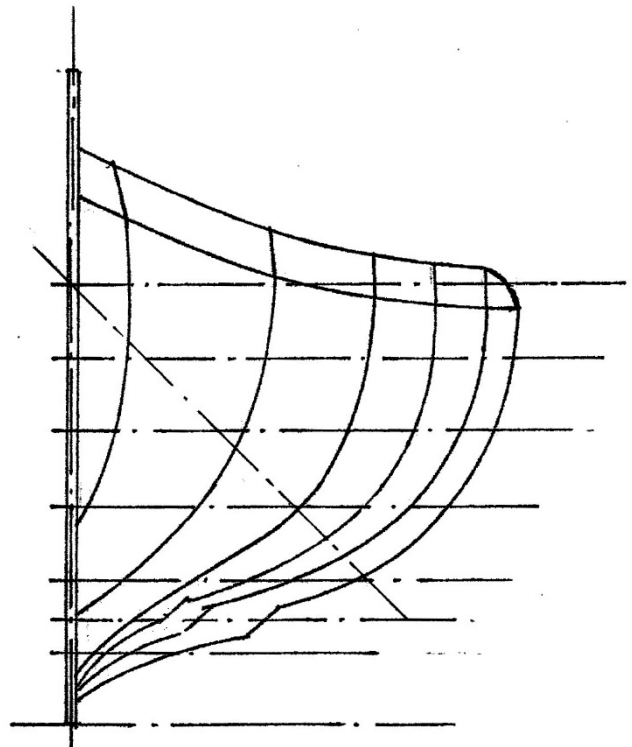


Der Schiffstyp KNORR

die ersten Segelschiffe in Nordeuropa



Jan Hartmann

www.technikgeschichte.org

Nürnberg 2020

Der Schiffstyp KNORR

die ersten Segelschiffe in Nordeuropa

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung.....	2
2 Beschreibung des Schiffes	4
2.1 Schiffsform.....	4
2.2 Konstruktiver Aufbau.....	6
2.3 Hydrostatik und Stabilität.....	7
2.4 Zur Anfangsstabilität.....	8
2.5 Zum Stabilitätsumfang	8
2.6 Schlußbemerkungen zur Stabilität	9
2.7 Festigkeit.....	10
2.8 Bemastung und Takelung.....	11
3 Zusammenfassung.....	13
4 Anhang	15
4.1 Schrifttum.....	15
4.2 Abbildungen und Tabellen.....	16

1 Einführung

Der Schiffstyp "Knorr" war ein einmastiges Frachtsegelschiff, das etwa um die erste Jahrtausendwende nach Chr. im nordeuropäischen Raum entwickelt wurde. Was wir von ihm wissen, stammt fast alles aus einer Anzahl von Wrackfunden, die sich auf die heutigen Länder Norwegen, Dänemark, Schweden und Deutschland verteilen, siehe Abb. 1 Tab.1. Von diesen Funden war "Skuldelev 1" weitaus am ergiebigsten.

Die historische Lage zu der damaligen Zeit wird heute meist etwa so gesehen : Die Völkerwanderungen hatten ein gewisses Ende gefunden und es entstanden neue staatliche und städtische Ordnungen, wobei mit der Annahme des christlichen Glaubens auch kirchliche Strukturen eine wichtige Rolle spielten. Viele dieser neuen Ordnungen kamen bald zu einem mindestens relativen Reichtum und waren deshalb das Ziel von Raubzügen ihrer mehr oder weniger engen Nachbarn, insbesondere der Wikinger. Diese waren hauptsächlich in dem Raum Nordsee / Ostsee / Süd-Scandinavien ansässig. Sie kolonisierten aber auch selber, z.B. in Irland und England.

Im Laufe der Zeit wurde ihnen offenbar klar, daß Handel schon mittelfristig meist mehr Gewinn abwarf als Raub, auch weil er, im Gegensatz zu diesem, eine nachhaltige Erwerbsart ist. Als nun im Laufe der Jahrzehnte aus den Raubzügen relativ friedliche Handelsbeziehungen wurden, zeigte sich - und damit kommt die Technikgeschichte ins Spiel - daß die bis dahin ganz überwiegend verwendeten Ruderschiffe (Hartmann 2019) und Abb. 8, Tab. 2, dafür wenig geeignet waren. Denn mit ihnen konnte zwar eine verhältnismäßig große Zahl von Kriegeren verhältnismäßig schnell transportiert werden, aber nur sehr wenig an Fracht oder Beute. Dafür war in den auf Schnelligkeit entworfenen Schiffen einfach zu wenig an Raum und Tragfähigkeit vorhanden.

Es entstand jedenfalls ein Netz von Fernhandelsbeziehungen. Diese umfaßten außer dem oben genannten Siedlungsraum der Wikinger auch Island, Grönland, die Nord-Ost-Küsten von Amerika, die britischen Inseln, sowie die Küste von der Deutschen Bucht bis zur Biskaya. Weiterhin den Mittelmeerraum bis ins Schwarze Meer, ferner die Ostsee und (über u.a. die Wolga und ihre Nebenflüsse) Russland und die Ukraine, ebenfalls bis zum Schwarzen Meer. Eine Voraussetzung für so lange Fahrten waren Schiffe von mäßiger Größe (auch für Binnengewässer geeignet), die verhältnismäßig viel Ladung fahren konnten und nur wenig Besatzung benötigten. Für solche Schiffe war eine Besegelung der gegebene Antrieb.

Damit entstand der Schiffstyp "Knorr", mit ihm begann in Nordeuropa die Segelschiffszeit und überhaupt die Zeit von Frachtschiffen. Man kann (mit einiger Großzügigkeit) die Knorre die "ersten Segelschiffe in Nord-Europa" und die Schiffe der "Nydam-Familie" die "letzten Ruderschiffe" dort nennen. Es war insofern ein Wendepunkt der Schiffbau-Geschichte, und wir sehen den Übergang vom Ruder- zum Segelschiff als eine Umwälzung an, die in ihrer Bedeutung mit der Einführung des Stahlschiffbaues und des Dampfantriebes im 19. Jahrhundert zu vergleichen ist. Deshalb legen wir hiermit von dem "Knorr" - der als der Vertreter dieses Entwicklungsschrittes angesehen werden kann - eine schiffbau-technische Beschreibung und Bewertung vor. Abb.2 zeigt ein am Ende des 20. Jahrhunderts gebautes Modell, nach (CP 2002)), Abb. 18 eine künstlerische Darstellung. Beide stellen den Typ "Skuldelev 1" dar, der z.Zt. unsere Vorstellungen von dem Knorr wesentlich prägt. Schiffbauliche Daten und Verhältniswerte sind in Abb. 8, Tab. 2 enthalten.

Im Großen und Ganzen verlief die Entwicklung im gesamten europäischen Raum wohl ähnlich, wenn auch im Einzelnen darüber praktisch nichts bekannt ist. Als Beispiel sei angedeutet, wie man sich heute den Ablauf im Mittelmeer-Raum vorstellt (in "Geschichte der antiken Technik": (Schneider 2012)):

"In archaischer Zeit waren die Schiffe der Griechen meist langgestreckte Boote, die von Rudern vorwärts bewegt wurden, bei günstigem Wind aber auch gesegelt werden konnten." Die "archaische Zeit" rechnet man etwa 800 bis 500 vor Chr. Die obige Beschreibung ähnelt sehr der Nydam-Familie – die allerdings kaum zu segeln war –, und deren Vorläufer etwa auf 450 vor Chr. (das Hjortspring-Boot) datiert werden. "Die griechischen Handelsschiffe, die auf Vasenbildern des späten 6. Jahrhunderts vor Chr. dargestellt sind, hatten einen breiten, gedrungenen Rumpf und in der Mitte einen hohen Mast mit einem großen Rahsegel . . ." Der Knorr entsprach also diesen Handelsschiffen, d.h., daß die Entwicklung des Frachtschiffes im Nord-Ostsee-Raum fast wie die im Mittelmeer-Raum vor sich ging, aber etwa 1500 Jahre später. Beide verliefen also ganz ähnlich - was wohl in der Natur der Dinge liegt. Für den großen Zeitversatz könnte es folgende Erklärung geben :

In Nordeuropa gab es zu der Zeit offenbar noch keinen nennenswerten Transport-Bedarf , u.a. weil diese Länder noch sehr dünn besiedelt waren. Dies hing wiederum u.a. mit den klimatischen Verhältnissen zusammen, die im Norden vergleichsweise zum Mittelmeerraum lebensfeindlich waren. In den fraglichen 1500 Jahren könnte sich das Klima merklich zum besseren hin verändert haben, gleichzeitig hatten die Menschen aber bestimmt auch gelernt, sich ihm besser anzupassen. Hinzu kam die im Norden auch zu dieser Zeit erfolgte allmähliche Hinwendung zum christlichen Glauben, der - soweit er ernst genommen wird - ja eine gewaltsame Gütereaneignung verurteilt.

Im Norden wurden die Kriegsschiffe eine Zeitlang weiterhin als Ruderschiffe gebaut, nun aber zusätzlich mit einem umlegbaren Mast und einem Rahsegel. Abb. 3 zeigt in isometrischer Darstellung oben ein solches Schiff ("Skuldelev 2"), darunter das hier besprochene Frachtschiff "Skuldelev 1".

Hinweisen möchten wir auch auf die bekannte Darstellung eines römischen Frachtschiffes (immerhin mit Rammstegen) aus dem Rhein-Mosel-Raum, die dem 3. Jahrhundert nach Chr. zugeordnet wird, siehe Abb. 4. Technisch ist daran manches zu hinterfragen, aber jedenfalls hat es damals in Nord-Europa wohl schon Frachtschiffe gegeben, und sie werden auch den Wikingern bekannt gewesen sein.

Die Schiffe der Landungsflotte von William the Conqueror (1066), waren Zeitgenossen der ersten Knorre, und nach vorstehender Definition auch Knorre. Sie sehen - nach dem Teppich von

Bayeux - aber doch anders aus : Wegen der im größten Teil der Länge etwa gleichen Seitenhöhe haben wir den Eindruck, die Verdrängung sei gleichmäßiger über die Länge verteilt gewesen als beim Knorr, also : $\delta > 0,35$, d.h. daß sie den Vorgängertypen, etwa der Nydam-Familie, noch näher standen als der Knorr selbst.

Zwar gibt es über den Knorr schon eine Anzahl von Veröffentlichungen - bei (CP 2002) sind etwa 300 Quellen verzeichnet, sie gehören allerdings meist nicht dem technischen Bereich im engeren Sinn an, und ausgesprochen schiffbau-technische Untersuchungen sind darunter deutlich in der Minderzahl. Vorhandene technische Angaben sind zudem oft recht verstreut und schwer zu finden.

Insbesondere den Knorr betreffend, den man (mit einiger Großzügigkeit) als den "ersten Segelschiffstyp" in Nord-Europa bezeichnen kann, beschreiten wir deshalb hier einen Weg, den wir bei (Hartmann 2019) schon einmal gegangen sind. Dort für die Vorgänger des Knorren, die großen Ruderschiffe der "Nydam-Familie", die entsprechend der "letzte Ruderschiffstyp" waren : Wir haben nach den Unterlagen in (CP 2002) einen Entwurf für ein Schiff der hier in Kap. 2 beschriebenen Art angefertigt, der sich an das Schiff "Skuldelev 1" so eng wie möglich anlehnt, und auch dessen Hauptabmessungen hat. "Skuldelev 1" wurde mit vier anderen Schiffen in den 1960er Jahren bei Skuldelev, im Nordteil des Roskilde-Fjords auf Sjælland, Dänemark geborgen. Darüber haben Crumlin-Pedersen e.al. in (CP 2002) ausführlich - aber bisher (2020) nicht abschließend - berichtet. Wir bezeichnen unseren Entwurf als "Skuldelev 1 / 2019", und nehmen dafür ausdrücklich nicht in Anspruch, er sei eine archäologisch präzise Darstellung des tatsächlichen Fundes von vor etwa sechzig Jahren und schon gar nicht des tatsächlichen Schiffes von vor etwa tausend Jahren. Dagegen meinen wir, daß die alten Schiffbauer der Wikingerzeit das Schiff etwa so dargestellt haben würden, wenn ihnen die zeichnerischen Möglichkeiten des 20. Jahrhunderts zur Verfügung gestanden hätten. Insbesondere dürften die Schiffsmasse und die hydrostatischen Eigenschaften (u.a. die Stabilität), die Festigkeitsverhältnisse und die See- und Segeleigenschaften unseres Entwurfes und des alten Originaltyps weitgehend übereinstimmen. Damit haben wir ausreichende Unterlagen, um die genannten Sachverhalte sowohl rechnerisch als auch hinsichtlich der Überlegungen zu untersuchen, die ihnen zu Grunde gelegen haben könnten - letzteres war uns besonders wichtig.

Wir stellen uns als Leser nicht unbedingt Schiffbauer oder Archäologen vor. Neben der Liebe zur Sache wäre es aber gut, wenn der Leser einige Grundkenntnisse technischer und nautischer Art besitzt. Wir bemühen uns jedoch, schwierigere Sachverhalte einigermaßen gemeinverständlich zu erläutern.

Danksagung

Natürlich ist eine Studie wie diese nicht im Alleingang zu schaffen. Andererseits stößt ein schon in höherem Semester stehender Verfasser auf viele Schwierigkeiten, die ein mitten im Wissenschaftsbetrieb stehender so nicht hat. Umso mehr danken wir dem Wikingerschiffmuseum Roskilde/Dänemark für manche Auskunft und für die freundliche Genehmigung zur Verwendung von Abbildungen aus den Büchern (CP 2002) bzw. (Roskilde 2003), Herrn Prof. Dr. F.-L. Feeder, Bremen, dem VDI-Arbeitskreis Technikgeschichte in Nürnberg für helfende Gespräche, ebenso den Mitarbeitern der Fernleihe bei der Stadtbibliothek Nürnberg. Wie immer danke ich meinen Söhnen für die unermüdliche Unterstützung im Bereich der EDV-Umsetzung und der englischen Zusammenfassung. Ohne ihre Hilfe wäre an eine Durchführung der Arbeit nicht zu denken gewesen. Dank auch an meine Schwiegertochter Gerlinde Mahr und Frau Hannelore Ulbrich.

2 Beschreibung des Schiffes

2.1 Schiffsform

Während der Bergung wurden sämtliche Bruchstücke im Maßstab 1 : 1 zeichnerisch festgehalten, danach wurden Karton-Schablonen im Maßstab 1 : 10 angefertigt. Diese wurden zu einem 1 : 10 - Modell des Wracks zusammen gesetzt. Es umfaßte natürlich nur

die geborgenen Teile, die aber etwa 75 % des Rumpfes darstellten. Es war damit möglich, aus dem Modell eine Art Linienriß abzuleiten, der den Rumpf auf Innenkante der Außenhaut ("Malkante Spant") wiedergibt, Abb. 5, was im Schiffbau die übliche Darstellungsweise ist. Danach zeichneten wir dann Linienriß und Holzplan, beide 1 : 40 , Abb. 6 u. 7. Auf diesen beiden Zeichnungen baut die vorliegende Arbeit auf.

Die Schiffslänge teilen wir im Anhalt an (CP 2002) in 16 Spantabstände zu je 900 mm ein, dies sind Konstruktionsspanten, also zunächst fiktive Querschnitte. Sie bilden die sog. "Länge zwischen den Loten", L_{LL} , diese beträgt damit 14 400 mm Das Hauptspant liegt auf $L_{LL} / 2$, also auf Spt 8 . Das gefundene Schiff hatte unregelmäßige Spantabstände, sie waren ≥ 830 und ≤ 990 mm, im Mittel 920 mm. Wir haben dann die Bauspanten auf die K-Spanten gelegt, siehe Abb. 7. Die Hauptabmessungen des Schiffes sind in Abb. 8, Tab. 2, zusammen gestellt. Dabei haben wir zum Vergleich die entsprechenden Daten von "Nydam 2017" hinzugefügt, d.h. von der letzten Ruderschiffsgeneration, siehe dazu (Hartmann 2019).

Das Hauptspant hat eine deutlich, aber nicht extrem ausgebildete V-Form mit gekieltem Boden (s.u.) Die Krümmungsradien der Kimm sind etwa $\leq 0,23 B$. Ins Auge fällt ein gewisser Einzug der obersten Außenhautgänge, im Bereich über etwa $0,8 H$ - eine Art „tumble home“. Er findet sich ansatzweise auch schon bei dem etwas längeren Boot „Kvalsund 2“ von etwa 700 nach Chr. (Hartmann 2019) und führt, zu Ende gedacht, dort wie hier zu der gleichen, auffälligen Stevenform. Bei ihr ist der obere Teil der Steven in der Seitenansicht zum Hauptspant hin geschwungen (daher rührt die bei (Humbla 1934), gefundene, gute Bezeichnung "Insvängda stammar", die sich aber nicht durchgesetzt hat). Eine Begründung dieser Formgebung, konnten wir bisher nicht finden. Die Alternative, stark ausladende Spanten und Steven, führt im Seegang bei stampfendem Schiff zu höheren Beanspruchungen der Spanten und stärkerer Spritzwasserbildung, wenn auch zu kleineren Stampf-Amplituden. Für ein praktisch deckloses Schiff empfiehlt sie sich weniger. Die Form wie bei dem Knorr gab es auch schon im Mittelmeerraum, und sie hat sich überall längere Zeit gehalten. In allerneuester Zeit ist sie sogar im skandinavischen Raum bei großen Fischerei- und ähnlichen Fahrzeugen (die natürlich aus Stahl und voll gedeckt sind) neu belebt worden, wir nennen sie „Fisch-Bug“. Auch darüber vermischen wir noch eine technische Diskussion.

Ein wichtiges Formmerkmal – das nicht auf den Knorr beschränkt ist – ist der „gekielte Boden“ (keeled bottom). Als solchen bezeichnen wir eine Formgebung von V-Spant-Schiffen, bei der der erste Plankengang neben dem Balkenkiel (oder auch mehrere Gänge dort) im Querschnitt stark nach unten gezogen ist, bzw. sind, vgl. Linienriß Abb. 6 und Hauptspant Abb. 9 . Wir nehmen an, daß diese Form aus der Forderung eines großen Lateralplanes bei Segelschiffen entstanden ist, an sich also Segelschiffserfahrungen vermuten ließe. Gelegentlich wurden später auch Dampfer noch so gebaut, diese hatten ja anfangs eine bedeutende Hilfsbesegelung. Die Bauweise stellt hohe Anforderungen an die handwerklichen Fähigkeiten der Schiffbauer.

Bei „Skuldelev 1“ wird der gekielte Boden nun noch von einer eigenartigen Spantform überlagert, siehe ebenfalls Abb. 6 und 9 : Anstatt oberhalb des Kielbereiches die Spantform nach oben bis zum Dollbord auszustraken, ist der Plankengang 5 im Querschnitt stark aufgerichtet, strakt im unteren Teil also in der Querebene überhaupt nicht (Wasserlinien und Senten aber wohl). Die Gänge 6 und 7 sind aus ihrem normalen Verlauf etwas gewaltsam nach innen gezogen worden, so daß die Ober- bzw. Unterkanten von Gang 5 bzw. 6 zusammenpassen. Diese eigenartige Form, die noch schwieriger als schon der gekielte Bo-

den zu fertigen sein dürfte, wurde damals offenbar nicht durchweg angewendet (siehe Humbla 1934), sie zeigt sich aber auch bei dem etwa gleichaltrigen, etwas kleineren Schiff "Skuldelev 6", Abb. 11.

Merkwürdigerweise wird die Bauform in dem uns bekannten Schrifttum höchstens kurz erwähnt, wir haben aber vergeblich nach einer Begründung dafür gesucht. Wir selbst neigen zu der Vermutung, daß dort, in der "Bilge", tiefliegender Raum für Ballast geschaffen werden sollte und wir wollen diese Ausbildung des Unterwasserschiffs daher als "Ballastbilge" bezeichnen. Sie ist zwar viel Aufwand für wenig Raum gewesen, brachte aber den bedeutenden Vorteil, daß der Ballast (vermutlich Feldsteine) wirklich sehr tief lag und jedenfalls auch gut gegen Übergehen zu sichern war. Außerdem konnte im Ladungsbereich ein ebener Flurboden geschaffen werden, der wieder das Stauen von Stückgut und den Transport lebender Tiere sehr erleichtert hat. Im Übrigen zeigen die Stabilitätsuntersuchungen in Kap. 2.4, daß das Schiff wegen seiner erheblichen Breite in vielen Beladungsfällen keinen oder nur wenig Ballast benötigte. Das konnte man damals aber nicht im Voraus berechnen und genügend Erfahrungswerte waren bei dem neuartigen Schiffstyp noch nicht vorhanden.

Die Wasserlinien, siehe Linienriß, Abb. 6, sind im Hinterschiff deutlich schärfer als im Vorschiff. Der Verdrängungsschwerpunkt liegt etwa 3,1% von L_{LL} vor $L_{LL} / 2$. Während die Erscheinung bei der "Nydam-Familie" noch als Bauungenauigkeit, also als unbeabsichtigt, angesehen werden konnte, möchten wir das bei "Skuldelev 1 / 2019", wo sie stärker ausgeprägt ist, nicht mehr tun. Offensichtlich ist diese Form (sie könnte durch Beobachtungen an Fischen angeregt worden sein) beim Bau bewußt gewählt worden, darauf deutet u.a.hin, daß die Wasserlinien 1, 1,5 und 2 im Hinterschiff einen leichten S-Schlag aufweisen. Dabei wird eine WL von ihrem natürlich strakenden Verlauf zum Schiffsinieren hin verschoben, das ist ein bedeutender Eingriff in die Gestaltung der Linien, so etwas geschah auch damals wohl nicht unbeabsichtigt.

2.2 Konstruktiver Aufbau

Skuldelev 1 ist überwiegend aus Kiefernholz gebaut. Aus Eichenholz bestehen der Kiel und die Steven. Es wurde aber auch für eine Anzahl von Reparaturen verwendet - offenbar gab es Zeiten und Gegenden, in denen Eichenholz besser erhältlich war als Kiefernholz. Wobei auch letzteres, auch frisch geschlagen, als durchaus brauchbares Schiffbauholz gilt, wenn es auch weniger dauerhaft als Eichenholz ist.

Das Schiff hat kein durchlaufendes Deck, sondern zwei sog. Halbdecks an den Schiffsenden. Deren Länge beträgt je etwa $1/4 L_{LL}$, sie liegen im Mittel etwa 1,5 m über WL 0, sind geradlinig und folgen etwa dem Sprung. Zwischen ihnen liegt der Laderaum, der nicht gedeckt, sondern nach oben offen ist.

Der konstruktive Aufbau eines Schiffskörpers wird üblicherweise in großen Zügen in den Zeichnungen "Holzplan" und "Hauptspant", hier Abb. 7, 9, und 10 dargestellt. Wir verweisen darauf und besprechen im Folgenden einige Besonderheiten :

Die Bodenkonstruktion ist in der Bite-Bauweise hergestellt. Dabei werden die Bodenwangen im Gegensatz zu der heute im Stahlschiffbau allein verwendeten, aber in Vollholz kaum möglichen, flächigen Bauart als Fachwerkträger ausgebildet. Die Bodenstücke, bzw. -spanten (einteilig, aus einem gewachsenen Stück bestehend !), werden durch einen nicht sehr schweren Querträger, die "Bite", zu einem unverschieblichen Dreiecksverband zusammengeslossen. Dies ist an sich eine gut durchdachte Anordnung, die jedoch - wie der ganze Holzschiffbau - daran krankt, daß die Verbindung der Einzelteile (sofern man nicht

leimen kann) durch Dübel (i.a. aus Holz) erfolgen muß, was zu örtlichen Spannungspitzen führt. So gebaute Schiffe bedürfen einer dauernden, aufmerksamen Pflege, die aufwendig ist und trotzdem dauerndes Lecken nicht ganz verhindern kann.

Die Spanten, die die horizontalen Druckkräfte von der Außenhaut in die Bodenwrangen und die Decksbalken (und damit auf die andere Schiffseite) ableiten, sind hier auf jedem Konstruktionsspannt angeordnet und laufen von der Bite bis zu Oberkante Außenhaut ("Dollbord") durch, das sind die "Regel-Spanten". Ihr System wird durch "Zwischenspanten" ergänzt, die vom Dollbord bis etwa Oberkante Kimm (hier Außenhautgang 8) reichen. Ihnen fehlt also auch am unteren Ende ein festes Auflager, es wird durch die dort schon fast waagerechte Außenhaut ersetzt. Die Anordnung, die bedenklich sein könnte, scheint sich aber bewährt zu haben.

Die oben erwähnte obere Auflagerung der Spanten an den Decksbalken gibt es im Laderaumbereich des Schiffes nicht, weil dort ein Deck ja überhaupt fehlt. Dafür wurden etwa in Verlängerung der Halbdecks schwere Stringer (Horizontalträger) durch das ganze Schiff gezogen. Davon wurden allerdings keine Reste geborgen, wir halten die Träger aber für unverzichtbar - auch für die Längsfestigkeit des Schiffes, siehe dazu Kap. 2.7 .

Im Bereich der Halbdecks liegt auf jedem Spant ein Decksbalken. Diese Balken sind so gefalzt, daß zwischen ihnen kurze Decksplanken lose eingelegt werden können. Dadurch wird der Raum unter den Decks, der kaum 1 m als größte lichte Höhe hat, immerhin von oben zugänglich. Zum Laderaum hin ist er zwar ganz offen, aber insgesamt ist er nur sehr schlecht zu nutzen.

Die Außenhaut ist geklinkert, die Planken bestehen i.a. über die Schiffslänge aus drei geschäfteten Teilen. Es fällt auf, daß die Stöße auch nebeneinander liegender Planken der Länge nach kaum gegeneinander versetzt sind. Die Breite der Planken liegt größenordnungsmäßig bei etwa 30,0 cm, ihre Dicke ist an den Längskanten, d.h. im Bereich der Überlappungen, deutlich geringer als in der Mitte. An den Längskanten sind die Planken etwa 3,5 - 4,5 cm überlappt und in Abständen von 16 - 20 cm durch Eisennieten ($\varnothing \approx 0,9$ cm) miteinander verbunden. Vernietung von innen auf Nietplatten.

Die Planken wurden durch spalten von Baumstämmen roh gewonnen, und dann nachbearbeitet. Dabei gab i.a. ein Stamm nur zwei Planken her. Bei den Schäftungen wurden die Enden i.a. vertikal abgeschnitten. Die Überlappungen waren dabei gering, sie ließen nur Platz für je ein Niet oben und unten. Gang 10 wurde offenbar als "Außengurt" des schweren Stringers zu Recht als besonders beansprucht angesehen. Daher war er besonders breit und dick, und die beiden Teile der Schäftungen überlappten sich um etwa 85 cm. Die außen liegende Überlappung war zungenförmig ausgeführt und zeigte nach hinten. Die ganze Konstruktion war offensichtlich sowohl festigkeits- als auch strömungsmäßig gut überlegt und auch nach heutigen Erkenntnissen sinnvoll ausgeführt.

Demgegenüber überrascht uns die verhältnismäßig leichte Ausführung des Bereiches der Außenhautgänge 11 und 12 etwas, die ja die äußersten Fasern des "Biegeträgers Rumpf" darstellen und nach heutiger Auffassung dessen höchste Beanspruchung aufzunehmen haben. Der dort angeordnete "Inwale" ändert daran nicht viel, dazu ist sein Querschnitt zu gering.

2.3 Hydrostatik und Stabilität

Auf eine Wiedergabe der umfangreichen, hydrostatischen Berechnungen, die stark in alle übrigen Bereiche dieser Untersuchung eingehen, verzichten wir hier. Das Volumen der

Außenhaut, wurde bei der Ermittlung der Spantflächen berücksichtigt. Die wichtigsten Ergebnisse sind die Verdrängungskurve Abb. 12 und die Zusammenstellung verschiedener Beladungsfälle Abb. 13, Tab.3 .

Diese sind frei gewählte Beispiele für den gesamten Bereich von "ohne Zuladung" bis etwa "größte Zuladung" und lassen dazwischen eine unbegrenzte Zahl weiterer Möglichkeiten offen. Darauf wird in den "Schlußbemerkungen" dieses Kapitels und in Kap. 3 noch eingegangen.

2.4 Zur Anfangsstabilität

Die Stabilität eines Schiffes ist seine Fähigkeit, sich aus gekrängten Lagen von selbst wieder aufzurichten. Es ist hier nicht der Ort zur eingehenden Darstellung einer Lehre der Stabilität der Schiffe, siehe etwas mehr dazu z.B. (Alte 1980). Die dabei wirkenden Kräfte zeigt aber Abb. 14, sie ist im Bereich des Metazentrums M etwas vereinfacht und gilt für praktisch alle vorkommenden Krängungen (d.h. Neigungen um die Längsachse, Krängungswinkel φ). Bei der Berechnung wird die Annahme gemacht, daß die Außenhaut im dabei ein- bzw. austauchenden Bereich vertikal verläuft. Bei größeren Neigungen ist dies nicht mehr vertretbar, deshalb muß dann (d.h. bei $\varphi \geq \approx 3^\circ$) ganz anders gerechnet werden.

Der Bereich $\varphi \leq \approx 3^\circ$ wird als Bereich der Anfangsstabilität bezeichnet und ist an sich praktisch wenig bedeutsam. Jedoch ist die dort vorkommende Größe "MG", die "metazentrische Höhe", ein wichtiger Kennwert für die Stabilität des Schiffes - auch für die Stabilität im Bereich $\varphi \geq 3^\circ$ (s.u.) - und muß daher zunächst ermittelt werden :

Aus der Abb. 14 kann man rein geometrisch den folgenden Zusammenhang erkennen : Auftriebskraft F_A und Gewichtskraft F_G (die man kennt und die gleich groß aber entgegengesetzt gerichtet sind) bilden mit h_φ das "Stabilitätsmoment"

$$\begin{aligned} <1> \quad M_{St} &= F_A \times h_\varphi && [\text{kNm}] \\ \text{worin ist} &: h_\varphi &= MG \times \sin \varphi && [\text{m}] \\ \text{Für die Strecken gilt :} & \underline{MG = MF + KF - KG} && [\text{m}] && <2> \\ \text{Darin ist} &: MF &= I_B / V [\text{m}] && \text{mit } I_B = \text{Flächenträgheitsmom. d.} \\ &&&& \text{Wasserlinienfläche bez. auf d. Längsachse } [\text{m}^4], \\ &&&& \text{nach umfangreicher Ableitung.} \\ &&&& V = \text{Wasserverdrängung des Schiffes } [\text{m}^3] \\ &&&& K \quad \text{ist der "Kielpunkt", siehe die Abb. 14} \\ &&&& KF = \text{Höhenlage d. Formschwerpunktes } [\text{m}] \\ &&&& KG = \quad \quad \quad \text{d. Gew.} \quad \quad \quad [\text{m}] \end{aligned}$$

Nach den o.a. Formeln <1> und <2> ist die Strecke MG ein Kennwert für die Stabilität des betr. Schiffes (genauer : für seine Anfangsstabilität, d.h. bei $\varphi \approx < 3^\circ$. MG spielt aber bei allen Neigungswinkeln eine Rolle, s.u. !). Deshalb ist der Wert für alle Beladungszustände in Abb. 13, Tab. 3 mit eingetragen.

2.5 Zum Stabilitätsumfang

Das oben genannte Stabilitätsmoment <1> beruht u.a. auf dem Hebelarm h_φ , d.h. auf der seitlichen Verschiebung des Formschwerpunktes des Unterwasserschiffes im Laufe der Krängung des Schiffes - die Ursache der Neigung spielt dabei keine Rolle, allgemein gesagt ist sie ein Krängungsmoment. Bei zunehmender Krängung wächst die genannte Verschiebung, damit auch das Stabilitätsmoment. Kritisch ist dann der Zustand "Seite Deck zu Wasser". Auch ohne Rechnung sieht man, daß ab dann die Verschiebung nicht mehr fort-

schreitet, sondern rückläufig wird. Das Stabilitätsmoment wird also kleiner. Falls das Krängungsmoment dann nicht gleichzeitig auch entsprechend kleiner wird, womit man nicht rechnen kann, kentert das Schiff nun. Man bezeichnet den Winkel, bei dies geschieht als den "Kenterwinkel" oder den "Stabilitätsumfang". Seine Kenntnis - zumindest die der ihm zu Grunde liegenden Vorgänge - ist für den Schiffsführer unabdingbar, damals wie heute.

In diesem Zusammenhang ist das Fehlen eines Decks bei dem Knorr und den noch älteren Ruderschiffen besonders folgenreich, weil im Zustand "Seite Deck zu Wasser" sofort große Wassermengen in das Schiff eindringen und es in Sekundenschnelle zum Sinken bringen. Zweifellos sind hierdurch im Laufe der Zeit unzählige Schiffe (auch Knorre) verloren gegangen und in fast jedem Fall auch zahlreiche Menschen.

Die genauere Berechnung des Kenterwinkels, d.h. des Stabilitätsumfanges und der Hebelarme h_{φ} für verschiedene Verdrängungen eines Schiffes ist eine sehr umfangreiche Arbeit, die wir so nicht leisten konnten. Um wenigstens einen Anhalt zu bekommen, haben wir folgenden Weg beschritten : Wir haben die Schwimmelage des Schiffes bei der größten Verdrängung (d.h. dem kleinsten Freibord) und der Krängung "Seite Deck zu Wasser" abgeschätzt, und die dabei wirklich vorliegende Verdrängung, berechnet und bis zur ausreichenden Übereinstimmung korrigiert. Das Ergebnis ist :

Bei der in Abb. 15 angegebenen Schwimmelage (bei der die Verdrängung reichlich 15% größer als bei Ladefall 8 ist), ist die Verdrängung 38 [m³ bzw. t] und **der Stabilitätsumfang beträgt $\varphi_{\max} \leq \approx 20^{\circ}$** .

Bei allen anderen Ladefällen (d.h. bei kleineren Verdrängungen, bei denen der Freibord ja größer ist) ist auch der Stabilitätsumfang etwas größer.

2.6 Schlußbemerkungen zur Stabilität

1) Die metazentrische Höhe MG ist im Wesentlichen von der Rumpfform und der Massenverteilung im Schiff abhängig. Die Größe des Schiffes spielt dagegen bei geometrisch ähnlicher Schiffsform keine Rolle. Als Faustwerte können etwa gelten :

Falls $MG \leq 0,0$ m ist, kentert das Schiff zwar nicht, es hat aber Schlagseite

" $MG \leq 0,1$ m ist, sind die Schiffsbewegungen (besorgniserregend) langsam.

" $MG \geq \approx 1,0$ m ist, " " " (unangenehm) hart.

2) Die vorstehenden Ausführungen sind alle "quasistatischer Natur", d.h. es wird dabei von Eigenbewegungen des Schiffes und der Wellen abgesehen. Das ist natürlich ein bedeutender Unterschied zu den wirklichen Verhältnissen auf See. Nachrechnungen von Stabilitätsunfällen zeigen aber fast immer, daß bei verunglückten Schiffen auch die quasistatischen Kennwerte der Stabilität, **MG** und / oder φ_{\max} , unzureichend gewesen waren.

Umgekehrt kann man davon ausgehen, daß ein Schiff bei ausreichenden Kennwerten der Stabilität stabilitätsmäßig ausreichend sicher ist.

3) Erweitert man die Überlegungen auf die bei der Krängung geleisteten physikalischen Arbeiten (verläßt also die quasistatische Rechnung), so läßt sich zeigen, daß bei einer dynamischen Krängung (z.B. bei Einfallen einer Böe) der Winkel φ_{\max} erheblich überschritten werden, bzw. Seite Deck untertauchen kann, ohne daß ein Kentern eintritt. Dazu muß aber ein dichtes Deck vorhanden sein, was bei dem Knorr (wie auch bei den Ruderschiffen) fehlte.

2.7 Festigkeit

"Festigkeit" bezieht sich in dieser Arbeit vor allem auf die Längsfestigkeit des Rumpfes. Üblicherweise nimmt man bei so kleinen Schiffen an, daß sie zufriedenstellend ist, wenn das Schiff in üblicher Weise nach den örtlichen Beanspruchungen ausgelegt ist. Die Konstruktion des Knorren läßt allerdings gewisse Zweifel zu, ob das in diesem Fall auch so zulässig ist. Begründet sind diese Zweifel darin, daß das Schiff kein durchgehendes Deck an Oberkante Rumpf hat, also dort, wo die größten Spannungen aus der Längsfestigkeit im Seegang auftreten werden. Dabei kommen nicht nur die reinen Zug- bzw. Druckspannungen in Frage. Vielmehr besteht für die oberen Bereiche der Außenhaut (der "Schergang") im Laderaum die Gefahr, unter Druckspannungen zu beulen d.h. in der wagerechten Ebene auszuweichen, weil sie eben in dieser Richtung durch kein Deck gestützt werden. In einem solchen Fall drängt sich ein schwerer Horizontal-Längsträger (Stringer) etwa in Höhe des Schergangs als Abhilfe auf. Wir haben - weil wir ihn für notwendig halten - einen solchen Stringer in unserem Entwurf vorgesehen, obwohl Reste davon im Mittelschiff nicht gefunden worden sind. Die in Abb. 3 angenommenen Raumbalken im Laderaum erscheinen uns wenig wirksam, zudem sehr hinderlich zu sein.

Hier möchten wir auf das etwa zeitgenössische und "Skuldelev 1" sehr ähnliche Schiff "Hedeby 3" verweisen (hier Abb. 1, Tab. 1). Es ist zwar noch nicht geborgen worden, jedoch hat (CP 1997) davon schon erstaunliche Einzelheiten veröffentlichen können. Dort ist auch der vorstehend besprochene Stringer enthalten.

Weiterhin seien hier die großen Ruderschiffe der "Nydam-Familie" (Hartmann 2019) erwähnt, die zeitlich und räumlich die Vorgänger der Knorre waren. Die Nydam-Familie hatte weder ein Deck noch einen solchen Stringer, dabei war bei ihr das Verhältnis L : H (größenordnungsmäßig 1 : 18) weit ungünstiger war als bei dem Knorr (1 : 6,2). Sie hatten aber auf jedem Spant eine Ducht (Ruderbank), d.h. eine wirksame Querversteifung des oberen Rumpfverbandes dicht unter dem Schergang, das oben geschilderte Beulen war bei ihr danach höchst unwahrscheinlich.

Ein rechnerischer Nachweis der vorhandenen Beulfestigkeit ist schwer zu führen, zumal bei einem alten Holzschiff die mechanischen Eigenschaften des tatsächlich verbauten Materials praktisch kaum abzuschätzen sind. Wir haben deshalb eine abgekürzte Längsfestigkeitsrechnung, angelehnt an die schiffbau-übliche Vorgehensweise vorgenommen, und dann an Hand der ermittelten Spannungen die Festigkeitsverhältnisse des Schiffes neu betrachtet :

Wir gehen aus von dem Lastfall "Schiff im Wellental, WT" (der im Schergang zur größten Druckbelastung führt) und dem Ladefall 8 nach Abb. 13 Tab. 3.

Bei diesem wird die ganze Fracht und der Ballast im Laderaum angenommen. Ein etwa vorhandener Trimm und die geringe Unsymmetrie des Schiffskörpers bezüglich der Hauptspantebene werden vernachlässigt. Abb. 16 zeigt die Lage und die in diesem Zusammenhang wichtigsten Kräfte. Es ist offensichtlich, daß man hierbei eine Einspannung des Schiffskörpers im Hauptspant, K-Spt 8 annehmen kann . Das dort auftretende Biegemoment M_{\emptyset} ist danach :

$$M_{\emptyset} = F_G \times h_G - F_A \times h_A \quad [\text{kNm}]$$

Mit den vorhandenen Unterlagen ist M_{\emptyset} verhältnismäßig einfach zu berechnen. Es ergibt sich (M heißt dabei "Moment" und hat nichts mit dem "Metazentrum" zu tun !):

$$\text{Wellenberg} : M_{\emptyset} = M_{AWB} + M_G = M_{GesWB} = -500 + 285 = -215 \text{ kNm}$$

$$\text{Wellental} : M_{\emptyset} = M_{AWT} + M_G = M_{GesWT} = -1200 + 285 = \mathbf{-915 \text{ kNm}}$$

Wegen der ausgeprägten Konzentration der Massen im Bereich von $L_{LL} / 2$ entstehen in beiden Fällen also im Schergang Druckspannungen. Die für Kiefernholz anzunehmende tatsächliche Druck-Bruchspannung (nicht zu verwechseln mit einer zulässigen Spannung !) parallel zur Faserrichtung ist nach Friedrich (2006) $\sigma_D \approx 47 \text{ N / mm}^2$. Die Rechnungen ergaben (das Widerstandsmoment im Hauptspant, bezogen auf den Schergang, ist $0,132 \text{ m}^3$) :

Spannungen im Hauptspant im Wellenberg :

$$\sigma_{\text{SchergangWB}} = M_{\text{GesWB}} / W_o = -215 / 0,132 = -1630 \text{ kN / m}^2 = \mathbf{-1,63 \text{ N / mm}^2}$$

Spannungen im Hauptspant im Wellental:

$$\sigma_{\text{SchergangWT}} = M_{\text{GesWT}} / W_o = -915 / 0,132 = -6930 \text{ kN / m}^2 = \mathbf{-6,93 \text{ N / mm}^2}$$

Auch wenn dies natürlich nur Abschätzungen sind, handelt es sich also um absolut mäßige Spannungen, danach ist ein Beulen der Außenhaut dort sehr unwahrscheinlich. Übrigens wird - da der Lastfall schon extrem ist - damit die Vertretbarkeit der anfangs angesprochenen "üblichen Annahme" auch für diesen Schiffstyp bestätigt.

Ein Bauteil, von dem offenbar eine bedeutende Festigkeit verlangt wurde, ist das Kielschwein, ein kurzer Längsträger unter dem Mastfuß. Er verteilt die vom Mast eingeleitete, vertikale Last auf mehrere Spanten. Diese Last ist zunächst die Gewichtskraft von Mast, Rah und Segel, (etwa 1000 kg). Hinzu kommen die vertikalen, nach unten gerichteten Anteile der Kräfte in den Wanten und Stagen. Sie sind außer von der jeweiligen Windkraft abhängig von der Elastizität des verwendeten Tauwerks und von seiner Vorspannung, die ihrerseits allein von dem "Gefühl" der Besatzung bestimmt wird. Auch die Elastizität des Schiffskörpers selbst spielt eine große Rolle, d.h. eine halbwegs zutreffende Berechnung ist uns nicht möglich.

Wir lassen das Kielschwein über je etwa zwei Spantentfernungen vor und hinter dem Mast reichen, und geben ihm am Mastfuß etwa den größten Querschnitt, der sich unter den Biten unterbringen läßt, Abb. 7 und 9. Nach den Enden zu wird der Querschnitt kleiner. Auf einigen Wikinger-Langschiffen von damals reicht das Kielschwein über bedeutend mehr Spanten und ist über den größten Teil seiner Länge geradezu filigran. Wir halten es in dieser Form aber für wenig wirksam, weil es für seine Aufgaben keinen ausreichenden Querschnitt erhalten kann und hat. Zudem ist es immer schwierig, das Kielschwein schubfest mit dem Balkenkiel zu verbinden, was seine Wirksamkeit (auch für die Längsfestigkeit des Schiffes) weiter bedeutend vermindert.

Eine rationale Bemessung der Mastducht trifft auf ähnliche Schwierigkeiten wie die des Kielschweins. Für die Massen-usw. Berechnung sind wir vor allem von dem verfügbaren Raum ausgegangen.

2.8 Bemastung und Takelung

Von der Takelung der Knorre sind bisher keine Teile gefunden worden, die gute Hinweise für ihre Rekonstruktion gaben. Dies ist ein Sondergebiet, das den meisten Schiffbauern heute recht fern liegt, und für das es, außerhalb des Sportboot-Bereiches, praktisch keine modernen Unterlagen gibt. Deshalb mußten wir (Middendorf 1903/77), dazu heranziehen. Middendorf war Direktor des Germanischen Lloyd, sein Buch ist noch heute das Standardwerk auf dem Gebiet. Es ist in der damals und noch weitere etwa fünf Jahrzehnte üblichen Art von Klassifikationsvorschriften gehalten. Diese gingen nicht von den wirklichen Kräften und Bewegungen (first principles) der Struktur aus, sondern von „bewährten Ausführungen“ und mehr oder weniger plausiblen Leitzahlen. Damit erhielt man dann mit

relativ wenig Aufwand – wenn oft auch mit nur lückenhaftem Theorie-Verständnis – Konstruktionen, die mit ziemlicher Sicherheit ihren Zweck erfüllten. Es war aber schwierig, neue Wege zu gehen.

Eine ausgewogene Besegelung liegt nach M. vor, wenn der Beiwert ε nach Formel (1) s.u. innerhalb folgender Grenzen liegt :

$\varepsilon = 26$ bis 24	für Lange oder Indische Fahrt	
$\varepsilon = 24$ bis 21	" Atlantische	"
$\varepsilon = 21$ bis 19	" Europäische	"
$\varepsilon = 19$	" 17 " Große Küsten-	"
$\varepsilon = 17$	" 14 " Kleine "	" (Nord- und Ostsee)

Die tatsächlich auftretende Windkraft, für die allgemein gültige Werte ja nur sehr schwer anzugeben sind, wird in dieser Formel elegant umgangen und durch die praktische Bewährung ersetzt. Letztere ist ja in der Tat in der Praxis die höchste Instanz - so lange, wie auch die wirtschaftlichen Erfordernisse einigermaßen befriedigt werden. Die Formel lautet :

$$(1) \quad \varepsilon = (A \times h) / (V \times \gamma \times MG)$$

Das erste Glied vertritt darin das krängende Moment der Windkraft, das zweite das vom Schiff aufgebrachte Stabilitätsmoment (Abb.: 14). ε hat dann die Einheit [m^2 / kN], ist also der Kehrwert einer Wind-Flächenlast. Man sieht, daß diese Windlast danach mit abnehmender Schiffsgröße wächst, was zunächst nicht plausibel ist. Tatsächlich wird damit aber ein besonderer Sicherheitsfaktor zugunsten kleinerer Schiffe eingeführt, weil nach einer ganz einfachen Statistik rein zahlenmäßig weit mehr kleine Schiffe verunglücken als große - wenn diese Tatsache auch durchaus nicht nur durch die Windstärke zu erklären ist. Das wußte M. natürlich auch.

Da die Knorre ja auch im Nordatlantik fuhren, gingen wir für die Rekonstruktion aus von $\varepsilon = 23 - 20$, die Faktoren des 2. Gliedes waren bekannt. A und h haben wir dann durch Probieren bestimmt zu :

A	Gesamt-Segelfläche des Schiffes [m^2]	$9 \times 8,5 = 76,5$	Abb. 17
h	vertikaler Abstand des Segel-Schwerpunktes vom Verdrängungs-Schwerpunkt [m]	6,1	"
V	Verdrängung des Schiffes [m^3]	32	
γ	Raumgewicht des Wassers [kN / m^3]	1,00	
MG	metazentr. Höhe, [m]	0,66	

ergibt sich :

$$\varepsilon = 467/21,1 = 22 \quad \text{mit : } \underline{A \approx 80 [m^2] \text{ und } h \approx 6,1 [m]}.$$

Für die Abmessungen der Masten und Rahen ist nach M. zunächst nur deren Länge die Leitzahl. Danach erhält man ihren Durchmesser für die Ausführung in Holz. Damals waren Stahl-Ausführungen schon häufig, wenn nicht gar die Regel. Man behielt jedoch die Holz-Durchmesser bei und baute danach "gleichwertig" in Stahl (genietet), wofür M. die Abmessungen auch angab. Die so ermittelten Holz-Abmessungen sind Abb. 17 zu entnehmen. Bei dem Knorr wurde natürlich nur Holz (Kiefer) verwendet.

Material und Durchmesser des stehenden und des laufenden Gutes sind vor allem Sache des Schiffsführers bzw. des Eigners, darüber wissen wir praktisch nichts.

Das gleiche gilt für das Segel selbst.

3 Zusammenfassung

Wir wollen an dieser Stelle zusammenfassend eine Bewertung des "Knorr" aus technischer Sicht versuchen und halten uns dabei an die Gliederung von Kap. 2 .

Die Schiffsform, die man "bauchig" oder eben "knorrig" nennen kann, ist durch einen außerordentlich kleinen Völligkeitsfaktor δ gekennzeichnet. Im vollbeladenen Zustand, Ladefall 8, ist $\delta = V / L \times B \times T = 32 / (14,4 \times 4,68 \times 1,36) = 0,35$.

Für den Schiffswiderstand ist diese Form nicht unbedingt günstig, aber eine hohe Geschwindigkeit ist bei einem Frachtschiff auch nicht die Hauptforderung. Dagegen spricht die Konzentration der Fracht im Mittelschiff für eine Konzentration auch der Verdrängung dort. Sie kommt sowohl der Stabilität wie auch der Längsfestigkeit zugute.

Der konstruktive Aufbau ist dem der Vorgängergeneration, der Nydam-Familie, ähnlich, insbesondere die geklinkerte Außenhaut. Entfallen sind jedoch die vielen Querverbände, die Duchten, gerade im Mittelschiff. Wegen des dort gelegenen Laderaums, ist die Vorgänger-Bauweise hier nicht möglich. Eine vorhandene Schwächung im Bereich des Laderaumes ist aber nicht zu übersehen. Man könnte dagegen etwa drei Rahmenspanten im Laderaum (einen davon in der Mastebene) und eine weitere Verstärkung des Stringers vorschlagen. Immerhin haben wir einen schweren Stringer über die ganze Schiffslänge vorgesehen. Im übrigen deuten die niedrigen Spannungen aus der Längsfestigkeitsbeanspruchung auf ein robust gebautes Schiff hin.

Einen Überblick über die Verwendbarkeit des Schiffes geben die ausgewählten Ladefälle Abb. 13. Die Stabilität, insbesondere die Anfangsstabilität, ist bei sehr kleinen Verdrängungen gering, der Grund dafür sind die stark V-förmigen Spanten, d.h. die in diesen Zuständen schmalen Wasserlinien. Im Bereich der im Betrieb vorkommenden Verdrängungen ist die Stabilität - dafür steht die metazentrische Höhe MG - dann zufriedenstellend, wenn auch nicht besonders groß. Dadurch wird das Schiff aber weiche Bewegungen im Seegang machen, was in jeder Beziehung gut ist. Der Stabilitätsumfang beträgt aber nur etwa 20°, das ist wenig. Jedoch ist der Freibord, der im Fall der größten Verdrängung (Ladefall 8) 0,98 m - d.h. 42 % der Seitenhöhe - beträgt, i.a. gut vertretbar. In den anderen Ladefällen ist er noch etwas größer. Er sollte allerdings auch nicht unterschritten werden, da das Schiff infolge des Fehlens eines Decks gegen überkommendes Wasser empfindlich ist.

Zu den Segel- und den Seeigenschaften ist nicht viel mehr zu sagen, als oben unter Stabilität schon steht. Auch bei (Thorset 1992) fehlen leider verwertbare Angaben darüber. Hinweisen möchten wir aber auf den Gebrauch eines Sprietbaumes, mit dem etwa auf Kursen "hoch am Wind" in Luv das Schotauge des Segels nach außen gedrückt und das Segel damit in eine günstigere Form gebracht werden konnte. Für diesen Baum waren Fußspuren im Bereich des vorderen Halbdecks angebracht. Auf Abb. 3 ist die Handhabung des Sprietbaumes zu erkennen.

Es seien noch einige Bemerkungen zu dem allgemeinen Betrieb des Schiffes angefügt : Das Anbordnehmen und Vonbordgeben von festem Ballast (in Form von Feldsteinen) ist umständlich und zeitraubend und sollte vermieden werden. In der Laderaumbilge ist etwa eine Masse von 1 t unter zu bringen Wenn aber der Eigner nicht besonders viel mit sehr leichtem Schiff fahren will, so könnte er u.E. auf festen Ballast ganz verzichten. Siehe dazu die Ladefälle in Abb. 13 Tab. 3.

Von großer Bedeutung für die Schiffssicherheit ist die Möglichkeit, eingedrungenes und besonders auch übergekommenes Wasser praktisch ununterbrochen aus der Bilge zu entfernen (zu "oesen"). Wir sehen dafür keine gute Möglichkeit. Daß man damals irgend-

welche Pumpen gehabt hätte, ist auch nicht bekannt. Bei den Schiffen des Nydam-Typs sind Oesschaufeln bzw. -fässer gefunden worden. Dort war aber die Bilge an vielen Stellen zugänglich und man hatte genügend Leute. Im Knorr mußte man wohl bei der Beladung einen stets freien Zugang zur Bilge schaffen, was eine erhebliche Verkleinerung des Laderaumes bedeutete. Oder es hätte ein einigermaßen begehbarer Zugang zu dem Raum unter dem hinteren Halbdeck geschaffen werden müssen, was wieder den dortigen Stauraum erheblich einschränken würde.

Es dürfte eine Besatzung von mindestens sechs Mann erforderlich gewesen sein. Deren Lebensverhältnisse an Bord waren - bei tage- bis wochenlangen Seefahrten ohne Landberührung und ohne einen gedeckten Raum - für heutige Begriffe ganz unvertretbar. Wir vermuten zwar, daß zwei bis drei Mann zu gleicher Zeit unter dem vorderen Halbdeck ruhen konnten. Dieser Raum wurde aber sicher auch als Stauraum genutzt, in der Bilge strömte das Wasser in Längs- und Querrichtung hin und her und das losnehmbare Deck ließ überkommendes und Regenwasser fast ungehindert eindringen.

Von einer Kochgelegenheit ist offenbar nichts gefunden worden, es ist auch kaum ein Platz dafür vorstellbar. Es war also wohl nur Kaltverpflegung möglich.

Gerade auf dem Gebiet des Schiffsbetriebes sei hier ein Vergleich mit den Verhältnissen einige Jahrhundert früher, vorgenommen, also z.Zt. der Antike oder auch der Nydam-Familie. Damals gab es praktisch nur Schifffahrt mit fast ununterbrochener Landschaft. Nachts wurden die Fahrzeuge regelmäßig an Land gezogen. Dort wurde dann abgekocht und geschlafen und bei Gelegenheit sicher in der näheren Umgebung zur Verpflegungsergänzung gehandelt oder geräubert.

In den 1980er Jahren unternahm ein Nachbau von Skuldelev 1 eine Weltreise, siehe (Thorset 1992). Dieses Buch ist eine reich bebilderte Reisebeschreibung, in der technische Angaben kaum vorkommen. So sind uns Einzelheiten über Abweichungen zwischen Original und Nachbau leider nur in ganz groben Zügen bekannt. Es war ein 22 PS-Dieselmotor mit (Verstell-?)Propeller eingebaut, dazu eine Lenzpumpe und ein (wegnehmbares ?) Heckruder. Vor und hinter dem Mast stand je eine kräftige Holzkabine, beide waren fest mit dem Rumpf verbunden und wirkten dadurch als Reserveverdrängung falls das Boot kenterte oder vollschlug. Darin waren etwa 6 Kojen, eine Kochstelle, ein Tisch, wenige Schränke und Sitzgelegenheiten und eine Toilette vorhanden. Die Lebensverhältnisse waren also sehr einfach, aber die auf dem Original waren mit ihnen nicht vergleichbar. Das Seeverhalten des Bootes war aber vermutlich dem des Originals recht ähnlich und gut. Die Segelfläche war "gut 90 m²". Das erscheint uns recht viel, damit wird in dieser Größe wohl nur selten gefahren worden sein. Es sollen "mindestens 10 t" Ballast (allseits runde Feldsteine) nötig gewesen sein. Das entspricht also etwa dem Ladefall 3, auch hinsichtlich der Stabilität. Das Schiff hat stets geleckert, das ist aber wohl unvermeidlich, es wird bei "Skuldelev 1" ebenso gewesen sein und ist nicht als Mangel zu verstehen.

4 Anhang

4.1 Schrifttum

Kurzangabe	Ausführliche Angabe
Humbla, 1934	Humbla, Ph. "Båtfyndet vid Äskekärr" Göteborgs och Bohusläns fornminnes forenings tidskrift 1934, 1 - 21. Göteborg
Middendorf 1903 /1977	Middendorf, F. L. "Bemastung und Takelung der Schiffe" 1903 Nachdruck : Horst Hamecher Kassel, 1977
Alte 1980	Alte / Matthiesen "Schiffbau kurzgefaßt" 2. Auflage, Hamburg 1980 ISBN 3-87700-028-2
Thorset 1992	Thorset, Ragnar "Saga Siglar - Im Wikingerschiff rund um die Welt" Bielefeld 1992, ISBN 3-7688-0727-4
Olsen/CP 1997	Olsen u. Crumlin-Pedersen, O "Fünf Wikingerschiffe aus Roskilde Fjord" The Viking Ship Museum Roskilde Denmark 1997
CP 1997	Crumlin-Pedersen, Ole e.al. "Viking-Age Ships and Shipbuilding in Hedeby / Haithabu and Schleswig" Viking Ship The Museum, Roskilde, Denmark 1997 Band 2 der Serie "Ships & Boats of the North" Viking Ship The Museum, Roskilde, Denmark
Langenbach 1998	Langenbach, Kirsten "Eisenzeitliche Schiffsausrüstung im Bereich von Nord- und Ostsee" Hamburg 1998 ISBN 3333-8225-0451-3
Simek 1998	Simek, Rudolf "Die Wikinger" C.H.Beck, München 1998, 6. Aufl. 2016 ISBN 978 3 406 41881 5
CP 2002	Crumlin-Pedersen, Ole & Olsen, Olaf "The Skuldelev Ships I " Roskilde 2002 ISBN 87-85180-467 (Band II ist 2020 noch nicht erschienen)
Roskilde 2003	"Das Wikingerschiffsmuseum in Roskilde" Roskilde 2003 ISBN 87- 85180- 58- 0
Friedrich 2006	"Friedrich Tabellenbuch Holztechnik" 12. Auflage Troisdorf 2006 ISBN 978-3-427-54101-1
Schneider 2012	Schneider, Helmuth "Geschichte der antiken Technik" München 2007, 2. Aufl. 2012 ISBN 978 3 406 53632 8
Hartmann 2019	Hartmann, Jan Internet : www.technikgeschichte.org : Technikgeschichte aus der Sicht des Ingenieurs, Arbeit 2019 "Die Nydam-Familie", abgerufen am 19.06.2020
Wikipedia 2020	Knorr (Schiffstyp), abgerufen am 01.04.2020

4.2 Abbildungen und Tabellen

Die folgenden Abb. entstammen: mit freundlicher Genehmigung des Vikingskibs Museet Roskilde (CP 2002 und Roskilde 2003 aus dem Schrifttumsverzeichnis 4.1 dieser Arbeit), Gerlinde Mahr 2019, Flemming Bau und dem Zeichenbrett des Verfassers.

1	≈ Baujahr / Verlustjahr	Fundort bzw. Kennwort	Land	Holz aus	L x B [m]	Fund- / Berg.-Jahr
2	1000/	Äskekär	S	W.Schw.	15,8 x 4,5	1934/1934
3	1025/	Hedeby 3	D	W.Ostsee	≈ 22 x 6,3	1980/
4	1040/1065	Skuldelev 1	DK	W.Norw.	16 x 4,8	1957/1962
5	1060/	Roskilde 3	DK	W.Ostsee	18 x 4,4	1997/1997
6	1110/	Roskilde 4	DK	?	≈ 20,5 x 6,5	1997/1997
7	nach 1130/	Karschau	D	W.Ostsee	≈ 22 x 6,5+	2000/
8	1140	Eltang	DK	W.Ostsee	≈ 17,5x3,8	1943/1947
9	≈ 1140/	Lynæs 1	DK	Katteg.region	≈ 24 x 6	1975/1975
10	≈ 1150/	Skanör Knösen	S	?	≈ 20 x ?	1982/1992
11	≈ 1180	Erritsø	DK	?	≈ 20 x 4,2+	1929 -30/
12	≈ 1185	Roskilde 2	DK	Katteg.region	≈ 16,5 x 4,5	1996/1997
13	1188/	Bergen	N	W.Norw.	≈ 30 x 9,5	1955/1962

Abb.1 Tab. 1 Frühzeitliche Frachtschiffe mit $L \geq 15$ m
© Viking Ship Museum, Denmark



Abb. 2 Modell „Skuldelev 1“
Photo: Karrasch, Werner
© The Viking Ship Museum, Denmark

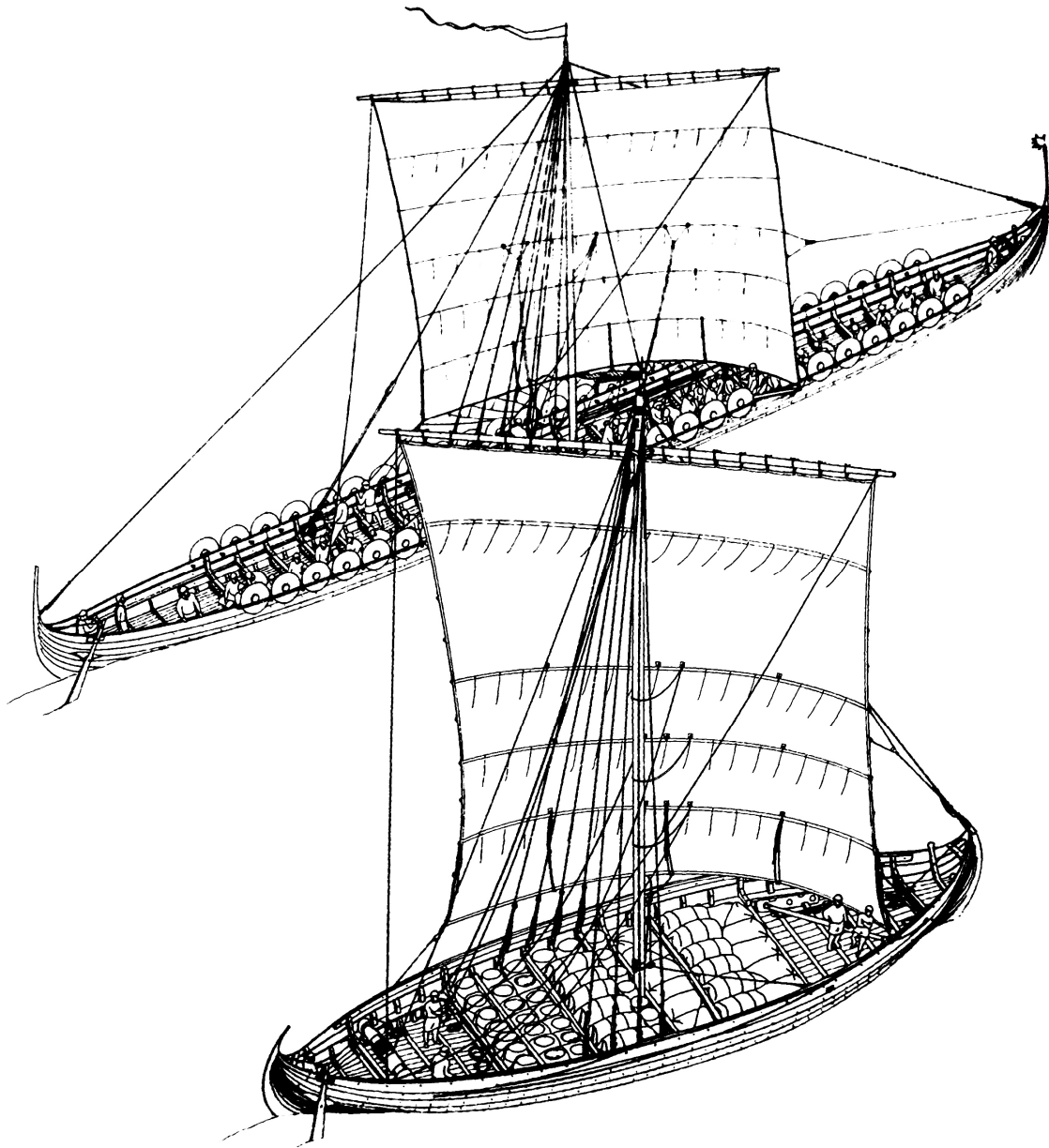


Abb. 3 "Skuldelev 2" oberes Schiff
"Skuldelev 1" unteres Schiff
Zeichnung: Sune Villum-Nielsen
©The Viking Ship Museum, Denmark



Abb. 4 Römisches Flußfrachtschiff, \approx 3. Jahrhundert
© Gerlinde Mahr, 2019

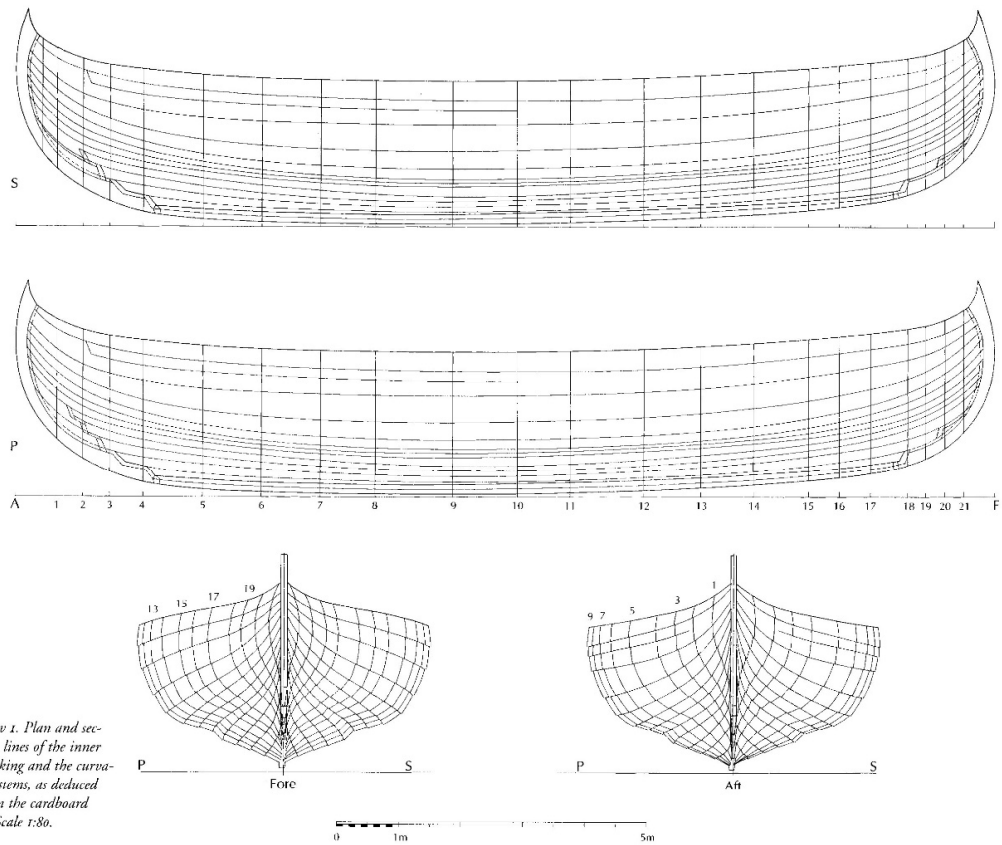


Fig. 39. Skuldelev 1. Plan and section showing the lines of the inner edges of the planking and the curvature of keel and siems, as deduced from the work on the cardboard model 1996-97. Scale 1:80.

Abb. 5 Linienriß des Kartonmodells
 Zeichnung: Bischoff, Vibeke
 © The Viking Ship Museum, Denmark

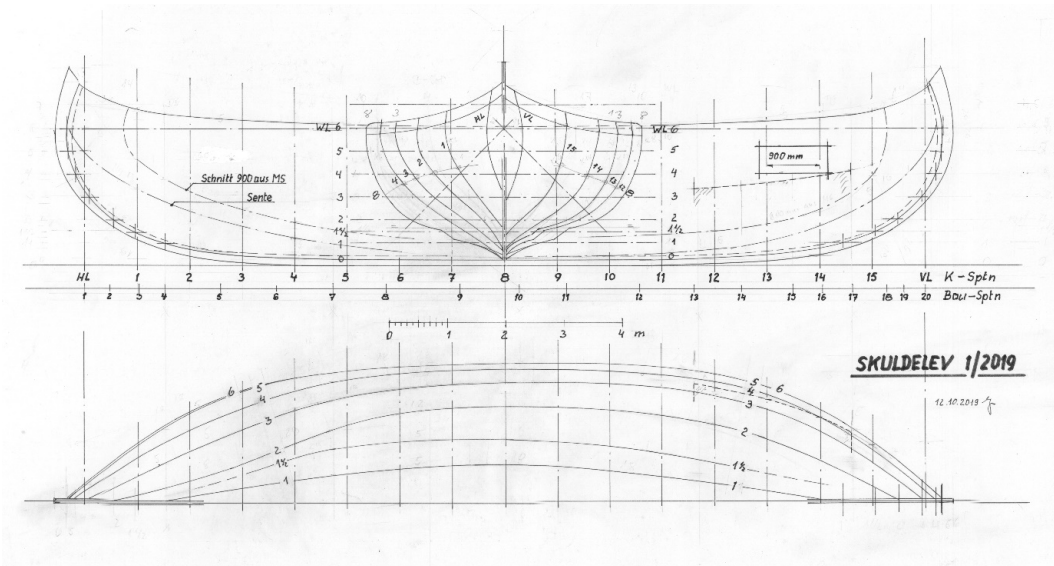


Abb. 6 Linienriß
 © Jan Hartmann, 2020

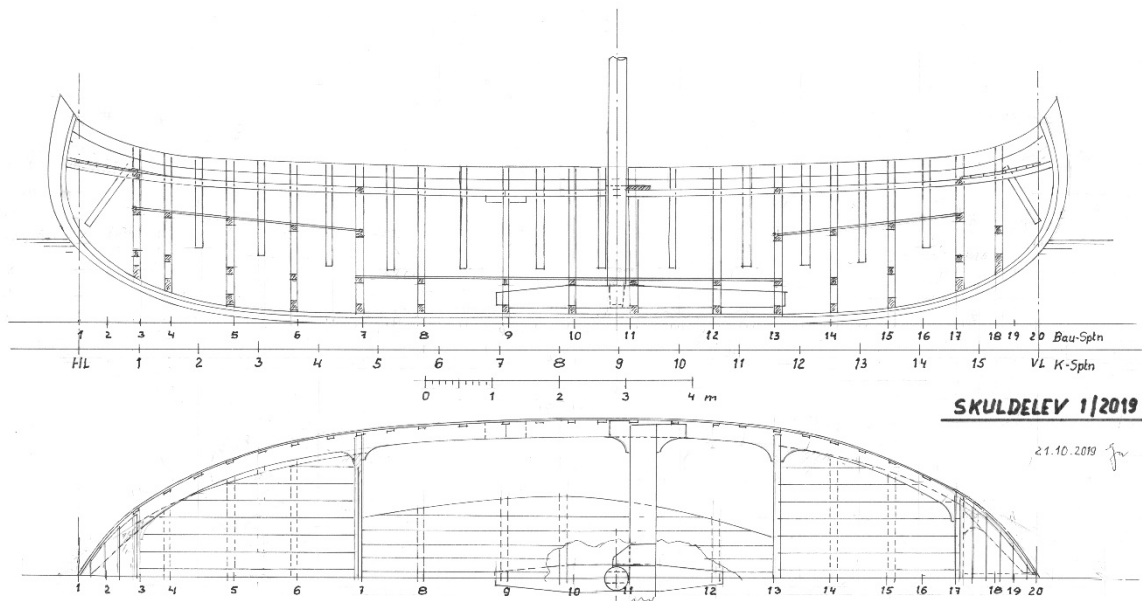


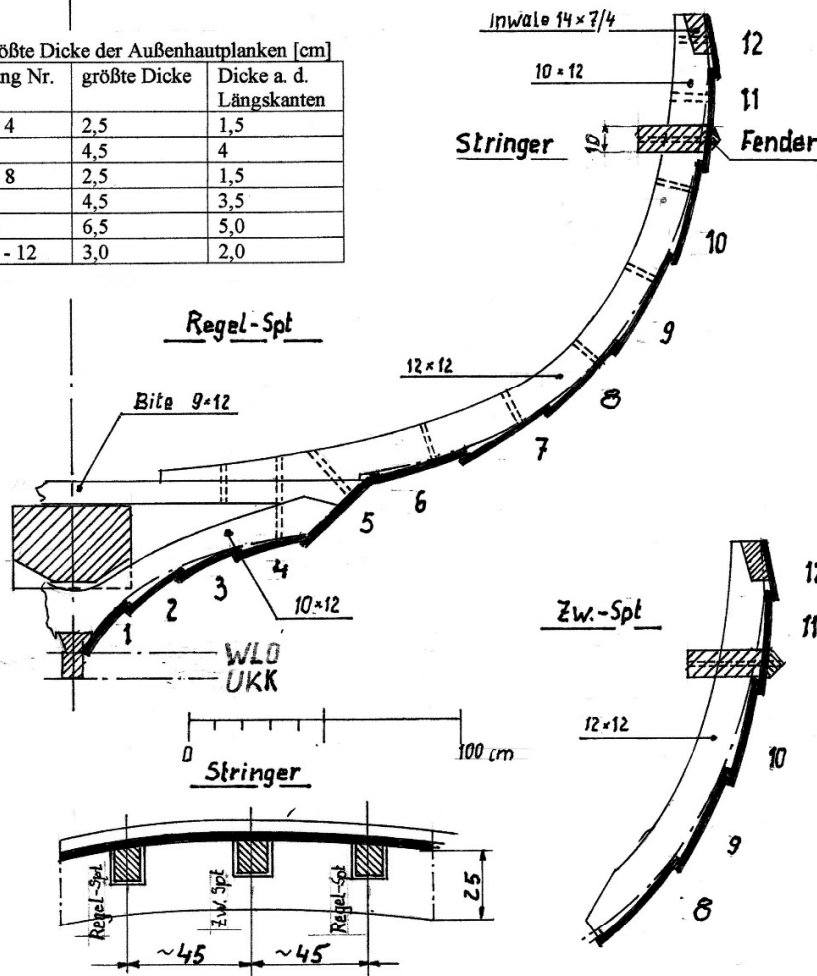
Abb. 7 Längsschnitt
 © Jan Hartmann, 2020

1	2	3	4	5
	Text	Einh.	Skuldelev 1 / 2019	Nydam 2017
3	L _{ÜA}	m	15,40	24,70
4	L _{LL}	"	14,40	18,20
5	B _{MAX}	"	4,68	3,26
6	B _{WL}	"	4,27 ¹⁾	2,74 ²⁾
7	H	"	2,24	1,20
8	T _{WL}	"	1,26 ¹⁾	0,48 ²⁾
9	V _{WL}	m ³	27,4 ¹⁾	10,4 ²⁾
10	δ	1	0,35 ¹⁾	0,45 ²⁾
11	β	1	0,26 ¹⁾	0,69 ²⁾
12	L _{LL} / B _{MAX}	1	3,08 ¹⁾	5,59 ²⁾
13	L _{LL} / B _{WL}	1	3,37 ¹⁾	6,65 ²⁾
14	L _{LL} / H	1	6,23 ¹⁾	15,18 ²⁾
15	T _{WL} / H	1	0,56 ¹⁾	0,40 ²⁾

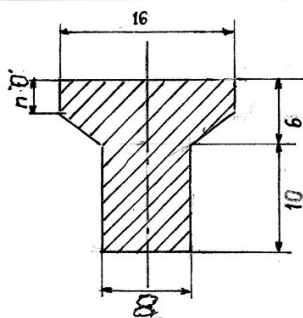
¹⁾ bei Ladefall 6 ²⁾ bei einer mittleren Verdrängung

Abb. 8 Tab. 2 Hauptabmessungen und Verhältniswerte
„Skuldelev1 / 2019“ und „Nydam 2017“
© Jan Hartmann, 2020

Größte Dicke der Außenhautplanken [cm]		
Gang Nr.	größte Dicke	Dicke a. d. Längskanten
1 - 4	2,5	1,5
5	4,5	4
6 - 8	2,5	1,5
9	4,5	3,5
10	6,5	5,0
11 - 12	3,0	2,0



Balkenkiel (Eiche) M 1:5



SKULDELEV 1/2019

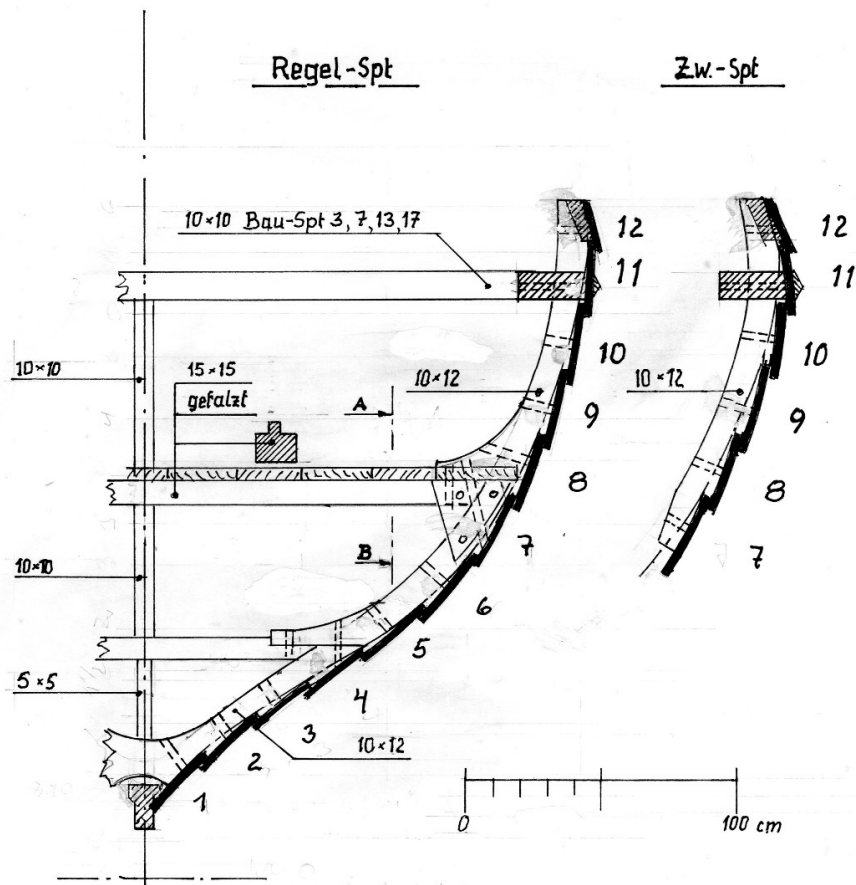
Hauptspant Bl. 1 Laderaum

Werkstoff: Kiefer (Eiche)

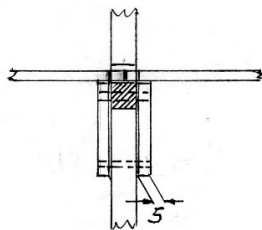
M 1:20 (1:5) Alle Maße [cm]

24.10.19 *ju*

Abb. 9 Hauptspant 1, Laderaumbereich
© Jan Hartmann, 2020



Schnitt AB



SKULDELEV 1/2019

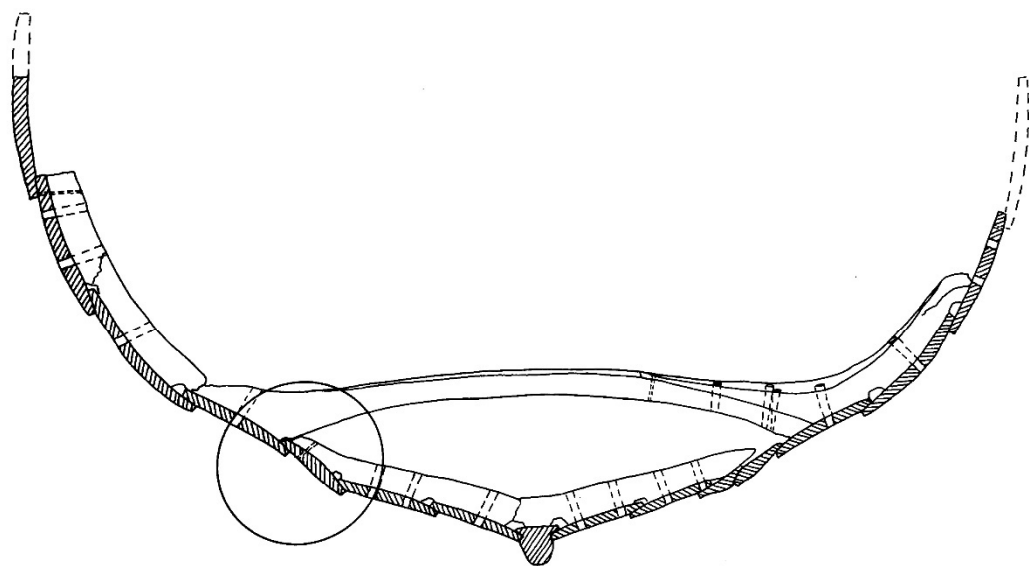
Hauptspt 2 Vor- bzw. Hint.sch.

Werkstoff: Kiefer

M 1:20 Alle Maße [cm]

29.10.19 *[Signature]*

Abb. 10 Hauptsant 2, Vorschiff, Hinterschiff
© Jan Hartmann, 2020



1A

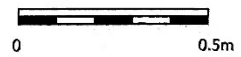


Abb. 11 Hauptspant „Skuldelev 6“
Zeichnung: Bischoff, Vibeke
© The Viking Ship Museum, Denmark

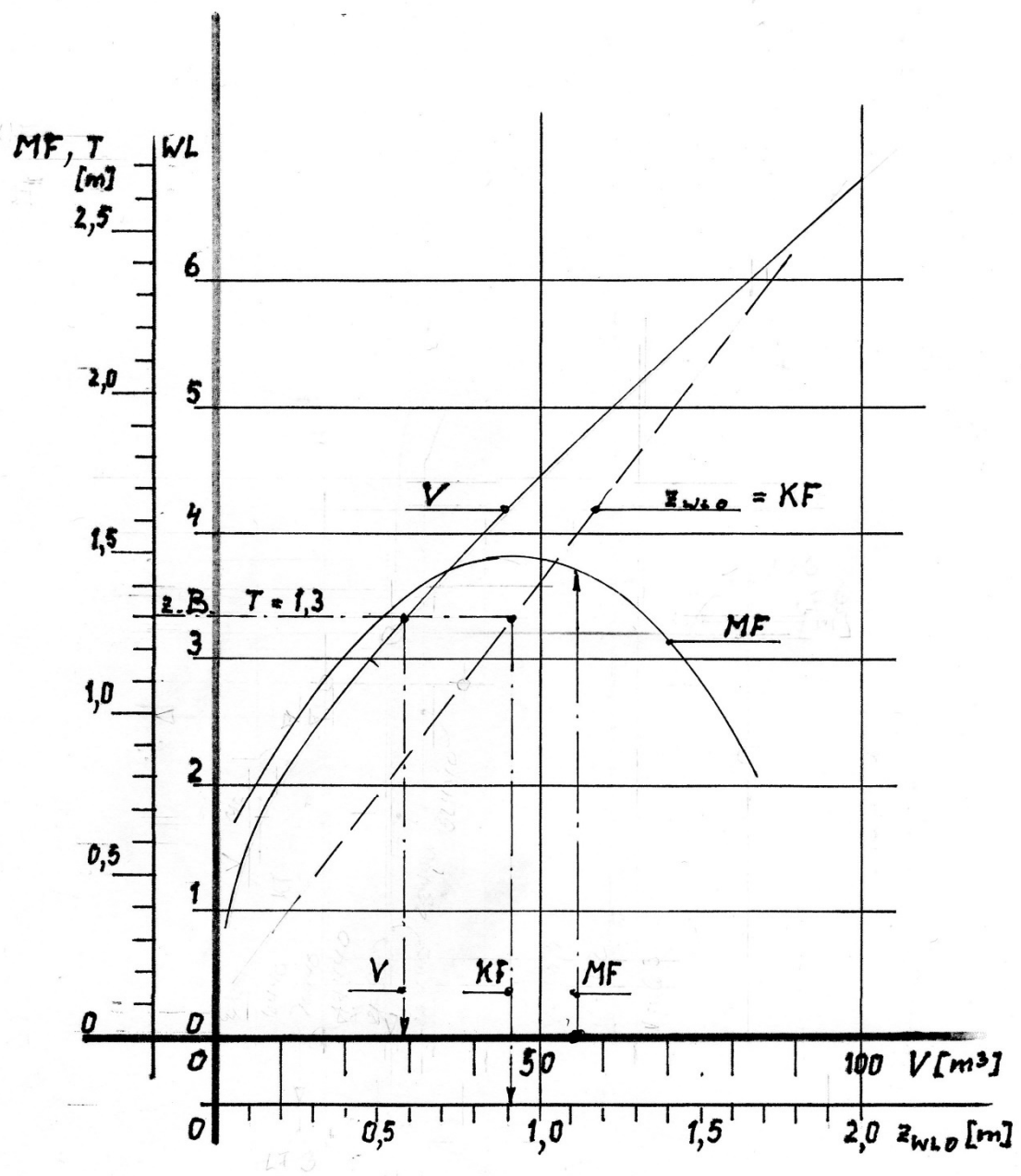


Abb. 12 Verdrängungskurve KF, MF
© Jan Hartmann, 2020

1	2	3	4	5	6	7
2	Beschreibung	Verdr. \triangleq Masse	KG	T	Frei bord	MG
3	Einheit \Rightarrow	m³ \triangleq t	m	m	m	m
4	Ladefall 1 leer leerer Rumpf	4,99	1,77	0,60	1,74	-0,80
5	leerer Rumpf 4,99					
6	Segel, Takelage 0,25					
7	Ausrüstung 0,60					
8	6 Mann Besatzung + Effekten 0,60					
9	Ladefall 2 reisefertig $\Sigma = 6,44$ ohne Ballast ohne Ladung	6,44	1,86	0,66	1,68	-0,80
10	Ladefall 3 reisefertig ohne Ballast Ladung 10,00 t	16,44	0,98	1,00	1,34	+0,55
11	Ladefall 4 reisefertig Ballast 1,0 t Ladung 10,00 t	17,44	1,52	1,02	1,32	+0,21
12	Ladefall 5 reisefertig ohne Ballast Ladung 20,00 t	26,44	1,66	1,23	1,11	+0,44
13	Ladefall 6 reisefertig Ballast 1,00 t Ladung 20,00 t	27,44	1,62	1,26	1,08	+0,55
14	Ladefall 7 reisefertig Ballast 2,00 t Ladung 20,00 t	28,44	1,59	1,29	1,05	+0,60
15	Ladefall 8 reisefertig Ballast 2,00 t Ladung 25,00 t	33,44	1,69	1,36	0,98	

Abb. 13 Tab. 3 Ladefälle
© Jan Hartmann, 2020

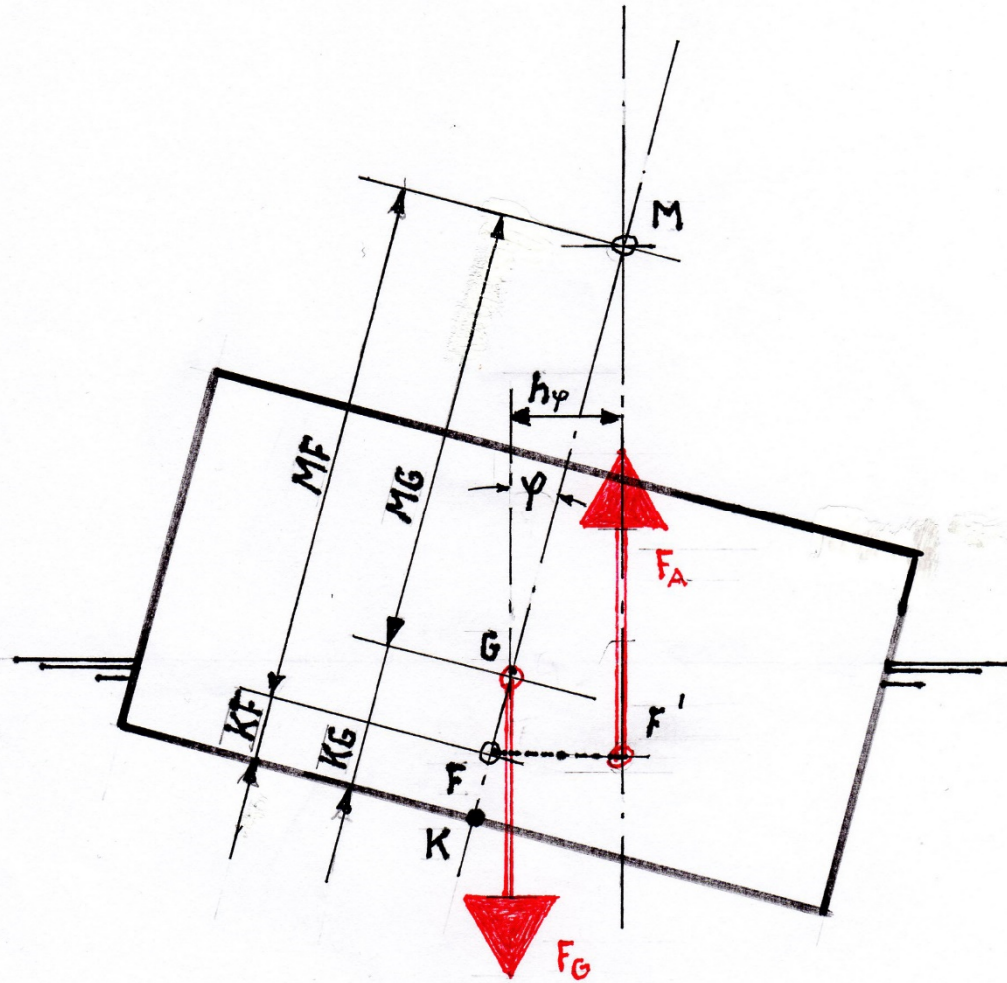


Abb. 14 Stabilitätskräfte, siehe den Text
 © Jan Hartmann, 2020

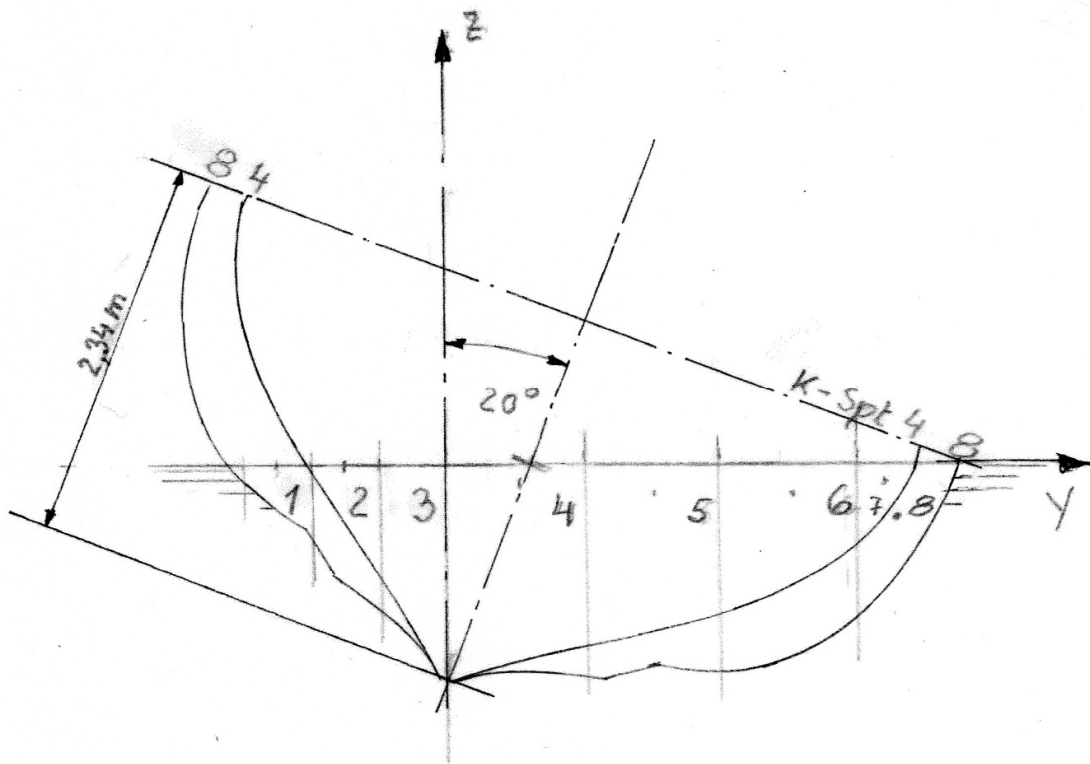


Abb. 15 gekrängte Lage, siehe den Text
© Jan Hartmann, 2020

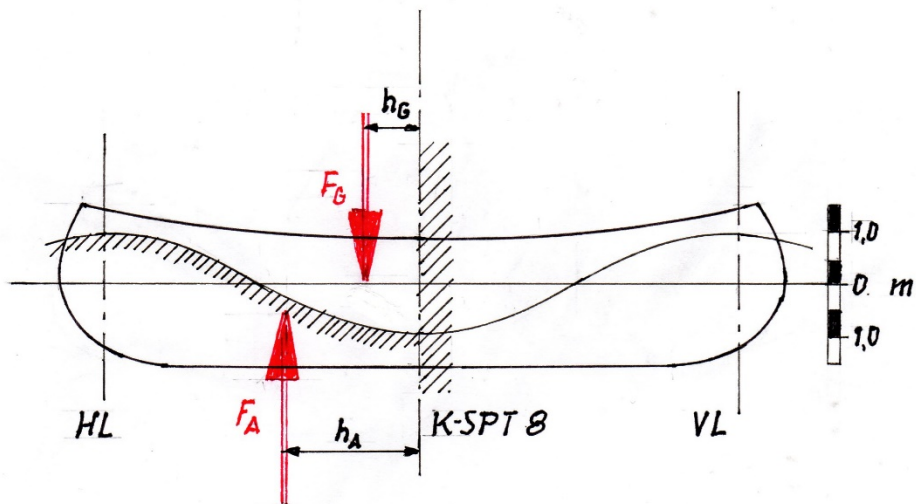


Abb. 16 Schiff im Wellental, siehe den Text
© Jan Hartmann, 2020

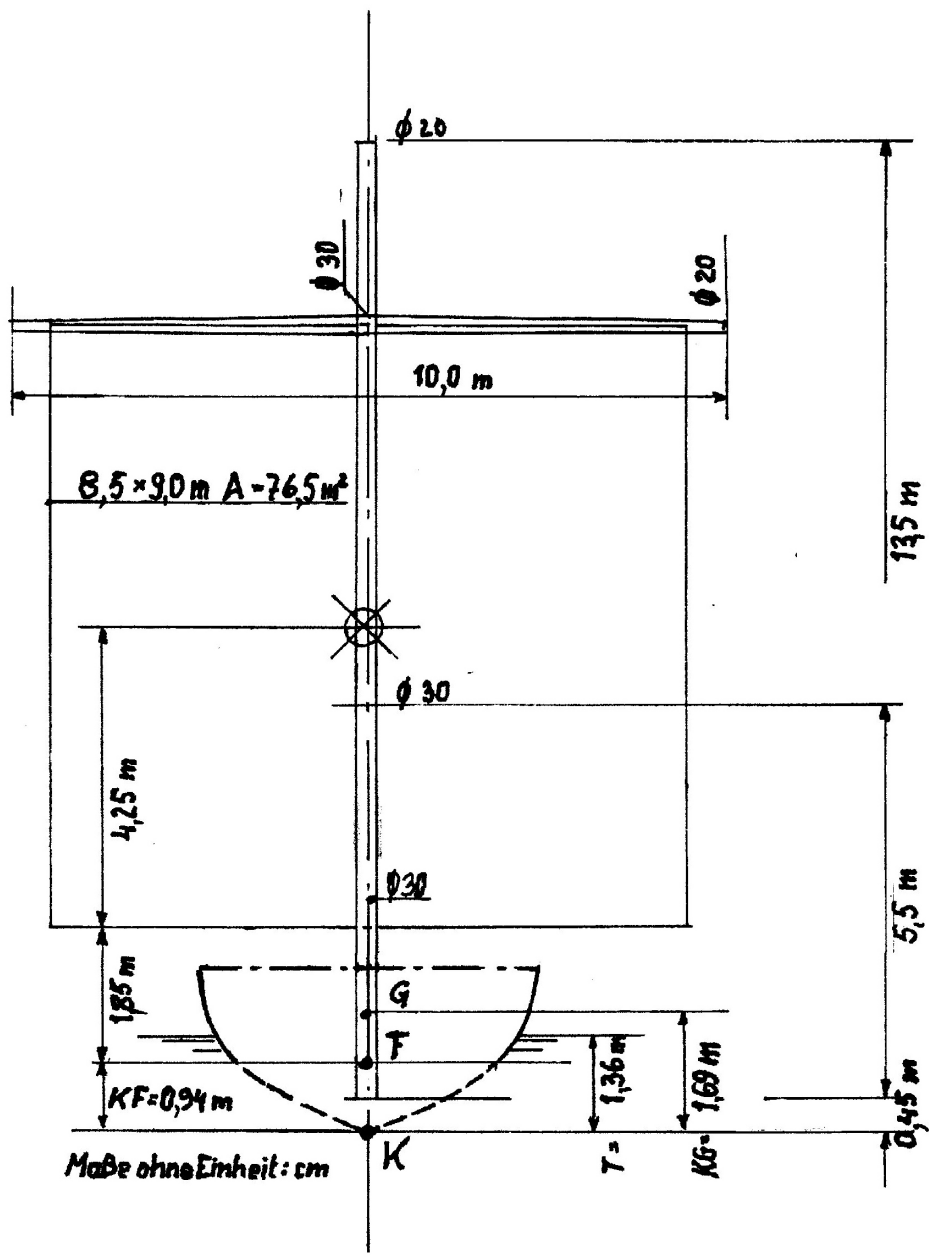


Abb. 17 Mast- und Segelanordnung, siehe den Text
 © Jan Hartmann, 2020



Abb. 18 „Skuldelev 1“, Aquarell von Flemming Bau
© Flemming Bau, Aarhus, Dänemark