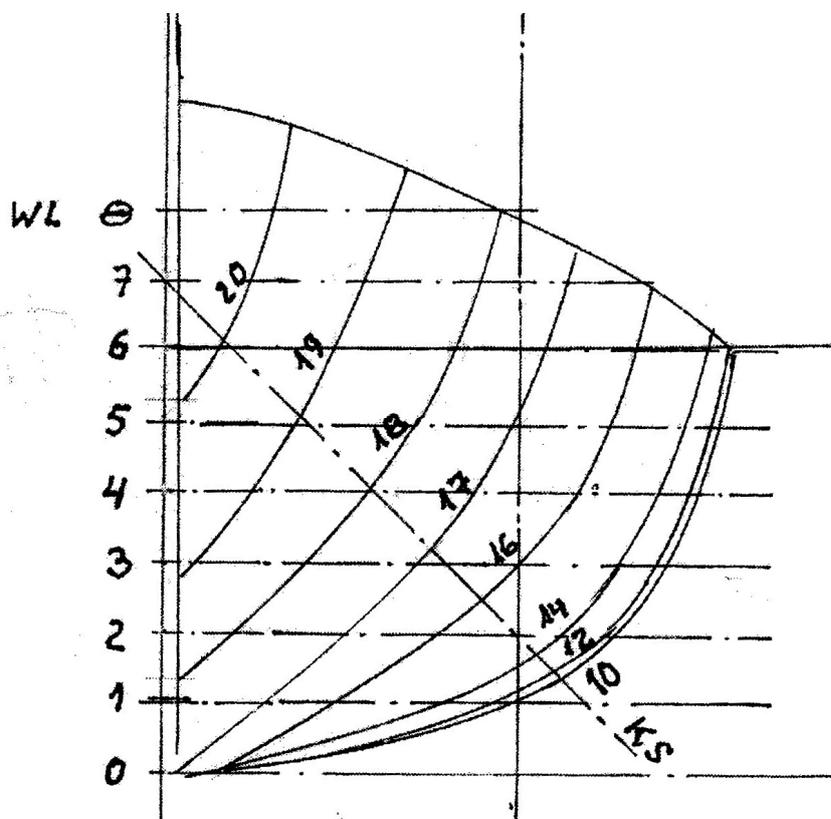


Die NYDAM-Familie

die letzten Ruderschiffe

Ein Beitrag zur Technikgeschichte



Jan Hartmann

www.Technikgeschichte.org

Nürnberg 2019

Die Nydam-Familie

Inhalt

	Seite
1) Einleitung	3
2) Die Glieder der NYDAM-Familie und ihre schiffbauliche Technik	4
Das Hjortspring-Boot	4
Das Nydam-Boot	5
Das Boot von Sutton Hoo	6
Kvalsund 1 Das kleine Boot	8
Kvalsund 2 Das große Boot	9
3) Der Entwurf NYDAM-2017	10
Linien	11
Berechnung der Bootsmasse	11
Hydrostatische Berechnungen	11
Stabilität	12
Festigkeit	13
Zur Geschwindigkeit	14
4) Schlußbetrachtung	15
5) Schrifttum	16
Abbildungen	17
Tabellen	27
Links	29

Die Zeichnung auf der Titelseite stellt den Spantenriß von NYDAM-2017 dar. Die Seitenhöhe des Bootes, d.h. der Abstand zwischen WL 0 WL 6 beträgt 1,20 m.

Unterstützung erhielten wir von verschiedenen Seiten, insbesondere dankt der Verfasser Frau Dr. Angelika Abegg-Wigg, Archäologisches Landesmuseum in der Stiftung Schleswig-Holsteinische Landesmuseen Schloss Gottorf und Herr Søren Nielsen, Viking Ship museum boatyard, Roskilde, Dänemark. Ohne die unermüdliche Hilfe der Söhne des Autors bei der Übersetzung und insbesondere der elektronischen Textbearbeitung wäre diese Arbeit nicht entstanden.

1) Einleitung

Mit der Entdeckung, Bergung und wissenschaftlichen Bearbeitung des „Nydam-Schiffes“ im, bzw. ab dem Jahr 1863, durch Engelhardt, wurde zum ersten mal im Nordsee-Ostsee-Raum ein Fahrzeug geborgen, das aus der Eisenzeit stammt ¹. Es wird auf etwa 400 n.Chr. datiert..

Aus der gesamten Eisenzeit gibt es bisher im Nordsee-Ostsee-Raum nur sehr wenige Funde von ganzen oder fast ganzen Booten ². Wenn man von sehr unvollständigen Funden absieht, so sind fünf Boote zu nennen ³, die dem Zeitraum von 450 vor Chr. bis 700 nach Chr. zugerechnet werden. Abb. 1 zeigt die Lage der Fundorte im Nordsee-Ostsee-Raum, im Abschnitt 2 und in der Tab. 1 sind die Boote allgemein und hinsichtlich der technischen Gestaltung beschrieben. In ihrer schiffbaulichen Ausführung bestehen unter ihnen unseres Erachtens so viele und so wichtige Ähnlichkeiten, daß wir sie die „Nydam-Familie“ nennen. Auch Bockius (2013) und Götche (2013) in Rau (2013) gehen praktisch davon aus. Wir halten es für der Mühe wert, im Abschnitt 3 insbesondere ihren schiffbaulichen Eigenheiten nachzugehen und zu versuchen, ihnen einen eigenen Platz in der Technikgeschichte des Schiffbaues zu geben. Das Ergebnis findet sich in Kapitel 4.

Wir können und wollen die vorliegenden archäologischen Erkenntnisse dazu nicht hinterfragen, sondern befassen uns mit dem technischen Gehalt der vorhandenen Quellen. Die Beschäftigung damit ergab schnell, daß die rein technischen Fragen in der bisherigen Forschung eher stiefmütterlich behandelt worden sind, insbesondere auch kaum durch technische Fachleute. Diese Tatsache ist Ingenieuren, die an der Technikgeschichte (durchaus nicht nur der des Schiffbaues !) interessiert sind, längst bekannt und wird von ihnen immer wieder bedauert – sie war einer der Gründe, die vorliegende Arbeit aufzunehmen. Andererseits wollen wir aber gerne darauf hinweisen, daß sich hier in den letzten Jahren allmählich ein Wandel zum Besseren anzubahnen scheint.

Man könnte an sich auch die im Binnenland (Donau-, Rhein- und Rhone-Raum) gefundenen Boote aus der mittelmeerischen Tradition als zeitliche Vorläufer in diese Untersuchung einbeziehen (Bockius (2013)). Ob und wie weit sie den Schiffbau im Nord-Ostsee-Raum beeinflusst haben, ist eine derzeit viel diskutierte und noch nicht annähernd eindeutig zu beantwortende Frage. Jedenfalls ist unseres Wissens bisher in diesem Raum und für diese Zeit kein Fund mit der verdübelten Kraweel-Bauweise des Mittelmeer-Raumes (die wohl das deutlichste Anzeichen für einen solchen Einfluß wäre) bekannt. Diese Frage wird in Kapitel 4 noch angesprochen.

Wir werden zunächst in Kapitel 2 eine technische Beschreibung der Boote der NYDAM-Familie vorlegen. Zum näheren Eindringen soll ein eigener Entwurf dienen, siehe Kapitel 3, von dem dann – im Gegensatz zu den archäologischen Funden – alle grundlegenden technischen Einzelheiten bekannt sind. Wir bezeichnen ihn als „NYDAM-2017“. In Kapitel 4 erfolgt auf der Grundlage der Kapitel 2 und 3 eine technische Bewertung der Familie und ihre Einordnung in die bisher bekannte

¹ Dazu die Zeiteinteilung, die z.Zt. u.a. verwendet wird (lt. Wikipedia) :

„Vorrömische Eisenzeit“ etwa : 500 v.Chr. – Chr. Geb.

„Römische Eisenzeit“ etwa : Chr. Geb. – 400 n.Chr.

„Germanische Eisenzeit“ etwa : 400 n.Chr. – 1100 n.Chr.

Dabei braucht kein Zusammenhang mit den jeweils genannten Völkern zu bestehen. Die Unterteilungen werden noch weiter getrieben, das ist hier aber nicht wichtig. Dagegen scheint uns aber ein Hinweis darauf angebracht zu sein, daß auch der „eisenzeitliche Schiffbau“ natürlich reiner „Holzschiffbau“ war, bei dem Metallteile nur als Nägel, Niete u. dgl. Verbindungselemente Verwendung fanden. Bei dem Hjortspringboot war nicht einmal das der Fall.

² Mit „Boot“ bezeichnen wir in dieser Arbeit ein Wasserfahrzeug, das kein für die Längsfestigkeit und den Fahrbetrieb wesentliches Deck hat. Danach sind alle hier behandelten Fahrzeuge „Boote“. Fest eingeführte Begriffe, wie z.B. „Mitte Schiff“, „Vorschiff“ u. dgl. stellen wir aber nicht auf „Boot“ um.

³ Wenigstens erwähnen wollen wir auch die Skuldelev-Funde. Sie werden ins 11. Jahrhundert datiert und passen schon deshalb nicht in unseren Rahmen, wenn sie auch noch manches mit der NYDAM-Familie gemein haben.

Technikgeschichte des Schiffbaues. Kapitel 5 ist ein Anhang mit Schrifttumsverzeichnis, Abbildungen, Tabellen und Links ins Internet.

2) Die Glieder der NYDAM-Familie und ihre schiffbauliche Technik

Das HJORTSPRING – Boot Linienriß Abb. 2 (die Linienrisse haben wir zwecks Vereinheitlichung nach den genannten Quellen umgezeichnet. Da wir von Symmetrie bzgl. des Hauptspantes ausgehen wurde immer nur der halbe Rumpf gezeichnet. Die unterschiedliche Qualität der Zeichnungen möge der Leser bitte entschuldigen).

Wichtigste Quellen : Valbjörn (2000), Crumlin-P. (2003), Rau (2013).

Das Boot wurde 1921 / 22 in einem kleinen Moor auf der Insel Als gefunden und geborgen. Konservierung und Rekonstruktion zogen sich lange hin, so daß der erste Linienriß von 1931 ist. 1971 und in den 1990er Jahren wurde je ein Nachbau erstellt. Besonders der zweite, Valbjörn (2000), ergab viele Erkenntnisse technischer Art, die auch in diese Arbeit eingeflossen sind. Das Hjortspring-Boot wird auf etwa 450 vor Chr. datiert, ist also fast tausend Jahre älter als die anderen Boote der Familie. Diese Zeitlücke wirft besondere Fragen auf, die aber voraussichtlich nicht ohne neue Funde beantwortet werden können. Bis dahin halten wir es jedenfalls für vertretbar, das Hjortspringboot als Vorläufer der Nydam-Familie zuzurechnen.

Allgemein-Entwurf

Der von uns nach CP (2003) gezeichnete Linienriß HJORTSPRING-2018 (Abb. 2) umfaßt 12 Konstruktions-Spanten – wie der Riß von 1931 – die wir von 0 bis 12 nummeriert haben. Davon sind die Spanten 1 bis 10 als Spantrahmen gebaut worden. Spant 5 ist das Hauptspant, zu ihm sind die Rumpfhälften symmetrisch. Im Bereich der Spanten 0 und 11 beginnen schon massive Stevenklötze.

Es handelt es sich um ein sehr leicht gebautes Boot mit 20 Ruderern – die aber nicht ruderten, sondern paddelten. Die Ruderer saßen auf Duchten (Ruderbänken), die ihrerseits mit je einem Spant einen Querrahmen im Bootskörper bildeten. Der Spantabstand betrug etwa 1,0 m, dabei hatten die Ruderer offenbar genügend Bewegungsraum. Ein bisher völlig ungelöstes Rätsel gibt die Ausbildung der Steven auf. Sie findet sich in ähnlicher Art auch auf zeitgenössischen Steinritzungen.

Möglicherweise ist sie gar nicht technisch begründet gewesen.

Das Boot war nicht zum Segeln geeignet. Dafür spricht u.E. vor allem das Fehlen einer Mastspur, insbesondere eines Kielschweins. Letzteres ist ein schwerer Balken, der über einige Spanten vor und hinter der Mastspur auf Mitte Schiff im Bootsinnern verläuft und die erhebliche Vertikalkraft aus der Abstegung des Mastes auf mehrere Spanten bzw. Bodenwrangen verteilt. Das Boot ist auch im Vergleich mit wirklichen Segelfahrzeugen, recht schmal. Deshalb wären beim Segeln wohl große Stabilitätsprobleme zu erwarten gewesen. Es hat einen Flachkiel, was ebenfalls für ein nicht besegelt Boot spricht. Denn Kielbalken die deutlich nach unten aus dem Rumpf ragen, werden bis in die Neuzeit traditionell bei Segelfahrzeugen fast regelmäßig für erforderlich gehalten weil sie die Abdrift bei Querwind vermindern. Die Koggen, im 13. Jahrhundert, segelten aber auch ohne solchen Kiel leidlich. Deswegen meinen wir, daß die Wirkung eines vorstehenden Kiels auf die Segeleigenschaften oft überschätzt wurde und wird.

Material der Außenhaut ist Lindenholz, was wegen seiner geringen Festigkeit im Bootsbau ungewöhnlich war und ist, auch die Stevenkörper sind aus je einem Lindenklotz. Für die Spanten wurde Haselnuß verwendet, s.u.

Rumpfform Die Linien sind scharf, an den Schiffsenden erkennt man in den Wasserlinien leichte S-Schläge. S-Schläge in den Wasserlinien – ein S-Schlag ist ein Kurvenverlauf, bei dem eine positive Krümmung in eine negative Krümmung übergeht – nehmen wir als Hinweis darauf, daß man die Enden des Bootes ganz bewusst schärfer gemacht hat, als es der „natürliche Verlauf“ einer in nur einem Punkt zwischen Hauptspant und dem Einlauf am Steven gestützten Straklatte ergeben hätte. Dadurch werden die Einlaufwinkel der Wasserlinien an den Steven kleiner, und das Boot wird bei gleicher Verdrängung etwas länger. Denkbar ist, daß es damals schon den heute noch im Schiffbau bekannten Spruch gab : „Länge läuft“, der aber ja nur mit Vorbehalten gilt. Jedenfalls wurden schon

eingehende Überlegungen zu einer strömungsgünstigen Rumpfform angestellt. Weiteres dazu siehe im Kapitel „Der Entwurf NYDAM-2017. Von den hier besprochenen Booten hat nur noch Kvalsund 2 Wasserlinien mit S-Schlägen. Der Verdrängungs-Schwerpunkt ist, wenn überhaupt, so wenig aus der halben Rumpflänge (wie immer diese auch definiert wird) verschoben, daß wir das nicht als beabsichtigt ansehen. Der Spantenriß zeigt einen verhältnismäßig flachen Boden, eine ausgeprägte Kimmrundung und wenig gekrümmte Seitenspanen und unterscheidet sich damit erheblich von dem der anderen Familienmitglieder, siehe Abb. 3 bis 6.

Außenhautplanken Sie waren mit einer Überlappung von etwa 4 cm geklinkert und mit dünnem Basttauwerk vernäht. Abb. 7 zeigt dies schematisch. Die Löcher in der Beplankung wurden nach dem Vernähen mit Rindertalg verschlossen. Vor dem Vernähen wurde Kalfatermaterial in die Überlappung eingebracht.

Die Verbindung der Planken mit den Spanten erfolgte durch eine Nydam-Zurrung, die bei dem Nydam-Boot eingehender besprochen wird.

Spanten. Dafür wurde je ein ganz dünner Haselnussstamm verwendet, der wohl ohne besondere Vorbehandlung gebogen, mit der Ducht und einigen Vertikalstreben zu einem Rahmen verbunden und dann als Einheit unter erheblicher Spannung eingebaut wurde.

Das NYDAM – Boot

Wichtigste Quellen : Shetelig (1930), Gøtche (2013). Liniendiagramm Abb. 3 (NYDAM-2017)

1863 wurden in dem kleinen Nydam-Moor – nahe dem Fundort des Hjortspring-Bootes – drei Boote entdeckt und zwei davon geborgen. Das größte Boot war aus Eichenholz gebaut, ein kleineres aus Kiefernholz. Die noch nicht rekonstruierten Teile des letzteren fielen den Wirren des deutsch-dänischen Krieges 1864 zum Opfer. Bei dem dritten Boot war die Zerstörung im Fundzustand so erheblich, daß eine Bergung unterblieb. Im Folgenden (wie im stark überwiegenden Teil des Schrifttums) ist also allein von dem Eichenholzboot die Rede. Es wird auf etwa 400 nach Chr. datiert.

Allgemein-Entwurf Es handelt sich um ein reines Ruderboot mit 15 Riemenpaaren. Diese waren in einem mittleren Spantabstand von 1,0 m angeordnet. Der Abstand von Mitte Riemenlagerung bis Hinterkante Ducht betrug etwa 480 mm, ein ergonomisch bedingtes Maß. Zusammen mit dem Spantabstand hatten die Ruderer dann ausreichende Bewegungsfreiheit. Die Riemenlagerungen selbst bezeichnen wir mit Shetelig als „Keipen“, sie bestanden aus bearbeiteten Astgabeln die auf dem Dollbord vernagelt waren.

Die bei dem Hjortspring-Boot genannten Kennzeichen für ein nicht besegelt Boot sind sämtlich auch bei dem Nydam-Boot vorhanden.

Material : überwiegend Eichenholz, daneben auch Kiefer. Bootsbauer bekommen den Eindruck, das Boot sei aus ausgesuchtem Material und besonders sorgfältig gebaut worden. Eichenholz ist dauerhafter und fester als Kiefernholz, letzteres daher einfacher zu bearbeiten.

Schiffsform Das Boot hat scharfe, ästhetisch sehr ansprechende Linien ohne S-Schlag in den Wasserlinien und deutlich V-förmige, wenig gekrümmte Spanten. Vor- und Hinterschiff sind in hohem Grad symmetrisch. Wir nehmen daher auch an, daß eine Symmetrie von Vor- und Hinterschiff beabsichtigt war.

Die Steven laden weit aus, so wie es sich zwanglos aus den Linien ergibt, die ihrerseits wenig gekrümmt waren. Das vereinfachte u.a. die Bearbeitung der Planken. Siehe dazu unsere Bemerkungen zur Rumpfform des Hjortspring-Bootes. Der „Sprung“, d.h. die Form des Dollbords in der Seitenansicht, ist außerordentlich elegant zwischen den beiden Steven durchgezogen, der Bereich gleicher Seitenhöhe ist sehr kurz. Dies sehen wir auch technisch als vorteilhaft an, weil dadurch im Seegang, wenn das Bootes stampft, der wirksame Freibord vergrößert wird. Gerade bei den ungedeckten Ruderbooten ist dies eine vorteilhafte Eigenheit, die wir z.B. bei den übrigen Booten und den etwa 300 Jahre späteren „eigentlichen“ Wikingerschiffen vermissen.

Außenhaut Sie ist aus Eichenholz in Klinkerbauweise ausgeführt, die Überlappung der Planken beträgt etwa 70 mm. Die Planken sind dort miteinander vernietet. Den Nietabstand gibt Sh. im Mittelschiff mit im Mittel 170 mm, an den Bootsenden mit 145 mm an. Diese Teilung entspricht auffallend der theoretischen Verteilung der Schubkräfte in der Außenhaut. Jedenfalls ist die Außenhaut-Schale schon in sich, d.h. ohne die Versteifung durch die Spanten, sehr fest. Der Kopf der

Eisennieten lag außen, die inneren Enden wurden über je einer eisernen Nietplatte umgenietet. Der Kiel war als Flachkiel gebaut.

Die Spanten sind überwiegend von Bord zu Bord aus einem Stück Krummholz gefertigt. Sie werden mit den Außenhaut-Planken durch die Nydam-Zurrung verbunden, siehe Abb. 8 u. 9. Wie man dort sieht, sitzen an der Kreuzungsstelle von Spant und Planke auf letzterer eine oder zwei Knaggen. Sowohl Spant als auch Knagge sind durchbohrt – die Außenhaut also nicht – die Verbindung geschieht durch ein kurzes Bast-Tau. Die Knaggen sind aus dem vollen Holz der Planke gearbeitet – aus unserer heutigen Sicht ist das eine sehr wenig glückliche Konstruktion :

- a) Die Beanspruchung der Verbindung Spant / Außenhaut ist recht schwierig zu erfassen.
 - 1) Dem äußeren Wasserdruck gegenüber wird an sich nur eine Auflage und gar keine zugfeste Verbindung von Spant und Außenhaut benötigt.
 - 2) Nennenswerter Ladungsdruck von innen, direkt auf die Außenhaut, ist bei diesen Booten kaum anzunehmen, das ist vorteilhaft, denn er würde die Knaggen senkrecht zur Faser auf Zug beanspruchen. In dieser Richtung hat Holz jedoch nur etwa ein Zehntel der Festigkeit gegenüber einer Beanspruchung in Faserrichtung.
 - 3) Wenn der Rumpf im Seegang um seine Längsachse verdreht wird kommt es tendenziell zu einer relativen Längs-Verschiebung der einander gegenüber liegenden Seitenplanken. Das bedeutet eine Verformung der Spanten quer zu ihrer Ebene. Dem können sie nur wenig Widerstand entgegensetzen, weil sie – auch bei diesen Booten – für Biegebeanspruchungen in ihrer Ebene ausgelegt sind. Daher bilden die Spanten nur eine vernachlässigbare Versteifung des Rumpfes gegen Verdrehung. Andererseits sind die Knaggen gerade für die in diesem Fall auftretende Krafrichtung ausgelegt (bewusst ?), nämlich parallel zur Längsachse des Bootes verstärkt.
Diese Form der Knaggen käme jedoch der Beanspruchung nach 2) entgegen.
 - 4) Wir haben schon oben erwähnt, daß die Klinkerbauweise an sich einen hohen Widerstand des Rumpfes gegen Längsverschiebungen der Planken gegeneinander, und damit auch gegen Verdrehung ergibt. Damit wurde die unter 3) genannte, relativ günstige Auslegung der Nydam-Knaggen nur wenig in Anspruch genommen.
 - 5) Im Schrifttum findet man gelegentlich die Aussage, die Nydam-Zurrung habe die „Elastizität des Rumpfes erhöht“. Während aber eigentliche elastische Verformungen durch Verschiebungen im Molekülbereich entstehen, finden bei der Nydam-Zurrung vor allem Verschiebungen zwischen Spant und Knagge statt. Diese sind dort mit Energieverbrauch /Verschleiß verbunden und als Rückstellkraft wird nur die Elastizität der sehr kurzen, verschleißanfälligen Bast-Taue auftreten. Immerhin war eine Erneuerung der Taue jederzeit möglich.
- b) Die Knaggen aus dem vollen Holz der Planke auszuarbeiten, führt zu einem Verschnitt in der Größenordnung von 95 %. Diese Holzmenge muß von Hand zerspannt werden und ist lediglich (aber immerhin) noch als Brennstoff brauchbar, muß aber natürlich auch zusätzlich beschafft und bezahlt werden. Es überrascht daher nicht, daß es aus dem Ende der Eisenzeit Anzeichen einer Verknappung an Schiffbauholz gibt, siehe Crumlin-P (1997). Diese ist bekanntlich im Mittelmeerraum im Laufe der Zeit sehr deutlich geworden.

Im Schrifttum werden die Knaggen meist als cleat oder clamp bezeichnet, was u.E. keine gute Benennung ist : Mit einer „Klampe“ verbindet sich, auch im Englischen, eine V-förmige Seitenansicht (auch bei „Bootsklampen“), während die „Knaggen“ eher A-förmig waren.

Das Boot von SUTTON – HOO

Wichtigste Quelle : Bruce (1972) Spantenriß Abb. 4

Sutton-Hoo liegt an der englischen Süd-Ost-Küste, nördlich von Harwich. Der dortige Bootsfund von etwa 1939, der auf etwa 600 nach Chr. datiert wird, ist in mehrfacher Hinsicht ein Sonderfall : Das Boot wurde als einziges der im Rahmen der Nydam-Familie besprochenen Boote offensichtlich

für eine rituelle Bestattung verwendet. Dabei versenkte man das Boot nicht, sondern vergrub es in sandigem Boden. Im Verlauf der folgenden weit über tausend Jahre wurde das Holz völlig aufgelöst, es verfestigte dabei aber den umgebenden Sand so, daß eine Art negativer Abformung des Rumpfinnen entstand. Die Eisenniete waren, vollständig in Rost umgewandelt, aber an Ort und Stelle geblieben. So gelang es, im Rahmen der Fundsicherung einen Linienriß zu zeichnen, der allerdings insbesondere im Bereich der Rumpfen nicht sehr sicher ist – und dessen Übereinstimmung mit dem ursprünglichen Boot nicht zu überprüfen ist (was aber bei den übrigen, hier besprochenen Booten nicht viel besser ist !). Wir haben bei der Umzeichnung des halben Rumpfes auf den Maßstab 1 : 25 deshalb darauf verzichtet, alle Ungereimtheiten zu „berichtigen“.

Allgemein-Entwurf Ein großes Ruderfahrzeug mit schlanker Form, etwas völliger als z.B. das Nydam-Boot. Die Spantabstände betragen etwa 900 mm, also deutlich weniger als die etwa 1000 mm bei den Booten aus Hjortspring und Nydam. An den Bootsenden gab es auch wesentlich kleinere und größere Abstände. Wenn man davon ausgeht, daß bei den Booten zu jedem Spant, um dort einen eindeutigen Querverband herzustellen, eine Ducht gehörte (und damit auch ein Riemenpaar), so war ein Unterschied von 100 mm in dem Abstand der Ruderer für diese schon deutlich spürbar. Bei dem etwa 500 Jahre jüngeren Boot „Hedeby 1“, Crumlin-P. (1997) – das sonst nicht in die Nydam-Familie passt – betrug der Spantabstand allerdings nur noch etwa 850 mm. Da der Spantabstand eine wesentliche Größe für den schiffbaulichen Gesamtaufwand für so ein Boot ist, lag es nahe, bei ihm zu sparen. Die Parallele zu der heute wichtigen Frage des Sitzabstandes in Flugzeugen, Omnibussen u. dgl., liegt auf der Hand.

Material Hierüber sind keine Aussagen möglich.

Rumpfform Die Form ist der des nur wenig älteren Nydam-Schiffes nicht unähnlich. Die Spanten sind wie dort V-förmig, jedoch sind die Krümmungsradien der Spanten kleiner – man kann das als den Übergang von einer V-Form zu einer gemäßigten U-Form ansprechen. Auffällig sind auch die besonders im Vorschiff recht völligen Wasserlinien. Trotzdem liegt der Verdrängungs-Schwerpunkt des bis zur WL 3 (d.h. etwa $H/2$) eingetauchten Rumpfes nach einer Überschlagsrechnung nur etwa 0,8 % der betr. Wasserlinienlänge vor dem Hauptspant, daher müssen wir weiter offen lassen, wie weit dies beabsichtigt war. S-Schläge weisen die Wasserlinien nicht auf.

Die absolut bedeutende Breite des Bootes hat gelegentlich dazu geführt, es als besegelt anzusehen. Wenn auch die Querschnittsform des Kiels nicht zu erkennen war, so fehlt aber doch ein Kielschwein. Allerdings ist nicht auszuschließen, daß man es, wie auch die Duchten und ähnliche, noch brauchbare Teile, aus dem Inneren des Rumpfes vor der Bestattung entfernt hat. Man nimmt jedenfalls heute i.a. ein reines Ruderboot an.

Ebenfalls nicht mehr deutlich feststellbar war die Art der Spant-Außenhaut-Verbindung. Es haben sich offenbar keine Spuren von Nydam-Zurrungen erhalten. Erkennbar ist aber, daß das obere Spantende jeweils mit dem obersten Plankengang durch einen Eisenbolzen verbunden ist. Es ist also denkbar, daß im übrigen die Verbindung von Spant und Außenhautplanke durch jeweils einen Holznagel geschah. Wenn diese Annahme zutrifft, sähen wir das als einen eindeutigen technischen Fortschritt gegenüber der Nydam-Zurrung an.

Die KVALSUND – Boote 1 und 2

Wichtigste Quelle : Shetelig (1929) (Shetelig und Johannessen), Linienrisse Kvalsund 1 Abb. 5, Kvalsund 2 Abb. 6 .

Im Jahre 1920 wurden bei dem Hof Kvalsund, der auf der Inselgruppe Herøy liegt, etwa 30 km Luftlinie westlich von Ålesund, zwei Boote aus einem kleinen Moor geborgen. Sie werden auf etwa 700 nach Chr. datiert. Die Ortsbezeichnung „Kval. . .“ gibt es in Norwegen mehrfach, man kann sie mit „Qual“ oder „Mühe“ übersetzen, ein Hinweis auf die Lebensbedingungen in der rauen Küstengegend.

Die Boote waren vollständig zerstört, die Reste durcheinander geworfen – wie bei Hjortspring und Nydam auch. Shetelig und Johannessen gelang es aber, die Teile zwei verschiedenen Booten zuzuordnen, nach diesen konnte Johannessen Linienrisse und Hauptspantzeichnungen anfertigen.

KVALSUND 1 – das kleine Boot

Allgemein-Entwurf Dieses Boot ist wesentlich kleiner als die übrigen vier Boote der Nydam-Familie. Die anderen Boote waren offenbar für den schnellen Transport einer möglichst großen Zahl von Menschen vorgesehen. Das Boot Kvalsund 1 ist zwar auch für relativ hohe Geschwindigkeit gebaut und sehr schmal, hat aber nur zwei Riemen-Paare, während auf der vorhandenen Bootslänge sicher auch sieben Paare untergebracht werden könnten. Wir vermuten daher, daß es für einen schnellen Fährdienst – für den es an den norwegischen Küsten bis heute einen großen Bedarf gibt – bestimmt war. Bei der vorhandenen Anordnung der Riemen konnten in dem zwischen ihnen liegenden „Laderaum“ Stückgüter oder lebendes Vieh untergebracht werden, Fahrgäste auch davor und dahinter. Hinweise auf eine Besegelung wurden nicht gefunden, doch ist eine solche nicht auszuschließen.

Das Boot hatte, wie erwähnt, nur zwei Riemenpaare, die gefundenen Riemen waren etwa 2 m lang und aus Kiefer gefertigt. Keipen, Duchten und Bodenbretter wurden nicht gefunden. Das ist möglicherweise ein Hinweis darauf, daß die Boote abgewrackt worden sind. Die Anordnung von Nagellöchern im obersten Außenhautgang ist an sich immer ein Hinweis auf den Sitz der Keipen. Trotzdem ist deren Zuordnung zu den Spanten nicht klar: Abhängig von der Anatomie der Ruderer muß sinnvollerweise bei allen Ruderschiffen die Entfernung von der Mitte der Keipe bis zur Mitte der zugehörigen Ducht ein festes Maß sein. Bei dem Nydam-Boot sind es nach Shetelig (1930) etwa 530 mm. Nach der Rekonstruktion von Johannessen liegt für das hier besprochene Boot die Mitte des hinteren Riemenpaares etwa 960 mm hinter Spt 3. Mitte des vorderen Riemenpaares liegt etwa 620 mm hinter Spt 4. Man könnte hieraus schließen, daß der Sitz der Keipen nicht richtig rekonstruiert wurde, oder aber daß die Duchten gar nicht in der Spantebene angeordnet waren. Im letzteren Fall müßte es aber an der Innenseite der Beplankung zwischen den Spanten 2 und 4 eine Art Stringer als feste Auflagerung für die Duchten gegeben haben, wovon offenbar keine Spuren entdeckt wurden. Eine solche Anordnung hätte auch den Laderaum beeinträchtigt. Es hätte dann auch nur zwei Duchten für drei Spanten gegeben, was durch den erwähnten Stringer nur zum Teil ausgeglichen worden wäre. Auch hinsichtlich der Querfestigkeit des Bootes erscheint uns die Rumpfkonstruktion daher noch nicht ganz geklärt.

Material Eichenholz und Kiefernholz. Näheres in den folgenden Absätzen.

Rumpfform Dazu sagt Johannessen u.a., das Boot sei „verhältnismäßig schmal, schlank, scharf und recht fest gebaut . . .“. Seine weiteren Ausführungen verstehen wir nicht ganz, möchten aber sagen, daß der Spantenriß eine starke Aufkimmung und ausgeprägte V-Form mit großen Krümmungsradien aufweist. Vor- und Hintersteven und die Beplankung sind gegenüber dem Nydam-Boot außerordentlich weit nach oben gezogen, die Steven schließen der Höhe nach mit der Beplankung ab. Das alles kommt sicher dem Seeverhalten des Bootes zu Gute, eine ausreichende Begründung dieser Form ist das für uns aber noch nicht. Die Wasserlinien haben keinen S-Schlag. Ein solcher ergibt sich nur in der Draufsicht auf das Dollbord, das aber ja keine Wasserlinie ist.

Außenhaut Die Dicke der Beplankung liegt zwischen 16 und 10 mm, das dürfte an der unteren Grenze dessen liegen, was handwerklich möglich ist. Die Planken sind 180 bis 250 mm breit und haben die für die Nydam-Bauweise kennzeichnenden, aus dem vollen Holz herausgearbeiteten Knaggen. Dazu siehe unten mehr. Auf jeder Seite des Bootes sind 5 Außenhautplanken vorhanden. Die unteren vier Gänge sind aus Eichenholz gefertigt, der oberste – das Dollbord – aus Kiefer. Das ist erstaunlich, weil doch der oberste Gang durch die Kräfte aus den Riemen und der Längsfestigkeit und beim Anlegen stark beansprucht wird, was den Erbauern zweifellos geläufig war. In das Dollbord ist an den Bootsenden auf etwa 0,8 m Länge ein verstärktes Stück eingesetzt, bei den übrigen Gängen sind die Enden ebenfalls verstärkt. Die sich überlappenden Außenhautplanken sind miteinander durch Eisennieten (mit Nietplatten) verbunden. Von einer Kalfaterung der Nähte wurden keine Reste mehr gefunden, sie war aber mit Sicherheit vorhanden.

Der Kiel, aus Eiche, mit T-förmigem Querschnitt, ist etwa 120 mm hoch und ragt mit etwa 100 mm verhältnismäßig weit aus der Bodenkontur heraus. Das ist allein aber noch kein ausreichendes Anzeichen für eine Besegelung – bei dem sicher oft vorkommenden Anlandziehen des Bootes war ein solcher Kiel in jedem Fall eine gute Verstärkung der Bodenstruktur. Ein Kielschwein wurde nicht gefunden.

Spanten Das Boot hat nur drei normale Spanten (Spt 2, 3, 4), dazu zwei geneigte Spanten (Spt 1 u. 5). Der Abstand der mittleren Spanten beträgt etwa 1,4 m, und ist damit erheblich. Offenbar hatten die Erbauer ein großes Zutrauen zur Eigenfestigkeit der von der geklinkerten Beplankung gebildeten Schale – und das wohl zu Recht. Siehe dazu andererseits aber auch die Überlegungen zur Querfestigkeit des Bootes weiter oben.

Die drei mittleren Spanten bestehen jeweils, abgesehen von Reparaturen, aus nur einem einzigen Stück krummen Kiefernholzes. Anscheinend waren sie mit dem Kiel nicht direkt verbunden. Aus Sheteligs Textabbildungen erkennt man schwer erklärliche Ausrundungen an der der Außenhaut zugewendeten Seite, die aber nicht symmetrisch zur Mittelebene des Bootes sind. Im Gegensatz zur Nydam-Bauweise erfolgt die Verbindung zwischen dem Spant und der betr. Außenhautplanke nicht durch eine Verzerrung sondern durch je einen Holznagel. Dieser durchdringt dabei jeweils eine der oben erwähnten Knaggen und hat von daher ausreichend „Fleisch“, trotz der dünnen Planken. Wo diese Knaggen nicht in der Mitte einer der beschriebenen Ausrundungen sitzen, wurden sie und die Ausrundung passend nachgearbeitet.

Wie schon Johannessen, haben auch wir keine ganz schlüssige Erklärung für diese Art der Verbindung von Spant und Planke. Wir neigen aber zu der Annahme, daß beim Bau z.T. schon vorhandenes, angearbeitetes Material verwendet wurde, oder auch Teile von abgewrackten Booten.. Bei der Gelegenheit wurde dann auch die Verzerrung dieser Verbindung aufgegeben und durch je einen Holznagel ersetzt. Möglicherweise war diese Abkehr von der eigentlichen Nydam-Bauweise schon erfolgreich durchgeführt worden und bot sich hier als Notlösung an. Wir sehen darin allerdings einen bedeutenden Fortschritt – dieser wurde aber erst vollendet, als man auf die höchst material- und arbeitsaufwändigen Knaggen verzichtete.

Zu erwähnen sind noch die Spanten 1 und 5, deren Ebenen etwa senkrecht zu der dortigen Stevenform stehen und deshalb um etwa 20° zur Ebene der normalen Spanten geneigt sind. Der Bootsform entsprechend sind sie stark V-förmig. Daher hat man sie aus einer passend gewachsenen Astgabel arbeiten können, und bekam damit eine außerordentlich kräftige Konstruktion. Das Spant im Hinterschiff dient u.a. als „untere Lagerung“ des Ruders. mittels eines nahezu waagrecht, querschiffs liegenden Zapfens, der die Außenhaut und das Ruderblatt durchdringt und die Auflagerkräfte des letzteren sehr gut in den Rumpferverband einleitet. Die „obere Lagerung“ stellte der Steuermann dar. Ob der Zapfen aus Holz oder Eisen bestand, wissen wir nicht. Insgesamt ist diese Art der Ruderlagerung unseres Wissens, zeitlich gesehen, hier wohl erstmalig.

KVALSUND 2 – das große Boot

Das große Boot wird von Shetelig wesentlich kürzer behandelt, offenbar sind davon weniger Teile gefunden worden als von dem kleinen Boot. Wir gehen aber davon aus, daß die Linienrisse beider Boote etwa die gleiche Verläßlichkeit haben.

Allgemein-Entwurf Ein Fahrzeug dieser Größe mit zehn Riemenpaaren war zweifellos ein schnelles Kriegsfahrzeug wie, mit Ausnahme von Kvalsund 1, die anderen Familien-Glieder auch.

Rumpfform Die Form des Rumpfes kann man ähnlich wie bei dem kleinen Boot beschreiben. jedoch weicht die Ausbildung der Schiffsenden davon nennenswert ab : Die Steven sind nicht nur noch weiter nach oben gezogen, sondern sogar bis über die Vertikale hinaus zur Gegenrichtung gebogen, die Beplankung reicht praktisch ebenfalls bis zur Spitze der Steven. Man könnte das als eine folgerichtige Entwicklung der Form des Unterwasserschiffes bezeichnen. Jedenfalls ergab sich so im Vorschiff ein kleiner, nach vorne gegen Spritzwasser geschützter Raum hoch über der Wasserlinie, der das ganze Boot im Seegang trockener sein ließ und insofern für sein Seeverhalten wohl recht vorteilhaft war. Man konnte dort empfindliche Güter stauen und ihn auch als Ruheplatz für zwei Mann verwenden. Andererseits vergrößerte er den Luftwiderstand bei der Fahrt und die Abdrift bei Seitenwind und war baulich nicht einfach. Sinngemäß gilt das alles auch für das Hinterschiff. Diese Formgebung sehen wir als einen Übergang zur Form der „Langschiffe“ der Wikinger, also der „eigentlichen“ Wikingerschiffe an, bei denen dann der Steven manchmal mit dem berühmten (abnehmbaren) Drachenkopf gekrönt wurde. In ihren Ansätzen hat sich diese Formgebung in den sog. „Nordlandbooten“ erhalten – kleinen Fischerbooten, von denen noch heute einige in Norwegen im Dienst sind.

Wir möchten hier einschalten, daß in neuester Zeit (den 2010er Jahren) eine ganz ähnliche Form bei Bohrrinsel-Versorgern, Seeschleppern und ähnlichen Schiffen zu sehen ist. Eine Begründung dafür haben wir noch nicht gehört.

Die Spantform ist der des kleinen Bootes ähnlich, jedoch sind die Spanten stärker gekrümmt und zeigen damit einen allmählichen Übergang zur U-Sptform an. Die unteren Wasserlinien haben einen leichten S-Schlag.

Außenhaut Jenseits waren acht Planken vorhanden, Knaggen für eine Nydam-Zurrung waren aus dem vollen Holz ausgearbeitet. Wie bei dem kleinen Boot war das Dollbord aus Kiefer gefertigt, die anderen Gänge aus Eiche. Die unteren Gänge waren 25 mm dick, nach den Bootsenden abnehmend auf 15 mm. Das Dollbord hatte eine Dicke von 30 mm und an seiner Oberkante eine Verstärkung auf 50 mm. Die sich überlappenden Außenhautplanken sind miteinander durch Eisennieten wie bei dem kleinen Boot verbunden. Die äußersten Teile des obersten Ganges waren mit eingebrannten Verzierungen (Namen ?) versehen, Johannessen bezeichnet sie als „Brander“. Sie waren ihm wichtig als Hinweis für den Verlauf des Sprunges in den Endbereichen des Bootes. Johannessen nimmt offenbar eine Symmetrie des Bootes zur Hauptspantebene an, worin wir ihm folgen.

Spanten Wie bei dem kleinen Boot sind sie aus jeweils einem einzigen Stück Kiefern-Krummholz gefertigt. Ihre Unterkante ist (anders als bei Boot 1) nicht besonders bearbeitet. die dort behandelten Fragen stellen sich hier also so nicht. Im Bereich der untersten 6 Plankengänge ist zu jedem Plankengang ein Loch (Ø 22 mm) zur Verzurrung mit den Knaggen der Außenhaut vorhanden. Die obersten 3 Gänge sind dagegen durch je einen Holznagel (Kiefer, Ø 20 mm) mit dem Spant verbunden, Bei dem 6. Gang sind erstaunlicherweise beide Verbindungsweisen angewendet worden. Auch hier neigen wir dazu, einen Zwang zu Notlösungen anzunehmen. Im Vor- wie auch im Hinterschiff sind die gleichen geneigten Spanten aus Astgabeln wie bei Boot 1 eingebaut. Dies gilt auch für die Ruderanlage.

Im Boot hat Johannessen einen Flurboden gezeichnet, seine Unterkante lag etwa 220 mm über Oberkante Kiel. in dem Raum dazwischen, der Bilge, konnte eine gewisse Menge an Ladung gestaut werden, allerdings durfte sie nicht nässeempfindlich sein. Über die Bauart des Flurbodens wissen wir nichts, er wird zumindest in Teilen losnehmbar gewesen sein, und musste gegen Aufschwimmen gesichert werden.

Das Boot war für zehn Riemenpaare eingerichtet, wie zu erwarten war der Spantabstand gleich dem Riemenabstand, er betrug etwa 1080 mm, also im Mittel etwas mehr als z.B. bei dem Nydam-Boot.

Zwischen den an sich recht verschiedenen Booten 1 und 2 sehen wir so viele Übereinstimmungen und Ähnlichkeiten, daß wir den gleichen Bootsbauer und /oder Eigner annehmen.

3) Der Entwurf NYDAM - 2017

Was wir von den schon in der Einleitung aufgeführten Booten an Zahlenwerten wissen, ist grob in der Tab. 1 zusammengestellt. Die Zahlen zu den einzelnen Booten sind dabei nicht ohne weiteres vergleichbar, sondern Ergebnisse verschiedener Autoren, die in einem Zeitraum von über hundert Jahren mit verschiedenen Annahmen und Verfahren gearbeitet haben. Z.B. ist u.a. meist nicht bekannt, ob, bzw. wie, die Außenhaut in die Berechnung der Verdrängung eingeschlossen war, wie die Hautabmessungen definiert sind usw. Eine Harmonisierung der Zahlen ist also kaum möglich, ein Vergleich ist praktisch gar nicht möglich.

Deshalb haben wir uns entschlossen, unter der Bezeichnung „NYDAM – 2017“, in enger Anlehnung an das Nydam-Boot nach Tab. 1, eine in sich vollständige Ausgangsgrundlage für ein Fahrzeug zu schaffen, das den Nydam-Typ in etwa verkörpert. Durch Vergleich mit dem, was wir über die übrigen Familien-Mitglieder wissen, ist dann eine bessere Abschätzung der Eigenschaften der Boote möglich. Dabei ist im Auge zu behalten, daß NYDAM – 2017 in keiner Hinsicht als ein Optimum anzusehen ist, es handelt sich lediglich um einen Vergleichs-Entwurf !

Linien

Bei dem Linienriß (Maßstab 1 : 25), haben wir uns eng an den von Johannessen gezeichneten Riß gehalten, der von Shetelig (1930) veröffentlicht wurde und im Maßstab etwa 1 : 60 vorliegt.

Folgende Vereinfachungen wurden vorgenommen :

- a) Die u.a. von Gøthche (2013) eingehend behandelte Lage des Verdrängungsschwerpunktes in dem Vorschiffsbereich haben wir vernachlässigt. So wichtig ihre Kenntnis ist, führt sie in der Fahrt zu einem ganz geringfügig kleineren Druckwiderstand des Bootes. Wir nehmen aber an, daß die Erbauer seinerzeit keine Vorstellung davon haben konnten, schon gar nicht von der Größenordnung und etwaigen Auswirkungen auf den praktischen Fahrbetrieb. Deshalb haben wir den Rumpf als symmetrisch zum Hauptspant angesehen und entsprechend nur das halbe Boot gezeichnet – das gilt entsprechend auch für die Linienrisse der anderen Boote. Natürlich wurden die hydrostatischen Werte für das ganze Fahrzeug ermittelt.
- b) Die im gefundenen Boot gemessenen Abstände der Duchten betragen $1,0 \text{ m} \pm$ wenige cm. Dem Linienriß haben wir als allgemeinen Spantabstand $1,00 \text{ m}$ zu Grunde gelegt.
- c) Der Riß gibt eine ideale, strakende Schiffsform auf Innenkante Außenhaut an. Zur Berücksichtigung der Außenhaut wurde jeder Spantkontur ein Streifen zugeschlagen, dessen Dicke die 1,5-fache Außenhautdicke beträgt. Nach Shetelig (1930) beträgt diese etwa $2,3 \text{ cm}$, die Streifendicke also $3,45 \text{ cm}$. Die Streifenbreite ist gleich dem Spantabstand, d.h. $1,0 \text{ m}$.

Berechnung der Bootsmasse

Anhand der Angaben im Text über die Abmessungen von einzelnen Bauteilen aus Shetelig (1930) haben wir die sog. Hauptspantzeichnung entwickelt, siehe Abb. 10. Darin sind die wesentlichen Abmessungen der Bauteile im Mittschiffsbereich, Spt 10, eingetragen. Eben solche Zeichnungen wurden für die Spanten 13,16,17, 18, und 19 erstellt. Alle diese Zeichnungen sind im gleichen Maßstab gehalten und gestatten die Berechnung der Masse in $[\text{kg} / \text{m}]$ und der entsprechenden Gewichtskraft in $[\text{kN} / \text{m}]$. Dabei wurden gleichzeitig die Höhenmomente, bezogen auf Wasserlinie 0, für die Massen der einzelnen Bauteile ermittelt. So ergab sich die Gewichtskraft des ganzen Rumpfes und die Höhenlage seines Gewichtsschwerpunktes (der der Länge nach auf $L / 2$ liegt) des leeren Bootes.

Einige wenige Bauteile – z.B. der Flurboden – wurden aus Kiefer angenommen, die große Mehrheit jedoch aus Eichenholz, wie es den Funden entspricht. Von den verschiedenen spez. Massen, die man in der Literatur findet, haben wir für alle Teile : $\gamma_{\text{Holz}} = 8,5 \text{ g} / \text{cm}^3$ gewählt . Damit ergibt sich für den leeren Rumpf :

Masse des leeren Rumpfes : $4\,500 \text{ kg}$, Schwerpunkt dieser Masse über WL 0 : $0,75 \text{ m}$

Natürlich können Sheteligs Abmessungsangaben in seinem Text bei weitem nicht vollständig sein. Deshalb wurden hier in Abb. 10 z.B. Maße der Spanten tabellarisch nach Abb. 9 von Shetelig eingetragen. Entsprechende Ungenauigkeiten liegen bei den meisten Bauteilen vor. Die Gesamtmasse des Rumpfes und ihre Schwerpunktlage der Höhe sind also durchaus mit gewissen Ungenauigkeiten belastet. Diese werden sich vielfach ausgleichen, und das Ergebnis ist jedenfalls weit mehr als eine einfache „Schätzung“.

Die entsprechenden Werte für verschiedene Ladefälle mit wachsender Verdrängung sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Hydrostatische Berechnungen

Nach dem im Maßstab 1 : 25 gezeichneten Linienriß, Abb. 3, (der Spantenriß ist größer auch auf dem Titelblatt dargestellt), haben wir die nötigen hydrostatischen Berechnungen angestellt. Das Boot wurde dabei durchweg als in Süßwasser ($1,0 \text{ m}^3$ hat eine Gewichtskraft von $10,0 \text{ kN}$) schwimmend angenommen. Dadurch werden die Ergebnisse übersichtlicher, für die Beurteilung der Eigenschaften des Bootes ist der Unterschied der spez. Gewichte von See- und Süßwasser dagegen unerheblich. Alle Rechnungsergebnisse in Tabellen- oder Kurvenform („Kurvenblatt“) hier darzustellen erschien uns nicht nötig. Jedoch haben wir die Verdrängungskurve ihrer besonderen Bedeutung wegen als Abb. 11 beigefügt.

Stabilität

Der Begriff „Stabilität“ hat in der Technik zunächst nichts mit Festigkeitsfragen zu tun. Im Schiffbau bezeichnet er vielmehr die Fähigkeit eines Schiffes, sich aus einer geneigten („gekrängten“) Lage von selbst wieder aufzurichten. Weil eine vollständige Stabilitätslehre für Schiffe im Rahmen dieser Arbeit nicht entwickelt werden kann (siehe dazu Alte (1980), Henschke (1980)), werden wir hier nur die wichtigsten Kennwerte dafür besprechen ohne sie abzuleiten.

Diese Rechnungen werden schiffbauüblich quasistatisch ausgeführt, d.h. man nimmt das Schiff an, als in Ruhe im glatten Wasser schwimmend, obwohl die Wirklichkeit natürlich meist ganz anders ist. Nachrechnungen von vielen Unfällen, die auf mangelnde Stabilität zurückzuführen waren, haben aber ergeben, daß in jedem Fall mindestens einer der erwähnten Kennwerte in negativem Sinn auffällig war. Deshalb ist ihre Kenntnis wichtig und ihre Einhaltung wird heute den Schiffsführungen zur Pflicht gemacht.

Anfangsstabilität

In dem durch ein „Krängungsmoment“ M_K gekrängten Zustand nach Abb. 12 bilden der Auftrieb F_A , die Gewichtskraft F_G und der Hebelarm h ein aufrichtendes Moment, das „Stabilitätsmoment“ M_{St} . Man sieht, daß $h = MG \times \sin \varphi$ ist. Die Strecke MG , die sog. „metazentrische Höhe“, ist damit ein Kennwert für die „Anfangsstabilität“.

Nach der Abb. 12 ist $MG = MF + KF - KG$, damit kann man bei Kenntnis der drei rechts stehenden Strecken sowie von $F_A = -F_G$ und von φ den Hebelarm h und somit M_{St} ausrechnen. Dies gilt aber nur, solange man von im Querschnitt parallelen Außenhaut-Wänden ausgehen kann, also nur für kleine Winkel ($\varphi \approx < 3^\circ$) daher die Bezeichnung „Anfangsstabilität“. Sie sind aber wertvoll für Vergleiche mit anderen Schiffen, da die metazentrische Höhe, bei allen Schiffen von vergleichbarer Rumpfform absolut von gleicher Größenordnung ist, wobei die Schiffsgröße kaum eine Rolle spielt.

In der Tabelle 2 sind verschiedene Ladefälle mit ihrer Massen-Zusammenstellung und MG aufgelistet.

Neigungsstabilität

Die ausgeprägte V-Form der hier besprochenen Boote macht für den Bereich $\varphi \geq 3^\circ$ ein ganz anderes Vorgehen bei der Berechnung der Hebelarme h nötig, obwohl die Abb. 12 im wesentlichen weiter gilt. Jedoch ist offensichtlich, daß die dort gemachte Grundannahme paralleler Außenhautwände bei einem V-förmigen Querschnitt (siehe die gestrichelte Spantform) nicht mehr vertretbar ist. Deshalb muß für jede Neigung φ und den jeweiligen Tiefgang T die seitliche Verschiebung des Formschwerpunktes F_0 (in dem der Auftrieb F_A angreift) nach Punkt F' berechnet werden. Für die hier besprochenen Boote ist es dagegen am wichtigsten, zu wissen, bei welchem Winkel φ_{max} etwa Seite Deck zu Wasser kommt. Denn ab dieser Neigung wandert der Punkt F' wieder zur Schiffsmittle hin, damit wird M_{St} wieder kleiner – auch kleiner als M_K (!), – und das Schiff kentert, wenn nicht gleichzeitig auch M_K kleiner wird. Es kommt hinzu, daß ein „Boot“ wegen des fehlenden Decks in kürzester Zeit vollaufen wird. φ_{max} gibt den sog. „Stabilitätsumfang“ an. Diese Rechnungen sind in ausführlicher Form sehr umfangreich.

Wir haben die Berechnung von φ_{max} vereinfacht für den Ladefall 3 nach Tab. 2 durchgeführt, dabei ergab sich ein Stabilitätsumfang von $\varphi_{max} \approx 17^\circ$, siehe Abb. 13.

Die Abschätzung wurde für den Ladefall mit der größten Verdrängung (LF 3) durchgeführt. Für kleinere Verdrängungen sind die sich ergebenden φ_{max} etwas größer – weil die Freiborde dabei größer sind. Die Unterschiede sind aber so gering, daß sinnvolle und vertretbare Werte für φ_{max} so nicht mehr abzuschätzen sind.

Bewertung der Stabilität von NYDAM - 2017

Die Anfangsstabilität des Bootes (siehe Tab. 2, Spalte 7) ist groß. Der Grund dafür ist die starke V-Form des Rumpfes, die schon bei sehr kleinen Neigungen eine starke Querwanderung des Formschwerpunktes verursacht.

Der Stabilitätsumfang ist dagegen infolge des geringen Freibords sehr klein, im Ladefall mit der größten, untersuchten Verdrängung (Ladefall 3 nach Tab. 2) kommt Seite Deck schon bei $\varphi_{\max} \approx 17^\circ$ zu Wasser.

Nach heutigen Begriffen dürfte das Boot wohl nur in gut geschützten Gewässern fahren. Außerdem ist eine sehr erfahrene und verantwortungsbewusste Bootsführung Voraussetzung. Da es an diesen Voraussetzungen vermutlich oft mangelte, sind Stabilitätsunfälle sicher häufig vorgekommen. Sie werden fast immer mit dem Verlust von Boot und Besatzung geendet haben.

Festigkeit

Man kann bei jedem Schiff vor allem zwischen „örtlicher Festigkeit“, „Längsfestigkeit“, „Querfestigkeit“ und „Torsionsfestigkeit“ unterscheiden. Die örtliche Festigkeit wird i.a. durch die fertigungsbedingten Mindestabmessungen der Holzbauteile (und das „Gefühl“ des erfahrenen Bootsbauers !) berücksichtigt. Bei der geringen Größe der hier besprochenen Boote ist die Torsionsfestigkeit aus vielerlei Gründen i.a. nicht kritisch. Die Längsfestigkeit spielt dagegen bei der geringen Seitenhöhe $H_{\min} = \text{Trägerhöhe der Boote}$, (L_{LL} / H_{\min} ist relativ groß), eine wichtige Rolle und wurde deshalb näher untersucht.

Örtliche Festigkeit

Spanten

Die Spanten haben nach Abb. 10 einen merkwürdigen, trapezförmigen Querschnitt mit flacher Unterseite und fast halbkreisförmiger Oberseite. Letzteres wäre einleuchtend, wenn die Zurrtaue der Spanten dort auflägen, was aber nicht der Fall war, sie wurden durch die Löcher im Spant geführt. Wenn die Besatzung aber i.a. barfuß war, war diese Formgebung jedoch zweckmäßig.

Die Abmessungen der Spanten sind sowohl nach ihrer Lage im Boot als auch der Höhe nach unterschiedlich. Wir haben das auf der Abb. 10 in einer Tabelle angegeben, die auf der Abb. 9 von Shetelig aufbaut. Dabei sind die Maßverhältnisse nicht immer plausibel. Betreffs der Verbindung von Spanten und Außenhaut siehe die Ausführungen in Kap. 2 zur NYDAM-Zurrung. Wir halten diese Konstruktion für unglücklich, gleichwohl ist sie offenbar etwa 1 000 Jahre verwendet worden.

Steven

Im Schrifttum wird gelegentlich die Ausführung der Verbindung der eigentlichen Steven mit der Kielplanke angesprochen. Diese wird immer eine Schwachstelle sein, auch wenn die Stützung durch die Außenhaut sicher beträchtlich ist. Sie ist aber kaum rechnerisch zu erfassen.

Längsfestigkeit

Betrachtet man den Rumpf als einen Träger von der Länge des Schiffes, so wirkt auf ihn in jedem Querschnitt in vertikaler Richtung die örtliche Differenz der Auftriebs- und der Gewichtskraft. Die Auftriebskräfte hängen von der Höhe der Wassersäule an dem jeweiligen Rumpfquerschnitt ab und sind im Seegang deshalb sehr unterschiedlich über die Rumpflänge verteilt. Für die Berechnung der wirkenden Kräfte und der von ihnen verursachten Biegemomente, Biegespannungen und Durchbiegungen hat sich im Schiffbau eine ziemlich einheitliche Vorgehensweise eingeführt. Sie beruht auf der mehrfachen Integration der Auftriebs- und der Gewichtskräfte.

Als Welle war eine Trochoide angenommen mit der Länge $L_W = 20,0$ m und den Höhen

Wellenberg $h_{WB} = L_W / 25 = 0,80$ m

Wellental $h_{WT} = L_W / 21 = 0,95$ m

Dabei taucht weder Seite Deck ein noch der Boden aus.

Die Ergebnisse sind in Tab. 4 und zeichnerisch für die drei Lastfälle in den Abb. 14 bis 16 zusammengestellt :

Es handelt sich um Eichenholz. Nach Friedrich (2006) beträgt dessen Zugfestigkeit $110 - 140$ N / mm², die Druckfestigkeit $52 - 55$ N / mm². Neuhaus (1994) gibt als „zulässige Spannungen“ $10 - 11$ N / mm² an. Dieser sehr pauschale Wert ist sicher nicht für die Anwendung im Bootsbau gedacht. In Ermangelung besser begründeter Zahlen halten wir es jedoch für vertretbar, die Zeilen 4 - 6 von Tab. 4, Spalten 4 und 5, damit zu vergleichen. Dann beträgt die höchste auftretende Spannung gerade die Hälfte der zul. Spannung.

Ungewöhnlich ist die Tatsache, daß im glatten Wasser – wo bei den meisten Schiffen die kleinsten Biegemomente vorliegen – deutlich größere Biegemomente auftreten als im Wellental. Der

Grund dafür ist : Das Boot hat eine über die Länge sehr gleichmäßige Gewichtsverteilung, wogegen der Auftrieb im glatten Wasser nach den Rumpfen zu deutlich abnimmt. Im Wellental wird aber gerade an den Enden der Auftrieb größer, so daß sich letztlich Auftrieb und Gewicht recht gleichmäßig verteilen. Dadurch treten im Wellental verhältnismäßig kleine Biegemomente auf.

Im Stahlschiffbau spielt bei der Beurteilung der Beanspruchungen die Dauer-Wechsel-Festigkeit des Materials und der Verbindungen eine wichtige Rolle. Für Holzschiffe gibt es kaum Untersuchungen in dieser Richtung. Holz ist gegenüber Dauer-Wechsel-Beanspruchungen an sich wenig empfindlich, doch werden Bolzen-Verbindungen sich in absehbarer Zeit losschlagen und versagen. Dies gilt insbesondere bei Einbau von eisernen Bolzen. Spielfrei eingesetzte und aufgequollene Holznägel dürften deutlich dauerhafter sein. Angesichts der auftretenden Höchstspannung von etwa 50 % der „zulässigen Spannung“ und der vorhandenen Ausführung sehen wir bei den besprochenen Booten jedenfalls keine besonderen Gefahren. Bei der Vernagelung / Vernietung der geklinkerten Außenhautplanken untereinander, überträgt der einzelne Nagel nur so wenig Kraft, daß Befürchtungen wie bei einer Bolzenverbindung u.E. nicht angebracht sind.

Die Durchbiegung eines Schiffes im Seegang wird nur selten berechnet. Wir haben sie für den Ladefall 3 nach Tab. 2 und den Belastungsfall Wellenberg vorgenommen und mit dem Ergebnis der Untersuchung von Fenger und Valbjörn in Crumlin-P (2003) verglichen. Dort wird das etwas kleinere Hjortspring-Boot in praktisch dem gleichen Lade- und Belastungsfall zu Grunde gelegt. Tab. 5 stellt die Ergebnisse der beiden Boote einander gegenüber. Die trotz kleinerer Spannungen größere Durchbiegung des Hjortspring-Bootes (aus Lindenholz) gegenüber dem Nydam-Boot (aus Eichenholz) ist durch die Unterschiede der Elastizitäts-Moduli E der verwendeten Hölzer zu erklären :

Hjortspring	E_{Linde}	$\approx 7\,400 \text{ N/mm}^2$,
NYDAM	E_{Eiche}	$\approx 13\,000 \text{ N/mm}^2$,
zum Vergleich :	$E_{\text{Schiffbaustahl}}$	$\approx 21\,000 \text{ N/mm}^2$

In diesem Zusammenhang sei noch Åkerlund (1963) erwähnt. Å. beschäftigte sich eingehend mit der Längsfestigkeit des Nydam-Bootes – allerdings ohne eine Zahlenrechnung vorzulegen. Er setzte eine unzureichende Längsfestigkeit voraus. Um eine ausreichende Festigkeit für den Fall „Wellenberg“ zu erreichen, postulierte er die Notwendigkeit eines besonderen Spannwerkes. Dies dann auch für die späteren, eigentlichen Wikingerschiffe. Angesichts der in den Tab. 4 und 5 zusammengefaßten Ergebnisse der Längsfestigkeitsrechnung sehen wir jedoch keine Veranlassung, auf die Überlegungen von Å näher einzugehen.

Bewertung der Festigkeit von NYDAM – 2017

Die in den Tabellen 4 und 5 enthaltenen Kurzergebnisse der Längsfestigkeitsuntersuchungen belegen für das Boot eine voll ausreichende Längsfestigkeit. Diese vermuten wir danach auch für die übrigen Mitglieder der „NYDAM-Familie“.

Zur Geschwindigkeit

Bei Crumlin-P. (2003) und Bockius (2013) findet man interessante Ausführungen über Schleppversuche mit Modellen und der Großausführung (diese für den Hjortspring-Nachbau). Mit den dort gemachten Annahmen bezüglich der menschlichen Leistung kam man auf eine Höchstgeschwindigkeit von etwa 9 kn (etwa 16 km/h). Wir halten die Aussagekraft dieser Zahl jedoch für sehr begrenzt, da die verfügbare menschliche Vortriebsleistung von zu vielen Randbedingungen abhängt, die überwiegend nichttechnischer Natur sind. Darum gehen wir auf diesen Bereich hier nicht weiter ein.

4) Schlußbetrachtung

Wie vorstehend gezeigt, konnten die Boote der Nydam-Familie eine Anzahl von zwanzig bis vierzig kräftigen Leuten über kurze bis mittlere Entfernungen befördern. Weil das schnell geschehen sollte – es handelte sich oft um handstreichartige Überfälle und Plünderungen – mussten die Boote so klein und leicht wie möglich sein, und hatten kaum Platz für zusätzliche Menschen (z.B. Ablösung der Ruderer) und / oder Fracht (z.B. Beute).

Als die Unternehmungen im Laufe der Geschichte mehr den Charakter von α) Heerzügen, aber auch von β) Fernhandel annahmen (s.u.a. North (2016) u. Simek (2016)), waren diese Boote dafür nicht geeignet.

Die Antworten auf diese Herausforderungen waren a) Segelantrieb b) der neuartige Schiffstyp des Frachtschiffes. Diese Entwicklungen α) und β) wie auch a) und b) verliefen parallel und beeinflussten sich zweifellos auch gegenseitig sehr stark. Sie fanden, ganz grob gesagt, etwa im 8. Jahrhundert statt. Damals bekamen die Boote ein großes Rahsegel, behielten aber so viele Riemenpaare, wie sie auf der Länge nur unterzubringen waren. Damit entstand der neue Typ des eigentlichen „Wikingerschiffes“, des „Langschiffes“, z.B. Haithabu 1, siehe Crumlin-P (1997). Die Frachtschiffe waren ähnlich, jedoch kürzer und breiter und hatten i.a. nur zwei Riemenpaare. Dies waren etwa die Typen Skuldelev 1 und Haithabu 3, die auch „Knörr“ genannt wurden, oder deren Vorläufer.

Im Vergleich mit den rund 1 000 Jahren, in denen sich die NYDAM-Familie entwickelte, geschah der Übergang zum Segelantrieb und die Entwicklung der Frachtschiffe schnell. Wir wissen nur sehr wenig darüber, wie sich diese Vorgänge in dem hier besprochenen Raum nach Ort und Zeit im Einzelnen abspielten. Auch deshalb wäre die baldige Bergung und eingehende Untersuchung des Frachters Haithabu 3 höchst wünschenswert. Es ist ja nicht ausgeschlossen, daß er noch einen frühen Zustand in der Entwicklungsgeschichte der Frachtschiffe darstellt. Im übrigen sehen wir insbesondere bei den technischen Umwälzungen dieser Zeit die Möglichkeit von römischen Einflüssen, denn auf Mittelmeer, Rhein und Donau segelten die Römer schon lange und kamen auf dem Rhein doch wahrscheinlich auch bis zur Nordsee.

Wie dem auch sei : Man kann u.E. die Verdrängung des Menschenkraft-Antriebes durch den Wind-Antrieb durchaus mit den Umwälzungen vergleichen, die etwa im 19. Jahrhundert ausgelöst wurden, als der Windantrieb seinerseits durch den Antrieb mittels Wärmekraftmaschinen ersetzt wurde. Wurde dabei doch ein Antrieb, der täglich nur einige Stunden verfügbar war, abgelöst durch einen Antrieb, der in einem gewissen Rahmen Tag und Nacht fast beliebig lange zur Verfügung stand.

Die Boote der Nydam-Familie waren damit in dem hier besprochenen Raum die letzten Vertreter und zugleich der Höhepunkt der mit menschlicher Leistung betriebenen Seefahrt. Deshalb glauben wir, daß sie und die alten Bootsbauer, die diese guten und schönen Fahrzeuge entwickelten und bauten, einen eigenen Platz in der Geschichte des Schiffbaues und unsere Hochachtung wohlverdient haben.

5)Anhang

Inhalt	5a Schrifttumsverzeichnis
	5b Abbildungen
	5c Tabellen
	5d Links

5) a) Schrifttumsverzeichnis

<u>Kurzangabe</u>	<u>Ausführliche Angabe</u>
Abegg (2014)	Abegg-Wigg, A. (Hrsg) „Das Nydamboot“ Begleitband zur Ausstellung im Archäologischen Landesmuseum. Schleswig 2014
Åkerlund (1963)	Åkerlund, Harald „Nydamsskeppen“ En studie i tidig skandinavisk skeppsbygnadskonst. Elanders bogtryggeri Aktiebolag Göteborg 1963
Alte (1980)	Alte / Matthiessen „Schiffbau kurzgefasst“, 2. Aufl. Hamburg 1980
Bockius (2011)	Bockius R. „Technological transfer to the Northern Provinces“ in „Battellerie Gallo-Romaine“ Pratiques regionales et influences maritimes mediterrannes Bibl.Arch. Mediterranennes et Africaine 9 (Aix-en-Provence 2011)
Bockius (2013)	Bockius R. „Zur kultur- und technikgeschichtlichen Stellung der Schiffsfunde aus dem Nydam-Moor“ mit einem Beitrag von Rainer Grabert. In : Rau (2013) - s.u. – Seiten 215 - 299
Bruce (1972)	Bruce, R. „The Sutton Hoo Ship-Burial“ 2. Aufl. London 1972
Crumlin-P. (1997)	Crumlin-Pedersen, O. u.a. „Viking-Age Ships and Shipbuilding in Hedeby / Haithabu and Schleswig“ Ships and Boats of the North, Vol. 2 Schleswig und Roskilde 1997
Crumlin-P. (2003)	Crumlin-Pedersen, O. u.a. „Hjortspring – A Pre-Roman Iron-Age Warship in Context“ Ships and Boats of the North, Vol. 5 The Viking Ship Museum, Roskilde 2003
Engelhardt (1866)	Engelhardt, Conr. „Nydambsbaaden og Nordlandsbaaden“ Aarbøger for nordisk Oldkyndighed og Historie“ S. 197 – 206 Kopenhagen 1866 (
Friedrich (2006)	„Friedrich Tabellenbuch Holztechnik“ 12. Auflage Troisdorf 2006 (
Gebühr (2000)	Gebühr, Michael „Opferplätze der Eisenzeit“, Schleswig 2000
Götche (2013)	Götche, Morten „Die Rumpfform des großen Eichenholzschiffes Nydam B“ . in : A. Rau (Hrsg) Nydam Mose 4 , Die Schiffe. Beiträge zu Form, Technik und Historie (Schleswig 2013) Seiten 215 – 299
Henschke (≈ 1980)	Henschke, W. (Hrsg.) „Schiffbautechnisches Handbuch“ Bd. 1, 2. Aufl. Berlin etwa 1980
Hjort (2003)	Crumlin-Pedersen, O. u.a. (Hrsg) „Hjortspring „A Pre-Roman Iron-Age Warship in Context“ in : „Ships and Boats of the North 5“ Roskilde 2003
Kielland (2001)	Kielland, M. „Skjult mann bak skjulte skip“ Kysten 4, 2001 S. 38 – 40 (Oslo ?) 2001
North (2016)	North, Michael „Zwischen Hafen und Horizont“ Weltgeschichte der Meere. München 2016
Olsen (1978)	Olsen, O. u. Crumlin-Pedersen, O. „Fünf Wikingerschiffe aus Roskilde Fjord“ Nationalmuseum Kopenhagen 1978 ISBN 87-480-0182-1
Rau (2013)	A. Rau (Hrsg) Nydam Mose 4 , Die Schiffe. Beiträge zu Form, Technik und Historie , s.o., Schleswig 2013
Rech (2016)	Rech, Manfred „Das Bremer Schlachte-Schiff“ Eine Proto-Kogge mit Heckruder aus der Zeit um 1100 Deutsches Schiffahrtsmuseum, Bremerhaven . . . 2016

Shetelig (1930)	Shetelig, H. „Das Nydamschiff“ Acta Archäologica 1, Kopenhagen 1930, S. 1 – 30
Shetelig (1929)	Shetelig, H. u. Johannessen, Fr. „Kvalsundfundet og andre norske myrfund av fartöer“ Bergens Museums Skrifter. Ny Rekke. Bind II Nr. 2 Bergen 1929
Simek (2016)	Simek, Rudolf „Die Wikinger“ 6. Auflage, Beck, München 2016 ISBN 978 3 406 4188 5
Simek (2014)	Simek, Rudolf „Die Schiffe der Wikinger“ Reclam, Stuttgart 2014 ISBN 978-3-15-010999-1
Valbjørn (2000)	Valbjørn u.a. „Reconstruction of the Hjortspring Boat. . .“ in : „Down the river to the sea“ Proceedings of the Eighth International Symposium on Boat and Ship Archaeology IBSA 8 Gdansk 1997 Year 2000 Seiten 103 – 110

5) b) Abbildungen

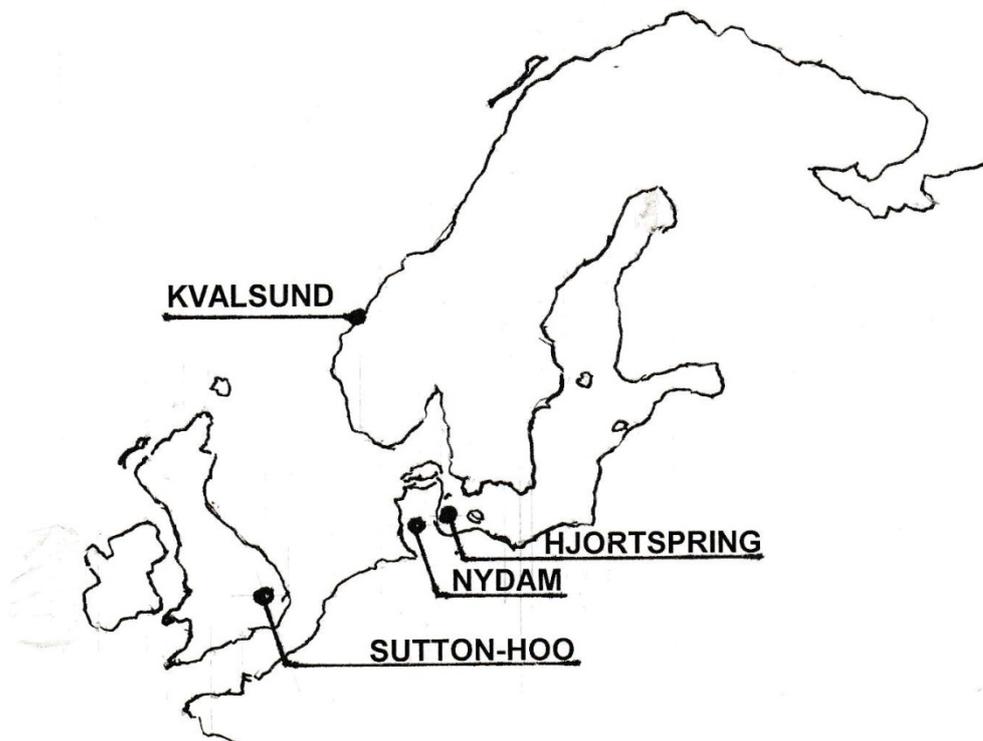


Abb. 1 Die eisenzeitlichen Bootsfunde

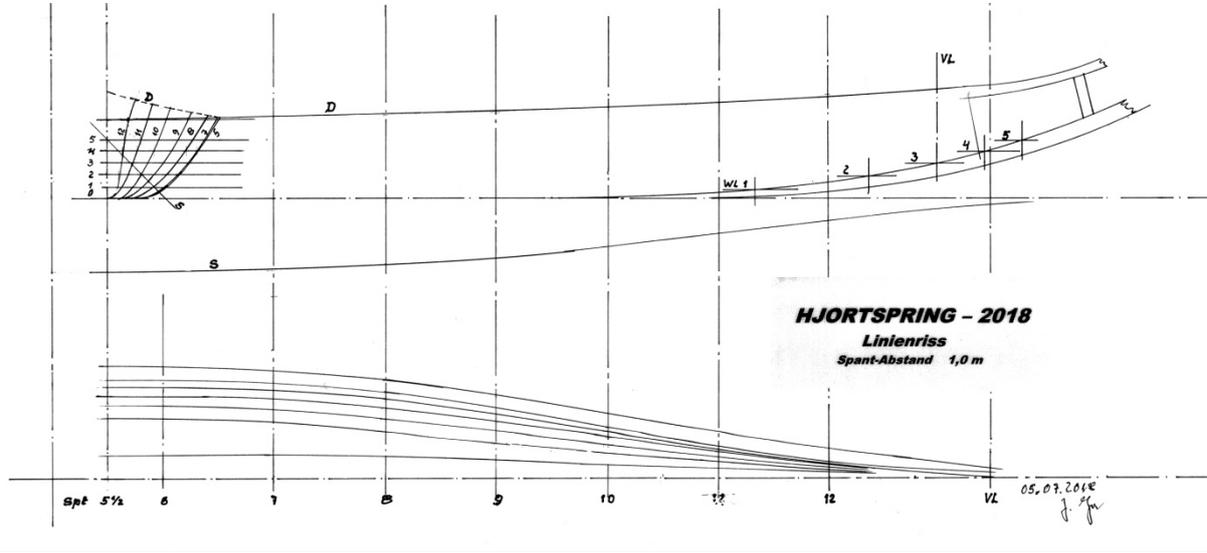


Abb. 2 Linierriss HJORTSPRING 2018
Abstand der Konstruktionsspanen 1,00 m

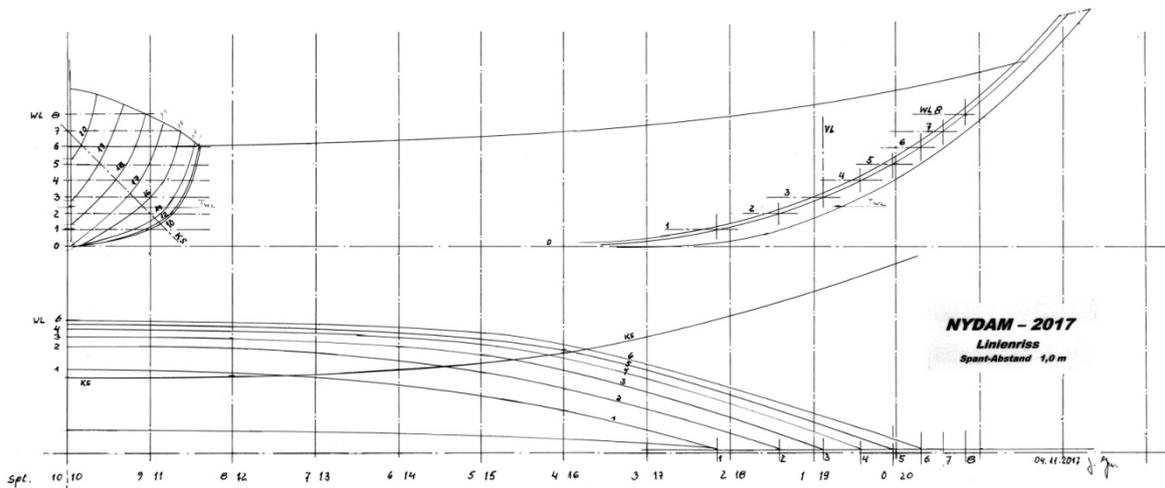


Abb. 3 Linierriss NYDAM 2017
Abstand der Konstruktionsspanen 1,00 m

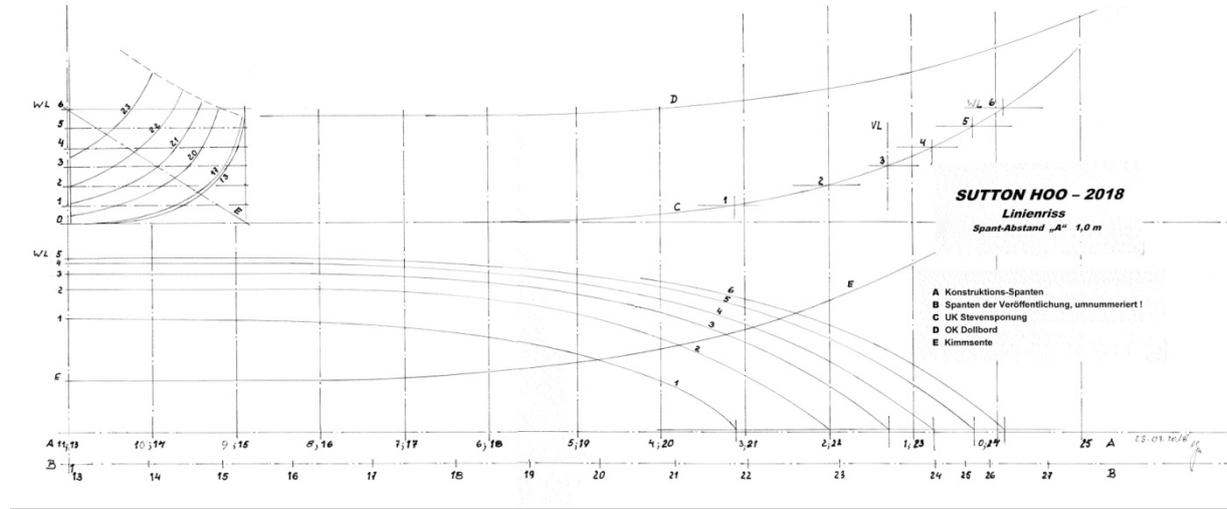


Abb. 4 Liniendriss SUTTON HOO 2018
 Abstand der Konstruktionsspannen 1,00 m

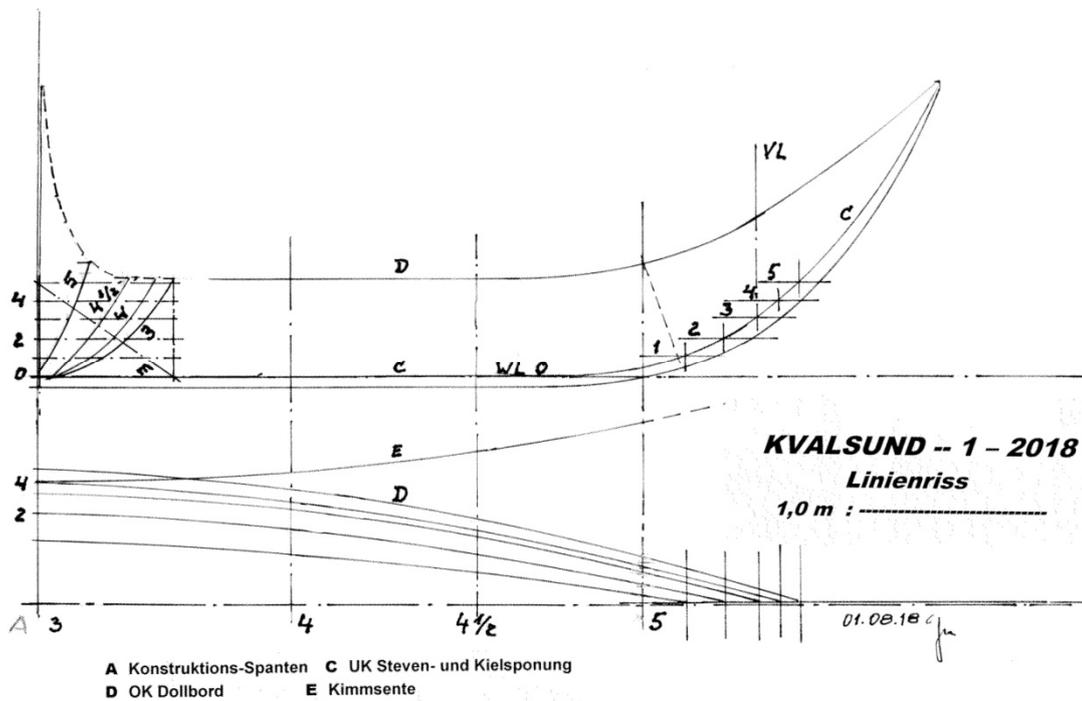


Abb. 5 Liniendriss KVALSUND 1 2018
 Abstand der Konstruktionsspannen 3 und 4: 1,38 m

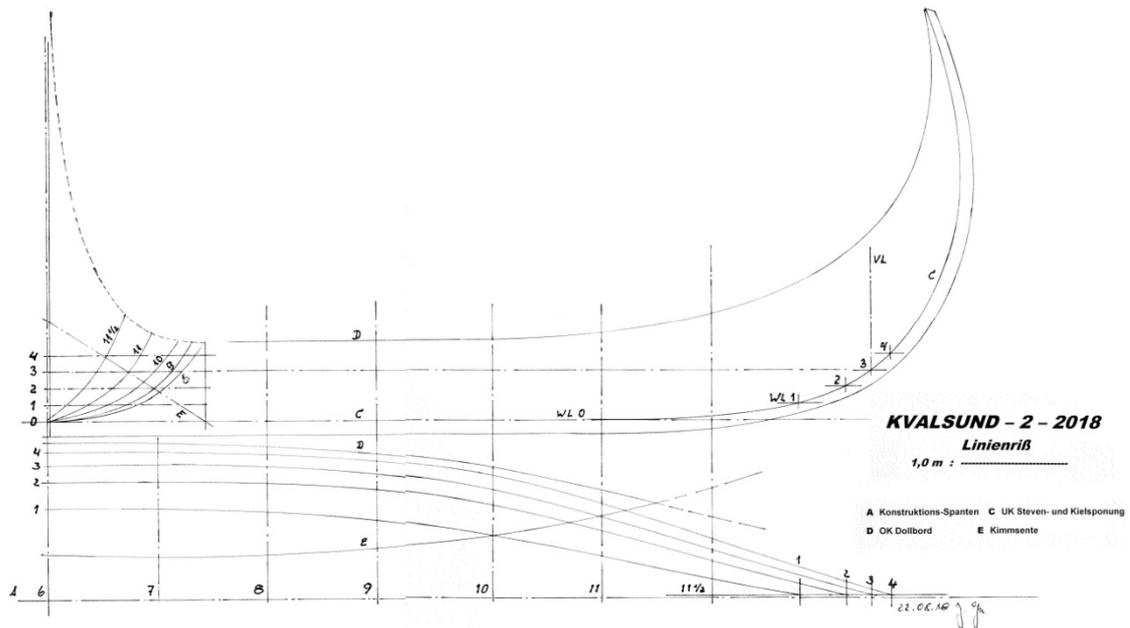


Abb. 6 Liniendriss KVALSUND 2 2018
Abstand der Konstruktionsrippen 1,00 m

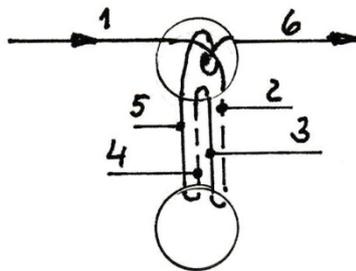
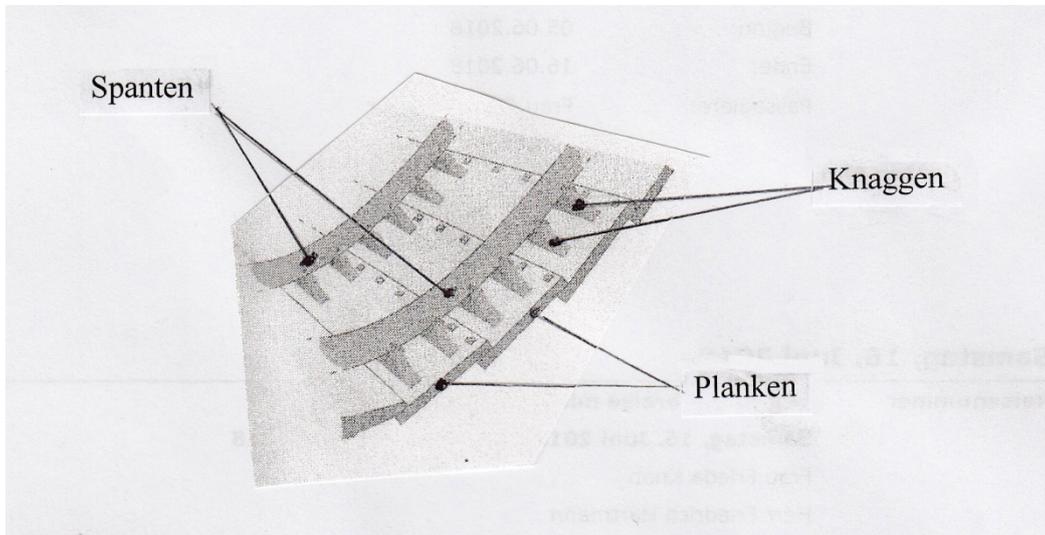


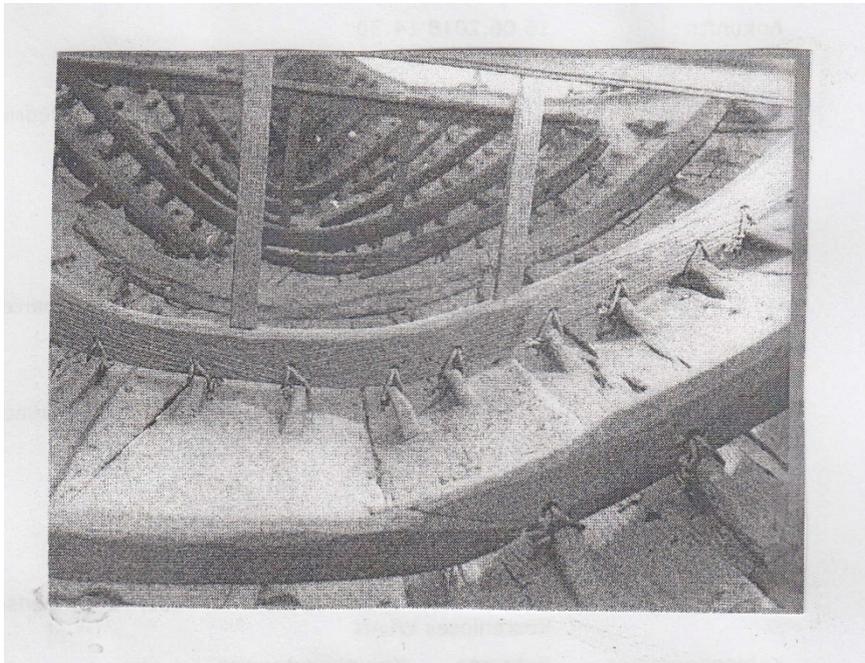
Abb. 7 Vernähung der Planken HJORTSPRING

Weil die Technik des Vernähens uns heute sehr fern liegt, sei sie an Hand der Abb. 7 (nach Crumlin-P (2003) und Valbjörn (2000), Hinweiszahlen von uns) erläutert. Je zwei Löcher (\varnothing etwa 2,7 mm) sind in Abständen von etwa 70 mm parallel zur Naht und von etwa 40 mm senkrecht dazu, angeordnet. Beide liegen im Überlappungsbereich. Der auf der oberen Planke liegende Fadenstrang 1 wird durch das obere Loch unter die untere Planke und dort als Strang 2 durch das untere Loch als Strang 3 zurück zum oberen Loch geführt. Dies wird noch einmal wiederholt (Stränge 4 und 5). Im Bereich des oberen Loches umschlingt Strang 5 den Strang 1 (Einzelheiten offen, die Umschlingung soll die Naht selbst-sperrend machen) und wird dann als Strang 6 zum nächsten Loch weitergeführt.

Ob die Einzelheiten der Fadenführung von den Funden stammen oder rekonstruiert wurden ist uns nicht bekannt. Sicherlich gab es dabei auch Unterschiede.



**Abb. 8 NYDAM-Zurrung Übersicht
(nach Abegg (2014))**



**Abb. 9 NYDAM-Zurrung Ausführung
(nach Abegg (2014))**

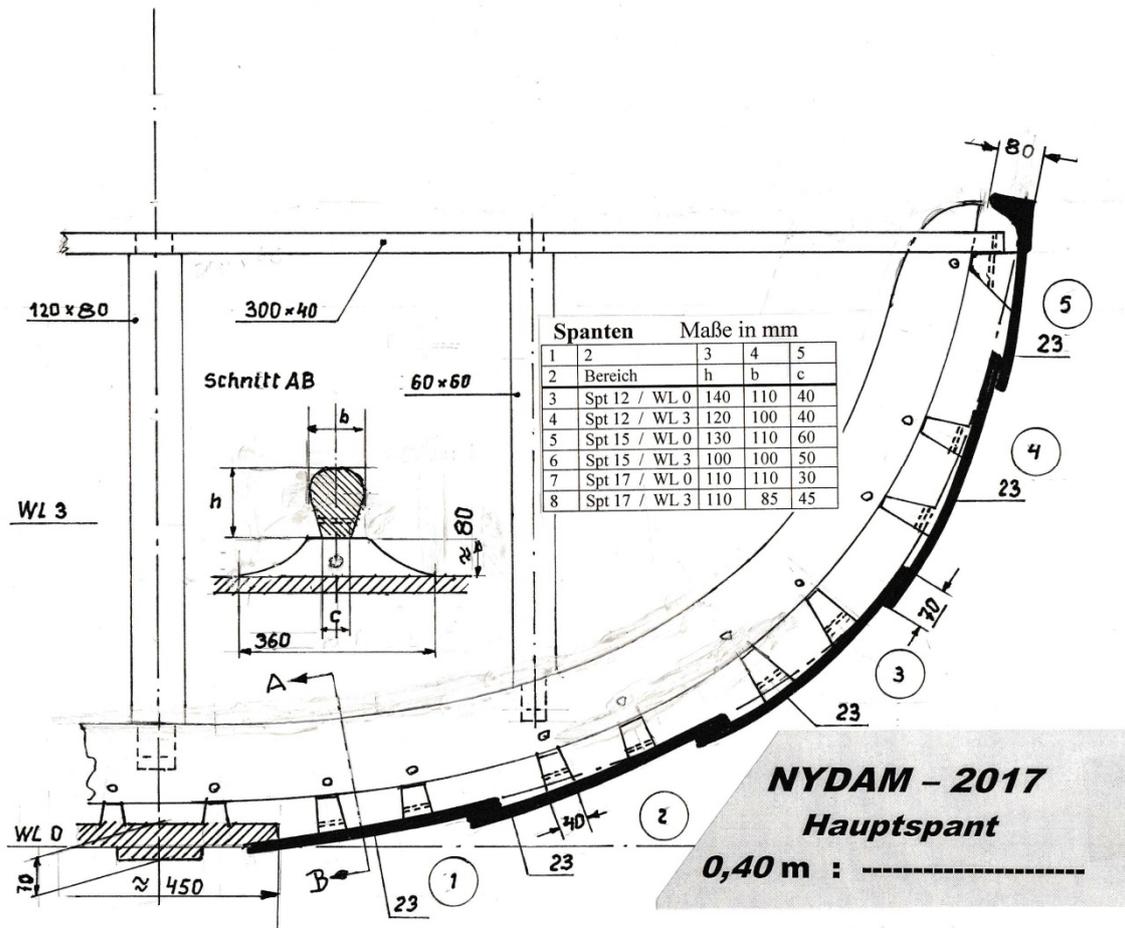


Abb. 10 Hauptspant NYDAM 2017

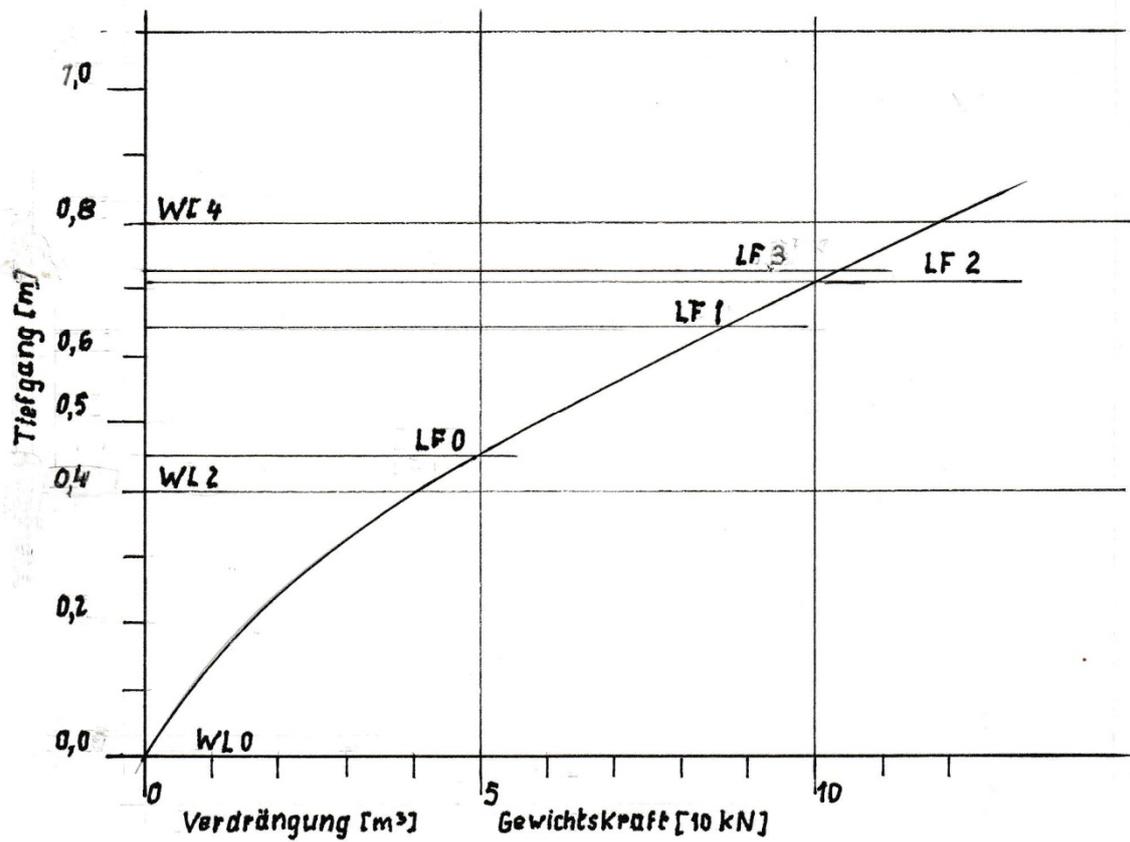


Abb. 11 Verdrängungskurve NYDAM 2017

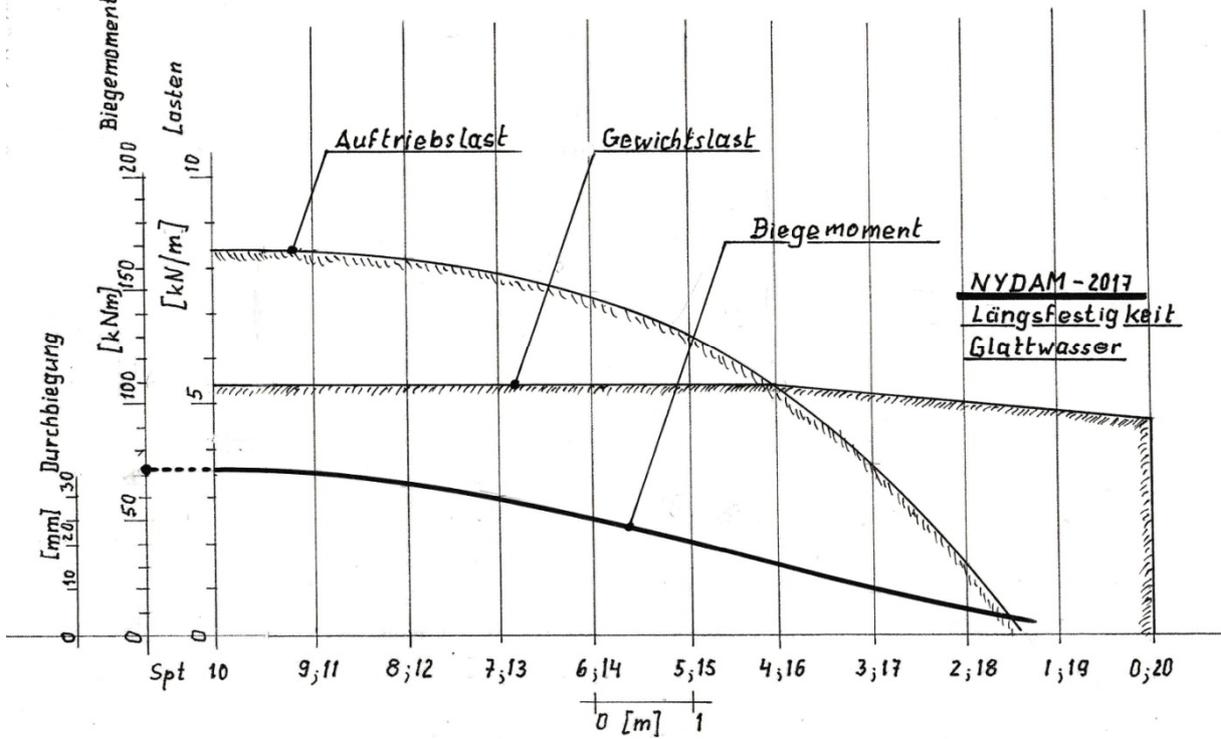


Abb. 14 Längsfestigkeit im Glattwasser

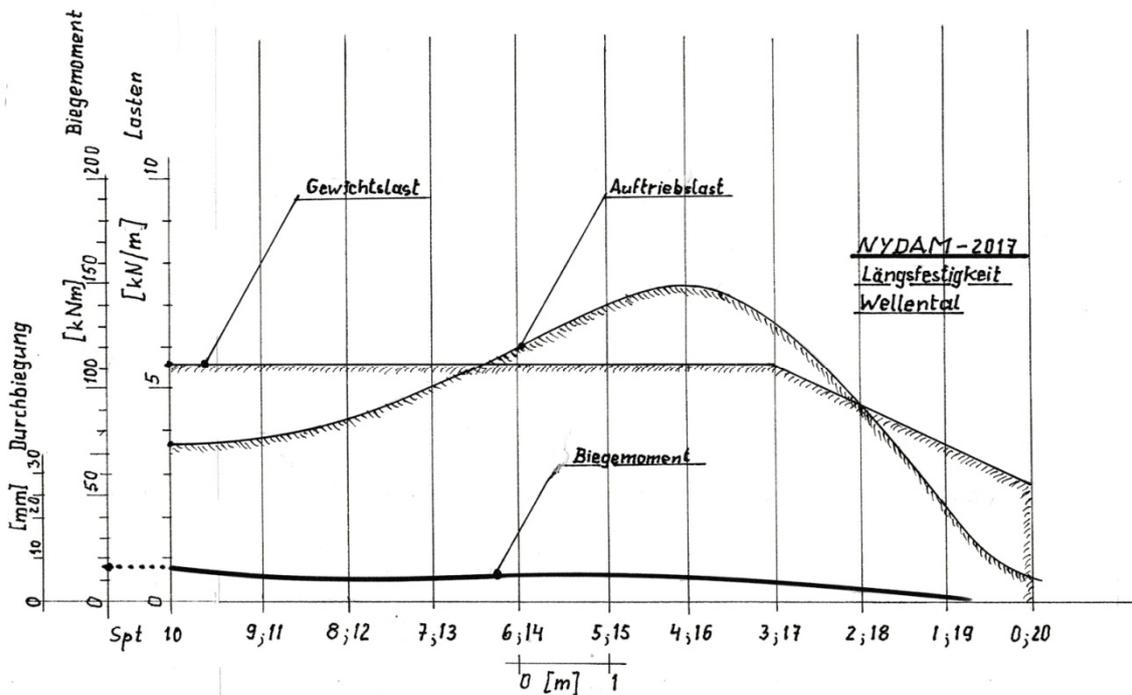


Abb. 15 Längsfestigkeit im Wellental

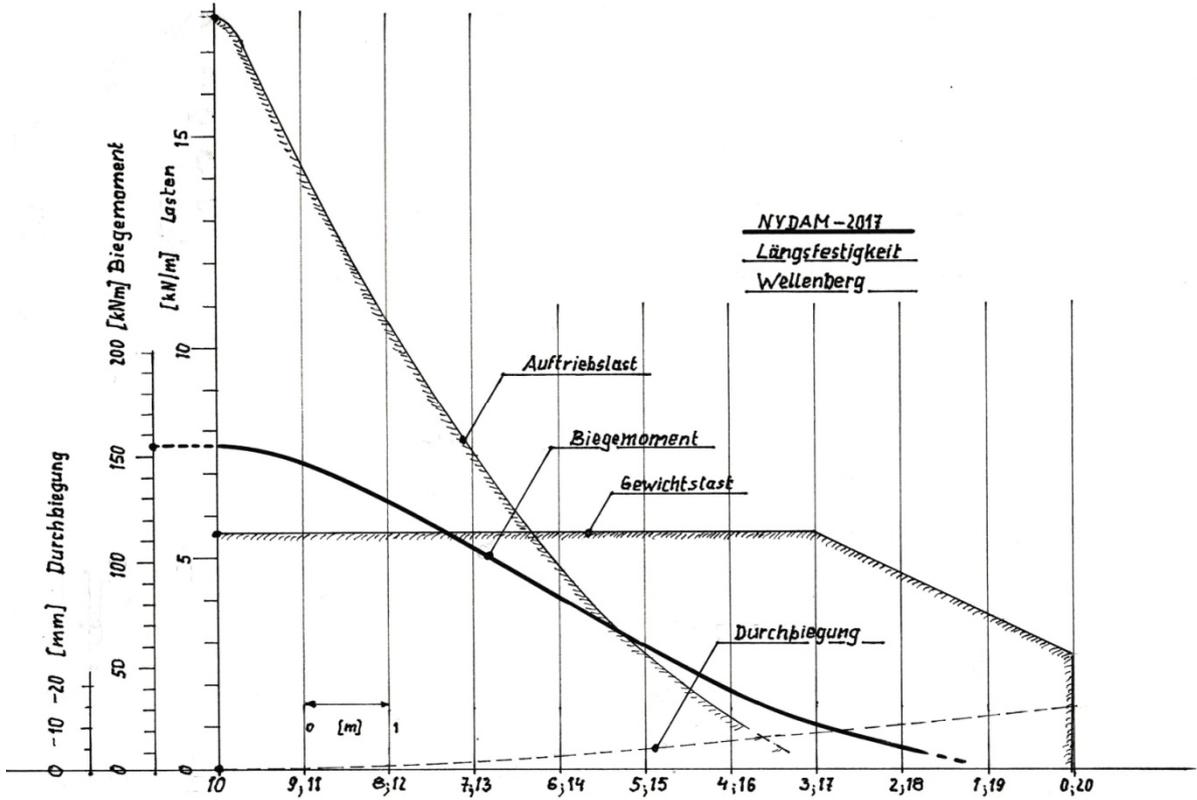


Abb. 16 Längsfestigkeit auf Wellenberg

5 c) Tabellen**Tab. 1 Hauptabmessungen NYDAM - Familie**

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Boot		HJORT- SPRING	NYDAM – 2017	SUTTON- HOO	KVAL- SUND 1	KVAL- SUND 2
2a	Abkürzung		HJ	N 20	SH	KS 1	KS 2
2b	Quelle		CP 2003	JH 2017	Bruce1972	Shet.1929	Shet.1929
3	Datierung		≈ 450 <u>vor</u> Chr.	≈ 400/2017 nach Chr.	≈ 600 nach Chr.	≈ 700 nach Chr.	≈ 700 nach Chr.
4	L _{ÜA}	m	19,00	24,7	25,10	9,80	18,15
5	L _{LL}	m	15,96	18,22	19,40	7,80	16,08
6	B _{MAX}	m	2,04	3,26	4,24	1,48	3,10
7	B _{WL}	m	1,38	2,74	3,78	0,98 ¹⁾	2,64
8	H _{MIN}	m	0,71	1,20	1,26	0,53	0,77
9	T _{WL}	m	0,32	0,478	0,67	0,22 ¹⁾	0,49
10	V _{WL}	m ³	2,64	10,4	--	--	--
11	δ	1	0,478	0,450	--	--	--
12	β	1	--	0,688	--	--	--
13	L _{LL} / B _{MAX}	1	7,82	5,59	4,58	5,27	5,19
14	L _{LL} / B _{WL}	1	11,56	6,65	5,13	7,96	6,09
15	L _{LL} / H _{MIN}	1	22,48	15,18	15,40	14,72	20,88
16	T _{WL} / H _{MIN}	1	0,45	0,40	0,53	0,42	0,64

Zeile 2b : vgl. auch Schrifttumsverzeichnis. CP = Crumlin-Pedersen; JH = Unterlagen des Verfassers

Zeile 5 L_{LL} : Die Wasserlinien- und Spant-Einteilung haben wir i.a. von den vorliegenden, in Zeile 2b genannten Veröffentlichungen übernommen und ggbfs ergänzt. Die Lote – die dort nirgends eingetragen sind – nehmen wir jeweils in den Schnittpunkten der WL 3 (bzw. WL2 bei KS1) – mit Unterkante Stevensponung an, d.h. etwa im Bereich der Tiefladelinie :

$$\begin{aligned} \text{HJ} : 14,0+2\times 0,98 &= 15,96 & \text{N 20} : 18,0+2\times 0,11 &= 18,22 & \text{SH} : 18,0+2\times 0,70 &= 19,40 \\ \text{KS1} : 2\times 3,28+2\times 0,62 &= 7,80 & \text{KS2} : 12\times 1,08+2\times 1,56 &= 16,08 \end{aligned}$$

Zeile 6 B_{MAX} : HJ : im Text N 20 : 3,2+2×0,03=3,26 SH, KS1 und KS2 aus Text-Sptrib

Zeile 7 B_{WL} : aus Sptrib gemess.

Zeile 8 H_{MIN} : HJ : aus Text-Sptrib gemess. alle übrigen aus Sptrib gemess.

Zeile 9 T_{WL} : Tiefgang ab Unterkante Kielsponung bis WL 3 (KS1 : WL2)

Zeile 10 V_{WL} : HJ : aus CP-Text durch Addition N 20 : siehe Tab. 3

Tab. 2 Ladefälle NYDAM - 2017

1	2	3	4	5	6	7
2	Text	Masse	z	(3) × (4)	T	MG
3	Einheit	kg	m	kgm	m	m
4	Masse des leeren Rumpfes	4 500	0,75	3 380		
5	Riemen : 15 × 2 Stck + 4 Reserve : 34 × 10,2 kg	350	1,15	400		
6	Seitenruder	60	0,50	30		
7	Ladefall 0 Boot mit losen Teilen	4 910	0,78	3 810	0,45	0,96
8	Boot mit losen Teilen, (Zeile 7)	4 910	0,78	3 810		
9	Besatzung : 35 Mann, je 75 kg	2 630	1,30	3 420		
10	Effekten : je Mann 20 kg	700	0,60	420		
11	Vorräte : je Mann 10 kg	350	0,50	180		
12	Ladefall 1 Boot fahrfertig, ohne Ballast u. Ladung	8 590	0,91	7 830	0,64	0,65
13	Ladefall 1 (Z. 12)	8 590	0,91	7 830		
14	Ballast und Ladung	1 400	0,20	280		
15	Ladefall 2 Boot fahrfertig, 1 400 kg Ball. u. Lad.	9 990	0,81	8 110	0,71	0,77
16	Ladefall 1 (Z. 12)	8 590	0,81	7 830		
17	Ballast und Ladung	1 800	0,25	450		
18	Ladefall 3 Boot fahrfertig, 1 800 kg Ball. u. Lad.	10 390	0,80	8 280	0,73	0,78

Tab. 3 Abmessungen der Spanten NYDAM - 2017

1	2	3	4	5
2	Bereich	h [mm]	b [mm]	c [mm]
3	Spt 12 / WL 0	140	110	40
4	Spt 12 / WL 3	120	100	40
5	Spt 15 / WL 0	130	110	60
6	Spt 15 / WL 3	100	100	50
7	Spt 17 / WL 0	110	110	30
8	Spt 17 / WL 3	110	85	45

Tabelle 4 Ergebnisse der Längsfestigkeitsrechnung NYDAM - 2017

1	2	3	4	5
2	Lastfall	größtes Biegemoment	Spannung im Dollbord	Spannung i. d. Kielplanke
3	Einheit	kNm	kN / m ² N / mm ²	kN / m ² N / mm ²
4	Glattwasser	72,1	+ 2 326 + 2,3	- 1 222 - 1,2
5	Wellenberg	154,9	+ 5 000 + 5,0	- 2 625 - 2,6
6	Wellental	14,6	- 471 - 0,5	+ 247 + 0,2

Vorzeichen : + Zugspannungen, - Druckspannungen,

**Tabelle 5 Ergebnisse der Längsfestigkeitsrechnung
Vergleich von HJORTSPRING und NYDAM - 2017**

1	2	3	4	5
2	Text	Einheit	HJORTSPRING	NYDAM 2017
3	max.Zugspannung im Dollbord	N / mm ²	+ 3,5	+ 5,0
4	max.Druckspannung im Boden	N / mm ²	- 1,8	- 2,6
5	max. Durchbiegung f_{\max}	mm	19	15
6	L_{LL} / f_{\max} (Soll ≥ 300)	1	840	1 215

5) d Links

Deutsches Schifffahrtsmuseum Bremerhaven	:	www.dsm.museum
Flensburger Schifffahrtsmuseum	:	www.schifffahrtsmuseum-flensburg.de
Wikingermuseum Haithabu	:	www.haithabu.de
kelten römer museum manching	:	www.museum-manching.de
Wikingerschiffmuseum Roskilde Stiftung	:	www.vikingskibsmuseet.dk/de/
Schleswig-Holsteinische-Landesmuseen Schloß Gottorf , Schleswig	:	www.schloss-gottorf.de