

Praktische Erprobung des Eurocode 5 in Ingenieurbüros

von

H.J. Blaß und O. Eberhart

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Abteilung Ingenieurholzbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
Univ.-Professor Dr.-Ing. Hans Joachim Blaß
1997

Vorwort

Mit der Einführung der Vornorm DIN V ENV 1995-1-1 „Eurocode 5; Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken; Teil 1-1“ und des zugehörigen Nationalen Anwendungsdokumentes (NAD) durch die obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder ist die probeweise Anwendung vereinheitlichter Bemessungsverfahren im Ingenieurholzbau nach europäischem Konzept ermöglicht worden. Gegenüber der derzeit gültigen nationalen Norm DIN 1052 Teil 1 bis 3 stellt der Eurocode 5 eine Umstellung auf das für den gesamten konstruktiven Ingenieurbau geschaffene einheitliche Bemessungskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten dar. Da bei der Erarbeitung des Eurocode 5 auch neuere Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung in Deutschland und dem europäischen Ausland berücksichtigt wurden, können jetzt moderne Holzkonstruktionen unter Ausnutzung dieser neuen Erkenntnisse berechnet und bemessen werden.

Für die Tragwerksplaner und die Holzbaubetriebe ist es außerordentlich wichtig zu wissen, wie sich die Anwendung des Eurocode 5 bei der Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Holz im Vergleich zur bisherigen Bemessungspraxis auswirkt. Dieser Vergleich soll darüber hinaus die deutschen Stellungnahmen zur weiteren Bearbeitung des Eurocode 5 unterstützen.

Das Forschungsvorhaben entstand im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) mit finanzieller Unterstützung der CMA.

Die umfangreichen Vergleichsberechnungen wurden von Dipl.-Ing. O. Eberhart, der auch den Forschungsbericht erstellte, betreut und durchgeführt. Teile der Vergleichsrechnungen wurden von den Studenten Frau cand.ing. M. Dietermann, Herr cand.ing. M. Rathschlag und Herr cand.ing. M. Schmidt im Rahmen von Vertieferarbeiten durchgeführt. Den Firmen Holzwerke Burgbacher in Trossingen, Schaffitzel Holzindustrie in Schwäbisch Hall sowie dem Ingenieurbüro für Holzbau N. Nebgen in Reutlingen ist besonders zu danken. Sie haben neben den kompletten statischen Unterlagen der betrachteten Projekte auch ihr Wissen jederzeit beratend und erläuternd zur Verfügung gestellt. Bei der Auswertung und graphischen Darstellung der Ergebnisse haben die wissenschaftlichen Hilfskräfte des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, insbesondere Herr cand.ing. H. Ernst, gewissenhaft mitgewirkt.

Allen Beteiligten ist für die Mitarbeit zu danken.

Hans Joachim Blaß

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
1.1 Eurocode 5 und NAD	4
1.2 Ziel des Forschungsvorhabens.....	5
1.3 Aufbau des Forschungsberichtes	6
2 Das NAD	7
2.1 Allgemeines	7
2.2 Kombinationen von Einwirkungen.....	7
2.2.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	8
2.2.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	8
2.2.3 Dachsparren	8
2.2.3.1 Statisches System und Dachaufbau.....	8
2.2.3.2 Charakteristische Werte der Einwirkungen	9
2.2.3.3 Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte.....	9
2.2.3.4 Grenzzustände	10
2.2.4 Deckenbalken.....	10
2.2.4.1 Statisches System und Deckenaufbau	10
2.2.4.2 Charakteristische Werte der Einwirkungen	11
2.2.4.3 Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte.....	11
2.2.4.4 Grenzzustände	11
2.2.5 Mittelstütze eines mehrgeschossigen Wohnhauses.....	12
2.2.5.1 Statisches System	12
2.2.5.2 Charakteristische Werte der Einwirkungen	12
2.2.5.3 Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte.....	13
2.2.5.4 Grenzzustände der Tragfähigkeit	13

2.2.6 Wand im EG	14
2.2.6.1 Statisches System und Wandaufbauaufbau.....	14
2.2.6.2 Charakteristische Werte der Einwirkungen in vertikaler Richtung ...	14
2.2.6.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen in horizontaler Richtung	15
2.2.6.4 Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte.....	15
2.2.6.5 Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	15
2.2.7 Erkenntnisse bei der Anwendung der Kombinationsregeln.....	15
2.3 Baustoffeigenschaften	16
2.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.....	16
3 Ausgewählte Projekte	17
3.1 Allgemeines	17
3.2 Vorgehensweise	17
3.3 Mehrgeschossiges Wohnhaus.....	18
3.3.1 Baubeschreibung.....	18
3.3.2 Gegenüberstellung der Nachweise / Tragfähigkeit - Ausnutzungsgrade	20
3.3.3 Gegenüberstellung der Nachweise / Gebrauchstauglichkeit.....	23
3.4 Werksgebäude mit angeschlossenem Bürotrakt	24
3.4.1 Baubeschreibung.....	24
3.4.2 Gegenüberstellung der Nachweise / Tragfähigkeit - Ausnutzungsgrade	25
3.4.3 Gegenüberstellung der Nachweise / Gebrauchstauglichkeit.....	26
3.4.4 Sonstiges	26
3.5 Rad- und Gehwegbrücke	27
3.5.1 Baubeschreibung.....	27
3.5.2 Gegenüberstellung der Nachweise / Tragfähigkeit - Ausnutzungsgrade	28
3.5.3 Gegenüberstellung der Nachweise / Gebrauchstauglichkeit.....	28

4 Vergleich der Bemessungsergebnisse	29
4.1 Grundsätzliches zum Nachweis der Tragfähigkeit.....	29
4.2 Biegung (M)	29
4.3 Biegung und Normalkraft ($M \pm N$)	30
4.4 Schub aus Querkraft (Q).....	30
4.5 weitere Nachweise (Querdruck und -zug, Kippen)	30
4.6 Verbindungen	31
4.7 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	31
5 Zusammenfassung.....	32
6 Literatur.....	34

1 Einleitung

1.1 Eurocode 5 und NAD

Vor dem Hintergrund eines gemeinsamen europäischen Marktes wurden im Auftrag der Kommission der Europäischen Gemeinschaft eine Reihe von technischen Regelwerken, die EUROCODEs (EC) geschaffen. Die Normenreihe für die Tragwerksbemessung umfaßt insgesamt 9 Eurocodes. Sie regeln den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Tragwerken des Hoch- und Ingenieurbauwesens.

Der Eurocode 5 (EC5) gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Holzbauwerken. Er ist in mehrere Teile gegliedert und behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit von Bauwerken. Andere Anforderungen, wie z.B. an den Wärme- oder Schallschutz werden nicht behandelt. Konstruktive Regeln sind nur soweit enthalten, wie diese als Voraussetzung für die Gültigkeit der Rechenregeln notwendig sind. Angaben zu den Baustoffen wie z.B. Festigkeiten und Elastizitätsmoduln werden nicht gemacht.

Der Teil 1-1 'Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau' und der Teil 1-2 'Allgemeine Bemessungsregeln, Zusätzliche Regeln für den Brandschutz' des EC5 wurden von den Mitgliedern des Europäischen Komitees für Normung (CEN) zur Veröffentlichung als Europäische Vornorm ENV 1995-1-1 bzw. ENV 1995-1-2 freigegeben. Die Entwurfsarbeiten zu Teil 2 'Brücken' sind nahezu abgeschlossen. Das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN) hat die deutsche Fassung von Teil 1-1 im Juni 1994 unter der Bezeichnung 'DINV ENV 1995-1-1 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holztragwerken; Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau' herausgegeben.

Der Eurocode 5 ist nicht unmittelbar anwendbar, da er zum einen für die Bemessung notwendige Angaben nicht enthält und zum anderen viele zitierte europäische Last-, Produkt- und Prüfnormen noch nicht in der Endfassung vorliegen. Das sogenannte Nationale Anwendungsdokument (NAD) soll die vorhandenen Lücken so weit schließen, daß die Vornorm gleichwertig zur bisherigen nationalen Bemessungsnorm DIN 1052 in der Praxis eingesetzt werden kann. Das NAD enthält daher im wesentlichen die Materialeigenschaften für die verschiedenen Baustoffe sowie Querverweise auf nationale Normen. Darüber hinaus werden im NAD Regelungen des EC 5 ergänzt, geändert oder sogar aufgehoben.

Für die praktische Erprobung der Eurocodes in Deutschland sind jedoch zunächst baurechtliche Voraussetzungen zu erfüllen. So fordern die deutschen Landesbauordnungen, daß bei Errichtung baulicher Anlagen die von der obersten Bauauf-

sichtsbehörde als Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln zu beachten sind, wozu selbstverständlich auch die DIN 1052 zählt. Die oberste Bauaufsichtsbehörde des Landes Baden-Württemberg hat als erstes Bundesland den Eurocode 5 und das zugehörige NAD bauaufsichtlich bekannt gemacht und damit als zu den geltenden nationalen Normen gleichwertige Lösung anerkannt. Durch die bauaufsichtliche Bekanntmachung wird dem Anwender bestätigt, daß es sich bei der Vornorm um eine allgemein anerkannte Regel der Technik im Sinne der derzeit gültigen Landesbauordnung handelt. Nun sind die Tragwerksplaner aufgerufen, mit dem Eurocode zu arbeiten und praktische Erfahrungen zu sammeln. Danach können Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Konstruktion bei Anwendung von DIN 1052 bzw. EC5, zum Aufwand bei der Bemessung und zu möglichen Problemen beim Umgang mit dem neuen Regelwerk getroffen und evtl. Verbesserungsvorschläge bei der Überarbeitung der Vornorm zur endgültigen Fassung gemacht werden.

1.2 Ziel des Forschungsvorhabens

Vor dem oben beschriebenen Hintergrund ist auch das Forschungsvorhaben zu sehen. Der ursprüngliche Arbeitsplan bei der Beantragung des Forschungsvorhabens sah vor, Ingenieurbüros bei der Anwendung des EC 5 zu unterstützen.

Nach der Übernahme des Forschungsvorhabens wurde im November 1995 ein neuer Arbeitsplan aufgestellt, der mit Zustimmung der begleitenden Arbeitsgruppe erheblich von dem Arbeitsplan der DGfH abweicht. Dieser Arbeitsplan sieht vor, daß von Ingenieurbüros und Holzleimbaufirmen Bemessungs- und Konstruktionsunterlagen von nach DIN 1052 ausgeführten Objekten (Holzkonstruktionen) abgefragt und zur Verfügung gestellt werden sollen. Für diese Objekte wurde eine vollständige Neubemessung, diesmal nach EC 5 durchgeführt.

Bei dieser Neubemessung wurden die Lastannahmen und die gewählten Systeme, sofern sie dem NAD nicht widersprachen, übernommen.

Es wurden folgende Kriterien untersucht:

- Wirtschaftlichkeit der Konstruktion bei Bemessung nach DIN 1052 bzw. EC 5
- Aufwand bei der Bemessung
- Probleme bei der Bemessung nach EC 5
- Vorschläge für Verbesserungen im EC 5

1.3 Aufbau des Forschungsberichtes

Im folgenden Kapitel 2 wird allgemein auf die Besonderheiten des EC 5 eingegangen. Es werden die signifikanten Änderungen gegenüber der DIN 1052 aufgezeigt. Im Besonderen werden die im Abschnitt 2.3 des NAD festgelegten Kombinationsregeln zusammengestellt und diskutiert sowie die Bestimmungen hinsichtlich der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit betrachtet.

Im Kapitel 3 werden die drei zur Verfügung gestellten Projekte vollständig neu bemessen und nachgewiesen. Dabei werden gewählte Querschnitte und Anschlüsse unverändert übernommen und nicht optimiert. Die Ergebnisse der Vergleichsrechnung nach dem NAD werden dann den vorliegenden Standsicherheitsnachweisen nach DIN 1052 gegenübergestellt.

Kapitel 4 enthält die Zusammenfassung der Vergleichsrechnungen gegliedert nach den verschiedenen Beanspruchungsarten der Bauteile sowie deren Beurteilung.

Kapitel 5 enthält die Zusammenfassung der Erkenntnisse, die sich bei der Bearbeitung des Forschungsvorhabens hinsichtlich des Aufwandes oder von Problemen bei der Bemessung nach EC 5 ergaben. Sofern erforderlich oder möglich werden an dieser Stelle auch Vorschläge für Verbesserungen im EC 5 gemacht.

2 Das NAD

2.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt sollen die wichtigsten Begriffe aus dem NAD kurz erläutert werden. Die komplette Zusammenstellung ist in den Kapiteln 2 ÷ 4 des NAD zu finden.

Einwirkungen (F) werden unterteilt in ständige Einwirkungen (G), veränderliche Einwirkungen (Q) und außergewöhnliche Einwirkungen (A). Als charakteristische Werte der Einwirkungen gelten dabei grundsätzlich die Werte der DIN-Normen, speziell die der Normenreihe DIN 1055. Die Bemessungswerte der Einwirkungen F_d ergeben sich allgemein aus $F_d = \gamma_F \cdot F_k$, wobei neben den Teilsicherheitsbeiwerten γ auch die Kombinationsbeiwerte ψ zu berücksichtigen sind.

Baustoffeigenschaften werden durch einen charakteristischen Wert X_k angegeben, welcher im allgemeinen einem Fraktilwert einer angenommenen Verteilung entspricht. Die Bemessungswerte einer Baustoffeigenschaft (X_d) ergeben sich allgemein aus $X_d = k_{mod} \cdot X_k / \gamma_M$, wobei neben dem Teilsicherheitsbeiwert γ_M der Baustoffeigenschaft auch ein Modifikationsfaktor k_{mod} , der vom Einfluß der Lasteinwirkungsdauer und der Holzfeuchte abhängig ist, zu berücksichtigen ist.

2.2 Kombinationen von Einwirkungen

Das im vorangegangenen Abschnitt kurz umrissene Sicherheitskonzept bedingt in seiner praktischen Anwendung für den Ingenieur die wohl weitgehendsten Änderungen in seiner Tätigkeit, ein Holzbauwerk zu berechnen und zu bemessen. Nach DIN 1052 (April/1988) müssen in der Regel nur die Lastfälle H (Summe der Hauptlasten) und HZ (Summe der Haupt- und Zusatzlasten) untersucht werden. Für die Nachweise dürfen die zulässigen Spannungen bzw. Gebrauchslasten im Lastfall HZ um 25% erhöht werden.

Für die Bemessung nach NAD sind für mögliche Lastfälle/Lastfallkombinationen die Bemessungswerte E_d der Beanspruchungen anhand vorgeschriebener Kombinationsregeln zu bestimmen und nachzuweisen. Dies kann, abhängig von der Lage des Bauteils in der Gesamtkonstruktion und der daraus resultierenden Anzahl der auftretenden Lasten eine Vielzahl von zu untersuchenden Kombinationen bedingen. So müßten wie im weiter unten folgenden Beispiel einer durchgehenden Mittelstütze eines mehrgeschossigen Wohnhauses 12 und mehr Kombinationen untersucht werden. Dieser erforderliche Mehraufwand wurde erkannt und dem Ingenieur werden die beiden Gleichungen 2.3.3.1a und 2.3.3.1b des NAD als vereinfachte Kombinationsgleichungen zur Anwendung angeboten.

Anhand von vier exemplarisch ausgewählten Bauteilen sollen nachfolgend die möglichen Lastfallkombinationen ausführlich dargestellt und diskutiert werden.

2.2.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit

- 1) Für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen (Grundkombination) gilt danach der allgemeine Ausdruck :

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

oder die vereinfachten Kombinationen

$$2 \text{ a) } \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,1},$$

wenn nur die ungünstigste veränderliche Einwirkung berücksichtigt wird, bzw.

$$2 \text{ b) } \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + 1,35 \cdot \sum_{i>1} Q_{k,i}$$

wenn sämtliche ungünstigsten veränderlichen Einwirkungen berücksichtigt werden.

Der jeweils ungünstigste Wert aus 2a) bzw. 2b) ist maßgebend.

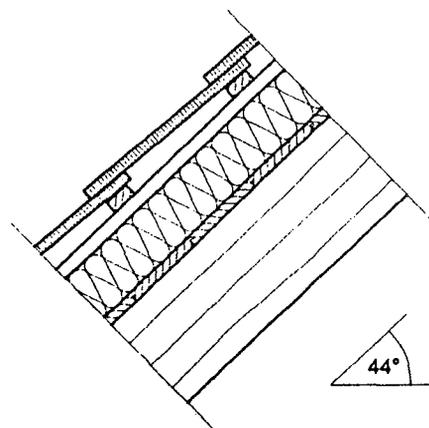
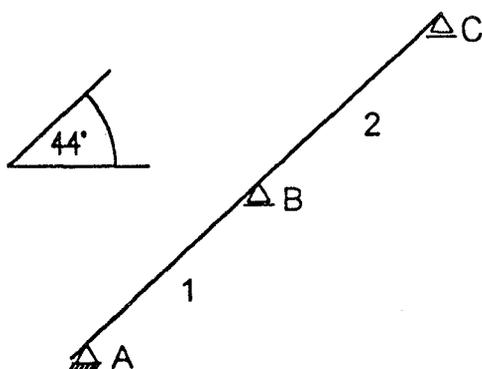
2.2.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Hier sind entsprechend Abschnitt 4 des NAD andere Einwirkungskombinationen zu untersuchen.

$$\sum G_{k,i} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{1,i} \cdot Q_{k,i}$$

2.2.3 Dachsparren

2.2.3.1 Statisches System und Dachaufbau



2.2.3.2 Charakteristische Werte der Einwirkungen

1. ständige Einwirkungen (LED: ständig):

Falzziegel mit Lattung		0,55 kN/m ²
Konterlattung mit Pappe		0,08 kN/m ²
Wärmedämmung mit Schubbalen		0,15 kN/m ²
Schalung d=19mm		0,12 kN/m ²
Sparren		0,15 kN/m ²
auf die Dachfläche bezogen	$G_k =$	1,05 kN/m ²
auf die Grundfläche bezogen	$G_k =$	1,46 kN/m ²

2. veränderliche Einwirkungen :

Schnee (LED: kurz)	$Q_{k1} = k_s \cdot s_0$	
Schneelastzone II	$= 0,65 \cdot (0,75 + (0,15 \cdot 0,5))$	
H = 450 m ü. NN	$=$	0,54 kN/m ²
Wind (LED: kurz)		
Winddruck	$Q_{k2} = 1,25 \cdot c_p \cdot q$	
$h > 8,0 \text{ m}$	$= 1,25 \cdot 0,70 \cdot 0,80$	
	$=$	0,70 kN/m ²
Windsog	$Q_{k3} = c_p \cdot q$	
$h > 8,0 \text{ m}$	$= -0,60 \cdot 0,80$	
	$=$	-0,48 kN/m ²

2.2.3.3 Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte

für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

- ständige Einwirkungen $\gamma_G = 1,35$
- veränderliche Einwirkungen $\gamma_Q = 1,50$
- ständige Einwirkungen $\psi_0 = 1,00$
- Schneelast $\psi_0 = 0,70$
- Windlast $\psi_0 = 0,60$

für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

- Schneelast $\psi_1 = 0,20$
- Windlast $\psi_1 = 0,50$

2.2.3.4 Grenzzustände

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird hier nur der vertikale Anteil aus der Windlast betrachtet. Tatsächlich muß natürlich auch der horizontale Anteil bei der Ermittlung von Schnittgrößen und Verformungen berücksichtigt werden.

Tragfähigkeit

Für den Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit sind entsprechend Abschnitt 2.2 folgende Kombinationen zu untersuchen :

$$\begin{aligned} \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} &= 1,35 \cdot 1,46 + 1,5 \cdot 0,54 &= 2,78 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k2} &= 1,35 \cdot 1,46 + 1,5 \cdot 0,70 &= 3,02 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k2} &= 1,35 \cdot 1,46 + 1,5 \cdot 0,54 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,70 &= 3,41 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma_G \cdot G_k + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot Q_{k2} &= 1,35 \cdot 1,46 + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 0,54 + 1,5 \cdot 0,70 &= 3,59 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

bzw. die beiden vereinfachten Kombinationsgleichungen

$$\begin{aligned} \gamma_G \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k1} &= 1,35 \cdot 1,46 + 1,5 \cdot 0,70 &= 3,02 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma_G \cdot G_k + 1,35 \cdot \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} &= 1,35 \cdot 1,46 + 1,35 \cdot (0,54 + 0,70) &= 3,65 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

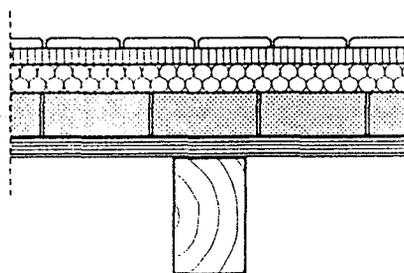
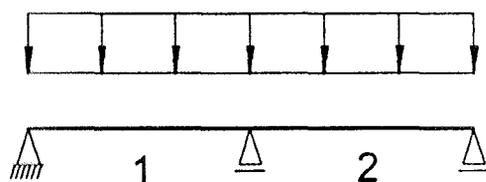
Gebrauchstauglichkeit

Für den Nachweis des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit sind entsprechend Abschnitt 4.1 des NAD folgende Kombinationen zu untersuchen :

$$\begin{aligned} G_k + Q_{k1} + \psi_1 \cdot Q_{k2} &= 1,46 + 0,54 + 0,5 \cdot 0,70 &= 2,35 \text{ kN/m}^2 \\ G_k + \psi_1 \cdot Q_{k1} + Q_{k2} &= 1,46 + 0,2 \cdot 0,54 + 0,70 &= 2,27 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

2.2.4 Deckenbalken

2.2.4.1 Statisches System und Deckenaufbau



2.2.4.2 Charakteristische Werte der Einwirkungen

1. ständige Einwirkungen (LED: ständig):

Fliesen		0,33 kN/m ²
Spanplatte d=22mm		0,17 kN/m ²
Trittschalldämmung d=40mm		0,15 kN/m ²
Betonsteine d=60mm		1,44 kN/m ²
Bitumenfilz d=1mm		0,03 kN/m ²
Baufurniersperrholz d=25mm		0,19 kN/m ²
Deckenbalken		0,10 kN/m ²
Deckeneigengewicht	$G_k =$	2,41 kN/m ²

2. veränderliche Einwirkungen :

Verkehrslast auf Decke		2,00 kN/m ²
Leichte Trennwände		0,75 kN/m ²
(LED: mittel)	$Q_{k1} =$	2,75 kN/m ²

2.2.4.3 Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte

für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

- ständige Einwirkungen $\gamma_G = 1,35$
- veränderliche Einwirkungen $\gamma_Q = 1,50$
- ständige Einwirkungen $\psi_0 = 1,00$
- Verkehrslasten $\psi_0 = 0,70$

2.2.4.4 Grenzzustände

Tragfähigkeit

Für den Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit sind entsprechend Abschnitt 2.2 folgende Kombinationen zu untersuchen :

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} = 1,35 \cdot 2,41 + 1,5 \cdot 2,75 = 7,38 \text{ kN/m}^2$$

bzw. die beiden vereinfachten Kombinationsgleichungen

$$\gamma_G \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k1} = 1,35 \cdot 2,41 + 1,5 \cdot 2,75 = 7,38 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma_G \cdot G_k + 1,35 \cdot \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} = 1,35 \cdot 2,41 + 1,35 \cdot 2,75 = 6,97 \text{ kN/m}^2$$

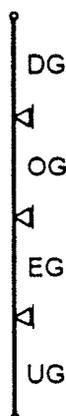
Gebrauchstauglichkeit

Für den Nachweis des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit sind entsprechend Abschnitt 4.1 des NAD folgende Kombinationen zu untersuchen :

$$G_k + Q_{k1} = 241 + 275 = 5,16 \text{ kN/m}^2$$

2.2.5 Mittelstütze eines mehrgeschossigen Wohnhauses

2.2.5.1 Statisches System



2.2.5.2 Charakteristische Werte der Einwirkungen

1. ständige Einwirkungen (LED: ständig):

aus Kehlbalken/Decke über DG	$G_{k1} =$	21,95 kN
aus Decke über OG	$G_{k2} =$	27,82 kN
aus Decke über EG	$G_{k3} =$	27,82 kN
aus Decke über UG	$G_{k4} =$	27,82 kN

2. veränderliche Einwirkungen :

• Schnee (LED: kurz) aus Kehlbalken/Decke über DG	$Q_{k1} =$	6,24 kN
• Wind (LED: kurz) aus Kehlbalken/Decke über DG	$Q_{k2} =$	19,53 kN
• Verkehrslasten (LED: mittel) aus Kehlbalken/Decke über DG	$Q_{k31} =$	22,41 kN
aus Decke über OG	$Q_{k32} =$	30,74 kN
aus Decke über EG	$Q_{k33} =$	30,74 kN
aus Decke über UG	$Q_{k34} =$	30,74 kN

2.2.5.3 Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte

für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

- ständige Einwirkungen $\gamma_G = 1,35$
- veränderliche Einwirkungen $\gamma_Q = 1,50$
- ständige Einwirkungen $\psi_0 = 1,00$
- Schneelast $\psi_0 = 0,70$
- Windlast $\psi_0 = 0,60$
- Verkehrslasten $\psi_0 = 0,70$

2.2.5.4 Grenzzustände der Tragfähigkeit

Für die Normalkraft im zweiten Stützenabschnitt von unten (Erdgeschoß) ist hier exemplarisch gezeigt, welche Kombinationen für den Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit zu untersuchen sind :

$$\begin{aligned}
 \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} &= 135 \cdot 77,59 + 1,5 \cdot 6,24 &= 114,11 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k2} &= 135 \cdot 77,59 + 1,5 \cdot 19,53 &= 134,04 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k3} &= 135 \cdot 77,59 + 1,5 \cdot 83,89 &= 230,58 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k2} &= 135 \cdot 77,59 + 1,5 \cdot 6,24 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 19,53 &= 131,68 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot Q_{k2} &= 135 \cdot 77,59 + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 6,24 + 1,5 \cdot 19,53 &= 140,59 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k3} &= 135 \cdot 77,59 + 1,5 \cdot 6,24 + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 83,89 &= 202,19 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot Q_{k3} &= 135 \cdot 77,59 + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 6,24 + 1,5 \cdot 83,89 &= 237,13 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k2} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k3} &= 135 \cdot 77,59 + 1,5 \cdot 19,53 + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 83,89 &= 222,13 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k2} + \gamma_Q \cdot Q_{k3} &= 135 \cdot 77,59 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 19,53 + 1,5 \cdot 83,89 &= 248,16 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k2} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k3} &= & \\
 &= 135 \cdot 77,59 + 1,5 \cdot 6,24 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 19,53 + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 83,89 &= 219,77 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_Q \cdot Q_{k2} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k3} &= & \\
 &= 135 \cdot 77,59 + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 6,24 + 1,5 \cdot 19,53 + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 83,89 &= 228,68 \text{ kN} \\
 \gamma_G \cdot G_k + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_{k2} + \gamma_Q \cdot Q_{k3} &= & \\
 &= 135 \cdot 77,59 + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 6,24 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 19,53 + 1,5 \cdot 83,89 &= 254,71 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

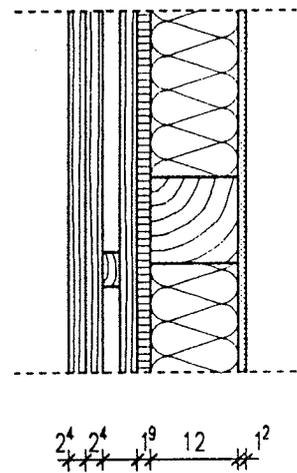
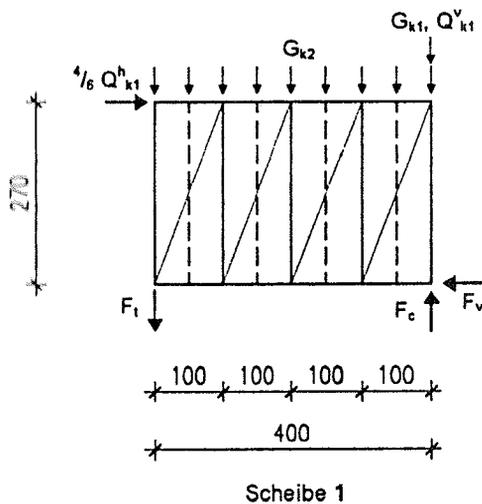
bzw. die beiden vereinfachten Kombinationsgleichungen

$$\gamma_G \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_{k3} = 1,35 \cdot 77,59 + 1,5 \cdot 83,89 = 230,58 \text{ kN}$$

$$\gamma_G \cdot G_k + 1,35 \cdot \sum_{I \geq 1} Q_{k,j} = 1,35 \cdot 77,59 + 1,35 \cdot (6,24 + 19,53 + 83,89) = 252,79 \text{ kN}$$

2.2.6 Wand im EG

2.2.6.1 Statisches System und Wandaufbauaufbau



2.2.6.2 Charakteristische Werte der Einwirkungen in vertikaler Richtung

1. ständige Einwirkungen (LED: ständig):

Deckelschalung d=24mm		0,29 kN/m ²
Spanplatte d=19mm		0,15 kN/m ²
Dämmung d=120mm		0,12 kN/m ²
Holzrippen		0,09 kN/m ²
Gipskartonplatte d=12mm		0,14 kN/m ²
Wandbelag/Installationen		0,11 kN/m ²
<hr/>		
Außenwand	$G_k =$	0,90 kN/m ²
• aus Obergeschoß	$G_{k1} =$	2,52 kN
• aus Giebelwand (OG)	$G_{k2} =$	1,22 kN

2. veränderliche Einwirkungen :

• Wind (LED: kurz) aus OG	$Q_{k1}^v =$	12,41 kN
------------------------------	--------------	----------

2.2.6.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen in horizontaler Richtung

1. veränderliche Einwirkungen :

Wind (LED: kurz)

• aus OG	$Q_{k11} =$	36,78 kN
• aus den Wänden	$Q_{k12} =$	9,15 kN
	$Q_{k1}^h =$	45,93 kN

2.2.6.4 Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte

für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

- ständige Einwirkungen $\gamma_G = 1,35$, wenn ungünstige Auswirkung
- ständige Einwirkungen $\gamma_G = 1,00$, wenn günstige Auswirkung
- veränderliche Einwirkungen $\gamma_Q = 1,50$
- ständige Einwirkungen $\psi_0 = 1,00$
- Windlast $\psi_0 = 0,60$

2.2.6.5 Grenzzustände der Tragfähigkeit

Da außer den ständigen Einwirkungen nur Windlasten zu berücksichtigen sind, ist hier nur die Kombination $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1}$ für den Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit zu untersuchen.

Damit ergeben sich die folgenden Bemessungswerte der Schnittgrößen :

$$F_{v,d,1} = 1,5 \cdot \frac{4}{6} \cdot G_{k,1}^h = 1,5 \cdot \frac{4}{6} \cdot 45,93 = 45,93 \text{ kN}$$

$$F_{e,d,1} = 0,75 \cdot F_{v,d} \cdot \frac{h}{b} + 1,5 \cdot Q_{k,1}^v + 1,35 \cdot (G_{k,1} + G_{k,2}) =$$

$$= 0,75 \cdot 45,93 \cdot \frac{2,70}{4,00} + 1,5 \cdot 12,41 + 1,35 \cdot (2,52 + 1,22) = 46,92 \text{ kN}$$

$$F_{t,d,1} = F_{v,d} \cdot \frac{h}{b} - 10 \cdot Q_{k,1} = 45,93 \cdot \frac{2,70}{4,00} - 10 \cdot 2,52 = 28,48 \text{ kN}$$

(siehe dazu auch die Gleichungen 5.4.3c und 5.4.3d des NAD)

2.2.7 Erkenntnisse bei der Anwendung der Kombinationsregeln

Die vier behandelten Beispiele zeigen die Auswirkungen bei der Anwendung der Kombinationsregeln (Gleichungen 2.3.2.2a bzw. 2.3.2.2b des NAD) für den Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit. Abhängig von der Lage des Bauteils in der Gesamtkonstruktion und der daraus resultierenden Anzahl der auftretenden Lasten können diese Regeln eine Vielzahl von zu untersuchenden Kombinationen be-

dingen. In den hier zufällig gewählten Beispielen wird jedoch deutlich, daß die beiden vereinfachten Kombinationsgleichungen 2.3.3.1a und 2.3.3.1b des NAD bei teilweise sehr viel geringerem Aufwand nur geringfügig andere Bemessungswerte liefern. Bezogen auf die Grundkombination (100%) ergab die Anwendung der beiden vereinfachten Kombinationsgleichungen für den Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit nachfolgende Abweichungen :

- Sparren 2 %
- Deckenbalken 0 %
- Mittelstütze -1 %
- Wand 0 %

Es kann daher angeraten werden, immer die beiden vereinfachten Kombinationsgleichungen anzuwenden. Eine Anwendung der Kombinationsregeln wird nicht empfohlen, da dem erforderlichen Mehraufwand keine wirtschaftlichere Bemessung der Bauteile gegenübersteht.

2.3 Baustoffeigenschaften

Analog zur DIN 1052 müssen nach dem NAD alle Tragwerke einer der Nutzungsklassen 1 bis 3 zugeordnet werden. Dieses System ist zur Zuordnung von Festigkeitswerten und zur Berechnung von Verformungen unter festgelegten Umweltbedingungen notwendig.

Die Klassen der Lasteinwirkungsdauer (ständig · lang · mittel · kurz · sehr kurz) werden ebenfalls für Festigkeits- und Verformungsberechnungen benötigt.

In Abhängigkeit dieser beiden Klasseneinteilungen wird ein Modifikationsfaktor k_{mod} (s. auch Abschnitt 2.1) definiert, der den Einfluß der Lasteinwirkungsdauer und der Holzfeuchte auf die Baustoffeigenschaften berücksichtigt.

2.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Bei der Ermittlung von Endverformungen ist der Beiwert k_{def} , welcher Zunahmen von Verformungen infolge Kriechen und Feuchte berücksichtigt, zu verwenden.

Anders als in der DIN 1052 werden Grenzwerte der Durchbiegung nur empfohlen. Im einzelnen sind diese von den Tragwerksplanern und -nutzern selbst festzulegen.

In DIN 1052 noch nicht erwähnt, werden im NAD auch Angaben und Anforderungen hinsichtlich des Schwingungsverhaltens, im besonderen von Wohnungsdecken, gemacht.

3 Ausgewählte Projekte

3.1 Allgemeines

Nach Kontaktaufnahme mit Holzleimbaufirmen und Ingenieurbüros wurden insgesamt drei für die Durchführung des Forschungsvorhabens geeignet erscheinende Projekte ausgewählt. Es wurde dabei ein besonderes Augenmerk darauf verwendet, möglichst unterschiedliche übliche Konstruktionsformen und Bauteile zu erfassen.

Im einzelnen sind dies:

1. Mehrgeschossiges Wohnhaus
2. Werksgebäude mit angeschlossenem Bürotrakt
3. Rad- und Gehwegbrücke

3.2 Vorgehensweise

Die statischen Berechnungen nach DIN 1052 sowie die Konstruktions- und Ausführungspläne für die bereits erstellten Bauwerke wurden als Grundlage für eine Neubemessung nach EC 5 herangezogen. Dabei wurde festgestellt, daß die Angaben in den Plänen teilweise erheblich, aber immer auf der sicheren Seite liegend, von den Annahmen in den statischen Berechnungen abwichen. Berücksichtigt wurden immer die Angaben in der statischen Berechnung.

Bei der Bemessung nach DIN EN 1995, Teil 1-1 (EC5) wurde für die einzelnen Bauteile wie folgt vorgegangen:

1. Zusammenstellung der charakteristischen Werte der Einwirkungen (nach NAD i. d. R. die Werte der Normenreihe DIN 1055)
2. Berechnung der Ausgangsschnittgrößen bzw. der Lastauswirkungen unter Zuhilfenahme von Tabellenwerken oder Stabwerksprogrammen
3. Ermittlung der maßgebenden Lastfallkombination(en) mit der Methode der Teilsicherheitsbeiwerte
4. Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit mit den resultierenden Bemessungswerten
5. Nachweis von Anschlüssen und Verbindungen
6. Vergleich der Bemessungsergebnisse nach DIN 1052 mit denen nach EC 5. Dieser Vergleich wird für jedes einzelne Bauteil bzw. jede Verbindung tabellarisch durchgeführt. Dazu werden als Ergebnisse der Nachrechnung die Ausnutzungs-

grade nach NAD den entsprechenden Werten der Bemessung nach DIN 1052 gegenübergestellt.

3.3 Mehrgeschossiges Wohnhaus

3.3.1 Baubeschreibung

Das Bauwerk ist ein zweigeschossiges Wohngebäude mit ausgebautem Dachgeschoß und Spitzboden. Die Grundmaße betragen $L/B = 17,30/9,45$ m, die Gebäudehöhe 10,66 m. Das Satteldach hat eine Neigung von 44° . Es ist als Pfettendach mit Durchlaufsparren ausgebildet. Die Firstpfette wird durch einen Stahlrahmen abgestützt, um den Spitzboden frei begehbar zu halten. Die Tragkonstruktion des Gebäudes bildet ein Holzskelettbau mit einteiligen durchlaufenden Stützen und Hauptträgern in Querrichtung, die als Einfeldträger zwischen den Stützen mit Stahlformteilen angeschlossen sind. Das Rastermaß der Skelettkonstruktion beträgt in Längs-/Querrichtung 2,94/3,15 m. Die Wände sind in Rahmenbauweise ausgefacht. Die Holzbalkendecke besteht aus sichtbaren Balken in Längsrichtung, die als Durchlauf- oder Einfeldträger über den Hauptträgern verlaufen. Die Aussteifung erfolgt über Wand- und Deckenscheiben, die einseitig beplankt sind. Teilweise ist der Längswand ein überdachter Balkon über zwei Geschosse als Sekundärtragwerk vorangestellt.

Anlage 3-1 enthält eine Aufnahme im teilausgebauten Zustand (Bild A3-1) sowie eine Außenansicht nach Fertigstellung (Bild A3-2).

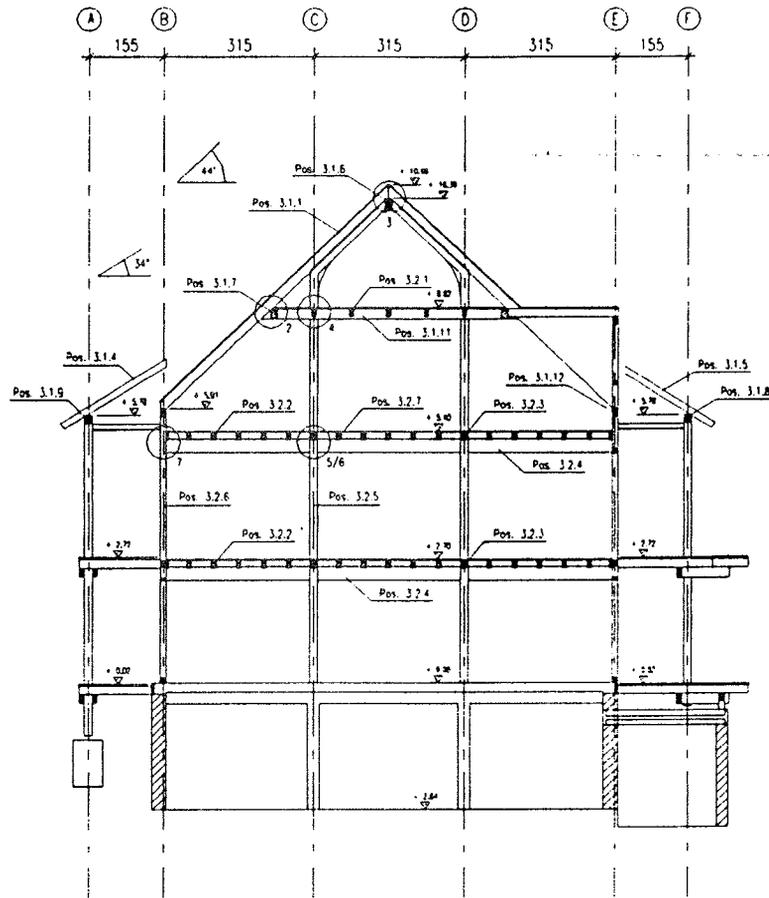


Bild 3-1 : Gebäudeschnitt

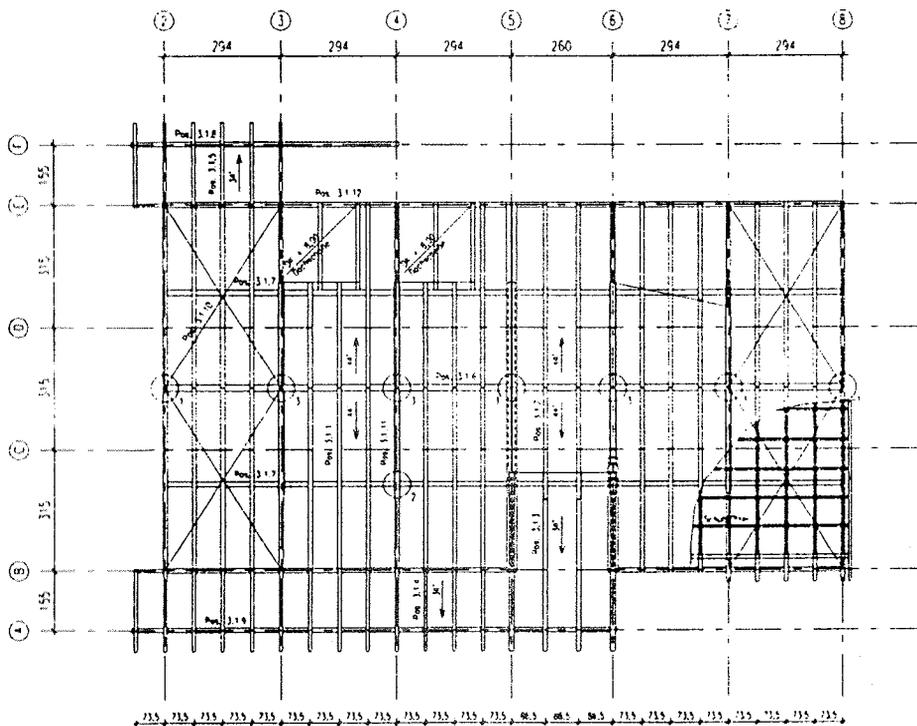


Bild 3-2 : Sparren- und Pfettenlage

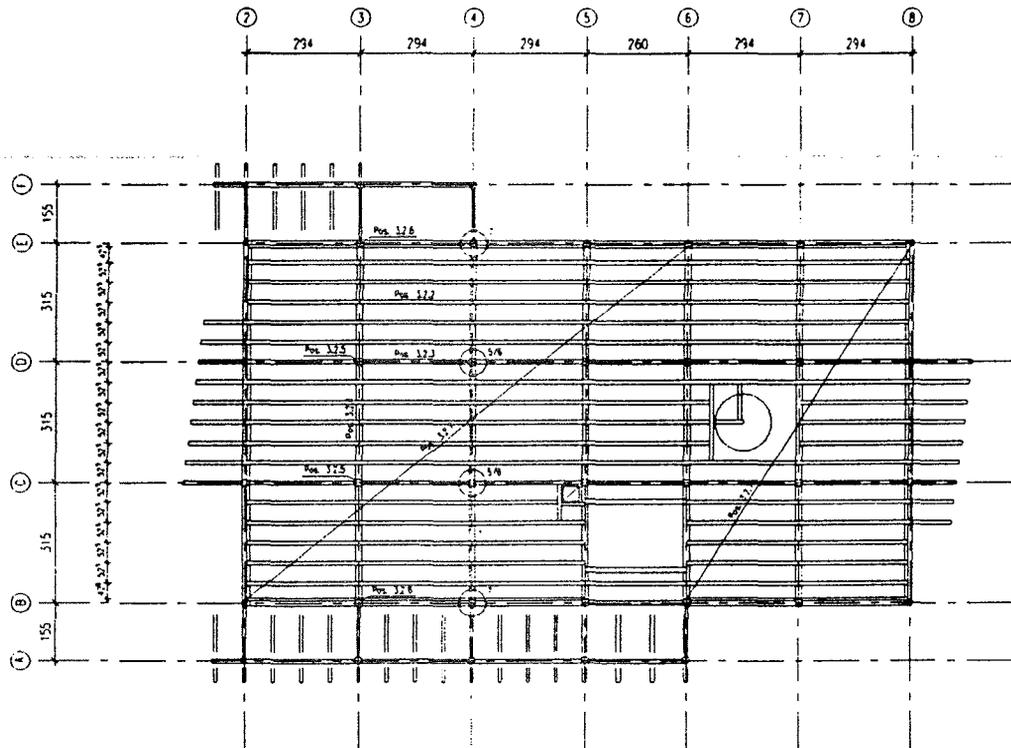


Bild 3-3 : **Decke über OG**

3.3.2 Gegenüberstellung der Nachweise / Tragfähigkeit - Ausnutzungsgrade

	Bauteil	Belastung	Material	DIN	NAD
1	Zweifeld-Sparren	Biegung über Innenstütze	NH S10	0,39	0,44
		Schub		0,26	0,25
2	Einfeld-Sparren	Biegung	NH S10	0,31	0,33
		Schub		0,21	0,20
3	Einfeld-Sparren	Biegung	NH S10	0,42	0,49
		Schub		0,23	0,23
4	Einfeld-Sparren mit Kragarm	Biegung über Stütze	NH S10	0,26	0,25
		Schub		0,18	0,15
5	Dreifeld-Firstpfette	Biegung Endfeld	BS 11	0,15	0,11
		Biegung über Innenstütze		0,18	0,18
		Schub		0,17	0,15

	Bauteil	Belastung	Material	DIN	NAD
6	Einfeld-Mittelpfette	Biegung	NH S10	0,82	0,82
		Schub		0,68	0,59
7	Vierfeld-Mittelpfette	Biegung über Innenstütze	BS 11	0,48	0,53
		Schub		0,43	0,48
8	Kniestockwand mit Kragarm	Biegung	NH S10	0,58	0,56
		Schub		0,34	0,28
9	Zweifeld-Fußpfette	Biegung über Innenstütze	NH S10	0,65	0,60
		Schub		0,54	0,39
10	Dachbund / Bundsparren (siehe <u>Bild 3-4</u>)	Zug u. Biegung Knoten 4	NH S10	0,98	0,87
		Zug u. Biegung Knoten 5		0,75	0,81
		Schub Knoten 5		0,37	0,38
		Druck u. Biegung Stab 8		0,58	0,19
11	Dachbund / Kehlbalken (siehe <u>Bild 3-4</u>)	Druck u. Biegung Stab 11	BS 11	0,70	0,83
		Schub am Knoten 12		0,50	0,48
		Druck u. Biegung Stab 12		0,67	0,80
		Schub am Knoten 12		0,58	0,57
12	Einfeld-Deckenbalken über DG	Biegung	NH S10	0,65	0,65
		Schub		0,39	0,34
13	Zweifeld-Deckenbalken über UG, EG und DG	Biegung über Innenstütze	NH S10	0,69	0,66
		Schub		0,52	0,44
14	Einfeld-Deckenbalken über UG, EG und DG	Biegung	NH S10	0,69	0,66
		Schub		0,41	0,34
15	Einfeld-Unterzug	Biegung	BS 14	0,95	0,97
		Schub		0,76	0,70
16	Innenstütze, über 4 Etagen durchgehend	Stabilitätsnachw. EG/DG	BS 11	0,96	0,73
		Stabilitätsnachweis UG		0,92	0,73
17	Außenstütze	Stabilitätsnachweis	BS 11	0,80	0,57

	Bauteil	Belastung	Material	DIN	NAD
18	Wand im OG	Druckrippe	NH S10	0,12	0,11
		Schwellendruck		0,50	0,44
		Zugrippe		0,13	0,16
19	Wand im EG	Druckrippe	NH S10	0,25	0,22
		Schwellendruck		0,84	0,94
		Zugrippe		0,16	0,20
20	Auflager Firstpfette	Zug in Schraubenachse	BS 11	0,45	0,14
		Stahlblech-Holz-Verb.		0,31	0,22
21	Anschluß Mittelpfette Stahlbl.-Holz-Verbindung	an Mittelpfette	BS 11	0,99	0,79
		an Kehlbalken	NH S10	0,88	0,49
22	Kehlbalkenanschluß	Zug in Schraubenachse	BS 11	0,90	0,37
		Druck U-Scheibe/Kehlb.		1,00	0,64
		Druck U-Scheibe/Bundsp.	NH S10	0,87	0,81
		Kontaktstoß		0,99	0,76
23	Firstpunkt	Stahlblech-Holz-Verb.	BS 11	0,68	0,47
24	Anschl. Decken-/Kehlbalken	Stahlblech-Holz-Verb.	BS 11	0,49	0,60
25	Anschl. Deckenb./Stützen	Stahlblech-Holz-Verb.	BS 11	0,52	0,61
26	Anschl. Unterzug/Mittelst. Stahlbl.-Holz-Verbindung	am Unterzug	BS 14	1,00	1,00
		an Stütze	BS 11	0,98	0,72
27	Anschl. Unterzug/ Außenst. Stahlbl.-Holz-Verbindung	am Unterzug	BS 14	1,00	0,94
		an Stütze	BS 11	0,86	0,79

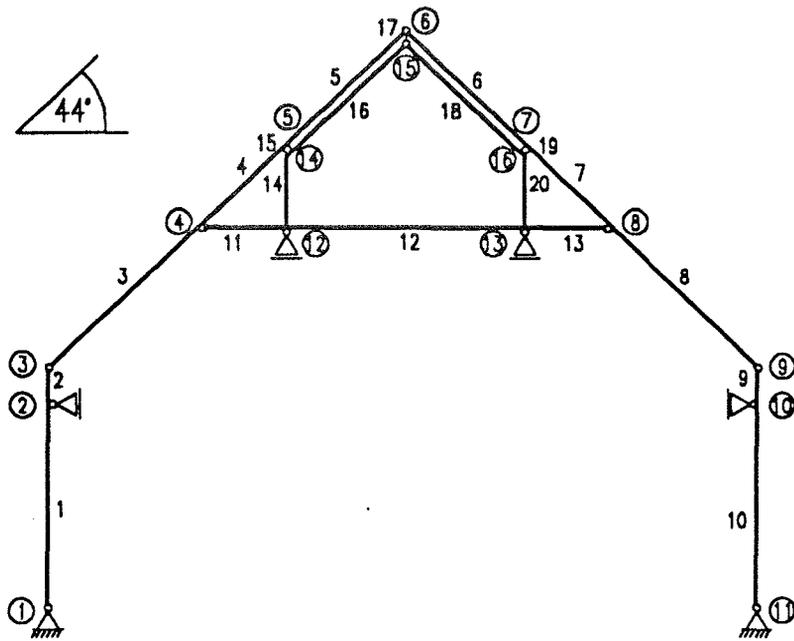


Bild 3-4 : Dachbund

3.3.3 Gegenüberstellung der Nachweise / Gebrauchstauglichkeit

	Bauteil	Material	DIN	NAD	
			alle	veränderl.	alle
1	Zweifeld-Sparren	NH S10	I/1460	I/3814	I/1440
2	Einfeld-Sparren	NH S10	I/659	I/1678	I/645
3	Einfeld-Sparren	NH S10	I/358	I/804	I/287
5	Dreifeld-Firstpfette	BS 11	-	I/17294	I/3195
6	Einfeld-Mittelpfette	NH S10	I/350	I/948	I/346
7	Vierfeld-Mittelpfette	BS 11	I/867	I/1625	I/541
8	Kniestockwand mit Kragarm	NH S10	I/79	I/106	I/106
9	Zweifeld-Fußpfette	NH S10	I/891	I/2940	I/717
12	Einfeld-Deckenbalken	NH S10	I/403	I/420	I/342
13	Zweifeld-Deckenbalken	NH S10	I/668	I/891	I/535
14	Einfeld-Deckenbalken	NH S10	I/382	I/639	I/297
15	Einfeld-Unterzug	BS 14	I/389	I/544	I/253

3.4 Werksgebäude mit angeschlossenem Bürotrakt

3.4.1 Baubeschreibung

Das Bauwerk besteht aus einer Werkshalle mit den Grundmaßen L/B = 50/20 m. Die Halle wird überspannt von Satteldachbindern aus BS-Holz mit gekrümmtem Untergurt und lose aufgesatteltem Firstkeil. Der Binderabstand (Achsenabstand) beträgt 5,0 m. Auf einer Seite sind diese Binder auf Holz-Pendelstützen aufgelagert, auf der anderen Seite (zum Bürotrakt) auf durch Verguß eingespannte Stützen aus BS-Holz. Zwischen den Bindern sind, mit Balkenschuhen angeschlossene, Einfeldpfetten eingebaut. Eine Giebelwand wurde in Fachwerkbauweise ausgeführt, die andere (wg. einer später vorgesehenen Erweiterung) mit Satteldachbindern und Stützen. Zur Aussteifung wurden in der Dachebene und der Wand mit den Pendelstützen Verbände als Kreuzdiagonalenfachwerk mit druckschlaffen Rundstahldiagonalen eingebaut. An einer Längsseite ist ein 6,15 m breiter Bürotrakt über die gesamte Länge angebaut. Auf der Außenseite sind diese Binder ebenfalls auf Holz-Pendelstützen aufgelagert, auf der Innenseite auf die eingespannten Stützen aus BS-Holz. Zwischen den Bindern sind ebenfalls mit Balkenschuhen angeschlossene Einfeldpfetten eingebaut.

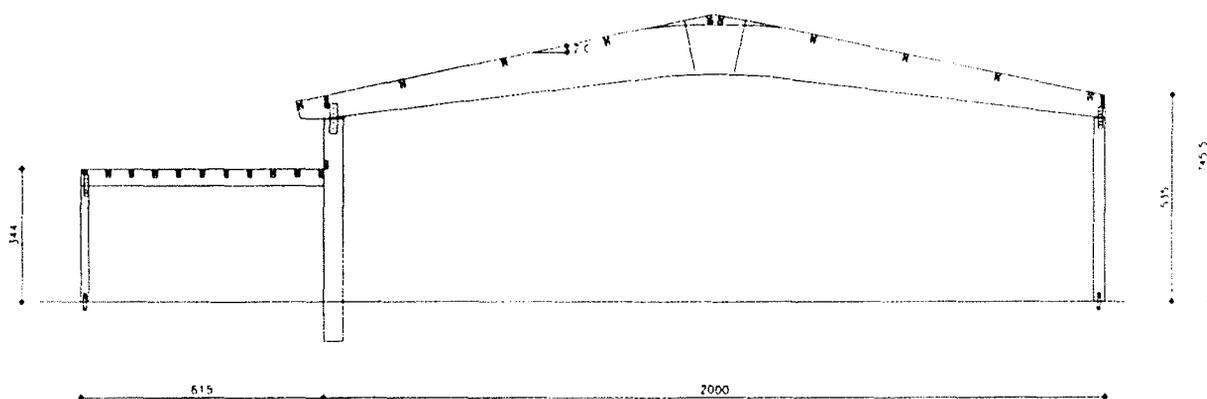


Bild 3-5 : Gebäudeschnitt

Anlage 3-2 enthält eine Aufnahme der Außenansicht nach Fertigstellung (Bild A3-3).

3.4.2 Gegenüberstellung der Nachweise / Tragfähigkeit - Ausnutzungsgrade

	Bauteil	Belastung	Material	DIN	NAD
28	Einfeldpfetten über Halle	Doppelbiegung	NH S10	0,94	0,99
29	Einfeldpfette als Druckriegel	Druck und Doppelbiegung	NH S10	0,67	0,71
30	Satteldachbinder mit lose aufgesatteltem Firstkeil	Schub am Auflager	BS 14	0,94	0,92
		Auflagerpressung		0,87	0,63
		max. Biegespannung		0,73	0,78
		Spannungskombination		0,81	0,79
		Kippen		0,78	0,91
		Biegespannung im First		0,60	0,64
		Querzugspannung i. First		0,84	1,34
31	Pendelstütze Halle	Druck und Biegung	BS 11	0,60	0,46
32	Schleppbinder	Biegung	BS 11	0,89	0,94
33	Giebelstützen Ostseite	Druck und Biegung	BS 11	0,72	0,62
34	Schalung	Biegung	NH S10	0,06	0,06
35	Einfeld-Balken über Büro	Druck und Biegung	NH S10	0,51	0,37
36	Einfeld-Binder über Büro	Schub am Auflager	BS 14	0,80	0,71
		Auflagerpressung		0,56	0,52
		max. Biegespannung		0,96	0,97
37	Pendelstütze Büro	Druck und Biegung	BS 11	0,69	0,45
38	Druckriegel Traufe	Druck und Biegung	BS 11	0,65	0,64
39	eingespannte Holzstütze	Druck und Doppelbiegung	BS 14	0,76	0,68

3.4.3 Gegenüberstellung der Nachweise / Gebrauchstauglichkeit

	Bauteil	Material	DIN	NAD	
			alle	veränderl.	alle
	Art der Einwirkung				
28	Einfeldpfetten über Halle	NH S10	I/230	I/285	I/202
29	Einfeldpfette als Druckriegel	NH S10	I/327	I/405	I/288
30	Satteldachbinder	BS 14	I/217	I/352	I/210
31	Pendelstütze Halle	BS 11	I/1000	I/863	I/863
32	Schleppbinder	BS 11	I/230	I/291	I/207
33	Giebelstützen Ostseite	BS 11	I/250	I/300	I/300
34	Schalung	NH S10	I/4500	-	I/4000
35	Einfeld-Balken über Büro	NH S10	I/385	I/1000	I/354
36	Einfeld-Binder über Büro	BS 14	I/260	I/800	I/215
37	Pendelstütze Büro	BS 11	I/879	I/932	I/932
38	Druckriegel Traufe	BS 11	I/282	I/252	I/252
39	eingespannte Holzstütze	BS 14	-	I/5000	I/5000

3.4.4 Sonstiges

Der Vergleich der Nachweise der Anschlüsse und Stahlteile (Verbände) erbrachte ähnliche Ergebnisse wie im Abschnitt 3.3.

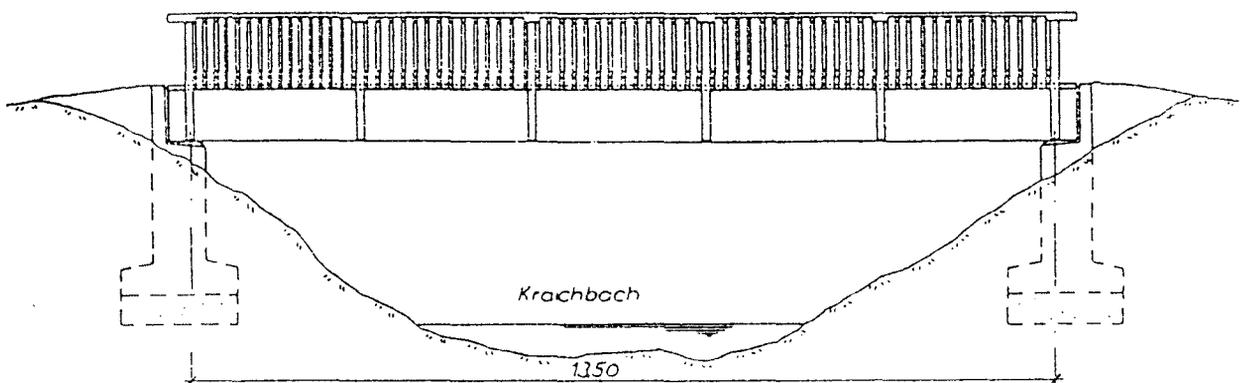
Bei den Anschlüssen wurden teilweise die im NAD geforderten Verbindungsmittel-Abstände nicht eingehalten. Bei der dann vorzunehmenden Abminderung der Lochleibungsfestigkeit wurden die Nachweise weiterhin erfüllt.

3.5 Rad- und Gehwegbrücke

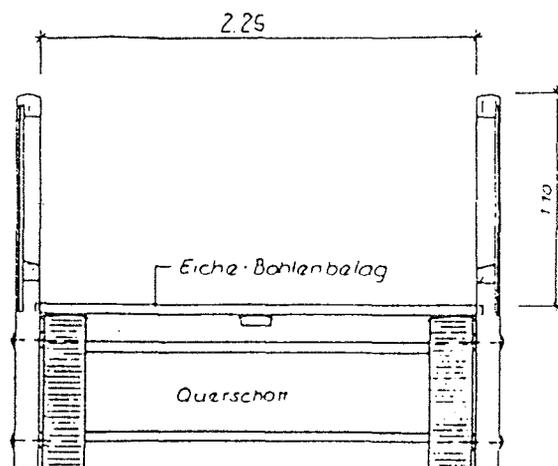
3.5.1 Baubeschreibung

Bei dem Bauwerk handelt es sich um eine Rad- und Gehwegbrücke über einen Bachlauf. Die Systemlänge (Stützweite) beträgt dabei 13,50 m, die lichte Weite zwischen den Geländerholmen 2,25 m. Für den Belag wurden mit Abstand verlegte Eichen-Bohlen verwendet. Als Längsträger dienen zwei Hauptträger aus BS-Holz, zwischen denen im Abstand von 2,70 m Querschotte eingebaut sind. Zur Aussteifung der Brücke ist ein Kreuzdiagonalenfachwerk mit druckschlaffen Stahldiagonalen eingebaut.

Längsansicht



Querschnitt



3.5.2 Gegenüberstellung der Nachweise / Tragfähigkeit - Ausnutzungsgrade

	Bauteil	Belastung	Material	DIN	NAD
40	Brückenhauptträger	Schub am Auflager	BS 14	0,46	0,42
		Auflagerpressung		0,96	1,12
		Stelle der max. Biegesp.		0,76	0,82
41	Verband	Diagonale D ₁ Ø24	St 37-2	0,53	0,37
		Dübel bes. Bauart Ø95	Typ D	0,90	0,84
		Querdruck unter U-Scheibe	BS 14	0,69	0,63
		Diagonale D ₂ Ø16	St 37-2	0,58	0,41
		Dübel bes. Bauart Ø65	Typ D	0,82	0,76
		Querdruck unter U-Scheibe	BS 14	0,61	0,58
42	Geländerpfosten	Schub am Auflager	BS 14	0,71	0,91
		Biegung		0,90	1,31
		Querdruck unter U-Scheibe		0,58	0,60
		Bolzen M16		0,59	0,49
43	Auflager des Holzsteges	Winkelprofil 150x100x10	St 37-2	0,53	0,62
		Querdruck	BS 14	0,96	1,12

3.5.3 Gegenüberstellung der Nachweise / Gebrauchstauglichkeit

	Bauteil	Material	DIN	NAD	
	Art der Einwirkung		alle	veränderl.	alle
40	Brückenhaupttr. Feldmitte	BS 14	I/258	I/370	I/226
	Kragarm		I/86	I/121	I/74

4 Vergleich der Bemessungsergebnisse

4.1 Grundsätzliches zum Nachweis der Tragfähigkeit

Bei den zur Verfügung stehenden Bemessungsunterlagen wurde festgestellt, daß mehrere Bauteile statisch nicht voll ausgenutzt waren. Dies liegt i. d. R. an Vorgaben durch den Architekten oder auch der Bauherrschaft. Sehr oft wurden Bauteilabmessungen auch durch konstruktive Rand- und Geometriebedingungen vorgegeben. Bei einigen Bauteilen werden die Bauteilabmessungen, für den Ingenieurholzbau nicht unüblich, durch Anschlüsse und Verbindungsmittel bestimmt.

Deshalb wurden die gewählten Querschnitte beibehalten und der Nachweis nach NAD geführt. Es ergibt sich für alle bisher untersuchten Bauteile, daß die Querschnitte sowohl bei Vollholz als auch bei BS-Holz - gleiche Güte vorausgesetzt - (fast) alle Nachweise nach dem NAD erfüllen. Der Ausnutzungsgrad änderte sich dabei nur geringfügig.

In dem nachfolgend durchgeführten Vergleich der Bemessungsergebnisse werden die Nachweise der einzelnen Bauteile getrennt nach der Art ihrer Beanspruchung neu zusammengestellt.

4.2 Biegung (M)

Die tabellarische Gegenüberstellung aller bemessenen, durch ein- oder zweiachsige Biegung beanspruchten Bauteile ist in der Anlage 4-1 (Tabelle A4-1) enthalten. Die entsprechende grafische Darstellung enthält die Anlage 4-2 (Bild A4-1).

Es ist zu erkennen, daß die Ergebnisse nur geringfügig voneinander abweichen. Die Tendenz, daß die Bemessung nach DIN 1052 etwas "günstigere" Ergebnisse liefert ist unbedeutend.

Bei der Bemessung der Brücke bewirkt der Einfluß der Nutzungsklasse auf den Modifikationsfaktor größere Unterschiede. Im Mittel lag der Ausnutzungsgrad beim NAD 2% höher als der nach DIN 1052 (24 verglichene Nachweise).

4.3 Biegung und Normalkraft ($M \pm N$)

Die tabellarische Gegenüberstellung aller bemessenen, durch Biegung und Normalkraft beanspruchten Bauteile ist in der Anlage 4-3 (Tabelle A4-2) enthalten. Die entsprechende grafische Darstellung enthält die Anlage 4-4 (Bild A4-2).

Bei dieser Gegenüberstellung ergibt sich kein einheitliches Bild. Bedingt durch das modifizierte Bemessungsverfahren schneidet das NAD immer dort, wo man von querbelasteten Druckstäben reden kann (überdrückte Querschnitte) günstiger ab. Im Mittel lag der Ausnutzungsgrad nach DIN 1052 27% höher als der nach dem NAD (12 verglichene Nachweise).

4.4 Schub aus Querkraft (Q)

Die tabellarische Gegenüberstellung aller bemessenen, durch Querkraft auf Schub beanspruchten Bauteile ist in der Anlage 4-5 (Tabelle A4-3) enthalten. Die entsprechende grafische Darstellung enthält die Anlage 4-6 (Bild A4-3).

Es ist zu erkennen, daß die Ergebnisse nur geringfügig voneinander abweichen. Die Tendenz, daß die Bemessung nach DIN 1052 etwas "ungünstigere" Ergebnisse liefert ist unbedeutend. Im Mittel lag der Ausnutzungsgrad nach DIN 1052 9% höher als der nach dem NAD (21 verglichene Nachweise).

4.5 weitere Nachweise (Querdruck und -zug, Kippen)

Die tabellarische Gegenüberstellung der Bauteile die in anderer Form beansprucht werden ist in der Anlage 4-7 (Tabelle A4-4) enthalten. Die entsprechende grafische Darstellung enthält die Anlage 4-8 (Bild A4-4).

Bei Druckstäben schneidet das NAD bedingt durch das modifizierte Bemessungsverfahren günstiger ab. Das gleiche gilt für Auflagerpressungen (Querdruck) mit Ausnahme des Brückenhauptträgers (wg. Nutzungsklasse).

Bei der Bemessung der Satteldachbinder (Projekt 2 nach Abschnitt 3) kommt es nach der NAD - Bemessung zur Überschreitung der Querkzug-Banspruchbarkeit. Dies ist durch den im EC 5 festgelegten Volumeneffekt begründet, wonach die Querkzugfestigkeit mit zunehmendem querkzugbeanspruchtem Volumen abnimmt. Die Überschreitung bei dem untersuchten Bauteil betrug dabei 34 %. Ebenfalls ungünstiger fällt der Kippnachweis aus.

4.6 Verbindungen

Die Bemessungsgleichungen für stiftförmige Verbindungen in DIN 1052 beruhen auf theoretischen Überlegungen, sind aber durch vorgegebene Randbedingungen vereinfacht. Im NAD sind diese (unveränderten !) Bemessungsgleichungen wieder allgemein gehalten, was zur Folge hat, daß bei einschnittigen Verbindungen sechs, bei zweischnittigen Verbindungen noch vier Bedingungen zu überprüfen sind. Diese Gleichungen sind teilweise sehr komplex, so daß nur noch eine rechnerische Auswertung sinnvoll erscheint.

Verbindungen die (noch) nicht im NAD enthalten sind, sind danach wie bisher zu behandeln. Gleiches gilt für alle Produkte mit Bauaufsichtlichen Zulassungen und/oder Prüfbescheiden. Teilweise fehlen im deutschen Normenwerk auch noch Angaben zu Materialkennwerten, die für eine Bemessung nach EC 5 erforderlich sind (zum Beispiel für die Laubhölzer).

Prinzipiell kann gesagt werden, daß eine Bemessung nach EC 5 keine Verschlechterung bedeutet. Vielmehr ist es jetzt möglich, Bemessungen differenzierter durchzuführen und gezielt höhere Beanspruchbarkeiten zu erreichen (z.B. durch Verwendung höherwertiger Stähle oder Holz hoher Festigkeit). Dadurch können (bei Bedarf) Verbindungen mit hoher Leistungsfähigkeit hergestellt werden, so daß weniger oft der (Verbindungsmittel-) Anschluß die Bauteilabmessungen bestimmt.

Die tabellarische Gegenüberstellung der Ergebnisse für die untersuchten Verbindungen ist in der Anlage 4-9 (Tabelle A4-5) enthalten. Die entsprechende grafische Darstellung enthält die Anlage 4-10 (Bild A4-5).

Allgemein gilt, daß bei den Anschlüssen die im NAD geforderten Verbindungsmittel-Abstände teilweise nicht eingehalten wurden. Bei der dann vorzunehmenden Abminderung der Lochleibungsfestigkeit wurden die Nachweise weiterhin erfüllt. Insbesondere bei den Nachweisen der verwendeten Bauteile aus Stahl (Bolzen und Schrauben, Rundstahl, Walzprofile) sowie dem Querdrucknachweis der Hölzer schneidet das NAD günstiger ab.

4.7 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Bei den Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit ergaben sich häufig größere rechnerische Durchbiegungen als bei der Berechnung nach DIN 1052. Im besonderen die Verwendung von frischem oder halbtrockenem Vollholz ergeben mehr als doppelt so hohe rechnerische Durchbiegungen als bisher. Allerdings werden dem Tragwerksplaner mit dem EC 5 nur noch empfohlenen Durchbiegungsbeschränkungen vorgegeben, die im Einvernehmen mit dem Architekten und der Bauherrschaft unter

Beachtung der Auswirkungen auf die Gebrauchstauglichkeit selbst festgelegt werden können. Auch die Berücksichtigung dynamischer Beanspruchungen (schwere Decken) ist in dieser Art neu und sollte wie oben dargelegt behandelt werden.

5 Zusammenfassung

Der Arbeitsplan dieses Forschungsvorhabens sah vor, daß von Ingenieurbüros und/oder Holzleimbaufirmen Bemessungs- und Konstruktionsunterlagen von nach DIN 1052 ausgeführten Objekten (Holzkonstruktionen) abgefragt und zur Verfügung gestellt werden. Für diese Objekte wurde eine vollständige Neubemessung, diesmal nach dem Eurocode 5 und dem NAD durchgeführt. Bei der Neubemessung wurden die Lastannahmen und die gewählten Systeme, sofern sie dem NAD nicht widersprachen, übernommen.

Es wurden die Kriterien Wirtschaftlichkeit der Konstruktion bei Bemessung nach DIN 1052 bzw. EC 5, Aufwand bei der Bemessung sowie Probleme bei der Bemessung nach EC 5 untersucht.

Bei der Nachrechnung der drei tatsächlich ausgeführten Projekte ergaben sich dieselben Schlußfolgerungen, wie sie bereits 1994 von BRÜNINGHOFF in dem Forschungsbericht "Normungsarbeiten zum EC 5 - Vergleichsrechnungen nach DIN ENV 1995-1-1 und DIN 1052 - Parameteruntersuchungen zum Vergleich der Sicherheit und der Wirtschaftlichkeit von Holzbauteilen (E-93/9)" festgestellt wurden :

a) Wirtschaftlichkeit der Konstruktion bei der Bemessung nach EC 5

Tragfähigkeit

Für Vollholz und BS-Holz ergeben sich bei einer Dimensionierung nach dem NAD im Hinblick auf die Standsicherheit im allgemeinen keine wirtschaftlich nachteiligen Ergebnisse. Ausnahmen davon sind der Quersugnachweis bei gekrümmten Bauteilen sowie allgemein Bauteile, die der Nutzungsklasse 3 zuzuordnen sind.

Gebrauchstauglichkeit

Da nach NAD, unabhängig vom Anteil der ständigen Einwirkungen, immer auch Kriecheffekte zu berücksichtigen sind, ergeben sich in der Regel größere rechnerische Durchbiegungen. Dieser Zustand wird bei der Verwendung von frischem oder halbtrockenem Vollholz weiter verstärkt, so daß man rechnerisch teilweise mehr als die zweifachen Durchbiegungen gegenüber einer Bemessung nach DIN 1052 erhält. Allerdings liefern die neuen Ansätze realistischere Werte für den Planer und Konstrukteur.

Verbindungen

Prinzipiell kann gesagt werden, daß eine Bemessung nach EC 5 keine Verschlechterung bedeutet. Vielmehr ist es jetzt möglich, Bemessungen differenzierter durchzuführen und gezielt höhere Beanspruchbarkeiten zu erreichen (z.B. durch Verwendung höherwertiger Stähle oder Holz hoher Festigkeit). Dadurch können (bei Bedarf) Verbindungen mit hoher Leistungsfähigkeit hergestellt werden, so daß weniger oft der (Verbindungsmittel-) Anschluß die Bauteilabmessungen bestimmt. Für die im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Verbindungen gilt, daß bei den Anschlüssen die im NAD geforderten Verbindungsmittel-Abstände teilweise nicht eingehalten wurden. Bei der dann vorzunehmenden Abminderung der Lochleibungsfestigkeit wurden die Nachweise weiterhin erfüllt.

b) Aufwand bei der Bemessung nach EC 5

Der Aufwand bei der Bemessung nach EC 5 ist größer. Als Gegengewicht erhält man allerdings realistischere und genauere Bemessungsergebnisse, so daß dem Mehraufwand bei der Erstellung von Standsicherheitsnachweisen oftmals geringerer Materialeinsatz gegenübersteht. Beschränkt man sich bei der Ermittlung der Einwirkungen auf die beiden vereinfachten Kombinationsgleichungen, so kann der zeitliche Aufwand stark verringert werden. Der zeitliche Mehraufwand, welcher sich anfangs bei der Wahl der richtigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte, der Nutzungsklasse, der Lasteinwirkungsdauer und der Modifikationsfaktoren einstellt, wird nach einigen Beispielrechnungen deutlich reduziert. Bei den Verbindungsmittelabständen werden differenziertere Anforderungen gestellt. Aufwendiger wird auch die Übergabe von Schnittgrößen auf Bauteile aus anderen Baustoffen (Stahl, Stahlbeton) und den jeweiligen Vorschriften. Dies ist allerdings kein Problem des NAD bzw. des EC 5, sondern liegt im neuen Sicherheitssystem begründet.

Bereits vor der Verabschiedung des EC 5 wurde in den europäischen Gremien ebenso wie bei den Entwurfsarbeiten zum NAD darauf hingearbeitet, daß tragende Konstruktionen aus Vollholz oder BS-Holz, hergestellt nach den bisherigen nationalen Vorschriften, im Hinblick auf den Nachweis der Standsicherheit und der Wirtschaftlichkeit in etwa wie bisher eingesetzt werden können. Dieses Ziel wurde erreicht. Einzelne Änderungen, die sich negativ auswirken (Querzugnachweis, Abstände von Verbindungsmitteln) beruhen auf der Berücksichtigung neuerer Erkenntnisse.

6 Literatur

ARGE HOLZ e.V., DÜSSELDORF, BRUDERVERLAG, KARLSRUHE (HERAUSGEBER, 1995). Holzbauwerke STEP4 - Eurocode 5 - Nationales Anwendungsdokument. Fachverlag Holz, Düsseldorf.

BLASS, H.J.; GÖRLACHER, R.; STECK, G. (HERAUSGEBER, 1995). Holzbauwerke STEP1 - Bemessung und Baustoffe. Fachverlag Holz, Düsseldorf.

BLASS, H.J.; GÖRLACHER, R.; STECK, G. (HERAUSGEBER, 1995). Holzbauwerke STEP2 - Bauteile, Konstruktionen, Details. Fachverlag Holz, Düsseldorf.

BRÜNINGHOFF, H. (1994). Normungsarbeiten zum EC5 - Vergleichsrechnungen nach DINV ENV 1995-1-1 und DIN 1052 - Parameteruntersuchungen zum Vergleich der Sicherheit und der Wirtschaftlichkeit von Holzbauteilen. Forschungsbericht, Lehr- und Forschungsgebiet Ingenieurholzbau, Bergische Universität Wuppertal.

DIETERMANN, M. (1997). Bemessung einer Rad- und Gehwegbrücke nach DINV ENV 1995, Teil 1-1 und Entwurf DINV ENV 1995, Teil 2. Vertieferarbeit, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe (TH); unveröffentlicht.

HOLZWERKE BURGBACHER (1993). Statische Berechnung eines Werksgebäudes nach DIN 1052 (April 1988). Trossingen; unveröffentlicht.

NEBGEN, N. (1991). Statische Berechnung eines mehrgeschossigen Wohnhauses nach DIN 1052 (April 1988). Reutlingen; unveröffentlicht.

RATHSCHLAG, M. (1997). Bemessung eines mehrgeschossigen Wohnhauses nach DINV ENV 1995, Teil 1-1. Vertieferarbeit, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe (TH); unveröffentlicht.

SCHAFFITZEL HOLZINDUSTRIE (1995). Statische Berechnung einer Rad- und Gehwegbrücke nach DIN 1052 (April 1988) und DIN 1074 (Mai 1991). Schwäbisch Hall; unveröffentlicht.

SCHMIDT, M. (1996). Bemessung eines Werksgebäudes nach DINV ENV 1995, Teil 1-1. Vertieferarbeit, Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen, Universität Karlsruhe (TH); unveröffentlicht.

Anlagen

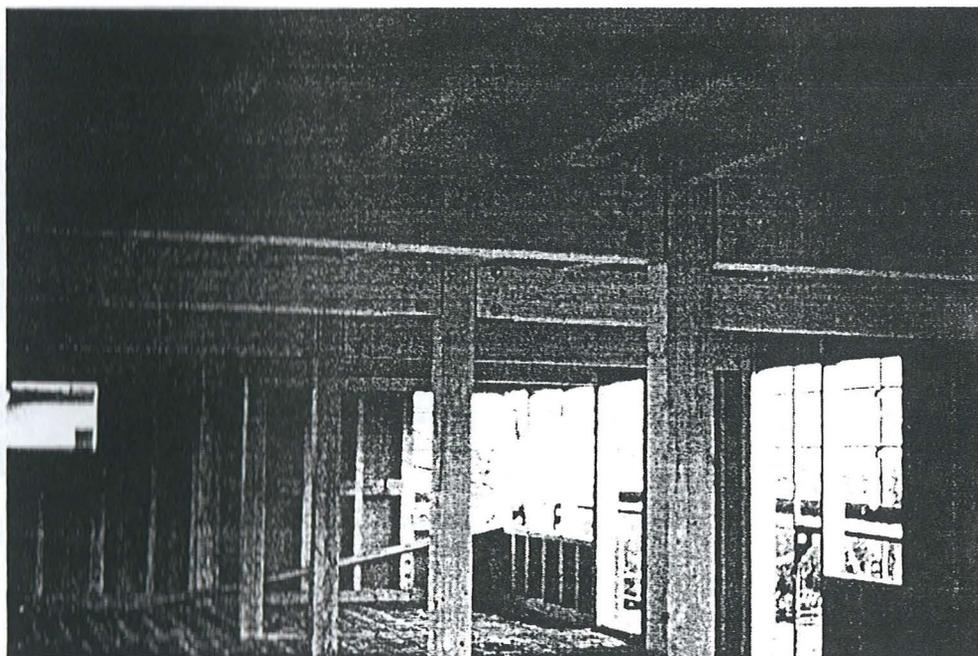


Foto: N. Nebgen, Reutlingen

Bild A3-1 ; Innenansicht im teilausgebauten Zustand



Foto: N. Nebgen, Reutlingen

Bild A3-2 ; Außenansicht nach Fertigstellung

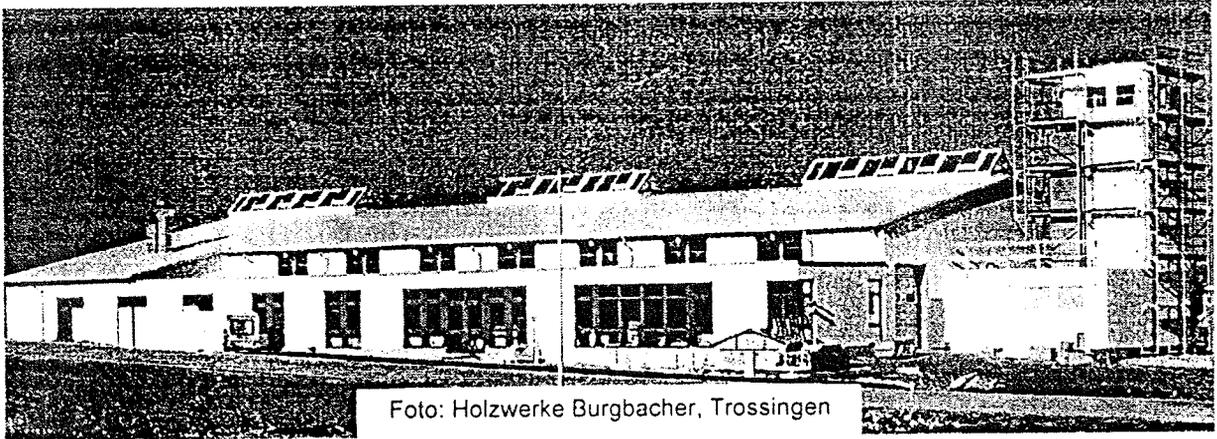


Foto: Holzwerke Burgbacher, Trossingen

Bild A3-3 : Außenansicht nach Fertigstellung

Tabelle A4-1 : Vergleich der auf Biegung beanspruchten Bauteile

	Bauteil	Material	DIN	NAD	DIN/NAD
1	Zweifeld-Sparren / Innenstütze	NH S10	0,39	0,44	0,89
2	Einfeld-Sparren	NH S10	0,31	0,33	0,94
3	Einfeld-Sparren	NH S10	0,42	0,49	0,86
4	Einfeld-Sparren mit Kragarm / Auflager	NH S10	0,26	0,25	1,04
5	Dreifeld-Firstpfette / Endfeld	NH S10	0,15	0,11	1,36
5	Dreifeld-Firstpfette / Innenstütze	BS 11	0,18	0,18	1,00
6	Einfeld-Mittelpfette	NH S10	0,82	0,82	1,00
7	Vierfeld-Mittelpfette / Innenstütze	NH S10	0,48	0,53	0,91
8	Kniestockwand mit Kragarm / Auflager	NH S10	0,58	0,56	1,04
9	Zweifeld-Fußpfette / Innenstütze	NH S10	0,65	0,60	1,08
12	Einfeld-Deckenbalken	NH S10	0,65	0,65	1,00
13	Zweifeld-Deckenbalken / Innenstütze	NH S10	0,69	0,66	1,05
14	Einfeld-Deckenbalken	NH S10	0,69	0,66	1,05
15	Einfeld-Unterzug	BS 14	0,95	0,97	0,98
28	Einfeldpfetten über Halle / Doppelbiegung	NH S10	0,94	0,99	0,95
30	Satteldachbinder / max. Biegespannung	BS 14	0,73	0,78	0,94
30	Satteldachbinder / Spannungskombination	BS 14	0,81	0,79	1,03
30	Satteldachbinder / Biegespannung im First	BS 14	0,60	0,64	0,94
32	Schleppbinder	BS 11	0,89	0,94	0,95
34	Schalung	NH S10	0,06	0,06	1,00
36	Einfeld-Binder über Büro	BS 14	0,96	0,97	0,99
40	Brückenhauptträger	BS 14	0,76	0,82	0,93
41	Geländerpfosten	BS 14	0,90	1,31	0,69
Mittelwert					0,98

Zuordnung der Bauteile zu den Projekten:

- Wohnhaus : Nr. 1 ÷ 27
- Werksgebäude : Nr. 28 ÷ 39
- Brücke : Nr. 40 ÷ 43

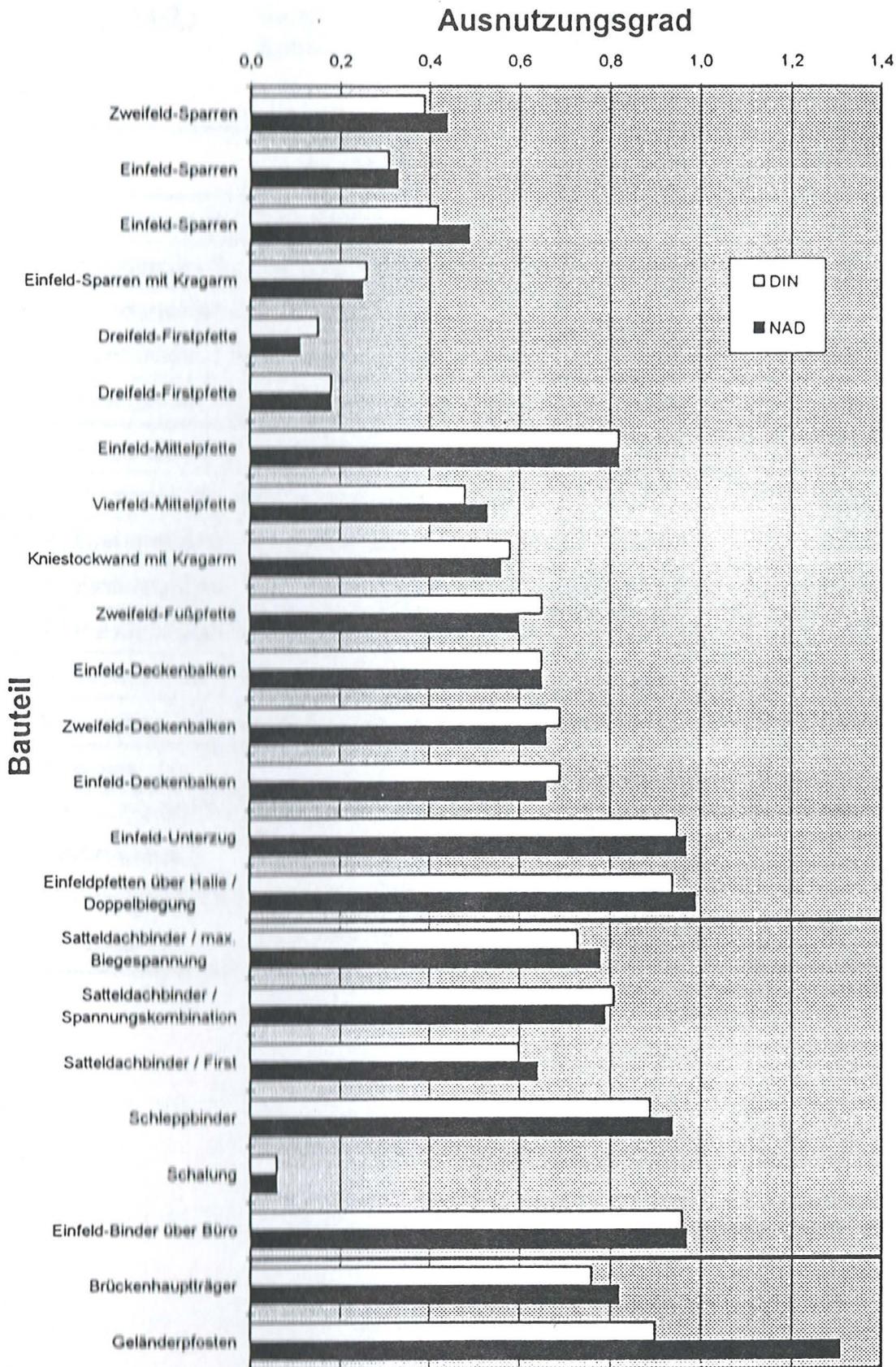


Bild A4-1 ; Vergleich der auf Biegung beanspruchten Bauteil

Tabelle A4-2 : Vergleich der auf Biegung und Normalkraft beanspruchten Bauteile

	Bauteil	Material	DIN	NAD	DIN/NAD
10	Bundsparren / Zug und Biegung - Knoten 4	NH S10	0,98	0,87	1,13
10	Bundsparren / Zug und Biegung - Knoten 5	NH S10	0,75	0,81	0,93
10	Bundsparren / Druck und Biegung - Stab 8	NH S10	0,58	0,19	3,05
11	Kehlbalken / Druck und Biegung - Stab 11	NH S10	0,70	0,83	0,84
11	Kehlbalken / Druck und Biegung - Stab 12	NH S10	0,67	0,80	0,84
29	Pfette-Druckriegel / Druck und Doppelbieg.	NH S10	0,67	0,71	0,94
31	Pendelstütze Halle / Druck und Biegung	BS 11	0,60	0,46	1,30
33	Giebelstützen Ostseite / Druck und Biegung	BS 11	0,72	0,62	1,16
35	Einfeldbalken über Büro / Druck und Biegung	NH S10	0,51	0,37	1,38
37	Pendelstütze Büro / Druck und Biegung	BS 11	0,69	0,45	1,53
38	Druckriegel Traufe / Druck und Biegung	BS 11	0,65	0,64	1,02
39	eingesp. Holzstütze / Druck und Doppelbieg.	BS 14	0,76	0,68	1,12
Mittelwert					1,27

Zuordnung der Bauteile zu den Projekten:

- Wohnhaus : Nr. 1 + 27
- Werksgebäude : Nr. 28 + 39
- Brücke : Nr. 40 + 43

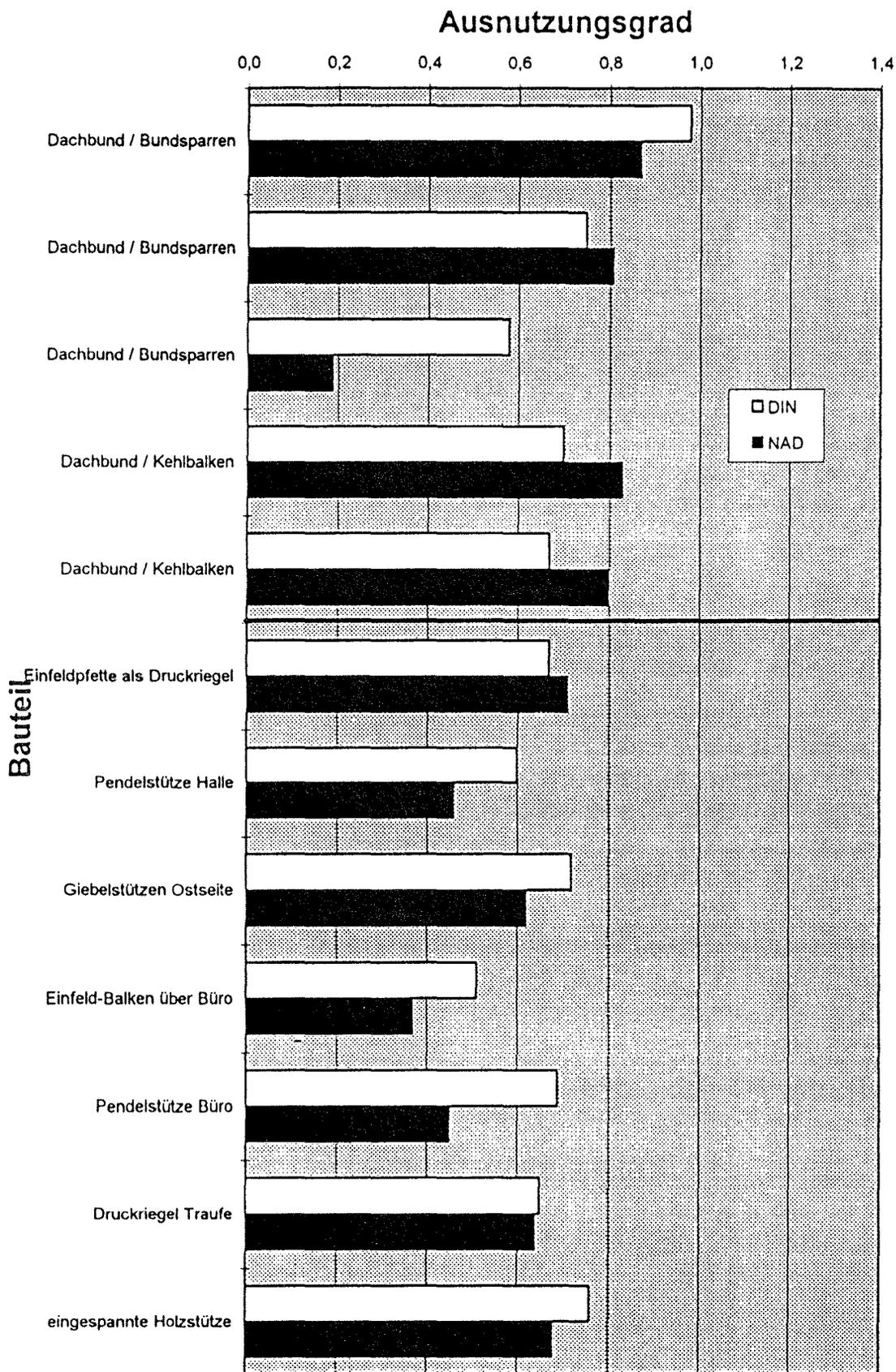


Bild A4-2 : Vergleich der auf Biegung und Normalkraft beanspruchten Bauteile

Tabelle A4-3 : Vergleich der auf Schub beanspruchten Bauteile

	Bauteil	Material	DIN	NAD	DIN/NAD
1	Zweifeld-Sparren	NH S10	0,26	0,25	1,04
2	Einfeld-Sparren	NH S10	0,21	0,20	1,05
3	Einfeld-Sparren	NH S10	0,23	0,23	1,00
4	Einfeld-Sparren mit Kragarm	NH S10	0,18	0,15	1,20
5	Dreifeld-Firstpfette	BS 11	0,17	0,15	1,13
6	Einfeld-Mittelpfette	NH S10	0,68	0,59	1,15
7	Vierfeld-Mittelpfette	BS 11	0,43	0,48	0,90
8	Kniestockwand mit Kragarm	NH S10	0,34	0,28	1,21
9	Zweifeld-Fußpfette	NH S10	0,54	0,39	1,38
10	Dachbund / Bundsparren - Knoten 5	NH S10	0,37	0,38	0,97
11	Dachbund / Kehlbalcken - Knoten 12	BS 11	0,50	0,48	1,04
11	Dachbund / Kehlbalcken - Knoten 12	BS 11	0,58	0,57	1,02
12	Einfeld-Deckenbalcken	NH S10	0,39	0,34	1,15
13	Zweifeld-Deckenbalcken	NH S10	0,52	0,44	1,18
14	Einfeld-Deckenbalcken	NH S10	0,41	0,34	1,21
15	Einfeld-Unterzug	BS 14	0,76	0,70	1,09
30	Satteldachbinder	BS 14	0,94	0,92	1,02
36	Einfeld-Binder über Büro	BS 14	0,80	0,71	1,13
40	Brückenhauptträger	BS 14	0,46	0,42	1,10
42	Geländerpfosten	BS 14	0,71	0,91	0,78
Mittelwert					1,09

Zuordnung der Bauteile zu den Projekten:

- Wohnhaus : Nr. 1 ÷ 27
- Werksgebäude : Nr. 28 ÷ 39
- Brücke : Nr. 40 ÷ 43

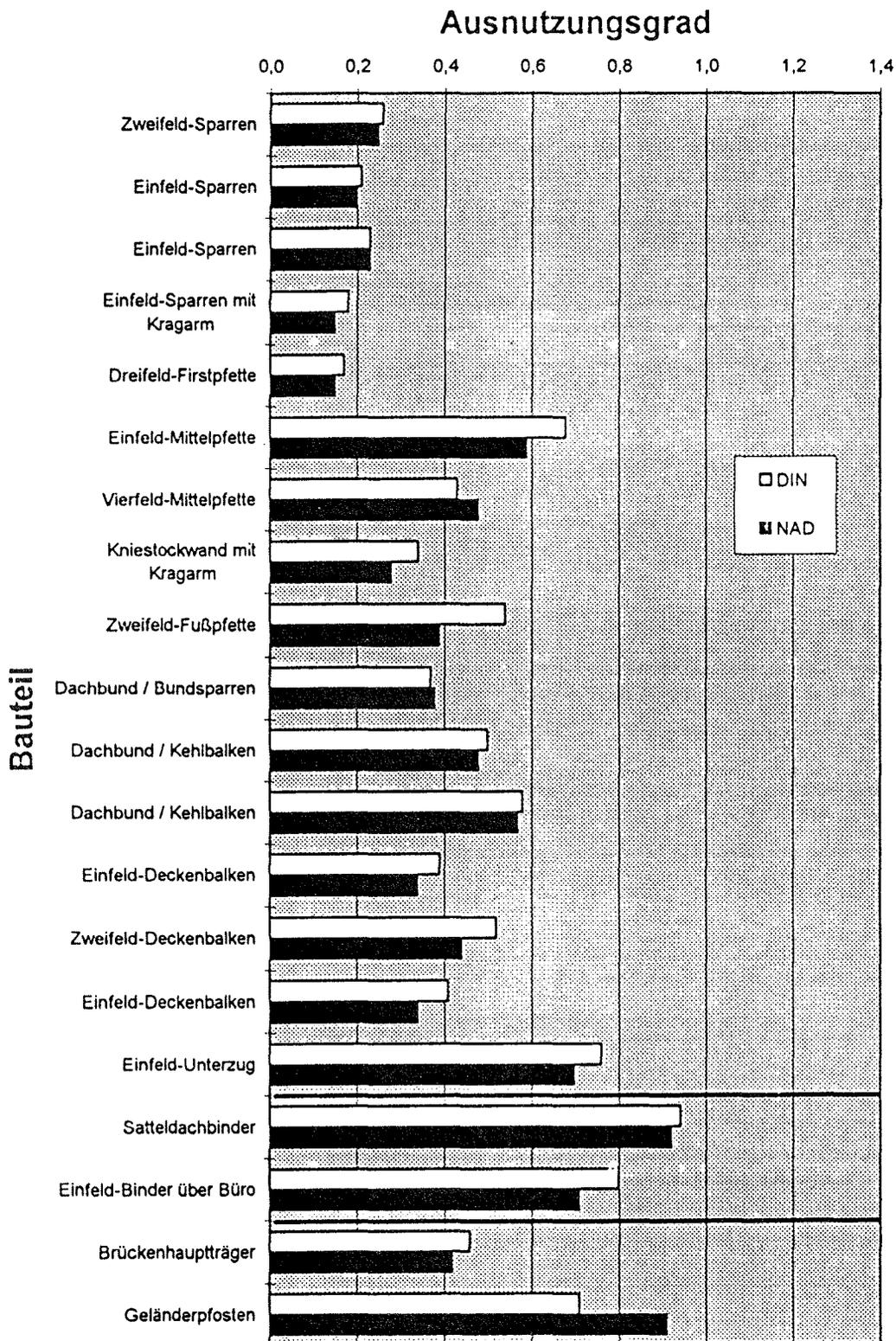


Bild A4-3 : Vergleich der auf Schub beanspruchten Bauteile

Tabelle A4-4 : Vergleich bei anderen aufgetretenen Beanspruchungen

	Bauteil	Material	DIN	NAD	DIN/NAD
16	Innenstütze / Stabilitätsnachweis EG, OG	BS 11	0,96	0,73	1,32
16	Innenstütze / Stabilitätsnachweis UG	BS 11	0,92	0,73	1,26
17	Außenstütze / Stabilitätsnachweis	BS 11	0,80	0,57	1,40
18	Wand im OG / Druckrippe	NH S10	0,12	0,11	1,09
18	Wand im OG / Schwellendruck	NH S10	0,50	0,44	1,14
18	Wand im OG / Zugrippe	NH S10	0,13	0,16	0,81
19	Wand im EG / Druckrippe	NH S10	0,25	0,22	1,14
19	Wand im EG / Schwellendruck	NH S10	0,84	0,94	0,89
19	Wand im EG / Zugrippe	NH S10	0,16	0,20	0,80
30	Satteldachbinder / Auflagerpressung	BS 14	0,87	0,63	1,38
30	Satteldachbinder / Kippen	BS 14	0,78	0,91	0,86
30	Satteldachbinder / Querzug im First	BS 14	0,84	1,34	0,63
36	Einfeld-Binder über Büro / Auflagerpressung	BS 14	0,56	0,52	1,08
40	Brückenhauptträger / Auflagerpressung	BS 14	0,96	1,12	0,86
Zuordnung der Bauteile zu den Projekten: • Wohnhaus : Nr. 1 ÷ 27 • Werksgebäude : Nr. 28 ÷ 39 • Brücke : Nr. 40 ÷ 43					

Ausnutzungsgrad

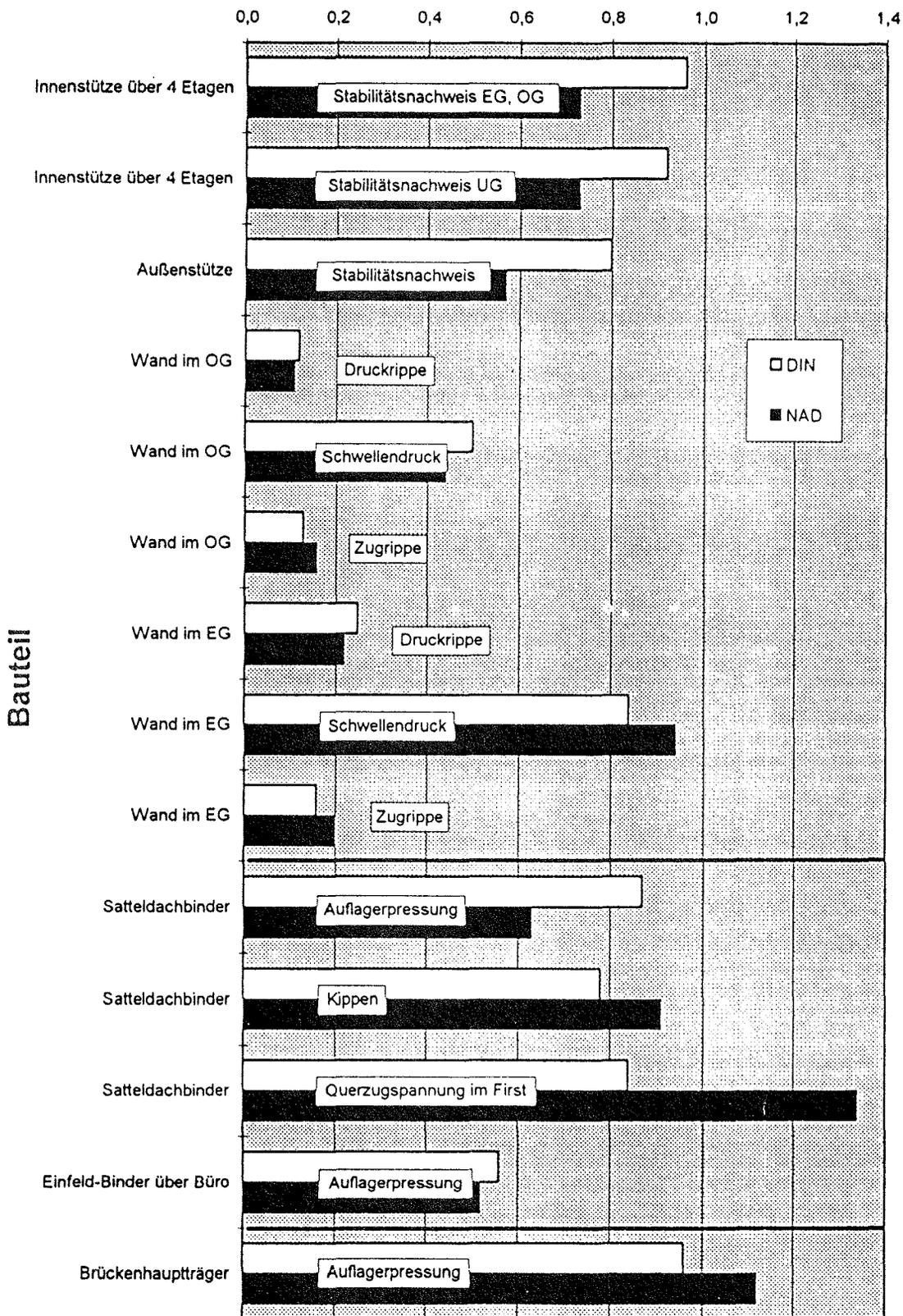


Bild A4-4 : Vergleich bei anderen aufgetretenen Beanspruchungen

Tabelle A4-5 : Vergleich der Verbindungsmittel und Anschlüsse

	Bauteil	Typ	DIN	NAD	DIN/NAD
20	Auflager Firstpfette	1	0,45	0,14	3,21
20	Auflager Firstpfette	2	0,31	0,22	1,41
21	Mittelpfette an Dachbund	2	0,99	0,79	1,25
21	Kehlbalken an Mittelpfette	2	0,88	0,49	1,80
22	Kehlbalkenanschluß	1	0,90	0,37	2,43
22	Kehlbalken	3	1,00	0,64	1,56
22	Bundsparren	3	0,87	0,81	1,07
22	Kontaktstoß / Kehlbalken	-	0,99	0,76	1,30
23	Firstpunkt	2	0,68	0,47	1,45
24	Deckenbalken an Kehlbalken	2	0,49	0,60	0,82
25	Deckenbalken an Stütze	2	0,52	0,61	0,85
26	Unterzug an Innenstütze / Unterzug	2	1,00	1,00	1,00
26	Unterzug an Innenstütze / Stütze	2	0,98	0,72	1,36
27	Unterzug an Außenstütze / Unterzug	2	1,00	0,94	1,06
27	Unterzug an Außenstütze / Stütze	2	0,86	0,79	1,09
41	Verband / Diagonale Ø24	-	0,53	0,37	1,43
41	Verband / Dübel Typ D, Ø95	-	0,90	0,84	1,07
41	Verband	3	0,69	0,63	1,10
41	Verband / Diagonale Ø16	-	0,58	0,41	1,41
41	Verband / Dübel Typ D, Ø65	-	0,82	0,76	1,08
41	Verband	3	0,61	0,58	1,05
42	Geländerpfosten	3	0,59	0,49	1,20
42	Geländerpfosten	1	0,58	0,60	0,97
43	Auflager / Winkelprofil 150x100x10	-	0,53	0,62	0,85
43	Auflager	3	0,96	1,12	0,86
Zuordnung der Bauteile zu den Projekten: • Wohnhaus : Nr. 1 + 27 • Werksgebäude : Nr. 28 + 39 • Brücke : Nr. 40 + 43		Typ der Verbindung: 1 Zug in Schraubenachse 2 Stahlblech-Holz-Verbindung 3 Querdruck unter U-Scheibe			

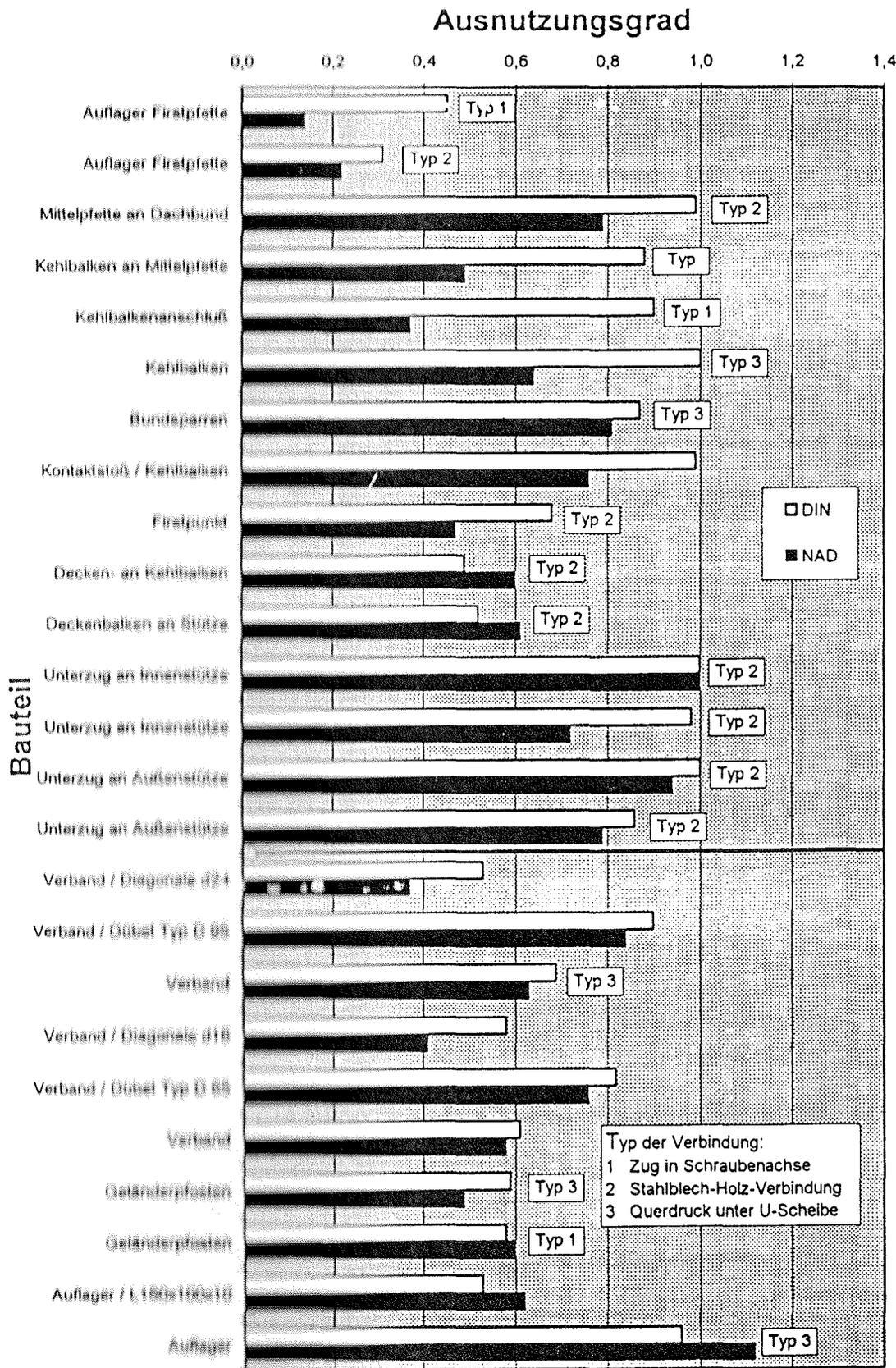


Bild A4.5 | Vergleich der Verbindungsmittel und Anschlüsse