenstellung für primäre Lasten zur Ermittlung der Binderbelastungen praktisch schon erfolgt. Die aufgrund der Projektion der Lasten in die Horizontale vorzunehmende Erhöhung derselben kann im Rahmen der Vordimensionierung bei der vorhandenen Dachneigung von $\alpha = 10^\circ$ entfallen. Die entstehende Abweichung ergibt sich zu 1,5%.

Zur Untersuchung der Option, Binder ohne Nebenträger einzusetzen, wird das VORWEIS-Modul FS (Stahlträger und Stahlfachwerkträger) eingesetzt. Als Profilform wird ein rechteckiges Hohlprofil z. B. der MSH-Reihe [V&M 98] gewählt [Abb. 8.2-1].

Das VORWEIS-Ergebnis zeigt, dass sowohl für die Materialvariante Stahl 37-2 als auch für die Variante Stahl 52-3 zunächst das Profil MSH 200x100x10 erforderlich wird. Dabei wird der maßgebende Tragsicherheitsnachweis für St 37-2 mit $0,33 < 1$ und für St 52-3 mit $0,22 < 1$ erfüllt. Somit ist ablesbar, dass für die angegebene erforderliche Profilgröße der Gebrauchtauglichkeitsnachweis maßgebend wird. Die zulässigen Verformungen sind auf $\frac{l}{300}$

begrenzt. Anwender können nun dieses Profil für weitere Überlegungen verwenden. Sie können aber auch z. B. eine Überhöhung der Träger für die Verformungen aus Eigenlasten in Erwägung ziehen. VORWEIS ist aus den in Kapitel 6 beschriebenen Gründen in seinen Ein- und Ausgaben auf wesentliche Aspekte beschränkt. In einem solchen Fall sind also weitreichendere Untersuchungen erforderlich. Das VORWEIS-Modul wird also noch einmal eingesetzt. Diesmal wird in der Konstruktionseingabemaske die Option "Profil vorgeben" gewählt. Es wird z. B. ein rechteckiges Stahl-Hohlprofil 180x100x6,3 ausgewählt.

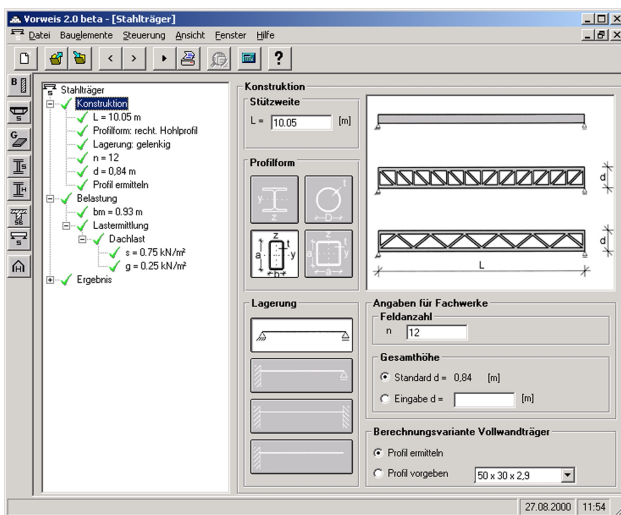


Abb. 8.2-1 – FS-Konstruktionseingabemaske

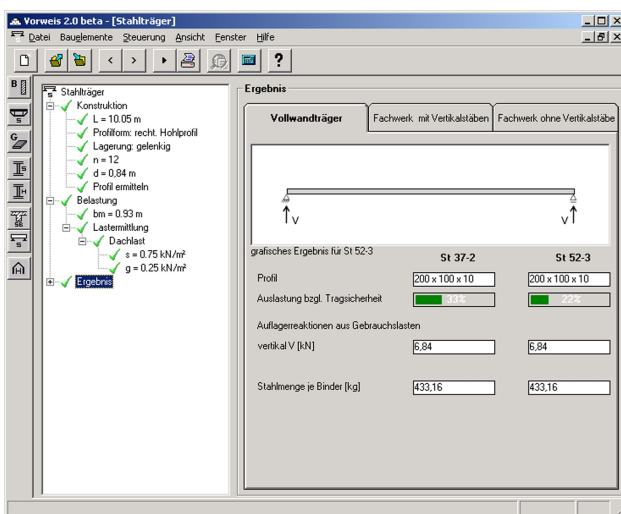


Abb. 8.2-2 – FS-Ergebnismaske

VORWEIS gibt für den Träger aus St 37-2 eine Auslastung aus dem maßgebenden Tragsicherheitsnachweis von 52% an (Verfahren: Elastisch-Plastisch).

Zur Feststellung der vorhandenen Verformungen kann das TRAGKO-Modul „Betrachtung ausgewählter Statischer Systeme“ eingesetzt werden. Die Ermittlung ist in Ausschnitten in der Bildfolge 8.2-3 bis 8.2-5 gezeigt. Es ergibt sich eine Verformung von

$$vorh f_{Ges} = 5,24cm$$

In einem zweiten Schritt wird durch die Eingabe von $p = 0 \text{ kN/m}^2$ die Verformung aus Eigenlasten ermittelt:

$$vorh f_{Eigen} = 2,15cm$$

Würden die Träger um diesen Betrag überhöht, ergäbe sich eine Verformung aus Volllast zu

$$vorh f_{Voll} = 3,09cm < zul f = \frac{l}{300} = 3,35cm$$

Die Stahlmenge je Binder betrüge, wie im VORWEIS-Modul angegeben, 262 kg. Je Sheddachabschnitt würde der Binder 25 mal zum Einsatz kommen. Damit ergäbe sich ein Stahlverbrauch von 6550 kg je Abschnitt. Dieser Ausgabewert kann, neben Kriterien wie der transparenten Erscheinung, der Montage, des Lohnaufwandes für die Fertigung und anderen Kriterien, als ein Kriterium für eine gute Dachkonstruktion herangezogen werden. Der Wert wird später noch als Vergleichswert bewertet.

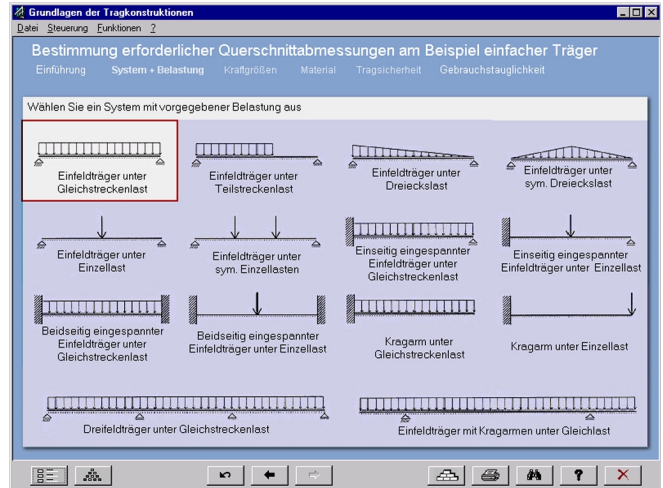


Abb. 8.2-3 Auswahl: Einfeldträgers mit Gleichlast

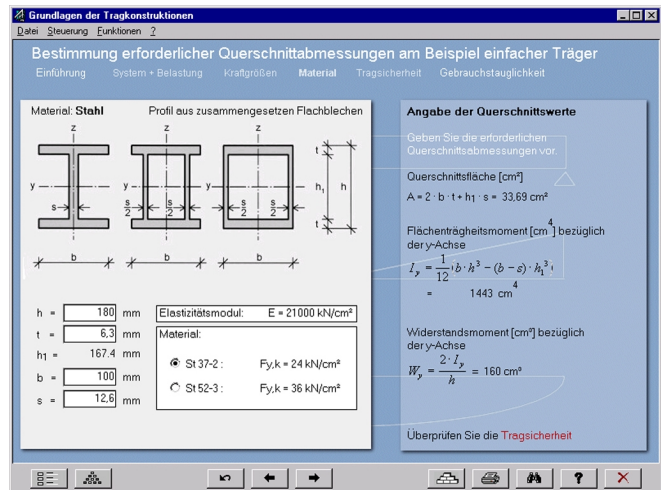


Abb. 8.2-4 – Material u. Querschnittswerte

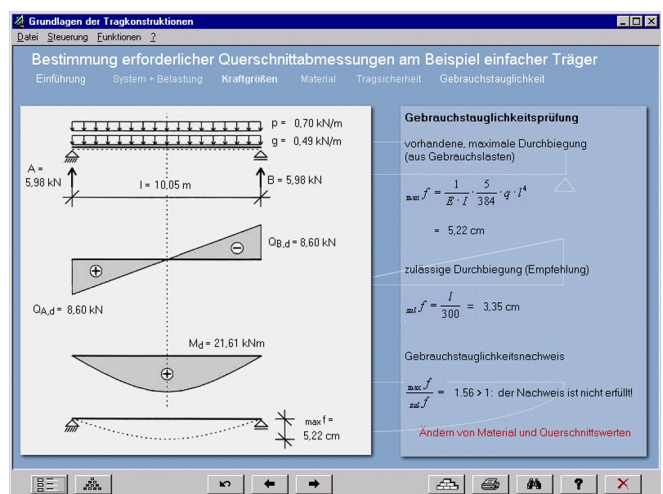


Abb. 8.2-5 – Verformung unter Volllast

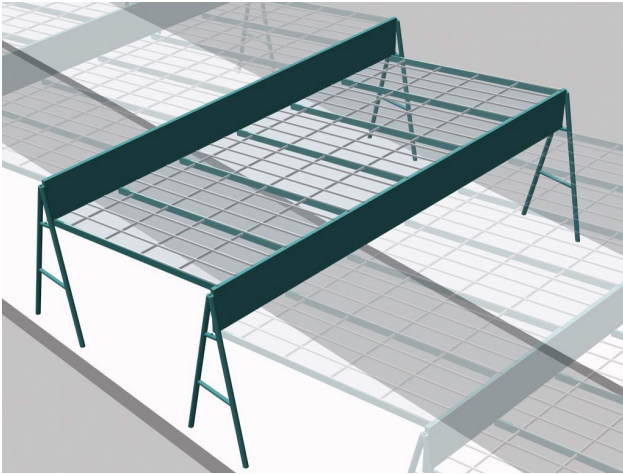


Abb. 8.3-1 – Hallenkonzept (ausgeführten Konstruktionsraster der Binder und Nebenträger)

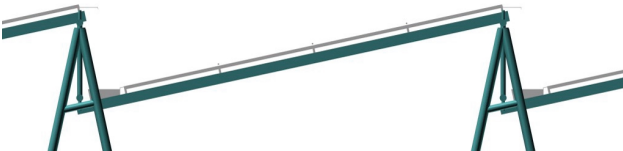


Abb. 8.3.1-1. Binder als Walzprofilträger

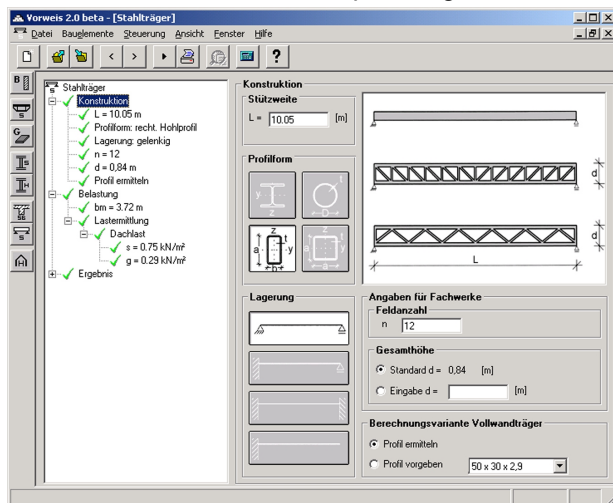


Abb. 8.3.1-2 – Konstruktionseingabemaske für Binderanalyse mit Rechteckquerschnitt

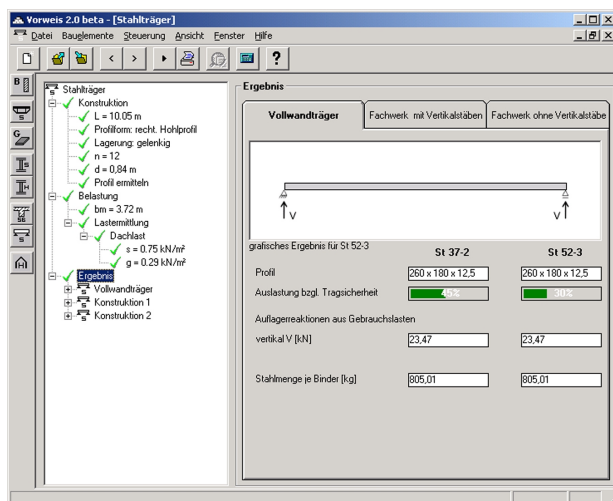


Abb. 8.3.1-3 – Ausgabemaske Rechteckquerschnitt

8.3 Variante: Binder mit Nebenträgern

Es kann überlegt werden, nicht unter jeder Glashalteleiste ein Binderprofil anzuordnen. In diesem Fall wird ein Sekundärtragwerk, die Nebenträger, erforderlich.

An dieser Stelle können nun aufschlussreiche Parameterstudien durchgeführt werden mit dem Ziel, die Konsequenzen unterschiedlicher Nebenträger- und Binderabstände aufzuzeigen. Auch darauf soll hier nicht näher eingegangen werden.

Unter der Voraussetzung, die in Bild 8.3-1 gezeigten und zur Ausführung gekommenen Nebenträger (Rechteck Hohlprofil 100x50x4) als gegeben anzusehen, sollen hier unterschiedliche Ausführungsvarianten der Binder angesprochen werden. Der gewählte Binderachsabstand von 3,72m teilt die Dachfläche in sechs gleich große Felder. Es werden Ausführungsvarianten von Vollwandquerschnitten, Unterspannten Trägern und Fachwerkträgern untersucht.

8.3.1 Binder als Walzträger mit Rechteck-Hohlprofil

Die Belastung der Binder wird im Sinne einer Vordimensionierung als gleichmäßig verteilte Streckenlast angenommen.

Belastung (Auflast) je m² Dachfläche:
0,25 kN/m² (Verglasung) + 0,04 kN/m² (Nebenträger) = 0,29 kN/m².

VORWEIS ermittelt für einen Binder (Innenfeld) als Rechteck-Hohlprofil mit $h \times b \times t = 260 \times 180 \times 12,5 \text{ mm}$. Wie bereits bei der Variante ohne Nebenträger, ist auch hier die Auslastung aus Tragsicherheit für diesen Träger nicht maßgebend. Sie wird für St 37-2 mit $0,45 < 1$ und für St 52-3 mit $0,30 < 1$ angegeben. Wird für diesen Fall genauso verfahren, wie in Kapitel 8.2 gezeigt (Überhöhung für die Verformungen aus Eigenlasten), kann bei der Verwendung von Stahl 37-2 z. B. ein Rechteck-Hohlprofil mit $h \times b \times t = 250 \times 150 \times 10 \text{ mm}$ verwendet werden. Die Auslastung aus dem maßgebenden Tragsicherheitsnachweis beträgt dann $0,61 < 1$.

Die Stahlmenge je Binder beträgt, wie im VORWEIS-Modul angegeben, 591 kg. Je Sheddachabschnitt würde der Binder 7 mal zum Einsatz kommen.

Dabei wird hier, wie bei den anderen Varianten, die Möglichkeit außer Betracht gelassen, die Binder am Dachrand entsprechend ihrer geringeren Lasteinzugsbreite kleiner zu wählen. Es ergäbe sich ein Stahlverbrauch von 4137 kg (Binder) zuzüglich 980 kg (Nebenträger), also je Dachabschnitt 5117 kg.

8.3.2 Binder als Fachwerkträger aus Rundrohrwalzprofilen

Aufgrund der vorwiegend reinen einachsigen Biegebeanspruchung der unter 8.3.1 dargestellten Variante, bietet die betrachtete Rechteckform, mit ihrem günstigen Verhältnis der flächenbezogenen Steifigkeit, Vorteile gegenüber einer z. B. kreisförmigen oder quadratischen Profilform. Bei unterspannten Trägern und noch mehr bei Fachwerkträgern werden die Querlasten zu großen Teilen in Form von Normalkräften in den einzelnen Stäben abgetragen. Deshalb können diese aufgelösten Tragwerke im Allgemeinen auch wirtschaftlich aus doppeltsymmetrischen Profilen erstellt werden, die für zwei Richtungen dieselbe flächenbezogene Steifigkeit aufweisen.

Im Weiteren sollen hier Varianten mit Stäben aus Rundrohren untersucht werden, da diese im gewählten Anwendungsbeispiel zur Ausführung kamen.

Wird die in Abb. 8.3.1-2 dargestellte Eingabe, mit Ausnahme der geänderten Profilform, übernommen, kommt es zu den in den Abb. 8.3.2-3 und 8.3.2-4 gezeigten Ergebnissen. Dabei wurden hier Fachwerkträger mit 12 Feldern gewählt. Die Systemhöhe wurde mit 84cm (Voreinstellung des Programms) so gewählt, dass die Fachwerkdiagonalen unter 45° verlaufen.

An dieser Stelle könnten wiederum Studien durchgeführt werden, die den Einfluss unterschiedlicher Feldanzahlen und unterschiedlicher Systemhöhen analysieren. Darauf wird verzichtet.

Für das Ständerfachwerk ergibt sich, wie in Abb. 8.3.2-3 gezeigt, ein Stahlbedarf von 173 kg je Binder. Damit ergäbe sich für diese Variante ein Stahlverbrauch von 1211 kg (Binder) zuzüglich 980 kg (Nebenträger), also je Abschnitt 2191 kg.

Für das Strebenfachwerk ergibt sich, wie in Abb. 8.3.2-4 gezeigt, ein Stahlbedarf von 183 kg je Binder.

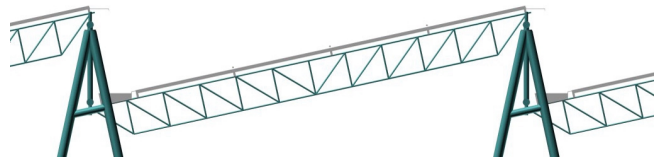


Abb. 8.3.2-1

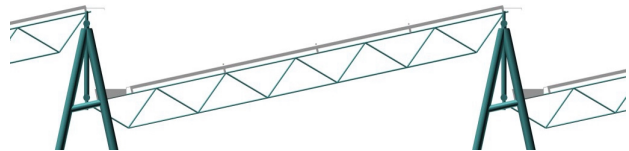


Abb. 8.3.2-2

	St 37-2	St 52-3
Erforderlicher Obergurt	38 x 5	38 x 5
Erforderliche Diagonalstäbe	38 x 3,2	38 x 3,2
Erforderliche Vertikalstäbe	38 x 3,2	38 x 3,2
Erforderlicher Untergurt	38 x 5	38 x 3,2
Auflagerreaktionen aus Gebrauchslasten		
vertikal V [kN]	20,31	20,19
Stahlmenge je Binder [kg]	173,41	148,99

Abb. 8.3.2-3 – Ergebnisdarstellung für Fachwerkkonstruktionsvariante 1.

	St 37-2	St 52-3
Erforderlicher Obergurt	76,1 x 5	60,3 x 6,3
Erforderliche Diagonalstäbe	38 x 3,2	38 x 3,2
Erforderlicher Untergurt	38 x 5	38 x 3,2
Auflagerreaktionen aus Gebrauchslasten		
vertikal V1 [kN]	20,36	20,22
Stahlmenge je Binder [kg]	183,47	155,46

Abb. 8.3.2-4 – Ergebnisdarstellung für Fachwerkkonstruktionsvariante 2.

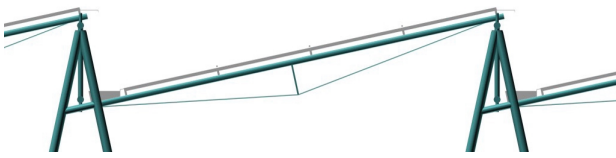


Abb. 8.3.3-1

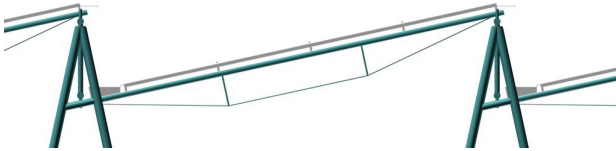


Abb. 8.3.3-2



Abb. 8.3.3-3

Der Mehrbedarf gegenüber Konstruktionsvariante 1 liegt vorrangig in der verdoppelten Knicklänge des druckbeanspruchten Obergurtes begründet. Damit ergäbe sich für diese Variante ein Stahlverbrauch von 1281 kg (Binder) zuzüglich 980 kg (Nebenträger), also je Abschnitt 2261 kg.

8.3.3 Binder als Unterspannter Träger mit einem Rundrohrwalzprofil als Obergurt

Es werden auch in dieses Modul die in Abbildung 8.3.1-2 gezeigten Eingabewerte übernommen. Damit ergeben sich die in den Abbildungen 8.3.3-4 – 8.3.3-6 gezeigten Ergebnisse. Zusätzlich ist für diesen Anwendungsfall zu beachten, dass der Lastfall Windsog auf der Dachoberseite zu geringen Druckspannungen in der Unterspannung führen kann.

Dieser Aspekt ist bei der Nutzung des VORWEIS-Moduls zu berücksichtigen. Das Modul ermittelt die erforderlichen Abmessungen nur aus Lasten, die Druckspannungen im Obergurt erzeugen. In der zur Ausführung gekommenen Konstruktion wurden zur Aufnahme der Druckspannungen T-Querschnitte aus geschweißten Flachstähen mit $t = 10\text{mm}$ verwendet.

Für die Konstruktionsvariante 1 dieses Moduls (Unterspannung mit einer Spreize [Abb. 8.3.3-1]) ergibt sich, wie in Abb. 8.3.3-4 dargestellt, ein Stahlbedarf von 307 kg je Binder. Damit ergäbe sich für diese Variante ein Stahlverbrauch von 2149 kg (Binder) zuzüglich 980 kg (Nebenträger), also je Abschnitt 3129 kg.

Für die ausgeführte Konstruktionsvariante 2 (Unterspannung mit 2 Spreizen [Abb. 8.3.3-2]) ergibt sich, wie Abb. 8.3.3-5 zeigt, ein Stahlbedarf von 179 kg je Binder. Der Stahlverbrauch je Sheddachabschnitt liegt damit bei 2233 kg.

Käme die Konstruktionsvariante 3 [Abb. 8.3.3-3] zur Ausführung, wäre mit einem Aufwand von 163 kg je Binder und damit mit 2121 kg je Dachabschnitt zu rechnen.

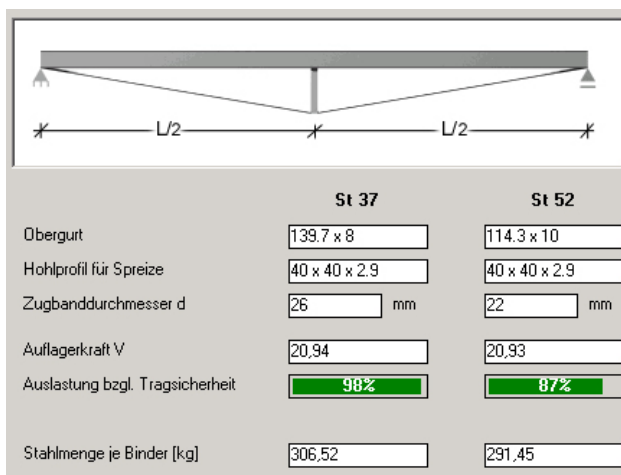


Abb. 8.3.3-4 – Ausgabemaske der Variante Unterspannter Träger mit einer Spreize

Der Vergleich der einzelnen Ausführungsvarianten zeigt erwartungsgemäß, dass der Materialaufwand bei gleicher Materialgüte sinkt, je weiter die Lastabtragung von der Biegebeanspruchung in eine Normkraftabtragung überführt werden kann. Der Unterspannte Träger mit drei Spreizen hat gegenüber den Fachwerklösungen einen etwas geringeren Materialbedarf. Dies liegt darin begründet, dass die angegebenen Fachwerke in den Randbereichen der Ober- und Untergurte sowie im mittleren Bereich der Spreizen nicht optimiert wurden.

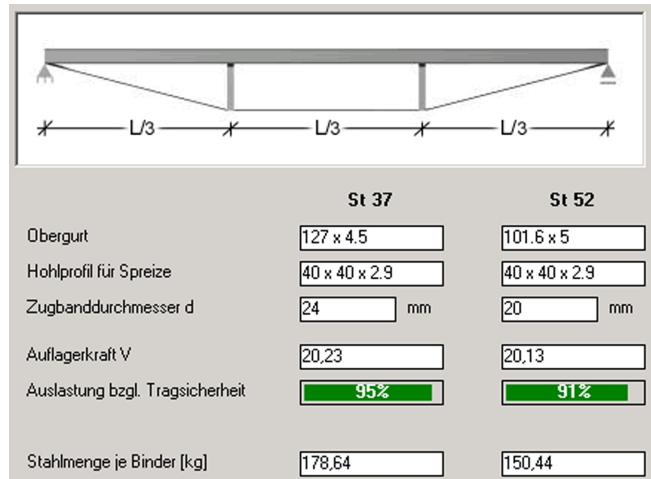


Abb. 8.3.3.5 – Ausgabemaske der Variante Unterspannter Träger mit zwei Spreizen

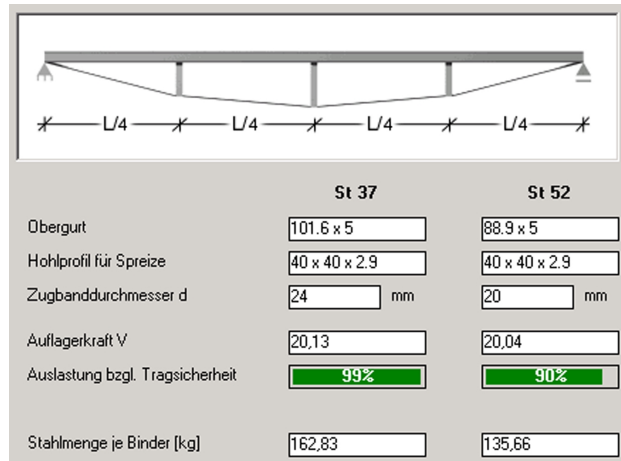


Abb. 8.3.3.6 – Ausgabemaske der Variante Unterspannter Träger mit drei Spreizen

Die Abbildung 8.3.3-7 bezieht die Ergebnisse der untersuchten Varianten der Dachabschnitte auf den Stahlverbrauch bei Ausführung mit einem einfachen Walzprofilträger.

Die zur Ausführung gekommene Variante – Unterspannter Träger mit zwei Spreizen – liegt mit 2233 kg je Abschnitt im unteren Bereich des Stahlverbrauchs dieses Vergleiches. Gegenüber der Variante "Walzträger mit Rechteckhohlprofil" reduziert sich der Stahlverbrauch auf 43,6%. Die starke Reduzierung der Mengen gegenüber der Lösung mit einer Spreize (61,1%) und der relativ geringe Mehraufwand gegenüber der Lösung mit drei Spreizen (41,5%) lassen erwarten, dass es hier zu einer Optimierung kommen muss. Mit zunehmender Spreizenzahl kann (bis zu einem gewissen Maß) der Obergurt weiter verkleinert werden. Dementgegen steht ein höherer Fertigungsaufwand mit mehr Anschlussdetails. Der zur Ausführung gewählte Unterspannte Träger mit zwei Spreizen kann somit, unter den Aspekten der tragkonstruktiven Eigenschaften, als gute Lösung gelten.

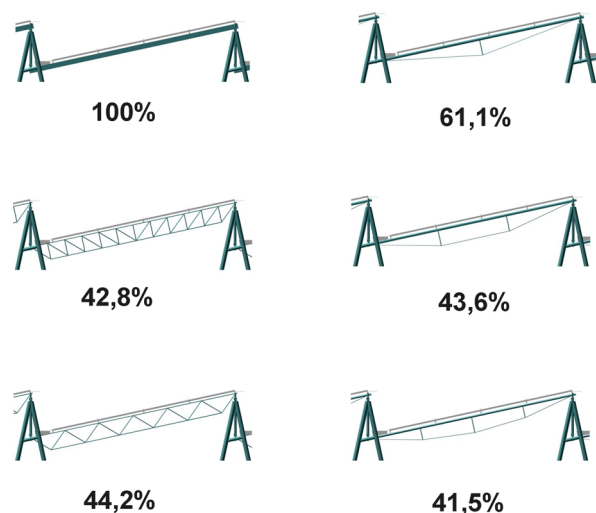


Abb. 8.3.3-7 – Bezogener Stahlverbrauch der Dachabschnitte unterschiedlicher Varianten

9. Evaluierungen

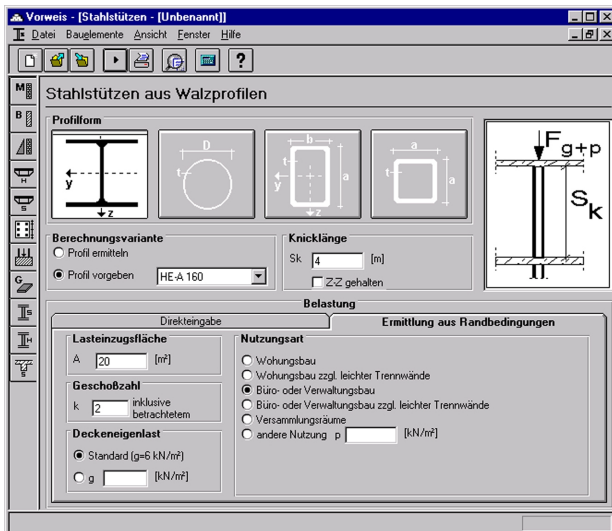


Abb. 9-1 Eingabemaske zum Modul Stahlstützen der Version 1.0

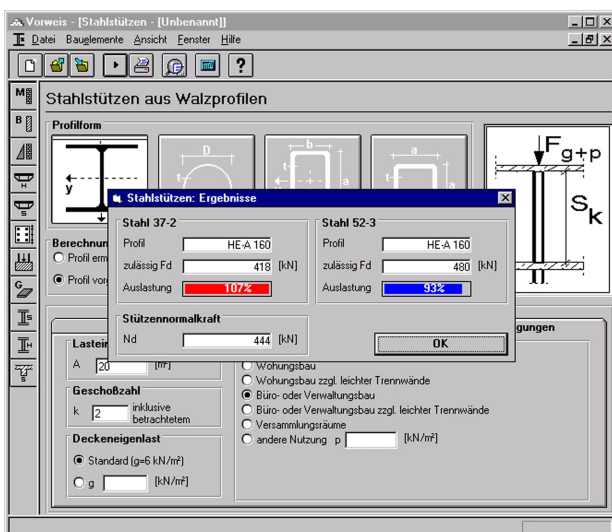


Abb. 9-2 Ergebnismaske zum Modul Stahlstützen der Version 1.0

Die frühzeitige Durchführung von Evaluierungen ist für die bisherigen Entwicklungsergebnisse von entscheidendem Einfluss. Aus diesem Bewusstsein heraus entstand die Forderung, eine erste Version möglichst schnell zu veröffentlichen. Im Februar 1998 wurden deshalb die Versionen 1.0 von VORWEIS und TRAGKO über das Internet veröffentlicht. In der Programmversion VORWEIS 1.x waren hier 11 Module implementiert. Gleichzeitig mit der Veröffentlichung wurden die Programme am Fachbereich Architektur der Fachhochschule Münster in die Lehrinhalte des Faches Tragkonstruktionen einbezogen.

Im 2. Fachsemester wurden den Studierenden die verfügbaren Module beider Anwendungen im Rahmen von Übungsveranstaltungen erläutert. Im Rahmen der Vorlesungsveranstaltungen wurden die im TRAGKO enthaltenen Themen, insbesondere zur Grundlagenvermittlung, daraufhin mit verkürztem Zeitaufwand gelehrt. Die gewonnene Zeit konnte dann für Seminare verwendet werden, in denen Studierende ihren Kommilitonen eigene Entwürfe zur Diskussion bezüglich konstruktiver Aspekte vorstellten.

Die Programme wurden seitens der Studierenden im weiteren Studienverlauf zur Unterstützung ihrer Entwurfsaufgaben eingesetzt.

Im Rahmen der entwurfsbegleitenden Korrekturen konnten die Inhalte, wenn auch mit Einschränkungen, verlagert werden. Diese Einschränkungen waren einerseits durch die Anwendungen selber gegeben. So konnten viele der Konstruktionsentwürfe nur unzureichend auf Systeme, die durch die verfügbaren Module erfasst waren, zurückgeführt werden. Auch konnten auftretende mechanische Phänomene nicht immer erfasst werden. Es konnten z. B. zentrisch beanspruchte Stahl- oder Holzstützen dimensioniert werden. Sollten diese aber als Hochbaustützen gleichzeitig horizontale Lasten übernehmen, war eine Dimensionierung mit VORWEIS nicht mehr möglich. Einschränkungen waren andererseits aber auch auf die geringe Kenntnis und Erfahrung der Studierenden zurückzuführen. Dies lag an dem im Studienverlauf sehr früh angesiedelten Einsatz der Software.

Zudem wirkten sich die zur Anwendung der VORWEIS-Module der Versionen 1.x durchzuführenden Lastzusammenstellungen zum Teil hemmend auf den Moduleinsatz aus.

Dennoch wurden in den Korrekturen vielfach nicht mehr die zuvor immer wiederkehrenden Fragen nach der Dimension der im Entwurf enthaltenen Tragelemente gestellt. Eine bis dahin erforderliche Vordimensionierung mit Tabellenwerken wurde, abgesehen von Übungen im Fach Tragkonstruktionen, von den Studierenden in der Regel gemieden und durch Fragen in den Korrekturen ersetzt. Nun wurde stattdessen Zeit verfügbar, um z. B. Fragen zur Aussteifung der Gesamtstruktur oder bezüglich der zur Nutzung der Rechnerunterstützung getroffenen System- und Belastungsannahmen zu diskutieren. Damit konnte das Verständnis der eigenen Entwürfe besser als bisher gefördert werden.

Durch diese Anwendungen im Lehrbetrieb konnten viele Erkenntnisse gewonnen werden, die dann die Entwicklung der Versionen 2.x beeinflussten.

Die Versionen 2.x werden bereits an mehreren Hochschulen in den Lehrbetrieb eingebunden. An der RWTH-Aachen wurden diese Versionen einer umfangreichen Evaluierung durch Studierende unterzogen. Dazu wurde am Lehrstuhl für Tragkonstruktionen ein Fragenkatalog zu positiven und negativen Eigenschaften der Anwendungen erstellt. Einer in vielen Aspekten positiven Grundhaltung, den Inhalten und Kommunikationselementen gegenüber (z. B. übersichtliche Benutzerführung, kein Einarbeitungsaufwand, anschauliche Erläuterungen), wurde als Hauptkritik der für viele Tragwerke noch fehlende Inhalt benannt. Dahingehend sind noch zahlreiche Entwicklungen erforderlich.

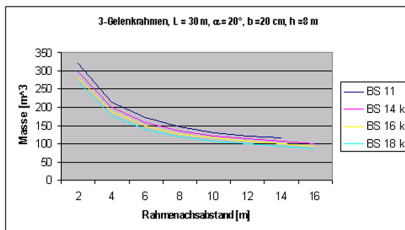


Abb. 9-3 Dreigelenkrahmen unter Variation der Rahmenachsabstände

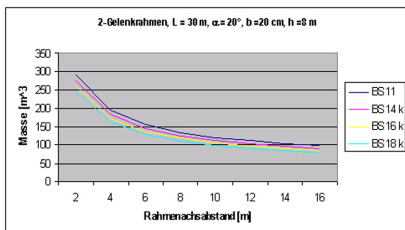


Abb. 9-4 Zweigelenkrahmen unter Variation der Rahmenachsabstände

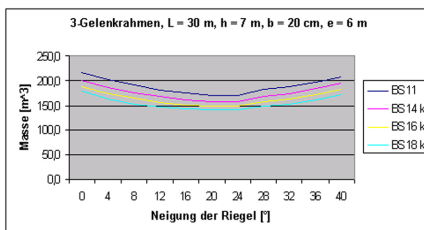


Abb. 9-5 Dreigelenkrahmen unter Variation der Riegelneigung

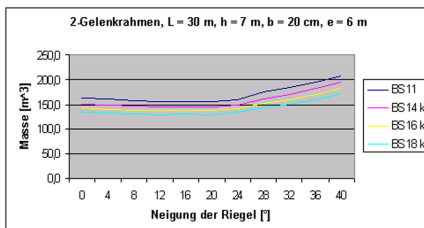


Abb. 9-6 Zweigelenkrahmen unter Variation der Riegelneigung

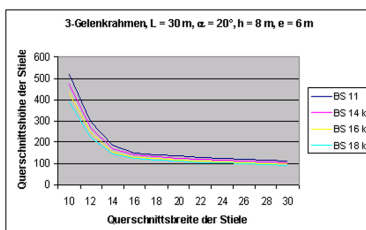


Abb. 9-7 Dreigelenkrahmen unter Variation der Querschnittsbreite

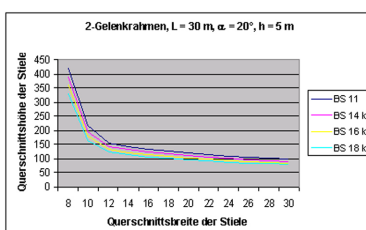


Abb. 9-8 Zweigelenkrahmen unter Variation der Querschnittsbreite

Ein weiterer, innerhalb einer Diplomarbeit überprüfter Aspekt, ist die Eignung des Programms VORWEIS zur Durchführung von Parameterstudien. Die prinzipiellen Gründe für diese Eignung wurden bereits ausführlich diskutiert. Die numerische Eingabe beschränkt sich auf die die Abmessungen wesentlich beeinflussenden Parameter. Veränderungen im Gesamtergebnis, die sich aus der Variation einzelner Parameter ergeben, können direkt zu Auswertungen herangezogen werden. Schulte verfasste 1999 am Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Münster eine Diplomarbeit zum Thema "Vergleichende Studien für Holzrahmen mittels Vordimensionierung der Tragkonstruktion" [Schulte 99]. Ein wesentlicher Teil ihrer Arbeit bestand in der Erstellung eines Ablaufdiagramms zur programmtechnischen Umsetzung des VORWEIS-Moduls "Holzrahmen". Die Ergebnisse der auf dem nationalen Anwendungsdokument des Eurocode 5 [EC5-NAD] basierenden Berechnungen wurden durch einen anhand von mehreren Beispielen durchgeführten Vergleich mit einem kommerziellen Bemessungsprogramm [Blaß 99] überprüft.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Zweigelenkrahmen und Dreigelenkrahmen unterschiedlicher Materialgüten in die Analyse einbezogen.

Für die Untersuchungen wurden verschiedene Parameter (z. B. Rahmenachsabstand, Riegelneigung und Querschnittsbreite) variiert. Schnee- und Windlasten werden in Abhängigkeit von Stielhöhe und Riegelneigung programmintern ermittelt und angesetzt.

In Bezug auf eine 100 m lange Halle werden die für die unterschiedlichen Varianten benötigten Holzmassen angegeben. Für die Variante „Querschnittsbreite“ werden in den Diagrammen [Abb. 9-7 – 9-8] beispielhaft die erforderlichen Querschnittshöhen angegeben.

So konnten unter der Vorgabe nutzungsbedingter oder auch städtebaulicher Rahmenbedingungen sehr schnell wirtschaftliche Lösungsvarianten entwickelt werden. Die in den Abbildungen 9-3 – 9-8 gezeigten Ergebnisse stellen nur einen kleinen Ausschnitt der variierten Parameter dar. Den Diagrammen 9-3 – 9-4 lässt sich beispielsweise entnehmen, dass unter der gegebenen Situation der optimale Rahmenachsabstand im Bereich zwischen 6 m und 10 m zu

finden ist (starker Anstieg unter 6 m – über 10 m nur noch geringe Veränderungen und ggf. Sekundärkonstruktion erforderlich).

Die Diagramme 9-5 – 9-6 zeigen einen minimalen Materialaufwand bei Ausführung von Riegelneigungen um 22° (Dreigelenkrahmen) bzw. um 8° bis 18° (Zweigelenkrahmen) auf. Den Abbildungen 9-7 – 9-8 ist zu entnehmen, wie ungünstig sich die Unterschreitung einer "Mindestrahmenbreite" auf die Querschnittshöhen auswirkt. Auf eine detaillierte Auswertung der Ergebnisse wird hier verzichtet. Dazu kann auf die oben genannte

Arbeit verwiesen werden. Im Rahmen dieser Arbeit konnte somit eindrucksvoll die Eignung der VORWEIS – Module zu Proportions- und Wirtschaftlichkeitsstudien demonstriert werden. Insgesamt sind dies nur erste Ansätze in Bezug auf die noch erforderlichen Evaluationen. Insbesondere die langfristigen Veränderungen in den Inhalten der Hochschulausbildung und der damit erzielbare Mehrwert werden noch zu bewerten sein.

10. Ausblicke

Wie bereits im Kapitel 6 beschrieben, ist die Erweiterung und Anpassung der Werkzeuge auf neue Themenbereiche Element der konsequent angelegten modularen Struktur. Damit ist eine Erweiterung der Werkzeuge Teil der beschriebenen Entwicklungsmethode. Neben den quantitativen Erweiterungen werden aber auch strukturelle und kommunikative Erweiterungen vorgesehen. Diese werden in den nachfolgenden Erläuterungen differenziert betrachtet.

10.1 Quantitative Erweiterungen

Als quantitative Erweiterungen werden die Erstellung weiterer Module, sowohl in der Anwendung TRAGKO als auch in der Anwendung VORWEIS, angesehen. Dieser Bereich der Entwicklung ist in seiner Ausweitungsmöglichkeit nicht begrenzt. Die Inhalte entstehen unter Berücksichtigung der Bedürfnisse ihrer Autoren. So liegt beispielsweise ein Schwerpunkt der Modulentwicklungen des Kooperationspartners der Fachhochschule Bochum in der Beschreibung von Fragen zur Standsicherheit im Mauerwerksbau und entsprechenden Randgebieten.

Die im Folgenden genannten Ziele konzentrieren sich auf die an der Fachhochschule Düsseldorf einfließenden Themen. Bezüglich des Werkzeuges TRAGKO lehnen sich die vorhandenen und die noch zu erstellenden Inhalte an die herausgegebenen Skripte [Wörzberger 00] sowie an multimedial vorbereitete Vorlesungspräsentationen (auf der Basis von Microsoft Power Point) an. Die Themen werden hier nicht im einzelnen benannt.

Die mittelfristigen Ziele des Werkzeuges VORWEIS orientieren sich, wie bereits im Kapitel 7.4.5 beschrieben, an der Häufigkeit des Einsatzes eines bestimmten Bauelementes im allgemeinen Hochbau. Ein weiteres Auswahlkriterium ist die Möglichkeit der Einsatzvarianz um den im Modul konkret vorgesehenen Anwendungsfall. Als Beispiel zu diesem Aspekt können die ebenfalls im Kapitel 7.4.5 beschriebenen Einsatzmöglichkeiten der implementierten Einfeldträger bei Durchlaufträgern angesehen werden.

Als häufig eingesetzte Bauelemente gelten im Sinne der Erfordernis zur Dimensionierung:

- Balken
- Stahlbetonplatten, ein- und zweiachsig gespannt, sowie Punktgestützte Deckenplatten
- Stützen und Wände
- Fachwerke und Unterspannte Träger
- Durchlaufträger, Gerberträger und ähnliche Systeme
- Rahmen und Bögen
- Gründungen

Dabei zu berücksichtigende Materialien sind:

- Holz
- Stahl
- Stahlbeton
- Beton und Mauerwerk
- Glas

Über die wesentlichen Elemente hinaus ist in späteren Bearbeitungsstufen auch die Berücksichtigung z. Z. noch als innovativ geltende Themen denkbar (z. B. Verbunddecken aus Holz und Beton etc.). Diese üben dann unter Umständen ihrerseits einen Einfluss auf die Entwurfsabsichten ihrer Anwender aus.

10.2 Strukturelle Erweiterungen

Auch strukturelle Erweiterungen sind eine ständige Begleiterscheinung der Programmentwicklung. Es werden zwei Bereiche benannt, die strukturelle Erweiterungen darstellen. Diese werden jeweils beispielhaft erörtert.

Zum einen ergeben sich strukturelle Erweiterungen aus Überlegungen zur Begrenzung des mittelfristigen Entwicklungsumfanges.

So wurde z. B. für alle Module, die Stahlbauteile behandeln, eine gemeinsam genutzte Datenbank mit Querschnittswerten von Walzprofilen angelegt. Es wurden vier Profilreihen [Abb. 10.2-1] danach ausgewählt, dass sie einen möglichst großen und sinnvollen Einsatzbereich abdecken [vgl. Kapitel 7.4.8]. Mit großem Einsatzbereich ist in diesem Fall gemeint, dass im Rahmen einer Vordimensionierung viele andere Querschnitte mit den wählbaren Querschnitten angenähert werden können. Auf die Dimension eines geschweißten Hohlkastenquerschnitts kann z. B. auch ein Rechteckhohlprofil brauchbare Hinweise geben.

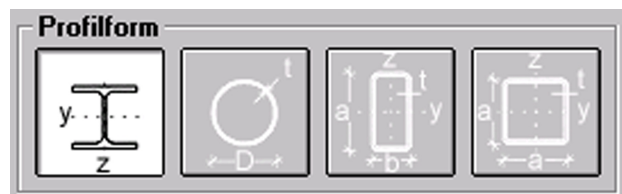


Abb. 10.2-1 Ausgewählte Walzprofilreihen im VORWEIS-Programm

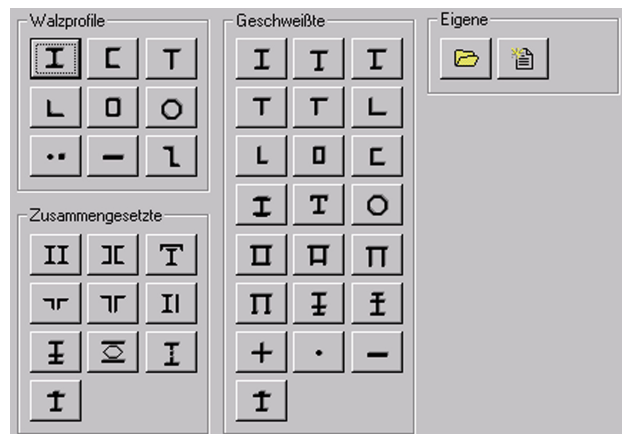


Abb. 10.2-2 Auswahl möglicher Profilreihen [Dlubal 99]

Mit sinnvollem Einsatzbereich soll ausgedrückt werden, dass durchaus auch didaktische Überlegungen bei der Auswahl eine Rolle spielten. So wurde zunächst von der Berücksichtigung nicht doppeltsymmetrischer Querschnitte abgesehen. Insbesondere Studierende der Fachrichtung Architektur neigen häufig dazu, für Tragglieder nicht doppeltsymmetrische Querschnitte wie z. B. U-Profile verwenden zu wollen. Diese bringen häufig Vorteile bei der Detailausbildung mit sich. Die Anwendung wäre unproblematisch, wenn beispielsweise berücksichtigt würde, dass bei Lasteinleitungen außerhalb des Schubmittelpunktes Torsionsbeanspruchungen auftreten. Dieses sind, wie bereits erwähnt, Kriterien einer ersten Auswahl. Es kann dennoch nicht damit argumentiert werden, dass didaktische Leitmodelle im Ausklammern von Problembereichen zu finden sind. Deshalb sollen in weiteren Bearbeitungsstufen wesentlich mehr Querschnittsformen zur Verfügung stehen. Zur Realisierung bietet es sich an, mit anderen Softwareentwicklern zu kooperieren. Für alle gängigen Querschnittsformen sind für die im Baubereich verwendeten Materialien Datenbanken existent [Beispiel: Abb. 10.2-2].

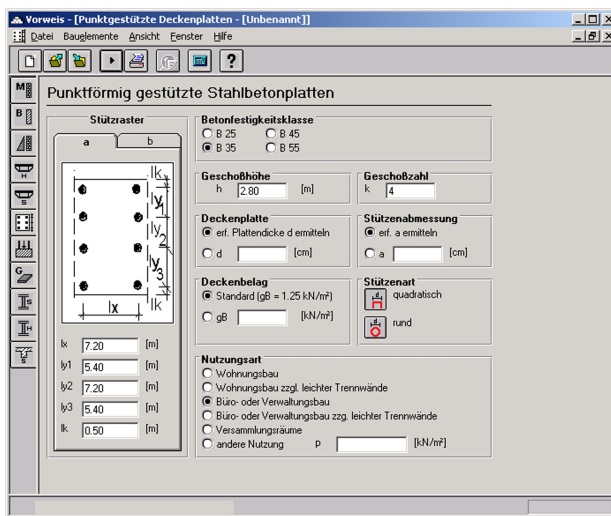


Abb. 10.2-3 Eingabemaske der Moduls Punktgestützte Stahlbetonplatten der VORWEIS Version 1

Auch bezüglich der Berechnungsvorgänge sind Erweiterungen vorzusehen.

In den VORWEIS-Versionen 1.x ist u. a. das Modul "Punktgestützte Deckenplatten" implementiert. Dieses dient der Ermittlung der erforderlichen Plattendicke und ggf. der Abmessungen einer vorzusehenden Stützkopfverstärkung. Es berücksichtigt mit Zwei- und Dreifeldplattensystemen zwei übliche Hochbauvarianten der Stützraster. Die Berechnung der Schnittgrößen unterliegt dem in Heft 240 DAfSb [Heft 240] angegebenen Näherungsverfahren zur Ermittlung der Momente in Flachdecken nach der Plattentheorie. Damit ist gegenüber einer Computerberechnung nach der Methode der finiten Elemente eine Vielzahl von Beschränkungen verbunden. Eine Einschränkung ist die Einhaltung eines Seitenverhältnisses innerhalb eines Plattenfeldes und des Verhältnisses benachbarter Stützweiten in

einer Richtung von $0,67 \leq \frac{l_1}{l_2} \leq 1,50$.

Gerade beim Beispiel der punktgestützten Deckenplatten kann eine solche berechnungstechnische Beschränkung den unerfahrenen Anwender (z. B. im Grundstudium) davor schützen, konstruktionstechnisch ungeeignete Varianten zu entwickeln und zu verwenden. Für einen erfahrenen Konstrukteur ist eine solche Beschränkung jedoch unbefriedigend. Gerade bei anspruchsvollen Hochbauentwürfen sind die Bedingungen zur Anwendung des Moduls oft nicht erfüllt.

Eine strukturelle Erweiterung, die neben dem dargestellten Beispiel eine Vielzahl neuer Möglichkeiten für Module böte, deren Systeme eine komplexe Schnittgrößenermittlung erforderlich machen, ist die Verwendung von Programmen, die auf Basis der Methode der Finiten Elemente Berechnungen durchführen. Solche Programme sind vielfach kommerziell verfügbar (z. B. [Dlubal 99-1]). Dementsprechend sind Kooperationen anzustreben. Abschnitte zur Schnittgrößenermittlung und ggf. zur Netzgenerierung könnten separiert als Prozessketten implementiert werden. Die Nutzerführung und die Eingabe werden dadurch nicht beeinträchtigt. D.h., im Gegensatz zu den Nachweisprogrammen, denen die Programmabschnitte entlehnt sind, bleiben die Systeme weiterhin durch die VORWEIS-Module vorgegeben. Die Modulentwicklung ist dann vom Grad der Statischen Unbestimmtheit eines Tragwerkes unabhängig realisierbar.

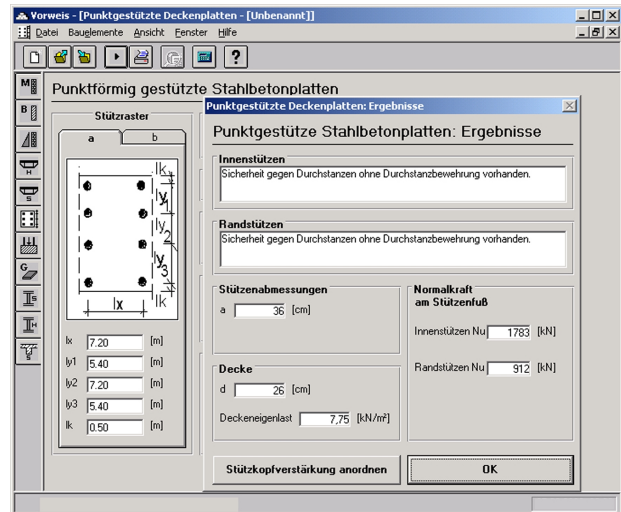


Abb. 10.2-4 Ergebnismaske der Moduls Punktgestützte Stahlbetonplatten der VORWEIS Version 1

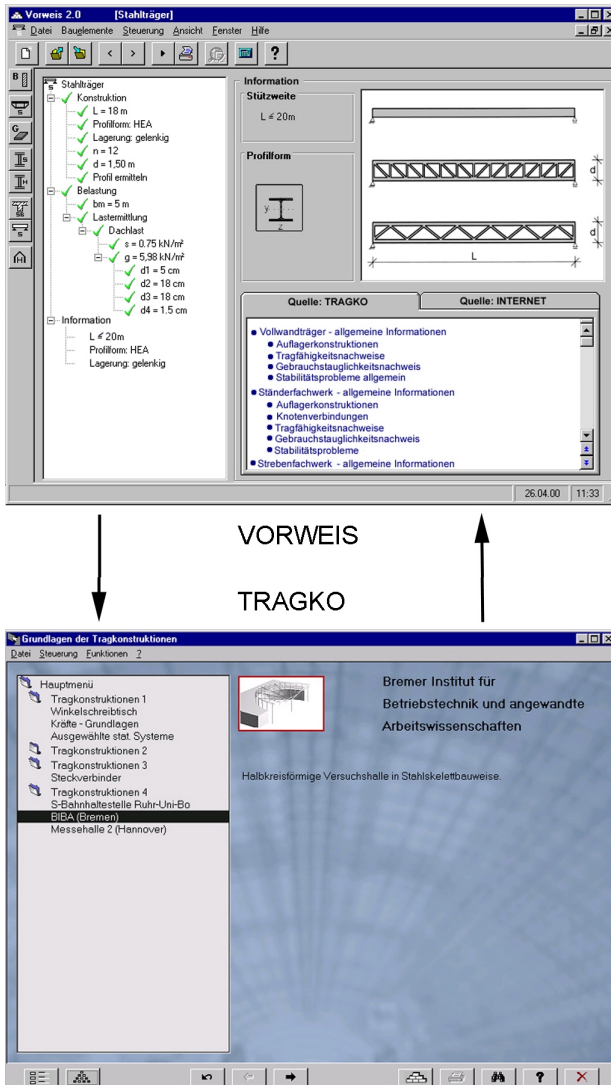


Abb. 10.3-1 – Maske der Stahlträger und Stahl-fachwerkträger zur Informationsrecherche in der TRAGKO – Software und anderen externen Quellen

10.3 Kommunikative Erweiterungen

Das Programm VORWEIS soll in weiteren Bearbeitungsstufen eine wesentlich engere Verbindung mit der Wissensvermittlungssoftware TRAGKO und anderen Informationsquellen eingehen, als dies bisher umgesetzt werden konnte. Im momentanen Stadium der Bearbeitung ist die Vorweisanwendung weitgehend autark. Die sich daraus ergebenden Vorteile sollen auch in weiteren Bearbeitungsstufen nicht eingeschränkt werden.

Ziel einer weiteren Bearbeitungsstufe ist die Schaffung einer Schnittstelle direkt im VORWEIS-Programm. Diese ermöglicht den Anschluss an multimediale Softwaresysteme, die dem Wissenstransfer dienen. Im Kapitel 6 wurde ein Weg beschrieben, bei dem ein Anwender sich mit der Wissenserschließungssoftware TRAGKO interessens- und problemorientiert informiert. Dabei kann der Anwender zunächst Beispiele tragkonstruktiver Analysen studieren. Die Anwendung von VORWEIS wird im Rahmen dieser Analyse vorgestellt. Im nächsten Schritt behandelt der Anwender sein eigenes Entwurfsproblem.

In vielen Fällen hat der Entwerfende eine oder mehrere konkretisierte Varianten seiner Entwurfsaufgabe in Bearbeitung. Im Zuge der sich ergebenden Fragen zur generellen Anwendung oder Dimensionierung einzelner Tragelemente (im Kapitel 7.4.3 – 7.4.5 erläutert) wird die VORWEIS-Software direkt eingesetzt. Während der Eingabe und auch im Zuge der Ergebnisanalyse können Fragen entstehen. Sie betreffen z. B. bau- und tragkonstruktive Konsequenzen einzelner Entscheidungen. Die Beantwortung dieser Fragen kann über die Möglichkeiten von VORWEIS hinausgehen.

Das im Kapitel 7.4.5 erläuterte Beispiel der Stahl-Fachwerkträger kann hier noch einmal aufgegriffen werden. Die Wahl der Profilform hat u.a. einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbildung der Details. Die Wahl einer Lagerungsart kann generell die Frage nach den Möglichkeiten und Erfordernissen der entsprechenden Auswahl aufwerfen. Um auf Problemstellungen der beschriebenen Art reagieren zu können, wird eine interaktive Kommunikationsebene entwickelt.

In erster Linie werden die anzuwählenden Informationsquellen das Programm TRAGKO und das Internet sein.

Basis des hier vorgestellten Zieles ist die klar gegliederte Struktur von VORWEIS, deren Elemente die einzelnen Bauteilmodule sind. Jedes Modul ist in die Abschnitte "Konstruktion", "Belastung" und "Ergebnis" gegliedert. Für jeden dieser Abschnitte wird mindestens eine separate Maske verwendet. Im Rahmen dieser Struktur wird für jedes Modul eine weitere Maske mit dem Titel "Information" [Abb.10.3-1] erarbeitet. Die Inhalte dieser Maske sind von den aktuell getätigten Nutzerangaben abhängig. Sie unterliegen einer vorgegebenen Kombination von Kriterien, nach denen eine sinnvolle Differenzierung von zur Verfügung zu stellenden Informationen vorgenommen werden kann. Im dargestellten Beispiel werden die Kriterien Trägerlänge, Profilform und Lagerung berücksichtigt. Werden die Trägerlängen in 3 Abschnitte klassifiziert, 4 Arten der Profilform unterschieden und 4 Lagerungsarten zugrundegelegt, so ergeben sich zunächst 48 differenzierte Auswahlresultate. Dies schließt nicht aus, dass bestimmte Informationen (in Form der Hyperlinks in der Abbildung 10.3-1) in mehr als einer Kombination angeboten werden können. In der technischen Umsetzung ist besonders der Aspekt der Nachhaltigkeit zu berücksichtigen. Die TRAGKO-Software wird, wie im Kapitel 6 beschrieben, ständig weiterentwickelt und thematisch neuen Verknüpfungen unterzogen. Als dynamisch sind auch die Angebote im Internet zu bewerten. Es ist deshalb nicht möglich, eine inhaltlich konstante Liste von Verweisen anzubieten. Stattdessen wird die im VORWEIS-Programm angebotene, interaktiv gesteuerte Liste von Verweisen in Verbindung mit einem entsprechenden TRAGKO-Modul erweitert bzw. angepasst. Eine solche Erweiterung kann in Form einer Datei (z. B. FSLinks.txt) Teil des Installationsumfangs eines TRAGKO-Moduls sein. Bei der Installation wird die Datei dann in das jeweilige VORWEIS-Verzeichnis kopiert. Für das Internet als Informationsquelle wird für jedes VORWEIS-Modul eine eigene Internetseite eingerichtet (z. B. FS.html). Wird auf der VORWEIS-Maske "Information" in der Karteikartenauswahl von der Voreinstellung "Quelle: TRAGKO" auf die Einstellung "Quelle: Internet" gewechselt, erfolgt die Einwahl. Die Verweise werden dann innerhalb des Frames angeboten.

10.4 Schlussbetrachtung

Der aufgezeigte Weg einer computergestützten Methode für das Entwerfen von Tragkonstruktionen liefert einen neuen, aus der Kombination zweier sich ergänzender Programme entstandenen Ansatz. Mit diesem konnte ein Weg gefunden werden, der das Entwerfen von Tragkonstruktionen bezüglich der im Planungsprozess enthaltenen, rational begründbaren Teilschritte unterstützt. Die entwickelte Methode will eine vorhandene Lücke im Einsatz moderner Hilfsmittel im Bauplanungsablauf schließen. Der praktische Planungsablauf kann damit besser unterstützt werden. Er behält aber, auch unter Einbeziehung der vorgestellten Software, seine übliche Struktur bei.

Bezüglich der Inhalte sind weitere Ausbauschritte erforderlich. Die vorgestellte Arbeit kann dementsprechend als ein Impuls angesehen werden. Wird der aufgezeigte Weg von verschiedenen Hochschullehrern oder anderen Autoren aufgegriffen und weiterverfolgt, kann dies zu Verschiebungen der Ausbildungsschwerpunkte führen. Für Lernende erweitern sich die Möglichkeiten zu problem- und interessenorientierter Recherche. In der Hochschulausbildung kann durch den Einsatz der vorgestellten Anwendungen Zeit gewonnen werden, um z. B. individuelle Entwurfsfragen Einzelner intensiver zu betreuen.

Klassische Medien und klassische Ausbildungsformen werden mit der vorgestellten Methode nicht ersetzt. Stattdessen werden durch die neuen Möglichkeiten neue Ausbildungs- und Planungsansätze ergänzend erschlossen.

Der vorgestellte Weg stellt eine Alternative zu der vielfach formulierten Suche nach einer durchgängigen Softwarelösung für alle Planungsphasen dar. Nach den durchgeführten konstruktionswissenschaftlichen Betrachtungen wird die sinnvolle Umsetzbarkeit einer durchgängigen Lösung bezweifelt.

Die hier beschriebene Methode erhebt nicht den Anspruch *den* Weg zum rechnerunterstützten Entwerfen zu beschreiben. Es wurde *ein* Weg beschrieben. Die in der Arbeit enthaltenen Betrachtungen zum individuellen, intuitiven Vorgehen beim Entwerfen belegen, dass es *den* Weg nicht gibt.

11 Literatur

- Anderl 98 Neue Wege in der Grundausbildung zum rechnergestützten Konstruieren, R. Anderl, Konstruktion 50, Nr. 1 / 2 , 1998
- Ayrle 90 XNET2 – Rechnergestützte Realisierung methodischen Konstruierens für die Planung lokaler Netzwerke in Gebäuden, Hartmut Ayrle, KI-Forschung im Bauwesen, Jupp Gauchel (Hrsg.), Berlin: Ernst, Verl. für Architektur u. techn. Wissenschaften, 1990
- Becker 00 Grundlagen, Begriffe und Systematik der Tragwerkplanung, Autodidaktische Wissenserschließungssoftware, Gerd Becker und Klaus Nürnberg, Fachhochschule Bochum, 2000
- Beuke 96 Stand der Integration von Statik und Bemessung im Entwurfs- und Konstruktionsprozess, K. Beuke, Bauingenieur 71 (1996) 67-72, Springer-Verlag 1996
- Birindelli/Piccolotto 92 CASDET – Computer Aided Structural Design Education Tool, Institut für Hochbautechnik, Bericht Nr. 17, 1992, ISBN 3 7281 1917 2
- Blaß 99 Bemessungsprogramm TOP 1 – Informationsdienst Holz, Hans Joachim Blaß, Veenhoven Bauinformatik, Delft – Niederlande, 1999
- Bochmann 88 Statik im Bauwesen, Band III: Statisch unbestimmte, ebene Systeme, 9.Auflage, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1988, ISBN 3-345-00357-0
- Brockhaus 97 Der Brockhaus in fünfzehn Bänden, 1. Auflage, F.A. Brockhaus Verlag Leipzig, Mannheim 1997, ISBN 3-7653-2801-4
- Cheng 99 Die neue DIN 1045 Teil 1: Einführung und Vergleich mit DIN 1045 (7.88) und EC 2, Dr.-Ing. Weimin Cheng, mb-news Nr. 2/99
- Devret 72 Moderne Methoden der Kreativität, A. Devret, M. Fustier, A. Kaufmann, Verlag moderne Industrie 1972
- DIBt 96 Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Überkopfverglasungen, Fassung September 1996, Mitteilungen DIBt 5/1996
- DIN 1025 DIN 1025, HE-A Profilvereihe, Teil 3, Oktober 1963
- DIN 1045 DIN 1045, Beton und Stahlbeton, Juli 1988, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 1052 DIN 1052, Holzbauwerke Teil 1, Berechnung und Ausführung, Juni 1995, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 4074 DIN 4074, Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit, 09.1989, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 4102 DIN 4102, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
- DIN 1055 DIN 1055, Lastannahmen für Bauten, Teil 1: 07.1979, Teil 2: 02.1976, Teil 3: 06. 1971, Teil 4: 08.1986 Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 18800 DIN 18800, Stahlbauten – Bemessung und Konstruktion, Beuth Verlag GmbH, November 1990, Berlin

Dlubal 99	R-Stab 5, Ing.-Software Dlubal GmbH, 93464 Tiefenbach
Duden 5	Duden 5 – Das Fremdwörterbuch, 5. Auflage, Bibliografisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 1990, ISBN 3-411-20915-1
EC2	DIN V ENV 1992 Teil 1-1 (EC 2)
EC3	Eurocode 3, Europäische Konventionen für Stahlbau EKS, Kurzfassung DIN V ENV 1993-1-1, Bemessungsregeln für den Hochbau, Deutscher Stahlbau-Verband, Beuth Verlag GmbH, Berlin
EC5-NAD	Bemessung und Baustoffe nach Eurocode 5, STEP 1, Informationsdienst Holz, Fachverlag Holz 1995, ISSN 0446-2114
Ehr / Dylla 91	Konstruktionstechnik, Untersuchung des individuellen Vorgehens beim Konstruieren, Konstruktion 43, 1991, Springer-Verlag
Euro-Holz 1	Euro-Holzbau, Teil1, Grundlagen, Werner Verlag GmbH&Co.KG, Düsseldorf 1997, ISBN 3-8041-3173-5
Ferguson 93	Das innere Auge – von der Kunst des Ingenieurs; Eugene S. Ferguson; Birkhäuser Verlag, 1993, ISBN 3-7643-2862-2
Füg	Stabtragwerke im Industriebau, Berechnung und Konstruktion, Dieter Füg und Autorenkollektiv, VEB-Verlag für Bauwesen, Berlin
Funk 83	Grafische Symbole – Der Weg über die Vereinheitlichung zur Normung, P. Funk, Beuth Kommentare 1983
Gassner 00	Brandschutzbeschichtungen, BTG GmbH & Co kg Gassner, Kamen www. btg – gassner.de – 02.05.00
Glötz 97	Hochschulentwicklung mit neuen Medien – Ein Appell an die Politik, Peter Glötz, aus Hochschulentwicklung durch neue Medien, Ingrid Hamm + Detlef Müller-Böling (Hrsg.), 1997 Verlag Bertelsmann Stiftung Gütersloh ISBN 3-89204-239-X
Hartmann 90	Wissensverarbeitung mit Computern – Eine neue Dimension der Problemlösung im Bauwesen, Dietrich Hartmann, Bauwerksplanung; Rudolf Müller Verlag 1990, ISBN 3-481-00264-5
Heft 220	Heft 240 – Bemessen von Stahlbetonbauteilen, Emil Grasser, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1979
Heft 240	Heft 240 - Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken, Emil Grasser, Gerd Thielen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Verein Deutscher Zementwerke e.V., Berlin Beuth Verlag 1991
Heiermann 90	Haftungsabgrenzung zwischen Tragwerkplaner und Architekt, Wolfgang Heiermann, Bauwerksplanung; Rudolf Müller Verlag 1990, ISBN 3-481-00264-5

- Heller 98 WinDim – Statische Vordimensionierung – Bautechnische Machbarkeit, Programmbeschreibung, Verlag Ernst & Sohn
- Hinz 98 Objektorientierte Modelle und Werkzeuge für den Einsatz von Komponentensoftware in der Tragwerksplanung, Dissertation, Shaker Verlag, Aachen 1998 ISBN 3-8265-3913-3
- HOAI 96 HOAI: Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure, Stand: 1. Januar 1996 – Düsseldorf: Werner – Verlag GmbH 1995, ISBN 3-8041-2038-5
- Info-Holz 95 Informationsdienst Holz, Holzbau Handbuch, Reihe 2, Tragwerksplanung, Eurocode 5-Holzbauwerke, Bemessungsgrundlagen und Beispiele, ISSN 0466-2114, Mai 1995
- Kohler 90 Die Anwendung von Expertensystemen in der Energiesimulation und in ihrer – Integration in das computergestützte Entwerfen, KI-Forschung im Baubereich, Ernst & Sohn 1990, ISBN 3-433-1193-1
- Kollár 90 Entwurf von Tragwerken: Wissenschaft oder Kunst?, Lajos Kollár, Bauwerksplanung; Rudolf Müller Verlag 1990, ISBN 3-481-00264-5
- Kuttig 93 Rechnergestützte Funktions- und Wirkstrukturverarbeitung beim Konzipieren, Detlef Kuttig, Schriftenreihe Konstruktionstechnik, Institut für Maschinenkonstruktion, Technische Universität Berlin, 1993, ISBN 3 7983 1545 0
- Layton 76 American Ideologies of Science and Engineering, Technology and Culture 17, Nr.4, Oktober 1976 Zitat S. 696
- Miller 60 Plans and the structure of behavior. G.A. Miller, K. Pribram, S. Galanter, New York 1960. Deutsch: Strategien des Handelns, Stuttgart 1973
- Niesen 96-1 Chance für den Mittelstand: „Virtuelle“ SW-Entwicklung mit OO, Markus Niesen, Objekt Fokus, Supplement zu Datenbank Fokus 2-96, it-Verlag, 1996
- Niesen 96-2 Software-Entwicklung mit Eiffel: die dritte im Bunde, Markus Niesen, Objekt Spektrum, Nr. 2, SIGS-Verlag, 1996
- Pagel 94 Software Engineering, Band 1, B.-U. Pagel, H.-W. Six, Addison Wesley, 1994
- Polónyi 81 Einige Gedanken über den wissenschaftlichen Stand der Baustatik – Zum 30. Todestag von Emil Mörsch, Stefan Polónyi, Die Bautechnik Nr. 58, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, 1981
- Polónyi 87 ...mit zaghafter Konsequenz – Aufsätze und Vorträge zum Tragwerksentwurf 1961-1987, Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1987, ISBN 3-528-08781-1
- Polónyi 90 Die Ausbildung der Bauwerksplaner – Architekten und Ingenieure für die Zukunft, Bauwerksplanung, Rudolf Müller Verlag 1990, ISBN 3-481-00264-5
- Reichardt 97 Stadtbahnhof Ruhr-Universität Bochum – Bahnhöfe für den Nahverkehr in Stahlbau, Stahl und Form, 1997 Stahl-Informations-Zentrum, Düsseldorf
- Richter 88 Richter, P.: Entwicklung einer integrierten Informationsstruktur für relationale Datenbanken, Dissertation, Gesamthochschule Kassel, 1988

-
- Rohpol 83 Konstruktionswissenschaft und allgemeine Techniklehre. Proceedings of ICED 83. Computer aided Design, Konstruktionsmethoden, Design Methods, Schriftenreihe 10, Edition Heurista, 1983
- Rondal 92 Knick- und Beulverhalten von Hohlprofilen (rund und rechteckig), J. Rondal, K.-G. Würker, D. Dutta, J. Wardenier; N. Yeomans, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1992, ISBN 3-8249-0067-X
- Rottke 98 ExTraCAD Computerunterstützung des architektonischen Tragwerkentwurfs, E. Rottke, Dissertation an der RWTH Aachen, 1998
- Rudolph/Kröplin 94 Über die systematische Bewertung von Konstruktionen, Bauingenieur 69, 1994, Springer-Verlag
- Rübener 85 Grundbautechnik für Architekten, Rübener, 1. Auflage 1985, Werner Verlag GmbH, ISBN 3-8041-3045-3
- Rutz 85 Konstruieren als gedanklicher Prozess, Andreas Rutz, Dissertation am Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau, K. Ehrlenspiel, TU – München 1985
- Schischkoff 74 Philosophisches Wörterbuch, G. Schischkoff und H. Schmidt, Alfred Körner Verlag, Stuttgart 1974
- Schmitt 93 Architectura et Machina. Computer aided Architectural Design und Virtuelle Architektur, Gerhard Schmitt, Vieweg Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 1993
- Schneider 96 Bautabellen für Ingenieure, Klaus-Jürgen Schneider, 12. Auflage 1996, Werner Verlag, ISBN N 3-8041-3460-2
- Schulte 99 Vergleichende Studien von Holzrahmen mittels Vordimensionierung der Tragkonstruktion, Anke Schulte, Diplomarbeit, Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen
- Seidel 89 Computerunterstütztes Lernen – Entwicklungen, Möglichkeiten, Perspektiven, Christoph Seidel, Antonius Lipsmeier, Verlag für Angewandte Psychologie, Stuttgart 1989, ISBN 3-87844-011-1
- Smith 90 Methoden zur Lösung komplexer Entwurfsaufgaben, I:F:C. Smith, F. Donzé und G.J. Kimberley, KI-Forschung im Baubereich, Ernst & Sohn 1990, ISBN 3-433-1193-1
- Steinmann 97 Modellbildung und computergestütztes Modellieren in frühen Phasen des architektonischen Entwurfs, Frank Steinmann, Dissertation an der Bauhaus-Universität Weimar, 1997
- Stüssi 40 Baustatik vor 100 Jahren – die Baustatik Naviers. SBZ 116 (1940)
- TechRicht19 88 Überkopf-Verglasungen, Glaserarbeiten, Bestandsaufnahme der Ausführungsvorschriften, Dickenwahl von Glasscheiben für nicht senkrechten Einbau, Technische Richtlinie des Glaserhandwerks Nr. 19, 2. Ausgabe 1988, Verlag Karl Hofmann, Schorndorf
- VDI 2221 VDI-Richtlinie 2221, Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1975

-
- V&M 98 MSH-Profile mit kreisförmigen, quadratischen und rechteckigen Querschnitten – Abmessungen, Statische Werte, Werkstoffe; Technische Information Vallourec & Mannesmann Tubes, V&M Deutschlang GmbH, Ausgabe 1998
- Vitruv Vitruv – Zehn Bücher über Architektur, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 1964, ISBN 3-534-01121-X
- Wörzberger 00 Scriptum zur Vorlesung Tragkonstruktionen I-IV, Ralf Wörzberger, Fachhochschule Düsseldorf, 2000
- Wörzberger 01 Wissensvermittlung unter Nutzung moderner Informationstechniken, Ralf Wörzberger und Michael Maas, Beitrag aus „Bautechnik und Baukultur – 100 Jahre Fachbereiche Architektur und Bauingenieurwesen der Fachhochschule Münster“, Druckhaus Aschendorff, Münster, 1998, ISBN 3-402-05381-0
- Wörzberger / Maas 00 TRAGKO 2.0 + VORWEIS 2.0, Software zur Entwurfsunterstützung für Architekten und Bauingenieure, Ralf Wörzberger und Michael Maas, Fachhochschule Düsseldorf, 2000