



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Hochschule Neubrandenburg

Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen

Thema:

Berechnung und konstruktive Gestaltung von Grün- und Wildbrücken

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom - Ingenieur (FH)

vorgelegt von: cand. Ing. Thomas Pfeifer
geboren: 18.06.1981 in Waren Müritz

Tag der Einreichung: 04.07.2008

Erstbetreuer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Ullrich Hoch

Zweitbetreuer: Dr.-Ing. Thomas Stier

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2008-0110-4

Neubrandenburg im Juli 2008

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig angefertigt und mich keiner anderen als der in den beigefügten Verzeichnissen angegebenen Hilfsmittel bedient habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher an keiner anderen Bildungsinstitution vorgelegt und ist noch nicht veröffentlicht.“

cand. Ing. Thomas Pfeifer

Neubrandenburg im Juli 2008

Inhaltsverzeichnis:

1. Einführung	4
1.1. Definition der Aufgaben- und Zielstellung	4
2. Allgemeines	5
2.1. Einleitung	5
2.2. Merkmale	5
2.2.1. Typen der Querungshilfen	6
2.3. Eigenschaften und Anforderungen an Querungshilfen	7
2.3.1. Anforderungen an Grünbrücken	7
2.3.2. Anforderungen an Wildbrücken	10
2.4. Grün- und Wildbrücken in Deutschland	12
2.5. Grün- und Wildbrücken in Mecklenburg Vorpommern	13
2.6. Nutzung von Grün- und Wildbrücken durch Säugetiere an der A20	14
3. Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen	18
3.1. Vorbemerkung	18
3.2. Entwurfsgrundlagen	18
3.2.1. Übersicht der Entwurfsgrundlagen	19
3.2.2. Entwurfsgrundlagen für den Tragwerksplaner	20
3.3. Berechnungsgrundlagen	22
4. Planungsphasen einer Grün- und Wildbrücke	24
4.1. Vorplanung	24
4.2. Entwurfsplanung	26
4.3. Genehmigungsplanung	27
4.4. Ausführungsplanung	27
5. Statische Systeme von Grün- und Wildbrücken	29
5.1. Plattentragwerke	29
5.2. Plattenbalkentragwerke	35
5.3. Rahmenkonstruktion	36
5.4. Bogenbrücken	40
6. Variantenuntersuchungen einer Wildbrücke	45
7. Holzbrücken und ihre Konstruktion	50
7.1. Vollwandbalkenbrücken	50
7.2. Sprengwerke	52
7.3. Hängewerke	54
7.4. Fachwerke	56
7.5. Bogenbrücken	58
7.6. Hängesprengwerke	60
7.7. Gitterwerke	61
7.8. Hängebrücken	61
7.9. weitere Konstruktionsformen (Sonderformen)	62

8. Einleitung Zweiter Abschnitt	63
8.1. Hauptabmessungen der Konstruktion	63
9. Erläuterungsbericht zum Bauwerk	64
9.1. Lage des Bauwerks	64
9.2. Bauwerksgestaltung	65
9.3. Überbau	65
9.4. Gelenkausbildungen	66
9.5. Kappen	67
9.6. Widerlager	69
9.7. Abdichtung und Aufbau	67
9.8. Korrosionsschutz und Brandschutz	68
9.9. Lastmodelle für das Bauwerk	69
9.10. Sonstige Ausstattung des Bauwerks	69
9.11. Herstellung	69
9.12. Vergleich der Konstruktion mit einem Betonrahmenbauwerk	70
9.13. Konstruktiver und Chemischer Holzschutz des Bauwerkes nach DIN 68800	71
10. Statische Berechnung	73
10.1. Vorbemerkung	73
10.2. Normen / Hilfsmittel	73
10.3. Statisches System	74
10.4. Stützlinie	74
10.5. Bogen	75
10.5.1. Abmaße	75
10.5.2. Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte	75
10.5.3. Lastannahmen	76
10.5.3.1. Ständige charakteristische Einwirkungen	76
10.5.3.2. veränderliche charakteristische Einwirkung	81
10.5.4. Lastfälle	82
10.5.5. Maßgebende Lastfallkombinationen	83
10.5.6. Grenzzustand der Tragfähigkeit	85
10.5.6.1. Druck in Faserrichtung	85
10.5.6.2. Einfache Biegung	86
10.5.6.3. Einfache Biegung und Druck	87
10.5.6.4. Schub aus Querkraft	88
10.5.6.5. Planmäßig mittlerer Druck / Knicken in der Bogenebene	89
10.5.6.6. Einfache Biegung mit Druck	94
10.5.7. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	97
10.6. Firstgelenk	98
10.6.1. Abmaße	98
10.6.2. Bemessung des Gelenkes	99
10.6.2.1. Normalkraft über Kontaktdruck	99
10.6.2.2. Nachweis der Stabdübel	99

10.6.2.3.	Nachweis der Schlitzbleche	101
10.6.2.4.	Gelenkbolzen	103
10.7.	Auflagergelenk	105
10.7.1.	Abmaße	105
10.7.2.	Bemessung des Gelenks	106
10.7.2.1.	Normalkraft über Kontaktdruck	106
10.7.2.2.	Nachweis der Stabdübel	106
10.7.2.3.	Nachweis der Schlitzbleche	108
10.7.2.4.	Gelenkbolzen	110
10.7.2.5.	Nachweis auf Abscheren am Wiederlager	112
10.8.	Bauzustand Bogen	113
10.8.1.	Vorbemerkung	113
10.8.2.	Lastannahmen	113
10.8.3.	Maßgebende Lastfallkombinationen	114
10.8.4.	Grenzzustand der Tragfähigkeit	114
10.8.4.1.	Schub aus Querkraft	116
10.8.4.2.	Einfache Biegung mit Druck	117
10.8.5.	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	118
•	Anhang	
•	<u>Anhang 1</u> : Graphische Ermittlung der Stützlinie (Plan)	119
•	<u>Anhang 2</u> : Lastfälle, Schnittkraftlinien, für den Bogen	120
•	<u>Anhang 3</u> : Lastfälle, Schnittkraftlinien, für den Bogen im Bauzustand	196
•	Literaturverzeichnis	209
•	Plan 1: Ansicht, Längsschnitt, Details (nicht auf der CD)	
•	Plan 2: Querschnitt, Grundriss (nicht auf der CD)	

1. Einführung

1.1 Definition der Aufgaben- und Zielstellung

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Gestaltung von Grün- und Wildbrücken und der Bemessung des Haupttragwerks einer Grün- und Wildbrücke aus Holz.

Die Diplomarbeit soll einen Überblick über die Gestaltung und die Konstruktion von Grün- und Wildbrücken vermitteln. Detailliert wird, in den einzelnen Themenkomplexen auf die Einzelheiten in Bezug auf die Konstruktion und Funktionsweise eingegangen und werden verwirklichte bzw. im Bau oder in der Planung befindliche Brücken untersucht.

Im ersten Themenkomplex wird auf die Entwicklung und Konstruktionsformen von Grün- und Wildbrücken eingegangen. Dies beinhaltet neben den Vorschriften und Planungsphasen, auch die konstruktiven Anforderungen an den jeweiligen Brückentyp. Unter Anderem werden bereits fertiggestellte Bauwerke auf ihre Effizienz und ihren Nutzen hin untersucht.

Weiterhin befasst sich dieser Abschnitt mit bereits ausgeführten Bauwerken und sich in der Planung befindlichen. Dabei werden die Statisch-konstruktiven Merkmale verschiedenster Bauwerke ausführlich vergleichen.

Im zweiten Themenkomplex wird eine Beispielbrücke aus Holz untersucht. Das Haupttragwerk der Brücke besteht aus einer gekrümmten Holzkonstruktion aus Brettschichtträgern und wird als Dreigelenkbogen ausgeführt, welches unter verschiedensten Bedingungen berechnet wird. Dazu gehören die Nachweise im Endzustand, und während der Bauphase. Die Schnittkräfte für die Bemessung der Holzkonstruktion und deren Anschlussmittel wurden mit Hilfe eines FEM-Programms ermittelt und übernommen.

2. Allgemeines

2.1 Einleitung

Grün- und Wildbrücken sind Querungshilfen für stark frequentierte Verkehrswege, wie Autobahnen, Bundesstraßen und Bahnstrecken. Sie dienen wildlebenden Tieren diese gefahrlos zu überqueren. Des Weiteren sichern sie die Vernetzungsfunktion der Gesamtheit des Lebensraumes mit all seinen vorkommenden Tier- und Pflanzenarten.

Bei der Planung werden Querungshilfen nach Ihrem Vernetzungszweck unterteilt. Sollen Lebensräume miteinander vernetzt werden, spricht man von Grünbrücken. Ist dagegen beabsichtigt, nur einer einzelnen oder wenigen Tierarten das Überwinden eines Hindernisses zu ermöglichen, so spricht man von reinen Wildbrücken. Sehr oft werden aber beide Varianten kombiniert.

2.2 Merkmale

Grünbrücken: Sie führen Lebensräume (Biotope) über einen Verkehrsweg hinweg und erhalten das für Tiere und Pflanzen wichtige Mikroklima und die Struktur der getrennten Biotope. Grünbrücken sollten je nach Lebensraumtyp eine nutzbare Breite von 50-130m besitzen.

Wildbrücken: Standardlösungen für spezielle Tierarten, zum Beispiel örtliche Vorkommen von, Schalenwildarten (Rehwild, Rotwild, Schwarzwild etc.). Die Tiere können so verschiedene Teillebensräume nutzen, z.B. Ruhe- und Nahrungsräume oder Sommer- und Wintereinstände. Die Biotope selbst werden mit diesen Querungshilfen nicht verbunden.

Die nutzbare Breite von Wildbrücken hängt von der Zielart des Wildes ab. Diese liegt zwischen 30 m für Rehe und 130 m für Luchse.

2.2.1 Typen der Querungshilfen



Abb-2.1: Schema-Typen der Querungshilfen [Richtlinie zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen FSGV Juni 2007 Seite 11]

2.3 Eigenschaften und Anforderungen an Querungshilfen

Die vorrangige Funktion von Querungshilfen ist die Vernetzung des Lebensraumes mit all seinen Tier- und Pflanzenarten. Die Lageanforderungen ergeben sich aus den faunistischen Kartierungen und den ermittelten Tierwanderwegen.

2.3.1 Anforderungen an Grünbrücken

- Lage:
Die Grünbrücke sollte möglichst zentral zwischen den zu verbindenden Lebensräumen liegen, mindestens jedoch Kontakt mit deren Randbereichen haben. Des Weiteren sind, Wildwechsel und vorhandene Geländestrukturen zu berücksichtigen.
- Boden:
Das Aufzufüllende Erdreich muss für die gewählten Pflanzen ausreichend mächtig sein. Es sollte aus mehreren Schichten bestehen und dem Brückentyp angepasst sein.

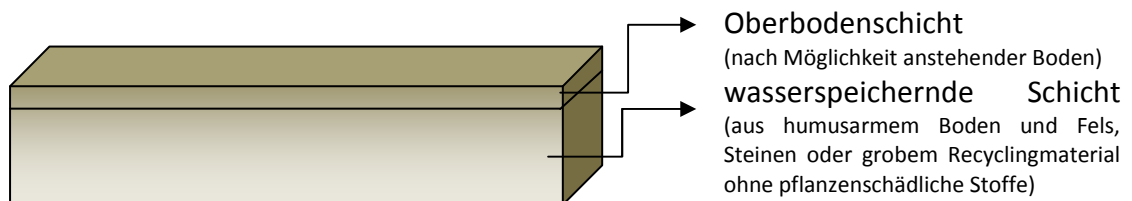


Abb-2.2: Grafik Bodenaufbau Grünbrücke

Nach RAS LP 2 soll sie folgende Maße nicht unterschreiten:

für Gräser, Kräuter, Stauden und Heiden	≥ 0,3 m
für Sträucher	≥ 0,6 m
für Bäume	≥ 1,0 m

[Richtlinie zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen FSGV Juni 2007 Seite 15]

- Irritationsschutz:
Es ist erforderlich, die Grünbrücke (bzw. Wildbrücke) und den dazu gehörenden Portalbereich weitestgehend zu beruhigen. Dies soll durch 2m hohe Irritationsschutzwände erreicht werden. Diese haben die Aufgabe, wandernde Tiere vor Lärm und Blendwirkungen des Verkehrs zu schützen.

Die Irritationsschutzwände bestehen aus Holzwänden, Betonwänden, Erdwällen oder Anpflanzungen. Diese Varianten können und werden auch kombiniert, was zu einer Optimierung der Wirtschaftlichkeit und Lärmminimierung führt. Aus Platzgründen ist, auf den Grün- und Wildbrücken auf Wälle als Irritationsschutz zu verzichten um eine maximale nutzbare Breite zu erreichen.

Die Irritationsschutzwände, die parallel zur Fahrbahn verlaufen, sollten jedoch aus wirtschaftlichen Gründen 60 m je Richtung nicht überschreiten.



Abb-2.3: Lärmschutzwand Beton 2,1m hoch
[Foto T.Pfeifer]

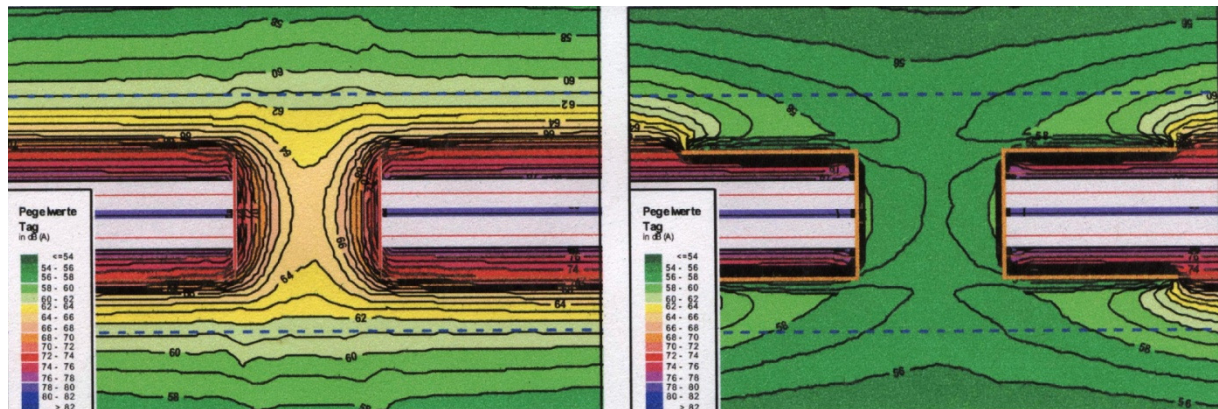


Abb-2.4: Lärmschutzwand Beton auf Wall 0,9m hoch
[Foto T.Pfeifer]



Abb-2.5: Foto Lärmschutzwand aus Holz mit anschließendem Erdwall
[Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

Grünbrücke, Straße Einschnittslage



Ohne Irritationsschutzwand

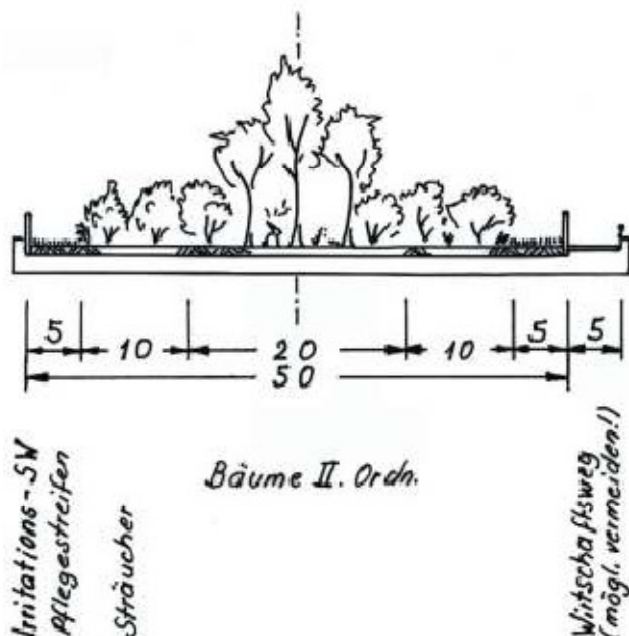
Mit Irritationsschutzwand

Lärmmindernde Wirkung einer 2 m hohen Irritationsschutzwand mit seitlichen Überstandslängen bei einer Grünunterführung und einer Grünbrücke von jeweils 50 m Breite an einer zweibahnigen Straße. Der Nahbereich ist blau gestrichelt markiert. Die Isofonen haben einen Abstand von 1 dB (A), die Farbskala wechselt bei 2 dB (A) Differenz.

Abb-2.6: Grafik-Typen der Querungshilfen [Richtlinie zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen FSGV Juni 2007 Seite 16]

- Ausbildung der Oberflächenstruktur:

Die auszubildende Struktur der Grünbrücke muss denen der angrenzenden Biotope entsprechen. Sie sind, auf die Ansprüche der Leitarten hin zu optimieren. Dies beinhaltet unter anderem die Bepflanzung.



-Beispiel für eine Grünbrücke

für Laub- und Nadelforste einschließlich Walddoffenlandbereichen (Blößen, Blänken, Waldwiesen etc.), Waldrand- und Feldgehölzstrukturen

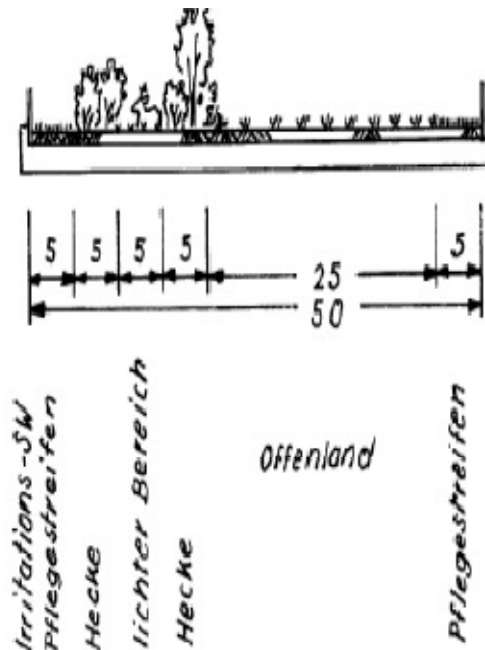
-Anforderungen an Aufbau, Struktur und Bewuchs

Erdüberdeckung bei Grünbrücken 1,0 m, Bewuchs auf bzw. unter der Brücke strukturreich mit Kraut-, Strauch- und Baumvegetation, ggfls. schmale lichte Bereiche in der Mitte, an umgebende Waldvegetation angepasst, bei Halboffenland kommt es auf die Vernetzung der Gehölzstrukturen an; ausreichende Wasserversorgung sicherstellen, Mitführung von Wirtschaftswegen etc. möglichst ausschließen

Abb-2.7: Beispiel für den Querschnitt

Standardbrücke für Lebensräume mit Bäumen

[Richtlinie zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen FSGV Juni 2007 Seite 19,27]



-Beispiel für eine Grünbrücke

für Steinfluren, alpine Rasen, anthropo-zoogene Heiden und Wiesen, Staudenfluren und Laubgebüsche

-Anforderungen an Aufbau, Struktur und Bewuchs

Erdüberdeckung bei Grünbrücken 0,3 - 1,0 m, Substrat und Bewuchs an umgebende Biotopstruktur anpassen, ausreichende Wasserversorgung sicherstellen, Heckensysteme angeschlossen und an beiden Brückenseiten mit begleitendem Krautsaum überführt, im Zwischenbereich Extensivwiese entwickeln, Mitführung von Wirtschaftswegen etc. möglichst ausschließen

Abb-2.8: Beispiel für den Querschnitt Standardbrücke für Lebensräume

[Richtlinie zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen FSGV Juni 2007 Seite 28]

2.3.2 Anforderungen an Wildbrücken

- Lage:

Die Wildbrücke kann nur dort errichtet werden wo eng begrenzte, klar identifizierbare Wechsel vorliegen und aus nutzungsbedingten oder topografischen Gründen eine Kanalisierung der Bewegung vorgegeben ist. Deren Anzahl und Abstände müssen anhand von örtlichen faunistischen Erhebungen bestimmt werden.

- Boden:

Die Mächtigkeit der Bodenauffüllung sollte mehr als 0,6 m betragen. Davon sind etwa 0,3 m belebter Oberboden. Die untere Bodenschicht sollte aus humusarmen Böden mit groben Steinen bestehen, die zur Verankerung der Gehölzwurzeln notwendig sind.

- Irritationsschutz:

Der Irritationsschutz bei Wildbrücken ist gleich dem bei Grünbrücken, er muss außerdem sichtsicht (Blendschutz) ausgeführt werden.

- Ausbildung der Oberflächenstruktur:

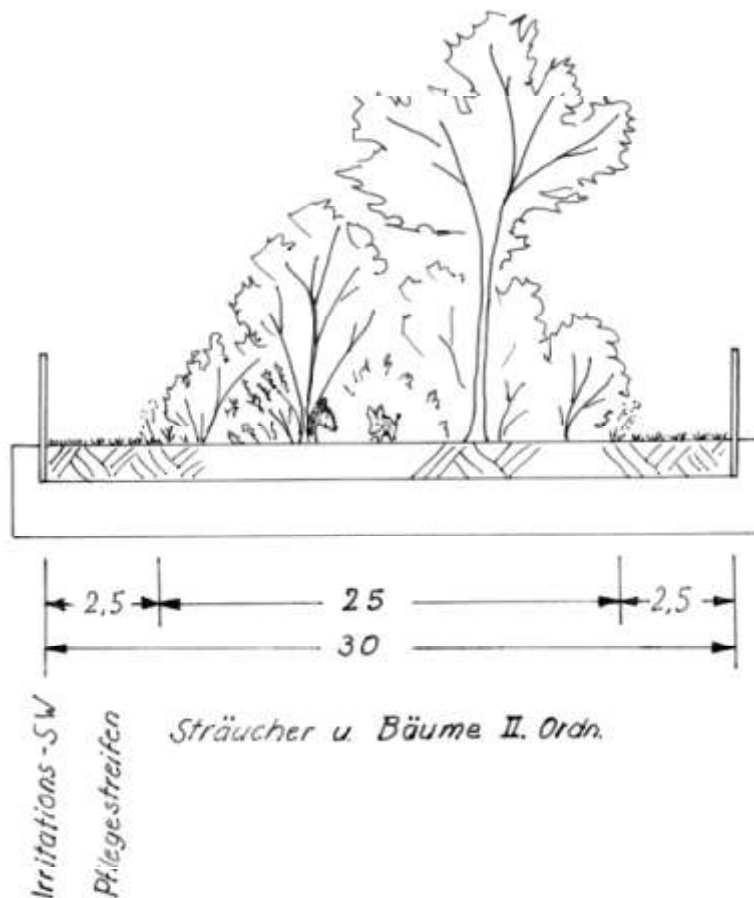


Abb-2.9: Beispiel für den Querschnitt einer Wildbrücke

[Richtlinie zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen FSGV Juni 2007 Seite 33]

Diese Art von Wildbrücke ist geeignet für Rehe, Wildschweine, Feldhasen und Dachse. Im Mittelbereich der Brücke ist eine strauchartige Bepflanzung mit einzelnen Bäumen II. Ordnung vorgesehen. Desweiteren ist, vor den Irritations-schutzwänden ein Pflegestreifen von 2,5 m Breite anzulegen und mit dieser Wasserbausteinen der Klasse 1 gegen widerrechtliches Befahren zu schützen.

2.4 Grün- und Wildbrücken in Deutschland

In Deutschland gab es bis zum Jahr 2002 rund 36 fertig erstellte und 41 geplante oder im Bau befindliche Grün- und Wildbrücken. Die Meisten konzentrieren sich auf die Bundesländer Baden-Württemberg und Mecklenburg-Vorpommern (A20). Weitere Bundesländer wie Brandenburg und Thüringen treiben den Ausbau von Grün- und Wildbrücken voran, wie z.B. an der A21, A46, A17 und der B101n. Die ersten Grün- und Wildbrücken in Deutschland wurden 1988/89 errichtet. Alleine der Naturschutzbund Deutschland (NABU) fordert die Errichtung von rund 125 Querungshilfen bis zum Jahr 2020 in Deutschland.

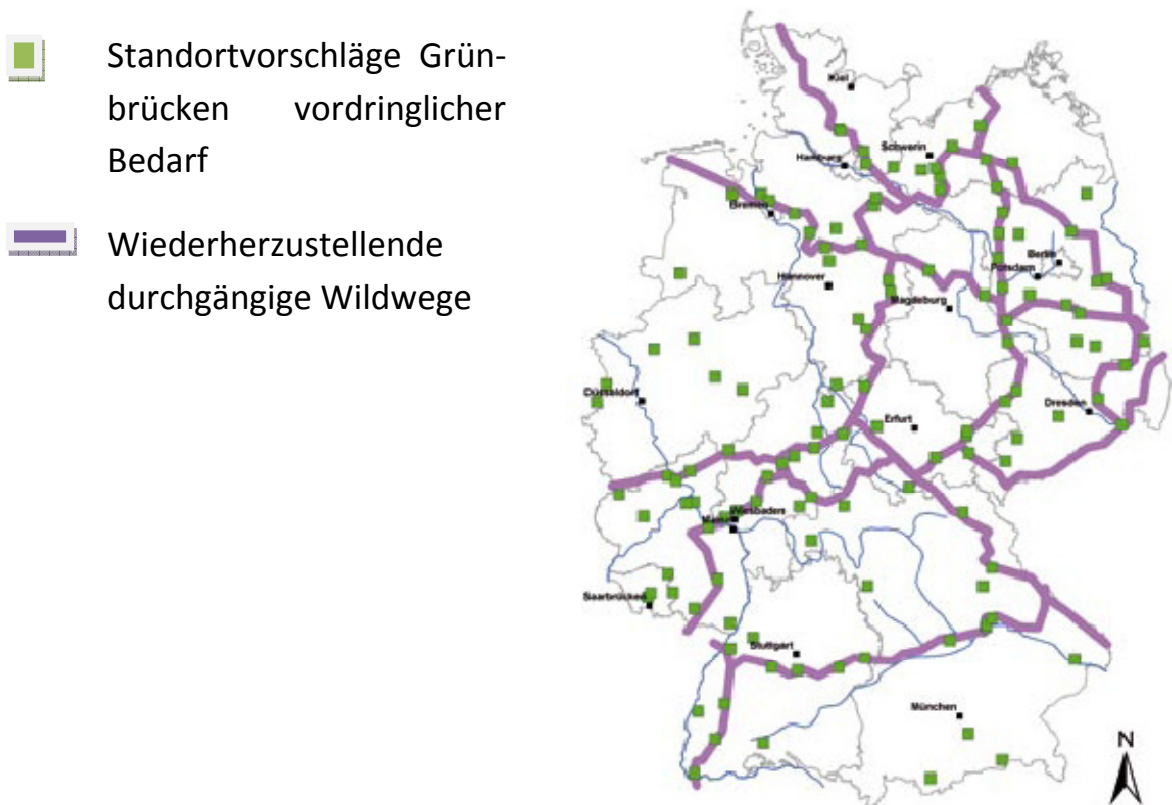


Abb-2.10: NABU Bundeswildwegeplan
[<http://www.Nabu.de>]

2.5 Grün- und Wildbrücken in Mecklenburg Vorpommern

In Mecklenburg Vorpommern wurden mit dem Bau der Autobahn 20 die ersten Grün- und Wildbrücken errichtet. Die erste von insgesamt acht Brücken wurde 1995 bei Beidendorf fertiggestellt. Zwei weitere Grün- und Wildbrücken in Holzbauweise wurden bzw. werden entlang dem Rügenzubringer errichtet.

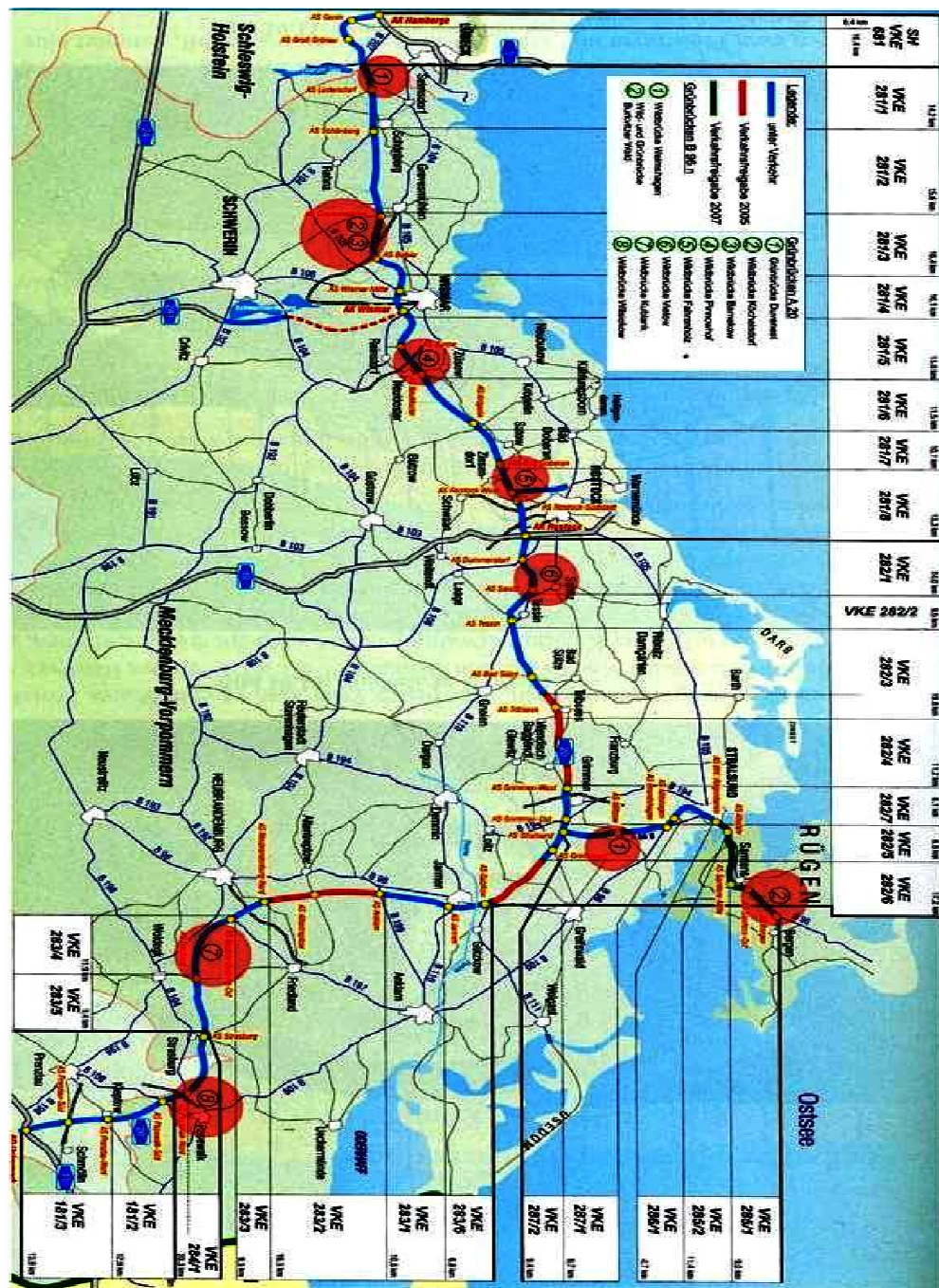


Abb-2.11: Standorte Wildbrücken entlang der A20/B96n [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

2.6 Nutzung von Grün- und Wildbrücken durch Säugetiere an der A20

Die agrar-und umweltwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock führte im Zeitraum von November 2003 bis Oktober 2005 Untersuchungen an Grün- und Wildbrücken der A20 (Beidendorf, Barnekow, Glasin, Fahrenholz und Vietow) durch. Zum einen wurden die Tierbewegungen an den einzelnen Brücken untersucht und zum Anderen wurden Lage, Dimensionierung, Gestaltung, Einbindung in die Landschaft und die Entwicklung ihrer Vegetation beurteilt. Die Tierbewegungen wurden im Wesentlichen durch Spurenmonitoring und die Infrarot-Videobefilmung dokumentiert.

Grün- und Wildbrücke bei Beidendorf

Die Brücke liegt in einem Einschnitt und ist mit dem Gelände höhengleich, sie weist eine sehr gute Effizienz auf. Die Anpflanzungen sind gut entwickelt, die faunistische Funktion ist vollständig erfüllt. Das Bauwerk wird von einem breiten Tierartenspektrum genutzt.



Abb-2.12: Grün- und Wildbrücke bei Beidendorf
[CD-FSS Heft 971]

Das Bauwerk weist eine sehr gute Nutzung auf. Es ist nur eine Verbesserung der Bepflanzung in den Zugangsbereichen straßenseitig anzustreben, um einen besseren Irritationsschutz zu erreichen.

Grün- und Wildbrücke bei Barnekow

Das Objekt ist leicht eingesenkt in das Landschaftsbild, die Anpflanzungen haben sich gut entwickelt und sie weist eine gute Effizienz auf. Die faunistische Funktion ist fast vollständig erfüllt, das Bauwerk wird von einem geringfügig eingeschränkten Tierartenspektrum genutzt.

Die Brücke weist eine sehr gute Nutzung auf, nur die Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme ist noch eingezäunt und behindert so den Zugang.



Abb-2.13: Grün- und Wildbrücke bei Beidendorf
[CD-FSS Heft 971]

Grün- und Wildbrücke bei Glasin

Das Bauwerk hat trotz ihrer anthropogenen Nutzung (asphaltierter Weg) durch Spaziergänger und Autofahrer eine sehr gute Effizienz. Die faunistische Funktion ist vollständig erfüllt, das Bauwerk wird von einem breitem Tierartenspektrum genutzt und weist eine hohe Multifunktionalität auf. Verbesserungswürdig ist die Bepflanzung.



Abb-2.14 : Grün- und Wildbrücke bei Glasin
[CD-FSS Heft 971]

Grün- und Wildbrücke bei Fahrenholz

Die Brücke wurde flach angerammt und weist eine gering entwickelte nahezu gehölzfreie Vegetation auf. Desweiteren weist auch diese Brücke eine anthropogene Nutzung durch Reiter, Radfahrer und Landwirtschaft aus. Sie zeichnet eine mäßige Effizienz aus. Die faunistische Funktion ist nur eingeschränkt erfüllt und es wird von einem deutlich geringeren Tierartenspektrum genutzt.



Abb-2.15 : Grün- und Wildbrücke bei Fahrenholz
[CD-FSS Heft 971]

Vergleich der Vegetation der Grün- und Wildbrücke Fahrenholz und Banekow



Abb-2.16 : Grün- und Wildbrücke Banekow



Abb-2.17 : Grün- und Wildbrücke Fahrenholz

Dieser Vergleich muss aber die Fertigstellung des Bauwerkes berücksichtigen, so ist die Grün- und Wildbrücke Banekow zwei Jahre eher fertiggestellt worden, wie die Grün- und Wildbrücke bei Fahrenholz. Vegetation und Tiere hatten in Banekow eine längere Eingewöhnungszeit.

Grün- und Wildbrücke bei Vietow

Die GB wird auch durch die Landwirtschaft und Spaziergänger genutzt. Trotzdem weist sie gute Effizienz auf, die faunistische Funktion ist fast vollständig erfüllt und die GB wird von einem nur geringfügig eingeschränkten Tierartenspektrum genutzt. Verbesserungswürdig sind die Gestaltung und der Anwuchs der Pflanzen und die landschaftliche Einbindung der Südseite.



Abb-2.18: Grün- und Wildbrücke bei Vietow
[CD-FSS Heft 971]

Ergebnisse der Studie:

Die Studie zeigt, dass die Grün- und Wildbrücken entlang der A20 bereits gut genutzt werden. Sie weisen im Großen und Ganzen nur geringe Mängel auf. Die Studie zeigt auch, dass große Säuger auch fast Gehölz und vegetationsfreie Bauwerke nutzen und dass Grün- und Wildbrücken den zerschneidenden Effekt von Trassen mindern können. Trotz dieser Erfolge gibt es noch Verbesserungsmöglichkeiten in der Planung, Bepflanzung und Wartung der Bauwerke.

Es wurde belegt, dass es keine optimale Breite für Grün- und Wildbrücken gibt, vielmehr ist es eine Kombination aus deren Breite, Anzahl, Lage und Gestaltung.

3 Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen

3.1 Vorbemerkung

Der Bauingenieur als Fachplaner im Brückenbau, ist in fast jeder Situation alleine für den Entwurf verantwortlich. Er muss immer darauf achten, dass seine Entwürfe den umfangreichen Regeln und Vorschriften entsprechen und alle Bedürfnisse des Auftraggebers erfüllt werden. Bei Grün- und Wildbrücken ist insbesondere auf umweltpolitische Belange zu achten.

Das Ziel des Entwurfs besteht darin, ein technisch einwandfreies, ausführbares Konzept zu entwickeln, das dem Standort, dem Umfeld, der Bedeutung und der Größe der Brücke bezüglich Kosten und Ästhetik optimal entspricht. Der Entwurf muss mit der Darstellung der konzeptionellen Idee einen Projektierungsstand erreichen, der gewährleistet, dass das Bauprojekt ohne wesentliche Änderungen ausgearbeitet werden kann und dass eine relativ zuverlässige Schätzung der Baukosten bereits möglich ist.¹

3.2 Entwurfsgrundlagen

Im traditionellen Entwurf des Brückenbaus wird das geeignete Tragsystem, die Spannweiten, die Gründungen, die Baustoffe, die Querschnittsgestaltung und weitgehend auch der Bauvorgang und die Bauzeit ermittelt. Die Grundlagen des Entwurfs setzen sich aus den örtlichen, verkehrstechnischen und bauwerk-spezifischen Randbedingungen zusammen und grenzen die Auswahl geeigneter Tragsysteme bereits stark ein.

Weitere Anforderungen wie die allgemeinen, kulturellen und funktionellen, werden in den Entwurf eingebracht. In diesem Stadium werden bereits wichtige Querschnittsabmessungen bestimmt und auf ihre Machbarkeit hin überprüft.

Auf diesem Niveau wird in der Regel das ideale Konzept entwickelt und verfeinert.

¹Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seite 133

3.2.1 Übersicht der Entwurfsgrundlagen

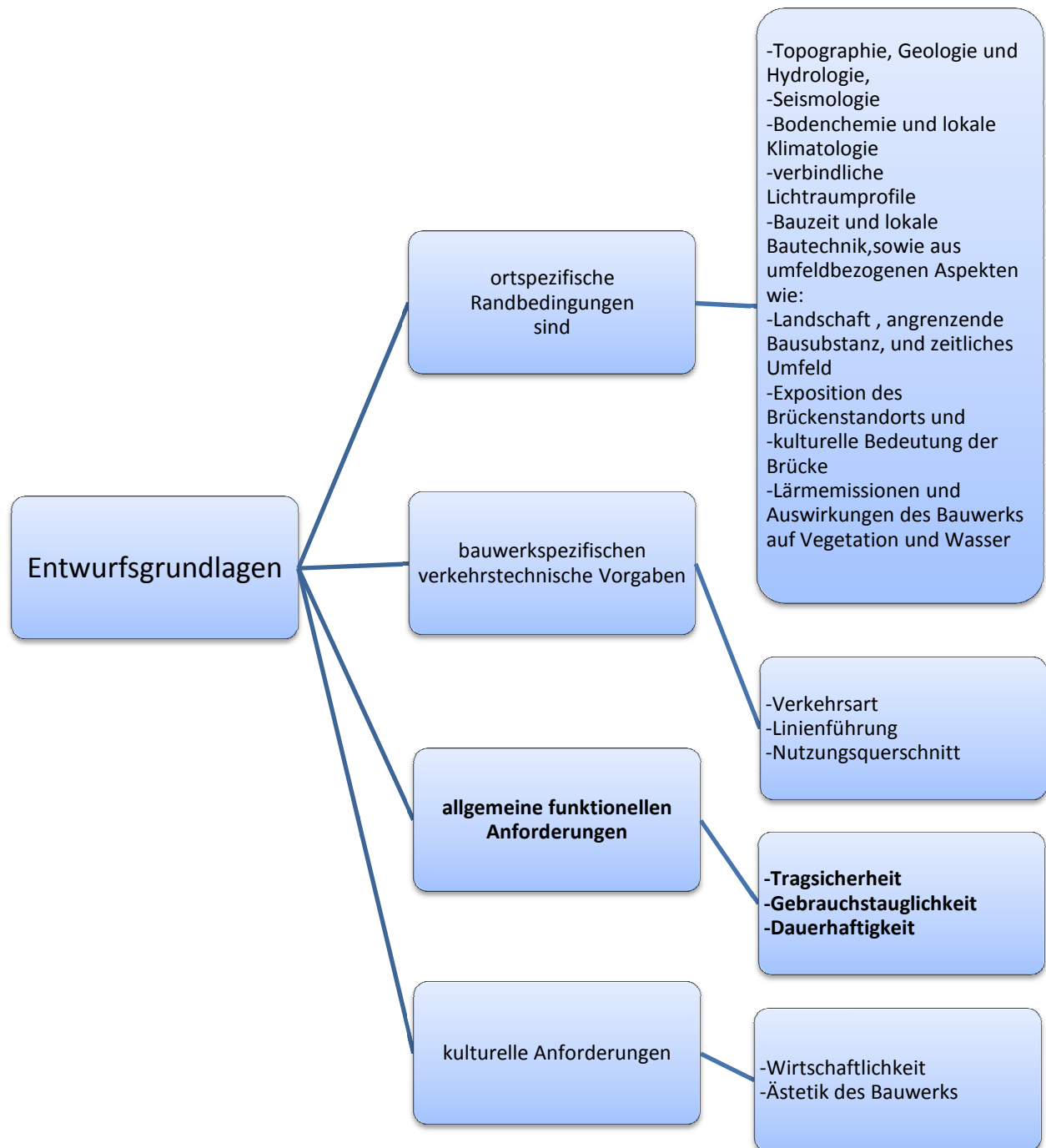


Abb-3.1 Schema Entwurfsgrundlagen Brückenbau

[Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seite 134]

3.2.2 Entwurfsgrundlagen für den Tragwerksplaner

Für den Tragwerksplaner stehen die allgemeinen funktionellen Anforderungen an erster Stelle. Dazu gehören die Tragfähigkeit (Stand sicherheitsnachweis), Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit. Seine Aufgabe ist es, diese Anforderungen nach dem aktuellen Stand der Technik nachzuweisen und sicherzustellen.

Tragsicherheit:

Die Tragsicherheit gliedert sich in einzelne Nachweisebenen auf, diese sind die statische Tragsicherheit, die Ermüdungssicherheit, die dynamische Tragsicherheit und die Erdbbensicherheit. Die Einwirkungen, die die Tragsicherheit beeinflussen, sind in erster Linie Kräfte, Lasten und Verschiebungen. Diese Einwirkungen sind normiert und werden mit einer normierten Tragreserve gegen den Verlust der Standsicherheit des Tragwerks und einzelner Teile davon "verglichen". Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind Verformungen und Risse nicht relevant.

Gebrauchstauglichkeit:

Bei der Gebrauchstauglichkeit stehen die Benutzbarkeit und die Durchführung von Kontrollen(Wartung) des Bauwerks im Vordergrund. Weitere Eigenschaften, wie das Verhalten des Bauwerks bei Unfällen, gehören auch zur Gebrauchstauglichkeit. Sie wird vor allem durch konstruktive, und bemessungs- und materialtechnische Maßnahmen gewährleistet.

konstruktive Maßnahmen	bemessungstechnische Maßnahmen
• Sicherheit gegen Absturz • Fahrbahntwässerung	• Rissbreitenbeschränkung • Durchbiegung

Abb-3.2 Maßnahmen für die Gebrauchstauglichkeit im Brückenbau
[Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seiten 136-138]

Dauerhaftigkeit:

Im Brückenbau bedeutet Dauerhaftigkeit, dass die vorhandene Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit während der gesamten Nutzungsdauer fast vollständig erhalten bleibt. Dies kann aber nur bei regelmäßiger Wartung und Inspektion des Bauwerkes garantiert werden.

Um die Dauerhaftigkeit zu gewährleisten, sind bereits in der Planung materialtechnische und konstruktive Maßnahmen erforderlich.

Materialtechnische Maßnahmen	Konstruktive Maßnahmen
• Betonqualität • Wetterfeste Stähle (Tragelementen) • Oberflächenschutzsysteme • Kontaktkorrosion bei Stählen beachten • Oberflächenschutzanstriche oder Verwendung von Bewehrungen mit hohem Korrosionswiderstand bei besonders aggressiven Einwirkungen	• Vermeidung von Salzwasser auf Betonflächen • bei Salzwasserkontakt Oberflächenschutz auf der Betonfläche oder Betondeckung von mehr als 75 mm • Ausreichende Betondeckung gegen Karbonatisierung • Keine unzugänglichen Hohlräume und keine verlorenen Holzschalungen • Stahlhohlprofile luftdicht abschließen • Vermeidung von Schmutztaschen oder Kanten, auf denen Wasser liegen bleibt oder gestaut wird

Abb-3.3 Maßnahmen für die Dauerhaftigkeit im Brückenbau

[Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seiten 139-140]

3.3 Berechnungsgrundlagen

Der jeweilige Planer hat das Bauwerk immer nach dem aktuellen *Stand der Technik* zu entwerfen und zu planen, Desweiteren muss er entsprechende Er-lasse und Vorschriften beachten. Diese Vorschriften werden von Normenaus-schüssen und Bauverwaltungen herausgegeben.

Im Brückenbau gab es 2003 eine Umstellung im Bereich des Vorschriftenwer-kes, es wurde das Europäische Normenwerk in Deutschland eingeführt. Mit den DIN-Fachberichten wurde das Konzept der Teilsicherheitswerte als Grundlage der Bemessung eingeführt. Weitere wichtige Vorschriftenwerke sind unter an-derem die *Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauwerke* [ZTV-ING] die *Richtzeichnungen für Brücken und andere In-genieurbauwerke* [Richtzeichnungen] und die *Richtlinie für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten* [RAB-ING]. Diese Dokumente werden ständig dem Stand der Technik angepasst und durch die *Allgemeinen Rund-schreiben Straßenbau* aktualisiert.

3.3.1 Wichtige Vorschriften:

DIN-Fachbericht 100 (Beton)

DIN-Fachbericht 101 (Einwirkungen auf Brücken)

DIN-Fachbericht 102 (Betonbrücken)

DIN-Fachbericht 103 (Stahlbrücken)

DIN-Fachbericht 104 (Verbundbrücken)

ZTV-ING

**Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbau-
ten**

(Die ZTV-ING ist in 10 Teile gegliedert. Jeder Teil beinhaltet ein zusammenhängendes Sach-
gebiet bzw. eine Baugruppe. Die einzelnen Abschnitte der ZTV-ING enthalten sowohl ver-
traglich Regelungen für die Lieferung, Prüfung, Bauausführung, Abnahme und Abrechnung
wie auch Richtlinien für die Planung, Ausschreibung, Bauvorbereitung, Baudurchführung und
Bauüberwachung.)

RIZ-ING

Richtzeichnungen für Ingenieurbauten

(Die Bauelemente sind eindeutig bezeichnet, sie stellen Regelausführungen dar und können im Entwurf zitiert werden. Alternative Lösungen müssen die gleichen Anforderungen an Standsicherheit, Dauerhaftigkeit und Wartungsfreundlichkeit erfüllen.)

RAB-ING

Richtlinien für das Aufstellen von Bauwerksentwürfen für Ingenieurbauten

(Die Richtlinien regeln Form und Inhalt von Entwurfsunterlagen für Neubau, Umbau, Verstärkung und Instandsetzung von Brücken, Tunneln oder anderen Ingenieurbauwerken im Zuge von Straßen)

Weitere Wichtige Normen/ Vorschriften für den Brückenplaner

- Druckschriften der Deutschen Bahn AG
- DIN 1054(Baugrund)
- DIN 1074 (Holzbrücken)
- TL/TP-ING (Technische Lieferbedingungen und technische Prüfvorschriften für Ingenieurbauten)
- M-BÜ-ING (Merkblatt für die Bauüberwachung von Ingenieurbauten)
- weitere Normen/ Vorschriften für Lager, Geländer usw.

4 Planungsphasen einer Grün-und Wildbrücke

4.1 Vorplanung

Bevor die Planungen zu einer Brücke beginnen können, gibt es eine politisch gewollte Bedarfslage. Diese wird von Fachplanern in ein erstes Planungskonzept umgesetzt. Dieses Planungskonzept beinhaltet eine Linienführung ,die durch eine Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) <http://www.strassen.nrw.de/download/uvp-leitfaden-2006-11.pdf> belegt ist. Das Ziel dieser Linienführung ist es, die Wanderbeziehungen so gering wie möglich zu beeinträchtigen. Grün- und Wildbrücken können schadenminimierende Maßnahmen sein.

Das Ziel der Vorplanungsphase ist es, die verbindliche Lage und damit auch die Länge des Bauwerks bei abgestimmter Gradientenführung festzustellen. In einigen Fällen ist bereits das Tragwerkssystem und Bauverfahren festgelegt, dazu kommen statische Vorberechnungen, die in den Prozess mit einbezogen werden.

Durch die Ermittlung der Baugrundbeanspruchungen und die Anfertigung eines Baugrundgutachtens kann bereits die Gründungsart festgelegt werden.

In der Vorplanungsphase finden auch konstruktive Festlegungen statt. Dazu gehören Baustoffe, Bauarten, Herstellungsarten und der Platzbedarf für Baustelleneinrichtung und Baustraße. Aufbauend auf die Vorplanung wird ein rechtskräftiger Planfeststellungsbeschluss für die Baumaßnahme beschlossen. Dieser Planfeststellungsbeschluss ist die wichtigste Entwurfsgrundlage.

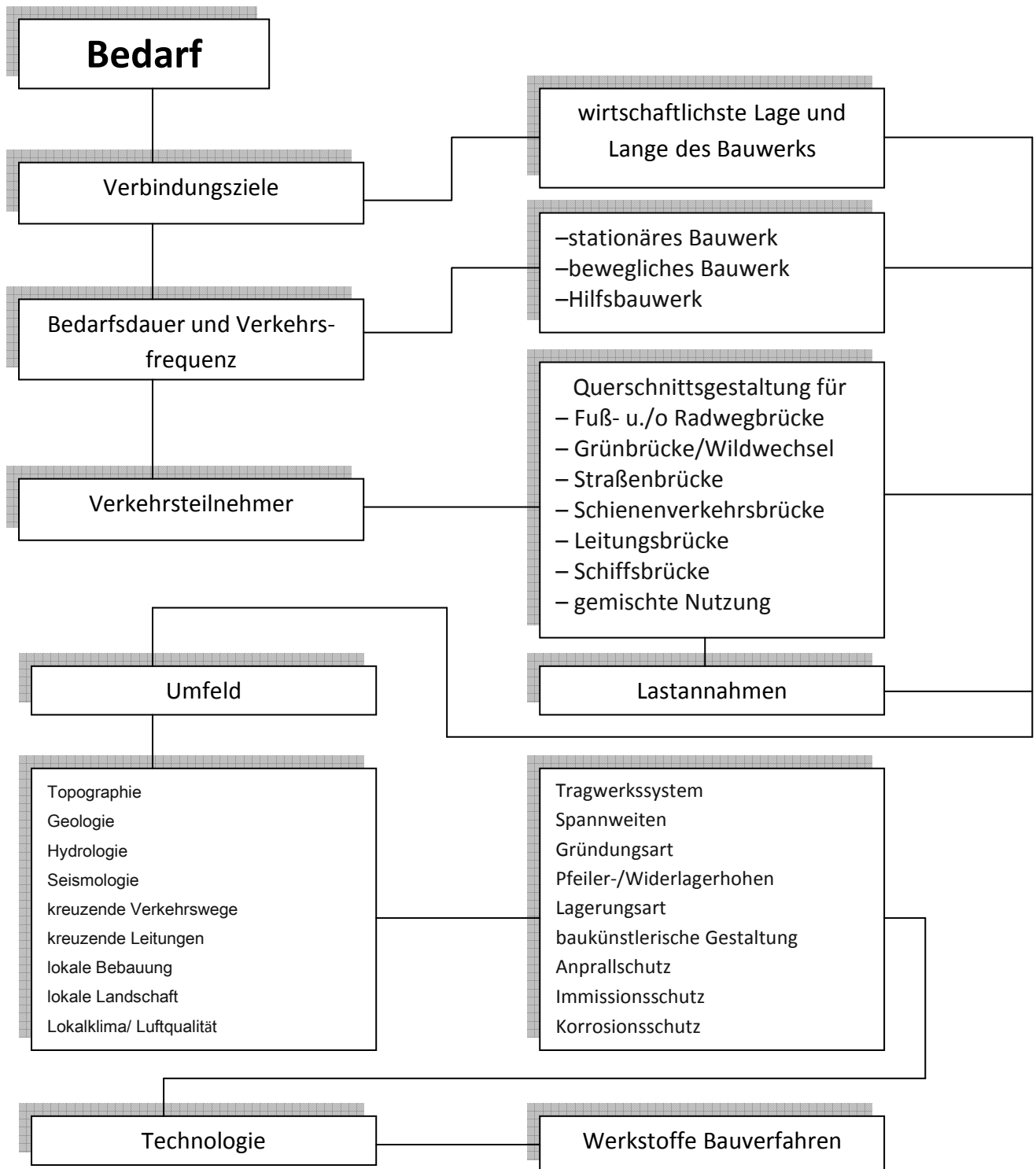


Abb-3.2: Schema Grundlagen und Abhängigkeiten für die Konzeption einer Brücke
 [Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seite 108]

4.2 Entwurfsplanung

In der Phase der Entwurfsplanung wird das Planungskonzept unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen vollständig erarbeitet. Dazu werden die Beiträge anderer Planer und die Belange von Ämtern, Behörden und Verbände in den Entwurf eingearbeitet.

Zur Entwurfsplanung gehört das Erstellen des Erläuterungsberichtes, die Zeichnerische Darstellung des Gesamtentwurfes, der Finanzierungsplan, der Bauzeiten und Kostenplan, die Kostenberechnung, das Festlegen der erforderlichen Schallschutzmaßnahmen, der Nachweis der Lichtraumprofile, *die Umweltverträglichkeitsstudie, der landschaftspflegerische Begleitplan (einschließlich schutzgebiets- und artenschutzrechtlicher Aspekte) und soweit notwendig – eine FFH-Verträglichkeitsprüfung.*

Der Tragwerksplaner hat in dieser Phase eine überschlägige statische Berechnung und Bemessung durchzuführen. Dazu gehören grundlegende Festlegungen zu den Hauptabmessungen des Tragwerks und konstruktive Details wie die Gestaltung der tragenden Querschnitte, Aussparungen Fugen und die Ausbildung der Auflager- und Knotenpunkte.

Fachplaner oder Gutachter für	Ämter, Behörden und Verbände für
• Baugrund, Landschaftsplanung, Schallschutz, Fahrdynamik, Signal- und Verkehrsleittechnik, Elektrotechnik, Telekommunikation, baukünstlerische Beratung, bildende Kunst	• Vermessung, Öffentliche Ordnung, Geologie, Hydrogeologie, Wasserwirtschaft, Verkehrsanlagen, Versorgung, Entsorgung, Landschaftsschutz, Umweltschutz, Forstwirtschaft, Denkmalschutz, Hochbau, Tiefbau, Straßenbau, Gemeindeverwaltung

Abb-4.1: An der Planung beteiligte Gremien/ Fachplaner [Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seite 110]

4.3 Genehmigungsplanung

Brückenbauwerke, die in das Öffentliche Verkehrsnetz integriert sind, haben den Staat, ein Bundesland, einen Landkreis oder eine Kommune als Bauherrn. Der Entwurfsplan ist die amtlich genehmigte Grundlage für jeden Brückenneubau. Für die Bahn, als privater Bauherr, wurde das Eisenbahnbundesamt (EBA) als Genehmigungsbehörde eingerichtet.

Im Rahmen der Genehmigungsplanung werden die Unterlagen für die erforderlichen öffentlich-rechtlichen Verfahren eingereicht. Dazu gehören der Grunderwerbsplan mit Verzeichnis, das Einarbeiten der schalltechnischen Untersuchung, Verhandlungen mit Behörden, Vervollständigen und Anpassen der Planungsunterlagen und das Erläutern gegenüber Bürgern.

Der Tragwerksplaner hat in dieser Phase, die prüffähige statische Berechnung für das gesamte Brückenbauwerk unter Berücksichtigung der bauphysikalischen Anforderungen aufzustellen.

In der prüffähigen Statik müssen normale Bauzustände erfasst werden und Positionspläne angefertigt werden. Es sind, die Tragwerksabmessungen, die Verkehrslasten, die Baustoffe und die Besonderheiten der Konstruktion in die Pläne einzutragen. Desweiteren hat der Tragwerksplaner, die Unterlagen der Tragwerksplanung zusammenzustellen und diese zur bauaufsichtlichen Genehmigung vorzulegen.

4.4 Ausführungsplanung

In der Ausführungsplanung wird die zeichnerische und rechnerische Darstellung des Bauwerkes mit allen notwendigen Einzelangaben, die für die Ausführung notwendig sind, erbracht (einschließlich Details in erforderlichen Maßstäben). Bei Grün- und Wildbrücken ist, noch *ein landschaftspflegerischer Ausführungsplan (LAP)* <http://www.ls.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/Handbuch%20LPB.pdf> zu erarbeiten und in die Planung einzubringen.

Bestandteile der Ausführungsplanung

- Prüffähige, statische Berechnung der Unter- und Überbauten und aller Baubehelfe einschließlich sämtlicher Bauzustände, Verformungsberechnungen mit zugehörigen Messprotokollen, Berechnung der Lagerkörper und Übergänge, Spann-, Dehn- und Lagerwegberechnungen einschließlich zugehöriger Protokolle
- Schal-, Bewehrungs- und Spannpläne für Stahlbeton- und Spannbetonkonstruktionen, Werkstattzeichnungen für Holz- und Stahlkonstruktionen, Konstruktionspläne für Baubehelfe, Versetzpläne für Brückenlager und Übergänge, Geländerpläne, Zeichnerische Darstellung aller Ausrüstungsteile, Steinversetzpläne für Verkleidungen, positionierte Stück- und Materiallisten, Einbau und Verlegeanweisungen
- Absteckpläne

Abb-4.2: Bestandteile der Ausführungsplanung [Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seite 121]

5 Statische Systeme von Grün- und Wildbrücken

Die klassischen Bauweisen von Grün- und Wildbrücken in Deutschland sind im Allgemeinen Bogentragwerke, Plattentragwerke, Plattenbalkentragwerke und Rahmenkonstruktionen. Jede dieser Bauweisen hat ihre Vor- und Nachteile im Bezug auf den Bau von Grün- und Wildbrücken.

5.1 Plattentragwerke:

Die Platte ist ein dünnwandiges Flächentragwerk mit ebener Mittelfläche und Belastung quer dazu. Die Durchbiegungen werden sehr klein im Vergleich zur Dicke vorausgesetzt. Die Abgrenzung zum Balken ist mit $b/l \geq 1/5$ festgelegt. Unterhalb dieses Wertes stellt sich keine Plattenwirkung mehr ein und man spricht dann von einem Balken. Dessen Lastabtragung erfolgt einachsig.

Bei Grün und Wildbrücken wird die Platte ("Plattenbrücke") gern bei großen Spannweiten, wie zum Beispiel über Autobahnen, genutzt. Die Platte hat einige günstige Eigenschaften, denn sie lässt sich leicht an beliebige Grundrissformen anpassen, wie z. B. Aufweitungen und Verengungen.

Weitere positive Eigenschaften sind:

- die Möglichkeiten die Platte beliebig breit (b) gestalten zu können
- die Tragreserven infolge der Membranwirkung bei durchlaufenden Plattensystemen mit zu betrachten
- die zweiachsige Lastabtragung bei konzentrierten Lasten
- gleiches Verhalten gegenüber positiven und negativen Momenten
- geeignet für unregelmäßige und schiefwinklige Grundrisse

Eine ungünstige Eigenschaft der Platte ist:

dass bei sehr schlanken Tragwerken die Langzeitdurchbiegungen infolge ständiger Einwirkungen zum Problem werden können. Besonders die freien Ränder sind gefährdet, (Eigenlast, Randbalken).

Konstruktionsmerkmale:

- Plattendicken liegen zwischen 60 und 120cm
- Spannweiten bis 20m bei einfeldrigen Brücken
- Spannweiten bis 30m bei mehrfeldrigen Brücken mit konstanter Konstruktionshöhe
- Spannweiten bis 35m bei mehrfeldrigen Brücken mit veränderlichen Konstruktionshöhen
- Die Schlankheiten bei Einfeldplatten l/h und der mechanischen Schlankheiten l_i/h bei durchlaufenden Platten sollten bei nicht vorgespannten zwischen 15 und 20 und bei Vorspannten zwischen 20 und 30 liegen (l_i die Entfernung der Momentennullpunkte unter ständig wirkenden Einwirkungen)
- Die heutigen Plattenbrücken werden als Vollplatten ausgeführt, da Holplatten zu aufwendig auszuführen sind und ihre Dauerhaftigkeit oft nicht ausreichend gewährleistet werden kann



Abb-5.1: Querschnitte von Plattenbrücken [Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seite 230]

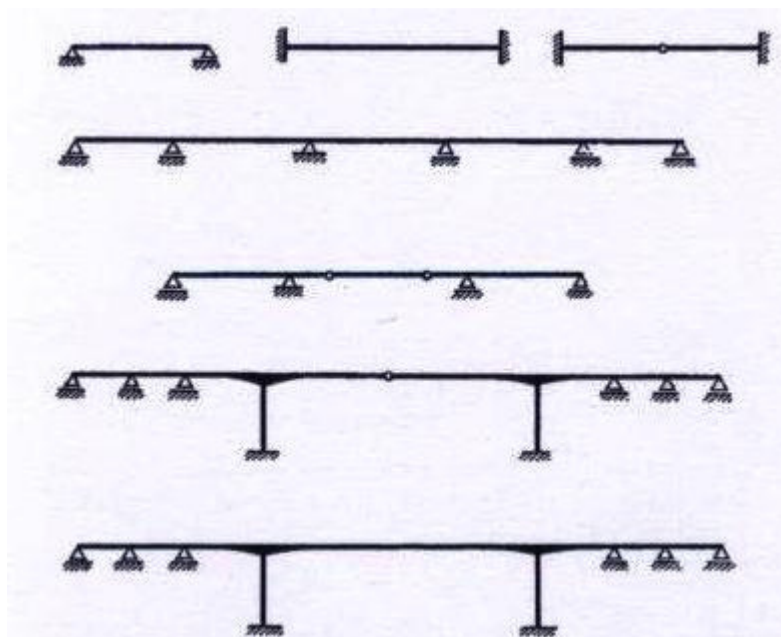


Abb-5.2: Beispiele üblicher statischer Systeme für Platten- und Balkenbrücken [Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seite 229]

Beispiel einer Grün- und Wildbrücke in Plattenbauweise

Grün- und Wildbrücke „Fahrenholzer Holz“

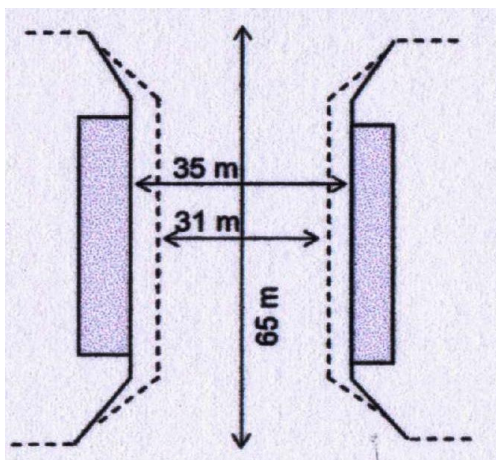


Abb-5.3: Bild T.Pfeifer

Das Bauwerk überführt die A20 in der Nähe der Autobahnabfahrt Rostock West und soll der Isolierung der Tierpopulation durch die A20 entgegenwirken.

Die Brücke wurde als Spannbetonvollplatte hergestellt und überspannt zwei gleiche Felder. Die lichte Weite zwischen den Widerlagern beträgt 33,5 m. Die Widerlager sind im Grundriss konvex gebogen, um die Tunnelwirkung für den Autofahrer so gering wie möglich zu halten. Durch die konvexe Form der Widerlager sind die Stützweiten unterschiedlich groß. Das bedeutet im Einzelnen, dass die Längen der Einzelstützweiten zwischen 17,375 m bis 18,56 m liegen und die Gesamtstützweite bei 34,75 m bis 37,12 m liegt.

Desweiteren wurde die Brücke in die Brückenklasse 30/30 eingestuft, da ein Wirtschaftsweg diese überquert. Der Irritationsschutz besteht aus einer 1,5 m hohen Betonwand mit einem 0,5 m hohen Zaun darauf.



- Kreuzungswinkel 100 gon
- Breite zwischen den Geländern 35 m
- Breite zwischen den Irritationsschutzwänden 31 m
- Brückenfläche 1250,725 m²
- kleinste lichte Höhe $\geq 4,70$ m

Abb-5.4: Dimensionierung / Gestaltung
[CD-FSS Heft 971]

Der Überbau ist eine vorgespannte Massivplatte(mit Raumfuge), die eine Konstruktionshöhe von 0,85m hat. Die Platte ist in jeder Auflagerachse durch acht Lager gestützt. Es wurden Verformungslager(Elastomer), die alle in Längsrichtung verschiebbar sind, eingebaut. In Querrichtung ist der Überbau mit einer Festhaltekonstruktion gelagert. Der Aufbau der Erdüberschüttung besteht aus mehreren Lagen Boden und Schutzschichten.

- 30-40 cm Oberboden
- 20-30 cm Unterboden
- Schutzlage
- 15 cm Filterschicht
- Schutzlage
- Wurzelschutzbahn
- Schutzlage
- 10 cm Schutzschicht aus Beton
- Bitumenschweißbahn
- Grundierung



Abb-5.5: Brückenaufbau [www.dachwurz24.de]

Die Wiederlager sind durch einen Radius von 100m gebogen, an die ebenfalls gekrümmte Flügel mit einem Radius von 15m tangential anschließen. Des weiteren wurden acht Einzelpfeiler für die Mittenunterstützung des Überbaus parallel zur Achse der Autobahn im Mittelstreifen angeordnet. Ihr Querschnitt besteht aus einem Rechteck von 80x120 cm und einen beidseitig angefügten Halbkreis mit einem Radius von 60 cm.

Grün- und Wildbrücke bei „Beidendorf“

Eine weitere Grün- und Wildbrücke, die als vorgespannte Platte ausgeführt



Abb-5.5: Brücke Beidendorf [T.Pfeifer]



Abb-5.6: Brücke Beidendorf [T.Pfeifer]

Der Sicht- und Blendschutz setzt sich aus einer Erdanschüttung und Schutzwänden zusammen. Die Breite zwischen den Geländern beträgt 39,50 m.

wurde ist die bei Beidendorf. Das Zweifeldbauwerk überspannt die A20 in einem Winkel von 100gon und hat eine Gesamtstützweite von 36,75 m, die sich in Einzelstützweiten von 19,25 und 17,50 m aufteilt. Der vorgespannte Überbau wurde in B35 ausgeführt und hat eine Konstruktionshöhe von 90 cm über den Endauflagern und 120 cm über den Mittelpfeilern. Diese entwässerungstechnische notwendige Neigung wurde

notwendige Neigung wurde an der Plattenoberfläche ausgebildet. Es erfolgte eine Flachgründung, die im Bereich der Mittelpfeiler durch eine Bodenverbesserung (Rüttelstopfverdichtung) ermöglicht wurde. Die acht Einzelstützen (120×200cm) stehen auf einem durchgehenden Fundament, dass 1,2 m stark und 5 m breit ist.

Die Lagerung der Platte erfolgt durch ein horizontal elastisches

Lagerungssystem, dass keinen Fest-

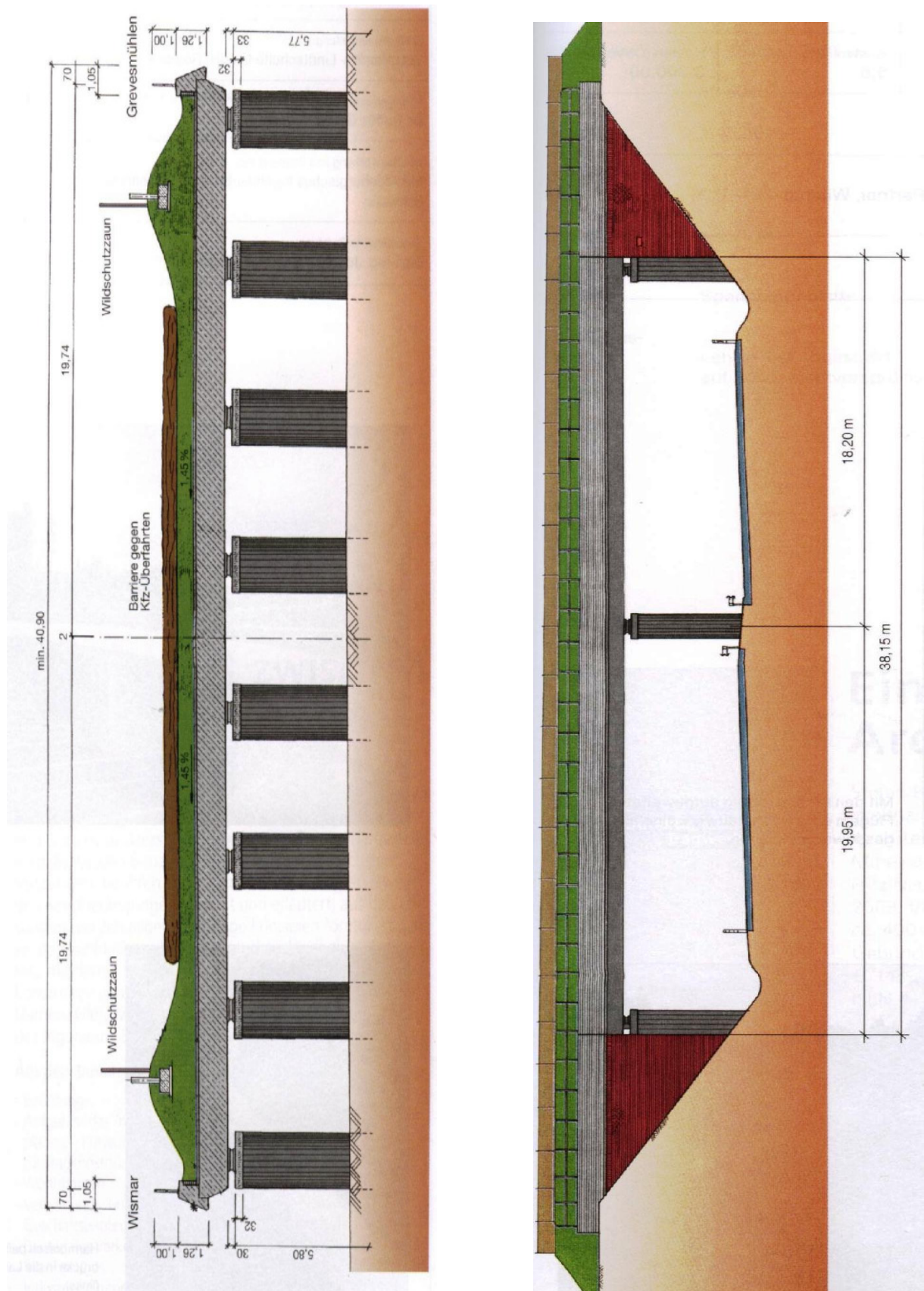


Abb-5.7: Längs- und Querschnitt Grün- und Wildbrücke Beidendorf [Brückenbauwerke in den neuen Bundesländern S.103]

5.3 Rahmenkonstruktion

Rahmenbrücken entstehen, wenn die Überbauten biegesteif mit den Unterbauten verbunden sind. Durch diese Variante werden die Feldmomente kleiner und die Stützmomente größer, dies kann man mit der Steifigkeit der Rahmenstiele beeinflussen. Die Konstruktionshöhen der Bauteile können dem Momentenverlauf angepasst (veränderliche Bauhöhe) werden.

Der Vorteil einer Rahmenkonstruktion gegenüber einer Platte ist, dass kleinere Bauhöhen im Feldbereich und größere Spannweiten erreicht werden. Ein weiterer großer Vorteil ist, dass die Lager wegfallen. Das reduziert die Kosten für Wartung und Unterhalt.

Ein Nachteil der Konstruktion ist der auftretende Horizontalschub, der von einer entsprechenden Gründung oder einem Zugband aufgenommen werden muss.

Die Wildbrücken über die A20 wurden als mehrstieligen Rahmen ausgeführt, wobei die Stielfüße gelenkig gelagert wurden.

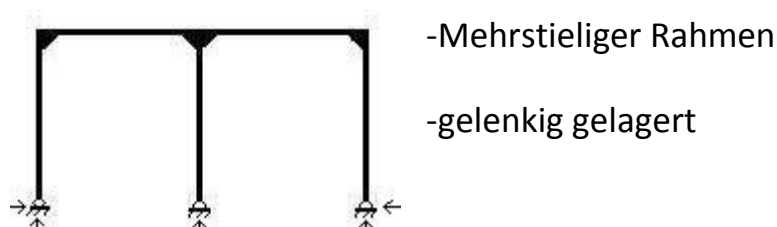


Abb-5.10: Statisches System [T.Pfeifer]

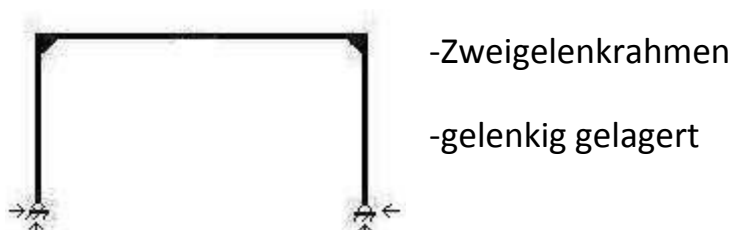


Abb-5.11: Statisches System [T.Pfeifer]

Beispiel einer Grün- und Wildbrücke in Rahmenbauweise

Grün- und Wildbrücke bei „Vietow“:



Abb-5.13: Grün- und Wildbrücke bei Vietow [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

Das Bauwerk überführt die A20 in der Nähe der Autobahnabfahrt Tessin und der Ortschaft Vietow. Die Brücke soll der Isolierung der Tierpopulation durch die A20 entgegenwirken.

Die Brücke wurde als offener Rahmen hergestellt. Der Überbau wurde als Vollplatte ausgeführt und überspannt zwei gleiche Felder. Die lichte Weite zwischen den Widerlagern beträgt 35,35 m. Die Widerlager sind im Grundriss konvex gebogen, um die Tunnelwirkung für den Autofahrer so gering wie möglich zu halten. Durch die konvexe Form der Widerlager, sind die Stützweiten unterschiedlich groß. Das bedeutet im Einzelnen, dass die Längen der Einzelstützweiten zwischen 16,55 m und 18,70 m liegen und die Gesamtstützweite bei 33,3 m bis 37,4 m liegt.

Desweiteren wurde die Brücke in die Brückenklasse 30/30 eingestuft, da ein Wirtschaftsweg diese überquert. Der Irritationsschutz besteht aus einer 2 m hohen Betonwand. Der Bauwerkswinkel beträgt 100gon.

Die Platte hat eine Konstruktionshöhe von 100 bis 110 cm und hat eine Betonqualität von B35WU. Sie ist 40 m breit und hat eine Überschüttungshöhe von 70 bis 120 cm. Die lichte Höhe der Konstruktion beträgt 5,04 m und hat ein Längsgefälle von 2,3 %.



Abb-5.14: Ansicht Irritationsschutz
[Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]



Abb-5.15: Pfeiler [T.Pfeifer]

Die acht Einzelpfeiler für die Mittenunterstützung des Überbaus wurden parallel zur Achse der Autobahn im Mittelstreifen angeordnet. Ihr Querschnitt besteht aus einem Rechteck und einem beidseitig angefügten Halbkreis. Die Stütze hat eine Länge von 2 m und eine Breite von 1 m. Der Stützenkopf ist um 30 cm aufgevoutet.



Abb-5.16: Widerlager [T.Pfeifer]

Die Widerlager sind durch einen Radius von 100 m gebogen. An ihnen schließen die gekrümmten Flügel mit einem Radius von 12 m an. Die Widerlager sind durch eine Raumfuge in der Mitte getrennt. Es wurde keine Oberflächengestaltung vorgenommen. (Sichtbeton)

Weitere Grün- und Wildbrücken in Rahmenbauweise

Ein weiteres Bauwerk in Rahmenbauweise entlang der A20 steht in der Nähe der Ortschaft Glasin bei der Autobahn ausfahrt Neukloster. Im Wesentlichen unterscheidet sie sich von der bei Vietow in der Form der Pfeiler (rund) und das die Widerlagerwände nicht gebogen sind.



Abb-5.14: Pfeilerreihe [T.Pfeifer]



Abb-5.15: Widerlager [T.Pfeifer]

Das nächste Bauwerk in Rahmenbauweise liegt an der A14 in der Nähe des Pinnow See. Das besondere an dieser Brücke ist, dass sie eine Autobahn (A14) und eine Landstraße(L101) überquert. Die Brücke besteht aus einer Einfeld und einer Zweifeldkonstruktion. Bei der Zweifeldkonstruktion gibt es keine Pfeiler sondern eine komplette Wandscheibe.



Abb-5.16: Über die A14 [Google Earth]



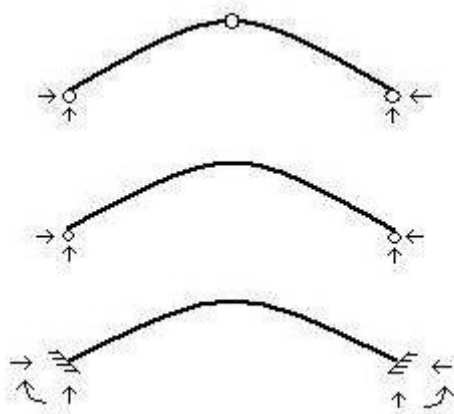
Abb-5.17: Über die L101 [Google Earth]

5.4 Bogenbrücken

Bogenbrücken sind die am häufigsten angewandten Tragsysteme für Grün- und Wildbrücken in Deutschland. Die Meisten von ihnen stehen in Baden Württemberg (z.B. B31n). Man redet von Bogenbrücken, wenn das Verhältnis der Pfeilhöhe (f) zur Stützweite (l) f/l weniger als $1/3$ beträgt.

Bogenbrücken bestehen entweder aus einem Kreisbogen oder werden aus Mehreren zusammengesetzten, so dass ein mehrteiliger Korbbogen entsteht. Die modernen Bogenbrücken aus Stahlbeton werden als Zweigelenkbogen oder als eingespannte Bogen hergestellt.

Eine weitere Form des Bogens ist der dreigelenkbogen, der bei Grün- und Wildbrücken ist Holzbauweise angewendet wird.



Dreigelenkbogen → statisch bestimmt

Zweigelenkbogen → einfach statisch unbestimmt

Eingespannter Bogen → dreifach statisch unbestimmt

Abb-5.18: stat. Systeme [T.Pfeifer]

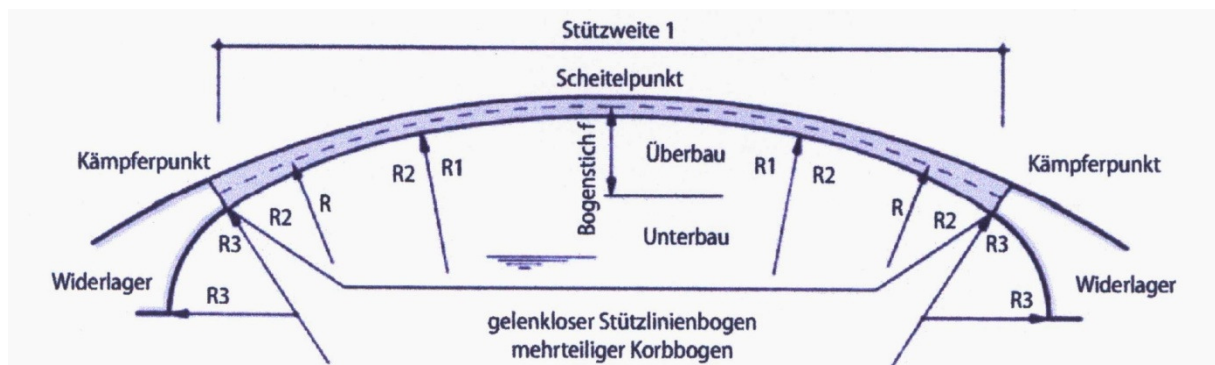


Abb-5.19: mehrteiliger Korbbogen [Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seite 301]

Beispiel einer Grün- und Wildbrücke in Bogenbauweise

Grün-und Wildbrücke „Hainholz“:

Das Bauwerk überführt die A20 nordwestlich der Hansestadt Lübeck zwischen Strukdorf und Langniendorf. Die Brücke soll der Isolierung der Tierpopulation durch die A20 entgegenwirken und einen bekannten Rothirschwechsel wieder verbinden.



Abb-5.20: Grün-und Wildbrücke Hainholz [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

Bei der Bogenbrücke handelt es sich um eine Zweigelenkkonstruktion aus Stahlbeton. Das Bauwerk ist als Korbbogen mit den Radien $R_1=39,78\text{m}$, $R_2=27,57\text{ m}$ $R_3=18,95\text{ m}$ ausgeführt worden. Dies ermöglicht einen relativ flachen Scheitel und im Kämpferbereich eine günstigere Aktivierung der horizontalen Erddrücke. Eine weitere Eigenschaft dieser Form ist es, dass fast nur Druckkräfte in der Konstruktion vorliegen.

Durch die Randbedingungen, denen diese Tragwerkslösung unterworfen ist, wird das Bauwerk unter Berücksichtigung der ZTV-ING T5 Abschnitt 2 quasi als Tunnelbauwerk (WUB-KO) bemessen.

Das Bauwerk ist in sieben Betonierabschnitten im Pilgerschrittverfahren hergestellt worden. Jeder dieser Abschnitte hat eine Breite von rund sieben Metern. Die Randbereiche (Einfahrtsportale) werden komplett in einem Betonierabschnitt mit einer Länge von rund 20 m hergestellt.



Abb-5.21: Sichtbarkeit der Betonierabschnitte [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

Der Bogen ist in der Betonklasse C35/45 hergestellt und hat eine Konstruktionshöhe von 85 cm über die gesamte Bogenlänge.

Um die A20, mit einer Breite von mindestens 34,5 m, unter dieser Brücke zu führen, muss die Stützweite des Bogens 45,84 m betragen. Das Bauwerk wurde in einem Winkel von 100gon erstellt und hat eine Breite von 49,10 m zwischen den Geländern. Die abgekippten Portale verlaufen parallel zur Böschung in einer Neigung von 1:1,5. Das soll zu einer verträglichen Veränderung der Lichtverhältnisse in der Zu- und Ausfahrt führen.

Als Lärm- und Blendschutz werden Gabionen in Drahtschotterkästen aufgestellt, diese sollen nicht auffallen und den Eindruck des Bogentragwerkes nicht beeinträchtigen. Die Bepflanzung des Bogentragwerkes ist fast uneingeschränkt.



Abb-5.21: Ansicht Portal [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

Die Einwirkungen auf das Bauwerk wurden den Vorschriften (DIN FB 101) entnommen. Es ist auch eine unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen berücksichtigt worden.

Die Lastannahmen betragen:

- $5,0\text{kN/m}^2$ gem DIN FB 101
- 2 Achslasten mit 40 und 80kN mit einem Abstand von 3 m (Anwesenheit von Baufahrzeugen für die Hinterfüllung)
- 19kN/m^3 für die Hinterfüllung bzw. Überschüttung (20kN/m^3 0,8m von OK-wegen Frost- und Vereisungsgefahr)
- 18kN/m^3 Gabionen in Drahtschotterkästen

Weitere Grün- und Wildbrücken in Bogenbauweise

Weitere Grün- und Wildbrücken befinden sich im Bundesland Baden Württemberg, zum Beispiel entlang der B31neu und der B33neu.



Abb-5.22 : Grünbrücke Hohenlinden B31neu
[CD-FSS Heft 971]



Abb-5.23 : Grünbrücke Hirschweg B31neu
[CD-FSS Heft 971]



Abb-5.23 : Grünbrücke Hohereute B33neu
[CD-FSS Heft 971]



Abb-5.24 : Grünbrücke Württembergle B33neu
[CD-FSS Heft 971]



Abb-5.23 : Grün- und Wildbrücke Weitenhagen B96n [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

Vorteil: keine Lager (Wartung, Unterhaltung), relativ kurze Spannweiten (geringer Materialaufwand für den Überbau), Herstellungsaufwand kleiner, geringere Erdarbeiten gegenüber Variante 1

Nachteil: Zweite Stützenreihe (erhöhter Tunnelleffekt), Stützenreihe 30 muss wegen des geringen Platzes gegen Anfahren verstärkt werden (keine SPL)

Variante 3: Stahlbetonrahmen als Dreifeldkonstruktion (Mittelpfeiler gelagert)

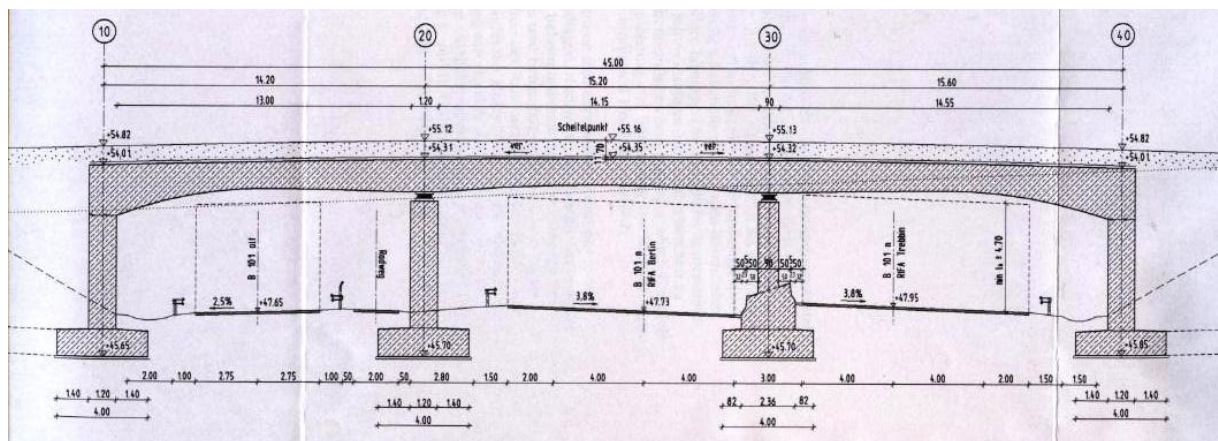


Abb-6.3

Gesamtspannweite: 45 m Feld 1: 14,2 m Feld 2: 15,2 m Feld 3: 15,6 m

Vorteil: kurze Spannweiten, Herstellung im Bereich der Mittelstützen leichter (Bewehrungsarbeiten)

Nachteil: Wartung der Lager, ausgerundet gevoutet (Herstellung)

Variante 4: Stahlbetonrahmen als Dreifeldkonstruktion (Mittelpfeiler gelagert)

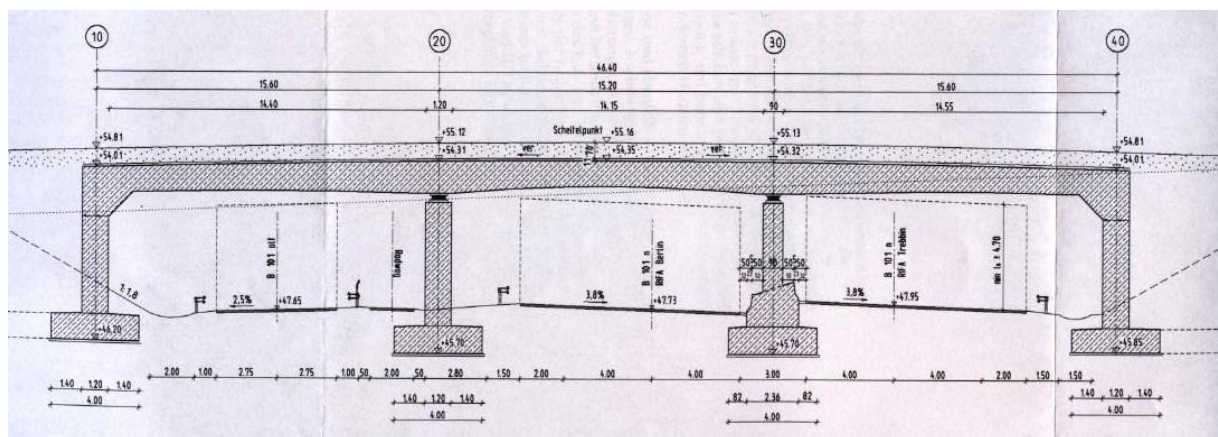


Abb-6.4

Gesamtspannweite: 46,40m Feld 1 und 3: 15,60m Feld 2: 15,2m

Vorteil: gleichmäßige Spannweiten, gute Symmetrie, gut herstellbar

Nachteil: Wartung der Lager (Unterhalt)

Variante 5: Stahlverbundbauweise

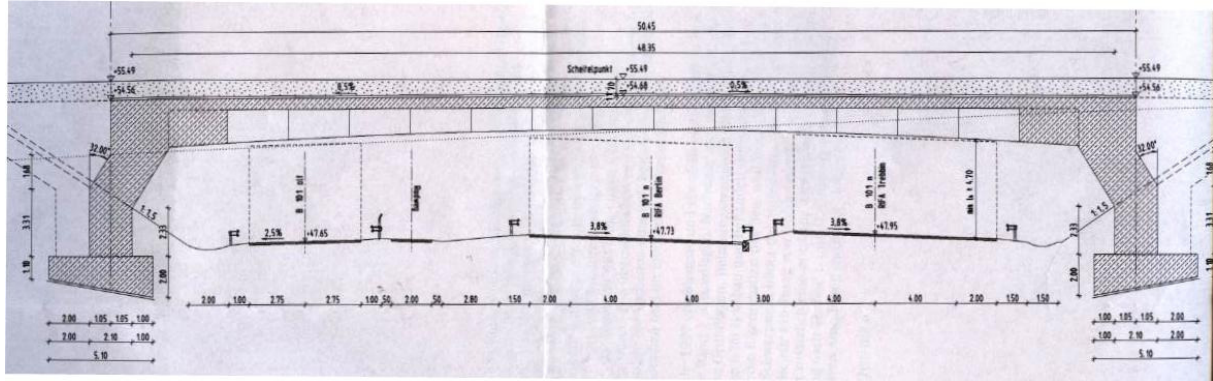


Abb-6.5

Spannweite: 50,45 m

Vorteile: kürzere Herstellungszeit, Mittelpfeiler entfallen, Tunneleffekt gegenüber den anderen Varianten deutlich verringert, Materialeinsatz geringer (Beton)

Nachteile: hohe Spannweite (große Träger), teure Materialien, hohe Kosten

Fazit der ersten Variantenuntersuchung:

Für den 50 m breiten Überbau kommen stehen mehrere Varianten zu Verfügung. Welche dieser Varianten den Zuschlag bekommt, oder ob noch weitere Einzubringen sind, steht noch nicht fest. Es wird soweit keine architektonischen Gesichtspunkte den Entwurf beeinflussen, der Wirtschaftslichte ausgeführt werden. Nach meiner Ansicht hat die Variante 4 die besten Aussichten. Der Entwurf ist am harmonischsten, er ist zwar etwas länger wie die anderen, ist aber mit weniger Aufwand herzustellen, was die Kosten senkt.

Aktuelle Situation:

Die erste Variantenuntersuchung hatte die DEGIS nicht angesprochen, so wurde beschlossen einen Architekten für eine Brücke aus Holz zu beauftragen, welcher in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte folgenden Entwurf entwickelten.



Abb-6-6

Dieser Entwurf zeigt eine Holzkonstruktion aus zwei Bögen mit einer geschwungenen Mittelpfeilerreihe. Die geschwungenen Pfeiler und die zwei Bögen machen die Konstruktion einzigartig, was sie Optisch interessant macht.

Spannweiten: 16,50m und 30,50m

Vorteile: interessante Konstruktion, Ingenieurstechnische Herausforderung, schlanker Überbau, Umweltfreundliche Bauweise(angebracht für Grün- und Wildbrücken)

Nachteile: Herstellungsaufwand sehr hoch(Pfeiler), Kosten allgemein



Abb-6.7



Abb-6.8 und 6.9

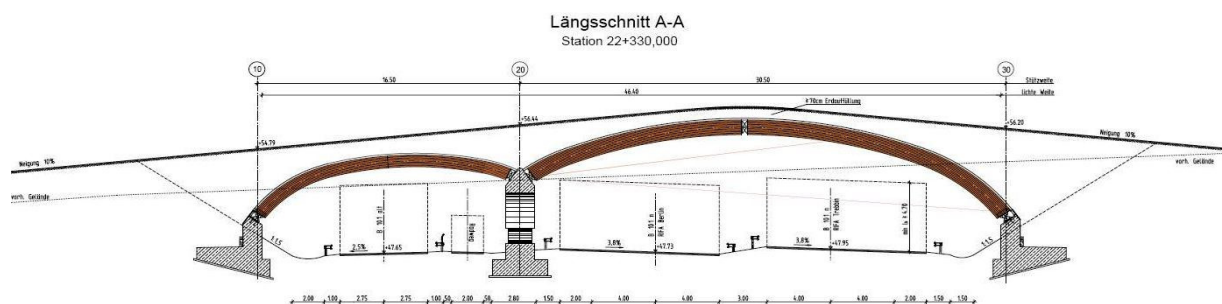


Abb-6.1 bis 6.9: Die Abbildungen der Verschiedenen Varianten, wurden mir vom Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte zur Verfügung gestellt

7. Holzbrücken und ihre Konstruktion

In diesem Punkt geht es um Holzbrücken und ihre Konstruktionen. Dabei werden die statischen Systeme und Details dazu untersucht. Bei den Bauwerken handelt es sich oft um Fußgänger und Radfahrbrücken und wie an einem Beispiel zu sehen ist, neuerdings auch bei Grün- und Wildbrücken und Straßenbrücken.

Für Holzbrücken gibt es viele unterschiedliche Konstruktionsformen der Überbauten, die hauptsächlich von der Spannweite abhängen.

Konstruktionsformen:

- Vollwandbalken
- Sprengwerke
- Hängewerke
- Fachwerke
- Bögen
- Hängesprengwerke
- Gitterwerke
- Hängebrücken
- Sonderformen (Kopfbandbalken, abgespannte und unterspannte Balken, bewegliche Brücken)

7.1 Vollwandbalkenbrücken

Bei Vollwandbalkenbrücken unterscheidet man zuerst, ob sie mit obenliegender Fahrbahn oder untenliegender Fahrbahn konstruiert sind. Bei obenliegenden Fahrbahnen liegen mehrere Balken nebeneinander und leiten die Kräfte in die Widerlager oder Pfeiler ab. Bei den untenliegenden Fahrbahnen wird sehr oft ein Trog ausgebildet, an dessen Seiten die meist zusammengesetzten Querschnitte die Lasten in die Widerlager einleiten. Die statischen Systeme dieser beiden Konstruktionen sind aber identisch. Die einfachsten sind der Einfeldträger oder der Zweifeldträger.

Vollwandbalkenbrücken:

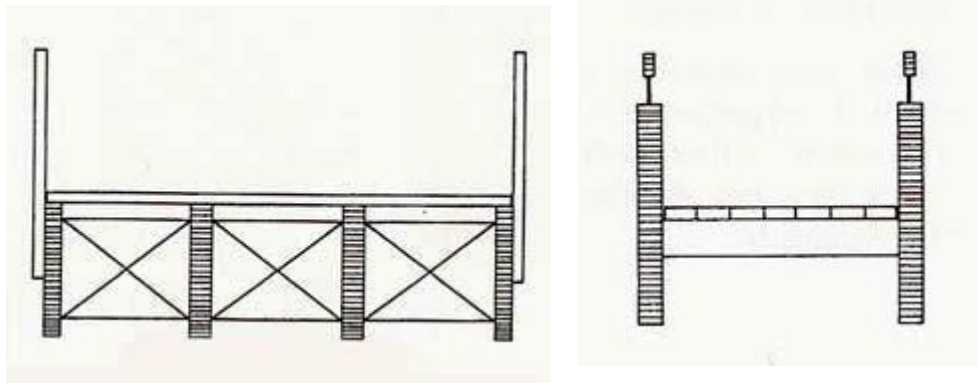


Abb-7.1: Bsp. obenliegende Fahrbahn/ untenliegende Fahrbahn [Alois Mucha Holzbrücken S.20-21]

Die Vollwandbalkenbrücken mit der untenliegenden Fahrbahn können auch als geschlossene Konstruktionen ausgeführt werden. Wichtig bei Vollwandbalkenbrücken ist die Sicherung der Hauptträger um ein Kippen zu verhindern. Dazu wird entweder ein Verband angeordnet oder die Fahrbahnscheibe muss dementsprechend dimensioniert werden. Die Verbände können aus einer Holzkonstruktion oder aus zug- und druckfesten Streben bestehen.

Beispiel einer Vollwandbrücke:

Langlaufbrücke Pradella (Schweiz/Scuol)

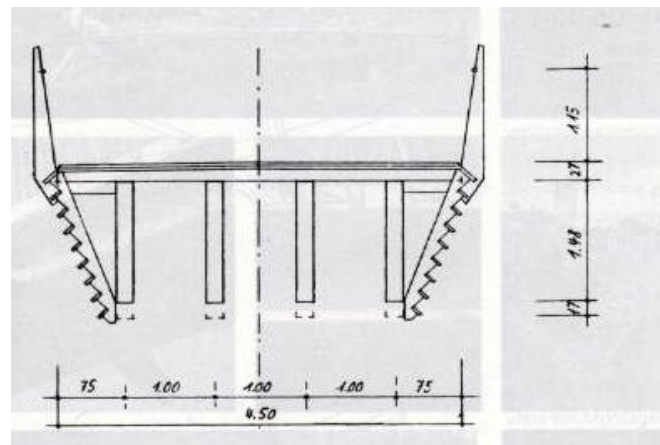
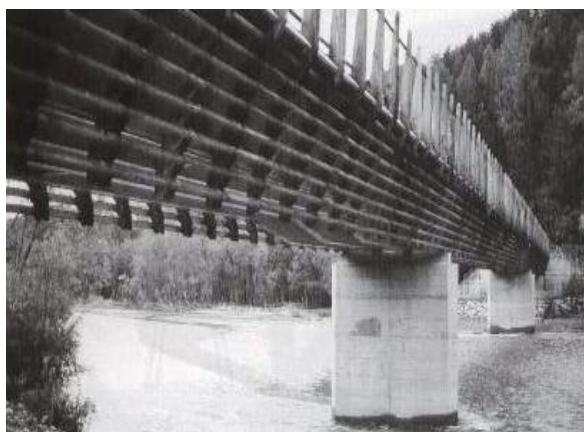


Abb-7.2: Querschnitt Ansicht [Informationsdienst „Holz Brücken aus Holz“]

Die Brücke wurde 1990 erbaut, sie besitzt eine Länge von 85m und ist als Gerberträger ausgeführt. Die vier Träger aus Brettschichtholz sind in einem Abstand von 100cm eingebaut und haben die Maße von 20/ 128,7-165,0 cm. Die Stützweiten betragen 21,50 m – 42,00 m – 21,50 m. Die Nutzlast beträgt $4,0\text{kN/m}^2$.

7.2 Sprengwerke

Sprengwerke zeichnen sich durch vollwandige Balken (Streckbalken) aus, die durch schräge oder lotrechte Stützen noch unterstützt werden. Durch die Anzahl dieser Punkte, durch die der Balken zwischen seinen Endauflagern gestützt wird, ordnet man sie in ein-, zwei- oder mehrfache Sprengwerke ein. Die Balken können gerade oder gekrümmt sein und als Durchlauf- oder Gelenkträger ausgebildet werden. Die Sprengwirkung entsteht durch die schrägen Stützen, die Horizontalkräfte hervorrufen. Die seitliche Stabilisierung erfolgt durch einen Verband in der Streckbalkenebene oder durch die Fahrbahnscheibe und die Stützen.



Abb-7.3: einfache Sprengwerke [Alois Mucha Holzbrücken S.37]

a-Unsymmetrisches Dreiecksprengwerk

b-Streckbalken als Gelenkträger

c-Einhüftiges Sprengwerk

d-Sprengwerk mit Kehlbalken

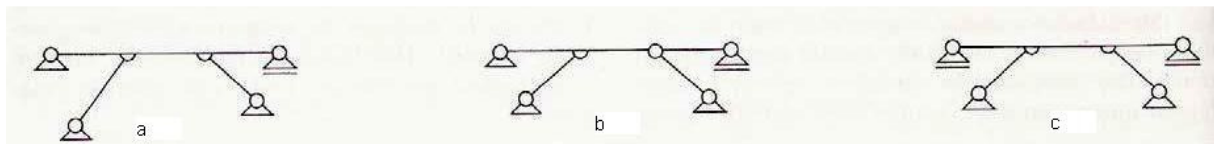


Abb-7.4: zweifache Sprengwerke [Alois Mucha Holzbrücken S.38]

a-Unsymmetrisches Sprengwerk mit unverschieblichem, biegesteif durchlaufendem Streckbalken

b-Symmetrisches Trapezsprengwerk mit unverschieblichem, gelenkig gestoßenem Streckbalken

c-Trapezsprengwerk mit verschieblichem Sprengwerk

Die Streckbalken sind Vollwandträger, die meistens aus Brettschichtholz bestehen. Bei den Verbindungen ist darauf zu achten, dass diese druck- und zugfest ausgeführt sind. Der Druck wird meist über die Kontaktflächen übertragen und der Zug über Knotenbleche, Bolzen und Dübel. Für die Stützenfüße kommen verschiedenste Konstruktionen zum Einsatz, oft werden Stahlbauteile mit dem Beton und dem Fuß verbunden. Es werden auch Köcherfundamente verwendet, die dann aus gegossen werden.

Anschlussdetails der Stützen an den Streckbalken und der Stützenfüße

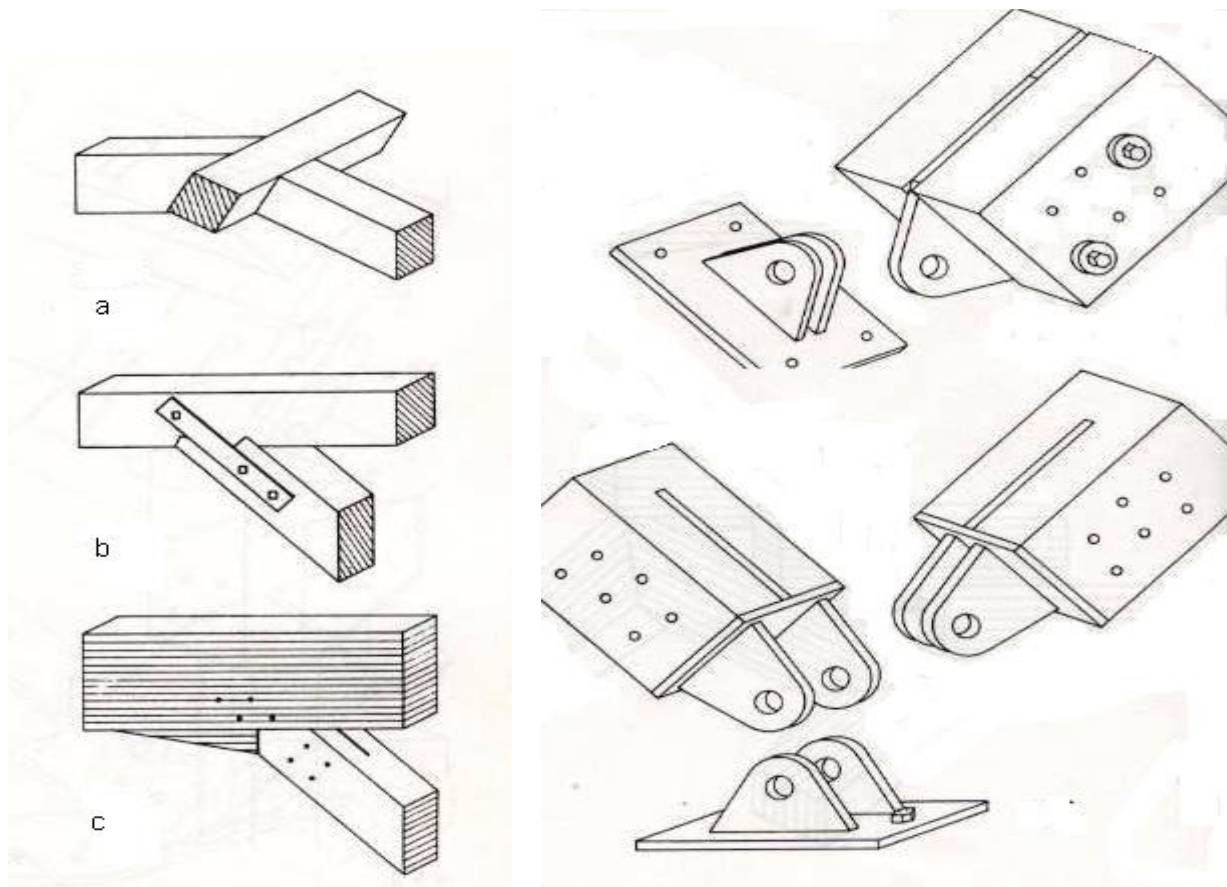


Abb-7.5: Anschlussdetails [Alois Mucha Holzbrücken S.41-42]

Beispiel eines Sprengwerks:

-Steg über die L182 bei Bad Dürkheim

-Baujahr 1974

-Brettschichtholz

-Nutzbare Breite 2 m

-Streckbalken 82/18,5 cm

-Stützen 42/26 cm

-Querträger 20/18

-Längsträger 18/18

-Aussteifung durch Querverband zwischen den Streckbalken und durch die Rahmenbildung der Stützen

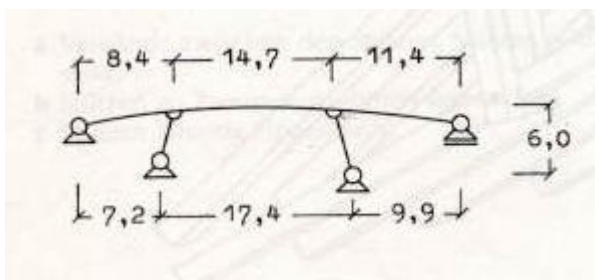


Abb-7.6/7: Beispiel Sprengwerk [Alois Mucha Holzbrücken S.41-42]

7.3 Hängewerke

Bei einem Hängewerk ist der Balken an einem Stabwerk aufgehängt. Nach der Zahl dieser Aufhängepunkte ordnet man das Hängewerk in ein-, zwei- oder mehrfache Hängewerke ein. Bei rein vertikaler Belastung entstehen in einem Hängewerk keine horizontalen Auflagerkräfte. Bei Hängewerken ist keine erforderliche Mindestzahl von Stäben, wie bei Fachwerken, erforderlich. Deshalb muss für die seitliche Stabilisierung ein Verband angeordnet werden. Dieser kann unterschiedlich je nach Typ ausgeführt werden. Bei offenen Brücken muss ein Querrahmen die seitlichen Kräfte in den Untergurtverband einleiten. Bei geschlossenen Rahmen werden mit einem Obergurtverband die Kräfte in die Portale an den Auflagern oder ebenfalls durch Querrahmen in den Untergurtverband weitergeleitet. Die Verbände können auch bei Hängewerken aus Scheiben bestehen.

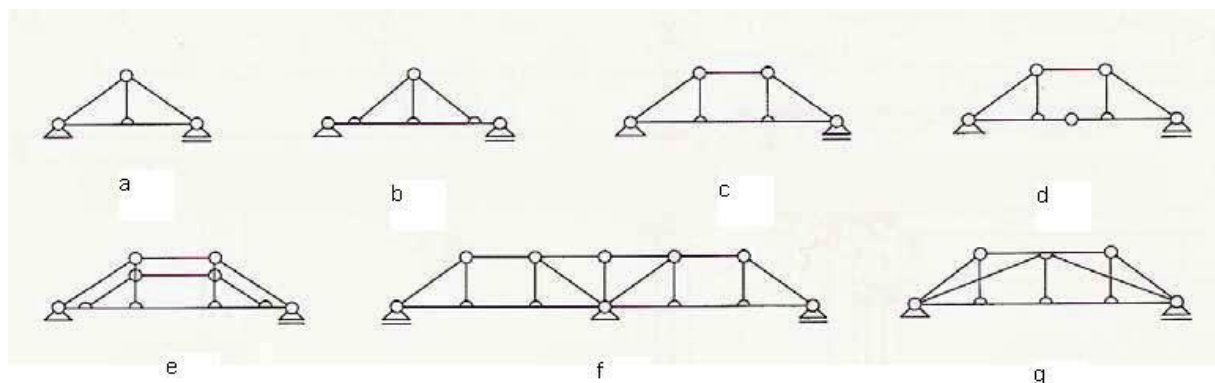


Abb-7.8: einfache, zweifache und mehrfache Hängewerke[Alois Mucha Holzbrücken S.58]

a-einfaches Hängewerk (Dreifachhängewerk)

b-einfaches Hängewerk mit außermittigem Strebenanschluss

c-zweifaches Hängewerk (Trapezhängewerk)

d-Trapezhängewerk mit gelenkig gestoßenem Streckbalken

e-zweifeldriges Hängewerk mit doppelten Streben und zwei Spannriegeln

f-zweifeldriges Hängewerk

g-dreifaches Hängewerk (zweiteiliges Pfostenfachwerk)

Bis auf einige Ausnahmen sind die Knoten, wie bei Fachwerken, ausgebildet. Dabei handelt es sich um Hängewerkknoten und Querträgeranschlüsse.

Anschlussdetails der Hängewerkknoten und der Querträgeranschlüsse

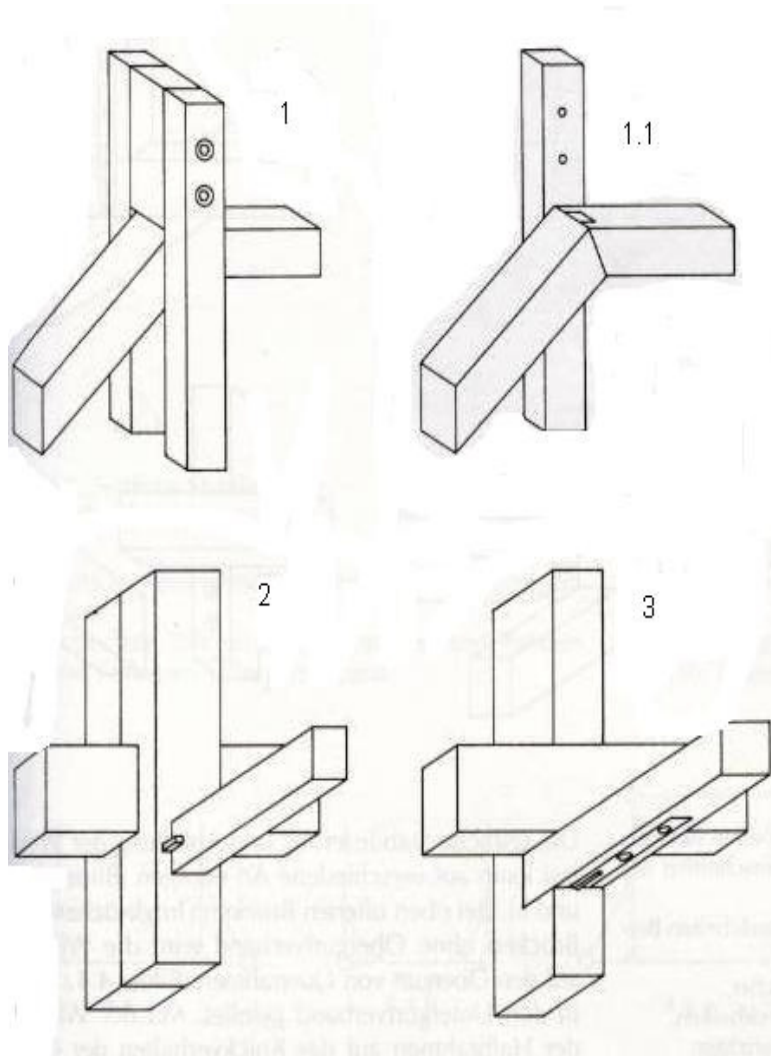


Abb.-1 und Abb.-1.1 stellen den oberen Knoten einer zweiteiligen Hängesäule dar. Die Verbindung wird durch eine Gehrung mit Zapfen, einem Beiholz, Dübeln und Bolzen hergestellt.

Bei Abb.-2 ist der Streckbalken in die zweiteilige Hängesäule eingeklattet und der Querträger der durch die Hängesäule gesteckt ist wurde verkeilt.

Abb.-3 zeigt, dass Streckbalken und Querträger in einer Ausklinkung der Hängesäule stecken.

Abb-7.9: Hängewerkknoten und Querträgeranschlüsse [Alois Mucha Holzbrücken S.59]

Beispiel eines Hängewerkes:

[Ing., Holzbau / Brückenbau D.Patzwahl GmbH]

Bongossihängewerkbrücke in Uelzen:

- Baujahr 1999
- Gesamtlänge: 14,69 m
- Gehwegbreite: 2,50 m
- Gesamtbreite: 3,11 m
- Überhöhung 6 cm,
- Belastung 500kg/m²,
- Stahlrahmen ST 37-2 (Verband)
- Geländer 120cm

Abb-7.9: Beispiel Hängewerk

7.4 Fachwerke

Fachwerke sind gekennzeichnet durch ihre primär durch Normalkräfte beanspruchten Stäbe. Um das zu ermöglichen, ist es nötig einige Voraussetzungen zu schaffen. Es ist nötig, dass die Belastungen in den Knoten angreifen, dass die Stabachsen gerade sind, dass die Stäbe gelenkig miteinander verbunden sind und dass eine Mindestanzahl von Stäben vorhanden ist.

Die Mindestanzahl der Stäbe (s) hängt von der Anzahl der Auflagerkräfte (a) und der Anzahl der Knoten (k) ab. Um das zu kontrollieren gibt es eine einfache kleine Rechnung. Diese lautet:

- $s=2 \times k - a$ für ebene Fachwerke
- $s=3 \times k - a$ für räumliche Fachwerke

Da die Stäbe gelenkig angeschlossen werden kommt nur im Rechenmodell vor. In der Realität ist das aber nicht so schlimm, da die Nebenspannungen in der Regel vernachlässigbar gering sind. Es ist aber darauf zu achten, dass außermittige Stabanschlüsse nicht immer zu vermeiden sind. Diese zusätzlichen Spannungen sind manchmal sehr beachtlich und müssen berücksichtigt werden.

Da es früher schlechte zugfeste Verbindungen gab, wurden die Streben so angeordnet, dass sie unter ständiger Last nur Druckkräfte aufnehmen mussten. Wenn es doch geschah, dass durch den Lastfall ständige Last und Verkehrslast-Zugspannungen auftraten, behalf man sich mit Systemen lastabhängiger Wirkungsweise. Dies bedeutet, dass eine Strebe aktiv wird und die davor auf Druck belastete Strebe Zug bekommt und wirkungslos wird.

In der heutigen Zeit ist das kein Problem mehr, da es heute viele zugfeste Verbindungen (Nagelplatten, Stabdübel, Bleche, seitliche Knotenplatten) im Holzbau gibt.

Die Grundformen der Fachwerke werden nach ihren Trägerumrissen bezeichnet.

Variation der Grundformen durch die Anordnung der Füllstäbe

- Pfostenfachwerk mit einseitig geneigten Diagonalen
- Gitterwerk
- Strebenfachwerk mit Pfosten
- Strebenfachwerk mit abwechselnd fallenden und steigenden Diagonalen

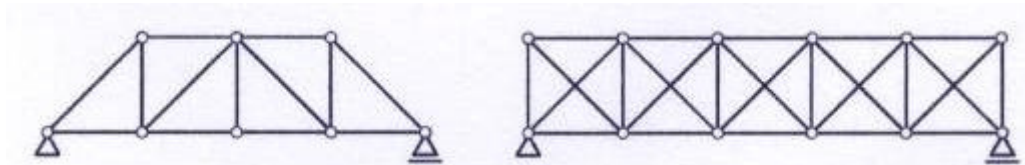
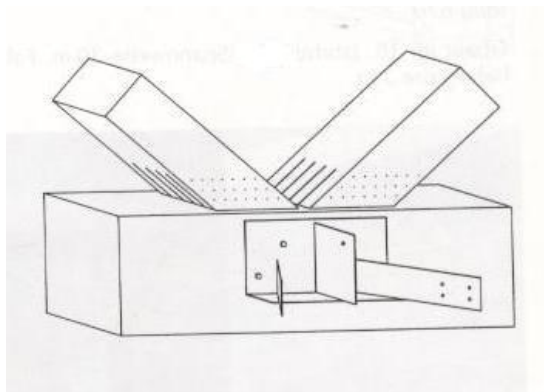


Abb-7.10: Einteiliges Pfostenfachwerk, Fachwerk mit gekreuzten Streben [Handbuch Brücken (Mehlhorn) Seite 301]

Knoten eines Fachwerkes



-BSB-Knoten (Blumer Systembinder) eingeschlitzte 5 mm Bleche mit Ausstanzungen für die 6,3 mm dicken Stahlstifte

Abb-7.11: Fachwerkknoten [Alois Mucha Holzbrücken S.91]

Beispiel eines Fachwerkes:

Donausteg in Tuttlingen



-Baujahr 1982
 -lichte Breite und Höhe 3 m
 -mit fallenden Streben, auf Zug beansprucht
 -Gurte 2×38/12
 -Verbindungsmitel: Knotenbleche, Appeldübel, Gekadübel, Stabdübel, Bolzen, Lochplatten, Nägel

Abb-7.12: Fachwerk [Alois Mucha Holzbrücken

S.120]

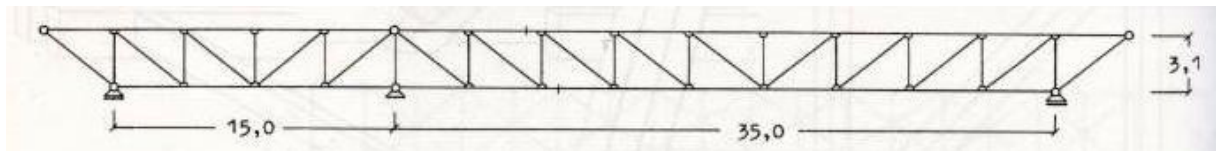


Abb-7.12: statisches System Fachwerk [Alois Mucha Holzbrücken S.120]

7.5 Bogenbrücken

Brücken, deren Tragwerk durch Bögen bestimmt ist, unterscheiden sich in der Ausbildung der Fahrbahnen. Diese können entweder aufgeständert oder abgehängt sein. Dazu kommen noch Systeme, deren Bogen direkt belastet werden.

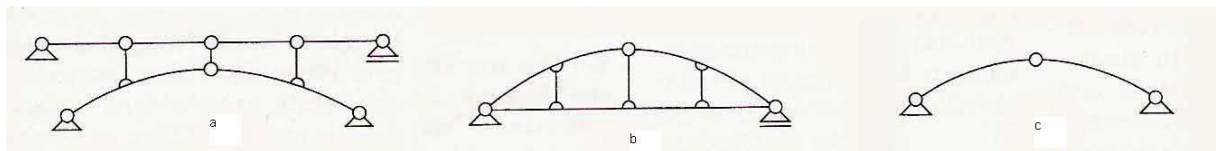


Abb-7.13: statische Systeme [Alois Mucha Holzbrücken S.153]

a-aufgeständerte Fahrbahn

b-abgehängte Fahrbahn

c-Belastung auf Bogen (Dreigelenkbogen)

Werden Bögen gemäß der Stützlinie geformt, herrschen im Querschnitt überwiegend Druckkräfte. In einzelnen Lastfällen können jedoch Biegemomente auftreten, die die Stützlinie verändern. Das bedeutet, dass die gewählte Trägerform einen Kompromiss darstellt. Dieser Belastung wirkt der Bogen mit einer Biegesteifigkeit entgegen. Es ist darauf zu achten, dass Bögen in der Ebene stabilitätsgefährdet sind. Sie können knicken oder ausweichen. Bei Bögen werden in der Regel in drei statische Systeme eingeteilt:

1. eingespannte Bögen (dreifach statisch unbestimmt)
2. Zweigelenkbögen (einfach statisch unbestimmt)
3. Dreigelenkbögen (statisch bestimmt)

Im heutigen Ingenieurholzbau wird der Dreigelenkbogen aus Brettschichtholz am Häufigsten eingesetzt, da die Größe der Bauteile bei der Herstellung, dem Transport und der Montage günstiger zu handhaben sind. Der Dreigelenkbogen ist auch in Verformungen und Verschiebungen den anderen statischen Systemen überlegen.

Beispiel einer Bogenbrücke:

Wildbrücke über die B96n bei Wilmshagen

-Dreigelenkbogen



-55 m Länge

-27 m Spannweite

-1,5 Mio. Baukosten

-600 m³ Holz

-66 t Stahlteile

Abb-7.14: Beispiel Bogenbrücke [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]



-12000 m³ Erdbewegung

-Binder 80/20 cm

-780 m³ Beton (Fundamente)

-3 Monate Bauzeit (2 Wochen Montage)

Abb-7.15: Gelenk Auflager [Ingenieurbüro Schwe-

sig + Lindschulte]

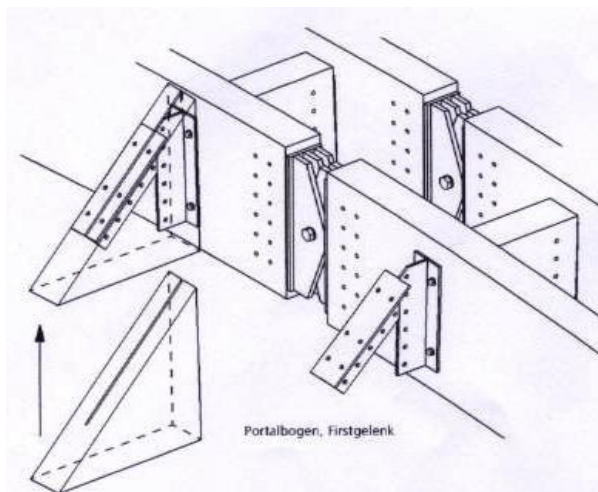


Abb-7.16: Firstgelenk [Informationsdienst Holz]

-mittlere Holzfeuchte 13-17%

-Firstgelenk mit Anschluss für den gekippten Portalträger

7.6 Hängesprengwerke

Beim Hängesprengwerk liegt nicht, wie beim reinen Hängewerk ein geschlossenes System vor, da die waagerechten Kräfte nicht in den Streckbalken sondern in die Auflager eingeleitet werden. Das Hängesprengwerk zeichnet sich durch eine Kombination aus Sprengwerken und Hängewerken aus, welches dem Kräfteverlauf optimal angepasst werden können. Da es eine Kombination ist, sind wichtige Systempunkte ähnlich oder gleich. Einzig der Kreuzungspunkt der Strebe und des Streckbalkens ist erneut zu beachten. Für diesen Punkt gibt es zwei Möglichkeiten ihn zu konstruieren. Entweder man verbindet die Streben miteinander oder man lässt diese frei vorbeilaufen, wobei die Kräfte direkt ins Lager geführt werden. Werden der Streckbalken und die Strebe miteinander verbunden, entsteht ein scherenartiger Knoten, welcher durch einen Stabdübel oder Bolzen verbunden wird.

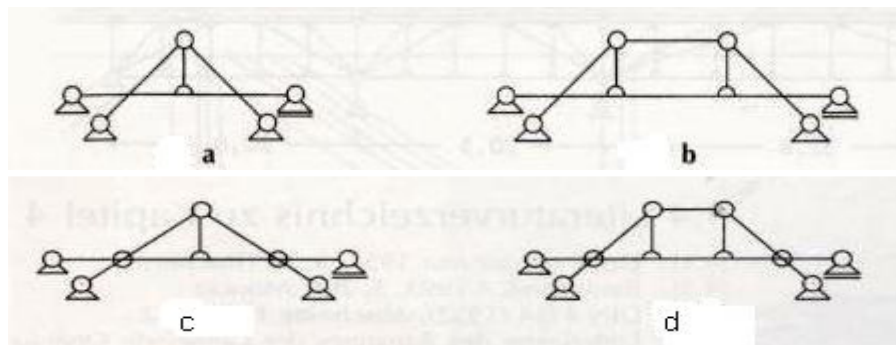


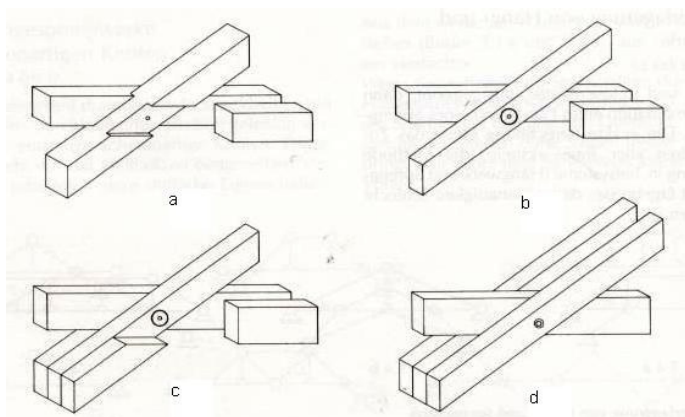
Abb-7.17: statisches Systeme/ ohne und mit Scherengelenk [Alois Mucha Holzbrücken S.73]

a-einfaches Hängesprengwerk

b-doppeltes Hängesprengwerk

c-dreifaches Hängesprengwerk (Scherengelenk)

d-vierfaches Hängesprengwerk (Scherengelenk)



a-Überblattung mit Bolzen

b-Dübel besonderer Bauart

c und d- auf Kontakt und mit Dübeln

Abb-7.1: scherenartiger Knoten [Alois Mucha Holzbrücken S.74]

7.7 Gitterwerke

Gitterwerke sind ähnlich den Fachwerken, nur sind sie viel engmaschiger. Es handelt sich um Skelettbauten mit durchlaufenden biegesteifen Ober- und Untergurten, an denen gelenkig angeschlossene Füllstäbe sitzen. Die gekreuzten Streben bilden ein gitterartiges (rautenförmiges) Bild. Die Systeme von Gitterträgern sind vielfach statisch unbestimmt und wurden demnach durch Faustformeln bemessen, was nur wenige Zeilen erfasste. Heutzutage ist es möglich Gitterwerke und andere statische Systeme durch moderne Stabwerksprogramme oder durch FEM zu lösen und zu optimieren. Zur Vorbemessung werden aber weiterhin die Faustformeln angewendet.

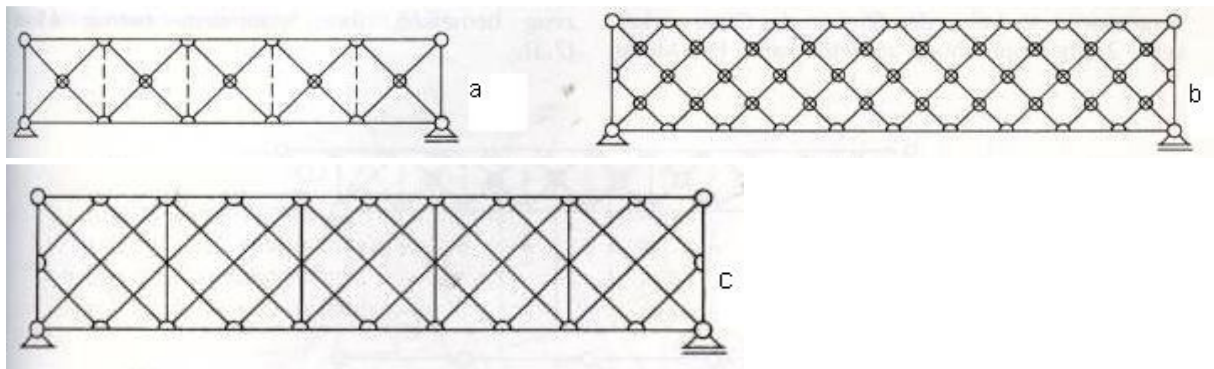


Abb-7.1: Typen von Gitterträgern [Alois Mucha Holzbrücken S.141]

a-Howescher Träger

b-pfostenloser Townscher Träger mit zweifacher Raute

c-Towscher Träger mit zweifacher Raute und druckfesten Pfosten

7.8 Hängebrücken

Der klassische Typ der Hängebrücke ist die unversteifte bis mäßig versteifte Konstruktion. Bei dieser Art liegen die Beläge meist direkt auf den Seilen oder sind durch vertikale Hänger mit dem Seil verbunden. Diese sehr instabilen Bauwerke (stark schwankend) werden oft auf Spielplätzen eingesetzt. Die Seile müssen zugfest verankert werden. Bei versteiften Hängebrücken ist das statische System nicht verschieblich sondern bestimmt oder unbestimmt. Die Stabilisierung erfolgt durch Längsträger (z.B. Seilpaar) und Verbände die zu den Ufern gespannt werden.

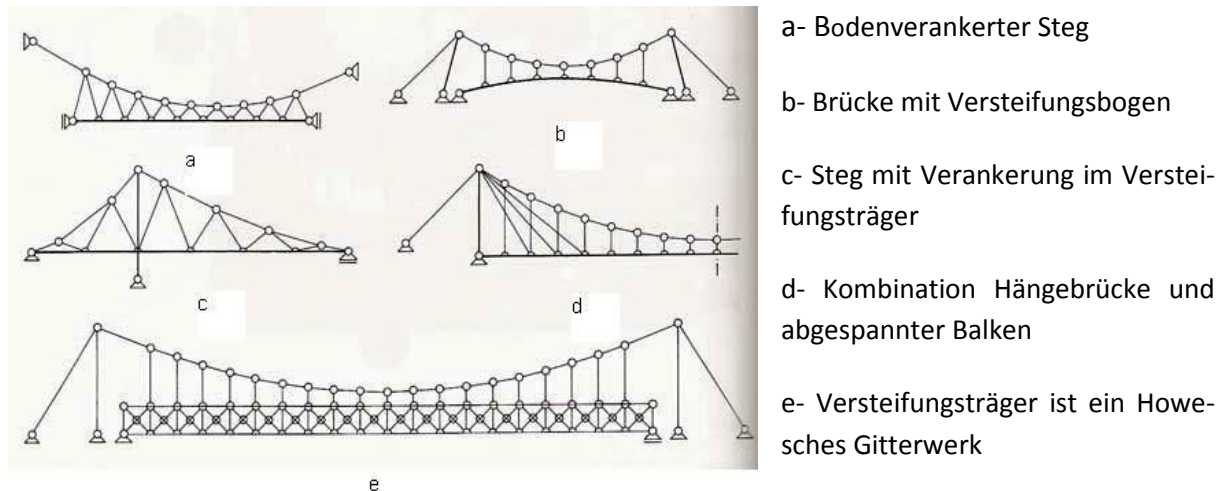


Abb-7.1: versteifte Hängebrücken [Alois Mucha Holzbrücken S.178]

7.9 weitere Konstruktionsformen (Sonderformen)

Weitere Tragwerksformen im Holzbrückenbau sind unter Anderem der Kopfbandbalken, der abgespannte und unterspannte Balken und die beweglichen Brücken.

Der Kopfbandbalken ist ein mehrfeldriger, einstöckiger Rahmen mit aufgelösten Ecken. Die Streben und Stützen leiten die Kräfte direkt ins Auflager.

Beim abgespannten Balken (Schrägseilträger) verlaufen die Abspannseile oder Rückhaltestäbe gerade, da sie nur am Ende belastet sind. Genau wie bei Hängebrücken sind diese im Boden oder im Balken verankert und nehmen reine Normalkräfte auf.

Die unterspannten Balken entsprechen einem Stabbogen bzw. einem zweifachen Hängewerk mit umgekehrten Vorzeichen. Diese Unterspannung besteht aus zugfesten Rund- oder Flachstählen, Seilen oder Holzstäben. Weitere Konstruktionsformen sind der Vollwandrahmen und die Faltwerke.

8. Einleitung Zweiter Abschnitt

Im zweiten Themenkomplex wird eine Beispielbrücke untersucht. Diese Brücke wird aus gekrümmten Brettschichtholzträgern, als Dreigelenkbogen hergestellt. Schwerpunkte dieses Abschnittes sind die Beschreibung dieses Bauwerks und dessen Konstruktionsdetails, verschiedene ausgeführte Beispiele, der konstruktive und chemische Holzschutz nach DIN 68800, die Bemessung des Bogens gemäß der Planung, eine Optimierung der Stützlinie und die Betrachtung der Gelenke und deren Nachweis. Abschließend erfolgt die Beurteilung des Bauwerks aus statischer, ökologischer und ökonomischer Sicht.

Die Berechnungen werden per Hand und mit Unterstützung mehrerer Programme durchgeführt. Es werden die Erddrücke ermittelt, die Stützlinie untersucht, die Bogenform überprüft, Schnittkräfte ermittelt, der Querschnitt nachgewiesen und die Gelenke untersucht.

8.1 Hauptabmessungen der Konstruktion

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| • Stützweite | 32,00 m |
| • Lichte Weite | 31,10 m |
| • Lichte Höhe | ≥4,70 m |
| • Breite zw. den Geländern | 38,9 m |
| • Kreuzungswinkel | 100 gon |
| • Brückenfläche | 1244,80 m ² |
| • Irritationsschutz | Holz (2 m) |
| • Breite zw. den Irritationsschutz | 37,40 m |
| • Höhe des Stichs im First | 6,945 m |

9. Erläuterungsbericht zum Bauwerk

9.1 Lage des Bauwerks

Das Bauwerk wird im Zuge des Baus der B96neu auf Rügen errichtet. Sie ist zwischen Bergen und Samtens bei Bau-km 4+420,000 vorgesehen und wird der zur sicheren Querung der vorkommenden Tierarten und der Vernetzung der Lebensräume dienen. Die Brücke wird die B96neu und die B96alt überspannen und in einem Kreuzungswinkel von 100gon errichtet. Da das vorhandene Gelände weitestgehend erhalten bleiben soll, liegt die Trasse etwa auf der Höhe des vorhandenen Geländes. Dies bedeutet für die Brücke, um einen rampenartigen Effekt zu vermindern, dass weiträumig eine Angleichung des Geländes erfolgen muss.



Abb-9.1: Lageplan [Google Earth]

9.2 Bauwerksgestaltung

Das Ziel der Gestaltung ist es, die Bedürfnisse der Tierwelt, der Pflanzenwelt und der Menschen (Autofahrers) gleichermaßen zu erfüllen. Die Form des Bauwerks ermöglicht es der Tierwelt möglichst geschützt das Gelände zu queren und bietet dem Menschen eine optisch interessante Bauwerkszu- und -durchfahrt. Durch das abgekippte Portal wird der Verkehrsteilnehmer sanft, ohne abrupten Übergang durch das Bauwerk geführt. Als Konstruktion bietet sich ein Bogentragwerk an. Das Bogentragwerk wird aus Herstellungs- und Transportgründen als Dreigelenkbogen ausgeführt.

9.3 Überbau

Der Überbau, als Dreigelenkbogen, besteht aus einer parallel gestellten Brettschichtholzkonstruktion, die durch Querträger stabilisiert wird. Die Träger sind mit den Abmaßen 100 cm/20 cm in BS-28h herzustellen. Die Hauptträger werden, zur weiteren Stabilisierung mit Querträger zu einem



Zwillingsträger mit Gewindestangen verbunden. Diese Querträger werden nicht zur Stabilisierung, in Querrichtung berücksichtigt. Zur Stabilisierung des Gesamtsystems in Querrichtung wird ein Belag aus Brettsperrholz auf die Hauptträger aufgebracht, dieser Belag wirkt als Scheibe. Die Portale werden dem Verlauf der Böschung angepasst. Dies bedeutet, dass sie in einer Neigung von 1:1,5 angeordnet werden. Desweiteren wird der äußere Binder schräg in einem Winkel von 45° ausgebildet.

Abb-9.2: Überbau [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

9.4 Gelenkausbildungen

Da es sich bei der Brücke um einen Dreigelenkbogen handelt, sind pro Binder drei Gelenke erforderlich. Bei den Gelenken handelt es sich um Stabdübelanschlüsse. Im Firstgelenk ist die Grundplatte mit zwei Schwertern und sechszehn Stabdübeln eingelassen. Die Kraftübertragung von der Grundplatte erfolgt über zwei bzw. drei Stahlplatten, die ineinander verzahnen sind. Ein Bolzen wird durch diese Verzahnung getrieben, um das Gelenk bilden.



Abb-9.3: Gelenke [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

9.5 Kappen

Für die Kappen wird eine vorgefertigte Lärchenholzschalung verwendet. Sie dienen dem konstruktiven Holzschutz des Portalträgers und schützen diesen vor Witterungseinflüssen. Vorteil dieser Lärchenverschalung ist der leichte Austausch bei Beschädigung.

9.6 Widerlager

Die aufgehenden Widerlager sind ca. 1,73 m hoch und 1,35 m stark und werden in der Betongüte C25/30 hergestellt. Die anschließenden Fundamente werden in einem Winkel von 15° parallel zum Auflagerpunkt hergestellt. Dies ermöglicht eine bessere Übertragung des Horizontalschubs in die Gründungssohle. Um Zwangsschnittkräfte durch Setzungen zu unterbinden, wird das Widerlager durch drei Raumfugen getrennt. Dazu kommen zusätzliche Scheinfugen mit den dazugehörigen bewehrungstechnischen Maßnahmen.

9.7 Abdichtung und Aufbau

Die Abdichtung des Bauwerkes gegenüber schädlichen Einflüssen wie Wasser oder Wurzelbewuchs, ist bei Bauwerken dieser Art von Brücken besonders wichtig. Eine defekte Abdichtung kann die Lebensdauer des Bauwerkes enorm verkürzen oder eine kostspielige Reparatur nach sich ziehen. Im Auflagerbereich und am First ist ein Kupferriffelband vorgesehen, das die Funktion eines Schleppbleches einnimmt. Dieses Band soll sicherstellen, dass die Dichtung durch Bewegung im Auflagerbereich (Übergang zwischen Auflager und Brettsperrholz) nicht beschädigt wird. Im Firstbereich liegt das Blech nicht direkt auf dem Brettsperrholz auf, sondern kommt nach dem Geogitter.

Aufbau im Firstbereich

1. Inertol-Hafanstrich (in Lösemittel gelöstes Bitumen)
2. Polybitumen-Schweißbahn DIN 52133
3. Filtervlies aus verrottungsfesten Polyethylen DIN 54307
4. Polybitumen-Schweißbahn DIN 52133 zweilagig
5. Wurzelschutzfolie mit Schutzlage bitumenbeständig, rhizomenbeständig (wurzelbeständig), FLL geprüft, Oberseite beschiefert
6. Schutz und Drainagebahn aus Kautschuk mit einseitiger Noppenstruktur 2cm stark DIN 4095
7. Filtervlies aus verrottungsfestem Polyethylen DIN 54307
8. Nagetierschutz (Edelstahlgitter)
9. Geo-Gitter
10. Schleppblech, Kupferriffelblech, ≥ 2 mm nur im Firstbereich
11. Mineralsubstrat strukturbeständig/frostsicher $d=15\text{cm}$
12. Grobkörnige Böden nach ZTVE Abschnitt 9.2.4(1)
13. Mutterboden 30 cm / Sand 30 cm
14. Aussaat (Saatgutmischung gemäß LAP-Maßnahmeblatt Seite 700)
15. Erosionsschutzmatte (Kokos oder Jute)

9.8 Korrosionsschutz und Brandschutz

Korrosionsbeständigkeit von metallischen Bauteilen oder Verbindungsmitteln an nicht zugänglichen Stellen ist 4 mm stärker auszuführen als statisch erforderlich. Außerdem erhalten diese Bauteile eine Zinkauflage von mindestens 610g/m^2 einschließlich Chromatierung. (gem. DIN 1074 Abschn.6.3)

Der Brandschutz erfolgt gemäß der DIN 4102 Teil 4. Das Bauwerk wird so bemessen, dass es der Feuerwiderstandsklasse F30 entspricht. Es wird von einer Abbrandgeschwindigkeit ausgegangen, die bei $0,7\text{mm/min}$ liegt. Dies bedeutet, dass ungefähr 2 cm pro Luftseite in 30 min abbrennen und so nicht mehr statisch wirksam sind. Die Konstruktion muss für diesen Fall rechnerisch und konstruktiv ausgelegt werden. Dazu zählt unter Anderem, dass die Randabstände der Verbindungsmittel zu erhöhen sind.

9.9 Lastmodelle für das Bauwerk

Die Lastmodelle für das Bauwerk werden dem DIN Fachbericht 101 entnommen. Die Konstruktion wird für die ständigen Lasten (Eigengewicht, Überschüttung) und die veränderlichen Lasten in Kombination (Lastfälle) bemessen. Für die Verkehrslasten sind zwei Ansätze vorgesehen:

1. Lastmodell 1: Die Tandemachse von Fahrstreifen 2 (DIN FB 101 Pkt 4.3.2) mit den Achslasten ($\alpha_{Q2} \times Q_{2k}$) $0,8 \times 200\text{kN}=160\text{kN}$ und ohne die Flächenlast ($\alpha_{q2} \times q_{2k}$)
2. Nach DIN FB 101 Pkt. 5.6.3: Eine unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen auf der Brücke. Die Tandemachse mit den Achslasten 80kN und 40kN plus einer gleichmäßigen Flächenlast von 5kN/m^2 .

9.10 Sonstige Ausstattung des Bauwerks

1. Absturzsicherung: Das beidseitige Geländer ist auf einem zweifachgekrümmten Randträger befestigt, der auf dem Brettsper Holz auf liegt. Die Geländer aus Stahl werden gemäß den Plänen eines Architekten gestaltet. Diese stählernen Geländer haben einen Pfostenabstand von rund zwei Metern und besitzen eine Höhe von einem Meter.
2. Irritationsschutz: Auf der Brücke besteht der Irritationsschutz aus einer Holzwand. Diese Wände gehen anschließend in einen angeschütteten Damm über.
3. Zugangswartung: Für den Zugang zum Bauwerk sind Böschungstreppen angeordnet. Zusätzlich ist ein Raum von 75cm zwischen Geländer und Irritationsschutzwand vorgesehen. Dieser dient der Entwässerung und Begehung.

9.11 Herstellung

Die Herstellung des Bauwerkes erfolgt vor Ort und im Werk. Die Hauptträger aus BS14 werden komplett in der Werkstatt vorgefertigt, was eine hohe Qualität der Träger nach sich zieht. Diese Träger werden vor Ort in die vorgefertigten Widerlager eingefädelt und im Firstgelenk miteinander verbunden. Die Widerlager mit den Stahlgelenken (S235 JR) werden vor Ort gefertigt, es ist dabei auf eine hohe Genauigkeit zu achten.

Für die Zeit der Herstellung wird die B96alt verschwenkt, damit eine ungehinderte Montage erfolgen kann. Die B96neu ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht befahrbar.

Für den gesamten Bau der Brücke ist ein Zeitplan von fünf Monaten vorgesehen. Dazu gehören die Vorfertigung der Träger, die Herstellung der Unterbauten und der Aufbau. Für den Aufbau (ohne Überschüttung) der Brücke sind rund zwei bis drei Wochen vorgesehen.

9.12. Vergleich der Konstruktion mit einem Betonrahmenbauwerk

Im Laufe der Vorplanung fand ein Vergleich der Holzbogenkonstruktion mit einem Betonrahmenbauwerk statt. Im Vordergrund standen neben den Kosten vor allem die konstruktive Machbarkeit und die Umweltbelange, die für eine Grün- und Wildbrücke in der heutigen Zeit ausschlaggebend sein können.

<u>Holzbogenkonstruktion</u>	<u>Betonrahmenbauwerk</u>
<u>Vorteile:</u> • Bauzeit ca. 5 Monate • Verkehrsumleitung 2-3 Wochen • geringes Eigengewicht • gute Optik • große Festigkeiten • gut bearbeitbar • große Vorfertigung • beständig gegen Tausalz • hoher Substrataufbau • gute Instandsetzung (z.B. Unfall) • umweltfreundlich (CO²neutraler Baustoff, nachwachsend) • gute Energiebilanz • gute Akzeptanz in der Bevölkerung und Politik	<u>Nachteile:</u> • Bauzeit ca. 12-14 Monate • sehr massiv (Optik) • geringer Substrataufbau auf der gesamten Brücke • schlechte Energiebilanz (viele Transporte) • nicht immer von der Bevölkerung akzeptiert (Sinn, gut für die Betonindustrie) • hohes Eigengewicht
<u>Nachteile:</u> • geringere Nutzungsdauer • höhere Unterhaltskosten • unbeständig gegenüber Holz-	<u>Vorteile:</u> • Dauerhaftigkeit • Unterhalt • große Festigkeiten

schädlingen und der Witterung • hohes Quell- und Schwindmaß	• gut bearbeitbar(formbar)
<u>Gleiche Eigenschaften</u> • Die Kosten für beide Varianten wären auf dem gleichen Niveau • Die Rampenlängen der Bauwerkwerke sind in etwa gleich	

Tab.-9.12: Vergleich [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

9.13 Konstruktiver und Chemischer Holzschutz des Bauwerkes nach DIN 68800

Der Schutz des Holzes soll in erster Linie durch konstruktive Maßnahmen erfolgen, um die Belastung durch chemische Holzschutzmittel so gering wie möglich zu halten. Das Bauwerk ist gemäß der DIN 68800 (3) in die Gefährdungsklasse 3 einzustufen, dass heißt, dass Holz der Witterung oder Kondensation ohne direkten Erdkontakt ausgesetzt ist

- Konstruktiver Holzschutz:

Der konstruktive Holzschutz sollte so ausgelegt sein, dass Wasser abfließt und eingedrungene Feuchte austrocknen kann. Des Weiteren muss der Zutritt von holzerstörenden Insekten zu verdeckt angebrachtem Holz verhindert werden.

Es dürfen keine Oberflächen entstehen, auf denen Wasser stehen bleiben kann. Konstruktiver Holzschutz bedeutet auch, dass man für beanspruchte Holzbauteile Holzarten mit erhöhter Resistenz verwendet.

Der konstruktive Holzschutz bei dieser Brücke bezieht sich im Wesentlichen auf die Kappen aus Lärchenholzschalung und die Abdichtung zum Erdreich.

- Chemischer Holzschutz:

Der chemische Holzschutz ist eine vorbeugende Maßnahme, die zur Ergänzung des konstruktiven Holzschutzes dient. Da das Bauwerk in die Gefährdungsklasse 3 eingestuft ist, besteht eine Gefährdung durch Insekten, Pilze und Auswaschungen.

Dies bedeutet, dass das Holzschutzmittel folgendes erfüllen muss:

- Iv-insektenvorbeugend
- P-pilzwidrig (Fäulnisschutz)
- W-witterungsbeständig

Es dürfen nur chemische Holzschutzmittel eingesetzt werden, die ein gültiges Prüfzeichen besitzen. Die genaue Wahl des Holzschutzmittels ist bereits in der Planung festzulegen. Es werden Festlegungen zum Holzschutzmittel, zum Einbringverfahren, zur Einbringmenge, zur Fixierzeit und zu deren Nachweis getroffen (Es sind die Herstellerangaben zu beachten). Bei der Brücke ist der chemische Holzschutz durch streichen im Werk einzubringen.

Zusätzlich wird, zur Vermeidung von Schwindrissen, eine diffusionsoffene Fechte-Schutzlasur aufgebracht, die das schnelle Austrocknen des Holzes verhindern und das Eindringen von Feuchtigkeit verzögern soll.

10. Statische Berechnung

10.1 Vorbemerkung

Die Bemessung des Bogens und seiner Anschlussmittel erfolgt im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Sie beinhaltet nicht das komplette Bauwerk, sondern nur ausgewählte Elemente der Konstruktion. Für die Grenzzustände wird das Bogentragwerk mit verschiedenen Lastkombinationen belastet, woraus sich die maßgebenden Schnittgrößen ermitteln lassen. Diese werden mit Hilfe eines FEM-Programmes ermittelt und übernommen. Die Ermittlung der Schnittkräfte wird im Anhang dargestellt. Die Nachweise erfolgen mit einer Handrechnung. Einige Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit mussten mehrfach erfolgen, da der Einfluss des Kriechens untersucht wurde. Die Nachweise wurden verglichen und der Querschnitt mit seinen Festigkeitseigenschaften daraufhin angepasst.

10.2 Normen / Hilfsmittel

Zur Bemessung des Bogens und seiner Anschlussmittel wurden folgende Normen und Programme verwendet:

Normen:

- DIN 1074: 2006-09
- DIN-FB 101: 2003-03
- DIN 1052: 2004-08
- DIN 18800-1: 1990-11
- DIN 1054 2003-01

Software:

- RFEM-3 Dlubal
- RSTAB-6 Dlubal
- FRILO-R-2007-Q4
- Allplan 2006

10.3 Statisches System

Der Bogen kann in verschiedenen statischen Systemen ausgeführt werden, diese unterscheidet man durch die Anzahl ihrer Gelenke. Man unterscheidet zwischen Dreigelenkbogen, Zweigelenkbogen und eingespannten Bogen. Das statische System des hier untersuchten Bogens, ist der Dreigelenkbogen. Dieser zeichnet sich durch seine statische Bestimmtheit aus und kann allein mit seinen Gleichgewichtsbedingungen berechnet werden. Die Form des Bogens sollte der der Stützlinie im maßgebenden Lastfall nahekomen. Abweichungen von der Stützlinie erzeugen neben Normalkräften auch Momente und Querkkräfte, diese werden von der Biegesteifigkeit des Querschnittes aufgenommen. Da es sich durch die unterschiedlichen Lastfälle nicht vermeiden lässt, dass Momente und Querkkräfte, auftreten ist die jeweils gewählte Stützlinie ein Kompromiss.

Bei Bogen muss insbesondere darauf geachtet werden, dass der Bogenschub im Auflager aufgenommen werden kann. Das wird durch Zugbänder oder ausreichende Reibung sichergestellt. Der Bogenschub hängt mit dem Bogenstich zusammen, was bedeutet, dass je flacher der Stich ist, umso höher wird der Bogenschub. Bei dieser Konstruktion wurde aber darauf geachtet den Stich so klein wie möglich zu konstruieren, was geringere Erdarbeiten zur Folge hat. Die relativ hohe Horizontalkomponente soll durch eine schräge Gründungssohle kompensiert werden.

10.4 Stützlinie

Die Bogenform gemäß der Planung wurde bereits der Stützlinie angepasst. Dies bedeutet aber nicht, dass sie die optimale Form des Bogens darstellt. Da die Schnittkräfte nach der Bemessung jedoch bekannt sind, kann man die Abweichung von der aktuellen Stützlinie sehr genau darstellen. Ziel dieses Abschnittes soll es jedoch sein die Stützlinie graphisch zu konstruieren und zu optimieren.

Die graphische Ermittlung der Stützlinie wird im Anhang dargestellt.

10.5 Bogen

10.5.1 Abmaße

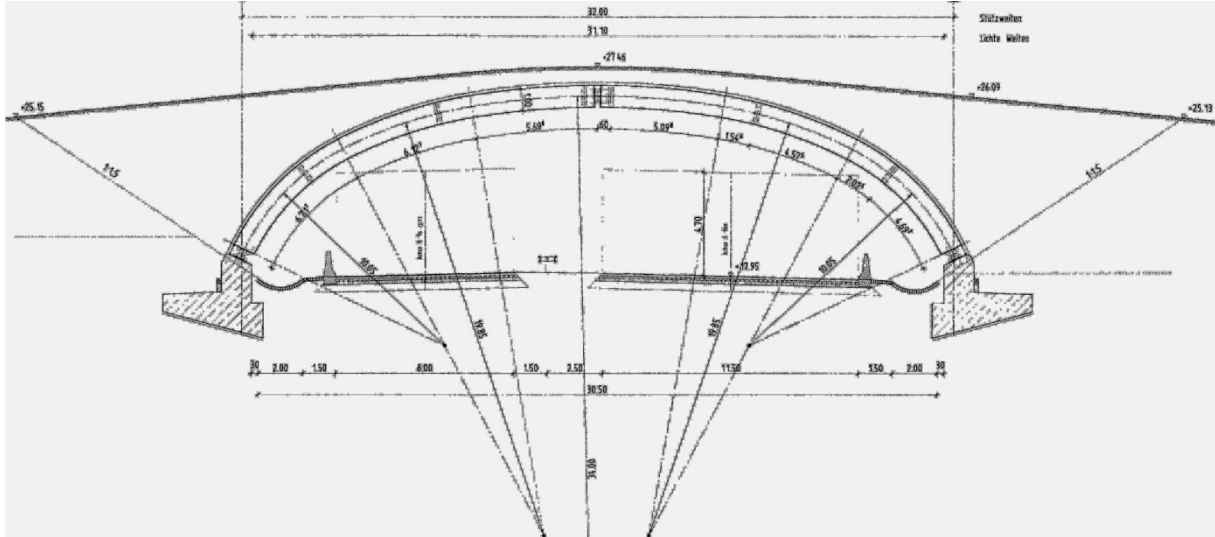


Abb-10.1: Bogengeometrie [Ingenieurbüro Schwesig + Lindschulte]

10.5.2 Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte

- Material:

Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL28h

DIN 1052:2004-08,
Tab.F.9

- Festigkeitskennwerte:

Biegung	$f_{m,k}=28 \text{ N/mm}^2$
Zug parallel	$f_{t,0k}=19,5 \text{ N/mm}^2$
Zug rechtwinklig	$f_{t,90k}=0,5 \text{ N/mm}^2$
Druck parallel	$f_{c,0k}=26,5 \text{ N/mm}^2$
Druck rechtwinklig	$f_{c,90k}=3,0 \text{ N/mm}^2$
Schub und Torsion	$f_{v,k}^d=3,5 \text{ N/mm}^2$

- Steifigkeitskennwerte:

Elastizitätsmodul

parallel	$E_{o,mean}^e=12600 \text{ N/mm}^2$
rechtwinklig	$E_{90,mean}^e=420 \text{ N/mm}^2$
Schubmodul	$G_{mean}^{d,e}=780 \text{ N/mm}^2$

- Rohdichtekennwerte:

Rohdichte	$\rho_k=410 \text{ kg/m}^3$
-----------	-----------------------------

Querschnittswert-Bezeichnung	Symbol	Wert	Einheit
Profilbreite	b	200.0	mm
Profilhöhe	h	1000.0	mm
Querschnittsfläche	A	2000.00	cm ²
Schubfläche	A _y	1666.67	cm ²
Schubfläche	A _z	1666.67	cm ²
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2)	I _y	1.667E+06	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2)	I _z	66666.70	cm ⁴
Trägheitsradius	i _y	288.7	mm
Trägheitsradius	i _z	57.7	mm
Querschnittsgewicht	G	82.0	kg/m
Mantelfläche	U	2.400	m ² /m
Torsionsträgheitsmoment	I _t	233071.00	cm ⁴
Widerstandsmoment	W _{y,max}	33333.30	cm ³
Widerstandsmoment	W _{y,min}	-33333.30	cm ³
Widerstandsmoment	W _{z,max}	6666.67	cm ³
Widerstandsmoment	W _{z,min}	-6666.67	cm ³
Statisches Moment	S _{y,max}	25000.00	cm ³
Statisches Moment	S _{z,max}	5000.00	cm ³

Rechteck 200/1000

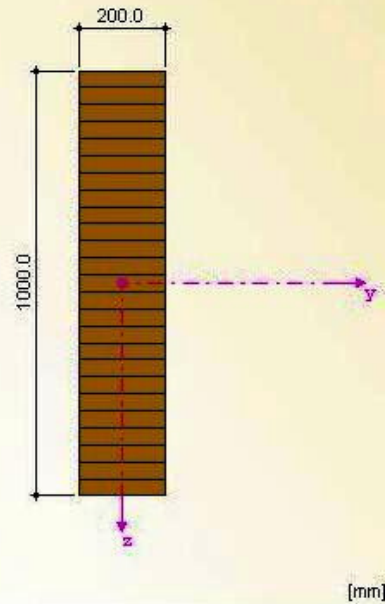


Abb-10.2: Querschnittswerte aus RFEM

10.5.3 Lastannahmen

• Ständige charakteristische Einwirkungen

Eigengewicht Bogen

$$G_{k,A} = A \cdot \rho_k$$

$$G_{k,A} = 0,2 \text{ m}^2 \cdot 4,1 \text{ kN/m}^3 = 0,82 \text{ kN/m}$$

$$A = 0,2 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m}$$

Ausbaulasten (Belag)

$$G_{k,B} = h \cdot \rho_k$$

$$G_{k,B} = 0,14 \cdot 4,1 \text{ kN/m}^3 = 0,574 \text{ kN/m} \approx 0,58 \text{ kN/m}$$

Belagstärke=14cm
ohne Abdichtung

Erddruck

• Bodenkennwerte

Reibungswinkel

$$\phi_k = 35^\circ$$

Wichte

$$\gamma_k = 19 \text{ kN/m}^3$$

DIN 1054 2003-01

• Erddruckbeiwerte

Wandbeschaffenheit

glatt $\rightarrow \alpha = 0$

Neigungswinkel

$$\delta = 0$$

Geländeneigungswinkel

$$\beta = 0$$

E DIN 4085

E DIN 4085 (Anhang A)

E DIN 4085 (Anhang B)

Sonderfall $\rightarrow \alpha = 0 \quad \delta = 0 \quad \beta = 0 \rightarrow$

$$K_{agh} = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$$

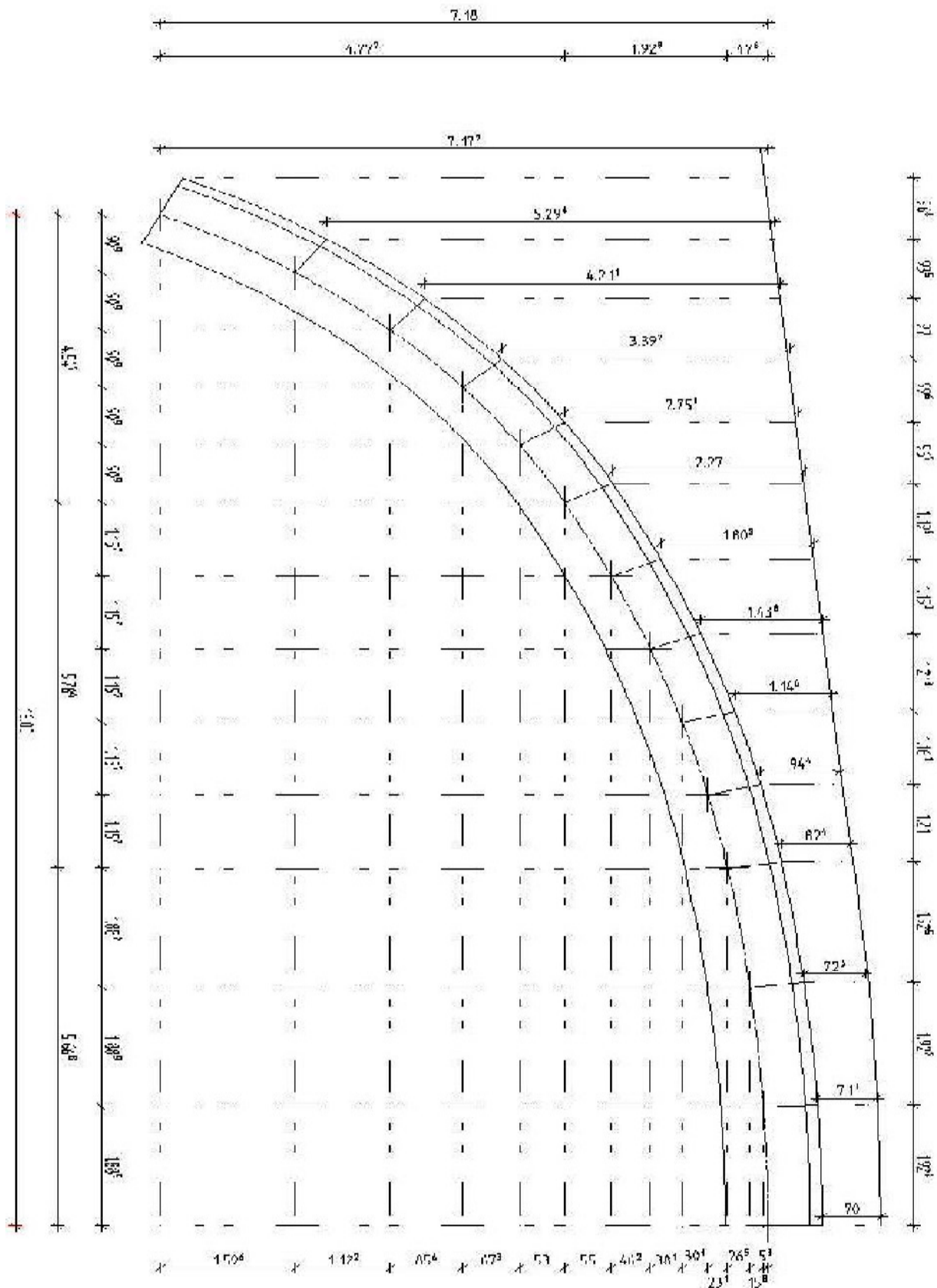
$$K_{ogh}=K_{og}=1-\sin\Phi$$

aktiver Erddruckbeiwert	$K_{agh}=\tan^2(45^\circ-35/2)=0,271$
Erdruhedruckbeiwert	$K_{ogh}=K_{og}=1-\sin 35=0,43$

- Erddruckermittlung

Für die Ermittlung des aktiven Erddruck und Erdruhedruck wird der Bogen in 13 Abschnitte geteilt. Diese werden für eine Überschüttungshöhe von 0,7m berechnet.

Erdauflast	$e_{vk}=0,7\text{m}\cdot 19\text{kN/m}^3$ $e_{vk}=13,3\text{kN/m}^2\cdot (1,924\text{m}/1,889\text{m})$ <u>$e_{vk}=13,55\text{kN/m}^2$</u>
aktiver Erddruck	$e_{agh}=0,7\text{m}\cdot 19\text{kN/m}^3\cdot 0,271$ $e_{agh}=3,6\text{kN/m}^2\cdot (0,53/0,53)$ <u>$e_{agh}=3,6\text{kN/m}^2$</u>
Erdruhedruck	$e_{ogh}=0,7\text{m}\cdot 19\text{kN/m}^3\cdot 0,43$ $e_{ogh}=5,72\text{kN/m}^2\cdot (0,53/0,53)$ <u>$e_{ogh}=5,72\text{kN/m}^2$</u>



aktiver Erddruck					
vertikale Erdauflast					
h	g	ev	Außen	Achse	Last
0,7	19	13,3	1,924	1,889	13,55
0,711	19	13,509	1,924	1,889	13,76
0,711	19	13,509	1,927	1,889	13,78
0,723	19	13,737	1,927	1,889	14,01
0,723	19	13,737	1,925	1,889	14,00
0,824	19	15,656	1,925	1,889	15,95
0,824	19	15,656	1,21	1,157	16,37
0,944	19	17,936	1,21	1,157	18,76
0,944	19	17,936	1,161	1,157	18,00
1,146	19	21,774	1,161	1,157	21,85
1,146	19	21,774	1,213	1,157	22,83
1,438	19	27,322	1,213	1,157	28,64
1,438	19	27,322	1,193	1,157	28,17
1,808	19	34,352	1,193	1,157	35,42
1,808	19	34,352	1,195	1,157	35,48
2,27	19	43,13	1,195	1,157	44,55
2,27	19	43,13	0,967	0,909	45,88
2,758	19	52,402	0,967	0,909	55,75
2,758	19	52,402	0,996	0,909	57,42
3,399	19	64,581	0,996	0,909	70,76
3,399	19	64,581	0,97	0,909	68,91
4,11	19	78,09	0,97	0,909	83,33
4,211	19	80,009	0,935	0,909	82,30
5,294	19	100,586	0,935	0,909	103,46
5,294	19	100,586	0,968	0,909	107,11
7,179	19	136,401	0,968	0,909	145,25

Tab.-10.1: vertikale Erdauflast

aktiver und passiver Erddruck						
horizontal						
ev	eah	erh	Außen	Achse	Last Aktiv	Last Ruhe
13,3	0,271	0,43	0,053	0,053	3,60	5,72
13,509	0,271	0,43	0,053	0,053	3,66	5,81
13,509	0,271	0,43	0,161	0,158	3,73	5,92
13,737	0,271	0,43	0,161	0,158	3,79	6,02
13,737	0,271	0,43	0,267	0,265	3,75	5,95
15,656	0,271	0,43	0,267	0,265	4,27	6,78
15,656	0,271	0,43	0,245	0,231	4,50	7,14
17,936	0,271	0,43	0,245	0,231	5,16	8,18
17,936	0,271	0,43	0,305	0,304	4,88	7,74
21,774	0,271	0,43	0,305	0,304	5,92	9,39
21,774	0,271	0,43	0,398	0,381	6,16	9,78
27,322	0,271	0,43	0,398	0,381	7,73	12,27
27,322	0,271	0,43	0,476	0,462	7,63	12,10
34,352	0,271	0,43	0,476	0,462	9,59	15,22
34,352	0,271	0,43	0,568	0,55	9,61	15,25
43,13	0,271	0,43	0,568	0,55	12,07	19,15
43,13	0,271	0,43	0,564	0,53	12,44	19,74
52,402	0,271	0,43	0,564	0,53	15,11	23,98
52,402	0,271	0,43	0,74	0,673	15,61	24,78
64,581	0,271	0,43	0,74	0,673	19,24	30,53
64,581	0,271	0,43	0,92	0,856	18,81	29,85
78,09	0,271	0,43	0,92	0,856	22,74	36,09
80,009	0,271	0,43	1,159	1,122	22,40	35,54
100,586	0,271	0,43	1,159	1,122	28,16	44,68
100,586	0,271	0,43	1,699	1,596	29,02	46,04
136,401	0,271	0,43	1,699	1,596	39,35	62,44

Tab.-10.2: horizontaler Erddruck (aktiv und ruhe)

- veränderliche charakteristische Einwirkungen

Lastmodell 1-Fahrstreifen 2 ohne UDL

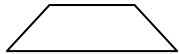
DIN-FB 101

Doppelachse $\alpha_Q \cdot Q_k = 0,8 \cdot 200 \text{ kN} = 160 \text{ kN}$

Abs.4.3.2 und 4.9.1

Für die Lastverteilung wird eine Überschüttung von 0,7m angesetzt.

Ersatzflächenlast $160 \text{ kN} \cdot 2 = 320 \text{ kN} / 3 \text{ m} \cdot 5 \text{ m}$
 $= 21,3 \text{ kN/m}^2$



Lastausbreitungswinkel 30°

Ersatzfläche $0,7 \text{ m} \cdot \tan 30^\circ = 0,404 \text{ m} \cdot 2 = 0,808 \text{ m}$
 $3,808 \text{ m} \cdot 5,808 \text{ m} = 22,12 \text{ m}^2$

Ersatzflächenlast $g_{\text{euvk}} = 320 \text{ kN} / 22,12 \text{ m}^2 = \underline{14,47 \text{ kN/m}^2}$

Die Horizontalkomponente wird zur einfachen Eingabe über die komplette Stablänge ermittelt.

Horizontalflächenlast $\Delta l = 7,578 \text{ m}$
 $7,578 \text{ m} \cdot 3,808 \text{ m} = 28,857 \text{ m}^2$
 $320 \text{ kN} / 28,857 \text{ m}^2 = 11,09 \text{ kN/m}^2$
 $g_{\text{euhk}} = 11,09 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,43 = \underline{4,77 \text{ kN/m}^2}$

Unplanmäßige Anwesenheit von Fahrzeugen

DIN-FB 101 Abs.5.6.3

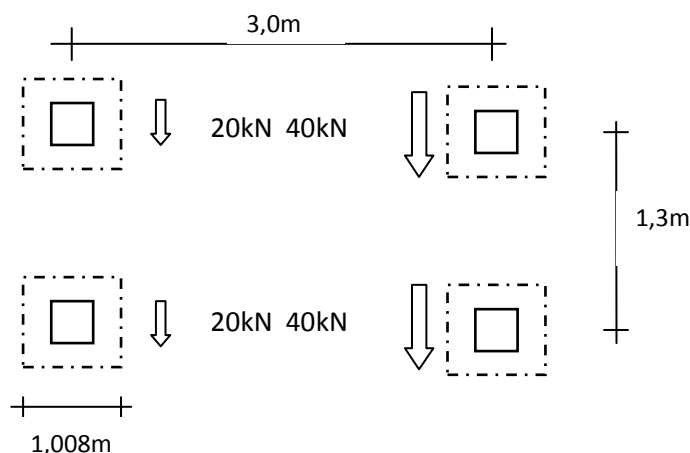
Achslasten $Q_{fk1} = 80 \text{ kN}$
 $Q_{fk2} = 40 \text{ kN}$

Abs.5.6.3(3)

abweichend von Abs.5.6.3(2) mit einer UDL von 5 kN/m^2

Abs.5.6.3(1)

Aufstandlänge $0,2 \text{ m} + 2 \cdot 0,404 \text{ m} = 1,008 \text{ m}$



Ersatzflächenlast je Aufstandsfläche	$g_{evk}=40\text{kN}/1,008\text{m}^2=39,345\text{kN}/\text{m}^2$ $g_{evk}=20\text{kN}/1,008\text{m}^2=19,68\text{kN}/\text{m}^2$
Horizontalflächenlast	$g_{ehk}=0,43*39,34\text{kN}/\text{m}^2=16,92\text{kN}/\text{m}^2$ $g_{ehk}=0,43*19,68\text{kN}/\text{m}^2=8,46\text{kN}/\text{m}^2$
Horizontalflächenlast der UDL	$g_{fk}=0,43*5,0\text{kN}/\text{m}^2=2,15\text{kN}/\text{m}^2$

10.5.4 Lastfälle

- Lastfälle sind wie im FEM-Programm angenommen

Lastfall 1 → Eigengewicht/ständig

Lastfall 2 → Ausbaulasten/ständig

Lastfall 3 → Erddruck-aktiv-rechts/ständig

Lastfall 4 → Erddruck-aktiv-links/ständig

Lastfall 5 → Erddruck-ruhe-links/ständig

Lastfall 6 → Erddruck-ruhe-rechts/ständig

Lastfall 7 → Erdauflast/ständig

Lastfall 8 → Lastmodell1-vertikal-mittig/veränderlich

Lastfall 9 → Lastmodell1-horizontal-mittig/veränderlich

Lastfall 12 → Lastmodell2-qk-vertikal-links/veränderlich

Lastfall 13 → Lastmodell2-qk-horizontal-links/veränderlich

Lastfall 14 → Lastmodell2-qk-vertikal-rechts/veränderlich

Lastfall 15 → Lastmodell2-qk-horizontal-rechts/veränderlich

Lastfall 16 → Lastmodell2-UA-vertikal-mittig /veränderlich

Lastfall 1 → Lastmodell2-UA-horizontal-mittig /veränderlich

10.5.5 Maßgebende Lastfallkombinationen

- Ständige und vorübergehende Situation S/V

DIN FB101 Abs.9.4.2
Gl.9.10

Ständige Einwirkungen

DIN FB101 Teil 4
Anhang C Tabelle C1

ungünstig	$\gamma_{Gsup}=1,35$
günstig	$\gamma_{Ginf}=1,00$

Horizontaler Erddruck aus Auflast

ungünstig	$\gamma_{Gsup}=1,50$
günstig	$\gamma_{Ginf}=1,00$

Verkehr

ungünstig	$\gamma_q=1,50$
günstig	0

Maßgebende Lastfallkombinationen Ständige und vorübergehende Situation S/V

- Ständige Einwirkungen

ungünstig $\gamma_{Gsup}=1,35$	LF1-Eigengewicht LF2-Ausbaulasten LF7-Erdauflast
günstig wirkt keine	

- Horizontaler Erddruck aus Auflast

ungünstig $\gamma_{Gsup}=1,50$	LF4 oder LF5 aktiv Erddruck oder Erdruchdruck linke Bogenhälfte
günstig $\gamma_{Ginf}=1,00$	LF3 oder LF6 aktiv Erddruck oder Erdruchdruck rechte Bogenhälfte

- Verkehr ist eine Außergewöhnliche Einwirkung

$$LK1=1,35*LF1+1,35*LF2+ 1,35*LF7+ 1,5*LF4 \text{ oder } 1,5*LF5 \\ +1,0*LF3 \text{ oder } 1,0*LF6$$

bei RFEM=LK11

- **Außergewöhnliche Einwirkungskombinationen G**

Ständige Einwirkungen

günstig $\gamma_{Ginf}=1,00$

Horizontaler Erddruck aus Auflast

günstig $\gamma_{Ginf}=1,00$

Verkehr

günstig $\gamma_q=1,00$

DIN FB101 Teil 4
Anhang C Tabelle C1

Maßgebende Lastfallkombinationen Außergewöhnliche Einwirkungen G

- Ständige Einwirkungen

günstig $\gamma_{Ginf}=1,00$ LF1-Eigengewicht
LF2-Ausbaulasten
LF7-Erdaufast

günstig wirkt keine

- Horizontaler Erddruck aus Auflast

günstig $\gamma_{inf}=1,00$ LF4 oder LF5 aktiv Erddrck oder
Erdrhedruck linke Bogenhälfte
LF3 oder LF6 aktiv Erddrck oder
Erdrhedruck rechte Bogenhälfte

- Verkehr

günstig $\gamma_q=1,00$ LF8 und LF9 Lastmodell 1
LF12-LF13-LF14-LF15 qk
LF16 und LF17 UA

**LK2=1,0*LF1+1,0*LF2+1,0*LF7+1,0*LF4 oder 1,0*LF5
+1,0*LF3 oder 1,0*LF6+1,0*LF8+1,0*LF9**

bei RFEM=LK7

**LK3=1,0*LF1+1,0*LF2+1,0*LF7+1,0*LF4 oder 1,0*LF5
+1,0*LF3 oder 1,0*LF6+1,0*LF12+1,0*LF13+1,0*LF14
+1,0*LF15+1,0*LF16+1,0*LF17**

bei RFEM=LK9

10.5.6 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Schnittkräfte werden in RFEM ermittelt. (siehe Anhang)

- **Druck in Faserrichtung (Stab30/LK11)**

DIN 1052:2004-08,
Abs.10.2.3

Schnittgrößen
am Stab 30 $N_d=1004,37\text{kN}$
 $M_d=0\text{kN/m}$

Binderabstand =0,8m
→ Eigengewicht $N_d=20,16\text{kN} \cdot 1,35=27,216\text{kN}$
 $M_d=0\text{kN/m}$

Bemessungsschnittgrößen

$$N_d=(1004,37\text{kN}-27,216\text{kN}) \cdot 0,8+27,216\text{kN}=808,94\text{kN}$$

- **Teilsicherheitsbeiwerte**

DIN 1052 Tab.1

ständige Einwirkungen $\gamma = 1,3$

- **Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED)**

DIN 1052 Tab.3

Erdlasten → ständig

- **Nutzungs-kategorie (NKL)**

DIN 1052 Abs.7.1.1

überdachte offene Bauwerke → NKL 2

- **Modifikationsbeiwert (k_{mod})**

DIN 1052 Tab.F1

$$k_{\text{mod}}=0,6$$

- **Nachweis Druck in Faserrichtung**

$$f_{c,o,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,o,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 \cdot 2,65\text{kN/cm}^2}{1,3} = 1,223\text{kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{808,94\text{kN}}{2000\text{cm}^2} = 0,40447\text{kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}} \leq 1 \quad \frac{0,40447\text{kN/cm}^2}{1,223\text{kN/cm}^2} = \underline{\underline{0,3307 < 1}}$$

DIN1052 Gl.46

- **Einfache Biegung (Stab10/LK9)**

DIN 1052:2004-08,
Abs.10.2.6

Schnittgrößen
am Stab 8 $N_d=0,21\text{kN}$
 $M_d=97,73\text{kN/m}$

Binderabstand =0,8m
→Eigengewicht $M_d=13,27\text{kN/m} \cdot 1,35=17,91\text{kN/m}$
Bemessungsschnittgrößen

$$M_d=(97,73\text{kN/m}-17,91\text{kN/m}) \cdot 0,8+17,91\text{kN/m}=81,766\text{kN/m}$$

- **Teilsicherheitsbeiwerte**

DIN 1052 Tab.1

ständige Einwirkungen $\gamma =1,3$

- **Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED)**

DIN 1052 Tab.3

Erdlasten→ kurz

- **Nutzungs-kategorie (NKL)**

DIN 1052 Abs.7.1.1

überdachte offene Bauwerke→ NKL 2

- **Modifikationsbeiwert (k_{mod})**

DIN 1052 Tab.F1

$$k_{mod}=0,9$$

- **Nachweis Einfache Biegung**

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,8\text{kN/cm}^2}{1,3} = 1,938\text{kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{8176,6\text{kN/cm}}{33333,3\text{cm}^3} = 0,2453\text{kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad \frac{0,2453\text{kN/cm}^2}{1,938\text{kN/cm}^2} = \underline{\underline{0,126 < 1}}$$

DIN1052 Gl.53

- **Einfache Biegung und Druck (Stab15/LK9)**

DIN 1052:2004-08,
Abs.10.2.8

Schnittgrößen
am Stab 8 $N_d=728,37\text{kN}$
 $M_d=380,53\text{kN/m}$

Binderabstand =0,8m
→ Eigengewicht $N_d=18,55\text{kN} \cdot 1,35=25,04\text{kN}$
 $M_d=18,93\text{kN/m} \cdot 1,35=25,55\text{kN/m}$

Bemessungsschnittgrößen
 $N_d=(728,37\text{kN/m}-25,04\text{kN/m}) \cdot 0,8+25,04\text{kN/m}=587,704\text{kN}$
 $M_d=(380,53\text{kN/m}-25,55\text{kN/m}) \cdot 0,8+25,55\text{kN/m}=309,534\text{kN/m}$

- **Teilsicherheitsbeiwerte**

DIN 1052 Tab.1

ständige Einwirkungen $\gamma = 1,3$

- **Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED)**

DIN 1052 Tab.3

Erdlasten → kurz

- **Nutzungs-kategorie (NKL)**

DIN 1052 Abs.7.1.1.1

überdachte offene Bauwerke → NKL 2

- **Modifikationsbeiwert (k_{mod})**

DIN 1052 Tab.F1

$k_{mod}=0,9$

- **Nachweis Biegung und Druck**

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,8\text{kN/cm}^2}{1,3} = 1,938\text{kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$f_{c,o,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,o,k}}{\gamma_m} = \frac{0,9 \cdot 2,65\text{kN/cm}^2}{1,3} = 1,834\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{30953,4\text{kN/cm}}{33333,3\text{cm}^3} = 0,9286\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{587,704\text{kN}}{2000\text{cm}^2} = 0,2938\text{kN/cm}^2$$

$k_{red}=1,0$

DIN1052 Abs.10.2.6

$$\left(\frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad \left(\frac{0,2938\text{kN/cm}^2}{1,834\text{kN/cm}^2} \right)^2 + \frac{0,9286\text{kN/cm}^2}{1,938\text{kN/cm}^2} = \underline{0,505} < 1$$

DIN1052 Gl.57

- **Schub aus Querkraft (Stab30/LK11)**

DIN 1052:2004-08,
Abs.10.2.9

Schnittgrößen
am Stab 30 $V_z=101,95\text{kN}$

Binderabstand =0,8m
→Eigengewicht $V_z=7,61\text{kN}*1,35=10,2735\text{kN}$

Bemessungsschnittgrößen

$$V_d=(101,95\text{kN}-10,2735\text{kN})*0,8+10,2735\text{kN}=83,6147\text{kN}$$

- **Teilsicherheitsbeiwerte**

DIN 1052 Tab.1

ständige Einwirkungen $\gamma =1,3$

- **Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED)**

DIN 1052 Tab.3

Erdlasten→ ständig

- **Nutzungs-kategorie (NKL)**

DIN 1052 Abs.7.1.1

überdachte offene Bauwerke→ NKL 2

- **Modifikationsbeiwert (k_{mod})**

DIN 1052 Tab.F1

$$k_{\text{mod}}=0,6$$

- **Schubfestigkeit**

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 \cdot 0,25 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 0,1153 \text{ kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{83,6147 \text{ kN}}{2000 \text{ cm}^2} = 0,0627 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad \frac{0,0627 \text{ kN/cm}^2}{0,1153 \text{ kN/cm}^2} = \underline{\underline{0,544 < 1}}$$

DIN1052 Gl.59

- **Planmäßig mittiger Druck / Knicken in der Bogenebene**

DIN 1052:2004-08,
Abs.10.3.1

Schnittgrößen
am Stab 30 $N_d=1004,37\text{kN}$
 $M_d=0\text{kN/m}$

Binderabstand =0,8m
→Eigengewicht $N_d=20,16\text{kN} \cdot 1,35=27,216\text{kN}$
 $M_d=0\text{kN/m}$

Bemessungsschnittgrößen

$$N_d=(1004,37\text{kN}-27,216\text{kN}) \cdot 0,8+27,216\text{kN}=808,94\text{kN}$$

- **Teilsicherheitsbeiwerte**

DIN 1052 Tab.1

ständige Einwirkungen $\gamma =1,3$

- **Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED)**

DIN 1052 Tab.3

Erdlasten→ ständig

- **Nutzungs-kategorie (NKL)**

DIN 1052 Abs.7.1.1

überdachte offene Bauwerke→ NKL 2

- **Modifikationsbeiwert (k_{mod})**

DIN 1052 Tab.F1

$$k_{mod}=0,6$$

- **Nachweis mittiger Druck/ Knicken
ohne Einfluss des Kriechens**

Stablänge $l=18,53\text{m}$

Bogenlänge zwischen
den Gelenken

Trägheitsradius
 $i_y=288,7\text{mm}$
 $i_z=57,7\text{mm}$

Faktor β $\beta=1,25$

DIN1052 Tab. E1

Schlankheitsgrad
 $\lambda_y = \beta \cdot l / i_y \rightarrow 1,25 \cdot 18530 / 288,7 = 80,2$
 $\lambda_z = \beta \cdot l / i_z \rightarrow 1,25 \cdot 18530 / 57,7 = 401,43$

bezogener Schlankheitsgrad $\lambda_{rel,c,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$

DIN1052 Gl.66

$$\lambda_{rel,c,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$E_{0,05} = 5/6 * E_{0,mean} = E_{0,05} = 1050 \text{ kN/cm}^2$$

$$G_{05} = 5/6 * G_{0,mean} = G_{05} = 65 \text{ kN/cm}^2$$

DIN1052 Tab. F9

$$\lambda_{rel,c,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{80,2}{\pi} * \sqrt{\frac{2,65 \text{ kN/cm}^2}{1050 \text{ kN/cm}^2}} = 1,28$$

DIN1052 Gl.66

$$\lambda_{rel,c,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{401,43}{\pi} * \sqrt{\frac{2,65 \text{ kN/cm}^2}{1050 \text{ kN/cm}^2}} = 6,42$$

Faktor β_c

$$\beta_c = 0,1$$

DIN1052 Abs.10.3.1(1)

$$k_y = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 1,368$$

DIN1052 Gl.65

$$k_z = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel,c,z} - 0,3) + \lambda_{rel,c,z}^2] = 21,41$$

Knickbeiwerte

DIN1052 Gl.64

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,c,y}^2}}; 1 \right\} = 0,54$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,c,z}^2}}; 1 \right\} = 0,024$$

$$f_{c,o,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,o,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 * 2,65 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 1,223 \text{ kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{808,94 \text{ kN}}{2000 \text{ cm}^2} = 0,40447 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_c * f_{c,o,d}} \leq 1$$

DIN1052 Gl.63

Nachweis:

$$\frac{0,40447 \text{ kN/cm}^2}{0,54 * 1,223 \text{ kN/cm}^2} = \underline{\underline{0,61 < 1}}$$

Der Nachweis Knicken um die Z-Achse muss nicht erfolgen, da Binder durch den Belag gehalten wird.

• **Nachweis mittiger Druck/ Knicken
unter Einfluss des Kriechens**

Der Einfluss des Kriechens muss berücksichtigt werden, da der Bemessungswert der ständigen Last 70% des Bemessungswertes der Gesamtlast überschreitet. Es hat eine Abminderung der Steifigkeiten um den Faktor $1/(1+k_{\text{def}})$ zu erfolgen.

DIN1052 Abs. 8.3 (3)

$$1/(1+k_{\text{def}}) = 1/(1+0,8) = 0,555$$

DIN1052 Abs. 8.3 (3)

$$E_{0,05} = 1050 \text{ kN/cm}^2 * 0,55 = 577,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$G_{05} = 65 \text{ kN/cm}^2 * 0,55 = 35,75 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel},c,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{80,2}{\pi} * \sqrt{\frac{2,65 \text{ kN/cm}^2}{577,5 \text{ kN/cm}^2}} = 1,73$$

DIN1052 Gl.66

$$\lambda_{\text{rel},c,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{401,43}{\pi} * \sqrt{\frac{2,65 \text{ kN/cm}^2}{577,5 \text{ kN/cm}^2}} = 8,65$$

Faktor β_c

$$\beta_c = 0,1$$

DIN1052 Abs.10.3.1(1)

$$k_y = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{\text{rel},c,y} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},c,y}^2] = 2,07$$

DIN1052 Gl.65

$$k_z = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{\text{rel},c,z} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},c,z}^2] = 38,33$$

Knickbeiwerte

DIN1052 Gl.64

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},c,y}^2}}; 1 \right\} = 0,312$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},c,z}^2}}; 1 \right\} = 0,0132$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} * f_{c,0,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 * 2,65 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 1,223 \text{ kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{808,94 \text{ kN}}{2000 \text{ cm}^2} = 0,40447 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c * f_{c,0,d}} \leq 1$$

DIN1052 Gl.63

Nachweis 1

$$\frac{0,40447 \text{ kN/cm}^2}{0,312 * 1,223 \text{ kN/cm}^2} = \underline{\underline{1,06 > 1}}$$

Der Nachweis Knicken um die Z-Achse muss nicht erfolgen, da Binder durch den Belag gehalten wird.

- **Einfache Biegung mit Druck (Stab31/LK11)**

DIN 1052:2004-08,
Abs.10.3.3

Schnittgrößen
am Stab 31 $N_d = -789,63 \text{ kN}$
 $M_d = -211,47 \text{ kN/m}$

Binderabstand $= 0,8 \text{ m}$
→ Eigengewicht $N_d = 18,67 \text{ kN} \cdot 1,35 = 25,2 \text{ kN}$
 $M_d = 19,11 \text{ kN/m} \cdot 1,35 = 25,8 \text{ kN/m}$

Bemessungsschnittgrößen

$N_d = (789,63 \text{ kN} - 25,2 \text{ kN}) \cdot 0,8 + 25,2 \text{ kN} = 636,744 \text{ kN}$
 $M_d = (211,47 \text{ kN/m} - 25,8 \text{ kN/m}) \cdot 0,8 + 25,8 \text{ kN/m} = 174,3 \text{ kN/m}$

- **Teilsicherheitsbeiwerte**

DIN 1052 Tab.1

ständige Einwirkungen $\gamma = 1,3$

- **Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED)**

DIN 1052 Tab.3

Erdlasten → ständig

- **Nutzungs-kategorie (NKL)**

DIN 1052 Abs.7.1.1

überdachte offene Bauwerke → NKL 2

- **Modifikationsbeiwert (k_{mod})**

DIN 1052 Tab.F1

$k_{mod} = 0,6$

- **Nachweis Einfache Biegung und Druck
ohne Einfluss des Kriechens**

Stablänge $l = 18,53 \text{ m}$

Bogenlänge zwischen
den Gelenken

Trägheitsradius
 $i_y = 288,7 \text{ mm}$
 $i_z = 57,7 \text{ mm}$

Faktor β $\beta = 1,25$

DIN1052 Tab. E1

Schlankheitsgrad
 $\lambda_y = \beta \cdot l_{ef,y} / i_y \rightarrow 1,25 \cdot 18530 / 288,7 = 80,2$
 $\lambda_z = \beta \cdot l_{ef,z} / i_z \rightarrow 1,25 \cdot 18530 / 57,7 = 401,43$

bezogener Schlankheitsgrad $\lambda_{\text{rel},c,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}}$

DIN1052 Gl.66

$$\lambda_{\text{rel},c,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}}$$

$$E_{0,05} = 5/6 * E_{0,\text{mean}} = E_{0,05} = 1050 \text{ kN/cm}^2$$

DIN1052 Tab. F9

$$G_{05} = 5/6 * G_{0,\text{mean}} = G_{05} = 65 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel},c,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{80,2}{\pi} * \sqrt{\frac{2,65 \text{ kN/cm}^2}{1050 \text{ kN/cm}^2}} = 1,28$$

DIN1052 Gl.66

$$\lambda_{\text{rel},c,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{401,43}{\pi} * \sqrt{\frac{2,65 \text{ kN/cm}^2}{1050 \text{ kN/cm}^2}} = 6,42$$

Faktor β_c $\beta_c = 0,1$

DIN1052 Abs.10.3.1(1)

$$k_y = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{\text{rel},c,y} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},c,y}^2] = 1,368$$

DIN1052 Gl.65

$$k_z = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{\text{rel},c,z} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},c,z}^2] = 21,41$$

Knickbeiwerte

DIN1052 Gl.64

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},c,y}^2}}; 1 \right\} = 0,54$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},c,z}^2}}; 1 \right\} = 0,024$$

Bezogener Schlankheitsgrad

DIN1052 Gl.69

Querträger werden für das Kippen berücksichtigt

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{l_{\text{ef}}}{\pi * i_m}} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05} * G_{05}}}$$

 $l_{\text{ef}} = 6,4 \text{ m}$

$$i_m = \frac{\sqrt{I_z * I_t}}{W_y} = \frac{\sqrt{66666 \text{ cm}^4 * 233071 \text{ cm}^4}}{33333,3 \text{ cm}^3} = 3,74 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{640 \text{ cm}}{\pi * 3,74 \text{ cm}}} * \sqrt{\frac{2,8 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{1050 \text{ kN/cm}^2 * 65 \text{ kN/cm}^2}}} = 0,764$$

Kippbeiwert

DIN1052 Gl.68

$$k_m = 1,56 - 0,75 * \lambda_{\text{rel},m} = 0,987 \quad \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m} \leq 1,4$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{636,744 \text{ kN}}{2000 \text{ cm}^2} = 0,318 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,o,d} = \frac{k_{\text{mod}} * f_{c,o,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 * 2,65 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 1,223 \text{ kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{17430 \text{ kN/cm}}{33333,3 \text{ cm}^3} = 0,523 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{\text{mod}} * f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 * 2,8 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 1,292 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{0 \text{ kN/cm}}{6666,67 \text{ cm}^3} = 0 \text{ kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} * f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m * f_{m,y,d}} + k_{\text{red}} * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

DIN1052 Gl.71

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} * f_{c,o,d}} + k_{\text{red}} * \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m * f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

DIN1052 Gl.72

 $k_{\text{red}}=1,0$

DIN1052 Abs.10.2.6

Nachweis:

$$\frac{0,318 \text{ kN/cm}^2}{0,54 * 1,223 \text{ kN/cm}^2} + \frac{0,523 \text{ kN/cm}^2}{0,987 * 1,292 \text{ kN/cm}^2} + 0 = \underline{\underline{0,89 < 1}}$$

DIN1052 Gl.71

- Nachweis Einfache Biegung und Druck unter Einfluss des Kriechens**

Der Einfluss des Kriechens muss berücksichtigt werden, da der Bemessungswert der ständigen Last 70% des Bemessungswertes der Gesamtlast überschreitet. Es hat eine Abminderung der Steifigkeiten um den Faktor $1/(1+k_{\text{def}})$ zu erfolgen.

DIN1052 Abs. 8.3 (3)

$$1/(1+k_{\text{def}}) = 1/(1+0,8) = 0,555$$

DIN1052 Abs. 8.3 (3)

$$E_{0,05} = 1050 \text{ kN/cm}^2 * 0,55 = 577,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$G_{05} = 65 \text{ kN/cm}^2 * 0,55 = 35,75 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_{\text{rel},c,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{80,2}{\pi} * \sqrt{\frac{2,65 \text{ kN/cm}^2}{577,5 \text{ kN/cm}^2}} = 1,73$$

DIN1052 Gl.66

$$\lambda_{\text{rel},c,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{401,43}{\pi} * \sqrt{\frac{2,65 \text{ kN/cm}^2}{577,5 \text{ kN/cm}^2}} = 8,65$$

$$\text{Faktor } \beta_c \quad \beta_c = 0,1$$

DIN1052 Abs.10.3.1(1)

$$k_y = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{\text{rel},c,y} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},c,y}^2] = 2,07$$

DIN1052 Gl.65

$$k_z = 0,5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{\text{rel},c,z} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},c,z}^2] = 38,33$$

Knickbeiwerte

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},c,y}^2}}; 1 \right\} = 0,312$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},c,z}^2}}; 1 \right\} = 0,0132$$

DIN1052 Gl.64

Bezogener Schlankheitsgrad

DIN1052 Gl.69

Querträger werden für das Kippen berücksichtigt

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{l_{\text{ef}}}{\pi \cdot i_m}} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05} * G_{05}}}$$

 $l_{\text{ef}} = 6,4\text{m}$

$$i_m = \frac{\sqrt{I_z * I_t}}{W_y} = \frac{\sqrt{66666\text{cm}^4 * 233071\text{cm}^4}}{33333,3\text{cm}^3} = 3,74\text{cm}$$

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{640\text{cm}}{\pi * 3,74\text{cm}}} * \sqrt{\frac{2,8\text{kN/cm}^2}{\sqrt{577,5\text{kN/cm}^2 * 35,75\text{kN/cm}^2}}} = 1,03$$

Kippbeiwert

DIN1052 Gl.68

$$k_m = 1,56 - 0,75 * \lambda_{\text{rel},m} = 0,79 \quad \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m} \leq 1,4$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{636,744\text{kN}}{2000\text{cm}^2} = 0,318\text{kN/cm}^2$$

$$f_{c,o,d} = \frac{k_{\text{mod}} * f_{c,0,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 * 2,65\text{kN/cm}^2}{1,3} = 1,223\text{kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{17430\text{kN/cm}}{33333,3\text{cm}^3} = 0,523\text{kN/cm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{\text{mod}} * f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 * 2,8\text{kN/cm}^2}{1,3} = 1,292\text{kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{0\text{kN/cm}}{6666,67\text{cm}^3} = 0\text{kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} * f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m * f_{m,y,d}} + k_{\text{red}} * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

DIN1052 Gl.71

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} * f_{c,o,d}} + k_{\text{red}} * \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m * f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

DIN1052 Gl.72

 $k_{\text{red}} = 1,0$

DIN1052 Abs.10.2.6

Nachweis:

$$\frac{0,318\text{kN/cm}^2}{0,312 * 1,223\text{kN/cm}^2} + \frac{0,523\text{kN/cm}^2}{0,79 * 1,292\text{kN/cm}^2} + 0 = \underline{\underline{1,346 > 1}}$$

DIN1052 Gl.71

Da die Nachweise einfache Biegung und Druck bzw. mittlerer Druck und Knicken unter Einfluss des Kriechens nicht eingehalten werden, wird der Abstand der Binder auf 0,7m verringert und die Festigkeitsklasse auf GL32h erhöht.

• **Nachweis mittlerer Druck/ Knicken**
unter Einfluss des Kriechens

DIN 1052:2004-08,
Abs.10.3.1

Bemessungsschnittgrößen/ Binderabstand 0,7m

$$N_d = (1004,37 \text{ kN} - 27,216 \text{ kN}) * 0,7 + 27,216 \text{ kN} = 711,2 \text{ kN}$$

Der Knickbeiwert k_c verändert sich nicht.

$$f_{c,o,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,o,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 * 2,9 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 1,34 \text{ kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{711,2 \text{ kN}}{2000 \text{ cm}^2} = 0,35 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_c * f_{c,o,d}} \leq 1$$

DIN1052 Gl.63

Nachweis:

$$\frac{0,35 \text{ kN/cm}^2}{0,312 * 1,34 \text{ kN/cm}^2} = \underline{\underline{0,837 < 1}}$$

• **Nachweis Einfache Biegung und Druck**
unter Einfluss des Kriechens

DIN 1052:2004-08,
Abs.10.3.3

Bemessungsschnittgrößen

$$N_d = (789,63 \text{ kN} - 25,2 \text{ kN}) * 0,7 + 25,2 \text{ kN} = 560,3 \text{ kN}$$

$$M_d = (211,47 \text{ kN/m} - 25,8 \text{ kN/m}) * 0,7 + 25,8 \text{ kN/m} = 155,8 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{560,3 \text{ kN}}{2000 \text{ cm}^2} = 0,28 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} * f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 * 3,2 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 1,477 \text{ kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{15580 \text{ kN/cm}}{33333,3 \text{ cm}^3} = 0,467 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} * f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m * f_{m,y,d}} + k_{red} * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

DIN1052 Gl.71

$k_{red} = 1,0$

Nachweis:

$$\frac{0,28 \text{ kN/cm}^2}{0,312 * 1,34 \text{ kN/cm}^2} + \frac{0,467 \text{ kN/cm}^2}{0,79 * 1,477 \text{ kN/cm}^2} + 0 \approx \underline{\underline{1,0}}$$

DIN1052 Gl.71

10.5.7 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird der Nachweis über die Begrenzung der Verformung erbracht. Für den Nachweis werden die charakteristischen Einwirkungen aus der quasi ständigen Bemessungskombination verwendet.

Grenzwerte der Verformung

DIN1074 Abs.9.2

$$w_{fin}-w_o \leq l/400$$

Endverformung der ständigen Einwirkungen

DIN1052 Abs.8.3 (7)
Gl.6

$$w_{g,fin} = w_{g,inst} \cdot (1+k_{def})$$

k_{def} ist der Verformungsbeiwert, der das Kriechen des Holzes berücksichtigt.

$$k_{def} = 0,8$$

DIN1052 Tab. F2

Da der Bemessungswert der ständigen Last 70% des Bemessungswertes der Gesamtlast überschreitet, hat eine Abminderung der Steifigkeit um den Faktor $1/(1+k_{def})$ zu erfolgen.

DIN1052 Abs. 8.3 (3)

$$1/(1+k_{def}) = 1/(1+0,8) = 0,555$$

DIN1052 Abs. 8.3 (3)

Abminderung der Steifigkeitskennwerte

$$E_{0,mean} = 12600 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,555 = 6993 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{0,mean} = 760 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,555 = 421,8 \text{ N/mm}^2$$

Die Durchbiegung infolge ständiger Einwirkungen mit dem abgeminderten Steifigkeitskennwerten, wird mit Hilfe von RFEM ermittelt. Es wird die Durchbiegung im Scheitel ermittelt.

$$w_{g,inst} = 47,8 \text{ mm} \cdot 0,8 = 38,24 \text{ mm}$$

für einen Binderabstand von 0,8m

Endverformung

$$w_{g,fin} = w_{g,inst} \cdot (1+k_{def}) = 38,24 \text{ mm} \cdot 1,8 \approx 68,8 \text{ mm}$$

Grenzwerte der Verformung

$$w_{fin} \leq l/400$$

$$7 \text{ cm} \leq 3200 \text{ cm} / 400$$

DIN1074 Abs.9.2

$$\underline{\underline{7 \text{ cm} \leq 8 \text{ cm}}}$$

10.6.2 Bemessung des Gelenkes

Die Schnittkräfte werden in RFEM ermittelt. (siehe Anhang)

• Pos.1 Normalkraft über Kontaktdruck

$$N_d = 531,34 \text{ kN}$$

$$A_{\text{Netto}} = 2000 \text{ cm}^2 - 2 * (10 \text{ cm} * 20 \text{ cm}) - 2 * 1,0 \text{ cm} * 80 \text{ cm}$$

$$A_{\text{Netto}} = 1440 \text{ cm}^2$$

$$f_{c,o,d} = \frac{k_{\text{mod}} * f_{c,0,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 * 2,65 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 1,223 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{531,34 \text{ kN}}{1440 \text{ cm}^2} = 0,369 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}} \leq 1 \quad \frac{0,369 \text{ kN/cm}^2}{1,223 \text{ kN/cm}^2} = \underline{\underline{0,302 < 1}}$$

Schnittgrößen siehe
Pos.2

DIN1052 Gl.3

DIN1052 Gl.46

• Pos.2 Nachweis der Stabdübel

Schnittgrößen $N_d = 659,5 \text{ kN (LK11)}$
am Stab 20 $V_d = 36,41 \text{ kN (LK9)}$

Binderabstand = 0,8m

→ Eigengewicht $N_d = 15,33 \text{ kN} * 1,35 = 20,7 \text{ kN}$
 $V_d = 0,7 \text{ kN} * 1,35 = 0,95 \text{ kN}$

Bemessungsschnittgrößen

$$N_d = (659,5 \text{ kN} - 20,7 \text{ kN}) * 0,8 + 20,7 \text{ kN} = 531,34 \text{ kN}$$

$$V_d = (36,41 \text{ kN} - 0,95 \text{ kN}) * 0,8 + 0,95 \text{ kN} = 29,3 \text{ kN}$$

DIN1052 Abs.12.2.3

• Mindestabstände von Stabdübeln

parallel zur Faserrichtung: $5 * d \rightarrow 5 * 12 \text{ mm}$
 $60 \text{ mm} < \text{vor. } 100 \text{ mm}$
rechtwinklig zur Faserrichtung: $3 * d \rightarrow 3 * 12 \text{ mm}$
 $36 \text{ mm} < \text{vor. } 100 \text{ mm}$
unbeanspruchtes Hirnholzende: $7 * d * \sin \alpha (\min. 3 * d) \rightarrow$
 $7 * 12 \text{ mm} = 84 \text{ mm} < \text{vor. } 100 \text{ mm}$
beanspruchter Rand: $3 * d \rightarrow 3 * 12 \text{ mm}$
 $36 \text{ mm} < \text{vor. } 100 \text{ mm}$
unbeanspruchter Rand: $3 * d \rightarrow 3 * 12 \text{ mm}$
 $36 \text{ mm} < \text{vor. } 100 \text{ mm}$

DIN 1052 Abs.12,3Tab.8

- **Nachweis der Stabdübelverbindung**

Die Stabdübel haben die Aufgabe die Querkkräfte in das Gelenk weiterzuleiten. Die Normalkräfte werden durch die Auflagerplatte aufgenommen.

Zulässige Belastung eines Stabdübels:

$$R_k = 4 * \sqrt{2} * \sqrt{2 * M_{y,k} * f_{h,k} * d}$$

DIN1052 Gl. 197
Holzbau Colling S.144
Gl.11.32

$$t_{reg} = 1,15 * 4 * \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} * d}}$$

DIN1052 Gl. 198

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 1,01 * d) * \rho_k$$

Colling Bsp. Tab.A-22

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 1,01 * 12\text{mm}) * 410\text{kg/m}^3 = 29,59\text{N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = k_\alpha * f_{h,0,k}$$

Colling Bsp Tab.A-22

$$k_\alpha = \frac{1}{(1,35 + 0,015 * d) * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$\alpha = 90^\circ$ Kraftrichtung zur
Faserrichtung

$$k_\alpha = \frac{1}{(1,35 + 0,015 * 12) * \sin^2 90 + \cos^2 90} = 0,654$$

Colling Bsp Tab.A-23

$$f_{h,\alpha,k} = 0,654 * 29,59\text{N/mm}^2 = 19,35\text{N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 360\text{N/mm}^2 * 12^{2,6} = 69070\text{N/mm}$$

Colling Bsp. Tab.A-22

$$t_{reg} = 1,15 * 4 * \sqrt{\frac{69070\text{N/mm}}{19,35\text{N/mm}^2 * 12\text{mm}}} = 80\text{mm} > 60\text{mm}$$

$$\frac{t_1}{t_{reg}} = \frac{60\text{mm}}{80\text{mm}} = 0,75$$

DIN1052 Abs.12.2.2(2)

$$R_k = 4 * \sqrt{2} * \sqrt{2 * 69070\text{N/mm} * 19,35\text{N/mm}^2 * 12\text{mm}}$$

$$R_k = 32,04\text{kN} * 0,75 = 24,03\text{kN}$$

$$R_d = \frac{k_{mod} * R_k}{\gamma_m} = \frac{0,9 * 24,03\text{kN}}{1,1} = \underline{19,66\text{kN}}$$

$k_{mod} = 0,9$ (LK9 kurz)
 $\gamma_m = 1,1$ DIN1052 Tab.G6

maximale Belastung eines Stabdübels:

$$\max V_d = 29,3\text{kN} \quad \Delta M^{vd} = 29\text{kN} * 0,3\text{m} = 8,8\text{kN/m} \quad \max N_d < 0$$

Polares Flächenträgheitsmoment 2.Grades des Stabdübelbildes

IP-Verfahren
Schneider Bautabellen
S.8.78

$$IP = \frac{n}{12} * [(nx^2 - 1) * \Delta x^2 + (nz^2 - 1) * \Delta z^2]$$

$$IP = \frac{16}{12} * [(2^2 - 1) * 10^2 + (8^2 - 1) * 10^2] = 8800\text{cm}^3$$

$$V_b = \sqrt{\left[\frac{V_z}{n} + \frac{M}{I_p} * \frac{(n_x-1)*\Delta_x}{2} \right]^2 + \left[\frac{N}{n} + \frac{M}{I_p} * \frac{(n_z-1)*\Delta_z}{2} \right]^2}$$

$$V_b = \sqrt{\left[\frac{29,3\text{kN}}{16} + \frac{880\text{kN/cm}}{8800\text{cm}^3} * \frac{(2-1)*10\text{cm}}{2} \right]^2 + \left[\frac{0}{16} + \frac{880\text{kN/cm}}{8800\text{cm}^3} * \frac{(8-1)*10\text{cm}}{2} \right]^2}$$

$$\underline{V_b < R_d} \quad \underline{4,20\text{kN} < 19,66\text{kN}} \quad \underline{0,214 < 1}$$

nach f-Verfahren

$$f = \frac{0,583}{2} = 0,2915$$

$$H_1 = \frac{M}{h_1} * f = \frac{880\text{kN/cm}}{70\text{cm}} * 0,2915 = 3,66\text{kN}$$

$$V_1 = \frac{V_z}{n} = \frac{29,3\text{kN}}{16} = 1,83\text{kN}$$

$$R = \sqrt{(3,66\text{kN}^2 + 1,88\text{kN}^2)} = 4,1\text{kN}$$

• Pos.3 Nachweis der Schlitzbleche

• Grenzlochleibungskraft für ein Blech

$$V_{l,R,d} = t * d_{St} * \alpha_1 * f_{y,k} / \gamma_m$$

Abhängig von den tatsächlichen Abständen darf e_1 höchstens mit $3*d_l$ und e höchstens mit $3,5*d_l$ in Rechnung gestellt werden.

Bedingungen für Abstände rechtwinklig zur Kraftrichtung

$$e_2 \geq 1,5 * d_l \text{ und } e_3 \geq 3,0 * d_l \\ 50\text{mm} > 1,5 * 13\text{mm} = 19,5\text{mm} \rightarrow 100\text{mm} > 3 * 13 = 39\text{mm}$$

$$e_2 = 1,2 * d_l \text{ und } e_3 = 2,4 * d_l \\ 50\text{mm} \neq 1,2 * 13\text{mm} = 15,6\text{mm} \rightarrow 100\text{mm} \neq 2,4 * 13\text{mm} = 31,2\text{mm}$$

Randabstand in Kraftrichtung

$$\alpha_1 = 1,1 * e_1 / d_L - 0,3 \rightarrow 1,1 * 39\text{mm} / 13\text{mm} - 0,3 = 3,0$$

$$\alpha_1 = 1,08 * e / d_L - 0,77 \rightarrow 1,08 * 45,5\text{mm} / 13\text{mm} - 0,77 = 3,01$$

$$V_{l,R,d} = 10\text{mm} * 12\text{mm} * 3,0 * 240\text{N/mm}^2 / 1,1$$

$$V_{l,R,d} = 78545,45\text{N}$$

$$\underline{V_b / 2 < V_{l,R,d}} \quad \underline{2,10\text{kN} < 78,5\text{kN}} \quad \underline{0,027 < 1}$$

Skript Stahlbau 1
Prof.-Dr.H.-U.Hoch

DIN18800-1
Schneider Bautabellen
17.Auflage

DIN18800-1 Gl.49
Bautabellen S.8.73

DIN18800-1 Abs.8.2.1.2

Der kleinere Wert ist
maßgebend

- **Schweißnaht Schlitzblech**

gewählt wird eine 3mm dicke umlaufende Kehlnaht

Nahtdickenbegrenzung:

DIN18800-1 Abs. 8.4
Bautabellen S.8.67

$$2 \leq a \leq 0,7 * \min t \rightarrow 2\text{mm} < 3\text{mm} < 0,7 * 10\text{mm}$$

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \rightarrow 3\text{mm} > \sqrt{10\text{mm}} - 0,5\text{mm} \rightarrow 2,66\text{mm}$$

Nahtlängenbegrenzung:

$$30 < l \leq 6 * a \rightarrow l = 800\text{mm}$$

$$\max l \leq 150 * a \rightarrow \max l = 150 * 3\text{mm} = 450\text{mm}$$

Rechnerisch wird eine Nutzbare Länge der Kehlnaht von 450mm angenommen. Es wird aber umlaufend um die Schlitzbleche geschweißt.

$$\sigma = \frac{M * z}{W} \quad W = \frac{b * h^3}{6} \quad W = 4 * \frac{0,3\text{cm} * 45\text{cm}^3}{6} = 18225\text{cm}^2$$

4mal die Schweißnaht

z=15cm Abstand Schwerachse Stabdübel bis Schweißnaht

$$\sigma = \frac{808\text{kN/cm} * 15\text{cm}}{18225\text{cm}^2} = 0,665\text{kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{Q}{A_w} = \frac{29,3\text{kN}}{54\text{cm}^2} = 0,543\text{kN/cm}^2$$

$A_w = 0,3\text{cm} * (4 * 45\text{cm})$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{0,665\text{kN/cm}^2^2 + 0,543\text{kN/cm}^2^2}$$

$$\sigma_{w,v} = 0,858 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w * f_{y,k} / \gamma_m \rightarrow 0,95 * 24\text{kN/cm}^2 / 1,1 = 20,72\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} < \sigma_{w,R,d} \rightarrow \underline{\underline{0,858\text{kN/cm}^2 < 20,72\text{kN/cm}^2}}$$

- **Pos.4 Gelenkbolzen**

Schnittgrößen $N_d=659,5\text{kN(LK11)}$
 am Stab 20 $V_d=36,41\text{kN(LK9)}$

Binderabstand $=0,8\text{m}$
 $\rightarrow$ Eigengewicht $N_d=15,33\text{kN} \cdot 1,35=20,7\text{kN}$
 $V_d=0,7\text{kN} \cdot 1,35=0,95\text{kN}$

Bemessungsschnittgrößen

$N_d=(659,5\text{kN}-20,7\text{kN}) \cdot 0,8+20,7\text{kN}=531,34\text{kN}$
 $V_d=(36,41\text{kN}-0,95\text{kN}) \cdot 0,8+0,95\text{kN}=29,3\text{kN}$

Nachweis auf Abscheren

DIN18800-1 Gl.47
 Bautabellen S.8.72

$$V_{a,d} = R = \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = \sqrt{531,34\text{kN}^2 + 29,3\text{kN}^2} = 553,2\text{kN}$$

gewählt: 1xM36 10.9 4-schnittig

3xt=25mm
 2xt=30mm

Grenzabscherkraft:

$$V_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k} / \gamma_m$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 36\text{mm}^2 = 1017,876\text{mm}^2$$

$$\alpha_a=0,55$$

$$f_{u,b,k}=1000\text{N/mm}^2 \text{ (Festigkeitsklasse 10.9)}$$

$$\gamma_m=1,1 \text{ (4-schnittige Verbindung)}$$

$$V_{a,R,d} = 1017,876\text{mm}^2 \cdot 0,55 \cdot \frac{1000\text{N/mm}^2}{1,1} = 508938\text{N} = 509\text{kN}$$

$$V_{a,R,d}=509\text{kN} \cdot 4=2036\text{kN}$$

$$\underline{\underline{V_{a,d} < V_{a,R,d}}}$$

$$\underline{\underline{553,2\text{kN} < 2036\text{kN}}}$$

$$\underline{\underline{0,272 < 1}}$$

- **Grenzlochleibungskraft für ein Blech**

$$V_{l,R,d} = t \cdot d_{St} \cdot \alpha_1 \cdot f_{y,k} / \gamma_m$$

DIN18800-1 Gl.49
 Bautabellen S.8.73

Abhängig von den tatsächlichen Abständen darf e_1 höchstens mit

$3 \cdot d_l$ und e höchstens mit $3,5 \cdot d_l$ in Rechnung gestellt werden.

Bedingungen für Abstände rechtwinklig zur Kraftrichtung

$$e_2 \geq 1,5 \cdot d_l \text{ und } e_3 \geq 3,0 \cdot d_l$$

$$220\text{mm} > 1,5 \cdot 36\text{mm} = 54\text{mm}$$

e_3 nicht vorhanden
 $e_2 \approx 220\text{mm}$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_l \text{ und } e_3 = 2,4 \cdot d_l$$

$$220\text{mm} \neq 1,2 * 36\text{mm} = 43,2\text{mm}$$

Randabstand in Krafrichtung

$$\alpha_l = 1,1 * e_1/d_L - 0,3 \rightarrow 1,1 * 100\text{mm}/36\text{mm} - 0,3 = 2,75$$

$$V_{l,R,d} = 25\text{mm} * 36\text{mm} * 2,75 * 240\text{N}/\text{mm}^2/1,1$$

$$V_{l,R,d} = 540000\text{N} = 540\text{kN}$$

$$\underline{\underline{V_b/2 < V_{l,R,d}}} \quad \underline{\underline{184,4\text{kN} < 540\text{kN}}} \quad \underline{\underline{0,342 < 1}}$$

$$e_1 = 100\text{mm} < 3 * d_L$$

für die drei 25mm Bleche

$$553,2\text{kN}/3 = 184,4\text{kN}$$

$$V_{l,R,d} = 30\text{mm} * 36\text{mm} * 2,75 * 240\text{N}/\text{mm}^2/1,1$$

$$V_{l,R,d} = 648000\text{N} = 648\text{kN}$$

$$\underline{\underline{V_b/2 < V_{l,R,d}}} \quad \underline{\underline{276,6\text{kN} < 648\text{kN}}} \quad \underline{\underline{0,427 < 1}}$$

für die zwei 30mm Bleche

$$553,2\text{kN}/2 = 276,6\text{kN}$$

10.7 Auflagergelenk

10.7.1 Abmaße

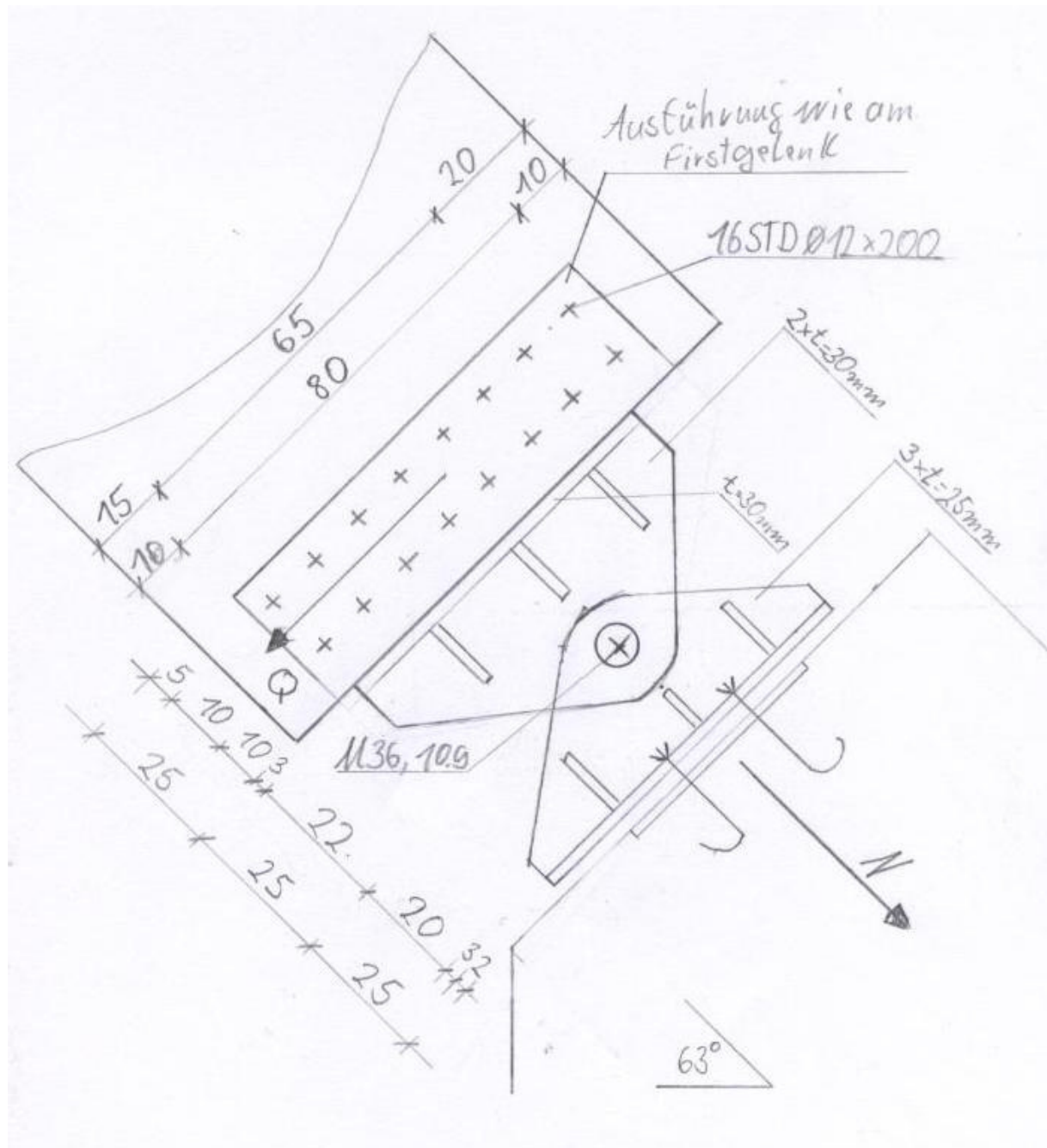


Abb.-10.5: Auflagergelenk [T.Pfeifer]

10.7.2 Bemessung des Gelenkes

Die Schnittkräfte werden in RFEM ermittelt. (siehe Anhang)

• Pos.1 Normalkraft über Kontaktdruck

$$N_d = 808,94 \text{ kN}$$

$$A_{\text{Netto}} = 2000 \text{ cm}^2 - 20 \text{ cm} * 20 \text{ cm} - 15 \text{ cm} * 20 \text{ cm} - 2 * 80 \text{ cm} * 1 \text{ cm}$$

$$A_{\text{Netto}} = 1140 \text{ cm}^2$$

$$f_{c,o,d} = \frac{k_{\text{mod}} * f_{c,0,k}}{\gamma_m} = \frac{0,6 * 2,65 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 1,223 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{808,94 \text{ kN}}{1140 \text{ cm}^2} = 0,71 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}} \leq 1 \quad \frac{0,71 \text{ kN/cm}^2}{1,223 \text{ kN/cm}^2} = \underline{\underline{0,58 < 1}}$$

Schnittgrößen siehe
Pos.2

DIN1052 Gl.3

DIN1052 Gl.46

• Pos.2 Nachweis der Stabdübel

Schnittgrößen $N_d = 1004,37 \text{ kN (LK11)}$
am Stab 20 $V_d = 101,95 \text{ kN (LK9)}$

Binderabstand = 0,8m

→ Eigengewicht $N_d = 20,16 \text{ kN} * 1,35 = 27,216 \text{ kN}$
 $V_d = 7,61 \text{ kN} * 1,35 = 10,27 \text{ kN}$

Bemessungsschnittgrößen

$N_d = (1004,37 \text{ kN} - 27,216 \text{ kN}) * 0,8 + 27,216 \text{ kN} = 808,94 \text{ kN}$
 $V_d = (101,95 \text{ kN} - 10,27 \text{ kN}) * 0,8 + 10,27 \text{ kN} = 83,614 \text{ kN}$

• Mindestabstände von Stabdübeln

parallel zur Faserrichtung: $5 * d \rightarrow 5 * 12 \text{ mm}$
 $60 \text{ mm} < \text{vor. } 100 \text{ mm}$
rechtwinklig zur Faserrichtung: $3 * d \rightarrow 3 * 12 \text{ mm}$
 $36 \text{ mm} < \text{vor. } 100 \text{ mm}$
unbeanspruchtes Hirnholzende: $7 * d * \sin \alpha (\min. 3 * d) \rightarrow$
 $7 * 12 \text{ mm} = 84 \text{ mm} < \text{vor. } 100 \text{ mm}$
beanspruchter Rand: $3 * d \rightarrow 3 * 12 \text{ mm}$
 $36 \text{ mm} < \text{vor. } 100 \text{ mm}$
unbeanspruchter Rand: $3 * d \rightarrow 3 * 12 \text{ mm}$
 $36 \text{ mm} < \text{vor. } 100 \text{ mm}$

DIN1052 Abs.12.2.3

DIN 1052 Abs.12,3Tab.8

- **Nachweis der Stabdübelverbindung**

Die Stabdübel haben die Aufgabe die Querkkräfte in das Gelenk weiterzuleiten. Die Normalkräfte werden durch die Auflagerplatte aufgenommen.

Zulässige Belastung eines Stabdübels:

$$R_k = 4 * \sqrt{2} * \sqrt{2 * M_{y,k} * f_{h,k} * d}$$

DIN1052 Gl. 197
Holzbau Colling S.144
Gl.11.32

$$t_{reg} = 1,15 * 4 * \sqrt{\frac{M_{y,k}}{f_{h,k} * d}}$$

DIN1052 Gl. 198

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 1,01 * d) * \rho_k$$

Colling Bsp. Tab.A-22

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 1,01 * 12\text{mm}) * 410\text{kg/m}^3 = 29,59\text{N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = k_\alpha * f_{h,0,k}$$

Colling Bsp Tab.A-22

$$k_\alpha = \frac{1}{(1,35 + 0,015 * d) * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$\alpha = 30^\circ$ Kraftrichtung zur
Faserrichtung

$$k_\alpha = \frac{1}{(1,35 + 0,015 * 12) * \sin^2 30 + \cos^2 30} = 0,883$$

Colling Bsp Tab.A-23

$$f_{h,\alpha,k} = 0,883 * 29,59\text{N/mm}^2 = 26,12\text{N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} = 0,3 * 360\text{N/mm}^2 * 12^{2,6} = 69070\text{N/mm}$$

Colling Bsp. Tab.A-22

$$t_{reg} = 1,15 * 4 * \sqrt{\frac{69070\text{N/mm}}{26,12\text{N/mm}^2 * 12\text{mm}}} = 68,3\text{mm} > 60\text{mm}$$

$$\frac{t_1}{t_{reg}} = \frac{60\text{mm}}{68,3\text{mm}} = 0,88$$

DIN1052 Abs.12.2.2(2)

$$R_k = 4 * \sqrt{2} * \sqrt{2 * 69070\text{N/mm} * 26,12\text{N/mm}^2 * 12\text{mm}}$$

$$R_k = 37,2\text{kN} * 0,88 = 32,75\text{kN}$$

$$R_d = \frac{k_{mod} * R_k}{\gamma_m} = \frac{0,9 * 32,75\text{kN}}{1,1} = \underline{26,8\text{kN}}$$

$k_{mod} = 0,9$ (LK9 kurz)
 $\gamma_m = 1,1$ DIN1052 Tab.G6

maximale Belastung eines Stabdübels:

$$\max V_d = 83,614\text{kN} \quad \Delta M^{vd} = 83,614\text{kN} * 0,375\text{m} = 31,355\text{kN/m} \quad \max N_d < 0$$

Polares Flächenträgheitsmoment 2.Grades des Stabdübelbildes

IP-Verfahren
Schneider Bautabellen
S.8.78

$$IP = \frac{n}{12} * [(nx^2 - 1) * \Delta x^2 + (nz^2 - 1) * \Delta z^2]$$

$$IP = \frac{16}{12} * [(2^2 - 1) * 10^2 + (8^2 - 1) * 10^2] = 8800\text{cm}^3$$

$$V_b = \sqrt{\left[\frac{V_z}{n} + \frac{M}{I_p} * \frac{(n_x-1) * \Delta_x}{2} \right]^2 + \left[\frac{N}{n} + \frac{M}{I_p} * \frac{(n_z-1) * \Delta_z}{2} \right]^2}$$

$$V_b = \sqrt{\left[\frac{83,614 \text{ kN}}{16} + \frac{3135,5 \text{ kN/cm}}{8800 \text{ cm}^3} * \frac{(2-1) * 10 \text{ cm}}{2} \right]^2 + \left[\frac{0}{16} + \frac{3135,5 \text{ kN/cm}}{8800 \text{ cm}^3} * \frac{(8-1) * 10 \text{ cm}}{2} \right]^2}$$

$$V_b = \sqrt{7 \text{ kN}^2 + 12,47^2} \quad \tan \frac{7 \text{ kN}}{12,47 \text{ kN}} = 0,5833 \rightarrow \tan^{-1} 0,5833 \approx 30^\circ$$

$$\underline{V_b < R_d} \quad \underline{14,30 \text{ kN} < 26,8 \text{ kN}} \quad \underline{0,533 < 1}$$

nach f-Verfahren

$$f = \frac{0,583}{2} = 0,2915$$

$$H_1 = \frac{M}{h_1} * f = \frac{3135,5 \text{ kN/cm}}{70 \text{ cm}} * 0,2915 = 13,06 \text{ kN}$$

$$V_1 = \frac{V_z}{n} = \frac{83,614 \text{ kN}}{16} = 5,22 \text{ kN}$$

$$R = \sqrt{(5,22 \text{ kN}^2 + 13,06 \text{ kN}^2)} = 14,1 \text{ kN}$$

• Pos.3 Nachweis der Schlitzbleche

• Grenzschleibungskraft für ein Blech

$$V_{l,R,d} = t * d_{St} * \alpha_1 * f_{y,k} / \gamma_m$$

Abhängig von den tatsächlichen Abständen darf e_1 höchstens mit $3 * d_l$ und e höchstens mit $3,5 * d_l$ in Rechnung gestellt werden.

Bedingungen für Abstände rechtwinklig zur Kraftrichtung

$$e_2 \geq 1,5 * d_l \text{ und } e_3 \geq 3,0 * d_l \\ 50 \text{ mm} > 1,5 * 13 \text{ mm} = 19,5 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm} > 3 * 13 = 39 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 * d_l \text{ und } e_3 = 2,4 * d_l \\ 50 \text{ mm} \neq 1,2 * 13 \text{ mm} = 15,6 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm} \neq 2,4 * 13 \text{ mm} = 31,2 \text{ mm}$$

Randabstand in Kraftrichtung

$$\alpha_1 = 1,1 * e_1 / d_L - 0,3 \rightarrow 1,1 * 39 \text{ mm} / 13 \text{ mm} - 0,3 = 3,0$$

$$\alpha_1 = 1,08 * e / d_L - 0,77 \rightarrow 1,08 * 45,5 \text{ mm} / 13 \text{ mm} - 0,77 = 3,01$$

$$V_{l,R,d} = 10 \text{ mm} * 12 \text{ mm} * 3,0 * 240 \text{ N/mm}^2 / 1,1$$

$$V_{l,R,d} = 78545,45 \text{ N}$$

$$\underline{V_b / 2 < V_{l,R,d}} \quad \underline{7,15 \text{ kN} < 78,5 \text{ kN}} \quad \underline{0,1 < 1}$$

Skript Stahlbau 1
Prof.-Dr.H.-U.Hoch

DIN18800-1
Schneider Bautabellen
17.Auflage

DIN18800-1 Gl.49
Bautabellen S.8.73

DIN18800-1 Abs.8.2.1.2

Der kleinere Wert ist
maßgebend

- **Schweißnaht Schlitzblech**

gewählt wird eine 3mm dicke umlaufende Kehlnaht

Nahtdickenbegrenzung:

DIN18800-1 Abs. 8.4
Bautabellen S.8.67

$$2 \leq a \leq 0,7 * \min t \rightarrow 2\text{mm} < 3\text{mm} < 0,7 * 10\text{mm}$$

$$a \geq \sqrt{\max t} - 0,5 \rightarrow 3\text{mm} > \sqrt{10\text{mm}} - 0,5\text{mm} \rightarrow 2,66\text{mm}$$

Nahtlängenbegrenzung:

$$30 < l \leq 6 * a \rightarrow l = 800\text{mm}$$

$$\max l \leq 150 * a \rightarrow \max l = 150 * 3\text{mm} = 450\text{mm}$$

Rechnerisch wird eine Nutzbare Länge der Kehlnaht von 450mm angenommen. Es wird aber umlaufend um die Schlitzbleche geschweißt.

$$\sigma = \frac{M * z}{W} \quad W = \frac{b * h^3}{6} \quad W = 4 * \frac{0,3\text{cm} * 45\text{cm}^3}{6} = 18225\text{cm}^2$$

4mal die Schweißnaht

z=15cm Abstand Schwerachse Stabdübel bis Schweißnaht

$$\sigma = \frac{3135,5\text{kN/cm} * 15\text{cm}}{18225\text{cm}^2} = 2,58\text{kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{Q}{A_w} = \frac{83,614\text{kN}}{54\text{cm}^2} = 1,548\text{kN/cm}^2$$

$A_w = 0,3\text{cm} * (4 * 45\text{cm})$

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{2,58\text{kN/cm}^2^2 + 1,548\text{kN/cm}^2^2}$$

$$\sigma_{w,v} = 3,008 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w * f_{y,k} / \gamma_m \rightarrow 0,95 * 24\text{kN/cm}^2 / 1,1 = 20,72\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,v} < \sigma_{w,R,d} \rightarrow \underline{\underline{3,008\text{kN/cm}^2 < 20,72\text{kN/cm}^2}}$$

- **Pos.4 Gelenkbolzen**

Schnittgrößen $N_d=1004,37\text{kN(LK11)}$
 am Stab 20 $V_d=101,95\text{kN(LK9)}$

Binderabstand $=0,8\text{m}$
 $\rightarrow$ Eigengewicht $N_d=20,16\text{kN} \cdot 1,35=27,216\text{kN}$
 $V_d=7,61\text{kN} \cdot 1,35=10,27\text{kN}$

Bemessungsschnittgrößen

$N_d=(1004,37\text{kN}-27,216\text{kN}) \cdot 0,8+27,216\text{kN}=808,94\text{kN}$
 $V_d=(101,95\text{kN}-10,27\text{kN}) \cdot 0,8+10,27\text{kN}=83,614\text{kN}$

Nachweis auf Abscheren

DIN18800-1 Gl.47
 Bautabellen S.8.72

- $V_{a,d} = R = \sqrt{N_d^2 + V_d^2} = \sqrt{808,94\text{kN}^2 + 83,614\text{kN}^2} = 813,25\text{kN}$

gewählt: 1xM36 10.9 4-schnittig

3xt=25mm
 2xt=30mm

Grenzabscherkraft:

$$V_{a,R,d} = A \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k} / \gamma_m$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 36\text{mm}^2 = 1017,876\text{mm}^2$$

$$\alpha_a=0,55$$

$$f_{u,b,k}=1000\text{N/mm}^2 \text{ (Festigkeitsklasse 10.9)}$$

$$\gamma_m=1,1 \text{ (4-schnittige Verbindung)}$$

$$V_{a,R,d} = 1017,876\text{mm}^2 \cdot 0,55 \cdot \frac{1000\text{N/mm}^2}{1,1} = 508938\text{N} = 509\text{kN}$$

$$V_{a,R,d}=509\text{kN} \cdot 4=2036\text{kN}$$

$$\underline{V_{a,d} < V_{a,R,d}} \quad \underline{813,25\text{kN} < 2036\text{kN}} \quad \underline{0,40 < 1}$$

- **Grenzlochleibungskraft für ein Blech**

$$V_{l,R,d} = t * d_{St} * \alpha_1 * f_{y,k} / \gamma_m$$

Bautabellen S.8.73

Abhängig von den tatsächlichen Abständen darf e_1 höchstens mit $3 * d_l$ und e höchstens mit $3,5 * d_l$ in Rechnung gestellt werden.

Bedingungen für Abstände rechtwinklig zur Krafrichtung

$$e_2 \geq 1,5 * d_l \text{ und } e_3 \geq 3,0 * d_l$$

$$220\text{mm} > 1,5 * 36\text{mm} = 54\text{mm}$$

e_3 nicht vorhanden
 $e_2 \approx 220\text{mm}$

$$e_2 = 1,2 * d_l \text{ und } e_3 = 2,4 * d_l$$

$$220\text{mm} \neq 1,2 * 36\text{mm} = 43,2\text{mm}$$

Randabstand in Krafrichtung

$$\alpha_1 = 1,1 * e_1 / d_L - 0,3 \rightarrow 1,1 * 100\text{mm} / 36\text{mm} - 0,3 = 2,75$$

$e_1 = 100\text{mm} < 3 * d_L$

$$V_{l,R,d} = 25\text{mm} * 36\text{mm} * 2,75 * 240\text{N/mm}^2 / 1,1$$

für die drei 25mm Bleche

$$V_{l,R,d} = 540000\text{N} = 540\text{kN}$$

$813,25\text{kN} / 3 = 271,08\text{kN}$

$$\underline{\underline{V_b / 2 < V_{l,R,d}}} \quad \underline{\underline{271,08\text{kN} < 540\text{kN}}} \quad \underline{\underline{0,50 < 1}}$$

$$V_{l,R,d} = 30\text{mm} * 36\text{mm} * 2,75 * 240\text{N/mm}^2 / 1,1$$

für die zwei 30mm Bleche

$$V_{l,R,d} = 648000\text{N} = 648\text{kN}$$

$813,25\text{kN} / 2 = 406,325\text{kN}$

$$\underline{\underline{V_b / 2 < V_{l,R,d}}} \quad \underline{\underline{406,325\text{kN} < 648\text{kN}}} \quad \underline{\underline{0,627 < 1}}$$

- **Pos.5 Nachweis auf Abscheren am Wiederlager**

Bautabellen S.8.72

$$V_d = 83,6 \text{ kN}$$

gewählt: 4xM24 4.6

t=30mm

Grenzabscherkraft:

$$V_{a,R,d} = A * \alpha_a * f_{u,b,k} / \gamma_m$$

$$A = \frac{\pi}{4} * d^2 = \frac{\pi}{4} * 24 \text{ mm}^2 = 452,4 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_a = 0,6$$

$$f_{u,b,k} = 400 \text{ N/mm}^2 \text{ (Festigkeitsklasse 4.6)}$$

$$\gamma_m = 1,1$$

$$V_{a,R,d} = 452,4 \text{ mm}^2 * 0,6 * \frac{400 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 98705,45 \text{ N} = 98,7 \text{ kN}$$

$$V_{a,R,d} = 4 * 98,7 \text{ kN} = 394,8 \text{ kN}$$

Verankerung 4-Bolzen

$$\underline{V_{a,d} < V_{a,R,d}}$$

$$\underline{83,6 \text{ kN} < 394,8 \text{ kN}}$$

$$\underline{0,212 < 1}$$

- **Grenzlochleibungskraft für Auflagerplatte**

$$V_{l,R,d} = t * d_{St} * \alpha_1 * f_{y,k} / \gamma_m$$

Bautabellen S.8.73

Abhängig von den tatsächlichen Abständen darf e_1 höchstens mit $3 * d_l$ und e höchstens mit $3,5 * d_l$ in Rechnung gestellt werden.

Bedingungen für Abstände rechtwinklig zur Krafrichtung

$$e_2 \geq 1,5 * d_l \text{ und } e_3 \geq 3,0 * d_l$$

$$35 \text{ mm} < 1,5 * 24 \text{ mm} = 36 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 35 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} > 3,0 * 24 \text{ mm} = 72 \text{ mm} \rightarrow e_3 = 72 \text{ mm}$$

 $e_3 = 200 \text{ mm}$ $e_2 = 35 \text{ mm}$

$$e_2 = 1,2 * d_l \text{ und } e_3 = 2,4 * d_l$$

$$35 \text{ mm} \neq 1,2 * 24 \text{ mm} = 28,8 \text{ mm}$$

Randabstand in Krafrichtung

$$\alpha_1 = 1,1 * e_1 / d_L - 0,3 \rightarrow 1,1 * 72 \text{ mm} / 24 \text{ mm} - 0,3 = 3$$

 $e_1 = 200 \text{ mm} > 3 * d_L$

$$V_{l,R,d} = 30 \text{ mm} * 24 \text{ mm} * 3,0 * 240 \text{ N/mm}^2 / 1,1$$

$$V_{l,R,d} = 471272 \text{ N} = 471,27 \text{ kN} * 4 = 1885 \text{ kN}$$

$$\underline{V_b < V_{l,R,d}}$$

$$\underline{83,6 \text{ kN} < 1885 \text{ kN}}$$

$$\underline{0,045 < 1}$$

10.8 Bauzustand Bogen

10.8.1 Vorbemerkung

Der Bauzustand wird für eine beidseitige Anschütthöhe von 4,8 m untersucht. Die Ermittlung der Belastung und der Schnittgrößen erfolgt wie bei der Pos. 10.5 (Bogen). Die Bemessung wird vereinfachend durchgeführt. Es wird nur der maßgebende Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird die Verformung dargestellt.

10.8.2 Lastannahmen

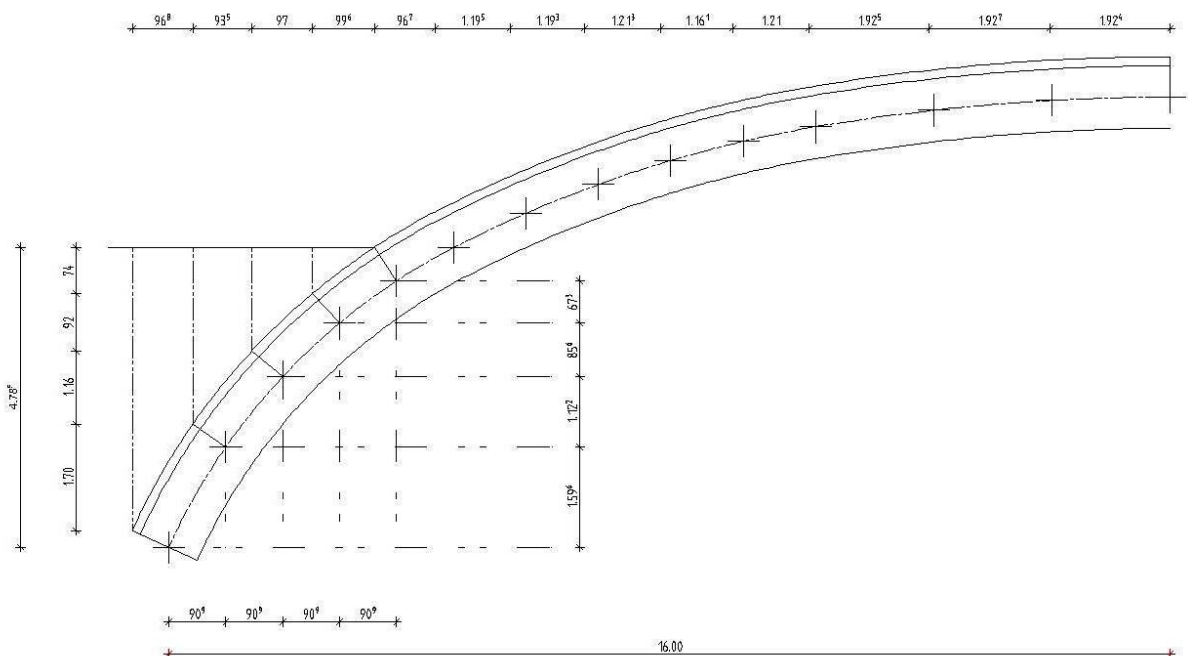


Abb.-10.6: Erdauflast Bauzustand [T.Pfeifer]

aktiver Erddruck					
vertikale Erdauflast					
h	g	ev	Außen	Achse	Last
0	19	0	0,996	0,909	0,00
0,74	19	14,06	0,996	0,909	15,41
0,74	19	14,06	0,97	0,909	15,00
1,66	19	31,54	0,97	0,909	33,66
1,66	19	31,54	0,935	0,909	32,44
2,82	19	53,58	0,935	0,909	55,11
2,82	19	53,58	0,968	0,909	57,06
4,786	19	90,934	0,968	0,909	96,84

Tab.-10.3: vertikale Erdauflast

aktiver und passiver Erddruck						
horizontal						
ev	eah	erh	Außen	Achse	Last Aktiv	Last Ruhe
0	0,271	0,43	0,74	0,673	0,00	0,00
14,06	0,271	0,43	0,74	0,673	4,19	6,65
14,06	0,271	0,43	0,92	0,856	4,10	6,50
31,54	0,271	0,43	0,92	0,856	9,19	14,58
31,54	0,271	0,43	1,159	1,122	8,83	14,01
53,58	0,271	0,43	1,159	1,122	15,00	23,80
53,58	0,271	0,43	1,699	1,596	15,46	24,53
90,934	0,271	0,43	1,699	1,596	26,23	41,63

Tab.-10.4: horizontaler Erddruck (aktiv und ruhe)

10.8.3 Maßgebende Lastfallkombinationen

Die Bildung der Maßgebenden Lastfallkombinationen ist gleich der Lastfallkombination 1 in der Pos. 10.5.5.

$$\text{LK1} = 1,35 \cdot \text{LF1} + 1,35 \cdot \text{LF2} + 1,35 \cdot \text{LF7} + 1,5 \cdot \text{LF4} \text{ oder } 1,5 \cdot \text{LF5} \\ + 1,0 \cdot \text{LF3} \text{ oder } 1,0 \cdot \text{LF6} \text{ (bei RFEM=LK11)}$$

10.8.4 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Schnittkräfte werden in RFEM ermittelt. (siehe Anhang)

- **Schub aus Querkraft (Stab13/LK11)**

Schnittgrößen
am Stab 13 $V_z = 132,39 \text{ kN}$

Binderabstand = 0,8m
→ Eigengewicht $V_z = 7,61 \text{ kN} \cdot 1,35 = 10,2735 \text{ kN}$

Bemessungsschnittgrößen

$$V_d = (132,39 \text{ kN} - 10,2735 \text{ kN}) \cdot 0,8 + 10,2735 \text{ kN} = 107,97 \text{ kN}$$

DIN 1052:2004-08,
Abs.10.2.9

- **Teilsicherheitsbeiwerte**

ständige Einwirkungen $\gamma = 1,3$

DIN 1052 Tab.1

- **Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED)**

Erdlasten / Bauzustand $\rightarrow$ mittel

DIN 1052 Tab.3

- **Nutzungs-kategorie (NKL)**

überdachte offene Bauwerke $\rightarrow$ NKL 2

DIN 1052 Abs.7.1.1

- **Modifikationsbeiwert (k_{mod})**

$k_{mod}=0,8$

DIN 1052 Tab.F1

- **Schubfestigkeit**

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \cdot 0,25 \text{ kN/cm}^2}{1,3} = 0,1538 \text{ kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{107,79 \text{ kN}}{2000 \text{ cm}^2} = 0,081 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \quad \frac{0,081 \text{ kN/cm}^2}{0,1538 \text{ kN/cm}^2} = \underline{\underline{0,53 < 1}}$$

DIN1052 Gl.59

- **Einfache Biegung mit Druck (Stab25/LK11)**

DIN 1052:2004-08,
Abs.10.3.3

Schnittgrößen
am Stab 25 $N_d = -96,72 \text{ kN}$
 $M_d = -182,11 \text{ kN/m}$

Binderabstand $= 0,8 \text{ m}$
 $\rightarrow$ Eigengewicht $N_d = 18,67 \text{ kN} \cdot 1,35 = 25,2 \text{ kN}$
 $M_d = 19,11 \text{ kN/m} \cdot 1,35 = 25,8 \text{ kN/m}$

Bemessungsschnittgrößen

$N_d = (96,72 \text{ kN} - 25,2 \text{ kN}) \cdot 0,8 + 25,2 \text{ kN} = 82,416 \text{ kN}$
 $M_d = (182,11 \text{ kN/m} - 25,8 \text{ kN/m}) \cdot 0,8 + 25,8 \text{ kN/m} = 150,85 \text{ kN/m}$

- **Teilsicherheitsbeiwerte**

ständige Einwirkungen $\gamma = 1,3$

DIN 1052 Tab.1

- Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED)**

Erdlasten / Bauzustand → mittel

DIN 1052 Tab.3

- Nutzungsklasse (NKL)**

überdachte offene Bauwerke → NKL 2

DIN 1052 Abs.7.1.1

- Modifikationsbeiwert (k_{mod})**

$k_{mod} = 0,8$

DIN 1052 Tab.F1

- Nachweis Einfache Biegung und Druck**

Stablänge $l = 18,53\text{m}$

Bogenlänge zwischen den Gelenken

Trägheitsradius
 $i_y = 288,7\text{mm}$
 $i_z = 57,7\text{mm}$

Faktor β $\beta = 1,25$

DIN1052 Tab. E1

Schlankheitsgrad
 $\lambda_y = \beta \cdot l_{ef,y} / i_y \rightarrow 1,25 \cdot 18530 / 288,7 = 80,2$
 $\lambda_z = \beta \cdot l_{ef,z} / i_z \rightarrow 1,25 \cdot 18530 / 57,7 = 401,43$

bezogener Schlankheitsgrad $\lambda_{rel,c,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$

DIN1052 Gl.66

$$\lambda_{rel,c,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$E_{0,05} = 5/6 \cdot E_{0,mean} = E_{0,05} = 1050\text{kN/cm}^2$

DIN1052 Tab. F9

$G_{05} = 5/6 \cdot G_{0,mean} = G_{05} = 65\text{kN/cm}^2$

$$\lambda_{rel,c,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{80,2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2,65\text{kN/cm}^2}{1050\text{kN/cm}^2}} = 1,28$$

DIN1052 Gl.66

$$\lambda_{rel,c,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{401,43}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2,65\text{kN/cm}^2}{1050\text{kN/cm}^2}} = 6,42$$

Faktor β_c $\beta_c = 0,1$

DIN1052 Abs.10.3.1(1)

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,y} - 0,3) + \lambda_{rel,c,y}^2] = 1,368$$

DIN1052 Gl.65

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c,z} - 0,3) + \lambda_{rel,c,z}^2] = 21,41$$

Knickbeiwerte

$$k_{c,y} = \min \left\{ \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},c,y}^2}}; 1 \right\} = 0,54$$

$$k_{c,z} = \min \left\{ \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},c,z}^2}}; 1 \right\} = 0,024$$

DIN1052 Gl.64

Bezogener Schlankheitsgrad

DIN1052 Gl.69

Querträger werden für das Kippen berücksichtigt

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,\text{crit}}}} = \sqrt{\frac{l_{\text{ef}}}{\pi \cdot i_m}} * \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05} * G_{05}}}$$

 $l_{\text{ef}} = 6,4\text{m}$

$$i_m = \frac{\sqrt{I_z * I_t}}{W_y} = \frac{\sqrt{66666\text{cm}^4 * 233071\text{cm}^4}}{33333,3\text{cm}^3} = 3,74\text{cm}$$

$$\lambda_{\text{rel},m} = \sqrt{\frac{640\text{cm}}{\pi * 3,74\text{cm}}} * \sqrt{\frac{2,8\text{kN/cm}^2}{\sqrt{1050\text{kN/cm}^2 * 65\text{kN/cm}^2}}} = 0,764$$

Kippbeiwert

DIN1052 Gl.68

$$k_m = 1,56 - 0,75 * \lambda_{\text{rel},m} = 0,987 \quad \text{für } 0,75 < \lambda_{\text{rel},m} \leq 1,4$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{82,42\text{kN}}{2000\text{cm}^2} = 0,0412\text{kN/cm}^2$$

$$f_{c,o,d} = \frac{k_{\text{mod}} * f_{c,o,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 2,65\text{kN/cm}^2}{1,3} = 1,63\text{kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{15085\text{kN/cm}}{33333,3\text{cm}^3} = 0,4525\text{kN/cm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{\text{mod}} * f_{m,y,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 * 2,8\text{kN/cm}^2}{1,3} = 1,723\text{kN/cm}^2$$

DIN1052 Gl.3

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{0\text{kN/cm}}{6666,67\text{cm}^3} = 0\text{kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} * f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m * f_{m,y,d}} + k_{\text{red}} * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

DIN1052 Gl.71

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} * f_{c,o,d}} + k_{\text{red}} * \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m * f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

DIN1052 Gl.72

 $k_{\text{red}} = 1,0$

DIN1052 Abs.10.2.6

Nachweis:

$$\frac{0,0412\text{kN/cm}^2}{0,54 * 1,63\text{kN/cm}^2} + \frac{0,4525\text{kN/cm}^2}{0,987 * 1,723\text{kN/cm}^2} + 0 = \underline{\underline{0,313 < 1}}$$

DIN1052 Gl.71

10.8.4 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird nur die Verformung des Gesamtsystems betrachtet. Beim Bauzustand ist deutlich zu erkennen, dass der Scheitel des Dreigelenkbogens sich hebt. Der Vergleich zwischen dem Bauzustand und dem Endzustand zeigt, wie sich das System im Laufe seiner Herstellung bzw. unter Volllast verhält.

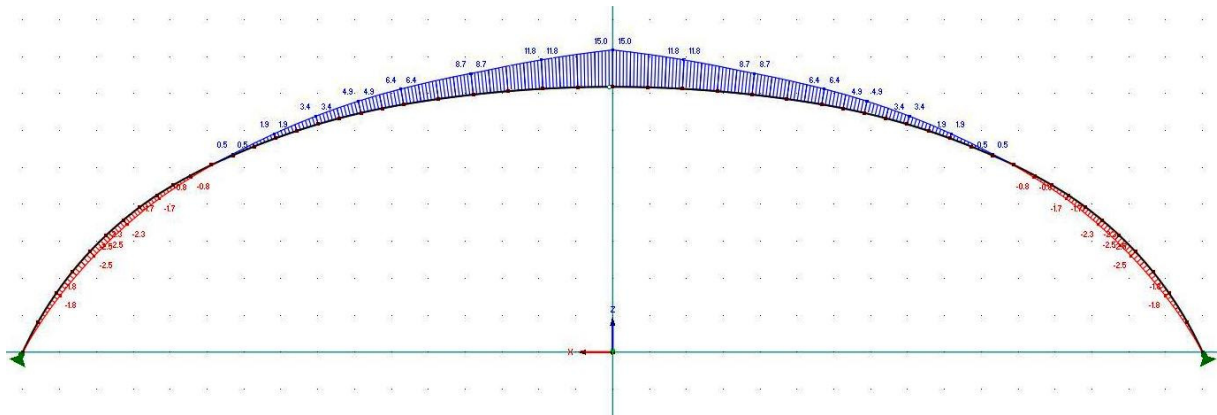


Abb.-10.6: Verformung Bauzustand [T.Pfeifer RFEM]

Die Verformung des Bauzustandes im Scheitel beträgt $15\text{mm} \cdot 0,8 = 12\text{mm}$ für einen Binderabstand von 80cm

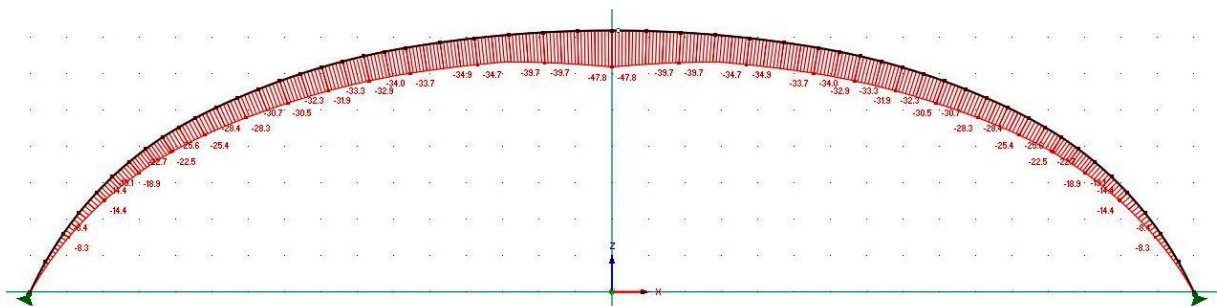


Abb.-10.7: Verformung Endzustand [T.Pfeifer RFEM]

Die Verformung des Endzustandes im Scheitel beträgt -70mm unter Berücksichtigung des Kriechens

Literaturverzeichnis:

- [bast] **Jahresbericht 2002 Heft A26**
Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH
- [Bochmann] **Statik im Bauwesen Teil1**
3.Auflage
- [Brown J. David] **Brücken Kühne Konstruktion über Flüsse, Täler, Meere**
Verlag Georg D. W. Callwey GmbH & Co, München 1994
- [Baar, Lohmeyer] **Baustatik 2 Bemessung und Festigkeitslehre**
10.Auflage, Teubner Verlag 2006
- [Becker, Blaß] **Ingenieurholzbau nach DIN1052 Einführung mit Beispielen**
Ernst & Sohn Verlag 2006
- [Blaß, Ehlbeck
Kreuzinger, Steck] **Erläuterungen zur DIN1052: 2008-08**
2.Auflage, DGFH INNOVATIONS- UND SERVICE GMBH ,
BRUDERVERLAG Albert Bruder GmbH & Co. KG
- [Colling Francois] **Holzbau Grundlagen und Bemessung**
Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden
2004
- [Colling Francois] **Holzbau- Beispiele Musterlösungen, Formelsammlung
Bemessungstabellen**, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, GWV
Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2004
- [Degis] **B 96 n Zubringer Stralsund/Rügen**
Druckerei Stein, Hegelallee 53
- [Degis] **A20 Verkehrsfreigabe Lübeck–Stettin
Verkehrsprojekt Deutsche Einheit Nr. 10
Streckenabschnitt AS Schönberg–AK Rostock**
Druckerei Stein, Hegelallee 53
- [Degis] **Report 2007/2008**
Druckerei Stein, Hegelallee 53, September 2007
- [Fördergesellschaft
Holzbau und Ausbau
mbH] **DIN1052 Praxishandbuch Holzbau**
Beuth Verlag GmbH 2005
- [Gögge M.] **Bemessung im Holzbau Band 1 Grundlagen, Nachweise der
Tragglieder**, BRUDERVERLAG Albert Bruder GmbH & Co. KG

- [Göggel M.] **Bemessung im Holzbau Band 2 Verbindungen und Verbindungsmittel**, BRUDERVERLAG Albert Bruder GmbH & Co. KG
- [H.U.Hoch] **Skripte/ Vorlesungsunterlagen Holzbau I, Stahlbau I und II, Brückenbau**
- [H. Heller] **Padia 1 Tragwerkslehre** Ernst & Sohn Verlag 1998
- [H.R.Hugi] **Einführung in die Statik der Tragkonstruktionen** Verlag der Fachvereine an den schweizerischen Hochschulen und Techniken
- [Hebestreit Kahlmeyer, Vogt] **Stahlbau nach DIN18800 Bemessung und Konstruktion** 4.Auflage, Werner Verlag GmbH, Düsseldorf 2003
- [Informationsdienst Holz] **Brücken aus Holz Konstruieren-Berechnen Ausführen** (Herausgeber: DGfH Innovations- und Service GmbH und HOLZABSATZFONDS Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn) Fachverlag Holz 1999
- [Informationsdienst Holz] **Holzbau Handbuch Reihe 1 Teil 9 Folge 4 Entwurf und Konstruktion** (Herausgeber: DGfH Innovations- und Service GmbH und HOLZABSATZFONDS Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn) Fachverlag Holz 1995
- [Informationsdienst Holz] **Holzbau Handbuch Reihe 1 Teil 9 Folge 2 Details für Holzbrücken** (Herausgeber: DGfH Innovations- und Service GmbH und HOLZABSATZFONDS Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn) Fachverlag Holz 2000
- [Informationsdienst Holz] **Holzbau Handbuch Reihe 2 Teil 12 Folge 1 Verbände und Abstützungen, Grundlagen und Regelnachweise** (Herausgeber: DGfH Innovations- und Service GmbH und HOLZABSATZFONDS Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn) Fachverlag Holz 1995
- [Informationsdienst Holz] **Holzbau Handbuch Reihe 2 Teil 2 Folge 1 Verbindungsmittel und Verbindungen nach DIN1052 und DIN18800** (Herausgeber: DGfH Innovations- und Service GmbH und HOLZABSATZFONDS Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn) Fachverlag Holz 1995
- [Krätzig, Witteck] **Tragwerke 1 Theorie und Berechnungsmethoden statisch bestimmter Stabwerke**, 3.Auflage Springer Verlag 1995
- [Krauss, Willems] **Grundlagen der Tragwerkslehre 2**, 2.Auflage Druck und Verlagshaus Wienand 1989
- [Mucha, A.] **Holzbrücken Statische Systeme Konstruktionen Beispiele** Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1995
- [Möller G.] **Geotechnik-Praxis Bodenmechanik** Bauwerk Verlag Berlin 2004

- [Mönck W.] **Holzbau Bemessung und Konstruktion unter Beachtung von Eurocode 5**, 13.Auflage, Verlag für Bauwesen Berlin 1998
- [G. Mehlhorn] **Handbuch BrückenEntwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten** Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007
- [Nabu] **Bundeswildwegeplan** NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V. 1.Auflage 2007
- [Referatensammlung der DIN-Tagung] **Neue Bemessungsregeln für Holzbrücken**, DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin Karlsruhe 13 April 1999 Beuth Verlag
- [K. J. Schneider] **Bautabellen für Bauingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen**, 16 Auflage, Werner Verlag GmbH & Co.KG, Düsseldorf 2004
- [Stöffler, Samberg] **Tragwerksentwurf für Architekten und Bauingenieure**, 1.Auflage, Bauwerk Verlag Berlin 2002
- [Werner, Zimmer] **Holzbau 1 Grundlagen nach DIN1052 und Eurocode 5**, 3.Auflage, Bauwerk Verlag Berlin 2002
- [Werner, Zimmer] **Holzbau 2 Dach und Hallentragwerke nach DIN1052 und Eurocode 5**, 3.Auflage, Bauwerk Verlag Berlin 2004

Normenverzeichnis:

- [DIN1052] Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken, Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, August 2004
- [DIN1074] Holzbrücken, September 2006
- [DIN18800-1] Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion, November 1990
- [DIN68800-1] Holzschutz im Hochbau, Allgemein, Mai 1974
- [DIN68800-2] Holzschutz: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Mai 1996
- [DIN68800-3] Holzschutz: Vorbeugender chemischer Holzschutz, April 1990
- [DIN1074] Holzbrücken, September 2006
- [DIN1054] Baugrund- Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Januar 2003
- Richtlinie zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen Stand Juni 2007**

Firmenverzeichnis:

SCHWESIG + LINDSCHULTE GmbH

Beratende Ingenieure VBI

August-Bebel-Straße 10

Tel.:0381/60909-0

Fax:0381/60909-60

rostock@lindschulte.de

www.lindschulte.de