

Die Arche Noah 2017 I

Ein Beitrag zur Technik-Geschichte



B. Freisleben

Jan Hartmann

www.Technikgeschichte.org

Nürnberg 2017

Die Arche Noah 2017 I

Ein Beitrag zur Technik-Geschichte

Jan Hartmann

Kapitel	Inhaltsverzeichnis Teil I	Seite
1)	Vorwort	3
2)	Einführung zum technischen Teil	5
3)	Zum Gesamtentwurf der Arche und Hauptdaten der Rekonstruktion	6
4)	Die Rekonstruktion der Rumpf-Struktur der Arche	8
4.1	Vorbemerkungen zu Abschn. 4	8
4.2	Der Entwurf der Rumpfstruktur	9
4.3	Masse der Holzkonstruktion und statische Werte des Hauptspantes	10
5)	Ausführung baulicher Einzelheiten	10
5.1	Decks, Boden und Außenhaut	10
5.2	Quer- und Flügelschotte, Spiegel, Lüftungshaus, Rampen	11
6)	Längsfestigkeit	12
6.1	Einführung	12
6.2	Berechnungen	12
6.3	Ergebnisse	13
7)	Weitere Berechnungen	14
7.1	Querfestigkeit	14
7.2	Torsion	14
7.3	Stabilität und Seeverhalten	15
8)	Schluß	16
9)	Schriftumsverzeichnis	17
	<u>Abbildungen</u>	18

English abstract see : www.Technikgeschichte.org

Die Arche Noah 2017 II - Berechnungen

Kapitel	Inhaltsverzeichnis	Teil II
10.1	Werkstoffeigenschaften	2
10.2	Lastannahmen	3
10.3	Berechnung von Struktur-Abmessungen	4
10.4	Massenberechnung der Holzkonstruktion	8
10.5	Statische Werte des Hauptspantes	9
10.6	Längsfestigkeit	10
10.7	Querfestigkeit	12
10.8	Torsion	12
10.9	Stabilität und Seeverhalten	13
	<u>Abbildungen</u>	14

Der Verfasser behält sich alle Rechte an beiden Teilen dieser Arbeit vor.

Die Titelbilder beider Teile sind bewusst nicht im Stil einer technischen Studie gehalten, das soll darauf hinweisen, daß man – wie an alles – auch an den Gegenstand dieser Arbeit von sehr verschiedenen Seiten herangehen kann.



1 Die Arche mit Schiffen des 20. Jahrhunderts

1 Vorwort

Die „Arche Noah“ ist das erste Schiff in der Geschichte der Menschheit, von dem nähere, technisch wichtige Einzelheiten schriftlich überliefert sind. Schon deshalb ist sie einer technikkgeschichtlichen Betrachtung wert, wie wir sie hier anstellen wollen. Insbesondere wollen wir der Frage nachgehen, ob ein nach den Angaben der Bibel gebautes Holzschiff technisch überhaupt zu bauen war, oder ob es physikalische Gründe gab, die die Ausführung unmöglich machten.

Gegen eine eingehende Beschäftigung mit der „Arche Noah“ wird zwar eingewendet, der biblische Bericht sei nicht wissenschaftlich. Dies geschieht wohl vor allem, weil als Bauherr und Konstrukteur Gott selbst genannt wird, den man in der modernen Naturwissenschaft nicht gerne erwähnt, da ein Verweis auf ihn ja als Ausdruck einer Skepsis gegenüber der „Wissenschaft“ oder gar als eigene Denkfaulheit angesehen werden könne. Wir sehen aber schon den Einwand selbst als einen Verstoß gegen die sonst mit Recht betonte Voraussetzungslosigkeit der Naturwissenschaften an, dem wir uns u.a. deshalb keinesfalls anschließen wollen.

Vorab seien hier jedoch einige Sätze zu der Diskussion über die Sintflut gesagt. In neuerer Zeit wird diese ganz überwiegend in den USA, Australien und dem Fernen Osten geführt, und zwar im Rahmen der Auseinandersetzung zwischen „Kreationisten“ (meist „Evangelikale“) und „Evolutionisten“. Dabei ist von beiden Lagern viel an ernsthafter, wissenschaftlicher Arbeit geleistet worden – aber auch an Polemik. Auf die Ergebnisse werden wir mehrfach kritisch zurückgreifen, vor allem auf Woodmorappe (1996) und Drüeke (2015) –, siehe das Schrifttumsverzeichnis Kap. 9 – wenn wir auch nicht immer mit ihren Gedankengängen überein stimmen. Woodmorappe, z.Zt. wohl der wichtigste Autor der Kreationistischen Richtung, hat selbst viel veröffentlicht (und führt etwa 1400 Schrifttums-Titel an) und ist nicht unumstritten. Wir haben aber den Eindruck, daß die Kritik an ihm vor allem der Stützung des oben erwähnten Einwandes der Unwissenschaftlichkeit dienen soll. Auch Drüeke bietet eine recht gute Übersicht und viel Schrifttum (fast alles englisch) und ist im Buchhandel leicht und preiswert zu beschaffen, letzteres gilt auch für Gitt (2001).

Über die erdgeschichtliche Einordnung der Sintflut wissen wir im naturwissenschaftlichen Sinn praktisch nichts. Aber auch die evolutionistische Aussage, es habe sie überhaupt nicht, oder nur viel kleinräumiger, gegeben, ist nicht belegbar. Die Argumentation der Kreationisten beinhaltet u.a., daß die üblichen Zeittafeln vom „Urknall“ bis heute, die hunderte von Millionen Jahre umfassen, nur Hypothesen seien (was unbestritten ist), die aber oft fahrlässigerweise als Tatsachen dargestellt würden (was ebenfalls nicht zu bestreiten ist). Sie seien um Zehnerpotenzen zu groß, wofür

viele, schwer zu widerlegende Hinweise gebracht werden. Allerdings haben wir auch keine auch nur annähernden Vermutungen über den Zeitraum der Sintflut gefunden.

Auch von der Kultur und den handwerklichen Fähigkeiten der damaligen Menschen wissen wir gar nichts. Immerhin finden sich z.B. bei Casson (1971) und ders. (1991) deutliche Hinweise darauf, daß man um 3000 v.Chr. am Nil schon Schiffe von erstaunlicher Größe – wenn auch mit der Arche nicht vergleichbar – gebaut hat. Da der technisch-handwerkliche Fortschritt in der Vorzeit vermutlich sehr langsam vor sich gegangen ist, gehen wir davon aus, daß auch schon einige tausend Jahre vorher die Herstellung und Benutzung von eisernen / stählernen / bronzenen und steinernen Werkzeugen möglich war. Insbesondere müssen Sägen, verschiedene Arten von Äxten, Beilen und Dechseln, Hammer, Holzbohrer, Stecheisen aller Größen, Hobel usw. bekannt gewesen und benutzt worden sein. Es ist auch durchaus nicht von der Hand zu weisen, daß der größte Teil dieser Kenntnisse und Fähigkeiten die Katastrophe der Sintflut nicht überstanden hat, und daß deshalb aus der Zeit vorher keine halbwegs gesicherten Informationen vorliegen.

Der Bau dauerte lange. Aus verschiedenen Zahlenangaben in 1. Mose wurde eine Bauzeit von über 100 Jahren errechnet. Sicher sind viele hundert Menschen daran beteiligt gewesen.

Aufgabe der Arche war nach der Bibel (2006) die Aufnahme von acht Menschen und einer großen Auswahl von landbewohnenden Tieren und Vögeln, um sie vor einer bevorstehenden, globalen, verheerenden Flutkatastrophe, der Sintflut, zu retten. Wenn wir uns mit diesem Ereignis und seinen Begleiterscheinungen beschäftigen, haben wir es insofern einfach, als nur eine einzige Quelle bekannt ist, die verhältnismäßig zeitnah zum Bau der Arche entstanden ist, nämlich das, was in der Bibel im 1. Buch Mose (Genesis) steht. Wir wollen also daraus auf die Grundgedanken des Entwurfs schließen. Das bedeutet nicht weniger als den Versuch, „Gottes Gedanken nachzudenken“ – so gut oder so schlecht es Menschen auch immer möglich ist. Dabei werden wir uns ganz auf die Festigkeitsfragen der schiffbaulichen Konstruktion beschränken, d.h. auf unser persönliches, praktisch lebenslanges Arbeitsgebiet – wenn das auch im *Stahlschiffbau* liegt.

Der Bericht über die Sintflut steht im 1. Buch Mose, Kap. 6 bis 8. Noach erhielt von Gott den Auftrag zum Bau einer „Arche“. Der für die technischen Aussagen maßgebende, im Laufe der Jahrhunderte mehrfach revidierte Text nach Luther ist die buchstäblich einzige Unterlage, die wir haben. In etwas neuerem Deutsch lautet er nach Bibel (2006) :

1. Buch Mose, Kap. 6, Verse 13 – 16 und Kap.8, Vers 6 :

Kap. 6

¹³*Da sagte Gott zu Noach : . . .*

¹⁴*Bau dir ein Schiff¹⁾, eine Arche. Mach sie aus festem Holz²⁾ und dichte sie innen und außen mit Pech ab. Im Innern soll sie viele Räume haben.*

¹⁵*Sie muß 150 m³⁾[L] lang sein, 25 m [B] breit und 15 m [H] hoch.*

¹⁶*Mach oben ein Dach darüber, zieh zwei Zwischendecken ein, so daß es dreistöckig wird, und bring an der Seite eine Tür an.*

Kap. 8

⁶*Nach vierzig Tagen öffnete Noach die Dachluke, die er gemacht hatte, . . .*

Anmerkungen zu diesem Abschnitt :

- 1) Das hebräische Wort bedeutet „Kasten“, und wurde von Luther auch so übersetzt und nicht nur von uns so verstanden. Für „Schiff“ gibt es im Hebräischen ein anderes Wort, insofern leuchtet uns die obige Übersetzung des ersten Satzes von Vers 14 nicht ein.
- 2) Luther schreibt ursprünglich : „Tannenholz“. In der King James Bible (o.J.) steht „gopher“, was meist als eine heute nicht mehr bekannte Zypressenart gedeutet wird. Zypressen gelten auch heute als gutes und beständiges Bauholz.
- 3) Im Urtext sind als Längenmaß „Ellen“ angegeben. Für diese gibt es viele verschiedene Definitionen. Zumal es nach Lage der Dinge auf wenige cm durchaus nicht ankommt, verwenden wir (wie auch Bibel (2006)) : 1 Elle = 0,50 m .

Es ist zu erwähnen, daß in mindestens einer Ausgabe der Luther-Bibel von 1905 – hier weiterhin als Bibel (1905) zitiert – der Vers 16 etwas anders lautet :

1. Buch Mose, Kap. 6, Verse 13 – 16 :

¹⁶*. . . und soll drei Böden haben, einen unten, den andern in der Mitte, den dritten in der Höhe.*

Es ist danach nicht ganz klar, ob ein oder zwei Zwischendecks vorzusehen sind. Wahrscheinlich ist das eine Frage der Übersetzung. Wenn wir in Bibel (1905) für „Boden“ das Wort „Stockwerk“ aus Bibel (2006) setzen, so kommen wir auf zwei Zwischendecks, was bei anderen Übersetzungen (z.B. Bibel (2017) und King James (o.J.)) ebenso ist. Das passt dann auch zu der heute üblichen, doppelten Verwendung der Bezeichnung „Deck“ :

- a) das eigentliche Deck, d.h. die konstruktive Einheit von Balken usw. u. Decks-Beplankung,
- b) der Raum zwischen dem genannten Deck nach a) und dem darüber liegenden Deck.

Wir werden an dieser Stelle die Auffassung mit zwei Zwischendecks verwenden, d.h. nach Bibel (2006) – wozu auch die folgenden, technischen Überlegungen passen :

Nach Bibel (2006), d.h. mit zwei Zw.Decks beträgt deren Höhe je 5,0 m, nach Bibel (1905) sind es 7,5 m. Im letzteren Fall wäre es dann eigentlich zwingend, diese Höhen noch einmal durch mindestens ein leichtes Deck zu unterteilen. Das wäre u.E. aber schon eine zu eigenwillige Auslegung des Textes – es führte auch zu etwas beengten Räumen. Dagegen sind nach Bibel (2006) in der vorhandenen Raumhöhe (brutto 5,0 m) für die Masse der Tiere gut je zwei Ställe übereinander anzuordnen, sie sind dann noch vom Deck aus erreichbar. Das scheint uns die wahrscheinlichere Lösung zu sein. Drüeke (2015), S. 89, unterteilt auch diese Räume noch durch ein leichtes Deck. Dort gibt es dann aber kaum noch Stehhöhe, das halten wir, insbesondere auch hinsichtlich der Lüftung, für nicht tragbar.

Der obige Abschnitt aus Bibel (2006) wird hier weiterhin als die „Bauvorschrift“ angeführt. Auch heute gibt der Auftraggeber dem Erbauer bei der Anfrage eine Bauvorschrift an die Hand, in der genau beschrieben ist, was er haben will (d.h. worauf sich der Baupreis bezieht). Solch eine Bauvorschrift geht im Normalfall viel weiter in die Einzelheiten. Andererseits bedeutet die Angabe der Hauptabmessungen, Länge L, Breite B und Seitenhöhe H, daß schon ein sehr weitgehend ausgearbeiteter Entwurf vorliegt, der vom Auftraggeber selbst erstellt oder zugeliefert wurde. Wir nehmen an, daß Noah viele weitere Anweisungen erhielt, die aber in der Bibel, weil sie zweitrangig waren, nicht festgehalten wurden.

DANKSAGUNG

Es war wichtig, aber nicht einfach, Partner für Überlegungen zu dem Thema zu finden. Umso mehr danke ich Herrn Prof. Dr. F-L Feeder, Herrn Prof. Dr. W. Gitt (dessen Studie Gitt (2001) war ein wesentlicher Anstoß für diese Arbeit), Herrn E. Haag, Whangarei, NZ, Herrn H. Lange / Fa. Albatros Schiffbau Miniaturen, Herrn Prof. Dipl.Ing. W.D. Weiss und dem Arbeitskreis Technikgeschichte des VDI Nürnberg, für hilfreiche und ermutigende Gespräche. Meine Söhne unterstützten mich auch bei diesem „Beitrag zur Technikgeschichte“ wieder unermüdlich im Gedankenaustausch und übernahmen die EDV- Umsetzung und fotografische Arbeit bzw. die englischsprachige Zusammenfassung. Aus dem Aquarell-Kreis der Ev. Kirchengemeinde Nürnberg-Maxfeld stammen die Titelbilder der beiden Teile I und II.

Den Genannten danke ich sehr herzlich !

Jan Hartmann

2) Einführung zum technischen Teil

Die Gesamtarbeit haben wir in zwei Teile geteilt. Teil I enthält die eigentliche Abhandlung und sollte für sich verständlich sein – insbesondere auch für Leser, die die technischen Berechnungen gar nicht in den Einzelheiten verfolgen wollen.

Die zum gründlichen Verständnis dieser, wie auch anderer Einzelfragen, nötigen Grundlagen aus technischer Mechanik und Schiffbau, werden wir nur so weit erläutern, daß auch der Nicht-Techniker zu einem einigermaßen zutreffenden Bild der technischen Überlegungen und ihrer Ergebnisse kommen kann. Für den technisch und schiffbaulich näher interessierten Leser fassen wir eingehendere Zahlenrechnungen in Kap. 10 – dem Teil II dieser Arbeit – zusammen.

Wir hoffen, daß schließlich, zusammen mit Gitt (2001), eine heute vertretbare technische Beschreibung und Bewertung darüber vorliegt, ob und wie man die Arche, aus unserer Sicht, tatsächlich bauen und „betreiben“ konnte.

Bei der Untersuchung wollen wir, unter Bezug auf die Bauvorschrift zunächst die notwendigen Abmessungen der Hauptverbände der Arche ermitteln, und danach u.a. eine Massenberechnung für den Rumpf erstellen. Damit haben wir dann Grundlagen für weitere Überlegungen und Berechnungen. Zu diesem Zwecke müssen wir aber auch das Gebiet des schiffbaulichen Gesamtentwurfes berühren.

Im Schrifttum über die Sintflut und die Arche Noah sind im engeren Sinn technische Arbeiten weltweit sehr dünn gesät. In deutscher Sprache kennen wir nur Gitt (2001). Gitt beschäftigt sich überwiegend mit der Stabilität (d.h. dem Aufrichtvermögen aus geneigten Lagen – „Stabilität“ ist in der Technik durchaus nicht dasselbe wie „Festigkeit“ !) der Arche, wenn auch in einer für den Schiffbauer ungewohnten Weise. Auch Hong (1994) befaßt sich mit wirklicher Technik und zwar auf einem ingenieur-wissenschaftlich hohen Stand und sehr umfassend. Leider sind dabei aber einige grundlegende Annahmen auf eine Weise gemacht worden, der wir uns nicht anschließen können. Sowohl Gitt (2001) als auch Hong (1994) verwenden viel Raum auf den Nachweis, daß es in den von ihnen untersuchten Bereichen offenbar ausführliche Optimierungs-Prozesse gegeben habe. Diese müssen dann im technisch-gedanklichen Entwurf der einzigen, gebauten „Arche“ abgelaufen sein und nicht über praktische Erfahrungen – womit wir wieder bei den „Gedanken Gottes“ sind. Das sehen die genannten Quellen auch so.

3) Zum Gesamtentwurf der Arche und Hauptdaten der Rekonstruktion

Für die weitere, entwurfsnahe Arbeit müssen wir auf Untersuchungen zurückgreifen, die von anderen stammen. Unser Ausgangspunkt ist dabei eine Massenaufstellung, die an Woodmarappe (1996) angelehnt ist. Sie ist das Ergebnis von sehr umfangreichen Arbeiten verschiedener Verfasser und in Tab. 1 / 3 zusammen gestellt :

Tabelle 1 / 3 ¹⁾

1	2	3	4
2	Masse	Text	Quelle
3	tons ²⁾	-	-
4	4 000	Leermasse	Hong e.al. (1994)
5	111	Lebende Masse, Anfang der Reise	Woodmorappe (1996)S. 64 ff
6	411 ³⁾	Lebende Masse, Ende der Reise	dgl.
7	2 500 ³⁾	Trockene Vorräte Anfang der Reise	Woodmorappe (1996) S. 17 ff
8	4 070	Frischwasser, Anfang der Reise	dgl.
9	11 000	Σ Anfang der Reise	Σ Zeilen 4, 5, 7, 8

Anmerkungen J.H. :

¹⁾ Eine der Tab. 1 / 3 vergleichbare, auf den Ergebnissen unserer Rekonstruktion beruhende Aufstellung, findet sich unten als Tabelle 2 / 3.

²⁾ Wir nehmen an : 1 ton $\hat{=}$ 1 t $\hat{=}$ 1 000 kg ($\hat{=}$ 10 kN) 1 m³ Wasser $\hat{=}$ 1 000 kg

³⁾ Zunahme durch Wachstum und Geburten während der Reise. Ausgleich durch Verbrauch von Vorräten fehlt aber ! Von uns wurden die Veränderungen der Pos. 5 – 7 der Tab. 1 – d.h. die Veränderungen während der Reise – nicht weiter berücksichtigt, zumal Pos. 4, 7 u.8 dabei deutlich kleiner wurden und eine Stabilitätsgefährdung nicht vorliegt.

Woodmarappe (1996) rechnet danach noch eine nicht erläuterte Reserve von 6000 ts ein – d.h. über 50 % (!) – und kommt so auf T = 4,53 m . Davon macht er allerdings keinen Gebrauch.

Wenn wir von einer reinen Quaderform des Rumpfes ausgehen, ferner davon, daß L, B, H auf den Außenkanten des Rumpfes gemessen sind, so ergibt sich der Tiefgang am Anfang der Reise nach : T = Zeile 9 / L \times B = 11 000 / (150 \times 25) = 2,93 m . Deshalb rechnen wir für die Bemessung der hölzernen Bauteile vorläufig mit einem Tiefgang T = 3,00 m .

Die Massenbilanz des von uns rekonstruierten Entwurfs (d.h. das Ergebnis dieser Arbeit) gibt die folgende Tabelle 2 / 3 , die mit Tab. 1 / 3 vergleichbar ist, wieder. Näheres zu den Berechnungen siehe Teil II dieser Arbeit.

Tabelle 2 / 3 Arche Noah Zustand : Anfang der Reise

1	2	3	4	5	6
2	Text	Quelle	Masse	z_G über UKK	Moment
3	-	-	t	m	tm
4	Rumpf, leer	hier : Tab. 1 / 10.4	3 975	7,03	27 940
5	Lebende Masse	Woodm.(1996) S.64 ff	120	8,50	1 020
6	Trocken Vorräte	Woodm.(1996) S.17 ff	2 500	3,00	7 500
7	Frischwasser	hier, Kap. 3 , s.u.	1 840	12,30	22 600
8	Zeilen 4 – 7		8 435		59 060
9	Reserve $\approx 7,9 \%$ von Zeile 8		665	$\approx 10,00$	6 600
10	Σ Anfang der Reise		9 100	7,22	65 660

z_G = Höhenlage des Massenschwerpunktes über UKK = Unterkante Kiel, d.h. Unterkante Boden

$$\underline{T_{\text{Anfang der Reise}}} = \underline{9100 / (150 \times 25)} = \underline{2,43 \text{ m}}$$

In dem hier vorliegenden Beitrag wollen wir uns, wie schon erwähnt, vornehmlich der Festigkeit der Arche, d.h. der Statik und der Holz-Konstruktion des Rumpfes zuwenden (einem ureigen schiffbaulichen Fachgebiet) und prüfen, ob die Arche physikalisch ausführbar ist.

Für die von uns beabsichtigte Rekonstruktion der hölzernen Verbände (zu ihrer Benennung siehe Abb. 2) der Arche ist die Kenntnis einer Reihe von Einzelheiten nötig, die in der überlieferten Bauvorschrift nicht enthalten sind und die wir deshalb für diese Arbeit selbst festlegen müssen :

Der Rumpf wird der Höhe nach gleichmäßig unterteilt (Abb. 3). Das ergibt eine Raumhöhe in den beiden Zwischendecks und der Stauung (dem untersten Raum im Rumpf) von je 5,0 m, einschl. der Tragkonstruktionen von Boden und Decks. Diese Raumhöhen ermöglichen es, zwischen zwei Decks jeweils mehrere Ställe übereinander anzuordnen. Nach Drüeke (2015) waren die Tiere im Mittel etwa so groß wie eine kleine Ratte, entsprechend also auch die Ställe, deren Feinplanung wir nicht berücksichtigen. Die natürliche Belüftung und eine minimale Belichtung erfolgt durch einen Mittelschacht von etwa 3 m Breite, Abb.3 , 5 u.6 , der sich über 126 m, d.h. 84 % der Rumpflänge L erstreckt.

Die Besatzungsunterkunft und die Tierställe sollen vor allem auf den beiden Zwischendecks eingerichtet werden, weil in der Stauung die Belüftung besonders schwierig wird und Licht sie praktisch nicht mehr erreicht. Deshalb sollten in der Stauung vor allem Vorräte gelagert werden. Der so entstehende Verkehr in der Arche könnte mit Tragtieren abgewickelt werden. In der Stauung wird auf den Längsträgern ein losnehmbarer Flurboden angeordnet. Dadurch bleibt auch die Bodenstruktur von innen zugänglich, und Undichtigkeiten der Boden-Beplankung können während der Reise nachkalfatert werden (dabei wird Werg od. dgl. in die Fugen eingeschlagen, danach werden sie mit Pech vergossen). An den Seiten und Decks ist das ohne weiteres möglich.

Die gemäß Bauvorschrift vorzusehende Seitenpforte ordnen wir auf halber Länge und auf dem ob.Zw.D an. Von dort kommt man auf einen Vorplatz und zu den Räumen des ob.Zw.D. und über ein Rampen-System zu den weiteren Ställen und Vorratsräumen, siehe Abb. 5. Die Neigung der Rampen beträgt 15° , sie werden von den dafür zu verstärkenden Decksstützen neben dem Mittelschacht getragen.

Da gekrümmte Außenhautflächen schwierig zu bauen sind und bei der Arche, die nur treiben soll, keinen Sinn haben, bauen wir die Kimm, d.h. die Verbindung von seitl. Außenhaut- und Bodenbeplankung rechtwinklig. Ebenso werden auch die Verbindungen der Spiegel (die beiden quer-schiffs stehenden Abschlusswände des Rumpfes) mit der seitlichen Außenhaut und dem Boden, siehe Abb. 3 und 11, ausgeführt. Eine eckige Kimm dämpft auch die Rollschwingungen im See-gang nennenswert, worauf wir keinesfalls verzichten dürfen, siehe dazu Kap. 7.3 .

Die sehr schwierigen Fragen, wie viele individuelle Tiere und wie viel an Vorräten an Bord untergebracht werden mußten und konnten und wie ihre tägliche Ver- und Entsorgung erfolgen könne, werden in der bekannten Bauvorschrift gar nicht, in dem Schrifttum aber sehr ausführlich behandelt. Sie würden den Rahmen dieser ingenieur-technischen Arbeit bei weitem sprengen.

Wir übernehmen dafür Zahlen aus Drüeke (2015) und Woodmorappe (1996), siehe oben seine Massenbilanz nach Tab. 1/3 Sie laufen darauf hinaus, daß die verfügbare Decksfläche von etwa

9400 m² voll ausreicht. Woodmorappe (1996) geht in seiner Massenbilanz der Arche von einem Frischwasservorrat von 4070 t am Anfang der Reise aus, erklärt aber die Entstehung dieser Zahl nicht. Sie scheint uns zu groß zu sein. Deshalb planen wir eine Regenwasser-Sammelanlage und acht Wasserzellen von je $\approx 230 \text{ m}^3$ (Gesamt : $1\,840 \text{ m}^3$) Inhalt ein, die wir zwischen Hauptdeck und oberem Zwischen-Deck über die Länge verteilt anordnen, siehe Abb. 5 u. 6. Durch die hohe Lage werden die Roll-Schwingungs-Perioden der Arche vergrößert – was sehr erwünscht ist – und es bietet sich die Anlage von Tränk- und Wasserentnahme-Stationen auf beiden Zwischendecks an.

Offenbar sollte die Arche nur für eine einzige Reise gebaut werden, denn von einer Weiterverwendung ist nicht die Rede. Das ist nicht unwichtig, da bei Überlegungen betr. die zulässigen Spannungen in der Struktur heutiger Schiffe die Dauerfestigkeit (maßgeblich dafür sind die Lastspielzahlen, siehe hierzu auch Kap. 6.1), eine wichtige Rolle spielt. Außerdem braucht bei den Verbänden der Bodenkonstruktion keine Rücksicht auf ein Docken und die Vermeidung von Bodenschäden beim Trockenfallen genommen zu werden.

Rein äußerlich ist die Arche Noah nach unserer Rekonstruktion nicht schön, aber von unübertrefflicher Einfachheit. So gibt es sie auch schon in älteren Darstellungen. Abb. 1 vermittelt eine gewisse Vorstellung von dem Aussehen der Arche, zusammen mit größeren und kleineren modernen Schiffen, alle im Maßstab 1 : 1 250. Andere Auffassungen zeigen die Titelbilder der beiden Teile I und II, die in einem kleinen, internen Wettbewerb eines Aquarell-Malkreises entstanden sind.

4) Die Rekonstruktion der Rumpfstruktur der Arche

4.1 Vorbemerkungen zu Kap. 4

Für Holzschiffe von vergleichbarer Größe und Fertigungstechnik gibt es heute – im Gegensatz zum Stahlschiffbau – keine „Vorschriften“ für die Vordimensionierung der Bauteile. Wir sind also auf einfache Berechnungen nach den „First Principles“ der Mechanik und der Festigkeitslehre angewiesen. Die sinngemäß dazu gemachten Lastannahmen folgen als Kap. 10.2 im Teil II. Sie werden bei der Anwendung manchmal noch weiter vereinfacht, um die Übersichtlichkeit zu erhalten und den Rechenumfang zu begrenzen.

Wie im Holzschiffbau üblich, gelten die Hauptabmessungen L, B und H einschließlich der Materialdicken von Deck, Boden und Außenhaut. Siehe hierzu die Hauptspant-Zeichnung Abb. 3. Im Stahlschiffbau ist es umgekehrt, u.a. weil die betr. Bauteile wesentlich dünner sind.

Die Holzverbindungen werden ganz überwiegend durch Eisen/Stahlnägel hergestellt. Häufig kommen aber auch Holznägel, d.h. Dübel, zum Einsatz, insbesondere dort, wo relativ große Schubkräfte zu übertragen sind und bei den besonders großen Materialdicken in Hauptdeck, Boden und Teilen der Außenhaut. Leimung ist nicht möglich. Dichtung erfolgt durch „kalfatern“, (siehe Bauvorschrift und Kap. 3).

Wir nehmen für alle Träger nur einen Rechteck-Querschnitt an, auch werden wir i.a. keine „mitragenden Breiten“ in die Berechnung einbeziehen. Die beiden vorstehenden Grundsätze bedeuten zusätzliche Holzmasse, aber auch einen nennenswerten Gewinn an Sicherheit. Wir nehmen weiter an, daß auch eine „Festeinspannung von Trägerenden“ in einfachster Holzbauweise nicht mit ausreichender und dauerhafter Sicherheit möglich ist. Daher gehen wir durchweg – i.a. auch bei Durchlaufträgern – von „freier Auflagerung der Trägerenden“ aus und gewinnen dadurch weiter an Sicherheit.

Wir werden keine Bauteile (außer Decksstützen, dort : Knickung) auf Beulung nachrechnen. Den dadurch entstehenden Verlust an Sicherheit nehmen wir hin, da bei den meist absolut bedeutenden Dicken der Holzbauteile die Beulgefahr ohnehin gering ist.

Die Maßangaben haben i.a., und soweit nicht anders angegeben, die Einheit [cm]. Bei Holz rechnen wir i.a. mit einer Mindestdicke von 6 cm bei Toleranzen von $\pm 1 \text{ cm}$, dabei wären dann mm-Angaben sinnlos.

Die Zwischendecks und ein Teil der seitlichen Außenhaut bestehen aus Planken. Man kann sie durch Spalten von Baumstämmen herstellen, siehe Abb. 12 und Förster (2009). Dadurch kommen wir zu Höchstabmessungen für Plankenquerschnitte von etwa $40 \times 10 \text{ cm}$., und etwa 4 bis 6 Planken / Stamm. Weiterhin rechnen wir nicht mit Plankenlängen von über 4 m. Beide Begrenzungen sind eine ganz umfassende, sehr wichtige Randbedingung für die konstruktiven Einzelheiten. Die

Teile werden nach dem Spalten natürlich mit Dechsel und Hobel erheblich nachgearbeitet. Bei großflächigen Decks-Bepunktungen dürfen die einzelnen Planken i.a. auch verschieden breit sein, darüber entscheiden die Handwerker von Fall zu Fall selbst.

Aus Gründen der Längsfestigkeit (siehe dazu Kap. 6) müssen große Teile von Haupt-Deck, Boden und seitlicher Außenhaut große Dicken erhalten, in weiten Bereichen sind 18 – 25 cm erforderlich. Derartige Bauteile müssen, wenn sie etwa die gleiche Breite haben, aus einzelnen, dicken Stämmen heraus gearbeitet werden. Bei ihren Verbindungen werden regelmäßig lange Holzdübel notwendig. Auch die Längsverbindungen der einzelnen Trägerlängen müssen wegen der Längsfestigkeits-Beanspruchungen zug- und druckfest sein (zimmermannsmäßige Verblattungen), Abb. 9, und sich mit den durchlaufenden Bauteilen längs und quer gut überlappen.

Die Stege von Trägern mit einer Steghöhe von über etwa 25 cm sind aus Planken von etwa 5-7 cm Dicke aufgebaut, die sich in allen drei Richtungen (Dicke, Steghöhe, und Länge) überlappen. Für Dicke und Steghöhe siehe dazu z.B. Abb. 7 u. 8. Im Einzelnen ist der Aufbau solcher Träger aber in den Zeichnungen i.a. nicht dargestellt, weil er sich vor allem nach dem vorhandenen Holz richtet. Auch dieser Umstand stellt an Umsicht und handwerkliche Fähigkeiten der Holz-Schiffbauer bedeutende Anforderungen.

Auf konstruktive Einzelheiten gehen wir in Kap. 5 ein.

4.2 Der Entwurf der Rumpfstruktur

Natürlich unterscheiden sich die physikalischen Gegebenheiten der Arche nicht von denen eines Schiffes. Insbesondere müssen Schwimmfähigkeit, Stabilität und – und das ist der engere Gegenstand dieser Arbeit – die Längs-, Quer- und Schub- oder Torsionsfestigkeit für die Gesamtheit des Rumpfes und überall die örtliche Festigkeit gesichert sein.

Die Längsfestigkeit ist die Fähigkeit des Rumpfes, Durchbiegungen nach oben oder nach unten einen ausreichenden Widerstand entgegen zu setzen. Sie ist von großer Bedeutung für den Entwurf der Rumpfstruktur, und muß heute bei jedem größeren Schiff durch eine Längsfestigkeits-Rechnung eingehend nachgewiesen werden. Dies ist der Grund dafür, daß wir ihr auch hier relativ viel Raum geben.

Man sieht leicht ein, daß z.B. eine einzelne große Masse auf der halben Länge eines sonst leeren Rumpfes, diesen nach unten durchbiegen und u.U. beschädigen wird. Das Gleiche geschieht, wenn etwa ein Wellental dort nur einen besonders kleinen Auftrieb aufbaut. Schon an einfachsten Modellen aus Schaumstoff oder Karton kann man sehen, daß es bei einer Durchbiegung nach unten im Deck zu Druckbelastungen (das Deck beult aus), im Boden zu Zugbelastungen (der Boden reißt quer durch) kommt. Bei Durchbiegung nach oben, ist es umgekehrt. Für die Längsfestigkeit spielt das Verhältnis der Länge zur Höhe des Rumpfes, also $L : H$, eine wichtige Rolle. Bei der Arche ist es durch die Bauvorschrift mit $L : H = 10$ vorgegeben. Das ist, insbesondere für ein Holzschiff, dessen Verbände auf Grund des Baustoffes und der schwierigen Verbindungen seiner Einzelteile immer „weich“ sind, schon ein bedenklich großer Wert. Wir müssen also auf die Ausbildung der Längsverbände – Hauptdeck, Boden und die unmittelbar daran anschließenden Teile der seitlichen Außenhaut – großen Wert legen. Näheres siehe Kap. 6 und 10.6 .

Die Querfestigkeit ist die Widerstandsfähigkeit des Rumpfes gegenüber Verformungen in der vertikalen Querschiffsebene, siehe Abb. 13. Dies ist bei den meisten Schiffen kein Problem, wohl aber bei unserem Entwurf der Arche, weil der in Kap. 3 erwähnte Mittelschacht (Abb. 3) die Querfestigkeit außerordentlich schwächt. Schon der auf die seitliche Außenhaut wirkende Wasserdruck – der sonst vor allem die querlaufenden Decksbalken belastet, die aber der Mittelschacht unterbricht – muß aufgenommen werden. Dazu kommen Verformungen im Seegang, die durch eine größere Anzahl von Flügelschotten, Abb. 4, klein gehalten werden sollen, siehe hierzu Kap. 7.1 .

Im Seegang kommt es auch immer wieder zu Torsions- (d.h. Verdreh-) Beanspruchungen des Rumpfes, siehe Abb. 23 Wenn dieser eine Art geschlossene Röhre ist, macht ihre Aufnahme i.a. keine Schwierigkeiten. Ist der Rumpf jedoch als eine längsschiffs aufgeschnittene Röhre anzusehen, wie es hier der Fall ist, so können relativ große Verformungen und Spannungen entstehen. Als Gegenmaßnahme wollen wir horizontal liegende Fachwerke einbauen, siehe hierzu Kap. 7.2 .

Im übrigen ist die Vielzahl von Deckstützen ein Kennzeichen des Entwurfs. In Abb. 3 kann man gut verfolgen, wie die Lasten auf den Decks (und die Eigen-Gewichtskraft der Decksstrukturen) durch die Deckstützen auf dem kürzesten Weg in die Bodenstruktur geleitet werden, wo

ihnen die Auftriebskräfte unmittelbar gegenüber stehen. Durch Einbau von vielen Stützen kann man nennenswerte Einsparungen an Längs- und Querträgern erreichen. Bei der Vielzahl von Stützen stören die Deckstützen auch die Raumeinteilung nicht, sondern erleichtern sie sogar oft.

4.3 Massenberechnung der Holzkonstruktion und statische Werte des Hauptspantes

Die bisher beschriebenen Rechnungen stellen keine chronologische Darstellung des Entwurfsvorganges der Rumpfstruktur dar. Insbesondere durch die Anforderungen der Längsfestigkeit besteht dieser tatsächlich aus mehreren Entwurfsschleifen, d.h. er ist ein allmähliches Herantasten an die endgültig gewählte Lösung. Dabei waren immer neue, mehr oder weniger vollständige Massen- und Längsfestigkeitsrechnungen erforderlich. Das alles hier darzustellen wäre aber nur verwirrend. Deshalb soll an dieser Stelle nur eine kurze Beschreibung des Vorgehens zur Ermittlung der Gesamtmasse des leeren Rumpfes gegeben werden.

In der Tabelle 1 / 10.4 sind zunächst alle auf jedem Querschnitt nach Abb. 3 vorhandenen Bauteile aufgeführt. Ihre Masse und deren Höhenlage werden dort für einen 6m-Abschnitt berechnet, sie wiederholen sich also $150 / 6 = 25$ mal. Zusätzlich werden berechnet : Spiegel, die Rampen im Mittelschacht und die Schotten (Tab. 17 / 10.3). Zu letzteren gehören die Querschotten (zwischen Boden und unte.Zw.D.), die Flügelschotten (auf den beiden Zwischendecks) und die in Längsrichtung stehenden Schotten der Wasserzellen auf dem ob.Zw.D.. Die Massen dieser Teile haben wir auf die 6m-Abschnitte umgelegt, und erfassen damit den ganzen, leeren Rumpf.

Dessen Masse ist das 25-fache der Masse eines 6m-Abschnittes :

Leerer Rumpf : $m = 159 \times 25 = 3\,975\text{ t}$ $z_{\text{UK Boden}} = 7,03\text{ m}$

Es sei angemerkt, daß die hier vorgenommene Umlegung aller Massen auf die ganze Länge L des Rumpfes nur für die Ermittlung der Gesamtmasse und für die Lage des Massenschwerpunktes der Höhe nach zulässig ist. Insbesondere für die Längsfestigkeitsrechnung (Kap. 6) sind die Einzellasten an Ort und Stelle einzuführen, siehe die Erläuterungen in Abb.17.

Die von uns so bezeichneten „statischen Werte“ des Hauptspantes sind das Flächen-Trägheitsmoment und das obere und das untere Widerstandsmoment bezogen auf die neutrale Faser. Siehe hierzu Kap. 10.5 .

5) Ausführung baulicher Einzelheiten

5.1 Decks und Boden, Außenhaut

Die auf den Decks ruhenden Lasten werden letztlich von dem Auftrieb, d.h. von dem Wasserdruck auf den Boden, im Gleichgewicht gehalten. Deshalb ist es zwingend, den grundsätzlichen Aufbau der Decks- und der Bodenstruktur aufeinander abzustimmen.

Nach einigen Entwurfsschleifen kamen wir zu den in Abb. 3 und 4 bis 10 gezeigten Konstruktionen und Abmessungen. Die seitliche Außenhaut zeigt sehr dicke „Planken“ in den Bereichen von jeweils 2,5 m vom Hauptdeck bzw. vom Boden aus gemessen, weil dort noch hohe Spannungen aus der Längsfestigkeits-Beanspruchung auftreten. Der Bereich dazwischen ist im wesentlichen beansprucht durch den äußeren Wasserdruck und durch die Schubspannungen zwischen der Decks- und der Bodenstruktur und aus den Querkräften. Diesen Bereich führen wir mit Planken in Klinker-Bauweise aus. Bei dieser überlappen sich die einzelnen Außenhaut-Planken, sie sind auf der ganzen Länge miteinander vernagelt, Abb.10, und bieten dadurch einen großen Widerstand gegen Parallel-Verschiebungen. Außerdem vergrößern die Überlappungen die örtliche Festigkeit der Beplankung und erleichtern auch die Fertigung und das Kalfatern.

Aufgabe der Spanten ist es vor allem, die Außenhaut gegen den Wasserdruck zu stützen. Den Spant-Abstand haben wir mit 1,0 m angenommen. Eine Verringerung würde zwar theoretisch eine Verringerung der Beplankungsdicke erlauben. Da diese aber in den meisten Bereichen durch die Längsfestigkeit und die Mindestdicke bestimmt ist, können wir sie nicht weiter verringern. Insofern ist der Spant-Abstand schon dicht am Optimum. Die Spanten, die bei dem quaderförmigen Rumpf ja nicht gebogen sind, sollen der inneren Kontur der Beplankung durch eingesetzte Keile angepasst werden. Eine direkte Anpassung durch eine sägeförmige Kontur wäre aber auch denkbar. Die Spanten laufen durch die Decks hindurch und müssen schon deshalb mehrfach unter Verwendung großer Laschen gestoßen werden, Abb. 3 und 10. Die Decksdurchführungen brauchen u.E., außer natürlich in den Wasserzellen, nicht wasserdicht zu sein.. Die Spanten sind durch Knie an die

Decks- und die Bodenstruktur angeschlossen. Die dafür im mittelalterlichen Schiffbau übliche Verwendung von gewachsenen Astgabeln war nicht möglich, da diese nicht groß genug sind.

Die Längsträger (LT) werden, wie in Abb. 3 gezeigt, über die Breite der Arche verteilt. Dabei entspricht der Abstand der innersten LT der Breite des Mittelschachtes, d.h. etwa 3 m, die weiteren LT sitzen etwas enger. Die LT ihrerseits werden im Abstand von 6 m durch Querschotte (siehe Abb. 3 bis 6), die von Bord zu Bord reichen, unterstützt. Die LT laufen durch die Schotte hindurch und sollen und können daher wesentliche Spannungen aus der Längsfestigkeit aufnehmen. Auf halbem Schottabstand stehen die Deckstützen auf den Längsträgern, die darum nur für eine Stützweite von 3 m zu bemessen sind. Im Einzelnen ist die Stellung der Deckstützen der Abb. 3 zu entnehmen. Dort, wo eine Deckstütze in einem Quer- oder Wasserzellenschott steht, ist die betr. Schottsteife für die Aufnahme der Stützenlast zu bemessen. Wo eine Deckstütze mittig in einem Mittelschacht-Übergang steht, wird sie um eine Spantentfernung verschoben. Die darunter und / oder darüber stehenden Stützen werden schräg gestellt.

Die Deckstützen selbst haben einen quadratischen Hohlquerschnitt und sind aus Brettern zusammengebaut (genagelt), siehe Tab. 13 / 10.3 .

Die Bodenwrangen verbinden die LT in Querschiffsrichtung. Sie enden an den LT und werden durch Eckhölzer mit ihnen verbunden, letzteres ist ausführlich nur in Abb. 8 dargestellt. Derartige Eckhölzer sind auch überall vorzusehen, wo relativ dünne Teile mit kreuzenden, relativ dicken Teilen zu verbinden sind, sie übertragen auch die Kräfte zwischen LT und den Querschotten.

Diese Anordnung wiederholt sich sinngemäß bei dem Hauptdeck und den beiden Zwischendecks. Letztere – die kaum zur Längsfestigkeit beitragen – haben eine normale Beplankung von 6 cm Dicke.

Das Hauptdeck und natürlich Boden und Außenhaut werden kalfatert, bei den Zwischendecks kann u.E. im Einzelfall davon abgesehen werden.

5.2 Quer- und Flügelschotte, Spiegel, Lüftungshaus, Rampen

Die Querschotte unterteilen den Rumpf in einem Längsabstand von 6 m über die ganze Länge, siehe Abb. 3 und 5. Sie sind wesentliche Elemente der Querfestigkeit, haben aber auf Mitte Rumpf eine große Durchgangsöffnung zur Ermöglichung eines Längsverkehrs, u.U. auch mit Tragtieren. Schon deshalb werden sie nicht wasserdicht ausgeführt und reichen nur vom Boden bis zum unteren Zwischendeck. Um die großen Schottflächen leichter und mit weniger Aufwand bauen zu können, wollen wir auch sie in Klinker-Bauweise erstellen.

Bei starker Neigung des Rumpfes, vor allem im Seegang, wirken die Massen der Struktur und der Nutzlast auf den Decks auf eine Verzerrung des Rumpf-Querschnittes hin, wie sie in Abb. 13 angedeutet ist. Als Gegenmaßnahme wollen wir Flügelschotte vorsehen (siehe Kap. 7.1), d.h. Querschotte die in der Ebene der oben beschriebenen Querschotte (Abb. 4) von Deck zu Deck und von der Außenhaut bis zu einem gewissen Maß ins Schiff hinein reichen. Zwischen oberem Zw. deck und dem Hauptdeck verzichten wir auf jedes zweite Flügelschott. Abb. 5 und 6 zeigen die Lage von jedem Schott. So entstehen in Längsabständen von 6 m im ganzen Rumpf schubsteife Querverbände. Die Berechnung der darin auftretenden Kräfte wäre sehr aufwendig, wir bauen sie geklinkert, wie in Abb. 4 angegeben.

Die nach Kap. 3 eingeplanten Wasserzellen sind annähernd gleichmäßig über die Rumpflänge verteilt und in Abb. 5 u. 6 ausgekreuzt. Natürlich müssen die Schotte und Decks, soweit sie Wasserzellen begrenzen, wasserdicht ausgeführt (kalfatert) und auch verstärkt werden. Letzteres gilt auch für die sie tragenden Deckstützen.

Die Spiegel sind ein Teil der Außenhaut. Da besondere Belastungen aus Fahrbetrieb und aus An- und Ablegemanövern nicht auftreten, werden Außenhaut und Spanten wie der geklinkerte Teil der Außenhaut bemessen, siehe Abb. 11, d.h. die Längsfestigkeits-Verstärkungen entfallen. Die Spiegel werden von schweren Randbalken eingefasst, an denen die Außenhaut- bzw. Decksbeplankungen in Sponungen enden. Dabei werden recht schwierige Übergänge auftreten.

Das Lüftungshaus, Abb. 3, das die Öffnung des Mittelschachtes vor unmittelbarem Zutritt von überkommendem Wasser und Regen schützen soll, soll sehr leicht ausgeführt werden, weil das Hauptdeck im Mittel ja etwa 12,5 m über Wasser liegt. Zwecks leichter Anpassung an die Durchbiegungen des Rumpfes verzichten wir außerhalb des engeren Bereiches von $L / 2$ auf längsliegende Diagonalen. Das Dach könnte mit Schilfbündeln gedeckt sein.

6) Längsfestigkeit

6.1 Einführung

Wie bereits in Kap. 4.2 ausgeführt wurde, ist eine ausreichende Längsfestigkeit eine der Hauptforderungen an ein brauchbares Schiff. Sie soll hier für die Arche überschlägig nachgewiesen werden.

Dafür sind eine ganze Reihe von Annahmen zu machen. Dieses weite Gebiet, das immer noch ein häufig bearbeiteter Forschungsgegenstand ist, haben wir für unsere Untersuchung wie folgt vereinfacht, wobei wir uns aber an Verfahren hielten, die im Schiffbau weit über hundert Jahre mit Erfolg benutzt wurden (heute verfährt man in Einzelheiten anders) :

Wir rechnen quasistatisch, d.h. wir vernachlässigen die Bewegungen des Schiffes wie auch der Wasseroberfläche. Ebenso vernachlässigen wir die Durchbiegung des Rumpfes sowohl durch die Lastverteilung als auch durch die vom Seegang bestimmte Auftriebsverteilung.

Wir nehmen eine bestimmte Form und Höhe der Welle an. Statt auch verwendeter besonderer Kurven benutzen wir die einfache Sinus-Form. Deren Länge von Berg zu Berg sei gleich der Schiffslänge L . Die Wellenhöhe H_W , von Berg bis Tal, wird nach der Schiffslänge bestimmt. Bei Alte (1980) finden wir z.B. die Formel :

$$H_W = 1,25 \times \sqrt[3]{L} \quad \text{für } 100 \text{ m} \leq L \leq 270 \text{ m}$$

Damit ergäben sich für die Arche mit $L = 150 \text{ m}$ also $H_W = 1,25 \times 5,3 = 6,6 \text{ m}$. Bei den Lastannahmen (Kap. 10.2) haben wir für die Rumpferbände aber eine Wellenhöhe $H_W \approx 5,0 \text{ m}$ angenommen, und bei der Berechnung der Biegemomente im Rumpf von $H_W = 4,8 \text{ m} = 2 T$. Dabei leiteten uns die folgenden Überlegungen :

Erstens geht man heute bei der Bemessung der Schiffserbände von einer Lebensdauer des Schiffes von etwa 25 Jahren aus. Dies entspricht etwa einer Zeit „in See“ von 12 Jahren. Man baut nun das Schiff für die Wellenhöhe und -länge, die ihm während der Lebensdauer des Schiffes statistisch ein einziges mal begegnet. Diese Welle wird bei der Arche, die für eine Lebensdauer von etwa einem Jahr entworfen wurde, deutlich niedriger als bei einem „normalen“ Seeschiff sein.

Zweitens heißt es, daß während der großen Flut praktisch die ganze Erdoberfläche überflutet war, wodurch ein völlig anderes Klima entstanden sein muß, weil es die heute auftretenden großen Temperaturunterschiede zwischen Land- und Wasserflächen so nicht gab. Siehe hierzu auch Woodmaroppe (1996). In diesem Zusammenhang wurden wir auch auf 1. Mose 8, Vers 1 hingewiesen : „*Er ließ einen Wind über die Erde wehen, sodass das Wasser fiel*“. Daraus kann man schließen, daß während der Zeit des Treibens, der „Reise“, kein oder kaum Wind wehte. Jedenfalls fühlen wir uns berechtigt, nicht mit sehr starken Stürmen zu rechnen, und deshalb auch nur mit kleineren, maximalen Wellenhöhen.

Drittens ergibt sich bei $H_W / 2 = T = 2,4 \text{ m}$, was hier der Fall ist, daß die Wellenkantur den Rumpfboden auf $L / 2$ bzw. an den Rumpfen gerade noch berührt (siehe Abb. 18 und 19) was die überschlägigen Berechnungen für einen „Einzelkämpfer“ mit Taschenrechner sehr erleichtert.

6.2 Berechnungen

Da die Form des Rumpfes ein Quader ist, und wenn die Belastung praktisch gleichmäßig über Länge und Breite der beiden Zwischendecks und die Stauung verteilt wird – wovon wir ausgehen ! – ist die Querschiffsebene auf $L/2$, d.h. Spt. 75, eine Symmetrieebene für die Auftriebs- und die Belastungs-Kräfte, ebenso wie für die Verbände des Rumpfes. Deshalb berechnen wir nur den Bereich Spt. 75 bis Spt. 150, siehe Abb. 5 und 17 – 19.

Der Rechengang bildet den Satz der elementaren Statik nach, daß das „Biegemoment“ an einer Stelle eines Stabes gleich ist der Summe aller einzelnen Biegemomente (die alle auf die „Stelle“ bezogen sind !) links oder rechts von dieser Stelle. Dazu Abb. 16, die auch ein Zahlenbeispiel enthält. Man muß also die Biegemomente aus dem Auftrieb (z.B. +) und aus den Gewichtskräften (z.B. -) für die einzelnen Querschnitte ermitteln und addieren. Das Biegemoment ist also die kleine Differenz zweier relativ großer Zahlen und damit nicht sehr genau. Das lässt sich aber grundsätzlich nicht verhindern.

Bei unseren Berechnungen haben wir die Differenz von Auftrieb und Gewichtskraft an Hand der zeichnerischen Darstellung dieser beiden Kräfte für die „Stellen“, an denen große Einzellasten

beginnen und enden (siehe die Wasserzellen und Spiegel in Abb. 17 bis 19), der Tabellenrechnung (Kap. 10.6) vorgeschaltet, die dadurch einfacher und genauer wird. Das oben grundsätzlich zum Rechengang Gesagte gilt dafür aber auch.

Für die drei wichtigsten Belastungsfälle – „Arche im glatten Wasser“, „Arche auf dem Wellenberg“ und „Arche im Wellental“ – ist der Verlauf des Biegemomentes über die Hälfte des Rumpfes in den Abbn. 17 bis 19 dargestellt. Die Berechnungen selbst und die genannten Abbn. in voller Größe sind in Kap. 10.6 zusammengefaßt. Hier, zu Kap. 6.2, erscheinen die genannten Abbn. unten in verkleinerter Form bei den „Abbildungen“.

In Abb. 20 sind die Belastungs- und die Biegemomentenkurven eines „normalen“ Frachtschiffes zum Vergleich dargestellt. Man erkennt insbesondere die Konzentration von Belastungen und Biegemomenten auf den Bereich des Mittelschiffes. Bei der quaderförmigen Arche ist die Verteilung über die Rumpflänge viel gleichmäßiger, was aber nicht in jedem Fall vorteilhaft ist, s.u.

6.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Längsfestigkeitsrechnungen sind zunächst einmal die Verläufe der Biegemomentenkurve über der Rumpflänge :

Nach Abb. 17 ist das Biegemoment im glatten Wasser verschwindend klein. Das ist eine Folge der Tatsache, daß bei der Arche sowohl Auftriebs- wie Gewichtskraftverteilung sehr ähnlich sind.

Abb. 18 gibt die Lage der Arche auf dem Wellenberg wieder. Der Rumpf wird dabei in der Mitte weit stärker unterstützt als an den Enden. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß die Rumpfen – weil nur wenig vom Auftrieb gestützt – herunter hängen. Man bekommt im Hauptdeck Zugspannungen (+), im Boden Druckspannungen (-). Belastungsform „hogging“.

Den umgekehrten Fall, Arche im Wellental, zeigt Abb. 19 . Dort sind die Rumpfen stärker unterstützt als die Mitte. Es ist einleuchtend, daß in diesem Fall die Rumpfmittle nach unten durchhängt, im Hauptdeck entstehen Druckspannungen (-), im Boden Zugspannungen (+). Belastungsform „sagging“.

Wichtig für den Entwurf der Rumpfstruktur sind aber weniger die Biegemomente selbst, als die von ihnen im Material des Rumpfes erzeugten Spannungen. Ohne das Folgende abzuleiten, sei nur gesagt, daß der Satz gilt „Die Spannung an einer Stelle eines Querschnittes ist gleich dem in diesem Querschnitt wirkenden Biegemoment, dividiert durch das dort vorhandene „Widerstandsmoment“. Formelmäßig : $\sigma = M / W$ oder : $Ncm / cm^3 = N / cm^2$, hier meist als kN / m^2 angegeben. Im Gegensatz zu M ist W über die Höhe des Querschnittes für den es berechnet wird, unterschiedlich. Da das Biegemoment an einem Rumpf-Querschnitt in jeder Höhe gleich ist, sind die Spannungen im Material unterschiedlich. Am größten sind sie in der obersten und untersten Faser des Querschnittes – absolut meist unterschiedlich. Dazwischen gibt es eine spannungslose Ebene, die „neutrale Faser“. Die absolut größten Spannungen treten deshalb immer im Hauptdeck und im Boden auf – dort, wo der Abstand von der neutr. Faser am absolut größten ist.

Wenn man eine ebene Platte, z.B. ein Decksfeld, in ihrer Ebene durch Druckkräfte belastet, so besteht die Gefahr des Beulens. Das kann man sich an einem Blatt Papier leicht klar machen. Diese Gefahr spielt im heutigen Schiffbau eine große Rolle, weil die Stahlbleche relativ zu den Schiffsabmessungen sehr dünn sind. Die sehr erheblichen Dicken von Hauptdeck und Boden aus Holz (hier beide 0,25 m) sind bei der Arche demgegenüber weniger gefährdet.

In der folgenden Tabelle 1/6.3 sind die wichtigsten Ergebnisse zusammen gestellt :

Ergebnisse der Längsfestigkeitsrechnung (Zusammenfassung)

Tab. 1 / 6.3

1	2	3	4	5	6	7
2	Lastfall	Abb.	M_{max} - Bereiche	M_{max}	σ_{max} Deck	σ_{max} Boden
3	- -	- -	Spt – Spt	kNm	kN / m^2	kN / m^2
4	Glattwasser	17	14 – 24 u. 126 – 136	+154 100	+1 480	- 1 270
5	Wellenberg	18	24 – 44 u. 106 – 126	+852 000	+8 190	- 7 040
6	Wellental	19	24 – 54 u. 96 - 126	- 893 000	- 8 590	+7 380
7	Wellental		σ_{max} in N / cm^2 :	- 859	+ 738	

$\sigma = M / W$ M siehe Spalte 5 $W_{Deck} = 104 m^3$ $W_{Boden} = 121 m^3$ (Kap. 10.5)

$$\sigma_{zul} = 1\,000 \text{ N/cm}^2 = 1 \text{ kN/cm}^2 = 10\,000 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ kN/m}^2 \text{ (Kap. 10.1)}$$

Die Höchstbeanspruchungen aus der Längsfestigkeit entstehen also im Wellental im Hauptdeck. Sie werden aber noch überlagert von den Spannungen, die aus der örtlichen Belastung des Hauptdecks durch Wasser an Deck und aus der Biegebelastung der Unterzüge herrühren, bzw. Belastung des Bodens und der Längsträger durch den Wasserdruck. Dies ist in Kap.10.6 ausführlicher zusammen gestellt, darauf sei hier verwiesen. Die wichtigsten Ergebnisse aus sehr vielen, möglichen Kombinationen waren :

$$\text{Im Hauptdeck } \sigma_{\max \text{ Deck}} = \underline{1\,034 \text{ N/cm}^2} \approx \sigma_{zul} = 1\,000 \text{ N/cm}^2$$

$$\text{Im Boden } \sigma_{\max \text{ Boden}} = \underline{967 \text{ N/cm}^2} < \sigma_{zul} = 1\,000 \text{ N/cm}^2$$

Die rechnerische Überschreitung von σ_{zul} um 3 % wird man tolerieren können.

Auf Grundlage der vorstehenden Zahlen ist abschließend zu sagen :

Die Beanspruchung der Längsverbände ist im glatten Wasser und mäßigem Seegang sehr gering, was bei den sehr ähnlichen Lastverteilungen von Streckenlast und Auftrieb auch zu erwarten ist. Daraus ergeben sich niedrige Dauerwechsel-Beanspruchungen, das ist insbesondere vorteilhaft für die Festigkeit der Verbindungen der einzelnen Teile untereinander.

Die über die Rumpflänge relativ gleichförmige Lastverteilung führt aber auch dazu, daß die größten Biegemomente ebenfalls in einem relativ großen Längenbereich auftreten. Zum Vergleich haben wir die entsprechenden Kurven für ein „normales“ Schiff von ähnlicher Größe in Abb. 20 (nach Alte (1980)) wiedergegeben. Der Bereich hoher Momente und großer Spannungen – und damit der sehr schweren Verbände in Hauptdeck, Boden und Außenhaut – erreicht bei der Arche etwa 80 % der Rumpflänge, bei dem „normalen“ Schiff dagegen nur etwa 30 %. Bei modernen Schiffen können die genannten Bauteile an den Schiffsenden daher erheblich leichter ausgeführt werden als im Mittelschiff.

Bei der Arche würden wir an den Rumpfen die Abmessungen von 15, 18 und 25 cm nach den Abb. 7 und 8 auf etwa jeweils die Hälfte vermindern. Da jedoch die schweren Längsverbände den ganzen Bereich der hohen Momente abdecken müssen, wird der Rumpf der Arche gegenüber „normalen“ Schiffen verhältnismäßig schwer und aufwendig werden, was nicht zu vermeiden ist.

7) Weitere Berechnungen

7.1 Querfestigkeit

Hierzu wollen wir zwei verschiedene Belastungsfälle untersuchen :

Nach der in Abb. 13a skizzierten oder einer ähnlichen Belastung wird der Rumpfquerschnitt im Bereich des Mittelschachtes zusammengedrückt. Abhilfe schaffen „Raumbalken“, die den Mittelschacht überbrücken und nur auf Druck beansprucht werden. Sie werden in der Ebene der Querschotte in Höhe des Haupt- und des ob.Zw.D angeordnet. Die Berechnung machen wir nach einem sehr einfachen statischen Modell, siehe Abb. 14 und Kap. 10.7 .

Wenn der Rumpfquerschnitt der in Abb. 13b skizzierten oder einer ähnlichen Belastung unterliegt, wird er sich verformen, wie dort ebenfalls angedeutet. Zu dieser Verformung wird es so nicht kommen, wenn die in Abb. 13c schraffierten Flächen so schubsteif gebaut werden, daß sie ihre Rechteckform annähernd beibehalten. Diese Flächen sind das Querschott (zwischen Boden und unt.Zw.D) bzw. die Flügelschotten, siehe Abb. 4 .

Eine ausführliche Berechnung der in beiden Fällen auftretenden Kräfte und Verformungen erhält man nur durch sehr umfangreiche Berechnungen, für einen Überschlag wären sie viel zu aufwendig. Wir bauen die Quer- bzw. Flügelschotte wie in Abb. 4 eingetragen.

Zu den Zahlenrechnungen siehe Kap. 10.7. Hinweise auf die konstruktive Lösung des Anschlusses der Raumbalken finden sich in Abb. 22 .

7.2 Torsion

Wenn sich im Seegang – wie es laufend vorkommt – vorne auf der einen Seite des Rumpfes und hinten auf der anderen ein Wellenberg befindet (Abb. 23), so bilden deren Auftriebskräfte, da sie ausmittigt sind, ein Torsionsmoment $M_1 = -M_2$, das den Rumpf verdreht.

In diesem Zusammenhang kann man sich den Rumpf als eine Röhre mit rechteckigem Querschnitt verstehen. Ein einfaches Papiermodell, siehe Abb. 24a, zeigt eine bedeutende Steifigkeit

gegenüber solchen Torsionsbeanspruchungen. Schneidet man jedoch das Modell in Längsrichtung auf, Abb.24b, so vermindert sich die Steifigkeit bis fast auf Null. Gleichzeitig verschieben sich die Kanten des Schnittes stark gegeneinander.. Man kann also die Torsionssteifigkeit ganz erheblich verbessern, wenn man die Kantenverschiebung im wesentlichen verhindert. (das gilt für alle Bereiche von Natur und Technik !). Bei der Arche ist der Mittelschacht ein solcher Schnitt, auch wenn er nur über 84 % der Rumpflänge geht. Zu diesem Zweck haben wir den Mittelschacht im Hauptdeck und im oberen Zwischendeck mit einem Fachwerk in der Decksebene versehen *), sie sind in Abb. 5 und 6 eingezeichnet. Dabei ist es wichtig, den freien Querschnitt im Mittelschacht für den Luft- und Lichtdurchtritt möglichst wenig zu verkleinern.

Eine eingehende Berechnung der aufzunehmenden Kräfte ist von uns nicht zu leisten. Dies umso mehr, als ja an den Rumpfen auch geschlossene Querschnittsbereiche bestehen – aber immerhin wirken diese entlastend. Wir wollen den Diagonal-Streben den gleichen Querschnitt geben wie den Raum-Querbalken, siehe Kap.10.8 . Die von den Diagonal-Streben in das jeweilige Deck eingeleiteten Kräfte werden dort durch Decks-Dopplungen weiter verteilt. Hinweise auf die konstruktive Lösung finden sich in Abb. 22. Dopplungen, bzw. Verstärkungen der Decksbeplankungen sind auf allen drei Decks auch an den je vier Ecken des Mittelschachts erforderlich.

*) den gleichen Zweck würde auch eine sehr wölb-steife Ausbildung der Spiegel erfüllen. Wir ziehen aber die Fachwerke vor, weil bei ihnen die örtlichen Kräfte besser verteilt werden.

7.3 Stabilität und Seeverhalten

Diese beiden Bereiche gehören im Grunde nicht zu der eigentlichen Rekonstruktion der Rumpfstruktur. Einige Bemerkungen dazu sollen hier trotzdem angeschlossen werden, da sie bis zu einem gewissen Grad Folge unserer Annahmen zum Gesamtentwurf sind. Vor allem aber sind sie zur Abrundung unserer Gesamtbewertung der Arche, Kap. 8, wichtig.

Stabilität

Zur Stabilität an sich verweisen wir auf Gitt (2001). Gitt (wie auch Hong (1994)) konzentriert sich auf den Nachweis, daß das Verhältnis $B / H = 1,67$ bei der Arche ein Optimum für die Stabilität ist. Aber natürlich ist B / H nicht die einzige Bewertungsgröße. Eine weitere ist z.B. der „Stabilitätsumfang“. Abb. 25 zeigt die Arche bei einem Neigungswinkel $\varphi = 90^\circ$ (zur Größe von KG und T siehe Tab.2 / 3). Man sieht, daß das rechtsdrehende Moment der Gewichtskraft durch das linksdrehende Moment des Auftriebs (das „Stabilitätsmoment“) fast, aber nicht ganz nicht ganz ausgeglichen ist. Es besteht noch ein linksdrehendes Moment von der Größe (h nach Abb. 25 bzw. 26)

$$M_S = F_A \times h$$

das aufrichtend auf den Rumpf wirkt. Bei einer ganz geringen weiteren Neigung wird $h \approx 0$ sein, wenn φ dann aus irgendeinem Grund weiter wächst, kentert die Arche. Bei dem Krängungswinkel, bei dem $h = 0$ ist, ist der sog. „Stabilitätsumfang“ erreicht, mit $\approx 90^\circ$ ist er im Vergleich zu „normalen“ Schiffen sehr groß. Das ist u.a. auf die Größe des Freibords $H - T$ zurückzuführen. Bei den meisten Schiffen ist der Stabilitätsumfang erreicht, wenn Seite Deck zu Wasser kommt, da sich ab dann der Angriffspunkt des Auftriebs wieder nach links verschiebt, das Stabilitätsmoment also kleiner wird..

Zusätzlich werden alle „normalen“ Schiffe bei einer solchen Neigung in die Gefahr kommen, vom Deck her vollzulaufen. Auch diese Gefahr ist bei der Arche gering, da die einzige, dafür in Frage kommende Decksöffnung der Mittelschacht ist, dessen untere Längskante bei 90° Neigung immer noch etwa 6,5 m über dem Wasser liegt.

Weiterhin besteht bei großen Neigungen für viele Schiffe die Gefahr, daß die Ladung sich zur tiefer liegenden Seite verschiebt („übergeht“). Dadurch wird die Stabilität schon früher ganz wesentlich kleiner. Unzählige Schiffe sind durch Übergehen der Ladung gekentert und verloren gegangen. Da die Tiere in fest eingebauten Ställen (siehe die Bauvorschrift !) untergebracht sind., ist ihrerseits nur eine vernachlässigbare Ladungsverschiebung möglich. Jedoch müssen die Trockenvorräte in der Stauung gegen Übergehen gesichert werden. Dazu wollen wir auf jedem Spant zwischen Boden und unt.Zw.Deck vertikale Balken einbauen, die in der Flucht der seitlichen Begrenzung des Mittelschachtes stehen. Je nach Art der Verpackung der Vorräte, kann die Sicherung gegen Übergehen daran angelehnt werden. Gleichzeitig ist noch ein Minimum an Lüftung möglich.

Die hier vorliegenden Informationen über die Stabilität der Arche gelten an sich für statische Verhältnisse. Im Seegang sieht vieles anders aus. Trotzdem gehören ein großer Stabilitätsumfang und die Verhinderung des Übergehens der Ladung, zu den Hauptbedingungen für ein hinsichtlich der Stabilität sicheres Schiff – bei der Arche sind sie beide gegeben.

Seeverhalten

Das „Seeverhalten“ eines Schiffes ist eine Sammelbezeichnung für eine Vielfalt von sehr unterschiedlichen Verhaltensweisen. Wir greifen daraus nur den für Mensch und Tier unmittelbar wichtigen Bereich der Rollschwingungen heraus, da er schiffsseitig ursächlich für das Auftreten von Seekrankheit ist. Sie wird ausgelöst von den Beschleunigungen, die auf den lebenden Körper einwirken und gegen die er empfindlich ist. Während einer Rollperiode, der Zeit T_p , schwingt das Schiff von der aufrechten Lage nach einer Seite, dann zur anderen Seite und wieder zur aufrechten Lage zurück. Je kürzer T_p bei gleichem, größten Neigungswinkel ist, desto größer sind also die Beschleunigungen. Die überschlägige Berechnung von T_p erfolgt in Kap. 10.7 nach der Formel

$$T_p = (2 \times \pi \times i) / \sqrt{g \times MG} \text{ sek} \quad (\text{siehe z.B. Herner (1952)})$$

Darin ist i der Massen-Trägheitsradius des Schiffes (Ermittlung in Kap. 10.9 und Abb. 21) und MG nach Abb. 26 der Abstand zwischen dem Massenschwerpunkt G und dem „Metazentrum“ M , Berechnung von GM siehe Kap.10.9. Man sieht, daß schon rein mathematisch bei gegebener Schiffsmasse T_p vergrößert wird, wenn MG kleiner oder i größer wird. Praktisch ist M der Schnittpunkt zwischen der Auftriebsrichtung und der vertikalen Achse bei kleinen Rollwinkeln φ .

Nach der in Kap.10.9 wiedergegebenen Berechnung erhalten wir für die rekonstruierte Arche den Wert $T_p = 3,4 \text{ s}$. Er ist sehr klein, bei großen, heutigen Fahrgastschiffen kann man mit dem mehr als vierfachen Wert rechnen, die Arche ist also äußerst „steif“. Wenn auch T_p tatsächlich größer sein wird – obige Gleichung gilt an sich nur für kleine Neigungen und im glatten Wasser –, werden die auftretenden Beschleunigungen doch jedenfalls sehr groß. Deshalb wird der Aufenthalt auf der Arche in stärkerem Seegang – wenn er denn auftrat – für Mensch und Tier sehr belastend gewesen sein.

Von der Technik her ist eine Abhilfe innerhalb der Vorgaben des Entwurfs schwierig. Das wichtigste Mittel, die Hochlegung großer Massen (d.h. Höherlegung des Massen-Schwerpunktes G zur Verkleinerung von MG , siehe Abb. 26) ist mit der Anordnung der Wasserzellen auf dem oberen Zwischendeck schon im wesentlichen ausgeschöpft. Die Unterbringung der Trockenvorräte in der Stauung ist hinsichtlich T_p nachteilig, aber wegen der Lüftungserfordernisse kaum zu vermeiden. Immerhin verschiebt sich der Gewichtsschwerpunkt der Arche mit dem Verbrauch der Vorräte wie gewünscht etwas nach oben. Vielleicht hat Noach auch, wo ausreichend Platz war einen Teil der Trockenvorräte auf die Zwischendecks gestaut. Im übrigen verweisen wir „zum Trost“ auf die in Kap. 6.1 erwähnte Vermutung, daß die Wetterverhältnisse während der Sintflut hinsichtlich des zu erwartenden Seeganges deutlich günstiger waren als heute.

8 Schluß

Am Ende dieser Arbeit können wir nicht mehr, aber auch nicht weniger sagen als dies : Schiffbaulich war der Entwurf der Arche (nach der Bauvorschrift 1. Mose 6) ausgewogen und ausführbar. Innerhalb der vorliegenden Grenzen – d.h. vor allem der Bauvorschrift – ist eine wesentlich günstigere Ausführung des gegebenen Auftrages kaum vorstellbar. Der Verfasser geht daher davon aus, daß der Bericht einen Hintergrund hat, der weit über die Art eines Mythos hinausgeht.

Ob die Arche wirklich gebaut worden ist, wann und wo und von was für Menschen, und wie sie ausgesehen hat und viele andere, in diesem Zusammenhang wichtige und interessante Dinge, wissen wir nach wie vor nicht. Es steht uns frei, den ganzen biblischen Bericht als einen Mythos zu nehmen, der für uns unerheblich ist, oder aber ihn – wofür der Verfasser ist – im wesentlichen tatsächlich zu „glauben“ und das, was für uns Ungereimtheiten sind, einstweilen auf sich beruhen zu lassen.

In jedem Fall könnte und sollte diese Arbeit aber eine Anregung sein, sich damit zu beschäftigen, daß es einen Bereich gibt, den wir einmal „Meta-Wirklichkeit“ nennen. In diesem werden u.a. Sachverhalte geschildert (hier : die Arche), die offensichtlich neueren technisch-physikalischen und unbezweifelbaren Erkenntnissen genügen (weil sie experimentell oder/und rechnerisch nachweis-

bar sind), deren ganzer Rahmen (das Handeln Gottes dabei, und die Historie) sich aber dem rein naturwissenschaftlichen Denken unserer Zeit entzieht.

9) Schrifttumsverzeichnis

Die hier aufgeführten englisch-sprachigen Quellen stammen alle aus der Arbeit von Woodmorappe (1996), auf die wir durch Gitt (2001) aufmerksam wurden. Davon haben wir die mit *) gekennzeichneten nicht selbst einsehen können.

Kurzangabe	Ausführliche Angabe
Alte (1980)	Alte, R. und H. Matthiesen „Schiffbau kurzgefasst“ Schiffahrts-Verlag „Hansa“Hamburg 1980 ISBN 3-87700-028 2
Batten (1999) *)	Batten, D u.a. „The Answers Book – Updated and Expanded“ Australia 1999
Batten (2001)	Batten, D. u.a. „Fragen an den Anfang“ CLV Bielefeld 2001 ISBN 3-89397-279-X (deutsche Übersetzung von : Batten (1999))
Bibel (1720)	„Lutherbibel aus dem Jahr 1720“ Nürnberg, Germanisches National Museum
Bibel (1905)	„... D. Martin Luthers“ Privileg. Württembergische Bibelanstalt 1905
Bibel (2006)	„Gute Nachricht Bibel“ Revidierte Fassung 1997 der „Bibel in heutigem Deutsch“ Deutsche Bibel-Gesellschaft 2006 ISBN 3-438-02623-1
Casson (1971)	Casson, L. „Ships and Seamanship in the Ancient World“ Princeton University Press
Casson (1991)	Casson, L. „The Ancient Mariners“, , 2nd Edition, 1991
Chang (1986)	Chang, K. „The Archaeology of Ancient China“ 4 th Edition
Cornish (1934) *)	Cornish, V. „Ocean Waves“ Cambridge University Press, Cambridge
Drüeke (2015)	Drüeke, Stefan „Die Arche Noah – Mythos oder Wahrheit“, Christliche Schriftenverbreitung, Hückeswagen, 2015, ISBN 978-3-89287-625-0
Förster (2009)	Förster, T. „Große Handelsschiffe des Spätmittelalters“ Deutsches Schiffahrts-Museum, Bremerhaven und Convent Verlag GmbH, Kuden 2009
Friedler (1967) *)	Friedler, Y. „What the Ark was really like“ Jerusalem Post 37 (12083) : 5. (October 10, 1967)
Gitt (2001)	Gitt, Werner „Das sonderbarste Schiff der Weltgeschichte“ 3. unveränderte Auflage 2010, Immanuel-Verlag, Basel 2001, ISSN 1013-994X
Herner (1952)	Herner, Rusch, Krause „Die Theorie des Schiffes“ Leipzig 1952
Hong (1994)	Hong e.al. „Safety Investigations of Noah’s Ark in a Seaway“ 1994 Creation Ex Nihilo Technical Journal 8 (1) S. 26 – 36
King James Bible (o.J.)	„King James Bible“ (o.J.) www.kingjamesbible.com (google)
Lahn (o.J.)	Lahn, Werner „Die Kogge von Bremen“, Band I, Schriften des Deutschen Schiffahrtsmuseums, Bd. 30, ISBN 3-8225-0186-7
Neuhaus (1994)	Neuhaus, H. „Lehrbuch des Ingenieurholzbaues“ Wiesbaden 1994
Schneekluth (1980)	Schneekluth, Heribert „Entwerfen von Schiffen“ Koehler, Herford 1980
Werff (1980)	Werff, P.H.van der „Thoughts on the structure of the Ark“ Creation Research Society Quarterly 16 (3) : 167 - 8
Woodmorappe (1996)	Woodmorappe, J. „Noah’s Ark : A Feasibility Study“ Institute for Creation Research, Santee, California 1996 ISBN 0-932766-41-2 mit 80 Seiten Literatur á etwa 18 Nennungen ≙ über 1400 Angaben

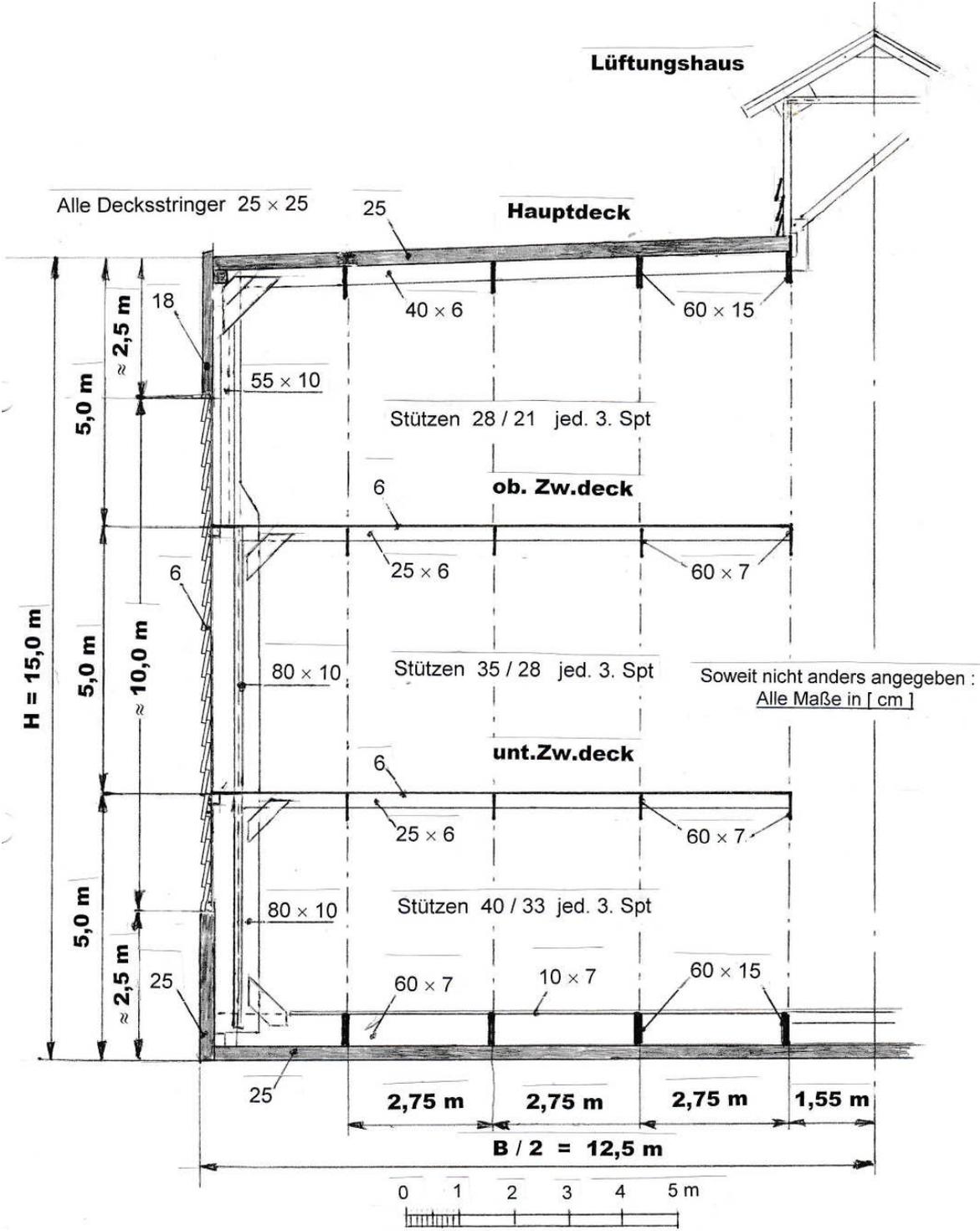


Abbildung 3 Hauptpant

Soweit nicht anders angegeben :
Alle Maße in [cm]

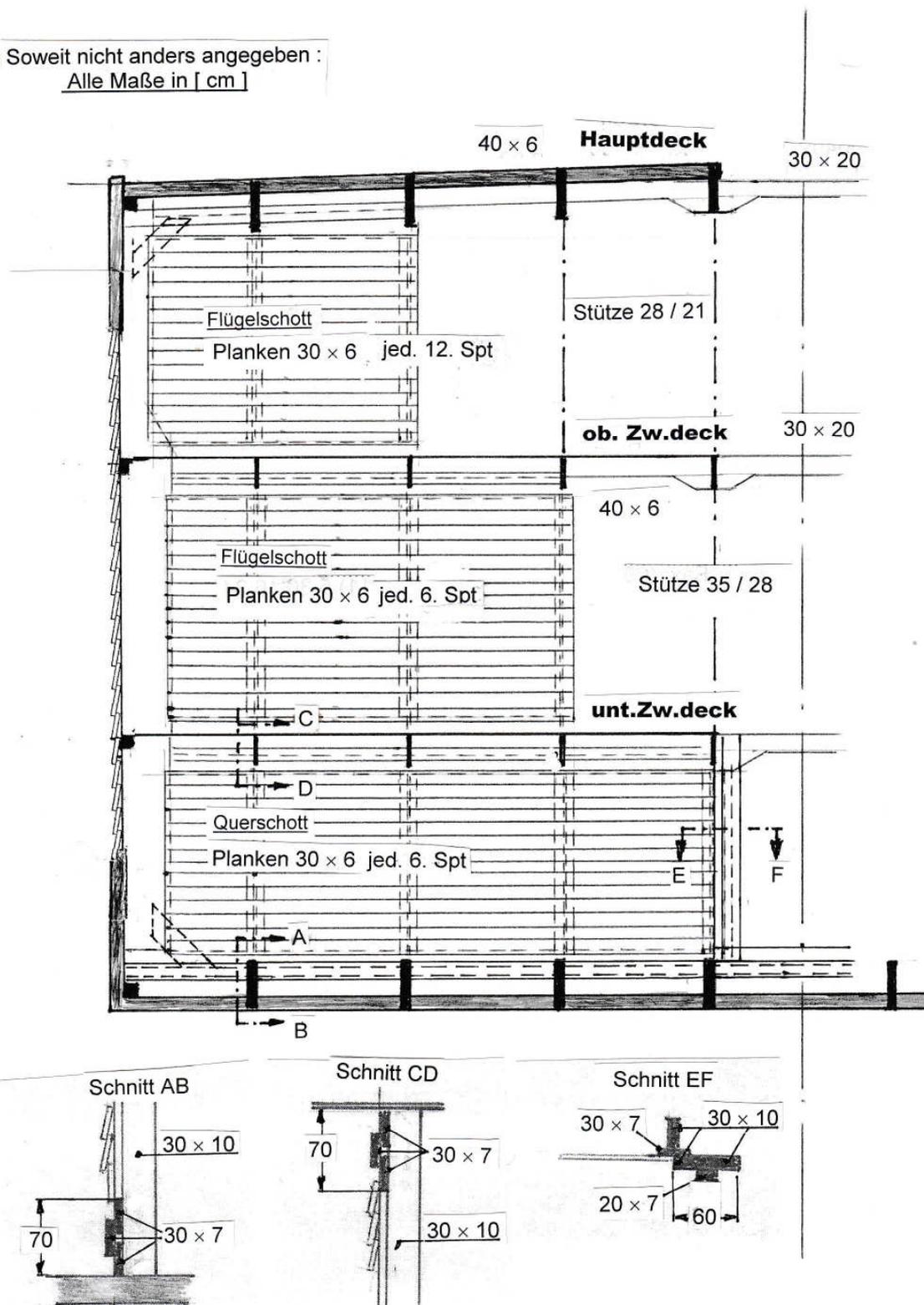


Abbildung 4 Schotte und Flügelschotte

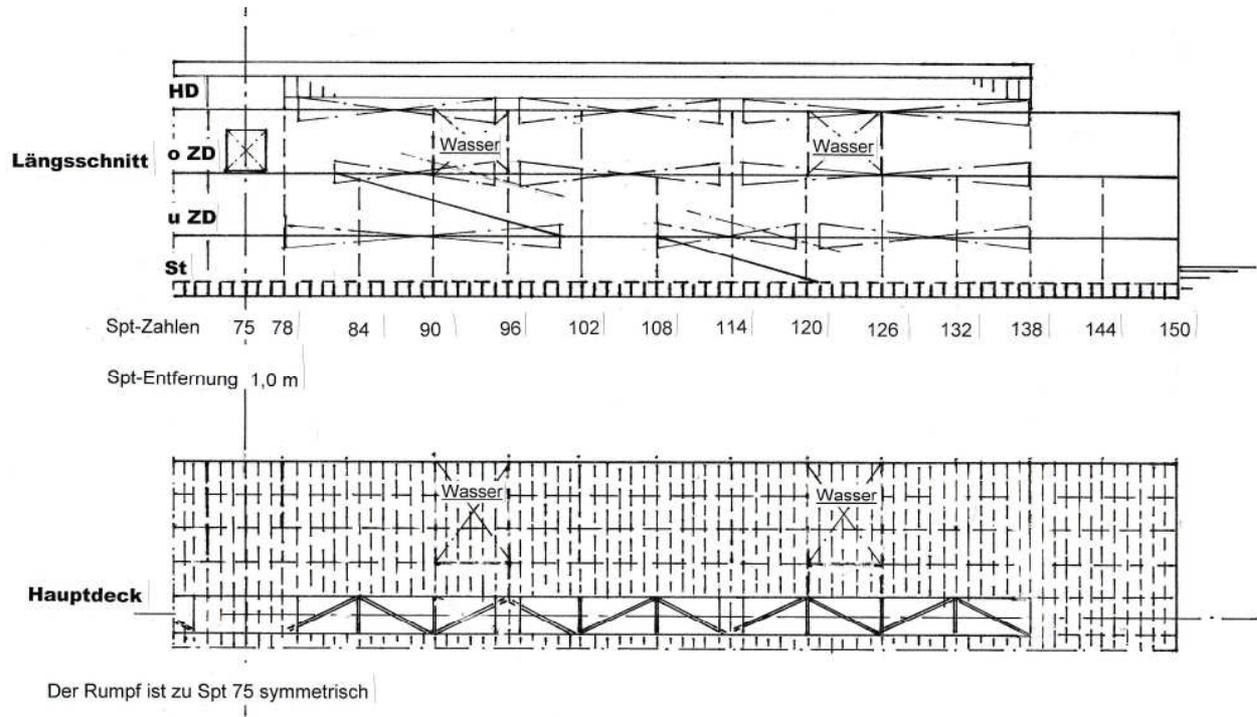


Abbildung 5 Längsschnitt und Hauptdeck

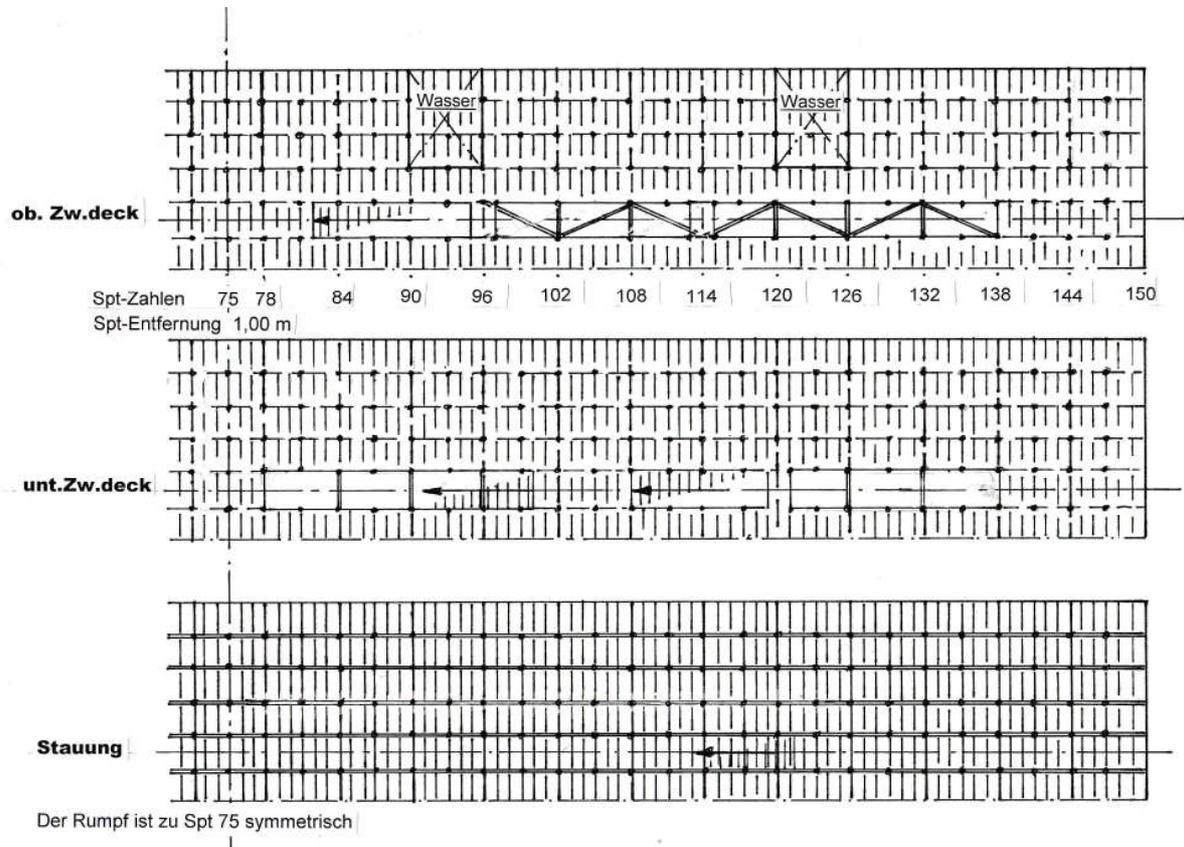


Abbildung 6 Zwischendecks und Stauung

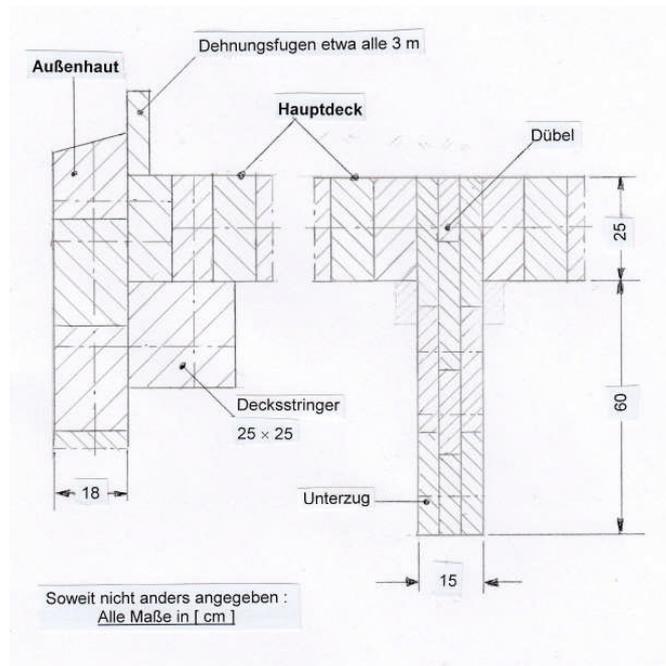


Abbildung 7 Einzelheiten des Hauptdecks

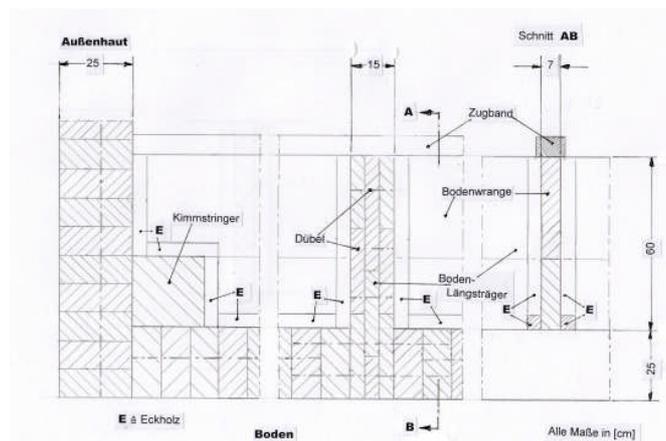


Abbildung 8 Einzelheiten des Bodens

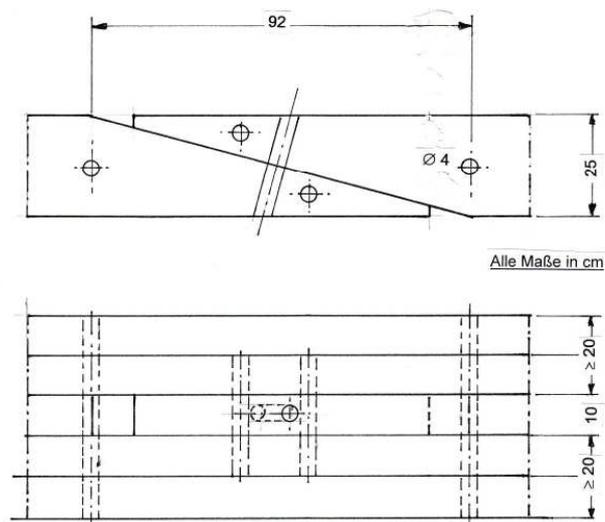


Abbildung 9 Plankenstöße von Hauptdeck und Boden

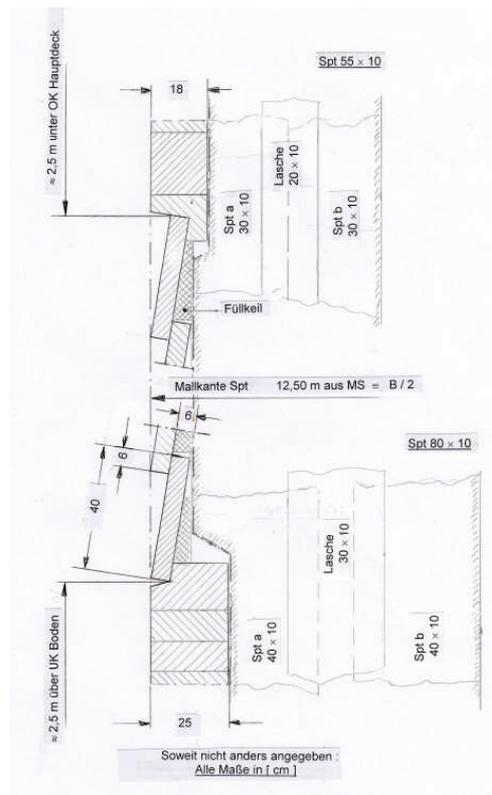


Abbildung 10 Einzelheiten der seitlichen Außenhaut

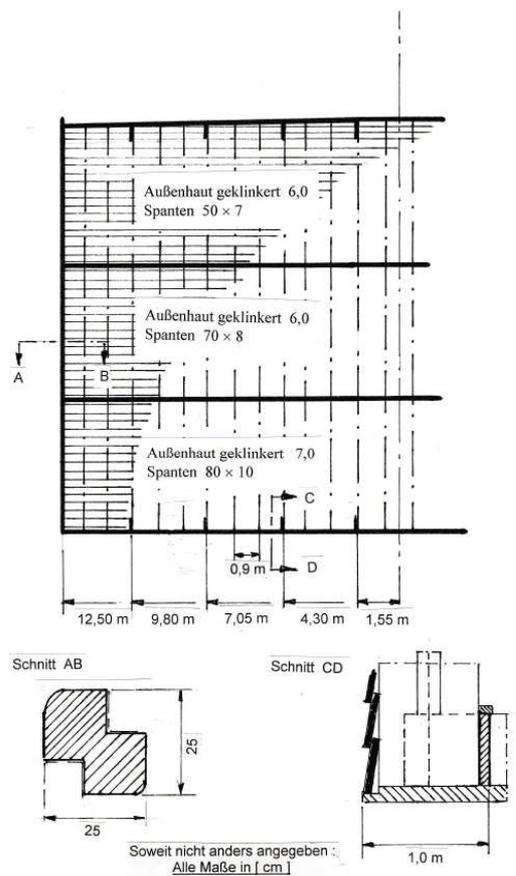


Abbildung 11 Spiegel

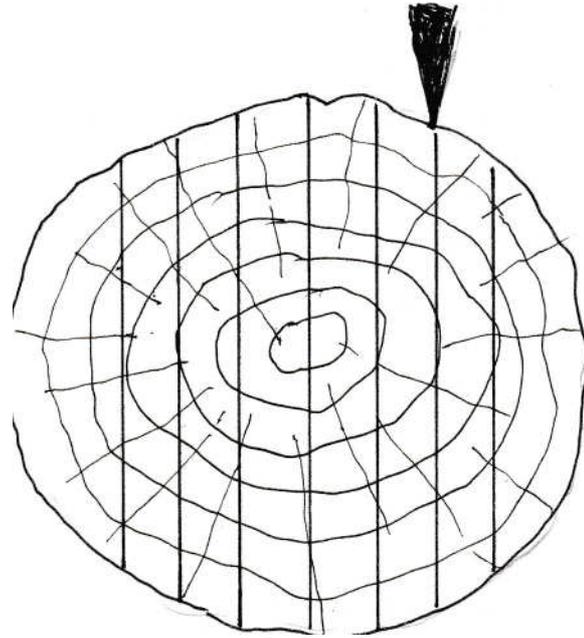


Abbildung 12 Spalten von Stämmen

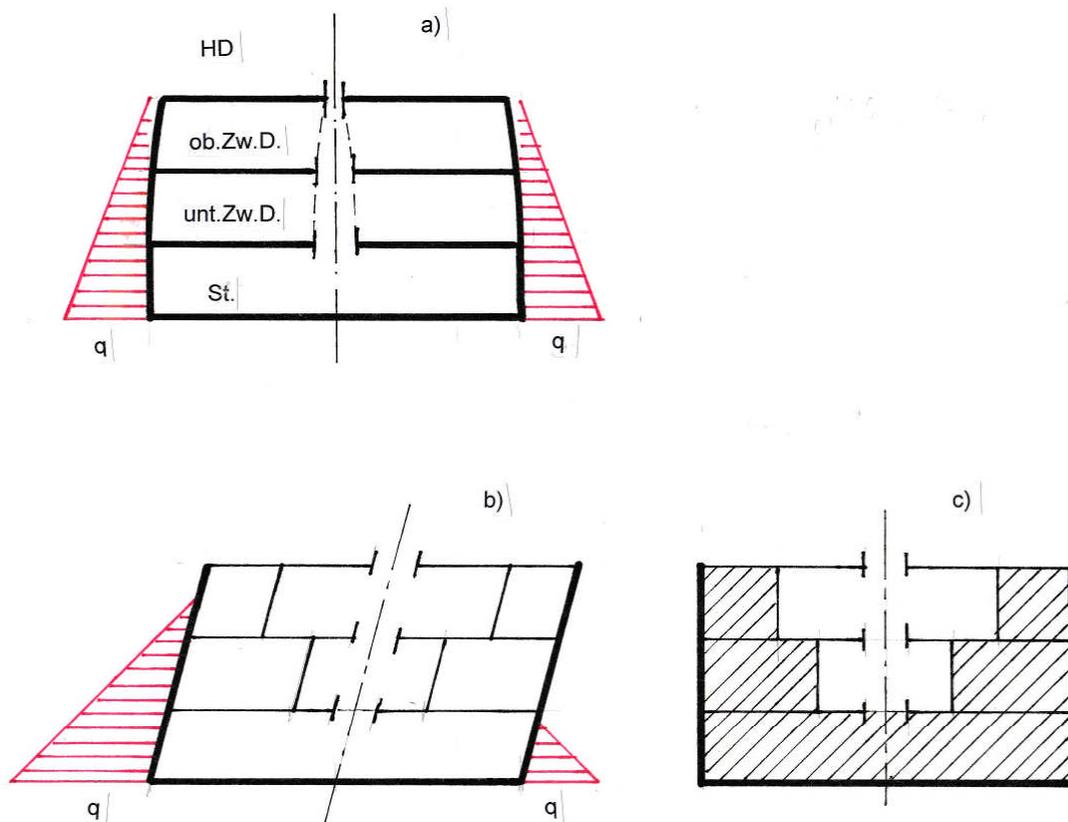


Abbildung 13 Querschnittsverformung im Seegang

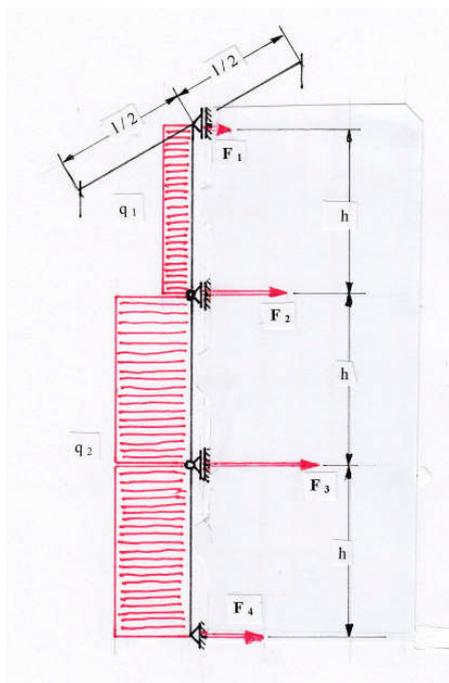


Abbildung 14 Statisches Modell zur Querfestigkeits-Berechnung

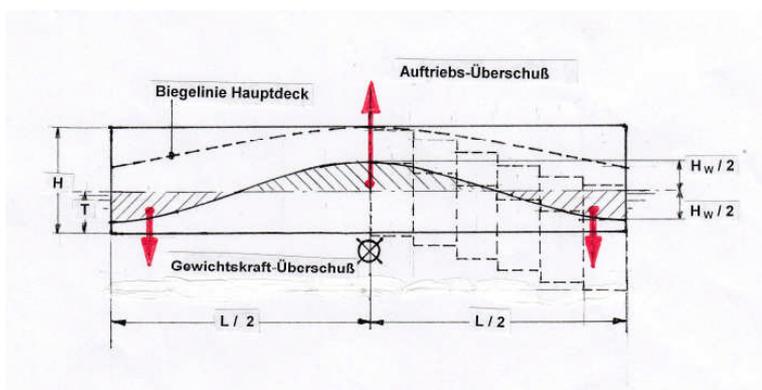


Abbildung 15 Arche im Wellenberg

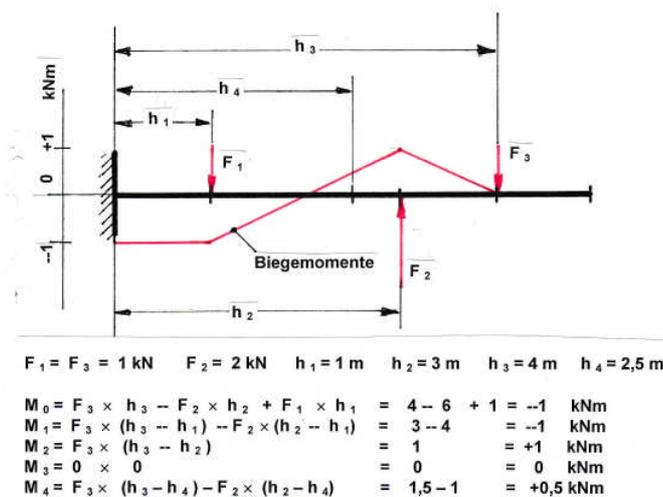


Abbildung 16 Zur Berechnung von Biegemomenten

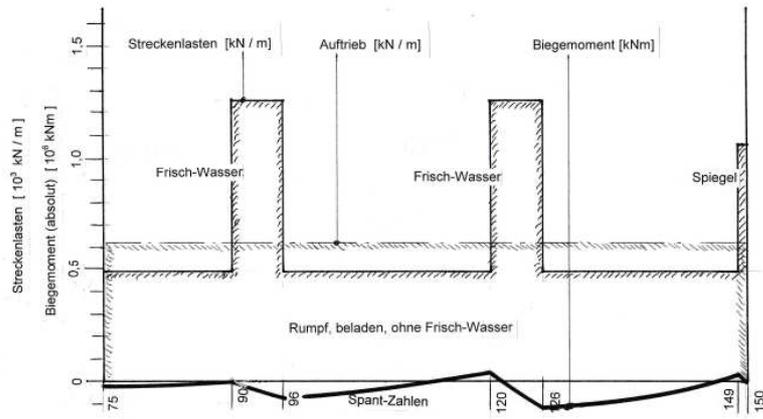


Abbildung 17 Längsfestigkeit im glatten Wasser

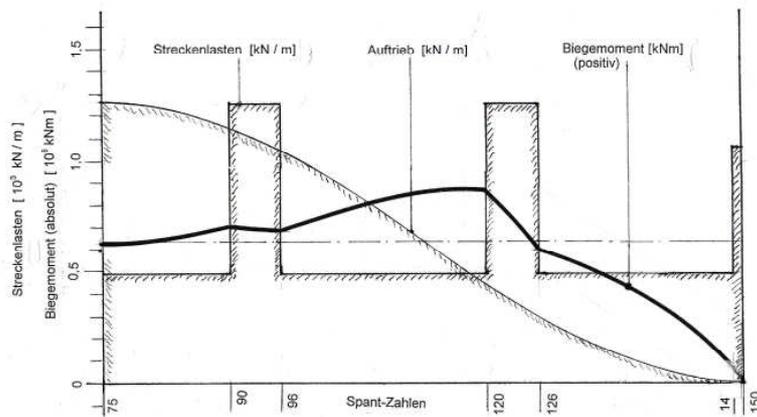


Abbildung 18 Längsfestigkeit im Wellenberg

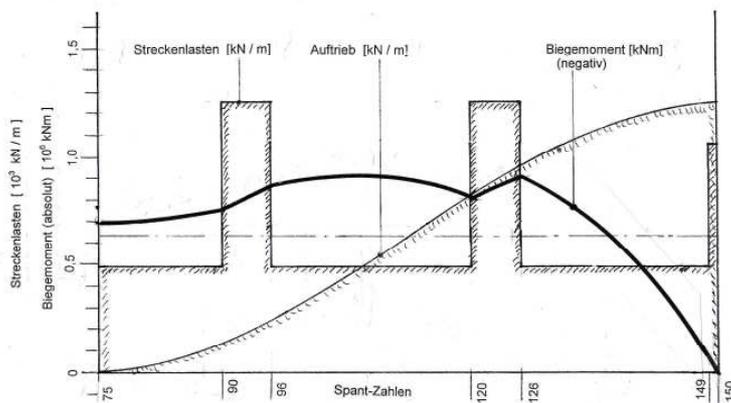


Abbildung 19 Längsfestigkeit im Wellental

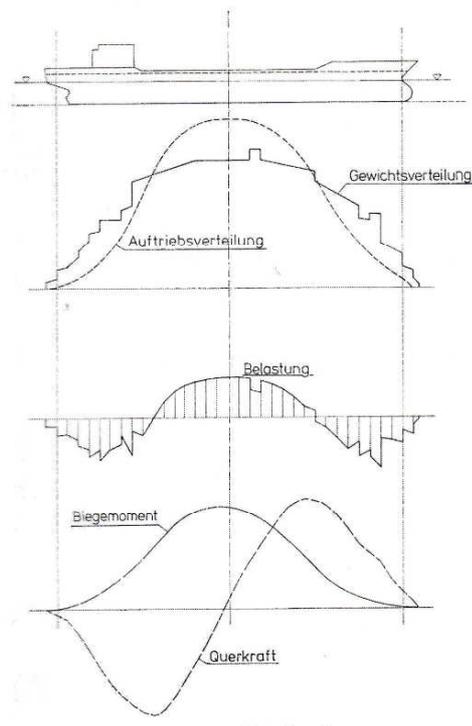
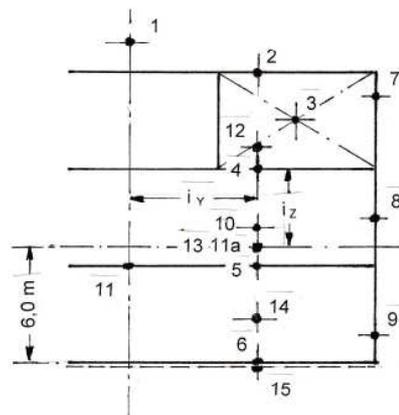


Abbildung 20 Längsfestigkeit "normales Schiff" nach Alte (1980)



- 1 Lüftungshaus 2 Hauptdeck 3 Frischwasser 4 ob.Zw.Deck 5 unt.Zw.Deck
6 Boden 7 Außenhaut oben 8 Außenhaut mitte 9 Außenhaut unten 10 Spiegel
11 Einbauten Mitt.schacht 11a Schotten 12 Lebende Masse ob.Zw.Deck
13 Lebende Masse unt.Zw.Deck 14 Trockenvorräte 15 mitschwing. Wassermasse

Abbildung 21 Zur Berechnung des Massenträgheitsmomentes

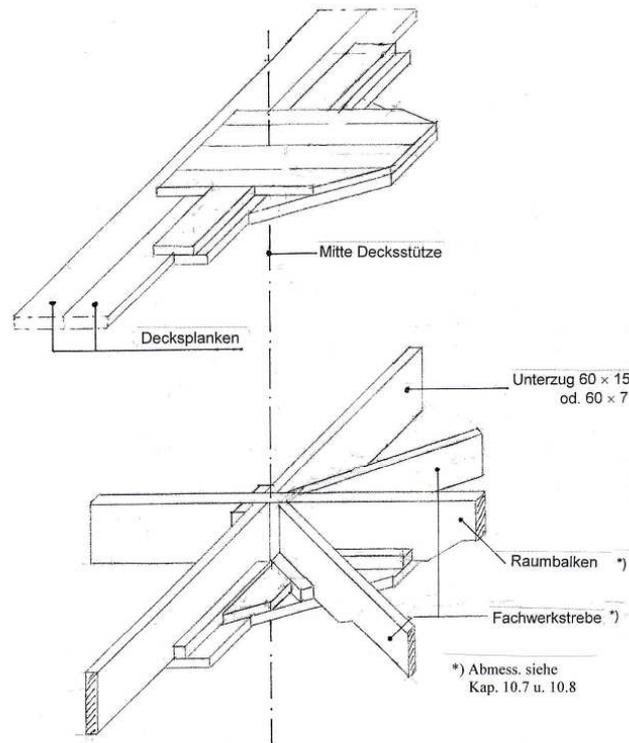


Abbildung 22 Fachwerks-Knoten

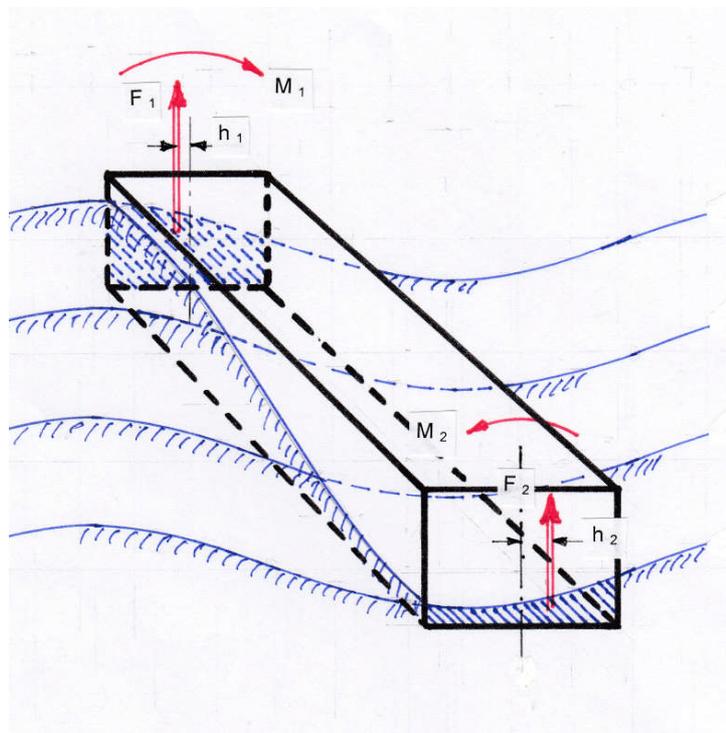


Abbildung 23 Entstehung von Torsionsmomenten im Seegang

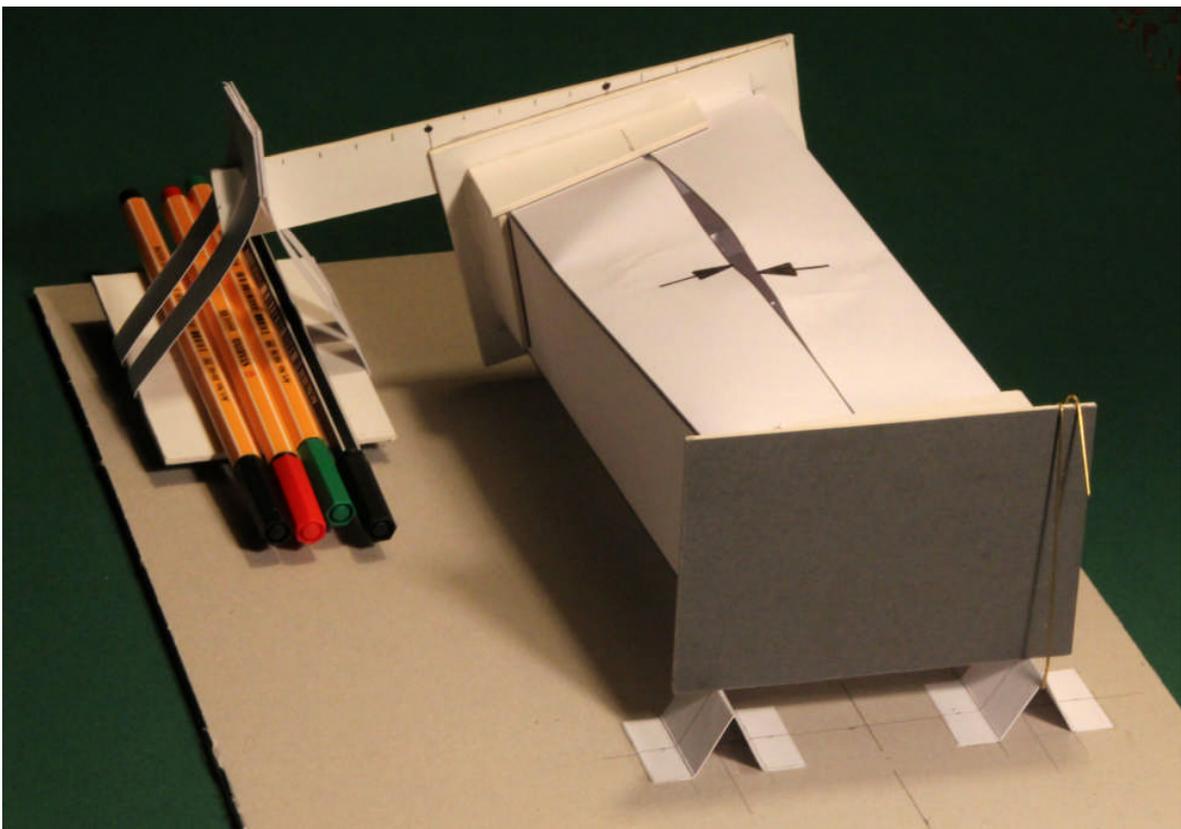
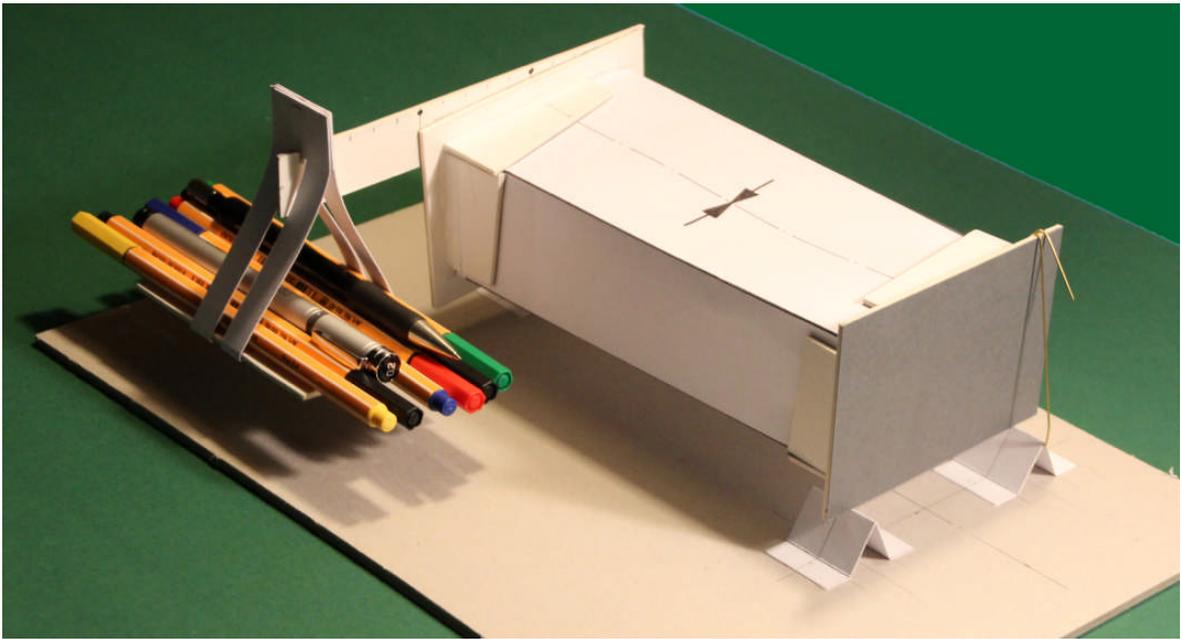


Abbildung 24 Kantenverschiebung eines offenen Kastenträger a) oben, b) unten

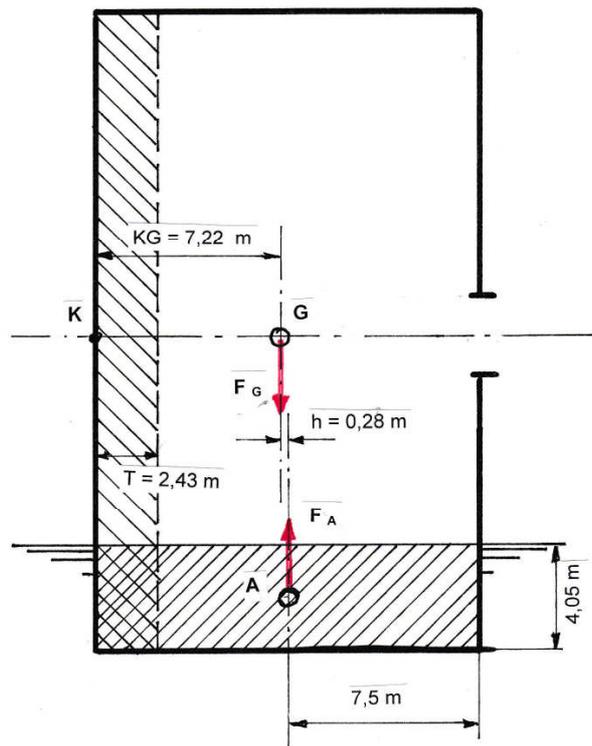


Abbildung 25 Stabilität bei 90° Neigung

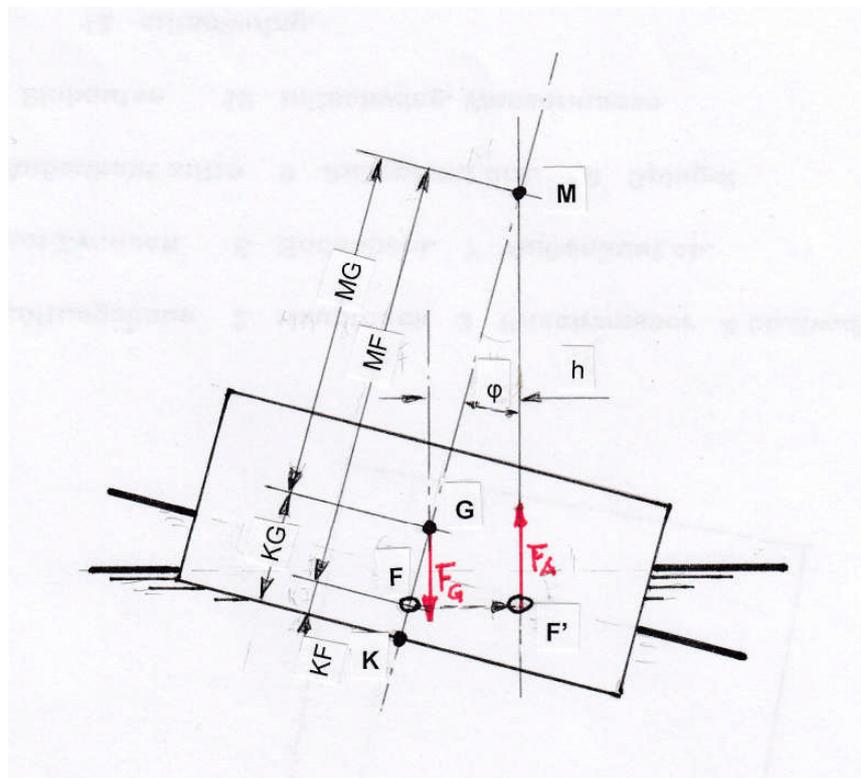


Abbildung 26 Kräfte am geneigten Schiff