

3.3.5 Montageverfahren¹

3.3.5.1 Sektionsbauweise

Im modernen Schiffbau wird die Sektionsbauweise oder Blockbauweise angewendet. Es hat sich heute eine Unterteilung des Montagevorgangs in mehrere Stufen durchgesetzt, von denen der größte Teil in den Schiffbauhallen abgearbeitet wird. Die Zahl der Stufen und ihre Bezeichnung variiert von Werft zu Werft. Man spricht von Untergruppen, Gruppen, Teilsektionen, Sektionen, und Großsektionen. Wenn eine Sektion den vollständigen Querschnitt eines Schiffes umfasst, nennt man dies eine Ringsektion. Die Fertigungsfolge im einzelnen ergibt sich aus dem Produktionskonzept der Werft, insbesondere aus den verfügbaren Hallenflächen, den vorhandenen speziellen Fertigungslinien und dem Transportsystem. Die maximale Größe der Sektionen vor der Endmontage hängt unter anderem von der Krankkapazität oder den Transporteinrichtungen am Schiffbauplatz (Baudock oder Helling) ab.

Durch diese Bauweise wird der Fertigungsprozess erheblich beschleunigt, weil an mehreren Sektionen gleichzeitig gearbeitet werden kann. Hierdurch wird die teuerste Anlage der Werft, das Baudock oder die Helling, nur relativ kurze Zeit in Anspruch genommen. Für Werften, die kein überdachtes Baudock besitzen, kann trotzdem der größte Anteil der Fertigung in der Halle erfolgen. In der Halle können arbeitssparende Anlagen und Vorrichtungen eingesetzt und wetterempfindliche Verfahren (z. B. Schutzgasschweißen) angewendet werden.

3.3.5.2 Montagefolge

Die Montageprozesse kann man in folgende Montagestufen aufgliedern:

1. Montage von ebenen Flachbaugruppen

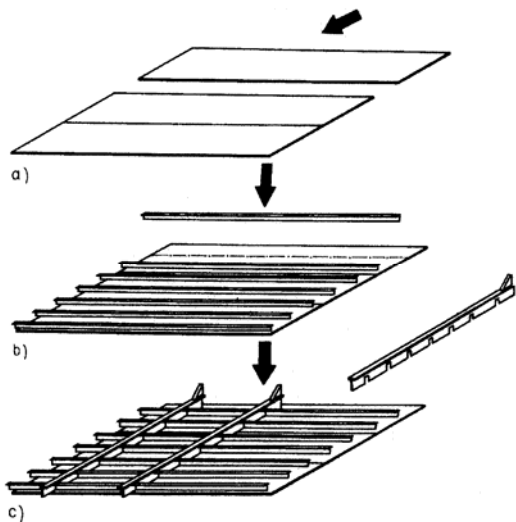


Bild: Montagefolge einer ebenen Flächensektion (Panelverfahren)

1.1. In der ersten Stufe werden Einzelplatten zu Plattenfeldern zusammengefügt. Die Größe der Plattenfelder entspricht dabei meist der Ausdehnung der Flächensektionen. In dieser Montagestufe wird also Platte zu Platte gefügt. Die Plattenfelder werden als ungezogenes Plattenfeld weiterverarbeitet (Bild a)

1.2. In der folgenden zweiten Stufe werden dann die Plattenfelder mit Versteifungen versehen und zu versteiften Flächen zusammengebaut. Diese Gebilde werden als Paneel bezeichnet. Charakteristisch für Paneele sind ihre flächenhafte Gestalt und ihre Zusammensetzung aus Platte und Versteifung. Für die Herstellung von Paneelen werden meist weitgehend mechanisierte Paneelstraßen eingesetzt (Bild b).

1.3. Der nächste Schritt ist es, ein Paneel mit quer zu den vorhandenen Versteifungen laufenden Trägern oder Rahmenspannen zu beziehen. Hierdurch entsteht dann bereits eine Flächensektion oder Flachbaugruppe (Bild c)

¹ Quelle: Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. (Hrsg.): Schiffstechnik und Schiffbautechnologie; Hamburg: Seehafen Verlag GmbH, 1998, ISBN 3-87743-800-8, S. 93ff



Bild:
Maschine zum Aufsetzen und Verschweißen von Profilen in einer Paneelstraße²

2. Montage von gekrümmten Flachbaugruppen

Verformte Platten werden weiterverarbeitet

- als Einzelplatte,
- als unbezogene Plattenschale,
- als bezogene Plattenschale

Bei gekrümmten Flachbaugruppen geschieht meist sowohl das Zusammenschweißen der Platten als auch das Aufschweißen der Versteifungen jeweils an ein- und demselben Arbeitsplatz, da für diese Sektionsformen spezielle Formvorrichtungen (Stempelfelder, auch „Igel“ oder „Spargelbeet“ genannt) nötig sind.



Bild: Bau einer verformten Flachsektion auf dem Stempelfeld

3. Trägerfertigung – Rahmenfertigung

Im Schiffbau wird der Begriff Träger für viele verschiedene Bauteile verwendet: Längsträger (Mittellängsträger, Seitenlängsträger), Querträger. Es handelt sich immer um Gurt-Steg-Verbindungen. Hierzu gehören auch die Rahmen, wie Rahmenbalken, Rahmenspannten, Unterzüge.

Zur Herstellung dieser Bauteile werden Flachstähle, Plattenstreifen aus Einzelplatten oder aus mehreren zusammengeschweißten Platten (bedingt durch maximale Plattengröße oder die Abstufung von Materialdicken, -güten aus Festigkeitsgründen) mit Gurten versehen. Hierfür werden zum Teil besondere Schweißautomaten eingesetzt. Gurt-Steg-Verbindungen können auch durch Kanten von Plattenstreifen hergestellt werden.

Diese Gurt-Steg-Verbindungen werden während des Fertigungsablaufes in die Fertigung der Sektionen einbezogen.

² Ein **Paneel** (niederdeutsch und niederländisch für „Tafel“, englisch: *panel*) ist eine Holztafel bzw. eine furnierte Platte für Wand- und Deckenverkleidung. Dabei wird sowohl die einzelne Tafel als auch die gesamte Verkleidung als Paneel oder Paneele bezeichnet.

4. Bau von Teilsektionen

Die nächste Stufe umfasst das Zusammenfügen mehrerer Flächensektionen/Flachbaugruppen zur **Volumensektion oder Teilsektion**. Eine Volumensektion schließt, wie bereits der Name sagt, ein Volumen ein. Sie hat im Prinzip Kastengestalt und besitzt dadurch bereits erhebliche Biege- und Torsionssteifigkeit.

5. Bau von Sektionen

Aus den in den Vorstufen gefertigten Einzelteilen, Untergruppen, Gruppen und Teilsektionen werden in der nächsten Fertigungsstufe **Sektionen** erstellt. Im parallelen Bereich sind es großflächige Doppelhüllen. Im Vor- und Hinterschiff sind es großvolumige Blöcke, die wegen des großen Anteils verformter Bleche sehr aufwendig zu fertigen sind.

Bei der Montage der Sektionen wird versucht, großflächige Bauteile als Verarbeitungsbasis zu finden. Für den Doppelboden nimmt man hierzu die Tankdecke (Innenboden) oder den Außenhautboden. Für Außenhautsektionen nimmt man eine Außenhautseite oder ein Seitenlängsschott, für Vor- und Hinterschiffssektionen Querschotte oder Zwischendecks. Diese Sektionen werden dadurch in einer Lage gebaut, die für ihre Verarbeitung vorteilhaft ist: Vorhandposition für Schiffbauer und Schweißer. Das Deckeln der Außenhaut kann von oben erfolgen.

Die Sektionen müssen anschließend in ihre Einbaulage gedreht werden. Dazu ist eine exakte Kenntnis bzw. Berechnung des Gewichtes und der Lage des Gewichtsschwerpunktes erforderlich. Die Anordnung der Transportaugen und die Einleitung der Kräfte in die Stahlkonstruktion ist für die Drehvorgänge sehr wichtig. Die Verarbeitung der Transportaugen bedarf besonderer Sorgfalt.

6. Bau von Großsektionen, Endmontage

In Abhängigkeit von der Krankapazität werden aus mehreren Sektionen Großsektionen, auch Blöcke oder Kollisektionen³ genannt, gebaut. Wenn die Großsektion den gesamten Schiffsquerschnitt umfasst, spricht man von einer Ringsektion oder einer Bauscheibe. Auf dem Endmontageplatz (auf der Helling oder im Baudock) werden diese zum Schiffskörper zusammengefügt. (Hellingmontage oder Endmontage).

7. Zusammenfassung

Für eine rationelle Montage werden die Voraussetzungen bereits in der Projektierung geschaffen. Die Konstruktion der zu montierenden Teile, der Aggregate und des Schiffskörpers sowie die verwendeten Werkstoffe bestimmen den Arbeitsaufwand. Moderne Technologien und der Übergang von mechanisierten auf automatisierte Produktionssysteme beeinflussen ihn wesentlich.

In der folgenden Tabelle werden die Stufen der Schiffskörpermontage übersichtlich dargestellt:

³ Kollo (Plural **Kolli**, oft auch **Colli**, von italienisch *collo* bzw. französisch *Colis*, engl. *trading unit*) bezeichnet eine kleinste Einheit einer Warensendung.

Tabelle: Stufen der Schiffkörpermontage⁴

<i>Montagestufen</i>	<i>Bezeichnung</i>
Einzelteile	Umgeformte Platten und Profile
Untergruppen und Gruppen	Stab- und plattenförmige Bauteile
Flächensektionen	Durch Profile ausgesteifte Plattenfelder
Volumensektionen	Räumliche Gebilde: ausgesteifte Plattenfelder mit weiteren Bauelementen verschweißt
Ring- oder Blocksektionen	Teile des Schiffskörpers, die sich über seine volle Breite und Höhe erstrecken
Großvolumensektionen (Kollisektionen)	Abschnitte des Schiffskörpers in voller Breite und Höhe von etwa 0,2 ... 0,4 der Schiffslänge
Schiffskörper	Gesamter Schiffsrumpf mit Aufbauten

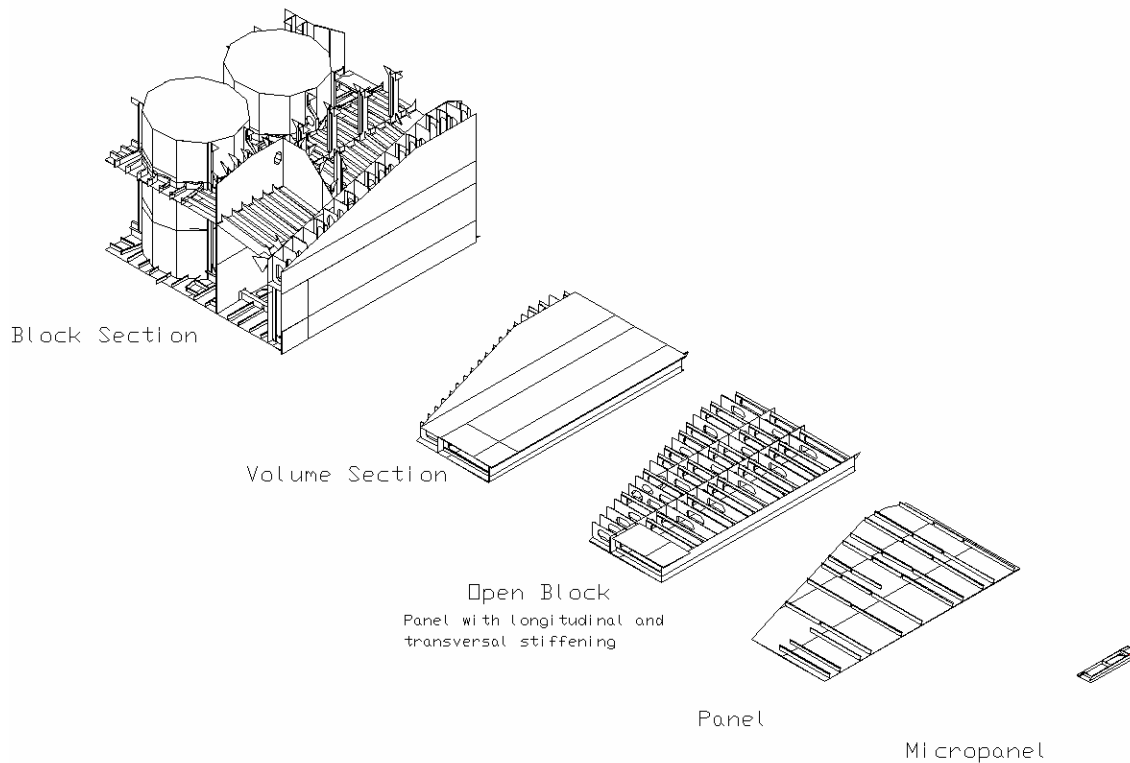


Bild: Reihenfolge von Fertigungsabschnitten im Schiffbau mit hoher Anforderung an die Bauteil- und Montagegenauigkeit⁵

⁴ Stahlschiffbau; Berlin: VEB Verlag Technik; 1972, 2. Aufl.; S. 29

⁵ Quelle: <http://www.bias.de/Events/Archive/LAF06/Proceedings/03%20%20SEYFFARTH.pdf>

3.3.5.3 Sektionsteilung

Die Sektionsteilung wird von fertigungstechnischen und konstruktiven Gesichtspunkten bestimmt. Fertigungstechnische Gesichtspunkte sind:

- Größe und Ausstattung der Bauplätze (Dock oder Helling),
- Tragkraft und Hakenhöhe der Krane,
- Kapazität der Anlagen für den Transport zum Bauplatz (z.B. Schwerlastfahrzeuge),
- vorhandene Hallen und Vormontageflächen,
- Verwendung von Standardplatten (ergibt eine Zwangslage von Sektionsstößen aus dem Plattenraster. Wenn diese nicht eingehalten werden kann, kann der Verschnitt nicht optimiert werden),
- Verwendung von objektoptimierten Platten (bessere Lage der Nähte und Stöße zu den Bauteilen, d.h. zur Lage der Decks und Querschnitte. Der Verschnitt kann optimiert werden).

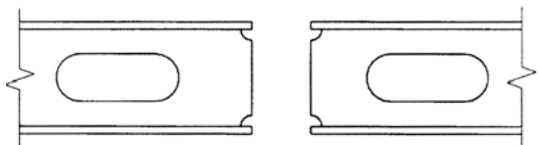
Festigkeitsfragen müssen nur im Großsektionsbau betrachtet werden hinsichtlich der Lage der Transportaugen, der Ebenen zum Absetzen und der erforderlichen Steifigkeit bei Wendevorgängen.

Die Teilung im Querschnitt wird meist so vorgenommen, dass Boden-, Seiten- und Decksektionen entstehen. Bei größeren Schiffen muss der Doppelboden in mehrere Sektionen unterteilt werden, um innerhalb der zulässigen Tragkraft der Kräne zu bleiben.

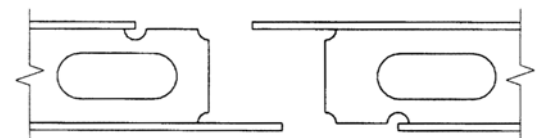
Konstante Sektionslängen wirken sich im Hinblick auf die Sektionsbauvorrichtungen sehr vorteilhaft aus. Mitunter ist jedoch eine gleichmäßige Sektionsteilung aus konstruktiven Gründen nicht möglich. Natürlich ist die Sektionsteilung auch von der Montagemethode abhängig. Die Vor- und Hinterschiffsektionen werden meist als Blocksektionen gebaut. Ihre Längen werden von konstruktiven Gegebenheiten bestimmt. Die Vorschiffsektion wird gewöhnlich durch das Kollisionsschott begrenzt. Bei größeren Schiffen wird die Vorschiffsektion noch in Vorpiek- und Bugsektion unterteilt. In ähnlicher Weise wird die Hinterpieksektion durch das Stopfbuchenschott nach vorn begrenzt. Man strebt allgemein an, die Stoßstellen möglichst in die Nähe von Schotten oder steifen Querverbänden zu legen, da dort die Querschnittsform eindeutig fixiert ist. Bei Querspantsschiffen legt man den Sektionsstoß etwa $1/3$ bis $1/4$ Spantabstand von einem Querspant entfernt. Weitere spezielle Sektionen sind noch Aufbausektionen, Wellentunnel und Lukensektionen.

Die an der Sektionstrennung in Längsrichtung laufenden Teilfugen werden als Naht, die in Querrichtung laufenden als Stoß bezeichnet.

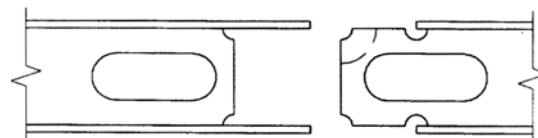
Die Ausbildung der Naht und des Stoßes ist in verschiedener Art möglich:



1. als Ringstoß: alle Bauteile werden in einer Ebene geschnitten



2. als terrassenförmig (versetzt) ausgebildete Trennung



3. Flächen in einer Ebene, Träger versetzt (Da das „Strecken“ des Trägers zwischen die Träger sehr schwierig ist, kann diese Art des Fügens nur unter Verwendung von Montageteilen (Losteilen) erfolgen und wird deshalb nur ausnahmsweise angewendet)



3.3.5.4 Genauigkeit der Fertigung als Voraussetzung für eine nacharbeitsame Montage bei der Sektionsbauweise

Ein besonderes Problem für die Sektionsbauweise ist die für einen reibungslosen Zusammenbau auf den verschiedenen Stufen erforderliche Genauigkeit. Ungenauigkeiten machen bei der Montage Nacharbeiten erforderlich und führen zur Notwendigkeit von „Zugaben“.

Hierbei treten zwei Problemkreise auf:

- Montage und Fügen von Bauteilen, die durch eine senkrechte Fuge geteilt sind, z.B. Ringsektion zu Ringsektion oder Doppelbodenabschnitt zu Doppelbodenabschnitt. Der Ausgleich von Ungenauigkeiten wurde (wird) durch Zugaben geregelt. Das heißt, dass an den Anschlüssen zwischen den Bauteilen zusätzliches Material stehen gelassen wurde, das dann vor der Endmontage „auf Maß“ gebrannt werden musste (muss).
- Montage und Fügen von Bauteilen, die aufeinander gebaut werden, z. B. Querschott auf Doppelboden, Außenhautsektion auf Doppelboden, Containerstufe auf Doppelboden. Hierfür ist die Ebenheit der Montageflächen, insbesondere Verhinderung der Verdrehung, wesentlich. Da dies nicht immer erreicht werden konnte, wurden auch hier Zugaben vorgesehen.

Auf jeder Baustufe müssen die zusammenzufügenden Baugruppen, Teilsektionen, Sektionen und Großsektionen (zur Vereinfachung sprechen wir im folgenden nur von Sektionen) so zusammengebracht werden, dass

- sie in dieser Lage zusammengeschweißt werden können. Die Abstände der Montagegestöße (der Schweißspalt) und die insoweit erforderliche Genauigkeit richten sich dabei nach den Anforderungen des für das Zusammenschweißen vorgesehenen Schweißverfahrens bzw. nach den Materialeigenschaften,
- durchgehende Teile der Rumpfstruktur (Versteifungen, Träger usw.) keinen unzulässigen Versatz aufweisen
- die Form der neuen Sektion der vorgegebenen Konstruktion entspricht und einen ungehinderten Einbau auf der nächsten Baustufe ermöglicht.

Diese Aufgabe musste in der Stahlschiffbaumontage immer schon erfüllt werden. Man hat hier früher mit handwerklichen Mitteln gearbeitet. Dies erforderte einen hohen Aufwand an Anpassarbeiten und war ohne Zugaben nicht zu leisten. Seit Jahren bemüht man sich deshalb darum, den Montageprozess mit ingenieurwissenschaftlichen Mitteln zu bearbeiten und industrielle Methoden für eine „Genaufertigung“ einzuführen.

Bestimmungsfaktoren für die Genauigkeit:

- Genauigkeit der Bauteile in Abhängigkeit von der Führungsgenauigkeit der Schneidmaschinen. Eine möglichst hohe *Genauigkeit des Brennschnitts* kann durch eine laufende Überwachung der Schneidmaschinen mit Hilfe von Kontrollmessungen erreicht werden. Eine Genauigkeit von $\pm 0,7\text{mm}$ auf eine Länge von 20 m ist unter günstigen Voraussetzungen möglich.
- Genauigkeit des Anzeichnens und der Positioniervorgänge.
- Auswirkungen der durch Schweißen und thermisches Richten verursachten Maß- und Formveränderungen (Thermodeformationen, insbesondere Schweißschrumpfung).



Wichtiger Bestandteil eines Systems für eine nacharbeitsarme Fertigung ist die Einführung von *Fertigungstoleranzen* im Sinne von Prozesstoleranzen (z.B. Schweißdaten) und Bauteiltoleranzen (noch zulässige Abweichungen vom Sollmaß) für die Einzelteile, Baugruppen und Sektionen in den verschiedenen Fertigungsstufen. Diese Fertigungstoleranzen werden von den einzelnen Werften nach den Gegebenheiten ihres Betriebes festgelegt und in einem Toleranzkatalog oder in den Fertigungsunterlagen festgehalten.

(Beispiel: Beim Positionieren eines Längsträgers auf einem Paneel darf die Abweichung der Querposition nicht mehr als $\pm 1,5$ mm betragen)

Die zu erreichenden Fertigungstoleranzen zielen in erster Linie darauf, dass die Voraussetzungen für eine Verschweißung der Sektionen (dem Schweißverfahren entsprechender Schweißspalt zwischen den Stirnkanten jeweils der Außenhautplatten, ihrer Versteifungen und der Träger der inneren Struktur/Vermeidung von unzulässigem Versatz der Mallkanten) ohne Nacharbeit erfüllt werden können. Die Einhaltung dieser Toleranzen wird fertigungsbegleitend von den Werkern und der Fertigungsüberwachung geprüft.

Um das Ziel einer nacharbeitsarmen Fertigung zu erreichen, muss auf **allen** Baustufen eine ausreichende Genauigkeit erreicht werden. Der Montageprozess muss von Anfang an von geeigneten Maßnahmen der Fertigungsüberwachung begleitet werden, damit unter Umständen schon in den ersten Baustufen korrigierend eingegriffen werden kann. Es ist ein System abgestimmter Maßnahmen erforderlich, mit dem auf die Faktoren Einfluss genommen wird, die für die Genauigkeit bestimmend sind:

3.3.5.5 Anzeichnen

Das *Anzeichnen* von Brennkanten oder Montagespuren kann mit konventionellen Hilfsmitteln (Stahlbandmaß, Körner und Schnur, Messlatte) von Hand erfolgen. Wenn eine hohe Genauigkeit erreicht werden soll, sind dabei bestimmte Verfahren zu beachten, z.B. sind Winkel mit dem Winkelschlag geometrisch zu konstruieren..

Eine hohe Genauigkeit kann man durch das Anbringen von Markierungen oder Montagelinien durch Markiereinrichtungen der Schneidmaschinen erreichen.

3.3.5.6 Positionieren und Ausrichten

Auch beim *Positionieren* von Bauteilen und Sektionen müssen die Anforderungen der Genaufertigung beachtet werden.

Beim Bau von Sektionen müssen häufig senkrecht stehende Wände oder Stege von Trägern auf ein flach liegendes Blech aufgebaut werden. Für das Positionieren der Wand an der richtigen Stelle sind die oben erwähnten Markierungen oder Bauteilspuren erforderlich. Das Aufsetzen der Wand erfolgt dann meist mit Hilfe eines Krans.

Voraussetzung für derartige Montagearbeiten ist ein ebener Fußboden oder eine ebene, nach Möglichkeit horizontale Bauteilauflage (diese kann z.B. aus einer Reihe parallel angeordneter Doppel-T-Träger bestehen, die so justiert sind, dass ihre Oberflächen alle genau in einer waagerechten Ebene liegen), weil mit einem lotrechten Aufbau der Wände bzw. Stege zugleich die Rechtwinkligkeit des Bauteiles erreicht wird. Die Ebenheit einer horizontalen Bauteilauflage oder einer horizontalen Sektionsfläche kann z.B. mit dem Rotationslaser kontrolliert werden.



Die Wand ist mit Hilfe von Streben oder Stützen abzustützen. Vorteilhaft ist die Verwendung von Schraubspindeln oder Kettenzügen als Strebe, weil hiermit die Stellung der Wand leicht korrigiert werden kann. Die Enden der Streben sind meist mit Anschweißblechen verbunden. Wo es möglich ist, können die Streben jedoch mit Klammern an der Wand bzw. dem Boden befestigt werden.

Die senkrechte Position der Wand bzw. des Trägersteiges wird dann mit Hilfe von Lot, Winkel oder Wasserwaage kontrolliert.

Bild: Montagestütze

Für alle Montagevorgänge positionsgenauer Teile werden die Sektionen bereits am Beginn des Montageprozesses mit Bezugsrichtlinien versehen, die als Maßbezugssystem für die Einhaltung von Toleranzen verwendet werden. Nach ihnen werden die bereits montierten und die noch zu montierenden Sektionen zueinander ausgerichtet (z.B. werden auf den Doppelbodensektionen die Schnitte mit der Mittschiffsebene und mit einigen Spantebenen angezeichnet). Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Montage sich nach der Soll-Geometrie des Schiffsrumpfes richtet und nicht nach dem Verlauf der Stoßkanten, der fehlerhaft sein kann. Da auch die Bezugsrichtlinien fehlerhaft sein können, ist es entscheidend, dass sie geprüft und ggf. korrigiert werden. Danach dürfen sie nicht mehr verändert werden. Man muss sich immer auf dieselben Linien beziehen, um das Risiko des Aufsummierens von Fehlern so gering wie möglich zu halten.

Wichtige Bauteile werden erforderlichenfalls mit einem 3 D-Messsystem eingemessen. Derartige Messsysteme spielen auch eine wichtige Rolle in der Fertigungsüberwachung.

3.3.5.7 Kompensation von Thermodeformationen

Die durch Schweißen und thermisches Richten verursachten Maß- und Formänderungen (Thermodeformationen, im Vordergrund steht das Schrumpfen aufgrund der beim Schweißen eingebrachten Wärme) erschweren die nacharbeitsarme Fertigung.

Generell bemüht man sich, das Heften, Schweißen und freie Schrumpfen in eine Folge zu bringen, die den Schweißverzug minimiert, bzw. zu einer symmetrischen Schrumpfung führt. Die Kenntnis über die günstigste Schweißfolge beruht auf Erfahrung und der Beherrschung von Schrumpfungsprozessen.

Eine weitere Maßnahme für die Genaufertigung ist die vorberechnete Kompensation der Schweißschrumpfungen durch entsprechende Materialzugaben. Da die Auswirkungen der Schweißschrumpfungen sich in allen Baustufen fortsetzen, müssen die Kompensationen auch in allen Baustufen vorgenommen werden. Der Umfang der erforderlichen Zugaben lässt sich heute mit vertretbarem Aufwand nicht theoretisch errechnen, sondern nur empirisch ermitteln. Er hängt von dem verarbeiteten Werkstoff, der Form der Schweißnaht, den Schweißnahtabmessungen, der Schweißgeschwindigkeit, dem Schweißverfahren und der umgebenden geometrischen Gestalt ab. Ausgehend vom Montageendzustand, in dem die vorgegebenen Konstruktionsmaße des Schiffes erreicht sein sollen, sind systematisch für jede vorgelagerte Fer-



tigungsebene die hier auftretenden Schrumpfungen zu bestimmen. Sie müssen in Form einer Maß- oder Formkorrektur (Schrumpfaufmaße) unmittelbar am Ort ihrer Entstehung an den zu verbindenden Komponenten berücksichtigt werden. Auf diese Weise werden Korrekturen der äußeren Abmaße und der Lage der Bauteile hin zur Einzelteilfertigung notwendig. Es müssen Konstruktionsmaße in Fertigungsmaße umgewandelt werden.

Zur Ermittlung der Schrumpfmaße, die kompensiert werden sollen, müssen vorweg systematische Messungen als Berechnungsgrundlage durchgeführt werden.

Da die Steuerungsdaten der Schneidmaschinen aus der CAD-Konstruktion (Sollwerte!) abgeleitet werden, müssen die Zugabewerte in einem besonderen Verfahrensschritt in das Steuerungsprogramm eingearbeitet werden. Hierfür gibt es bereits CAD-Zusatzsoftware.

Ein besonderes Forschungs- und Entwicklungsvorhaben bemüht sich darum, einen „shrinkage manager“ zu entwickeln, der die erforderlichen Zugaben in Abhängigkeit von der Fertigungsfolge und den o.g. Bestimmungsgrößen berechnet. Er soll von unterschiedlichen Werften eingesetzt werden können, eine weitestgehend automatisierte Arbeitsweise ermöglichen und CAD-Systemneutral sein.

3.3.5.8 Montagehilfsmittel

Zum exakten Positionieren und Fixieren von Bauteilen für den Schweißprozeß verwendet der Schiffbauer verschiedene Hilfsmittel. Es stellen sich ihm die Aufgaben

- Platte zu Platte
- Profil zu Profil
- Platte zu Profil

1. Platte zu Platte

- Knaggen und Keil, Knaggen auf der niedrigen Seite
- Magnet
- Durchgestecktes Lochblech und Keil
- Löffel-Eisen (zum Heften in der Naht)
- Alubrücke und aufgeschweißte Gewindebolzen⁶
- Aufgeschweißter Pilzkopf und Nivellierbügel mit Spindel oder Hydraulikzylinder

Knaggen und Keil / Alubrücke /Nivellierbügel (Hilbig) / Kettenzug

2. Profil zu Profil

Es werden ähnliche Verfahren wie bei den Platten eingesetzt. Für die Standardprofile Flach-eisen und Hollandprofil werden oft Vorrichtungen verwendet.

⁶ In neuerer Zeit hat sich für diese Arbeiten der Einsatz von Anschweißbolzen verbreitet. Die Bolzen sind entweder mit einem Pilzkopf oder einem Gewinde versehen und übernehmen die Funktion der bisherigen Anschweißbügel. Durch die Verwendung von Anschweißbolzen wird eine erhebliche Zeitersparnis erreicht. Außerdem wird nur ein kleinerer Teil der Oberfläche der Platten durch die Hilfsschweißungen betroffen. Die Entfernung der nicht mehr benötigten Bolzen und das Schleifen der Schweißstelle sind einfacher und führen zu einer saubereren Oberfläche.

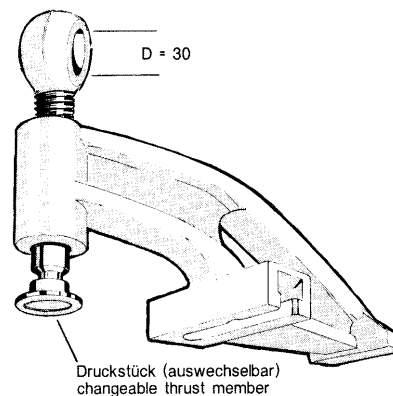
3. Platte auf Profil

- Bügel und Keil
- Magnet und Spindel
- Lochblech und Spitze

Es ist teilweise Praxis, aus Gründen der Beherrschbarkeit von Montage- und Festigkeitseinflüssen Teilbereiche der inneren Verbindungselemente (Träger, Spanten, Bodenwrangen) in der Sektionsmontage (Vorstufe) zunächst noch nicht zu verschweißen.

Montagegründe: Das Fluchten der Bauteile kann leichter hergestellt werden.

Festigkeitsgründe: Schweißspannungen in der Verbindung können vermieden werden.



Bilder: Montagehilfsmittel



Bild: Vorrichtung zum Anpressen von Profilen an die Platte (Magnet und Spindel)

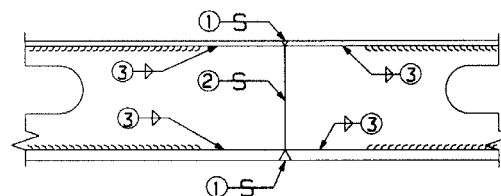


Bild: Beispiel einer Schweißfolge Bleche/Stege am Sektionsstoß

- Schweißfolge:
- (1) Zusammenschweißen der Bleche
 - (2) Zusammenschweißen der Stege
 - (3) Schweißen der restlichen Steg-Blech-Verbindung oder auch (2) (1) (3)

3.3.5.9 Zulässige Abweichungen vom Sollmaß

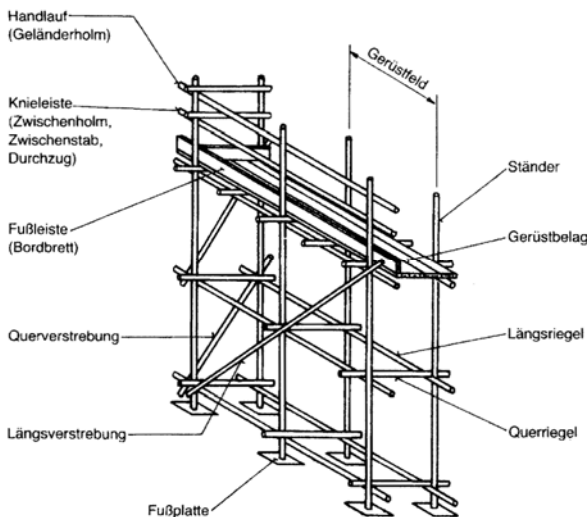
In den Konstruktionszeichnungen wird die Stahlstruktur in geometrisch eindeutiger Form mit bestimmten Sollmaßen dargestellt. Aufgabe des Schiffbauers ist es, das Schiff entsprechend zu bauen. Mit absoluter Genauigkeit ist dies nicht immer möglich, wie oben bereits dargestellt wurde. Auch wenn es den Schiffbauern gelingt, die Bauteile zusammenzubringen und das Schiff fertigzustellen, ergibt sich die Frage, welche Abweichungen vom Sollmaß noch vertretbar sind. Abweichungen vom Sollmaß können die Festigkeit der Konstruktion beeinträchtigen. Beispiel: Kantenversatz bei sich kreuzenden Trägern und Blechen wirkt sich nachteilig auf die Dauerschwingfestigkeit der Konstruktion aus.

Hiermit befasst sich der Fertigungsstandard des Deutschen Schiffbaus (herausgegeben vom Verband für Schiffbau und Meerestechnik, zuletzt in der 5. Ausgabe), insbesondere in seinen Abschnitten über „Einzelteilfertigung“ und „Bauteilfertigung und Zusammenbau“.

Bei den genannten Abweichungen vom Sollmaß handelt es sich um Obergrenzen, die in Einzelfällen noch vertretbar sind. In der Regel werden geringere Abweichungen vorliegen. Die Obergrenzen der Abweichungen wurden so festgelegt, dass weder die Funktion noch die Festigkeit noch die Qualität des Bauwerkes beeinträchtigt werden. Es handelt sich um im Sinne der vertraglichen Herstellungspflichten der Werft zulässige Toleranzen des Endproduktes. Diese Toleranzen dürfen nicht verwechselt werden mit den oben erwähnten Fertigungstoleranzen. Sie sind auch nicht geeignet, die für den Fertigungsprozess erforderliche Genauigkeit, insbesondere der Vorprodukte, abzubilden

3.3.5.10 Gerüste⁷, fahrbare Arbeitsbühnen

Für die Arbeit an hochliegenden Bauteilen, insbesondere für die Montage und das Verschweißen von Sektionen, werden im Schiffbau häufig die o.g. Einrichtungen verwendet.



Gerüste sind vorübergehend errichtete Baukonstruktionen mit Belagflächen veränderlicher Länge oder Breite. Die bautechnischen und sicherheitstechnischen Anforderungen an Gerüste ergeben sich aus der Norm DIN 4420 „Arbeits- und Schutzgerüste“. Für Gerüste, die nach dieser Norm erstellt werden, ist ein besonderer rechnerischer Nachweis der Tragfähigkeit (Statik) nicht erforderlich, weil sie der Regelausführung entsprechen. Wenn von der Regelausführung abgewichen werden soll, ist jedoch eine Statik beizubringen. Auf den Werften werden vorwiegend Systemgerüste verwendet; dies sind Gerüste eines Herstellers aus vorgefertigten Bauteilen nach der Regelausführung.

Außerdem werden Sonderkonstruktionen, z.B. Konsolgerüste, eingesetzt.

⁷ Vgl.: <http://www.sigeplan.de/gerueste.htm>



Norm-Arbeitsgerüste werden in sechs Gruppen eingeteilt:

Arbeitsgerüste der **Gerüstgruppe 1** dürfen nur für Inspektionstätigkeiten eingesetzt werden. Dabei darf je Gerüstfeld ein Nutzgewicht von 150 kg (1 Person zuzüglich Werkzeug) nicht überschritten werden. Materiallagerung ist unzulässig.

Arbeitsgerüste der **Gerüstgruppe 2** dürfen nur für Arbeiten eingesetzt werden, die kein Lagern von Baustoffen und Bauteilen erfordern. Einzelne Belagteile, die schmaler als 0,35 m sind (z.B. Gerüstbohlen) dürfen innerhalb ihrer zulässigen Stützung nur mit 150 kg beansprucht werden. Das Absetzen von Lasten mit Hebezeugen ist unzulässig.

Arbeitsgerüste der **Gerüstgruppe 3** dürfen nur für Arbeiten eingesetzt werden, bei denen die Belastung aus Material und Personen das flächenbezogene Nutzgewicht von 200 kg/m² nicht überschreitet. Einzelne Belagteile, die schmaler als 0,35 m sind (z.B. Gerüstbohlen), dürfen innerhalb ihrer zulässigen Stützung mit höchstens 150 kg beansprucht werden. Das Absetzen von Lasten mit Hebezeugen ist unzulässig.

Arbeitsgerüste der **Gerüstgruppen 4, 5 und 6** dürfen für Arbeiten eingesetzt werden, bei denen Baustoffe oder Bauteile auf dem Gerüstbelag abgesetzt oder gelagert werden. Dabei darf die aus der nebenstehenden Übersicht ersichtliche zulässige Belastung (Spalte 3) und die zulässige Flächenpressung (Spalte 4) nicht überschritten werden:

1 Gerüstgruppe ¹⁾	2 Mindestbreite der Belagfläche ²⁾ m	3 flächenbezogenes Nutzgewicht kg/m ²	4 Flächenpressung ³⁾ kg/m ²
1	0,50 m ⁴⁾	—	—
2	0,60 m ⁴⁾	150	—
3	0,60 m ⁴⁾	200	—
4	0,90 m	300	500
5	0,90 m	450	750
6	0,90 m	600	1000

¹⁾ Gerüstgruppe nach DIN 4420 Teil 1, Ausgabe Dezember 1990.
²⁾ Die freie Durchgangsbreite muß bei Materiallagerung auf der Belagfläche mindestens 0,20 m betragen.
³⁾ Flächenpressung ist hier Nutzgewicht geteilt durch dessen tatsächliche Grundrißfläche.
⁴⁾ Die Bordbrettdicke darf mitgerechnet werden.

Bild: Gruppeneinteilung der Gerüste⁸

Gerüstbauarbeiten müssen von fachlich geeigneten Vorgesetzten geleitet und von weisungsbefugten Personen mit ausreichenden Kenntnissen beaufsichtigt werden. Der für die Gerüstbauarbeiten verantwortliche Unternehmer hat das Gerüst vor Übergabe an den Benutzer und nach konstruktiven Änderungen zu überprüfen und auf einem Schild deutlich und dauerhaft folgenden Angaben zu machen: DIN 4420, Gerüstgruppe, Flächenbezogenes Nutzgewicht.

Bei folgenden Absturzhöhen ist ein dreiteiliger Seitenschutz (bestehend aus Handlauf, Knieleiste und Bordbrett) vorgeschrieben:

- ab 0 m über Wasser,
- auf betrieblichen Einrichtungen ab 1 m Höhe,
- ab 2 m an allen übrigen Arbeitsplätzen und Verkehrswegen.

Fahrbare Gerüste nach DIN 4420 sind bei Verwendung von Gerüstbaumaterial nur zulässig, wenn sie ein Verhältnis von Breite zu Höhe wie folgt einhalten:

- 1: 4 in allseits vollständig geschlossenen Räumen,
- 1: 3 im Freien.

Sie müssen gegen unbeabsichtigte Fahrbewegungen festgelegt werden.

⁸ Vgl.: http://www.sigeplan.de/geruest_gruppe.htm



Schließlich werden im Schiffbau auch fahrbare Arbeitsbühnen (gemäß DIN 4422), Arbeitsgondeln (im Amtsdeutsch „Hochziehbare Personenaufnahmemittel“ genannt) und Hubarbeitsbühnen eingesetzt.



Bild:
Gerüste an einem Schiffsneubau

3.3.5.11 Vorausrüstung

Um die bessere Zugänglichkeit in den noch teilweise offenen Sektionen zu nutzen und um die Ausrüstungszeit des Neubaus zu verkürzen, werden Ausrüstungsteile wie Steigeisen, Leitern, Treppen, Handgriffe, Lüftungsrohre, Mannlöcher, Rohrleitungen evtl. auch Anlagenkomponenten bereits während der schiffbaulichen Abarbeitung je nach Lage und Zugänglichkeit der Fertigungsstufe eingebracht und weitgehend verarbeitet.